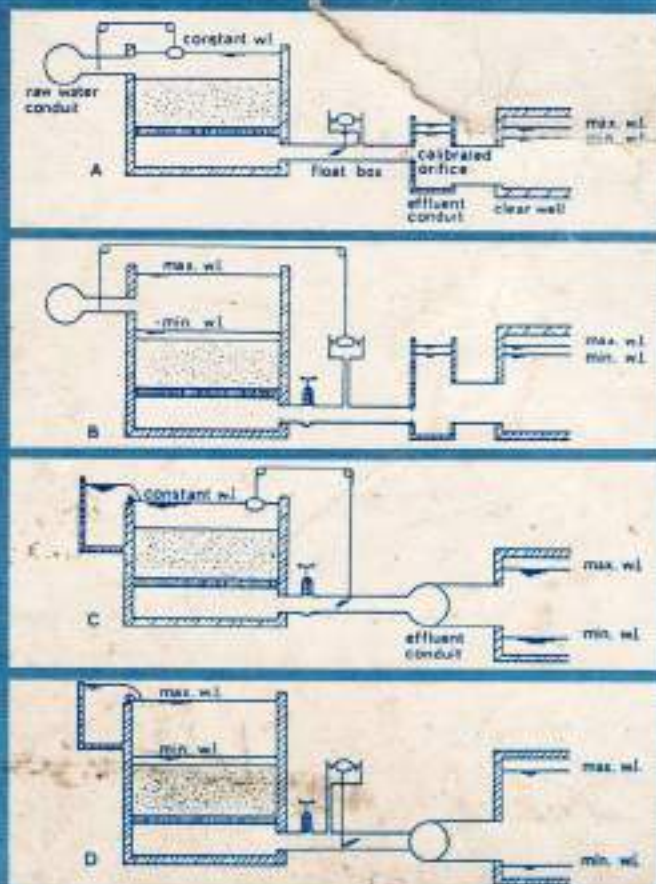


วิศวกรรมการประปา

เล่ม 1

ดร. มั่นสิน ตันกุลเวศม์



คำนำ

ผู้เขียนมีความตั้งใจตั้งแต่แรกแล้วว่า จะเขียนหนังสือ เกี่ยวกับหน้าที่ โดยที่จะกล่าวถึงวิธี การหาความสะอาดมาอย่างละเอียด เข้มข้น และให้ เป็นแบบที่ เหมาะสมกับประเทศ ไทย เพื่อให้คนไทยที่ กำลังมีสติปัญญาที่ เสื่อมริบหรี่ ตลอดจนคนผู้สนใจ ทั้งที่อยู่ในอาชีพ เกี่ยวกับของ หรือสนใจ เพื่อประดับความรู้ เมื่อขณะกำลัง เขียนก็พบว่า ความต้องการที่มีมาตั้งแต่ แรกสักจะ ไม่ค่อยได้ครบถ้วนแล้ว เนื่องจากหากจะ เขียนให้ เบื้องหน้า เข็มเทคโนโลยี ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ก็คงจะ ได้หนังสือ วิศวกรรม การประปา หนึ่งเล่ม เป็นแน่ ซึ่งก็ไม่ใช่ ความตั้งใจ ของผู้เขียน ดังนั้น หนังสือ เล่มนี้ จึงปรากฏออกมาในรูปแบบนี้ พักแต่จะ เขียนไปทางของบรรณาธิการหาความสะอาดมาฝาก ผู้เขียนไม่ได้มีความตั้งใจ เน้นหนักมากนักในด้านการออกแบบคำนวณ คงจะ เห็นได้ว่า เมื่อตามุ่งไปทางหลัก การที่พื้นฐาน และกลไกในการหาความสะอาดมากแล้ว ทั้งนี้เพราะ ผู้เขียนมีความ เชื่อเสมอมาว่า วิศวกรจะ มีความสามารถได้ นั้น ต้องมีความรู้ที่พื้นฐานแน่นและรู้จัก เสียก่อน จากนั้นจึงจะสามารถหาความรู้ นั้นไปประยุกต์ใช้หรือคำนวณออกแบบหรือ ผลิตเทคโนโลยีใหม่ ๆ ขึ้นมาได้ วิศวกรหรือผู้ที่ทำอาชีพในค้ำหน้านี้ซึ่งไม่มีพื้นฐาน วิชาวิศวกรรมที่แน่ชัด จะมีขีดความสามารถจำกัด ในการคำนวณออกแบบระบบน้ำที่ และไม่สามารถใช้ประกอบการต่าง ๆ ได้ดีอย่างเหมาะสมและประหยัด

เหตุผลที่ทำให้ผู้เขียนเน้นหนักไปทางความรู้ที่พื้นฐาน และกลไกของของบรรณาธิการ นั้น เนื่องจากผู้เขียนได้เห็นว่า การออกแบบหรือวิธีการในค้ำหน้าวิศวกรรม การประปา รวม ทั้งตำราต่าง ๆ ซึ่งแต่ก่อนจนถึงปัจจุบัน ยังไม่ทำให้มีสติปัญญา ได้มีความรู้ ซึ่ชัดลึก ๆ ลงไปเพียงพอ ผู้เขียนมักจะ ได้รู้จักวิศวกรรม การประปาดี เป็นอย่างดี อย่าง มาก ยกตัวอย่าง เช่น รู้ว่า การกรองน้ำ คือการปล่อยให้ น้ำผ่านชั้นทรายและความ จุนกักของคอลลอยด์ หรือรู้ว่า เมื่อเติมสารส้มให้กับน้ำ จะเกิดฟlocs ใหญ่ ๆ จับความ จุนเข้าด้วยกันจนเป็นก้อนใหญ่ เป็นต้น การเรียนรู้เพียงแค่นี้ ไม่มีทางเข้าถึง

ศาสตร์ของวิศวกรรมศาสตร์ และไม่มีทางได้สนุกกับการนำความรู้ไปประยุกต์หรือแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้เลย ถึงตอนนี้อย่างคนอย่างของพ่อว่ารู้ใช้ดีในวิชาดี เป็นอย่างไรก็ขอตอบว่า วิศวกรรมถึงวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของวิศวกรรมศาสตร์นี้ ๒๓-๒๔ อย่าง เช่นต้องรู้ว่าการกรองน้ำใช้เป็นแค่การกรอง หากแต่ยังรวมถึงการตกตะกอน และโคแอกกูเลชันด้วย หรือต้องรู้ว่า เกล็ดของสารส้มในน้ำมีบทบาทในการกำจัด การเกิดโคแอกกูเลชัน ๒๕ จะทำให้รู้ต่อไปว่าการกรองเร็วและการกรองช้าไม่ช้าเป็น ต้องมีลักษณะ เป็นถังกรองน้ำช่วยโคแอกกูเลชัน ๒๖ ผู้เรียนต้องตระหนักไว้ว่า วิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกด้าน เช่น วิศวกรรมการประปา วิศวกรรมน้ำเสีย ๒๗ มิใช่เป็นศาสตร์บริสุทธิ์ หากแต่เป็นการรวมเอา วิชาวิศวกรรมศาสตร์สาขาอื่น ๆ และวิชาวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ มาประยุกต์และประกอบกัน ตำราด้านวิศวกรรม การประปาไมออสติ มุ่งสอนเฉพาะด้านสำเร็จรูปของศาสตร์นี้ (ซึ่งเกิดจากการนำศาสตร์ด้านอื่น ๆ มาประกอบกัน ดังกล่าวแล้ว) เมื่อมองไปไมออสติ การถ่ายเทความร้อนเพียงแค่นี้น่าจะถือว่าพอเพียง ทั้งนี้เพราะการทำความร้อนน้ำก็ยิ่งกระทำได้ง่าย เนื่องจากแหล่งน้ำดิบ (ไม่ว่าจะเป็นน้ำผิวดินหรือน้ำบาดาล) ซึ่งมีความสกปรกน้อย แต่ในปัจจุบันนี้ การพัฒนาด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทำให้น้ำดิบได้รับมลพิษมาขนาด เช่น สารอินทรีย์ ไนโตรเจน ธาตุแมงกานีส เป็นต้น การผลิตน้ำก็ต้องอาศัยเทคโนโลยีสูงยิ่งกว่าเดิมมาก สมัยก่อนอาจใช้สารส้มเพียง ๒๐-๕๐ มก./ล. ก็สามารถผลิตน้ำประปาได้ แต่ในปัจจุบันบ่อยครั้งที่ต้องเติมปริมาณสารส้มขึ้นมาก แต่อาจต้องใช้สารเคมีใหม่เมอร์คิวรีดกตะกอนด้วย เป็นต้น ความเข้าใจถึงหลักการพื้นฐานและกลไกต่าง ๆ ในกระบวนการทำน้ำสะอาด จะช่วยให้วิศวกรได้เข้าใจถึงบทบาทหรือผลกระทบของพหุคูณต่าง ๆ ในน้ำดิบที่มีลักษณะการนำความสะอาดน้ำแบบต่าง ๆ ทำให้สามารถหาวิธีที่ดีที่สุดในการกำจัดสารต่าง ๆ ออกจากน้ำ

ในหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนได้บอกอย่างเด่นชัด ระหว่างการทำน้ำสะอาดของระบบประปาชุมชน กับการทำน้ำสะอาดของระบบประปาโรงงาน ผู้อ่านต้องเข้าใจว่า ระบบประปาทั้งสองประเภทแตกต่างกันที่วัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ ทำให้อาจมีขบวนการทำน้ำสะอาดที่ไม่เหมือนกัน โรงงานประปาชุมชนมักประกอบด้วย โคแอกกูเลชัน การตกตะกอน การกรอง และกำจัดเชื้อโรค ส่วนโรง

ประปาสำหรับอุตสาหกรรม มักต้องการน้ำที่สะอาดมากกว่าน้ำดื่ม นั่นคือ นอกจากน้ำดื่มและปราศจากเชื้อโรคแล้ว ยังต้องมีเกลือแร่ต่ำอีกด้วย ทางผลิตน้ำใช้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องมีขบวนการอื่น ๆ เช่น ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เพิ่มขึ้นจาก ปิอจากขบวนการต่าง ๆ ที่ใช้กับโรงงานประปาชุมชน คุณภาพของน้ำที่ต้องการใช้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยในการเลือกและกำหนดขบวนการกำจัดความสะอาดน้ำดิบแต่ละแห่ง

ในการศึกษาเบื้องต้น เมื่อผู้อ่านได้เรียนรู้เกี่ยวกับขบวนการต่าง ๆ แล้วต้องพยายามมองให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างขบวนการต่าง ๆ ผู้เขียนพยายามเขียนให้เห็นหาครอบครัวของระบบประปาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นในรายละเอียดของขบวนการกำจัดความสะอาดน้ำแบบต่าง ๆ มากกว่าช่วยประกอบอื่น ๆ ของระบบประปา ผู้อ่านควรพยายามเข้าใจให้ได้ว่าขบวนการกำจัดความสะอาดน้ำแต่ละอย่างมีหน้าที่กำจัดสารชนิดใดออกจากน้ำ คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และไฟฟ้าเคมี เช่นขนาด ประจุไฟฟ้า และการแตกตัวเป็นไอออนของสารต่าง ๆ ในน้ำ มีความสำคัญมาก ต่อการกำหนดวิธีกำจัดความสะอาดน้ำที่เหมาะสมที่สุด

เรื่อง ต้องเป็นที่เข้าใจร่วมกันก่อนว่า เทคโนโลยีอันตระแนวความคิดที่กล่าวไว้ในหนังสือเล่มนี้ มีกำเนิดมาจากต่างประเทศที่มีการพัฒนาอยู่สูงขึ้นสูง ความรู้บางอย่างอาจไม่เหมาะสมสำหรับบ้านเราก็ได้ ระบบประปาของบ้านเราส่วนใหญ่ยังคงยังเป็นแบบง่าย ๆ ที่อาศัยอุปกรณ์จักรกลหรือไฟฟ้าให้น้อยที่สุด นอกจากนั้น แนวความคิดในการออกแบบระบบประปาก็อาจแตกต่างกันได้มาก ยกตัวอย่างเช่น ระบบประปาในสหรัฐฯ อาจออกแบบล่วงหน้าไว้ ๑๐-๒๐ ปี แต่สำหรับในประเทศไทย ระบบประปาชุมชนส่วนใหญ่ อาจออกแบบล่วงหน้าได้เพียง 5-10 ปี ที่จะมีเพระระบือข้อจำกัดในเรื่องงบประมาณจำกัดก็ ๑ อีกตัวอย่างหนึ่งได้แก่ เรื่องอัตราการใช้น้ำของประชากรทั่วไป ควรจะมีค่าต่ำกว่าตัวเลขที่ใช้ในสหรัฐอเมริกามาก เนื่องจากมาตรฐานในการดำรงชีวิตและอื่น ๆ มีความแตกต่างกัน ทางศึกษาเรื่องนี้สำหรับศึกษาเพื่อที่จะไม่จำเป็นเอาในท้องถิ่นที่ด้อยพัฒนา ด้วยเหตุนี้ ผู้อ่านจึงควรจะต้องพิจารณาให้ดี ในงานนี้เอาความรู้ที่เหมาะสมไปใช้ในท้องถิ่นงาน

หนังสือเล่มนี้มีความยาวมาก จึงแบ่งออกเป็น ๕ เล่ม ดังที่รู้จักกัน ผู้เขียนใช้เวลาเตรียมต้นฉบับหลายปี เนื่องจากต้องใช้เวลาค้นคว้าหนังสือคำราชาภาษาซึ่งกฤษณะและวารสารต่าง ๆ หนังสือคำราชาภาษาเล่มนี้ส่วนใหญ่ยังไม่ทันสมัยและคุณภาพไม่สนใจผู้เขียน เมื่อเริ่มเล่มนี้ จึงต้องไปหาจากพระเบ็ดเตล็ด เพราะเนื่องจากวารสารต่าง ๆ เช่น J.A.W.N.A หรือ ผลการค้นคว้าวิจัยต่าง ๆ ที่มีผู้รวบรวม เติมนำมาวางเป็นต้นแบบปัจจุบัน เริ่มมีหนังสือภาษาต่างประเทศเกี่ยวกับหน้าที่ที่ทันสมัยมากขึ้น หรือยกออกมาใช้เล่มบ้าง เช่นหนังสือของ Sarks เป็นต้น

บุคคลหลายคนมีส่วนช่วยทั้งทางตรงและทางอ้อม ต่อความสำเร็จในการออกหนังสือเล่มนี้ เช่น คุณโรจนันต์ ศรีสัมฤทธิ์ และ คุณสิทธิชัย เขียวฉิมทอง มีส่วนช่วยอ่านและตรวจต้นฉบับ มีสีปวีร์ธัญญาไพ ศาสตราจารย์ภาควิชาการามสุชาสีนบาล จุฬาลงกรณ์ เป็นส่วนผลักดันให้มีหนังสือเล่มนี้เกิดขึ้น ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชาวฤทธิ์ ทรัพย์นิเทศ ไลออนยูไนเต็ดใช้เนื้อหากบางส่วนจากหนังสือเรื่องการประปาเบื้องต้น ผู้เขียนจึงขอขอบคุณทุก ๆ ท่านไว้ ณ ที่นี้ และที่สำนึกที่สุดคือ ครอบครัวของผู้เขียนเอง มีส่วนโดยตรงที่ช่วยให้หนังสือเล่มนี้สำเร็จออกมาได้ จนอาจกล่าวได้ว่าหนังสือเล่มนี้เป็นของครอบครัวดีกว่าได้

สุดท้ายผู้เขียนหวังว่าผู้อ่านคงจะได้รับความรู้มาก ๆ จากหนังสือเล่มนี้ และมาสนุกกับวิชาชีพนี้ร่วมกับผู้เขียน

วิวัฒน์ ศิริขันธ์

ตุลาคม ๒๕๒๖

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 3-14

- 1.1 ส่วนประกอบของระบบประปาชุมชน ๑, 1.2 แหล่งน้ำดิบ 4,
1.3 ระบบทำความสะอาดน้ำประปา 5, 1.4 ระบบขนส่งน้ำ 12,
1.6 ระบบแจกจ่ายน้ำ 14

บทที่ 2 แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา 17-43

- 2.1 น้ำฝน 19, 2.2 น้ำผิวดิน 20, 2.3 น้ำใต้ดิน ๓๓,
2.4 น้ำบาดาลในบึงบริเวณกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง 40

บทที่ 3 การเก็บกักน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา 47-56

- 3.1 วิธีทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ๔๘, 3.2 การเลือกสถานที่ตั้งอ่างเก็บน้ำ ๕๑

บทที่ 4 ปริมาณน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา 59-78

- 4.1 อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคล ๖๑, 4.2 ประเภทของการใช้น้ำ ๖1
4.3 อายุการใช้งานของระบบประปา 71, 4.4 จำนวนประชากรที่รับ
บริการน้ำประปา 7๒, 4.๕ ขอบเขตและประเภทของพื้นที่บริการ
ประปา 7๖

บทที่ 5 คุณภาพและมาตรฐานของน้ำ 81-122

- 5.1 คุณภาพของน้ำดิบ 81, 5.2 มาตรฐานน้ำใช้เพื่อกิจการต่างๆ ๑๖,
5.๓ คุณสมบัติทางกายภาพ 1๐1, 5.4 คุณสมบัติทางเคมี 1๐4,
5.5 คุณสมบัติทางด้านแบคทีเรีย 1๑1, 5.๖ คุณสมบัติทางด้านการกัก-
กักของน้ำ 122

บทที่ 6 แอโรเซชันและดีแอโรเซชัน 127-154

- ๘.1 วัตถุประสงค์ของการทำแอโรเซชันและดีแอโรเซชัน 1๒7.
- ๘.2 กฎของเฮนรี (Henry's Law) 1๒๘.
- ๘.๓ กฎของแมงแอโรเซชันและดีแอโรเซชัน 1๓1.
- ๘.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแอโรเซชันและดีแอโรเซชัน 1๓7

บทที่ 7 การปรับพีเอชของน้ำ 157-189

- 7.1 ความจำเป็นในการปรับพีเอชของน้ำ 1๖7.
- 7.2 เคมีที่เกี่ยวข้องกับการปรับพีเอชของน้ำ 1๖7.
- 7.3 การใช้โคบอลทอมของเจอร์นีย์ - สจวตในการคำนวณเกี่ยวกับการปรับพีเอชของน้ำ 17๐.
- 7.4 หลักเกณฑ์ในการเลือกสารเคมีปรับพีเอช 1๘๕.
- 7.5 ระบบปรับพีเอชให้กับน้ำ 1๘๘

บทที่ 8 ขบวนการโคแอกกูเลชัน 1: ทักษะทางวิทยาศาสตร์ 199-236

- ๘.1 ทฤษฎีการรวมตัวของคอลลอยด์ 207.
- ๘.2 การทำคอลลอยด์ของสารละลายของคอลลอยด์ 210.
- ๘.๓ โคแอกกูเลชันด้วยสารคัมและสารประจักษ์เกลือ 21๖.
- ๘.๔ กลไกโคแอกกูเลชันที่เกิดจากกาซาไฮโดรฟิลล์ เมอร์และโคแอกกูเลชันเดอซีม ๆ 227.
- ๘.๕ การสร้างคัมมีระหว่างอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้เกิดโคแอกกูเลชัน 2๖๑

บทที่ 9 ขบวนการโคแอกกูเลชัน 2: ทักษะทางวิศวกรรมศาสตร์ 239-291

- ๙.1 ความสำคัญของโคแอกกูเลชัน 2๓๙.
- ๙.๒ ส่วนประกอบของขบวนการโคแอกกูเลชัน 24๐.
- ๙.๓ สารเคมีที่ใช้ในขบวนการโคแอกกูเลชัน 24๘.
- ๙.๔ การเลือกสารโคแอกกูแลนต์ 24๘.
- ๙.๕ การควบคุมขบวนการโคแอกกูเลชัน 252.
- ๙.๖ การออกแบบถังกวนเร็ว 2๖7.
- ๙.๗ การออกแบบถังกวนช้า 27๘

บทที่ 10 การลดหย่อน 295-385

- 10.1 การจ่ายผลประโยชน์ของการลดหย่อน 295, 10.2 ทรัพย์สินของการลดหย่อนแบบจุดเริ่มต้น 297, 10.3 อัตราเงินของการลดหย่อนแบบค่าของ 307, 10.4 การวิเคราะห์ผลการลดหย่อน 310,
10.5 การจ่ายผลประโยชน์ของสิ่งลดหย่อน 322, 10.6 ทรัพย์สินที่ใช้ลดหย่อนถึงลดหย่อน 348, 10.7 การลดหย่อนถึงลดหย่อน 350,
10.8 ปัญหาการไหลคืนภายในถึงลดหย่อน 382

บรรณานุกรม 387-388

ภาคผนวก 389-400

บรรณานุกรม 401-413

สารบัญเฉพาะบทที่ 1

บทนำ

1.1	ส่วนประกอบของระบบประปาชุมชน	3
1.2	แหล่งน้ำดิบ	4
1.3	ระบบบำบัดน้ำเสีย	6
1.4	ระบบขนส่งน้ำ	12
1.5	ระบบจ่ายน้ำ	14

บทที่ ๑

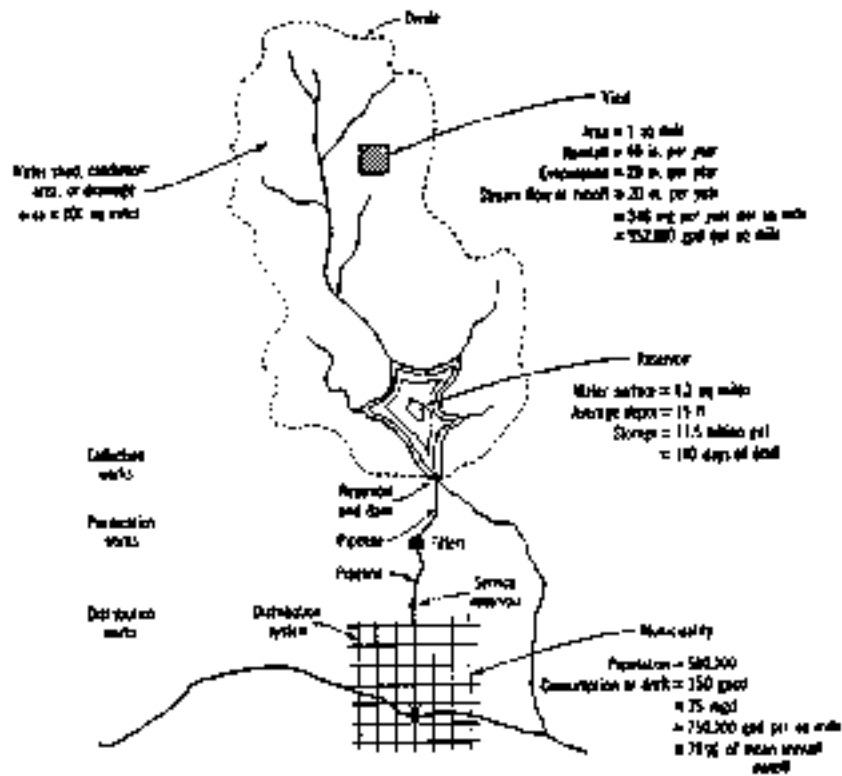
บทนำ

น้ำ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และ เป็นสิ่งซึ่งไม่อาจขาดได้ ความเจริญทางด้านวัตถุ ทำให้ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม แหล่งน้ำสะอาดมีจำนวนจะหายากขึ้น ทั้งนี้ สืบเนื่องมาจากผลกระทบของมลพิษจากต่าง ๆ การจัดหาน้ำสะอาดให้กับชุมชนจึงเป็น เรื่องสำคัญที่องค์การผู้มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมประปาโดยเฉพาะ

๑.๑ ส่วนประกอบของระบบประปาชุมชน

โดยทั่วไป ระบบประปาชุมชนประกอบด้วย (ก) แหล่งน้ำ (ข) ระบบทำความสะอาดน้ำหรือเรียกสั้น ๆ ว่าโรงประปา (ค) ระบบขนส่งและแจกจ่ายน้ำ (ดูภาพที่ ๑.๑)

ในบทความส่วนประกอบซึ่งสาบประเภทของระบบประปา วิศวกรทั่วไปมักจะเห็นว่า ระบบทำความสะอาดน้ำ (Water Treatment Plant System) เป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในทางผลิตประปา ความเข้าใจเช่นนี้ อาจเป็นความจริงเหมือนกับในบางกรณี แต่สิ่งที่จะต้องตระหนักไว้ก็คือว่า ทั้งแหล่งน้ำและระบบขนส่ง/แจกจ่ายน้ำ ก็มีความสำคัญต่อการผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพดีเช่นกัน ในการออกแบบระบบประปา วิศวกรจะต้องพิจารณาถึงแหล่งน้ำ ผลระบบขนส่ง/แจกจ่ายน้ำไปพร้อม ๆ กับระบบทำความสะอาดน้ำ ซึ่งจะสามารถผลิตน้ำประปาที่สะอาดได้ ในรายการที่-ประพจน์ที่สุด ยกตัวอย่าง เช่น การเลือกแหล่งน้ำดิบที่มีคุณภาพสูง และอยู่ไม่ไกล



ภาพที่ 1.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบประปาชุมชน

สามารถลดความจำเป็นในการรักษาความสะอาดน้ำได้มาก และประหยัดค่าขนส่งน้ำ ระบบขนส่ง/แจกจ่ายน้ำ คือ ออกแบบและก่อสร้างให้สามารถรักษาปริมาณ และคุณภาพของน้ำประปา (ที่ผ่านการรักษาความสะอาดมาแล้ว) จนกระทั่งไปถึงมือผู้รับบริการ

1.2 แหล่งน้ำดิบ

วิธีทำให้มั่นใจที่สุดว่าจะได้น้ำประปาที่มีคุณภาพสูง คือ เลือกแหล่งน้ำดิบที่มีความ

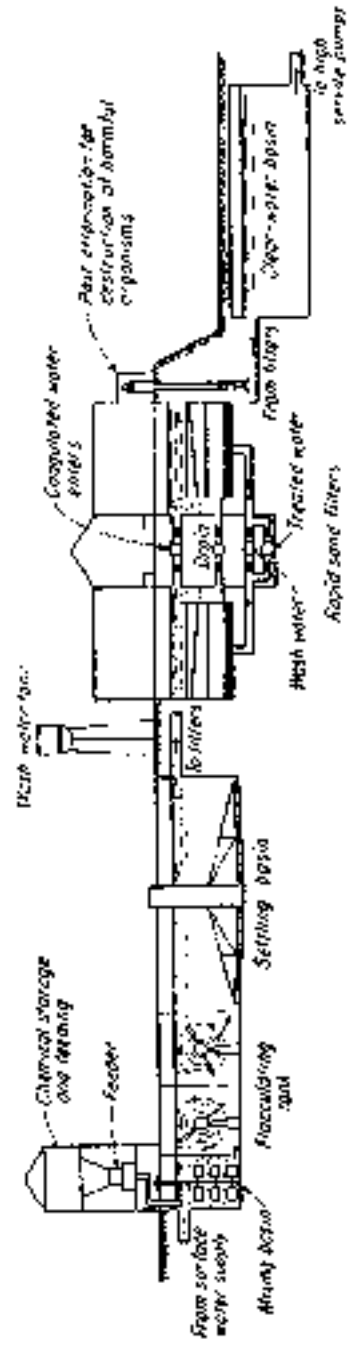
สกปรกหรือมีมลพิษมากที่สุด วิธีดังกล่าวนี้ ทำให้สามารถผลิตน้ำประปา ได้ในราคา ประหยัดที่สุดเสมอ ด้วยเหตุนี้ น้ำบาดาลจึงสมควรได้รับการพิจารณา เพื่อใช้เป็น แหล่งน้ำดิบก่อนนำไปบริโภค โดย เฉพาะอย่างยิ่งสำหรับกรณีของระบบประปาขนาดเล็ กทั้งนี้เพราะ น้ำบาดาลที่มีคุณภาพดีเป็นแหล่งน้ำดิบที่ผิดค่าใช้จ่าย ในการทำความ สะอาดน้อยที่สุด นอกจากนี้ ยังประหยัดในการ ควบคุม บำรุงรักษา และติดตาม ดูแลอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ต้องกระทำให้ถูกต้องเพื่อ บังคับการแปลเป็นแผน เพื่อให้เกิดผลมากที่สุด

1.3 ระบบทำความสะอาดน้ำประปา (Water Treatment Plant)

ระบบทำความสะอาดน้ำประปา มีหน้าที่ซึ่งชื่อที่เรียก ความจำเป็นของระบบฯ นี้ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบและของน้ำประปาที่ต้องการ น้ำดิบจากบางแหล่งอาจจ ะต้องทำความสะอาดหลายขบวนการ แต่บางแหล่งอาจต้องการเฉพาะ การฆ่าเชื้อ โภคด้วยคลอรีน ซึ่ง เป็นความต้องการขั้นต่ำสุดของการผลิตน้ำประปา ขบวนการทำ ความสะอาดน้ำประปา อาจแบ่งออกอย่างง่าย ๆ ได้เป็น 3 ประเภท คือ

- ก. ประเภทที่กำจัดสารแขวนลอย ได้แก่ขบวนการโคแอกกูเลชัน(Coagulation) ขบวนการตกตะกอน (Sedimentation) และขบวนการกรองน้ำ(Fil- tration)
- ข. ประเภทที่กำจัดสารละลาย ได้แก่ขบวนการตกผลึก (Precipitation) ขบวนการดูดซับผิว (Adsorption) ขบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ขบวนการแผ่นเมมเบรน [Membrane Processes]
- ค. ประเภทฆ่าเชื้อโรค

ระบบประปาส่วนใหญ่ ต้องการแค่เพียงการกำจัดสารแขวนลอยซึ่งล้วนประกอบด้วย องค์ประกอบหลักๆ ของระบบมีก็ได้แก่ สิ่งกรวนเร็ว สิ่งกรวนช้า สิ่งตกตะกอน และสิ่งกรอง(ดูภาพ 1.2)



ภาพที่ 1.2 ระบบประปาแบบธรรมดาซึ่งใช้กับน้ำดิบ

น้ำที่ผ่านถังกรองแล้วจะมีความใสและสะอาด แต่จำเป็นต้องนำมาเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคเสียก่อน ขบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนหรือสารอื่นถือเป็นขบวนการที่ต้องมีเสมอ ไม่ว่าจะการฆ่าความสะอาดน้ำประปาจะเป็นแบบใดก็ตาม ในกรณีที่มีสภาพมีสารละลายต่าง ๆ ผูกพันไป เช่น ความกระด้าง เหล็ก เป็นต้น ทำให้มีความจำเป็นของกำจัดออกจากน้ำ ทั้งนี้ในการกำจัดสารละลายมักมี ๒ ขั้นตอนคือ ขั้นแรกทำให้สารละลายเกิดการตกตะกอนเป็นสารแขวนลอย ขั้นที่สองเป็นการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีที่กล่าวข้างต้น ส่วนช่วงใดในการทำให้สารละลายตกตะกอน หรือการแยกอนุภาคเพื่อให้สารละลายที่อยู่ในรูปของ Ca^{+2} และ Mg^{+2} ตกตะกอนเป็น $CaCO_3$ และ $Mg(OH)_2$ หรือ การเติมคลอรีนเพื่อให้เหล็กตกตะกอน เป็นต้น (ดูภาพที่ ๑.๒ ก. และ ๑.๓ ข.) การกำจัดสารละลายออกจากน้ำอาจใช้ขบวนการอื่นก็ได้ เช่น ขบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ขบวนการตกตะกอน หรือ ขบวนการใช้ออสโมซิส เมมเบรน (Membrane Processes) ขบวนการใหม่เหล่านี้ เป็นการกำจัดสารละลายออกจากน้ำโดยตรงและมีประสิทธิภาพสูง จึงนับว่าไม่จำเป็นต้องมีการกำจัดสารแขวนลอย

ในปัจจุบันนี้ ความเจริญก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อม ทำให้การทำความสะอาดน้ำประปาได้รับความยุ่งยากเพิ่มขึ้นมาก ทั้งนี้เพราะ แหล่งน้ำดิบมีไอคาบแปรเปลี่ยนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งผลิตภัณฑ์จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ขี้เถ้า ยางแผ่นลวด ฯลฯ ทำให้น้ำดิบมีไอคาบชนิดต่าง ๆ ตลอดจนอนุสารอินทรีย์และหลายชนิดปะปนอยู่ และจำเป็นต้องใช้ในการกำจัดออกจากน้ำประปา เนื่องจากน้ำดิบนั้นได้รับความกระด้างสูงเกินจากกรณีที่มีมากกว่าน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา จึงควรพิจารณา วิธีปฏิบัติดังกล่าวด้วย

ในกรณีที่มีน้ำดิบมีไอคาบต่าง ๆ ปะปน การกำจัดมิใช่เป็นเรื่องง่าย เนื่องจากขบวนการทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดาไม่สามารถใช้ได้ผล ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการหาวิธีใหม่มาใช้แทน หรือผสมกันจนความเข้มข้นของไอคาบชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เป็นอันตราย โดยปรกติ ไอคาบชนิดต่าง ๆ มักมีความเข้มข้นไม่สูงจนถึงระดับที่ห้าม ไอคาบชนิดที่พบในน้ำบาดาล มักเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่ถ้าพบในน้ำ

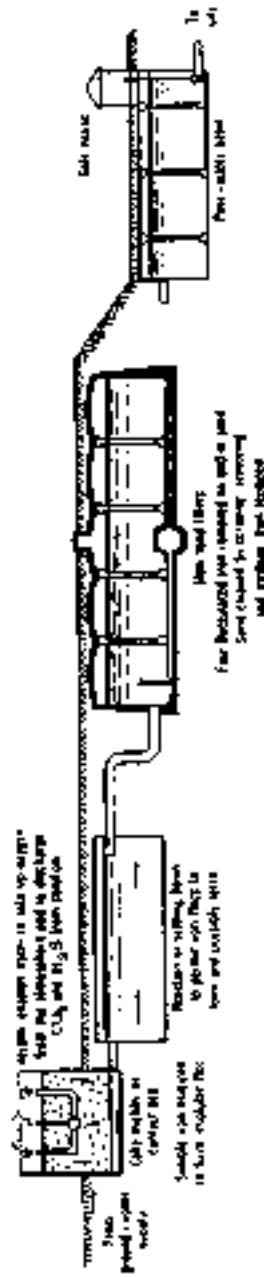


Figure 11. Drinking-water plant including screening, coagulation, flocculation, filtration, and water storage.

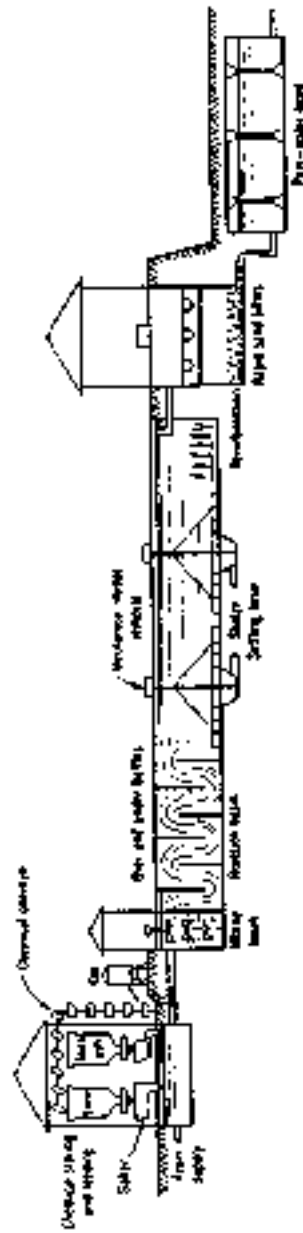


Figure 12. Softening plant including addition of softening chemicals, settling, flocculation, filtration, and water storage.

Figure 1.3 (a) ระบบประปาที่มีกระบวนการกำจัดตะกอนออกจากน้ำประปา

(ข) ระบบประปาที่มีกระบวนการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำประปา

การศึกษานี้มาจากการสังเกตจากโรงงานอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม การวัดการก่อตัวของน้ำจืดอาจทำให้มีโลหะหนักบางชนิดเช่น ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดงในน้ำประปาได้ วิธีแก้ไขในกรณีนี้ คือทำให้น้ำเป็นกลางและไม่เกิดการก่อโลหะ ในกรณีนี้ต้องกำจัดโลหะออกจากน้ำประปา วิธีที่จะทำได้คือวิธีกำจัดที่แสดงอยู่ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วิธีกำจัดสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ออกจากน้ำประปา

Contaminant	Methods	% Removal
Arsenic		
As ³⁺	Oxidation to As ⁵⁺ required	> 90
As ⁵⁺	Ferric sulfate coagulation, pH 6-8	> 90
	Alum coagulation, pH 6-7	> 90
	Lime softening, pH 11	> 90
Barium	Lime softening, pH 10-11	> 80
	Ion exchange	> 90
Cadmium ²⁺	Ferric sulfate coagulation, > pH 8	> 90
	Lime softening > pH 8.5	> 90
Chromium ³⁺		
Cr ³⁺	Ferric sulfate coagulation, pH 6-9	> 95
	Alum coagulation, pH 7-9	> 90
	Lime softening, pH > 10.5	> 95
Cr ⁶⁺	Ferrous sulfate coagulation, pH 6.5-9 (pH may have to be adjusted after coagulation to allow reduction to Cr ³⁺)	> 95
Fluoride	Ion exchange with activated alumina or bone char media (limited full-scale experience), pH slightly above 7	> 90
Lead ²⁺	Ferric sulfate coagulation, pH 6-9	> 95
	Alum coagulation, pH 6-9	> 95
	Lime softening, pH 7-8.5	> 95
Mercury ²⁺		
Inorganic	Ferric sulfate coagulation, pH 7-8	> 60
Organic	Granular activated carbon	> 90
Nitrate	Ion exchange (limited full-scale experience)	> 90
Selenium ²⁺		
Se ⁴⁺	Ferric sulfate coagulation, pH 6-7	70-80
	Ion exchange	> 90
	Reverse osmosis	> 90
Se ⁶⁺	Ion exchange	> 90
	Reverse osmosis	> 90
Silver ²⁺	Ferric sulfate coagulation, pH 7-9	70-80
	Alum coagulation, pH 6-8	70-80
	Lime softening, pH 7-9	70-90

²No full-scale experience.

ระบบฯ ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้

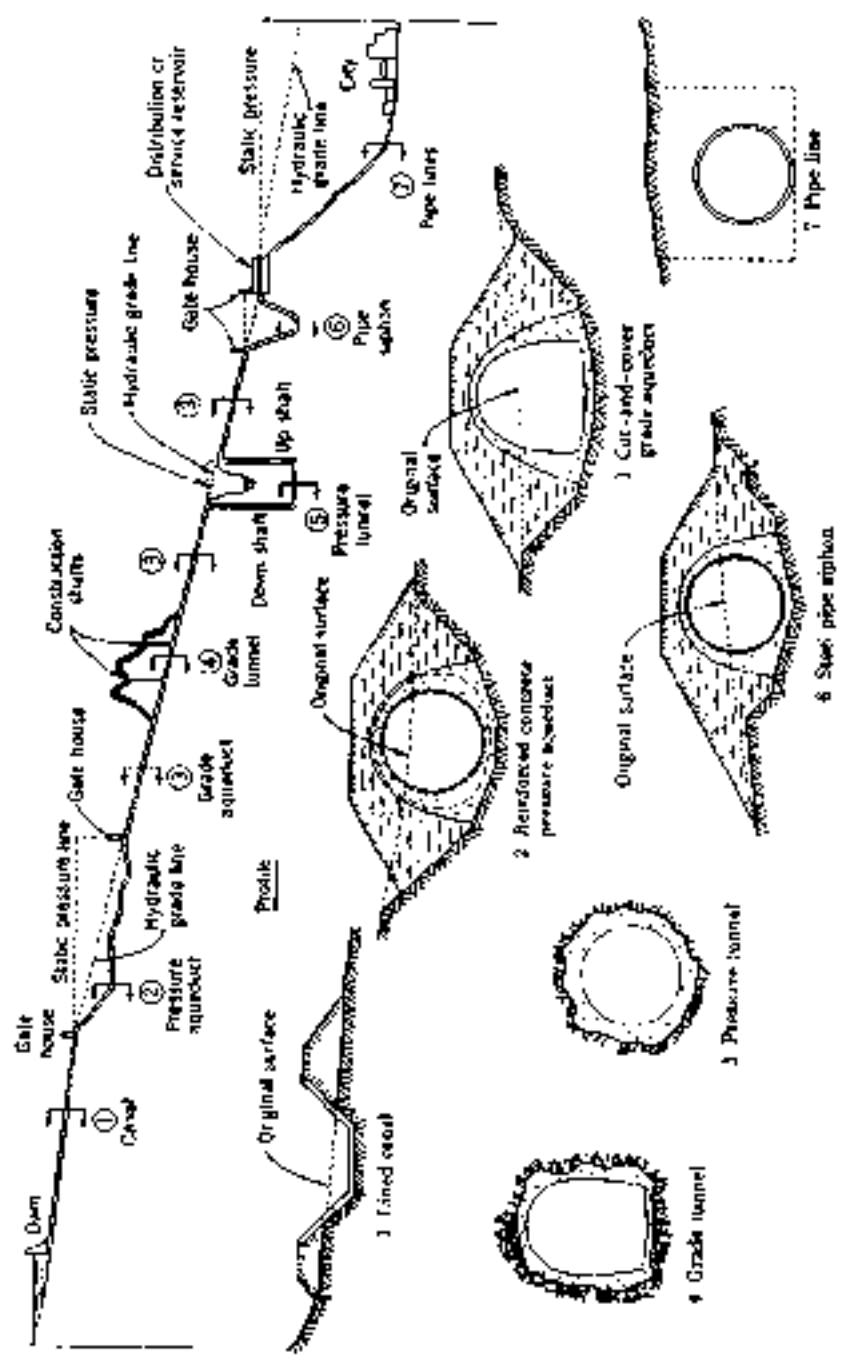
- ก. โดยการใช้เกณฑ์คำนวณออกแบบที่มีการเผิงน้อยที่สุด (Conservative Design Criteria) หรือ
- ข. โดยการคำนวณออกแบบธรรมดาและเพิ่มจำนวนหน่วยของส่วนต่าง ๆ เป็นกำลังสำรอง

โดยปกติ การออกแบบให้มีถังตกตะกอน ถังกรอง ถังกวนเร็ว และถังกวนช้าเพื่อไว้บ่มน้ำประปา ดังเช่นอย่างน้อย ส่วนประกอบใดของระบบที่มีความสำคัญมาก ก็ควรมีสำรองไว้ เช่น การสำรองเครื่องป้อนโคลนจากถยนต์ไว้สำหรับใช้ในการผลิตยิปซัมขึ้นรูปประปา หรือ การสำรองเครื่องป้อนคลอรีนและเครื่องสูบน้ำ เป็นต้น เครื่องป้อนสารป้อนกันที่กักกรองอาจไม่จำเป็นต่อเมื่อมีการสำรองไว้ก็ได้

๑.๔ ระบบขนส่งน้ำ (Transmission System)

ระบบขนส่งน้ำ มีน้ำที่นำมาใช้จากแหล่งน้ำดิบ มาถึง ระบบบำบัดความสะอาดน้ำประปา (Water Treatment Plant) และนำน้ำประปา จากระบบบำบัดความสะอาดไปส่งชุมชนซึ่งเป็นผู้รับบริการน้ำประปา ระบบขนส่งน้ำ จะอาจมีหรือไม่มีถังตกตะกอนขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแหล่งน้ำดิบ และในอยู่กับวิธีขนส่งน้ำว่าเป็นแบบไหลเองตามธรรมชาติหรือไหลด้วยเครื่องสูบน้ำ ท่อขนส่งน้ำอาจใช้เป็นแบบ รางเปิด (Open Channel) หรือแบบท่อปิดภายใต้แรงดัน (Pressure Pipe) ทั้งนี้แล้วแต่สภาพภูมิประเทศและวัสดุที่มีไว้สร้างท่อ ท่อเหล่านี้อาจวางไปตามแนวเดียวกับเส้น Hydraulic Grade Line (HGL) ดังเช่นในกรณีของคลองส่งน้ำหรือรางเปิดที่วางบนพื้นดิน อย่างไรก็ตาม ท่อขนส่งน้ำอาจไม่อยู่ในแนวของเส้น Hydraulic Grade Line ก็ได้ ดังเช่นในกรณีของท่อปิดที่อยู่ใต้แรงดัน (ดูภาพที่- ๑.๔)

ปัจจัยในการกำหนดขนาดและรูปร่างของท่อขนส่งน้ำ ได้แก่ปัจจัยทางชลศาสตร์ทาง



ภาพที่ 1.4 ท่อน้ำส่งน้ำในระบบเขื่อนต่าง ๆ

โครงสร้างและทางเศรษฐกิจ โดยปกติอัตราเร็วของการไหลของน้ำภายในท่อ
มักอยู่ระหว่างประมาณ 1-1.7 เมตร/วินาที ทั้งนี้ เมื่อรู้อัตราไหลของน้ำก็จะ
สามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อได้ เนื่องจากความต้องการ
การนำมีความแปรปรวนสูงมาก ท่อจึงต้องมีขนาดใหญ่มาก เพื่อให้สามารถขนส่งน้ำ
ได้ทันตลอดเวลา โดยปกติ ความต้องการน้ำสูงสุดมักเกิดขึ้นเพียงในช่วงสั้น การ
ใช้ประโยชน์จากท่อขนาดใหญ่มากจึงทำไม่ได้เต็มที่ และไม่เป็นการประหยัดต่อ
วิธีแก้ไขสามารถกระทำได้โดยสร้างอ่างเก็บน้ำสำรอง (Service or Distri-
buling Reservoir) ซึ่งทำหน้าที่สำรองน้ำเมื่อเกิดไฟไหม้ หรือ เมื่อต้องการ
ซ่อมแซมท่อ เป็นต้น เมื่อมีการใช้อ่างเก็บน้ำสำรอง ท่อขนส่งน้ำอาจมีขนาดใหญ
เพียงแค่นี้สำหรับสนองความต้องการน้ำสูงสุดของวัน (Maximum Daily Rate) ซึ่ง
มีค่าประมาณ 150% ของความต้องการน้ำเฉลี่ยประจำวัน (Average Daily
Rate) โดยปกติ อ่างเก็บน้ำสำรองมักมีความสูงเท่ากับปริมาณน้ำที่ต้องการใช้
ในแต่ละวัน อ่างเก็บน้ำสำรองอาจเป็นแบบถังสูง (Elevated Tank) หรือ
Standpipe หรืออ่างแบบธรรมดาที่สร้างบนที่สูง ความจำเป็นอีกประการ เพื่อรักษา
ความสะอาดของน้ำ ระบบประปาขนาดใหญ่อาจมีอ่างเก็บน้ำมากกว่า 1 ใบ

1.5 ระบบแจกจ่ายน้ำ (Distributing System)

เมื่อท่อขนส่งน้ำวางตั้งชุมชนจะมีระบบท่ออีกชุดหนึ่งทำหน้าที่แจกจ่ายน้ำไปยังผู้บริโภคร
การที่อาศัยอยู่ในชุมชนนั้นๆ ท่อแจกจ่ายน้ำมักมีขนาดเล็กกว่าท่อขนส่งน้ำมาก ใน
กรณีที่มีอ่างเก็บน้ำสำรอง (Service or distributing Reservoir) การ
แจกจ่ายน้ำประปาจะเริ่มต้นจากอ่างเก็บน้ำนี้ ท่อแจกจ่ายน้ำควรมีแรงดันมีค่ากว่า
40 และ 60-75 ปอนด์/ตร.นิ้ว สำหรับบริเวณที่พักอาศัยและย่านธุรกิจ ตาม-
ตัวชัย ในปัจจุบัน ท่อกึ่งเหล็กไม่จำเป็นต้องมีแรงดันสูงเป็นพิเศษ ทั้งนี้เนื่องจาก
สามารถเพิ่มแรงดันได้โดยใช้เครื่องสูบน้ำร่วมกับเครื่อง ปั๊มต่าง ๆ ซึ่งกำหนด
ขนาดของระบบท่อแจกจ่ายน้ำได้แก่ ความต้องการน้ำเพื่อใช้ในกิจการต่าง ๆ และ
สำรองไว้เพื่อดับไฟ ท่อควรมีขนาดใหญ่พอเพียงพอที่จะให้น้ำได้แม้ในขณะที่
การนำพร้อมกันทุกด้าน (Coincident Draft) เกณฑ์การเลือกขนาดท่อกำหนด
ให้ใช้ท่อแจกจ่ายน้ำที่มีขนาด 6 นิ้วเป็นอย่างน้อย และให้อัตราเร็วของการไหลอยู่
ในช่วง 0.6-1.2 เมตร/วินาที

สารบัญเฉพาะบทที่ 2

แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

2.1	น้ำฝน	19
2.2	น้ำผิวดิน	20
2.2.1	พื้นที่รองรับน้ำฝน (Catchment Area)	20
2.2.2	การคำนวณปริมาณน้ำไหลของ	24
2.3	น้ำใต้ดิน	28
2.3.1	การแบ่งแยกประเภทของน้ำใต้ดิน	28
2.3.1.1	โซนอิ่มตัวชั่วคราว	31
2.3.1.2	โซนอิ่มตัวถาวร	32
2.3.2	น้ำบาดาล	32
2.3.3	ชนิดน้ำบาดาลและหินอุ้มน้ำ	35
2.3.3.1	น้ำบาดาลปราศจากความดัน	36
2.3.3.2	น้ำบาดาลในที่ยกดัน	36
2.3.4	น้ำบาดาลปลอม (Perched Water)	39
2.4	น้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง	40
2.4.1	ชั้นน้ำในกรุงเทพฯ	41
2.4.2	ชั้นน้ำหระประแดง	41
2.4.3	ชั้นน้ำนครหลวง	42
2.4.4	ชั้นน้ำชนบทบุรี	42
2.4.5	ชั้นน้ำปากน้ำ	42

บทที่ 2

แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

นักวิทยาศาสตร์ได้ประมาณไว้ว่า น้ำทั้งหมดบนโลกมีปริมาณประมาณ 1.36×10^{21} ลิตร และกระจายอยู่ตามแหล่งน้ำสำคัญ 4 แห่ง ซึ่งรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 2.1 ในบรรดาน้ำทั้งหมดนี้ มีเพียงประมาณร้อยละ 0.64 เท่านั้น ที่มนุษย์จะเข้าถึง

ตารางที่ 2.1 การกระจายของปริมาณน้ำของแหล่งต่าง ๆ บนโลก*

ประเภทของแหล่งน้ำ	แหล่งน้ำ	ปริมาณน้ำ (10^{15} ลิตร)	ปริมาณคิดเป็นร้อยละ ของน้ำทั้งหมด
1. แหล่งน้ำจืดผิวน้ำ	ทะเลสาบน้ำจืด	126	0.0080
	แม่น้ำ, ลำธาร	1	0.0001
	รวม	126	0.0081
2. น้ำในบรรยากาศ		13	0.0010
3. แหล่งน้ำใต้ดิน	บ่อน้ำ	4,237	0.3200
	บ่อน้ำบาดาล	4,170	0.3100
	รวม	8,407	0.6300
4. แหล่งน้ำเค็ม	ทะเลสาบและธารน้ำแข็ง	28,000	2.1600
	มหาสมุทรและทะเล	1,320,000	97.2000
	ทะเลสาบน้ำเค็ม	104	0.0080
	รวม	1,348,104	99.3680
รวมทั้งหมด		1.36×10^{21}	100 %

* ข้อมูล: ชินฮงปราน 2521 ธรรมชาติวิทยา ทรัพยากรน้ำ - โลกของเรา โครงการการศึกษาทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มีชีวิตอื่น ๆ ได้ใช้โดยตรง น้ำดื่มมีเป็นน้ำจืดซึ่งได้แก่ น้ำดื่มที่ปรากฏอยู่ตาม แม่น้ำ ลำคลอง และทะเลสาบ น้ำใต้ดิน และน้ำในบรรยากาศ

ขอให้สังเกตดูว่าน้ำดื่มที่เป็นน้ำจืด มีอยู่เป็นจำนวนมากเพียงร้อยละประมาณ 0.01 เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมด แหล่งน้ำใต้ดินมีปริมาณสูงกว่ามากกว่าคือ คิดเป็นร้อยละ 0.99 ของปริมาณน้ำทั้งหมดของโลก

น้ำที่ปรากฏอยู่ในแหล่งต่าง ๆ จะมีการถ่ายเทหมุนเวียนกับไอน้ำ เสมอตลอดเวลา ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นไปโดยธรรมชาติและมีชื่อเรียกว่า "วัฏจักรทางน้ำ" สิ่งที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นก็คือ อธิทผลและแรงขับดันจากพลังงานแหล่งต่าง ๆ ที่โลกได้รับ พลังงานเหล่านี้ได้แก่ พลังงานจากดวงอาทิตย์, แสงในบริเวณของโลก แสงเหนือขั้วโลกขั้วกลางของโลก และกาจคายน้ำของพืช ของชาติต่อสามารถทำให้ น้ำบางส่วนจากแหล่งต่าง ๆ จะเหือดกลายเป็นไอน้ำและควบแน่นกลายเป็นเมฆและในที่สุดก็ตกลงมาเป็นฝน กระจายไปสะสมตัวตามแหล่งน้ำดื่มต่าง ๆ บางส่วนจะซึมลงไปเก็บกักอยู่ใต้ดินกลายเป็นแหล่งน้ำใต้ดิน น้ำที่อยู่บนที่สูง จะไหลไปยังบริเวณที่ต่ำกว่าเสมอไม่ว่าจะเป็นน้ำดื่มหรือน้ำใต้ดินก็ตาม และในที่สุดก็ไปสะสมตัวอยู่ในทะเลและมหาสมุทร อย่างไรก็ตาม น้ำบางส่วนจากพื้นดินถูกพืชดูดซึมเข้าไปใช้ในการปรุงอาหารและเจริญเติบโต แล้วบางส่วนก็จะคายออกทางใบและผ่นผิวดินแล้วก็จะกลายเป็นไอน้ำในบรรยากาศ การหมุนเวียนของน้ำจากแหล่งหนึ่ง ไปยังอีกแหล่งหนึ่ง จนในที่สุดก็กลับมาถึงแหล่งเดิมได้อีก เป็นเช่นนี้เรื่อยไปในธรรมชาติ

แม้ว่าน้ำเป็นปัจจัยสำคัญของสิ่งมีชีวิต กล่าวคือเป็นถึงองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งที่มีชีวิต และเป็นเครื่องนำพาชีวิต ตลอดจนมีประโยชน์ในงานต่าง ๆ แต่มีน้ำที่มนุษย์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ก็จะต้องเป็นน้ำที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ ด้วยเหตุนี้แม้ว่าทะเลจะมีปริมาณมากกว่าความ โอกาสในการนำไปใช้กลับมีไม่มาก เพราะน้ำทะเลไม่มีควมบริสุทธิ์เพียงพอเอง อีกประการหนึ่งกล่าวหาให้ผิดเพี้ยนต่อที่น้ำดื่มและน้ำใต้ดินที่เป็นน้ำจืดเท่านั้น สัตว์มนุษย์สามารถดื่มน้ำจืดได้เพียงไม่กี่ครั้ง

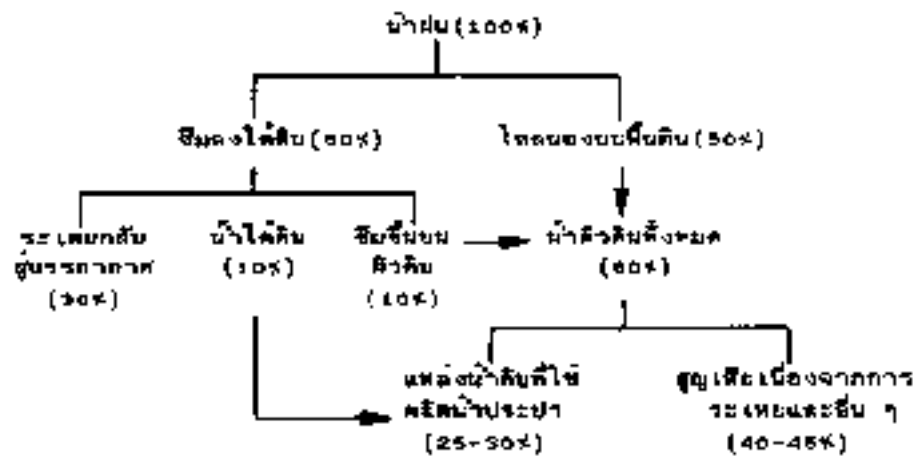
แหล่งน้ำดื่มสำหรับผลิตประปา มี ๒ ประเภท คือ น้ำผิวดิน และน้ำบาดาล น้ำผิ

โดยตรงไม่อาจนับเป็นแหล่งน้ำประปาที่เชื่อถือ เนื่องจากมีผู้ตายนื่อง การเก็บ
ค่าไว้. ขั้วน้ำก็ขุ่นขาว

จากข้อมูลในปี ๑๙๖๖ พบว่ากว่าน้ำประปาที่ใช้ในเขตกรุงเทพมหานคร นครปฐมและ
สมุทรปราการ มีประมาณร้อยละ ๑.๒ ล้านลูกบาศก์เมตร ส่วนใหญ่ของน้ำดิบ(ประ-
มาณ ๗๐ %) สำหรับผลิตประปาได้มาจากน้ำผิวดิน และอีกประมาณ ๑๐ % ได้มา-
จากน้ำใต้ดิน

๒.๑ น้ำผืน

น้ำผืนจัด เป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิตทุกอย่าง น้ำผืนที่ตกของมาไม่ว่าจะอยู่-
ตัวดินหรือซึมลงไปใต้ดิน ผ่อนผ่านมาใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำประปาได้ อย่างไรก็ดีตาม
จำนวนน้ำฝนที่ตกลงมาตามน้ำมาใช้ผลิตน้ำประปามีปริมาณที่แปรปรวนต่ำ ทั้งนี้เนื่องจาก มี
การสูญเสียน้ำฝนเกิดขึ้นได้หลายทาง ดังแสดงอยู่ในภาพที่ ๒.๑



ภาพที่ ๒.๑ แหล่งน้ำที่ขังรวมผลิตน้ำประปาที่ได้จากน้ำผืน

ประเทศไทยมีฝนตกเฉลี่ยประมาณปีละ ๑,๕๑๗ มม. ภาคใต้เป็นบริเวณที่มีฝนตกมากที่สุด และภาคเหนือมีฝนตกน้อยที่สุด (ดูภาพที่ ๕.๕) ปริมาณน้ำฝนและอัตราการไหลของน้ำที่วัดตามสถานีต่าง ๆ ในคาบ ๒๕ ปี (พ.ศ. ๒๔๘๔ ถึง ๒๕๑๘) ได้แสดงอยู่ในตารางที่ ๕.๔

๕.๕ น้ำผิวดิน

น้ำผิวดินหมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินแล้วไหลลงที่ลำน้ำ ลำธาร ห้วย ภูเขาตลิ่ง และแม่น้ำ น้ำผิวดินมีรวมถึงน้ำที่ไหลลงจากโคกหินเข้ามาสมทบด้วย (ดูภาพที่ ๕.๖) ซึ่งจะเห็นได้จากลำธารหรือลำห้วยที่มีน้ำไหลอยู่ตลอดปี ไม่ว่าจะปีฝนตกหรือไม่ จำนวนน้ำที่ไหลในลำห้วยหรือลำน้ำในระหว่างฤดูแล้งเรียกว่า Dry Weather Flow (D.W.F.) น้ำนี้ เป็นน้ำที่สะสมไว้ใต้ดินและซึมขึ้นมาตลอดเวลาที่ฝนไม่ตก

- ปริมาณน้ำผิวดินที่เกิดจากฝนตกนั้นจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัย ๒ ประการ คือ
๑. ความเข้ม ความถี่ และระยะเวลาที่ฝนตก
 ๒. ลักษณะและขอบเขตของพื้นที่รองรับน้ำฝน (Catchment Area)

๕.๕.๑ พื้นที่รองรับน้ำฝน (Catchment Area)

น้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นดิน จะไหลจากที่สูงลงที่ต่ำ ทำให้เกิดทางน้ำประเภทต่าง ๆ ขึ้นที่น้ำใช้เป็นที่รองรับน้ำฝนจนทำให้เกิดทางน้ำเรียกว่า Catchment Area หรือ Watershed Area พื้นที่รองรับน้ำฝนอาจมีรูปร่างต่าง ๆ นานา แต่ทั่วไปมักจำแนกรูปร่างเป็น ๕ แบบ (ดูภาพที่ ๕.๖) คือแบบรูปพัด และแบบรูปแฉับ น้ำที่ไหลลงของในพื้นที่รองรับน้ำฝน สามารถเก็บกักไว้ได้โดยการสร้างเขื่อนกั้นน้ำไว้ที่จุด ก ในภาพที่ ๕.๖ การคำนวณหาขอบเขตและพื้นที่ของบริเวณรองรับน้ำฝนสามารถกระทำโดยใช้ Counter Map ซึ่งแสดงเป็นตัวอย่างอยู่ในภาพที่ ๕.๔



ภาพที่ ๕.๕ แผนที่ Isohyets แสดงปริมาณน้ำฝน (หน่วย 100 มม.) ของ
ประเทศลาวทั้งหมดในปี พ.ศ. ๒๕๒๑

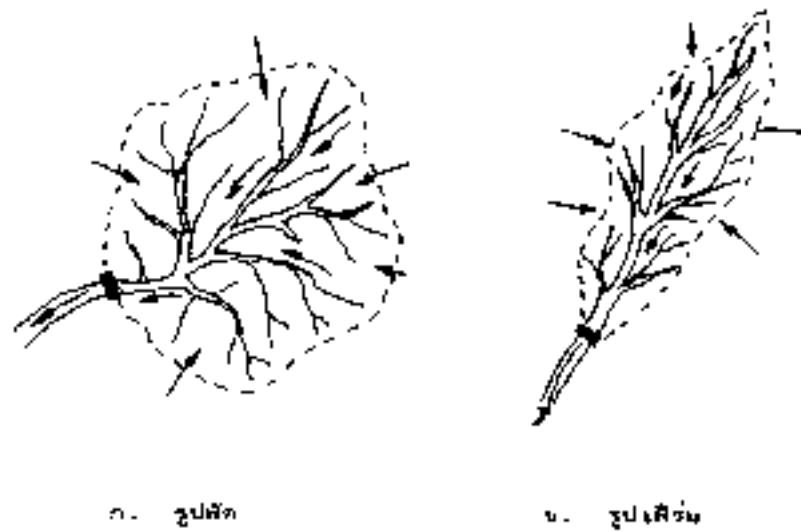
ตารางที่ 2.2 สถิติปริมาณและการระเหยน้ำของสถานีต่าง ๆ ในประเทศไทย ใน
 ภาย 25 ปี (พ.ศ. 2494 - 2519)

ลำดับที่	สถานี	ปริมาณฝนทั้งปี (มม. ต่อปี)	อัตราการระเหยทั้งปี ^a (มม. ต่อปี)
1	เชียงใหม่	1795.1	1647.4
2	แม่ฮ่องสอน	1259.7	862.2 ^{**}
3	เชียงใหม่	1270.9	1682.0
4	แม่สะเรียง	1228.4	759.8 ^{**}
5	ลำปาง	1107.0	875.1 ^{**}
6	บ้าน	1295.2	1818.4
7	แพร่	1114.8	921.5 ^{**}
8	สุพรรณบุรี	1462.2	801.1 ^{**}
9	ตาก	1054.1	1065.1 ^{**}
10	พิษณุโลก	1352.1	1501.0
11	แม่สอด	1575.1	842.3 ^{**}
12	เพชรบูรณ์	1177.8	860.2 ^{**}
13	รัตนบุรี	1118.6	1805.4
14	เดช	1214.8	1500.8
15	อุตรธานี	1520.5	888.7 ^{**}
16	นครพนม	2295.1	872.4 ^{**}
17	สกลนคร	1511.8	2214.2
18	บุคคาลาท	1512.3	1108.4 ^{**}
19	ขอนแก่น	1187.8	2149.0
20	ร้อยเอ็ด	1404.8	1434.6
21	อุบลราชธานี	1577.6	2225.7
22	สุรินทร์	1288.6	2288.0
23	บคชราชสีมา	1180.0	1808.6
24	ชัยภูมิ	1964.9	808.4 ^{**}

ลำดับที่	สถานที่	ปริมาณฝนที่ปี (มม.ต่อปี)	อัตราการระเหยที่ปี [*] (มม.ต่อปี)
๑๖	ชัยภูมิ	1๑๖๑.๖	1๑๐๖.๘ ^{**}
๑๗	นครราชสีมา	117๖.7	1๑๖1.๑
๑๘	นครบุรี	1๑๖๑.๖	1๑๖๑.๑
๑๙	สุพรรณบุรี	1๑๖๑.๖	1๑1๒.๑
๒๐	ปราจีนบุรี	๑๑๖๑.๖	1๐๘๘.1 ^{**}
๒๑	กาญจนบุรี	1144.๖	1๐7๐.3 ^{**}
๒๒	ขอนแก่น	1๑๖๑.๖	ไม่ได้วัด
๒๓	อุดรธานี	1๑๖๑.๖	171๑.๑
๒๔	ร้อยเอ็ด	1๑๖๑.๖	1๐๖๑.1
๒๕	ชัยภูมิ	1๑๖๑.๖	1๐๑๗.๑ ^{**}
๒๖	ชัยภูมิ	1๑๖๑.๖	๑๑๖.๑ ^{**}
๒๗	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	1๑๖๑.๑
๒๘	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	ไม่ได้วัด
๒๙	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๐	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๑	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๒	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๓	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๔	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๕	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๖	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๗	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๘	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๓๙	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๐	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๑	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๒	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๓	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๔	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๕	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๖	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๗	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๘	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑
๔๙	ขอนแก่น	๑๑๖๑.๖	๑๑๖๑.๑

หมายเหตุ * ใช้เครื่องวัดการระเหยแบบชาม นอกจากระดับนอกเป็นข้อยกเว้น

** ใช้เครื่องวัดการระเหยแบบบุษมี



ภาพที่ 2.2 ลักษณะรูปร่าง 2 แบบของพื้นที่รองรับน้ำฝน

2.2.2 การคำนวณหาปริมาณน้ำไหลของ

น้ำไหลของบนพื้นดินหรือ Run off หมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ตกลงมาแล้วกลายเป็น น้ำผิวดิน ในบางกรณีมีการใช้คำว่า Surface run off แทนคำว่า Surface water หรือน้ำผิวดิน ปริมาณน้ำไหลของถือว่าเป็นผลผลิต หรือ Yield ของพื้นที่ รองรับน้ำฝนนั่นเอง การหาปริมาณน้ำผิวดินทางกระดาษได้ โดยการวัดอัตราการไหลของน้ำไหลตามน้ำต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัด หรืออาจกระทำโดยการคำนวณหาปริมาณ น้ำไหลของ วิธีหาดังกล่าวมี 3 วิธี ดังนี้



ภาพที่ 2.4 ขอบเขตพื้นที่รองชั้นน้ำฝน

๑. โศกการวัดระดับความสูงของน้ำในแม่น้ำลำธารด้วยเครื่องวัดต่างๆ
๒. โศกการใช้สถิติน้ำฝนและพื้นที่ร่องรับน้ำฝน
๓. โศกใช้สูตรเสมอโศก

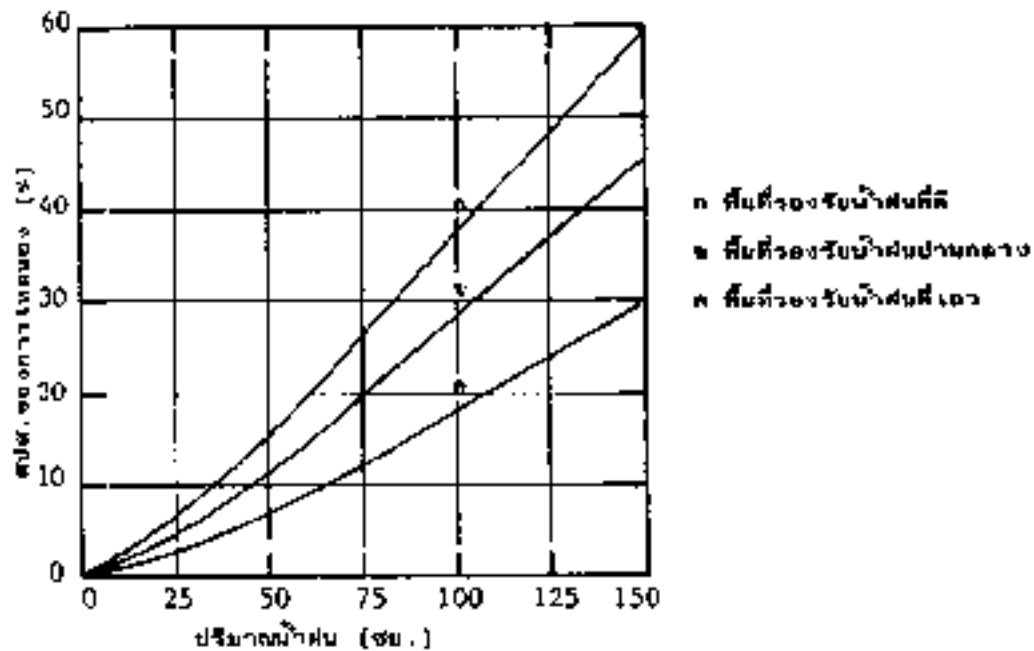
การหาปริมาณน้ำไหลของตลอดทั้งปี (ซึ่งอาจถือว่าเป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะได้จากแหล่งร่องรับน้ำฝน) โดยการคำนวณจากปริมาณน้ำฝนทั้งปี เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก วิธีนี้ต้องอาศัยสถิติน้ำฝนที่รวบรวมไว้นานหลายปีเป็นส่วนสำคัญ สูตรที่ใช้มีดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำไหลของของพื้นที่ร่องรับน้ำฝน} = \text{ผล.ของน้ำไหลของ} \times \text{ปริมาณน้ำฝน} \\ (\text{เมตรต่อปี}) \cdot \text{พื้นที่ร่องรับน้ำฝน (ตร. เมตร)}$$

วิธีหาพื้นที่ร่องรับน้ำฝน สามารถหาหาค่าได้โดยการวัดเส้นเขียน Contour Map ของเขตของพื้นที่ร่องรับน้ำฝนเกิดจากการลากเส้นตรงคือเขียน ระหว่างจุดที่มีระดับสูงจุดต่าง ๆ (ดังแสดงในภาพ ๕.๔) ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการคำนวณเป็นอัตราเฉลี่ยของฝนทั้งปีในบริเวณของพื้นที่ร่องรับน้ำฝน

ถ้าไม่มีการสูญเสียน้ำฝนเนื่องจากการซึม หรือการกลายเป็นไอ หรือสาเหตุนั้น ๆ น้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงมาจะกลายเป็นน้ำไหลของหรือน้ำผิวดิน นั่นคือปริมาณของน้ำไหลของจะมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำฝน (ที่คิดเป็นระดับความสูงของน้ำ) คูณกับพื้นที่ร่องรับน้ำฝน อย่างไรก็ตาม น้ำฝนทั้งหมดไม่มีทางกลายเป็นน้ำไหลของได้ เนื่องจากพื้นที่ร่องรับน้ำฝน เป็นพื้นดินที่มีการซึมน้ำในระดับต่าง ๆ และการระเหยของน้ำก็เกิดขึ้นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในทางปฏิบัติจึงมีการใช้เสมอ "ผล.ของการไหลของ" (Run off Coefficient) เพื่ออธิบายถึงการสูญเสียน้ำฝนเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อ "ผล.ของการไหลของ" มีค่าเท่ากับ ๐.๕ หมายความว่า ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเป็นน้ำไหลของจะมีเพียง ๐.๕ ส่วนที่สูญเสียไปมีมากถึง ๐.๕ ระดับของ ผล.ของการไหลของขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาและทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ร่องรับน้ำฝน พื้นที่ที่เป็นทรายจะมีผล.ของการไหลของต่ำกว่าพื้นที่ที่เป็นดินเหนียว ค่าที่แท้จริงของผล.ของการไหลของมัก เป็นสิ่งที่ไม่รู้

- 1 และหาปริมาณ ในทางปฏิบัติ ค่าของ สปต. ของการไหลนอง สามารถประมาณได้ จากลักษณะของเส้นและสภาพโดยทั่วไปของพื้นที่ของรับน้ำฝน ทาที่ 2.5 อาจใช้- สำหรับประมาณค่าของ สปต. ของการไหลนองของพื้นที่ของรับน้ำฝนทั้ง 3 ประเภท คือ ประเภทที่ 1, ปานกลาง, และ เดว ที่มีประเภทที่ 1 หมายถึงพื้นที่ที่มีป่าชุก, เติมน้ำฝนต่ำ ทำให้ได้มีน้ำไหลนองสูง ส่วนพื้นที่ประเภทที่ เดว มีลักษณะคาบเกี่ยวกัน



ภาพที่ 2.5 สปต. ของการไหลนองสำหรับพื้นที่ของรับน้ำฝน 3 ประเภท

ถ้าแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาได้มาจากแม่น้ำลำธาร การคำนวณหาปริมาณน้ำดิบที่ผลิตสามารถกระทำได้โดยการวัดอุณหภูมิต่าง ๆ เช่น ไม่วัด, เครื่องวัดอุณหภูมิ ฯลฯ การวัดโดยวิธีนี้ต้องใช้เวลานานมากโดยต้องวัดอย่างถี่ถ้วนตลอดทั้งปี เป็นเวลาหลายปี ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่ผลที่ได้มีความละเอียดถูกต้องดีกว่าวิธีอื่น ๆ หากสามารถหาวิธีที่ประหยัดหรือวิธีหาไหลของน้ำในแม่น้ำ ลำธารนั้นได้ มันจะช่วยให้ใช้เวลาหลาย ๆ ปี จะช่วยทำให้ทำงานง่ายขึ้นมาก

ในบางครั้ง ปริมาณน้ำดิบที่ผลิตขึ้นเกิดจากการไหลของฝนที่ตกลงมาซึ่งฝนที่ตกลงมาตลอดทั้งปีสามารถคำนวณได้จากปริมาณฝนตกมันเอง สูตรที่ใช้คำนวณเป็นสูตร เอมไพริคัลซึ่งมีที่ใช้กันทั่วไป ออกตัวอย่างเช่น สูตร Vermuele หรือสูตร Justin

$$\text{สูตร Vermuele} \quad F = R - (11 + 0.29R) (0.035T - 0.65)$$

$$\text{สูตร Justin} \quad F = 0.394(R^2/T) (B^{0.155}/A^{0.076})$$

- โดยที่
- F = ปริมาณน้ำไหลของตลอดทั้งปี (หน่วยเป็นนิ้ว)
 - R = ปริมาณฝนตกตลอดทั้งปี (หน่วยเป็นนิ้ว)
 - T = อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี (หน่วย °F)
 - B = ความแตกต่างระหว่างระดับต่ำสุดและสูงสุดของพื้นที่ของรับน้ำฝน (หน่วยเป็นฟุต)
 - A = พื้นที่ของรับน้ำฝน (หน่วยเป็นตร.ไมล์)

สูตรทั้งสองดังกล่าวไว้สำหรับบริเวณเทือกเขา Appalachian จนถึงเขตรัฐ New England และสำหรับภาคตะวันออกเฉียงของสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ ซึ่งได้มีการนำเอาสูตรทั้งสองมาใช้ในประเทศไทย ซึ่งไม่มีหลักประกันถึงความเหมาะสมและถูกต้องใด ๆ ทั้งสิ้น ผู้เขียนเคยยกเอาสูตรทั้งสองมาเป็นตัวอย่าง เพื่อให้เห็นรูปแบบของสมการที่ประกอบเป็นสูตร เพื่อให้วิศวกรหรือนักวิจัยของเรา ได้เห็นแนวทางการปฏิบัติในการวิจัยและค้นคว้าหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยบ้างในโอกาสข้างหน้า

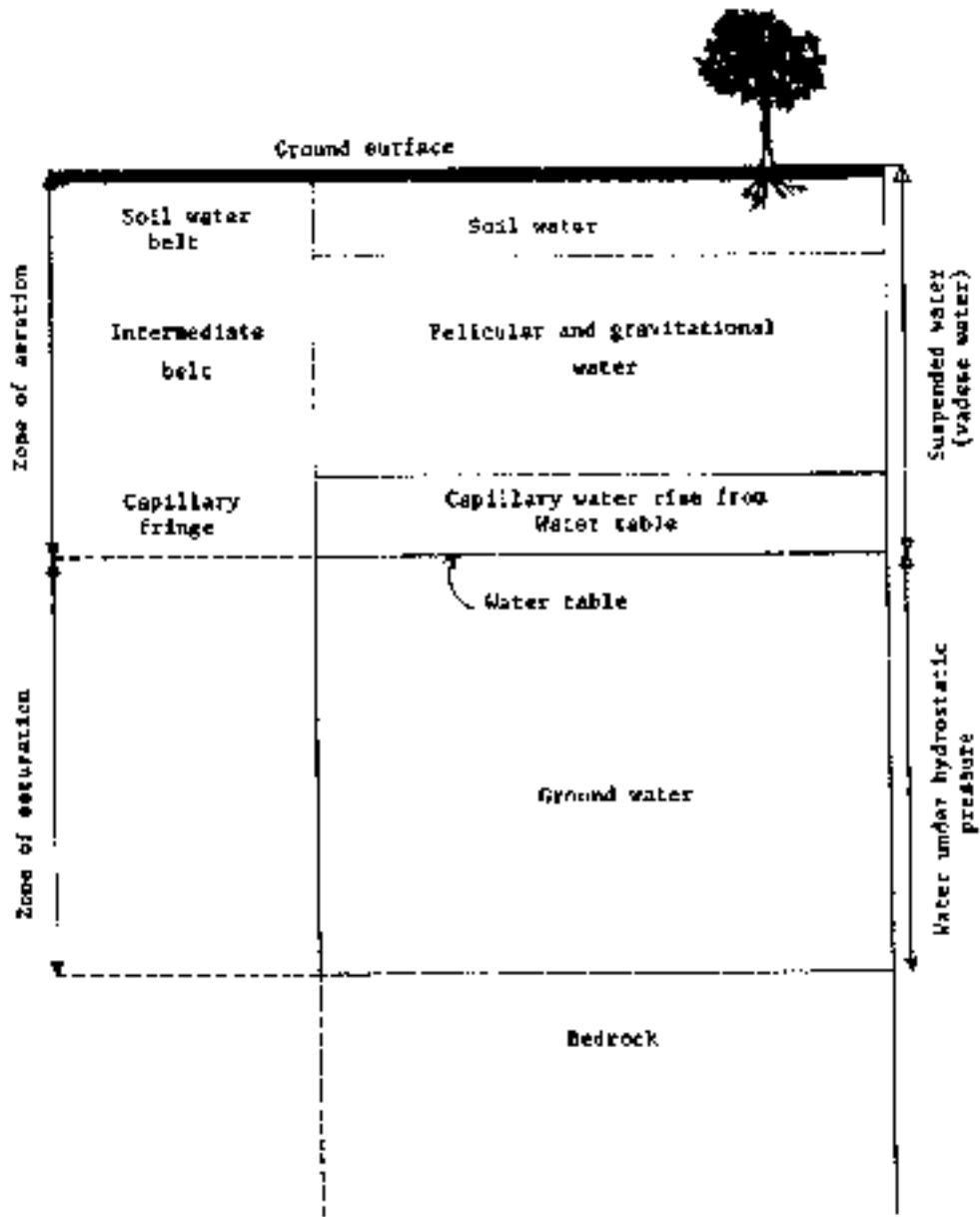
๕.๑ น้ำใต้ดิน

ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่า น้ำฝนที่ตกลงมาถึงพื้นดินบางส่วนจะถูกพืชดูดไว้ บางส่วนไหลลงสู่แม่น้ำลำธารหรือทะเล เป็นน้ำผิวดิน และบางส่วนไหลซึมลงไปได้ดินจะซึมผ่านชั้นต่าง ๆ ของดินจนถึงชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impervious Strata) น้ำที่กักอยู่รอบชั้นดินนี้เรียกว่า น้ำใต้ดิน โดยทั่วไปแล้ว การที่จะพิจารณาว่าน้ำชั้นนี้มาใช้ในการบริโภคสำหรับราษฎรนั้นก็ควรเมื่อต้องสิ้นชั้น เป็นแหล่งที่กักตุนน้ำตามผิวดิน ถึงมีน้ำจะเป็นเพราะดินฟ้าอากาศไม่ผ่านลมหรือผิวดินไม่อาจระเหยก็เก็บน้ำไว้ได้ หรือน้ำผิวดินที่มีอยู่แล้วมีปริมาณไม่พอ เทียบกับความต้องการของประชาชนในท้องถิ่นนั้น ในกรณีเช่นนี้ น้ำใต้ดินจึงเป็นแหล่งน้ำที่จะต้องพิจารณาเก็บสูบส่งออกไปจากแหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดินนั้นบางทีก็อยู่ลึก บางแห่งก็อยู่ตื้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสภาพธรณีวิทยาประเทศและดินฟ้าอากาศ กล่าวคือ ในท้องที่แถบทะเลทรายบางแห่งจุดหรือเจาะลงไปก็ไม่สามารถจะพบน้ำใต้เลย แต่ในทางตรงกันข้ามในท้องที่มีฝนตกชุก เมื่อจุดหรือเจาะขุดลงไปในระยะไม่ลึกนัก ก็สามารถที่จะพบน้ำได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) ในแถบนั้นจะอยู่ที่ตื้นหรือลึก

สำหรับความปริมาณนั้น ถ้าหากว่าจุดหรือเจาะขุดลงไปให้ลึก ถึงระดับน้ำในชั้นน้ำที่เรียกว่า น้ำบาดาลในที่ถูกกัก (Confined Ground Water) หรือ ขุดลงไปก็ไม่สามารถมีน้ำใช้ได้ตลอดปี นอกเสียจากว่าขุดถึงจุดหรือเจาะลงไปนั้นพบน้ำในชั้นน้ำบาดาลลอย (Perched Water) ซึ่งเก็บน้ำที่ฝังอยู่ใบชั้นดินที่อยู่บนดินของชั้นสัมผัสอากาศ ซึ่งจะทำให้กล้ำวในดินตื้นต่อไป หรือเพียงแค่ว่าขุดหรือขุดลงไปถึงชั้นน้ำที่มีระดับน้ำใต้ดินชั้น ๆ อาจจะไม่สามารถทำให้มีปริมาณน้ำใต้ดินตลอดปีก็ได้

๕.๑.๑ การขุดแยกประเภทของน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินซึ่งกล่าวข้างต้นนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น ๒ ประเภท ๆ (ดูภาพที่ ๑๑) คือ



ภาพที่ 2.6 การกระจายน้ำใต้ดิน

- (1) โซนสัมพัทธ์อากาศ (Zone of Aeration)
- (2) โซนอิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Saturation)

2.3.1.1 โซนสัมพัทธ์อากาศ (Zone of Aeration)

มีอาณาเขตตั้งแต่ผิวดินถึงระนาบผิวน้ำใต้ดิน (Water Table) เราสามารถ
จะแบ่งโซนนี้ออกได้เป็น 3 ชั้นด้วยกัน คือ

- (1) ชั้นดินชุ่มน้ำ (Belt of Soil Moisture)
- (2) ชั้นกลาง (Intermediate Belt)
- (3) ชั้นแรงดึงดูดสูง (Capillary Fringe)

ชั้นดินชุ่มน้ำ (Belt of Soil Moisture) ชั้นนี้จะมีน้ำประเทซึมซาบอยู่ในดิน
(Soil Layer) และชั้นดินลึกลงไปซึ่งมีความลึกเท่าที่รากไม้จะหยั่งลงไปถึงชั้น
ชั้นดินนี้สำหรับการเกษตรและการฝังศพของพืชพรรณชนิดนี้ น้ำบางส่วนจากชั้นนี้
อาจจะกลับไปสู่บรรยากาศโดยการระเหยจากดิน

ชั้นกลาง (Intermediate Belt) น้ำชั้นนี้เป็นน้ำที่ไหลผ่านชั้นดินชุ่มน้ำลงมา
ซึ่งรากไม้หยั่งไม่ถึง จะเป็นแถบที่โปร่งโยชน์สำหรับพืช และมีปริมาณน้ำเพียงพอที่
พืชมักจะนำมาใช้ประโยชน์ได้

ชั้นแรงดึงดูดสูง (Capillary Fringe) น้ำชั้นนี้ได้มาจากน้ำที่ผ่านจากชั้นกลาง
ลงมา น้ำบางส่วนจะถูกดูดกลับไว้ในระหว่างช่องว่างของดิน ที่รอบแรงดึงดูดสูง

ความหนาของชั้นนี้ ตั้งแต่ 1 ฟุต ถึง 10 ฟุต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่าง และ
รูปร่างของของสารที่ประกอบเป็นชั้นดิน

(หมายเหตุ: ชั้นกลาง หยาบ และดินเหนียว ก็ถือว่าเป็นชั้นดิน)

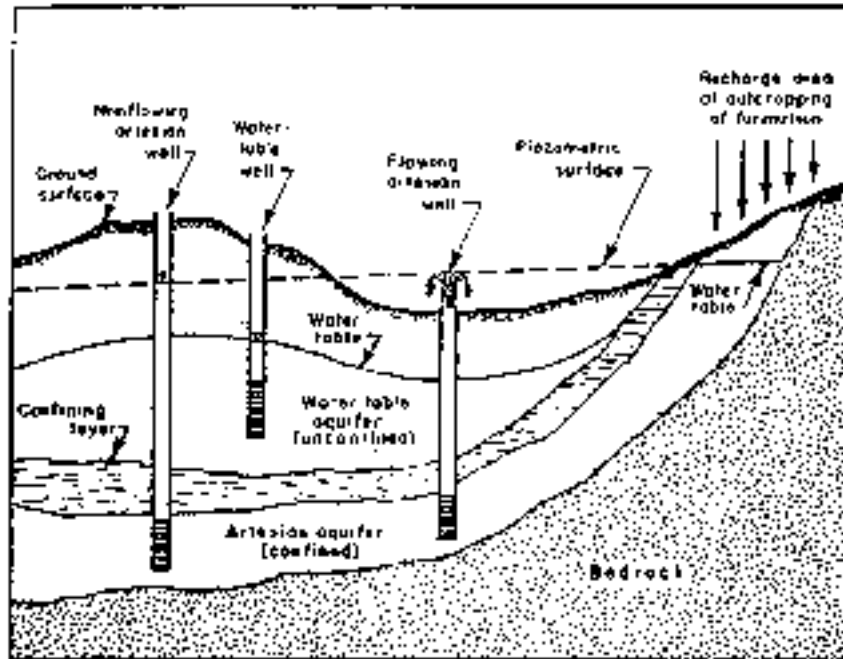
๒.๓.๑.๒ โซนอิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Saturation)

น้ำในโซนนี้เป็นน้ำที่เคลื่อนจากภาชนะถูกเก็บจนจางขึ้นถึงตามช่องว่างข้างดิน โซนอิ่มตัวด้วยน้ำนี้มีลักษณะคล้ายชั้นกรวดทราย (Sand & Gravel) หรือดินเป็นเนื้อหยาบ น้ำซึมได้ (Pervious Rock) หรือที่ว่าง (Void or Space) ช่องว่าง (Opening) รอยแตก (Crack or Joints) หรือโพรง (Caverns) ในหินต่างชนิดอย่างหนึ่ง น้ำที่เก็บอยู่ในโซนอิ่มตัวด้วยน้ำ เรียกว่า "น้ำบาดาล" (ซึ่งมีความหมายเหมือนกับน้ำใต้ดินที่ว่า น้ำใต้ดินหมายถึงน้ำทุกประเภทที่อยู่ใต้ผิวดินลงไป) รอยต่อระหว่างชั้นทั้งสองจะเรียกว่า โซนอิ่มตัวด้วยน้ำ เรียกว่า ระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญซึ่งเรื่องหนึ่งในวิชาทางด้านน้ำบาดาล ระดับน้ำใต้ดินนี้สามารถที่จะสังเกตและหาได้ง่าย จากระดับน้ำนิ่งในบ่อขุดหรือบ่อเจาะที่เจาะลึกลงไปถึงชั้นน้ำบาดาล

๒.๓.๒ น้ำบาดาล (Ground Water)

ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า น้ำบาดาลจะเกิดอยู่ในชั้นดินที่เป็นโซนอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งอาจประกอบด้วยชั้นกรวด ทราย ชั้นหินเนื้อหยาบ ในที่ว่าง รอยแตก หรือโพรงในชั้นดินอย่างใดอย่างหนึ่ง และชั้นน้ำบาดาลเหล่านี้จะรองรับด้วยดินเหนียว ไม่ยอมให้น้ำไหลซึมลงไปข้างล่างได้ดังต่อไป อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าน้ำบาดาลจะไม่ไหลซึมลงไปข้างล่าง แต่น้ำบาดาลจะมีการเคลื่อนไหลและไหลผั่งอยู่ตลอดเวลา การไหลของน้ำบาดาลมักจะมีทิศทางจากสูงเหมือนน้ำในแม่น้ำลำธาร กล่าวคือจะไหลไปสู่ที่ซึ่งมีระดับต่ำซึ่งมีระดับเป็นจุดสุดท้าย ซึ่งนี่ก็เหมือนกับลักษณะภูมิประเทศ และชั้นต่าง ๆ ของดิน (Soil Strata) ในชั้นลึก ๆ ก็สามารถกักและเก็บน้ำไว้ (ดูภาพที่ ๑.๖)

ชั้นดินกักเก็บน้ำที่สามารถจะจ่ายน้ำให้ได้ปริมาณมากเพียงพอในการใช้ตลอด เรียกว่าชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) ซึ่งมีความหมายแตกต่างกับชั้นหินกักเก็บน้ำ (Water Bearing Formation) ตรงที่ว่า ชั้นหินกักเก็บน้ำอาจจะให้น้ำได้มากเพียงพอหรือ



ภาพที่ ๒.๗ น้ำใต้ดินประเภทต่าง ๆ

ไม่เคยมองหาใช้ตลอดก็ได้ จนถึงชั้นหินปูนทุกประเภทที่ประเทศชวาเปเมเลียโลก ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งหินอุ้มน้ำและไม่อุ้มน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของหินเหล่านั้น คุณสมบัติทางธรณีวิทยาชั้นหินฐานของชั้นหินนี้จะบ่งชี้ให้ทราบว่า เป็นชั้นน้ำบาดาลที่หินใดก็ได้แก่ ความพรุน (Porosity) และความซึมได้ (Permeability) ซึ่งความพรุนและความซึมได้ของหินอุ้มน้ำมีส่วนสำคัญยิ่งต่อการกำเนิดและการปรากฏตัวของน้ำบาดาล โดยทั่วไป ความพรุนของหินมีอิทธิพลที่จะให้หินอุ้มน้ำได้มากหรือน้อย หินซึ่งมีรูพรุนมากก็จะอุ้มน้ำได้มาก ปกติหินน้ำไหลผ่านได้มาก หินบางชนิดมีรูพรุนไม่คงเมื่ออยู่กับ หินบางชนิดมีรูพรุนเล็กน้อยจนไม่ยอมให้น้ำไหลผ่าน ความต้านทานของหินตมที่จะยอมให้น้ำไหลผ่านได้ ถือเป็นคุณสมบัติในการให้น้ำซึมได้ของหินอุ้มน้ำ

ประมาณ ๑๐ เปอร์เซ็นต์ ของหินอุ้มน้ำที่ได้มีการพัฒนาน้ำบาดาลมาใช้แล้วนั้น ประกอบด้วยหินร่วน (Unconsolidated Rocks) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินกรวด

ทราบ สืบค้นน้ำประเภณี หอจดแบ่งแยกตามลักษณะการปรากฏตัวอยู่ในธรรมชาติ
ได้ 4 พวก คือ

- (1) กรวดทรายตามลำน้ำ
- (2) กรวดทรายในร่องน้ำเก่า ๆ
- (3) กรวดทรายในทุ่งราบ
- (4) กรวดทรายในหุบเขา

(1) กรวดทรายตามลำน้ำ ประกอบด้วยชั้นกรวดทรายรองรับโคลนแม่น้ำ และ
กรวดทรายในที่ลุ่มน้ำหลาก (Flood Plains) ในบริเวณข้างเคียงลำน้ำ น้ำ
บาดาลที่เจาะในบริเวณนี้มักจะได้ปริมาณน้ำมาก เนื่องจากน้ำในแม่น้ำธาราอันมี
โอกาสไหลซึมเข้าในชั้น

(2) กรวดทรายในร่องน้ำเก่า ๆ กรวดทรายประเภณีถูกทับถมอยู่ใต้ดิน ไม่มี
โอกาสเป็นร่องน้ำต่อไป มักจะได้ปริมาณน้ำน้อยกว่าประเภทแรก ถึงแม้จะมีคุณสมบัติชั้น ๆ
เหมือนกัน ก็ยังมีเพราะขนาดน้ำไหลเพิ่มขึ้น

(3) กรวดทรายในทุ่งราบ ในกรณีทุ่งราบ ปรากฏว่าทุ่งราบสันกว้างใหญ่ราบ
แห่งนี้มีชั้นกรวดทรายต่าง ๆ มีอาณาเขตกว้างขวาง ทำให้เกิดแหล่งผลิตน้ำบาดาล
ที่มีมา ทุ่งราบที่มีชั้นกรวดทรายบาง ๆ เป็นที่ย่อม ๆ เป็นแหล่งผลิตน้ำบาดาลที่มีน้ำ
น้อย

(4) กรวดทรายในหุบเขา กรวดทรายประเภณี ปรากฏว่าในที่ย่างแห่งนี้กรวด
ทรายสะสมอยู่ลึกแคว้นน้ำ กรวดทรายส่วนมากได้จากการผุพัง และทับถมของเศษ
หินจากภูเขา ปริมาณน้ำที่ได้จากแหล่งน้ำประเภทนี้จึงขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติการเรียง
และวางตัวของกรวดทรายและเศษหิน หากกรวดทรายเรียงตัวมีช่องว่างใด ๆ ไม่
มีหินหรือทรายละเอียดเข้าไปอุดในช่องว่าง ก็มีโอกาสที่จะได้ปริมาณน้ำได้มาก แต่ถ้าม
ช่องว่างเล็กเนื่องจากมีกรวดทรายขนาดต่าง ๆ ผสมกัน ก็มีโอกาสดำเนินได้น้อย

๒.๑.๖ ชนิดน้ำบาดาลและหินอุ้มน้ำ

ได้กล่าวถึงศัพท์นิยามว่า หินอุ้มน้ำจะมีคุณสมบัติประการสำคัญที่สุด ก็คือ ความพรุน สามารถให้น้ำไหลผ่านได้ ในบางกรณีภายในหินน้ำจะมีทั้งหินเพื่อพรุนและ ไม่พรุน ทำให้มีน้ำบาดาลที่กักเก็บบนผู้ภายในมีลักษณะแตกต่างกัน และ เป็นเหตุให้เกิดการแบ่งแยกน้ำและหินอุ้มน้ำออก เป็นหลายประเภท หลักใจอยู่ในการแบ่งแยกนั้นก็เนื่องจากความแตกต่างในลักษณะการปรากฏตัวของน้ำบาดาลในชั้นหิน และการไหลลงของน้ำบาดาลเป็นหลัก ฉะนั้น กลุ่มที่จะกล่าวถึงชนิดของน้ำบาดาลและหินอุ้มน้ำ ผู้สนใจในธรรมชาติของน้ำบาดาลควรจะเข้าใจหลักเบื้องต้น ในการไหลของน้ำบาดาลอย่างคร่าวๆ เสียก่อน

การไหลของน้ำบาดาลมีสาเหตุ ๖ ประการ คือ

ประการที่หนึ่ง เนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) ไม่ได้วางตัวอยู่ในแนวระดับ ความลาดเอียงดังกล่าวนี้ก่อให้เกิดความชัน (Gradient) ขึ้นเป็นเหตุให้น้ำบาดาลไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก เหมือนที่ปรากฏให้เห็นจากการไหลของแม่น้ำและลำธาร

ประการที่สอง เนื่องมาจากความวางตัวของชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งอยู่ในระหว่างชั้นหินเนื้อแน่น ปรากฏการณ์นี้เปรียบได้กับหิมะน้ำซึ่งหิมะน้ำไหลได้ทางเดียว คือไหลจากปลายคอก้านสูงลงสู่ปลายคอก้านต่ำ ทั้งนี้เพราะความกดดันที่ปลายคอก้านสูงไม่เท่ากัน ในกรณีน้ำบาดาลที่อยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งวางตัวอยู่ในระหว่างหินเนื้อแน่นนั้น แนวการไหลก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่แรงดันอันเป็นเหตุให้เกิดการไหลนั้น เกิดเนื่องจากน้ำหนักของชั้นหินเนื้อแน่นที่กดทับอยู่ ประการหนึ่ง กับน้ำหนักของน้ำในชั้นเดียวกันแต่อยู่ที่ระดับสูงกว่า อีกประการหนึ่ง

ประการที่สาม สาเหตุประการที่สามที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำบาดาล ที่เกิดจากการซึบของน้ำบาดาลแล้วสูบน้ำออก การสูบน้ำออก (Pumpage) จะมีผลให้ความกดดันในชั้นน้ำตรงที่ซึบออกต่ำลง อย่างหนึ่ง และทำให้ระดับน้ำบาดาลรอบ ๆ บ่อ

น้ำประปาจะมีจึงเป็นชั้นดินที่มีชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งลงมาจากชั้นแรงดึงดูดสูงถึงจุดต่ำลง ซึ่งกล่าวข้างต้น นี้ชื่อเรียกว่า ชั้นดินน้ำอิสระ (Unconfined Aquifer) ชั้นดินแบบนี้สามารถซึมได้ ปะทะขอบที่รับหินทรายและกรวดอยู่ตอนบน ส่วนชั้นล่างเป็นดินเหนียวหรือดินซึ่งน้ำไหลผ่านไม่ได้ (Impervious Layer) ขอบทางและควมสำคัญของน้ำและดินชั้นน้ำประปาจะมีอยู่ที่ระดับน้ำใต้ดิน เพราะ

ก. ระดับน้ำใต้ดินจะช่วยชี้บอระดับน้ำในแหล่งน้ำบาดาล รวมทั้งบอกปริมาณในที่เกิด และความลึกที่ควรเจาะเขาระบ่อน้ำบาดาล

ข. ความลาดเอียงของระดับน้ำใต้ดิน จะบอกอัตราการไหลของน้ำ และความสามารถ (Permeability) ของชั้นดินชั้นน้ำ ที่ถ้ารู้ค่าความลาดเอียงจะแปรเปลี่ยนโดยตรงกับความเร็วของการไหลของน้ำ และแปรเปลี่ยนเป็นส่วนกลับกับความซึมได้

ค. ระดับความลึกของระดับน้ำใต้ดินจากผิวดิน มีส่วนสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศโดยประมาณ ถ้าเราคิด ใบที่สูงระดับน้ำใต้ดินจะลึกลง ส่วนใบที่ต่ำระดับน้ำใต้ดินจะตื้นขึ้น ในพื้นที่ราบเรียบซึ่งไม่มีร่องน้ำระดับน้ำใต้ดินอาจจะขึ้นมาอยู่ใกล้ ๆ ผิวดิน

ง. ถ้าแนวระดับน้ำใต้ดินไหลลัดผ่านแนวอากาศชั้นของผิวดินหรือสิ่งแม่มีน้ำ น้ำบาดาลจะไหลออกไปสู่ที่ชื้นชื้นใด ๆ ทำให้เกิดหลุม ลำธาร ทะเลสาบ น้ำซับ หรือน้ำพุแม่มีน้ำลำธารที่ได้จากน้ำบาดาลโดยตรง และมีน้ำไหลตลอดปีมีชื่อเรียกว่า เอฟฟลูเอนท์ สตรีม (Effluent Stream) น้ำพุและน้ำซับซึ่งได้น้ำจากน้ำบาดาลประเภทนี้ก็มีชื่อเรียกว่า Effluent Spring และ Effluent Seepage ตามลำดับ ในทางธรณีวิทยา ถ้าหากระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่าท้องแม่มีน้ำลำธาร น้ำจากแม่มีน้ำลำธารบางส่วนก็จะไหลลงสู่แหล่งน้ำบาดาลด้วยแรงดึงดูดความดัน แม่มีน้ำลำธารก็มีชื่อเรียกว่า อินฟลูเอนท์ สตรีม (Influent Stream)

จ. การเปลี่ยนแปลงในของของระดับน้ำใต้ดิน (Fluctuation of Water

level) เป็นเครื่องชี้บอกถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในทรงเก็บ ที่ผ่านคือ ถ้าระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นแสดงว่าปริมาณน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นเนื่องมาจากได้มีการไหลซึมเติมน้ำจากที่อื่น หรือได้เติมเติมน้ำจากน้ำฝน แต่ถ้าระดับน้ำลดลงก็แสดงว่าปริมาณน้ำบาดาลลดลง อาจจะเป็นเนื่องมาจากการสูบน้ำไปใช้งานเกินปริมาณน้ำที่ขุดเพิ่ม (Overdraft) หรือเนื่องจากการสูญหายของน้ำไปโดยการระเหยเป็นไอ เช่น ในฤดูร้อนซึ่งน้ำใต้ดินอาจระเหยเป็นไอได้มาก

๑. ดินแข็งมีรอยแตกกว้างมาก หรือมีโพรงมาก แต่รอยแตกหรือโพรงเหล่านี้ไม่ได้ต่อเนื่องกัน จะมีระดับน้ำใต้ดินระดับเดียวทั่วทั้งพื้นที่หรือหลายระดับก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ถูกถ่ายเทออกหรือเพิ่มเข้า ในแต่ละรอยแตกกว้างหรือแต่ละโพรง

๒. แผนที่ความชื้นของระดับน้ำใต้ดิน (Water Table Map) จะแสดงให้เห็นความลึกชั้นของระดับน้ำบาดาล และน้ำสู่การพิจารณาทางทิศทางและอัตราการไหลของน้ำบาดาล การคำนวณความลึกภายในแต่ละเก็บ ปริมาณน้ำที่ไหลออกสู่แม่น้ำลำธาร หรือได้รับจากแม่น้ำลำธาร ปริมาณการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหล และการหาความชื้นใต้ของชั้นหิน (หมายเหตุ: แผนที่ความชื้นของระดับน้ำใต้ดินนี้ หมายถึง แผนที่แสดงแนวพรางและบริเวณที่มีระดับน้ำบาดาลเท่ากัน เขียนแทนด้วยเส้นสายของมุมฉาก (Contour Line)

๒.๓.๓.๒ น้ำบาดาลในชั้นกักขัง

เป็นน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งวางตัวอยู่ระหว่างชั้นหินเหนียวซึ่งทำหน้าที่คล้ายคาน้ำกั้นน้ำ ดังกล่าวข้างต้น น้ำชนิดนี้จะอยู่ภายใต้ความกดดัน เนื่องจากน้ำหนักของหินที่กดทับและน้ำหนักของน้ำในชั้นหินเหนียวแล้วอยู่ต่างระดับ (Hydrostatic Pressure) การไหลของน้ำชนิดนี้ มีสาเหตุเนื่องมาจากความกดดันดังกล่าวเพียงอย่างเดียว ชั้นหินอุ้มน้ำชนิดนี้เรียกว่า "หินอุ้มน้ำกักขัง" และเรียกหินเหนียวที่กกดทับและระงับไว้ว่า "หินกักขัง" (Confining Rock) การปรากฏตัวของหินอุ้มน้ำกักขังนี้ อาจจะถูกจัดให้เป็นหินอุ้มน้ำอิสระ (Unconfined Aquifer) แต่ถูกกัก

กลางด้วยชั้นดินกักกั้น หรืออาจขุดรูโหลฝังหินกรวดในบริเวณนั้น ๆ ไม่มีชั้นน้ำประ-
 เปรยไหลปราศจากความกดดัน จำนวนชั้นหินอุ้มน้ำกักซึ่งที่ปรากฏในธรรมชาติอาจ-
 จะมีมากกว่า ๖ ชั้น แต่จะขึ้นอยู่กับขนาดของชั้นดินกักกั้น และน้ำในชั้นจะ ขึ้นไม่มีความ
 เกี่ยวเนื่องกัน การวางตัวของหินอุ้มน้ำประเภทนี้อาจจะเป็นได้ทั้งแนวราบ และ
 เอียงเอ แต่ส่วนมากมักจะวางตัวแนวเอียง ฉะนั้นจึงปรากฏว่าชั้นน้ำที่เอียงนี้อาจ
 จะไหลขึ้นให้เด่นที่บริเวณเชิงเขา ริมเขา ยอดเขา หรือแม้แต่ไหลเข้าหาชั้นหินอุ้-
 น้ำประเภทที่สาม ซึ่งชั้น ชั้นบนแล้วแต่โครงสร้างทางธรณีวิทยาของชั้นหิน บริเวณที่
 ชั้นน้ำเหล่านี้ไหลขึ้นสู่ผิวดิน เรียกว่าปากทางน้ำเข้า (Intake Area) เพราะ
 น้ำฝนหรือน้ำจากแม่น้ำได้ธารมีไหลลงไหลเข้าสู่ชั้นน้ำ (Recharge) โดยตรง
 ส่วนในกรณีที่ไหลเข้าหาชั้นน้ำอิสระก็ได้รับน้ำเพิ่มเติมเช่นเดียวกัน

ได้กล่าวแล้วข้างต้นว่า น้ำบาดาลประเภทนี้ถูกกัก เก็บอยู่ภายใต้ความกดดัน ฉะนั้น
 เมื่อเจาะตักอุ้มน้ำลงไปถึงชั้นน้ำประ- เปรยที่แรงดันจะดันให้ระดับน้ำขึ้นมาอยู่เหนือ
 ระดับผิวดินชั้นหินอุ้มน้ำ ความสูงของระดับน้ำที่ขึ้นมาชั้นนี้ ตามทฤษฎี จะสูงเท่ากับระดับน้ำ
 ในชั้นเคอวิคัมซึ่งอยู่บริเวณปากทางน้ำเข้า แต่โดยปกติก็มีอัตราการต้านทานของหิน
 ต่อการไหลของน้ำ (Friction Loss) ทำให้ความสูงของน้ำในบ่อ ต่ำกว่า
 ระดับทางทฤษฎีเล็กน้อย ฉะนั้น ถ้าขุดบริเวณปากทางน้ำเข้ามีระดับความสูงน้อยกว่าระดับ
 ชั้นน้ำในบ่อก็จะสูงกว่าระดับชั้นน้ำในบ่อเล็กน้อย แต่ถ้าปากทางน้ำเข้าอยู่บนภูเขาและ
 บริเวณบ่อขุดหรือเจาะบนภูเขารอบหรือบนเขา ระดับน้ำในบ่อก็จะสูงขึ้นไปเกือบเท่ากับ
 ความสูงของภูเขา ในกรณีนี้ น้ำจากบ่อจะไหลขึ้นพื้นผิวดินกลายเป็นน้ำพุที่เรียกว่า
 "บ่อน้ำพุ" (Flowing Well) มีระดับน้ำในบ่อจะอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำกักซึ่ง
 ไม่ว่าขุดอยู่เหนือผิวดินหรือต่ำกว่าผิวดิน เรียกว่า "ผิวเขตความดัน" (Pressure
 Surface or Piezometric Surface) การเปลี่ยนแปลงชั้นของ ของปริมาณ
 น้ำในชั้นนี้ เหมือนน้ำบาดาลประเภทแรกแต่มีสาเหตุเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง
 ความดัน

๒.๓.๔ น้ำบาดาลปลอม (Perched Water)

นอกจากน้ำบาดาลที่กล่าวถึงทั้งสองชนิดแล้ว ยังมีน้ำอีกประเภทหนึ่งซึ่งไม่จัดเป็นน้ำ

บาดาล แต่มีพฤติการณ์การก่อเกิดเหมือนน้ำบาดาล กล่าวคือ เมื่อฝนตกและน้ำไหลซึมซาบลงไปได้ถึงชั้นหินอุ้มน้ำชั้นบรรยากาศ ถ้าในชั้นนี้มีหินแข็งแน่นน้ำซึมไม่ได้ เช่นหินเทปิวาหรือหินดินดานไปตกอยู่ค้างงอเป็นแอ่งเก็บน้ำอยู่ขณะไหลต่อเนื่อง น้ำที่ซึมลงไปส่วนหนึ่งจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาลดังกล่าวข้างต้น แต่อีกส่วนหนึ่ง อาจจะลงสู่แอ่งตื้นๆเก็บอยู่ใต้อ่างนี้ น้ำที่เก็บอยู่ในแอ่งตื้นๆนี้เรียกว่า "น้ำบาดาลปลอม" (Perched Water) เพราะเป็นเหตุให้เกิดการเข้าใจผิดบ่อย ๆว่าเป็นชั้นน้ำบาดาลที่แท้จริง เมื่อจุดบ่อลงไปตื้นๆแรกจะสูบน้ำได้มาก บาง ๆ เข้าน้ำก็หมด และน้ำประเดเลทก็จะมีระดับน้ำใต้ดินเหมือนกัน แต่เรียกว่าระดับน้ำปลอม (ดูภาพที่ ๑.๖)

๑.๔ น้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานคร และจังหวัดใกล้เคียง

กรุงเทพมหานคร และจังหวัดใกล้เคียง เป็นส่วนหนึ่งของแอ่งเจ้าพระยาตอนใต้ ซึ่งเป็นที่ขามลุ่มภาคกลาง มีขี้โคลนชั้นทรายต้องมาจนกระทั่งถึงปากแม่น้ำ น้ำบาดาลในเขตกรุงเทพ ฯ เกิดอยู่ในชั้นกรวดทรายซึ่งวางตัวเบียด ๆ และระดับแอ่งแยกจากกันด้วยหินดินเหนียว ชั้นกรวดทรายที่ให้น้ำจืดจะอยู่ใต้ดินลึกลงไปปากกว่า ๕๐ เมตร ส่วนชั้นกรวดทรายที่อยู่ตื้น จะให้น้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม จากการวิเคราะห์และสำรวจทางธรณีวิทยา เชื่อว่าการสะสมและทับถมของชั้นกรวดทรายที่ให้น้ำจืดเหล่านี้ อาจเกิดอยู่ตื้นๆ แต่ต่อมาเมื่อมีชั้นน้ำทะเลท่วม และได้เกิดการสะสมและทับถมของกรวดทรายและกรวดทรายเหนียวเหนียวขึ้นในทะเล ชั้นกรวดทรายใหม่มีวางอยู่ชั้นหินดินเหนียวที่ขมอยู่ ภายหลังอีกไม่ห่างแผ่นดินถูกยกตัวหรืออาจเป็น เพราะว่ามีน้ำทะเลเอ่อท่วมออกไปยังระดับที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ชั้นทรายและกรวดซึ่งเคยอยู่ในทะเลจึงถูกเอาความเค็มไว้จวบถึงปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ชั้นกรวดทรายที่ขมอยู่จึงมีน้ำจืดสะสมอยู่ แต่ชั้นที่อยู่ตื้นมีน้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม แต่มีน้ำเค็มนี้สามารถซึมลงไปได้เนื่องจากการมีชั้นดินเหนียวหนาถึง ๑๐-๒๐ เมตรกันไว้ น้ำบาดาลทุกบ่อในกรุงเทพ ฯ จะต้องเจาะทะลุชั้นดินเหนียวชั้นนี้จึงจะได้น้ำจืด

จากการสำรวจทางธรณีวิทยา พบว่าชั้นน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพ ฯ รวมจังหวัดนนทบุรี, สมุทร, และสมุทรปราการ มีลักษณะซึ่งมีปริมาณและคุณภาพ แตกต่างกัน และสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.4.1 ชั้นน้ำในกรุงเทพฯ

ชั้นน้ำในกรุงเทพฯ เป็นชั้นบนสุดที่มีความหนาประมาณ 75 เมตร มีน้ำใต้ดินที่ใต้จะมีคุณภาพต่ำ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ลักษณะของดินในชั้นนี้มีความหนาแน่นตามความลึกได้ ดังนี้

ระดับ 15-20 เมตร (จากผิวดิน) เป็นดินเหนียวสีเทา ทั่วแนวทะเล อ่อนน้ำเค็ม ชัด จึงเรียกว่า ดินเหนียวน้ำเค็ม (Marine Clay)

ระดับ 20-30 เมตร (จากผิวดิน) เป็นดินเหนียวสีน้ำตาลเหลือง และน้ำตาลปนเทา เนื้อแน่นและอ่อนน้ำเค็ม ดินชนิดนี้เรียกว่า ดินเหนียวกรุงเทพฯ

ระดับ 30-40 เมตร (จากผิวดิน) เป็นดินเหนียวสีเทา สลับชั้นกรวดหรือชั้นทรายสีน้ำตาลปนเทา แต่จะขึ้นหนาไม่น้อยกว่า 3-6 เมตร และจะขรุขระขึ้นชั้นกรวดทรายซึ่งวางอยู่บนชั้นดินเหนียวหนาไม่น้อยกว่า 10 เมตร ชั้นดินเหนียวที่ทับถมลงน้ำมากตามตอนล่าง

ชั้นน้ำบาดาลบนสุดของกรุงเทพฯ มีน้ำที่เริ่มตื้นที่ระดับ 30-40 เมตร จนถึงระดับ 75 เมตร ปริมาณน้ำมากแต่มีรสเค็มจัด ซึ่งนำไปใช้ไม่ได้ มีข้อน่าสังเกตว่าในแถบพระนคร-ธนบุรี ดอนใต้ บริเวณนี้ตั้งแต่ท่าเรือราชบุรีจนถึงท่าเรือบางหลวงไปทางใต้ จะมีชั้นน้ำกร่อยแทรกอยู่ในชั้นน้ำเค็มดังที่กล่าวที่ระดับตั้งแต่ประมาณ 30 - 75 เมตรแต่ไม่มีชั้นน้ำกร่อยในเขตบางนา-บางบอน-หนอง

2.4.2 ชั้นน้ำห้วงลึกของทะเล

ชั้นดินนี้ นับตั้งแต่ชั้นดินเหนียวซึ่งหนาไม่น้อยกว่า 10 เมตร จนถึงระดับ 120-135 เมตร เป็นชั้นการรวมทรายสีขาว ซึ่งเข้าใจว่าเป็นชั้นล่างสุด ของตะกอนที่สะสมและทับถมในน้ำทะเล เหนือที่ได้กล่าวไปนั้นๆ เพราะจะพบเปลือกหอยและไม้ที่ฝัง

กลายเป็นดินสี (Peat) ชั้นนี้ถือเป็นชั้นน้ำบาดาลที่ 2 ของกรุงเทพฯ ปริมาณน้ำมีมาก เพราะเกือบเรียกได้ว่า เป็นชั้นสีน้ำที่ลึกของกรุงเทพฯ แต่เป็นน้ำกร่อยหรือค้ำก้นข้างแคบ จึงไม่มีใครขุดขึ้นมาใช้ อย่างไรก็ดี ยังมีจุดเด่นอยู่ในบริเวณพระนคร-ธนบุรีตอนใต้ นับจากแนวอ่าวเบงกอลจรดทุ่งมะพร้าว โขงขวาง บางขุนเทียน และป้อมพระจุลฑา ซึ่งจะมีน้ำจืดแทรกอยู่ในชั้นนี้ด้วยที่มีความลึกประมาณ ๘๕-1๐๐ เมตร ถือเป็นชั้นน้ำจืดชั้นเดียวในเขตพระนคร

๒.๔.๓ ชั้นน้ำกรวด

ชั้นน้ำกรวด เริ่มจากชั้นน้ำกรวดประแดงจนถึงระดับ ๒๕๐-๒๗๐ เมตร ประกอบด้วยชั้นกรวดและชั้นกรวดละเอียดกับชั้นดินเหนียว ความหนาของแต่ละชั้นอยู่ในช่วง ๑๐-๒๐ เมตร ชั้นดินเหนียวมีความหนาประมาณ ๗ เมตร แต่อาจปกคลุมเบียดไปไกล น้ำบาดาลอยู่ในชั้นกรวดและชั้นทรายซึ่งกั้นกลางด้วยชั้นดินเหนียว ถือเป็นชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ ๓ และเป็นชั้นที่มีการเจาะขุดขุดมากที่สุดในเขตกรุงเทพฯ ความลึกเฉลี่ยของขุดบาดาลประมาณ 170-๒๐๐ เมตร น้ำที่ได้มีคุณภาพดีและให้ประมาณสูงถึง 1๐๐ ลบ.เมตร/ชม. ในปัจจุบันน้ำทะเลกำลังซึมเข้าชั้นน้ำกรวดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลไปใช้มากเกินพอ

๒.๔.๔ ชั้นน้ำปนทราย

ชั้นนี้มีความลึกตั้งแต่ 21๕-๒๕๐ เมตร ให้น้ำที่มีขุ่นเทาหัดมาก และมีปริมาณมากถึง ๒๐๐-๒๕๐ ลบ.เมตร/ชม. โรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนต่างๆ ในท้องที่ตำบลบางเขน และอำเภอบางกะปิ ใช้น้ำบาดาลจากชั้นน้ำปนทรายนี้

๒.๔.๕ ชั้นน้ำปากน้ำ

เป็นชั้นน้ำจืดที่ลึกถึง ๓๐๐ เมตร ลักษณะทั่วไปเป็นชั้นกรวดทรายที่มีความหนาแน่นมาก

และมีชั้นหินเนื้ออ่อนปนกันระหว่างชั้นน้ำแม่ขุขินและชั้นนี้ ปริมาณน้ำที่สูบได้สูงกว่า ๑๐-๓๐ ลบ. เมตร/ชม. และ เป็นน้ำที่มีคุณภาพดี ดักตะกอนคือมีจุดตะกอนสูงถึง ๖๖.๘ ชั้นน้ำปากน้ำ เป็นแหล่งบาคาลที่ลึกที่สุดเท่าที่มีการขุดเจาะที่ในเขตกรุงเทพมหานคร การไหลผ่านสายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ดำเนินการขุดที่โรงจักรพระนครได้ซึ่ง อยู่ไม่เขตสมุทรปราการ (ปากน้ำ)

เท่าที่มีการสำรวจขุดในจังหวัดอื่น นอกภาคในเขตนครหลวงมีไม่น้อยกว่า ๗๐๐๐ บ่อ เครื่องสูบน้ำใช้มีขนาดตั้งแต่ ๒ นิ้วไปจนถึง ๑๐ นิ้ว สูบน้ำได้ตั้งแต่ ๑.๕ ลบ.ม./ชม. จนถึง ๕๐๐ ลบ.ม./ชม.

สารบัญเฉพาะบทที่ ๓

การเก็บคักน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา

๓.1	วิธีการคำนวณค่าความขุ่นของอ่างเก็บน้ำ	46
3.1.1	วิธีวิเคราะห์ค่าความขุ่นของอ่างเก็บน้ำ	46
3.1.2	วิธีหาขนาดของอ่างเก็บน้ำด้วยวิธีการกราฟ	๕2
3.2	การเลือกสถานที่ตั้งอ่างเก็บน้ำ	56

บทที่ ๑

การเก็บกักน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา

ดังได้กล่าวแล้วว่า น้ำผิวดิน เป็นแหล่งน้ำดิบที่สำคัญมากในการผลิตน้ำประปา เพราะ
 ถูกมีปริมาณมากกว่าแหล่งน้ำอื่น และสะดวกต่อการนำมาใช้ประโยชน์ การใช้น้ำ
 ได้ดิบหลวงจำ เป็นในบริเวณที่หาแหล่งน้ำผิวดินได้ยาก หรือไม่สะดวก แต่ทุกบริเวณ
 ก็มีใช้ว่าจะหาแหล่งน้ำใต้ดินได้เสมอไป นอกจากนี้ การใช้น้ำใต้ดินก็เป็นกิจการ
 ที่ต้องลงทุนสูง เช่นต้องเสียค่าเจาะบ่อและติดตั้งเครื่องสูบน้ำมาหาก สำหรับปริมาณ
 น้ำที่ขุดขึ้นมาใช้งานใต้มักมีอัตราค่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำผิวดินของน้ำ
 ใต้ดิน

อนึ่ง จากการตรวจวัดปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในระดับน้ำต่าง ๆ ตลอดปี พบว่าในฤดูแล้ง
 ค่าน้ำใต้ดิน จะมาก ส่วนส่วนน้ำใต้ดินชั้นที่ลึกลงจะมีน้ำใต้ดินบ้างเล็กน้อย แม้น้ำใต้ดิน
 บางจังหวัดมีน้ำใต้ดินตลอดปี ซึ่งเกิดจากน้ำใต้ดินไหลลงมาจากกลุ่มน้ำตื้นบน แต่อย่าง
 ไรก็ตาม กล่าวได้ว่า ปริมาณน้ำหน้าแล้งมีน้อยมาก หากจะเปรียบเทียบอัตราน้ำ
 ใต้ดินอยู่ในช่วงน้ำฝนลงกับระดับแล้งซึ่งมีน้ำแล้ว อาจมากกว่ากันได้ราว ๕๐ ถึง ๑๐๐
 เท่า หรือบางแห่งมากกว่านี้ก็มี ดังนั้น ฤดูน้ำฝนจึงมีน้ำมากจนใช้ไม่ทัน แต่ฤดู
 แล้งมีปริมาณน้ำน้อยจนไม่พอใช้ ซึ่งเห็นได้ว่า หากช่วงเวลาที่ต้องการใช้น้ำไม่ตรงกับ
 กับเวลาที่มีน้ำแล้ว กล่าว เป็นต้องมีการควบคุมบังคับน้ำหรือพัฒนาแหล่งน้ำ เพื่อเก็บกัก
 ไว้ใช้ให้พอเพียงตลอดทั้งปี เช่น สร้างอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

หลักที่ใช้ในการพิจารณาถึงความจำเป็นที่ต้องมีอ่างเก็บน้ำหรือไม่ มีดังนี้

- ก) ถ้าอัตราเฉลี่ยของกรไหลของแม่น้ำลำธาร มีปริมาณต่ำกว่าอัตราเฉลี่ยของ-

ความคั่งของก๊าซไนโตรเจนที่แสดงว่าแหล่งน้ำดิบมีปริมาณไม่เพียงพอ

- ข) ค่าอัตราค่าสุดของการไหลในแม่น้ำลำธาร มีปริมาณสูงกว่าอัตราสูงสุดของการใช้น้ำ อ่างเก็บน้ำก็เช่นเดียวกันไม่เป็น เพราะมีน้ำหรือเสียอยู่ตลอดเวลา
- ค) ค่าอัตราเฉลี่ยของการไหลในแม่น้ำลำธาร มีปริมาณสูงกว่าอัตราเฉลี่ยของการใช้น้ำ และอัตราค่าสุดของการไหล มีปริมาณน้อยกว่าอัตราเฉลี่ยของการใช้น้ำ แสดงว่าอ่างเก็บน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องมี เพื่อเก็บกักน้ำในฤดูน้ำหลากเอาไว้ใช้ในฤดูแล้ง

๑.๑ วิธีคำนวณหาขนาดของอ่างเก็บน้ำ

วิธีที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของอ่างเก็บน้ำ มี ๒ วิธี คือ

- ๑. วิธีวิเคราะห์ด้วยตาราง
- ๒. วิธีกราฟ

๑.๑.๑ วิธีวิเคราะห์หาขนาดของอ่างเก็บน้ำ

ขั้นตอนในการวิเคราะห์หาขนาดของอ่างเก็บน้ำ มีดังนี้

- ก) หาสถิติน้ำฝน ๑๕ เดือน ของปีที่มีฝนตกน้อยที่สุด
- ข) หาสถิติของอัตราการระเหยของผิวน้ำ และค่าการซึมลงใต้ดินตลอดทั้งปี (๑๕ เดือน)
- ค) หาอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนตลอดทั้งปี ของปีที่ต้องการน้ำสูงสุด
- ง) โจทย์ที่ได้ทั้งหมด นำมาใส่ไว้ในตารางให้เป็นระเบียบ จากขั้นตอนนี้หาอัตราช่วยของน้ำฝนที่กลายเป็นน้ำท่วม (% runoff) ในแต่ละเดือนของปี
- จ) นำมาคำนวณปริมาณไหลของน้ำท่วม ในแต่ละเดือนของปี โดยการคูณอัตราส่วนตกกับ % runoff

- ด) ค่ามวลสารปริมาณน้ำที่สูญเสียไป เนื่องจากการระเหยในอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากในชั้นนี้ยังไม่มีความทราบแน่ชัดของอ่างเก็บน้ำได้ การคำนวณปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหยจึงกระทำโดยใช้โดยถือว่า อ่างเก็บน้ำมีพื้นที่ประมาณ 3-10% ของพื้นที่รองรับน้ำฝนทั้งหมด
- ง) ค่ามวลสารคละต่างของน้ำที่เข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำทุกเดือนตลอดทั้งปี น้ำที่ไหลเข้าอ่าง ได้แก่ น้ำไหลนอง (เนื่องจากฝนตก) ส่วนน้ำที่ออกจากอ่างคือ น้ำที่ถูกนำไปใช้, น้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ, และน้ำที่ซึมลงใต้ดิน ถ้าน้ำไหลเข้ามามีมากกว่าน้ำที่ออกจากอ่าง แสดงว่าน้ำไม่พอ ทำให้ต้องมีการเก็บกัก
- จ) ผลรวมของทุกเดือนที่มีน้ำไม่พอใช้ คือ ความสูงของอ่างเก็บน้ำขึ้นเอง

ความสูง ขึ้นอยู่กับ Σ runoff อาจหาได้จากสถิติน้ำฝน และสถิติของอัตราการไหลของน้ำในบริเวณพื้นที่รองรับน้ำฝนหรือใกล้เขื่อน ทั้งนี้เพราะ Σ runoff มีค่าเท่ากับผลหารระหว่างปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนต่อปริมาณน้ำไหลลงน้ำในเขื่อนเดียวกัน

ตัวอย่างที่ ๑.๑ จงหาขนาดของอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ผลิตน้ำประปาเฉลี่ยวันละ ๑๑๑ ล้านลิตร ชัยภูมิต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางข้างล่าง นอกจากนี้ข้อมูลที่ว่าคนคิดให้เก็บเงิน มีดังนี้

พื้นที่รองรับน้ำฝน ๑๑๐ ตารางกิโลเมตร
 คิวบิกเมตรของอ่างเก็บน้ำ ๑ ๙ ของพื้นที่รองรับน้ำฝน
 อัตราการซึมลงใต้ดิน ๕๔๒ ล้านลิตรต่อเดือน

เครื่อง	1	2	3	4
	ปริมาณฝน (มม.)	× น้ำไหลลง	ปริมาณการ ระเหย(มม.)	ปริมาณการใช้ (× อัตราเฉลี่ย)
มก.	54	44.3	22.8	80
กก.	80	45.7	38.2	87.4
คค.	107	54.3	42.1	85.2
เมย.	54	25.7	47.0	110.0
พค.	29	26.8	140	115.3
มิย.	62	43.7	149	116.0
กค.	136	62.0	104.0	107.0
ฉค.	88	64.0	27.0	98.2
ทค.	64	61.5	105.0	95.0
ธค.	256	83.0	182.0	87.3
พค.	80	58.5	106.0	94.0
ธค.	36	26.3	71.5	92.2

ข้อสังเกต ค่าคำนวณได้แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1 ที่บ่งบอกในการคำนวณ มีดังนี้

ข้อสังเกต (1) เนื่องจากปริมาณการของน้ำที่สูง 1 มม. บนพื้นที่ 1 ตร.กม. มีค่า = 1 ล้านลิตร ดังนั้นการที่ฝน 1 มม. บนพื้นที่ 1 ตร.กม. จึงมีปริมาณ = 250 ล้านลิตร ค่าในข้อสังเกตที่ (1) เกิดจากการคูณปริมาณฝนที่ 1 มม. กับ 250 ล้านลิตร เช่น

เครื่อง มก., ปริมาณฝนตก = 54 × 250 = 13,500 ล้านลิตร/เดือน

เครื่อง ทค., ปริมาณฝนตก = 29 × 250 = 7,250 ล้านลิตร/เดือน

ตารางที่ 3.1 การขยายขนาดของอ่างเก็บน้ำโดยวิธีเทรารอค

เดือน	1	2	3	4	5	6	7
	ปริมาณ ฝนตก*	น้ำไหล- นอง*	น้ำระ- เหย*	น้ำซึมได้ คืน*	อัตราการ ไหลน้ำ*	น้ำเก็บ ไว้*	น้ำจาก- นอก*
มค.	14,040	8219	206.4	542.0	6075	-	894.4
กพ.	23,400	10,894	249.8	542.0	6888	2767.2	-
มีค.	27,820	15,109	690.9	542.0	6761	8268.7	-
เมษ.	14,040	8,808	1181.0	542.0	7425	-	5490
พค.	7,540	2,021	1620.0	542.0	7782	-	6120
มิย.	16,120	6,722	1459.0	542.0	7965	-	3644
กค.	35,000	21,180	1382.0	542.0	7221	12,024	-
กค.	17,800	9,547	1281.0	542.0	8627	1117	-
กย.	21,640	17,800	1371.6	542.0	8447	8439.8	-
ตค.	68,560	41,933	1876.0	542.0	8567	12846	-
พย.	17,800	10,343	1366.0	542.0	8343	2081	-
ธค.	9,360	2,462	428.5	542.0	8222	-	5231.5
					รวม	69,800	23,185

หมายเหตุ * ด้านเดียว

ข้อสังเกต (2) น้ำไหลนอง (ด้านเดียว) = ปริมาณฝนตก (ด้านเดียว) \times $\frac{\text{น้ำไหลนอง}}{100}$

เช่น เดือน มค., น้ำไหลนอง = 14,040 \times 44.3 / 100

= 8219 ด้านเดียว

เดือน พค., น้ำไหลนอง = 7540 \times 26.8 / 100

= 2,021 ด้านเดียว

ข้อสังเกต (๖) เนื่องจากพื้นที่ของภาชนะน้ำ = 5% ของพื้นที่รองรับน้ำฝน
 ของการระเหยน้ำ 1 มม. จะมีปริมาณ = $260 \times 5 / 100$
 = 13 ลิตรต่อเดือน

ดังนั้น ค่าในคอลัมน์ (๖) = 13 x ปริมาณน้ำฝน (มม.)
 เช่น เดือน พค., น้ำระเหย = 13 x 22.6 = 293.8 ลิตรต่อเดือน
 เดือน พค., น้ำระเหย = 13 x 140 = 1820 ลิตรต่อเดือน

ข้อสังเกต (๔) ไขหยก่่าทนสไฟ

ข้อสังเกต (๕) อัตราการใช้น้ำ (ลิตร/เดือน) = $225 \times 30 \times (\% \text{ ความชื้น}) / 100$
 เช่น เดือน พค., อัตราการใช้น้ำ = $225 \times 30 \times 90 / 100$
 = 607.5 ลิตรต่อเดือน
 เดือน พค., อัตราการใช้น้ำ = $225 \times 30 \times 110.3 / 100$
 = 748 ลิตรต่อเดือน

ข้อสังเกต (๖) และ (๗)

ถ้าอัตราน้ำไหลของ > (น้ำระเหย + น้ำซึมลงใต้ดิน + น้ำที่ถูกใช้ไป)
 แสดงว่ามีน้ำเหลือใช้
 แต่ถ้าอัตราน้ำไหลของ < (น้ำระเหย + น้ำซึมลงใต้ดิน + น้ำที่ถูกละทิ้งไป)
 แสดงว่ามีน้ำขาดแคลน

ขนาดของอ่างเก็บน้ำ อ่างเก็บน้ำต้องมีปริมาณไม่ต่ำกว่าผลบวกของคอลัมน์ (๗)
 หรือ ๑๖,๑๙๖ ลิตร

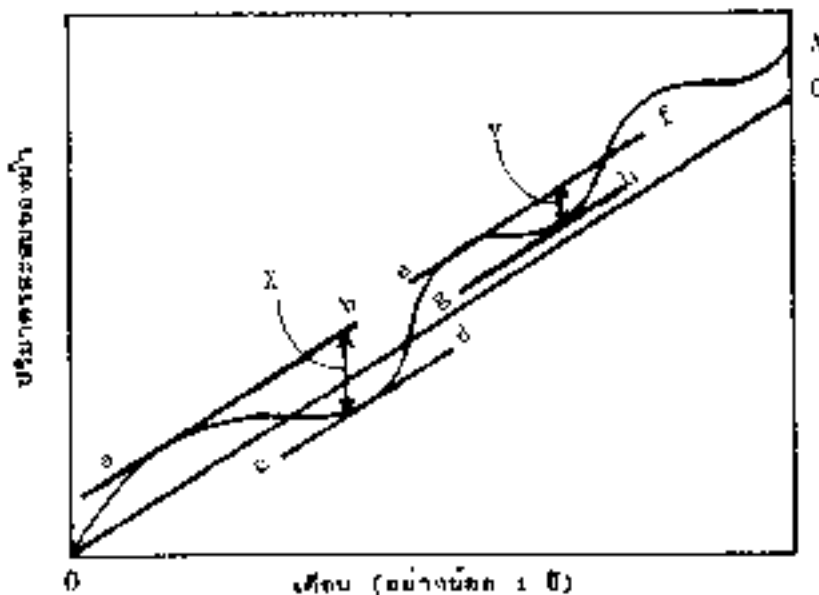
๓.๓.๒ วิธีการหาอ่างเก็บน้ำด้วยวิธีการ

ในกรณีที่มีการสูบน้ำจากแหล่งน้ำดิบไปใช้ในอาคารที่ วัตถุประสงค์ที่เรียกว่า Mass
 Discharge สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาความจุขึ้นค่าของอ่างเก็บน้ำได้ ขึ้นตอนวิธี
 กราฟ มีดังนี้

๓. พหุคูณกราฟระหว่างปริมาณสะสมของน้ำผิวดิน F กับการที่น้ำที่รออยู่หน้าฝายในแต่ ละเดือน กับเวลา (ดูภาพที่ ๑.๑) ช่วงเวลาที่น้ำมาพิจารณาต้องเป็นของปีที่มีน้ำ สูงสุด และต้องไม่น้อยกว่า 1 ปี จากภาพที่ ๑.๑ กราฟที่ต้องการคือกราฟ OA

๔. ลากเส้น OC ซึ่งมีความชัน เท่ากับอัตราเฉลี่ยของการใช้น้ำ (เท่ากับอัตราการ น้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำ) ถ้าจุด C อยู่ต่ำกว่าจุด A (ดังเช่นแสดงในภาพ ๑.๑) แสดงว่าอ่างเก็บน้ำสามารถให้น้ำคืนสำหรับผลิตน้ำประปาได้พอ เกิน และถ้ามีส่วน ของกราฟ OA อยู่ใต้เส้นตรง OC แสดงว่า ต้องการอ่างเก็บน้ำไว้ใช้ ในยาม ขาดแคลน

๕. ลากเส้นตรง ab, cd, ef, และ gh ซึ่งสัมพันธ์กับจุดที่อยู่ต่ำสุดและสูงสุดของจุด (ดูภาพ)



ภาพที่ ๑.๑ การหาปริมาณของอ่างเก็บน้ำโดยวิธีการ

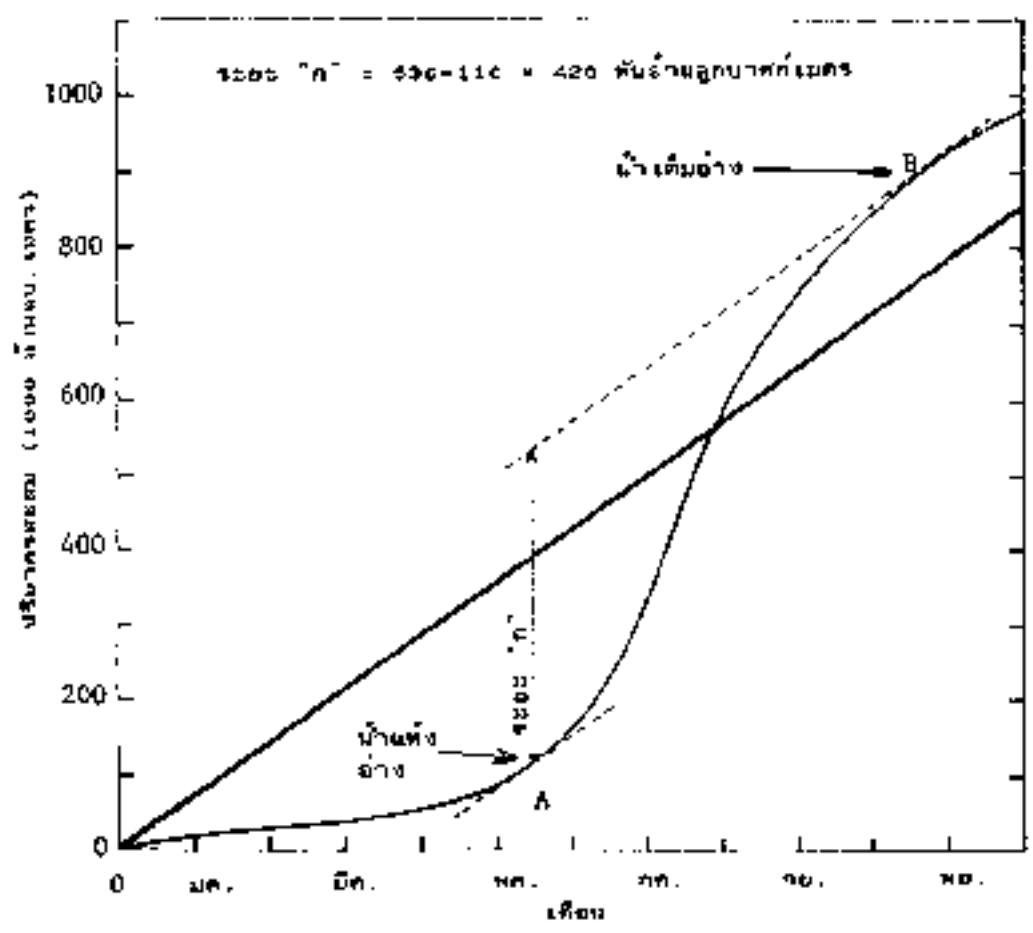
๑. อัตราระยะห่างระหว่าง ab กับ cd และระหว่าง ef กับ gh ระยะห่างที่มีค่ามากกว่า จะเริ่มความจุของอ่างเก็บน้ำ ในปีที่ ระยะ X มากกว่าระยะ Y ดังนั้น ความจุของอ่างเก็บน้ำจะ เท่ากับค่าใดในระยะ X

ตัวอย่างที่ ๑.๑ จากข้อมูลของปริมาณน้ำไหลของ ดังแสดงอยู่ในตารางข้างล่าง ให้คำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลของอ่างเก็บน้ำ ในเมื่ออัตราการนำน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70,750 ล้านลบ. เมตรต่อเดือน

เดือน	อัตราการไหลของ (1000 ล้าน ลบ. เมตร/ เดือน)	ปริมาณสะสม (1000 ล้าน ลบ. เมตร)
มค.	28.90	28.90
กค.	14.15	42.45
มีค.	9.90	52.35
เมษ.	6.80	59.15
พค.	18.24	78.39
มิถ.	75.84	154.23
กค.	218.00	370.23
สค.	182.00	552.23
กย.	119.00	666.23
ตค.	147.15	815.38
พธ.	88.50	911.89
ธค.	86.27	977.26

อัตราการนำน้ำไปใช้ = 70750 ล้านลบ. เมตรต่อเดือน
= 849,000 ล้านลบ. เมตรต่อปี

พื้นที่การกัก OABC แสดงปริมาณสะสมที่เดือนต่าง ๆ (ดูภาพที่ ๑.๑) และหากเส้นตรง OD มีความชันเท่ากับ 849,000 ล้านลบ. เมตรต่อปี หากเติมตรงสัมพันธ์กับ



ภาพที่ ๖.๖ การหาขนาดของค้างเต็มน้ำของค้างค้างที่ ๖.๑

จุด A และ B โดยให้ช้อยส์กับ OD

- เวลาระหว่าง 'ก' = ปริมาตรขี้มูลค้ำของอ่างเก็บน้ำที่ติดตั้งสร้าง
- 42๐ วันล้านลบ.เมตร

- หมายเหตุ**
- 1) จุด A เป็นตำแหน่งที่อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรน้อยที่สุด
 - 2) จุด B เป็นตำแหน่งที่อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรสูงที่สุด
 - 3) การสร้างอ่างเก็บน้ำ, วิทยุความถี่สูงกว่าปริมาตรขี้มูลค้ำ เป็นสิ่งที่เราควรถือปฏิบัติ ทั้งนี้ เพื่อลดภัยความไม่ปลอดภัย อันอาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นที่อยู่นอกเหนือความคาดคะเนและอื่น ๆ ขนาดของอ่างเก็บน้ำมีกำลังทำให้ใหญ่กว่าขนาดขี้มูลค้ำไม่น้อยกว่า 25 % ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมเฉพาะงาน

๖.๒ การเลือกสถานที่ตั้งอ่างเก็บน้ำ

การเลือกสถานที่ตั้งอ่างเก็บน้ำ ควรเลือกพื้นที่ที่มีระดับสูงพอสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถดักน้ำออกจากอ่างได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำ นอกจากนี้ ควรพิจารณาถึงสถานที่ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- ก. น้ำซึมก้นทางก้นอ่างหรือขอบอ่างไม่ได้
- ข. ที่ตั้งของเขื่อนกั้นน้ำควร เป็นช่องแคบระหว่างภูเขา
- ค. บริเวณอ่างเก็บน้ำ ไม่ควรตรงกับถนนหลวงหรือทางรถไฟหรือสิ่งก่อสร้างที่สำคัญต่าง ๆ
- ง. ต้องมีทางคมนาคมเข้าถึงบริเวณที่ติดตั้งก่อสร้างอ่างเก็บน้ำได้โดยไม่ว่าภาคหรือมีอันตรายมากเกินไป
- ฉ. พื้นดินที่น้ำท่วมต้องไม่มีทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ อย่างมากมาย หรือไม่มีแร่ธาตุ หรือสิ่งอื่นอันจะก่อให้เกิดภัย
- ช. บริเวณที่เป็นอ่างเก็บน้ำไม่ควรเป็นดินเลน หรือมีพืชหรือสิ่งต่าง ๆ ให้มีน้ำเน่าเหม็นหรือเป็นพิษ
- ซ. ระดับของพื้นดินขี้มูลค้ำ ควรเป็นระดับ

สารบัญเฉพาะบทที่ ๓

ปริมาณน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

๔.๑	อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคล	๕๐
๔.๒	ประเภทของการใช้น้ำ	๕๑
๔.๒.๑	การใช้น้ำในครัวเรือน	๕๒
๔.๒.๒	การใช้น้ำเพื่อการค้าและอุตสาหกรรม	๕๔
๔.๒.๓	การใช้น้ำเพื่อการสาธารณสุขประเภทยุทธรณ์และดับเพลิง	๕๔
๔.๒.๓.๑	การใช้น้ำเพื่องานสาธารณสุขประเภทยุทธรณ์	๕๗
๔.๒.๓.๒	การใช้น้ำสำหรับดับเพลิง	๕๗
๔.๒.๔	การใช้น้ำที่ไม่ได้คิดค่าใช้จ่าย	๖๐
๔.๓	การสูญเสียงานของระบบประปา	๖๑
๔.๔	จำนวนประชากรที่รับบริการน้ำประปา	๖๒
๔.๔.๑	การคำนวณประชากรระยะยี่สิบ	๖๒
๔.๔.๒	การคำนวณประชากรระยะยี่สิบ	๖๓
๔.๔.๓	สูตรที่ใช้คำนวณประชากร	๖๔
๔.๕	ขอบเขตและประเภทของพื้นที่รับบริการประปา	๖๕

บทที่ 4

ปริมาณน้ำกินสำหรับขลิกน้ำประปา

แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตประปา ต้องมีปริมาณน้ำพอเพียงกับความต้องการของผู้บริโภค ตลอดเวลา ดังนั้นก่อนมีคณะกรรมการเลือกแหล่งน้ำดิบ วิศวกรจำเป็นต้องทราบเสียก่อนว่า ความต้องการน้ำในแต่ละวัน อยู่ในระดับเท่าใดจึงจะพอเพียง

ในการคำนวณหาปริมาณน้ำดิบสำหรับผลิตประปา มีข้อมูลที่ต้องการทราบ ดังนี้

- ก. อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคลของประชากรอาชีพต่าง ๆ
- ข. ความหนาแน่นของพื้นที่ประกอบต่าง ๆ ของระบบประปา
- ค. จำนวนประชากรที่รับบริการน้ำประปา ภายในชั่วอายุใช้งานของระบบประปา
- ง. ขอบเขตและประเภทของพื้นที่รับบริการประปา

ปริมาณน้ำที่ต้องการในแต่ละวัน อาจคำนวณได้จากผลรวมของความต้องการน้ำของบุคคลอาชีพต่าง ๆ ทุกคน หรือในบางกรณีอาจคำนวณได้จากความต้องการน้ำในพื้นที่รับบริการทุกประเภทรวมกัน

4.1 อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคล

โดยทั่วไป อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคลคืออยู่ในหน่วยลิตรต่อวันต่อคน เช่น ๑๐๐ ลิตรต่อวันต่อคน เป็นต้น อัตราการใช้น้ำในแต่ละชุมชนอาจเปลี่ยนแปลงได้มาก และขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

(๑) ขนาดของชุมชน ขนาดของชุมชนปรกตินั้นเป็นผลในทางฉ้อฉลในการที่จะเพิ่มอำนาจการบริโภคน้ำให้สูงขึ้น อย่างไรก็ดี หากมีชุมชนใหญ่แล้วปริมาณน้ำที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ ก็จะมีปริมาณมากไปด้วยเช่นเดียวกัน

(๒) จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ในชุมชนนั้น หากในชุมชนใดมีโรงงานอุตสาหกรรมมาก ปริมาณน้ำที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ก็จะมากตามไปด้วย ถึงแม้ว่าเนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมมักต้องการใช้น้ำเป็นปริมาณมากในกรรมวิธีต่าง ๆ

(๓) คุณภาพของน้ำ หากน้ำมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของประชาชน อัตราการใช้น้ำก็จะเพิ่มขึ้น เพราะประชาชนย่อมต้องการใช้น้ำที่มีความปลอดภัยมากกว่าน้ำที่ก่อให้เกิดโทษ โรงงานอุตสาหกรรมก็เช่นเดียวกัน หากน้ำนั้นมีคุณสมบัติทางเคมีไม่ได้มาตรฐาน เช่น น้ำมีสารเคมีเจือปนอยู่มาก หรือมีองค์ประกอบต่างของแข็งปนอยู่มากหรือคือน้ำที่อาจเข้าสู่ได้ง่าย เมื่อเป็นเช่นนี้ ปริมาณการใช้น้ำก็จะลดลง ใจหาจตรงกับข้าม หากน้ำมีคุณภาพดีปริมาณการใช้น้ำก็จะเพิ่มขึ้น

(๔) ก่าน้ำประปา เมื่อน้ำมีราคาสูงการใช้น้ำก็จะน้อยมาก

(๕) สภาพอากาศ สภาพอากาศที่มีน้ำมีอิทธิพลต่อการใช้น้ำมาก ในเขตหนาวประชาชนจะใช้น้ำน้อย ตรงกันข้ามกับในเขตร้อนจะมีปริมาณการใช้น้ำสูง หรืออาจเป็นช่วงหนึ่งของฤดูหนาว หรือของวัน อัตราการใช้น้ำจะแตกต่างกันออกไป เช่นในฤดูร้อนอัตราการใช้น้ำจะสูงมาก เพราะน้ำอาจถูกนำไปใช้สำหรับอาบน้ำ และนำไปรดพืชผัก ผลไม้และอื่น ๆ ตลอดจนปริมาณที่นำมาใช้ดื่มก็จะสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

(๖) สภาพความเป็นอยู่และอาชีพของประชาชน อัตราการใช้น้ำของประชาชนย่อมเปลี่ยนแปลง และแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการดำรงชีพและอาชีพ จะเห็นว่า ประชาชนในชนบทมีอาชีพทางด้านกสิกรรมและ เกษตรกรรมจะใช้น้ำไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะ ประชาชนที่อาศัยอยู่ในชนบท มักจะอาศัยน้ำที่หาได้จากท้องถิ่น มาใช้สำหรับอาบน้ำและกิจการอย่างอื่นเสียเป็นส่วนมาก ต่างกับประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนหนาแน่นเช่นในเมือง จะมีปริมาณการใช้น้ำสูงกว่า

นอกจากนี้ ยังจากการใช้น้ำที่ยังขึ้นอยู่กับแรงดันของระบบจำหน่าย ระบบบิณฑาและวัด การของการประปา และความสะดวกในการดำเนินงานกิจการประปาส่วนบุคคล

จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว จึงไม่เป็นที่ประหลาดใจว่าอัตราการใช้น้ำของชุมชนต่าง ๆ ย่อมแตกต่างกันได้เสมอ ประเทศที่มีการพัฒนาสูง ย่อมใช้น้ำมากกว่า ประเทศที่กำลังพัฒนาหรือด้อยพัฒนาเป็นธรรมดา (ดูตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคลในบางประเทศ

อังกฤษ	125- 225	ลิตรต่อวันต่อคน
สหรัฐอเมริกา	300- ๙๐๐	ลิตรต่อวันต่อคน
อิสราเอล (กรุงไรม)	1000-1๕00	ลิตรต่อวันต่อคน
ประเทศไทย (กรุงเทพฯ)	2๐๐	ลิตรต่อวันต่อคน
อินเดีย	5๐- ๕๕๐	ลิตรต่อวันต่อคน

4.2 ประเภทของการใช้น้ำ

การใช้น้ำประปา อาจแยกออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. การใช้น้ำภายในครัวเรือน
2. การใช้น้ำเพื่อการค้าและอุตสาหกรรม
3. การใช้น้ำเพื่อสาธารณะประโยชน์
4. การใช้น้ำที่ไม่ได้ตั้งใจ

ความต้องการน้ำประเภทต่าง ๆ ของชุมชนย่อมเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างกว้างขวาง และขึ้นอยู่กับลักษณะและสิ่งแวดล้อมของชุมชน รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วย ตารางที่ 4.2 เป็นตัวอย่างแสดงความต้องการน้ำประเภทต่าง ๆ ของชุมชนในสหรัฐอเมริกา

**ตารางที่ 4.2 ประเภทของการใช้ อัตราการใช้ และค่าเปอร์เซ็นต์ ของการ
ผลิตน้ำประปา**

ประเภทการใช้	อัตราการใช้ (ลิตรต่อวันต่อคน)	% ของการผลิตทั้งหมด
ที่พักอาศัย	140	31
การค้า - อุตสาหกรรม	166	38
สาธารณะ	40	11
สูญเสีย	95	20
รวม	450	100

4.2.1 การใช้น้ำในครัวเรือน

การใช้น้ำในครัวเรือน มีหลายวัตถุประสงค์ต่างกัน เช่น การดื่ม การอาบน้ำ การซักล้าง การรดน้ำ การทำความสะอาด การทำสิ่งประดิษฐ์ ฯลฯ อัตราการใช้น้ำของอาคารที่พักอาศัยมักจะไม่ค่อยแน่นอนนัก ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ อีกหลายอย่าง เช่น ชนิด และความสามารถของชุมชน ฐานะเศรษฐกิจ วัฒนธรรม และความเป็นอยู่ สภาพระดับการศึกษา และบริการของทางประปา เป็นต้น เมื่อเวลาผ่านไป จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้ น้ำได้อย่างมาก จากการศึกษาพบว่า อัตราการใช้น้ำของอาคารที่พักอาศัยโดยทั่วไป จะอยู่ระหว่างประมาณ 40-200 ลิตรต่อคนต่อวัน

ตารางที่ 4.3 เป็นผลการสำรวจความมุ่งหมายในการใช้น้ำของชาวอเมริกัน ในปี 2503 ซึ่งปรากฏว่า การใช้น้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นในห้องน้ำและห้องครัว

ค่าเฉลี่ยที่นิยมใช้โดยทั่วไป สำหรับชุมชนในเมืองคือ 100-200 ลิตรต่อคนต่อวัน แต่สำหรับห้องที่สามเืองและในชนบท ก็มีอัตราการใช้ น้ำต่ำกว่าชุมชนเมือง

ตารางที่ 4.2 ความเหมาะสมของการใช้น้ำ

	<u>ร้อยละ</u>
ใช้ในห้องครัว	41
ใช้เพื่ออาบน้ำ	37
ใช้เพื่อการครัว	8
ใช้เพื่อล้าง	5
ใช้เพื่อซักผ้า	4
ใช้ทำความสะอาดครัว ๆ ไร่	3
รดน้ำต้นไม้	3
ล้างรถ	1
	<u>100</u>

หรือในเขตเทศบาล ทางองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้เคยจัดการสำรวจตรวจการใช้น้ำของพลเมืองในแถบละตินอเมริกา ซึ่งก็ได้ข้อสรุปว่า เฉลี่ยแล้วเป็นค่าเฉลี่ยเฉลี่ยโดยประมาณ ดังนี้ คือ

ชนบท	30- 50	ลิตร/คน/วัน
ชนเมือง	50- 75	ลิตร/คน/วัน
เขตเทศบาล	100-120	ลิตร/คน/วัน
นครหลวง	200	ลิตร/คน/วัน

สำหรับประเทศไทย อัตราที่ใช้สำหรับการคำนวณเพื่อผลิตน้ำประปา การประปาภูมิภาคใช้อัตราเฉลี่ยประมาณ 120 ลิตรต่อคนต่อวัน และการประปานครหลวงใช้อัตราเฉลี่ยประมาณ 200 ลิตรต่อคนต่อวัน ส่วนในประเทศไทยที่พัฒนาแล้ว ทั้งในยุโรปและอเมริกา โดยเฉพาะตามนครใหญ่ ๆ จะสูงกว่า 200 ลิตรต่อคนต่อวันขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของการใช้เครื่องสุขภัณฑ์ ที่นิยมติดตั้งโถชำระที่ชักน้ำลงถังที่มีลักษณะที่ค่อนข้างมีปริมาณมากกว่า โดยปกติแล้ว ปริมาณการใช้น้ำสำหรับอาคารที่พัก-

อาศัยจลนวิทยาการไหลเฉลี่ยกว่า ๑๐% ของปริมาณน้ำประปาที่ผลิตได้ทั้งหมด

4.2.2 การใช้น้ำเพื่อการบำบัดและอุตสาหกรรม

การใช้น้ำประปาในประเภณี จำเป็นต้องพิจารณาถึงขนาดและชนิด ของกิจกรรม นั้น ๆ ประกอบด้วย จำนวนน้ำสำหรับใช้ในธุรกิจการค้าและสำนักงานมีจำนวนไม่ มากนัก คือใช้เพียงวันละ ๑๐-๓๐ ลิตรต่อวัน จำนวนน้ำใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม นั้น ขึ้นอยู่กับประเภของผลิตภัณฑ์ ดังตัวอย่างที่แสดงอยู่ในตารางที่ ๔.๔ ในบาง- ครั้งความคั่งของน้ำสำหรับธุรกิจการค้าและอุตสาหกรรม อาจคิดต่อจำนวนพื้นที่ หรือหน่วยอื่นก็ได้ ดังตัวอย่างที่แสดงอยู่ในตารางที่ ๔.๕

สำหรับในชุมชนที่มีการพัฒนาทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ปริมาณน้ำใช้เพื่อกิจ การอุตสาหกรรม อาจมีสัดส่วนสูงกว่าปริมาณน้ำใช้ในครัวเรือน เว้นแต่อย่างใด ยก- ตัวอย่าง เช่น ในประเทศอังกฤษ ร้อยละ ๑๕ ของน้ำที่มีอยู่ถูกนำไปใช้ในกิจการอุตสาหกรรม และเพียงร้อยละ ๑๒ สำหรับใช้ในครัวเรือน การใช้น้ำในวงการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ถูกนำไปเพื่อการระบายความร้อน จากการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรม ๖๔ ประเทศในสหรัฐอเมริกา ปรากฏผลการใช้น้ำ ดังนี้

น้ำใช้ในการผลิตโดยตรง	๔๖.๓ %
น้ำใช้ในการปรับอากาศ	๑.๒ %
น้ำใช้ในการระบายความร้อนของเครื่องจักร	๑๕.๑ %
น้ำใช้ในการระบายความร้อนอื่น ๆ และในการควบแน่น	๓๖.๖ %
น้ำเลี้ยงหม้อน้ำ, ช่างหล่อ, อื่น ๆ	๑.๘ %

4.2.3 การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในชุมชนและพื้นที่เมือง

การใช้น้ำประเภณี เป็นการใช้น้ำเพื่อทั้งการพาณิชย์และบริโภคต่าง ๆ เช่น การ ตั้งถนน รถน้ำสนามหญ้า สวนดอกไม้ สวนหย่อมและสวนสาธารณะ ใช้น้ำเพื่อเป็นน้ำพุ

ตารางที่ ๕.๕ อัตราการใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม	วัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์	ปริมาณน้ำที่ใช้องค์การ (ลบ. เมตรต่อตัน)
โรงงานเย็บผ้า	ข้าวผอมลท์	๒๐- ๓๐
โรงงานผลิตไม้กระดาน	ผืนไม้	12- 15
โรงงานสีกระดาษ	ผก	๕
โรงงานเย็บกระดาษ	เย็บ	70
โรงงานเย็บกระดาษ	ปลา	20
โรงงานฆ่าสัตว์ (เนื้อ : วัว, สุกร)		5- 15
โรงงานฆ่าไก่		10- 20
โรงงานผลิตแป้ง	เครื่องจักร	20- 140
โรงงานผลิตกระดาษ		
เย็บกระดาษ	เย็บกระดาษ	300
กระดาษกลึง	กระดาษ	40
กระดาษสีเทา	กระดาษ	500
โรงงานทอผ้า		
ผ้าฝ้าย	ผ้า	15- 200
ผ้าใยสังเคราะห์	ผ้า	400-1000
โรงงานผลิตซีเมนต์	ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์	200-1000
โรงงานกลั่นน้ำมัน	น้ำมัน	0.1 - 40
โรงงานเหล็กกล้า	เหล็ก	8- 300
โรงงานเหล็กม้วน	เหล็ก	400
โรงงานถลุงแร่	ถลุงแร่	1300

ตารางที่ ๔.๕ อัตราการใช้ไฟฟ้าเพื่อการค้า, อุตสาหกรรม, และภาคเกษตร

โรงงานที่มีห้องน้ำและห้องครัว	๔๑	ใช้ตลอดวันต่อคน
โรงงานที่ไม่มีห้องน้ำและห้องครัว	๓๐	ใช้ตลอดวันต่อคน
โรงเรียน (รวมน้ำซักผ้า)		
ขนาดไม่เกิน ๑๐๐ เตียง	๒๔๐	ใช้ตลอดวันต่อเตียง
ขนาดเกินกว่า ๑๐๐ เตียง	๔๑๕	ใช้ตลอดวันต่อเตียง
นิตยภัตและหอพยาบาล	๑๓๕	ใช้ตลอดวันต่อคน
โรงแรม	๑๕๐	ใช้ตลอดวันต่อเตียง
สำนักงาน	๔๕	ใช้ตลอดวันต่อคน
โรงพยาบาลและโรงหนัง	๑๕	ใช้ตลอดวันต่อเตียง
โรงเรียนไป-กลับ	๔๕	ใช้ตลอดวันต่อคน
โรงเรียนกิน-นอน	๑๖๕	ใช้ตลอดวันต่อคน
ห้องพักที่เป็นชุด (อพาร์ทเมนต์)	๕-๑๕	ใช้ตลอดวันต่อตร. เมตร
อุตสาหกรรมและการค้า (ทั่วไป)	๑.๒	ใช้ตลอดวันต่อตร. เมตร
โรงเรียนสตรี		
มี	๕๕	ใช้ตลอดวันต่อตัว
มี	๕๐-๕๐	ใช้ตลอดวันต่อตัว
มี	๕-๒๐	ใช้ตลอดวันต่อตัว
ไม่มี	๐.๑	ใช้ตลอดวันต่อตัว
UNEMPLOYED	๐-๑๕	ใช้ตลอดวันต่อตัว

ห้องครัวสาธารณะ ๖๑๖ อัตราการใช้ไฟฟ้าประปาประเภทนี้ เปลี่ยนแปลงไปตาม ลักษณะและขนาดของชุมชน ความหนาแน่น ชนิดและจำนวนของระบบสาธารณูปโภค ที่มีอยู่ ณ ชุมชนนั้น เกณฑ์เฉลี่ยที่อาจถือเป็นค่าโดยประมาณสำหรับอาคารบ้านเลข ๓๐-๕๐-๕๐ อัตราต่อคนต่อวัน สำหรับปริมาณน้ำประปา เพื่อป้องกันโรคภัยไข้เจ็บ มีค่าไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของโรคภัยไข้เจ็บขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ในการดับเพลิงและลดควัน โดยปกติแล้ว จะต้องมี การพิจารณาเกี่ยวกับขนาด และอัตราการสูบน้ำ ของรอกดับเพลิงที่มีใช้ อยู่ ในท้องถิ่นนั้น ๆ ด้วย

๔.๒.๓.๑ การสูบน้ำเพื่อใช้งานสาธารณูปโภค

ข้อมูลค่านี้มีผลการสำรวจน้อยมาก เท่าที่พอค้นคว้ามาได้จากเอกสารอ้างอิง มีดังนี้

สวนสาธารณะ	๑.๕	ลิตร/ตร. เมตร-วัน
น้ำล้างถนน	๑-๑.๕	ลิตร/ตร. เมตร-วัน
น้ำล้างท่อ	๕.๕	ลิตร/ เมตร-วัน
น้ำรดต้นไม้ข้างถนน	๑๐, ๕๐	ลิตร/กม. -วัน
(สวนสาธารณะภายในบ้าน	๑.๗	ลิตร/ตร. เมตร-วัน)

๔.๒.๓.๒ การสูบน้ำสำหรับดับเพลิง

ปริมาณที่ต้องเตรียมไว้สำหรับดับเพลิงนั้น จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับประเภท และ ความหนาแน่นของอาคารและประชากร ตารางที่ ๔.๕ เป็นสูตรที่ใช้คำนวณจำนวน น้ำที่ใช้เพื่อทำการดับเพลิง

ในเบื้องต้นมีพลเมืองมากกว่า ๕๐๐,๐๐๐ คน ต้องคำนึงถึงโอกาสที่ไฟอาจไหม้ ๒ แห่ง พร้อมกันได้ จึงควรเตรียมน้ำในอัตรา ๑๒,๐๐๐ แกลลอนต่อนาที สำหรับดับเพลิง หนึ่งแห่ง รวมกับน้ำอีก ๕,๐๐๐ ถึง ๘,๐๐๐ แกลลอนต่อนาที สำหรับดับเพลิงแห่งที่ ๒ ของ

ตารางที่ 4.๑ สูตรต่าง ๆ ที่ใช้คำนวณปริมาณน้ำสำหรับดับเพลิง

ที่มาของสูตร	สูตรคำนวณ	สัญลักษณ์
National Board of Fire Underwriter (USA)	$Q = 3861P^{1/2}(1-.01P^{1/2})$	Q = ปริมาณน้ำสำหรับดับเพลิง (ลิตร/วินาที)
Kuichling	$Q = 3180P^{1/2}$	P = จำนวนประชากรคิดเป็นพัน
J.R. Freeman	$Q = 1.135(10+.2P)$	

ปริมาณน้ำสำหรับดับเพลิง ควรกำหนดให้เพียงพอสำหรับเพลิงไหม้ติดต่อกันเป็นเวลายาว น้อยกว่า ๕ ชม. สำหรับชุมชนที่มีคนเมืองน้อยกว่า ๕,๐๐๐ คน และไม่น้อยกว่า ๑๐ ชม. สำหรับชุมชนขนาดใหญ่ สามารถเปรียบเทียบพื้นที่สหรัฐอเมริกา กำหนดระยะเวลา ที่ต้องการน้ำสำหรับดับเพลิง ให้ขึ้นอยู่กับอัตราความถี่ของการน้ำสำหรับดับไฟไว้ดังนี้

ความต้องการน้ำเพื่อดับไฟ (ลิตร/วินาที)	ระยะเวลา (ชม.)
๕1๐ หรือมากกว่า	10
๕๐๐	9
๕๕๐	9
๕๔๐	8
๔๑๐	8
๔๕๐	7
๔๒๐	7
๔๐๐	6
๓7๐	6
๓4๐	5
๓1๐	5
๒๘๐	4
๒๕๐	4
๒๒๐	3
1๙๐	3
1๕๐ หรือน้อยกว่า	2

ในการใช้ที่จอดรถคำนวณปริมาณน้ำสำหรับดับเพลิง จะงดการติดตั้งฝักบัวคือเป็น
ข้อ ๗ อาจกระทำโดยใช้สูตร ดังนี้

$$F = 3.7 C A^{1/2}$$

โดยที่ F = ปริมาณน้ำสำหรับดับเพลิง, ลิตร/วท.
 C = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุก่อสร้าง
 $C = 1.5$ สำหรับบ้านไม้
 $C = 2.0$ สำหรับบ้านธรรมดา
 $C = 0.8$ สำหรับบ้านตึก
 $C = 0.8$ สำหรับบ้านหนาไฟ
 A = พื้นี่อาคารทุกชั้น (ไม่รวม basement), ตร.เมตร
 สำหรับบ้านไม้หรือบ้านธรรมดา $F < 500$ ลิตร/วท.
 สำหรับบ้านตึกหรือบ้านหนาไฟ $F < 300$ ลิตร/วท.
 สำหรับบ้านชั้นเดียวทุกชนิด $F < 200$ ลิตร/วท.

- หมายเหตุ**
1. ปริมาณน้ำสำหรับดับเพลิง (F) จะต้องไม่น้อยกว่า ๑๐ ลิตร/วท. เสมอ
 2. สำหรับในบริเวณที่ไม่มีแก๊สมีไฟไหม้หรือมีน้อย ลม F ได้มากถึง ๒๕ ๕
 3. สำหรับในบริเวณที่มีไฟไหม้บ่อย เพิ่ม F ได้ถึง ๒๕ ๕
 4. ถ้าไม่มีเครื่องสูบน้ำ แรงดันน้ำในหัวฉีดดับเพลิงควรงสูง ๑๐๐ kPa หรือสูงกว่า (1 psi = 6.895 kPa)
 5. ถ้าใช้เครื่องสูบน้ำ แรงดันในหัวฉีดดับเพลิงควรเท่ากับ หรือมากกว่า ๓๕๐ kPa

ในการใช้ที่เป็นบ้านพักอาศัยแบบ ๑ หรือ ๒ ควรพิจารณาใช้ตารางที่ ๔.๗ ในการ
คำนวณปริมาณน้ำสำหรับดับเพลิง

ตารางที่ 4.7 ปริมาณน้ำดื่มเพียงสำหรับบ้านที่ติดตั้งถังเก็บน้ำ 1 หรือ 2 ครอบครัว

ขนาดถังของน้ำดื่ม (ลิตร)	ปริมาณน้ำดื่มเพียง (ลิตร/วัน)
มากกว่า 30	20
6-30	45-60
3- 6	60-80
3 หรือน้อยกว่า	85-125
ห้องนอน	150

4.2.4 การใช้น้ำที่ไม่ได้ตั้งใจ

การใช้น้ำที่ไม่ได้ตั้งใจ หมายถึงจำนวนน้ำประปาที่สูญหายไปโดยไม่ตั้งใจประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์จากสาขาเขตต่าง ๆ เช่น

มีหรือการต่อท่อไม่ดี ทำให้มีน้ำรั่ว

การใช้น้ำอย่างสิ้นเปลืองต่าง ๆ

อุปกรณ์น้ำประปา เช่น วาล์วต่าง ๆ เป็ดตัน เกิดชำรุดเสียหาย

ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียไปอย่างไม่ได้ตั้งใจ เป็นจำนวนที่ประมาณได้ยากมาก และเกินกว่าที่วิศวกรจะล่วงรู้ได้ ในหลักปฏิบัติ น้ำที่ต้องสูญเสียโดยไม่ได้ตั้งใจ ถือว่าเป็นสิ่งที่ยากจะประเมินได้ ซึ่งวิศวกรที่วางท่อน้ำได้คือ พยายามก่อนหน้าทำให้เป็นเบา จากรายงานของกิจการประปาในหลาย ๆ ประเทศ ปรากฏว่าปริมาณของน้ำที่ต้องสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 % ของปริมาณน้ำประปาที่ผลิตได้ทั้งหมด ด้จากการสูญเสียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการบริหารบำรุงรักษา การตรวจตราดูแล แรงดันในท่อประปา การติดตั้งมาตรวัดน้ำ ตลอดจนมีผลในการใช้น้ำ ของประชาชน

4.3 อายุการใช้งานของระบบประปา

การกำหนดอายุการใช้งานของส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบผลิตประปา ให้อัตโนมัติ เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการคำนวณออกแบบ หรือพิจารณาหาอุปกรณ์ เครื่องใช้ ในการผลิตประปา ตลอดจนขบวนการต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงอัตราผลิตน้ำประปาที่ลด เนื่องจากการสึก (ในตลอดช่วงอายุการใช้งานของระบบ) และเพื่อจะได้ออกแบบโครงสร้างให้พอเพียงและเหมาะสมที่สุด ตลอดจนการหาเงินมาลงทุน ค่าระคอกเบี้ย และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานกิจการ การวางแผนระยะสั้นนั้นไม่ประหวัค โดยทั่วไประยะเวลาที่เหมาะสม ควรอยู่ระหว่าง 20-30 ปี เพราะถ้ามากกว่านี้ เครื่องใช้และอุปกรณ์ต่าง ๆ ก็จะหมดอายุ และอาจมาเปลี่ยนใหม่ไม่ได้ ค่าคอกเบี้ยของเงินลงทุนก็จะพอกพูนขึ้น แต่ประโยชน์ที่ได้ไม่คุ้มกัน

ในการพิจารณาถึงอายุการใช้งาน มีหลักการพิจารณา ดังนี้

1. อายุการใช้งานของสิ่งก่อสร้างและอุปกรณ์
2. ความยากง่ายของงานที่จะเพิ่มต่อเติมงานตลอดจนสถานที่
3. อัตราการเสื่อมของประชากร รวมถึงการขยายตัวของแหล่งอุตสาหกรรมและย่านการค้า
4. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (ในกรณีที่ต้องกู้มาลงทุน)
5. ค่าของเงิน และค่าเสื่อมราคา
6. การทำงานของระบบ ในระยะแรกทีระบบยังทำงานไม่ได้เต็มที่ถึงความสามารถที่ได้ออกแบบไว้

ในการออกแบบระบบประปา ค่าแนะนำทั่วไปที่ใช้ในการกำหนดอายุการใช้งานของส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบประปา มีดังนี้

1. เขื่อน สูงไม่สูงน้ำ ซึ่งในการที่จะสร้างขมายต่อเติม ทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง ควรออกแบบให้มีอายุใช้งาน 25-30 ปี

๑. บ่อขนาด ระบบท่อฆ่าอนินา และโรงกรองน้ำ สามารถที่จะขยายต่อเติมได้ไม่ยาก ภายใ้งานควรเป็น 1๑-2๑ ปี
๒. ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 1๕" (๓๐๐ มม.) การเปลี่ยนขนาดท่อเดิมทำใช้ทำยสูง ภายใ้งานควรเป็น ๒๐-๒๕ ปี
๓. ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า ๑๐๐ มม. ความถี่ของการใ้หน้า อาจเพิ่มขึ้นในเวลาอันสั้น ขนาดท่อจึงอาจต้องเปลี่ยนแปลงตาม

4.๓ จำนวนประชากรที่รับบริการน้ำประปา

ในการออกแบบระบบประปา จำเป็นต้องทราวย้ำไว้ก่อนว่า จำนวนผู้รับบริการทั้งหมด (ในช่วงอายุการใช้งานของระบบประปา) มีมากน้อยเท่าใด เพื่อให้สามารถคำนวณหาขนาดของระบบประปาสำหรับอนาคต ทั้งนี้วิศวกรผู้ออกแบบ จึงจำเป็นต้องมีการทำนายจำนวนประชากรสำหรับอนาคต ให้ได้อย่างใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด การทำนายจำนวนประชากรสูงเกินไปทำให้ระบบประปามีขนาดใหญ่และสิ้นเปลืองเกินความจำเป็น ส่วนการทำนายจำนวนประชากรน้อยเกินไปมีผลทำให้ระบบประปาที่มีขนาดเล็กเกินไป และทำให้ต้องมีการขยายระบบประปาเร็วเกินกว่าที่คาดหมายไว้ การทำนายจำนวนประชากรที่ใกล้เคียงมากที่สุด จึงเป็นสิ่งจำเป็น

วิธีทำนายประชากรในอนาคต มีหลายวิธี ดังจะกล่าวต่อไป การจะเลือกใช้วิธีใดขึ้น ขึ้นอยู่กับวิจารพญามของวิศวกรผู้ออกแบบโดยเฉพาะ ซึ่งที่วิศวกรควรจำแนกให้ชัด คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรนั้นเกิดขึ้นตามธรรมชาติ(การเกิดและตาย) หรือเกิดเพราะความจำเป็นจากสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ (เช่น การอพยพ การหนีภัย ฯลฯ)

4.๓.1 การทำนายประชากรระยะสั้น

n. Arithmetic Progression $dy/dt = k_0$

(การเติบโตขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร)

$$k_a = (y_1 - y_e) / (t_1 - t_e)$$

๖. Geometric Progression $dy/dt = k_g y$
 (การเติบโตขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร, y)

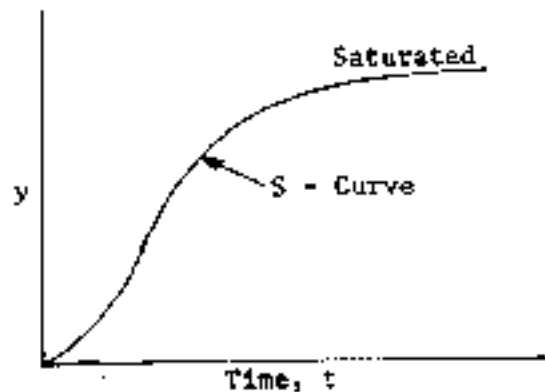
$$k_g = (\log y_1 - \log y_e) / (t_1 - t_e)$$

y_1 = จำนวนประชากรที่ $t = t_1$ (จำนวนประชากรที่หนึ่งจุด)

y_e = จำนวนประชากรที่ $t = t_e$

4.4.2 การหาค่าของประชากรในระยะยาว

- ก. Graphical Comparison with Growth Curves of Similar or Larger Cities
 ข. Logistic Curve Method



4.4.8 สูตรที่ใช้คำนวณประชากรก. Arithmetic Progression

$$\text{Intercensal, } y_m = y_e + \frac{(y_l - y_e)(t_m - t_e)}{(t_l - t_e)}$$

$$\text{Postcensal } y_m = y_l + \frac{(y_l - y_e)(t_m - t_l)}{(t_l - t_e)}$$

ข. Geometric Progression

$$\text{Intercensal, } \log y_m = \log y_e + \frac{(\log y_l - \log y_e)(t_m - t_e)}{(t_l - t_e)}$$

$$\text{Postcensal } \log y_m = \log y_l + \frac{(\log y_l - \log y_e)(t_m - t_l)}{(t_l - t_e)}$$

ค. Logistic Curve

$$y = L / (1 + m e^{-nt})$$

โดยที่ y = จำนวนประชากรที่เวลา t วัดจากจุดเริ่ม

L = จำนวนประชากรสูงสุดที่จุดอิ่มตัว

m, n = ค่าคงที่ขึ้นกับ background ค่าคงที่ n และหาได้จากข้อมูล
จำนวนประชากร

ถ้าให้ $t_1 = 2t_0$) คือมีระยะห่างเท่า ๆ กัน

และ $t_2 = 3t_0$

และมีจำนวนประชากรที่เวลา t_0, t_1 , และ t_2 เราจะได้

$$L = \frac{2y_0 y_1 y_2 - y_1^2 (y_0 + y_2)}{y_0 y_2 - y_1^2}$$

$$n = (L - y_0) / y_0$$

$$n = (1/t) \ln. \{y_0(L-y_1)/y_1(L-y_0)\}$$

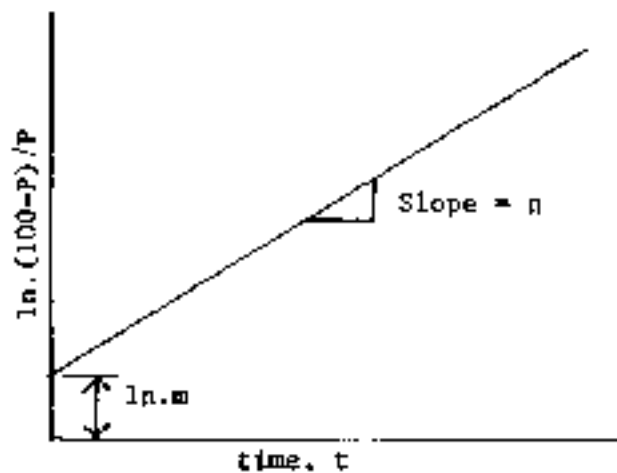
ถ้าให้ $P =$ อัตราดอกเบี้ยที่นับด้วยดอกเบี้ยทบต้น $= 100y/L$

เนื่องจาก $y = L/(1+me^{nt})$

$$\therefore P = 100/(1+me^{nt})$$

หรือ $\ln. [(100-P)/P] = \ln. m + nt$

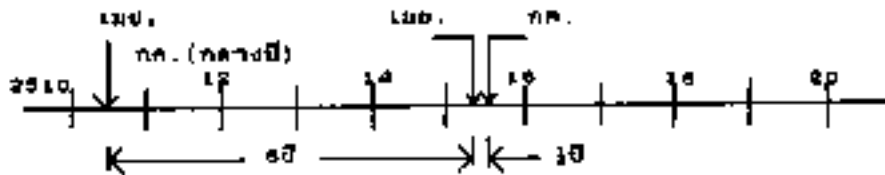
เมื่อเทียบกับ $\ln. [(100-P)/P]$ กับ t



ตัวอย่างที่ 4.1 ในเมืองหนึ่งถึงเมื่อปีการสำรวจสำมะโนครัวเมื่อ พ.ศ. 2510 ปรากฏว่ามีพลเมืองอยู่ 110,000 คน และต่อมาเมื่อ พ.ศ. 2520 ได้สำรวจพบว่ามีพลเมืองเพิ่มขึ้นเป็น 171,000 คน ต้องการทราบว่า จำนวนพลเมืองในกลางปี (วันที่ 1 ก.ค.) มีเท่าใด สำหรับ

- ก) ปีที่ 5 ของระยะเวลาระหว่างทำสำมะโนครัวที่นับ
- ข) ปีที่ 5 หลังจากทำสำรวจสำมะโนครัวเสร็จแล้ว

วิธีทำ ความตรงตาม การสำรวจค่าเฉลี่ยในครัวเรือนทำโดยวิธี : เมษายน



ระยะเวลาซึ่งกลางปีคือ 5 จากเมษายน 2510 ถึง พค. 2515 นับเวลาได้ ๑๑ ปี

$$\text{ดังนั้น } t_m - t_e = 5.25 \text{ ปี}$$

$$t_1 - t_e = 10 \text{ ปี}$$

$$\therefore \frac{t_m - t_e}{t_1 - t_e} = 0.25/10 = 0.525$$

n. Intercensal

<u>Arithmetic</u>	<u>Geometric</u>
$y_1 = 171,000$	$\log \cdot y_1 = 5.233$
$y_e = 111,000$	$\log \cdot y_e = 5.045$
$y_1 - y_e = 60,000$	$\log \cdot y_1 - \log \cdot y_e = 0.188$
$\therefore y_m = 111,000 + 60,000$	$\log \cdot y_m = 5.045 + 0.188$
$\times 0.525$	$\times 0.525$
$= 142,500$	$= 5.144$
	$y_m = 139,300$

v. Postcensal $t_m - t_1 = 4.25 \text{ ปี}, t_1 - t_e = 10 \text{ ปี}$
 $(t_m - t_1)/(t_1 - t_e) = 0.925$

<u>Arithmetic</u>	<u>Geometric</u>
$y_1 - y_e = 60,000$	$\log y_1 - \log y_e = 0.188$
$0.925(y_1 - y_e) = 55,500$	$0.925(\log y_1 - \log y_e) = .174$
$y_m = 171,000 + 55,500$	$\log y_m = 5.233 + 0.174$
$= 226,500$	$= 5.407$
	$\therefore y_m = 255,000$

Example 4.2 In the two periods, each of 20 yrs., a city grew from 30,000 to 172,000 to 292,000

- Find 1) the saturation pop. (?)
 2) m & n
 3) logistic curve equation

$$1) \quad L = \frac{2y_0y_1y_2 - y_1^2(y_0 + y_2)}{y_0y_2 - y_1^2}$$

$$\begin{array}{lll} y_0 = 30,000 & y_1 = 172,000 & y_2 = 292,000 \\ t_0 = 0 & t_1 = 20 & t_2 = 40 \end{array}$$

$$L = \frac{(2 \times 30 \times 10^3 \times 172,000 \times 292,000) - (172,000)^2 (30 + 292) (10^9)}{(30,000 \times 292,000) - (172,000)^2}$$

$$= 313,000$$

$$2) \quad m = (L - y_0) / y_0 = (313 - 30) / 30$$

$$= 9.43$$

$$n = (1/t_1) \ln \{ y_0(L - y_1) / y_1(L - y_0) \}$$

$$= (1/20) \ln \{ 30(313 - 172) / 172(313 - 30) \}$$

$$= -0.122$$

$$3) \quad y = 313,000 / (1 + 9.43e^{-0.122t})$$

4.6 รูปแบบและประเภทของพื้นที่ในกิจการประมง

ในการจัดการวางแผนแบบระบบประมง จำนวนพื้นที่ที่ต้องการ หรืออัตราการผลิตมีประมง อาจคำนวณได้จากขอบเขตและประเภทของพื้นที่ที่ต้องการใช้มาประมง ซึ่งได้สามารถกระทำได้โดยใช้ตารางที่ 4.5 หรือข้อมูลในลักษณะเดียวกัน จากแหล่งอื่น ๆ ในบางครั้งก็อาจคำนวณปริมาณพื้นที่ใช้ ได้จากความหนาแน่นของประชากรของพื้นที่ประเภทต่าง ๆ ตัวอย่างความหนาแน่นประชากรในบริเวณต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความหนาแน่นของประชากรในเขตการประมงต่าง ๆ

<u>ประเภท</u>	<u>จำนวนคนต่อตร.กม.</u>
ก. บริเวณที่อยู่อาศัย	
บ้านครอบครัวเล็กชนนาคย้อม	1240- 3710
บ้านขนาดใหญ่ที่มีดินนาหญ้า	3710- 8050
อพาร์ทเมนต์	20,720-247,160
ข. บริเวณย่านการค้า	3710- 7415
ค. บริเวณอุตสาหกรรม	1240- 3710

สารบัญเฉพาะบทที่ 5

คุณภาพและมาตรฐานของน้ำ

5.1	คุณภาพของน้ำดื่มตามธรรมชาติ	81
5.1.1	คุณภาพของน้ำบาดาล	83
5.1.2	คุณภาพของน้ำผิวดิน	86
5.2	มาตรฐานน้ำใช้เพื่อกิจต่างต่าง ๆ	87
5.3	คุณสมบัติทางกายภาพ	101
5.3.1	ความขุ่น	101
5.3.2	สี	102
5.3.3	กลิ่นและรส	103
5.3.4	อุณหภูมิ	104
5.4	คุณสมบัติทางเคมี	104
5.4.1	สารที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์มีชีวิต	104
5.4.1.1	คลอรีน	104
5.4.1.2	ความเป็นด่าง	104
5.4.1.3	ความกระด้าง	105
5.4.1.4	คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ	106
5.4.1.5	ออกซิเจน	107
5.4.1.6	แอมโมเนีย	107
5.4.1.7	เหล็ก	108
5.4.1.8	แมกนีเซียม	108
5.4.1.9	แคลเซียม	109
5.4.1.10	ทองแดง	109



5.4.1.11	เหล็ก	110
5.4.1.12	แผงกาวติด	111
5.4.1.13	HBAS	111
5.4.1.14	หินอุด	111
5.4.1.15	พอลิเอท	112
5.4.1.16	TDS	112
5.4.1.17	ซีเมนต์	112
5.4.1.18	สังกะสี	113
5.4.1.19	ตะกั่ว	114
5.4.2	สารเคมีที่เป็นพิษต่อสุขภาพ	114
5.4.2.1	ฟลูออไรด์	114
5.4.2.2	สารหนู	115
5.4.2.3	แอมโมเนีย	115
5.4.2.4	โบรอน	115
5.4.2.5	นิกเกิล	115
5.4.2.6	โครเมียม	116
5.4.2.7	โซเดียม	117
5.4.2.8	คลอรีน	117
5.4.2.9	ไนเตรตและไนไตรต์	118
5.4.2.10	ซีลีเนียม	118
5.4.2.11	สารกำจัดศัตรูพืชและยาปราบวัชพืช	118
5.5	คุณสมบัติทางคานแบบคทีเรีย	121
5.6	คุณสมบัติทางคานการวัดการปนเปื้อนน้ำ	122

บทที่ ๕

คุณภาพและมาตรฐานของน้ำ

“น้ำ” เป็นสิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ แต่ น้ำเป็นมนุษย์สามารถนำไปใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ ควรมีความสะอาดและบริสุทธิ์อย่างพอเพียง เพื่อให้ได้การดูแลสุขภาพที่เหมาะสม มิใช่เพียงจ่ำจืด ทั้งนี้เพราะน้ำในธรรมชาติย่อมมีสิ่งต่าง ๆ ละลายหรือปะปนอยู่มากมาย ซึ่งมีความสามารถของเส้นและของไม่เพิ่มด้วยตาเปล่า ซึ่งปะปนเหล่านี้ อาจมีคุณสมบัติบางอย่างหรือในทางตรงกันข้าม อาจทำให้โดยกับผู้บริโภคได้ ด้วยเหตุนี้การทำความเข้าใจกับน้ำก่อนใช้จึงมัก เป็นเรื่องที่มีผลเสียไม่ได้ ความจำเป็นในการทำความเข้าใจกับน้ำ มีความแตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้น้ำและคุณสมบัติของน้ำดิบ น้ำดิบที่มีความสกปรกมากย่อมต้องทำให้ความสะอาดมากกว่าน้ำดิบที่สกปรกน้อย ส่วนวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำอาจจำแนกเป็น ๒ ประเภทใหญ่คือ การใช้น้ำในชีวิตประจำวัน (Domestic Uses) และการใช้น้ำเพื่อกิจการอุตสาหกรรม (Industrial Uses) โดยปกติ กิจการอุตสาหกรรมมักต้องการใช้น้ำที่สะอาดยิ่งกว่าน้ำที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

๕.๑ คุณภาพของน้ำดื่มตามธรรมชาติ

มลพิษหรือสิ่งเจือปนในน้ำ มีมากมายหลายชนิด และอาจเป็นสารใด ๆ ก็ได้ แต่สิ่งหนึ่งที่เป็นลักษณะร่วมกันของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปา คือ สิ่งเจือปนมักมีสีขาวขุ่นเข้มข้นต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของมลทินในสารประกอบอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น น้ำดิบมักมีสารละลายน้ำ (TDS) ไม่เกิน ๑๐๐ มก./ล.หรือ ๐.๐๕ % ในทางตรงกันข้าม สารประกอบไฮโดรฟลูออไรด์ซึ่งใช้ในห้องปฏิบัติการ และถือว่ามีความบริสุทธิ์

สูงยิ่งยังมีผลกันอยู่ถึง 1-๘ อย่างไรก็ตามในทางวิศวกรรมซึ่งแวดล้อม ความ เข้มข้นที่ถือว่าค่าดังกล่าวมักยังต่ำไม่พอ เนื่องจากสามารถก่อปัญหาต่าง ๆ ได้ ยก ตัวอย่างเช่น ถ้าน้ำดิบมีเหล็กละลายอยู่สูงเกินกว่า ๐.๘ มก./ล. (หรือบางครั้งก็- อาจต่ำกว่านี้) ปัญหาเรื่องน้ำแดงหรือท่ออุดตันจะเกิดขึ้น จึงต้องมีการกำจัดเหล็ก ออกจากน้ำจน เหลือในระดับที่ไม่ก่อปัญหา โรงงานผลิตสารตั้งการฆ่าที่สะอาดและ บริสุทธิ์มากจนกระทั่งการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำแบบธรรมดา ไม่สามารถวัดสารละลายน้ำ ต่าง ๆ ได้เลย

โดยทั่วไป สิ่งที่ต้องวิเคราะห์หาในน้ำดิบและน้ำสะอาด มักสามารถวัดกันไปได้ดังแสดง ในตารางที่ ๓.๑ ทั้งนี้เพราะสิ่ง เชื่อมต่าง ๆ ดังที่กล่าวในตารางที่ ๓.๑ มักพบ

ตารางที่ ๓.๑ รายการวิเคราะห์หาที่ควรทำ

Parameter		Unit
1.	Colour	Water scale
	Turbidity	NTU (Jackson turbidity unit) scale
	Conductivity	$\mu S/cm$ at 25°C
	pH	
	Total dissolved solids	ppm at 180°C
2.	Total hardness	Ca^{2+}, Mg^{2+}
	Calcium	Ca^{2+}
	Magnesium	Mg^{2+}
	Sodium	Na^+
	Potassium	K^+
3.	Equivalent mineral acidity	SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^- HCO_3^-, OH^- CO_3^{2-}, OH^-, Cl^-
	Total alkalinity	
	Phenolphthalein alkalinity	
4.	Free carbon dioxide	CO_2
	Bicarbonate	HCO_3^-
	Carbonate	CO_3^{2-}
	Hydroxide	OH^-
	Sulphate	SO_4^{2-}
	Chloride	Cl^-
	Nitrate	NO_3^-
	Silica	SiO_2
	Phosphate	PO_4^{3-}
	5.	Total iron
Iron in solution		Fe
Copper		Cu
Aluminium		Al
Free ammonia		NH_3
Free chlorine		Cl_2

ได้โดยมีธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม มีประสบการณ์ของผู้บริโภคที่ว่าน้ำดื่มมีสารมลพิษอย่าง
 ซึ่งที่ไม่คาดคิดว่าจะมี นอกจากคลอรีนแล้ว ทำให้ก่อปัญหาต่อการใช้ น้ำ ยกตัวอย่าง
 เช่น น้ำบาดาลจากบางท้องถิ่นของภาคใต้ อาจพบสารพิษในปริมาณที่สูงกว่า ๐.๐๕
 มก / ลิ. ซึ่งเกินกว่าระดับที่คนไทยมีน้ำดื่ม ด้วยเหตุนี้ บางครั้งการวิเคราะห์น้ำ
 ความปรกติซึ่งไม่สามารถบอกได้ถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม นับว่าหากมี
 สารมลพิษที่หาออกมาก็สามารถกำจัดได้ด้วยความระมัดระวังแบบปกติ เช่น
 โคลนอกูเลนชัน, การกรอง เป็นต้น

๖.1.1 คุณภาพของน้ำบาดาล

น้ำบาดาลมักมีความขุ่นดำ ปราศจากสิ่งมีชีวิตหรือ ปริมาณสารละลาย (TDS)
 อาจสูงหรือต่ำก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่ว่ามีสัมผัสมกับแหล่งเกลือแร่หรือไม่ แหล่งน้ำบาดาล
 บางแห่ง มีปริมาณสารละลายต่ำมาก แต่อาจสูงมากในแหล่งอื่น (ดูตารางที่ ๕.๒)
 น้ำบาดาลมักไม่มีออกซิเจนละลายน้ำ แต่อาจมีคาร์บอนไดออกไซด์สูงมาก ทั้งนี้
 เนื่องจากเกิดออกซิเดชันได้ขึ้น ทำให้มีการใช้ออกซิเจนและผลิตคาร์บอนไดออก-
 ซიდ เพล็กและแมงกานีสตกได้ง่ายในน้ำใต้ดิน ซึ่งสัมพันธ์การจับของไดออกไซด์
 เมื่อสูบน้ำบาดาลขึ้นมาข้างบนและสัมผัสกับอากาศ เพล็กและแมงกานีสจะตกปฏิบัติ
 ออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดคอกคอกสีน้ำตาล ๆ เหลือง ๆ หรือสีคล้ำ
 การตกผลึกอาจเกิดขึ้นรวดเร็วมาก ถ้ามีเอซของน้ำสูงเพียงพอ ทำให้น้ำบาดาลมี
 ใสมากเมื่อแรกสูบน้ำขึ้นมา กลายเป็นน้ำขุ่นได้ภายใน ๑๐ นาที กรณีเช่นนี้เกิดขึ้นได้
 บ่อย ๆ กับน้ำบาดาลในบริเวณปากน้ำ ซึ่งหวั่นไหวเพราะปรากฏ น้ำก็มีเหล็กและแมง-
 กานีสสูง มักมีกลิ่นคาวที่คนสูดดมได้ไม่ยาก น้ำที่มีการจับของไดออกไซด์สูง มักมีสี-
 เอซดำ

น้ำจากภูเขาต่าง ๆ อาจถือได้ว่าเป็นน้ำใต้ดินที่ซึมออกมาบนผิวดิน และไหลเองลง
 มาสู่ลำน้ำ น้ำชนิดนี้มักมีเกลือแร่ต่ำมาก ซึ่งในน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (ดูตารางที่
 ๕.๖) ตัวอย่างของน้ำจากภูเขา ได้แก่ น้ำตกต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม คุณภาพน้ำ
 อาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อไหลผ่านชั้นแร่ธาตุและละลายเอาเกลือแร่ต่าง ๆ ใสมากับ
 น้ำด้วย

ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างคุณสมบัติของน้ำบาดาลในกรุงเทพมหานคร และต่างจังหวัด

คุณภาพของน้ำบาดาล	หน่วยความเข้มข้น	1	2	3	4	5
pH		7.7	5.8	8.8	7.2	8.0
Turbidity	Ntu	2.1	18	-	3.3	0.33
Conductivity	micromho/cm	625	-	119	-	-
Total Hardness	mg/lCaCO ₃	387	18	87	441	109
Ca ⁺²	mg/lCaCO ₃	103	-	13	209	-
Mg ⁺²	mg/lCaCO ₃	174	-	34	192	-
Total Alkalinity	do*	368	20	89	232	118
Cl ⁻	mg/l Cl ⁻	2.3	-	12	609	22.7
Total Solids	mg/l	381	-	148	1167	-
Fe	mg/l Fe	0.12	0.16	3.9	0.67	4.1
Mn	mg/l Mn	nil	nil	nil	nil	nil
CO ₂	mg/lCaCO ₃	-	-	17	87	71
NO ₃ ⁻	mg/l N	-	1.1	nil	nil	nil
NH ₃	do	-	0.1	-	0.67	-

- หมายเหตุ 1 อ.ทองผาภูมิ อ่างทองบุรี
 2 อีโอร่า ชลบุรี
 3 รร.บ้านบางงาม อ.เมือง สงขลา
 4 ไร่ปากน้ำฉิมพลีสงขลา กรุงเทพฯ
 5 การประปาปทุมธานีของเอกชน อ.เมือง อ.พยุหะไภค
 * เหมือนข้างบน

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างคุณสมบัติของน้ำจากภูเขาไฟในจังหวัดกาญจนบุรี (วิเคราะห์
โดยวิธีหมักกราด) ๒๕๕๕)

คุณภาพ	หน่วยความ เข้มข้น	แหล่งน้ำ			
		น้ำตกธาร ทอง	น้ำธารลด	น้ำตก เขาวัง	น้ำตก ไทรโยค
pH	-	7.3	7.77	7.38	7.00
Turbidity	Ntu	10.0	3.0	0.9	4.5
Conductivity	micromho/cm	26.0	68.0	400	250
Total Hardness	mg/lCaCO ₃	4	32	240	120
Ca	mg/lCaCO ₃	1	15	152	66
Mg	mg/lCaCO ₃	3	17	88	54
Total Alkali- nity	mg/lCaCO ₃	10	40	230	132
Total Solids	mg/l	50	73	206	154
Cl	mg/l Cl	3.3	3.1	4.6	1.7
Fe	mg/l Fe	0.06	0.10	0.06	0.10
Mn	mg/l Mn	nil*	nil*	nil*	nil*

* ตรวจจับ

๕.๑.๒ คุณภาพของน้ำดิบ

น้ำดิบดื่ม หมายถึงน้ำจากแม่น้ำลำคลอง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หนองและบึง เนื่องจาก
จากน้ำดิบดื่มยังมีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำใต้ดิน ดังนั้น คุณภาพดิบของน้ำ จึงขึ้นอยู่กับ
แหล่งเดิมใต้มาก่อนด้วย การไหลของบนผิวดิน ทำให้น้ำดิบดื่มได้รับความสกปรกจาก
สิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นจึงไม่น่าประหลาดใจว่า น้ำดิบดื่มอาจมีความ
ขุ่นและสารอินทรีย์ (ทำให้เกิดสีสูงมาก) ปริมาณเกลือแร่ในน้ำอาจสูงหรือต่ำก็ได้
นอกจากนี้ น้ำยังมีของแข็งต่างสารพิษต่าง ๆ จากบริเวณเกษตรกรรม สารพิษ เหล่านี้
ได้แก่ ไซโททริก ในเศษผล ผอศผล ยารฆ่าแมลง ฯลฯ มาให้กับน้ำดิบดื่ม แต่ถึง
กระนั้นการปนเปื้อนปริมาณต่ำในน้ำดิบดื่ม ทั้งนี้ เนื่องจากมีการตกตะกอนของเกลือ และ
แมงกานีสเกิดขึ้นในขณะที่น้ำไหลของบนผิวดิน ตารางที่ ๕.๔ เปรียบตัวอย่างคุณภาพ
ของน้ำจากแหล่งน้ำดิบในสถานที่บางแห่ง

ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำดิบดื่มคือโรงงานอุตสาหกรรม
ต่าง ๆ ซึ่งปล่อยน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารพิษหลายชนิด (ดูตารางที่ ๕.๕)
แหล่งรับน้ำเสียหรือน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมมัก เป็นน้ำดิบดื่ม ดังนั้นจึงมีใยกาส
ที่น้ำดิบดื่มถูกทำให้ปนเปื้อนไปด้วยสารพิษต่าง ๆ หรืออยู่ในน้ำเสีย

อ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบ มักตั้งอยู่ในบริเวณที่ต่ำ ซึ่งเป็นที่สะสมน้ำดิบดื่มจากแหล่ง
ต่าง ๆ การที่น้ำถูกขังอยู่เป็นเวลานาน ๆ จึงมีปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ
เคมีและชีวเคมีเกิดขึ้นตลอดทั้งชั้นน้ำ ตะกอนและมลพิษเกิดการตกตะกอน และจมน
คงอยู่กับอ่าง สาหร่ายเขตรัดเติบโต หรือจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจาก
มักมีอาหารสมบูรณ์อยู่ในน้ำ การที่น้ำกักเก็บไว้รอออกซิเจนเกิดขึ้นที่ผิวน้ำและอาจก่อมล
เสียต่าง ๆ เช่น ทำให้เหล็กและแมงกานีสละลายยกตัวขึ้นสู่น้ำ นอกจากที่ความลึก
ของอ่างเก็บน้ำทำให้เกิดการแบ่งชั้นน้ำตามระดับอุณหภูมิซึ่งแตกต่างกัน และทำให้
เกิดการพลิกตัว (Turnover) ของน้ำ เป็นผลให้น้ำชั้นล่างเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน
และน้ำชั้นบนลงข้างล่าง ผีต่าง ๆ ที่เกิดกับอ่างเก็บน้ำดังกล่าว เป็นปัจจัย
ที่กำหนดคุณภาพของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ตารางที่ ๕.๖ แสดงคุณภาพของน้ำที่ตรวจ
วัดต่าง ๆ ในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนศรีนครินทร์ อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า น้ำชนิดนี้

ตารางที่ ๑.๔ ตัวอย่างคุณสมบัติน้ำผิวดินในป่าดงพญาไฟ

คุณภาพ	หน่วยความเข้มข้น	แหล่งน้ำ		
		๑	๒	๓
pH		7.75	7.5	7.5
Turbidity	Ntu	5.0	๙๙	49
TDS	mg/l	150	๘๓	107
Hardness	mg/l CaCO ₃	120	๘๒	๑๑
Calcium	do**	๙๙	46	56
Magnesium	do	42	๒5	๒๖
Alkalinity	do	133	7๖	74
Chloride	mg/l Cl ⁻	1.๔	7	1๖
Iron	mg/l Fe	0.21	1.0๗	0.๑๒
Manganese	mg/l Mn	nil	0.01	0.0๒
Color	Color unit	-	10	7
Sulfate	mg/l*	-	๑0	๑๑

** เหล็กบดขี้างบบ

* as Na₂SO₄

- หมายเหตุ**
- ๑ แม่น้ำแควน้อย (วิเคราะห์เมื่อวันที่ ๑ มค. ๒๕๒๖)
 - ๒ แม่น้ำเจ้าพระยาที่บริเวณตำบลศาลา ซึ่งเป็นต้นทางของคลองประปา
 - ๓ คลองประปาบริเวณโครงการถ่านหินสามเสน

ตารางที่ 5.5 สารพิษที่พบในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

สารพิษ	แหล่งที่มา	ผลกระทบ
สารหนู (Arsenic)	น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โรงงานผลิตผงซักฟอก	เป็นพิษอย่างแรงต่อสิ่งมีชีวิต
แคดเมียม	โรงงานขุดโลหะ โรงงาน ผลิตปุ๋ย โรงงานชุบโลหะ	เป็นพิษอย่างแรงต่อสิ่งมีชีวิต
โครเมียม	น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานฟอกหนัง	เป็นพิษอย่างแรงต่อสิ่งมีชีวิต
ทองแดง	น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานขุดโลหะ โรงงาน ผลิตเส้นใยสังเคราะห์	เป็นพิษอย่างแรงต่อสิ่งมีชีวิต
ตะกั่ว	โรงงานทำสี โรงงานแบตเตอรี่	เป็นพิษอย่างแรงต่อคนและสัตว์เลี้ยง
ปรอท	โรงงานผลิตยาปราบศัตรูพืช โรงงานแก้วและอลูมิเนียม โรงงานกระดาษ โรงงาน เปลาเคมีคอล	เป็นพิษอย่างแรงต่อคนและสัตว์เลี้ยง
นิเกิล	โรงงานผลิตเครื่องไฟฟ้า โรงงานทำอาหาร	ขบวนการเก็บโคของหนักที่เร็ว ในการกำจัดน้ำเสีย
เงิน	โรงงานผลิตน้ำยาทำรูป	เป็นอันตรายต่อปลา
สังกะสี	โรงงานชุบโลหะ โรงงาน ทำยาง	เป็นอันตรายต่อปลา
โซดาไนต์	โรงงานผลิตเครื่องไฟฟ้า โรงงานชุบโลหะ	เป็นอันตรายต่อสัตว์ต่าง ๆ

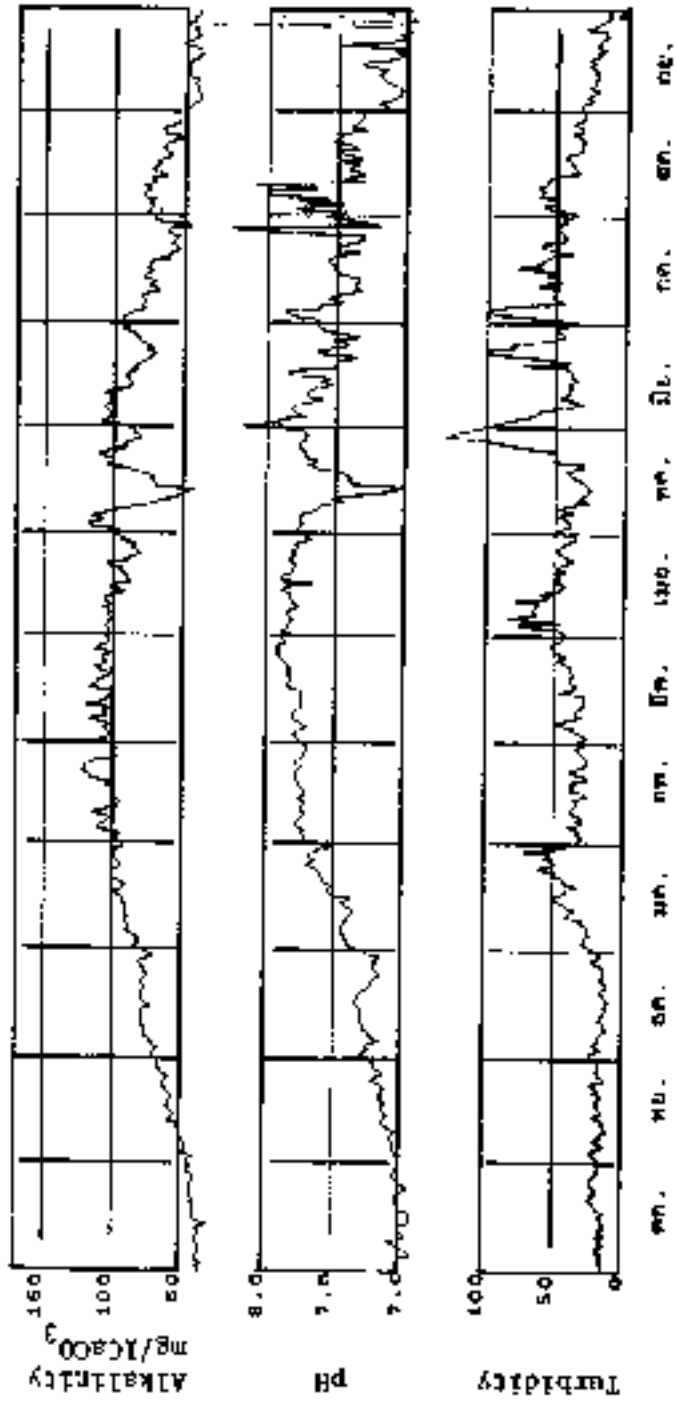
สารพิษ	แหล่งที่มา	ผลเสีย
Formaldehyde	โรงงานผลิต เม็ดพลาสติก โรงงานฟอกล้าง	เป็นพิษต่อสัตว์หลายชนิดและ ต่อแบคทีเรีย และทำให้ระคาย ผิวหนัง
ฟลูออ	โรงงานผลิต เม็ดพลาสติก โรงงานผลิตยางรถยนต์, สี, สารเคมี	เป็นพิษต่อพืชและสัตว์ เชื่อว่า ทำให้เกิดโรคหัวใจ
ผงซักฟอก	โรงงานซักฟอก โรงงาน น้ำอัดลม	Eutrophication

มักมีความขุ่นดำ ธารน้ำมีกลิ่นซึ่งเกิดจากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ หรือสา-
หร่าย สีเขียวถึงสูง ปริมาณแก๊สไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในน้ำสูงหรือค่าพีเอช และโดยปกติ น้ำ
ขุ่นดำมักไม่มีเหล็กหรือแมงกานีส แต่อาจพบได้ในปริมาณสูงเช่นกัน การบริโภค
ของสิ่งมีชีวิตน้ำทำให้เหล็กและแมงกานีสเปลี่ยนที่ซึ่งแข็งจน การรวบรวมที่อุณหภูมิต่ำจาก
อย่างเก็บน้ำไปผลิตประปา จึงต้องบำบัดถึงระดับของปากท่ออุทกให้เหมาะสมด้วย

ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มคือ ความขุ่นดำของน้ำจืด
จะแปรปรวนไปตามฤดูกาลมากกว่าของน้ำเค็ม โดยปกติน้ำจืดจะมีคุณภาพน้ำ
ในฤดูร้อนและฤดูฝน (ดูภาพที่ ๕.๖) ยกตัวอย่างเช่น น้ำฝนจะขุ่นหรือของขุ่น
สีไปลงใบน้ำต่าง ๆ ทำให้น้ำใบมีค่าคลอโรฟิลล์สูงมากในฤดูฝน การ
แปรปรวนของคุณภาพน้ำจืดก็มีเช่นกัน แต่ไม่มากเท่าของน้ำเค็ม แหล่งน้ำ
จืดบางแห่งมีคุณภาพเลวลงเรื่อย ๆ เนื่องจากมีการซึมของน้ำเค็มเข้าสู่ชั้นน้ำ-
บาดาล หรือสาเหตุนั้น ๆ ซึ่งเป็นผลจากการสูบน้ำบาดาลไปใช้มากและเร็วเกินไป
ดูจากที่ ๕.๗ แสดงให้เห็นถึงภาวะเปลี่ยนแปรคุณภาพน้ำบาดาลแหล่งหนึ่ง ในเขต
กรุงเทพมหานคร ในระหว่าง พ.ศ. ๒๕๑๕ ถึง ๒๕๒๕

ตารางที่ ๘.๘ คุณสมบัติน้ำของน้ำที่ระดับค่าอง ๑ ในบึงเวตหน้าเขื่อนศรีนครินทร์
กาญจนบุรี

คุณภาพ	หน่วยความ เข้มข้น	ระดับความลึก, เมตร			
		๐.๕	๕	๑๕	๔๐
Ca	mg/l CaCO ₃	๑๒	๒๕	๑๐๐	๑๐๐
Mg	mg/l CaCO ₃	๔๘	๔๒	๔๒	๔๐
Bicarbonate	mg/l CaCO ₃	๑๖๖	๑๘๘	๑๖๖	๑๖๘
Carbonate	mg/l CaCO ₃	-	-	-	-
Hydroxyl	mg/l CaCO ₃	-	-	-	-
Sulfate	mg/l SO ₄	๑.๔	๐.๕	๑.๐	๑.๑
Chloride	mg/l Cl	๑.๖	๑.๖	๑.๖	๑.๐
Hardness	mg/l CaCO ₃	๑๖๖	๑๖๖	๑๖๖	๑๖๐
Alkalinity	mg/l CaCO ₃	๑๖๐	๑๖๔	๑๖๔	๑๖๔
CO ₂	mg/l CO ₂	๒.๐๕	๓.๒๕	๓.๐๕	๑๖.๒
pH	-	๗.๔๓	๗.๔๔	๗.๑๖	๗.๐
Silica	mg/l SiO ₂	๑๐.๖	๕.๕	๕.๖	๕.๐
Iron	mg/l Fe	๐.๐๗	๐.๐๘	๐.๒๒	๐.๐๗
Turbidity	Ntu	๑.๒	๐.๘	๐.๕	๑.๗
Total Solids	mg/l	๑๔๑	๑๖๘	๑๖๖	๑๖๐
Conductivity	micromho/cm	๒๕๐	๒๕๐	๒๕๐	๒๗๐
Temperature	°c	๒๕.๔	๒๕.๕	๒๕.๕	๒๕.๕
H ₂ S	mg/l	๐	๐.๒	๐.๒	๐.๘



រូប 5.1 របស់ការសង្កេត, ការប្រើប្រាស់ អាស៊ីតស៊ីត្រិក និង ប្រាក់កញ្ចក់ ក្នុងទឹក

1 មធ្យ. 2510 - 30 មធ្យ. 2511

ตารางที่ 5.7 ตัวอย่างของสถิติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างปี พ.ศ. 2515-2525

ชื่อ: วิทยาลัยเกษตรกรรม... อำเภอ (กม.) 124/4
 ปี: 2515-2525
 ความลึก: 141.0 - 148.5 ม.
 150.5 - 153.7 ม.
 157.0 - 161.7 ม.

YEAR	TURBIDITY	IRON	MANGANESE	AMMONIA	NITRITE	NITRATE	PH	H-ALKALINITY	ACIDITY	TDS	CHLORIDE	T-HARDNESS	Ca-HARDNESS	Mg-HARDNESS	pH	S.L.	TENDENCY OF WATER
2516	0.0	0.51	0.26	0.43	0.01	0.01	7.08	267	-	400	64	192	111	7.1	7.52	-0.20	CORROSION
2517	5.2	0.55	0.43	0.19	0.02	0.02	7.35	250	-	360	58	136	84	7.3	7.65	-0.15	CORROSION
2518	3.4	0.37	0.40	0.96	0.05	0.042	7.16	261	-	375	71	136	89	7.4	7.64	0.24	CORROSION
2519	5.3	0.25	0.52	0.76	0.01	0.442	7.04	230	75	390	107	156	89	7.4	7.76	-0.36	CORROSION
2520	3.8	0.38	0.59	0.82	0.11	0.16	7.09	290	96	423	133	182	88	7.4	7.71	-0.21	CORROSION
2521	2.8	0.44	0.54	0.30	0.11	0.16	7.11	256	76	408	111	196	70	7.5	7.89	-0.39	CORROSION
2522	2.3	0.52	0.56	0.68	0.11	0.16	7.13	244	58	520	166	232	142	7.2	7.38	-0.08	CORROSION
2523	2.6	0.56	0.71	0.52	0.02	0.43	7.00	244	76	580	207	251	145	7.2	7.40	-0.20	CORROSION
2524	2.6	0.63	0.74	0.52	0.02	0.82	6.98	242	68	709	243	277	169	7.2	7.42	-0.22	CORROSION
2525	3.1	0.57	1.14	0.52	0.02	0.16	7.20	232	87	1147	503	441	249	7.0	6.80	-0.20	SCALE

ความทนทานต่อการผลิตน้ำประปา ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบ เป็นสำคัญ น้ำดิบที่
 ีสารต่าง ๆ เพื่อปะอยู่ในปริมาณสูง มักทำให้ความสะอาดได้ยากกว่าน้ำดิบที่มีสารจือ
 น้อยและอยู่ในปริมาณต่ำ การกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำของน้ำดิบจึงมีประโยชน์
 ในการคัดเลือกแหล่งน้ำที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำประปา ตารางที่ ๕.๑ เป็น
 มาตรฐานขั้นต่ำที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา สำหรับน้ำผิวดินที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปาเพื่อ
 ชุมชน มาตรฐานหรือเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ ๕.๑ มี ๒ ประเภทคือ ะดับพอ
 ไปได้ (Permissible Criteria) และระดับเลิศ (Desirable Criteria)
 ถ้าผิวดินมีคุณภาพอยู่ในระดับพอไปใช้ได้ มีระดับเลิศ แต่คงว่าน้ำผิวดินสามารถ
 ผลิตน้ำประปาได้ด้วยความขบวนการกำจัดความสะอาดแบบธรรมดา ที่ใช้กันทั่วไปในโรง
 งานประปาทั้งหลาย แต่ถ้าสามารถหาบน้ำดิบที่มีคุณภาพเข้าที่ระดับเลิศ (Desir-
 able Criteria) แล้ว แทนที่จะต้องทำความสะอาดน้ำก็สามารถผลิตน้ำประปาได้
 ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตน้อยที่สุด องค์การอนามัยโลก (WHO) ก็ได้กำหนด
 มาตรฐานน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาไว้เช่นกัน ดังแสดงอยู่ในตารางที่ ๕.๑ ความ
 หนักขององค์การอนามัยโลก น้ำดิบที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำประปาต้องมีสารเชือ
 นต่าง ๆ อยู่ในน้ำไม่เกินระดับความเข้มข้นที่กำหนดไว้ในตารางที่ ๕.๑

5.2 มาตรฐานน้ำใช้เพื่อกิจการต่าง ๆ

ตารางที่ ๕.1๐ เป็นมาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวง (กปน.) ซึ่งเป็
 ้นาหมายของโรงงานผลิตประปาเพื่อชุมชน จะเห็นได้ว่า มาตรฐานน้ำดื่มของ
 ประเทศในอโลกี้เกี่ยวข้องกับขององค์การอนามัยโลกซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ ๕.11

น้ำใช้เพื่อกิจการอุตสาหกรรม มักต้องการความบริสุทธิ์มากกว่าน้ำดื่ม ยกตัวอย่าง
 เช่น น้ำดื่มไม่สามารถนำไปใช้ป็นน้ำเลี้ยง (Feed Water) หม้อน้ำที่มีความ
 สัมปทานกลางหรือสูงของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากยังมีเกลือแร่ละลายน้ำอยู่
 สูงเกินไป ตารางที่ ๕.1๒ เป็นตัวอย่างมาตรฐานน้ำเลี้ยงหม้อน้ำซึ่งจะเห็นได้ว่า
 มีความบริสุทธิ์สูงมาก โดยทั่วไป อาจกล่าวได้ว่า น้ำประปาหรือน้ำดื่มเป็นน้ำดิบ
 สำคัญกิจการอุตสาหกรรม เนื่องจากต้องทำความสะอาดน้ำประปาหรือน้ำดื่มเพื่อ

ตารางที่ 5.๕ คุณสมบัติของน้ำดื่มที่มอบมาใช้ในการผลิตน้ำประปา ความมาตรฐาน
ของสหรัฐอเมริกา

Composition or Characteristic	Proposed Criteria	Desirable Criteria
Physical		
Color (color units)	75	100
Taste	Negative	Virtually absent
Temperature	60	Negative
Turbidity	0.5	Virtually absent
Microbiological:		
Coliform organisms	10,000/100 ml	< 100/100 ml
Fecal coliforms	2,000/100 ml	< 10/100 ml
Inorganic chemicals:		
	(mg/l)	(mg/l)
Alkalinity	Negative	Negative
Ammonia	0.5 (as N)	< 0.5
Asenic	0.05	Absent
Barium	1.0	0
Boron	1.0	0
Cadmium	0.01	0
Chloride	250	< 25
Chromium, hexavalent	0.05	Absent
Copper	0.1	Virtually absent
Dissolved oxygen	at least 5 mg/l	Near saturation
Fluoride	Negative	Negative
Hardness	0	0
Iron (ferrous)	0.3	Virtually absent
Lead	0.05	Absent
Manganese (soluble)	0.05	0
Nitrate plus nitrite	10 (as N)	Virtually absent
pH (range)	6.5-8.5	Negative
Phosphorus	Negative	0
Selenium	0.01	Absent
Silver	0.05	0
Sulfate	250	< 50
Total dissolved solids (filterable residue)	500	< 200
Vanadium	0	Absent
Zinc	5	Virtually absent
Organic chemicals:		
Cation chloroform residue (CCl ₄)	0.15	< 0.05
Cyanide	0.20	Absent
Methylene blue active substances	4.0	Virtually absent
Oil and grease	Virtually absent	Absent
Pesticides:		
Aldrin	0.015	0
Chlorane	0.001	0
DDT	0.001	0
Dieldrin	0.015	0
Endrin	0.001	0
Heptachlor	0.015	0
Heptachlor epoxide	0.015	0
Lindane	0.05%	0
Organic chemicals (Cont.)		
nitrobenzene	0.015	0
Organic phosphates plus carbonates	0.1	0
Toxaphene	0.005	0
Herbicides:		
2,4-D plus 2,4,5-T, plus 2,4,6-TP	0.1	0
Phosif	0.001	0
Radioactivity:		
Gamma rays	1,000	< 100
Radium-226	5	< 1
Strontium-90	10	< 1

ตารางที่ 5.2 มาตราฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

Constituent or Characteristic	Maximum allowable limit	
<u>Physical</u>		
Color	300	unit
Turbidity	Narrative	
<u>Chemical</u>		
TDS	1500	mg/l
Iron	50	mg/l
Manganese	5	mg/l
Copper	1.5	mg/l
Zinc	1.5	mg/l
MgSO ₄ +Mn ₂ SO ₄	1000	mg/l
ABE (Alkyl Benzyl Sulfonates)	0.5	mg/l
Nitrate as NO ₃ ⁻	45	mg/l
Fluoride	1.5	mg/l
Phenolic Substances	0.002	mg/l
Arsenic	0.05	mg/l
Cadmium	0.01	mg/l
Chromium	0.05	mg/l
Cyanide	0.2	mg/l
Lead	0.05	mg/l
Selenium	0.01	mg/l
Radionuclides (gross beta activity)	1000	ucp/l
OCB	10	mg/l
Bod	6	mg/l
Total Nitrogen (exclusive of NO ₃ ⁻)	1	mg/l
Ammonia	0.5	mg/l
OCB (Carbon Chloroform Extract)	0.5	mg/l
Grease	1	mg/l
Coliform Bacteria	Narrative	

ที่มา Chuanra Chayabongse (1981) "Environmental Quality Standard" UNEP Report, Bangkok, Thailand.

ตารางที่ ๑.๑๐ มาตรฐานของน้ำดื่มของทหารประจำภาค๑๖๑

ลำดับที่	ชนิด	ปริมาณที่ปลอดภัย P.P.M.
1	<u>สารที่เป็นพิษ ถ้ามีเกินกำหนดจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ คือ</u> ตะกั่ว (Lead) เซเลเนียม (Selenium) โครเมียม (Chromium) ไซยาไนด์ (Cyanide) อาร์เซนิก (Arsenic)	๐.๐๕ ๐.๐๑ ๐.๐๕ ๐.๐๑-๐.๒ ๐.๐๑-๐.๐๕
๒	<u>สารบางจำพวกที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ ถ้ามีมากเกินจำนวนที่กำหนดจะทำให้เกิดโรคได้ คือ</u> ฟลูออไรด์ (Fluoride) ไนเตรต (Nitrate)	๑.๒ (acceptable) ๑.๐
๓	<u>สารบางจำพวกที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของน้ำดื่ม</u> <u>สารพวกนี้ถ้ามีมากเกินกำหนดจะทำให้ไม่บริสุทธิ์</u> กลิ่นและรส (Odour and Taste) สี (Colour) ความขุ่น (Turbidity) ความเป็นกรดหรือด่าง (pH Value) สารทั้งหมด (Total Solids) ความกระด้าง (Total Hardness) เหล็ก (Iron) แมงกานีส (Manganese) ทองแดง (Copper) สังกะสี (Zinc)	ไม่เป็นพิษหรือ ๒๐ Unit ๕ Unit ๖.๕-๘.๒ ๑๐๐๐ ๓๐๐ ๐.๓ ๐.๓๐ ๑.๐-๓.๐ ๑๕

ลำดับที่	ชนิด	ปริมาณได้มีไว้ในน้ำดื่ม P.P.M.
	แมกนีเซียม (Magnesium) ซัลเฟต (Sulphate as Na_2SO_4) คลอไรด์ (Chloride) ฟีนอล (Phenol)	125 250 250 0.002-0.001
๔	<u>สารบางตัวที่อาจมีอยู่ในน้ำดื่มที่เก็บไป และว่า</u> <u>น้ำดื่มที่สะอาดมาก มีสิ่งสกปรกปนอยู่ด้วย</u> ออกซิเจนที่บริโภค (Oxygen Consumed) แอมโมเนียอิสระ (Free Ammonia) อัลบูมินอยด์ แอมโมเนีย (Albuminoid Ammonia) ไนไตรต์ (Nitrite) (ในรูป Nitrogen)	2 0.2 0.1 ต้องไม่มีอยู่เลยหรือ น้อยกว่า 0.001
๕	<u>แบคทีเรียที่อาจทำให้เกิดโรคคอมพิวเตอร์ ออ</u> <u>บิโตซิส</u> ค่า MPN	น้อยกว่า 2.2 ต่อ น้ำ 100 มล.

ตารางที่ ๕.๑๑ มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

<u>Standard of Drinking Water (WHO)</u>		
(Physical and Chemical)		
<u>Toxic Substance</u>	<u>Maximum Allowable mg/l</u>	
Lead (as Pb)	0.05	
Selenium (as Se)	0.01	
Arsenic (as As)	0.05	
Chromium (as Cr hexavalent)	0.05	
Cyanide (as CN)	0.2	
Cadmium	0.01	
<u>Substances Affecting the Potability of Water</u>		
<u>Substance</u>	<u>Max. Acceptable</u>	<u>Max. Allowable</u>
Total Solids	500 mg/l	1,500 mg/l
Color	5 Units	50 Units
Turbidity	5 Units	25 Units
Taste	Unobjectionable	-
Odor	Unobjectionable	-
Iron (Fe)	0.3 mg/l	1.0 mg/l
Manganese (Mn)	0.1 mg/l	0.5 mg/l
Copper (Cu)	1.0 mg/l	1.5 mg/l
Zinc (Zn)	5.0 mg/l	15 mg/l
Calcium (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
Magnesium (Mg)	50 mg/l	150 mg/l
Sulfate (SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
Chloride (Cl)	200 mg/l	600 mg/l

<u>Substance</u>	<u>Max. Acceptable</u>	<u>Max. Allowable</u>
pH range	7.0-8.5	
Magnesium + Sodium Sulfate	500 mg/l	1,000 mg/l
Phenolic Substances (as Phenol)	0.001 mg/l	0.002mg/l
Carbon Chloroform Extract	0.2 mg/l	0.5 mg/l
Alkyl Benzyl-Sulfonates	0.5 mg/l	1.0 mg/l
<u>Standard of Bacteriological Quality</u>		
90 % of Samples in year negative for Coliforms i.e.		
90 % of Samples MPN < 1.0		
No Samples MPN > 10		
MPN 8-10 not to occur in Consecutive Sample		

ตารางที่ ๕.๑๕ มาตรฐานของน้ำเลี้ยงหม้อน้ำที่มีความดันระดับต่าง ๆ

<u>Boiler feedwater</u>			
<u>Drum pressure, psig</u>	<u>Iron, ppm Fe</u>	<u>Copper, ppm Cu</u>	<u>Total hardness, ppm CaCO₃</u>
0-300	0.100	0.050	0.300
301-450	0.050	0.025	0.300
451-600	0.030	0.020	0.200
601-750	0.025	0.020	0.200
751-900	0.020	0.015	0.100
901-1000	0.020	0.015	0.050
1001-1500	0.010	0.010	ND*
1501-2000	0.010	0.010	ND*

กำจัดสารละลายน้ำเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปใช้ เพื่อกิจการอุตสาหกรรมได้-
มาตรฐานน้ำ: ๖๕๕ เพื่อกิจการอุตสาหกรรม อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ ซึ่งที่
แสดงอยู่ในตารางที่ ๕.๒๖ และอาจสรุปได้คร่าวๆ ดังนี้

ตารางที่ ๕.๒๖ คุณภาพของน้ำบริสุทธิ์ระดับต่าง ๆ

Unit	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
	Chemically and biologically pure water	Chemically pure water with trace organics	Purified water with trace dissolved solids and gases	Purified water with trace dissolved solids; Si and CO ₂ as feedwater
Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}^2$	0.1-0.055	< 0.1-0.055	2-1	5-2
Resistivity, $\text{M}\Omega/\text{cm}$ at 25°C	10-20	10-20	0.5-1	0.2-0.5
Total suspended solids, ppm	At limit of detection	<0.05	<0.05	<0.05
Organic solutes oxygen absorbed, ppm	At limit of detection	<0.1	<0.1	<0.1
pH range	5.5-7	5.5-7	5.8-8.5	4-8.5
Bacterial count, col./100 ml	Nil	Nil	N/A	N/A
Silica SiO ₂ , ppm	<0.005	<0.005	<0.05	As feedwater
Trace dissolved metals	<0.005	<0.005	<0.05	<0.05
Colloidal matter	At limit of detection	As feedwater	As feedwater	As feedwater
Carbon dioxide (CO ₂)	At limit of detection	At limit of detection	1.0	As feedwater
Quality assessment	Conductivity, pH, Si and TOD* measurements	Conductivity, pH, Si measurements	Conductivity, pH, Si measurements	Conductivity, pH measurements

* Total oxygen demand

* หน่วยหน่วย microhm/cm (μS = microsiemen)

- น้ำบริสุทธิ์ระดับที่ ๔ (ต่ำสุด) น้ำระดับนี้ยังมีส่วนละลายแก๊สที่มีในปริมาณที่น้อยมาก (trace) อาจมีสีสีเทาและคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่มากกว่าปริมาณที่ยอมรับได้ในหม้อไอน้ำ
- น้ำบริสุทธิ์ระดับที่ ๓ น้ำระดับนี้มีสารละลายและก๊าซในปริมาณที่น้อยมาก (trace)
- น้ำบริสุทธิ์ระดับที่ ๒ น้ำระดับ ๒ มีแค่สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในปริมาณน้อยมาก (วัดด้วยเครื่อง TOD) เท่านั้น
- น้ำบริสุทธิ์ระดับที่ ๑ (ดีที่สุด) น้ำระดับนี้จัดเป็นน้ำบริสุทธิ์ที่สุดทั้งทางเคมีและชีว

สำหรับในหนังสือเล่มนี้ จุดมุ่งหมายอยู่ที่การให้ความรู้เกี่ยวกับ การผลิตน้ำประปา หรือน้ำดื่ม เท่านั้น ยังไม่ต้องการครอบคลุมไปถึงการผลิตน้ำเพื่อการอุตสาหกรรม

๑.๑ คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ เกิดขึ้นจากสารบางอย่าง ซึ่งเราสามารถทราบได้จาก ประสาทสัมผัสทั้ง ๕ ของมนุษย์ ชาวเหล่านี้สามารถกำจัดออกจากน้ำ ได้ด้วยวิธี ง่าย ๆ และมัก เป็นดัชนีชี้วัดว่าน้ำสามารถดื่มได้หรือไม่

๑.๑.๑ ความขุ่น

ความขุ่นของน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากสารพวกคอลลอยด์ในน้ำ เช่น ดินโคลน ทราย ตะกอน และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กพวกสาหร่าย เซลล์เดียว แพลงตอน และโคมโบ- ตอม สารดังกล่าวสามารถทำให้แสงเกิดหักเห และอาจถูกแสงอาทิตย์ที่ผ่านทะลุ ไป ซึ่งทำให้มีสิ่งมีชีวิตที่ก่อความขุ่น เป็นผลจากความขุ่นสามารถสังเกตได้ก่อนเพราะ

ตกคาล์ง่าย ยับยั้ง เป็นปัจจัยเชิงลบในการตัดสินใจ ผู้บริโภคต้องการใช้น้ำหรือ
ไม่ และเนื่องจากความขุ่น เป็นพารามิเตอร์ที่วัดได้ง่าย วิธีการที่ง่ายคือจะนิยม
ใช้ความขุ่นเป็นเครื่องวัดประสิทธิภาพของขบวนการหลายประเภท เช่น ขบวนการ
กรองน้ำ ขบวนการตกตะกอน เป็นต้น น้ำประปาเพื่อชุมชน ไม่ควรมีความขุ่นเกิน
5 หน่วย เพื่อให้เป็นที่ยอมรับและเพื่อความปลอดภัย (เนื่องจากเชื้อโรคอาจ
เกาะติดมากับความขุ่นได้)

5.3.2 ฝู

ฝูในธรรมชาติ ส่วนใหญ่เกิดจากคอลลอยด์ที่ไม่เสถียร และมักมีสีเทา อย่างใจกั-
ลาง สีของน้ำอาจเป็นสีที่เกิดจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ ก๊าซที่
น้ำมีฟอสฟอรัสทำให้น้ำไม่ขุ่นดื่มและไม่น่าใช้ ดังนั้นการกำจัดฝูออกจากน้ำ จึงเป็น
สิ่งจำเป็นสำหรับโรงงานผลิตประปา น้ำดื่มไม่ควรมีสีเกินกว่า 20 หน่วย

สีของน้ำอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

5.3.2.1 สีแท้หรือสีจริง

หมายถึงสีที่ละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ สีแท้เกิดจากสารอินทรีย์ ซึ่งย่อย
สลายจากประเภทกรดฮิวมิกและฟัลวิก (Humic Acid & Fulvic Acid) ซึ่ง
เป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลายพืชต่าง ๆ กรดอินทรีย์เหล่านี้เป็นสารที่มีความคงตัว
สูงมาก จนไม่สลายตัวอีกต่อไปแล้ว การกำจัดสีแท้ออกจากน้ำจึงไม่อาจกระทำได้
โดยง่าย

5.3.2.2 สีปรากฏ

หมายถึงสีของน้ำที่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีการทางกาย เช่น ตกตะกอน หรือกรอง

เขียนลับ การกำจัดมีปรากฏออกไปจะค่าไทต์เต็มสีแก่ของน้ำ (ถ้ามี)

5.3.3 กลิ่นและรส

กลิ่นและรสในน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- ก. ดุลยเคมีต่าง ๆ เช่น สารฟอส โดซคลอสม และโปรโคซิฟ (สำหรับอีกเป็น- สาเหตุที่อาศัยที่สุด)
- ข. ก๊าซต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S
- ค. การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งขาดออกซิเจน
- ง. น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม
- จ. ผลการเติมสารเคมีบางอย่างเช่น คลอรีน
- ฉ. สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ เช่น เฟอร์ริก

มนุษย์รับรู้อารมณ์และรสชาติด้วยการดมและชิม ความต่ำต้อย แต่การบอกเป็นปริมาณตัวเลขว่ามีกลิ่นและรสอย่างมากน้อยเพียงใดนั้น ยังไม่มีวิธีมาตรฐาน ด้วยเหตุนี้ ข้อจำกัดของกลิ่นและรสในมาตรฐานน้ำดื่มหรือน้ำประปา จึงกำหนดไว้อย่างกว้าง ๆ ว่าคือจะไม่เป็นสีมีารังเกิดจ เท่านั้น

5.3.4 อุณหภูมิ

น้ำธรรมชาติมักมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงปกติ เนื่องจากกระบวนการผลิตประปาไม่ทำให้น้ำประปามีอุณหภูมิผิดปกติ จึงไม่มีการพูดถึงสีกจำกัดของอุณหภูมิไว้ในมาตรฐานน้ำดื่ม อย่างไรก็ตาม ต้องตระหนักไว้ว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ทำให้คุณภาพของน้ำ เปลี่ยนแปลงได้ และยังมีอิทธิพลต่อกรรมวิธีใช้ในการผลิตประปาอีกหลายประเภท

5.4 คุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ เกิดขึ้นเนื่องจากมีแร่ธาตุหรือสารประกอบต่าง ๆ ละลายอยู่ในน้ำ สารเหล่านี้อาจมีพิษหรือไม่มีพิษก็ได้

5.4.1 สารที่ไม่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต

5.4.1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (ระดับความเป็นกรด-ด่าง)

การวัดค่าของพีเอช เป็นการวัดความเข้มข้นของ H^+ ในน้ำ H^+ ที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของกรดในน้ำ และอาจถูกทำปฏิกิริยาโดยสารละลายต่าง ๆ น้ำที่มีพีเอชสูงกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง ส่วนน้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด ในทางทฤษฎีถือว่าพีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 น้ำบริสุทธิ์ควรมีพีเอชเท่ากับ 7 อย่างไรก็ตามโดยเหตุที่เป็นสภาพที่สภาพคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ด้วย น้ำบริสุทธิ์ที่สัมผัสกับอากาศ ซึ่งมีพีเอชต่ำกว่า 7 เสมอ เนื่องจากเกิดการถ่ายเทคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับน้ำจนทำให้มีน้ำไบคาร์บอเนตกลายเป็นกรดอ่อนๆเสมอ น้ำในธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีพีเอชอยู่ในช่วง 6-8.5 น้ำบาดาลที่มีพีเอชต่ำ มักมีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่มาก และมีความสามารถในการกัดกร่อนท่อโลหะ น้ำที่มีพีเอชสูงหรือต่ำเกินไปอาจเป็นอุปสรรคในการทำโลหะหนัก (ตัวอย่างเช่น) มาตรฐานน้ำดื่ม มีค่าพีเอชที่วัดของพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5

5.4.1.2 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่างในน้ำ เป็นพหุคูณเคมีที่บอกให้ทราบถึงระดับของด่างต่าง ๆ ชนิดในน้ำ คือ ไฮดรอกไซด์ (OH^-), คาร์บอเนต (CO_3^{--}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) โดยทั่วไปน้ำตามธรรมชาติมักมีด่างต่างไม่ครบทุกชนิด น้ำอาจมีด่างต่างได้ 2 ชนิดเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ ดังนี้

<u>ระดับพีเอช</u>	<u>ชนิดของด่าง (หรือกรด)</u>
พีเอชมากกว่า 11.0	OH^-
พีเอช 8.4-11.0	OH^- และ CO_3^{2-}
พีเอช 6.9-8.4	CO_3^{2-} และ HCO_3^-
พีเอช 4.6-8.3	HCO_3^-
พีเอชน้อยกว่า 4.6	เป็นกรด

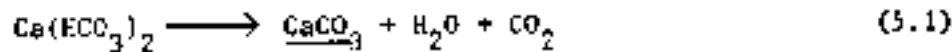
น้ำที่มีความเป็นด่างสูง เป็นน้ำที่มีความสามารถในการละลายหินตามความเปลี่ยนแปลงของพีเอชได้ดี คุณสมบัติเช่นนี้มีความสำคัญ และมีประโยชน์หลายอย่าง เช่นช่วยให้ปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันสามารถเกิดขึ้นได้ดี โดยไม่มีการลดค่าของพีเอชเกิดขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ความเป็นด่างยังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการกำจัดความกระด้าง การป้องกันการกัดกร่อนโลหะ ฯลฯ (น้ำที่มีความเป็นด่างสูง เรียกว่า เป็นน้ำที่มีพีเอชสูง)

โดยทั่วไป ระดับความเป็นด่างที่กรรมวิธีในน้ำประปา ควรอยู่ในช่วง 80 - 100 มก./ล. (วัดในเทอมของ CaCO_3 เทอม) อย่างไรก็ตาม ตัวเลขดังกล่าวไม่ใช่ตัวเลขที่เคร่งครัดนัก ยังใ้มีน้ำประปาอีกมากซึ่งมีความเป็นด่างอยู่ในค่าที่กว้างกว่ารวมกันก็ยังสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ก่อปัญหา

8.4.2.3 ความกระด้าง

น้ำกระด้างทำให้มีปัญหาของไต้ยาก ดังนั้นจึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานงานช่างล้างต่างๆ ปัญหาอื่นคือ ทำให้เกิดตะกอนในหม้อหรือกาต้มน้ำ และทำให้รสชาติของน้ำไม่เป็นปกติ ต้นเหตุที่ทำให้น้ำมีความกระด้างคือ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีสซึ่งเป็นไอออนที่มีไอออน +2 ที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำธรรมชาติ โดยเหตุที่น้ำธรรมชาติมักมีแคลเซียมและแมกนีเซียมมากกว่าเหล็กและไอโอดีน ๆ ต้นเหตุที่สำคัญของความกระด้างจึงมักหมายถึงแคลเซียมและแมกนีเซียม ความกระด้างในน้ำ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดความไอออนลบที่จับรวมอยู่กับแคลเซียมและแมกนีเซียม ดังนี้

ค. ความกระด้างชั่วคราวหรือความกระด้างคาร์บอเนต ความกระด้างชนิดนี้เกิดจากสารไฮคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม น้ำกระด้างชนิดนี้สามารถทำให้ถนอมโลหะได้ง่าย ๆ เช่น คัม



ข. ความกระด้างถาวรหรือความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนต (Non Carbonate Hardness) ความกระด้างชนิดนี้เกิดจากส่วพวกซัลเฟตและคลอไรด์ของแคลเซียมและแมกนีเซียม เช่น MgSO_4 , CaSO_4 , MgCl_2 , CaCl_2 การแก้ไขน้ำกระด้างชนิดนี้มีความยุ่งยากกว่าชนิดแรก และจำเป็นต้องใช้วิธีเคมี

ในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดระดับความกระด้างของน้ำดื่มอย่างแน่นอน ซึ่งเป็นที่ยอมรับของทุกคน อย่างไรก็ตาม อาจกำหนดระดับความกระด้างได้คร่าว ๆ ดังนี้

น้ำอ่อน	=	น้ำที่มีความกระด้าง ๕๐ มก./ล. CaCO_3 หรือน้อยกว่า
น้ำค่อนข้างอ่อน	=	น้ำที่มีความกระด้าง ๕๐-๑๕๐ มก./ล. CaCO_3
น้ำกระด้างเล็กน้อย	=	น้ำที่มีความกระด้าง ๑๕๐-๒๕๐ มก./ล. CaCO_3
น้ำกระด้าง	=	น้ำที่มีความกระด้าง ๒๕๐-๓๕๐ มก./ล. CaCO_3
น้ำกระด้างมาก	=	น้ำที่มีความกระด้าง ๓๕๐ มก./ล. CaCO_3 หรือมากกว่า

การดื่มน้ำที่มีความกระด้างสูง อาจทำให้เกิดโรคหัวใจได้ แต่โดยตรงกันข้าม ที่มีรสขมถึงความ เป็นไม่ได้ถึงอันตรายจากการดื่มบ้างอันอันตรายที่มีผลโรคหัวใจบางชนิด การกำหนดระดับค่าของความกระด้างในน้ำประปาจึงเป็น เรื่องที่ได้เคยกันอยู่ อย่างไรก็ตาม น้ำประปาไม่ควรมีความกระด้างเกิน ๕๐ มก./ล. CaCO_3

๕.๔.๓.๔ สารบ่อนโคลนไฮโดรโบน

น้ำที่ขุ่นมักมีการบ่อนโคลนไฮดรอสลอสอยู่ด้วย ทั้งนี้เพราะ ในอากาศมีกาซคาร์บอน

มาก อย่างไรก็ตาม น้ำใต้ดินอาจมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่มาก เนื่องจากเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ของสารอินทรีย์ภายในดิน และสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในทางตรงกันข้ามน้ำใต้ดินอาจปราศจากแก๊สออกซิเจน เนื่องจากถูกใช้ไปในขณะที่มีการย่อยสลายของสารอินทรีย์

คาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถดำรงอยู่ในน้ำได้ยาวัดนาน รูปที่ปรากฏอยู่ในน้ำซึ่งการคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากปฏิกิริยากับน้ำ ดังนี้



โดยปกติ คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมักไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่จะมีความสำคัญบ้างต่อขบวนการผลิตน้ำประปาบางประเภท เช่น ทำให้เป็ดองุ่นขาวในระยะระหว่างการกำจัดความกระด้างของน้ำด้วยการใช้ปูนขาว หรือทำให้น้ำมีกลิ่นอ่อนใต้อ่าง ๆ

6.4.1.6 อลูมิเนียม

แม้ว่าสารส้ม (อลูมิเนียมซัลเฟต) จะถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง และใช้เป็นประจำ ในขบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับผลิตน้ำประปา และกำจัดของคอลลอยด์ต่าง ๆ กัมมันตภาพหรือแก๊สของโลหะอลูมิเนียม แต่ขณะนี้ยังไม่มีการกำหนดปริมาณในน้ำดื่มหรือน้ำประปา

6.4.1.7 แอมโมเนีย

เนื่องจากแอมโมเนีย เกิดจากกาบเม่าเขียวของสารอินทรีย์ในโลกรวม น้ำที่มีแอมโมเนีย มักถูกพิจารณาว่าเป็นน้ำที่สัมผัสกับน้ำเสีย จึงถือว่าเงินน้ำที่มีความสกปรกและอาจมีเชื้อโรค บ่อตื้น (Shallow Well) ที่มีระดับแอมโมเนียสูง

ซีบ, ซีอซ ๓) อาจแสดงให้เห็นว่ามีน้ำสกปรก (เช่นน้ำท่วมจากบ่อ เกลอระบ่อซีบ)ไหลเข้ามา
 ฝน โดยเหตุนี้ปริมาณแอมโมเนียซึ่งถูกกำจัดมีค่าที่ต่ำกว่า 0.๖๕-0.1๐ มก./ล.
 ในน้ำประปา

แอมโมเนียในน้ำที่ส่งผลดีและผลเสียต่อการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ทั้งนี้เพราะถ้า
 มีแอมโมเนียในน้ำ จะเกิดปฏิกิริยากับคลอรีน เกิดเป็นสารประกอบรบกวนชนิดต่าง ๆ ซึ่ง
 มีความสามารถในการทำลายเชื้อโรคได้น้อยกว่าคลอรีนอิสระ แต่สารประกอบรบกวน
 มีประโยชน์ตรงที่สามารถคงตัวอยู่ในน้ำได้นานกว่าคลอรีนอิสระ ดังนั้นจึงเหมาะ
 สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในระบบที่จ่ายน้ำที่มีความยาวมาก

๐.๔.๑.๗ แคลเซียม

แคลเซียมในน้ำประปาเป็นต้นเหตุของความกระด้าง และการเกิดตะกอนในที่ต่างๆ
 ปริมาณสูงสุดที่อนุญาตในน้ำประปา คือ 7๕ มก./ล. แม้ว่าแคลเซียม จะเป็น
 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับคนและสัตว์ แต่โดยทั่วไปแล้วร่างกายต้องการแคลเซียม
 ประมาณ ๐.7-1.๐ กรัมต่อวัน น้ำดื่ม จึงไม่ใช่แหล่งแคลเซียมที่สำคัญของมนุษย์

๐.๔.๑.๘ แมกนีเซียม

แมกนีเซียมเป็นธาตุคู่กับแคลเซียมในฐานะเป็นต้นเหตุของความกระด้างและตะกอน
 แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นเช่นเดียวกับแคลเซียม เนื่องจากแมกนีเซียมทำ
 ให้น้ำมีรสไม่ขมขื่น สันดรชาติเกิดจากการบริโภคสารตัวนี้มากเกินไปจึงไม่เกิดขึ้น
 (เพราะจะรู้สึกท้องที่ระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ) ระดับสูงสุด ของแมกนี-
 เซียมในน้ำประปา คือ ๕๐ มก./ล. แต่จากอนุภาคที่บีบได้ถึง 1๐๐ มก./ล. ซึ่ง
 จำกัดของสารตัวนี้กำหนดขึ้นเพื่อให้น้ำมีรสดี มากกว่าเพื่อเหตุผลทางการแพทย์

๑.๔.๑.๑ คลอไรด์

คลอไรด์มีอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติ โดยเฉพาะในน้ำผิวดินที่ใกล้กับน้ำ หรือบริเวณที่น้ำจะเค็มขึ้นมาจากใต้ โดยปรกติแล้ว คลอไรด์ในน้ำไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่อาจเป็นเครื่องหมายของความสกปรกในน้ำได้ เช่นเดียวกับแอมโมเนีย และ ไนเตรต อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคลอไรด์อาจมาจากแหล่งอื่น (ที่ไม่ใช่ น้ำเค็ม) มันจึงเป็นเครื่องหมายที่แสดงถึงความสกปรกได้ไม่ดีเท่าแอมโมเนีย

มาตรฐานของน้ำดื่ม ได้กำหนดให้มีคลอไรด์ไม่เกิน ๒๕๐ มก./ล. แม้ว่าการบริโภคปริมาณอาจดื่มน้ำที่มีคลอไรด์สูงถึง ๑๐๐๐-๒๐๐๐ มก./ล. ได้โดยไม่เป็นอันตราย ในบางสถานที่ น้ำที่มีคลอไรด์สูงถึง ๑๐๐ มก./ล. ก็ให้รสเค็ม แต่ในอีกสถานที่หนึ่ง กรมอนามัยกำหนดให้น้ำที่มีคลอไรด์สูงถึง ๗๐๐ มก./ล. ได้โดยไม่รู้สึกอะไร ทั้งนี้เพราะค่าความปลอดภัยของน้ำดื่มเหมือนกัน

๑.๔.๑.๑๐ ทองแดง

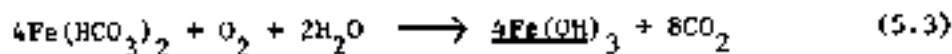
ทองแดงและอะลูมิเนียมถือว่าเป็นธาตุที่เป็นพิษกับ เนื่องจากเกลือทองแดง ที่ละลายอยู่ในน้ำดื่มจะมีอันตรายร้ายแก่ความ สามารถที่กินน้ำให้ทองแดงและอะลูมิเนียมสูงเกินไปจะเป็นพิษและเป็นสเต็มและผูกจืด

ธาตุทองแดงเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นของมนุษย์ แต่มนุษย์ต้องการทองแดงน้อยมาก ส่วนที่ร่างกายได้รับมากเกินไปจะถูกขับออกไปจากร่างกายโดยไม่มีการสะสม เหมือนกับตะกั่วหรือปรอท การบริโภคทองแดงประมาณ ๕๐-๑๐๐ มก. อาจทำให้เกิดอาการผิดปกติกับกระเพาะอาหาร น้ำประปาอาจได้รับทองแดง จากการผูกจืดหรือละลายตัวของท่อทองแดง การใช้ CuSO_4 ในการป้องกันสาหร่ายในแหล่งน้ำดื่มอาจทำให้ระดับทองแดงในน้ำดื่มและน้ำประปา มีปริมาณสูงจนก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค น้ำประปาหรือน้ำดื่มไม่ควรจะมีทองแดงสูงกว่า ๐.๖๑ มก./ล. แม้ว่าจะยอมให้บริโภคสูงถึง ๑.๐ มก./ล. ทั้งนี้เพราะถือว่าทองแดงไม่ใช่สารที่เป็นพิษ

๕.4.1.13 เหล็ก

ในน้ำจืดจะมีธาตุเหล็กส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในน้ำใต้ดิน จะพบเหล็กอยู่ด้วยเสมอ ใน
 ส่วนของเส้นใยของทองแดง เหล็กถือว่าเป็นธาตุที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่เป็นสารที่
 ก่อให้เกิดโรคให้กับผู้ใช้ในปริมาณที่มาก เช่น ทำให้มีนิ่วในถุงน้ำดีและนิ่วในไต ทำให้เกิดอาการ
 อ่อนเพลียและเบื่ออาหาร หรือทำให้มีไข้เป็นต้น นอกจากนี้เหล็กยังเป็นแหล่งอาหาร
 ให้กับแบคทีเรียที่เรียกว่า Iron Bacteria อีกด้วย การเก็บโคของแบคทีเรีย
 ดังกล่าว ทำให้มีปริมาณนิ่วในถุงน้ำดีและนิ่วในไตเป็นจำนวนมาก

เหล็กในน้ำใต้ดิน มักละลายอยู่ในรูปเฟอร์ไรต์ไบคาร์บอเนต ($Fe(HCO_3)_2$) เฟอริ-
 ซัลเฟต ($FeSO_4$) หรือ เฟอริคลอไรด์ ($FeCl_2$) ขณะที่เปลี่ยนจากใต้ดิน
 มายังอากาศจะใสเพราะ เหล็กละลายอยู่ในน้ำในรูปเหล็กเฟอรัส (Fe^{++}) แต่น้ำจะ
 ชุ่มเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนที่ได้จากอากาศ ทั้งนี้เพราะ เหล็กเฟอรัสจะถูกออกซิไดส์
 กลายเป็นเหล็กเฟอริก ดังนี้



ความชุ่มชื้นที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากของ $Fe(OH)_3$ ดังแสดง

น้ำจืดดื่มมักมีเหล็กสะสมในร่างกายน้อยกว่าน้ำบาดาล เหล็กที่พบในน้ำจืดนั้นอาจเป็นเหล็ก
 อิ่มหรือ ซึ่งเริ่มสลายจากของเหล็กรวมกับสารอินทรีย์ซึ่งเกิดจาก การนำ-
 เบื้อยของพืชในน้ำ เหล็กชนิดนี้ทำให้สีเข้ม แต่สามารถกำจัดออกจากน้ำได้ด้วยการ
 การโคของแบคทีเรีย

น้ำจืดในครัวมีเหล็กเกินกว่า ๐.๖ มก./ล. แม้ว่าเหล็กเป็นธาตุอาหารของมนุษย์
 เพราะช่วยทำให้เม็ดเลือดมีสีแดง (คนที่ขาดเหล็กมักเป็นโรคโลหิตจาง) แต่ถ้า
 ร่างกายได้รับเหล็กมากเกินไปสามารถขับถ่ายออกได้หมด เหล็กจะถูกระงับ
 ไว้ที่ตับ ทำให้เป็นโรคเกี่ยวกับตับได้

5.4.1.12 แมงกานีส

แมงกานีสมักพบอยู่ในน้ำประปาหรือแม่น้ำขนาดเล็ก แต่ในปริมาณที่น้อยกว่า แมงกานีสก็เป็นเช่นเดียวกับเหล็ก คือมีอยู่ในน้ำบาดาลมากกว่าน้ำผิวดิน และ ละลายอยู่ในน้ำในรูปของแมงกานีสไบคาร์บอเนต แมงกานีสคลอไรด์ หรือแมงกานีสซัลเฟต นอกจากนี้ยังมีอีกอย่างพบแมงกานีสไดออกไซด์ที่ขุ่นขาว เกิดน้ำซึ่งปราศจากออกซิเจน เมื่อหลังจากมีการนำเปื้อนของพืชและสารอินทรีย์ต่าง ๆ แมงกานีสไบคาร์บอเนตจะตกตะกอนได้ ซึ่งไม่ทำให้น้ำขุ่น การตกตะกอนของแมงกานีสสามารถทำได้ด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ๑-๒0 มิลลิกรัม เพื่อลดค่าพีเอชในน้ำให้เกิดการตกตะกอนได้ จำเป็นต้องวัดค่าพีเอชของน้ำก่อนเติมด้วย เช่น ๗.๐-๗.๕ หรือพีเอชออกไซด์ ไปแต่สเปซเมเตอร์แมงกานีสแบบ เปียคัม

สำหรับในน้ำประปา แมงกานีสที่สูงกว่า ๐.๕ มก./ล อาจทำให้เหล็กดำขึ้นเป็นสนิม และถ้าสูงกว่า ๐.๓๐ มก./ล. จะทำให้มีขุ่น น้ำประปาซึ่งไม่ควรมีแมงกานีสเกินกว่า ๐.๑ มก./ล.

5.4.1.13 MBAS (Methylene Blue Active Substance)

MBAS ใช้วัดปริมาณของผงซักฟอกในน้ำ การปรากฏของผงซักฟอก เป็นเครื่องหมายของความสกปรกเนื่องมาจากน้ำเสีย ดังนั้น MBAS จึงไม่ควรมีเกิน ๐.๒ มก./ล. แต่ค่าสูงสุดให้มีได้คือ ๐.๕ มก./ล.

5.4.1.14 Phenol (Phenol)

สารตัวนี้ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการผลิตยาฆ่าเชื้อโรค และสารเคมีอย่างมากมายซึ่งมีอยู่ในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหลาย การเติมคลอรีนให้กับน้ำที่มีปริมาณของสารประกอบที่เรียกชื่อเต็มๆบนบรรจุภัณฑ์ประปาหรือฝักบัว ไม่ควรมีพิษเกินกว่า ๐.๐๐๒ มก./ล.

5.4.1.15 ฟอสเฟต

ฟอสเฟตเข้าสู่แหล่งน้ำด้วยได้หลายทาง เช่น สบทำให้เกิดน้ำไหลบ่าลงทะเล เขาปูนฟอสเฟตเข้าไปเก็บในแหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นต้น นอกจากนี้ภายในโรงงานผลิตน้ำประปาก็มีการใช้สารประกอบฟอสเฟตด้วย เช่น ในการกักขังมีให้เหล็กคลอไรด์ (Chelating) เป็นต้น ฟอสเฟตในน้ำดิบไม่ควรจะมีเกิน 0.2 มก./ล. ทั้งนี้เพื่อมิให้เกิดอันตรายต่อปฏิภักชีวิทยาโคเลอราเลชัน

5.4.1.16 TDS (Total Dissolved Solids)

TDS หมายถึงปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ น้ำบาดาลมักมี TDS สูงกว่าน้ำผิวดิน เนื่องจากมีไอออนสัมพันธ์กับแร่ธาตุในดินและละลายน้ำตามอุณหภูมิต่างกัน น้ำประปาไม่ควรจะมี TDS เกินกว่า 500 มก./ล. แต่อาจยอมให้มีได้ถึง 1000 มก./ล. ในบางครั้งค่า TDS อาจประมาณได้ด้วยการวัดระดับความนำไฟฟ้าของน้ำซึ่งวัดได้ต่ำกว่าและรวดเร็วกว่า

ในภาคฐานเคมีเต็มทั่วไป อาจพูดเฉพาะปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) โดยไม่พูดถึง TDS แต่ควรเป็นที่เข้าใจว่า เมื่อกำหนดให้มีค่ารวมกันค่ามากแล้ว TS ย่อมไม่แตกต่างกันไปจาก TDS

5.4.1.17 ซิลิเกต

ซิลิเกตที่ปรากฏอยู่ในน้ำธรรมชาติ เป็นผลที่เกิดจากการละลายตัวของแร่ธาตุในดิน เช่น แร่ยิบซั่ม เป็นต้น นอกจากนี้ ซิลิเกตยังอาจได้มาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของซิลิเฟส ซิลิเฟสและไฮโดรซิลิเฟสก็ได้ น้ำเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น โรงงานกระดาษ ฟอสเฟต เป็นต้น ก็มีซิลิเกตอยู่ด้วย ทำให้มีค่าของซิลิเกต เข้าถึงแหล่งน้ำผิวดินมากขึ้น

น้ำประปาไม่ควรมีซัลเฟตสูงกว่า 200 มก./ล. แต่ในบางครั้ง การบริโภคน้ำที่มีซัลเฟตสูงก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ยกตัวอย่างเช่นถ้าแหล่งน้ำดื่มมีซัลเฟตสูง น้ำประปาก็จะมีซัลเฟตสูงด้วย เพราะการกำจัดซัลเฟตไม่อาจกระทำได้ง่าย โดยปกติขบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตน้ำประปาไม่อาจกำจัดซัลเฟต ด้วยเหตุนี้ น้ำประปาในบางส่วนของโลกจึงอาจมีซัลเฟตสูงถึง 3000 มก./ล. เท่าที่ปรากฏยังไม่มีการงานเกี่ยวกับอันตรายที่เกิดจากน้ำที่มีซัลเฟตสูง

ระบบจ่ายน้ำ แบบที่มีปลายตัน (Dead End) อาจมีปัญหาที่เกิดจากซัลเฟตสูงได้ เพราะในบริเวณดังกล่าวมีก๊าซแอสฟัลเทนออกซิเจน และเป็นที่อยู่อาศัยของแบคทีเรีย Desulfovibrio ซึ่งสามารถเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

๖.4.๑.๑๘ สังกะสี

มาตรฐานน้ำดื่มของประเทศไทย กำหนดให้สังกะสีได้ไม่เกิน ๑๖ มก./ล. ค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของประเทศไทยซึ่งยอมให้มีสังกะสีได้ไม่เกิน ๖ มก./ล. สังกะสีเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นของสิ่งมีชีวิต และมีความทนของให้คน 200 คน ดื่มน้ำที่มีสังกะสี 40 มก./ล. แล้ว ไม่ปรากฏอันตรายแต่อย่างใด แต่ก็มีรายงานว่าสังกะสี ๖๐ มก./ล. ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้และเจ็บหน้าอก การจำกัดปริมาณสังกะสีให้อยู่ที่ ๘ มก./ล. ดูเหมือนว่าเป็นไปเพื่อป้องกันมิให้เกิดโรค มากกว่าจะป้องกันเหตุผลทางการแพทย์ ทั้งนี้เพราะสังกะสีอาจรวมอยู่กับคลอไรด์และซัลเฟต ทำให้กลายเป็นสารละลายที่มีรสไม่ชวนดื่ม

สังกะสีอยู่ในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานประกอบรถยนต์ หรือจักรยานยนต์ โรงงานผลิตเส้นใยเรออน การกำจัดสังกะสีออกจากน้ำ กระทำได้โดยวิธี Ion Exchange หรือตกตะกอนด้วยวิธีสารประกอบซัลไฟด์ วิธีป้องกันมิให้น้ำประปามีสังกะสีสูงกว่า ๑ มก./ล. อาจกระทำได้โดยนำน้ำที่เสียของน้ำสูงกว่า ๑ แล้วกรองด้วยกระดาษกรองน้ำ

5.4.1.19 ออกซิเจน

ออกซิเจนจะละลายน้ำได้ดีในอุณหภูมิเย็น โดยปรกติออกซิเจนในน้ำมีตัวเป็นคาร์บอนที่มีแสดงถึงระดับสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ น้ำที่เย็นที่มีความตื้นปรกติเกินไป จะไม่มีออกซิเจนละลายน้ำปรากฏอยู่ แต่ถ้าน้ำมีออกซิเจนละลายอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าแสดงว่าเป็นน้ำสะอาด ความตื้นปรกติของน้ำอาจสะท้อนให้เห็นได้ด้วยปริมาณออกซิเจนที่สกัดได้จากคาร์บอนตัว ผลจากนี้ ออกซิเจนในน้ำยังทำให้เหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ถ้าได้ออกซิเดชันของแมงกานีสกลายเป็นไฮดรอกไซด์ ซึ่งมักมีเหม็นและเป็นพิษ ด้วยเหตุดังกล่าว ออกซิเจนในน้ำมีตัวจึงควรมีปริมาณใกล้เคียงกับตัวให้มากที่สุดเท่าที่จะหาได้ ในทางตรงกันข้าม ออกซิเจนยังทำให้เกิดการกร่อนโลหะต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของระบบประปา

เมื่อซึ่งน้ำดื่มระหว่างข้อดีและข้อเสีย ปรากฏว่าข้อดีมีมากกว่า ดังนั้นน้ำประปาจึงควรมีออกซิเจนละลายอยู่ในระดับที่สมควรได้เพียง

5.4.2 สารเคมีที่เป็นพิษต่อสุขภาพ

5.4.2.1 ฟลูออไรด์

สารประกอบฟลูออไรด์มีอยู่ในเปลือกโลกประมาณ 0.02 % (น้ำทะเลจะมีฟลูออไรด์ประมาณ 1 มก./ล.) เป็นผลให้ธาตุฟลูออรีนเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับที่ 17 ฟลูออไรด์ในน้ำมักมาจากแร่ธาตุ 2 อย่าง คือ ฟลูออสปาร์ (Fluorspar) ไครอลไลท์ (Cryolite) และแอปพาทิต (Appatite) ฟลูออไรด์ในระดับประมาณ 1 มก./ล.ในน้ำช่วยป้องกันโรคฟันผุได้ดีที่สุด ถ้าฟลูออไรด์น้อยกว่า 1 มก./ล. อาจนอในการป้องกันโรคฟันผุจะลดน้อยลงไปตามลำดับ แต่ถ้าน้ำมีฟลูออไรด์สูงกว่า 1 มก./ล.อาจเกิดโรคฟันสาม (Mottled Teeth) ดังนั้น น้ำประปาจึงควรมีการรักษาระดับฟลูออไรด์ให้ใกล้เคียง 1 มก./ล. หรือ แหล่งน้ำดิบบาง

แห้งในภาคเหนือมีระดับฟลูออไรด์ในน้ำสูงกว่า 1.6 มก./ล. ในกรณีเช่นนี้ การกำจัดฟลูออไรด์ที่เข้ามา เกิดไปถือเป็นงานอย่างหนึ่งของระบบประปา ที่นอกเหนือไปจากขบวนการกำจัดความสะอาดน้ำโดยปกติ

5.4.2.2 สารหนู

ในน้ำประปาต้องไม่มีสารหนู (Arsenic) อยู่เลย เนื่องจากด้านพิษวิทยาเพียง 100 มก. สามารถเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ สารนี้สามารถสะสมอยู่ในร่างกายและทำให้เสียชีวิตภายในระยะเวลา นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกด้วยว่าอาเชนิคเป็นต้นเหตุของมะเร็ง ด้วยเหตุนี้ ปริมาณของสารนี้ในน้ำดื่มจึงไม่ควรเกินกว่า 0.05 มก./ล. สารพิษตัวนี้อาจปนเปื้อนในน้ำบาดาลได้บ่อยกว่าสารพิษตัวอื่นซึ่งควรต้องระวังไว้ด้วย

5.4.2.3 แบนเรียม

น้ำประปาไม่ควรมีเบนเรียมละลายอยู่มาก แต่อาจมีได้ไม่เกิน 1.0 มก./ล. ส่วนประกอบของเบนเรียมหลายชนิดสามารถละลายน้ำได้ แต่โดยปกติอยู่ในที่ที่เกิดคาร์บอเนตและซัลเฟตของเบนเรียมสามารถตกผลึกได้ง่าย ทำให้ปริมาณของเบนเรียมในน้ำธรรมชาติมีระดับต่ำ และมักพบอยู่ในดินเลนกับอ่างเก็บน้ำ แหล่งน้ำดิบคือยูเรเนียมที่มีการทำเหมืองแบไรต์ (Baryte หรือ $BaSO_4$) และ $BaCO_3$ (Whitherite) อาจมีเบนเรียมละลายอยู่ในน้ำ

ระดับเบนเรียมซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตอยู่ในช่วง 500-800 มก./ล. เกือบเบนเรียมจัดว่าเป็นสารกระตุ้นกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อหัวใจ และเป็นต้นเหตุที่ทำให้ความดันโลหิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากเบนเรียมสามารถจับเส้นเลือด ในขณะที่ยังไม่พบหลักฐานที่แสดงว่ามีการสะสมตัวของเบนเรียมภายในอวัยวะต่าง ๆ เนื่องจากเบนเรียมถูกขับถ่ายออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็ว

๘.๔.๒.๕ โบรอน

ในน้ำดื่ม ไม่ควรมีโบรอนเกินกว่า ๖ มก./ล. การบริโภคโบรอนในรูปของโบร-
เรต (Borate) มากเกินไป ทำให้ร่างกายเกิดอาการผิดปกติต่าง ๆ และที่
บริโภค เกินกว่า ๕-๑๕ กรัม อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ปริมาณของโบรอนที่จะ
เป็นอันตรายต่อชีวิต ขึ้นอยู่กับความสามารถในการขับถ่ายโบรอน ออกจากร่างกาย
คนที่สามารถขับถ่ายออกมาได้เร็วก็สามารถทนโบรอนได้ในระดับสูงกว่า

๘.๔.๒.๖ แคลเซียม

โดยดูบทความแล้ว น้ำดื่มไม่ควรมีแคลเซียมอยู่เลย อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติอัน
เป็นไปได้ ซึ่งมีการจำกัดระดับของแคลเซียมในน้ำประปาให้มีได้ไม่เกิน ๐.๐1
มก./ล. แคลเซียมถูกใช้มากในการทำโลหะผสม ชุบโลหะ เรายืด และอุตสาหกรรม
การหล่อด้วยรูป คั่วผงเหล็กซึ่งไม่จำเป็นต้องใจที่แคลเซียมไปปรากฏอยู่ในแหล่งน้ำดื่ม
และได้กิน น้ำประปาที่กักเก็บที่อโคไล มักมีโลหะดี (และโลหะอื่น) ละลายอยู่เสมอ

แคลเซียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ โดยผ่านทางนม น้ำและภาชนะบรรจุอาหารกระ
ป๋องที่มีแคลเซียม เป็นตัวผสม การบริโภคแคลเซียม ทำให้ร่างกายเกิดอาการผิด
ปรกติต่าง ๆ เช่น กลืนเหนียว อารมณ์ และท้องร่วง และอาจถึงแก่ชีวิตได้ ทั้งนี้
เพราะแคลเซียมสามารถเข้าไปสะสมอยู่ในอวัยวะต่าง ๆ เช่น สัน ไต และ
ตับอ่อน ฯลฯ

๘.๔.๒.๖ โครเมียม

โครเมียมมักปรากฏอยู่ในรูปของไอออน^{+๖} และ -๖ การบริโภค Cr^{+3} ในปริมาณ
ที่พบในน้ำประปาก็ไม่เกิดอันตราย Cr^{+6} มีพิษมากกว่า ซึ่งมีการกำหนดระดับของ
 Cr^{+6} ในน้ำประปาไม่ให้เกิน ๐.๐๕ มก./ล. โครเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย จะถูกขับ-
ถ่ายออกมาหมด

เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการใช้โครเมียมอยู่มากพอสมควร เช่น ใช้เป็นสารทึบรังสีในหลอดขยายความรังสี ใช้ในอุตสาหกรรมชุบโลหะ ฯลฯ โครมาตโครเมียมจะ เข้าถึงแหล่งน้ำดิบจึงมีมาก การควบคุมระดับของโครเมียม จึงควรเป็นหลักเกณฑ์ที่ควรทำเป็นประจำของโรงงานผลิตประปา และหน่วยงานสาธารณสุขที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของประชาชนทั่วไปซึ่งเป็นผู้ใช้น้ำ

5.4.2.7 โซดาไนต์

โซดาไนต์ (NO_2^-) เป็นสารประกอบ ไนโตรเจน เมื่อพบอยู่ในน้ำประปาจะอยู่ในรูปของไฮโปไนต์ เช่น โซดาไนต์ (NO_2^-) ซึ่งไม่แตกต่างเป็นไอออนที่มีเลข ๒ หรือต่ำกว่า

โซดาไนต์อยู่ในน้ำดื่มและน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานเหล็กกล้า ชุบโลหะ และผลิตภัณฑ์เคมีบางชนิด ดังนั้นจึงมีบทบาทของโซดาไนต์ในแม่น้ำลำคลองซึ่งเป็นที่รองรับน้ำเสีย โครโครมาตที่ร่างกายมนุษย์สามารถทนโซดาไนต์ได้ประมาณ ๕-๑๐ มก./วัน ทำให้รับโซดาไนต์สูงกว่านี้ อาจถึงแก่ความตายได้ ปรากฏความทนทานต่อโซดาไนต์ได้ต่ำมาก เพราะความเข้มข้นเพียง ๑ มก./ลิตร สามารถทำลายแบคทีเรีย ได้ใน ๒๐ นาที ปริมาณที่ต่ำกว่านี้ก็สามารถทำลายได้เช่นกัน แต่ใช้เวลานานกว่านี้ ค่าของโซดาไนต์เพิ่มขึ้นความรุนแรงของน้ำ

โซดาไนต์ในน้ำ สามารถถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ทำให้กลายเป็นสารซึ่งไม่มีพิษ คนดื่มก็สามารถทำลายโซดาไนต์ได้เช่นกัน มาตรฐานน้ำประปา มีกำหนดให้มีโซดาไนต์ได้ไม่เกิน ๐.๕ มก./ลิ. แต่อาจยอมให้ได้ถึง ๐.๒๐ มก./ลิ.

5.4.2.8 ตะกั่ว

โดยคุณสมบัติแล้ว ไม่ควรมีตะกั่วในน้ำประปาจนถึงระดับที่วัดได้ ในทางปฏิบัติ จะยอมให้มีตะกั่วในน้ำประปาได้ไม่เกิน ๐.๐๕ มก./ลิ. น้ำบาดาลอาจมีตะกั่วสูงถึง

๑๕ มก./ล. ในขณะที่มียังไม่พบข้อมูลที่บ่งชี้ถึงระดับตะกั่วที่ร่างกายมนุษย์สามารถทนได้ ถึงแม้ว่าตะกั่วทำให้ร่างกายมีความผิดปกติต่าง ๆ เช่น กล้ามเนื้อแขนขาอย่างช้า ๆ เป็นต้น ร่างกายสามารถขับถ่ายตะกั่วออกมาได้เพียงบางส่วน และส่วนที่เหลือสะสมอยู่ภายในร่างกาย ซึ่งเป็นอันตรายได้ในระยะหลัง ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น ทางอาหาร ดมหายใจ และทางผิวหนังมาสูบบรรวมทั้งทางน้ำดื่มและเครื่องสำอางที่มีตะกั่ว ตะกั่วอาจรวมอยู่ในสารอินทรีย์ของน้ำดื่มบรรจุขวดและสามารถกำจัดออกไปโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ตกตะกอน และคาร์บอน

๕.๔.๒.๘ โบเดรอนและโบโรรท์

น้ำดื่มโบเดรอนโบเดรอนและโบโรรท์ รวมกันสูงกว่า 10 มก./ล. วิกฤติของโบเดรอนหรือสูงกว่า 40 มก./ล. วิกฤติของโบโรรท์ ถ้าเข้าปะปนกับโบเดรอนและโบโรรท์สูงเกินไป อาจทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia หรือ Blue Babies กับทารก อย่างไรก็ตาม น้ำดื่มที่บริโภคโบเดรอนต่ำกว่า 2 มก./ล. และอย่างสูงก็ไม่เกิน 5 มก./ล. แต่มีโบโรรท์ในโบเดรอนสูงตั้งแต่ 0 - 1000 มก./ล. วิกฤติของโบโรรท์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ น้ำดื่มที่มีโบเดรอนเพียงเล็กน้อย ๆ แสดงว่าได้มีการสัมผัสกับน้ำเพื่อเกิดขึ้น

โบเดรอนเข้าสู่แหล่งน้ำได้หลายทาง ส่วนใหญ่มีกมาจากการนำเปื้อนของสารอินทรีย์ น้ำเสีย ปุ๋ยที่ใช้เพื่อการเกษตร ฯลฯ

๕.๔.๒.๙ เฮลีนเนียม

เนื่องจากเฮลีนเนียมอาจเป็นพิษของโรคเบาหวาน ระดับสูงสุดที่พบในน้ำประปาจึงถูกจำกัดไว้ที่ ๑.๐1 มก./ล. เฮลีนเนียมพบได้ในดินบางแห่ง และโบเดรอนหรือที่ได้จากการนำเปื้อนของเนื้อเปื้อนของพืช ในบางท้องถิ่นของสหรัฐอเมริกา โคโลราโดและรัฐไวโอมิงสหรัฐอเมริกา สันต์และกิลกริม ออสเตรเลียเฮลีนเนียมมากถึง 30 มิลลิกรัม น้ำเสียจากโรงงานหลายประเภทมีธาตุนี้ปนอยู่ด้วย และถึงเป็น

ทางที่ทำให้เซเดนิมม เข้าสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ เชื่อว่ามนุษย์ได้รับ เซเดนิมมาจากอาหารมากกว่าจากน้ำประปาหลายเท่า ดังนั้นบทบาทของเซเดนิมในน้ำประปาจึงมีไม่มากและมักถูกละเลย

5.4.2.11 ยาฆ่าศัตรูพืชและยาปราบวัชพืช

ยาฆ่าศัตรูพืชและยาปราบวัชพืช เป็นสารอินทรีย์เคมีที่มีพิษร้ายแรงมาก เพราะเป็นอันตรายต่อร่างกายของคน หากไปสัมผัสหรือรับประทานเข้าไปมากก็อาจถึงแก่ชีวิตได้ อาการที่พิษยาเหล่านี้มีได้ต่าง ๆ เช่น ตาอักเสบ เลือดคั่งตาไหล เล็บหลุด ถ้ารับประทานเข้าไปจะเป็นอันตรายต่อ ปอด สับ ไต หัวใจ และ อวัยวะอื่น ๆ ตารางที่ 5.14 และ 5.15 แสดงถึงขีดจำกัดของยาปราบศัตรูพืชและยาฆ่าวัชพืช

ตารางที่ 5.14 ระดับสูงสุดของสารอินทรีย์เคมีที่มนุษย์บริโภคในน้ำประปาของประเทศไทย

	<i>Level, Milligram Per Liter</i>
(a) Chlorinated hydrocarbons	
Endrin (α -2,3,4,10, 10 hexachloro 6, 7-epoxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4-endo-endo-1,8-dimethano naphthalene)	0.002
Lindane (1,2,3,4,5,6-hexachloro-cyclohexane, gamma isomer)	0.004
Methoxychlor (1,1,1-Trichl- α -2, 2-bis [p-methoxyphenyl] ethane)	0.1
Toxaphene (C ₁₂ H ₁₀ Cl ₈ -Technical chlorinated camphene, 67-69 percent chlorine)	0.005
(b) Chlorophenoxy:	
2,4-D, (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)	4.1
2,4,5-TP Silver (2,4,5,-Trichloro-phenoxypropionic acid).	0.01

ตารางที่ 5.15 ระดับสูงสุดของสารอินทรีย์เคมีที่ยอมรับได้ในน้ำประปาของ
สหรัฐอเมริกา

<i>Substance*</i>	<i>Objective and Acceptable Limits</i>	<i>Max. Permissible Limits—mg/l</i>
Aldrin	Not Detectable**	0.017
Chlordane	Not Detectable	0.003
DDT	Not Detectable	0.042
Dieldrin	Not Detectable	0.017
Endrin	Not Detectable	0.001
Heptachlor	Not Detectable	0.018
Heptachlor Epoxide	Not Detectable	0.018
Lindane	Not Detectable	0.056
Methoxychlor	Not Detectable	0.055
Organic Phosphates - Carbamates***	Not Detectable	0.100
Toxaphene	Not Detectable	0.005
Herbicides e.g. 2,4-D, 2, 4, 5-T, 2, 4, 5-TP†	Not Detectable	0.100

* Conventional water treatment has little effect on these dissolved biocides.

** Not detectable by an acceptable method of analysis as approved by the control agency.

*** Expressed as parathion equivalents in cholinesterase inhibition.

ในน้ำดื่มของประเทศแคนาดาและสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ ขบวนการผลิตน้ำประปาแบบธรรมดา ไม่สามารถกำจัดสารพิษเหล่านี้ให้ออกจากน้ำได้ ซึ่งต้องระดมให้สารพิษเหล่านี้เข้าถึงแหล่งน้ำที่บริโภคเป็นอันดับสอง อนึ่ง ในบริเวณที่มีการใช้ยาปราบศัตรูพืชอย่างกว้างขวาง น้ำดื่มจะมีโอกาสได้รับสารพิษดังกล่าว เป็นอย่างมาก และหากที่ผลิตน้ำดื่มได้ เมื่อออกจากเมืองหนึ่ง ก็จะมีน้ำไหลลงลำน้ำสายน้ำสาขาศูนย์ และวัชพืชปนมาด้วยน้ำแล้วไหลไปยังแหล่งน้ำต่าง ๆ การตกกปนของน้ำเข้า (Intake) จึงต้องคำนึงถึงสารพิษที่มากับน้ำดื่มและน้ำฝนโดยการวางปลาตักดูดน้ำให้ไกลต่างจากน้ำดื่มเป็นระยะพอสมควร วิธีแก้ไขปัญหานี้มีหลายวิธี ได้แก่ การใช้ยาฆ่าแมลงและวัชพืชที่สามารถย่อยสลายจนกลายเป็นสารไม่มีพิษ

๘.๕ คุณสมบัติทางค้ำยแบคทีเรีย

คุณสมบัติข้อนี้ถือว่าสำคัญที่สุด เพราะ เป็นคุณสมบัติที่จะทำให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บขึ้นได้ โรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อ (Water Born Disease) หลายนับด้วยพัน เช่น ติค อีวาระโรค โทฟอยด์ และโรคระบบทางเดินอาหารต่าง ๆ เกิดขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียชนิดที่เป็นอันตราย (Pathogenic Bacteria) กับโรคเหล่านี้ขึ้นเป็นหนองไปโนมน้ำ ดังนั้นจะเห็นว่าโรคเหล่านี้มีระบาดบ่อย ๆ ในประเทศที่ด้อยพัฒนาหรือกำลังพัฒนา ทั้งนี้เพราะ ประเทศเหล่านี้มีระดับความเป็นอยู่ และการศึกษาอนามัยที่ไม่ถูกต้องตามสุขลักษณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสุขาภิบาลเรื่องน้ำยังไม่ดีพอ เชื้อแบคทีเรียที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำอาจจะแบ่งเป็นพวกใหญ่ ๆ ได้ ๒ พวกคือ

(1) พวกที่สามารถทำให้เกิดโรคได้โดยตรง เป็นแบคทีเรียชนิดที่เป็นอันตราย และเมื่อไหลมาใต้คอก เรียกว่า เอนเทอริก พาทोजิน (Enteric Pathogens) เชื้อพวกนี้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ ๑๖ °C คือเท่ากับอุณหภูมิในร่างกายคน เมื่อคนป่วยเป็นโรคนิ่วคั่ง มีฝีในคอหรือท้อง หรือโทฟอยด์คั่ง ถ้าขูดขูดจากรองไปโนมน้ำ แบคทีเรียพวกนี้ก็จะไปปนเปื้อนอยู่ในน้ำ และสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน การที่จะตรวจวิเคราะห์ เชื้อแบคทีเรียพวกนี้จากน้ำมีกรรมวิธีที่ละเอียดรอบคอบ และยุ่งยากมาก ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์น้ำทางค้ำยแบคทีเรียจึงไม่มีนิยมตรวจเชื้อพวกนี้

(2) แบคทีเรียพวกนี้อยู่ในน้ำได้ทนและสืบลำบากที่สุด มีชื่อเรียกว่า โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform Bacteria) พวกนี้จะมีอยู่ในน้ำได้ของสัตว์เกือบทุกชนิด ในอุจจาระปกติของคน 1 กรัม จะมีโคลิฟอร์มแบคทีเรียประมาณ ๑๐๐,๐๐๐ ถึง ๑,๐๐๐,๐๐๐,๐๐๐ ตัว โดยปกติแล้ว แบคทีเรียพวกนี้ไม่ก่อให้เกิดโรค แต่เมื่อถ่ายออกมากับอุจจาระลงไปในน้ำ มันจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้ยาวนานกว่าพวกแรก การตรวจวิเคราะห์ก็ง่ายกว่าพวกแรก ดังนั้น จึงนิยมใช้โคลิฟอร์มแบคทีเรียเป็นครอสมิ (Index) ซึ่งถึงเวลาทางแบคทีเรียของน้ำ

เหตุที่เลือกเอาโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เป็นครุฑมีในการตรวจคุณภาพของน้ำ มีดังนี้

(1) การตรวจโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำทำได้ง่ายกว่าการตรวจสาหร่าย-
เหอซิก ทรูเจน สิวอื่น ๆ เพราะโคลิฟอร์มแบคทีเรียสามารถย่อยน้ำตาลแลคโตส
(Lactose) ได้กรดกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแบคทีเรียอื่น ๆ ที่ย่อยสลาย
น้ำตาลแลคโตสได้ก็ยังมีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น

(2) เนื่องจากโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ปรกติจะมีอยู่ในอุจจาระคนและสัตว์ ๑๐ x ๙ แต่
อยู่ในดินเพียง ๑ x ๙ ดังนั้นน้ำที่มีอุจจาระปนอยู่จึงมีโอกาสตรวจพบโคลิฟอร์มแบค-
ทีเรียอื่น ๆ

(๓) ในสภาวะบางอย่างเดียวกัน คือน้ำขุ่นเดียวกัน อุณหภูมิเท่ากันโคลิฟอร์มแบคที-
เรีย จะมีความทนทานโคลิกร่าแบคทีเรีย เอนเทอโรซิก ทรูเจน สิวอื่น ๆ

(๔) การตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำ จึงเป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่า น้ำนั้นม
ีความสกปรกมากน้อยเพียงใด ไม่เหมาะดื่มที่จะใช้ ถ้าวัดคือถ้าตรวจพบโคลิฟอร์ม-
แบคทีเรียมากแสดงว่าน้ำนั้นสกปรกมาก ถ้าไม่พบปรกย์ก็พบโคลิฟอร์ม แบคทีเรีย
น้อย สก็้ออาจจะไม่พบเลย

(๕) เมื่อตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำ ก็ควรจะสงสัยว่า น้ำนั้นม
ีอุจจาระของคนหรือสัตว์ปนอยู่ด้วยแน่ และอาจคาดการณ์ได้ว่า อาจจะมีเชื้อโรค
ของระบบทางเดินอาหารปนอยู่ด้วย ทั้งนี้เพราะโรคที่อาศัยน้ำเป็นสื่ออื่น ส่วน
ใหญ่ เป็นโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วจะปะปนออกมา
พร้อมกับอุจจาระเสมอ

๓.๒ คุณสมบัติทางด้านสัณฐานของน้ำ

น้ำสะอาดที่ไม่มีออกซิเจนและวางอยู่ระดับซีเอสเป็นกลาง มักไม่กัดกร่อนโลหะ ถึงแม้
เพราะไม่มีสารพิษเล็กกระฉิบกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน โลหะ ดังนั้น จึงไม่ต้องมีการ

ปรับปรุงคุณภาพอีก แต่อย่างไรก็ดี น้ำประปาที่ดื่มมีรสชาติเพื่อการบริโภค และ
 ทั่วโลกก็มีออกซิเจนละลายในตัวผสม การป้องกันและควบคุมการกักกักก่อนโดย
 ึ่งเป็น เรืองจำ เป็น ุติศึนิยม ใช้ได้แก่การสร้างตะกอนหรือฟิล์มของหินปูน (แคล-
 เซียมคาร์บอเนต) เคือบผิวโลหะเพื่อป้องกันการสัมผัสกับน้ำดื่ม เคือบผิวให้มีจำ เป็น
 ึ่งจะเป็นหินปูนเสมอไป จะเป็นของสารอื่นก็ได้ ข้อสำคัญคือ ต้องเป็นฟิล์ม "ขี้เือง-
 ึ่งและมีความหนาสม่ำเสมอ แต่ต้องไม่หนามากเกินไป อย่างไรก็ตามวิธีนี้เนื่องจากน้ำ
 ในธรรมชาติมักมีสารประกอบคาร์บอเนตและแคลเซียมมากกว่าสารอื่นฟิล์มหินปูนซึ่ง
 ึ่งบทบาทในการป้องกันโลหะจากการกัดกร่อนมีค่ามากกว่าฟิล์มของสารอื่น น้ำที่มี
 ึ่ง่านาด้านหาการกัดกร่อนโลหะ เพราะสามารถสร้างฟิล์มหินปูน เคือบผิวโลหะได้
 ึ่งควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ก. ควรมีหินปูนละลายอยู่ในน้ำสูงกว่าระดับอิ่มตัวหอยี ประมาณ 4-10 มก./ล.
- ข. ควรมีแคลเซียมและความเป็นด่าง แต่ละอย่างไม่น้อยกว่า 40 มก./ล. อยู่ใน
 เหมของหินปูน และทั้งสองอย่างควรมีปริมาณใกล้เคียงกันด้วย
- ค. อัตราส่วนระหว่างความ เป็นด่างต่อผลบวกของคลอไรด์และซัลเฟต ไม่ควร
 น้อยกว่า ๑
- ด. ีเลขควาอยู่ในช่วง ๑.๑-7.๑

การทำให้น้ำมีคุณสมบัติตามที่ 4 ข้อ มักจำเป็นต้องมีการปรุงแต่งด้วยสารเคมีชนิด
 ึ่งต่าง ๆ ในบางครั้งเราไม่สามารถผลิตน้ำให้ีคุณสมบัติครบถ้วนทั้ง 4 ประการได้
 ึ่งหรือเกิน หากเป็นเช่นนั้น คุณสมบัติที่ควรรักษาไว้ คือ ข้อ ก. ข. และค. ข้อสุค-
 ึ่งท้ายอาจมากกว่าการรักษาไว้ได้ ในทางปฏิบัติ น้ำจะมีค่าเลขอยู่ในช่วง ๑.๑-7.๑ ได้
 ึ่งได้ข เมื่อน้ำดื่มมีแคลเซียมและความเป็นด่างสูงมากมาตั้งแต่ต้น ถ้าน้ำดื่มมีแคลเซียม
 ึ่งและความเป็นด่างต่ำมาก่อน หลังจากการปรุงแต่งทางเคมีแล้ว น้ำที่ได้จะมีค่าเลข
 ึ่งสูงกว่า ๓.๑ ึ่งต่างหนักเดิมไม่ได้ ทำให้ฟิล์มที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการป้อง
 ึ่งกการกัดกร่อนโลหะน้อยลง ข้อควรระวังอีกประการหนึ่งคือ ค่าเลขในช่วง ๑.๐-
 ึ่ง๑.๑ เป็นระดับที่ควรหลีกเลี่ยงถ้าเป็นไปได้ เพราะน้ำที่มีค่าเลขอยู่ในช่วงดังกล่าวมี
 ึ่งความสามารถต่ำมาก ในการต้านทานกรดและด่าง ทำให้ฟิล์มเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

สารบัญเฉพาะบทที่ 6

แอโรชันและก๊ีบอโรชัน

6.1	วัตถุประสงค์ของการทำแอโรชันและก๊ีบอโรชัน	127
6.1.1	การกำจัดสารไรนและไนโตรเจนจากน้ำเสีย	127
6.1.2	การเติมสารโวลทิลไลต์กับน้ำด้วยวิธีแอโรชัน	128
6.2	กฎของเฮนรี (Henry's Law)	129
6.3	พหุคูณของแอโรชันและก๊ีบอโรชัน	131
	ก. ขนาดของละอองน้ำหรือฟองอากาศ	134
	ข. ความเข้มข้นของก๊าซที่มีอยู่เดิมในน้ำ	134
	ค. ความเข้มข้นของก๊าซในอากาศ	134
	ง. เวลาสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ	135
6.4	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแอโรชันและก๊ีบอโรชัน	137
	ก. อุปกรณ์ประเภทน้ำตก	137
	ข. อุปกรณ์ประเภทฟองอากาศ	138
	6.4.1 แอโรเตอร์แบบสปริงน้ำ (Spray Aerator)	138
	6.4.2 แอโรเตอร์แบบบันได (Cascade Aerator)	141
	6.4.3 แอโรเตอร์แบบถาด (Tray Aerator)	141
	6.4.4 แอโรเตอร์ประเภทฟองอากาศ (Diffused Air Aerator)	143

๘.๔.๕	เครื่องกำจัดหรือลดระดับของสารปนเปื้อน ๗	1๕๖
๘.๔.๕.๑	ถังเครื่องกำจัดก๊าซพิษ CO ₂ และ H ₂ S	1๕๖
๘.๔.๕.๒	เครื่องเติมออกซิเจน (Pressurized Aerator)	1๕7
๘.๔.๕.๓	ถังเครื่องลดอุณหภูมิ (Deaerating Heater)	1๕๘
๘.๔.๕.๔	ถังเครื่องลดความดัน (Vacuum Deaerator)	1๕๘

บทที่ ๘

แเอเรชันและดีแเอเรชัน

วัตถุประสงค์ขั้นพื้นฐานของแเอเรชัน (Aeration) และ ดีแเอเรชัน (Deaeration) ได้แก่การปรับปรุงคุณภาพของน้ำทางด้านกายภาพและทางเคมีของน้ำโดยการเพิ่มออกซิเจนละลายในน้ำ (เช่น สารที่ระเหยกลายเป็นไอได้เมื่ออุณหภูมิเหมาะสม) ในน้ำ การเพิ่มสารไวโอลไฮโดรไลซ์กับน้ำเรียกว่า แอเรชัน (Aeracion) ส่วนการลดหรือกำจัดสารไวโอลไฮโดรไลซ์จากน้ำเรียกว่า ดีแเอเรชัน แม้ว่าชื่อจะแตกต่างกันแต่กรรมวิธีทั้งสองใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกัน จนในบางครั้งคำว่า แอเรชัน อาจมีความหมายรวมถึงดีแเอเรชันด้วย อุปกรณ์ชนิดเดียวกันอาจใช้ทั้งทำแเอเรชันในกรณีหนึ่งและใช้เพื่อทำดีแเอเรชันในอีกกรณีหนึ่ง นอกจากนี้ แอเรชันและดีแเอเรชัน อาจเกิดขึ้นพร้อมกันได้ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อบริษัท Tray Aerator กำจัด CO_2 (เป็นการทำดีแเอเรชัน) ในน้ำบาดาล แอเรชันก็จะเกิดขึ้นพร้อมกัน (เพราะมีการเติมออกซิเจนให้กับน้ำ)

๘.๑ วัตถุประสงค์ของการทำแเอเรชันและดีแเอเรชัน

กรรมวิธีทั้งสอง สามารถทำได้เกิดขึ้นได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่งใช้ใน ระบบประปาซึ่งนิยมใช้ในการกำจัดก๊าซละลายน้ำต่าง ๆ เช่น CO_2 , NH_3 , H_2S เป็นต้น สำหรับในระบบน้ำเสีย มักใช้การเติมออกซิเจนให้กับน้ำ

๘.๑.๑ การกำจัดสารไวโอลไฮโดรไลซ์ด้วยกรรมวิธีดีแเอเรชัน

สารไวโอลไฮโดรไลซ์ที่กำจัดออกจากน้ำได้ด้วยวิธีดีแเอเรชัน ต้องมีความสามารถในการ

ลดทอนน้ำค่า และต้องกลายเย็นไอได้ สารไวไฟไหลบางส่วนจะกระเด็นเป็นไอก็อาจได้เชื่อมโซเดียม เช่น แอมโมเนีย จะเป็นสาเหตุที่เสี่ยงสูงมากๆ เป็นต้น (ดูภาพที่ ๑.1) ดังนั้นสิ่งจำเป็นจะต้องมีการควบคุมการระเหยของน้ำให้เหมาะสมเพื่อให้สารไวไฟไหลกลายเป็นก๊าซ สารไวไฟหลักที่อาจกำจัดได้ด้วยวิธีนี้คือ เอเอ็ม ซีตองนี้

1. สารที่ทำได้แก่สารอินทรีย์และกรด ได้แก่ H_2S และสารประกอบอินทรีย์ไวไฟหนักบางส่วนอย่าง กลุ่มเอเรเนียมที่ไม่ใช่วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดหรือกำจัดกลิ่นและกรด ทั้งนี้เพราะสารต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายจะเหวี่ยงกันน้อย

2. สารที่เพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำ เช่น CO_2 และ H_2S แม้ว่าออกซิเจนจะอยู่ในปริมาณเล็กน้อยก็ตาม แต่เอเอ็มซีสามารถลดปริมาณของออกซิเจน ได้ภายใต้สภาวะของอุณหภูมิและความดันที่พบในระบบประปา

3. สารซึ่งทำปฏิกิริยาหรือ interfere กับสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดความสะอาด-บ้ำได้แก่ การกำจัด CO_2 ในการทำน้ำที่ขาดกรดบ้าง และการกำจัดเพื่อรวมทั้งการกำจัด H_2S ก่อนทำขบวนการ Chlorination

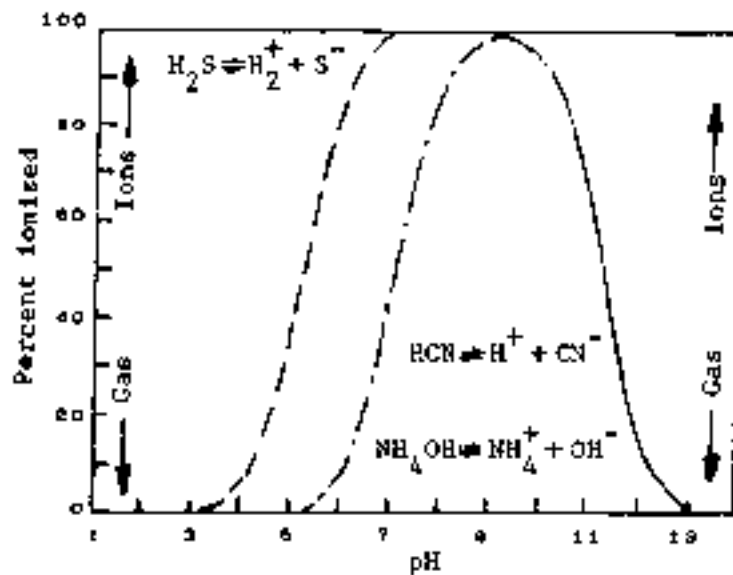
4. ก๊าซอื่น ๆ เช่น เอเอ็มซี แอมโมเนีย

๑.๑.๒ การเติมสารไวไฟใต้ดินน้ำด้วยวิธีเอเรเนียม

สำหรับระบบประปา เราใช้เอเรเนียมในการเติมก๊าซบางอย่าง เช่น CO_2 , O_2 ให้กับน้ำ การเติมออกซิเจนมักเป็นไปเพื่อช่วยในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส ออกจากน้ำ ส่วนการเติม CO_2 มักกระทำเพื่อลดพีเอชของน้ำเพื่อป้องกันการตกตะกอนของหินปูน หรือบางครั้ง เพื่อช่วยในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากน้ำ

๑.๒ กฎของเฮนรี (Henry's Law)

ในการทำนอกระชั้นหรือคืนนอกระชั้น ต้องมีความเข้าใจก่อนว่า สารไวไฟใดจะสามารถละลายน้ำได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งจะรู้ได้ว่าสามารถละลายได้หรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าตั้งของการกำจัดออกซิเจนทั้งหมดออกจากน้ำ ไม่ควรถือวิธีนี้ ดีและระมัดระวัง-ธรรมดา เนื่องจากออกซิเจนสามารถละลายน้ำได้ประมาณ ๑-๒ มก./ล. ที่อุณหภูมิ ๑๐-๑๕ °ซ ดังนั้นจึงยากที่จะลดออกซิเจนในน้ำให้เหลือน้อยกว่า ๑-๒ มก./ล. แต่ใน



ภาพที่ ๑.๑ ระดับไอออนที่เหมาะสมมีความสำคัญในการทำให้สารไวไฟใดที่กลายเป็นก๊าซ ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีคืนนอกระชั้น

ทางตรงกันข้าม ถ้ามีน้ำไร้ออกซิเจน การทำปฏิกิริยาในสภาวะเดิมปริมาณออกซิเจนในน้ำจะถึงความเข้มข้น 8-9 มก./ล. โทไลต์ไม่ยาก กรณีของการขุดลอกโคลนที่ฝังอยู่ในบ่อหรือในคลองน้ำตื้นที่ขุดลอกออกซิเจนที่เพิ่งกล่าลงไป คือที่เพราะ การขุดลอกโคลนที่ฝังอยู่ในบ่อหรือในคลองน้ำตื้นที่ขุดลอก (ประมาณ 0.7 มก./ล.) ดังนั้น การกำจัด CO₂ ออกจากน้ำขุดลอกจึงกระทำได้ง่ายมาก ด้วยวิธีดีแอมเรชัน แต่การทำเช่นนี้เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CO₂ ในน้ำไม่สามารถกระทำได้

กฎของเฮนรีจะช่วยให้สามารถคำนวณความเข้มข้นในการละลาย ของก๊าซต่าง ๆ ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ กฎนี้กล่าวว่า สัดส่วนมวลที่ละลายน้ำได้กับมวลหรือปริมาณของความสามารถในการละลายน้ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซ (Partial Pressure) ในบรรยากาศเหนือผิวน้ำ และสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C^* = K_H \bar{P} \tag{6.1}$$

- โดยที่
- C^* = ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำ (โมล/ลิตร)
 - K_H = ค่าคงที่ (โมล/ลิตร - บรรยากาศ)
 - \bar{P} = ปริมาณของก๊าซวัดเป็น Partial Pressure (บรรยากาศ)

ค่าคงที่ K_H ของก๊าซบางชนิดที่เกี่ยวข้องกับงานในสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าคงที่ K_H ของก๊าซต่าง ๆ (หน่วย 10^{-4} โมล/ลิตร-บรรยากาศ)

T, °C	Air	CO ₂	CO	C ₂ H ₆	H ₂	H ₂ S	CH ₄	NO	N ₂	O ₂
0	12.9	764	15.8	44.1	9.62	2070	24.8	32.9	10.5	21.0
10	10.1	531	12.6	29.4	8.75	1,570	16.7	25.5	8.33	17.0
20	8.34	392	10.4	21.2	8.14	1,150	14.8	21.1	6.93	13.8
30	7.20	299	8.96	16.3	7.63	914	12.4	17.9	6.07	11.7
40	6.40	239	7.94	13.2	7.40	748	10.7	15.8	5.35	10.4
50	5.84	197	7.30	11.1	7.29	630	9.04	14.7	4.92	9.46
60	5.50	165	6.77	9.85	7.28	540	8.08	13.3	4.63	8.85
70	5.10		6.38	8.93	7.30	467	7.34	12.7	4.44	8.40
80	4.70		6.08	8.00	7.37	412	6.75	12.4	4.41	8.10
90	4.33		5.87	7.10	7.40	386	6.04	12.1	4.41	7.81
100	4.00		5.67	6.01	7.46	376	5.93	12.1	4.41	7.93

ตัวอย่างที่ ๕.๑ ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 20 % ของจำนวนโมล ความเข้มข้นสูงสุดของออกซิเจนในน้ำที่มีอุณหภูมิ 20 °C

$$\begin{array}{ll}
 \text{จากตารางที่ ๕.๑,} & K_h = 13.8 \times 10^{-4} \quad \text{mol/l-atm.} \\
 \text{จากสูตร} & C^* = K_h \bar{p} \\
 \text{เนื่องจาก} & \bar{p} = 0.20 \quad \text{atm.} \\
 \therefore & C^* = 0.20 \times 13.8 \times 10^{-4} \quad \text{mol/l} \\
 & = 2.75 \times 10^{-4} \quad \text{mol/l} \\
 & = 2.75 \times 10^{-4} \times 10^3 \quad \text{millimol/l} \\
 & = 2.75 \times 10^{-1} \times 32 \quad \text{mg/l} \\
 & = 8.83 \quad \text{mg/l}
 \end{array}$$

ตัวอย่างที่ ๕.๒ ในบรรยากาศที่มี CO_2 0.04 % ของจำนวนโมล ความสามารถในการละลายน้ำของ CO_2 ที่อุณหภูมิ 20 °C

$$\begin{array}{ll}
 \text{จากตารางที่ ๕.๑,} & K_h = 392 \times 10^{-4} \quad \text{mol/l-atm.} \\
 \text{และ} & \bar{p} = 0.04 \% = 0.0004 \quad \text{atm.} \\
 \text{จากสูตร} & C^* = K_h \bar{p} \\
 & = 392 \times 10^{-4} \times 0.0004 \quad \text{mol/l} \\
 & = 1568 \times 10^{-8} \times 10^3 = 1.568 \quad \text{mg/l} \\
 & = 0.7 \quad \text{mg/l}
 \end{array}$$

๕.๑ การแพร่ของแก๊สในของเหลว

กฎของเฟนทอนทำให้รู้เบื้องต้นแล้วว่า เมื่อถึงสภาวะสมดุล จะมีการแพร่ของแก๊สได้มากน้อยเพียงใด กฎดังกล่าวไม่ได้บอกอะไรเลยเกี่ยวกับอัตราเร็วของการแพร่

แปลง เช่น จะต้องใช้เวลานานเพียงใดจึงจะถึงสภาวะสมดุล เป็นต้น

เมื่อต้องการรู้เกี่ยวกับอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลง จำเป็นต้องพิจารณาถึงหลักการเคลื่อนย้ายมวลสาร จากสถานหนึ่งไปยังอีกสถานหนึ่ง (Mass Transfer) แยกแยะเป็นการเคลื่อนย้ายของสารหรือสารละลายเคลื่อน จากอากาศไปสู่พื้นน้ำหรือของเหลวอื่น เช่น เคลื่อนย้ายออกซิเจนในอากาศสู่พื้นน้ำ เป็นต้น ส่วนที่แยกแยะเป็นกระบวนการตรงกันข้ามกับแผลเรชัน แต่ทั้งสองสามารถอธิบายได้ด้วยแนวความคิดเดียวกัน (เพื่อให้สามารถเข้าใจทฤษฎีของแผลเรชันและเคลื่อน แผลเรชัน จะขอเอาเฉพาะกรณีของ การออกซิเจนมาใช้ในการอธิบาย) ดังนั้น ในที่นี้จะขออธิบายถึงทฤษฎีของแผลเรชัน เท่านั้น

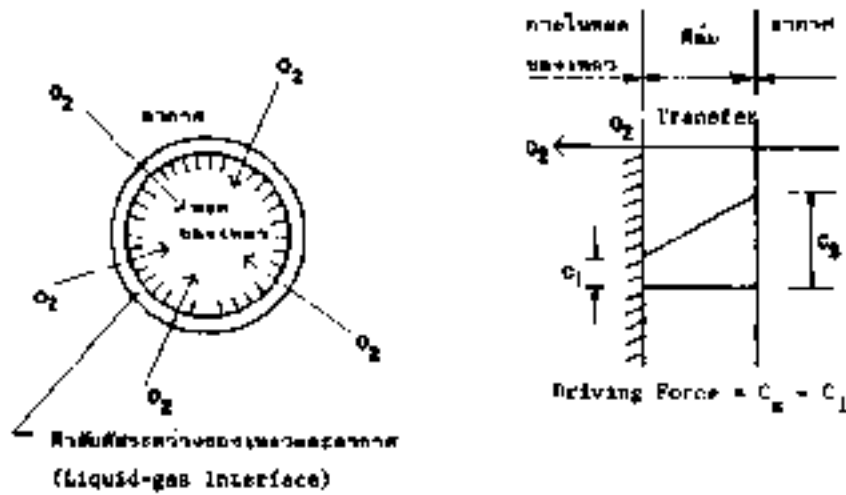
การเกิดแผลเรชัน ไปมีใบความเข้มข้น ดังนี้

๑. ทำให้มีการสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำเกิดขึ้นมากที่สุด วิธีปฏิบัติคือ เป่าฟองอากาศลงไปใต้น้ำ หรือทำให้หน้าเป็นระลอกเล็ก ๆ พ่นขึ้นไปในอากาศ (ดูภาพที่ ๑.๒) ทั้งสองวิธีดังกล่าว เป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศและน้ำ ดังนั้น ฟองอากาศหรือระลอกน้ำมีขนาดยิ่งเล็กยิ่งดี

๒. โมเลกุลของก๊าซในอากาศ เคลื่อนย้ายผ่านฟิล์มบาง ๆ บนผิวน้ำเข้าไปใต้น้ำ แรงขับเคลื่อนที่ทำให้มีการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลก๊าซ คือความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นสูงในอากาศ และก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำ (หรือไม่มีเลย) ในน้ำ ฟิล์มบาง ๆ บนผิวน้ำเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนย้ายของก๊าซจากอากาศสู่พื้นน้ำ แม้ว่าจะไร้อากาศ น้ำที่ขุ่นได้สัดส่วนจะมีความเข้มข้นของก๊าซถึงจุดอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว

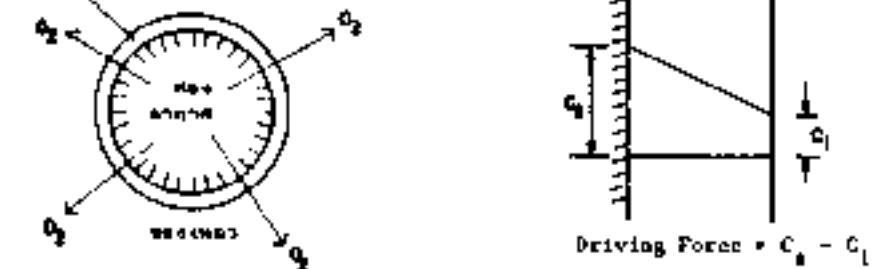
๓. โมเลกุลของก๊าซแพร่กระจาย (เช่น ด้วยการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน) จากบริเวณใกล้เคียงไปสู่จุดอื่น ๆ ของน้ำ จนกระทั่งน้ำทุกส่วนมีความเข้มข้นของก๊าซถึงจุดอิ่มตัว

จากคำอธิบายดังกล่าวข้างบน จะเห็นได้ว่า การเคลื่อนย้ายมวลสารจากอากาศไปสู่พื้นน้ำ



ภาพที่ 1.1 มุมมองของเหลวที่กระเด็นขึ้นบนผิวน้ำ

ภาพที่ 1.2 มุมมองของเหลวที่กระเด็นลงในผิวน้ำ



C_{II} = ปริมาณออกซิเจนในผิวในของเหลว

C_I = ปริมาณออกซิเจนในผิวในของเหลว

ภาพที่ 1.3 มุมมองของเหลวในของเหลว

ภาพที่ 1.2 วิธีการถ่ายเทออกซิเจน

(หรือในทิศทางตรงกันข้าม) ขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ดังต่อไปนี้

ก. ขนาดของละอองน้ำหรือฟองอากาศ

เนื่องจากละอองน้ำหรือฟองอากาศที่มีขนาดเล็ก จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าละอองน้ำหรือฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ ในเมื่อปริมาณความร้อนหรือน้ำเท่ากัน ดังนั้นการเคลื่อนย้ายก๊าซจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อละอองน้ำหรือฟองอากาศมีขนาดเล็ก เนื่องจากมีผิวสัมผัสมากกว่า

ข. ความเข้มข้นของก๊าซที่มีอยู่เดิมในน้ำ

ตามกฎของเฮนรี่ ก๊าซสามารถละลายน้ำได้ไม่เกินระดับหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซที่อยู่ที่อุณหภูมินั้น ถ้าในน้ำมีก๊าซน้อยกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่เป็นไปได้ จะมีการเคลื่อนย้ายก๊าซจากอากาศเข้าสู่ น้ำ กระทั่งมีการอิ่มตัวของก๊าซเกิดขึ้น อัตราการเคลื่อนย้ายก๊าซ ขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัวกับความเข้มข้นที่มีอยู่เดิม กล่าวคือ ผลต่างของค่าสูง อัตราการเคลื่อนย้ายก๊าซก็สูงตามด้วย ดังนั้น จึงอาจถือได้ว่า ผลต่างของความเข้มข้นดังกล่าว เป็นเสมือนแรงผลักดันที่ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายก๊าซเกิดขึ้น (ดูรูปที่ ๑.๕)

ค. ความเข้มข้นของก๊าซในอากาศ

ดังได้กล่าวแล้วว่า ผลต่างของความเข้มข้นสูงสุด (อิ่มตัว) และความเข้มข้นที่จุดเริ่มต้น เป็นแรงผลักดันที่ทำให้เกิดออเรชัน การเพิ่มความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัวของก๊าซโดยเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซในอากาศ (เพิ่ม Partial Pressure) ย่อมทำให้อัตราการเคลื่อนย้ายก๊าซหรืออัตราออเรชันเกิดขึ้นได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น อัตราการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากอากาศธรรมดา ($20 \times O_2$) ให้สัมพัทธ์ ย่อมเกิดขึ้นกว่าอัตราการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากอากาศที่มีออกซิเจน $100 \times$ นั่นคือ ความเข้มข้นของก๊าซที่อิ่มตัวในน้ำตั้งขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น ปริมาณของเวสิคูลในน้ำ เป็นต้น

๖. เวลาที่มีสารระหว่างอากาศกับน้ำ

เนื่องจากการเกิดแอเรชันมี ๒ ชั้น ดังกล่าวไปแล้ว เวลาที่มีสารระหว่างอากาศกับน้ำจึงต้องคงเดียว เมื่อโฟมโบลของอากาศมีเวลาเคลื่อนย้ายจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง นั่นคือ ละลายน้ำซึ่งอยู่ในอากาศบางส่วน หรือผลของอากาศจะตั้งอยู่อยู่ในปริมาณคงเดียว จนกระทั่งก๊าซหลุดผ่านฟิล์มน้ำและแพร่กระจายเข้าไปในน้ำ

โมเดลทางคณิตศาสตร์ ที่แสดงถึงผลจากการเคลื่อนย้ายก๊าซจากอากาศไปสู่น้ำ (หรือจากน้ำไปสู่อากาศ) มีดังนี้

$$dC/dt = K_L a (C_s - C) \quad (6.2)$$

- โดยที่
- dC/dt = อัตราการเกิดแอเรชัน (ก๊าซถูกเคลื่อนย้ายจากอากาศไปสู่น้ำ)
 - K_L = สัมประสิทธิ์ (สปส.) ของการเคลื่อนย้าย (Mass Transfer Coefficient)
 - a = พื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะ ระหว่างอากาศกับน้ำ ที่พื้นที่นี้คิดต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ
 - C_s, C = ความเข้มข้นของก๊าซที่อิ่มตัวในน้ำ และที่เวลาใด ๆ ตามลำดับ (หน่วย มก./ล.)

แต่เนื่องจากการวัดค่า a ทำได้ยากมาก จึงมักนิยมนำค่า K_L และ a ไว้ด้วยกัน และเรียก $K_L a$ ว่า "สปส.ของการเคลื่อนย้ายรวม" (Overall Transfer Coefficient) มีหน่วย "ชม.⁻¹" และ dC/dt มีหน่วย "มก./ล.-ชม."

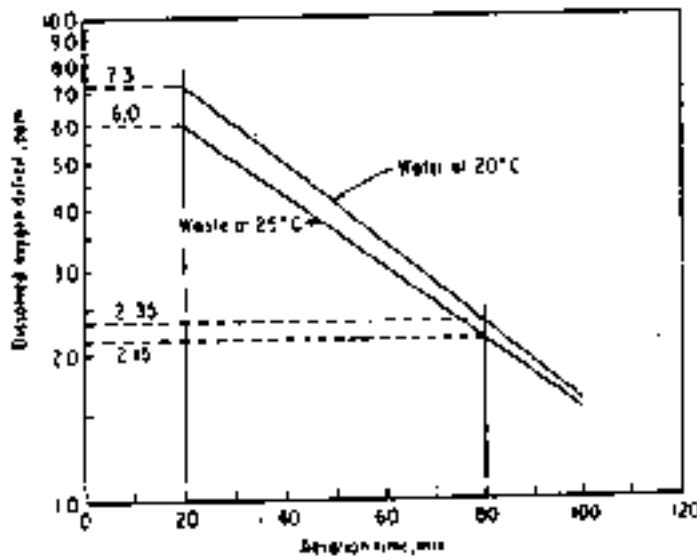
จากสมการ ๖.๒

$$dC/(C_s - C) = K_L a dt$$

$$\ln[(C_s - C_0)/(C_s - C_t)] = K_L a t \quad (6.3)$$

โดยที่ C_0 และ C_L คือความเข้มข้นของก๊าซที่จุดเริ่มต้นและที่เวลา t เป็น
 พล็อตกราฟระหว่าง $(C_0 - C_L)$ และเวลา t บนกราฟแบบ Semi-log
 จะได้กราฟเส้นตรงที่มี slope เท่ากับ $K_L a$ (ดูภาพที่ ๘.๖)

ค่า $K_L a$ เป็นคุณสมบัติของระบบแอโรเชน (หรือดีแอโรเชน) ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์แอโร-
 เตอร์, คุณสมบัติของน้ำ เช่น ระดับเกลือแร่, อุณหภูมิ ฯลฯ ตัวอย่างในภาพที่ ๘.๖
 แสดงว่า เมื่อ $(C_0 - C_L)$ มีค่าเท่ากับ ๖.๐ มิลลิกรัม ลิตร ใช้เวลาทั่วไปออกซิเจน-
 ติมตัวเนื้อกว่าน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 °C



ภาพที่ ๘.๖ กราฟที่แสดงสมการของแอโรเชนและดีแอโรเชน

จากสมการที่ ๘.๖ เราสามารถจัดวางสมการที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของก๊าซ
 ที่เวลาใด ๆ ได้ ดังนี้

$$\text{แอมเรชัน} \quad C_t = C_s - (C_s - C_o) 10^{-K_L a t} \quad (6.4)$$

$$\text{ดีนอเรชัน} \quad C_t = C_s - (C_o - C_s) 10^{-K_L a t} \quad (6.5)$$

จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาเท่ากับอนันต์ ความเข้มข้น (C_t) จะเท่ากับ C_s ทั้งในกรณีแอมเรชันและดีนอเรชัน

๑.๔ อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดแอมเรชันและดีนอเรชัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดแอมเรชันและดีนอเรชัน มักเป็นชนิดเดียวกันแต่เรียกชื่อต่างกัน อุปกรณ์บำบัดแอมเรชันเรียกว่า แอมเรเตอร์ (Aerator) ส่วนที่ใช้บำบัดดีนอเรชันเรียกว่า ดีนอเรเตอร์ (Deaerator) อุปกรณ์เหล่านี้สามารถจำแนกเป็น ๒ ชนิดดังนี้

ก. อุปกรณ์ประเภทน้ำผ่น

อุปกรณ์ชนิดนี้ใช้ในการสร้างละอองน้ำ เกิดเคลื่อนย้ายก๊าซออกจากละอองน้ำ ไปสู่อากาศ (ดีนอเรชัน) หรือ เกิดเคลื่อนย้ายก๊าซจากอากาศไปสู่ละอองน้ำ (แอมเรชัน) ตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทน้ำผ่น ได้แก่ Spray Aerator, Cascade Aerator และ Tray Aerator เราใช้อุปกรณ์ประเภทนี้กับน้ำที่มากกว่าน้ำเสีย เช่น ในการเปลี่ยนเหล็กเฟอรัสให้เป็นเหล็กเฟอริก หรือในการกำจัด CO_2 ออกจากน้ำ

ข. อุปกรณ์ประเภทฟุ้งกระจาย (Diffused Air Types)

อุปกรณ์ชนิดนี้มักใช้ในการสร้างฟองอากาศ เพื่อใช้บำบัดแอมเรชันมากกว่าดีนอเรชัน และมักใช้กับน้ำเสียมากกว่า นิยมใช้เพื่อเติมออกซิเจนให้กับน้ำมากกว่าใช้ในการดีนอเรชัน อุปกรณ์ประเภทฟุ้งกระจายมีอยู่ชนิดเดียว คือ เป่าลมผ่านท่อเจาะรูหรือหัวกระจายลม (Diffuser) ซึ่งวางอยู่ในน้ำ ตัวอย่างคือ การเติมอากาศในตู้เลี้ยงปลา หรือการเติมอากาศให้กับระบบนอกถังรีแอกเตอร์คังค์ ธันท์วิงษ์มีอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่ง

สำหรับหน่วยแอโรเรชัน แต่มีค่าใช้จ่ายในการเติมก๊าซออกซิเจนให้กับน้ำ ที่มีคือ แอโรเรเตอร์แบบใบพัด ซึ่งค้ำน้ำให้กระเซ็นเป็นละอองน้ำป็นิวขึ้นไปในอากาศ เพื่อรับออกซิเจนจากอากาศ แต่โดยปรกติอุปกรณ์ชนิดนี้มักไม่นำมาใช้กับน้ำค้ำ เนื่องจากเปลืองพลังงานมาก และมีกไม่ต้องการออกซิเจนมากจนต้องใช้อุปกรณ์นี้

การระเหยของอากาศ มักเป็นสิ่งจำเป็นโดย เฉพาะอย่างยิ่งในการกำจัดแอมโมเนีย ทั้งนี้เพื่อให้การเคลื่อนย้ายก๊าซเกิดขึ้นได้สะดวก และมีประสิทธิภาพดีเยี่ยม นอกจากนี้ ยังเป็นการระกั้นหวายจากก๊าซบางชนิด เช่น CO_2 , CH_4 , และ H_2S (CO_2 ทำให้หายใจไม่ออก มีเทนอาจทำให้ระเบิด และไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นพิษ ซึ่งเป็นอันตรายโดยทาง)

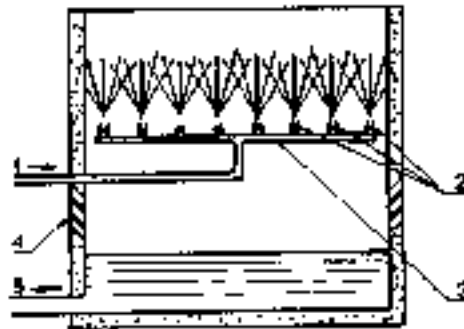
การที่ลดอุณหภูมิของกัมมันตภาพอินทรีย์ หรือในบางกรณี การปรับสภาพของน้ำให้พอเหมาะแก่การเกิดแอมโมเนียหรือดีแอมโมเนีย มักทำให้น้ำเป็นกรดหรือด่างและเกิดการก่อมลพิษ ทั้งนี้แอมโมเนียและดีแอมโมเนียจึงต้องสร้างขึ้นมา จากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ เช่น เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ไม้เนื้อแข็ง (ใช้เป็ยมีเคียว) พลาสติกคาร์บอนหรือต้องมีการพาสีอีพอกซี (Epoxy) หรือสารยับยั้งสนิมอื่นๆเช่น อ่าง เบ็นตัน

6.4.1 แอโรเรเตอร์แบบฝอยน้ำ (Spray Aerators)

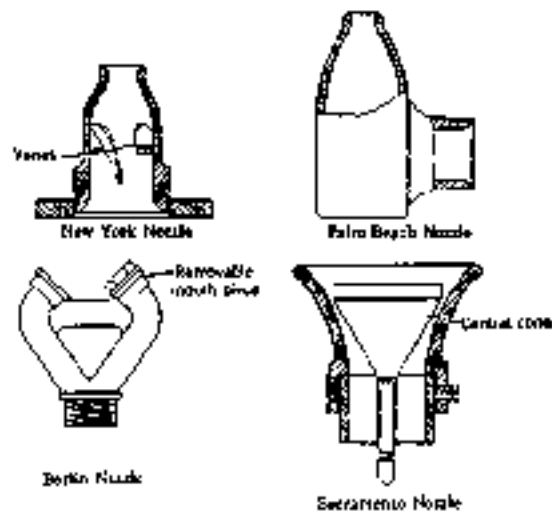
แอโรเรเตอร์ชนิดนี้ เป็นการเป่าน้ำผ่านหัวฉีดซึ่งอยู่กับที่(Fixed Nozzle) ขึ้นไปบนอากาศ (ดูภาพที่ 6.4)

การทำแอมโมเนียด้วยอุปกรณ์นี้ มักทำในระดัณขนาดใหญ่ โดยวางท่อจ่ายน้ำลงสู่ถังที่มีหัวฉีดตั้งอยู่เป็นระยะ ๆ จากถังมีสูบน้ำที่ต้องการแอมโมเนีย (Aerate) หรือดีแอมโมเนีย (Deaerate) เข้าเส้นท่อ เพื่อฉีดน้ำผ่านหัวฉีดขึ้นไปบนอากาศ ระยะเวลาที่ละอองน้ำอยู่ในอากาศ ขึ้นอยู่กับแรงดันและทิศทางของการฉีด (Trajectory) แอโรเรเตอร์

ในการคำนวณหาค่าเวลาสัมผัส (t) ของแอโรเรเตอร์แบบฝอยน้ำนี้ จะต้อง



1. Water to be aerated.
2. Spray nozzles.
3. Header pipe and laterals.
4. Ventilation louvres.
5. Aerated water.



ภาพที่ 6.4 แบบเรขาคณิตของโปรเจกต์น้ำและหัวฉีดแบบต่าง ๆ

คำนวณหา h , เซดที่งนบคของหัวฉีด (แรงขับที่หัวฉีด) จากอัตราไหลของน้ำ Q เสียก่อน โดยใช้สูตรดังนี้

$$Q = C_d a (2gh)^{0.5} \quad (6.6)$$

โดยเมื่อ

a = พื้นที่ของรูของหัวฉีด (ตร.ฟุต)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ซึ่งเท่ากับ 32.2 ฟุต/วิน.²

C_d = ค่าคงที่ของหัวฉีด (คิดจากอัตราไหล) ซึ่งมีความประมาณ 0.95-0.98 สำหรับหัวฉีด a ชนิดที่แสดงอยู่ในภาพที่ 6.4

ค่าเซดที่งนบคที่หัวฉีด (h) สามารถนำไปหาคำนวณค่า TDH (Total Dynamic Head) ของเครื่องสูบน้ำที่ต้องการ และสามารถคำนวณหาเวลาสูบฉีด (t) ได้ดังนี้

$$t = 2C_v \sin \theta (2h/g)^{0.5} \quad (6.7)$$

โดยที่ C_v = ค่าคงที่ของหัวฉีด (คิดจากอัตราเร็วของน้ำ)
เนื่องจาก $\sin \theta$ มีค่าสูงสุด = 1 เมื่อ $\theta = 90^\circ$

$$t_{max} = 2C_v (2h/g)^{0.5} \quad (6.8)$$

การเลือกขนาดของหัวฉีด (Nozzle) มีความสำคัญมาก เพื่อให้สามารถกระพ่นน้ำไปรอบน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด หัวฉีดควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1 - 1\frac{1}{2}$ นิ้ว ถ้าใช้หัวฉีดเล็กเกินไปจะมีอัตราการไหลต่ำเกินไป ทำให้ยากต่อการบำรุงรักษา

ตัวเลขที่ใช้ในการออกแบบมีดังนี้ (ดูจากตารางที่ ๕.๒ ประกอบด้วย)

อัตราไหลที่ผ่านหัวฉีด	75 - 175	กช./นาที
ความดันที่หัวฉีดประมาณ	10	ปอนด์/จ.นิ้ว
ระยะห่างของหัวฉีด	2 - 12	ฟุต
พื้นที่รองรับน้ำที่ไหลลงมา	50 - 150	ตร.ฟุต/อัตราไหล 1 ล้าน แกลลอนต่อวัน

แอโรเตอร์แบบนี้ มีพื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซและน้ำสูง เพราะสามารถสร้างละอองน้ำขนาดเล็กได้, แต่ก็มีเวลาสัมผัสต่ำ (เช่น ประมาณ ๒ นาที มีเฮด 20 ฟุต) ดังนั้นประสิทธิภาพจึงใกล้เคียงกับแบบอื่น ๆ

แอโรเตอร์แบบนี้ อาจเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการติดตั้งแผ่นขวางน้ำ (ดูภาพที่ ๕.๖) เพื่อลดอัตราไหลของน้ำ ทำให้มีเวลายสัมผัสมากขึ้น

๕.4.๑ แอโรเตอร์แบบขั้นบันได (Cascade Aerator)

แอโรเตอร์ชนิดนี้สร้างขึ้นจากการแบ่งสายน้ำให้บางที่สุด โดยปล่อยให้น้ำไหลอย่างช้า ๆ ลงมาตามทางซึ่งมีลักษณะคล้ายขั้นบันได (ดูภาพที่ ๕.๗ ก.)

แอโรเตอร์ที่มีลักษณะคล้ายกัน คือ แอโรเตอร์แบบพื้นเรียบ (ภาพที่ ๕.๘ ข.) ค่าเวลาสัมผัสและพื้นที่สัมผัส คำนวณให้ถูกต้องแม่นยำได้ยาก การเพิ่มเวลาสัมผัสสามารถกระทำได้โดยเพิ่มชั้นบันได หรือความยาวของพื้นเรียบ ส่วนการเพิ่มพื้นที่สัมผัสต่อทรงตันทำได้โดยการเพิ่มเชิงก้นขวางทางไหลของน้ำ เพื่อให้มีน้ำปั่นป่วน ลักษณะการทำงานของแอโรเตอร์แบบนี้ ทำให้มีการสูญเสียเศษตะกอนเล็กเสี้ยนไม้ได้ เขตที่รองรับการมีค่าประมาณ ๑-๑๐ ฟุต

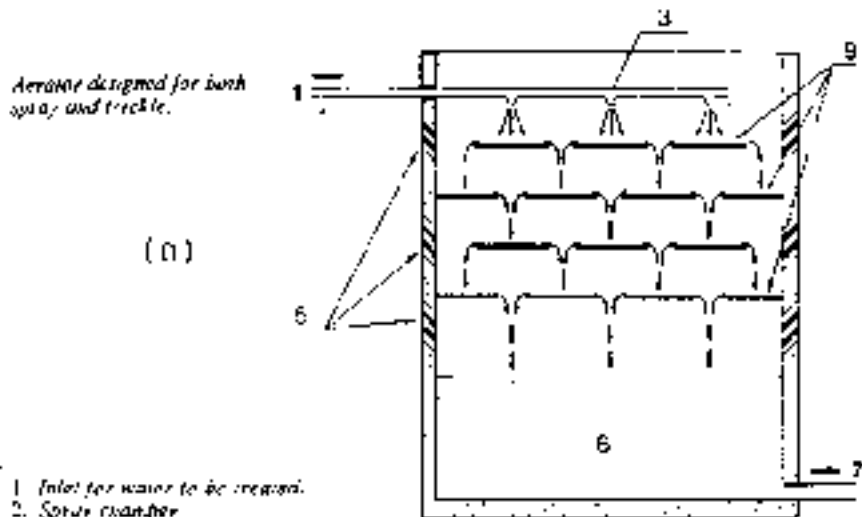
๕.4.๒ แอโรเตอร์แบบถาด (Tray Aerator)

แอโรเตอร์แบบถาดคล้ายกับแบบโปรยน้ำ แต่กินเนื้อที่น้อยกว่ามาก ทั้งนี้เพราะ

ตารางที่ 8.2 รายละเอียดของระบบการบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบการบำบัดน้ำเสีย
ในสหรัฐอเมริกา (11)

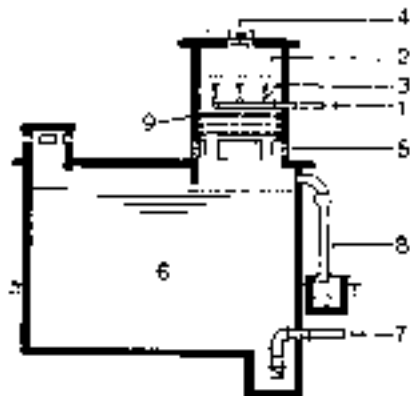
Installation	Design capacity, mgd	Number of nozzles	Spacing, ft	Type	Pressure, psi	Space per unit of capacity, sq ft/mgd	Operating results	
							Flow, mgd	CO ₂ , mg/l
Contra Costa, Cal.	32	42	4	Sacramento	1.64	139		
Deerw. Colo., North Side Water Plant ^a	64	600	3	Special	11.87	85	64	Trace
Aerobic J	100	400	3	Special	6.50	54	100	Trace
Jacksonville, Fla. ^b	12.95	200	2.5	Floating knee	0.96	97	7	3.0
Main St.	7.30	25	8	Adjustable zone	1.19	129	2	3
Hendricks Ave.	20	202	2 and 3	West Palm Beach type	10	78	Variable	1.7
West Palm Beach, Fla. ^c	8	20	2-2.5	Patented	3	50	4.35	7.5
Bauger, Maine ^d	10	70	10	Sacramento	1.73	700		
Lawrence, Mass. ^e	5.6	38	12	Patented	17	1,000		
Springfield, Minn. ^f	8	72	3.5 x 4	Patented	2.3	128		

^a Surface supply essentially free of carbon dioxide
^b Supply from deep wells, all containing hydrogen sulfide in concentrations from 1.5 to 2.0 mg/l. Aeration removes from 25 to 40 per cent and supplies oxygen for oxidation of remainder.
^c Supply from shallow lakes. Aeration for reduction of algal odors and carbon dioxide reformation for iron removal. Alum added prior to aeration, which accounts for high carbon dioxide content of aerated water.
^d Surface supply. Aerator for reduction of carbon dioxide and nitrogen trichloride. Aerated water contains about 15 mg/l free chlorine.
^e Surface supply. Aerator for reduction of algal odors.
^f Surface supply. Aerator for reduction of algal odors. Reports average reduction of theoretical order from 24 to 57 per cent. Alum added prior to aeration.



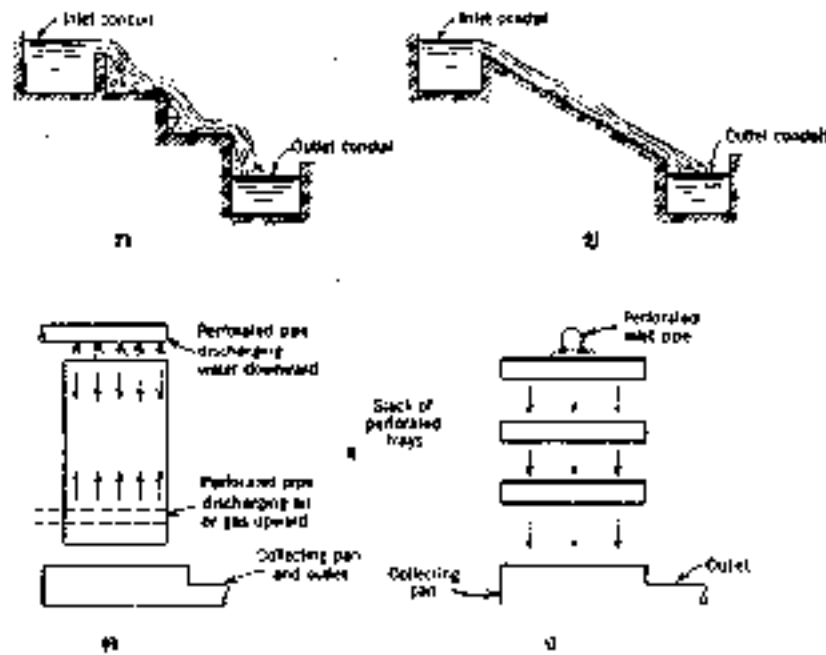
(ก)

- 1 Inlet for water to be treated.
- 2 Spray chamber
- 3 Spray nozzles.
- 4 Fan.
- 5 Aeration leaves
- 6 Treated water tank.
- 7 to treated water pumps.
- 8 Overflow.
- 9 Trickle plate



(ข)

ภาพที่ 6.5 เครื่องกรองน้ำโปรยน้ำค้ำยแค้นสั้น ก. นครราชสีมา จ.นครราชสีมา
ไปรษณีย์



ภาพที่ ๑.๕ - แลเรเตอร์แบบน้ำตกที่ไม่ต้องมีแรงดัน
 ก. แบบหันโล ข. แบบหันเฉียง
 ค. แบบพอดอย ง. แบบตาต

สามารถเพิ่มเวลาสัมผัสและพื้นที่สัมผัส โดยการโปรยน้ำให้ไหลผ่านชั้นตัวกรอง ซึ่งวางอยู่ในตาดพวย ๆ ขึ้น (ดูภาพที่ ๑.๕ ๑.) วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางได้ มีหลายชนิด เช่น ถ่านโค้ก (Coke) ถ่านไม้ ถ่านกระตึก หินก่อสร้าง ฯลฯ ถ่านโค้กดูเหมือนจะเป็นตัวกลางที่ดีและนิยมใช้มากที่สุด เพราะนอกจากจะให้ประสิทธิภาพสูงแล้ว ยังให้ผลดีทางเคมีอีกด้วย ยกตัวอย่าง เช่น ในกรณีของการกำจัดเหล็กและแมงกานีสออกจากน้ำบาดาล ผลึกของ $MnCO_2$ ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาและเกาะติดบนผิวถ่านโค้ก จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสร้างผลึกให้กับเหล็กและแมงกานีสซึ่งละลายมากับ ทำให้นิยมใช้แลเรเตอร์แบบตาต ในการกำจัดเหล็กและ

แมงกานีส นอกจากนี้ ยังนิยมใช้ในการกำจัด CO_2 ออกจากน้ำอากาศ (ในกรณีนี้ ซึ่งควรเรียกว่า ดีแอกซิเดชัน มากกว่า) แทนที่ทั่วไปก็ยังมีเรียกว่าเป็น แอโร-เดชัน) สำหรับในปะเกะทะเลไรต์ แอโรเดชันแบบถาดนี้เป็นที่นิยมในการกำจัด CO_2 แอโรเดชัน รวมทั้งแมงกานีส มากกว่าแอโรเดชันแบบอื่น ๆ

ข้อแนะนำสำหรับรายละเอียดของระบบ มีดังนี้

จำนวนถาดไม่ต่ำกว่า	3 - 5 ชั้น
ระยะห่างของถาด	0.70 - 0.75 เมตร
พื้นที่ของถาดประมาณ	0.55 - 1.6 ตร.ม./1000 ลิ.ร.ต่อวัน (เฉลี่ย 0.72 ตร.ม./1000 ลิ.ร./วัน)

สำหรับการกำจัด CO_2 ด้วยแอโรเดชันแบบถาด มีสูตรดังนี้

$$C_n = C_0 \times 10^{nK} \quad (6.9)$$

โดยที่

- C_n = ความเข้มข้นของ CO_2 หลังจากผ่านถาด n ชั้น (มก./ล.)
- C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของ CO_2 ในน้ำดิบ(มก./ล.)
- n = จำนวนถาด
- K = สปส.ของแอโรเดชันซึ่งมีค่าประมาณ 0.12-0.16

ตารางที่ 6.3 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกำจัด CO_2 ของแอโรเดชันแบบถาด ที่ใช้ในระบบประปาบางแห่งของสหรัฐอเมริกา

6.4.4 แอโรเดชันประเภทฟุ้งอากาศ (Diffused Air Aerator)

แอโรเดชันประเภทฟุ้งอากาศ ประกอบด้วยถังบรรจุน้ำที่ต้องการแอโรเดชัน หรือ แอโรเดชัน และระบบเป่าอากาศที่สามารถสร้างฟุ้งอากาศขนาดเล็กได้โดยใช้เครื่องเป่าลม (Air Blower) และหัวฉีดลม (Air Diffuser) (ดูภาพที่ 6.7)

ตารางที่ 6.3 จำนวนไม้คอกและสกรพรมของหอเตาถลุงเหล็กในโรงหล่อ
 สเปกตรัมการไหลของอากาศที่หอเตาถลุงเหล็ก (ก)

Installation	Design capacity, mg/l	Area of trays, sq ft	Type and size of media	No. of trays including distribution basin	Vertical distance between trays, in.	Houring	Space per unit of capacity, sq ft/mgd	Operating results		
								Flow, mg/l	Accum. CCl ₄ mg/l	
Naples, Fla. ^a	1.1	81	2-in. coke	4	18	Outside	74	0.67	22	4
Wichita, Kans. ^b	4.9	984	2-in. coke	5	18	Inside	21	5.0	21	7.9
Owensboro, Ky. ^c	1.0	280	Coke	5	14	Outside	28	5.4	34	6
Columbia, Mo. ^d	3	100	None	5	18	Inside	53			
Marshall, Mo. ^e	2	90	None	6	18	Inside	40	1.03	29	10
Memphis, Tenn. ^f										
Allen Station	30	800	3 to 4 in. coke	11	15 1/2	Inside	30	10.5	96	3.2
Sheehan Station	30	600	Coke	6	18	Inside	20	22.0	36	10

^a Removal of hydrogen sulfide and carbon dioxide.
^b Removal of carbon dioxide. Has forced draft ventilation at rate of 28,500 cfm.
^c Removal of carbon dioxide.
^d Removal of hydrogen sulfide. Outlets with roof and screen slabs.
^e Removal of carbon dioxide. Has forced draft ventilation at rate of 2,000 cfm.
^f Removal of carbon dioxide. Natural ventilation through open walls.

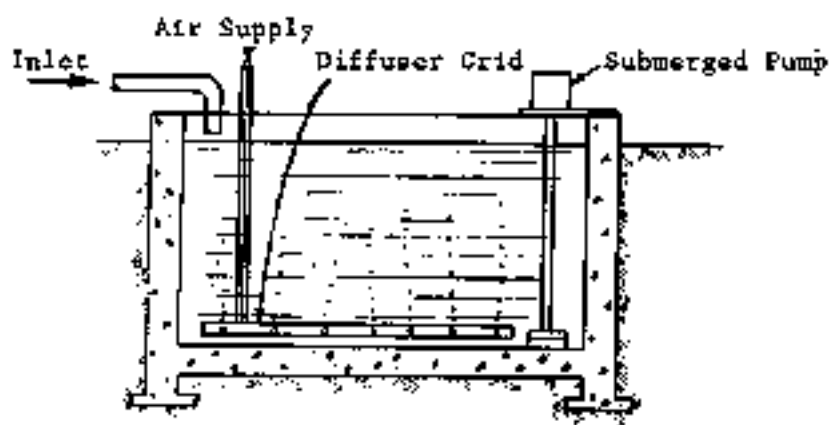


Figure 8.7 Diffuser aeration tank

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ ได้แก่

เวลาพักน้ำของถังน้ำประพรม	15 นาที
ระยะเวลาของตัวรีดอม (วัดจากผิวหน้า)	3-4 เมตร
ปริมาณลมที่ต่อองรี	0.4-1.2 ลิตร/ลิตรของน้ำ
กำลังไฟฟ้าที่ต่อองรี	0.3-1.2 กิโลวัตต์/1000ม.ม./ชม.
ถังน้ำควรมีอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความลึกน้อยกว่า 1.5	

ข้อดีของแอโรเตอร์แบบมีซี่บ มีการสูญเสียเสกค่า แต่ต้องลงทุนสูงและเสียค่าบำรุงรักษาและเคมีการ์องในราคาสูง ตารางที่ 2.4 เป็นตัวอย่างของการใช้ แอโรเตอร์แบบพองอากาศในระบบประปายางแห่ง เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ

ตารางที่ 2.4 ความละเอียดเกี่ยวกับการใช้แอโรเตอร์แบบพองอากาศ ของระบบประปายางแห่งในสหรัฐอเมริกา (11)

Installation	Capacity, mgd	Period of aeration, min	Objective	Air requirement, cu ft/gal	Power requirement per mgd capacity, hp
Petersburg, Ind.*	1.0	30	Odor removal-mixing	0.10	1.45
Huntingburg, Ind.*	0.4	8.5	Odor removal	0.15	0.75
St. Paul, Minn.†	48	0.18	Odor removal-mixing	0.01	
Brownsville, Tex.*	4	14	Gas removal-mixing	0.07	0.48
Fl. Alkinson, Wis.*	0.75	18	Iron and odor removal	0.18	1.97
Keosauha, Wis.†	11.6	0.51	Odor removal	0.01	

*Data from Row 18

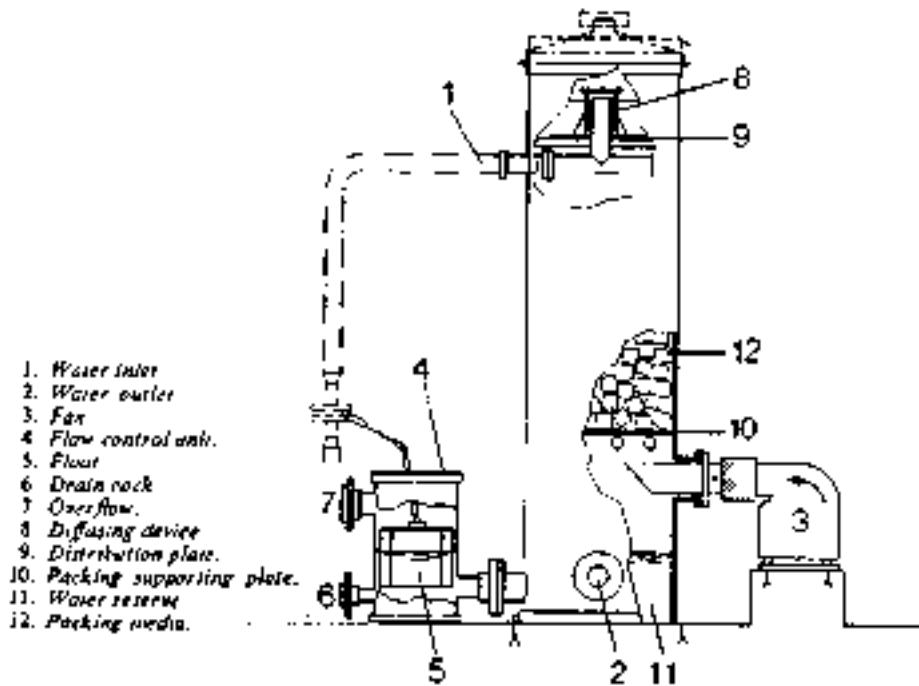
†Activated carbon also used for odor removal.

๘.๔.๘ สแตนเดอร์ทหรือฟีนอลเรเตอร์แบบอื่น ๆ

นอกจากสแตนเดอร์ทหรือ ๘ แบบ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังมีสแตนเดอร์ท หรือสแตนเดอร์ทแบบอื่น ๆ อีก ซึ่งสามารถทำงานได้ดีก็คิดเหมือนกันหรือดีกว่า และมีกวดังกล่าว เพื่อคั่นบ่งบ่งค่าด้วย แต่ต้องใช้ถังถังงานมากกว่า

๘.๔.๘.๑ สแตนเดอร์ทที่ใช้กำจัด CO_2 และ H_2S

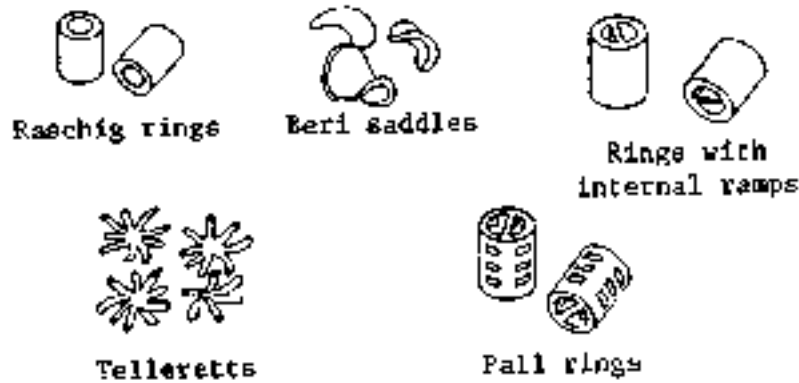
ภาพที่ ๘.๘ เป็นสแตนเดอร์ทที่นิยมใช้ในการกำจัด CO_2 ออกจากน้ำของระบบแลกเปลี่ยนไอออน (รูปที่ ๘.๖) สแตนเดอร์ทแบบนี้ที่จริงแล้วคล้ายแบบภาค และมีชื่อ



1. Water inlet
2. Water outlet
3. Float
4. Flow control unit.
5. Float
6. Drain rack
7. Overflow.
8. Diffusing device
9. Distribution plate.
10. Packing supporting plate.
11. Water reserve
12. Packing media.

ภาพที่ ๘.๘ สแตนเดอร์ทที่ใช้กำจัด CO_2 ที่นิยมใช้ในระบบแลกเปลี่ยนไอออน น้ำถูกโปรยจากลอนบนของคอกันน้ำด้านบนนี้เห็นส่วนทางซ้ายคนที่ถูกโปรยขึ้นข้างบน อุปกรณ์ชนิดนี้สามารถกำจัด H_2S (เป็น) ได้ด้วย ตามที่ได้กล่าวไว้ที่ข้างต้น

แตกต่างกันอย่าง (คนสี่หลาย) อย่าง เช่น แอโรเตอร์แบบดาวมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันใน การกำจัดเศษผักและผลไม้สด แต่เครื่องแอโรเตอร์แบบที่ใช้เพื่อกำจัด CO₂ นอกจากที่ นี้แอโรเตอร์ในภาพที่ 6.8 ยังมีมีการเปลี่ยนแปลงทางไหลของน้ำ เพื่อช่วยเร่งอัตรา การกำจัด CO₂ มีเพียงมีหน้าที่ด้วยพลาสติกห่อเป็นรูปรางห่อ ๆ (ดูภาพที่ 6.9) พลาสติกมีลักษณะวงแหวนสามารถทำได้ที่โรงการบำบัดที่มีขนาดเล็กมาจัดเป็น ท่อสั้น ๆ (ประมาณ 1 นิ้ว)



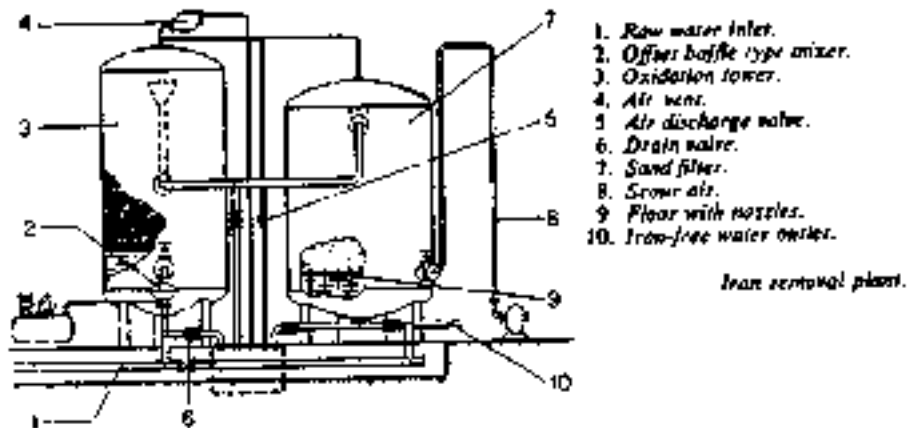
ภาพที่ 6.8 ตัวอย่างของพลาสติกแบบต่าง ๆ ที่ใช้เพิ่มเวลาสัมผัสกับน้ำที่สัมผัส ให้ออก แอโรเตอร์และที่แอโรเตอร์

Degremont (1) โคนระเนนรทางออกแบบที่แอโรเตอร์ดังกล่าวไว้ ดังนี้

อัตราไหลของน้ำ	30-50	กย.ม. / ตร.ม. - ชม.
อัตราไหลของลม ประมาณ	30	เศษของอัตราไหลของน้ำ
ความลึกของชั้นน้ำเฉลี่ย	1.5-2.5	เมตร

๑.๑.๓.๒ แอมเรเตอร์แบบใช้ความดัน (Pressurized Aerator)

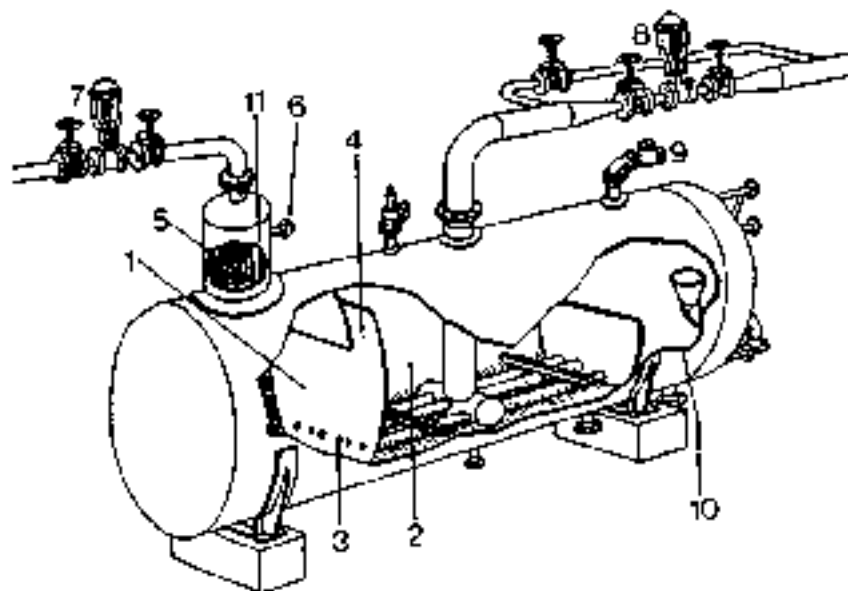
อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยถังเหล็กปิดมิดชิดคล้ายถังทรง ภายในบรรจุด้วยน้ำเค็มคลอรีน-ดีด น้ำถูกสูบฉีดเข้าตอนล่างของถัง และไหลออกมาจากตอนบนไปเข้าถังกรอง ก่อนเข้าถังแอมเรเตอร์น้ำจะถูกผสมกับอากาศ ซึ่งมาจาก เครื่องฉีดอากาศ(ดูภาพที่๑.๑๑) ทำให้เกิดแอมเรชัน แอมเรเตอร์แบบนี้จึงนิยมใช้กำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาล



ภาพที่ ๑.๑๐ แอมเรเตอร์แบบใช้ความดัน มีน้ำและลมได้รับทางตอนบนแล้วจึงมีเค็ช เพื่อให้อแอมเรชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ (1)

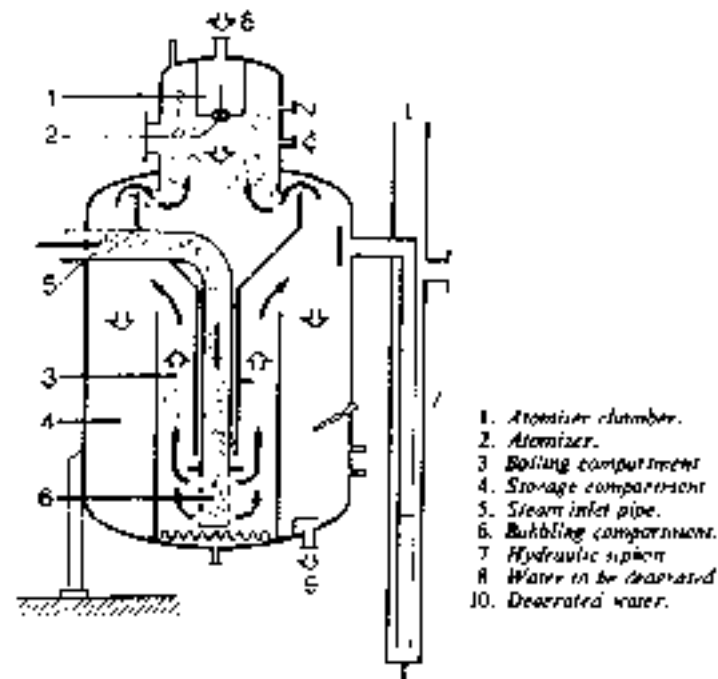
๕.๕.๕.๓ คิลนเวเตอรุ่มแบบใช้ความร้อน (Deaerating Heater)

เมื่อส่งจากภาชนะกลางน้ำได้มีขยของเยื่อของฟองสูงขึ้นไป จึงได้มีการสร้างคิลนเวเตอรุ่มแบบใช้ความร้อน เพื่อกำจัดกาเซสและดามน้ำซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ไว้กับที่ของฟองที่ปรกติถูกกำจัดโดยมีลมใช้กำจัดออกซิเจนออกจากน้ำ เวื่อของหม้อน้ำโดยเฉพา (ดูภาพที่ ๕.๑๑ และ ๕.๑๒) เมื่อมีน้ำถูกทำให้ร้อน ออกซิเจนจะระเหยกลายเป็นกาซหนีออกจากหม้อน้ำ การไหลกลับจะสามารถกำจัดออกซิเจนให้มีเหลืออยู่ในน้ำประมาณ ๗ ไมโครกรัม ต่อลิตร



- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 Heating compartment. | 7. Water inlet valve. |
| 2. Boiling compartment. | 8. Valve maintaining a constant pressure in the unit |
| 3. Calibrated orifices. | 9. Vacuum breaking valve. |
| 4. Offset baffles. | 10. Deaerated water outlet compartment. |
| 5. Atomizer chamber. | 11. Annular space round the atomizer chamber. |
| 6. Outlet of gases mixed with steam. | |

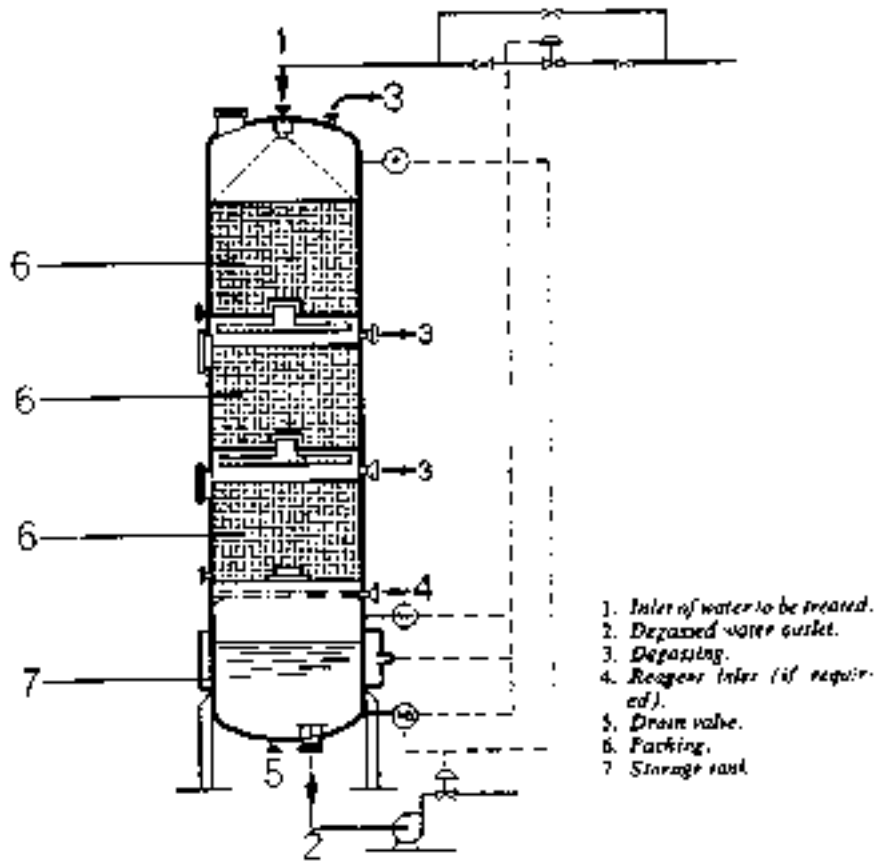
ภาพที่ ๕.๑๑ คิลนเวเตอรุ่มแบบใช้ความร้อนชนิดวางนอน (๑) แรงดันไฟฟ้า สูงประมาณ ๑.๑๐ บาร์ (๑ ปอนด์/ตร.นิ้ว)



ภาพที่ ๕.๑๑ เครื่องเทอร์เนอแมคใช้ความร้อนผลิตวาล์ว (1)

๕.๔.๕.๔ ลิ้นแฉะเทอร์เนอแมคสุญญากาศ (Vacuum Deaerator)

หลักการทำงานของลิ้นแฉะเทอร์เนอแมคสุญญากาศ คือ ลดความดันเหมือนน้ำองเป็นสุญญากาศ ทำให้ก๊าซละลายน้ำระเหยออกมา วิธีนี้สามารถกำจัดก๊าซต่าง ๆ เช่น CO_2 ออกจากน้ำได้ (แม้ว่าลิ้นแฉะเทอร์เนอแมคธรรมดาที่เห็นในภาพที่ ๕.๑) (ดูภาพที่ ๕.๑๓)



ภาพที่ ๘.๑๓ ดีแอกซิเจนเตอรืแบบตูดผูกาก

สารบัญเล่มทอวบทที่ ๗

การปรับพีเอชของน้ำ

7.1	ความจำเป็นในการปรับพีเอชของน้ำ	157
7.2	เคมีที่เกี่ยวข้องกับการปรับพีเอชของน้ำ	157
7.2.1	ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)	157
7.2.2	ความเป็นกรด (Acidity)	159
7.2.3	ทีเอช	160
7.2.4	การเปลี่ยนแปลงระดับค่าความเป็นด่างและความเป็นกรด ภายหลังจากการปรับพีเอช	162
7.3	การใช้โคออร์ดิเนชันรีเอเจนต์-คาร์บอน ในการคำนวณเกี่ยวกับการ การปรับพีเอชของน้ำ	170
7.3.1	วิธีใช้โคออร์ดิเนชันรีเอเจนต์-คาร์บอน แบบปรกติ	170
7.3.2	การใช้โคออร์ดิเนชันรีเอเจนต์-คาร์บอน สำหรับน้ำที่ อยู่นอกโคออร์ดิเนชัน	176
7.3.3	การปรับพีเอชเพื่อป้องกันภาวะการเกิดคาร์บอนในผลของน้ำ	177
7.4	หลักเกณฑ์ในการเลือกสารเคมีปรับพีเอช	185
7.4.1	การเกี่ยวข้องกับพีเอชด้วยสารต่าง ๆ	187
7.4.1.1	การใช้ปูนขาว	187
7.4.1.2	การใช้หินปูน	188
7.4.2	การลดพีเอชด้วยกรด	180
7.5	ระบบปรับพีเอชให้กับน้ำ	183

บทที่ 7

การปรับพีเอชของน้ำ

7.1 ความจำเป็นในการปรับพีเอชของน้ำ

พีเอชเป็นคุณสมบัติของน้ำที่หาหาระวัดได้ง่ายที่สุด แต่มีบทบาทและความสำคัญอย่างมากต่อการดำเนินงานของระบบต่าง ๆ เช่น ระบบโคแอกกูเลชัน ดีแอมเรชัน ระบบกำจัดความกระด้างด้วยวิธีเคมี ระบบการปรุงแต่งน้ำ เพื่อป้องกันภาวะการก่อมลพิษและการตกผลึก ตลอดจนระบบกำจัดน้ำเสียแบบต่าง ๆ

ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับขบวนการต่าง ๆ นั้น มีค่าไม่แน่นอน แต่มักแตกต่างกันขึ้นกับหน่วยเทคโนโลยีต่าง ๆ หลายประการ แต่โดยปกติถ้าเป็นระบบหรือขบวนการที่ค่อนข้างอ่อนแอหรือเปราะบางเป็นต้น เช่น ระบบกำจัดน้ำเสียที่อาศัยแบคทีเรียชีวเคมีไป มักต้องการพีเอชประมาณ 7 ส่วนในขบวนการเคมีต่าง ๆ ยังมีความมีความสัมพันธ์แตกต่างกัน (ดูตารางที่ 7.1)

7.2 เคมีที่เกี่ยวข้องกับการปรับพีเอชของน้ำ

7.2.1 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่างหมายถึง ความสามารถของน้ำในการทำให้กรดเป็นกลาง และมีค่าเท่ากับปริมาณของกรดแก่ (Strong Acid) ที่ต้องใช้ในการไทเทรตน้ำ จากสภาพเริ่มต้น จนถึงจุดสุดท้ายของกรดคาร์บอนิก(Carbonic Acid End point).

ตารางที่ 7.1 ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับระบบการบำบัดระบบค่า ๗

ขบวนการหรือระบบ	ระดับพีเอชที่เหมาะสม	หลักการ
๑. โคลนออกซิเดชันตัวสารส้ม	๕-7	
๒. โคลนออกซิเดชันตัวสารฟอสฟอรัส	๖-7	
๓. หินอะเรซินกำจัดแอมโมเนีย	สูงกว่า ๘.๕	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}^+$
๔. หินอะเรซินกำจัด HCN	ต่ำกว่า ๖ หรือ ๖	$\text{H}^+ + \text{CN}^- \rightarrow \text{HCN}$
๕. หินอะเรซินกำจัด H ₂ S	ต่ำกว่า ๖ หรือ ๔	$2\text{H}^+ + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S} \uparrow$
๖. แอเรซินกำจัดเหล็ก	7.๕	
๗. แอเรซินกำจัดแมงกานีส	ประมาณ ๑-๕	
๘. การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน	พีเอชค่า	
๙. ใคคาร์บอนแอคทีฟ	๘.๕	
๑๐. การกำจัดความกระด้างด้วยปูน-ไฮดรอกไซด์	สูงกว่า 10 หรือ 11	
๑๑. การปรุงแต่งน้ำเพื่อป้องกันภาวะกัดกร่อน	เท่ากับหรือสูงกว่า pH _๑ เท่าที่	ดูค่าการรมีของแลงเกียร์ (Langlier Index)
๑๒. ระบบกำจัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีว	๘-๙	

ความเป็นค่าจึงหมดความสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{Alkalinity} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (7.1)$$

$$\text{หรือ} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (7.2)$$

สมการที่ (7.1) และ (7.2) ต่างกันที่หน่วยความเข้มข้น สารเคมีแต่ละทุกตัวในสมการ (7.1) มีหน่วยน้ำหนักเทียบเท่า (Equivalent Weight) ต่อลิตร เช่น มก./ล.หินปูน (mg/l. CaCO_3) , สมมูลมีค่อลิตร (eq/l) เป็นต้น ส่วนสารเคมีแต่ละทุกตัวในสมการ (7.2) มีหน่วยโมลต่อลิตร (mol/l)

อุณหภูมิของน้ำไม่มีอิทธิพลโดยตรงต่อระดับความเป็นด่าง กล่าวคือ ความเป็นด่างของน้ำจะมีค่าคงที่เสมอไม่ว่าจะวัดที่อุณหภูมิใด ๆ ก็ตาม แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำ ของสารประกอบคาร์บอเนต เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หินปูน (CaCO_3) จะตกตะกอนได้เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ CO_3^{2-} ลดลง ความเป็นด่างจึงลดลงด้วย (ดูสมการที่ (7.4) หรือ (7.5)) คือพบเหตุนี้ถึงสาเหตุของอุณหภูมิที่มีต่อระดับความ เป็นด่าง จึงขึ้นอยู่กับระดับการตกผลึกของหินปูน (CaCO_3) หรือสารประกอบคาร์บอเนตด้วย ความเป็นด่างจะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าไม่มีการตกผลึกหรือการละลายของหินปูน

ตัวอย่างที่ 7.1 ตัวอย่างน้ำถูกเก็บจากแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิ 2 °C และนำกลับมาวิเคราะห์หาความเป็นด่างในท้องคลองที่มีอุณหภูมิ 25 °C ปรากฏว่าระดับความเป็นด่างเท่ากับ 25 มก./ล. CaCO_3

- ให้หาระดับความเป็นด่างที่อุณหภูมิ 2 °C เมื่อไม่มีการตกผลึกของ CaCO_3
- ให้หาระดับความเป็นด่างที่อุณหภูมิ 25 °C เมื่อมีการตกผลึกของ CaCO_3 จำนวน 5 มก./ล.

คำตอบ

- เมื่อหินปูนไม่ตกผลึก, Alkalinity เท่ากับ 25 มก./ล. CaCO_3 (เท่าเดิม)
- เมื่อมีการตกผลึกหินปูน 5 มก./ล. Alkalinity จะลดลง 5 มก./ล. คือ
 $\therefore \text{Alkalinity} = 25 - 5 = 20 \text{ มก./ล. CaCO}_3$

7.2 > ความเป็นกรด (Acidity)

ความเป็นกรดเป็นสารเคมีแต่ละที่มีค่าความหน่วงคู่ไปกับความเป็นด่าง กล่าวคือ ความ

เป็นกรดหมายถึง ความสามารถในการทำให้ค่า pH เป็นกลาง และสามารถกำหนดค่าได้ ดังนี้

$$\text{Acidity} = (\text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{HCO}_3^-) + (\text{H}^+) - (\text{OH}^-) \quad (7.3)$$

ในพีพี (H_2CO_3^*) หมายถึง สรรพระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซ CO_2 ที่ละลายในน้ำ

จะเห็นได้ว่า ความเป็นกรดไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ; ดังนั้น ความเป็นกรดจึงไม่ขึ้นอยู่กับจุดหยุดยั้ง ไม่ว่าจะเกิดการตกตะกอนหรือภาวะช่วยตัวของหินปูนเกิดขึ้นหรือไม่ก็ตาม ในทางตรงกันข้าม ความเป็นกรดขึ้นอยู่กับ CO_2 ในน้ำ

ข้อสังเกตที่ควรระมัดระวังคือ ความเป็นด่างหรือความเป็นกรดอาจมีค่าบวกหรือลบก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ แต่การวิเคราะห์น้ำในเชิงปฏิบัติสามารถทำได้เฉพาะค่าบวกของความเป็นด่าง หรือความเป็นกรด หรือจุดนั้นก็ไม่สามารถวัดได้ ซึ่งมักจะถือว่าเท่ากับศูนย์

7.2.8 พีเอช

พีเอชของน้ำมีความเกี่ยวข้องกับอย่างใกล้ชิดกับความเป็นด่าง (Alkalinity) และความเป็นกรด (Acidity) การเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่มนี้ จะส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์ที่เหลือเสมอ หรือกล่าวได้ว่าพารามิเตอร์ 2 ตัว ขึ้นมาแทนค่าของพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งเสมอ ยกตัวอย่างเช่น ถ้ารู้ค่าของความเป็นด่างและความเป็นกรด ย่อมสามารถหาค่าของพีเอชได้

สำหรับพีเอชกับพีเอชไอ ๆ ก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช ความเป็นด่าง (Alkalinity) และ ความเป็นกรด (Acidity) มีดังนี้

Acidity =

$$\frac{[Alk - (K_w/H^+) + H^+](1 + (H^+/K_1))}{1 + (K_2/H^+)} + H^+ - (K_w/H^+) \quad (7.6)$$

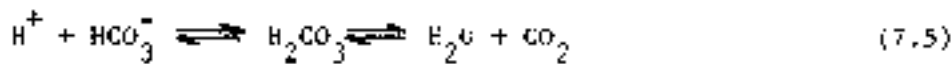
โดยที่ K_w , K_1 และ K_2 เป็นค่าคงที่ (Mass Action Constant) ที่มีค่า
แตกต่างกันอยู่ในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ค่าของ K_w , K_1 และ K_2 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ใช้หน่วยมก./ล.
อุณหภูมิเท่านั้น)

TDS	Temperature (°C)			
	2°	5°	15°	25°
	K_w			
40	0.0000173	0.0000496	0.000120	0.000268
400	0.0000186	0.0000367	0.000138	0.000307
1200	0.0000482	0.0000640	0.0002155	0.000346
	K_1			
40	0.00739	0.00774	0.00996	0.01150
400	0.00845	0.00917	0.01140	0.01320
1200	0.00954	0.01030	0.01290	0.01490
	K_2			
40	0.00000290	0.00000320	0.00000426	0.00000537
400	0.00000380	0.00000419	0.00000558	0.00000703
1200	0.00000484	0.00000534	0.00000711	0.00000896

Alk, Acid และ H^+ หมายถึงความเข้มข้นของ ความเป็นด่าง ความเป็นกรด และไฮโดรเจนไอออนในน้ำ ตามลำดับ การวัดค่าเหล่านี้สามารถทำได้จากค่าของ pH ปริมาณ H^+ ที่ระดับใดระดับหนึ่ง สามารถหาได้จากภาพที่ 7.1 สำหรับน้ำที่มี อุณหภูมิ 25 °C ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการวัดค่าเหล่านี้จะแสดงให้เห็นในภาพที่ 7.2 ถึง 7.6

เบี่ยงเบนของน้ำธรรมชาติมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH และความ เป็นด่าง และ ความเป็นกรด จะเห็นได้จากภาพกราฟเส้น ดังต่อไปนี้



สมการ (7.5) สามารถเขียนแทนได้ด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

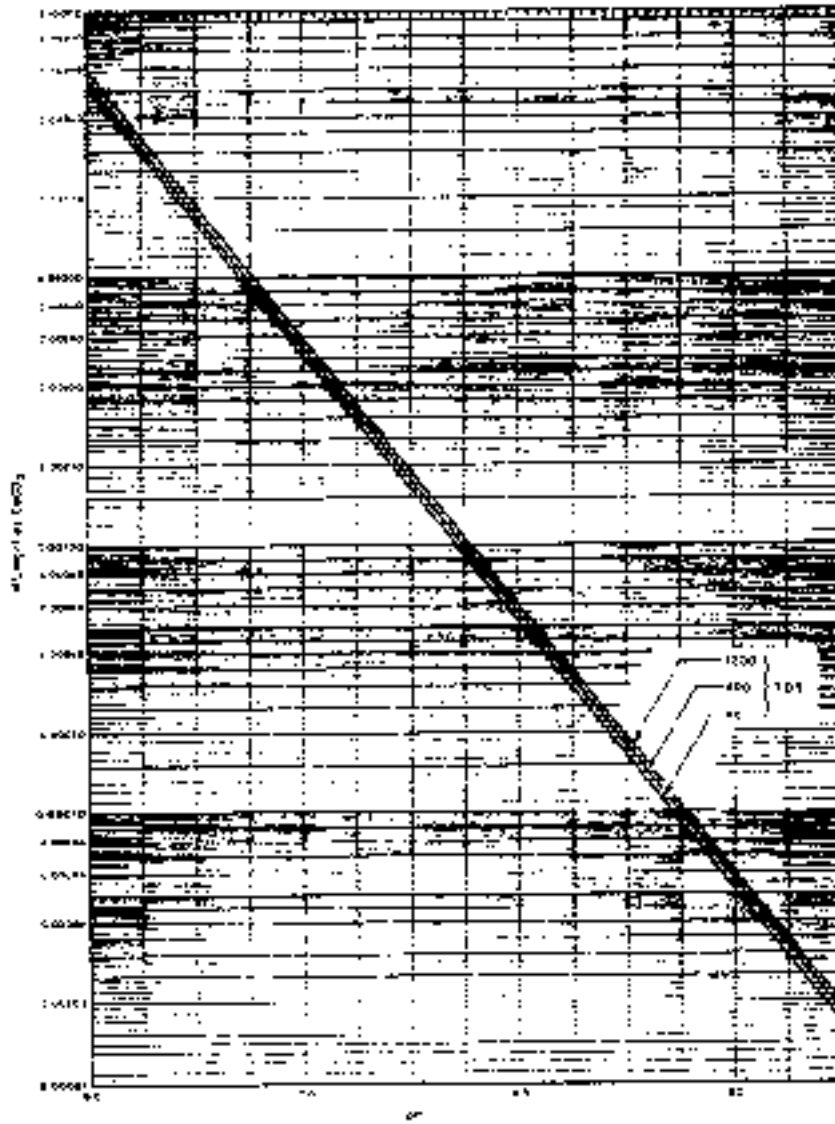
$$\frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3^*]} = K_1 \quad (7.6)$$

เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติปรอท คือ เป็นทั้งกรดและเบสในรูปของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ด้วยความเป็นกรด ($H_2CO_3^*$) จะทำปฏิกิริยากับ การคาร์บอนไดออกไซด์อิสระและ ผลิตคาร์บอนิก (H_2CO_3) การคาร์บอนิกมีความคงตัวต่ำมาก ดังนั้น ประมาณ 98 % ของความเป็นกรดหรือ $H_2CO_3^*$ จึงประกอบด้วยการคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ

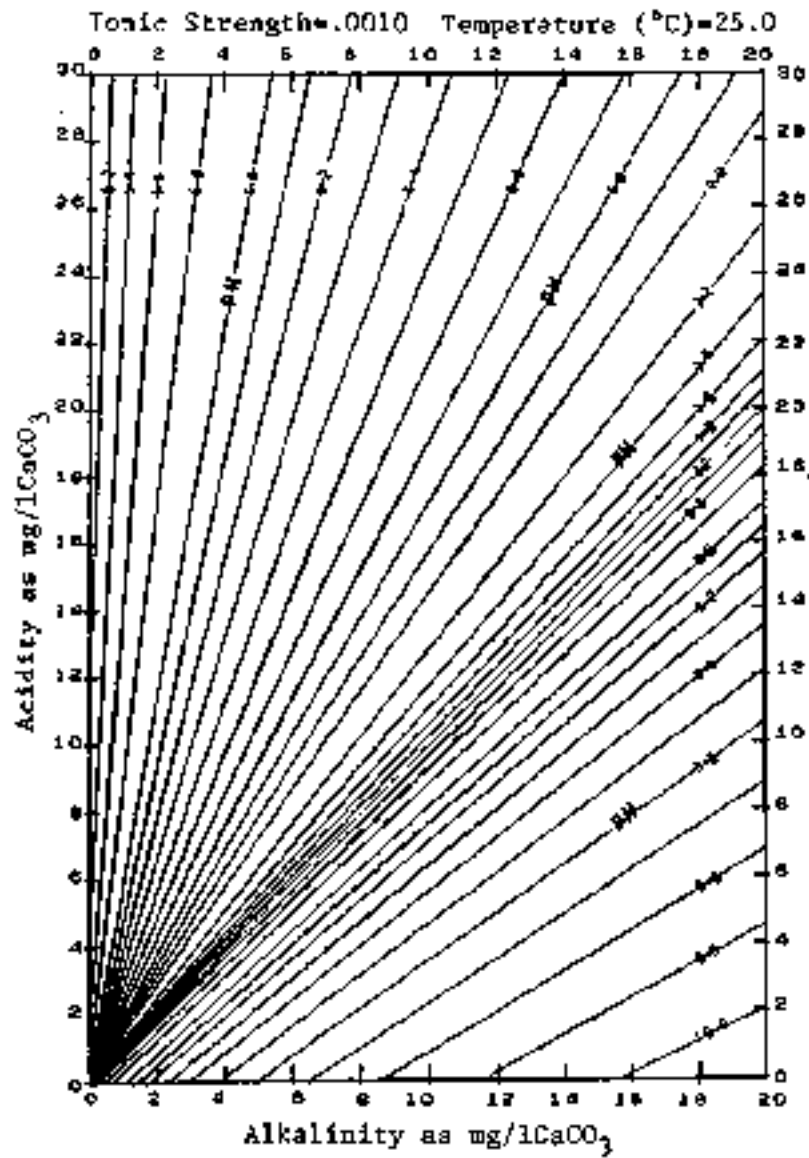
7.2.4 การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นด่างและความเป็นกรดของน้ำหลังการปรับ- พีเอช

การปรับพีเอชด้วยการเติมสารเคมีต่าง ๆ ทำให้ระดับความเป็นกรดและความ เป็นด่างเปลี่ยนแปลงไปตามแนวโน้มของสารเคมีที่ใช้ (ดูตารางที่ 7.3)

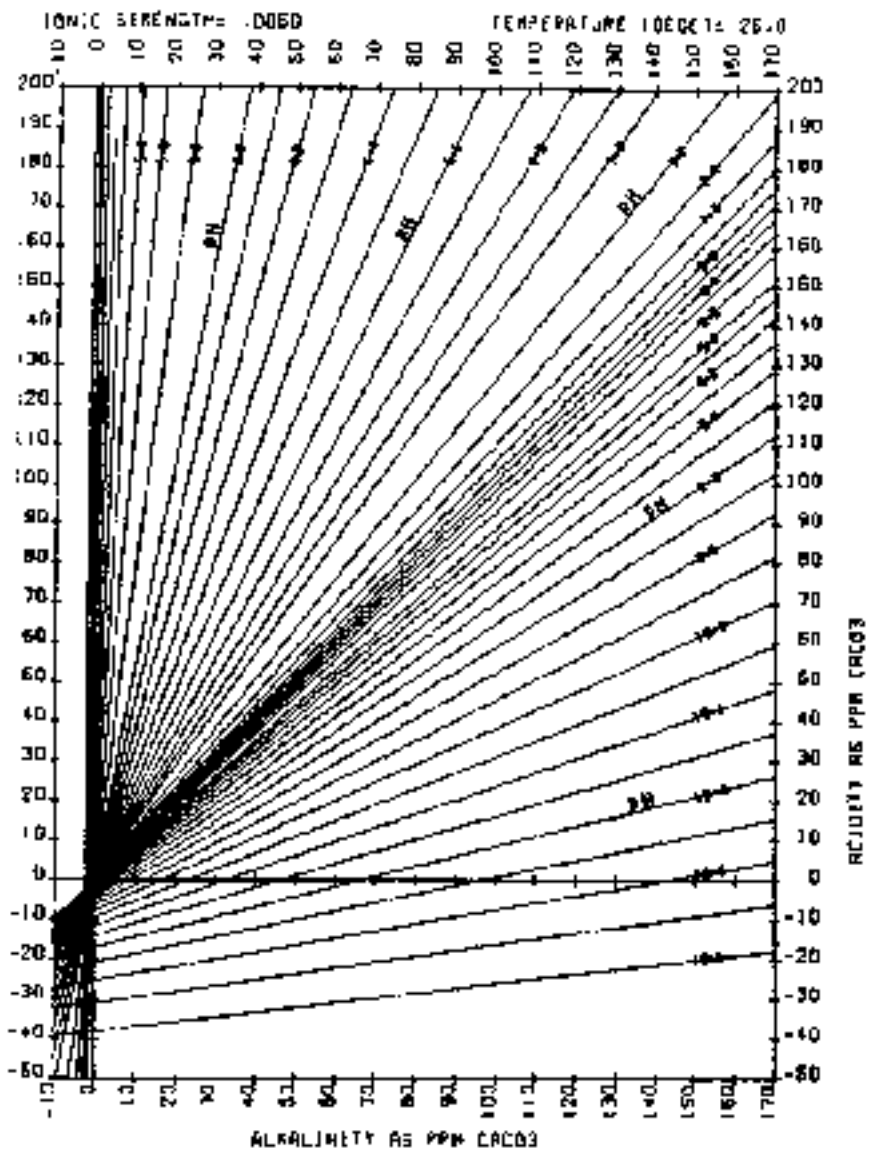
ในการคำนวณหาระดับความเป็นด่างของน้ำ ภายหลังการปรับพีเอช จะต้องคำนึงถึง การรวมผลรวมของคิโนนทั้งหมด



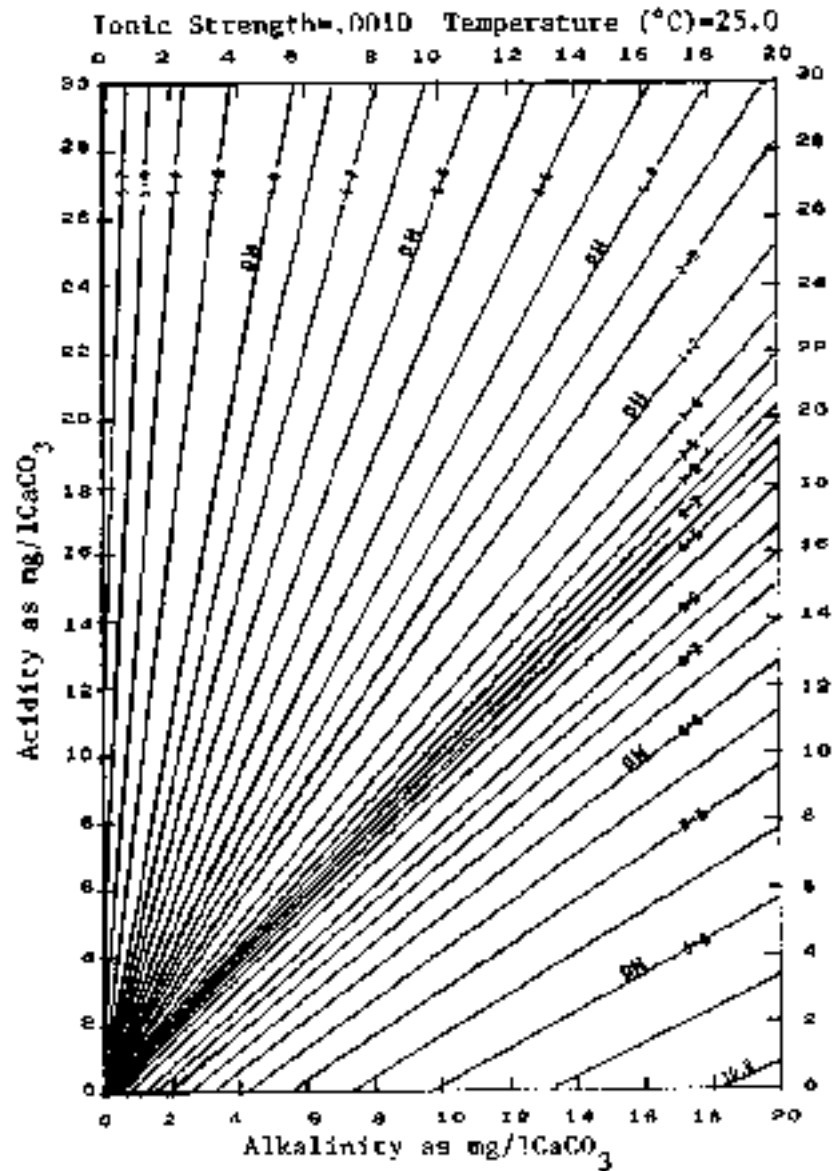
ภาพที่ ๓.๑ บริเวณรอยต่อระหว่างหินปูน (บน) / หินปูน) ที่ระดับความสูงต่าง ๆ



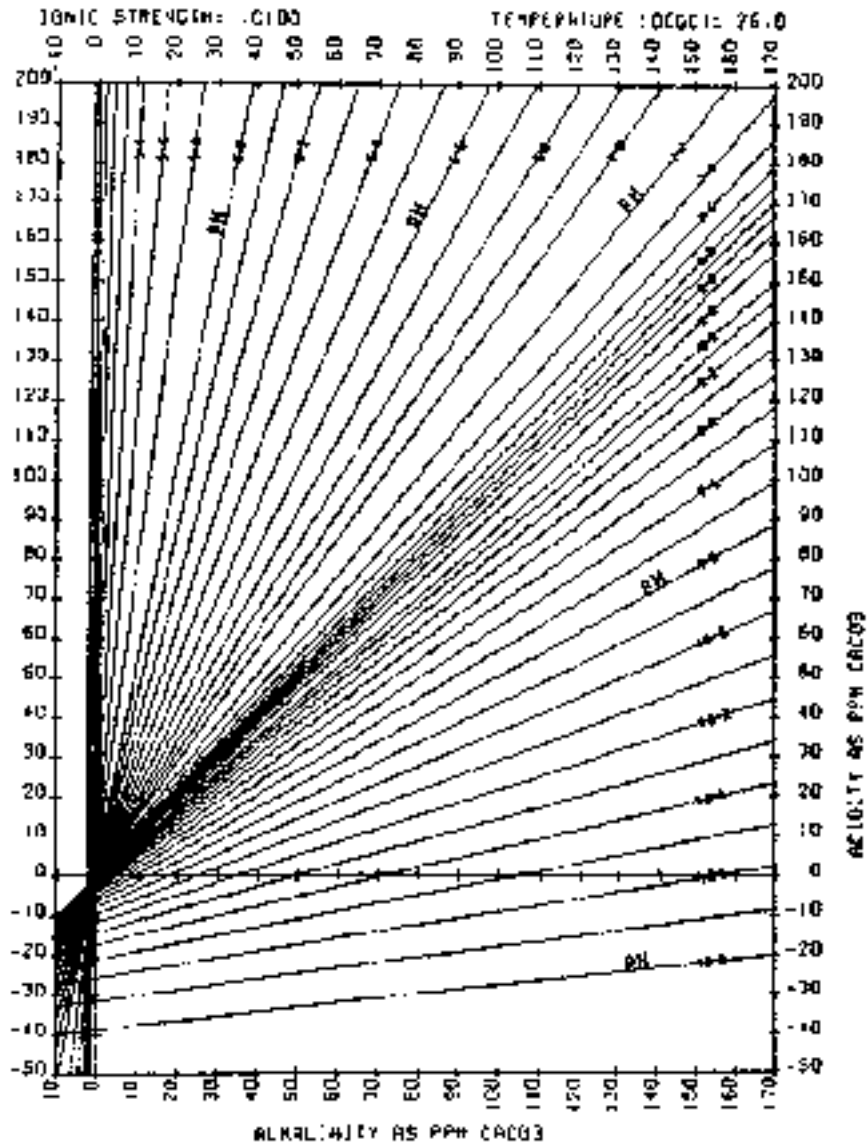
ภาพที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช, ความเป็นกรด, และความเป็นด่าง เมื่อสารละลายทั้งหมดเท่ากับ ๑๐ มก./ล. และอุณหภูมิ ๒๕ °ซ



ภาพที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช, ความเบดกรด, และความเบด่าง เมื่อ
 ว่างค่าคงที่ทั้งหมดเท่ากับ ๕๐๐ มก./ล. และอุณหภูมิ ๒๕ °ซ



ภาพที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช, ความเป็นกรด, และความเบสเป็นค่า เพื่อ
 สภาวะการตั้งสมดุลเท่ากับ ๑๐๐ มก./ล. และอุณหภูมิ ๒๕ °ซ (ความ
 เบสเป็นค่าและความเป็นกรดมีค่าไม่เกิน ๒๐ และ ๑๐ มก./ล. ตาม
 ลำดับ)



ภาพที่ ๗.๖ ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด, ความเป็นกลาง, และความเป็นด่าง เมื่อสารละลายทั้งหมดเท่ากับ 400 มก./ล และอุณหภูมิ 25 °ซ (ความเป็นด่างและความเป็นกรดมีค่าเป็นลบ และ 200 มก./ล. ความด่าง)

ตารางที่ 7.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำที่เกิดจากการเติมสารเคมีปรับค่า

(X) มก./ล. ของ สารเคมีที่เติมในรูป ของ CaCO_3	ระดับความเป็น ด่างที่เปลี่ยนไป (มก./ล. CaCO_3)	ระดับความเป็น กรดที่เปลี่ยนไป (มก./ล. CaCO_3)	ปริมาณคาร์บอเนต ทั้งหมดที่เปลี่ยนไป (มก./ล. CaCO_3)
Ca(OH)_2	+ X	- X	0
NaOH	+ X	- X	0
HCl	- X	+ X	0
NaHCO_3	+ X	+ X	+ X
Na_2CO_3	+ X	0	+ X/2
CO_2	0	+ X	+ X/2
CaCO_3 (เติมไม่)	+ X	0	+ X/2
CaCO_3 (ตกตะกอน)	- X	0	- X/2

$$\text{นั่นคือ Alk สุดท้าย} = \text{Alk เริ่มต้น} + \text{Alk เติม} - \text{Alk ตกตะกอน} \quad (7.7)$$

- ในเมื่อ
- Alk สุดท้าย = ความเป็นด่างภายหลังการปรับพีเอชแล้ว
 - Alk เริ่มต้น = ความเป็นด่างก่อนการปรับพีเอช
 - Alk เติม = ความเป็นด่างที่เพิ่มเนื่องจากการเติมสารเคมีปรับพีเอช
 - Alk ตกตะกอน = ความเป็นด่างที่ลดลงเนื่องจากการตกตะกอนของ CaCO_3 (เป็นผลจากการเติมสารเคมีปรับพีเอช)

ในทำนองเดียวกัน การคำนวณการระดับความเป็นกรดภายหลังการปรับพีเอชสามารถได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$\text{Acid สุดท้าย} = \text{Acid เริ่มต้น} + \text{Acid เติม} \quad (7.8)$$

การตกผลึกหินปูนไม่มีผลต่อระดับความเป็นกรดบ้างหรือช่วงของสมการ (7.8) จึงเหลือเพียง 2 เทอม

ตัวอย่างที่ 7.2 เมื่อเติมโซเดียมออกไซด์ (Na_2CO_3) 30 มก./ล. เพื่อเติมพีเอชให้กับน้ำที่มีความเป็นค่า 15 มก./ล. ของค่าบรรเทาความเป็นค่าของน้ำที่กักตังการปรับพีเอชแล้ว สมมติว่ามีผลการตกผลึกของหินปูน 5 มก./ล. เกิดขึ้น (ยกหน่วยไว้ในเทอมของหินปูน)

จากสมการ ที่ 7.7 $\text{Alk} \text{ สุดท้าย} = \text{Alk} \text{ เริ่มต้น} + \text{Alk} \text{ เติม} - \text{Alk} \text{ ตกผลึก}$

เนื่องจาก	$\text{Alk} \text{ เริ่มต้น}$	$=$	15	มก./ล.หินปูน
	$\text{Alk} \text{ เติม}$	$=$	30	มก./ล.หินปูน
	$\text{Alk} \text{ ตกผลึก}$	$=$	5	มก./ล.หินปูน
	$\text{Alk} \text{ สุดท้าย}$	$=$	$15+30-5$	$=$ 40 มก./ล.หินปูน

ตัวอย่างที่ 7.3 เมื่อละลายธาตุหางของไฮดรอกไซด์ 25 มก./ล.หินปูน ลงในน้ำกึ่งบัลลิสต์ ตามที่ระดับความเป็นค่าและความเป็นกรดจะสูงเท่าไร

เขียนขาทันน้ำกึ่งบัลลิสต์ H^+ และ OH^- ปริมาณเท่ากัน
 ดังนั้น ความเป็นค่า + ความเป็นกรด = 0
 การเติม CO_2 ทำให้ Acid เพิ่มขึ้นเท่ากัน แต่ไม่ทำให้ Alk เปลี่ยนแปลง
 \therefore ความเป็นค่าของน้ำกึ่งบัลลิสต์การเติม CO_2 = 0 + 0 + 0
 \therefore ความเป็นกรดของน้ำกึ่งบัลลิสต์การเติม = 0 + 25
 = 25 มก./ล.หินปูน

ตัวอย่างที่ 7.4 น้ำแห่งหนึ่งมีความเป็นกรด = 200 มก./ล. เมื่อเติม CO_2 80 มก./ล. ลงไปในน้ำ จะมีการตกผลึกหินปูน 45 มก./ล. ตามที่ ระดับความเป็น

กรตกภายหลังภาวะเดิมสารเคมีแล้ว จะเป็นเท่าไร (ทุกหน่วยอยู่ในเขตคิโนน)

- Acid เริ่มต้น = -200 มก./ล.คิโนน
 - Acid เดิม = ๘๓ มก./ล.คิโนน
 - Acid สุดท้าย = $-200 + 83 = -117$ มก./ล.คิโนน
- (การตกผลึกคิโนนไม่ทำให้ Acid เปลี่ยนแปลง)

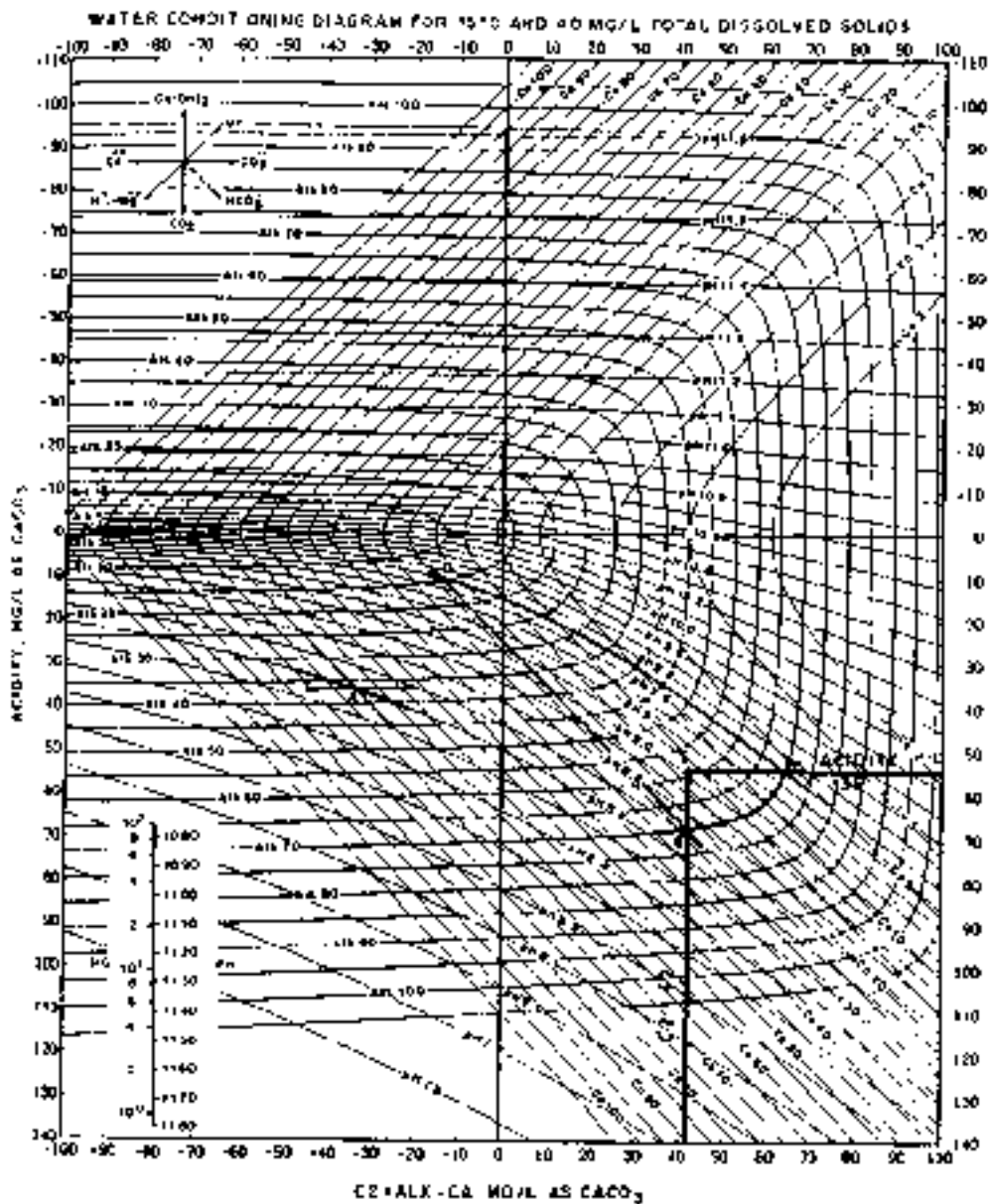
7.3 การใช้ไดอะแกรมลอว์เรนซ์-คาลด์เวลล์ในการคำนวณเกี่ยวกับความเป็นพิษของน้ำ

7.3.1 วิธีใช้ไดอะแกรมลอว์เรนซ์-คาลด์เวลล์แบบปรกติ

ไดอะแกรมลอว์เรนซ์-คาลด์เวลล์ (Lawrence-Caldwell Diagram) เป็นกราฟที่ใช้หาค่าคอบสำหรับปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดระบบคิโนนน้ำดื่มในสภาวะสมดุลกับคิโนน เนื่องจากระบบคาร์บอเนตเป็นระบบเคมีที่ใหญ่ที่สุดของน้ำ และเกี่ยวข้องกับสมรรถภาพต่าง ๆ เป็นอันมาก ไดอะแกรม L-C จึงมีประโยชน์มาก และถือเป็นเครื่องมือแรงของวิศวกรสิ่งแวดล้อมหรือวิศวกรสุขาภิบาล การคำนวณที่ยุ่งยากและเต็มไปด้วยตัวเลข สามารถทำให้คำนวณเป็นลวดรางจากตัวกลางใช้ไดอะแกรม L-C ก็จะเห็นได้ในตอนต่อไปในละเอียดอื่น ๆ

ภาพที่ 7.๑ เป็นตัวอย่างของไดอะแกรม L-C ที่ใช้กับน้ำที่มีอุณหภูมิ 15°C และมีระดับสารละลายน้ำ (TDS) ๔๓ มก./ล.คิโนน ส่วนประกอบต่าง ๆ ของไดอะแกรม L-C มีดังต่อไปนี้ (ไดอะแกรมสำหรับอุณหภูมิและ TDS อื่น ๆ อยู่ในภาคผนวก)

- ก. แกนขอบ (X) เขียนแทนของทหารคาร์บอน Ca_2 ซึ่งสัมพันธ์กับ Alkalinity -Ca
- ข. แกนอื่น (Y) เขียนแทนของความเข้มข้น



ภาพที่ ๕.๒ โยคะแกรมของคาร์บอเนตและแคลเซียมสำหรับน้ำที่มีอุณหภูมิ 15°C และสามารถละลายน้ำทั้งหมด = 40 มก./ล. น้ำที่มีจุดสมมติแรบได้ด้วยจุด A แสดงว่าเอ็นน้ำที่อยู่ในสมดุลกับหินปูน น้ำที่แทนด้วยสามเหลี่ยม BCD เป็นน้ำที่โร้ดอยู่ในสมดุลกับหินปูน

- ค. กราฟในไลออร์แกรม มี ๓ จุด คือ
- ค.1 กราฟของพีเอชซึ่งมีค่าตั้งแต่ 7.๘-11.๑ ในภาคที่ 7.๑
 - ค.2 กราฟของแคลเซียม ซึ่งมีค่าตั้งแต่ ๕-10๖ ในภาคที่ 7.๕
 - ค.๓ กราฟของความเป็นด่าง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ ๕-1๐๖ ในภาคที่ 7.๑
- ง. โยโคกราฟ (เส้นตรงที่อยู่มุมล่างด้านซ้าย) ระหว่างแมกนีเซียมและพีเอช
- จ. เวคเตอร์ (มุมบนด้านซ้าย) แสดงทิศทางของการเติมสารเคมีชนิดต่าง ๆ

ไลออร์แกรม L-C ทุกใบ มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังกล่าวเหมือนกันหมด (แต่อาจมีระดับความเข้มข้นไม่เท่ากัน) นอกจากนี้ ไลออร์แกรมแต่ละใบใช้ได้กับน้ำที่มีอุณหภูมิและระดับสารละลายต่าง ๆ (TDS) ความลึกของน้ำไว้เท่านั้น

สิ่งที่ต้องรู้ในการใช้ไลออร์แกรม L-C มีดังนี้

1. ความเข้มข้นทั้งหมดค่าในหน่วย มก./ล. คำนวณ (mg/l. CaCO₃) ยกเว้นสารละลายพีเอช ซึ่งมีหน่วย มก./ล. และ พีเอช ซึ่งไม่มีหน่วย
2. ทุก ๆ จุดบนไลออร์แกรม แทนคุณสมบัติของน้ำ และแต่ละจุดจะมีค่าความเข้มข้นของ Ca, pH, Alk, Acid, และ C₂ เพียงจุดเดียว และไม่เหมือนกับของจุดอื่น โดยปกติ การบอกผลการควบคุมหรือไม่ ต้องการเพียงค่าของ Ca, Alk, และ pH ก็พอ
3. ถ้าน้ำไม่อยู่ในสภาวะสมดุล กราฟของ Ca, pH, และ Alk จะประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยม (เส้นโค้ง) และไม่ตกกันเป็นจุดเดียว น้ำอาจอิ่มตัวด้วยหินปูนมากเกินไป (Oversaturation) หรือยังมีหินปูนน้อยเกินไป (Undersaturation) ก็ได้
4. ถ้าน้ำอยู่ในสภาวะสมดุล จุดตัดระหว่างพารามิเตอร์ ๕ ตัวใด ๆ ในกลุ่ม Ca, pH และ Alk จะกำหนดค่าของพารามิเตอร์ตัวที่สามเพียง (ข้อคิดหาผลเกิดสัมพันธ์ผู้ใช้ไลออร์แกรม คือ กำหนดค่าของพารามิเตอร์ตัวที่สามด้วยจุดตัดสองค่าของ

น้ำที่ไม่อยู่ในสภาวะสมดุลย์)

5. ไม่ว่าน้ำจะอยู่ในสภาวะสมดุลย์หรือไม่ จุดตัดของพารามิเตอร์ 2 ตัว ในกลุ่ม pH, Alk, และ Acid จะเท่ากับค่าของพารามิเตอร์ตัวที่สามเสมอ
6. ไม่ว่าน้ำจะอยู่ในสภาวะสมดุลย์หรือไม่ จุดตัดระหว่าง Ca และ Alk จะกำหนดค่าของ C_2 เสมอ
7. ถ้ามีการตกผลึกของหินปูน ($CaCO_3$) เกิดขึ้น ตำแหน่งของน้ำจะเปลี่ยนไปเนื่องจาก Ca และ Alk ลดลง เมื่อทำให้ pH เปลี่ยนไปบ้าง (สามารถเลื่อนค่ากลายเป็นจุด ๆ เดียวบนโคออร์เนต L-C)
8. การตกผลึกของหินปูนไม่ทำให้ C_2 และ Acid เปลี่ยนแปลง ข้อเท็จจริงนี้มีประโยชน์คืออยู่ที่โคออร์เนต L-C เช่นอย่างแรก ซึ่งต้องจำให้แม่น
9. จุดหยุดยั้งผลกระทบต่อรูปร่างของโคออร์เนต L-C ได้ยาก ด้วยเหตุนี้ การคำนวณสำหรับน้ำที่มีจุดหยุดยั้ง 2 ๒ ซึ่งไม่ควรกระทำโดยใช้โคออร์เนตสำหรับจุดหยุดยั้ง ๓ ๓ กรณีเช่นนี้ ทำให้เกิดมีคำถามขึ้นว่า ถ้าจุดหยุดยั้งของน้ำในสนาม หรือจากแหล่งของฝนแตกต่างจากจุดหยุดยั้งในห้องทดลอง จะเกิดความผิดพลาดอย่างไรบ้าง ค่าคงที่คือ แม้จะมีการผิดพลาดก็ไม่มากนัก เพราะจากข้อผิดพลาดการวิเคราะห์ จุดหยุดยั้งของห้องวิเคราะห์ยังมีประโยชน์อยู่ ทั้งนี้เพราะนอกจาก pH แล้ว พารามิเตอร์ตัวอื่นไม่ขึ้นอยู่กับจุดหยุดยั้ง โดยที่ชัดเจนว่า การตกผลึกของ $CaCO_3$ จะต้องไม่เกิดขึ้น และไม่มีการถ่ายเท CO_2 จากบรรยากาศ
10. ในโมกราฟ ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับการกำจัดความกระด้างแคลเซียม และบอกให้รู้ถึงระดับความเข้มข้นสูงสุดของเบสที่เสถียรตามน้ำที่ระดับพีเอชต่าง ๆ
11. เวลเตอร์ที่อยู่บนขอบขวาของบน บอกให้รู้ถึง เมื่อเติมสารเคมีต่าง ๆ ให้กับน้ำแล้ว ตำแหน่งใหม่ของน้ำจะเคลื่อนที่ไปข้างใด

เวกเตอร์ Ca(OH)_2	ใช้กับการเติมปูนขาว (Ca(OH)_2)
เวกเตอร์ OH^-	ใช้กับการเติม Hydroxide (OH^-) เช่น NaOH
เวกเตอร์ CO_3^{-2}	ใช้กับการเติม Na_2CO_3
เวกเตอร์ HCO_3^-	ใช้กับการเติม NaHCO_3
เวกเตอร์ CO_2	ใช้กับการเติม CO_2
เวกเตอร์ H^+ , Mg^{+2}	ใช้กับการเติมกรดต่างๆ ๆ และการกำจัด Mg^{+2}
เวกเตอร์ Ca^{+2}	ใช้กับการเติมสารประกอบแคลเซียม ยกเว้น CaCO_3

ตัวอย่างที่ 7.5 จงหาตำแหน่งในไดอะแกรม L-C ของน้ำที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

อุณหภูมิ	15 °C	พีเอช	8.0
TDS	88 มก./ล.	Ca^{+2}	70 มก./ล. ถินปูน
Alk	37 มก./ล. คิมบู		

วิธีทำ เลือกไดอะแกรม L-C สำหรับน้ำที่มีอุณหภูมิ 15 °C และระดับสารละลายน้ำ (TDS) 40 มก./ล.

จากภาพที่ 7.6 จะเห็นได้ว่า กราฟของ Ca, Alk, และ pH ผกผันที่จุด A แสดงว่าน้ำนี้อยู่ในภาวะสมดุลพอดี (มีตัวค้ำยันปูนพอดี)

ตัวอย่างที่ 7.6 จงหาตำแหน่งในไดอะแกรม L-C ของน้ำที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

อุณหภูมิ	15 °C	พีเอช	8.2
TDS	115 มก./ล.	Ca^{+2}	28 มก./ล. ถินปูน
Alk	70 มก./ล. ถินปูน		

วิธีทำ เลือกไดอะแกรม L-C สำหรับน้ำที่มีอุณหภูมิ 15 °C และ TDS 40 มก./ล จากภาพที่ 7.6 กราฟของ Ca, pH, และ Alk ประกอบกันเป็นสามเหลี่ยม BCD . แสดงว่าน้ำไปได้อยู่ในภาวะสมดุล

หันกลับไปตรวจสอบดูว่า น้ำนี้สามารถมีแคลเซียม ละลายอยู่ได้สูงสุดเท่าไร

1. กราฟของ pH = 9.8 และ Alk = 70 สัมพันธ์กับจุด C ซึ่งมี $C_2 = 5$ มก./ล.
 2. ปริมาณแคลเซียมสูงสุดที่น้ำ (ซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุล) จะมีได้ = 6 มก./ล.
 แต่เนื่องจากน้ำมีแคลเซียมอยู่จริง = 22 มก./ล.
 3. น้ำที่อิ่มตัวแคลไซต์ ทำให้มีแนวโน้มในการตกผลึกหินปูน

ตัวอย่างที่ 7.7 เมื่อน้ำมีอุณหภูมิคงที่และอยู่ในตัวอย่างที่ 7.8 เจ้าผู้สภาวะสมดุลย์
 ออกจากหน้าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร

ในการหาค่าคงที่ของตัวบ่งชี้ มีหลักการ 2 ประการ คือ

1. การตกผลึกของ $CaCO_3$ หรือหินปูน ไม่ทำให้ Acid เปลี่ยนแปลง
 2. การตกผลึกของ $CaCO_3$ หรือหินปูน ไม่ทำให้ C_2 เปลี่ยนแปลง
- นั่นคือ ปริมาณและถึงเจ้าผู้สภาวะสมดุลย์ จะต้องมีส่วนร่วมกับ 2 ประการคือ Acid
 และ C_2

จากภาพที่ 7.8 กราฟของ Ca และ Alk สัมพันธ์กับจุด B ซึ่งใช้หาค่า C_2

$$\therefore C_2 \text{ ที่จุด B} = 42 \text{ มก./ล หินปูน (ดูภาพที่ 7.6)}$$

จากภาพเดียวกัน กราฟของ Alk และ pH สัมพันธ์กับจุด C ซึ่งใช้หาค่า Acid

$$\therefore \text{Acidity ที่จุด C} = 55 \text{ มก./ล หินปูน (ดูภาพที่ 7.6)}$$

1. กราฟของ $C_2 = 42$ และ Acid = 55 สัมพันธ์กับจุด E ซึ่งเป็นตำแหน่งที่น้ำ-
 เจ้าผู้สมดุลย์แล้ว

2. น้ำที่เจ้าผู้สมดุลย์แล้วจะมีลักษณะทางเคมีดังนี้

$$\begin{array}{ll} \text{pH} & = 9.0 & \text{Alk} & = 60 \\ \text{Ca} & = 18 & \text{Acid} & = 55 \end{array}$$

หมายเหตุ เมื่อน้ำอิ่มตัว เกิดไปและแทนได้ด้วยสามเหลี่ยม BCD เมื่อปล่อยไว้ที่หินปูน
 ที่อิ่มตัวเป็นไปทิศทางตกผลึกจนถึงสมดุลย์ สามเหลี่ยม BCD จะตกเหนือ จุด A
 เดิม (ซึ่งแทนสภาวะสมดุลย์ของน้ำ) โดยมีเงื่อนไขว่า C_2 และ Acid ที่ยังคง
 เดิม จากเงื่อนไขดังกล่าว สามเหลี่ยม BCD จะตกตัวและกลายเป็นจุด E ที่น้ำมี
 จุด E แทนลักษณะทางเคมีของน้ำที่เจ้าผู้สมดุลย์แล้ว

7.3.2 การเลือกใช้โลหะกรรม L-C สำหรับน้ำที่อยู่นอกโลหะกรรม

แม้ว่าหาว่ามีโลหะต่าง ๆ ของโลหะกรรม L-C จะมีค่าอยู่ในช่วงค่าวิกฤตเช่นระดับของแคลเซียมไม่เกิน 500 มก./ล. หรือระดับความเป็นด่างไม่เกิน 350 มก./ล. เป็นต้น แต่โลหะกรรมก็ยังตามาการใช้ได้กับน้ำที่มีส่วนประกอบอยู่นอกโลหะกรรม เช่น บางครั้งต้องเลือกใช้โลหะกรรม L-C กับน้ำที่มีแคลเซียมสูงกว่า 350 มก./ล. การใช้โลหะกรรมในกรณีเช่นนี้ เราจะไม่สามารถกำหนดค่าของน้ำในโลหะกรรม แต่มันจะสามารถหาจุดสมดุล (สภาวะอิ่มตัว) ได้ ทำให้ยังสามารถใช้ประโยชน์จากโลหะกรรมได้อยู่ เหตุผลที่น้ำที่ขำ หรือค่าของจุดสมดุลได้เนื่องจาก

1. สามารถหาจุดตัดระหว่าง C_2 และ Acid ได้ จุดตัดนี้คือจุดสมดุลนั่นเอง
2. ค่า C_2 และ Acid ของน้ำขำไม่เปลี่ยนแปลง ในระหว่างที่ปฏิกิริยาทำสิ่งเข้าสู่สมดุล ดังนั้น ค่า C_2 และ Acid ของน้ำขำ และน้ำที่พอดีสัมพันธ์กันจนจึงไม่เปลี่ยนแปลง
3. ค่า C_2 และ Acid ของน้ำขำ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ ดังนี้

$$C_2 = \text{Alk} - \text{Ca} = \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+ - \text{Ca}^{+2}$$

$$\text{Acid} = \frac{[\text{Alk} - (K_w/\text{H}^+) + \text{H}^+][1 + (\text{H}^+/K_1)]}{1 + (K_2/\text{H}^+)} + \text{H}^+ - \frac{K_w}{\text{H}^+}$$

4. ค่า C_2 และ Acidity ของน้ำใด ๆ มีอยู่ในโลหะกรรมเสมอ แม้ว่าจะครั้งที่ Alk และ Ca จะอยู่นอกโลหะกรรมก็ตาม เพื่อให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้น ขอให้พิจารณาขำน้ำขำที่มีคุณภาพ ดังนี้

Ca	= 750	Alk	= 400
pH	= 7.0	TDS	= 700
อุณหภูมิ	= 26 °C		

(ใช้มาตราที่ 0.10 ในหน่วยมก.)

ค่าของ Ca และ Alk อยู่นอกโคจรนอร์ม จึงไม่สามารถหาตำแหน่งของน้ำได้ แต่เมื่อพิจารณาจากค่า C_2 และ Acid แล้ว จะเห็นว่า $C_2 = ๘๖๓ - ๗๕๐ = ๑๑๐$ mg./ล. และ Acid = ๕๑๕ mg./ล. จุดตัดของค่าทั้งสองนี้ยังคงอยู่ในโคจรนอร์ม ทำให้เราสามารถหาตำแหน่งซึ่งตัวผลผลิตของน้ำดิบดังกล่าวได้ จากจุดนี้ทำให้สามารถคำนวณการคำนวณเกี่ยวกับการปรุงแต่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำได้ โดยไม่จำเป็นต้องรู้ถึงตำแหน่งของน้ำดิบเลย

ขอให้ลองพิจารณาอีกตัวอย่างหนึ่ง ซึ่งยากกว่าตัวอย่างที่แล้ว น้ำดิบมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

Ca	-	๕๐๐	Alk	-	๔๐๐
pH	=	๖.๕	TDS	=	๕๒๐
อุณหภูมิ	-	๒๕ °C			

ในกรณีนี้ $C_2 = -๑๐๐$ และ Acid = ๑๒๕ จุดตัดซึ่งอยู่นอกโคจรนอร์ม การแก้ปัญหาสามารถกระทำได้โดยคำนวณของ Acid ลงไปอีกจนถึงระดับ ๑๒๕ mg./ล. ตามต้องการ ทำให้สามารถหาจุดอื่นแล้วได้ จากอื่น ซึ่งคำนวณการคำนวณต่อไปได้ การขยายเสถียรของ Acid หรือ C_2 สามารถกระทำได้ง่ายมาก เพราะเป็นเอกลักษณ์ธรรมดา

7.๖.๖ การใช้โคจรนอร์มของโรเบิร์ต-ฮาลเวลล์สำหรับคำนวณการปรับพีเอชเพื่อป้องกันการกัดกร่อนโลหะของน้ำ

ประโยชน์อย่างหนึ่งของโคจรนอร์ม L-C ได้แก่ ช่วยให้สามารถหาปริมาณปูนขาว (หรือโซดาแอช) ที่ต้องเติมเพื่อป้องกันการกัดกร่อนโลหะของน้ำ ได้อย่างสะดวก รวดเร็วและถูกต้อง

สำหรับในการหาค่าของน้ำประปาภายในอาคาร น้ำที่ไม่กัดกร่อนโลหะมักเป็นน้ำที่มีปริมาณคลอรีนอยู่มากเกินกว่าจะดับซึมตัวอย่างเล็กน้อย (ดูตอนที่ ๕ ค) ดังนั้นเมื่อปรากฏ

ว่าน้ำแข็งตัวด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า (อาจตรวจสอบโดยใช้โครมาทอม L-C หรือวิธีอื่น ๆ) การเติมแคลเซียมหรือกลายเป็นค่าที่ต่ำกว่า ๆ เช่น CO_3^{2-} หรือ OH^- เท่ากับ เป็นการส่งเสริมให้มีการตกผลึกของหินปูนเกิดขึ้น สารเคมีที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำ ยูนซาล ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หรือหินปูน โซดาแอช (Na_2CO_3) หรือโซดาไฟ (NaOH) ก็อาจใช้ได้ แต่มีราคาคงสูงกว่าสารประกอบแคลเซียม

ตัวอย่างที่ 7.8 น้ำประปาบางแห่งหนึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

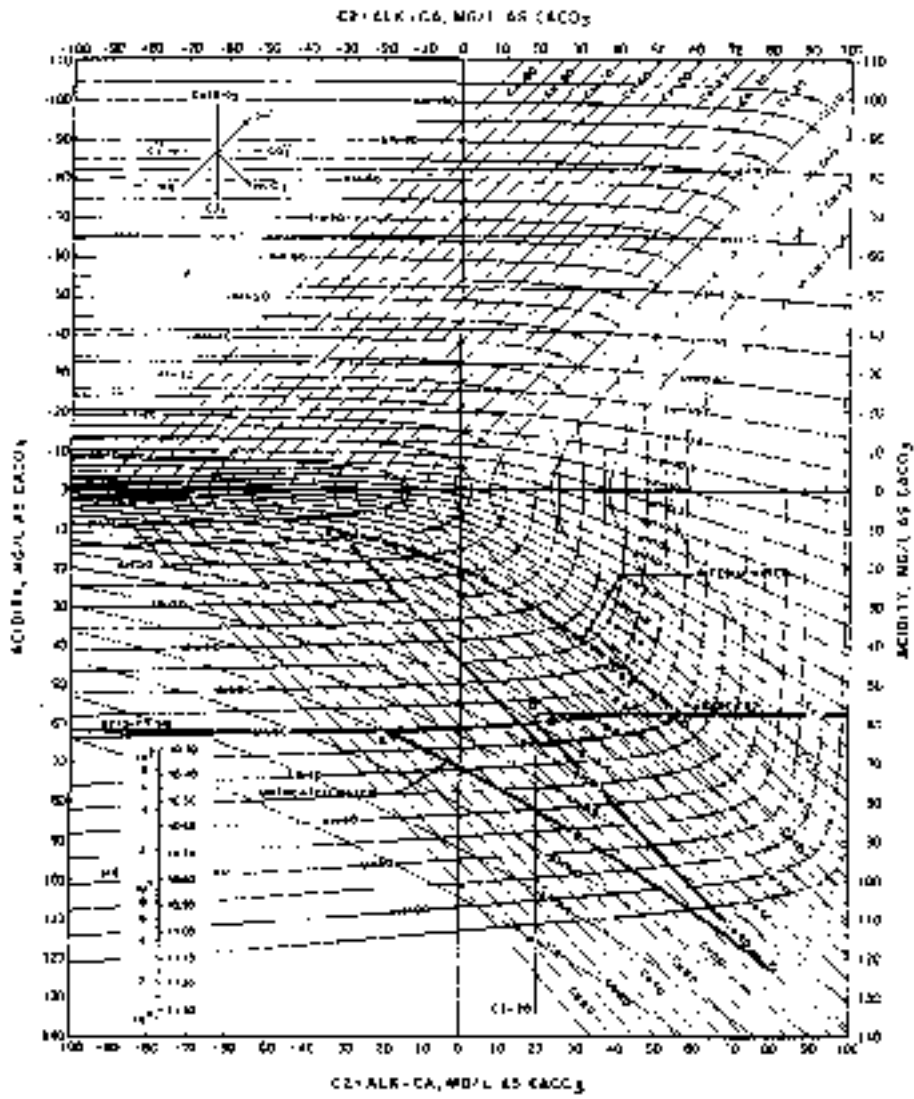
ระดับความกระด้าง	60	มก./ล.	(ในเทอมของหินปูน)
เหล็ก	10	มก./ล.	(ในเทอมของหินปูน)
แคลเซียม	40	มก./ล.	(ในเทอมของหินปูน)
อุณหภูมิ	25	°C	
พีเอช	8.1		
จุดเยือกแข็งตามน้ำที่อุณหภูมิ	40	มก./ล.	

จุดเยือกแข็งตามน้ำที่อุณหภูมิ

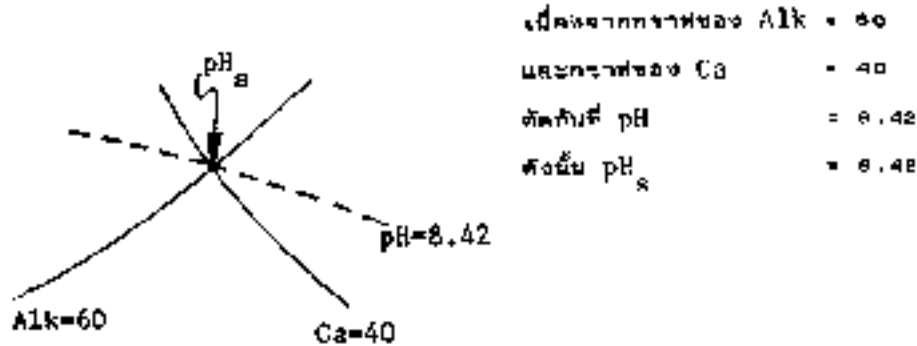
เนื่องจากผู้ใช้น้ำร้อยละ 50 ต้องการน้ำประปามีสีนวลอยู่เสมอ ทำให้ท่านสงสัยว่าน้ำประปาจะตกครกหรือตะกอนหรือไม่ ขอให้ท่านหาทางทดสอบ, พิสูจน์ว่าน้ำที่ตกครกนั้นเกิดจากอะไร และถ้าปรากฏว่าน้ำที่ตกครกเกิดจากอะไร ท่านต้องเติมยูนซาลจำนวนเท่าใด

ขั้นที่ 1 หากท่านสนใจจะหาน้ำประปามีโครมาทอมก่อน

โครมาทอมที่ใช้นี้ ต้องมีระดับของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและอุณหภูมิ ใกล้เคียงกับของน้ำในตัวอย่างนี้ ในกรณีที่ เครื่องใช้โครมาทอมที่มี TDS = 40 มก./ล. และอุณหภูมิเท่ากับ 25 °C จากคุณสมบัติของน้ำที่กำหนดได้ เราสามารถเขียนตามเหลี่ยม ABC (ดูภาค 7.7) และตัดอีกแนวตั้งเส้นหนึ่งของน้ำประปามี รูปสามเหลี่ยมแสดงว่า น้ำประปามีได้ อยู่ในสมมุติฐานของหินปูน



ภาพที่ 7.7 กรอบนัยพิกศาร่วมโดยแผนการของวิเวมย์นคตศาคเวตสัจจวิศวชยบง
ที่ 7.8



ขั้นที่ 2 หาค่าระดับอินทรีย์คาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำ

$$\begin{aligned} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} &= \text{pH} - \text{pH}_s = 8.1 - 8.42 \\ &= -0.32 \end{aligned}$$

แสดงว่าน้ำประปาที่มีแนวโน้มในการกัดกร่อนโลหะ เพราะน้ำประปามีอินทรีย์คาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นที่ 3 ให้นำระดับคาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำประปา (ตาม Acidity ที่จุด A)

$$\text{จากจุดตัดระหว่าง Alk และ pH ทำให้เห็นว่า Acidity} = 62 \text{ มก./ล.}$$

ขั้นที่ 4 ให้นำระดับของ Ca, Alk, และ Acid ที่จะเกิดขึ้นจากการเติมสารเคมีเพื่อปรุงแต่งลักษณะทางเคมีของน้ำ

ก่อนอื่น จะสมมติชั่วคราวว่าการตกผลึกของ CaCO_3 จะไม่เกิดขึ้นในระบอบที่มีการเติมสารเคมีเพื่อปรุงแต่งน้ำ จากการสมมติดังกล่าว ทำให้ถือได้ว่า สารเคมีที่เติมทั้งหมดจะอยู่ในรูปของสารละลาย และจะอยู่เช่นนี้จนกว่าจะมีการตกผลึกเกิดขึ้น (ขอให้สังเกตว่า ข้อสมมติเช่นนี้จะเป็นเพียงสิ่งที่ช่วยให้การคำนวณง่ายขึ้นเท่านั้น ส่วนที่จริงแล้วตกผลึกอาจเกิดขึ้นทันทีที่สารเคมีถูกเติมลงไป)

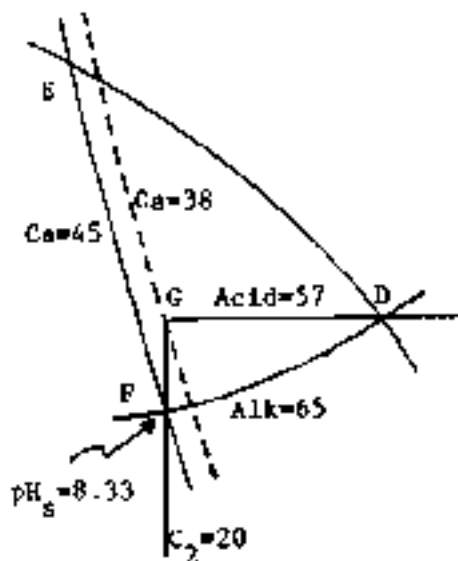
สมมติว่ามีการเติม Ca(OH)_2 5 มก./ล. (คิดโมลของ CaCO_3) ลงไปเพื่อปรับสภาพของน้ำ เป็นผลให้ระดับต่าง ๆ ของสารละลายในน้ำเปลี่ยนแปลง ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= 40 + 5 = 45 \text{ มก./ล.} \\ \text{Alk} &= 60 + 5 = 65 \text{ มก./ล.} \end{aligned}$$

$$\text{Acid} = 62 - 5 = 57 \text{ มก./ล.}$$

จากจุดตัดระหว่าง Alk และ Acid เราจะได้ว่า pH = 8.00
 ตามเส้น DEF ในภาพที่ 7.7 ใช้แทนน้ำประปาที่อยู่ในสภาวะใหม่

รูปที่ 5 ทาตารางพีเอชซีของน้ำประปาภายหลังการเติมปูนขาว



เนื่องจากน้ำประปาภายหลังการเติมสารเคมีมี pH = 8.00 และ $\text{pH}_s = 8.33$ แสดงว่ามีความแตกต่างของพีเอชซี - 0.00 - 0.00 = 0.70 ดังนั้นน้ำประปาใหม่ที่สามารถตกผลึกได้ เพราะมีหินปูนมากเกินกว่าจุดอิ่มตัว เมื่อปล่อยให้มีการตกผลึกเกิดขึ้นตามเส้น DEF จะตกผลึกตามเป็นจุด G (ดูรูป) ซึ่งเป็นจุดตัดระหว่างกราฟของ Ca_2+ และ Acidity การที่ เป็นเช่นนี้เพราะ Ca_2+ และ

Acidity มีค่าคงที่ แม้จะมีการเติมปูนขาวก็ตาม

ในพีเอชซี

$$\text{Ca}_2 = \text{Alk} - \text{Ca} = 65 - 45 = 20 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{Acidity} = 57 \text{ มก./ล.}$$

รูปที่ 6 ทาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ตกผลึกหลังจากการเติมปูนขาว

ปริมาณหินปูนที่ตกผลึกไปแล้ว มีค่าเท่ากับผลต่างของแคลเซียมก่อนและหลังจากการตกผลึกหินปูน ซึ่งทราบในตัวอย่างนี้ ปริมาณแคลเซียมหลังจากเกิดการตกผลึกเติมปูนเท่ากับปริมาณแคลเซียมที่จุด G หรือเท่ากับ 38 มก./ล. ส่วนปริมาณแคลเซียมก่อนเกิดการตกผลึก เท่ากับแคลเซียมของสายเหลี่ยม DEF หรือเท่ากับ 45 มก./ล. ดังนั้นปริมาณหินปูนที่ตกผลึกเท่ากับ $45 - 38 = 7 \text{ มก./ล.}$ ซึ่งได้แก่ค่าความต่างใน

ตอนที่ 5.8 ว่าน้ำที่สามารถต้านทานการวัดร่วมควรมีหินปูนตกผลึกประมาณ 4-10 มก./ล. แสดงว่าค่าความเค็มปูนขาว 5 มก./ล. คงเหลือสำหรับป้องกันการกัดกร่อนโลหะ ด้วยการเติมปูนขาว 5 มก./ล. ไม่สามารถทำได้หินปูนตกผลึกอยู่ในช่วง 4-10 มก./ล. จะต้องทำการคำนวณใหม่โดยใช้ปูนขาวจำนวนอื่น จนกว่าการตกผลึกจะอยู่ในระดับที่ป้องกันการกัดกร่อนตามเคมีของน้ำในพื้นที่แตกต่างกัน และคงอยู่ในตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 ผลสรุปของตัวอย่างที่ 7.4

พารามิเตอร์	น้ำประปาก่อนเติมปูนขาว	ผลของการเติมสารเคมี	สภาพก่อนการตกผลึก	สภาพสมดุลหลังจากตกผลึกแล้ว
สารเคมีทั้งหมดในรูปของ $CaCO_3$	-	$Ca(OH)_2$	-	-
pH	8.10	-	8.38	8.45
Ca	40	5	43	28
Alk	60	5	65	69
Acid	02	-5	57	37
C_2	20	-	20	20
pH_s	8.42	-	8.38	8.45
ระดับของการจับตัว	ยังไม่จับตัว		จับตัวเกินพอ	จับตัวพอดี
ปริมาณหินปูนที่ตกผลึก	0	-	7	0
คาร์บอนไดออกไซด์	-0.32	-	0.25	0
คาร์บอนิกแอซิด	0.74	-	2.56	3.45
ไรซินาร์				

ตัวอย่างที่ 7.2 จากตัวอย่างที่ 7.1 ถ้าใช้ NaOH แทนปูนขาว จะได้ผลในการป้องกันการกัดกร่อนโลหะ เช่นเดียวกับหรือไม่

ขั้นที่ 1 ในค่าพีเอชซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวอย่างที่ 7.1 ค่าหนึ่งของน้ำที่อยู่ในไลออะนแกรมคือ ΔABC ในภาพที่ 7.1

ขั้นที่ 2 ทดลองใช้ NaOH 5 มก./ล. ก้อน จะได้ส่วนผสมของน้ำใหม่ ดังมี (สมมติว่าไม่มีการตกผลึกของ $CaCO_3$ เกิดขึ้น)

$$Ca = 40 - 0 = 40$$

$$Alk = 50 + 5 = 55$$

$$Acid = 42 - 5 = 37$$

pH ของน้ำนี้ที่หาได้จากจุดตัดของกราฟของ Alk และ Acid เท่ากับ 8.08 และตำแหน่งใหม่ในไลออะนแกรม คือ ΔDEF แสดงว่าน้ำที่มีคุณภาพดังกล่าว จะอยู่ในสภาวะ Oversaturated และพบว่า Ca_2 มีค่าเท่ากับ $38 - 40 = 2$

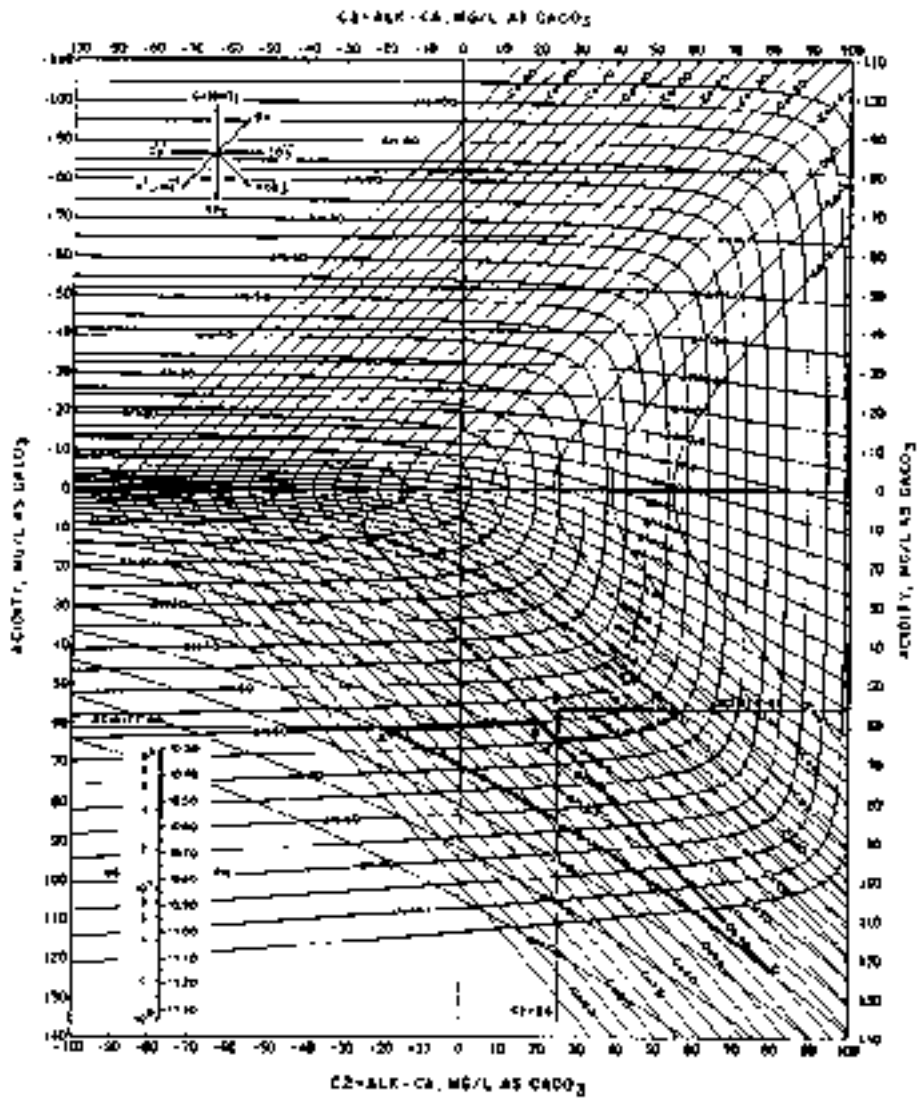
ขั้นที่ 3 ถ้า $CaCO_3$ เกิดการตกผลึกขึ้น DEF จะเคลื่อนที่จุด C ซึ่งหมายถึงสภาวะอิ่มตัว ปริมาณหินปูนที่ตกผลึก = $Ca_{เดิม} - Ca_{อิ่มตัว}$

$$= 40 - 38 = 2 \text{ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่เราต้องการพอดี}$$

การพอดี

ดังนั้น แสดงว่า NaOH 5 มก./ล. (ในเทอมของ $CaCO_3$) สามารถใช้แทน $Ca(OH)_2$ จำนวนเดียวกันได้

ตัวอย่างที่ 7.10 ตัวอย่างน้ำจากแหล่งที่มีคุณภาพดี ๖๖๖ ขวดตัวอย่างถูกวิเคราะห์อย่างเข้มงวดเพื่อป้องกันการถ่ายเท CO_2 เมื่อปล่อยไว้ตัวอย่างน้ำมีคุณภาพดีเท่ากับของห้อง ปรากฏว่าไม่มีภาวะตกตะกอนหรือตกผลึกเกิดขึ้น ผลวิเคราะห์ค่าต่างๆมีผลว่า



ภาพที่ 7.8 ค่าของของตัวอย่างี่ 7.9

จุดทฤณิ	25 °ซ	TDS	40
pH	8.0	Alk	35
Ca	10		

จงทราบว่าน้ำแห่งนี้จะมีอำนาจกัดกร่อนที่จุดทฤณิ 2 °ซ หรือป้

ขี้มที่ 1 หากค่า Acidity ที่ 25 °ซ ได้จากจุดสกัดระหว่างกราฟของ pH = 8.0 และ Alk = 35 ของไลโคเนแกรม 25 °ซ และ TDS 40 มก./ล. (ดูภาพที่ 7.7 หรือ 7.8) Acid = 33 มก./ล.

ขี้มที่ 2 เนื่องจากไม่มีการตกตะกอนของ $CaCO_3$ หรือการถ่ายเทของ CO_2 เกิดขึ้น Alk, Ca, และ Acid ที่จุดทฤณิ 25 °ซ จะมีค่าเท่ากับที่จุดทฤณิ 2 °ซ

ขี้มที่ 3 หากค่าหนึ่งของน้ำไลโคเนแกรม L-C สำหรับ 2 °ซ โดยให้ Ca = 10, Alk = 35, TDS = 40, Acid = 33

จากจุดสกัดระหว่าง Acid = 33 และ Alk = 35 จะหาค่าของ pH ได้เท่ากับ 8.22 ทำให้เราสามารถสร้าง Δ ขึ้นแสดงตำแหน่งของน้ำดิบ

การคำนวณเพื่อตรวจสอบความกัดกร่อนของน้ำ ก็จะทำเป็นไปตามแบบที่เคอท์ทำใน-ตัวอย่างที่ 7.3 และ 7.4

ตารางที่ 7.3 เป็นผลสรุปของตัวอย่างที่ 7.10 นี้

7.4 หลักเกณฑ์ในการเลือกสารเคมีปรับน้ำ

ข้อพิจารณาในการเลือกสารเคมีเพื่อปรับปรุงน้ำมีดังนี้

1. ต้องมีราคาถูกและหาได้ง่าย
2. ต้องใช้ง่าย

ตารางที่ 7.5 ผลสรุปที่ได้จากการแก้ปัญหาน้ำของตัวอย่างที่ 7.10

พารามิเตอร์	น้ำดิบ	น้ำดื่ม
อุณหภูมิ, °C	25	2
pH	8.80	9.02
Ca	10	10
Alk	85	35
Acid	33	33
C ₂	25	25
ระดับของคลอรีนอิสระ	0	0
pH _s	4.34	9.07
ปริมาณหินปูนที่ตกผลึก	0	0
ตรวจมีแอมโมเนีย	- 0.64	- 0.78
ตรวจมีไนเตรต	9.84	10.72

3. ต้องไม่เติมคลอรีนก่อนต้ม

4. ต้องคำนึงถึงผลสุดท้ายของปฏิกิริยาด้วย ยกตัวอย่างเช่น ในการทำให้พีเอชของน้ำเป็นกลาง สารปรอทของไฮเดรเจนคลอไรด์ เช่น NaOH , Na_2CO_3 มีความเหมาะสมมากกว่าสารปรอทของแคลเซียม ทั้งนี้เพราะผลสุดท้ายของปฏิกิริยาที่ใช้สารปรอทของแคลเซียม มักเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำน้อยเช่น CaCO_3 , CaSO_4 เป็นต้น ซึ่งอาจก่อปัญหาอุดตันให้กับท่อหรือปัญหาอื่น ๆ

สารเคมีนิยมใช้ในการปรับพีเอชของน้ำได้แก่ สารด่างคือโซดี

<u>สารเพิ่มพีเอช</u>	<u>สารลดพีเอช</u>
NaOH	H ₂ SO ₄
Ca(OH) ₂ /NaOH	HCl
Na ₂ CO ₃	CO ₂
NaHCO ₃	H ₃ PO ₄
CaCO ₃	H ₂ NO ₃
NH ₄ OH	

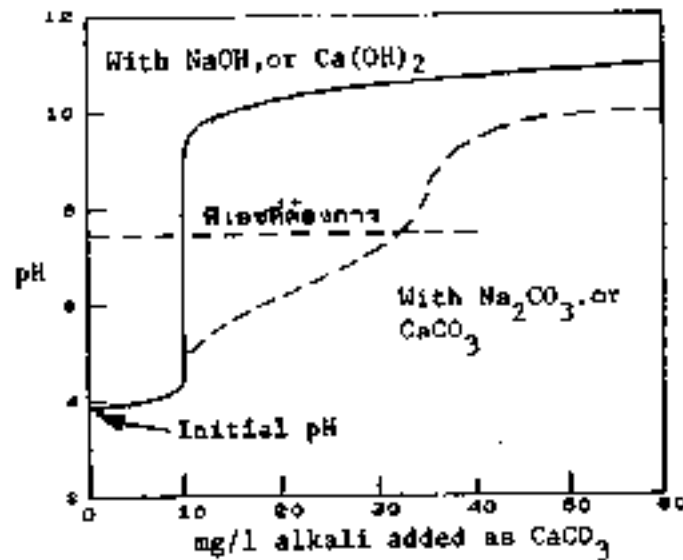
๗.๔.๑ การเพิ่มระดับพีเอชด้วยสารต่างๆ ๑

ดังได้กล่าวไปแล้วว่า การเพิ่มระดับพีเอชอาจกระทำได้โดยการใช้นาOH หรือ Ca(OH)₂ หรือ NaHCO₃ หรือ Na₂CO₃ ในจำนวนสารดังกล่าว ปูนขาวเป็นสารเคมีที่มีราคาถูกที่สุด แต่ก็ยังเป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้น้อยมาก ทำให้มีปัญหาอย่างมากในการป้อนสารเคมีเหล่านี้ ด้วยเหตุนี้ จึงมีข้อเสนอแนะว่า ถ้าต้องใส่สารเคมีจำนวนมากต่อการเพิ่มพีเอชก็ไม่ควรใช้ปูนขาว สารเคมีที่เหมาะสมกว่า คือ NaOH ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี วิศวกรอเมริกันบางคนแนะนำว่า ถ้าใช้สารเคมีน้อยกว่า 1๐๐๐ ปอนด์ต่อวัน ก็ไม่ควรใช้ปูนขาว เพราะไม่คุ้มที่จะซื้ออุปกรณ์เติมปูนขาว

ในกรณีที่ต้องการปรับพีเอชให้เป็นกลาง (ใกล้เคียงหรือเท่ากับ ๗) อย่างเคร่งครัด ค่าอ่อน (Weak Base) เช่น Na₂CO₃, CaCO₃, NaHCO₃ ใช้ได้ดีกว่าค่าแก่ (Strong Base) เช่น NaOH หรือ Ca(OH)₂ ทั้งนี้เพราะสามารถควบคุมระดับพีเอชได้ง่ายกว่า (ดูภาพที่ ๗.๑)

๗.๔.๑.๑ การใช้ปูนขาว

การใช้ปูนขาวในการทำให้น้ำเป็นกลาง มีข้อควรระวังอยู่ ๒ ประการ คือ เรื่องการตกตะกอนของหินปูนที่เกิดขึ้น และ เรื่องปูนขาวที่ใช้ไม่หมด เนื่องจากปูนขาว-



ภาพที่ ๓.๒ ไส้ตามธรรมชาติของหินปูน สามารถปรับพีเอชให้เป็นกลาง ได้ถูกต้องและแม่นยำกว่าไส้ตาไฟหรือปูนขาว ขอให้สังเกตลักษณะ Titration Curve ทั้งสองเส้น

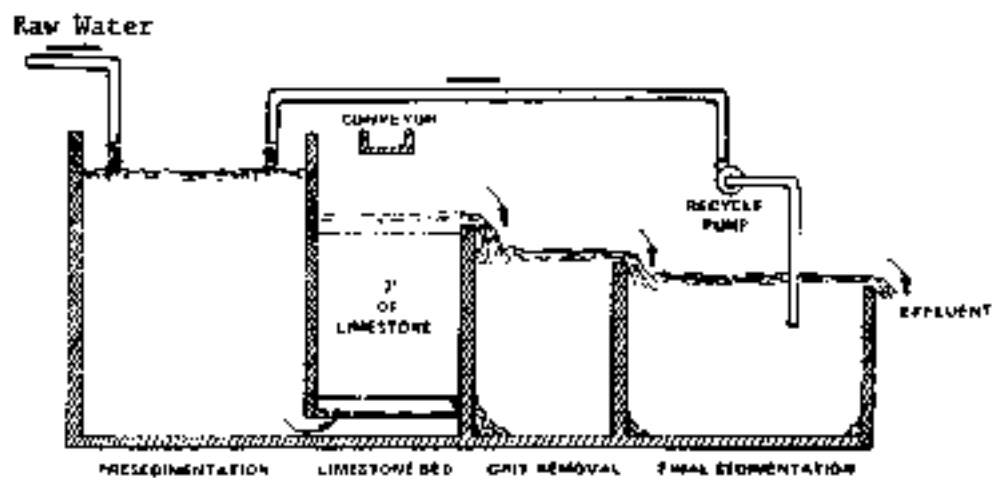
ลดขบวนการได้มีน้อยมาก ดังนั้นเมื่อเติมปูนขาวลงในน้ำที่มีองค์การปรับพีเอช โอกาสที่จะมีปูนขาวแขวนลอยเป็นตะกอนอยู่ในน้ำเกิดขึ้นได้เสมอ และในขณะเดียวกัน ปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเนตในน้ำกลายเป็นตะกอนรวมผลของหินปูน ด้วยเหตุนี้การเติมปูนขาวเพื่อปรับพีเอช จึงควรมีถังตกตะกอนอยู่ด้วยเสมอ และเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการเติมปูนขาวได้ไม่หมด มีข้อเสนอแนะให้หมุนเวียนเอาตะกอนตกกันซึ่งตกตะกอนกลับคืนมาใช้เพื่อปรับพีเอชใหม่อีก

ปัญหาข้อหนึ่งที่ต้องระวังด้วย คือ การจับตัวของสารประกอบปูนขาวในท่อน้ำหรือภายในเครื่องสูบน้ำ หรือแม้กระทั่งภายในถังล้าง ๆ ดังนั้น การออกแบบอุปกรณ์ที่

เกี่ยวข้องกับปูนขาว ซึ่งคือค่ามีขี้เถ้าหรือค่าความสะอาด เพื่อกำจัดตะกอนหินปูนด้วย

7.4.1.2 การใช้หินปูน (Limestone หรือ CaCO_3)

หินปูนหรือ CaCO_3 เป็นสารเพิ่มพีเอชให้กับน้ำได้เป็นอย่างดีที่ค่าคงที่ของความเป็นกรด-ด่างของน้ำ แต่ค่าผลปฏิกิริยาเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ (เช่น CaSO_4) หรือละลายได้น้อย หินปูนที่อาจถูกเคลือบด้วยสารที่ไม่ละลายน้ำเหล่านี้ ค่าพีเอชไม่สามารถเพิ่มได้มากนัก ภาพที่ 7.10 เป็นการใช้อินปูนในการปรับพีเอชให้กับน้ำ จะสังเกตเห็นว่า หินปูนจะถูกเรียงหรือจัดให้เป็นชั้นและให้น้ำไหลผ่านชั้นหินปูน น้ำที่ไหลผ่าน



ภาพที่ 7.10 การใช้หินปูนในการปรับพีเอชให้กับน้ำ

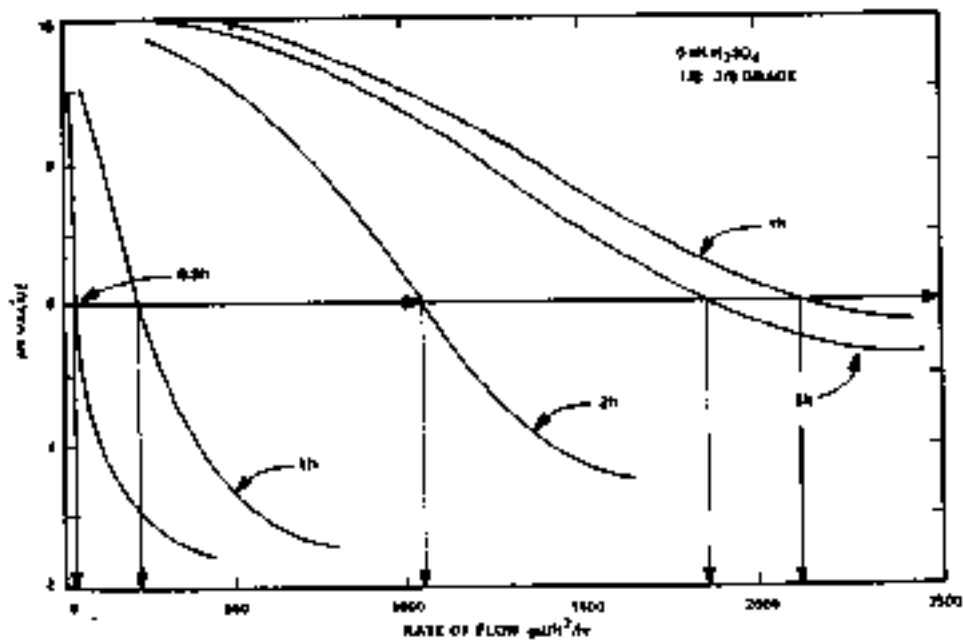
ชั้นหินปูน อาจเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์หรือโพลีคริสตัลไลน์ ในกรณีที่เป็นน้ำไหลของน้ำร้อนชั้นหินปูน อัตราการไหลสูงสุดคือ ๓๖ ลิตรต่อวินาทีต่อตร. เมตรของชั้นหินปูน การไหลที่เร็วและสูงกว่านี้มักจะอาจทำให้เวลาสัมผัสไม่พอเพียง ถ้าหินปูนมีความบริสุทธิ์ต่ำ เช่นเป็น Dolomitic Limestone ซึ่งมีแมกนีเซียมปนอยู่มาก เราอาจต้องจำกัดอัตราการไหลผ่านชั้นหินปูนมิให้สูงกว่า ๓๐ ลิตร/นาฬิกา-ตร.ม. อย่างไรก็ตามถ้าให้น้ำไหลย้อนจากข้างล่างขึ้นข้างบนผ่านชั้นหินปูน อัตราการไหลผ่านชั้นหินปูนมักจะสูงกว่าตัวเลขดังกล่าวได้ ทั้งนี้เพราะ ผลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะหลุดออกไปจากชั้นหินปูนก่อนที่จะเกิดการตกตะกอนเกิดขึ้น Eckenfelder แนะนำว่า น้ำที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ ไม่ควรมีกรดมากกว่า ๐.๓ % (คิดในแง่ของ H_2SO_4) ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้มีการเคลื่อนชั้นหินปูนโดย $CaSO_4$ และเพื่อมิให้มีปริมาณ CO_2 สูงขึ้นจนมากเกินไป

ภาพที่ 7.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและอัตราไหลของน้ำผ่านชั้นหินปูนที่มีความลึกต่าง ๆ

7.4.2 การลดพีเอชด้วยกรด

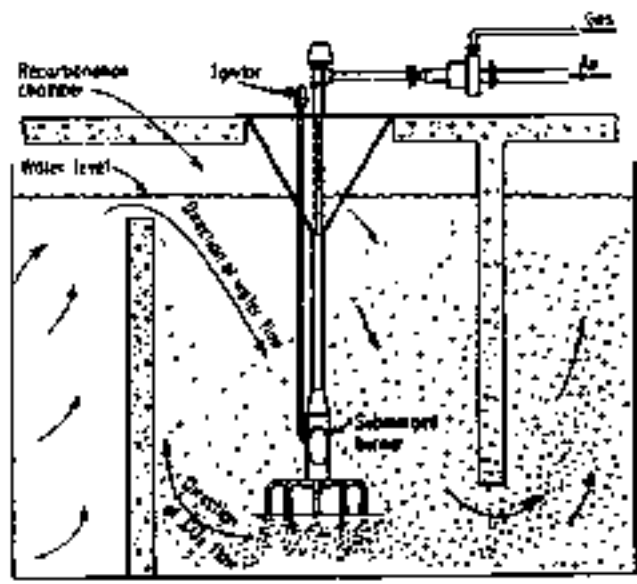
ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ใบการเติมพีเอชด้วยค่าต่าง สามารถนำมาใช้กับการลดพีเอชด้วยกรดได้เช่นเดียวกับ กรดที่นำมาใช้ได้แก่ H_2SO_4 , HCl หรือกรดชนิดอื่น ๆ แต่โดยทั่วไปกรดเหล่านี้จะเป็นที่นิยมใช้สำหรับงานทั่วไป เนื่องจากราคาถูกและหาได้ง่าย บางครั้งอาจใช้กรดเกลือแทนเพราะ H_2SO_4 ทำให้เกิด $CaSO_4$ ซึ่งละลายน้ำได้จำกัด

ถ้าใช้กรดกำมะถันในการลดพีเอชให้กับน้ำที่มี $NaOH$ จะต้องระลึกไว้ว่าผลปฏิกิริยาที่ได้คือ Na_2SO_4 ซึ่งอาจก่อปัญหาในแง่ของทางเกิดผลึกได้ทั้ง ๆ ที่ Na_2SO_4 ละลายน้ำได้ดีมาก ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาเป็นกลางเกิดขึ้น จะได้ความเข้มข้นจำนวนมากเกิดขึ้น เป็นผลให้ Na_2SO_4 ละลายน้ำได้ดียิ่งขึ้น ปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่อมี Na_2SO_4 ละลายอยู่มากจนเกิดการอิ่มตัว เมื่อน้ำไหลไปตามท่อและบริเวณที่มีผลของความต้านทานในการละลายน้ำของโซเดียมซัลเฟตจะลดลงด้วย ทำให้มีการตกผลึกขึ้นซึ่งเกิดขึ้นภายในเส้นท่อ



ภาพที่ 7.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำที่ระดับความลึกของ
สันตลิ่งต่าง ๆ กัน

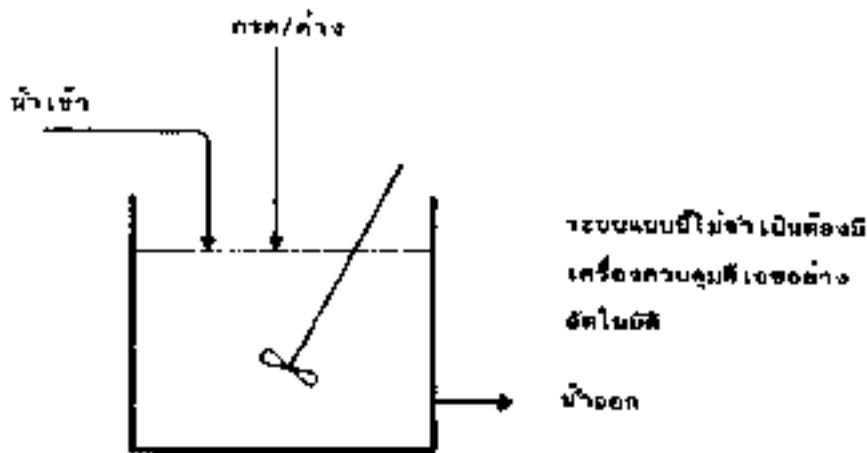
Flue gas หรือกาซจากเตาเผาต่าง ๆ ซึ่งเป็นกาซเฉื่อย ก็นำมาใช้เป็นตัวลดพีเอชของน้ำได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะกาซดังกล่าวอาจมี CO₂ มากถึง ๑๕ % การใช้กาซเหล่านี้ได้แก่การเป่ากาซให้กับน้ำและให้มีเวลาสัมผัสจนพอเพียง CO₂ จะละลายน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อน ปฏิกริยาทำให้เป็นกลางด้วยกาซเฉื่อยเกิดขึ้นเกิดขึ้นค่อนข้างช้า แต่ก็สามารถทำให้น้ำเป็นกลางได้ ถ้าไม่ใช้วิธีเป่ากาซให้กับน้ำ (ดูภาพที่ ๗.๑๕) ก็อาจเปลี่ยนให้น้ำไหลลงมาจาก Spray Tower และเป่ากาซที่มี CO₂ ให้พุ่งย้อนขึ้นไปสวนทางกับน้ำที่ไหลลงมาก็ได้



ภาพที่ ๗.๑๕ การลดพีเอชของน้ำด้วยกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผลิตได้จากการเผากาซเชื้อเพลิงด้วยเตาเผาแบบ Submerged Combustion Burner (วางอุปกรณ์ดังผสม)

7.5 ระบบปรับพีเอชให้กับน้ำ

การทำน้ำให้เข้ากลางอาจเป็นแบบทีละเท (Batch) หรือ แบบต่อเนื่องก็ได้ Eckenfelder แนะนำให้ใช้ระบบแบบทีละเทสำหรับอัตราไหลที่ต่ำกว่า ๖๐๐ ลบ. เมตรต่อวัน และใช้ระบบต่อเนื่องสำหรับอัตราไหลของน้ำที่สูงกว่า ๖๐๐ ลบ.ม./วัน ภาพที่ 7.1๑ แสดงถึงระบบปรับพีเอชของน้ำด้วยระบบทีละเท

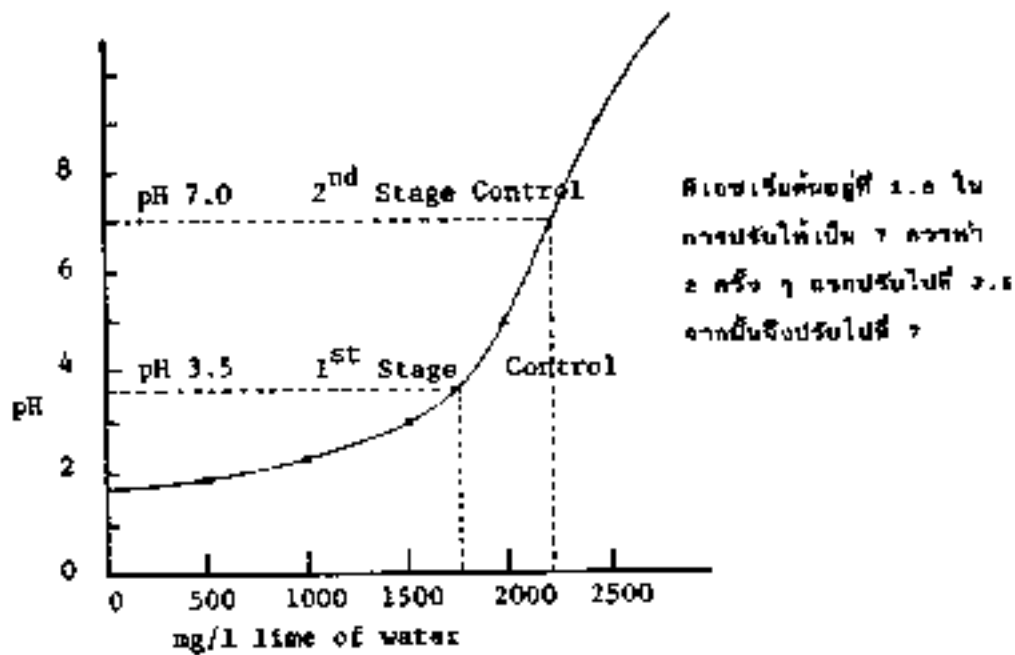


ภาพที่ 7.1๑ การปรับพีเอชแบบทีละเท

ระบบต่อเนื่องควรมีเครื่องควบคุมพีเอชแบบอัตโนมัติ การควบคุมน้ำเข้าทำได้ด้วยการเป่าอากาศหรือใช้เครื่องควบคุมก็ได้ ถ้าเป็นการเป่าอากาศจะต้องใช้อากาศไม่น้อยกว่า ๐.๑ - ๐.๒ ลบ.ม. ต่อเวลาที่ลดร.ม. ที่ระดับน้ำลึก ๑ เมตร แต่น้ำใช้เครื่องควบคุมพีเอชของน้ำถ้าไม่พอควรว่า ๐.๐๔ - ๐.๐๕ กิโลกรัม/ม^๓

การควบคุมพีเอชของน้ำด้วยระบบอัตโนมัติ เป็นเรื่องที่ยุ่ยยาก ถ้าพีเอชของน้ำแปรปรวนมาก ทั้งนี้เพราะ

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และความเข้มข้นของกรดหรือด่าง (หรืออัตราการเติมด่างหรือกรด) ไม่ได้เป็นแบบเส้นตรง โดยจะหาจุดอ้างอิงเมื่อพีเอชเท่ากับ 7.14 เป็นตัวอย่างของ Titration Curve ของการปรับพีเอชด้วยปูนขาว

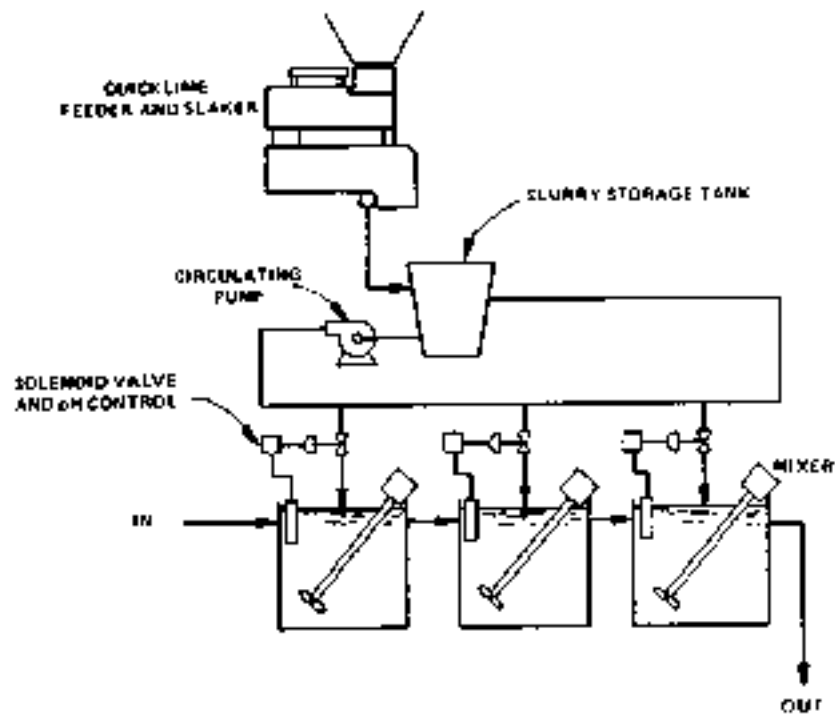


ภาพที่ 7.14 Titration Curve ของการปรับพีเอชด้วยปูนขาว

- ข. พีเอชของน้ำอาจเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วมาก เช่น หนึ่งหน่วยภายใน 1 นาที
- ค. อัตราไหลของน้ำที่อาจเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วเช่นกัน
- ง. องค์ตั้งมีการผสมสารละลายต่างชนิดกรดจำนวนเล็กน้อย เข้ากับน้ำปริมาณมาก
มากภายในระยะเวลาอันสั้น

รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้เครื่องควบคุมพีเอชอัตโนมัติ ขาดได้ไม่บกพร่องเกี่ยวกับ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในด้านการทำคลอรีนระเหย

การปรับพีเอชอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการใช้ถังผสมมากกว่า 1 ใบ ช่วยให้การปรับพีเอช กระทำได้อย่างแม่นยำและมีเสถียรภาพ(ไม่แปรปรวนง่าย) ภาพที่ 7.15 เป็นตัวอย่างของวิธีปรับพีเอชที่ละเอียดถี่ถ้วน จากภาพ พีเอชอาจเพิ่มเป็นประมาณ 3-4 ในถังแรกและเพิ่มเป็น 5-6 ในถังที่สอง พีเอชในถังสุดท้ายจะเป็นกลางตามต้องการ



ภาพที่ 7.15 การทำให้น้ำเป็นกลางด้วยระบบอัตโนมัติ

สารบัญเฉพาะบทที่ ๘

ขบวนการโคออดิเนชัน ใน ทัศนศาสตร์วิทยาศาสตร์

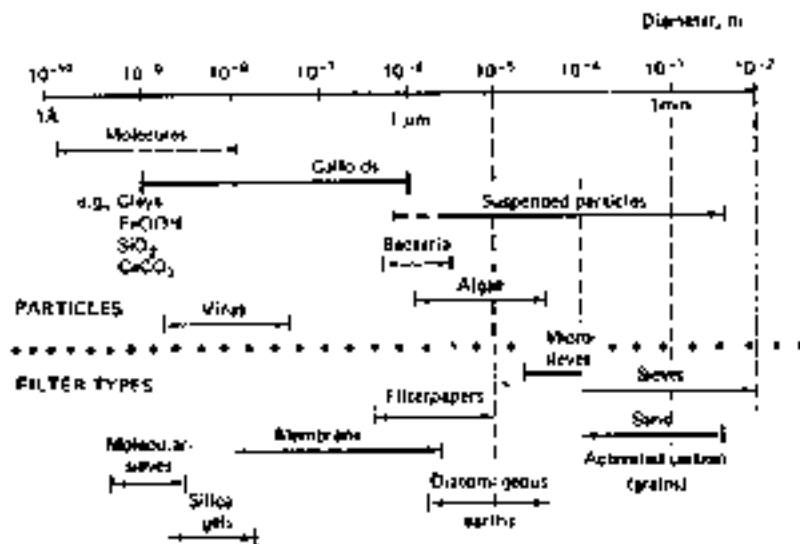
๘.1	พฤติกรรมของคอลลอยด์	๒๐๘
๘.1.1	คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์	๒๐๘
๘.1.2	Electric Double Layer Theory	๒๐๘
๘.1.3	เสถียรภาพของคอลลอยด์	๒๐๙
๘.2	การห้ำหั่นเสถียรภาพของคอลลอยด์	๒10
๘.๒.1	โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย	๒11
๘.๒.2	โดยการห้ำหั่นอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์	๒1๘
๘.๒.3	โดยการรับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในพริกสารประกอบที่สร้าง ขึ้น	๒1๘
๘.๒.4	โดยการใช้สารอินทรีย์โพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาค คอลลอยด์ (Polymer Bridging)	๒17
๘.๓	โคออดิเนชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก	๒1๘
๘.๓.1	เคมีของสารส้มและสารประกอบเหล็กในน้ำ	๒1๘
๘.๓.2	กลไกโคออดิเนชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก	๒๒๑
	๘.๓.๒.1 กลไกโคออดิเนชันแบบจุดยึดและห้ำหั่น ประจุ	๒๒4
	๘.๓.๒.๒ กลไกโคออดิเนชันแบบที่อนุภาคช่วยพริก	๒๒๕
๘.4	กลไกโคออดิเนชันที่เกิดจากการใช้โพลิเมอร์และโคออดิเนชันแบบ อื่น ๆ	๒๒7
๘.๕	การสร้างลิมัสระหว่างอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์โคออดิเนชัน	๒๒๙
๘.๕.1	ผลิตภัณฑ์โคออดิเนชันแบบเพอริโกลิติก	๒33
๘.๕.๒	ผลิตภัณฑ์โคออดิเนชันแบบออร์โธโกลิติก	๒๓๖

บทที่ ๑

กระบวนการโคแอกกูเลชัน : ทัศนวิทยาฟิสิกส์

ลักษณะที่เห็นได้ชัดอย่างหนึ่งซึ่งทำให้บับเบิ้ลที่บับเบิ้ลเดี่ยว คือ ความขุ่นหรือสารแขวนลอย ถ้ากำจัดความขุ่นหรือสารแขวนลอยออกจากน้ำได้ ลักษณะของน้ำจะดีขึ้นมากและทำให้ดื่มได้ ความขุ่นในน้ำ สาจากสาเหตุได้แก่หลายประการ ทั้งที่เห็นแล้วแต่หลายครั้งกลับเป็นสิ่งสำคัญ ยกตัวอย่างเช่น ความขุ่นที่เกิดจากอนุภาคขนาดใหญ่ย่อมสามารถกำจัดออกจากน้ำได้ง่ายกว่าอนุภาคขนาดเล็ก เช่นคั้น ความขุ่นที่สร้างปัญหาให้โรงงานผลิตน้ำประปา มักเกิดขึ้นจากอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเรียกว่า "อนุภาคคอลลอยด์" (Colloidal Particle) ในปัจจุบัน ยังไม่มีทางกำหนดขนาดที่แน่นอนของอนุภาคคอลลอยด์ ที่มีชื่อต่างๆ ๗ อาจกำหนดขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ไม่เท่ากันโดยทั่วไป ศึกษานิวเคลียสที่มีขนาดอยู่ในช่วง 10^{-6} มม. (๑ ไมครอน) จนถึง 10^{-3} มม. (๑ ไมครอน) เป็นอนุภาคคอลลอยด์ (ดูตารางที่ ๑.1) ดังนั้น อนุภาคคอลลอยด์จึงมีขนาดใหญ่มากกว่าเซลล์ของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก โมเลกุลขนาดเล็กใหญ่ (มักเป็นสารอินทรีย์) อาจจัดเป็นอนุภาคคอลลอยด์ก็ได้

การที่อนุภาคคอลลอยด์สร้างปัญหาในการผลิตน้ำประปาก็ เนื่องจากมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยการพักตัวเองตามใบเวลาจำกัด จากการศึกษาพบว่า ในการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ขนาด 1×10^{-4} มม. เป็นระยะทาง ๑ เมตร ต้องใช้เวลานานถึง ๗๖๖ วัน ในขณะที่ทรายละเอียดขนาด ๐.๑ มม. ใช้เวลาเพียง ๑ นาที (ดูตารางที่ ๑.1) ดังนั้น ระยะเวลาในการผลิตน้ำประปาจึงไม่พอเพียงสำหรับการตกตะกอนของคอลลอยด์ เครื่องกรองน้ำไม่อาจกำจัดคอลลอยด์ได้อย่างแน่นอน ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นในการทำให้เกิดการจับกลุ่มของอนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ จนเป็นก้อน (เรียกว่า ฟล็อก หรือ Floc) ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ง่าย ขบวนการในการทำให้คอลลอยด์หลาย ๆ อนุภาคจับตัวกันเป็นฟล็อก เรียกว่า "โคแอกกูเลชัน" (Coagulation)



ภาพที่ ๑.๓ การจำแนกขนาดของสารต่าง ๆ ในน้ำ

ตารางที่ ๑.๔ การเปรียบเทียบสมบัติการใช้งานในการลดตะกอนของสารต่าง ๆ

สารต่าง ๆ	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	เวลาที่ของการในวรรต ตะกอน 1 เมตร
กรวด	10	1 วินาที
ทรายหยาบ	1	10 วินาที
ทรายละเอียด	0.1	120 วินาที
พละอนคิม (Silt)	0.01	120 นาที
แบคทีเรีย	0.001	122 ชม.
คอลลอยด์	0.0001	720 วัน
	0.00001	10 ปี
	0.000001	มากกว่า 20 ปี

ก่อนที่จะกล่าวต่อไปถึงเนื้อหาของบทนี้ ควรทำความเข้าใจในตรงกันเกี่ยวกับศัพท์-เทคนิคความหมายที่ใช้ในบทความของ "โคแอกกูเลชัน" นักวิจัยรุ่นเก่าให้ความหมายแก่พหุพจน์ "Coagulation หรือ โคแอกกูเลชัน" ว่าเป็นการทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ และให้ความหมายแก่พหุ "Flocculation หรือ ฟลอคกูเลชัน" ว่าเป็นการรวมอนุภาคคอลลอยด์เป็นกลุ่มก้อนหรือ ฟลอค (FLOC) อย่างไรก็ตาม ในความหมายตามการใช้ประโยชน์ทางวิศวกรรม วิศวกรรมน้ำและความหมายของฟลอคกูเลชัน ว่าเป็นการทำให้อ่อนอนุภาคคอลลอยด์ (อาจถูกทำลายเสถียรภาพหรือยังก็ได้) เกิดการจับตัวและเกาะติดกันเป็นฟลอค ส่วนโคแอกกูเลชันนั้น หมายถึง ขบวนการทั้งหมดในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ มารวมกันเป็นฟลอค ทั้งนี้เอง ดังนั้น เราจะใช้ความหมายดังกล่าวในบทความนี้

ดังนั้น จึงอาจสรุปได้ว่า โคแอกกูเลชันหรือการทำให้อ่อนอนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ รวมตัวและจับกันเป็นฟลอค ควรมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

ก) คือการทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์ เช่น การรบกวนประจุระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่ง เป็นต้น

ข) คือทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ เคลื่อนที่มารวมหรือจับตัวกัน ให้มากที่สุด (Transport of Colloidal Particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโพลีเมอร์สายยาวจะช่วยให้เกิดฟลอคขึ้นได้เร็วกว่าเดิม ซึ่งที่นี้เป็นการอธิบายอีกอย่างหนึ่งคือ เมื่ออนุภาคต่าง ๆ จับตัวกันแล้ว ควรเกาะติดกันแน่นและหุ้มเคลือบที่ผิว

ความสำคัญของขั้นตอนทั้งสองมีค่าเหมือนกัน และขั้นตอนทั้งสองเช่นนี้จะเกิดโคแอกกูเลชันที่สมบูรณ์ ผู้ชำนาญจะต้องจำแนกกลไกทั้งสองขั้นตอนให้ได้เป็นอย่างดี และจะต้องทำความเข้าใจถึงกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ทำให้บรรลุถึงขั้นตอนในขั้นต้น

โดยสรุป การแบ่งขั้นตอนของการทำโคแอกกูเลชัน สามารถเห็นได้ชัดเฉพาะมาก-ก็น้อยเพราะการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เกิดขึ้นในถังกวนเร็ว ส่วนการสร้าง

สัมพันธ์กับอนุภาค เกิดขึ้นในถังทวนช้า (Flocculation Tank) ซึ่งขณะเช่นนี้ ทำให้เกิดความเข้าใจผิดเป็นอย่างมากว่า ระบบการโคแอกกูเลชันต้องประกอบด้วยถังทวนเร็วและถังทวนช้าเสมอไป (พมิ่งฮิวคัวร์ราในสมัยก่อนมักไม่ค่อยนิยมถึงความเหมาะสมของกลไกโคแอกกูเลชันทั้งสองขั้นแต่ทำให้ค่อนข้างดี) แต่สิ่งจริงแล้ววิศวกรสามารถใช้อุปกรณ์แบบใดก็ได้ในการทำโคแอกกูเลชัน ตราบเท่าที่สามารถ ลดเสถียรภาพ และสร้างสัมพัทธ์ให้กับอนุภาคของผลผลิตได้ ตัวอย่างของโคแอกกูเลชันที่สามารถสร้างขึ้นได้โดยไม่ต้องมีถังทวนช้า ได้แก่ โคนอกกูเลชันในถังโซลิดส์คอนแทคท์ (Solids Contact Clarifier) หรือในถังกรองเร็วแบบกรองโดยตรง (Direct Filtration) ผู้เขียนมีความเชื่อมั่นว่า ความเข้าใจอย่างแท้จริง ถึงกลไกของโคแอกกูเลชัน สามารถเปลี่ยนประสบการณ์หน้าของระบบประปาในอนาคต ให้ความกระตือรือร้นและคิดนอกกรอบจากเดิม การที่กล่าวเช่นนี้เพราะ ในปัจจุบัน ดูเหมือนว่าความก้าวหน้าทางด้านอุปกรณ์ ถ้าวางไปไกลกว่าความก้าวหน้าในทางทฤษฎี ทำให้มีวิธีต่าง ๆ ผนวกรวมใจถึงกลไกและจุดประสงค์ของโคแอกกูเลชันมากกว่าการพิจารณาอุปกรณ์ต่าง ๆ ความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างโคแอกกูเลชัน กับการกรองน้ำก็ เป็นเรื่องดีอีกประการหนึ่ง ที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงใจมหน้าของระบบประปาในอนาคต

๓.1 คุณสมบัติของคอลลอยด์

การที่อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานานๆ โดยไม่ตกตะกอน เรือได้ว่าเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง ในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเราไม่ค่อยการได้ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพ เพราะอนุภาคคอลลอยด์ทำให้น้ำขุ่น และสกปรก ดังนั้นวิศวกรสิ่งแวดล้อมจึงต้องการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เพื่อทำให้น้ำสะอาดสามารถรวมตัวกัน เป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น จนสามารถตกตะกอนได้

ระบบคอลลอยด์ หมายถึงระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปในสารตัวกลาง ซึ่งมีสถานะเป็นเนื้อเดียว (Continuum Medium) อนุภาคต่าง ๆ นั้นเรียกว่า Dispersed Phase ส่วนสารตัวกลางเรียกว่า Dispersing

Phase หรือ Dispersed Medium ระบบคอลลอยด์ต่างเกิดขึ้นจากการรวมตัวของสารตั้งต้นสองชนิด ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ ๑.๒ จะเห็นได้ว่าระบบคอลลอยด์ทั้งหมดมีเพียง ๑ ประเภท ทั้ง ๆ ที่ควรเป็น ๑ ประเภททั้งนี้เพราะกาสไม่สามารถ

ตารางที่ ๑.๒ การจำแนกประเภทของระบบคอลลอยด์ชนิดต่าง ๆ

Disperse medium	Disperse phase	Name	Example
Liquid	Solid	Sol	Clay turbidity in water
Liquid	Liquid	Emulsion	Oil in water
Liquid	Gas	Foam	Whipped cream
Gas	Solid	Aerosol	Dust, smoke
Gas	Liquid	Aerosol	Mist, fog
Solid	Solid		Colored glass
Solid	Liquid	Gel	Jelly
Solid	Gas		Pumice

เป็นทั้ง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ได้ เนื่องจากช่วยผสมของกันทำให้เกิดสารละลายแท้ (True Solution) เสมอ

อีกแนวคิดที่สำคัญที่สุดของระบบคอลลอยด์ คือ บทบาทของผิวสัมผัสระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ขนาดที่เล็กมากของ Dispersed Phase ทำให้มีพื้นที่ผิวไม่มีความสำคัญเทียบเท่ากับพื้นที่ผิวของสาร (ตัวอย่างเช่น เคมีที่เกี่ยวข้องกับระบบคอลลอยด์ ซึ่งเรียกว่า Surface Chemistry ซึ่งใช้ในการอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของสารต่าง ๆ ของระบบคอลลอยด์) การแพร่กระจายของหยดน้ำในน้ำหรือการระเหยเป็นไอของผิวน้ำ ถือเป็นตัวอย่างของระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วย ของเหลว-ของเหลว และ ของเหลว-กาส ระบบคอลลอยด์ที่อยู่ในความสนใจของวิศวกรสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระบบที่ประกอบด้วย ของแข็งและของเหลว ตัวอย่างคือ สารแขวนลอยในน้ำซึ่งถือเป็นปัญหาทั้งในทางวิศวกรรมประปาและวิศวกรรมน้ำเสีย วิศวกรจำเป็นต้องมีความรู้ในด้าน Surface Chemistry ซึ่งจะสามารถเข้าใจถึงกลไกในการกำจัดสารแขวนลอยออกจากน้ำ นอกจากนี้ ผิวสัมผัสยังมีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารละลายออกจากน้ำโดยวิธีดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon Adsorption)

ระบบคอลลอยด์ ตามจำนวนทิศทางแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ด้านแรงยึดเหนี่ยวไว้ข้างน้อย ระบบเรียกว่า Hydrophobic และด้านแรงยึดเหนี่ยวไว้ข้างมาก ระบบเรียกว่า Hydrophilic ในกรณีที่ Dispersing Phase เป็นน้ำ ศัพท์ที่ใช้จะเป็น Hydrophobic และ Hydrophilic เช่น ตัวอย่างของอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก ได้แก่ สีขมเขียว, ทอง, และ โคนะฮีน ๆ ส่วนตัวอย่างของอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิก ได้แก่ โปวดีน, สบู, และผงซักฟอก คอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิก สามารถแยกออกจากน้ำได้เร็วกว่าคอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิก เหตุผลอย่างง่าย ๆ คือ คอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิก (ขมเขียว) มีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ จึงต้องใช้แรงมากในการดึงตัวให้อนุภาคต่าง ๆ เกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนเพราะโมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางที่ป้องกันให้อนุภาคต่าง ๆ เข้าใกล้และจับตัวกัน

๑.๑.๑ คุณสมบัติของไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

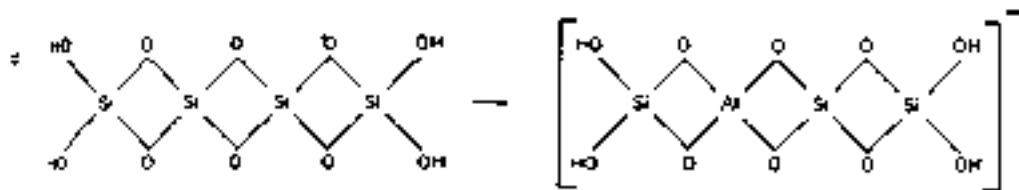
สิ่งที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีความแตกต่างจากตะกอนแขวนลอย, ทราย, และโคลน-ตะกอนขนาดเล็ก (ดูภาพที่ ๑.๑) คือขนาดจึงได้กล่าวไปแล้ว และอีกอย่างหนึ่งคือคุณสมบัติทางไฟฟ้า อนุภาคคอลลอยด์สามารถประจุบวกหรือลบก็ได้ แต่ที่มักพบโดยทั่วกันวิสกอร์บางชนิดคือมีประจุลบเป็นอนุภาคลบ และ เป็นอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก(อนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ) ตัวอย่างของอนุภาคประจุลบในน้ำ คือ ความขุ่นในน้ำดื่ม ซึ่งส่วนมากเป็นอนุภาคของหินเพียวซิลิกาต่าง ๆ อนุภาคประจุบวกมักเป็นอินทรีย์สารซึ่งเป็นอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิก

การที่อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อนุภาคต่าง ๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนซึ่งเรียกว่า ฟล็อก (Floc) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ

อนุภาคคอลลอยด์ได้ประจุไฟฟ้ามาจากหลายทาง ดังต่อไปนี้

ก. ความไม่บริสุทธิ์ของซิลิกา

ประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์อาจได้มาจากการแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคกับองค์ประกอบจากสถานะที่มีประจุไม่เท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น เพื่อ Al^{+3} แทนที่ Si^{+4} ซึ่งอยู่ในโครงสร้างผลึกของซิลิเคตเพียง (ดูภาพที่ 8.2) ทำให้ประจุภาค



ภาพที่ 8.2 หมายของประจุไฟฟ้าของอนุภาคดินเหนียว

ดินเหนียวมีประจุบวกน้อยลง จึงแสดงอำนาจของประจุลบ ประจุลบของความชุ่มชื้นทำให้เกิดพันธิกวาเลนต์ซึ่งที่แข็งแกร่งกว่าไปมีเป็นส่วนโมเลกุล

ข. ประจุไฟฟ้าของไอออนที่ถูกดูดซับผิวของอนุภาคคอลลอยด์

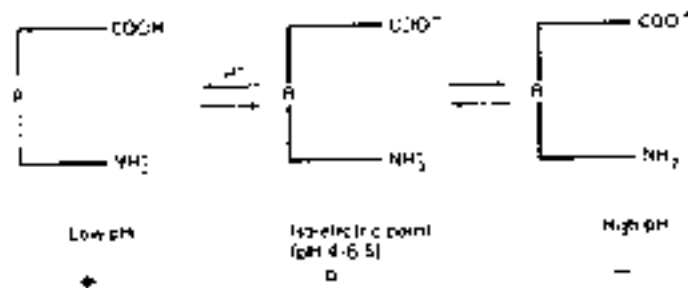
ฟองก๊าซ ละของน้ำมัน หรืออนุภาคคอลลอยด์อีกหลายชนิดได้ประจุไฟฟ้าบนผิวเนื่องจากมันสามารถดึงถูกไอออน (ที่มีประจุลบหรือบวกก็ได้) บางชนิดมาติดบนผิวได้ ไอออนที่ถูกดูดซับ เรียกว่า Peptizing Ions อนุภาคคอลลอยด์ที่กระจายอยู่ในน้ำมักชอบดูดไอออนลบมากกว่าไอออนบวก เพราะไอออนลบจะมีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบอยู่ (เช่น $Al(H_2O)_6^{+3}$ หรือ $Fe(H_2O)_6^{+3}$) ทำให้ไอออนบวกไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ที่แน่นอนเท่ากับไอออนลบ โมเลกุลของน้ำเป็นเหมือนสิ่งกีดขวางการจับตัวระหว่างไอออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์ ด้วยเหตุนี้จึงกล่าว อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำจึงมีประจุลบมากกว่าบวก

ค. การละลายตัวของไอออน (Ion Dissolution)

อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆชนิดจะมีประจุไฟฟ้า ถ้าไอออนต่างๆชนิดที่ประกอบกัน เป็นอนุภาคละลายน้ำได้ไม่เท่ากัน

ง. การแตกตัวเป็นไอออนของ Functional Group

อนุภาคคอลลอยด์จำนวนมากได้ประจุไฟฟ้า เนื่องจากมีการแตกตัวเป็นไอออนของ Functional Group บนผิวอนุภาค ยกตัวอย่างเช่น ไปาเดินได้ประจุไฟฟ้า- จากการแตกตัวเป็นไอออนของหมู่อะมิโน (Amino Group) หรือหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ซึ่งขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ เมื่อน้ำมีพีเอชต่ำ โพรทอนจะมีประจุบวก และจะมีประจุสุทธิประจุของ โพรทอนจากโมเลกุลประจุไฟฟ้า. เมื่อพีเอชมีค่าระหว่างค่าสูงและต่ำ ระดับพีเอชนี้เรียกว่า Isoelectric pH



๑.๑.๒ Electric Double Layer Theory

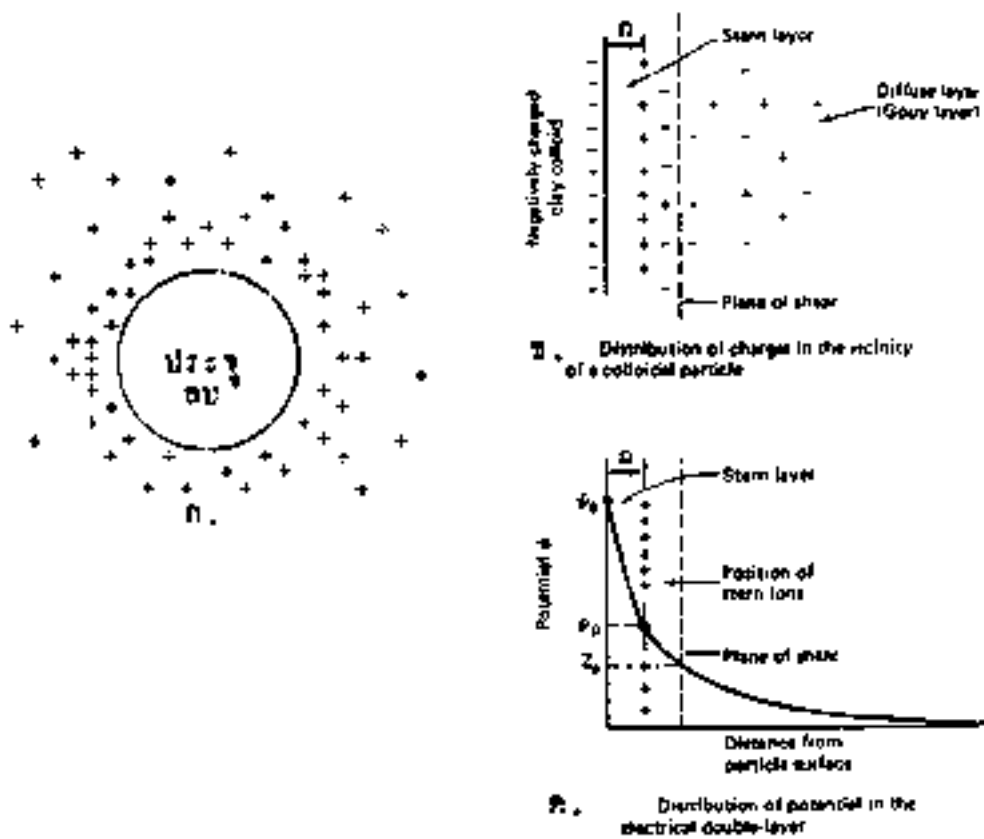
ความแตกต่างระหว่างคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกและแบบไฮโดรฟิลิกคือ เสถียรภาพ (Stability) ของคอลลอยด์แบบแรก เป็นผลมาจากแรงกัมการะหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน ส่วน เสถียรภาพของคอลลอยด์แบบหลัง เกิดขึ้น เนื่องจากแรงผลักและแรง

จากโมเดลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาค (Particle Solvation) ความแตกต่าง
 ดังกล่าวมีนัยสำคัญมากต่อการศึกษานี้ในการหาค่า ϵ ที่เหมาะสม เนื่องจากวิธีการรวมประจุ
 เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของไฮโดรโฟบิกเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากในหนังสือเล่มนี้จะเน้นเฉพาะ
 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับสมการของไฮโดรโฟบิกเท่านั้น

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอลลอยด์ คือ Electric Double
 Layer Theory ซึ่งถูกคิดค้นโดย Helmholtz และพัฒนาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นโดย
 Gouy, Chapman หรือ Stern จนให้ผลการคำนวณที่แม่นยำ ซึ่งวิธีประจุ
 เป็นตัวอย่างประกอบด้วยอธิบาย เนื่องจากประจุของอนุภาคคอลลอยด์สามารถ
 สร้างแรงดึงดูดที่มีค่าใกล้เคียงประจุบวก (ประจุตรงกันข้าม) ที่อยู่ใบบ้างเข้ามา
 หาคู่ จึงทำให้ไอออนประจุบวกมาอยู่ใกล้กับอนุภาคคอลลอยด์ (ซึ่งแสดง
 ในภาพที่ ๑.๒ ก.) ไอออนบวกนี้เรียกว่า Counter Ion ความหนาแน่นของ
 ไอออนบวกจะสูงที่สุดในบริเวณที่อยู่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และลดน้อยลงไปตาม
 ระยะห่างจากอนุภาค ซึ่งมีเป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุของอนุภาคคอล
 ลอยด์ซึ่งมีค่าสูงคือศักย์ไฟฟ้า (Nernst Potential) และน้อยลงเมื่อห่างออกไป (ดู
 ภาพที่ ๑.๒ ข.) ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ศักย์ไฟฟ้าในตัวในตัวนี้ แสดงว่าไม่ขึ้นอยู่กับ
 อนุภาคคอลลอยด์ ทำให้การกระจายตัวของไอออนบวกและลบเป็นไปตามสมการ
 ทฤษฎี Double Layer เชื่อว่า ไอออนบวกในที่สุดไม่สามารถเข้าถึงผิว
 ของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้เพราะไอออนบวกมีโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอยู่ ระยะ
 ห่างระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์และจุดศูนย์กลางของไอออนที่อยู่ใกล้ที่สุด (ซึ่งขึ้น
 อยู่กับขนาดของไอออน) คล้ายมีเปลือกทรงกลมบางซึ่งมีความหนาเท่ากับ λ คือ
 ขวางกั้น เปลือกหรือชั้นบางนี้เรียกว่า Stern Layer และถือว่าเป็นชั้นในของ
 ทฤษฎี ศักย์ไฟฟ้าที่เปลือกนี้มีค่าเท่ากับ Stern Potential ส่วนเปลือกชั้นนอก
 มีชื่อเรียกว่า Diffuse Layer (ชั้นกระจาย) ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปถึง
 ค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าหรือ (ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์)

ขนาดของประจุที่พื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ หรือ Nernst Potential
 ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่มีการหาการวัดและวิเคราะห์สามารถวัดศักย์ไฟฟ้าที่จุด
 ขึ้นซึ่งไม่ใช่ที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้โดยการใช้วิธีการการเคลื่อนที่ของอนุ-

ภาคในสมการเคลื่อนที่ (Electrophoretic Mobility) และค่าของศักย์ไฟฟ้า
จากทฤษฎีของ คอลโลอิดที่มีค่าความเคลื่อนที่ เรียกว่า Zeta Potential (ζ_p)

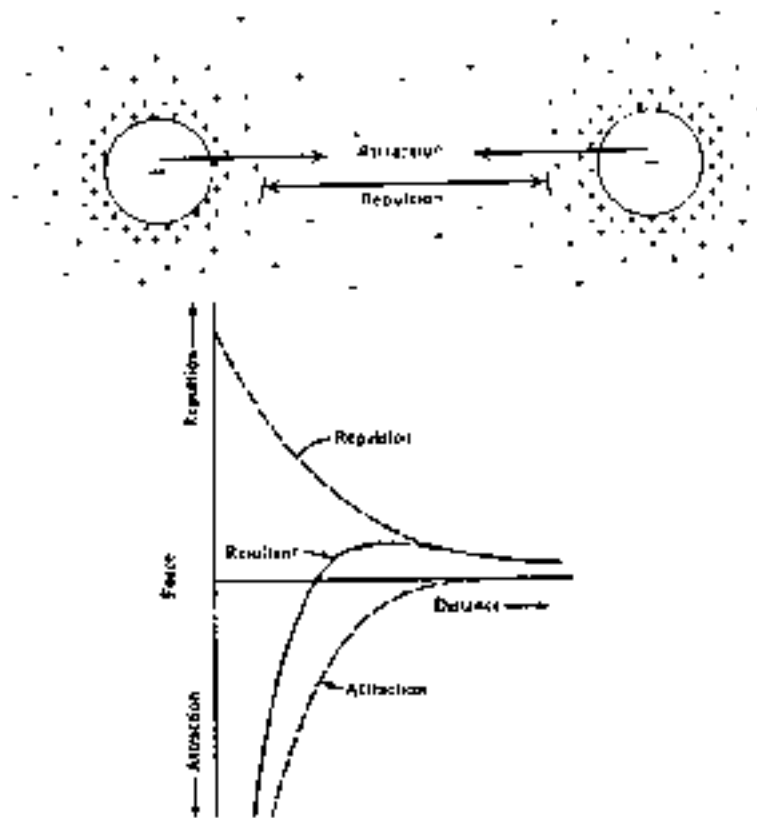


ภาพที่ 6.3 โมเดลทฤษฎีชั้นคู่ของ Electrical Double Layer Theory

ชีลาโพเทนเชียล (2_p) หมายถึงศักย์ไฟฟ้าในตัว (หรือเปลือก) นอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกันอนุภาคของผลอยต์ ส่วนนอกที่สุดนี้ เรียกว่า Plane of Shear (ดูภาพที่ 8.2) ส่วนหนึ่งที่เป็นส่วนของ Plane of Shear ไม่เป็นที่ทราบ เพื่อกันว่าอนุภาค Stern Layer แต่ยังมีชั้น Diffuse Layer อย่างแน่นอน บทบาทของชีลาโพเทนเชียลมีมากกว่าศักย์ไฟฟ้าตัวอื่น ๆ เนื่องจากชีลาโพเทนเชียลใช้เป็นหารารมีเตอร์ที่บอกถึงระดับของเสถียรภาพของผลอยต์ได้ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง (มีแรงผลักระหว่างอนุภาคสูงมาก) จะใช้ค่าชีลาโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะใช้ค่าชีลาโพเทนเชียลต่ำและทำให้รวมตัวกัน เป็นที่สังเกตได้ง่าย

8.1.2 เสถียรภาพของคอลลอยด์

ระบบคอลลอยด์ควรมีเสถียรภาพหรือไม่มีก็ได้ ดังได้กล่าวแล้วว่าคอลลอยด์มีอันเนื่องมาจากมีเสถียรภาพเมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอน ภายในเวลาสั้น เมื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนและแยกตัวจากน้ำก็เรียกว่า เสถียรภาพของคอลลอยด์ถูกทำลายและไม่มีเสถียรภาพอีกต่อไป ด้วยเหตุนี้ เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักจะมีผลสูงกว่าแรงดึงดูดจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดึงดูดมากกว่าแรงผลัก อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ สามารถจับกัน เป็นกลุ่มก้อนหรือผลึกได้ ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า van der Waals Force เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือชีลาโพเทนเชียล ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิด จึงอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค ดังแสดงในภาพที่ 8.4 จะเห็นได้ว่าแรงดึงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักคือเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมาก ๆ โดยประจุที่ผิวแรงผลักซึ่งเกิดจากชีลาโพเทนเชียล ไม่เกิดโอกาสให้อนุภาคต่าง ๆ เข้ามาใกล้กันจนเกิดการจับเข้าหากัน



ภาพที่ 8.4 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะต่างๆ

8.2 การหาค่าเสถียรภาพของคอลลอยด์

สิ่งได้กล่าวไปแล้วว่าเสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงผลักและแรงดูดระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ แรงผลักเกิดจากศักย์ไฟฟ้าซึ่งเข้ามาโดยประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ ส่วนแรงดูดเป็น van der Waals Force ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของอนุภาคขนาดเล็กและของโมเลกุล แรงผลักซึ่งมากกว่าแรงดูดทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ถ้าแรงดูดสูงกว่าแรงผลัก-

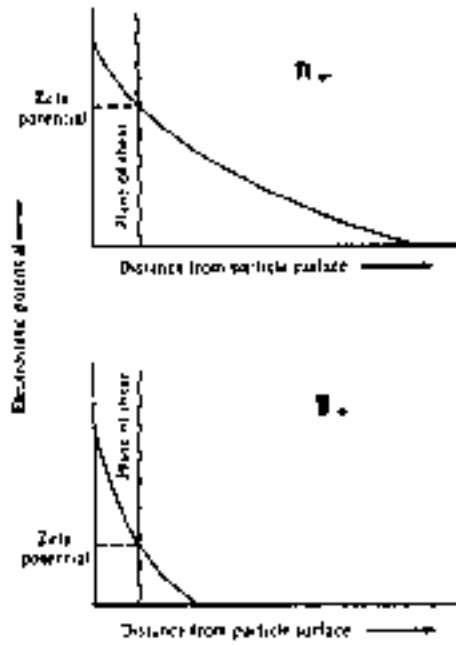
อนุภาคคอลลอยด์จะไม่เสถียรภาพ และไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้

การทำให้สวยเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบคือ

- (๑) โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer)
- (๒) โดยการดูดซับและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption/ Charge Neutralization)
- (๓) โดยใช้วิธีการอินทรีย์เพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์
- (๔) โดยใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (Polymer Bridging)

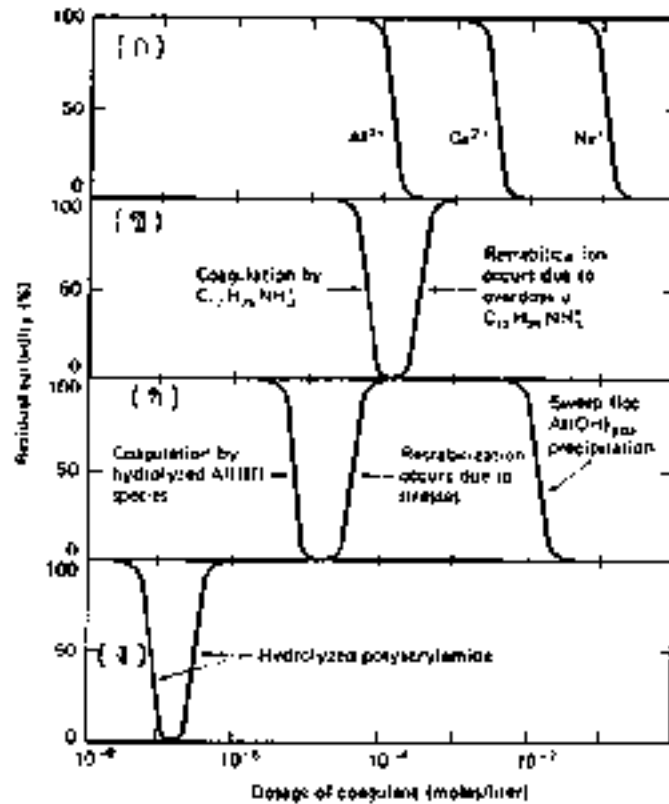
๑.๒.๑ โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย

การเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค เป็นการเพิ่มจำนวน Counter Ion ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้นคือชั้นกระจายมีความหนาลดลง และทำให้ซีตารีโพลีเมอร์ลดลงตามไปด้วย (ดูภาพที่ ๑.๑) การที่เป็นเช่นนี้มีเนื่องจากมีประจุบวกเข้าไปถึงกับของไอออนบวกของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้อำนาจของประจุของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ไอออนต่าง ๆ มีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจาย (ซึ่งเท่ากับลิวลิตีโพลีเมอร์) ไม่เท่ากันปรากฏว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ (Valence) 1, ๒, และ ๑ มีอำนาจลิวลิตีต่างกันเป็นสัดส่วน 1 : ๑๖ : 1๐๐๐ ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น Al^{+3} จะให้ผลดีกว่า Ca^{+2} ถึง 1๐๐๐ เท่า (ดูภาพที่ ๑.๑) ข้อสังเกตที่ควรตระหนักคือไอออนขนาดต่าง ๆ ซึ่งกันข้ามมีศักย์อยู่ในน้ำอย่างอิสระ เนื่องจากไอออนบวกเหล่านี้ ยังมีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบอยู่ เช่น Al^{+3} มีน้ำ ๘ โมเลกุลล้อมรอบอยู่ (เรียกว่า Aqua Complex) และหากรเขียนให้ถูกต้องดังนี้ คือ $Al(H_2O)_6^{+3}$ อย่างไรก็ตามการเขียนสูตรโมเลกุลโดยมี H_2O อยู่ด้วย มักเป็นเชิงยุ่งยากและไม่นิยมจึงมักละเว้นการเขียนโมเลกุลของน้ำ โดยถือว่าเป็นที่เข้าใจกันแล้ว การที่ Al^{+3} หรือโลหะอื่น ๆ มีน้ำล้อมรอบอยู่ด้วยเป็นข้อเสียเพราะจะทำให้ไอออนบวก (ของโลหะ) ไม่สามารถดูดซับผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ โมเลกุลของน้ำเป็นเหมือนเกาะระบับป้องกันการสัมผัสโดยตรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับไอออนบวก ไอออนบวกต่าง ๆ ซึ่งติดกันอยู่ในชั้นกระจาย



ภาพที่ ๑.๕ ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากการเติมไอออนแล้ว

ข้างบนจะไม่สามารถทำลายประจุลบของคอลลอยด์ได้ดีเท่าที่ควร การลดโมเลกุลของน้ำในสารประกอบคอมเพล็กซ์ (Aqua Complex) เข้าแทนที่ไอออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์เข้าใกล้กันมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น $Al(OH)(H_2O)_5^{+2}$ หรือ $Al(OH)_2(H_2O)_4^+$ สามารถเกาะติดบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ได้ แต่ $Al(H_2O)_6^{+3}$ ไม่สามารถกระทำได้ ด้วยเหตุนี้ ภาพที่ ๑.๕ (ก) จึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า $Al(OH)^{+2}$ หรือ $Al(OH)_2^+$ หรือสารประกอบเหล่านี้มี ๗ ลิแกนด์น้อยกว่า Al^{+3} ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ การทำลายเสถียรภาพโดยการลดความหนาแน่นของลิแกนด์อาจทำได้โดยการเติมสารละลายของเกลือต่าง ๆ มีจุดที่บ่งชี้ได้ถึง



ภาพที่ ๕.๘ การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์ ที่ใช้ในการกำจัดขุ่นเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าแบบ (ก) ซึ่งเป็นการลดความหนาของชั้นกระจายตัวด้วย Al^{3+} , Ca^{+2} และ Na^+ ต้องการสารเคมีมากที่สุด ส่วนแบบ (ง) ซึ่งเป็นการใช้โพลีเมอร์เป็นตัวเชื่อมไข (สะพาน) ก็คือสภาพคอลลอยด์มันจะรวมตัวกัน ไร้ความต้องการสารโคแอกกูแลนต์น้อยที่สุด

(๑) ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อกำจัดเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจาย ไม่มีผลกับความเข้มข้นของคอลลอยด์

(๒) ไม่ว่าจะมีไอออนบวกแยกเติมใด จะไม่สามารถทำให้คอลลอยด์เปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวก (Charge Reversal) (ดูภาพที่ ๑.๑ ก. เปรียบเทียบกับ ๑.๑ ข., ค., และ ง.)

๑.๑.๑ โดยการทำลายด้วยประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (กลไกแบบจุดคิด)

สารเติมบางหมู่สามารถดูดซับ (adsorbed) บนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ถ้าสารเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับของคอลลอยด์ การดูดซับผิวจะเกิดไปทางตรงข้ามทางศักย์ไฟฟ้าและทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบจุดคิดมีผลแตกต่างจากกลไกแบบแรก (ซึ่งไอออนต่างประจุหรือ Counter Ion อยู่ในชั้นกระจายโดยไม่มีจุดคิดผิวของอนุภาคคอลลอยด์) ๓ ประการ ดังนี้

ก. กลไกแบบจุดคิดผิวของสารไอออนต่างชนิดน้อยกว่ากลไกแบบแรก $\mu^2 \propto \frac{1}{r}$ ไอออนต่างประจุสามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าไอออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้ ยกตัวอย่างเช่น Dodecylammonium ($C_{12}H_{25}NH_3^+$) ซึ่งสามารถดูดซับผิวของคอลลอยด์ประจุลบเช่นเงินไฮโอไลต์ (AgI) เป็นโคเอกูแลนต์ที่เสถียรโดยใช้ปริมาณประมาณ 5×10^{-5} โมล/ลิตร แต่ต้องใช้ Na^+ สูงถึง ๐.๑ โมล/ลิตร หรือมากกว่า จึงจะได้ผลเท่ากัน (ดูภาพที่ ๑.๑ ก. และ ข.) สารประกอบคอมเพล็กซ์ของ Al(III) และ Fe(III) ก็สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ด้วยกลไกแบบจุดคิดผิวเช่นกัน และยังใช้ในปริมาณต่ำกว่า Dodecylammonium อีกด้วย (ดูภาพที่ ๑.๑ ค.)

ข. การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบจุดคิดผิว เป็นแบบสโตยชิโอเมตริก (Stoichiometric) กล่าวคือ ปริมาณของโคเอกูแลนต์ ที่ใช้เพิ่มหรือลดลงตามการเพิ่มหรือลดลงของปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ (ที่ถูกควรเป็นพื้นผิวของ-

อนุภาคคอลลอยด์) แต่การห่าลายเสถียรภาพแบบลดความหนาของชั้นกระจาย ไม่
เป็นสทอปซีโอเมตริก (ดังที่ไว้กล่าวไปแล้ว)

ค. ประการสุดท้าย กลไกแบบอุทกสถิตมีความแปรเปลี่ยนประจุของอนุภาคคอลลอยด์
ได้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิม (Charge Reversal) ทั้งนี้โดยการใช้โคเอก
แลกซ์บางชนิดไป ยกตัวอย่าง เช่น เมื่อใช้ Dodecylammonium ผสมเหมาะทำให้
โคเอกกูแลซึมเกิดโคลิคัล (ความขุ่นเหมือนนมที่ขุ่น) แต่เมื่อเติม Dodecylam-
monium มากกว่าระดับที่เหมาะสม เสถียรภาพของคอลลอยด์จะฟื้นขึ้นมาใหม่เนื่อง
จากมีการเปลี่ยนประจุคอลลอยด์เกิดขึ้น (ภาพที่ ๑.๑ ข.) กลไกแบบลดความ
หนาของชั้นกระจายไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนประจุเป็นตรงกันข้าม ทั้งนี้อาจ
เป็นเพราะว่า จำนวนไอออนต่างชนิดในชั้นกระจายถูกจำกัดด้วยศักย์ไฟฟ้าของคอลล
อยด์เอง ไอออนต่างประจุ (โคเอกกูแลนต์) ส่วนที่เสริมมากเกินไปจะขยับออกชั้น
กระจาย ดังนั้นไม่ว่าจะใช้โคเอกกูแลนต์มากเท่าใดการเติมประจุของคอลลอยด์
ได้เป็นตรงกันข้าม จะไม่สามารถเกิดขึ้นถ้าโคเอกกูแลนต์ไม่สามารถดูดซับผิวของ
อนุภาคคอลลอยด์ ข้อที่ควรสังเกตเกี่ยวกับ Charge Reversal ของกลไกแบบ
อุทกสถิตคือ การที่ไอออนต่างประจุสามารถดูดซับผิวของอนุภาคคอลลอยด์ จนประจุ
เปลี่ยนเป็นตรงกันข้าม ย่อมแสดงว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างไอออนต่างประจุ กับผิว
ภาคคอลลอยด์จึงสามารถเอาชนะแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้ ภาพที่
๑.๑ ค. คำนวณ ก็เป็นตัวอย่างของกลไกแบบอุทกสถิตที่ทำให้ คอลลอยด์เรจูลอ
บกลายเป็นประจุบวกเมื่อใช้สารตั้ง (เป็นโคเอกกูแลนต์) มากเกินไป ภาพที่ ๑.๑ ง.
ก็เป็นอีกกรณีหนึ่งที่มี Charge Reversal เกิดขึ้นและจะไว้กล่าวต่อไป

๑.๑.๑ โคเอกซ์กับอนุภาคคอลลอยด์: วิมุขกิตสารประกอบที่สร้างขึ้น

ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่พอเพียงจะเกิดการ
ตกตะกอนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นผลในของผลึกสังเคราะห์เพื่อ
ทำให้มีลักษณะขนาดใหญ่หรืออาจจับตัวร่วมกับผลึก ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ อาจถือว่าเป็นการ
เห็นขนาดมหึมาที่หนักกับอนุภาคคอลลอยด์ เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสีย
เสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้ โคเอกกูแลนต์สัง เช่น สารตั้ง ($Al_2(SO_4)_3$)

เพอร์คลอไรต์, แอมอนิเนียมคาร์บอเนต, และปูนขาว สามารถทำให้เกิดโคแอกกูเลชันได้โดยการสร้าง $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Mg(OH)_2$ และ $CaCO_3$ ซึ่งจับกันแต่เป็นตะกอน (Precipitate) ที่ไม่ละลายน้ำ การกำจัดคอลลอยด์โดยกลไกแบบนี้มักเรียกว่าเป็น Sweep Flocc Coagulation หรือ Sweep Coagulation

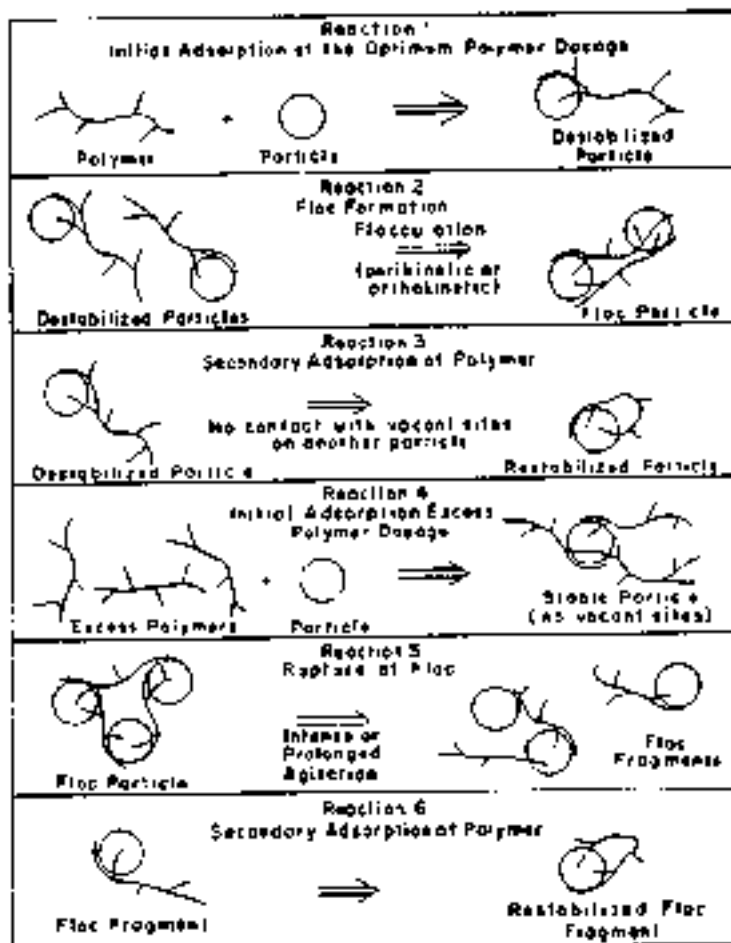
กลไกที่ใช้ผลึกสารอนินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรกคือ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum Doseage) จะแปรผัน/เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของคอลลอยด์ กล่าวคือน้ำที่มีความขุ่นน้อยจะต้องใช้โคแอกกูแลนต์ที่จำนวนมากระยะจะเกิดโคแอกกูเลชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนต์ที่น้อยกว่า เหตุผลคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการหาสารเสถียรภาพของคอลลอยด์ จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม โคแอกกูเลชันอาจไม่เกิดได้ก็ต่อเมื่อ การใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมาก ๆ สำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคของคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่มีน้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสจะสูงมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกเท่าในการสังเคราะห์

เนื่องจากกลไกแบบนี้สามารถไม่จำเป็นต่อของพิกเมนต์ประจุที่มีสีของ อนุภาคคอลลอยด์ โคแอกกูเลชันจึงไม่จำเป็นต่อจะเกิดขึ้นในระยะเวลาที่สั้นที่สุด อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ตาม ดีเอชบีหรือสารที่คล้ายคลึงกับกลไกแบบนี้ เพื่อลดความผันผวนระหว่างสีของและความสามารถในการตกผลึกของสารต่าง ๆ โคแอกกูแลนต์ที่น้อยจะดีระดับที่เองที่เหมาะสมที่จุดแตกต่างกัน โคแอกกูเลชันที่เกิดขึ้นในกระบวนการประยุกต์ใช้กลไกแบบ Sweep Coagulation ไม่ว่าจะใช้สารส้มหรือสารประกอบเหล็กเป็นโคแอกกูแลนต์ก็ตาม ภาพที่ 8.8 ค. ด้านขวา เป็นโคแอกกูเลชันที่เกิดขึ้นโดยใช้ $Al(OH)_3$ และถือว่าเป็นกลไกแบบที่สามนี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ต้องใช้สารส้มมากกว่ากลไกแบบที่สอง

๘.๒.๔ โทษการใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคของแข็ง

สารประกอบหลายสารชนิดหลายชนิด เช่น แป้ง, เซลลูโลส, น้ำตาลบางชนิดและโปรตีนบางชนิด รวมถึงสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถมีสมบัติแยกคุณสมบัติในการกำจัดคอลลอยด์ได้ สารเหล่านี้มักมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า โมเลกุลโพลิเมอร์ประจำตัวอาจเป็นพวก คย. หรือไม่มีประจุเลยก็ได้

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งกล่าวไว้ข้างต้นสามารถทำได้โดยกลไกที่กล่าวมาแล้วทั้งสามแบบ แต่สามารถอธิบายได้โดยโมเดลที่เรียกว่า Polymer Bridging (ดูภาพที่ ๘.๗) ความถูกต้องของโมเดลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่งดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 1 ของภาพที่ ๘.๗ การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกับของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized Particle) อนุภาคดังกล่าวจะสามารถจับตัวกับอนุภาคอื่น ๆ โดยที่โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (ดูปฏิกิริยาที่ 2) การต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์จะเกิดขึ้นได้ทราบเท่าที่มีโพลีเมอร์และตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค ถ้าหลายอิสระของโพลีเมอร์ ไม่มีที่จะเกาะจับบนอนุภาคอื่น (ไม่ว่าจะด้วยเหตุผลใดก็ตาม) ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคอื่น (ดูปฏิกิริยาที่ 3) ทำให้เสียประจุลบ ๒ ประการ คือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่น และทำให้มีจำนวนว่างบนอนุภาค สำหรับยึดเกาะกับอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่ง จนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่าง เรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle) การใช้โพลีเมอร์มาเติมไปจากข้อนี้ได้เกิดผลเสียได้ เพราะโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์คืออยู่บนอนุภาคอื่น ๆ (ดูปฏิกิริยาที่ 4) อนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ การกวนน้ำแรงเกินไปหรือพองตัวไป รบกวนเสียใจ รบกวนเสียใจ เนื่องมาจากฟลอคที่เกิดขึ้นแล้วแตกออกเป็นส่วน ๆ (ดูปฏิกิริยาที่ 5) และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอื่นเสีย (ดูปฏิกิริยาที่ 6) เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่



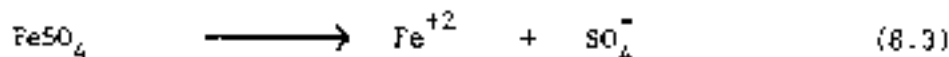
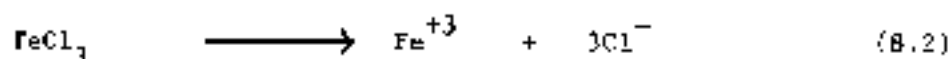
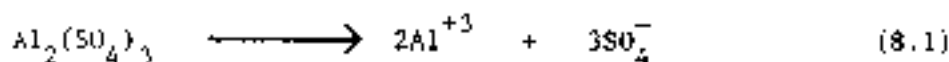
ภาพที่ ๕.7 กลไกของการทำลาย เซ็ดรฟาคของคอลลอยด์ แบบคอลลอยด์โพธิ์
แบบ (๕)

8.3 โคลอกรวมขึ้นด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก

โคลอกรวมขึ้นที่มีนิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$) และสารประกอบเหล็กบางตัว สารส้มมีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ ส่วนสารประกอบเหล็กที่มีนิยมใช้ ได้แก่ $FeCl_3$ และ $FeSO_4$ สำหรับในประเทศไทยสารส้มเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากสามารถใช้ได้กับน้ำดิบจากแหล่งต่าง ๆ และพาสีได้ดีกว่าอยู่ในราคาที่เหมาะสม

8.3.1 คุณสมบัติของสารส้มและสารประกอบเหล็กในน้ำ

เมื่อสารส้ม, เฟอริกคลอไรด์และเฟอรัสซัลเฟต ละลายน้ำจะเกิดการแตกตัวของไอออนบวกและลบเกิดขึ้น ดังนี้

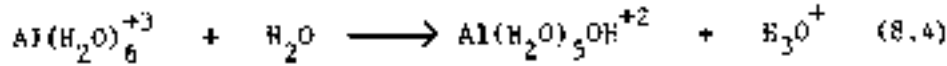


สมการที่ (8.1) ถึง (8.3) อาจทำให้เราใจถึงถึงสถานะของไอออนบวกซึ่งเป็นของโลหะของอิมันและเหล็ก ทั้งนี้เพราะไอออนของโลหะถูกประจุลบอยู่ร่วมกับน้ำและไม่สามารถดำรงอยู่ในรูปอิสระได้ ยกตัวอย่างเช่น ไอออนของอลูมิเนียมและเหล็กจะอยู่ร่วมกับน้ำ 6 โมเลกุล ดังนั้นการเขียนที่ถูกต้องจึงควรเขียนดังนี้ $Al(H_2O)_6^{+3}$ และ $Fe(H_2O)_6^{+3}$ ตามลำดับ ไอออนที่ประกอบด้วยไฮดรอกไซด์และน้ำ เรียกว่า Aque-metal Ion โมเลกุลของน้ำเรียกว่า Ligand อันนี้เพื่อความสะดวกในการเขียนบางครั้งมักใช้โมเลกุลของน้ำออกโดยถือว่าเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปอยู่แล้ว ดังนั้น $Al(H_2O)_6^{+3}$ และ $Fe(H_2O)_6^{+3}$ จึงเหลือเพียง Al^{+3} และ Fe^{+3} ตามลำดับ

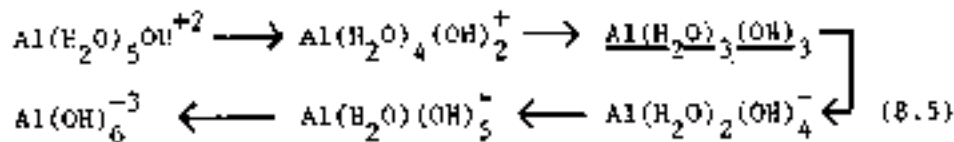
เนื่องจาก Al^{+3} และ Fe^{+3} มีอำนาจเป็นกรดซึ่งสามารถให้ H^+ ซึ่งกรวยนี้จะไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed) ให้เป็นไอออนต่าง ๆ ของอลูมิเนียมและเหล็ก ดังนี้

$$x^* = 18.2 \text{ หรือ } 18$$

OH^- เป็น Ligand ของไอออนบวกของสารตั้งต้นเป็นตัวอย่าง (สารประกอบของเหล็กแอมโมเนียมที่ละลายในน้ำ จะไม่จำเป็นต้องกล่าวถึง)

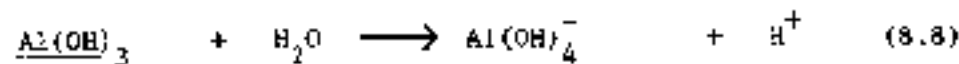
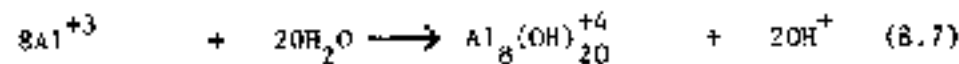
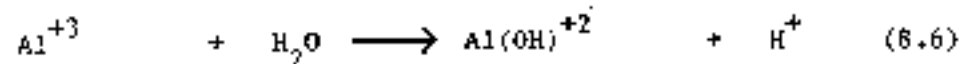


สมการ (8.4) นี้ เป็นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขั้นแรกสุด ซึ่งน้ำ โมเลกุลของ $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$ ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) หมู่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดขึ้นได้อีกต่อไป ทำให้โมเลกุลของน้ำถูกแทนที่เพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์จะเกิดขึ้นเรื่อย ๆ จนพบคนละความเป็นประจุลบ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีค่าสัมประสิทธิ์



ไอออนของเหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งหมด เป็นไอออนที่มีประจุเป็นเพียงลบเดียว และเรียกว่า Monomeric Hydroxo Complex การสังเกตว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาตามธรรมชาติจะกลายเป็นสารคอมเพล็กซ์ที่มีประจุลบมากกว่า 1 ประจุลบซึ่งเรียกว่า Polymeric Hydroxo Complex เช่น $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$ + $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ และ $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{+3}$

ในปัจจุบัน การวิจัยแสดงให้เห็นว่า สารคอมเพล็กซ์ของออลูมิเนียมในน้ำที่สังเกตได้สามารถประกอบกันของระบบประจุบวก 4 ชนิด คือ Al^{+3} , $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ และ $\text{Al}(\text{OH})_4^-$



สมการ (๘.๕) เหมือนกับสมการ (๘.๔) เพียงแต่ไม่ได้เขียนในเลขของหน้าไว้
ด้วยเท่านั้น

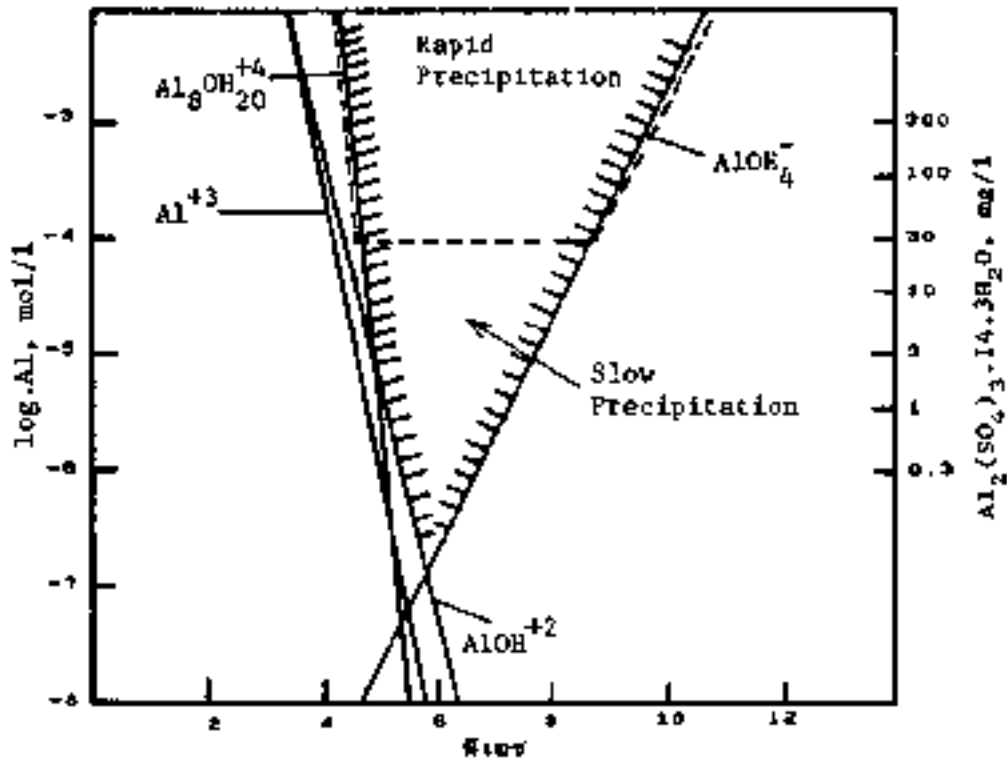
งานวิจัยเกี่ยวกับเคมีของสารส้มในน้ำ ที่กระทรวงเกษตรฯ หน้าใจได้ข้อมูลที่สำคัญ ๓
ประการคือ

๑. ไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxo Metal Complex) หรือมี
ที่จะถูกยึดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ และศักย์ไฟฟ้าประจุคอลลอยด์ ถ้าไอออนมีประจุ
ตรงกันข้ามและมากกว่าของคอลลอยด์ คอลลอยด์จะแสดงประจุเป็นตรงกันข้ามกับ
ตรงเดิม (Charge Reversal)

๒. ศีรษะของน้ำเป็นปัจจัยกำหนดความเข้มข้นและชนิด ของไอออนคอมเพล็กซ์
ต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ดูภาพที่ ๘.๘) ความสัมพันธ์
ระหว่างซีเอสและค่าความเข้มข้นของไอออนคอมเพล็กซ์ชนิดต่าง ๆ สามารถแสดงได้
ด้วยไดอะแกรมที่เรียกว่า Stability Diagram บทบาทเดียวกันนี้ ยังแสดงให้
เห็นถึงขอบเขตของการตกผลึก $Al(OH)_3$ อีกด้วย

๓. ผลึกสารส้มที่มีซีเอสเป็นกลางจะมีประจุบวก แต่จะกลายเป็นประจุลบเมื่อมี
ซีเอสเป็นค่า

ภาพที่ ๘.๘ แสดงว่าน้ำที่มีซีเอสต่ำ จะมี Al^{+3} มากที่สุด เมื่อซีเอสเพิ่มขึ้นจะได้ไอ
ออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกลดน้อยลง (ดูค่ากับของปฏิกิริยาจากสมการที่ ๘.๖)
เมื่อซีเอสเข้าใกล้ความเป็นกลาง สารประกอบ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิด
ขึ้นมากกว่าไอออนอื่น ๆ นั่นคือไม่ว่าจะเพิ่มน้ำไว้แสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ
 $Al(OH)_3$ ตามทฤษฎี อย่างไรก็ตามนักวิจัยเชื่อว่า การตกผลึกอาจเกิดขึ้นในอัตรา
ช้ามากเมื่อใช้สารส้มน้อย เนื่องจากไม่มีสารชักนำ (Seed) ดังนั้นในทางปฏิบัติ
จะต้องมีสารส้มไม่น้อยกว่า ๒๐ มก./ล. จึงจะมีผลึก $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นในอัตรา
เร็วพอสมควร (เป็นชั่วโมง) นั่นคือไม่ว่าจะแสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ-
 $Al(OH)_3$ ในทางปฏิบัติเมื่อซีเอสอยู่ในช่วงของความเป็นค่าไอออนคอมเพล็กซ์จะ



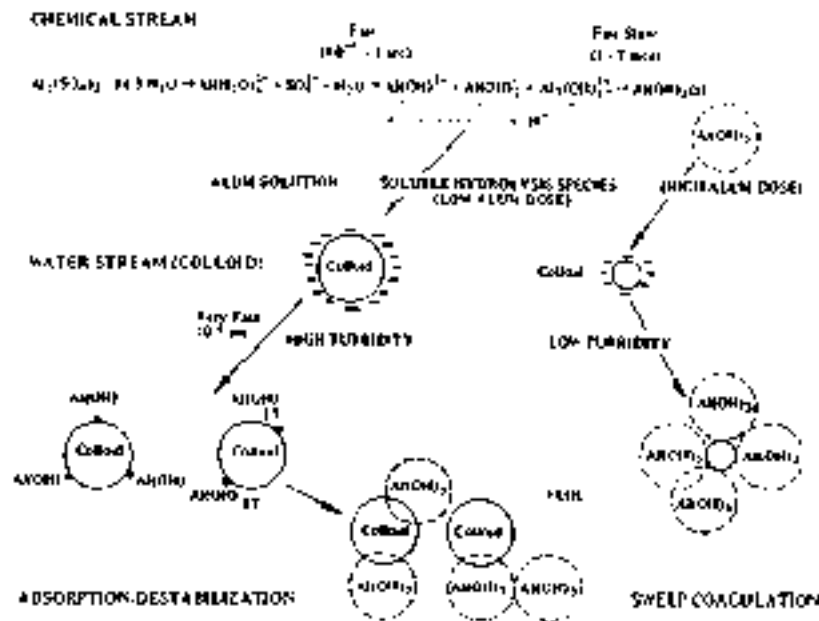
ภาพที่ ๓.๒ Stability Diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มีคาร์บอเนต พื้นที่ภายในเส้นประ เป็นบริเวณที่มีการตกตะกอนของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ เกิดขึ้นได้เร็ว ส่วนพื้นที่ภายนอกเส้นประแต่ยังพหุเสถียร มีการตกตะกอนเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (๒)

มีประจุลบ ด้วยเหตุนี้ การทำโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มให้กับน้ำตามธรรมชาติ จึงควรมีพีเอชเป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย ถ้าไม่ควรมีพีเอชค่านี้เนื่องจาก Al^{+3} ไม่ดูดซับผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นแม้ว่าจะมีประจุบวกมากก็ไม่ดีเหมือนไฮดรอกไซด์เหล็กที่เริ่มที่มีประจุลบก่อนแต่ยังคงยึดผิวอนุภาคได้ ถ้าไม่ควรมีพีเอชสูงเนื่องจากจะได้อิออนที่มีประจุลบซึ่งไม่มีประโยชน์ในการทำโคแอกกูเลชัน ให้กับคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบเหมือนกัน

๕.๑.๒ กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและสารประจุลบเหล็ก

สารส้มหรือสารประจุลบเหล็ก สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จนเกิดโคแอกกูเลชันได้ด้วยกลไกหลัก ๒ ประการ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของโคแอกกูเลนต์และพีเอชของน้ำ (เมื่อพูดถึงภาษาทางพีเอชที่มีต่อโคแอกกูเลชัน พีเอชดังกล่าวคือของเป็นของน้ำแล้วคอลลอยด์โคแอกกูเลชันแล้ว มิใช่เป็นพีเอชของน้ำก่อน เกิดปฏิกิริยา) กลไกดังกล่าวคือ กลไกแบบจุดยึดผิวและทำลายประจุ และ กลไกแบบหุ้มหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผิว หรือ Sweep Coagulation หนึ่ง ในการทำโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มหรือเหล็กของน้ำธรรมชาติ ส่วนใหญ่ใช้กลไกแบบ Sweep Coagulation เป็นกลไกหลัก โดยสารจะมีกลไกแบบจุดยึดผิวและทำลายประจุ เป็นกลไกร่วมซึ่งมีบทบาทคือพบว่า

ค่าพีเอชของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสนามการ (ส.ต) มีความสำคัญในการกำหนดกลไกของโคแอกกูเลชันเป็นอันมาก ไฮดรอกไซด์เหล็กที่มีประจุบวกทั้งหมด(ก่อนจะกลายเป็นยว $Al(OH)_3$) เกิดขึ้นได้ภายในเวลา 10^{-4} ๑ วินาที ส่วนยว $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นภายใน ๑ - ๗ วินาที ดังนั้นถ้าสามารถให้ไฮดรอกไซด์เหล็กดูดซับผิวอนุภาคคอลลอยด์ภายในเวลา 10^{-4} ๑ วินาที ทำให้ยว $Al(OH)_3$ เกิดขึ้น กลไกก็จะเน้นแบบจุดยึดผิว/ทำลายประจุ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าการดูดซับผิวไม่เกิดขึ้นภายในเวลา ๑ วินาที ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนกระทั่ง Hydroxide Complexes กลายเป็น $Al(OH)_3$ กลไกก็จะเน้นแบบ Sweep Coagulation ตามที่ ๕.๑ แสดงให้เห็นถึงกลไกที่ระบอบชนิดที่สารส้มใช้ในการสร้างโคแอกกูเลชัน



ภาพที่ ๑.๖ กลไกในการสร้างโคแอกกูแลชันด้วยสารส้มทั้ง ๒ ประเภท (๑)

๑.๖.๒.๑ กลไกโคแอกกูแลชันแบบหุกลึกลับและพลาอาปราคา

สารส้มสร้างกลไกแบบหุกลึกลับ/พลาอาปราคาโดยการแตกตัวเป็นไฮดรอกไซด์ชนิดต่าง ๆ เช่น $Al(OH)^{+2}$, $Al_3(OH)_{20}^{+4}$ ซึ่งสามารถดูดซับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์และพลาอาปราคาของคอลลอยด์ ทำให้เกิดอนุภาคขุ่นและพร้อมที่จะรวมตัวกับพลาอาปราคาจนกลายเป็นฟล็อก กลไกนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อปริมาณของสารส้มมีน้อยจนกระทั่งผลของ (Al^{+3}) และ $(OH^-)^3$ ต่ำกว่า K_{sp} และดีเอชดีจะไม่สูงหรือต่ำเกินไป กลไกแบบนี้มีข้อดีคือ เปลืองสารส้มน้อยและ

โคเอกูแลชัน (ตะกอนแขวนลอยเกิดจากฟล็อกที่ตกตะกอนลงกับถังตกตะกอน) ที่มีคุณสมบัติคือมีตัวโคเอกูแลชันและทำให้แข็งหรือแข็งเอามาออกจากถังตกตะกอนได้ง่าย ซึ่งแม้ว่ากลไกแบบฟล็อกเดียว/หลายประจุจะมีข้อดีดังกล่าว แต่ในทางปฏิบัติวิธีการกลั่นแบบแอสทิวคูลูเลชันโคเอกูแลชันมีกลไกแบบนี้มักไม่สามารถกระทำได้ ดังนั้น จึงปรากฏว่าโคเอกูแลชันส่วนใหญ่ของโลกเป็นแบบSweep Coagulation ซึ่งเกิดได้ง่ายกว่ามาก เหตุผลที่เป็นดังกล่าวอาจเนื่องมาจากว่า กลไกแบบฟล็อกเดียว/หลายประจุต้องเกิดขึ้นและเคลื่อนที่ภายในเวลา 10^{-4} วินาที โดยทบทวนเพิร์กซ์ที่มีประจุบวกต่างๆ ล่องลอยตัวอยู่ภายในเวลาดังกล่าว มีอะนียงแล้ว โดยชนคอมเพิร์กซ์ไฮโดรไลซ์ต่อไปจนเกิดเป็น $Al(OH)_3$ ทำให้เกิด Sweep Coagulation ปัจจัยที่มีผลขวางกั้นกลไกแบบแรกและสนับสนุนกลไกแบบที่สอง คือ การสัมผัสระหว่างไอออนคอมเพิร์กซ์และอนุภาคคอลลอยด์ มากที่จะทำให้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 10^{-4} วินาที และความสามารถในการละลายของ $Al(OH)_3$ อยู่ในระดับที่ $Al(OH)_3$ จะตกผลึกเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 7.5×10^{-5} มก./ล. (พีเอช 7)

๑.๑.๒.๒ กลไกโคเอกูแลชันแบบที่อนุภาคด้วยสลัก

สารตั้งต้นสร้างกลไกแบบที่อนุภาคด้วยสลักหรือ Sweep Coagulation โดยการสร้างสลัก $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะคล้ายเป็นรูท เพื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับสลัก $Al(OH)_3$ ก็จะเกาะตัวจับอยู่บนสลักนั้น เมื่อเกิดขึ้นมาก ๆ จะได้ฟล็อกขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่าย สารตั้งต้นที่ใช้ต้องมีปริมาณสูงพอจนทำให้ผลรวมของ Al^{+3} และ $(OH)^{-3}$ มีค่าเกินกว่า K_{sp} ของกรากมีที่ละลายของน้ำที่สารอยู่ในช่วง ๑ - ๗.๕ จึงจะได้ผลดีที่สุด กลไกแบบนี้เกิดขึ้นได้ง่ายกว่าแบบแรกมากแต่มีข้อเสียคือ ประสิทธิภาพและให้ผลดีจำนวนมากที่มีคุณภาพต่ำคือตัวโคเอกูแลชันนั้นจะต้องนำออกจาก

จากการรวบรวมผลการวิจัยเกี่ยวกับโคเอกูแลชันด้วยสารตั้งต้นและนำมาวิเคราะห์ Amirtharajar ได้เสนอหลักการกลั่นแบบและควบคุมโคเอกูแลชันด้วยสารตั้งต้น ดังแสดงอยู่ในภาพที่ ๑.1๐ โกละการในภาพที่ ๑.1๐ แสดงให้เห็นว่าโคเอกูแลชันด้วยกลไกแบบ Sweep Coagulation จะได้ผลดีที่สุด (Optimal) ที่

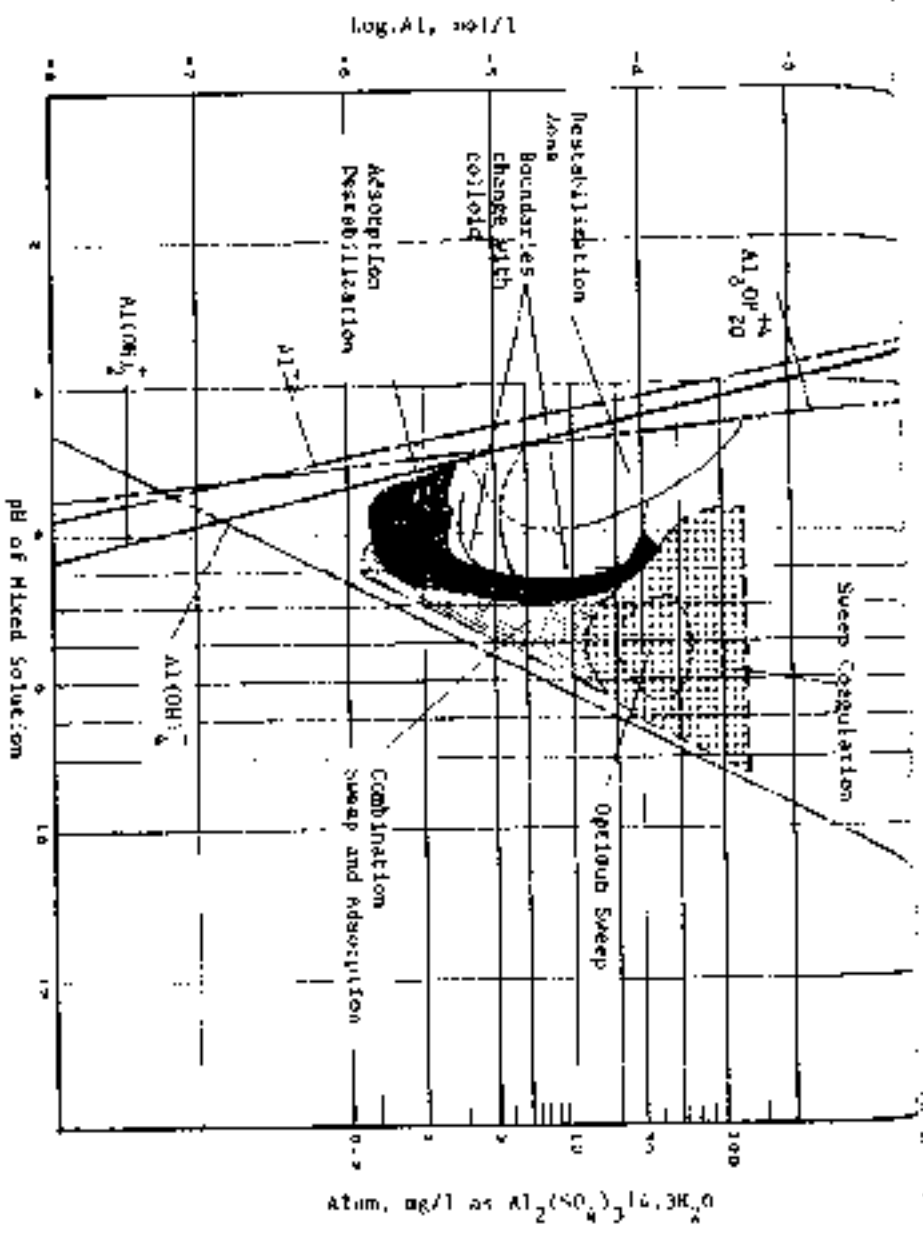


Figure 8.10 Relationship of $\log Al$ concentration and pH of mixed solution
 (From: Amirtharaja, A., and Mills, K.M., JAWWA, April 1982,
 pp. 210-216)

ดีเอส ๕.๕ ถึง ๕.๘ และใช้สารส้ม ๑๐-๑๐ มก./ล. กลไกแบบเกาะยึดตัว/ทำลายประจุของแบบผสมทำให้เกิดโคแอกกูเลชันได้คล้ายสารส้มนี้ต่ำกว่า ๑๐ มก./ล.

๕.๔ กลไกของโคแอกกูเลชันที่เกิดจากการใช้โพลีเมอร์และโคแอกกูเลชันเฮลป

โคแอกกูเลชันเฮลป (Coagulation Aid) หรือโคแอกกูแลนต์เฮลป (Coagulant Aid) หมายถึงสารที่ช่วยทำให้โคแอกกูแลนต์สร้างโคแอกกูเลชันได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างของโคแอกกูเลชันเฮลป ได้แก่ สารอินทรีย์ออร์แกนิกหรือสังเคราะห์, แอ็คติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica), ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ, ปูนขาว, ฯลฯ ในบางรูปแบบโคแอกกูเลชันเฮลปที่มีอยู่ในเวลาที่สุดจะเหมาะสมจะเป็นสารอินทรีย์-สังเคราะห์แบบต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า โพลีเมอร์ (Polymer) หรือ Polyelectrolyte สำหรับในหนังสือเล่มนี้จะขอใช้คำว่า "โพลีเมอร์" แทน "โพลีอิเล็กโทรไลต์" ตลอดไป

โคแอกกูเลชันเฮลป ยังไม่ใช่ว่าจะเป็นในการทำโคแอกกูเลชันของระบบคลอรีนบำบัดน้ำประปา ถึงแม้ว่าสารเหล่านี้ทั้งสารส้มหรือสารประกอบเหล็ก สามารถสร้างโคแอกกูเลชันให้กับน้ำที่ปนเปื้อนด้วยธรรมชาติได้โดยไม่มียาก อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งการใช้โคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียวก็อาจมีผลเพียงเล็กน้อย เช่น ในการยึบน้ำโคลนจากน้ำที่ขุ่นมาก เป็นต้น กรณีเช่นนี้การใช้โคแอกกูเลชันเฮลป เพียงเล็กน้อยอาจช่วยประหยัดค่าโคแอกกูแลนต์ได้มากตามสมควร

โคแอกกูเลชันเฮลป (Coagulation Aid) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโคแอกกูแลนต์ได้หลายทาง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเติมแอ็คติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) ซึ่งเช่นโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ ก่อนการเติมสารส้ม จะทำให้โคแอกกูเลชันของน้ำที่มีความขุ่นน้อยเกิดเร็วขึ้นได้ดี ทั้งนี้เพราะ แอ็คติเวตเต็ดซิลิกาจะช่วยให้ตัวผสมเพิ่มเสถียรกับน้ำซึ่งมีเบสเล็กน้อยไม่พบเพียง การใช้ซิลิกาในกรณีนี้ยังช่วยเพิ่มปริมาณสารส้มที่ตกลงใช้ด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ผลลัพท์เกิดเร็วขึ้นน้ำที่ตกตะกอนใหม่ ๆ ถ้าเติมแอ็คติเวตเต็ดซิลิกาหลังจากการเกิดโคแอกกูเลชันของสารส้ม ก็

จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ราคาไม่สูงเกินไปและตกตะกอนได้ง่าย ผลิตภัณฑ์จะมี ปริมาณ
เล็กน้อยที่ระดับที่เขาค่ำกว่า ๗ ทำให้สามารถใช้วิธีการ (ซึ่งมีประจุลบ) เพื่อประโชน
สิ่งกีดขวางได้ อนึ่ง คอลเลกชันที่ไว้ด้วยว่าการเพิ่มแอลกอฮอล์ ผลิตภัณฑ์พร้อม ๆ กับ
สารผสมจะไม่ได้ช่วยประโชน เนื่องจากสารทั้งสองชนิด สามารถทำปฏิกิริยากันจน
เป็นกลางและสูญเสียคุณสมบัติในตำแหน่งโหนดกฏเลข

สารประกอบชนิดอื่นที่อาจใช้เป็นตัวโหนดกฏเลขเช่น เจลาตินได้ด้วยจุดประสงค์เดียวกัน การ
เติมเติม เติมน้ำเกลือ เป็น เป้าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมากขึ้น สารอินทรีย์โพลีเมอร์
สังเคราะห์ต่าง ๆ ในการทำสายเคเบิลการผสมของผลิตภัณฑ์ สารผสม การเติมสาร
เติมมีความสำคัญมาก ทั้งไม่เติมโหนดกฏเลขอื่นอีกหรือ ทุกับสารเติมลงในปริมาณ
เล็กน้อยเท่านั้น การเติมเช่นนี้มักต้องการการคำนวณเล็กน้อย ๒ โหนดกฏอย่างอนุภาค
สารที่เป็น เป้าควรต้องเติมก่อนการเติมสารเติม ส่วนโพลีเมอร์ที่ใช้ทำสายเคเบิลการ
ของผลิตภัณฑ์ ควรจะเติมก่อนเติมสายโหนดกฏเติม

อันที่จริงแล้ว สารโพลีเมอร์อาจนำมาใช้เป็นตัวโหนดกฏแทนที่เติมก็ได้ แต่เนื่อง
จากมันมีราคาแพงกว่าสารอื่นหรือโหนดกฏแทนที่ตัวอื่น ๆ เป็นอันมาก ในทาง
ปฏิบัติจึงใช้โพลีเมอร์เป็นตัวช่วยเติมหรือเติมอนุภาคอื่น หรือสารอื่นในการสร้าง
โหนดกฏเลขอื่น ซึ่งประการหนึ่งแม้ว่าโพลีเมอร์สามารถทำสายเคเบิลการผสม
ของหมดยกได้ แต่มันก็ไม่เหมาะสำหรับใช้ตามลำพังกับน้ำที่มีความขุ่นต่ำ เนื่องจาก
โพลีเมอร์ไม่สร้างเป้าสำหรับเติมขึ้น น้ำที่มีความขุ่นต่ำจึงมีโอกาสสัมผัสกันระหว่าง
อนุภาคน้อย และไม่อาจสร้างผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ได้

โพลีเมอร์ที่ใช้เป็นตัวโหนดกฏแทนที่ ต้องสามารถเกาะติดผิวของอนุภาคความขุ่นตั้งขึ้น
จึงมักปรากฏว่า มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความเข้มข้นของความขุ่นกับปริมาณ
โพลีเมอร์ที่ใช้ในการสร้างโหนดกฏเลขอื่น กล่าวคือ ถ้าความขุ่นสูงก็ต้องการใช้โพลี-
เมอร์มาก แต่ถ้าความขุ่นต่ำก็ต้องการใช้โพลีเมอร์น้อย เป็นต้น

โพลีเมอร์สร้างโหนดกฏเลขอื่นให้กับน้ำขุ่นได้ ๒ วิธี ซึ่งส่วนที่ต้องอาศัยคุณสมบัติในการ
เกาะติดกับอนุภาคของอนุภาค วิธีแรกเป็นการทำสายประจุลบของอนุภาคของอนุภาค-

ด้วยไฟฟ้เบอร์ดที่มีประจุบวก ทำให้เสถียรภาพของคอมเพล็กซ์หมดสิ้นไป ความเป็นที่สนใจใช้ไฟฟ้เบอร์ดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลไม่ได้เก็บกักออร์บิทัลสำคัญในการสร้างโคออร์ดิเนชัน วิธีที่สองเป็นการสร้างโคออร์ดิเนชัน โดยมีไฟฟ้เบอร์ดเป็นสะพาน เชื่อมต่อระหว่างอนุภาคของคอมเพล็กซ์หลาย ๆ ตัว (ดูภาพที่ ๑.๓) ประจุของไฟฟ้เบอร์ดในการมีอิเล็กตรอนเชิงลบสำคัญ เพราะจะไม่เข้าไปเป็นพันธะกับคอมเพล็กซ์เป็นกลาง แต่สิ่งที่สำคัญคือ ไฟฟ้เบอร์ดต้องเป็นขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถทำให้เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาควางซ้อนต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีขวาง สะพานดังกล่าวต้องแข็งแรงและสามารถต้านทานแรงผลักดันระหว่างอนุภาคและคราบโปรตีน ที่เกิดจากการควบน้ำ ด้วยเหตุนี้โคออร์ดิเนชันที่เกิดจากวิธีสร้างสะพานนี้จึงต้องการไฟฟ้เบอร์ดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ

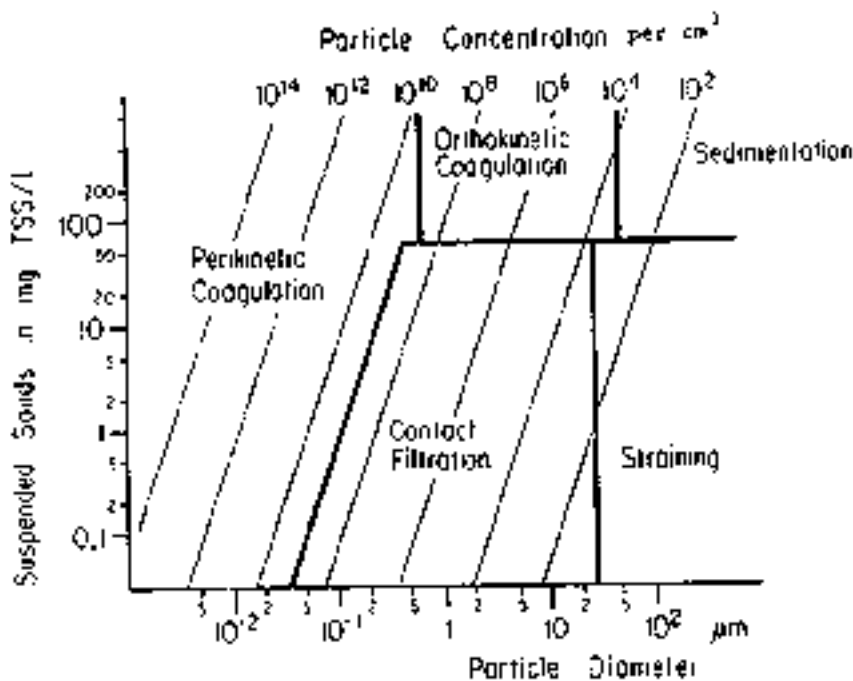
๑.๔ การสร้างกับสัณฐานว่างอนุภาคคอมเพล็กซ์เพื่อให้เกิดฟลอคคูเลชัน

ดังได้กล่าวแล้วว่า ชั้นคอมเพล็กซ์ของการทำโคออร์ดิเนชันคือการทำลายเสถียรภาพของคอมเพล็กซ์ ด้วยวิธีคอมเพล็กซ์ การทำฟลอคคูเลชัน ซึ่งเป็นการทำให้อนุภาคต่าง ๆ (แต่ละอนุภาคมีประจุหรือประจุลบ) (เรียกกว่า การสร้างสัณฐานว่างอนุภาคต่าง ๆ) อนุภาคที่สัมผัสกันแล้วจะเกิดเกาะติดกันจนเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอค จึงจะถือว่าเกิดฟลอคคูเลชัน ถ้ามีการสัมผัสระหว่างอนุภาคแต่ไม่จับตัวกัน ก็ไม่ถือว่าเกิดฟลอคคูเลชัน การสังเกตซึ่งมักเป็นเคื่องสะท้อนให้เห็นว่าการทำลายเสถียรภาพของคอมเพล็กซ์ยังไม่ได้หมดเท่าที่ควร โดยปกติ วิธีการคือว่าระบบคอมเพล็กซ์ที่มีการทำลายเสถียรภาพอย่างสมบูรณ์ จะมีประสิทธิภาพหรือความสำเร็จในการสร้างสัณฐาน (η) เท่ากับ ๑๐๐ % แต่ถ้ามีการเติมสารส้มหรือโคออร์ดิเนชันอื่น ๆ ไม่พอเพียงหรือมีเศษไม่เหมาะสม หรือสาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้มีการทำลายเสถียรภาพไม่สมบูรณ์ ความสำเร็จในการสร้างสัณฐาน (η) จะต่ำกว่าไม่ถึง ๑๐๐ % ซึ่งหมายความว่าอนุภาคที่สัมผัสกันไม่จำเป็นต้องเกาะติดกันเสมอไป

ตามที่ยุบายมาในรูปต้นนี้ อนุภาคคอมเพล็กซ์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว จะเกิดโคออร์ดิเนชันใหม่โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการทำให้อนุภาคเหล่านี้สัมผัสกัน

หรือกระบวนการอื่น วิธีสร้างสัมพัทธ์ในลักษณะต่าง ๆ มีหลายวิธีดังนี้ (ดูภาพที่ ๘.๑๑)

ก. ทำให้อนุภาคของขนาดต่าง ๆ เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัติที่นิยมมากที่สุดคือ การนำน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่าง ๆ ของน้ำมีอัตราเร็วไหลการไหลแตกต่างกัน เช่น เติมน้ำในถังขนาดต่าง ๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงเกิดการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นจะแตกและหลุดออกจากกันได้ วิธีนี้นิยมใช้ในระบบการบำบัดน้ำดื่มที่ใช้กระบวนการในการสร้างสัมพัทธ์หรือสร้างผลตะกอน เรียกว่า บึงตามน้ำ (อุปกรณ์ที่ใช้ทำโดยเฉลี่ยเรียกว่า บึงกวนเร็ว) วิธีสร้างสัมพัทธ์แบบนี้ มีชื่อเรียกว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคของขนาดที่มีผลต่อตะกอน



ภาพที่ ๘.๑๑ เขตที่เหมาะจะเหมาะสำหรับการสร้างสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคต่าง ๆ ทั้ง ๕ ประเภท

แบบของโพลิโคเนลลิตควรมีขนาดใหญ่มากว่า ๐.๑-1 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า ๕๐ มก./ล.

๘. การสัมผัสของอนุภาคของลอสต์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคของลอสต์ถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การสัมผัสแบบมีชีงนีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเป็นการเคลื่อนที่แบบความร้อน (Thermal Motion) การสัมผัสระหว่างอนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนหรืออาศัยความร้อนนี้ เรียกว่า Perikinetic Flocculation ในทางปฏิบัติ ฟิล์ออกูเลชันแบบเพอซิโคเนลลิตไม่เหมาะที่จะใช้ในการผลิตน้ำประปา เนื่องจากต้องเสียเวลานานมากเกินไป นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ในระดับไมโครเมตรแล้ว ทำให้สามารถสร้างสัมผัสให้กับลอสต์ของขนาดต่ำกว่า ๐.๑-1 ไมครอน เท่านั้น ข้อดีของการสร้างสัมผัสแบบนี้คือ ไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก

๙. การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นเนื่องจากการคกตะกอน ที่อัตราไม่เท่ากับของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ฟิล์ออกูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆกับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคของลอสต์ออกจากน้ำได้เอง อนุภาคที่สามารถสร้างฟิล์ออกูเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า ๑ ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า ๕๐ มก./ล. ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวอาจเกิดฟิล์ออกูเลชัน มาก่อนแล้วครึ่งหนึ่ง เมื่อมาถึงถึงตะกอนจึงเกิดฟิล์ออกูเลชันขึ้นอีกในขณะที่มีการคกตะกอน

๑๐. ในกรณีที่อนุภาคของลอสต์มีขนาดใหญ่กว่า ๐.๑-1 ไมครอน แต่เล็กกว่า ๑ ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟิล์ออกูเลชันอาจเกิดขึ้นได้โดยการสร้างสัมผัสแบบของโพลิโคเนลลิต แต่อาจเกิดขึ้นซ้ำเนื่องจากเอนไซม์ของแบคทีเรีย หรือไขขาวจากกระทำได้ดังนี้

๑.1 ใช้เครื่องกรองทรายแบบกรวดเร็วหรือเครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง(ทราย และถ่านแอนทราไซต์) ซึ่งกรวดเร็วจะเพิ่มอัตราการสัมผัสให้ผลดียิ่งขึ้นกับให้ผลแตกต่างเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย การใช้เครื่องกรองช่วยสร้างฟล็อกดูเรชั่นเช่นนี้เรียกว่า การกรองสัมผัส (Contact Filtration) แต่เนื่องจากการช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้ดีกับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน ๑๐ มก./ล. การใช้กรวดขนาดเล็กลงแทนทรายอาจเพิ่มปริมาณการช่องว่างได้ แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในทางฟล็อกดูเรชั่นได้ไม่เท่าชั้นทราย

๑.2 ใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้ว เป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ ๑ วิธี คือ ทำให้อัตราจับตัวกันเป็นชั้นเคลือบ (Sludge Blanket) และบังคับให้อนุภาคทดลองเคลื่อนที่ข้ามชั้นเคลือบ อีกวิธีหนึ่งสามารถกระทำได้โดย นำเอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคทดลองอย่างสิ้นเชิงจึงสร้างสัมผัสตามแบบโครโคไลต์ แคลคิไลต์ตามปกติ การใช้ถังตกตะกอนแบบโซลิดส์คอนแทกต์ (Solids Contact Clarifier) เพื่อกำจัดอนุภาคทดลอง ใช้หลักการสร้างสัมผัสตามแบบที่กล่าวนี้ (ดูรูปที่ 10)

๑. ในกรณีที่เกิดผลลบที่มีขนาดใหญ่กว่า ๑ ไมครอน แต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีการอื่นได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย เศษผลของยังยึดด้วยคลอรีนด้วย ๑.๑ จึงไม่กล่าวซ้ำอีก

ข้อที่ควรสังเกตเพิ่มเติม ในขนาดการสร้างสัมผัสให้กับอนุภาคทดลองอาจมีวิธีใหม่ ๆ เกิดขึ้นและผลมาออกมาเป็นอุปกรณ์แบบแปลก ๆ แต่สิ่งที่ยังเหมือนเดิมคือ หลักการและวัตถุประสงค์ของการสัมผัส ในสหรัฐอเมริกา ความนิยมใช้ถังตกตะกอนแบบโซลิดส์คอนแทกต์มีน้อย ทำให้การเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับฟล็อกดูเรชั่นที่สร้างขึ้นด้วยวิธีในบท ๓. และ ๑. มีน้อยตามไปด้วย ผู้ที่ศึกษามาจากตำราที่แต่งโดยชาวอเมริกันจึงมักจะมีความรู้จำกัดมากในด้านฟล็อกดูเรชั่นแบบอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากแบบลงบนตา (ซึ่งพบทั้งแบบถังกรวดน้ำ) ในทางตรงกันข้ามวิศวกรชาวยุโรปนิยมใช้ถังโซลิดส์คอนแทกต์มาก และมีแนวโน้มจะพัฒนาระบบฟล็อกดูเรชั่นแบบใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้อีกด้วย

๘.๓.๑ ผลึกตกตะกอนแบบเพอริไคเนติก (Perikinetic Flocculation)

อัตราการจำนวนอนุภาคที่เป็นผลมาจากผลึกตกตะกอนแบบเพอริไคเนติก, J_{pk} , สามารถแสดงเป็นสมการได้ ดังนี้ (๘)

$$J_{pk} = dN/dt = -4n\bar{k} TN^2/3\mu \quad (8.9)$$

- โดยที่ N = จำนวนอนุภาคหนอมสมบคั่นชนิดนิพท
 n = ประสิทธิภาพหรือความสำเร็จในการจับคู่ (ซึ่งทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคเกิดขึ้น) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1
 \bar{k} = Boltzmann's Constant = 1.38×10^{-16} erg/°K
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (°K) = $273 + t$ °C
 μ = ความหนืดของน้ำ (Absolute Viscosity), กรัม/ ซม.วินาที.

สมการที่ ๘.๙ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$N' = N_0 / (1 + (4n\bar{k} TN_0/3\mu)t) \quad (8.10)$$

- โดยที่ N_0 = ความเข้มข้นของอนุภาคที่เวลา $t = 0$
 t = เวลาในการที่ผลึกตกตะกอน (วินาที)
 ถ้าให้ $t_{1/2}$ = เวลาที่ใช้ในการทำให้จำนวนอนุภาคลดเหลือครึ่งหนึ่ง หรือ $N = 1/2 N_0$

สมการ (๘.๑๐) จะกลายเป็น

$$1/2 N_0 = N_0 / (1 + (4n\bar{k} TN_0/3\mu)t_{1/2})$$

$$\text{หรือ } 1/2 (1 + (4n\bar{k} TN_0/3\mu)t_{1/2}) = 1$$

$$\text{จะได้ } t_{1/2} = 3\mu / 4n\bar{k} TN_0 \quad (8.11)$$

แทนค่าสมการ ๘.๑๑ ลงในสมการ ๘.๑๐ จะได้

$$N = N_0 / \{ 1 + (c / c_{1/2}) \} \quad (8-12)$$

ตัวอย่างที่ 8.1 จงหาค่า $c_{1/2}$ สำหรับเนื้องอกที่มีอุณหภูมิ 25°C ในเมื่อ $\mu = 0.8953 \times 10^{-2}$ ปร./ชม.-¹ . $k = 1.38 \times 10^{-16}$ erg/°K

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ 8.11} \quad c_{1/2} &= 3c/4 \ln N_0 \\ &= 3 \times 0.8953 \times 10^{-2} / 4 \times 1.38 \times 10^{-16} \times (273+25) N_0 \\ &= 1.63 \times 10^{11} / N_0 \end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่ 8.1 จะเห็นได้ว่า เวลาที่ต้องการในการทำให้อนุภาคเหลือครึ่งหนึ่ง ($c_{1/2}$) แปรผกผันกับ N_0 และ μ

ตัวอย่างที่ 8.2 จากตัวอย่างที่ 8.1 จงหาค่า $c_{1/2}$ เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์เฉลี่ยในลักษณะที่กล่าวถึง 10,000 ตัว/มส. ในเมื่อการทำลายเซลล์จากของพิษของยีนเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ($\gamma = 1$)

$$\text{จาก} \quad c_{1/2} = 1.63 \times 10^{11} / N_0 \tau$$

$$\text{เนื่องจาก} \quad N_0 = 10,000 \quad \text{ตัว/มส.}$$

$$\gamma = 1$$

$$c_{1/2} = 1.63 \times 10^{11} / 1 \times 10,000$$

$$= 1.63 \times 10^7 \quad \text{ชม.}$$

$$= 1.63 \times 10^7 / 60 \times 60 \times 24 = 190 \quad \text{วัน}$$

8.5 > ผลต่ออุณหภูมิต่อแบบจำลองโลกแบบดิค

ในหลาย ๆ โอกาสปรากฏว่าการรวมน้ำสามารถส่งเสริมให้กับภาคคอลลอยด์รวมทั้งตัว
 กับในผลึก การรวมน้ำทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำที่จุดต่าง ๆ และในเวลาต่าง ๆ
 มีอัตราเร็วไม่เท่ากัน อัตราเร็วที่แตกต่างกันของน้ำที่จุดต่าง ๆ ทำให้มีน้ำที่มีความเป็น
 อนุวซึ่งสามารถวัดได้ด้วยพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ความเร็วการเคลื่อนที่ (Velocity
 Gradient) หรือเขียนสั้น ๆ ว่า "G" อนุภาคต่าง ๆ ซึ่งเคลื่อนที่ไปตามกระแส
 และน้ำจึงมีอัตราเร็วแตกต่างกันไปด้วย โอกาสสืบสืบจึงมีมาก

สำหรับระบบคอลลอยด์ที่มีอนุภาคขนาดเดียวกันทั้งหมด อัตราการลดของจำนวน-
 อนุภาคเนื่องจากเกิดการสืบสืบคือพารามิเตอร์ที่เรียกว่าโลกแบบดิค J_{ok} สามารถ
 เขียนแทนได้โดยสมการ (8.9) ดังนี้

$$J_{ok} = dN/dt = -2 \eta G d^3 N^2 / 3 \quad (8.13)$$

ในเมื่อ d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคคอลลอยด์ (ซม.)
 G = ความเร็วการเคลื่อนที่ (วท.⁻¹)

อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ที่เกิดแบบเอกพจน์โลกแบบดิคและแบบพหุพจน์
 ดิค สามารถหาได้จากสมการ (8.9) และ (8.13) ดังนี้

$$\begin{aligned} J_{ok} / J_{pk} &= (-2 \eta G d^3 N^2 / 3) / (-4 \eta \bar{k} T N^2 / 3 \mu) \\ &= \mu G d^3 / 2 \bar{k} T \end{aligned} \quad (8.14)$$

ถ้าอนุภาคคอลลอยด์มีขนาด 0.1 ไมครอน (μ) ที่อุณหภูมิ 25°C J_{ok} จะเท่ากับ
 J_{pk} เมื่อ G มีค่าสูงถึง 10,000 วท.⁻¹ แต่ในทางปฏิบัติ การทำให้ G มีค่าสูง
 เช่นนั้นด้วยอุปกรณ์ธรรมดาไม่ใช่เรื่องง่าย ดังนั้น J_{ok} จึงมีค่าน้อยกว่า (บทบาท

น้อยกว่า J_{pk} เป็นขีด ระบบผลลดยศที่มีอนุภาคขนาดเล็กน้อย (เช่น เหนือหรือต่ำกว่า 1μ) ผลลัพธ์เช่นระบบเทอร์มิโคเนติกจะมีความละเอียดมากกว่า และไม่จำเป็นต้องสร้างฟอสฟอรัสและระบบออร์โธโคเนติกได้รับระบบผลลดยศ อย่างไรก็ตาม ถ้าอนุภาคมีขนาด 1μ J_{ok} จะดีกว่าเท่ากับหรือสูงกว่า J_{pk} เมื่อ 0 มีค่าเท่ากันหรือมากกว่า 10 วัต.^{-1} ทั้งนี้ในการใช้ฟอสฟอรัสและเทอร์มิโคเนติกเป็นแบบออร์โธโคเนติกมากกว่าแบบเทอร์มิโคเนติก ซึ่งอาจสรุปได้ว่า ระบบผลลดยศขนาดเล็กต้องสร้างให้มีขนาดใหญ่อีก 1 ไมครอน ด้วยฟอสฟอรัสและเทอร์มิโคเนติกเพียงก่อน จากที่มีถึง 1 ไมครอน เพื่อให้ได้เกิดฟอสฟอรัสและเทอร์มิโคเนติกของอนุภาคขนาด 2 ไมครอน

สารบัญเฉพาะบทที่ ๑

ขบวนการโคเอกกูเลชัน 2: ทัศนะทพวิศวกกรรณศำลลธ

๑.1	ความสำคัญของโคเอกกูเลชัน	238
๑.2	ส่วนประกอบของขบวนการโคเอกกูเลชัน	240
๑.3	สารเคมีที่ใช้ในขบวนการโคเอกกูเลชัน	242
๑.3.1	การใช้สารส้มร่วมกับปูนขาว	243
๑.3.2	การใช้สารส้มร่วมกับโซดาแอช (โซดาซักผ้า)	243
๑.3.3	การใช้เฟรซซิด เฟคและปูนขาว	244
๑.3.4	การใช้เฟรคคอลลอยด์	244
๑.3.5	การใช้เฟรซซิด เฟคร่วมกับกะอิม	245
๑.3.6	การใช้ $MgCO_3$ และปูนขาว	245
๑.3.7	การใช้โคเอกกูเลชันที่เอค	248
๑.4	การเลือกสารโคเอกกูเลชัน	248
๑.4.1	สารเคมีสำหรับกำจัดความขุ่น	248
๑.4.1.1	สารเคมีสำหรับน้ำที่ขุ่นมากและมีความเป็นค้ำสูง	248
๑.4.1.2	สารเคมีสำหรับน้ำที่ขุ่นสูงแต่มีความเป็นค้ำต่ำ	249
๑.4.1.3	สารเคมีสำหรับน้ำที่ขุ่นน้อยแต่มีความเป็นค้ำสูง	249
๑.4.1.4	สารเคมีสำหรับน้ำที่ขุ่นน้อยและมีความเป็นค้ำน้อย	250
๑.4.2	โคเอกกูเลชันสำหรับกำจัดสี	260
๑.4.3	โคเอกกูเลชันสำหรับกำจัดความขุ่นและสีพร้อมกัน	261

๑.๕	การควบคุมขบวนการโค่นถล่มเขื่อน	๒๕๕
๑.๕.๑	การควบคุมด้วยวิธีจาระเขนง	๒๕๖
๑.๕.๒	การควบคุมโดยวิธีสควิปเพนเฮล	๒๕๗
๑.๖	การออกแบบเชิงความเร็ว	๒๕๗
๑.๖.๑	ทฤษฎีเคอร์สำหรับออกแบบและควบคุมเชิงความเร็ว	๒๖๓
๑.๖.๒	การออกแบบเชิงความเร็วที่ใช้ในพักกวนน้ำแบบธรรมดา	๒๖๖
๑.๖.๓	การออกแบบเชิงกวนน้ำแบบ Hydraulic Jump	๒๖๘
๑.๖.๔	การออกแบบระบบกวนน้ำแบบสมัยใหม่	๒๗๐
๑.๖.๕	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ	๒๗๐
๑.๖.๕	ตัวอย่างการออกแบบเชิงความเร็ว	๒๗๑
๑.๗	การออกแบบเชิงกวนช้า	๒๗๕
๑.๗.๑	หลักการสำหรับออกแบบเชิงกวนช้า	๒๗๗
๑.๗.๒	ประเภทของกวนช้า	๒๗๘
๑.๗.๒.๑	กวนช้าที่ใช้ใบพัด	๒๗๘
๑.๗.๒.๒	กวนช้าแบบใช้แผ่นกั้นน้ำ	๒๘๒
๑.๗.๓	ข้อมูลที่ติดข้องการสำหรับการออกแบบ	๒๘๕
๑.๗.๔	ตัวอย่างการออกแบบ	๒๘๕

บทที่ ๑

ขบวนการโคแอกกูเลชัน 2: ทัศนภาพวิเศษกรรมศาสตร์

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ ๑ ว่า โคนอกกูเลชันเป็นขบวนการที่ทวีโต อนุภาคคอลลอยด์ (ความขุ่น) ค้าง ๆ รวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และกระจายไปพร้อม ๆ การกำจัดฟlocsออกจากน้ำสามารถกระทำได้โดยใช้ถังตกตะกอนและ/หรือถังกรอง โคนอกกูเลชันจึงเป็นการเตรียมน้ำก่อนการตกตะกอนหรือการกรอง

๑.1 ความสำคัญของโคแอกกูเลชัน

สารแขวนลอยในน้ำที่มีขนาดใหญ่ อาจแยกออกจากน้ำได้ด้วยวิธีตกตะกอน หรือวิธีการอื่น หรือทั้งสองวิธีด้วยกัน แต่วิธีดังกล่าวมักใช้ไม่ได้ผลกับสารแขวนลอยขนาดเล็ก เช่นอนุภาคคอลลอยด์ น้ำธรรมชาติที่มีความขุ่นโดยเฉพาะน้ำดิบมี มีคอลลอยด์ โคนอกกูเลชันก่อนการตกตะกอนหรือการกรอง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการตกตะกอนให้ดีขึ้น เช่น ทำให้สารแขวนลอยมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือทำให้จับสารกรองได้ดี เป็นต้น เนื่องจากธรรมชาติของสารแขวนลอยขนาดเล็กหรืออนุภาคคอลลอยด์ประกอบด้วยสารประเภทต่าง ๆ โคนอกกูเลชันจึงมีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารแขวนลอยต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำ จากการศึกษาวิจัย ปรากฏว่าโคแอกกูเลชันตามด้วยขบวนการตกตะกอนและขบวนการกรองน้ำสามารถกำจัดสารดังกล่าวไปได้

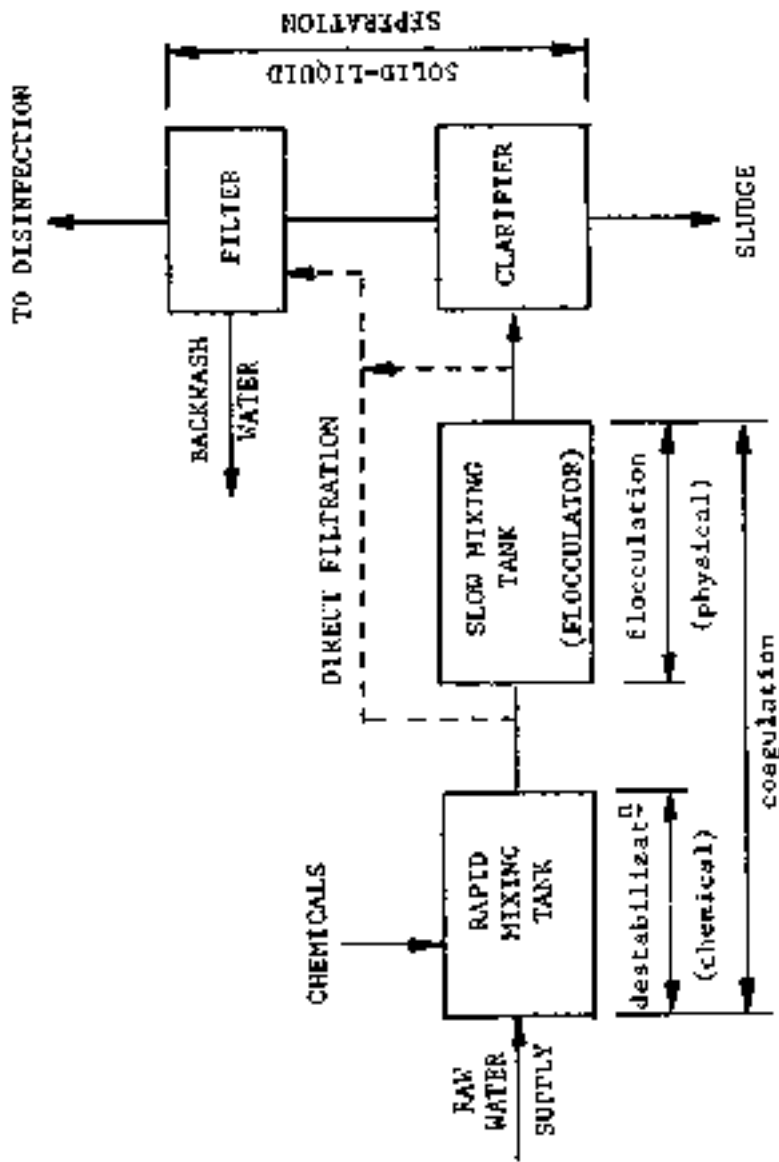
- ก. อนุภาคคอลลอยด์ที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น สิมเทนิลวประเภทต่าง ๆ
- ข. โยหิน (Asbestos) ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นพิษเหตุฉุนตึงที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง

- ค. สีและสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็กอื่น ๆ เช่น กรดฮิวมิก (Humic Acid)
- ง. สาทรงเยลลี่ และจุลินทรีย์อื่น ๆ
- จ. สารเคมีที่มีสังเคราะห์ที่เป็นพิษ เช่น PC3, DDT

๑.2 ส่วนประกอบของขบวนการโคแอกกูเลชัน

ในขั้นตอนของรีaktor ขบวนการโคแอกกูเลชันมีส่วนประกอบสำคัญ 2 อย่าง (ดูภาพที่ ๑.1) คือ ถังรวมเร็ว (Rapid Mixing Tank) และถังรวมช้า (Flocculation Tank) ถังรวมเร็วซึ่งมีการเติมโคแอกกูแลนต์ จะทำหน้าที่กระจายสารเคมีไปให้ส่วนต่าง ๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างอนุภาคโคลลอยด์เกิดขึ้น ถังรวมช้าซึ่งได้รับน้ำต่อจากถังรวมเร็ว มีหน้าที่สร้างสัมพันธภาพกับอนุภาคของโคลลอยด์ (ซึ่งถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว) เพื่อให้รวมตัวกันเป็นก้อน

ภาพที่ ๑.1 เป็นแผนภาพแสดงเพิ่มเติมทางไหลของน้ำและส่วนประกอบต่าง ๆ ของขบวนการโคแอกกูเลชัน น้ำดิบถูกส่งไปยังถังรวมเร็วซึ่งมีการเติมสารเคมีเพื่อทำลายเสถียรภาพของโคลลอยด์ การกวนน้ำจะเกิดอย่างรุนแรง แต่มีเวลาน้อยมาก (เช่น ประมาณ ๑ นาที หรือน้อยกว่า) โดยปกติมักใช้ถังรวมเร็วเพียงใบเดียว แต่บางครั้งอาจใช้ถังรวมเร็ว 2 ใบ คือก่อนอย่างอนุกรมเมื่อจะขาดต้องเติมสารเคมีหลายชนิดซึ่งไม่สามารถเติมพร้อมกันได้ การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) จะเกิดขึ้นรวดเร็วมาก และต้องให้เกิดได้อย่างสมบูรณ์ภายในถังรวมเร็ว น้ำที่มีอนุภาคซึ่งปราศจากเสถียรภาพแล้วจะถูกส่งไปยังถังรวมช้า เพื่อสร้างโอกาสสัมพันธภาพกับอนุภาคเหล่านี้ ภายในถังรวมช้าการกวนน้ำกระทำโดยใช้ใบพัดที่หมุนด้วยความเร็วต่ำ ทำให้ความปั่นป่วนเกิดขึ้นน้อย สารเคมี เช่น สารส้ม ซึ่งเติมลงในถังรวมเร็วจะช่วยทำให้โคลลอยด์ซึ่งสัมผัสกัน เกิดการเกาะจับกันจนกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ อนุภาคที่รวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ จนสามารถมองเห็นรูปร่าง ๑ มิติได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่าเรียกว่า ฟลอค (Floc) โดยปกติ



ภาพ ๑.๑ ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระบวนการบำบัดน้ำดื่ม

การรวมน้ำอีกกระทำโดยใช้ใบพัดแบบบางครึ่งอาจกระทำโดยอาศัยแอมป์กับน้ำหลาย ๆ แอมป์ หรือใช้วิธีอื่น ๆ

แม้ว่าถึงภาวะเร็วและถึงภาวะช้า ทำให้เกิดการรวมตัวของคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่มาก แต่การตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้นภายในถังทั้งสอง การกำจัดความขุ่นจะเป็นหน้าที่ของถังตกตะกอนและถังกรองซึ่งตามมาทีหลัง ตะกอนที่ถูกกำจัดออกไปนั้น เป็นอนุภาคของของแข็งที่อยู่ในน้ำรวมกับสารเคมีที่เติมในถังรวมเร็วด้วย ตะกอนเหล่านี้ถูกกำจัดออกจากโรงบำบัดประปาทางก้นถังตกตะกอนเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนจะออกไปกับน้ำล้างเครื่องกรอง หรือจากถังกรองน้ำจะตกตะกอนลงสู่ก้นถังตกตะกอนและตะกอนตัวจมู้นั้นกระเบื้องมีการระบายทิ้ง ตะกอนที่สะสมตัวนี้ มีลักษณะคล้ายดิน หรือโคลนซึ่งเรียกว่า สลัดจ์ (Sludge) ผลิตบางส่วน (น้อยมาก) ไม่ตกตะกอนซึ่งไหลไปเข้าถังกรองพร้อมกันน้ำที่ล้นจากถังตกตะกอน และถูกกรองออกด้วยชั้นทรายหรือสารกรองอื่น

๑.๖ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน เรียกว่า โคนอกกูแลนต์ (Coagulant) หรืออาจเรียกว่า ฟลอคคูแลนต์ (Flocculant) สารเคมีซึ่งช่วยทำให้โคแอกกูแลนต์มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น เรียกว่า โคนอกกูแลนต์เอซ (Coagulant aid) หรือฟลอคคูแลนต์เอซ (Flocculant aid) สารเคมีบางชนิดใช้เพื่อเพิ่มค่าพีเอช

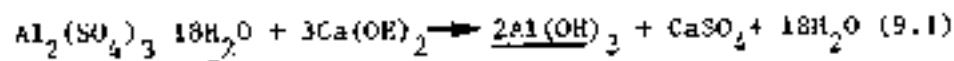
โคแอกกูแลนต์ที่มีอนไฮดรอกไซด์มากที่สุดคือ สารส้ม ซึ่งเป็นสารประกอบของธาตุสังกะสีที่มีสูตรเคมีคือ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3H_2O$ (Aluminium Sulfate) สารเคมีที่ได้รับการยอมรับของอนไฮดรอกไซด์ สารประกอบของเหล็กเช่น $FeCl_3$ เป็นต้น โคนอกกูแลนต์เอซที่ได้รับการยอมรับมากในปัจจุบันคือ สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ ซึ่งเรียกว่า Polyelectrolyte หรือบางครั้งเรียกสั้นๆว่า โพลีเมอร์ (Poly-

ner) สารชนิดนี้มีราคาต่อหน่วยน้ำหนักแพงกว่าสารส้มหรือโคแอกกูแลนต์อื่นเป็น
 ติ่มาก แต่มีข้อดีอย่างใดก็ตามที่มีน้ำหนักหน่วยใหญ่ไม่ต้องใช้สารโพสิเมอร์จำนวนมาก การใช้
 สารชนิดนี้จึงตั้งอยู่ในวิธีอื่นที่เป็นไปได้โดยการผลิตน้ำประปา

เมื่อเติมสารโคแอกกูแลนต์ลงในน้ำ มันจะแตกตัวกลายเป็นไอออนบวกและลบที่
 มีวาเลนซ์ (Valence) สูง ไอออนบวกสามารถทำปฏิกิริยากับ OH^- ทำให้
 เกิดคอมเพล็กซ์ของสารประกอบไฮดรอกไซด์ซึ่งมีประจุบวก สารไฮดรอกไซด์นี้
 สามารถจับตัวกับอนุภาคความขุ่นซึ่งมีประจุลบ ทำให้ความขุ่นกลายเป็นกลางซึ่งทำ
 กับเป็นการทำลายเสถียรภาพให้กับความขุ่นนั่นเอง

๑.๓.๑ การใส่สารส้มร่วมกับปูนขาว

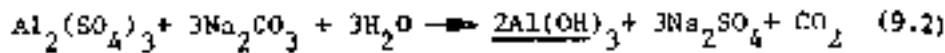
สารส้มอาจใช้แทนโคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียวก็ได้ถ้ามีลักษณะที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม
 ไรก็ตาม เมื่อระดับความเป็นด่างของน้ำมีค่าต่ำเกินไป การเติมปูนขาวหรือค่าขจัด
 สิ้นก็เหมาะสมจำเป็น มีฉะนั้นแล้วสารส้มจะทำให้มีเศษของน้ำตกค้างกระทั้งโคแอก-
 กูแลนต์เกิดไม่โคई ปฏิกิริยาระหว่างสารส้มและปูนขาว เป็นดังนี้คือ



จะเห็นได้ว่า การใส่ปูนขาวมีผลเสียเกิดขึ้น คือทำให้เกิดความกระด้างของ
 (CaSO_4) ในน้ำ

๑.๓.๒ การใส่สารส้มร่วมกับโซดาแอช (โซดาซักผ้า)

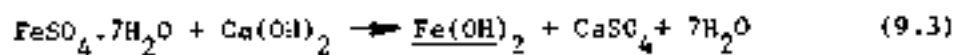
หากไม่ใช้ปูนขาว อาจใส่โซดาแอช (Na_2CO_3) แทนก็ได้ ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง
 สารส้มและโซดาแอช มีดังนี้



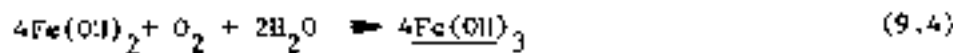
ค่าพจน์ในปฏิกิริยานี้จะไม่มีความกระเทาะเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ดี ไซคลานของปริมาณมากกว่าปูนขาวหลายเท่า ดังนั้นการใช้ไซคลานของชนหมู่ปูนขาวจึงมีข้อจำกัด

๑.๓.๓ การใช้เฟรซซัลเฟตและปูนขาว

เฟรซซัลเฟต (FeSO_4) หรือ Coppera อาจใช้แทนสารส้มได้เป็นอย่างดี ปฏิกริยาระหว่างเฟรซซัลเฟตและปูนขาว จะเป็นดังนี้



ถ้ามีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำ ปฏิกริยาระหว่าง $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และ O_2 จะเกิดขึ้น

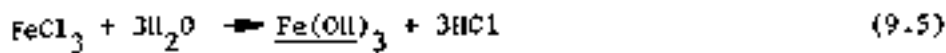


ผลึก $\text{Fe}(\text{OH})_3$ มีเนื้อแน่น และตกตะกอนได้เร็วซึ่งนับเป็นข้อดี อย่างไรก็ตามการใช้เฟรซซัลเฟต ต้องมีการควบคุมปริมาณปูนขาวอย่างถูกต้อง ถ้าเติมปูนขาวมากเกินไปจนความขุ่นเป็นขางมีการตกผลึกของหินปูน เกิดขึ้นภายในท่อส่งน้ำและจ่ายน้ำ เพราะปูนขาวทำปฏิกิริยากับสารโบคาร์บอเนต ทำให้เกิดหินปูนซึ่งตกผลึกได้ง่ายที่วาล์วประตูน้ำ เฟรซซัลเฟตซึ่งเหมาะสำหรับใช้กับน้ำจืดรวมชาติ ที่มีสารโบคาร์บอเนต (ค่าสูง) หรือเสี่ยงทำให้ไม่ต้องมีการเติมปูนขาว

๑.๓.๔ การใช้เฟรซซัลเฟต

การสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม ไม่อาจได้ผลดีเท่ากับน้ำอ่อนที่มีซีซีเอ็ม กรณีเช่นนี้

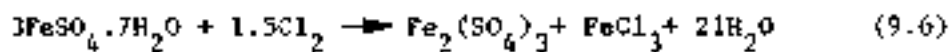
เฟอริกคลอไรด์ได้ผลดีกว่า เมื่อเติมเฟอริกคลอไรด์ในกับน้ำ จะมีผลดีเฟอริกไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น ดังนี้



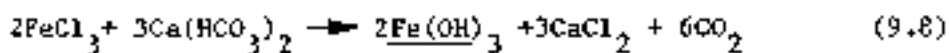
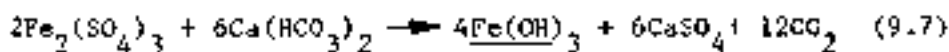
ข้อดีอีกประการหนึ่งของสารเคมีนี้ คือ สามารถสร้างโคแอกกูเลชันกับน้ำที่มี H_2S ได้ดี

๑.๑.๗ การใช้เฟอริคไซด์เฟอริกคลอไรด์

ปฏิกิริยาระหว่างเฟอริคไซด์เฟอริกคลอไรด์ เหล็กไดออกไซด์ FeCl_3 และ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ซึ่งรู้จักกันในชื่อสารเคมีว่า Chlorinated Coppera เป็นสารโคแอกกูเลชันที่ได้นอกนี้



เฟอริคไซด์เฟอริกคลอไรด์ ทำปฏิกิริยากับน้ำได้น้ำดังนี้

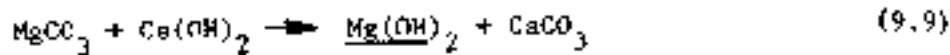


ข้อดีของการใช้ Chlorinated Coppera คือ ทำได้ไม่ยุ่งยากและสามารถผลิตในช่วงที่มีของบวมเพิ่มขึ้นกว่าการใช้สารประกอบเหล็กตัวใดตัวหนึ่งเพียงอย่างเดียว

๑.๑.๘ การใช้ MgCO_3 และปูนขาว

การใช้ MgCO_3 และปูนขาว เป็นโคแอกกูเลชันในการผลิตน้ำประปา นับเป็นการดี

ค่อนข้างใหม่ในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม การเติมปูนขาวผสมกับ $MgCO_3$ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ $Mg(OH)_2$ ซึ่งมีลักษณะเป็นปุ๋ยคล้ายกับปูนของ $Al(OH)_3$ แต่มีน้ำหนักมากกว่า



โรงงานผลิตน้ำประปาบางแห่งในสหรัฐอเมริกา ได้มีการใช้ $MgCO_3$ แทนสารส้ม ทำให้เกิดข้อดีหลายประการ เช่น ทำให้ลดปัญหาในเรื่องการกำจัดกากตะกอนที่เป็นผลของขบวนการโคแอกกูเลชัน ทั้งนี้เพราะตะกอน $Mg(OH)_2$ สามารถเปลี่ยนกลับมาเป็น $MgCO_3$ และนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ได้ใหม่ นอกจากนี้ ในบางกรณี $MgCO_3$ ยังสามารถลดความกระด้างให้กับน้ำได้ด้วย

๙.๙.๗ การใช้โคแอกกูแลนต์เอด

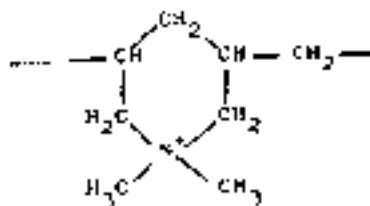
สารเคมีที่เติมพร้อม ๆ กับโคแอกกูแลนต์เพื่อช่วยให้เกิดโคแอกกูเลชันได้ดียิ่งขึ้นเรียกว่า โคแอกกูแลนต์เอด (Coagulant Aid) สารเคมีที่สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดมีหลายชนิดซึ่งแตกต่างกันอย่างกว้างขวางแต่สารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ แอกทีเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica), สารอินทรีย์โพลีเมอร์ต่าง ๆ, สิมเพนิว เป็นต้น

ในจำนวนสารโคแอกกูแลนต์เอดทั้งหมด สารโพลีเมอร์ถือว่าเป็นตัวที่มีนิยมใช้กันในปัจจุบันมากที่สุด สารโพลีเมอร์เช่นถูกใช้ของสารโมโนเมอร์หลาย ๆ ตัวซึ่งกันอย่างมีระเบียบ โพลีเมอร์อาจมีขนาดใหญ่มากหรือเล็กก็ได้ เช่น อาจมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่เพียงไม่กี่ร้อย ไปจนถึงระดับที่สูงกว่า ๑๐ ล้าน เป็นต้น โพลีเมอร์อาจมีประจุบวกหรือลบหรือไม่ก็มีประจุก็ได้ ทำให้มีการจำแนกประเภทของโพลีเมอร์ตามประจุประจุแล้ว ดังนี้คือ (ดูภาพที่ ๙.๒)

- Cationic Polymer (โพลีแคตริออน)
- Anionic Polymer (โพลีแอนไอออน)
- Non-Ionic Polymer (โพลีเนอทรอล)

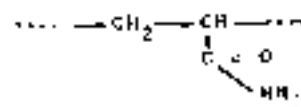
ประจุของโพลีเมอร์เกิดขึ้นจาก Functional Group ต่าง ๆ ภายชนิด (เช่น คาร์บอกซิลิก, ไฮโดรเจน) สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของน้ำ

A. Cationic polyelectrolytes
Polydiallyldimethylammonium

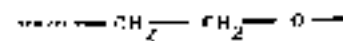


C. Anionic polymers

1) Polyacrylamide

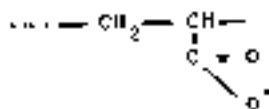


2) Polyethylene oxide



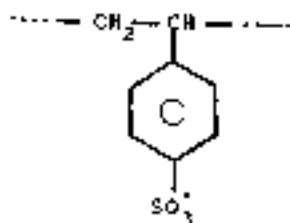
B. Anionic polyelectrolytes

1) Polyacrylic acid



2) Hydrolyzed polyacrylamide: A mixture of subunits B 1 and C 1.

3) Polystyrene sulphate



ภาพที่ ๑.๖ โพลีเมอร์ชนิดต่าง ๆ

เนื่องจากโพลีเมอร์เป็นสารอินทรีย์ จึงสามารถละลายตัวได้จากร้ำโคเอกกูแลนท์
อื่น ๆ ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ จึงไม่ควรเก็บโพลีเมอร์ไว้เป็นเวลานาน ๆ

๑.๔ การเลือกสารโคเอกกูแลนท์

การเลือกสารเคมีมาเป็นโคเอกกูแลนท์ มักขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำดิบ เป็นสำคัญ
สารโคเอกกูแลนท์ที่มีประสิทธิภาพ ๒ ชนิด คือ สารส้ม และ สารประกอบเหล็ก เช่น
 $FeCl_3$ โดยทั่วไปแล้ว สารส้มมักเป็นที่นิยมมากกว่าสารอื่น เนื่องจากสามารถใส่
ได้กับน้ำธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ประกอบด้วยมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย อย่างไรก็ตาม
ก็ตาม ในบางครั้งสารส้มอาจใช้ได้ไม่ดีเท่าสารประกอบเหล็ก ในบางโอกาสการ
ปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดหรือด่าง ก็อาจเป็นเรื่องจำเป็น ซึ่งจะส่งผลต่อโคเอก-
กูแลนต์ที่เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งกว่านั้นอาจจำเป็นต้องเติมโคเอกกูแลนท์แยกบาง-
อย่างเพื่อช่วยทำให้ฟอสฟอรัสขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย

๑.๔.๑ สารเคมีสำหรับกำจัดความขุ่น

ความขุ่นในน้ำดิบมักเกิดจากสิ่งแขวนลอยต่าง ๆ เช่น เศษดิน ทรายอินทรีย์วัสดุชี-
วะอินทรีย์ แผลงดิน และจุลินทรีย์ขนาดเล็กอื่น ๆ เป็นต้น สารเคมีสำหรับกำจัด
โคเอกกูแลนต์ให้กับน้ำดิบ อาจจำแนกตามประเภทของน้ำดิบได้ ดังนี้

๑.๔.๑.๑ สารเคมีสำหรับน้ำที่ขุ่นมากและมีความเป็นด่างสูง

น้ำดิบที่มีความขุ่นและความเป็นด่างอยู่ในระดับสูง จัดเป็นน้ำที่สามารถขจัดโค-
เอกกูแลนต์ได้ง่าย สารเคมีหลายอย่าง เช่น สารส้ม หรือ เฟอริกคลอไรด์สามารถ
ใช้เป็นโคเอกกูแลนท์ที่ก็ได้ โดยปกติ สารส้มให้ผลดีเมื่อน้ำมีพีเอชอยู่ในช่วง ๕-7
ส่วนกรณีเฟอริกคลอไรด์ให้ผลดีสำหรับน้ำที่มีพีเอชอยู่ในช่วง ๕-7 ถ้าใช้สารส้ม
หรือเกลือเฟอริกก็มีกไม่ต้องการโคเอกกูแลนต์แยก ปูนขาวหรือสารด่างอื่น ๆ ก็ไม่

ในสิ่งจําเป็นสำหรับน้ำดิบชนิดนี้ โพลีเมอร์ที่มีประจุบวก (Cationic Polyelectrolyte) สามารถใช้เติมโคลนออกฤณนทได้เช่นกัน ศ.เดช มีผลกล่าวถึงข้อดีของ โคลนออกฤณนทที่เกิดจากการใช้โพลีเมอร์ การที่น้ำมีความขุ่นสูง ช่วยทำให้ผลตกมีขนาดใหญได้โดยไม่จำเป็นต้องเติมเป่าจากภายนอก โพลีเมอร์ที่มีประจุลบหรือไม่มีประจุและกึ่งไอโซอิเล็กทริก และบางครั้งอาจประจักษ์ดีกว่าสารเคมีอื่น กรณีเช่นนี้ ควรพิจารณาเติมโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ

๑.๔.๑.๒ สารเคมีสำหรับน้ำที่มีค่าขุ่นสูงแต่มีความเป็นด่างต่ำ

โพลีเมอร์ไอโซอิเล็กทริกเป็นโคลนออกฤณนทโคติโณกรที่มี สารส้มและเกลือเฟอริกก็สามารถใช้ได้ดีเช่นกัน แต่ต้องระวังดินเหนียวที่ละเอียดลง เนื่องจากมันมีปฏิกิริยาไม่เหมือนเพียงช่วงพีเอชที่เหมาะสมแบบเดียวกับในหัวข้อ ๑.๔.๑.๑ การปรับพีเอชด้วยสารละลายด่าง ๑ มักเป็นสิ่งจําเป็น ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้พีเอชของน้ำลดต่ำลงจนโคลนออกฤณนทเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์

๑.๔.๑.๓ สารเคมีสำหรับน้ำที่มีความขุ่นน้อยแต่มีความเป็นด่างสูง

น้ำดิบ เช่นนี้ มีค่าขุ่นสร้างโคลนออกฤณนทให้เกิดได้โดยโพลีเมอร์เพียงอย่างเดียว การที่ต้องมีการเติม "เป่าล้าง" จากภายนอกคือขุ่น โคลนปากสี มักเติมเป่าล้างด้วยดินเหนียว โพลีเมอร์หรือโคลนออกฤณนทอื่น ผงดินเหนียวชนิดต่าง ๆ เช่น Kaolitic หรือ Bentonite สามารถใช้เป็นเป่าล้างโคติ หรืออาจใช้แอมัลแกมโคติได้ แต่ต้องระวังในปริมาณที่พอ ระวังสูง เช่นใช้สารส้มสูงกว่า ๑-100 มก./๑ ลิ้นต้น ทั้งนี้เพื่อสร้าง $Al(OH)_3$ หรือ $Fe(OH)_3$ ให้เป็น "เป่าล้าง" ขึ้นเอง การเติมผงดินเหนียว หรือแอมัลแกมโคติโคติจากดินเหนียวสารส้มหรือเฟอริกคลอไรด์ จะช่วยตกปริมาณโคลนออกฤณนทได้ น้ำที่โคติที่ตกที่มีขนาดเล็ก และหนักซึ่งสามารถตกก่อนและโคติตัวได้

9.4.1.4 สารเคมีสำหรับน้ำที่มีความขุ่นและความเปื้อนต่ำน้อย

น้ำเช่นนี้เองแบบที่ขุ่นารโคแอกกูเลชันได้มากที่สุด การใช้โคแอกกูแลนต์อย่างใดอยู่เฉยๆเพียงอย่างเดียว จะไม่ให้ผลดีเลยเนื่องจากน้ำมีเป่าสัมผัสน้อยเกินไป ถึงควรต้องมีการเติมเป่าสัมผัสเพิ่มเติมไปกับน้ำด้วย การใช้สารส้มหรือเหล็กเฟอริก จะทำให้สีของขุ่นน้ำตกต่ำได้เป็นอย่างมาก จนอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมสำหรับการสร้างโคแอกกูเลชัน ข้อแนะนำสำหรับน้ำประเภณี 5 ดังในข้อ

1. เติมน้ำปูนขาวหรือถ่างอย่างอื่น เพื่อเพิ่มค่าสังกะสีเพื่อทำให้น้ำแฉะหรือ
2. เติมน้ำเป่าสัมผัสให้กับน้ำโดยการเติมดินเหนียว (เช่น Kaolin ฯลฯ) หรือสารเชื่อมอย่างอื่น

9.4.2 โคนอกกูเลชันสำหรับน้ำจัดสี

สีในน้ำเกิดจากการอินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ สีส่วนใหญ่เกิดขึ้นมาจากกรดฮิวมิก (Humic Acid) และกรดฟัลวริก (Fulvic Acid) กรดฮิวมิกสามารถจะละลายได้ในสารละลายต่างๆ แต่ในสถานะโดยกรดแก่ ส่วนกรดฟัลวริก สามารถจะละลายได้ทั้งในกรดและด่าง กรดฮิวริกต่าง ๆ นั้นมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ไม่กี่ร้อยไปจนถึงสองหรือสามพัน มันสามารถจับตัวกันได้ตามธรรมชาติ กลายเป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น กรดฮิวมิกประกอบด้วยอินทรีย์สารประกอบอะโรมาติก (Aromatic Compounds) ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) ฟีนอลิก (Phenolic) และกรีนอยด์ (Quinoid Group) กรดฟัลวริก มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับกรดฮิวมิกแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า โดยเหตุที่มันมีหมู่คาร์บอกซิลิกและฟีนอลิก สามารถจะจับตัวกันจึงมีความสามารถสูง ในการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวก และสามารถสร้างไอออนโมลตะเจ้ามาวมด้วยได้ และเนื่องจากมันมีคุณสมบัติของสารอินทรีย์ มันจึงสามารถจะผสมการประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) รวมทั้งสารฆ่าแมลง

งานวิจัยหลายชิ้นได้แสดงให้เห็นว่า สารส้มและเหล็กเฟอไรในธรรมชาติเป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำได้ดี แต่ก็ไม่สามารถกำจัดครดสีหรือคอลลอยด์ออกจากตะกอนได้ นักวิจัยบางส่วนคิดว่าหากการที่กรดฟอสฟอริกไม่สามารถเกิดโคแอกกูแลนต์ได้ก็-เป็นเพราะจากค่าประจุลบที่มีไม่มีหมู่คาร์บอกซิลพอเพียงพอที่จะสร้างคอมเพล็กซ์กับไอออนของโคแอกกูแลนต์ ในการศึกษาถัดไปปรากฏว่า สารส้มจะสามารถให้ผลดีที่สุดเมื่อมี-เลขประจุบวก ๖ ส่วนเฟอริกไซด์เฟอริกไฮไดรด์ที่ความเข้มข้นประมาณ ๔ การหาปริมาณและชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยใช้วิธี Jar Test

การกำจัดสีอย่างรวดเร็วยังทำได้โดยใช้สารโพสิโพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน ที่มีประจุบวก ทั้งนี้ต้องที่ความเข้มข้นของอยู่ประมาณ ๖ ถ้ามีค่าสูงหรือต่ำกว่า ๐ ประสิทธิภาพของ-การกำจัดสีจะต่ำลง นักวิจัยเชื่อว่า โพสิโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก จะทำปฏิกิริยากับสารส้ม

๖.๖.๖ โคแอกกูแลนต์สำหรับกำจัดความขุ่นและสีพร้อมกัน

สีและความขุ่นมีปฏิสัมพันธ์กันที่แตกต่างกันในขบวนการโคแอกกูแลชัน ดังนั้นการกำจัดสีและลดความขุ่นออกจากน้ำดิบหรือขม ๆ กัน จึงเป็นเรื่องยาก ขอให้พิจารณาในกรณีที่มีความขุ่นเกิดจากคอลลอยด์และสิ่งเกิดจากสารประจุลบหรือคอลลอยด์ งานวิจัยชิ้นหนึ่งแสดงว่า เมื่อมีคอลลอยด์ปริมาณสูงพอเพียงที่จะจับตัวสารสีไว้จากน้ำทั้งหมด การกำจัดความขุ่นก็จะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการกำจัดสี เพราะสารทั้งสองชนิดก็ตั้งอยู่ที่รวมกัน แต่อย่างไรก็ดี การที่สารอินทรีย์เกาะอยู่กับความขุ่น ทำให้ต้องใช้โพสิโพลีเมอร์ตั้งแต่ขึ้นในกระบวนการกำจัดความขุ่น ในกรณีที่สีสารสีอยู่ในปริมาณที่มากเกินกว่าความขุ่น-ซึ่งช่วยจะเกาะอยู่กับความขุ่น และจะจับสีอีกส่วนหนึ่งที่อยู่อย่างอิสระในน้ำ เมื่อเติมโพสิโพลีเมอร์ลงไปลงในน้ำ โพสิโพลีเมอร์จะทำปฏิกิริยากับสี และกำจัดโพสิโพลีเมอร์ทุกชนิดออกด้วยผลต่างจากปฏิกิริยาที่ขุ่นแล้ว โพสิโพลีเมอร์จึงเริ่มทำปฏิกิริยากับความขุ่น และออกภาค-ออกของสิ่งที่สร้างขึ้นมาใหม่ ปริมาณของโพสิโพลีเมอร์ที่เติมจะสูงเกินไปปริมาณที่พอ-การเพื่อกำจัดความขุ่น ;เพียงอย่างเดียว

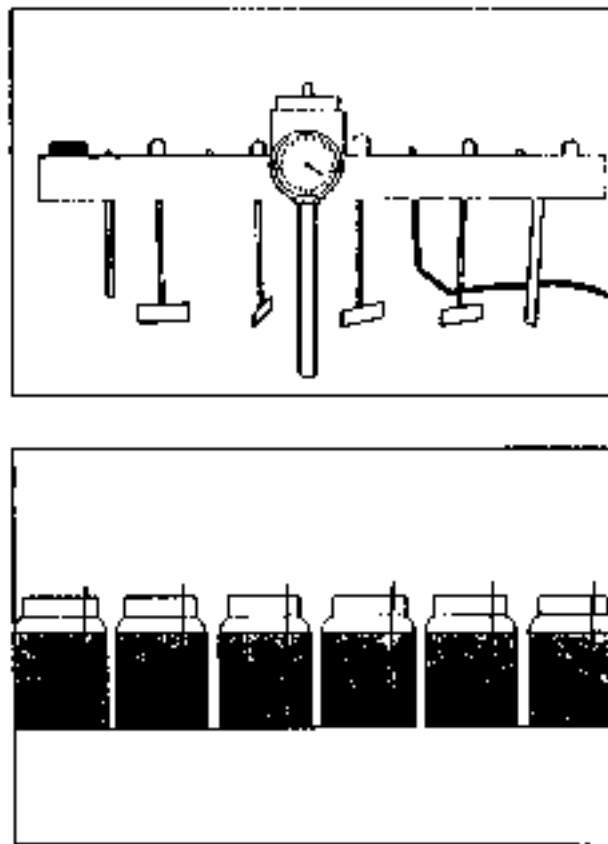
งานวิจัยที่ใช้สารเติมทือสารประกอบเหล็ก ในการทำโคแอกกูเลชันของสีและคราม
รุ่นพร้อม ๆ กัน ยังมีน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบในสเกลที่ว่า สารตั้งต้นเหล็กที่คง-
จะใช้ได้เช่นกัน เพราะภายใต้สภาวะที่เหมาะสมไอออนเหล็กเกิดขึ้นสามารถทำงานได้
เช่นเดียวกับโซลีโอเมอร์ที่มีประจุบวก บทบาทของสีแดงซีดน่าสงสัยมาก แต่ก็ยังไม่
มีใครวิจัยในเรื่องนี้อย่างละเอียด

๑.๖ การควบคุมขนาดอนุภาคโคแอกกูเลชัน

การควบคุมขนาดอนุภาคโคแอกกูเลชันให้ได้ผลดี จะต้องควบคุมสภาวะค่าต่างๆให้เหมาะสม
ปัจจัยที่ต้องควบคุมได้แก่ ปริมาณและชนิดของสารโคแอกกูเลชัน ระดับสีของ
ของหมึก ความเร็วในการเคลื่อนที่ ($\dot{\gamma}$) และระยะเวลาพัก (เวลาพัก) อย่างไรก็ตาม
เมื่อออกจากความเร็วเคลื่อนที่และระยะเวลาพักที่เหมาะสมแล้ว อัตราการผลิตโคแอกกู
เลชันจะขึ้นกับขนาดอนุภาคโคแอกกูเลชันที่เข้ามาผสมและระดับสีของของหมึก เพื่อให้เกิด
โคแอกกูเลชันที่ดีที่สุด การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดโคแอกกูเลชัน
สามารถกระทำได้ ๒ วิธี คือ โคปเวียจาร์เจชัน (Jar Test) และโคปเวียจาร์
สโตนไฟฟ้าซีด-โพเทนเชียล (Zeta Potential) วิธีการขนาดอนุภาคโดยวิธี
ของอะคอลลอยด์เทรชัน (Colloid Titration) แทน ๒ วิธีดังกล่าว แต่ยังไม่
ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร

๑.๗ การควบคุมด้วยวิธีจาร์เจชัน

วิธีควบคุมโคแอกกูเลชัน ที่ได้ความนิยมมากที่สุดและใช้กันมานานแล้วคือวิธีจาร์-
เจชัน (Jar Test) ซึ่งเป็นวิธีทดสอบในบีกเกอร์ (Beaker) เครื่องมือ
ทดสอบเป็นเครื่องกลที่ปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งส่วนมากมักมีในสเกลความเร็ว ๑ ไร่
(รูปภาพที่ ๑.๖ และ ๑.๗) ในการทดสอบแต่ละครั้งจะใส่สารชนิดของสารเคมีและ
กำหนดสภาวะต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ปริมาณต่างดังต่อไปนี้ ความเร็วรอบและระยะเวลา-



ภาพที่ ๓.๖ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เวลาการนับ (ที่รวมไว้และยกเว้น) และระยะเวลาทดสอบ จากหนังสือ
ทดลองโดยเขียนเคมีปริมาณต่าง ๆ ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ รหัสมีเลขจาก
วิชาเคมีของพีคคือแปรเปลี่ยน ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมของการทำจารีพิเศษ



ภาพที่ ๑.๔ การตรวจดูโมลออกฤกษ์ผลด้วยวิธีจารีพิเศษ

ขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำจารีพิเศษ อาจเป็นดังนี้

๑. วิเคราะห์ปริมาณต่าง ๆ เพื่อหาปริมาณของ สี่เอช และปริมาณเป็นค่าคง (ตาม
แม่การวัดจำเป็น)
๒. เติมน้ำตัวอย่าง ๑๐๐ มล. ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ และเติมสารเคมีที่ใช้
เป็นไตออกฤกษ์ลงลงใจไปจนทั่ว ตามปริมาณที่ต้องการใช้ (ต้องเติมสารเคมี

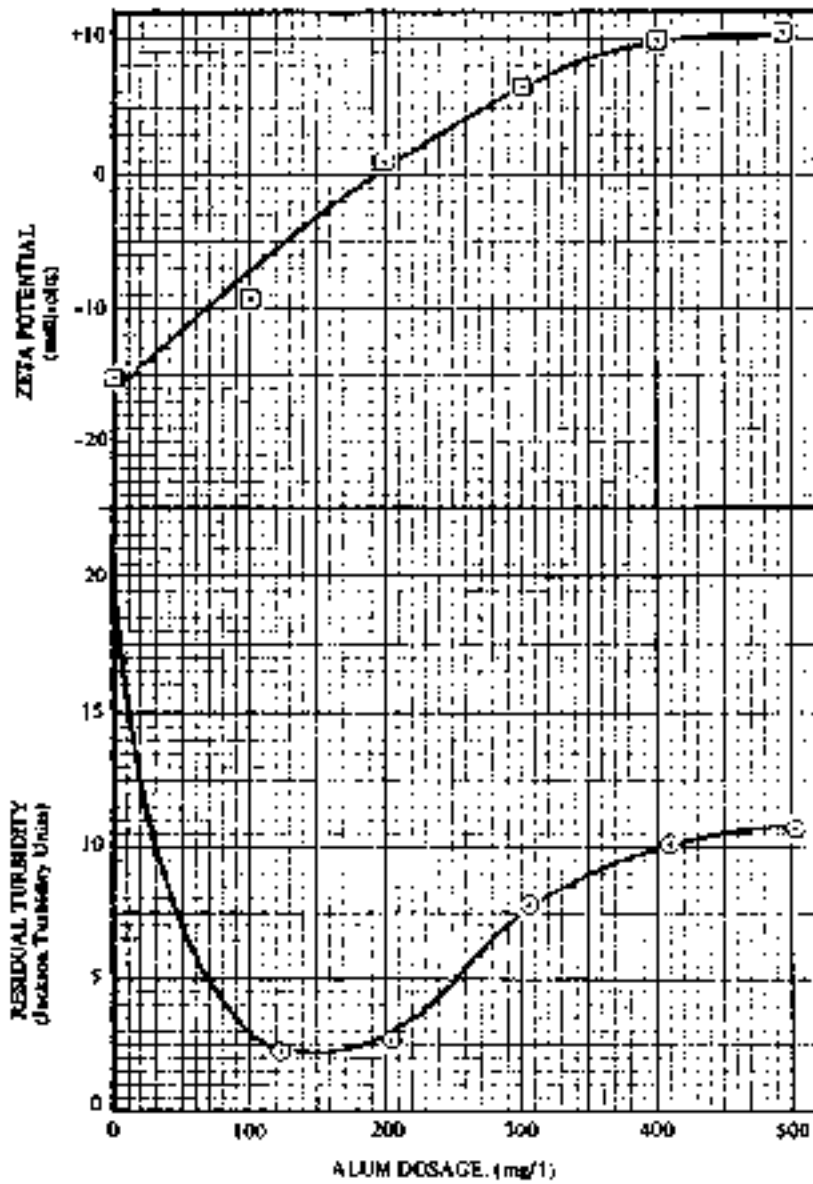
เมื่อมีการทวนเร็วเกิดขึ้นแล้ว)

๓. ทวนน้ำและสารเคมีอย่างรวดเร็วจน (ความเร็ว ๑๐๖ รอบต่อนาที) เป็นเวลา ๖ นาที
๔. ถ่ายค้ำข้างซ้าย (ความเร็ว ๑๐ รอบต่อนาที; เป็นเวลา ๒๐ นาที(ระยะเวลาทวนข้างอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามแต่จุดมุ่งหมายของการทำ Jar Test)
๕. จดบันทึกเวลาที่เพิ่มมีฟล็อก (กลุ่มตะกอน) ปรากฏให้เห็น (ดูภาพที่ ๑.๕)



ภาพที่ ๑.๕ ลักษณะของน้ำที่ผ่านการทำ Jar Test และถึงให้ตกตะกอนเป็นเวลา ๑, ๒, และ ๓๐ วินาที (ภาพจากตำราไปชวา)

๘. ตั้งให้ตกตะกอน (โดยปิดเครื่องทวนน้ำ) เป็นเวลา ๑๐ นาที
๙. โขยไปเปิดอุณหภูมิน้ำใสออกจากแก้วโดยเปิดกระบอกถึงตะกอนที่จมอยู่ก้นแก้ว
๑๐. วิเคราะห์หน้าใสเพื่อหา พี ความขุ่น ซีเอส และ ระดับความเป็นต่าง (ตามความจำเป็น)
๑๑. ห้อตกร่างระหว่างปริมาณสารเคมีที่ใช้กับความขุ่นหรือพารามิเตอร์อื่นที่ตามความจำเป็น เพื่อหาปริมาณสารเคมีที่สามารถกำจัดความขุ่นหรือสารอื่นได้มากที่สุด (ดูตัวอย่างจากผลการทำ Jar Test ในภาพที่ ๑.๖)



ภาพที่ ๑.๘ ผลการทดลองการทดสอบและวัดศักย์ไฟฟ้าโพเทนเชียล โทโมลทูลูเอชันเกิดลึกลง เมื่อมีความเข้มข้นน้อยที่สุด และศักย์ไฟฟ้าโพเทนเชียลเข้าใกล้ศูนย์

หมวด ๒๓๒

- ๑. ผลกระทบที่มีผลต่อยุทธศาสตร์ ไม่เต็มสารเคมีที่โครงการศึกษา ให้กับปีศ. เกษธิใบนาก เพราะจะละทิ้งมิชชั่นด้วย เป้าหมายเพื่อแก้ปัญหาคือ เกษธิใบนาก ซึ่งมีการเต็มสารเคมีในปริมาณต่าง ๆ เพื่อเหตุผลของการเต็มสารเคมี
- ๒. ข้อควรระวังที่ทางกรมทางเพื่อวิจัยที่ เกษธิได้ เสนอระดมความคิดว่าหน่วยงานราชการปกครองต่างที่ควรใช้ตัวอย่างต่าง ๆ เชื่อมกับไทยอาศัยจากการลดข้อข้อไอเอ็มเควีซี (ดูตอน ที่ ๑.๑) ซึ่งนี้เพื่อมิให้ผิดเพี้ยนค่าเป็นไป สารเคมีแต่ละปีจะมีปริมาณที่ลดการความ เป็นต่างประมาณ ๐.๐ มีคักกรัมใน เกลอของหินปูน

๑.๑.๑ การควบคุมการวัดค่าไฟฟ้าในเขตเมือง

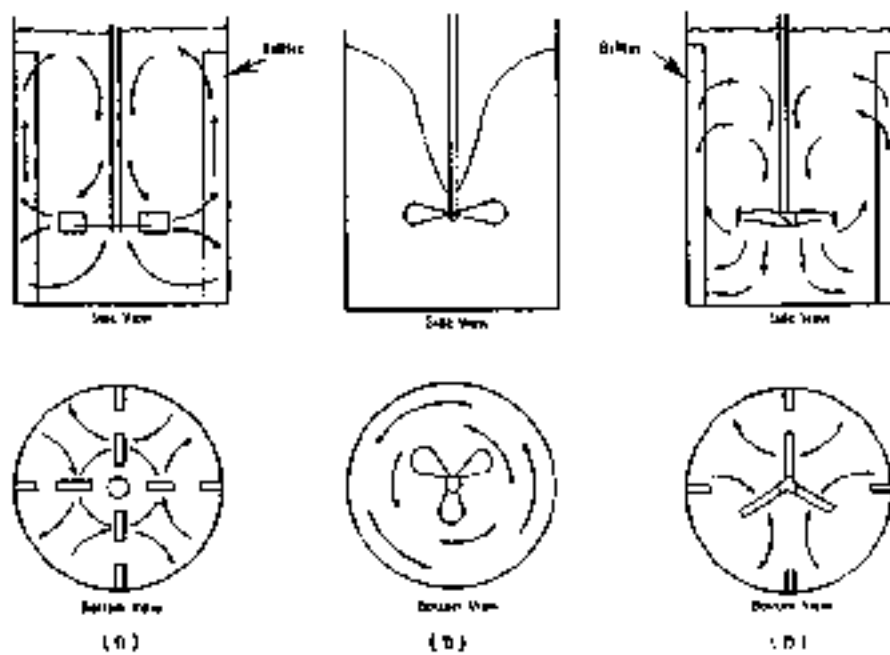
ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ ๑ ว่า โคมลกฎเดชันที่เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคตลอด- ลอยต์ การเติมโคมลกฎเดชันทำให้ศักย์ไฟฟ้าในเขตเมืองของอนุภาคของลอยต์ มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลง เมื่อศักย์ไฟฟ้าเติมเติมค่าเข้าใกล้ศูนย์ โคมลกฎเดชันถึงจะเกิดที่จุด (ดูภาพที่ ๑.๑) ด้วยเหตุนี้ การวัดค่าไฟฟ้าในเขตเมืองของอนุภาคของลอยต์ จึงอาจ นำมาใช้วัดค่าและตรวจสอบขบวนการในเขตเมืองของอนุภาคของลอยต์ ลอยต์ที่ ใช้วัดค่าไฟฟ้าเติมเติม เรียกว่า Zeta Meter อุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราเคลื่อนที่ของ อนุภาคของลอยต์ในสนามไฟฟ้า (Microphoretic Mobility) ซึ่งนำไป ใช้คำนวณค่าค่าศักย์ไฟฟ้าในเขตเมือง

การควบคุมโดยการวัดศักย์ไฟฟ้านี้ ไม่ได้มีความนิยมมากนัก เนื่องจากอุปกรณ์นี้ ราคาแพงและราคาวัดค่าต้องอาศัยความชำนาญมาก

๑.๒ การควบคุมแบบเชิงการเร่ง

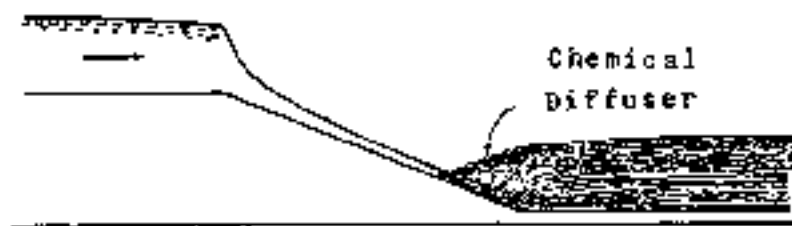
เมื่อมีรายงานถึงแนวโน้มที่รุนแรงของการการเร่งแล้ว อุปกรณ์ต่าง ๆ ก็สามารถที่จะเปิด ใช้งานเร่งได้ถ้าสามารถทำให้หน้าและโคมลกฎเดชันเกิดการผสมผสานจนกลายเป็น

เมื่อตัวเรือได้ภายในสี่เหลี่ยมคางหมู ด้วยเหตุนี้ ในทางปฏิบัติจึงมีอุปกรณ์ความเร็วเกิด ขึ้นหลายชนิด แบบที่ใช้ใบพัดตั้งแสดงในภาพที่ ๑.๗ ซึ่งเป็นแบบอย่างตาม ที่นิยมใช้



ภาพที่ ๑.๗ แสดงความเร็วแบบโร้โทเฟส (๓) โพรเพลลอร์เทอร์ไรเซอร์ (๒) โพรเพลลอร์ใบพัดเรือ (Propeller) (๓) โพรเพลลอร์ใบพาย หรือใบพาย (Paddle)

ในกรณีประมาณการขนาดอาคารและขนาดใหญ่ อุปกรณ์กั้นน้ำที่ไม่ใช้ใบพัดก็ใช้ เช่นแบบ Hydraulic Jump (ดูภาพที่ ๙.๘) หรือแบบเวียร์ (ดูภาพที่ ๙.๙) นอกจากนี้

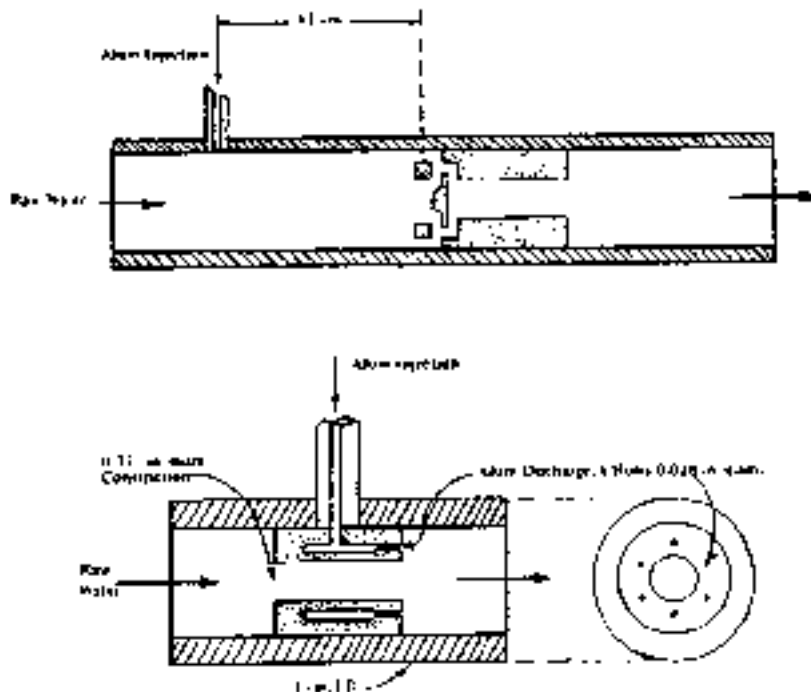


ภาพที่ ๙.๘ การกั้นน้ำโดยใช้ Hydraulic Jump



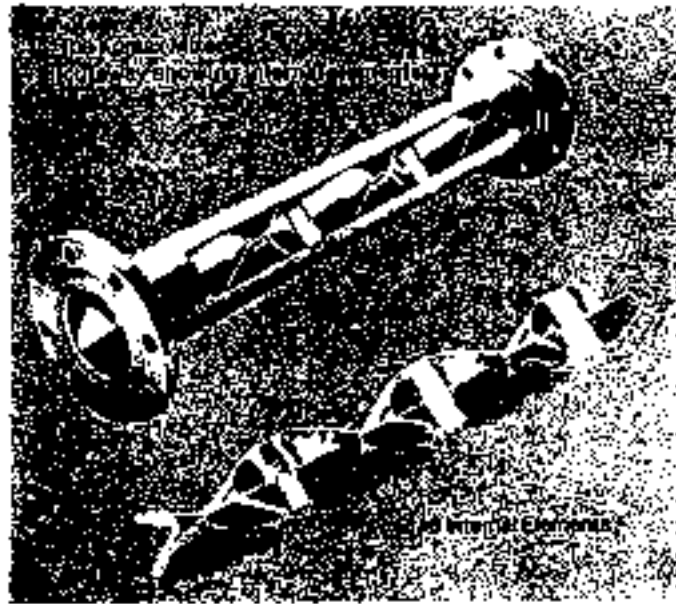
ภาพที่ ๙.๙ การกั้นน้ำโดยใช้เวียร์ (Weir)

การควบคุมเวลาออกของน้ำเกิดในทางใดต่อส่วนน้ำ โดยใช้ Orifice หรือ การ
การใช้ตัววัดสารเคมี (ดูภาพที่ 9.10) หรือใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Static Mixer



ภาพที่ 9.10 การควบคุมเวลาโดยสร้างความเป็นป่วนในท่อ ด้วยการใช้ Orifice

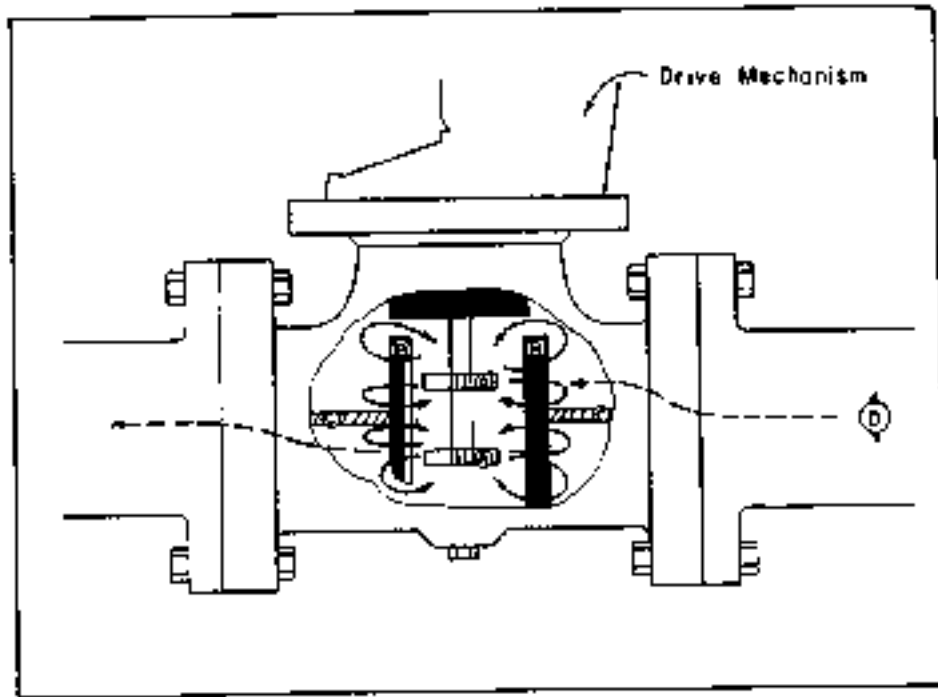
ซึ่งทำเป็นเกลียวคดอยู่ตามในท่อ ค่าไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีควาเป็นป่วนได้เอง (ดูภาพที่ ๑.๑๑) หรือใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า In-Line Blender ซึ่งเป็นเครื่องบนถนนที่



ภาพที่ ๑.๑๑ อุปกรณ์ทวนเร็วแบบ Static Mixer ซึ่งใช้ทวนน้ำในท่อได้โดยดรง

มีความเร็วสูง (ดูภาพที่ ๑.๑๒)

ถังทวนเร็วที่ใช้ผนังกั้นน้ำ (Baffled Tank) ซึ่งเคยใช้กันในอดีตและยังคงมี
เห็นใช้อยู่ในปัจจุบัน ไม่สามารถสร้างความปั่นป่วนได้สูงพอ โดยปราศจากใบพัด
ซึ่งมันจึงไม่ควรมานำมาใช้



ภาพที่ ๑.๑๔ อุปกรณ์การกวนแบบเตี๋ยงมด (In-Line Blender) ซึ่งใช้
 ลมมาใบพัดใต้โดยตรง

ความสำคัญของการกวนเร็ว เป็นที่ทราบกันดีของวิศวกรซึ่งสนใจและทำการวิจัย โดย
 เฉพาะในเครื่องโกลดกฏเตชัน แต่วิศวกรทั่วไปมักไม่เห็นถึงความสำคัญดังกล่าวเนื่อง
 จากการศึกษาเร็วซึ่งไม่ได้เป็นวิธีช่วยในการกำหนดความสามารถของโกลดกฏเตชันอย่าง
 ชัดเจน ความโตซึ่งมีความเร็วปานกลางตามตารางในถังกวนเร็ว ปัญหาอีกไม่เกิดขึ้น ใน
 ปัจจุบันบทบาทของการกวนเร็วเริ่มมีขงเด่นเด่นชัดมากขึ้น เนื่องจากมีแนวโน้มว่า

เทคนิคการกรนเร็ว เป็นปัจจัยในการกำหนดกลไกของโคแอกกูเลชัน (7) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้กลไกโคแอกกูเลชันเป็นแบบจุดติดผิวและท่าอาอประจุโคแอกกูเลชันและอนุภาคของผลจะต้องสัมพันธ์กันทั้งภายในเวด- ; จินาติหรือขยับกว่า มิฉะนั้นแล้วโคแอกกูเลชันจะเกิดขึ้นด้วยกลไกแบบ Sweep Coagulation เนื่องจากสภาวะที่ขุ่นด้วย ไฮดรอกไซด์คอมเพล็กซ์ (Hydroxide Complexes) จะกลายเป็นผลึกของอนุภาคไฮดรอกไซด์ ในปัจจุบัน โคแอกกูเลชันของระบบประจุบวกเกิดขึ้นเนื่องจากกลไกแบบ Sweep Coagulation แบบทั้งสิ้น ทั้งนี้เพราะถึงกว่าเร็วไม่สามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคของผลของโคที่เฉพาะเช่น เวลาขุ่นกว่า ; จินาติ วิศวกรรุ่นใหม่เชื่อว่า อุปกรณ์กรนเร็วที่เหมาะสมในการสร้างโคแอกกูเลชันแบบจุดติดผิวและท่าอาอประจุ ต้องมีตัวที่สามารถใช้ในการสร้างขุ่นอย่างเร็วได้เร็วกว่าอัตราการเร็วแบบธรรมดาที่มีอยู่ในตัวไป อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามความต้องการและเหมาะสมใช้ได้ในปัจจุบันคือ เครื่องขุ่นในเส้นท่ง (In-Line Blender) ส่วนอัตราการเร็วแบบอื่น ๆ นั้น เหมาะสำหรับการใช้สร้างโคแอกกูเลชันแบบ Sweep Coagulation

การขุ่นด้วยความแตกต่าง ของกลไกโคแอกกูเลชันทั้งสองแบบกระทำได้อาก ในทางปฏิบัติ ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพสารส้มอาจช่วยให้ผู้ควบคุมสามารถจำแนก หรือเลือกกลไกโคแอกกูเลชันได้ (ดูภาพที่ 8.2) เป็นไปได้ว่ากลไกทั้งสองชนิดเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันในกระบวนการโคแอกกูเลชันของระบบประจุทั่วไป ถ้ากลไกเป็นแบบจุดติดผิวและท่าอาอประจุ เราจะพบความสัมพันธ์โดยตรง ระหว่างปริมาณโคแอกกูเลชันที่เหมาะสม กับความเข้มข้นของความขุ่น ถ้าใช้โคแอกกูเลชันมากเกินไปประจุของอนุภาคของผลจะกลายเป็นบวก ทำให้ผลของสารส้มเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ ถ้ากลไกเป็นแบบ Sweep Coagulation โคแอกกูเลชันที่มากเกินไปไม่ทำให้เสถียรภาพของผลของผลกลับคืนมาใหม่ แต่อาจมีผลของอนุภาคไฮดรอกไซด์ซึ่ง เป็นอนุภาคน้ำหนักเกินไปจนตกตะกอนได้ไม่หมด

9.8.1 ทฤษฎี เคอร์สำหรับขุ่นแบบจุดติดผิวของขุ่นเร็ว

ทฤษฎีเคอร์สำหรับใช้ในการออกแบบอุปกรณ์กรนน้ำของอัตราการเร็วขุ่น ความเร็ว

เกรเดียนต์ (Velocity Gradient) ซึ่งนิยามใช้ G เป็นสัญลักษณ์แทน ความเร็วเกรเดียนต์หมายถึงความเปลี่ยนแปลงของน้ำ น้ำในถังกวนเร็วจะต้องมีระดับความปั่นป่วนสูง ทั้งนี้เพื่อให้การผสมระหว่างสารเคมีกับน้ำ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าและพร้อม ๆ กันทุกจุด ในทางตรงกันข้าม น้ำในถังกวนช้าจะมีระดับความปั่นป่วนต่ำกว่ามาก เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนที่ติดกันเกิดขึ้นเกิดการแตกแยก การเคลื่อนไหลของน้ำในถังกวนช้ามีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้เกิดการสัมผัสระหว่างอนุภาคและจับติดกันเป็นฟlocsขนาดใหญ่ ดังกล่าวเร็วจะมีค่า G ไม่ต่ำกว่า 300 วินาที^{-1} แต่ถังกวนช้ามักมีค่า G ไม่เกิน $60-100 \text{ วินาที}^{-1}$

การมีเทอร์มิกสวิตช์อัตโนมัติ เวลาผสม (T) ซึ่งหมายถึงเวลาสัมผัสระหว่างสารเคมีและความปั่นป่วน เนื่องจากปฏิกิริยาทำตามเสถียรภาพของคอลลอยด์เกิดขึ้นเร็วมากสัปดาห์ก็ผ่านไปแล้ว ดังกล่าวเร็วจึงต้องการเวลาผสม (T) เพียง ๕ นาทีหรือน้อยกว่า ในทางปฏิบัติ มักถือว่าเวลาผสมเป็นเวลาที่น่าอาศัยอยู่ในถังหรืออุปกรณ์กวนเร็ว ซึ่งหมายถึงเวลาตกน้ำ (Decantation Time) นั่นเอง

หลังจากนี้ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลงในระดับ G อาจคำนวณได้จากสมการของแมคกันและสไตน์ ดังนี้

$$G = \left(\frac{P}{\mu V} \right)^{0.5} \quad (9.10)$$

- โดยที่ G = ความเร็วเกรเดียนต์หรือระดับความปั่นป่วนมีหน่วยต่อวินาที
 P = พลังงานที่ใช้ในการสร้างการปั่นป่วนมีหน่วยจูล ปอนด์ต่อวินาที
 μ = ความหนืดของน้ำมีหน่วยปอนด์-วินาทีต่อตร.ฟุต
 V = ปริมาตรของน้ำในถังกวนเร็ว มีหน่วยลบ.ฟุต

ในการนี้ใช้เครื่องกวนน้ำแบบธรรมดาที่ใช้ใบพัด ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและขนาดของใบพัด รวมทั้งจำนวนรอบที่หมุน มีดังนี้

$$P = k \rho N^3 D^5 / g \quad (9.11)$$

- โดยที่ k = ค่าคงที่
 c = ความหนืดของน้ำ มีหน่วยเป็นตันต่อลบ.ฟุต
 N = จำนวนรอบของใบพัดต่อวินาที
 D = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด มีหน่วยฟุต

k มีค่าตั้งแต่ 1 สำหรับเครื่องทวนที่มี 3 ใบพัด จนถึง 6.3 สำหรับเทอร์โบมันที่มีใบแบบ ๘ ใบ

จากสมการที่ (๘-10) และ (๘-11) จะเขียนได้ว่า

$$G = N^{3/2} \quad (9.12)$$

สมการนี้แสดงว่า ผู้ควบคุมสามารถเปลี่ยนแปลง G ได้โดยการใช้ความเร็วรอบของใบพัดให้เหมาะสม

สำหรับการสร้างโคแอกกุลเจชันด้วยสารส้มในโรงงานผลิตน้ำประปา ความสัมพันธ์ระหว่าง G , เวลาทวนน้ำที่เหมาะสม (T_{opt}) และปริมาณของสารส้มที่เหมาะสม (C) อาจแทนได้ด้วยสูตรเอมไพริคัล ดังนี้

$$G, T_{opt}, C^{1.46} = 5.9 \times 10^6 \quad (9.13)$$

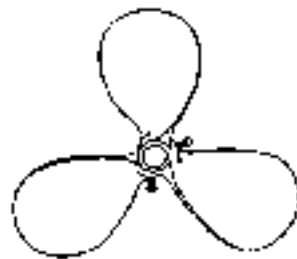
ซึ่งได้กล่าวแล้วว่า เวลาผสม (T) สัมพันธ์กับเวลาพักน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาผสมและปริมาณของผงกวนเร็ว จึงสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$V = F \cdot T \quad (9.14)$$

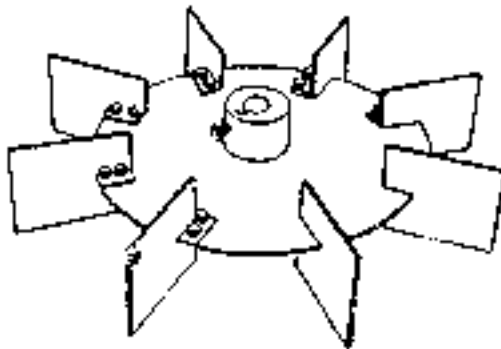
- โดยที่ V = ปริมาตรสัมฤทธิ์ของถังกวนเร็ว
 F = อัตราไหลของน้ำเข้าสู่ถังกวนเร็ว
 T = เวลาสัมผัสระหว่างน้ำและสารเคมี หรืออาจเรียกว่าเวลาพักน้ำของถังได้

๑.๑.๒ การออกแบบกังหันเร็วที่ใช้ใบพัดความเร็วแบบธรรมดา

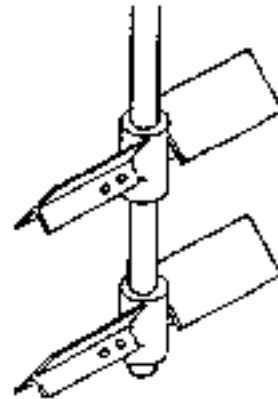
กังหันเร็วที่ใช้ใบพัดความเร็วแบบธรรมดา เป็นแบบที่รู้จักกันมากที่สุด ข้อดีของกังหันชนิดนี้ มีประสิทธิภาพสูง ดูเรียบสะอาด และรับความแปรปรวนของอัตราไหลของน้ำได้ดี ภาพที่ ๑.๑๖ แสดงให้เห็นถึงใบพัดแบบต่าง ๆ ที่ใช้กับกังหันเร็ว ส่วนภาพที่



(ก)



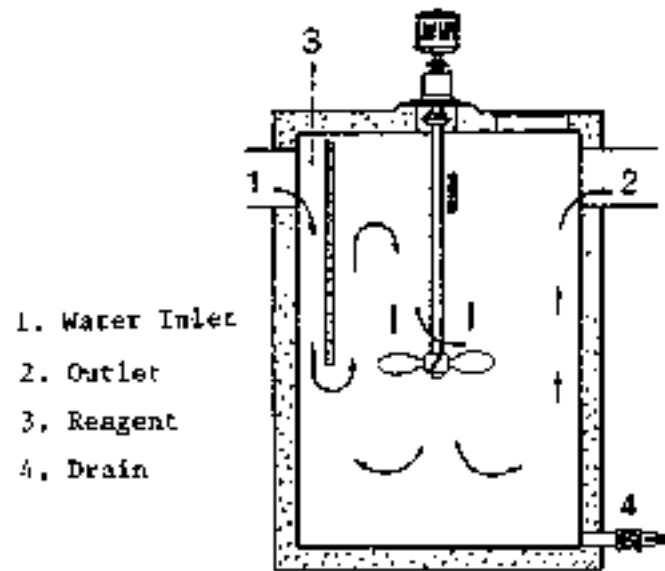
(ข)



(ค)

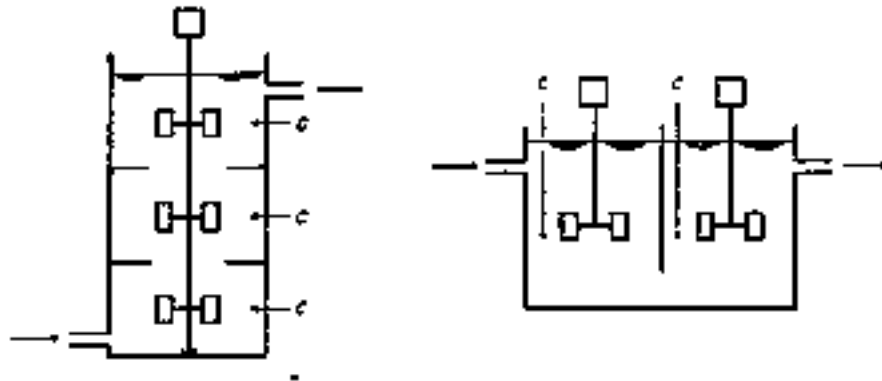
ภาพที่ ๑.๑๖ ใบพัดสำหรับกังหันเร็ว ๓ แบบ (ก) แบบ Propeller
(ข) แบบเทอร์ไบน์ (Turbine) (ค) แบบใบพัดหรือใบหมุน
(Paddle)

3-14 เป็นตัวอย่างแสดงการวางตำแหน่งใบพัดและถังผสมทั่วไปของถังความเร็ว



ภาพที่ 3.14 ถังผสมทั่วไปของถังความเร็ว

สำหรับน้ำดื่มที่มีความขุ่นสูง (50-100 หรือมากกว่า) และ มีความเป็นด่างมาก (ประมาณ 200 มก./ล. หรือมากกว่า) การสร้างโคแอกกูเลชันสามารถกระทำได้ง่ายด้วยสารเคมีเพียงอย่างเดียว และต้องการถังความเร็วย่อยใยเดียว ในขณะที่ สำหรับน้ำดื่มที่มีความขุ่นต่ำ (น้อยกว่า 50 มก./ล.) ซึ่งจะได้ผลดีที่สุด ในการปฏิบัติบางครั้งวิศวกรจะไม่สนใจที่จะใช้ถังความเร็วหลายใบต่อกัน และเติมสารเคมี



ภาพที่ ๑.๑๕ หัวกังววจีวแบบหลายใบ

หลาย ๆ ชนิดเข้าใบถึงกวางเร็วใบเดียวกัน ทำให้ใบได้รับประโยชน์จากสารเคมีอย่างเต็มที่

การกำหนดค่า G และ T สำหรับออกแบบกังววจีวชนิดนี้ ให้เป็นไปตามเกณฑ์ ออกแบบแสดงไว้ในตารางต่อไป

ตารางที่ ๑.๑ เกณฑ์ออกแบบสำหรับกังววจีวแบบธรรมดา

T (วินาที)	20	30	40	มากกว่า 40
G (กซ์วินาที)	1000	800	790	700

โดยทั่วไป เวลาสัมผัสหรือเวลาที่กักน้ำในถังกวนเร็ว มีค่าประมาณ ๒๐ วินาที หรือ น้อยกว่าก็เพียงพอแล้ว ทดสอบค่าสำหรับความเร็วจะมีค่าประมาณ ๑-๔ เมตร/วินาที ก่อสร้างโดยของน้ำทุก ๆ ๑ ลบ.ฟุตต่อวินาที

ข้อเสนอแนะในการออกแบบถังกวนเร็ว มีดังนี้

- ถังกวนเร็วที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะให้ผลดีกว่าถังรูปทรงกระบอก
- Scaper Baffle ช่วยป้องกันการกวนน้ำที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น (ดูภาพที่ ๘-๗ ค.)
- ใบพัดผสม ให้ผลดีกว่าใบพัดแบบพัดลมหรือใบพัดเร็ว
- การเติมสารเคมีใส่ตรงใบพัด ช่วยส่งเสริมให้โคแอกกูเลชันเกิดขึ้นได้ดีที่สุด

เมื่อทราบ G ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของใบพัดกวนน้ำ (N) ดังแสดงในแผนการที่ ๘.๑๒ อุปกรณ์สำหรับกวนน้ำจึงควร เป็นแบบที่สามารถปรับค่า N ได้

๘.๘.๖ การผสมแบบถังกวนน้ำแบบ Hydraulic Jump

การใช้ Hydraulic Jump เพื่อกวนน้ำ เป็นวิธีที่นิยมในยุโรปซึ่งมักออกแบบให้ใช้ Parshall Flume อยู่หน้าการกวนเร็ว สารเคมีจะไหลเข้าทางด้านเหนือน้ำโดยให้มีเวลาผสมประมาณ ๕ วินาที และมีค่า G ประมาณ ๕๐๐ วินาที^{-๑} การกวนน้ำแบบนี้โดยปรกติจะมีการสูญเสียเขตประมาณ ๑ ฟุตหรือมากกว่า แต่มีข้อดีคือไม่ต้องใช้เศษของกลไก ๆ สำหรับกวนน้ำเลย

วิธีการออกแบบเกี่ยวกับ Hydraulic Jump สามารถหาได้จากหนังสือเรื่อง Sewerage and Sewage Treatment ที่แต่งโดย H.E. Sabbit and B.R. Baumann

8.6.4 การออกแบบระบบยกวนน้ำแบบสมัยใหม่

ในปัจจุบัน การยกวนเร็วไม่จำเป็นต้องใช้กังหันเร็วแบบเก่าอีกแล้ว ทั้งนี้เพราะ อุปกรณ์ใหม่ ๆ หลายชนิด สามารถสร้างความปั่นป่วนให้กับน้ำได้ดี เช่นเดียวกับของเก่า อีกทั้งยังมีข้อดีเหนือกว่าระบบแบบเก่าหลายอย่าง เช่นมีขนาดเล็ก กระจัดกระจายหาบาราศิรติจึงเป็นส่วนหนึ่งของท่อส่งน้ำ (ในลักษณะเดียวกับอาคารวัดอัตราไหลของน้ำ) ตัวอย่างของระบบยกวนน้ำแบบสมัยใหม่ได้แก่ เครื่องบดใบतो (In-Line Blender) และเครื่องกวนใบतो (Static mixer) เครื่องบดใบतो เป็นเครื่องกวนขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งอยู่ในท่อส่งน้ำดิบได้ (ดูภาพที่ 8.12) เครื่องกวนชนิดนี้รอบหมุนช้ามาก ทำให้ C มีค่าประมาณ 2000 .. 3000 วินาที⁻¹ การผสมระหว่างสารเคมีและน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วโดยต้องใช้เวลาสัมผัสประมาณ 0.5 วินาทีเท่านั้น เครื่องบดชนิดนี้ต้องการพลังงานประมาณ 0.5 แสงม้าต่ออัตราไหลทุก ๆ 1 ล้านแกลลอนต่อวัน การดูแลรักษาอยู่ในช่วง 1-3 นาที สำหรับเครื่องกวนใบतो (Static Mixer ; มีลักษณะพิเศษคือ ไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกเลย เพราะไม่มีส่วนของอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่เลย ใบพัดซึ่งยึดเป็นเกลียวจะติดภายในท่อก่อนขึ้น ซึ่งนำไปต่อเข้ากับท่อส่งน้ำดิบได้ การกวนน้ำเกิดขึ้นเมื่อน้ำดิบไหลผ่านใบพัดใบतो ทำให้เกิดความปั่นป่วนหรือเพิ่มระดับการเร็ว อุปกรณ์กวนเร็วทั้งสองแบบดังกล่าว สามารถเชื่อมเข้ากับตัวบ่อน้ำดิบที่เชื่อมกับวาล์วหรือมาตรวัดน้ำ

การสร้างความปั่นป่วนของน้ำโดยใช้ Orifice หรือ Venturi Tube (ดูภาพที่ 8.10) และติดตั้งเคมีเข้าไปในบริเวณที่ปั่นป่วน ก็ถือเป็นวิธีการเร็วแบบหนึ่งซึ่งมีการทดลองอย่างได้ผลมาแล้วในท้องปฏิบัติการณ์ แต่ในขณะที่ยังไม่มีข้อพิสูจน์ทางปฏิบัติมาสนับสนุน และยังไม่ยึดหลักเกณฑ์ในการออกแบบระบบยกวนเร็วแบบดี

8.6.5 วัสดุที่ใช้ในการออกแบบ

จำนวนข้อมูลที่สำคัญจำเป็นสำหรับการออกแบบ ขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของฤดูกาล

น้ำดื่มและขนาดของโรงงานผลิตน้ำประปา ถ้ามีน้ำดื่มมีความแปรปรวนสูงหรือโรงงานมีขนาดใหญ่่มาก ก็ต้องการข้อมูลมาก

จะพูดขึ้นคำสำหรับใช้ออกแบบถังความเร็ว มีดังนี้

- คนวิเคราะห์ที่ถนัด (ส่วนประกอบ) ของน้ำดื่มทั้งทางกายภาพและเคมีภายใต้สภาวะที่ดีที่สุด และเวลาที่สุกของน้ำดื่ม
- อัตราไหลต่ำสุดและสูงสุดของแหล่งน้ำ
- ผลการทดสอบ Jar Test

๑.๑.๖ ตัวอย่างการออกแบบถังความเร็ว

ตัวอย่างที่ ๑.๑ จากการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ จากแม่น้ำแห่งหนึ่งมาเป็นเวลา ๑ ปี ปรากฏว่าลักษณะทางเคมีของน้ำมีดังนี้

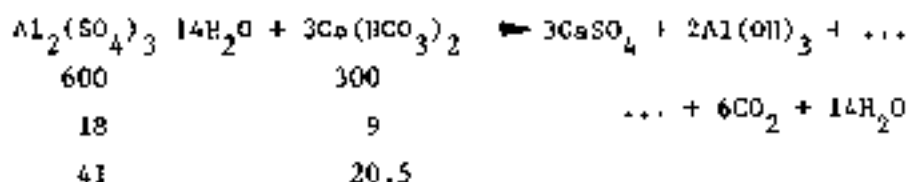
	ความเร็วของการกวน (๕)						
	11	๑4	๑๖	13	9	๑	๑
<u>ผลวิเคราะห์น้ำ</u>							
ความขุ่น	๑๐	4๐	๑1	1๐๕	14๐	1๕๕	>๑๐๐
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	๑๑	1๑2	๑๑	๑4	๑3	77	๕2
อุณหภูมิ (°C)	17	1๐	๑	1๑	1๐	1๑	-
<u>ผลการทำ Jar Test</u>							
สารส้ม (มก./ล.)	1๑	๑7	๑๑	๑๑	41	31	๑๑
พีเอช	๐.4	๑.7	๑.4	๐.4	๑.4	๑.๑	๑.4

การทดสอบ Jar Test ปรากฏว่า จะต้องเติมสารส้มจำนวนพอเหมาะจึงจะเกิดโคแอกกูเลชันดีที่สุด การเติมสาร ส้มมีมากกว่าจำนวนพอเหมาะ จะทำให้ ความขุ่นเพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิด Restabilization หลังจากการทำ Jar test ได้สรุปไว้ในตาราง เคียงกันด้วย

เพื่อออกแบบและเลือกอุปกรณ์ความเร็วที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำประปาในอัตราเฉลี่ย 1 ล้านแกลลอนต่อวัน กำหนดให้อัตราความเร็วต้องพามาถึงสูงสุด เท่ากับ 1.5 เท่าของ อัตราเฉลี่ย

จากตารางข้างบน แสดงว่าน้ำดิบจะมีความขุ่นอยู่ในช่วง 40-61 หน่วย เป็นเวลา ร้อยละ 62 ของเวลาทั้งหมด และมีความขุ่นเท่ากับหรือมากกว่า 120 หน่วย เป็น เวลาร้อยละ 27 ของเวลาทั้งหมด

จากสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีของการสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม



ผลจากการทำ Jar Test แสดงว่ามีความต้องการสารส้มอยู่ในช่วง 18 - 41 มก./ล. (จากการคำนวณปรากฏว่า ต้องมีความเป็นค่าอย่างน้อยอยู่ในช่วง 9-20.5 มก./ล. ดังนั้นความเป็นค่าในน้ำดิบจึงมีพอ เพียงพอ มีข้อควรคำนึงกันผลจากการทำ Jar Test ซึ่งแสดงว่า โคแอกกูเลชันของน้ำดิบต้องการสารส้มเพียงอย่างเดียว) และระดับพีเอชที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 6.4

การเติมสารส้มมากเกินไปจนทำให้เกิด Restabilization ได้ แสดงว่ากลไกของการเกิดโคแอกกูเลชันควรเป็นแบบเกาะจับตัวและทำให้ปฏิกิริยาของความขุ่นเป็นกลาง กลไกแบบนี้เกิดขึ้นได้รวดเร็วมาก อุปกรณ์ความเร็วเชิงความเร็วเป็นแบบ เครื่องบด

ในท่อ (In-Line Blender) มากกว่าแบบอื่น

สมมติว่า กำลังที่ต้องการจากเครื่องบด = 0.5 แรงม้าต่ออัตราไหลของน้ำ ทุก ๆ
หนึ่งลิตรเมตรของบดต่อวินาที

เนื่องจาก อัตราไหลสูงสุดของน้ำ = 1.5 ลิตรเมตรของบด/วินาที

ดังนั้น เครื่องบดจะต้องมีกำลังอย่างน้อย $1.5 \times 0.5 = 0.75$ แรงม้า

สมมติว่า เครื่องบดใช้เวลาบด 0.4 วินาที

แสดงว่า ปริมาตรของน้ำในเครื่องบด, V

$$= 1.5 \times 1.047 \times 0.4$$

$$= 0.62 \text{ ลบ.ฟุต}$$

จากสูตร $G = (P / \mu V)^{0.5}$

เมื่อจุดทศนิยม ๕'๘, ความหนืดของน้ำ หรือ μ

$$= 2.0 \times 10^{-5} \text{ ปอนด์-วินาที/ตร.ฟุต}$$

และจุดทศนิยม 1๘'๘, ความหนืดของน้ำ หรือ μ

$$= 2.2 \times 10^{-5} \text{ ปอนด์-วินาที/ตร.ฟุต}$$

ดังนั้น G ที่ ๕'๘ = $(0.75 \times 300 / 2.0 \times 10^{-5} \times 0.62)^{0.5}$

$$= 3900 \text{ วินาที}^{-1}$$

G ที่ 1๘'๘ = $(0.75 \times 300 / 2.2 \times 10^{-5} \times 0.62)^{0.5}$

$$= 4500 \text{ วินาที}^{-1}$$

นี่คือ เราจะได้เชื่อมโยงสิ่งเหล่านี้ เครื่องบดสามารถสร้างความเร็วปั่น่วนให้กับน้ำ-
ได้เพียงเพียง

ตัวอย่างที่ ๒.๒

ผลวิเคราะห์น้ำดิบจากแหล่งต่าง ๆ หนึ่ง ซึ่งได้รวบรวมไว้ตลอดปี แสดงอยู่ใน
ตารางข้างล่างนี้ ให้ออกแบบกังหันแรงเหวี่ยงไฮดรอลิกชนิดอื่น ๆ ของตัวอย่างที่ ๒.๑

	ความถี่ (%)				
	24	33	21	14	8
<u>ผลวิเคราะห์น้ำดิบ</u>					
ความขุ่น, หน่วย	12	21	35	49	60
ความเป็นค่าว, มก./ด.	25	24	24	11	28
อุณหภูมิ, °C	14	19	22	18	20
<u>ผลการทำ Jar Test</u>					
สารส้ม, มก./ล.	36	28	31	27	29
ปูนขาว, มก./ล. ตัวเอง	17	13	14	12	12
พีเอช	6.6	6.4	6.6	6.7	6.6

ผลจากการทำ Jar Test ใช้น้ำดิบ ซีให้เกินกว่า

- โคนอกเกินขีดของการสารเคมี ๒ ชนิด คือ สารส้มและปูนขาว
- การใช้สารส้มมากกว่าปริมาณที่เหมาะสม (ในทางาน) ไม่ทำให้เกิด Resabilization

เนื่องจากน้ำมีความเป็นค่าวค่าเกินไป จึงจำเป็นต้องมีการเติมปูนขาว เพื่อป้องกันมิให้พีเอชของน้ำตกค่าเกินไป ขนโคลนอกเกินไม่ตามารถเกิดขึ้นได้ ในกรณีของวิธีอย่างนี้ โคนอกของโคลนอกเกินนั้นจะเป็นแบบ Sweep Coagulation เนื่องจากของลอลอยไม่สร้างเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่จากการใช้สารส้มมากเกินไปดังนั้นจึงควมเร็วจึงควรเป็นแบบธรรมดา

ก่อนทำการออกแบบ มีข้อสังเกตประการหนึ่งคือความนำมากว่า น้มีกลิ่น เนื่องจากน้ำดิบนี้มีความขุ่นอยู่ในระดับค่าลอลอย ระบบการกรองน้ำจึงอาจเป็นแบบกรองโดยตรง (Direct Filtration) ซึ่งไม่ต้องการถังความเร็วและถังกวนช้า

สมมติว่าปริมาณสารตั้งต้นที่เหมาะสมที่สุด = 71 มก./ล.

จากสมการ 9.19

$$\begin{aligned} G_{opt} &= 5.9 \times 10^8 / C^{1.48} \\ &= 5.9 \times 10^8 / (71)^{1.48} \\ &= 29200 \end{aligned}$$

เมื่อ $G = 1000$, $T_{opt} = 98.2$ วินาที

เมื่อ $G = 700$, $T_{opt} = 86.7$ วินาที

เลือกใช้ $T_{opt} = 50$ วินาที และ $G = 700$ วินาที⁻¹

∴ ปริมาตรของถังความเร็ว = $1.5 \times 1.347 \times 50$

= 110 ลบ.ฟุต

ใช้ถัง 2 ใบ แต่ละใบมีปริมาตร

55 ลบ.ฟุต

เลือกถังรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4×4 ฟุต

∴ ความสูง

= $55 / 4 \times 4$

= 3.5 ฟุต

ใช้ถังแต่ละใบมีขนาด $4 \times 4 \times 3.5$ ฟุต และใช้เครื่องกวนที่มีใบพัดแบบของเรือ

และมีการเดินสารเคมีเข้าที่เครื่องกวนนี้

กำลังม้าของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการ 9.10

$$G = (P / \mu V)^{0.5}$$

โดยที่ $V = 4 \times 4 \times 3.5 = 64$ ลบ.ฟุต

$$G = 700 \text{ วินาที}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ ที่ } 14^\circ\text{C} &= (1.1748 \text{ cp}) \times (2.088 \times 10^{-5} \text{ lb-sec/ft}^2/\text{cp}) \\ &= 2.45 \times 10^{-5} \text{ lb-sec/ft}^2 \quad (\text{ใช้ค่าสูง}) \end{aligned}$$

$$\therefore P = G^2 \mu V$$

$$= 700^2 \times 2.45 \times 10^{-5} \times 64$$

$$= 768.3 \text{ ft-lb/sec}$$

ถ้าประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 80 %

$$\therefore \text{BHP} = 768.3 / 80 \times 0.8$$

$$= 1.75$$

เลือกนอเคลอรัสมาด 2 แรงม้า

สมการ 9.12 บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่าง G กับจำนวนรอบของเครื่องกวนน้ำ.
($G = N^{3/2}$)

$$N_1/N_2 = (1000/700)^{3/2} = 1.7$$

ดังนั้นเครื่องกวนน้ำควรจะต้องปรับจำนวนรอบของแกนหมุนได้ในอัตรา 1.7 : 1
เพื่อให้ได้ G อยู่ในช่วง 700 ถึง 1000

สุดท้าย สารส้มที่เติมให้กับน้ำดิบควรมีความเข้มข้นไม่เกิน 0.6 * หลังจากการ
วิจัยพบว่า การใช้สารส้มที่เจือจาง จะทำให้โคลนตกตะกอนเกิดขึ้นเร็วกว่าการใช้สาร
ส้มที่เข้มข้น

9.7 การผสมแบบชีวภาพ

ถังกวนน้ำ (Flocculation Tank) มีหน้าที่สร้างโอกาสสัมผัสให้กับอนุภาค-
คอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพ (Destabilized Colloid) เพื่อให้รวมตัวกัน
เป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อก วิธีการดังกล่าวเรียกว่า ฟลอคคูเลชัน (Flocculation)
ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภท ดังนี้

ก. Perikinesis วิธีนี้เป็น การรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กราว 1-2 ไมครอน
เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนไหวตามธรรมชาติซึ่งอาจไม่เป็นระเบียบ ของอนุภาค
(Brownian Motion) ขอบเขตนี้เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งของการรวมตัวแบบ
นี้

ข. Orthokinesis วิธีนี้เป็น การรวมตัวของอนุภาคในน้ำโดยการสร้างสภาวะ
ซึ่งทำให้หน้าส่วนต่าง ๆ มีความเร็วไม่เท่ากัน (Velocity Gradient) เป็นผล
ให้อนุภาคในน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน จึงมีโอกาสสัมผัสและรวมตัวกัน
ได้มาก ดังนี้ คือควรระลึกว่า การสัมผัสระหว่างคอลลอยด์ ไม่จำเป็นต้องจับตัว-
และติดอยู่ด้วยกันเสมอไป แม้ว่า การสร้างโอกาสสัมผัสเท่ากับเป็นการสร้างโอกาส

ช่วยตัวเป็นฟ้อคักความ

ผล็อคกฐะฮันแบบ Perikinesis เกิดขึ้นช้ามากจนไม่เ็นประโยชน์มากนักในงาน
ปฏึ๑๐% การเกิดผล็อคกฐะฮันในภักทงานช้าเ็นแบบ Orthokinesis เอม๑ ดังนั้
การถก๑กแบบฮังกวนช้า จึงต้องมีความเข้าใจในด้านจลนศาสตร์ของการรวนตัวแบบ
Orthokinesis เ็นสำคัญ

๑.๗.๑ สมการสำหรับของกแบบฮังกวนช้า

พารามิเตอร์หลัก ที่ใช้ในการถก๑กแบบฮังกวนช้า เ็นเหมือนกับที่ใช้ในการถก๑กแบบฮัง
กวนเร็วที่ได้กล่าวไปแล้๑ ซึ่งที่แตกต่างอยู่ใ้ระดับของพารามิเตอร์เท่านั้น ดังกวน
ช้าต้องการความปั่นป่วน (G) ต่ำ แล้ต้องการเวลาดั้มสิ๑ หรือเวลารวมตะกอน
(T) นาน ความค้๑งการเข้๑นนี้เ็นตรงกันข้ามกับของฮังกวนเร็ว

เมื่อใ้ผล็อคกฐะฮันเกิดเข้๑นได้ค้๑งที่สุด เวลารวมตะกอนหรือเวลาดั้มสิ๑ (T)
ควรมีค่าประมาณ ๑๐-๑๑ นาที การใ้เวลารวมตะกอนนานกว่านั้น ไม่เ็นการ
ประหยัด ระดับที่เ็นเหมาะสมที่สุดของความปั่นป่วนหรือ G ขึ้นอยู่กับค่าของ T ตาม
สมการดังต่อไปนี้

$$(G^*)^{2.5} T = K \tag{9.15}$$

- โดยที่ G^* = ระดับความเร็วการเข้๑นที่เหมาะสมที่สุด (วท.^{-๑})
- T = เวลารวมตะกอน ซึ่งเท่ากับเวลากักน้ำของฮังกวนช้า (นาที)
- K = ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของโคแอกกูแลนค้๑ง

ในกรณีใ้ใช้สารตั้มเ็นโคแอกกูแลนทีเ็นปริมาณที่ใ้สูงกว่า ๑๐ มก./ล. สมการ
(๑.๑๕) จะเ็นดังนั้

$$(G^*)^{2.8} T = 44 \times 10^5 / C \tag{9.16}$$

โดยที่ C - ความเข้มข้นของสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 0-50 มก./ล.
 G^* หรือความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุด หมายถึงค่า G ที่ทำให้เกิดฟล็อกอุ-
 ลินแล้วมีความขุ่นเหลือน้อยที่สุด (หลังจากตกตะกอนแล้ว) G^* ควรมีความถี่ระหว่าง
 20-50 วน.⁻¹

ในปัจจุบันผลวิจัยหลายชิ้นได้ชี้ให้เห็นว่า การสร้างฟล็อกอุเลนโดยให้มีอัตราการสวิง
 C ไปตามความยาวของถังความช้า จะให้ผลดีกว่าการใช้ถังความช้าที่มีค่าความเร็ว
 แกรเคลื่อนที่คงที่ วิศวกรบางคนแนะนำให้ลดค่า G ในอัตรา 2:1 ไปตามความยาว
 ของถังความช้า บางคนให้ใช้ถังความช้าที่มีค่า G เริ่มตั้งแต่ 150 วนาที⁻¹ ที่บริเวณ
 หัวถังเข้าไปจนเหลือ 30 วนาที⁻¹ ที่บริเวณหางถังออก

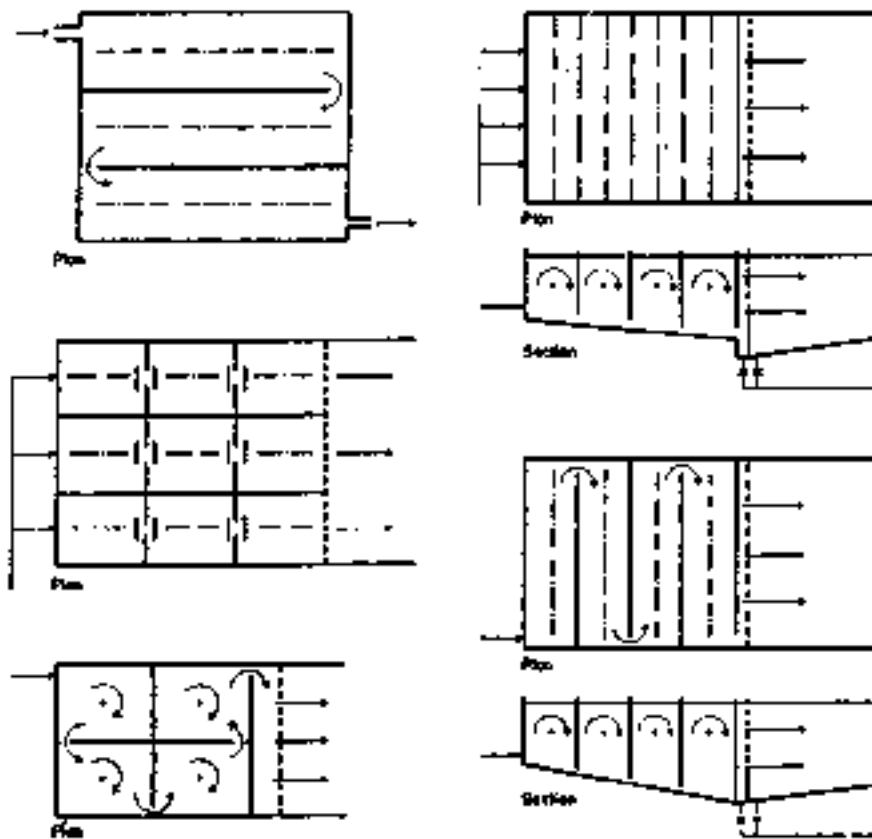
สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการออกแบบถังความช้า ได้แก่ การจัดผังเพื่อวางตำแหน่ง
 ของถังความช้าให้เหมาะสม ฟล็อกที่ออกจากถังความช้าไปสู่ถังตกตะกอนจะต้องอยู่ใน
 สภาพที่เหมือนเดิม วิศวกรจึงต้องมีความระมัดระวัง ในการออกแบบทาง เชื่อม
 ระหว่างถังความช้าและถังตกตะกอน ความปั่นป่วนภายในถัง เชื่อมต้องไม่มีและจนมี
 การลดตะกอนหรือมากจนผิดปกติ วิธีที่ดีที่สุดในการปฏิบัติ คือออกแบบให้ถังความ
 ช้าและถังตกตะกอนมีโครงสร้างร่วมกัน (เช่น ความกว้างเท่ากัน) และต่อถึงกัน
 โดยใช้แผ่นกั้นน้ำ (Baffle) ดังแสดงในภาพที่ 9.16 ลักษณะการออกแบบ
 ดังกล่าวทำให้น้ำไหลจากถังความช้าและเข้าถังตกตะกอนได้ โดยมีการ เปลี่ยนแปลง
 คุณสมบัติทางฮดรากลศาสตร์น้อยที่สุด

9.7.2 ประเภทของถังความช้า

ถังความช้า อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทใบพัดแบบต่าง ๆ และ
 ประเภทคันชักน้ำ (ไม่ต้องใช้เครื่องจักร)

9.7.2.1 ถังความช้าที่ใช้ใบพัด

อุปกรณ์ที่ใช้ทวนน้ำมักเป็นใบพัด ๓ แบบ คือ แบบใบพาย (Paddle and Reels)

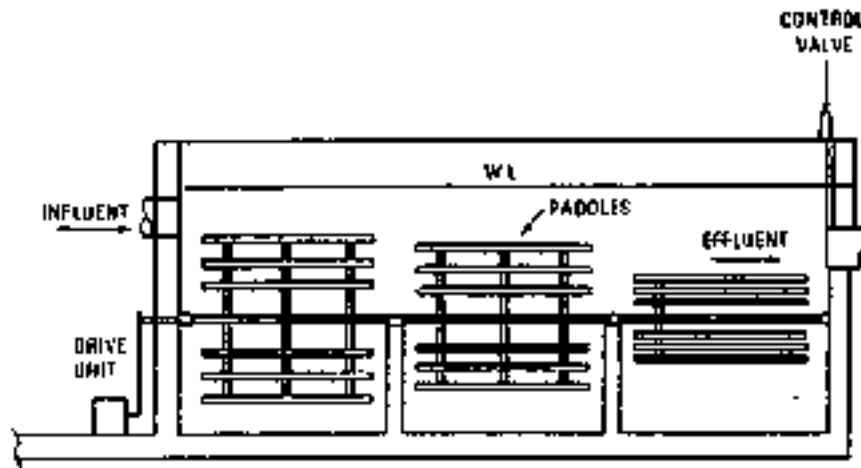


Arrows represent the path of water flow. The easiest way to manage flocculated water is to build the flocculator and settling basin integrally, with a permeable baffle discharging the flocculated water into the basin to assure uniform horizontal and vertical distribution of settling basin inlet flow.

ภาพที่ ๑.๑๘ การออกแบบถังความช้าและถังตกตะกอนให้อยู่ในถังเดียวกัน (3)

แบบเทอร์ไบน์ (Turbine) และแบบใบเรือ (Propeller) เช่นเดียวกับที่ใช้ในกังหันน้ำ

เครื่องกวาดใบพายอาจติดตั้งให้หมุนในทิศทางตามน้ำหรือสวนน้ำก็ได้ มักจะอยู่ในแนวขนานหรือแนวตั้งก็ได้ ความเร็วรอบไม่เกิน 2-10 รอบต่อนาที ซึ่งได้โดยมีความเร็วของใบพายประมาณ 1-2 ฟุต/วินาที เครื่องกวาดแบบนี้มักมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอื่น ๆ (ดูภาพที่ ๑.17)



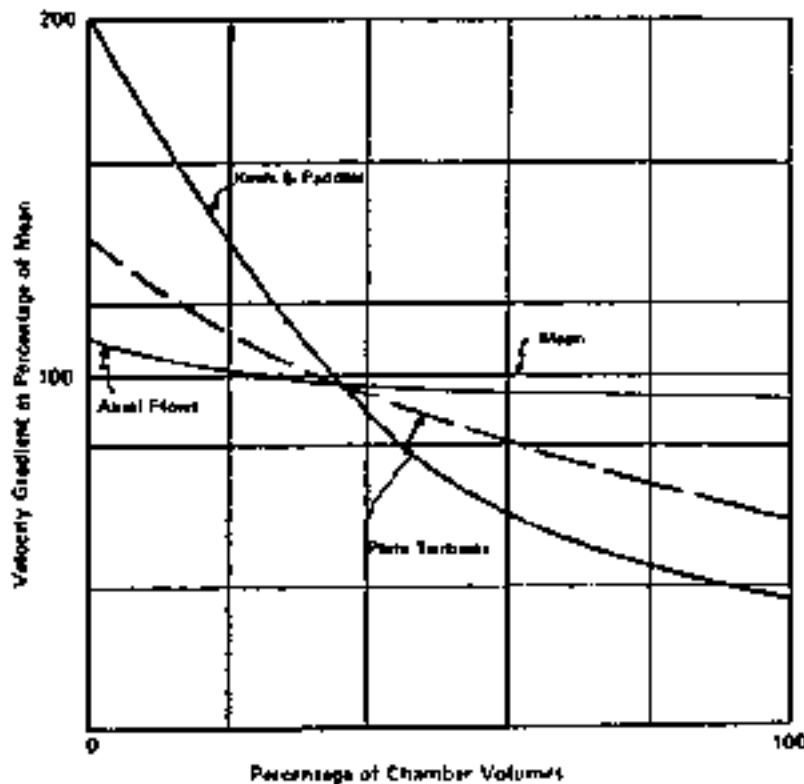
ภาพที่ ๑.17 กังหันน้ำที่ใช้ใบพัดแบบใบพาย (Paddle)

เครื่องกวาดน้ำแบบเทอร์ไบน์ มีใบพัดที่มีลักษณะ เป็นแผ่นจานหมุนซึ่งมีใบพัดขนาดเล็ก ติดตั้งจากรับแผ่นจานใบแนวรัศมีของจาน แผ่นจานมักติดตั้งจากรับแกนหมุน ใบเทอร์ไบน์อาจติดตั้งให้หมุนในแนวขนานหรือตั้งก็ได้ ความเร็วรอบของใบเทอร์ไบน์มีค่าอยู่ในช่วง 10-15 รอบต่อนาที ความเร็วของใบพายสูงกว่า 2 ฟุตต่อวินาที สำหรับฟล็อกเปราะที่เกิดจากสาหร่ายหรือเหล็กดีบุก และไม่เกิน 4 ฟุต/วินาที สำหรับฟล็อกที่แข็งแรงทั้งเช่น ฟล็อกของหินปูนที่เกิดขึ้นในการกำจัดความกระด้าง

เครื่องทวนแบบเทอร์ไบน์มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบอื่น แต่ก็ยังมีข้อดี คือติดตั้งง่าย ในกรณีที่ต้องทวนน้ำ โดยที่ G สูงกว่า 40 วินาที⁻¹ ไม่ควรใช้เครื่องทวน แบบเทอร์ไบน์

เครื่องทวนน้ำแบบใบเรือ (Axial Flow Propeller) สามารถติดตั้งให้หมุนในแนวอนหรือแนวตั้งก็ได้ การติดตั้งจะทำได้ง่าย เครื่องที่หมุนในแนวอน อาจวางได้ตั้งศูนย์กลาง (off center installation) ความเร็วรอบสูงประมาณ 150-1500 รอบต่อนาที และสามารถเข้ากับถังทวนน้ำที่มีค่า G สูงถึง 60 วินาที⁻¹ โดยมีข้อจำกัดในเรื่องความเร็วรอบ

ในบรรดาเครื่องทวนทั้ง ๓ ชนิด เครื่องทวนแบบใบเรือเป็นแบบที่ให้ G กับถังทวนน้ำสม่ำเสมอที่สุดซึ่งมากกว่าแบบอื่น ดังแสดงในภาพที่ ๑.18 เครื่องทวนแบบ



ภาพที่ ๑.18 ตารางแสดงค่าของ G ของใบพัดแบบต่าง ๆ

ใบพายซึ่งเป็นที่นิยมมากที่สุดมี G ต่ำกว่าเล็กน้อยที่สุด

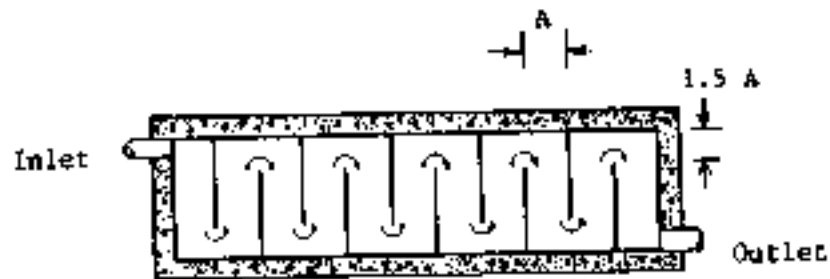
สำหรับถังกวนน้ำที่ใช้ใบพายในการกวนน้ำ อัตรางานที่ต้องการ (P) คำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$P = 0.5 C_D A \rho V^3 \quad (9.17)$$

โดยที่	P	=	พลังงานที่ต้องใช้ในการกวนน้ำ
	C_D	=	สัมประสิทธิ์ของแรงต้าน (Drag Coefficient) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.8 สำหรับใบพาย (Paddle)
	V	=	ความเร็วสัมพัทธ์ของใบพาย = (0.75) (ความเร็วรอบใบพาย)
	ρ	=	ความหนาแน่นของน้ำ
	A	=	พื้นที่ของใบพาย

9.7.2.2 ถังกวนน้ำแบบใช้แผ่นกั้นน้ำ (Baffled Flocculator)

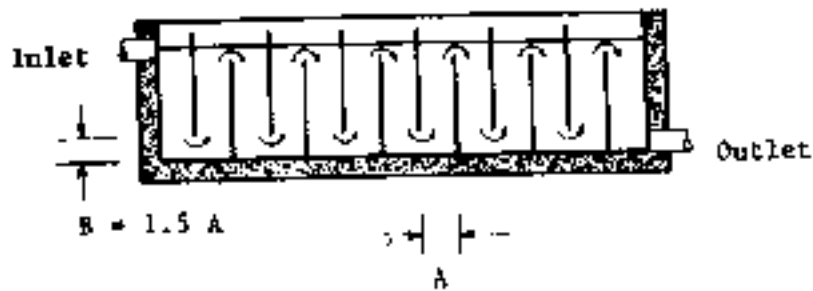
ถังกวนน้ำไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกวนน้ำเสมอ การบังคับให้น้ำไหลกวน และลดความเร็วลงด้วยแผ่นกั้นน้ำ ก็สามารถสร้างความปั่นป่วน (G) ให้กับน้ำพอเพียงที่จะเกิดฟล็อกได้ ภาพที่ 9.19 แสดงให้เห็นถึงถังกวนน้ำแบบใช้แผ่นกั้นน้ำ ๔ แผ่น แบบแรกเป็นการบังคับให้น้ำไหลกวนในแนวระนาบ ส่วนแผ่นหลังบังคับให้น้ำไหลกวนในแนวตั้ง จะเห็นได้ว่า แผ่นกั้นน้ำแบ่งถังกวนน้ำเป็นห้องเล็กๆ จำนวนมากตาม น้ำจะไหลกวนไปหลายทิศทาง ทุทิศทางอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดการรวมตัวของสละลอยคละกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่หรือฟล็อก ความเร็วในการไหลลดลงไปค่าเฉลี่ยโดยมีการลดทอนเกิดขึ้น การใช้แผ่นกั้นน้ำช่วยทำให้เกิดการไหลวน (short circuit) เกิดขึ้นน้อยมาก แต่มีข้อเสียคือ ระดับความเร็วปั่นป่วนขึ้นอยู่กับอัตราไหลของน้ำ ดังนั้น ถ้าอัตราไหลของน้ำมีความแปรปรวนมาก การลดทอนและควบคุมฟล็อกได้เช่นนี้ก็ไม่ดีจึงเป็นรองลงมา ความปั่นป่วน G ในช่อง



A ต้องไม่น้อยกว่า ๐.45 เมตร ความลึกของน้ำ
 ไม่น้อยกว่า ๐.๑ เมตร

รูปถ่าย

ก. ถังกรองน้ำแบบไหลในแนวระนาบ



รูปถ่าย

ข. ถังกรองน้ำแบบไหลขึ้นบน-ลงล่าง

ภาพที่ ๑.1๑ ถังกรองน้ำแบบใช้ส่อกึ่งน้ำ ๓ เมตร เกท

ความช้า อาจคำนวณได้ ดังนี้

$$G = (12.83 \times 10^6 \text{ H/T})^{0.5} \quad (9.18)_a$$

โดยที่ H = การสูญเสียเฮด (หน่วยเป็นเมตร) ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราไหลของน้ำ และความคล่องตัวของภาวไหล
 T = เวลาพักน้ำของถัง (หน่วยเป็นวินาที)

หลักปฏิบัติในการออกแบบถังความช้าแบบไม่ใช้ใบพัด มีดังนี้

๑. ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต้องไม่สั้นกว่า ๐.๓๐ เมตร เพื่อให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย
๒. ความเร็วของการไหลควรอยู่ระหว่าง ๐.๑๐-๐.๓๐ เมตรต่อวินาที
๓. เวลาพักน้ำ ควรอยู่ระหว่าง ๒๐-๕๐ นาที
๔. ระยะห่างระหว่างปลายของแผ่นกั้นและผนังถังควรมีค่าประมาณ ๑.๕ เท่าของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นที่อยู่ติดกัน และระยะห่างนี้ต้องไม่น้อยกว่า ๐.๕๐ เมตร
๕. การสูญเสียเฮดสำหรับทุก ๆ ฟุตเพียง ๕๐' สามารถประมาณได้ด้วย สูตรดังต่อไปนี้

$$H = 0.163 V^2 \quad (9.19)$$

โดยที่ H = การสูญเสียเฮด (เมตร)

V = ความเร็วของการไหลของน้ำภายในถัง (เมตรต่อวินาที)

๖. ความลึกของถังความช้าที่มีการไหลในบวระวน (around-the-end baffles) สามารถกำหนดได้โดยการหารพื้นที่หน้าตัด (ในแนวตั้ง) ของถังตั้งด้วยระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นตั้ง (ดูภาพที่ ๙.๑๑) ความลึกของถังแบบนี้ต้องไม่ต่ำกว่า ๐.๒ เมตร ถ้าปรากฏว่าความลึก (จากการคำนวณ) มีค่าต่ำกว่า ๐.๑ เมตร ให้ใช้ถังความช้าที่มีการไหลแบบขึ้นบน-ลงล่าง (over-and-under baffles)

๗. ความกว้างของถังกวนช้า ที่มีการไหลแบบจืดแบบ-สองด้าน (ดูภาพที่ ๑.19) สามารถคำนวณได้โดยการหารพื้นที่หน้าตัดของแต่ละห้องด้วยระยะตั้งระหว่างแผ่นกั้นห้อง ช่องว่างระหว่างกอนบนของแผ่นกั้นน้ำจนถึงผิวน้ำ หรือระหว่างกอนล่างของแผ่นกั้นจนถึงก้นถัง การมีระยะประมาณ 1.๗ เพื่อชดเชยระหว่างระหว่างแผ่นกั้น

๑.๓.๑ ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการออกแบบ

ข้อมูลขั้นต่ำที่ต้องการสำหรับออกแบบถังกวนช้า เหมือนกับการออกแบบถังกวนเร็ว ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว

๑.๓.๒ ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างที่ ๑.๑ ให้ออกแบบถังกวนช้าสำหรับการใช้ของตัวอย่างที่ ๑.๑

การทราบค่าความเร็วเฉพาะที่เหมาะสมที่สุด (G^*)

ระดับความขุ่นของน้ำดิบแปรปรวนมากตลอด โดยมีความขุ่นสูงกว่า ๑๕ หน่วย เกิดขึ้นเป็นเวลา ๒๗ % ของปี เพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการทำงาน และความสามารถรับความแปรปรวนของคุณภาพของน้ำดิบได้ จึงเลือกใช้ถังกวนช้าแบบธรรมดา ซึ่งน้ำไหลในแนววน และกวนน้ำโดยอาศัยหลัก เครื่องกล มีมีความเป็นค่าคงที่ของซึ่งต้องการเอหารสารเคมีเท่านั้น ปริมาณสารเคมีใช้บ่อยที่สุด คือ ๒๗-๓๐ มก./ลบ. และ ๖๕ มก./ลบ.

$$\text{จากสูตร} \quad T(G^*)^{2.8} \cdot C = 44 \times 10^5$$

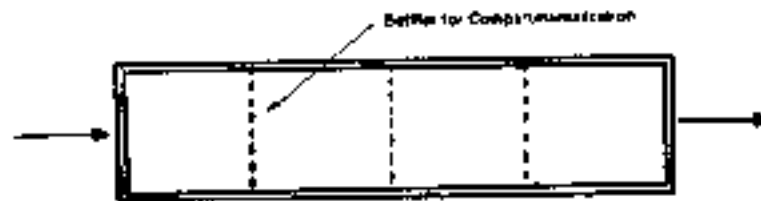
$$\text{ดังนั้น} \quad T(G^*)^{2.8} = 44 \times 10^5 / 27 \quad \text{คือ} \quad 44 \times 10^5 / 36$$

ถ้าใช้ T = 30 นาที
 $\therefore (G^*)^{2.8}$ = 1.63×10^6 ถึง 1.22×10^6
 = $1.63 \times 10^6 / 30$ ถึง $1.22 \times 10^6 / 30$
 = 5433.3 ถึง 4066.7
 G^* = 21.6 ถึง 19.5 วท.^{-1}
 ถ้าใช้ T = 20 นาที จะได้ G^* อยู่ในช่วง 24.8 ถึง 22.5 วท.^{-1}

ในกรณีสมมติให้ใช้ T = 20 นาที และ G^* = 22 วท.^{-1}
 เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและใช้พลังงานต่ำที่สุด จะใช้วิธีตั้งความเร็วขึ้นเป็น 4 ห้อง และใช้
 แบบ Tapered Flocculation โดยมี G_1 = 40 วท.^{-1}
 G_2 = 30 วท.^{-1} , G_3 = 22 วท.^{-1}
 และ G_4 = 10 วท.^{-1}
 ขอให้สังเกตว่า G = 22 วท.^{-1} อยู่ในห้องที่สาม

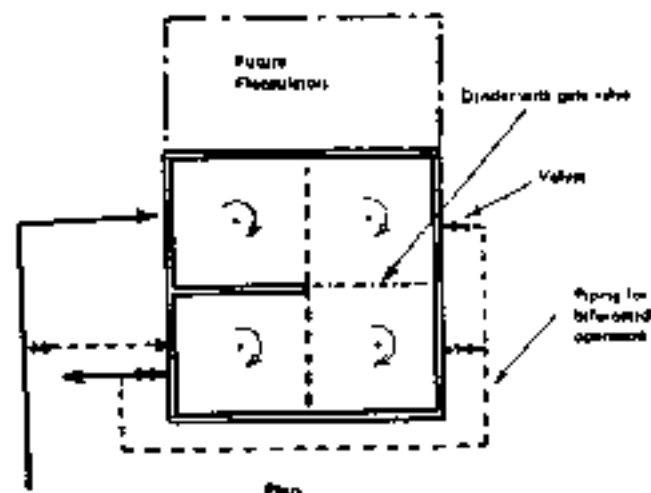
ขนาดพารามิเตอร์และชนิดถังของถังกวนช้า

เวลาที่กวนน้ำในแต่ละห้องของถังกวนช้า = $20/4$ = 5 นาที
 ปริมาตรของถังกวนช้า = $1.8 \times 1.547 \times 20 \times 60$
 = 2784 ลบ.ฟุต
 และปริมาตรของแต่ละห้อง = $2784/4$ = 696 ฟุต
 สมมติให้ใช้ระดับน้ำสูง 9.0 ฟุต
 แล้วจะต้องจะมีด้านกว้างหรือยาว = $\sqrt{696/9}$ = 8.79 ฟุต
 (ใช้ทั้งรูปสี่เหลี่ยม)
 ให้ตั้งมีความสูงเหนือระดับน้ำไว้ 2 ฟุต
 \therefore ขนาดของห้องแต่ละห้อง = กว้าง \times ยาว \times สูง
 = 9 \times 9 \times 11 ฟุต
 การจัดวางสี่ห้องของถังกวนช้าอาจเป็นแบบภาพ 9.20 ก หรือ 9.20 ข. ก็ได้



Plan

n. Commonly used layout



Plan

m. Layout for design example

รูปที่ ๑.๒๐ การติดตั้งถังกวนสี่ส่วนสำหรับตัวอย่างที่ ๑.๓

ถ้าพื้นที่ก่อสร้างที่มีอยู่ไม่พอให้ ควรวางถังตามแบบ ๑.๒๐ ข. เพราะเมื่อใช้สวิตช์หลายประการ เช่น ประตูยกต่ำก่อสร้าง (ใช้คาน้ำวางได้) และมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่า

การเลือกขนาดของเครื่องกำเนิดน้ำ

เพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และง่ายต่อการก่อสร้าง และเนื่องจากกังหันน้ำมีขนาดเล็ก จึงเลือกใช้กังหันน้ำแบบใบพัดเร็ว การคำนวณขนาดของเครื่องกำเนิดน้ำ ขึ้นอยู่กับกำลังการชกแบบเครื่องกำเนิดน้ำเร็ว (ใช้สมการ 8.10 และ 8.11)

สำหรับในหัวข้อแรกของกังหันน้ำ ซึ่งมีความเร็วรอบ (G) เท่ากับ 40 วน. $^{-1}$ ให้เลือกมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วได้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถปรับค่า G ในช่วง 15-75 วน. $^{-1}$ ได้ เนื่องจาก $G \propto N^{1.5}$ ดังนั้น ถ้าต้องการปรับ G ให้ได้ตั้งแต่ 15 ถึง 75 วน. หรือ 5 เท่า จะต้องสามารถปรับความเร็วรอบของใบพัดให้ได้ 5 เท่า

ขนาดของเครื่องกำเนิดน้ำ คือกำลังขาออก G สูงสุด ดังนี้

$$\begin{aligned} P &= C^2 \mu \eta \\ &= (70)^2 (2000 \times 10^{-9}) (9 \times 9 \times 9) \\ &= 118.76 \quad \text{ฟุต-ปอนด์/วิน.} \end{aligned}$$

ค่า μ เป็นความหนืดสูงสุดที่เลือกเป็นคุณสมบัติน้ำสุก (8.18)

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์	= 0.8
กำลังเข้าของมอเตอร์	= $118.75/550 \times 0.8$
	= 0.27 แรงม้า

เลือกมอเตอร์ขนาด 1/3 แรงม้า

จากสมการ $P = k \rho N^3 D^5 / g$

ในการนี้ สมมติว่าใช้ใบพัดเร็วคือ 2 หรือ 4 ใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ฟุต (ใบพัดแต่ละใบมีขนาด 1 ฟุต) ดังนี้

$$k = 1.0$$

$$1/3 \times 350 \times 0.3 = 1 \times 0.24 \times 2^3 \times N^3 / 22.2$$

$$N = 1.83 \text{ รอบต่อวินาที}$$

$$\tau = 30 \text{ รอบต่อวินาที}$$

ใช้เครื่องกวนน้ำที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 27 ถึง 31 รอบ ต่อ นาที (3:1)

มอเตอร์และเครื่องกวนน้ำของห้องที่ 2, 3 และ 4 ของถังกวนซ้ำ ก็อาจคำนวณได้ในลักษณะเดียวกัน ในการนี้ปีศาจกว่า มอเตอร์และเครื่องกวนน้ำ จะปรับที่ 1 และ 2 มีขนาดเดียวกัน แต่สำหรับห้องที่ 3 และ 4 จะมีขนาดเล็กกว่า

ข้อควรระวังในการออกแบบถังกวนซ้ำที่มีหลายห้อง คือ ช่องเปิดปิดระหว่างห้องซึ่งอยู่ที่ผิว และเป็นการให้น้ำไหลไปมากัน จะต้องมีความลึกพอเพียง เพื่อให้ความเร็วยังคงการไหลไม่เกิน 0.5-2 ฟุตต่อวินาที

ตัวอย่างที่ 2.4 ของออกแบบถังกวนซ้ำที่ไม่ใช้ใบพัดแบบไหลในแนวระนาบ สำหรับผลิตน้ำประปา 11,355 ลบ. เมตรต่อวัน ซึ่งที่กำหนดในปัญหานี้

1. ระยะห่างระหว่างแท่งกวนเท่ากับ 0.45 เมตร
2. เวลาพักน้ำ 20 นาที
3. ความเร็วของการไหลภายในถัง 0.24 เมตรต่อวินาที
4. ความกว้างของถังกวนซ้ำ 3.3 เมตร

วิธีทำ เพื่อให้มีน้ำไหลด้วยความเร็ว 0.24 เมตรต่อวินาทีเป็นเวลา 20 นาที

$$\text{จะต้องมีเส้นทางน้ำไหลยาว} = 0.24 \times 20 \times 60$$

$$= 288 \text{ เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของถังกวนซ้ำ} = (20 \times 11,355/60 \times 24)$$

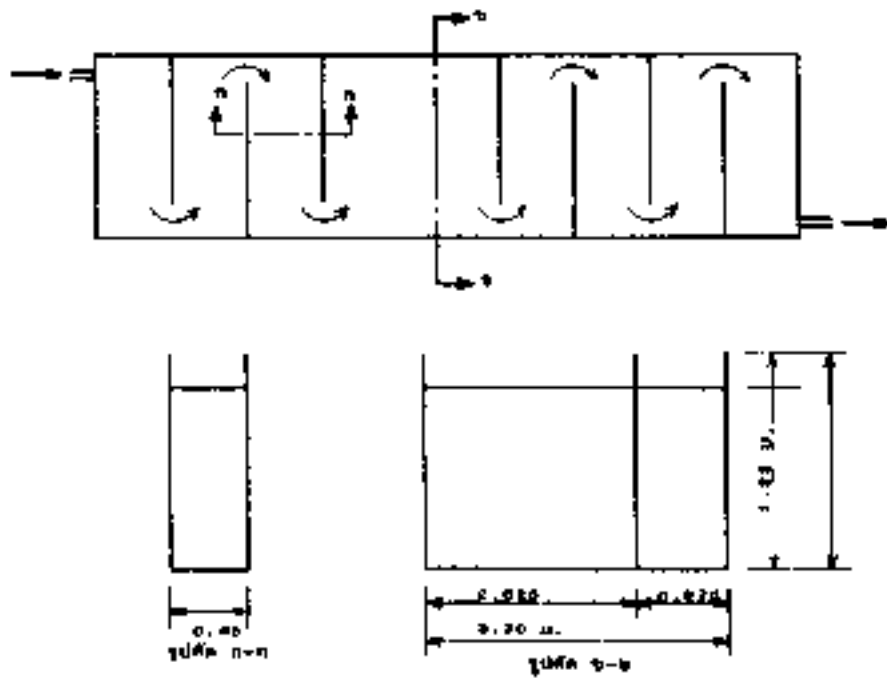
$$= 157.7 \text{ ลบ. เมตร}$$

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัด (ในแนวตั้ง) ในแต่ละห้องของถังกวนซ้ำ (ดูรูปตัด ก-ก ในภาพที่ 2.21)}$$

$$= 157.7/288$$

$$= 0.548 \text{ ตร. เมตร}$$

$$\text{เนื่องจากระยะห่างระหว่างแท่งกวน} = 0.45 \text{ เมตร}$$



ภาพที่ ๑.๒๑ ค่าคอมพอน์ของถังอย่างี่ ๑.๔

∴ ความลึกของน้ำในถังความช้า = $0.548/0.45$
 = 1.22 เมตร

โถ้ของวางระหว่างปลายของแผ่นกั้นและผนังถังความช้าเท่ากับ 1.5 ของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้น ดังนั้น 1.5×0.46 = 0.675 เมตร

∴ ระยะทางที่น้ำต้องไหลในแต่ถังคือ = $3.3 - 2 (0.675/2)$
 = 2.025

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนท่อที่ติดตั้ง} &= 2.88 / 2 \times 25 = 109.7 \approx 110 \\
 \text{ค่าของแอมเพอร์ที่รวมเข้าเป็นวงคู่ แต่จะหักด้วย 30 ฟุต และ (ความยาว (ไม่รวม} \\
 \text{ความหมายของแอมป์)} &= 0.45 \times 55 = 24.75 \text{ เมตร} \\
 \text{ความยาวทั้งหมด} &= 24.75 + (2 \times 0.25) + (0.075 \times 54) \\
 &= 24.75 + 0.50 + 4.05 \\
 &= 29.3 \text{ เมตร}
 \end{aligned}$$

การตรวจสอบค่า G โดยการคำนวณ

ความเร็วลมที่มีที่โหนดบนผิวโลก

$$\begin{aligned}
 &= 11,355 \text{ ซม.ม.ต่อวินาที} / (0.675 \text{ ม.}) \times (1.22 \text{ ม.}) \\
 &= 12788.7 / 24 > 50 \\
 &= 9.57 \text{ เมตรต่อวินาที} \\
 &= 0.18 \text{ เมตรต่อวินาที}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{การสูญเสีย เซต เนื่องจากภาระชักเยื่อ } 180^\circ &= 0.163 \text{ } \psi^2 \\
 &= 0.163 \times (0.18)^2 \\
 &= 0.0042 \text{ เมตร} \\
 \text{เนื่องจากผิวเรียบทั้งหมดมีจำนวน } &= 2 \times 38 = 198 \\
 \therefore \text{การสูญเสีย เซตทั้งหมดเนื่องจากภาระชักเยื่อ} &= 198 \times 0.0042 \\
 &= 0.154 \text{ เมตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad G &= (12.83 \times 10^6 \text{ H/T})^{0.5} \\
 H &= 0.454 \text{ เมตร} \\
 T &= 20 \times 60 = 1200 \text{ วินาที} \\
 \therefore G &= (12.83 \times 10^6 \times 0.454 / 1200)^{0.5} \\
 &= 80.7 \text{ วัตต์}^{-1}
 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า G มีค่าสูงกว่าระดับ G ที่เหมาะสม (คือ 20-50 วัตต์⁻¹) ซึ่งควรทำการออกแบบใหม่ โดยให้ความเร็วของการไหลภายในถังน้อยกว่า 0.24 เมตรต่อวินาที

สารบัญเนื้อหาบทที่ 10

การถกตะกอน

10.1	การจำแนกประเภทของการถกตะกอน	296
10.2	ทฤษฎีของการถกตะกอนแบบจุดบดตี	297
10.2.1	ทฤษฎีสำหรับการถกตะกอนแบบโลก	297
10.2.2	ทฤษฎีสำหรับการถกตะกอนแบบรวมกลุ่ม	300
10.2.3	ทฤษฎีสำหรับการถกตะกอนแบบแบ่งชั้น	301
10.2.4	แนวความคิดในการใช้ท่อไฮดรอนัมถกตะกอน	304
10.3	อัตราเร็วของการถกตะกอนแบบต่าง ๆ	307
10.3.1	อัตราเร็วของการถกตะกอนแบบโลก	307
10.3.2	อัตราเร็วของการถกตะกอนแบบรวมกลุ่ม	308
10.3.3	อัตราเร็วของการถกตะกอนแบบมีอุปสรรค	308
10.4	การวิเคราะห์ผลการถกตะกอน	319
10.4.1	การวิเคราะห์ผลการถกตะกอนแบบโลก	319
10.4.2	การวิเคราะห์ผลการถกตะกอนแบบรวมกลุ่ม	314
10.4.3	การวิเคราะห์ผลการถกตะกอนแบบแบ่งชั้น	320
10.5	การจำแนกประเภทของถังตกตะกอน	332
10.5.1	ถังตกตะกอนแบบธรรมดา	332
10.5.2	ถังตกตะกอนแบบท่อ	335
10.5.3	ถังตกตะกอนแบบไฮดรอนัม	338
10.6	ทฤษฎีเกณฑ์ที่ใช้ออกแบบถังตกตะกอน	348
10.6.1	คุณสมบัติในค่าบ่างตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย	349
10.6.2	คุณสมบัติในค่าบ่างตกตะกอนของถังตกตะกอน	350

	10.6.2.1	สัมพันธภาพของสิ่งแวดล้อม	351
	10.6.2.2	ความถี่หรือระยะเวลาที่น้ำของสิ่งแวดล้อม	358
	10.6.2.3	อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านสิ่ง	354
	10.6.2.4	ทางน้ำ เขื่อนและขวางน้ำออกของสิ่งแวดล้อม	364
	10.6.2.5	การจัดการกับมลพิษที่เกิดขึ้นจากการ สิ่งแวดล้อม	357
10.7		การออกแบบสิ่งแวดล้อม	358
	10.7.1	การออกแบบสิ่งแวดล้อมรูปที่เสริมพื้นผิว	362
	10.7.2	การออกแบบสิ่งแวดล้อมถนนและที่เพื่อเมืองชุมชน	360
	10.7.3	การออกแบบสิ่งแวดล้อมแบบย่อ	372
	10.7.4	การออกแบบสิ่งแวดล้อมแบบใช้ผลิตภัณฑ์	379
10.8		ปัญหาการไหลสัดทางในสิ่งแวดล้อม	368
	10.8.1	สาเหตุของการไหลสัดทาง	362
	10.8.1.1	อิทธิพลของชุมชน	368
	10.8.1.2	อิทธิพลของความชุ่มชื้นของดินและแนวถนน	383
	10.8.1.3	อิทธิพลของความเค็มหรือสารละลายในน้ำ	384
	10.8.1.4	อิทธิพลของกระบวนการ	384
	10.8.2	วิธีแก้ไขและป้องกันปัญหาการไหลสัดทาง	384

บทที่ 10

การตกตะกอน

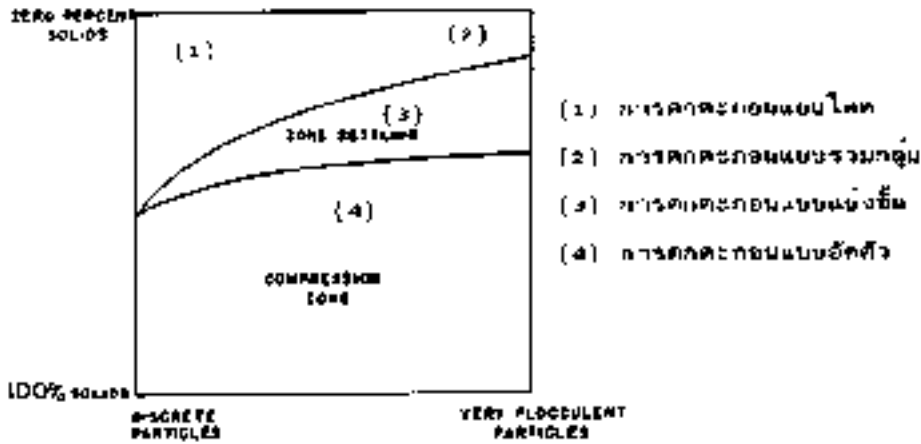
10.1 ตารางจำแนกประเภทของการตกตะกอน

การตกตะกอน เป็นวิธีแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวด้วยแรงดึงดูดของโลก หลังจากการตกตะกอน ทำให้ได้ส่วนผสมของ ๒ ส่วนคือ น้ำใส และ ตะกอนเหลวหรือสลัดจ์ (Sludge) ถ้าจุดมุ่งหมายของการตกตะกอนเป็นไปเพื่อให้ได้น้ำใส การตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่า Clarification แต่ถ้าจุดมุ่งหมายเป็นไปเพื่อให้ได้สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจากการตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่าThickening การตกตะกอนในขบวนการผลิตน้ำประปา มักมีความมุ่งหมายเพื่อให้ได้น้ำใส มากกว่าเพื่อทำให้สลัดจ์เข้มข้น

การตกตะกอนอาจจำแนกได้เป็น 4 ประเภท ตามแต่ระดับความเข้มข้น และคุณสมบัติของแข็งที่อยู่ในน้ำ ดังนี้ (ดูภาพที่ 10.1)

1. การตกตะกอนแบบไม่ติด (Discrete Settling)
2. การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (Flocculent Settling)
3. การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling)
4. การตกตะกอนแบบอัดตัว (Compression Settling)

น้ำที่มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยต่ำ อาจตกตะกอนเป็นแบบไม่ติด หรือ รวมกลุ่มก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตะกอนหรืออนุภาค ถ้าตะกอนแขวนลอย ไม่สามารถจับตัวกันเป็นกลุ่ม การตกตะกอนจะเป็นแบบไม่ติด ส่วนอย่างของการตกตะกอน



ภาพที่ 10.1 การจำแนกประเภทของการตกตะกอนตามความเข้มข้นและรูปร่างของอนุภาค

แบบนี้ได้แก่ การตกตะกอนของเม็ดกรวดหรือทรายขนาดต่าง ๆ ถ้าตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มในการจับตัวกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน การตกตะกอนจะ เป็นแบบรวมกลุ่ม ตัวอย่างได้แก่ การตกตะกอนบนกองน้ำเสีย หรือของฟล็อกสารส้ม หรือฟล็อกที่เกิดจากโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) ชนิดอื่น ๆ

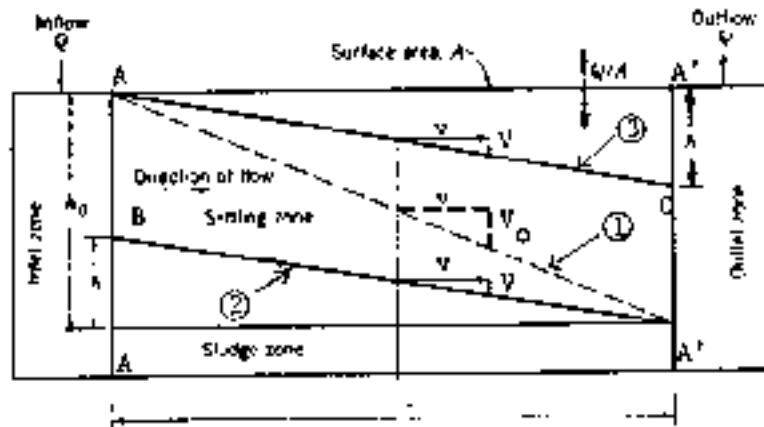
น้ำที่ใสตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับปานกลางหรือสูง (เช่น มีความเข้มข้นสูงกว่า 1000-2000 มก./ล.) มักมีการตกตะกอนแบบแข็งขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากอนุภาคแต่ละชนิดมีน้ำหนัก และเส้นรอบวงด้วยอัตราเร็วเดียวกัน ทำให้เห็นเป็นชั้นแยกกันระหว่างน้ำใสและอนุภาค การตกตะกอนของแอคทีเวเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge) เป็นตัวอย่างของการตกตะกอนเป็นชั้นที่เห็นได้ชัดกว่าตัวอย่างอื่น ระบบผลิตน้ำประปาที่พอจะมีตัวอย่างการตกตะกอนแบบนี้เห็นได้ชัด เช่น การตกตะกอนในขบวนการกำจัดความกระด้างด้วยสารเคมี เป็นต้น สำหรับการตกตะกอนแบบอัดตัว เกิดขึ้นเมื่อน้ำมีตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับสูงมาก และมักเกิดขึ้น ที่ชั้นซึ่งตกตะกอน การตกตะกอนแบบอัดตัวอาจถือได้ว่า เกิดขึ้นหลังจากที่การตกตะกอน

แบบขึ้นได้เกิดขึ้นแล้ว การพัดตัวเกิดขึ้นเนื่องจาก อุณหภูมิต่าง ๆ วางซ้อนกัน ในลักษณะที่มีการถ่ายเทน้ำหนักให้กับอนุภาคที่อยู่ข้างล่าง

10.2 หลักการของการทำงานของแบบจุดมกค

10.2.1 หลักการพื้นฐานการทำงานของแบบโคต

ภาพที่ 10.2 แสดงให้เห็นถึงถึงตดกคระกอนแบบจุดมกค ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ บริเวณทางน้ำเข้า บริเวณที่ใช้ตกตะกอน และ บริเวณทางน้ำออก ดังนี้



ภาพที่ 10.2 การวิเคราะห์ถึงตดกคระกอนแบบจุดมกค

ของถังแบบจุดมกคนี้ ถือว่า แต่ละขบวนของน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณตกตะกอนนี้ในลักษณะที่เป็นระนาบแนวคี่ง (ระนาบ A-A) โดยมีความเข้มข้นของตะกอนและขนาดของอนุภาคต่าง ๆ คงที่ตลอดทั้งระนาบ อนุชนของน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ และผนังน้ำเสมอ

ด้วยอัตราเร็วเท่ากับ v และไปถึงระยะทาง $A'-A'$ โดยไม่เปลี่ยนรูปร่าง ความเร็ว v นี้เท่ากับอัตราไหลของน้ำ (Q) หากที่ระดับที่หน้าเกิดในแนวตั้ง ของถัง หรือ h_0 มี โดยที่ h_0 และ W เป็นความลึกและความกว้างของถัง ตามลำดับ

สมมติว่าอนุภาคทั้งหมดตกตะกอนลงอย่างอิสระ และอนุภาคที่ตกถึงกับถังถือว่าถูกกำจัดออกไป รวมเข้าเป็นแนว (1) แสดงถึงวิถีการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่สามารถถูกกำจัดออกไปทั้งหมด (100%) อนุภาคเล็กที่สุดตามหลักเกณฑ์นี้มีความเร็วของทางตกตะกอนเท่ากับ V_0 ความหมายคัมภีร์ดังกล่าว อนุภาคใด ๆ ที่มีความเร็วของทางตกตะกอนเท่ากับ V_0 หรือสูงกว่า จะถูกกำจัดออกด้วยถังตกตะกอนแบบหมุนวน อนุภาคดังกล่าวจะตกตะกอนในแนวของระยะทาง (1) ถ้ามันเคลื่อนที่มาจากผิวน้ำ แต่ถ้ามันเริ่มต้นมาจากระดับอื่น วิถีการตกตะกอนจะอยู่ในระยะทางอื่นที่ขนานกับระยะทาง (1)

อนุภาคที่มีความเร็วในการตกตะกอนเท่ากับ V ซึ่งน้อยกว่า V_0 จะมีวิถีของการตกตะกอนอยู่ในระยะทาง (2) หรือ (2) จะเห็นได้ว่า อนุภาคเช่นนี้ อาจถูกกำจัดออกจนถึงตกตะกอนได้ถ้ามันเข้าสู่ถังตกตะกอน ณ จุดที่อยู่ต่ำกว่าจุด B (ดูภาพที่ 10.2) มิฉะนั้นแล้วมันจะไม่ถูกกำจัด จากการวิเคราะห์ปรากฏว่า อนุภาคที่มีอัตราตกตะกอนเท่ากับ V (น้อยกว่า V_0) แต่สามารถถูกกำจัดได้ มีปริมาณเท่ากับ h/h_0 หรือ V/V_0 โดยที่ h เท่ากับความลึกจากคันทันถึงจนถึงจุด B ส่วน h_0 เท่ากับความลึกทั้งหมดของระดับน้ำ

ถ้าได้	t	=	เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน
จะได้	t	=	L/v หรือ h_0/V_0
ดังนั้น	V_0	=	$h_0/t = h_0 v/L$
แต่เพราะว่า	v	=	$Q/h_0 W$
เพราะฉะนั้น	V_0	=	$h_0 Q/Lh_0 W = Q/WL$
เนื่องจาก	WL	=	พื้นที่ผิวหน้าของถัง = A

ดังนั้น $V_0 = Q/A$ (10.1)

เทอม Q/A นี้คือของไหลที่เต็ม เพราะมีบทบาทสำคัญมากในการออกแบบ และควบคุม
ถังตกตะกอน สมการ (10.1) สามารถตีความหมายได้หลายทาง ความหมายอื่น
พื้นฐานหมายความว่า ถ้าได้รับถังตกตะกอนแบบอุดมคติที่มีขนาดพื้นที่ผิวหน้า เท่ากับ A
และอัตราการไหลเข้าถึง เท่ากับ Q จะสามารถกำจัดอนุภาค (ด้วยวิธีตกตะกอน)
ใด ๆ ที่ตาม ที่ตกตะกอนด้วยความเร็วสูงกว่าหรือเท่ากับ Q/A ได้ดังนี้ สำหรับ
อนุภาคที่ตกตะกอนช้ากว่า V_0 จะสามารถกำจัดออกได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ส่วนที่
กำจัดออกได้มีค่าเท่ากับ V/V_0 โดยที่ V เป็นอัตราการตกตะกอนที่ต่ำกว่า V_0
เสมอ (อย่าลืมว่า $V_0 = Q/A$)

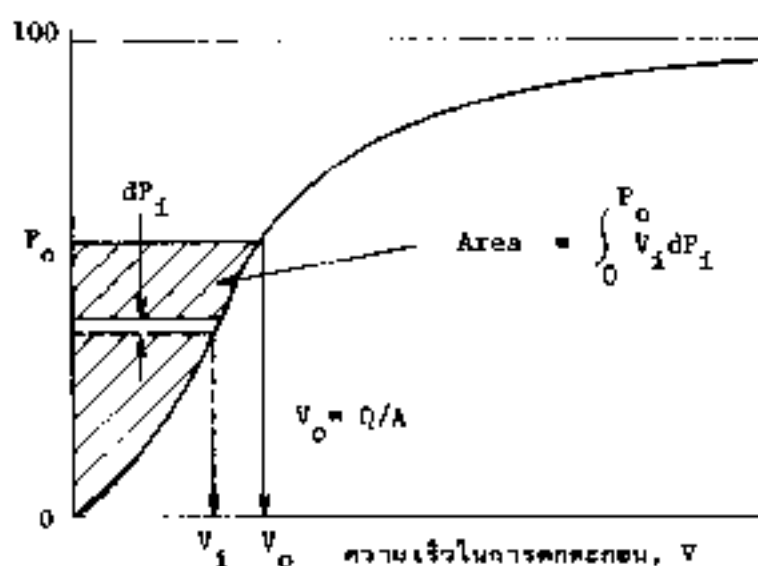
เทอม Q/A นี้ชื่อเรียกได้หลายอย่างเช่น Surface Loading Rate, Surface
Overflow Rate ฯลฯ ในที่นี้จะขออนุญาตเป็นไทยว่า "อัตราน้ำอันผิว"

ในธรรมชาติ อนุภาคที่ตกตะกอนในถังตกตะกอน จะมีขนาดแตกต่างกันมากมาย
ความเร็วในการตกตะกอนมีทั้ง สูงกว่า เท่ากับ หรือ ต่ำกว่า Q/A ประสิทธิภาพ
ในการกำจัดอนุภาคความขุ่น (P) สามารถแทนได้ด้วยสมการ ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} P &= (1-P_0) + \int_0^P v_i (v_i/v_0) dP_i \\ &= (1-P_0) + (1/v_0) \int_0^P v_i dP_i \end{aligned} \quad (10.2)$$

- โดยที่
- P_0 = เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่มีความเร็วในการตกตะกอน
น้อยกว่า V_0 หรือ Q/A
 - P_i = เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่มีความเร็วในการตกตะกอน
น้อยกว่า V_i (ซึ่งน้อยกว่า V_0)
- ดังนั้น $(1-P_0)$ = เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่ตกตะกอนได้เร็วกว่าหรือเท่า
กับ V_0 หรือ Q/A
- อนุภาคส่วนที่สามารถกำจัดออกโดยถังตกตะกอนได้ทั้งหมด
เพราะมีความเร็วสูงกว่าหรือเท่ากับ V_0
- $\int_0^P v_i (v_i/v_0) dP_i$ = ส่วนของอนุภาคที่กำจัดออกจากถังตกตะกอนได้ ทั้ง ๆ
ที่ตกตะกอนช้ากว่า V_0

การหาค่า P ซึ่งเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นด้วยถังตกตะกอน สามารถกระทำได้โดย การวัดพื้นที่บนกราฟที่ได้จากการพล็อตระหว่าง ความเร็วของการตกตะกอน และ x ของอนุภาคต่าง ๆ ที่มีความเร็วของการตกตะกอนแตกต่างกัน ภาพที่ 10.3 เป็นส่วนหนึ่งของกราฟดังกล่าว วิธีหาค่า P จะได้กล่าวในภายหลัง



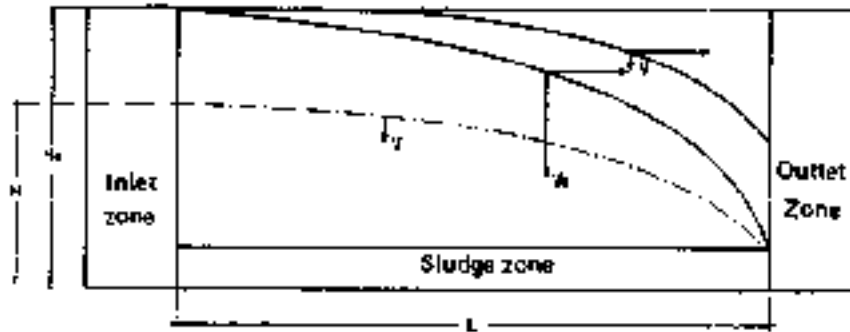
ภาพที่ 10.3 กราฟที่ใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของการตกตะกอน

กราฟของภาพที่ 10.3 นี้ สามารถหาได้จากการวัดความ เข้มข้นของอนุภาค จาก การทดลองของถังตกตะกอนในระบบอกแก้ว หรือหลอดพิคโค ซึ่งรายละเอียดซึ่งจะมีกล่าวต่อไป

10.2.2 กฎของไฮเซนสำหรับการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม

ในกรณีที่การตกตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ มีโอกาสมาพร้อมกับเข็มกลุ่มก้อนที่มีขนาด

ใหญ่และมีความลึกมากขึ้น ความเร็วในการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้น ทำให้วิถีของทาง
ตกตะกอนเป็นเส้นโค้งสีแดงแสดงในภาพที่ 10.4 การตกตะกอนของสารส้ม หรือ



ภาพที่ 10.4 การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม

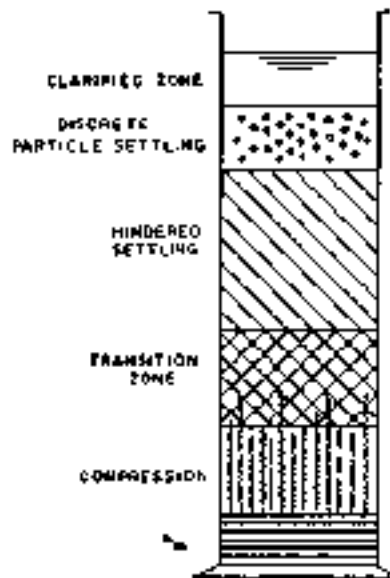
ตะกอนที่เกิดจากขบวนการโคแอกกูเลชัน ซึ่งถือว่าเป็นการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม ยืนยัน
แม้ว่าประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบโค จะขึ้นอยู่กับอัตราน้ำส้มสีวเพื่อของอย่าง-
เดียว แต่ประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบรวมกลุ่มจะขึ้นอยู่กับอัตราน้ำส้มสีวและ
เวลาพักน้ำ

เนื่องจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ไม่สามารถหาค่าได้โดยตรงของการตกตะกอน
แบบรวมกลุ่ม การหาหารวมโคแอกกูเลชันที่จำเป็นต่าง ๆ จึงต้องกระทำโดยการวิเคราะห์
ด้วยผลการทดลองของตกตะกอนในถังทรงกระบอก รายละเอียดในเรื่องนี้จะกล่าว
ต่อไปในตอนที่ 10.4

10.2.3 กฎที่สำคัญสำหรับการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคต่าง ๆ จับตัวกันเป็นกลุ่มไหลลงเหมือน
เป็นวัตถุชิ้นเดียว ที่ตกตะกอนด้วยอัตราเดียวกัน เมื่อมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

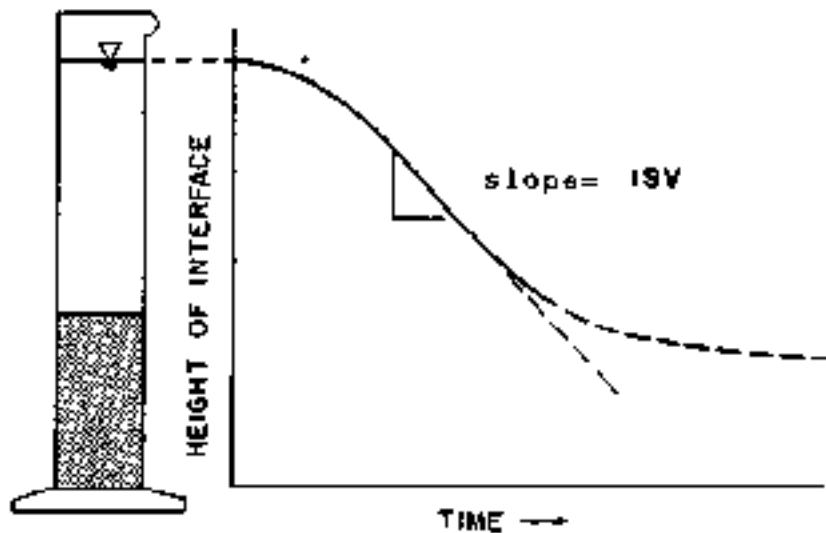
จะเห็นการแยกตัวระหว่างชั้นสลัดจ์และน้ำอย่างเด่นชัด (ดูภาพที่ 10.5) การตกตะกอน



ภาพที่ 10.5 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

ตะกอนเซมิมี เกิดขึ้นได้เฉพาะกับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยเข้มข้นสูงมาก เช่นประมาณ 500 มก./ล. หรือมากกว่า เป็นต้น ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นได้แก่ การตกตะกอนของแอคติเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ในระบบออกซิเจนขนาด 500 มล. หรือ 1,000 มล. หรือการตกตะกอนของเหล็ก และเซมิไฮดรอกไซด์แมกนีเซียม (CaCO_3 และ $\text{Mg}(\text{OH})_2$)

เมื่อปล่อยน้ำที่มีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นในระบบออกซิเจนหรือระบบออกไซด์ ระยะของชั้นสลัดจ์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เมื่อนำความสูงของชั้นสลัดจ์มาคูณด้วยเวลา จะได้กราฟที่มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 10.6 ที่ชั้นสลัดจ์จะตกตะกอนด้วยอัตราคงที่และสูงสุดในระยะแรก จากนั้นจะตกตะกอนช้าลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดเกือบไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นเลย การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วในการตกตะกอนจะเกิดขึ้นเนื่องจาก มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้น ระยะแรกอนุภาค



ภาพที่ 10.4 วิถีการเคลื่อนที่ของการตกตะกอนแบบบ่งขึ้น

ต่าง ๆ แสมรวมอยู่ในน้ำอย่างหนาแน่น ดังนี้ ซึ่งนับว่าการตกตะกอนจะเป็นแบบบ่งขึ้น (Hindered Settling) แต่ก็ยังมีข้อควรระวังในการตกตะกอนได้เล็กน้อย การตกตะกอนในบ่อรวมจะมีค่าคงที่ และเรียกว่า Initial Settling Velocity หรือ ISV (อัตราเร็วในการตกตะกอนเริ่มต้น) อัตราเร็วคงที่นี้มักอยู่ในได้เกิน 20 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติเริ่มต้นของตะกอนนั้นๆ เมื่อรวมการตกตะกอนแบบบ่งขึ้นนี้ อัตราเร็วเริ่มต้นซึ่งคงที่นี้มีความหมายมาก และใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ความสามารถในการตกตะกอนของวัสดุ ผลักดันที่ตกตะกอนได้ช้าลงมี ISV สูง และผลักดันที่ตกตะกอนได้เร็วจะมี ISV ต่ำ เมื่อการตกตะกอนผ่านไป ช่องว่างในน้ำจะเหลือน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อถึงจุดหนึ่งอัตราเร็วเริ่มต้น (ISV) จะมีค่าลดลง กล่าวได้ว่าผลักดันเริ่มเข้าไปอยู่ในระยะเขตเปลี่ยน (Transition Zone) ซึ่งเป็นระยะที่อนุภาคบางส่วน เกือบที่จะเข้ามาใกล้กันและกันพอดี อัตราการตกตะกอนจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งอนุภาคทั้งหมดสัมผัสกันพอดี ต่อจากนี้ผลักดันจะอยู่ในระยะอัดตัว (Compression Zone) ซึ่งมีการทับถม เหนือขึ้นมา

ออกจากชั้นสลัดจ์เป็นครั้งแรกก็ตาม ระบบดังกล่าวที่มีการเคลื่อนที่ช้ามาก

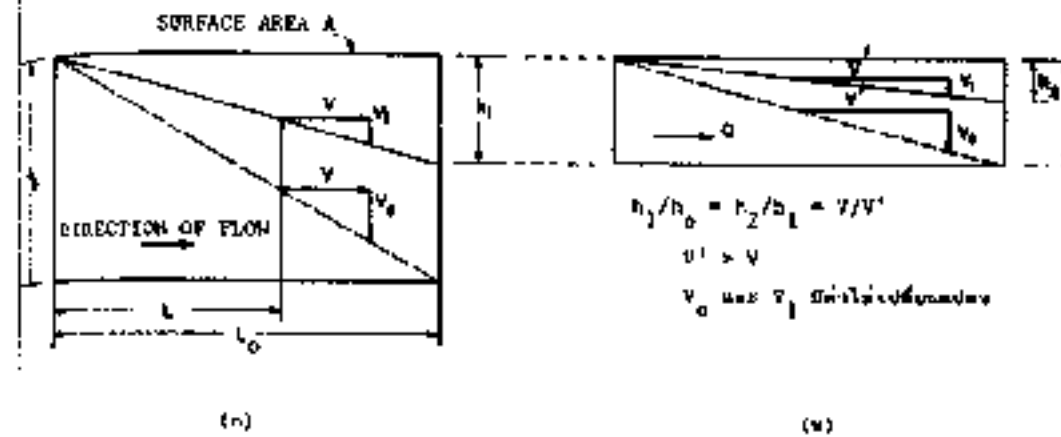
การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น มักไม่เกิดขึ้นในถังตกตะกอนแบบธรรมดา ของโรงงาน
ประปาชุมชนทั่วไป เนื่องมาจากน้ำที่ตกตะกอนแขวนลอยค้างเกินไประยะเวลาหนึ่ง ทำให้
ตกตะกอนเป็นแบบโคลนสัมผัสบนตะกอน (Solids Contact Clarifier) แล้ว การ
ตกตะกอนอาจเป็นแบบแบ่งชั้นได้ เนื่องจากมีการสะสมตะกอนไว้ในถัง ถังตกตะกอน
(Thickener) ที่ใช้กับสลัดจ์ซึ่งระบายออกจากถังตกตะกอน จะมีการตกตะ
กอนแบบแบ่งชั้นเกิดขึ้นเสมอ

10.2.4 แนวความคิดในการใช้ท่อหรืออุปกรณ์ตกตะกอน

ขอให้อธิบายวิธีการตกตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ ในถังตกตะกอนแบบอนุกรมสองเฟส
ภาพที่ 10.7 ก. ดังได้กล่าวแล้วว่า อนุภาคที่ตกตะกอนด้วยอัตราเร็วเท่ากับหรือ
สูงกว่า V_0 จะถูกกำจัดออกหมด แต่อนุภาคที่ตกตะกอนด้วยอัตราเร็ว V_1 ซึ่งมี
ต่ำกว่า V_0 จะถูกกำจัดออกในปริมาณเท่ากับอัตราส่วน V_1/V_0 หรือ h_1/h_0 (ดูภาพ
ที่ 10.7 ก.) นอกจากนี้ยังได้พบอีกด้วยว่าการตกตะกอนของอนุภาคขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว
น้ำ (หรืออัตราน้ำล้นผิว) เท่านั้น และไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วล้นผิวเวตารกน้ำ ของถัง
ตกตะกอน

หนังสือหลายเล่มกล่าวว่า การตกตะกอนขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวน้ำและความลึก แต่ไม่ขึ้น
อยู่กับเวลาพักน้ำ การศึกษาข้างต้นนี้อาจเป็นเพราะเห็นว่า ถ้าลดความลึกของ
ถังตกตะกอนในภาพที่ 10.7 ก. เช่น ลดความลึกให้เหลือ h_1 (ภาพ 10.7 ข.) เป็นต้น
จะช่วยให้สามารถกำจัดอนุภาคที่มีอัตราเร็ว V_1 ซึ่งน้อยกว่า V_0 ได้ทั้งหมดเพราะ
พื้นที่ตกตะกอนเพิ่มขึ้นไปรับอนุภาคที่มีอัตราเร็ว V_1 ได้หมด ดังนั้นจึงเชื่อว่าการตก
ตะกอนเบื้องต้นซึ่ง V_1 ซึ่งแสดงว่าความลึกมีความสำคัญ อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนยังมี
ความเห็นที่สนับสนุนต่อความเข้าใจดังกล่าว ทั้งนี้ด้วยเหตุผลอย่างหนึ่ง ๒ ประการคือ

1. อัตราน้ำล้นผิว, ความลึก, และเวลาพักน้ำ มีความสัมพันธ์กันโดยตรง ดังนั้น



ภาพที่ 10.7 การแสดงให้เห็นว่าการลดความลึกของถังตกตะกอน ไม่ทำให้การตกตะกอนได้ผลที่ยิ่งขึ้น เนื่องจากทำให้อัตราเร็วของการไหลโดยแนวนอนเพิ่มขึ้น วิธีการตกตะกอนจึงมีความขึ้นมือของการตกตะกอนจึงได้ผลเท่าเดิม

การตกตะกอนจึงขึ้นอยู่กับความลึก โดยไม่ขึ้นอยู่กับเวลาตกน้ำ จึงไม่จำเป็นต้อง

2. การลดความลึกของถังตกตะกอน ไม่ทำให้ประสิทธิภาพของการตกตะกอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความลึกของถังลดลง พื้นที่หน้าตัดก็ลดลงด้วย ย่อมเป็นผลทำให้อัตราเร็วของการไหลของน้ำมีค่าสูงขึ้น วิธีการตกตะกอนของอนุภาคจึงเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในภาพที่ 10.7 ข. ฉะนั้น เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า ประสิทธิภาพในการตกตะกอนยังคงเท่าเดิม ในเมื่อพื้นที่หน้าตัดมีค่าคงเดิม โยทางตรงกันข้าม ถ้าลดความลึกของถัง แต่เพิ่มความกว้างของถัง เพื่อทำให้พื้นที่หน้าตัด (ในแนวตั้ง) เท่าเดิมแล้ว เพื่อให้อัตราเร็วของการไหลของน้ำมีค่าคงที่ กรณีนี้ เราจะได้ประสิทธิภาพของการตกตะกอนสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ดี ต้องอย่าลืมว่า พื้นที่หน้าตัดจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความกว้างด้วย ดังนั้น หากจะกล่าวว่าการลดความลึกแล้วรักษาระดับเวลา

สภาพน้ำใต้ดินที่แห้งแล้วจะตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น ย่อมกล่าวได้ว่าไม่เต็มปาก เนื่องจากพื้นที่ที่น้ำที่
ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ถ้าสอดคล้องตามเข้าไปในสิ่งแวดล้อมโดยไม่มี
เปลี่ยนแปลงสภาพลักษณะของถัง อนุภาคที่มีอัตราเร็วของการตกตะกอนต่ำกว่า V_0 จะ
ถูกกำจัดได้เพิ่มขึ้น เพราะไม่จำเป็นต้องตกตะกอนถึงพื้นกับถังที่แท้จริง ข้อที่ควร
สังเกตคือ การกระทำเช่นนี้ไม่ใช่เป็นการลดความลึกของถังตกตะกอน หากแต่เป็น
การลดความลึกของภาวตกตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ ยังมีค่าสอดคล้องที่มาจากเท่าใด-
ก็ยังมีผลต่อการตกตะกอนของอนุภาค เพราะทำให้ความลึกของการตกตะกอน-
ตกลงได้มาก

ขยให้พิจารณาที่อนุภาค $2 \times 2'$ ซึ่งวางเอียง $60'$ กับแนวนอน ระยะที่ไกลที่สุด
ที่อนุภาคที่อยู่ตกตะกอน เท่ากับ $4'$ ถ้าสมมติว่าอนุภาคตกตะกอนด้วยอัตราเร็ว 1
นิ้ว/นาที อนุภาคนั้นจะใช้เวลาเพียง 4 นาทีหรือน้อยกว่าในการตกตะกอน ถ้าท่อ
ยาว $24'$ นิ้ว และอัตราน้ำล้นผิวเท่ากับ 3 ฟุต/ชม. (1.440 แกลลอน/วินาที-คร.ฟุต)
น้ำจะใช้เวลาไหลในท่อนาน 15 นาที แต่เนื่องจากอนุภาคต้องการเวลาเพียง 4
นาทีในการตกตะกอน จึงเห็นได้ว่าอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปไม่ถึงได้เพียง $1/4$ ของ
ความยาวท่อทั้งหมด อนึ่ง การขังสนให้น้ำไหลผ่านช่องว่างขนาด เล็กที่อยู่ระหว่าง
ซี่บดต่าง ๆ ยังมีผลต่อการตกตะกอนอีกประการหนึ่ง คือทำให้มีน้ำไหลด้วยความหนืด
เพิ่มขึ้น (Reynold's No ลดลง) เป็นผลให้มีความสงบเกิดขึ้นกับน้ำ ทำให้
อนุภาคตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น กว่าเมื่อน้ำไหลผ่านถังตกตะกอนที่ไม่มีการสงบเช่นนี้
ใด ๆ เลย ด้วยเหตุผลข้อหลังนี้ จึงทำให้สามารถอธิบายได้ว่า การปล่อยน้ำให้
ไหลผ่านช่อง เล็กที่เป็นท่อพีพีเอ็ม จะส่งผลในการตกตะกอนได้ดีกว่าให้น้ำไหลผ่าน
ช่องว่างระหว่างซี่บดต่าง ๆ

แบบคานบดค้ำต่าง ๆ ดังกล่าว ทำให้มีการพัฒนาถังตกตะกอนแบบแผ่น (Plate
Settler) และถังตกตะกอนแบบท่อ (Tube Settler) ขึ้นมาใช้ได้อย่างมี
ประสิทธิภาพ

10.2 อัตราเร็วของการลจจลระลอกบนผิวน้ำต่าง ๆ

10.2.1 อัตราเร็วของการลจจลระลอกบนผิวน้ำโลก

หากจะพิจารณาถึงหลักพื้นฐานแล้ว ทฤษฎีของการลจจลระลอกที่พิช อนุษฐที่กล่าวถึงผลของแรงดึงดูดของโลกที่มีต่ออนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในช่องเหลว ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่า มันเอง ภายใต้อิทธิพลของแรงดึงดูดของโลกอนุภาคที่มีความถี่จำเพาะมากกว่า 1.0 จะลจจลระลอกในน้ำด้วยความเร็ว จนกระทั่งเมื่อแรงต้านทานของน้ำเท่ากับน้ำหนักสัมพัทธ์ของอนุภาคนี้ ความเร็วในการลจจลระลอกจึงจะคงที่ และจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นของอนุภาค ตลอดจนความหนาแน่น และความหนืดของน้ำ ในการพิจารณาทั่วไป เราทักเิดว่าอนุภาคเป็นแบบทรงกลม แต่ถ้ำอนุภาคมีรูปร่างอย่างอื่น ความเร็วของการลจจลระลอกก็สามารถเปรียบเทียบในเทอมของความถี่ของอนุภาคทรงกลมได้เช่นกัน

สมการต่อไปที่ใช้แทนการลจจลระลอกบนผิวน้ำโลก คือ

$$V_0 = [4g(\sigma_s - \rho)d/3C_D\rho]^{1/2} \tag{10.3}$$

- โดยที่ V_0 = ความเร็วของการลจจลระลอกบนผิวน้ำโลก
 g = ค่าคงที่ของแรงดึงดูดของโลก
 ρ_s และ ρ = ความหนาแน่นของอนุภาคและของน้ำ ตามลำดับ
 d = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค
 C_D = ค่าคงที่ของความหน่วง (Drag Coefficient)

C_D มีค่าไม่คงที่ แต่จะขึ้นอยู่กับเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (R) ดังนี้

$$C_D = 24/R + 3/R^{1/2} + 0.34 \tag{10.4}$$

ในเมื่อ $R = V_0 d / \mu$ (10.5)

โดยที่ μ เป็นความหนืดสมบูรณ์ (Absolute Viscosity) ของน้ำ

เมื่อ R น้อยกว่า 0.5, $C_D = 24/R$ ทำให้สมการ 10.3 กลายเป็น

$$V_0 = g(\rho_s - \rho)d^2/18\mu \quad (10.6)$$

สมการที่ 10.6 นี้ เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายว่าเป็นกฎของสโตก (Stoke's Law) สมการนี้สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.1 ซม. และอยู่ในของเหลวที่หนืดอยู่ระหว่าง 0.0001 ถึง 1.0 แต่ถ้าน้ำเรย์โนลด์สเบอร์อยู่ระหว่าง 1 ถึง 2000 (อยู่ในช่วงกำลังเปลี่ยนสถานะ หรือ Transition Region) จะต้องใช้สมการที่ 10.3 และ 10.4 แทน ทราบและผลลัพท์ที่มีน้ำหนักมักตกตะกอนอยู่ในช่วงกำลังเปลี่ยนสถานะนี้

10.2.2 อัตราเร็วของการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม

บ่อตกตะกอนที่อนุภาคน้ำขนาดเล็กสามารถรวมตัวกัน กลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ หรือที่เรียกว่า ฟlocs การรวมตัวนี้เกิดในระหว่างการตกตะกอน ทำให้ถึงตกตะกอนสามารถกำจัดความขุ่นได้ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ถังตกตะกอนที่มีอัตราน้ำไหลเข้าประมาณ 0.85-1.7 ลบ. เมตร/ชม. เมล็ด-ชม. สามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.005 ซม. ได้ ทั้ง ๆ ที่ตามทฤษฎีแล้ว ถึงตกตะกอนที่มีอัตราน้ำไหลเข้าต่ำกว่า ไม่ควรกำจัดอนุภาคที่เล็กกว่า 0.005 ซม. ได้ แต่เนื่องจากมีการรวมกลุ่มของอนุภาคน้ำขนาดเล็กเกิดขึ้น จึงทำให้ถึงตกตะกอนมีความสามารถเกินไปกว่าทฤษฎี อัตราตะกอนที่ต่ำ เกิดขึ้นได้กับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยสูงพอประมาณ

10.2.3 อัตราเร็วของการตกตะกอนแบบมีอุปสรรค

เมื่อตกตะกอนรวมตะกอน มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงถึงระดับหนึ่งแล้วการตกตะกอนจะ เกิดช้าลง

เนื่องจากการจมตัวของตะกอนจะไปหนุนน้ำ ทำให้มีน้ำถูกดันขึ้นมาข้างบน ซึ่ง
 ด้านหน้าการตกตะกอนของอนุภาคให้ความเร็วเคลื่อนที่ลง ลักษณะการตกตะกอน
 เช่นนี้เรียกว่า Hindered Settling อนุภาคที่ตกตะกอนได้ช้ากว่าความสามารถ
 ที่แท้จริงของมัน อาจเปรียบได้กับรถที่กำลังติดแน่นอยู่ในกองรถติด (เพราะมีการ
 จราจรหนาแน่น) ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ ทั้ง ๆ ที่สามารถกระทำได้อีกตามข้าง
 ในทางทฤษฎีรวมคำนวณการตกตะกอนในลักษณะดังกล่าว อาจมีความเร็วใน
 การตกตะกอนแบบโบลด์ถึง 99% ถ้ามีความเข้มข้นของอนุภาคที่นั่นแค่สูงถึง 8000
 มก./ล. ปัญหาเช่นนี้ มักไม่เกิดขึ้นกับระบบผลิตประปา เพราะน้ำดิบสำหรับผลิต
 ประปามักไม่มีความเข้มข้นสูงถึงระดับดังกล่าว ดังได้กล่าวแล้วว่า การตกตะกอน
 แบบนี้ยังขึ้นขึ้น เกิดขึ้นเมื่อน้ำมีความเข้มข้นของความขุ่นสูง จึงเป็นการตกตะกอน
 แบบมีอุปสรรค ซึ่งมีอัตราเร็วช้ากว่าอัตราเร็วของการตกตะกอนแบบโบลด์ ถ้าให้ V_0
 เป็นอัตราเร็วของการตกตะกอนแบบโบลด์ ซึ่งคำนวณได้จากสูตรของสโตค และให้ V
 เป็นอัตราเร็วของการตกตะกอนแบบนี้ขึ้น V และ V_0 เป็นอัตราเร็วของอนุ
 ภาคเดียวกัน เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง V และ V_0 ดังนี้

$$V = V_0 f(\phi) \quad (10.7)$$

โดยที่ $f(\phi) \leq 1$

ในเมื่อ $f(\phi)$ เป็นอุปสรรคในการตกตะกอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้น หรือความ
 หนาแน่นของความขุ่นในน้ำ เมื่อความเข้มข้นค่าการตกตะกอนจะเป็นแบบโบลด์ มัน
 คือ เมื่อ $f(\phi) = 1$ จะได้ $V = V_0$ แต่เมื่อความเข้มข้นสูง $f(\phi)$ จะน้อยกว่า
 1 ทำให้ V น้อยกว่า V_0 กล่าวได้ว่า V จะแปรผกผันกับความเข้มข้นของความขุ่น

ตัวอย่างที่ 10.1 จงหาความเร็วของการตกตะกอนของอนุภาคในน้ำ ที่มีคุณสมบัติ

30'พ. กำหนดให้ $d = 0.3$ มม., $SG = 2.6$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad V_0 &= g(\rho_s - \rho)d^2/18\mu \\ \text{โดยที่} \quad g &= 981 \text{ cm/sec}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_g &= 2.5 \\
 \rho &= 1 \\
 d &= 0.01 \text{ ซม.} \\
 \mu &= 1.3 \times 10^{-2} \text{ ซม.}^2/\text{วินาที ที่ } 50^\circ\text{F.} \\
 \text{เพราะฉะนั้น } V_0 &= 981(2.5-1)(0.01)^2 / 18 \times 1.31 \times 10^2 \\
 &= 0.624 \text{ ซม.}/\text{วินาที} \\
 \text{Check } R &= V_0 \rho d / \mu \\
 &= (0.01)(0.624)(1) / 1.31 \times 10^{-2} \\
 &= 0.48 < 0.5 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 10.2 จากตัวอย่างข้างบน ให้คำนวณหาอัตราการน้ำซึมผิว สำหรับดินตกตะกอน ที่ใช้กำจัดอนุภาคขนาด 0.1 มม.

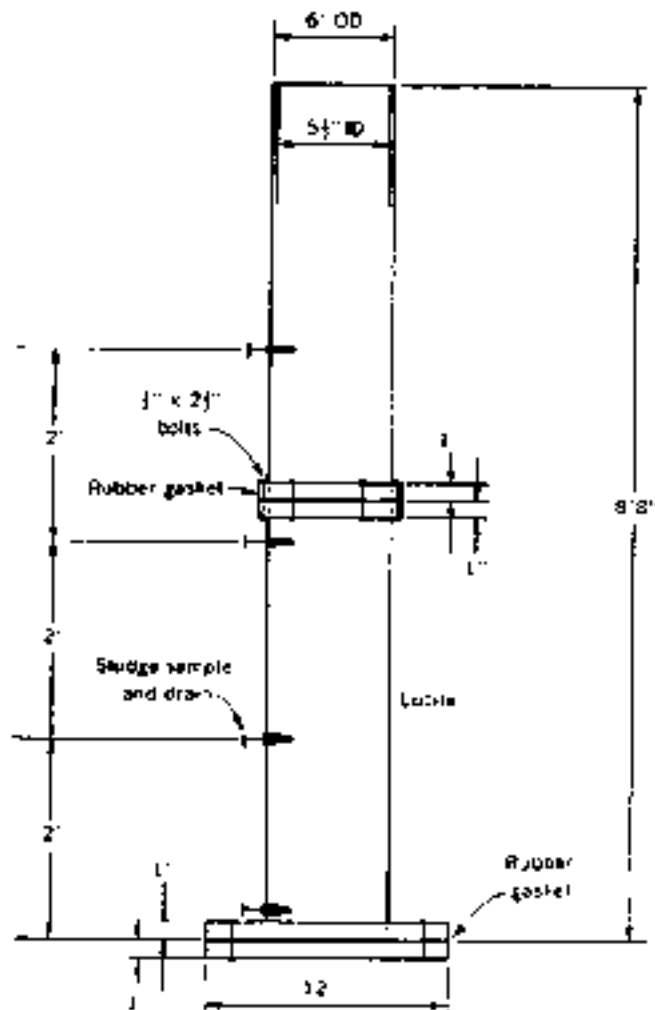
$$\begin{aligned}
 V_0 &= Q/A = 0.624(\text{cm/sec}) \times 21,200 \left(\frac{\text{gpd/ft}^2}{\text{cm/sec}} \right) \\
 &= 13,230 \text{ gpd/ft}^2
 \end{aligned}$$

10.4 การวิจัยเพื่อระงับผลการตกตะกอน

ในน้ำมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ประปนอยู่ทั่วไป ทำให้ไม่อาจคำนวณหาอัตราเร็ว ของการตกตะกอนของอนุภาคทั้งหลายได้ง่าย ดังนั้นการหาประสิทธิภาพของการกำจัดอนุภาคความขุ่นของดินตกตะกอนโดยวิธีคำนวณ จึงอาจเป็น เรื่องที่เหนือวิสัยที่จะกระทำได้โดยง่าย ในทางปฏิบัติ การประมาณความสามารถในการกำจัดความขุ่นของดินตกตะกอน จึงมีผลกระทำโดยวิธีทดลองตกตะกอนในถังทรงกระบอกใส วิธีนี้ทำให้สามารถหาค่าผลการกำจัดความขุ่น ดินตกน้ำล้นผิวใด ๆ ก็ได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการตกตะกอน ประกอบด้วยถังทรงกระบอกใสขนาดเส้น-

ผ่าศูนย์กลางประมาณ 15-20 ซม. (ไม่กว้างเกินกว่า 10 ซม.) สูงประมาณ 2-3 เมตร มีท่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียอยู่สูงระดับ 80 ซม. ซึ่งแสดงในภาพที่ 10.8 การทดลองเริ่มด้วยก๊าซเติมตัวอย่างน้ำที่ห้องก๊าซทดสอบ ๑๑ ปีในถังที่เติมด้วยระดับที่-



ภาพที่ 10.8 ทดลองระบบของน้ำเสียที่วิเคราะห์คุณสมบัติในการลดตะกอน

กำหนด และเริ่มต้บคั่งงให้น้ำมีความเข้มข้นสม่ำเสมอตลอดทั้งถัง ในระหว่างการทดลอง น้ำจะถูกปล่อยไว้ตกตะกอนเองอย่างสงบตลอดเวลา และจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อเก็บตัวอย่างที่ระดับต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อมาใช้วิเคราะห์หาความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอย มลพิษใด ๆ ที่พบในระดับระหว่างมีน้ำขุ่นถึงความลึก h ที่เวลา t จะเป็นอนุภาคที่มีความเร็วของการตกตะกอนน้อยกว่าหรือเท่ากับ h/t โดยที่ t เป็นเวลาในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง ผลจากการทดลองการตกตะกอน สามารถนำไปพล็อตเป็นกราฟที่มีลักษณะเดียวกับภาพที่ 10.๖ ได้

10.๔.1 การวิเคราะห์ผลการตกตะกอนแบบไมโคร

การวิเคราะห์ผลการตกตะกอนแบบไมโคร ใช้วิธีเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดต่าง ๆ มาวิเคราะห์ได้หนึ่ง หรือ สองตำแหน่งก็พอเพียงแล้ว ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย หรือความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ สามารถนำมาวิเคราะห์ และใช้ในการสร้างกราฟ ซึ่งแสดงถึงลักษณะการตกตะกอนของน้ำตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ (ดูภาพที่ 10.๖) กราฟที่ได้สามารถใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของถังตกตะกอนที่อัตราน้ำล้นผิวต่าง ๆ วิธีคำนวณขอให้ศึกษาได้จากตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

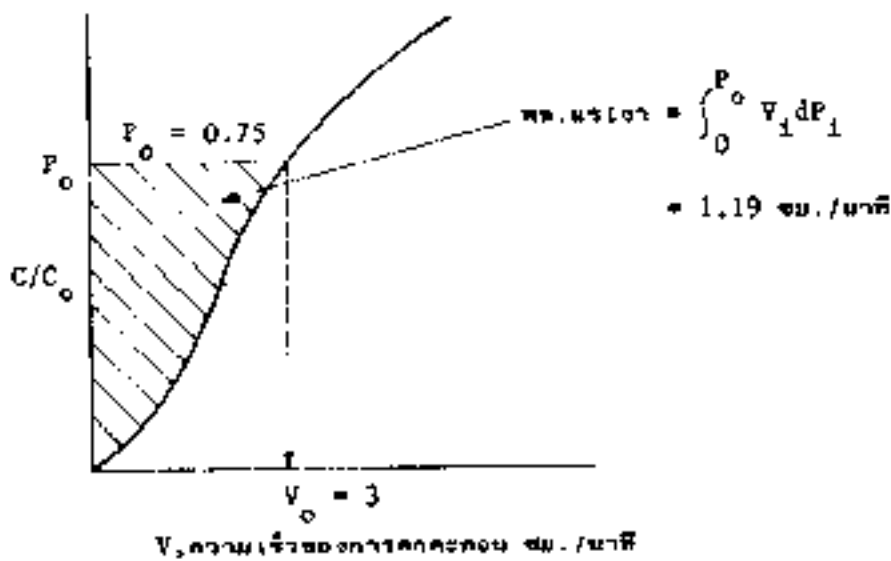
ตัวอย่างที่ 10.๖ ผลการทดลองการตกตะกอนแบบอีตริ่ง มีดังนี้

เวลา, นาที		0	10	30	45	60	๗๐	1๒๐
C/C ₀ ที่ระดับ 1๒๐ ซม.	ขม.	1	0.9๘	0.๘1	0.๘2	0.4๑	0.2๘	0.0๑
h/t ที่ระดับ 120 ซม.		-	๘.0	๔.0	๓.๖7	๒.0	1.๗๘	0.07 ซม./นาที
C/C ₀ ที่ระดับ ๒40 ซม.	ขม.	1	0.๘๘	0.๑7	0.๑๘	0.๑๑	0.1๐	0.๑2
h/t ที่ระดับ ๒40 ซม.		-	1๒.0	๖.0	๖.๑๑	๔.0	๒.๘7	1.๑๖ ซม./นาที

ให้ค่าประสิทธิภาพของถังตกตะกอนแบบอีตริ่งที่มี Q/A = 1.๐๘๐ ผลทดลองตรงกับค่าตารางที่

(ตัวอย่างน้ำถูกเก็บมาจากระดับ 120 และ 240 ซม. วัดจากผิวหน้าที่อยู่ใต้วงกระ
บดหกด๑๑ C และ C₀ เป็นความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่เวลา t = t
และ t = 0 ตามลำดับ)

ภาพที่ 10.๑ แสดงให้เห็นถึงความถี่ของการกระจายความเร็วของการตกตะกอน-
สำหรับตัวอย่างนี้



ภาพที่ 10.๑ ค่าของของตัวอย่างที่ 10.๑

เนื่องจาก $Q/A = 1000 \text{ gpd/ft}^2$
 $= 1000 \times 60 / 21,000 = 2.86 \text{ ซม./นาที} = V_0$
 จากภาพ $P_0 = 0.75$
 และ $\int_0^{P_0} V_1 dP_1 = 1.18 \text{ ซม./นาที}$

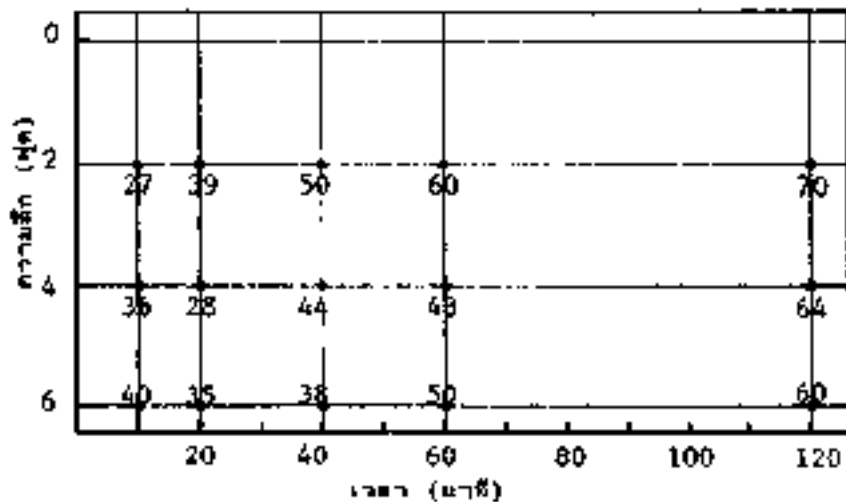
จากสมการที่ 10.2 จะได้

$$P = (1-0.75) + (3/3)(1.19) = 0.847$$

$$= 84.7 \%$$

10.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองแบบรวมกลุ่ม

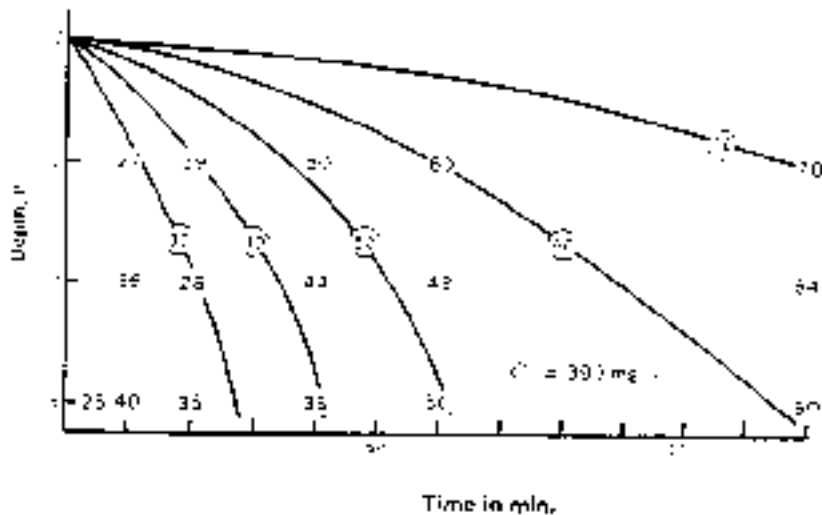
การวิเคราะห์ผลการทดลองแบบรวมกลุ่ม กระทำได้มากกว่าแบบใดค เนื่องจาก ผลการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง การเก็บข้อมูลจากทรง กระบอกลีลา เพื่อหาความสัมพันธ์ของอนุภาค คือกระทำที่ตำแหน่งและเวลาต่าง ๆ ปริมาณความเข้มข้นที่ทดลอง ณ เวลา t และที่ระดับความลึก z หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นที่มีอัตราเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าหรือเท่ากับ d/t และเท่ากับ ปริมาณความเข้มข้นที่ถูกกำจัด ณ เวลาและความลึกดังกล่าว เมื่อการทดลองเสร็จสิ้น เราจะได้ข้อมูล x ค่าของความเข้มข้น หรือตะกอนแขวนลอยที่ความลึกและเวลาต่าง ๆ ดังตัวอย่างในภาพที่ 10.10 เมื่อเขียนจุดที่มี x กำกับเท่านั้น เช่น 30%, 40%



ภาพที่ 10.10 x ค่าของความเข้มข้นที่เวลาและระดับความลึกต่าง ๆ จุดต่าง ๆ ที่มี ตัวเลขกำกับ หมายถึง x ตะกอนแขวนลอยหรือความเข้มข้นที่ถูกกำจัด ณ เวลาและความลึกที่เป็นตัวเลขของจุดเท่านั้น

๑๐๙ เป็นต้น จะได้ลักษณะของกราฟต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ ๑๐.๑๑

กราฟแต่ละเส้นในภาพที่ ๑๐.๑๑ หมายถึงวิธีการสกัดตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ คือ จำนวนของอนุภาค สัมกับเลขกำกับกับ ยกตัวอย่างเช่น กราฟ ๑๐๙ บอกให้รู้ว่า ๖๐ % ของอนุภาคเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ความลึกเท่าใดที่เวลาต่าง ๆ หรือที่เวลาต่าง ๆ จะลดตะกอนได้ไกลเท่าใด นอกจากนี้ แต่ละจุดบนภาพที่ ๑๐.๑๑ ยังบอกถึงอัตราเร็วในการตกตะกอนด้วย (เนื่องจากค่าหนึ่งของจุดต่าง ๆ กำหนดได้กับอัตราสัม- ความลึกและเวลา ซึ่งเมื่อหารกันจะได้อัตราเร็วของการตกตะกอน)

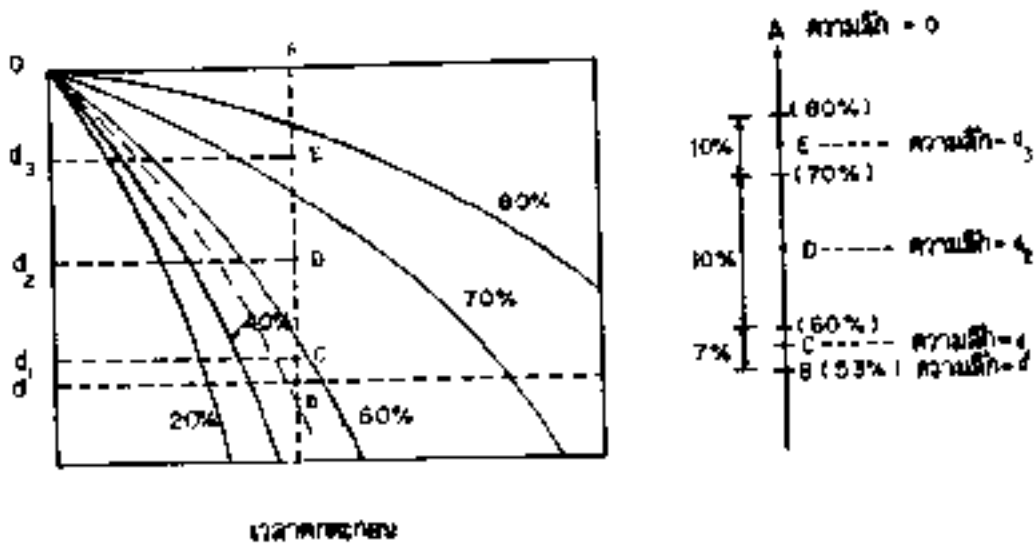


ภาพที่ ๑๐.๑๑ ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนแขวนลอยที่เวลาและความลึกต่าง ๆ

ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนแบบหมุนเคลือบมีอัตราน้ำต้นผิว เท่า กับ V_0 และลึก d สามารถหาได้ โดยคำนวณหาเวลาพักน้ำ (t) ของถังก่อน ดังนี้

$$c = d/v_0 \quad (10.8)$$

จากนั้นลากเส้นในแนวตั้งที่ตำแหน่งเวลา = c โดยมีความยาวตั้งแต่ความลึก = 0 จนถึงความลึกเท่ากับ d จะได้เส้นตรง AB ดังแสดงในภาพที่ 10.12 เส้นตรง AB แทนความลึกทั้งหมดของถังตกตะกอน โดยที่ A แทนจุดที่ผิวหน้า และ B



ภาพที่ 10.12 การวิเคราะห์ ทำถังตกตะกอนและรวมผลของถังตกตะกอนที่มีความลึก = d และเวลาตกน้ำ = c

แทนจุดที่ก้นถัง (ลึก = d) เมื่อถึงขั้นนี้ เราสามารถหาอัตราเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ ในถังตกตะกอนที่มีความลึกเท่ากับ d ได้ ดังนี้

- จุด B บอกให้รู้ว่า 55% ของอนุภาคทั้งหมด มีอัตราเร็วเท่ากับหรือมากกว่า v_0 ซึ่งเท่ากับ d/c

๒. จุด C ซึ่งบอกความลึกเฉลี่ย (d_1) ของอนุภาคที่อยู่ระหว่าง ๕๐% และ ๑๐% แสดงให้เห็นว่า ๗% ของอนุภาคทั้งหมด มีอัตราเร็วเท่ากับหรือมากกว่า d_1/t ซึ่งน้อยกว่า d/t
๓. จุด D ซึ่งบอกความลึกเฉลี่ย (d_2) ของอนุภาคที่อยู่ระหว่าง ๑๐% และ ๗๐% แสดงให้เห็นว่า ๑๐% ของอนุภาคทั้งหมด มีอัตราเร็วเท่ากับ หรือมากกว่า d_2/t
๔. จุด E ซึ่งบอกความลึกเฉลี่ย (d_3) ของอนุภาคที่อยู่ระหว่าง ๗๐% และ ๑๐% แสดงให้เห็นว่า ๑๐% ของอนุภาคทั้งหมด มีอัตราเร็วเท่ากับ หรือมากกว่า d_3/t

๔ การกำจัดตะกอนแขวนลอย = $๑๕ + (7d_1/d) + (10d_2/d) + (10d_3/d)$

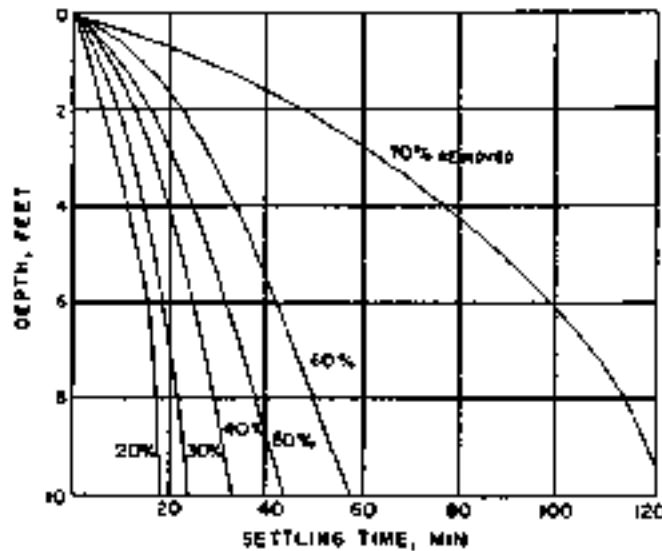
ตัวอย่างที่ 10.๔ การทดสอบตะกอนแขวนลอยรวมกลุ่มในทรงกระบอกไซโล ได้ผลดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 10.1 ผลการทดสอบตะกอนในช่องปฏิบัติการ

Depth (ft) \ Time (min)	% Suspended Solids Removed at Indicated Depth and Time					
	15	30	45	60	90	120
2	50	65	69	72	73	74
4	31	56	64	67	72	73
6	20	49	61	64	69	72
8	16	41	57	62	67	71
10	15	37	52	61	65	69

จงคำนวณหา ๑) ค่ากำจัดตะกอนแขวนลอย ของถังตกตะกอนอีก ๓ ฟุต ที่ระดับเวลาที่ก้นน้ำและอัตราไหลที่เปลี่ยนต่าง ๆ

วิธีทำ จากข้อมูลที่ให้ สามารถหาค่าประสิทธิภาพของวิธีการตกตะกอนของถังตกตะกอนต่าง ๆ ได้ ดังแสดงอยู่ในภาพอ้างข้างนี้



ภาพที่ 10.13 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของถังตกตะกอนในถังรูปสี่เหลี่ยม

จากภาพที่ 10.13 สามารถหาค่าประสิทธิภาพในการตกตะกอนของถังลึก 8 ฟุต ที่ระดับเวลาพักน้ำ 17, 21.5, 28.0, 37.6, 50, และ 115 นาที ได้ ดังรายละเอียดแสดงอยู่ในตารางที่ 10.2

อัตราการันผิวจะสัมพันธ์กับความลึก = d และเวลาพักน้ำ = t คือ d/t

ถกตัวอย่างเช่น เมื่อถังมีเวลาพักน้ำ 17 นาที และลึก 8 ฟุต จะมีอัตราการันผิว

$$= 8/17$$

$$= 0.47 \text{ ฟุต/นาที}$$

$$= 0.47 \times 7.48 = 3.5 \times 2d$$

$$= 8000 \text{ แกลลอน/วัน-คย.ฟุต}$$

ตารางที่ 10.2 การคำนวณประสิทธิภาพของถังตกตะกอนภายใต้สภาวะต่าง ๆ

Time (min)	% SS Range	Av. Depth of range (ft)	v_s (fpm)	v_s gal/(ft ² day)	v_s/v_o	% SS Removal
17.0	0-20	8.0	0.471	3050	1.0	20.0
	20-30	6.2	0.365		0.73	7.3
	30-40	4.0	0.236		0.50	5.0
	40-50	2.6	0.153		0.32	3.2
	50-60	1.7	0.100		0.21	2.1
	60-70	0.8	0.047		0.10	1.0
% SS Removal (Total)						38.6
21.5	0-30	8.0	0.372	4010	1.0	30.0
	30-40	6.0	0.280		0.25	7.5
	40-50	3.6	0.177		0.48	4.8
	50-60	2.4	0.112		0.20	3.0
	60-70	1.1	0.051		0.14	1.4
	Total					
29.0	0-40	8.0	0.236	2980	1.0	40.0
	40-50	6.4	0.221		0.60	5.0
	50-60	4.1	0.141		0.31	3.1
	60-70	1.8	0.062		0.22	2.2
Total						55.3
37.5	0-50	8.0	0.213	2900	1.0	30.0
	30-60	6.2	0.191		0.48	7.8
	60-70	2.8	0.075		0.15	3.5
Total						61.3
50	0-60	8.0	0.160	1725	1.0	60.0
	60-70	4.4	0.088		0.35	5.5
Total						65.5
115	0-70	8.0	0.070	755	1.0	70.0
Total						70.0

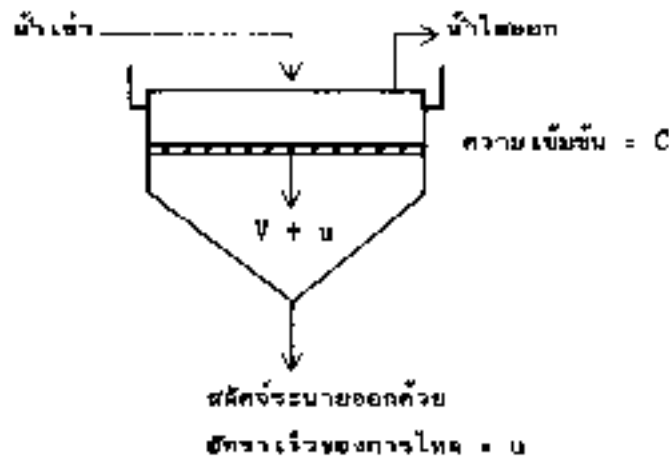
10.4.3 การวิเคราะห์ผลสารตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

ทฤษฎีโซลิดฟลักซ์ (Solids Flux Theory)

พลีโทไฟวาร์ณาตั้งตกตะกอน ซึ่งได้รับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยเข้มข้น จนเกิดการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นเกิดขึ้น ในกรณีเช่นนี้ จะเป็นที่ต้องมีการระบายสลัดจ์ออกจากก้นถังตกตะกอน (ดูภาพที่ 10.14) การเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ในถังซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรง 2 อย่างคือ แรงดึงดูดของโลก และ แรงที่เกิดจากการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน

ถ้าให้ V = อัตราเร็วในการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้น = C
 และ u = อัตราเร็วในการระบายสลัดจ์ออกจากก้นถังตกตะกอน

การเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ ผ่านถังตกตะกอน วัดในเทอมของมวลน้ำหนักที่ตกตะกอนต่อเวลาต่อพื้นที่ของถัง เรียกว่า โซลิดฟลักซ์ (Solids Flux) หรือ G มีหน่วย



ภาพที่ 10.14 การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน

กก./ชม-ตร.ม. หรือ ปอนด์/ชม.-ตร.ฟุต สลัดจ์ที่มีความเข้มข้น C และ มีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว V จะมีไหลลัดจ์ที่หนัก หรือ G มีค่ารวมได้ ดังนี้

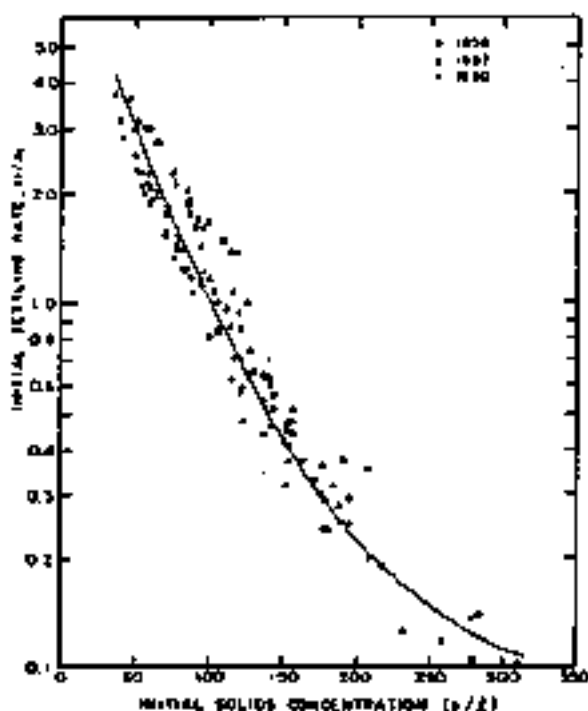
$$G = Cv \quad (10.9)$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอน เกิดขึ้นด้วยอัตราเร็ว v อย่างน้อย V และ v ไหลลัดจ์ที่หนักของถังตกตะกอน (G_T) มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} G_T &= G_b + G_s \\ &= Cv + CV \end{aligned} \quad (10.10)$$

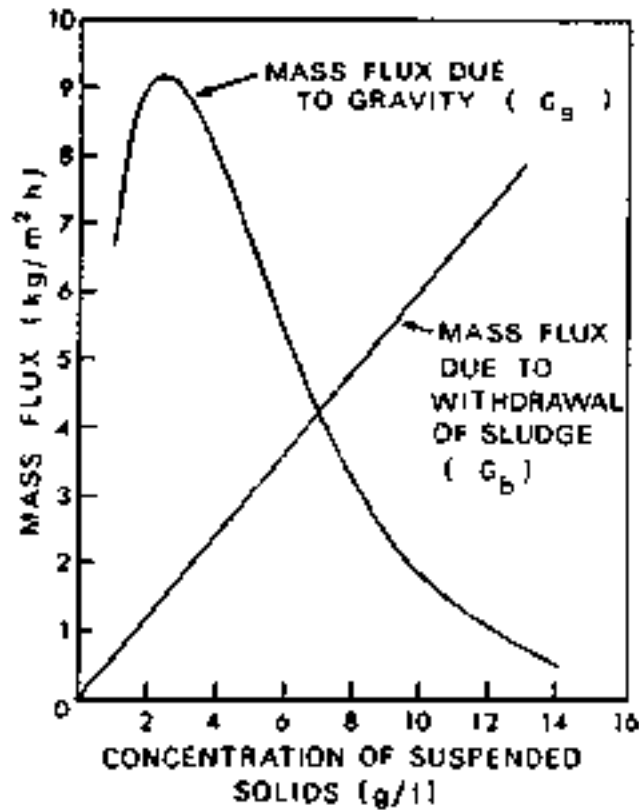
G_b และ G_s เรียกว่า Bulk Flux และ Settling Flux ตามลำดับ G_b เป็นผลที่เกิดจากการระบายน้ำสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน ส่วน G_s เป็นผลที่เกิดจากการเคลื่อนที่ด้วยน้ำหนักตัวของชั้นสลัดจ์ (เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก)

Settling Flux หรือ G_s สามารถหาได้ โดยการหาค่าของตกตะกอนสลัดจ์ ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ในระบบปกติ วัดความเร็วสูงของชั้นสลัดจ์ที่เวลาต่าง ๆ และนำมาพล็อตกราฟ ระหว่างความเร็วสูงและเวลา (ดูภาพที่ 10.8) ความชันของกราฟ ส่วนที่เป็นเส้นตรง จะเท่ากับอัตราเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity) ของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นระดับหนึ่ง สลัดจ์จากแหล่งเดียวกัน แต่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จะมีอัตราเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอน ไม่เท่ากัน สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นสูงจะตกตะกอนช้า ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย เป็นอุปสรรคต่อการตกตะกอน ทั้งนี้ได้แยกค่ามาแล้วในตอนที่ 10.9.8 ภาพที่ 10.15 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ และอัตราเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอน แต่ละจุดของกราฟที่ได้เป็นข้อนี้ได้จากการทดลองของตกตะกอนสลัดจ์ในระบบปกติ Settling Flux หรือ G_s ของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นใด ๆ (C_i) หาได้จากผลคูณระหว่างความเข้มข้น-



ภาพที่ 10.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ (C) และอัตราการเซ็มน้ำ ในการตกตะกอนของสลัดจ์

(C_s) และอัตราการเซ็มน้ำ (V_s) ของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นนั้น ๆ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Settling Flux (G_s) เป็นคุณสมบัติในการตกตะกอนของสลัดจ์ที่หาได้จากกราฟของในระบอบไฮดรอลิกสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงของ G_s ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ อาจดูได้จากกราฟที่แสดง ดังแสดงในภาพที่ 10.16 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นในระยะแรกทำให้สลัดจ์เคลื่อน



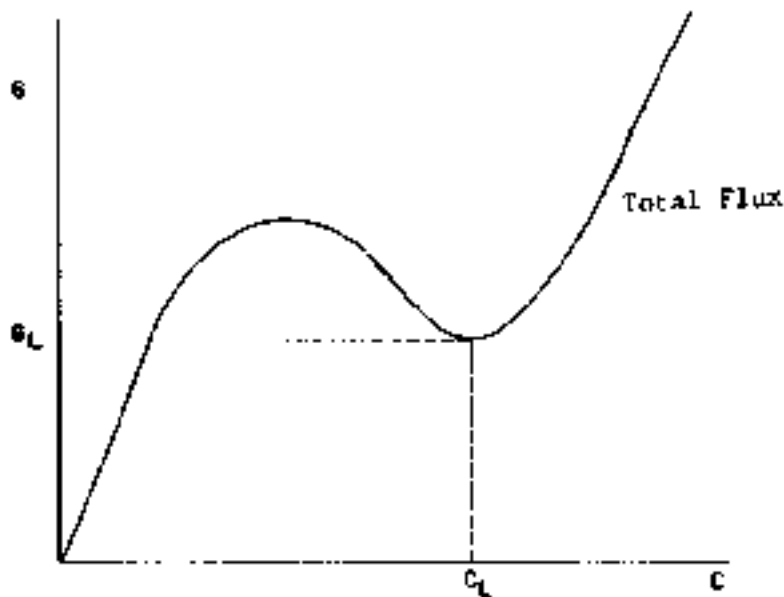
ภาพที่ 10.10 โวลุ่มฟลัก G_g และ G_b ของถังตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอนเหลวที่ต่างกัน ๗

ที่ผ่านถังตกตะกอนได้รวดเร็วขึ้น แต่เมื่อถึงความเข้มข้นระดับหนึ่งแล้ว การเพิ่มความเข้มข้นทำให้ดัชนีเคลื่อนที่ช้าลง ดังเช่น กรณีนี้ เป็นเอกลักษณ์ของสลัดจ์ ที่มีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

Bulk Flux (G_b) สามารถหาได้ง่ายกว่า G_g เพราะไม่ต้องทำการทดลองใดๆ โดย G_b ที่ระดับความเข้มข้นใด ๆ สามารถได้โดยตรง จากผลคูณระหว่างความเข้มข้นนั้น ๆ กับอัตราเร็วของการไหลในการระบายสลัดจ์ (ดูรูปที่ 10.10) การ

เปลี่ยนอัตราเร็วในการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน (u) ทำให้กราฟ G_b มีความแตกต่างกัน

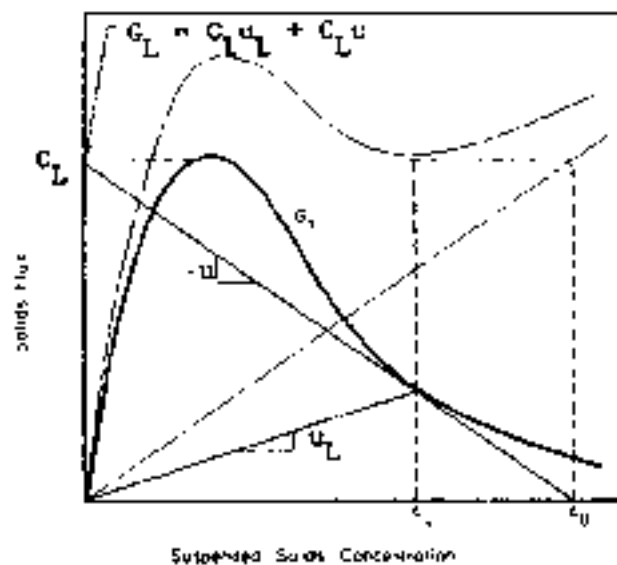
กราฟของ Total Flux (G_T) ได้มาจากผลบวกระหว่าง G_u และ G_b และขยายจากพล็อตได้ ดังแสดงในภาพที่ 10.17 ภาพนี้แสดงว่า สลัดจ์ที่มีความเข้มข้น C_L จะมีค่าฟลักซ์น้อยที่สุด (Limiting Flux หรือ G_L) หมายความว่าถังตกตะกอนแต่ละใบซึ่งมีอัตราการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนคงที่ (u) จะมีความสามารถจำกัดในการรับตะกอนแขวนลอย เมื่อถึงสลัดจ์จะเคลื่อนที่ผ่านถังตกตะกอนได้ไม่เกินค่า G_L ถ้าน้ำไหลตกตะกอนแขวนลอยเข้าถังตกตะกอนใบอัตราสูงกว่า G_L การระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนด้วยอัตรา u ซึ่งใช้ค่า G_L จะไม่เร็วพอเพียง ทำให้สลัดจ์สะสมในถังตกตะกอน ซึ่งเมื่อสุดท้าย อาจทำให้ระดับน้ำสลัดจ์สูงจนท่วมทางน้ำดีออก (Effluent Weir) การเพิ่ม u จะทำให้ G_L เพิ่มขึ้นด้วย แต่มีข้อเสียคือ ทำให้สลัดจ์ที่ระบายออกมีความเข้มข้นต่ำและมักทำให้



ภาพที่ 10.17 การหาค่า G_L แบบธรรมดา

ต้องเปลี่ยนแปลงงานในการผสมสัณฐานเพิ่มขึ้น ดังมีภาพเติม u ซึ่งมีขีดจำกัด เพื่อให้ได้ระบบโพลีเมอร์ในทางปฏิบัติอย่างเหมาะสม

การหาค่า G_L โดยการหาค่ากราฟ G_T ซึ่งเป็นผลบวกของ G_S และ G_B ดังแสดงในภาพที่ 10.17 เป็นวิธีที่ไม่สะดวกและช้า เนื่องจากต้องทราบกราฟของ G_S และ G_B ก่อน ดังนั้นเมื่อต้องการหาค่า G_L ที่เปลี่ยนไปตามระดับ u ก็ต้องคำนวณและเขียนกราฟ G_T ทั้งหมดทุกครั้ง วิธีที่ง่ายกว่าคือ โยชิโอกา (Yoshioka) ซึ่งได้คิดวิธีการอย่างง่ายสำหรับหาค่า G_L ของระดับ u ง่าย ๆ วิธีของโยชิโอกาคือการทราบกราฟ G_S เท่านั้น และไม่ต้องการกราฟ G_T ทำให้เสียเวลาน้อยและสะดวกในการใช้ ภาพที่ 10.18 เป็นตัวอย่างในการหาค่า G_L ด้วยวิธีของโยชิโอกาก่อนอื่น คำนวณและลากเส้นกราฟ G_S จากนั้นลากเส้นตรงที่มีความชัน $-u$ ด้วยสัดส่วนกราฟ G_S จุดตัดของเส้นตรงบนแกน G จะเท่ากับ G_L ส่วนจุดตัดบนแกน C ของกราฟเส้นตรงจะแทนค่า C_U ซึ่งเป็นความเข้มข้นของสัณฐานที่ระบายออกจากกัน



ภาพที่ 10.18 การหาค่า G_L โดยวิธีของโยชิโอกา

สังเกตตะกอนด้วยอัตราเร็ว u ด้วยวิธีนี้จะเห็นได้ที่เราสามารถคำนวณหาค่า G_L สำหรับค่า u ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อจงรค่า G_L นอกใช้เราทราบว่า สัตว์จะสามารถเคลื่อนที่ผ่านถังตกตะกอนที่มีพื้นที่ u หน่วยใดในอัตราไม่เกิน G_L หน่วยน้ำหนึ่งต่อเวลา ดังนั้นถ้าทราบว่ามีสัตว์เข้าสู่ถังตกตะกอนในอัตราเท่าใด ก็จะคำนวณค่ามวลสัตว์ที่หนีของถังตกตะกอนที่สังเกตได้

$$A = L_0 / G_L \quad (10.11)$$

โดยที่ A = พื้นที่ปริมาณของถังตกตะกอน
 L_0 = มวลของสัตว์ที่เข้าสู่ถังตกตะกอน / เวลา

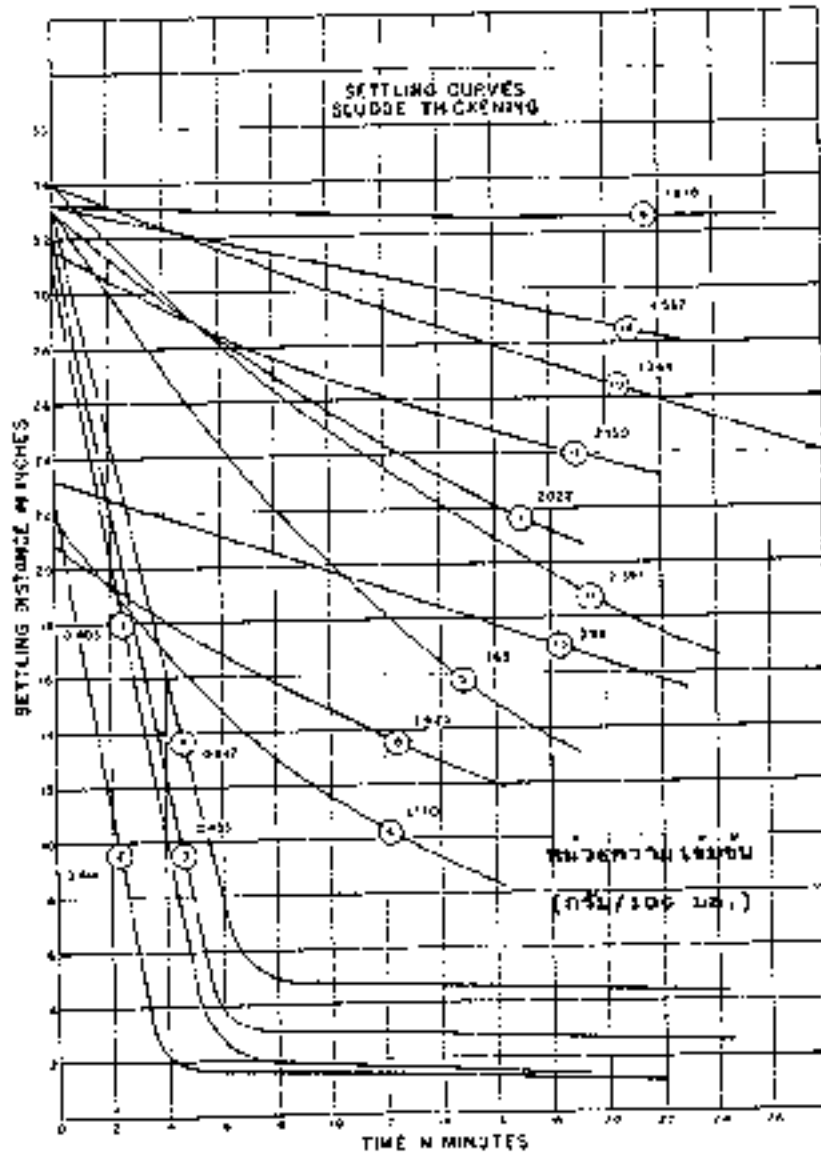
ตัวอย่างที่ 10.6 จากที่ 10.19 ได้มาจากการทดลองของถังตกตะกอนสัตว์ ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 14 ระดับ ในระบบออกได้อ เพื่อให้ทราบวิธีวิเคราะห์และคำนวณหา G_L และอัตราการระบายสัตว์ออกจากถังตกตะกอน ภายใต้ความต้องการดังต่อไปนี้

- ให้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ก้นถัง (C_u) 10 %
- ให้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ก้นถัง (C_u) 12 %
- ให้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ก้นถัง (C_u) 16 %

วิธีทำ

1. จากกราฟที่ค่าพหุคูณให้ ค่ามวลหาอัตราเร็วเริ่มต้น ของการตกตะกอน (V) ของสัตว์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ โดยคำนวณจากความชันของกราฟเส้นตรง (ดูตารางที่ 10.2)

2. หากอัตราระหวาง V และ C ในกราฟค่าพหุคูณ Semi-log จะได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 10.๑๒



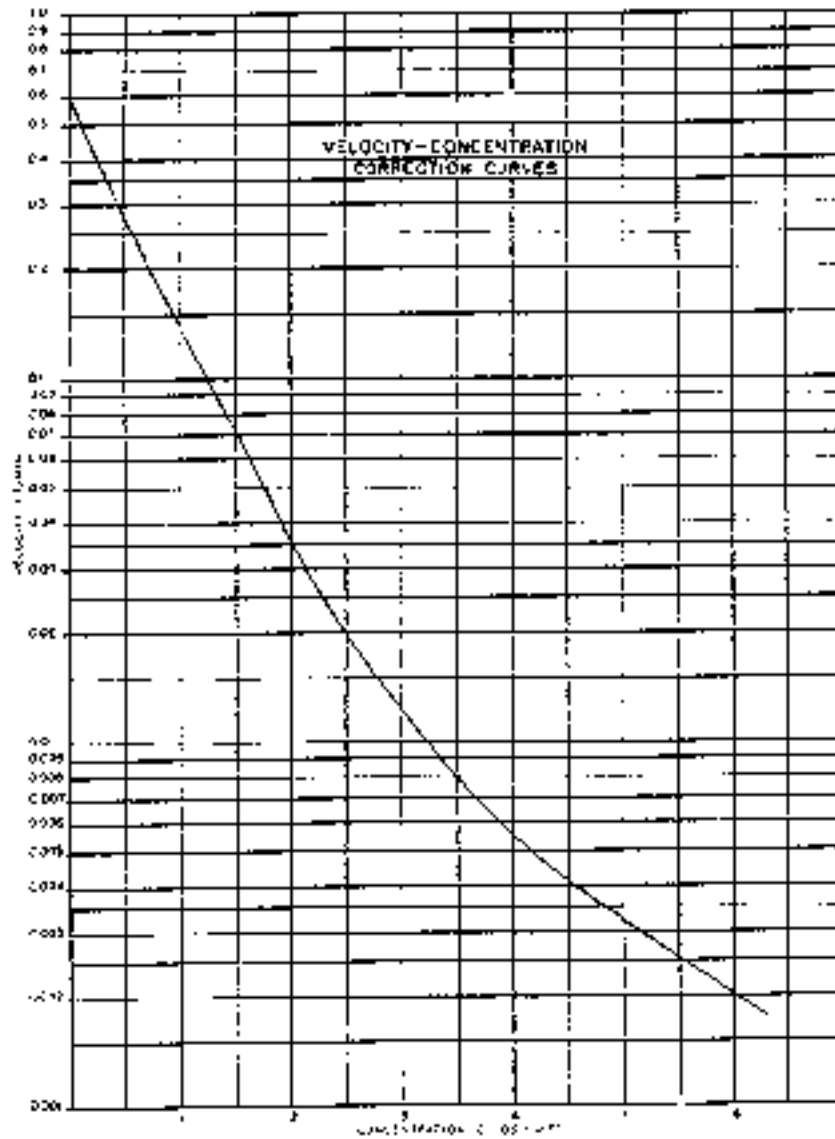
ภาพที่ ๒๐.๓๐ ผลการทดลองการตกตะกอนของตัวอย่าง ๑๐.๕ (๒๐)

ตารางที่ 10.3 ผลการคำนวณหาอัตราเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน

กราฟ เส้นที่	ความเข้มข้น (C)		ระยะตกตะกอน (นิ้ว)	เวลาตก ตะกอน (นาที)	อัตราเร็วเริ่ม- ต้น (ฟุต/นาที)
	ก./ล.	ปอนด์/ลบ.ฟุต			
1	4.08	0.252	21.00	4	0.438
2	4.14	0.254	15.75	3	0.495
3	4.35	0.272	20.00	4	0.417
4	5.47	0.405	21.00	5	0.360
5	17.85	1.052	4.75	3	0.132
6	17.47	1.054	3.65	2	0.1015
7	20.22	1.280	3.00	4	0.0828
8	24.28	1.640	3.10	5	0.0518
9	70.46	4.730	0.45	10	0.00375
10	22.42	2.110	1.90	5	0.0318
11	23.87	1.600	4.90	5	0.0617
12	22.50	1.640	2.80	7	0.0333
13	36.11	2.390	4.25	14	0.0266
14	45.67	2.860	2.60	11	0.0197

๓. เลือกค่า V และ C จากจุดต่าง ๆ รวม ๒1 จุด จากภาพที่ 10.20 และหาผลคูณ C และ V (เท่ากับค่าของ G_B) ซึ่งรายละเอียดที่แสดง ในตารางที่ 10.4

๔. จากค่า G_B ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ หรือกราฟระหว่าง G_B และ C (ดูภาพที่ 10.21)



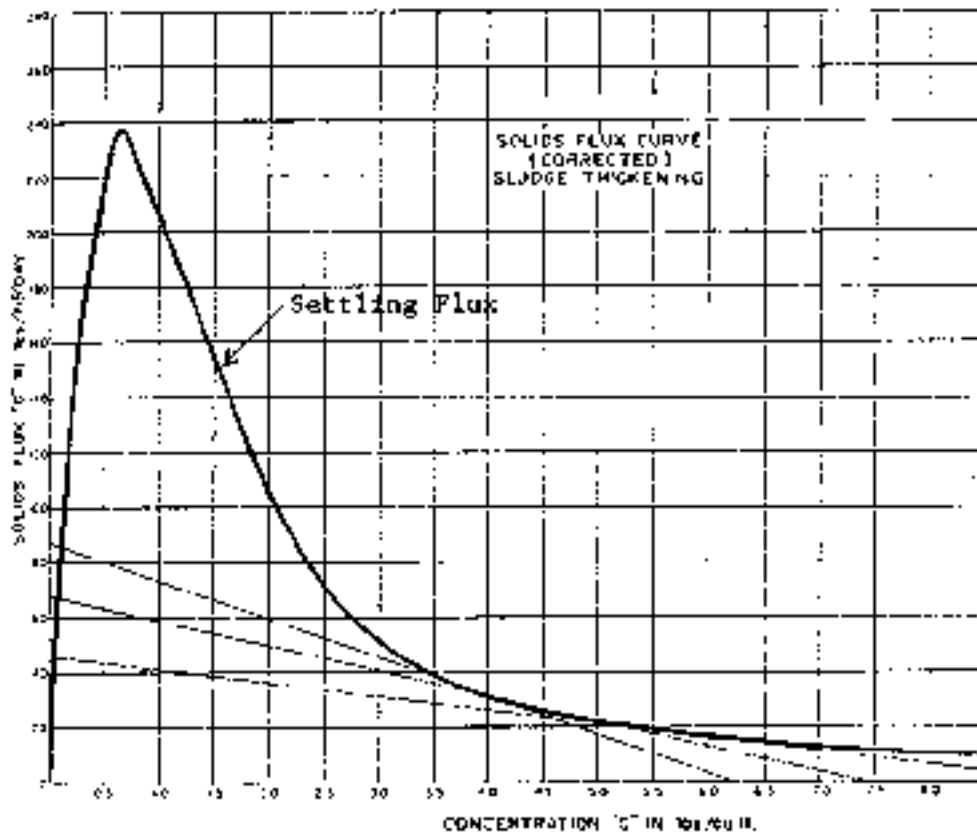
ภาพที่ 10.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C และ V (20)

ตารางที่ ๑๐.๔ การคำนวณค่า G_L ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของตัวอย่างที่ ๑๐.๕ (๒)

Point No.	Settling Velocity $V - ft/min$	Concentration $C - mg/ft^3$	Solids flux $G_s - lb/ft^2 \cdot hr$	$G_s - lb/ft^2 \cdot day$	grt	% Solids
1	0.1	0.1	0.050	72	1.5	0.16
2	0.4	0.27	0.108	156	4.32	0.43
3	0.7	0.48	0.144	207	7.68	0.77
4	0.2	0.77	0.154	222	12.35	1.24
5	0.15	0.96	0.144	207	15.10	1.54
6	0.10	1.25	0.125	180	20.0	2.00
7	0.08	1.41	0.113	163	22.5	2.30
8	0.06	1.61	0.0966	139	25.7	2.66
9	0.05	1.75	0.0875	126	28.0	2.80
10	0.04	1.91	0.0764	110	30.5	3.05
11	0.03	2.14	0.0642	92	34.1	3.41
12	0.02	2.50	0.0500	72	40.0	4.00
13	0.015	2.73	0.0410	60	44.5	4.50
14	0.01	3.20	0.0320	46	51.1	5.10
15	0.008	3.47	0.0278	40	55.6	5.60
16	0.006	3.89	0.0234	33.6	62.0	6.20
17	0.005	4.15	0.0208	30.7	67.0	6.70
18	0.004	4.58	0.0184	26.5	73.1	7.30
19	0.003	5.13	0.0154	22.2	82.0	8.20
20	0.0025	5.50	0.0138	19.9	88.0	8.80
21	0.002	6.00	0.0120	17.2	96.0	9.60

๕. ค่ารวมค่า G_L และ u เมื่อใช้ $C_U = 10 \%$
 เนื่องจาก $C_U = 10 \%$ = 100,000 มก./ล. = ๘.๒๔ ปอนด์/ลบ.ฟุต
 จากเส้นตรงสัมพันธ์กับกราฟ G_s และค่าความเข้มข้นที่จุด $C = ๘.๒๔$ ปอนด์/ลบ.ฟุต
 $G_L =$ จุดตัดบนแกน = ๘.๗ ปอนด์/ตร.ฟุต-วัน
 $u =$ ความชันของกราฟ = ๘.๗/๘.๒๔ = ๑.๐๕ ฟุต/วัน
 = ๑๐๕.๖ เมตร/ตร.ฟุต-วัน

๖. การคำนวณค่า G_L และ u ที่ระดับ $C_U = 12 \%$



ภาพที่ 10.23 การหน่วงโตะที่จุดหนักข้นและค่า G_L (20)

เมื่อทราบ $C_U = 15\%$ = 120,000 กก./ก. = 7.5 ปอนด์/คิว ฟุต

$\therefore G_L = 60.2$ ปอนด์/ตร.ฟุต-วัน

$U = 60.2/7.5 = 8.1$ ฟุต/วัน

= 80 เมตร/ตร.ฟุต-วัน

1. การคำนวณค่า G_L และ U ที่ระดับ $C_U = 15\%$

$$\begin{aligned} \text{เนื่องจาก } C_U &= 18 \text{ K} \times 150,000 \text{ มก./ล.} &= 2,775 \text{ ปอนด์/ลบ.ฟุต} \\ \therefore G_L &= 48 \text{ ปอนด์/ตร.ฟุต-วัน} \\ &= 48/2,775 &= 1.73 \text{ ฟุต/วัน} \\ &= 38.7 \text{ นาที/ตร.ฟุต-วัน} \end{aligned}$$

10.5 การจำแนกประเภทของถังตกตะกอน

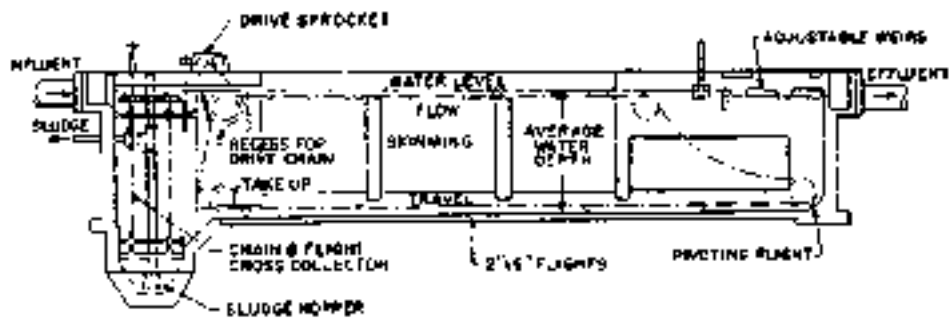
10.5.1 ถังตกตะกอนแบบธรรมดา

ถังตกตะกอนบางแห่งสามารถกำจัดของน้ำได้เป็น ๒ ประเภท คือ
แบบไหลในแนวราบ (ดูภาพที่ 10-22)
แบบไหลในแนวตั้ง (ดูภาพที่ 10-23)

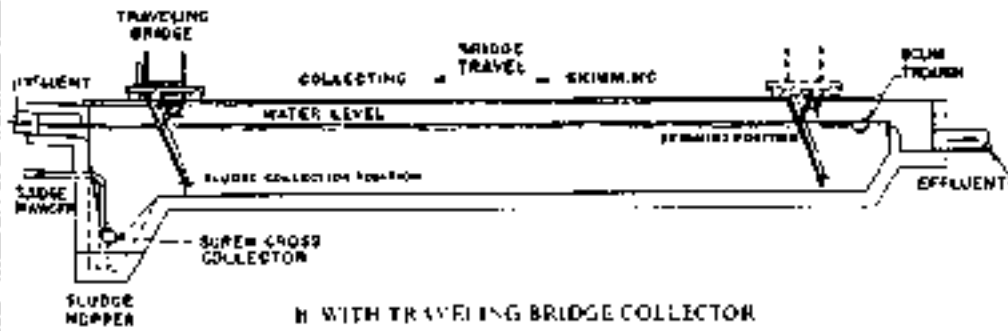
ถังประเภทแรก มักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ส่วนประเภทหลังมักเป็นแบบตั้งกลมหรือ
ถังสี่เหลี่ยมจัตุรัส นอกจากนี้ถังตกตะกอนยังอาจแบ่งตามวัตถุประสงค์ประสงค์ของการใช้
งานได้ ดังนี้

- ถังตกตะกอนแบบ Presedimentation
- ถังตกตะกอนแบบธรรมดา
- ถังตกตะกอนแบบ Solids Contact

ถังแบบ Presedimentation มักเป็นถังสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีเวลาพักน้ำนานมาก มี
หน้าที่ขังน้ำดิบ (ซึ่งมีความขุ่นมาก) ให้ขุ่นนิ่งเพื่อให้ตกตะกอนขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักขม
ลงก้นถัง ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดภาระของขบวนการโคแอกกูเลชันและทางตกตะกอน
ที่ตามมา ถังตกตะกอนแบบธรรมดา หมายถึงถังตกตะกอนที่มีถังแบ่งตามหลังถัง
กวนน้ำ หรือ Flocculating Tank ถังตกตะกอนแบบโซลิดส์คอนแทค เป็นถัง
แบบพิเศษที่มีถังกวนเร็วและถังกวนช้ารวมอยู่ในถังตกตะกอนด้วย ถังแบบนี้ใช้ประโยชน์
ในขบวนการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวและโซดาแอช

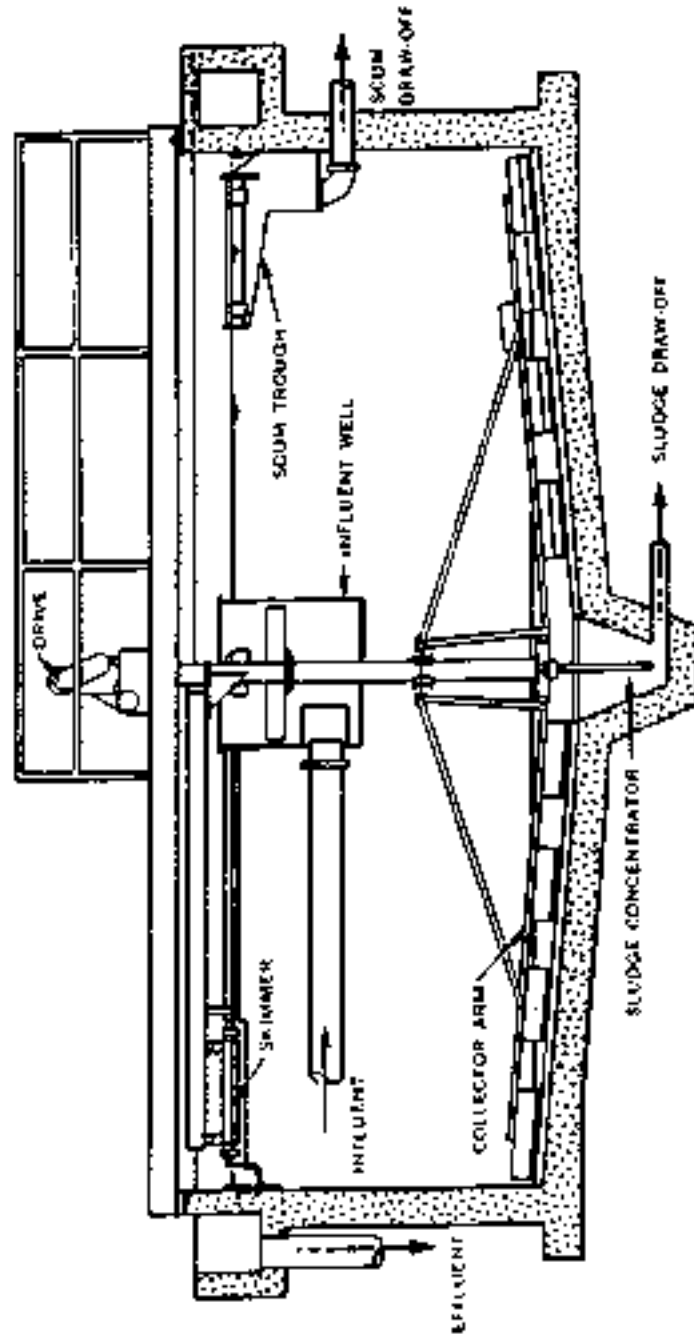


A. WITH CHAIN AND FLIGHT COLLECTOR



B. WITH TRAVELING BRIDGE COLLECTOR

Figure 10.22 Comparison of chain and flight and traveling bridge collectors



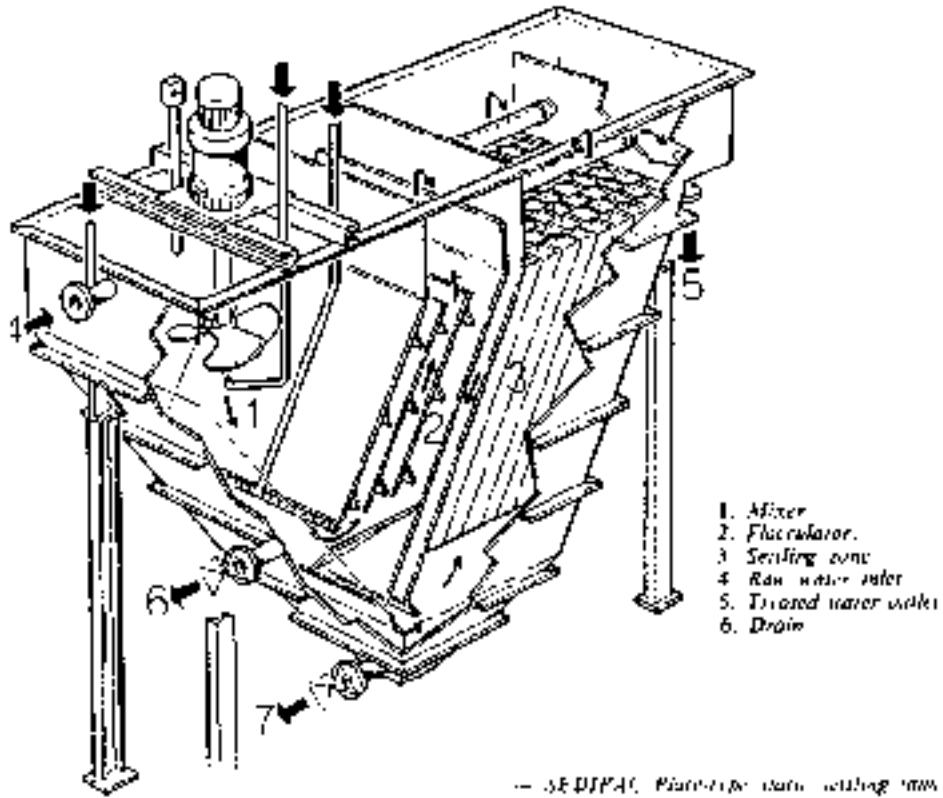
รูปที่ 10.23 ลักษณะของถังตกตะกอนและฟลอคคูเลชัน

ในปัจจุบันนี้ ได้มีการพัฒนาถังตกตะกอนแบบใหม่ ที่เรียกว่า Tube Settler หรือ ถังตกตะกอนแบบท่อ ทำให้สามารถลดขนาดของถังตกตะกอนลงได้มาก ซึ่งแบบนี้อาศัยแนวความคิดที่ว่า การตกตะกอนไม่ขึ้นอยู่กับความเร็ว เป็นหลักการในการออกแบบ

10.5.2 ถังตกตะกอนแบบท่อ (Tube Settler)

ดังได้กล่าวแล้วว่า การออกแบบถังต่างๆเข้าไปในถังตกตะกอนเพื่อลดความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคความขุ่น (ไม่ใช่การลดความเร็วของถังตกตะกอน) ช่วยทำให้ถังตกตะกอนมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกัน การลดทอนขนาดเล็กๆจำนวนมากให้กับถังตกตะกอน และยังช่วยให้น้ำไหลผ่านท่อเหล่านี้ ถังตกตะกอนจะยิ่งมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ถังตกตะกอนที่มีการออกแบบแบบนี้มีชื่อเรียก จำนวนมากเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถังตกตะกอน เรียกว่า Plate Settler หรือถังตกตะกอนแบบแผ่น (ดูภาพที่ 10.24) ส่วนถังตกตะกอนที่ใช้ท่อนพวยแผ่นต่าง ๆ เรียกว่า Tube Settler หรือ ถังตกตะกอนแบบท่อ (ดูภาพที่ 10.25) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ถังตกตะกอนทั้งแบบท่อนพวยแบบแผ่น ก็คือถังตกตะกอนธรรมดาที่มีการใส่แผ่นหรือท่อตกตะกอน เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนนั่นเอง

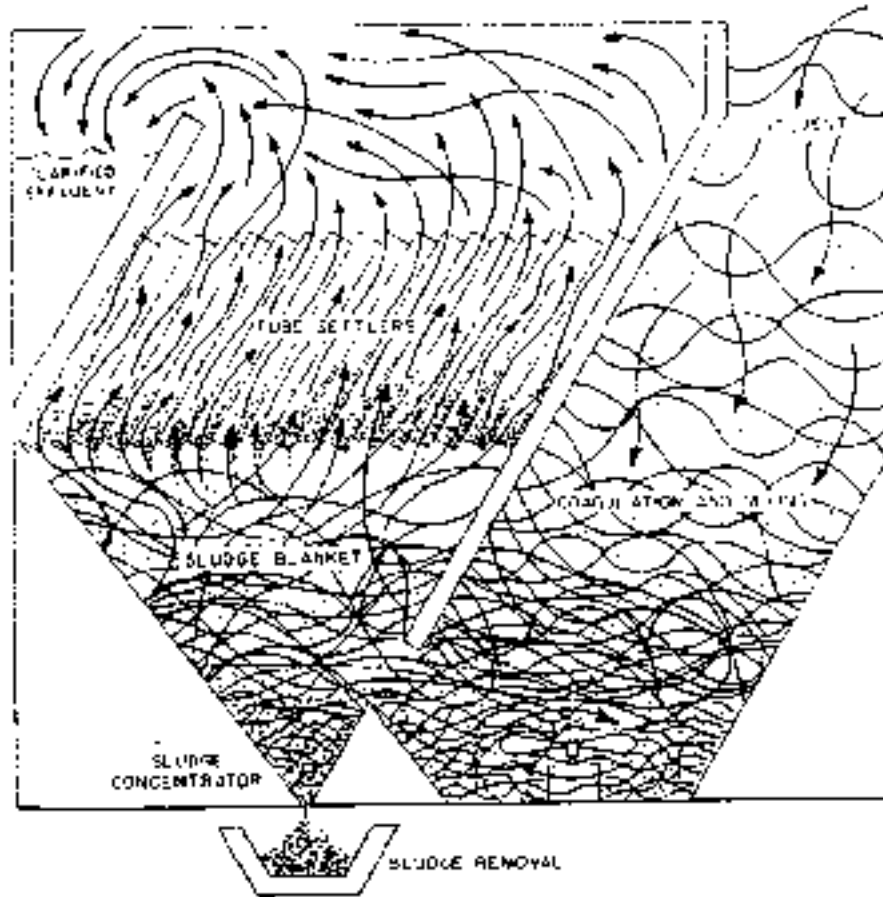
ระบบถังตกตะกอนแบบท่อมี 2 ชนิด (ดูภาพที่ 10.26) คือแบบท่อเอียงน้อย (๖°) และแบบท่อเอียงมาก (45° - ๖๐°) การที่ท่อเอียงเล็กน้อยทำให้ภายในท่อเป็นที่สะสมตะกอน ท่อแบบเอียงน้อยจึงต้องมีการล้างตะกอนสัปดาห์เป็นประจํา โดยปกติ ถังตกตะกอนแบบท่อเอียงน้อยจะได้รับการล้างหรือกับการล้างเครื่องกรอง ทุก ๆ ครั้งก่อนการล้างเครื่องกรอง จะมีการระบายน้ำออกจากถังตกตะกอน ให้หมดก่อน จากนั้นจึงปล่อยให้ น้ำที่ใสล้าง เครื่องกรองแล้ว ไหล เข้าช่องบนของท่อเอียง เพื่อชะล้างสัปดาห์ที่ติดค้างอยู่ภายในท่อ น้ำที่ไหลผ่านท่อเอียงจะไหลลงจากสกรูที่กักตะกอนมาด้วย และจะถูกระบายทิ้ง (ดูภาพที่ 10.28 ก.) น้ำปริมาณที่ไหลผ่านท่อเอียงเครื่องกรอง จะมีความสกปรกน้อย และใช้เติมถังตกตะกอนจนเต็ม เพื่อให้ถังตกตะกอนพร้อมที่จะตกตะกอนต่อไป ความไม่สะดวกในการใช้งาน และการทำงาน



— SEDIPAC, Plate-type water settling tank

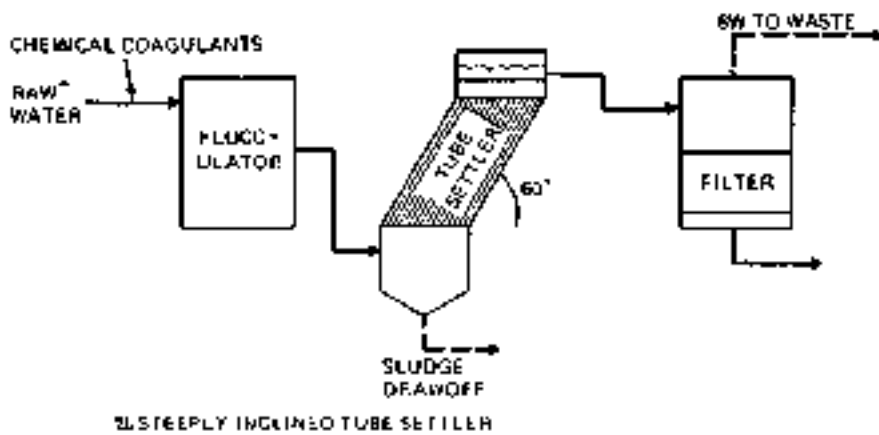
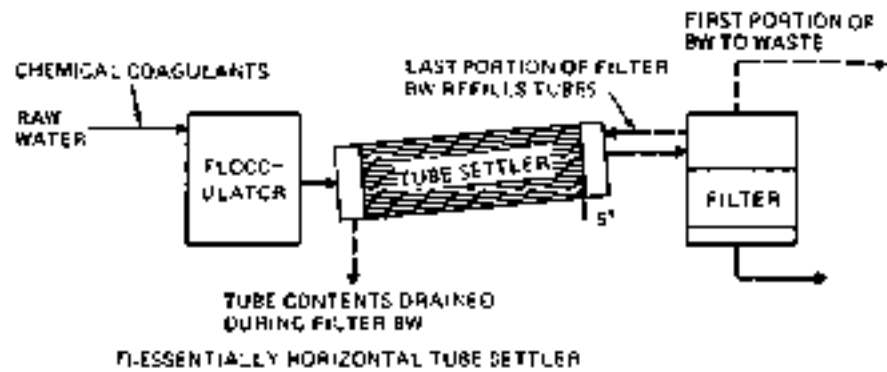
ภาพที่ 10.24 ตั้งตกตะกอนแบบแผ่น

อย่างไรก็ดีเนื่อง หน้าที่ตั้งตกตะกอนแบบท่อ เอียงน้อยไม่เหมาะสมสำหรับใช้กับระบบ-
 ประปาขนาดใหญ่หรือขนาดกลาง โดยปกติตั้งตกตะกอนแบบเอียงน้อย มักนิยมใช้
 กับระบบประปาครัวเรือนรูป หรือระบบประปาขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิต ไม่เกิน
 4,000 ลบ. เมตร/วัน ท่อเอียง $45^{\circ} - 60^{\circ}$ ช่วยทำให้ตะกอนตกไม่เกาะอยู่ที่
 ผนัง น้ำที่กรองจะตกจนช่วยทำให้มันสามารถไหลลงมาตามท่อและลงไปรวมกับตะกอน
 ที่เก็บซึ่งอยู่ด้านล่าง (ดูภาพที่ 10.25 ข.) การวางท่อเอียงมาก ๆ เช่นนี้ทำให้



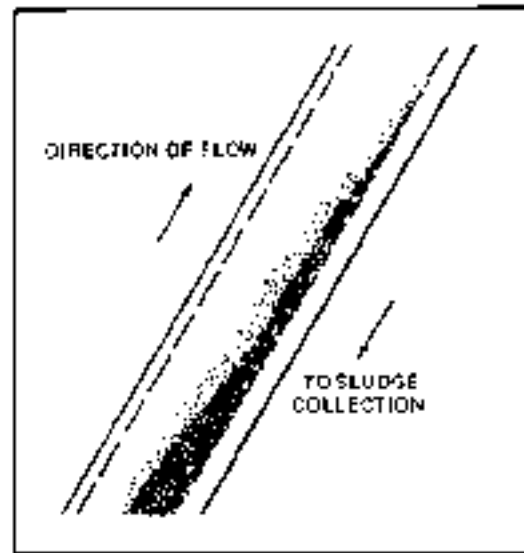
ภาพที่ 10.25 ถึงหกตะกอนแบบพัด

น้ำซึ่งไหลจากชั้นล่างขึ้นบน มีทิศทางรวมกับการไหลของตะกอนของสลัดจ์ (ดังแสดงในภาพที่ 10.27) ลักษณะเช่นนี้ช่วยทำให้การตกตะกอนได้ผลดียิ่งขึ้น เนื่องจากความปั่นในน้ำจะถูกขังอยู่ในกระแสน้ำของตะกอนเข้มข้น ซึ่งเคลื่อนที่ลงมาตามท่อ การทำความสะอาดเพื่อชะล้างตะกอน ไม่ใช่มีจำเป็นในกรณีของท่อเสียงมาก เนื่องจากไม่มีการสะสมของตะกอนสลัดจ์เกิดขึ้นภายในท่อเสียง ข้อดีเช่นนี้ทำให้สามารถใช้ถึงหกตะกอนแบบท่อเสียงมาก กับโรงงานขุดระบายน้ำกลางและขนาดใหญ่ได้

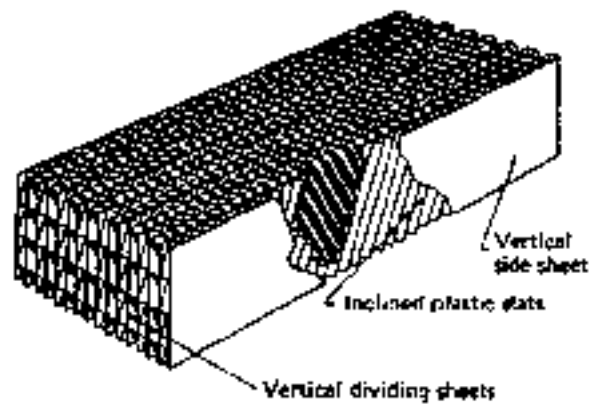


ภาพที่ 10.28 ซึ่งแสดงก่อนแบบที่ 2 ชนิด ก. แบบที่เอียง 5' ข. แบบที่เอียง 50'

โรงงานอุตสาหกรรมในต่างประเทศตามต่าง ได้พัฒนาและออกแบบท่อเอียงมาก-
 ให้มีรูปทรงและลักษณะต่าง ๆ ตามแนวความคิดของตนเอง ที่เชื่อว่าจะมีประสิทธิ-
 ภาพในการตกตะกอนความขุ่นได้ดีที่สุด ยกตัวอย่างเช่น บริษัทเนปจูนไมโครฟล็อก
 (Neptune Microfloc Co.,) ซึ่งเป็นหนึ่งในบริษัทที่เป็นผู้บุกเบิกในการผลิต
 ท่อตกตะกอนออกมาจำหน่ายทั่วไป ได้สร้างท่อตกตะกอนขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้วโดย
 ใช้แผ่นพีวีซี (PVC) และแผ่นพลาสติก เอบีเอต (ABS) ประกอบกัน เมื่อจัด
 แผ่นพีวีซีวางตั้งทำมุม 2 นิ้ว และใช้แผ่นเอบีเอตสร้าง 2 นิ้ว วางเอียง 50°
 อยู่ในระนาบแผ่นพีวีซี ก็จะได้ท่อสี่เหลี่ยมขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้วจำนวนมาก สก-
 หางของแผ่นเอียงที่อยู่ระหว่างแผ่นตั้งจะวางให้สลับกันไปเป็นช่องๆ(ดูภาพ10.28)



ภาพที่ ๑๐.๒๗ การไหลของน้ำและของเสียดักไว้ในที่ตกตะกอนแบบชันมาก

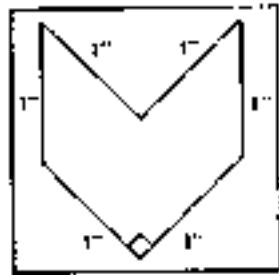


ภาพที่ ๑๐.๒๘ หอตกตะกอนที่สร้างเป็นโมดูล (Module)

ทำให้ได้โครงสร้างที่แข็งแรงและยืดหยุ่นเองที่ทนแรงแทน ถ้ามีที่รองรับปลายทั้ง๓๑ข้าง โครงสร้างนี้จะสามารถคงตัวอยู่ได้เองคล้ายกับ เป็นคานที่ใช้ในงานก่อสร้าง-โครงสร้างขนาดมาตรฐานแต่ละชั้น เรียกว่า โมดูล (Module) มีความสูง ๒๐ นิ้ว ความกว้าง ๑๐ นิ้ว และความยาว ๑๐ ฟุต ความกว้างและความยาว ของโมดูล สามารถเชื่อมต่อให้จึงมาตามความต้องการได้ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะกลม

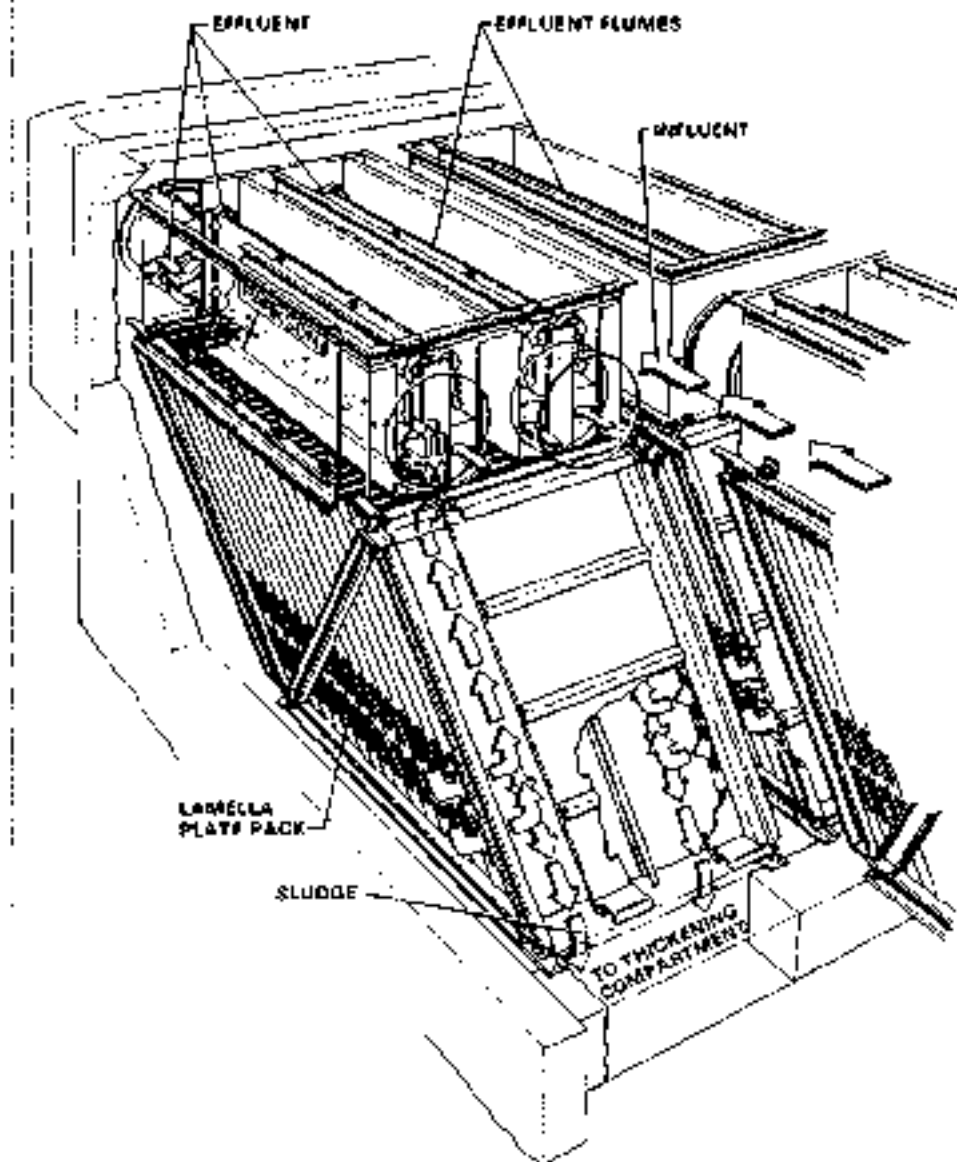
บริษัท Permutit สร้างท่อตกตะกอน ๘ เหลี่ยม ที่มีรูปร่างคล้ายปิ่นนายสิบ (ภาพที่ ๑๐.๒๑) คูัดลิตเชื่อว่า รางรูปตัววี (V) ช่วยสนับสนุนการไหลสวนทางกับระหว่งน้ำและตะกอน ทำให้มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนสูง

นอกจากการใช้ถังตกตะกอนแบบท่อนี้ บางบริษัทอาจใช้ ถังตกตะกอนแบบแผ่น (Plate Settler) ยกตัวอย่างเช่น บริษัท Parson Corporation ใช้แผ่นแบบวางเอียงให้ทำงกันเป็นช่องว่างเล็ก ๆ (ดูภาพที่ ๑๐.๒๐) น้ำไหลเข้ามาจาก



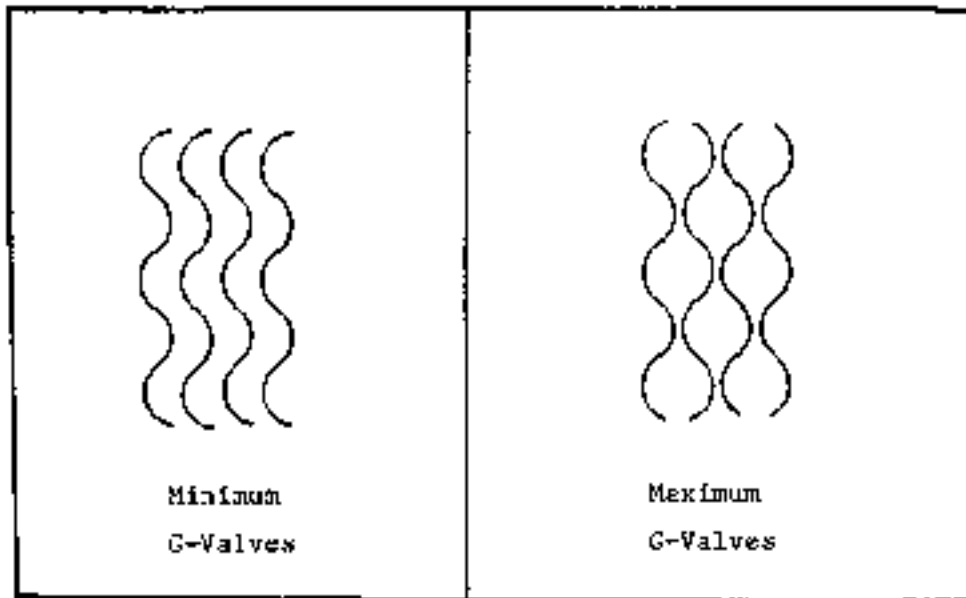
ภาพที่ ๑๐.๒๑ ท่อตกตะกอนแบบ ๘ เหลี่ยม (ปิ่นนายสิบ)

ด้านบนลงไปตามช่องว่าง ถ้าให้ตะกอนไหลลงไปตามแผ่นเอียง ในทิศทางเดียวกันเป็นน้ำไหลไปถึงคานข้างของแผ่นเอียง ถังตกตะกอนเรียบร้อยแล้ว น้ำใสจะถูกบังคับให้ไหลผ่านท่อเล็ก ๆ บังขึ้นมาจากคานบนของถังและไหลออกไป บริษัท Pickenroad Separator ใช้แผ่นคานที่ทำจากกระดาษทรายละเอียด และเรียงกันในลักษณะต่าง ๆ ทำให้สามารถใช้เป็นถังกวนเร็วและถังกวนช้าได้เช่นเดียวกับ



ภาพที่ 10.30 ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับ Lamella

ใช้เป็นดังกลดกระทง (ภาพที่ 10.31) ผู้เขียนเคยใช้วิธีนี้กับปฏิกิริยาไทป์ น้ำฝนซึ่งจะมี
 แอมโมเนียมาประกอบด้วยเป็นหมักตกกระทง และวางเสียง 5' และ 60' ปรากฏว่าไม่
 ผลในการลดกระทงเลยที่มีผล

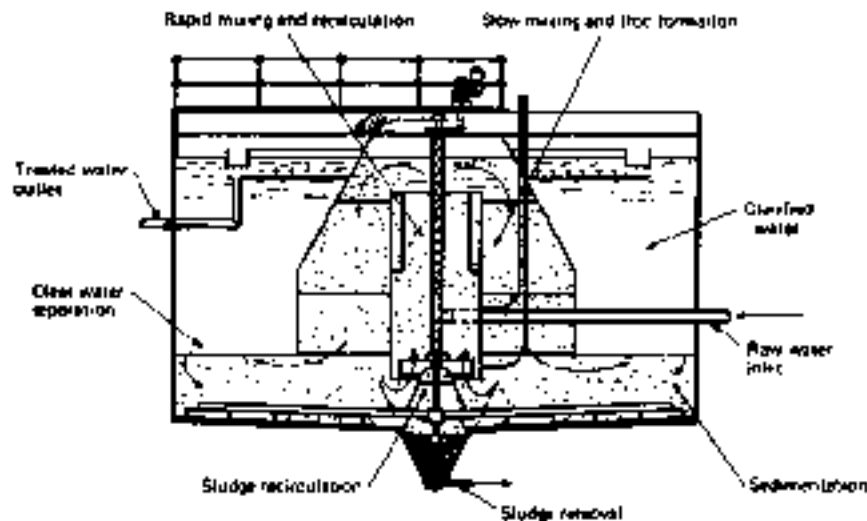


ภาพที่ 10.31 แผ่นลดกระทงแบบลอน (Corrugated Settling Plate) ที่ใช้ในพบบนการไหลของเส้นโค้ง

10.3.3 ถังตกกระทงแบบโซลิดส์คอนแทคท์ (Solids Contact Clarifier)

ถังตกกระทงแบบโซลิดส์คอนแทคท์ หมายถึงถังตกกระทงที่มีบริเวณการไหลของเส้น
 รวมอยู่ภายในถังเดียวกัน (ภาพที่ 10.32) ดังชนิดนี้อาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันได้
 หลายอย่างเช่น บางคนอาจเรียกว่า Sludge Blanket Clarifier นอกจากนี้
 นี้ยังมีชื่อเฉพาะอีกหลายอย่าง ตามแต่ผู้ผลิตจะตั้งขึ้น เช่น Clariflocculator
 Turbocirculator, Pulsator ฯลฯ

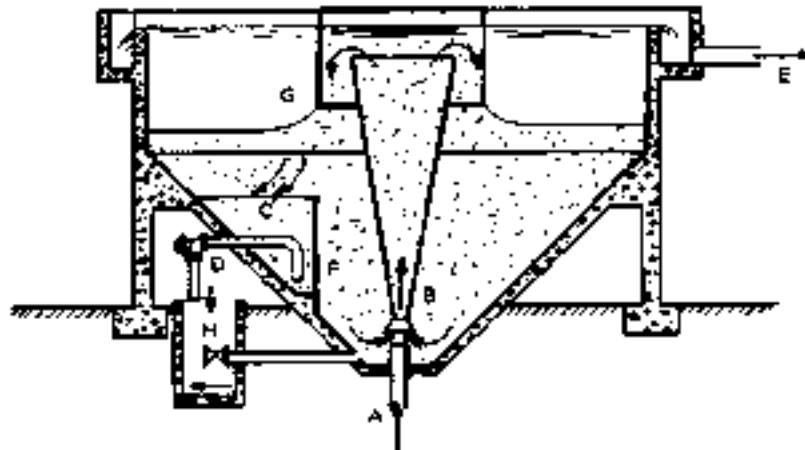
ถังโซลิดส์คอนแทคท์ อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือแบบควบเวียนสลัดจ์ (Slurry



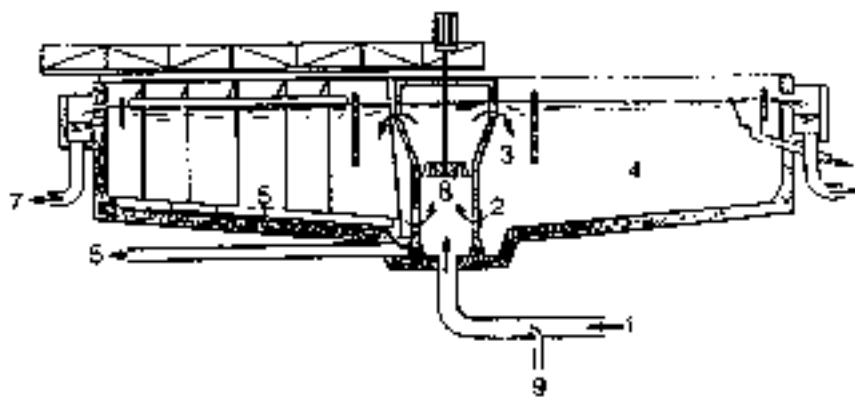
ภาพที่ 10.22 ชังโซลิดส์ค่อนแทคท์แบบหมุนเวียนสลัดจ์ (Slurry Recirculation Type)

Recirculation) และ แบบมีชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) ชังโซลิดส์ค่อนแทคท์แบบหมุนเวียนสลัดจ์ (ดูภาพที่ 10.22-10.23) เป็นแบบที่มีการหมุนเวียนสลัดจ์จากบรีเวจคกตกตะกอน ไปยังเขตความน้ำซึ่งเป็นทางเข้าของน้ำดิบและสารเคมี และ เป็นที่เกิดโคลนออกฤเลิศิม การกวนน้ำอาจทำโดยใช้ใบพัด (ริวิกร) หรือใช้วิธีขดสายลวดก็ได้ ชังโซลิดส์ค่อนแทคท์แบบมีชั้นสลัดจ์ (ดูภาพที่ 10.24) เป็นแบบที่ไม่ต้องหมุนเวียนสลัดจ์ แต่ต้องรักษาให้มีชั้นสลัดจ์คงอยู่ ตลอดเวลา ใบสังคกตกตะกอน โดยไม่แตกกระชาย และไม่กัดผิวจนเกาะกันแน่นในกันถึง น้ำที่ผสมกับสารเคมีจนเกิด Destabilization แล้ว จะถูกบังคับให้ไหลผ่านชั้นสลัดจ์ทำให้เกิดสลัดจ์เลิศิมขึ้นภายในนั้น น้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นสลัดจ์จะมีแต่น้ำใสเท่านั้น

ภายในชั้นสลัดจ์หรือ เขตที่มีการหมุนเวียนสลัดจ์ สลัดจ์จะอยู่ในสภาวะแขวนลอยและอยู่เป็นกลุ่มก้อนมากน้อยตามความถี่ของน้ำ เหาะของมัน หรืออัตราเร็วของการไหลเวียนของน้ำ การกัดผิวของสลัดจ์ไม่การปล่อยให้มัน สลัดจ์ในบรีเวจคกตกตะกอนจะไม่ถูกระบายทิ้ง สลัดจ์ที่คองทิ้งจะถูกระบายออกจากกลุ่มเก็บสลัดจ์ (Sludge Hopper)

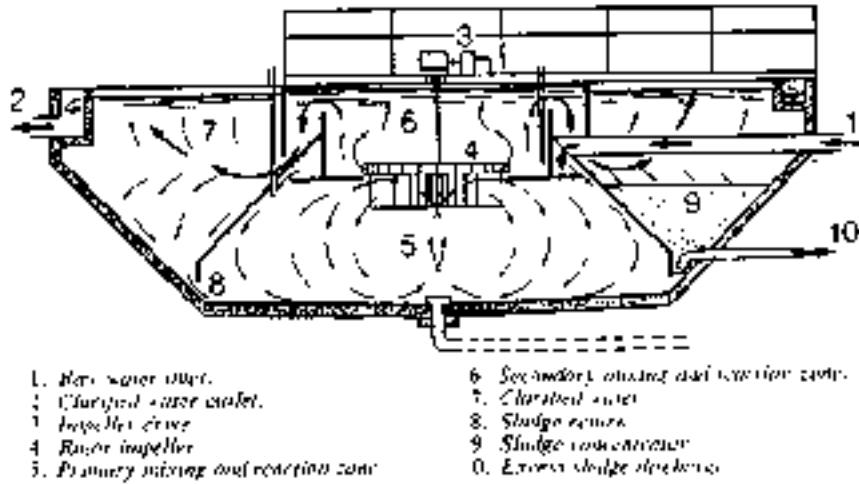


ภาพที่ 10.33 สิ่งประดิษฐ์คอนกรีตแบบหมุนเวียนชนิดจัตมน้ำ Permutit เจ็ท
 ี่ Circulator ภาวควบน้ำใช้วิธีจัตมน้ำ

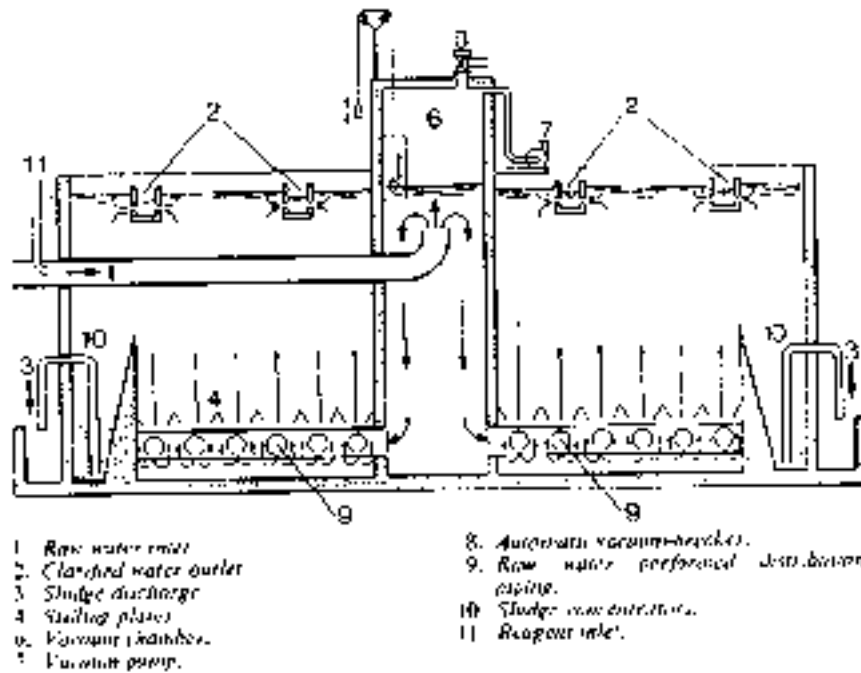


- | | |
|------------------------|---|
| 1. Raw water inlet | C. Excess sludge |
| 2. Sludge recycling | 7. Treated water outlet |
| 3. Floor manure | 8. Mixing turbine for raw water and recycled sludge |
| 4. Classification zone | 9. Bearing foot |
| 5. Scraper | |

ภาพที่ 10.34 สิ่งประดิษฐ์คอนกรีตแบบหมุนเวียนชนิดจัตมน้ำแบบหนึ่งของ Permutit
 ี่แบบที่เจ็ดว่า Turbecirculator ควบน้ำโดยใช้วิธี



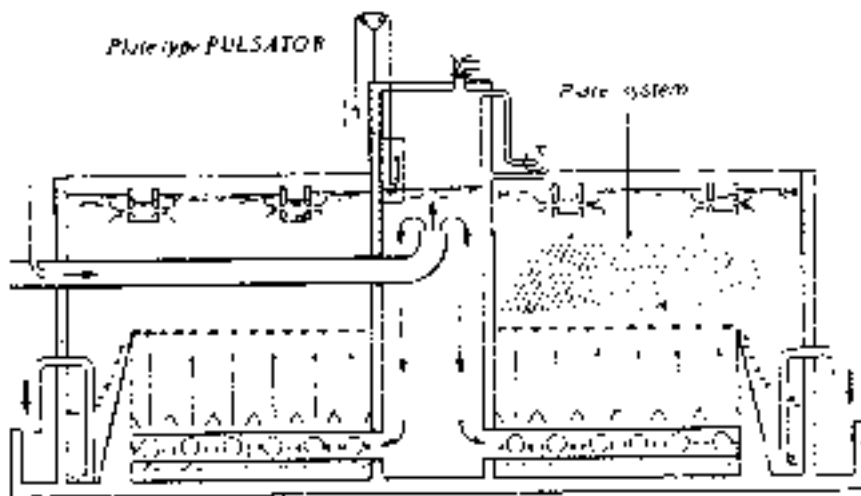
ภาพที่ 10.35 แผนผังของเครื่องกรองน้ำแบบหมุนเวียนชนิดค้ำของ Permutit ที่เรียกว่า Accelerator ใช้ไฟฟ้าทวนน้ำเพิ่มความเร็ว



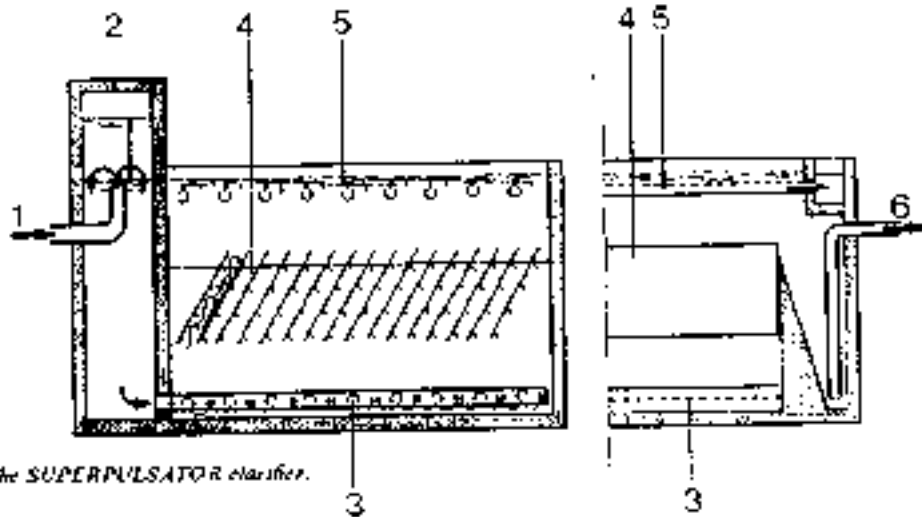
ภาพที่ 10.36 แผนผังของเครื่องกรองน้ำแบบหมุนเวียนชนิดค้ำของ Permutit ที่เรียกว่า Pulsator

หรือ Concentrator ซึ่งอยู่กึ่งกลางของ การวัดตัวของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น
ได้ในขณะเก็บผลิตภัณฑ์ การที่ขดลวดทำไดโพลใช้วาล์วหรืออากาศน้ำ ที่ควบคุมด้วยคน
หรือด้วยเครื่องอัตโนมัติ

การใช้ท่อตกตะกอนที่กลับลงไซคลิกครอบแหวน ช่วยทำให้อัตราการนำดินขาวของถังมีค่า-
เพิ่มขึ้นได้หลายเท่า แต่ท่อตกตะกอนชนิดของมีขนาดใหญ่มากเพียง เพื่อป้องกันมิให้มี
การถูกดันเกิดขึ้น บางครั้งจึงนิยมใช้แผ่นตกตะกอนมากกว่า สำหรับในถังแบบหมุน
เวียนผลิตภัณฑ์ ท่อหรือแผ่นตกตะกอนจะได้ไว้ในเขตสำหรับตกตะกอน ส่วนในถังแบบมี
ชิ้นผลิตภัณฑ์ อาจใส่ท่อหรือแผ่นตกตะกอนไว้ในเขตตกตะกอน (ดูภาพที่ 10.37) หรือ
ในบริเวณที่มีชิ้นผลิตภัณฑ์ (ดูภาพที่ 10.38)



ภาพที่ 10.37 ถังไซคลิกครอบแหวนแบบมีชิ้นผลิตภัณฑ์ใส่แผ่นตกตะกอนไว้ในเขต
ตกตะกอน



- 1. Raw water inlet.
- 2. Vertical chamber.
- 3. Perforated pipes for water distribution.
- 4. Plate system.
- 5. Perforated pipes for clarified water collection.
- 6. Sludge discharge.

ภาพที่ 10.34 เครื่องใช้ลิฟต์คอนกรีตแบบมีขึ้นสลิคที่ใหม่ส่วนตกตะกอนไว้ในชั้นสลิค

เครื่องใช้ลิฟต์คอนกรีต เป็นถังตกตะกอนที่มีเมโซใช้กับขบวนการกำจัดความขุ่นต่างด้วย
 ปูนขาว- โซดาแอซ เนื่องจากขบวนการสังเคราะห์สร้างตะกอนแขวนลอยเกิดขึ้นม
 มาก ทำให้สามารถควบคุมระดับสลิคได้ง่าย หรือทำให้มี Slurry ผ่าที่รับหมุน
 เรือนได้ง่าย แต่เครื่องใช้ลิฟต์คอนกรีตก็สามารถใช้ได้กับระบบประปาธรรมดา
 ที่มีน้ำซึ่งมีตะกอนแขวนลอยน้อย ซึ่งในกรณีนี้อาจมีความยุ่งยากบ้าง ในระหว่างเริ่ม
 เครื่องเป็นครั้งแรก (Start Up) เนื่องจากขาดตะกอนแขวนลอยเพื่อ
 ใช้สร้างชั้นสลิค (Sludge Blanket) หรือ Slurry ภายเดิมผงดินเหนียว
 ต่าง ๆ เช่น Kaolin ฯลฯ จะช่วยเร่งความเร็วพร้อมของเครื่องใช้ลิฟต์คอนกรีตได้

ข้อดีของเครื่องใช้ลิฟต์คอนกรีต มีหลายประการ คือ

- ก. เนื่องจากเป็นการรวมโคของภู เลชันและการตกตะกอนไว้ด้วยกัน ซึ่งโซลิดส์
คอนเทนต์ซึ่งมีรูปร่างกระหึ่คร์คกว่า และอาจมีซากาถูกกว่าระบบธรรมดา
- ข. ในการควบคุมคุณภาพเทียบค่าใช้จำยค่า โคปรกคินกว่า การใช้ตั้งโซลิดส์-
คอนเทนต์จะเทียบค่าไฟฟ้าน้อยกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องกวนซ้ำ ด้วยใบพัด
เพิ่มออกไป
- ค. สามารถใช้ยั้คาวน้ำดื่มให้สูงกว่าถึงแบบธรรมดา

๑๐.๕ หลักเกณฑ์ที่ใช้ของแบบตั้งตกตะกอน

แม้ว่ามนุษย์จะรู้จักวิธีการตกตะกอน เพื่อประโยชน์ต่าง ๆ มาเป็นเวลานานนับร้อย
ปี แต่ในปัจจุบันี้ยังไม่มีการหรือโยเคลทางคณิศศาสตร์ ที่ีพอที่จะช่วยให้วิศวกร
สามารถออกแบบตั้งตกตะกอนได้อย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเสมอ ซึ่งวิศวกร
ตั้งนวกคณิมืออยู่ในขณะี คือหลักเกณฑ์อย่างง่ายและรวดเร็วในการคำนวณและออกแบบ
เพื่อหาขนาดของตั้งตกตะกอน และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ แต่อย่างไร
ก็ตาม การที่ตั้งตกตะกอนจะสามารถทำงานได้มีมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับความ
สามารถของวิศวกรในการออกรายละ เียบค้ให้กับส่วนประกอบต่าง ๆ ของตั้งตก-
ตะกอน เช่น ทางน้ำเข้าและออก ความลึกของตั้ง ตั้ง การมีค่าวาคตะกอน ฯลฯ

เพื่อให้มีความสามารถในการออกแบบตั้งตกตะกอนอย่างมีประสิทธิภาพ วิศวกรควร
เรียนรู้เพื่อให้เข้าใจถึงคุณสมบัติ ในการลคตะกอนของอนุภาคแขวงลอย คืออยู่ในน้ำ
จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ จากนั้นวิศวกรจึงทำการออกแบบตั้งตกตะกอนให้
มีคุณสมบัติทางลคศาสตร์ที่เหมาะสม และสอดคล้องกับคุณสมบัติในการลคตะกอน
ของอนุภาคแขวงลอยนี้ซึ่งการกระทำ โดยเหตุที่น้ำค้บก็ใช้ในการผลิตน้ำประปำ มี
คุณภาพแตกต่างกันอย่างกว้างขวาง เกณฑ์สำหรับออกแบบจึงมีค่าแตกต่างกันได้มาก

๑๐.๘.๑ คุณสมบัติในด้านการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอย

สมการแสดงความเร็วของการตกตะกอนต่าง ๆ ที่ได้พูดถึงในตอนที่ ๑๐.๖ นี้ให้ เห็นว่า การตกตะกอนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติหลายประการของน้ำดิบ และของความเร็วที่ ต้องการกำจัด เช่น คุณสมบัติของน้ำ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืดขนาด และรูปร่าง ของความเร็ว เป็นต้น

ความเร็วในการตกตะกอน แปรผกผันกับความหนืดของน้ำซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรง กับอุณหภูมิของน้ำ ดังนั้น อุณหภูมิของน้ำซึ่งมีอิทธิพล ต่อการตกตะกอนของอนุภาค การเพิ่มอุณหภูมิจาก 15 °C ไปเป็น ๖๐ °C จะทำให้อนุภาคตกตะกอนได้เร็วขึ้น ถึง ๒.๕๖ เท่า อนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะมีน้ำหนักมาก จึงทำให้สามารถตก- ตะกอนได้ดีกว่าอนุภาคที่มี ถ.พ.ต่ำ (ขนาดเท่ากัน) น้ำที่วัดยวดยานอนุภาคแขวนลอย ที่มีถ.พ.ต่าง ๆ อยู่ในช่วงตั้งแต่ ๑.๐๒ จนถึง ๒.๕๕ อนุภาคของสารอินทรีย์ ที่ รวมตัวกันเป็นฟล็อก จะมีถ.พ.ประมาณ ๑.๐3 ทรายจะมีถ.พ.ประมาณ ๒.๖๕ อนุ- ภาคที่มีถ.พ.ต่ำ มักเป็น เพราะมีน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญ ฟล็อกของสารส้มหรือ- สารประกอบของเหล็ก จะมีถ.พ.ประมาณ ๑.๐๘-๑.๑๐ แต่ก็มีหินหรือ ทรายปน อยู่ในฟล็อกถาวรดีหรือเหล็ก ถ.พ.จะสูงขึ้น ในบางครั้งกันข้าม ถ้าฟล็อกดังกล่าว มีสารอินทรีย์ ถ.พ.อาจลดลงได้ ฟล็อกของหินปูนจะมี ถ.พ.ประมาณ ๑.๒ (ดู- ตารางที่ ๑๐.๑)

ตารางที่ ๑๐.๑ คุณสมบัติทางด้านตกตะกอนของอนุภาคประ เภตต่าง ๆ

Nature of Solids	Specific Gravity	Settling Velocity (cm)	Surface Loading (gpd per ft ²)	Detention Period (for 10-ft tank) (hr)
Sand, silt, clay	2.65	as low as 7×10^{-4}	146	12.3
Aluminum and iron floc	1.002	8.9×10^{-4}	1800	10
Calcium carbonate precipitates	1.2	4.2×10^{-4}	< 900	> 2
Primary waste organics	1.001	4.2×10^{-4}	< 900	> 2
Activated sludge organics	1.005	2×10^{-4}	1200	> 0.5

แผนการที่ 10.6 ซึ่งเป็นกฎของโลก สามารถนำไปใช้คำนวณหา อัตราการค-
 ณะกอบของอ่างอุทกศาสตร์ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีเพราะจ.พ. และขนาดของอ่างอุทกศาสตร์
 ไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม แผนการของโลกจะใช้ไม่ได้กับอ่างอุทกศาสตร์ที่มีขนาด
 รวมตัวกัน เป็นอ่างอุทกศาสตร์ใหญ่

ความถี่ของภาวะผันผวนระหว่างอ่างอุทกศาสตร์ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับ
 ความขุ่น ขนาด และถาวรกระแสน้ำของอ่างอุทกศาสตร์ความขุ่น และความเร็วสัมพันธ์
 ในการเคลื่อนที่ของอ่างอุทกศาสตร์ต่าง ๆ การทดสอบการทดลองในสิ่งทรงกลมจะแยกใ้
 เจริญเติบโตรวดเร็วกว่าในด้านการตกตะกอน ทำให้สามารถทราบถึง ผลกระทบของ
 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อการรวมตัวและการตกตะกอนของอ่างอุทกศาสตร์ที่ผลิต คุณสมบัติใน
 ความรวดเร็วของสิ่งตกตะกอนจะมีอิทธิพลต่อการเกิดฟลอคจูนเดชั่น ที่ทำให้เกิดการ
 เปลี่ยนแปลงต่อจ.พ. และขนาดของอ่างอุทกศาสตร์ ด้วยเหตุนี้ เวลาที่อ่างอุทกศาสตร์ในสิ่งทรง
 กลมจะมีผลมีความสำคัญ ทั้งนี้เพราะถ้ายังมีเวลาในโลกาสัมพันธ์ระหว่างอ่างอุทกศาสตร์
 มีมากขึ้น จ.พ. จะให้ตระหนักไว้ว่า เวลาที่ตกตะกอนอยู่ในสิ่ง ไม่จำเป็นต้องเท่า
 กับการที่ปริมาณของสิ่งตกตะกอน เนื่องจากปริมาณอาจเกิดการผันแปรขึ้นภายในสิ่งก็ได้

10.6.2 คุณสมบัติในด้านการตกตะกอนของสิ่งตกตะกอน

สิ่งตกตะกอนที่ใช้ในงานอยู่ในทุกวันนี้ ล้วนแต่เป็นแบบที่ทำงานอย่างค้ำเนื่องกับหลอด
 เวลา และอาจมีเครื่องกวาดตะกอนหรือไม่มีก็ได้ อัตราประจักษ์ของสิ่งตกตะกอนที่ถือ
 เกี่ยวกันน้ำไว้ในถังซึ่งระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้ความเร็วของน้ำลดลงจนกระทั่งมีการ
 ตกตะกอนของอ่างอุทกศาสตร์และวนรอบเกิดขึ้น คุณสมบัติสำคัญของสิ่งตกตะกอนในด้านการ
 ตกตะกอนที่มีหน้าที่รับผลของการตกตะกอน ได้แก่

1. พื้นที่ผิวหน้าของถัง
2. ความลึกของถัง
3. อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถัง

พื้นที่ผิวหน้าของถัง ขึ้นอยู่กับอัตราการน้ำรั้นผิว หรือ Surface Overflow Loading

ความลึกของถังขึ้นอยู่กั้กับ เวลาที่กน้ำถ้ามีการกำหนดอัตราน้ำล้นไว้ก่อนแล้ว ส่วนความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถังนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ภาคตัดขวาง ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ นอกจากนี้ เพื่อให้การตกตะกอนสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ถูกรบกวนหรือถูกรบกวนน้อยที่สุด วิศวกรจะต้องคำนึงถึงตัวประกอบของถังตกตะกอน ดังต่อไปนี้ด้วย

- ทางน้ำเข้า
- ทางน้ำออก
- เครื่องกวาดตะกอนและเครื่องดูดตะกอนออก

๔.๒.๑.๑ พื้นที่ของถังตกตะกอน

พื้นที่ของถังตกตะกอน นับเป็นพารามิเตอร์เบื้องต้น มีความสำคัญมาก ต่อการตกตะกอนของอนุภาคหรือรึมลล็ดจ้ ขนาดของพื้นที่ขึ้นอยู่กั้กับประเภทของการตกตะกอนหรือความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำที่นำมาตกตะกอน ถ้าน้ำมีตะกอนแขวนลอยสูง ทำให้การตกตะกอนเป็นแบบแบ่งชั้น ดังตกตะกอนต้องมีพื้นที่สูงมาก ทดที่จะทำได้ซึ่งในขั้นต้นสามารถทดสอบที่ห้องปฏิบัติการได้โดยอัตราที่ช้ากว่าหรือเท่ากับไหลลัดลัด G_L แต่ถ้าน้ำมีตะกอนแขวนลอยต่ำ ทำให้การตกตะกอนเป็นแบบรวมกลุ่ม (Flocculent Settling) หรือแบบโคก (Discrete Settling) ดังตกตะกอนต้องมีพื้นที่พอ เพียงดีจะทำให้อัตราน้ำล้นลิว (ซึ่งเท่ากับอัตราไหลของน้ำที่มาจากทางด้วยพื้นที่ตั้ง) มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าอัตราเร็วในการตกตะกอน ของอนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่ต้องกำจัดออก ในกรณีหลังนี้ วิศวกรมักกำหนดให้ถังมีพื้นที่พอเพียงที่จะทำให้อัตราน้ำล้นลิวมีค่าประมาณ ๑๐๐-๕,๐๐๐ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ หรือ ๒๖-๑๕๒ m^3/hr

โดยปรกติ พื้นที่ซึ่งคำนวณจาก G_L จะมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ซึ่งคำนวณจากอัตราน้ำล้นลิวเสมอ วิศวกร เช่นนี้กล่าวได้ว่า การออกแบบถังตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับหน้าที่คือ Thickening มากกว่าหน้าที่คือ Clarification ด้วยเหตุนี้ การออกแบบถังตกตะกอนที่ใช้กับน้ำที่มีความเข้มข้นสูง โดยการคำนวณหาพื้นที่จากอัตราน้ำล้นลิวจึง

เป็นการเสี่ยงต่อความล้มเหลว เนื่องจากพื้นที่ที่มีกัมมิชขนาด เล็กเกินไป ทำให้ถังตกตะกอนไม่สามารถระบายสลักจิ้งออกไปได้เสีย ในกรณีเช่นนี้ต้องกำยวหาปริมาณที่จากค่าไฮดรอลิ์ค G_L ซึ่งจะได้ขนาดใหญ่มากว่าที่ G_L ที่กำยวหาจากอัตราน้ำดื่ม สำหรับในระบบผลิตประปา ถังตกตะกอนมักได้รับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยไม่สูงพอ ที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น การออกแบบถังตกตะกอนตามทีกกล่าวในหนังสือเรียนต่าง ๆ จึงยุติถึงแต่เฉพาะการกำยวหาปริมาณที่จากอัตราน้ำดื่ม อย่างไรก็ตามผู้อ่านจะต้องตระหนักไว้ว่า ถ้ามีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นเกิดขึ้นในถังตกตะกอน ทารานี้ G_L ที่เป็นตัวกำหนดพื้นที่ จะต้องเป็น G_L ที่ใช้สำหรับน้ำดื่ม

ตารางที่ ๑๐.๕ แสดงระดับอัตราน้ำดื่มสำหรับถังตกตะกอน ที่ใช้กับตะกอนชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ ๑๐.๕ อัตราน้ำดื่มของถังตกตะกอนประเภต่าง ๆ (๑)

<u>Surface Loading Rate</u>		
	<u>(gpd/ft²)</u>	<u>m³/m² - day</u>
Lime Softening		
low magnesium	2000	81
high magnesium	1600	65
Alum Coagulation		
turbidity removal	1200	49
color removal	800	33

จะเห็นได้ว่า การตกตะกอนของฟอสเฟตสารส้ม ต้องการอัตราน้ำดื่มต่ำกว่าฟอสเฟตของแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งมีขนาดผลึกน้ำหนักมากกว่า

10.๕.๒.๒ ความลึกหรือเวลาพักน้ำของถังตกตะกอน

ปริมาตรของถังตกตะกอน (V) มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างพื้นที่ผิวหน้า (A) กับ ความลึกเฉลี่ย (d) ส่วนเวลาพักน้ำ (t) ในทางทฤษฎีเท่ากับปริมาตรของ ถังตกตะกอน (V) หารด้วยอัตราไหลเฉลี่ยของน้ำ (Q) ดังนั้นเมื่อมี Q คงที่ และได้เลือกค่าอัตราน้ำผันผวน หรือพื้นที่ผิวหน้าแล้ว เวลาพักน้ำจะเป็นสัดส่วนโดยตรง กับความลึกของถัง

เนื่องจากในทางปฏิบัติ การตกตะกอนมักเป็นแบบรวมตัวเป็นกลุ่มหรือ Flocculent Settling ประสิทธิภาพของถังตกตะกอนจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมตัว เป็นก้อนขนาดใหญ่ด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาพักน้ำ ดังนั้น ประสิทธิภาพของถังตก- ตะกอนจึงขึ้นอยู่กับเวลาพักน้ำ รวมถึงความลึกของถังตกตะกอน อย่างหนักเพื่อองไม่ ใต้ แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพดังกล่าว จะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาพัก น้ำหรือความลึกของถัง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้เวลา ๕ ชม. ในการกำจัด ๕๐ % ของอนุภาคแขวนลอย ก็อาจต้องใช้เวลาถึง ๖ ชม. ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอย ที่โตได้เพียงมากขึ้นอีก ๑๐ % (กล่าวเป็น ๖๐ %)

ถังตกตะกอนในสมัยปัจจุบัน นิยมออกแบบให้มีความลึกไม่ต่ำกว่า ๕ ฟุต หรือประมาณ ๑ เมตร ทั้งนี้เพื่อให้มีปริมาตรสำหรับเก็บตะกอน และ เพื่อไม่ให้มีการฟุ้งกระจาย ของ ตะกอนที่กั้นถังอยู่ เนื่องจาก Density Current หรือ Thermal Current ทำให้ตะกอนแขวนลอยหนีออกจากถังตกตะกอน อนึ่ง ถังตกตะกอนที่ลึกเกินไป ก็ไม่ ประหยัด เพราะราคาของถังเพิ่มขึ้นตามความลึก

เวลาพักน้ำมักขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ หรือประเภทของถังตกตะกอน ดัง แสดงอยู่ในตารางที่ 10.7 ดังนี้

ตารางที่ 10.7 เวลาพักน้ำของถังตกตะกอนประเภทต่าง ๆ

<u>ประเภทของถังตกตะกอน</u>	<u>เวลาพักน้ำ</u>
ถังตกตะกอนพื้น Plain Sedimentation Basin	หลายวัน
Pre-sedimentation Tank	1-4 ชม.
ถังตกตะกอนที่ใช้กับระบบการไหลเอียงและขึ้นรวมกัน	2-4 ชม.
ถังตกตะกอนที่ใช้กับระบบการกำจัดความกระด้างด้วยปูน-โซดา	1-2 ชม.

10.8.2.3 อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถัง

การทำให้น้ำไหลผ่านถังตกตะกอนด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ที่ว่สิ่งปนที่น้ำค้ดของถังนั้น เป็นเรื่องเหนือวิสัยที่จะกระทำได้ ไม่ว่าทางน้ำเข้าและทางน้ำออก จะได้รับการออกแบบให้เพียงใดก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจกัมีสาเหตุหลายประการ เช่น อาจมี Density Current หรือ Eddy Current เกิดขึ้น หรือมีการยกเหวของตะกอนหลุดออกจากถังตกตะกอน เป็นต้น อัตราไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงเกินไปจะทำให้ตะกอนที่นอนก้นถังกระจายขึ้นมา การขยับก้นถังเพื่อล้างถัง อาจกระทำไม่ได้โดยการควบคุมความเร็วของการไหลให้อยู่ในช่วง 0.6 ถึง 3 เมตรต่อวินาที

10.8.2.4 ทางน้ำเข้าและทางน้ำออกของถังตกตะกอน

ทางน้ำเข้ามีความมุ่งหมายเพื่อกระจายน้ำ ไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนด้วยความเร็วสม่ำเสมอทั่วทุกจุด การออกแบบทางน้ำเข้าให้ดี สามารถป้องกันการเกิด Density Current ได้ดีกว่าการควบคุมทางน้ำออก ซึ่งความเข้าและถังตกตะกอน ควรออกแบบให้เป็นแบบเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อมิให้ต้องใช้ถัง หรือวางน้ำในทางน้ำเข้าจากถังความเข้าไปสู่ถังตกตะกอน การกระจายน้ำในบริเวณทางน้ำเข้าสามารถกระทำได้ด้วยวิธี ดังแสดงอยู่ในภาพที่ 10.88 ในกรณีที่มีการใช้รางน้ำเป็นทางน้ำเข้า จะดี๑๐

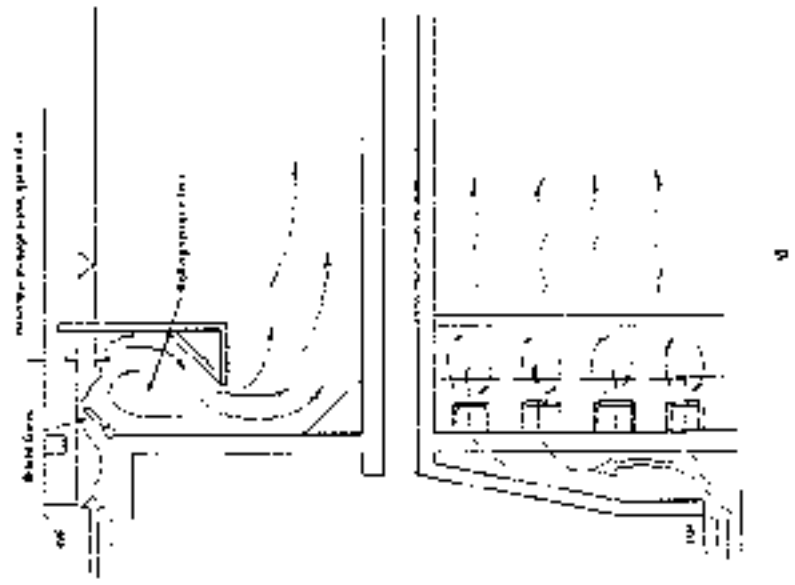
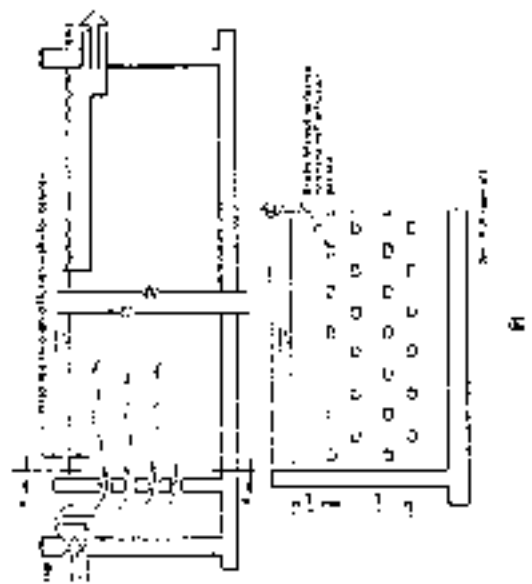
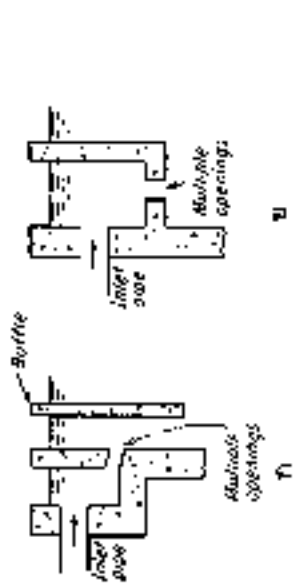
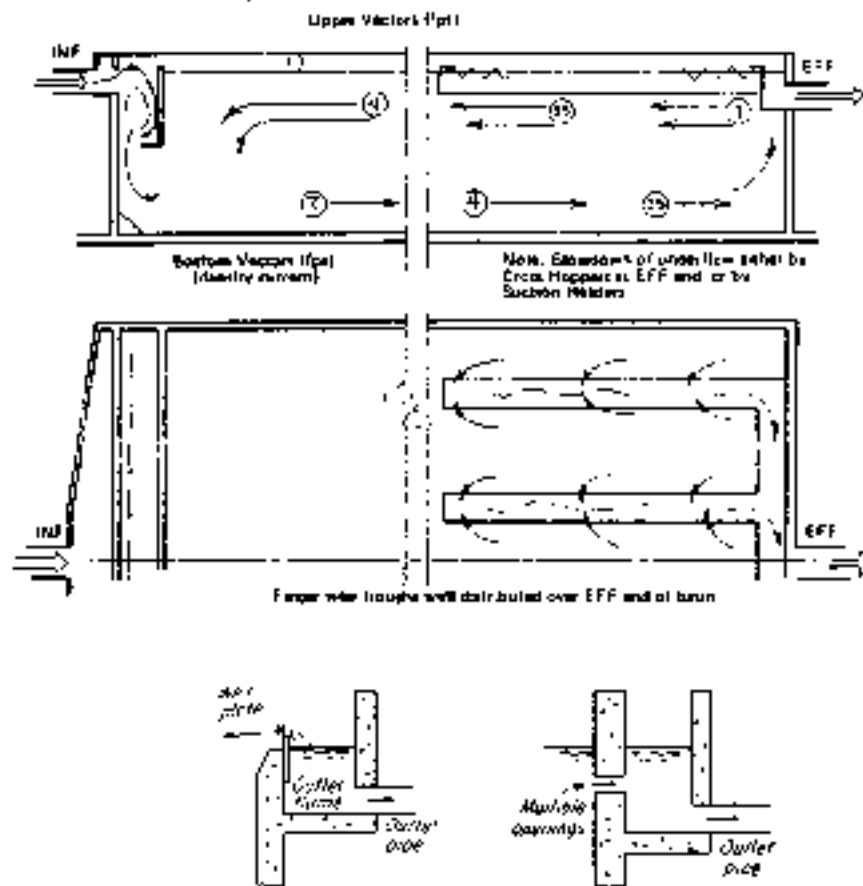


Figure 10.39 Cross-sectional view of door assembly

ตกคนเหล็กอัตราไหลของน้ำในรางมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-2.0 ฟุต/วินาที. เพื่อป้องกัน
 ฟิล์มที่ติดบนตะแกรง หรือ เกิดการตกตะกอนภายในรางน้ำ. ในการที่ใช้น้ำฝน/น้ำประปา
 ธรรมดาเป็นแหล่งกระจายน้ำ จะต้องออกแบบให้อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านราง มีค่าอยู่ใน
 ช่วง 0.5-2.0 ฟุต/วินาที. คำว่า

ทางน้ำออกก็มีจุดมุ่งหมายคล้ายคลึงกับทางน้ำเข้า เพียงแต่มีไว้สำหรับใช้กับ น้ำที่
 ออกจากถังตกตะกอน (ดูภาพที่ 10.40) น้ำที่อีกประการหนึ่งของทางน้ำออกคือ



ภาพที่ 10.40 ตัวอย่างรางน้ำฝนและทางน้ำออกของถังตกตะกอน

ควบคุมระดับน้ำในถังตกตะกอน ให้มีระดับคงที่ด้วย Outlet Weir ที่สร้างเป็นรูปตัว V และสามารถปรับระดับสูงต่ำได้เล็กน้อย Outlet Weir รูปตัว V จะช่วยให้น้ำสามารถล้นออกไปจากถังได้อย่างสม่ำเสมอ ความยาวของ Outlet Weir ซึ่งขึ้นอยู่กับความไหลของน้ำและ Weir Loading Rate ตารางที่ 10.8 เป็นระดับของ Weir Loading Rate ที่ใช้กับการตกตะกอนของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ตารางที่ 10.8 Weir Loading Rate ของถังตกตะกอน

	Weir Loading Rate (gpm/ft)
ผลิตภัณฑ์ที่เบา (น้ำที่มีความขุ่นน้อย)	8-10
ผลิตภัณฑ์หนัก (น้ำที่มีความขุ่นสูง)	10-15
ผลิตภัณฑ์ของ $CaCO_3$ และ $Mg(OH)_2$	15-18

แผ่นกั้นการไหลของน้ำ (Baffle) มักตั้งอยู่ที่ทางน้ำเข้า และ/หรือทางน้ำออก ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของถังให้ดีขึ้น เช่น ปัดลงกับการัดข้องจร ช่วยทำให้น้ำเข้าถังมีความเร็วลดลงและกระจายไปอย่างสม่ำเสมอ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การวางตำแหน่งแผ่นกั้นน้ำไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดความปั่นป่วน (Eddy Current) ซึ่งเป็นผลเสียต่อการตกตะกอน ดังนั้นจึงต้องมีความระมัดระวังในการใช้แผ่นกั้นน้ำ

10.8.2.5 การจัดการกับสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากภาจตกตะกอน

ที่ก้นถังตกตะกอนมักลากล่องเก็บสลัดจ์ (Sludge Hopper) ทำให้สลัดจ์ที่นอนก้นสามารถไหลลงสู่สลัดจ์ เครื่องกวาดสลัดจ์ ช่วยป้องกันมิให้สลัดจ์เกาะติดกันขึ้นสูง และยังช่วยทำให้สลัดจ์เคลื่อนที่อีกด้วย การเอาสลัดจ์ออกจากสลัดจ์เก็บ อาจทำได้โดยวิธีการชักน้ำ หรือใช้ Air Lift Pump หรือใช้อุปกรณ์ดูดสลัดจ์แบบอื่น ในกรณีที่ไม่มีเครื่องกวาดและดูดสลัดจ์ออกจากก้นถัง สลัดจ์

จะผสมกับขี้มูลที่ปนกับสิ่งตกตะกอนเป็นเวลาสาม (อาจนานได้ถึง ๔ เดือน) ก่อนที่จะมีการระบายน้ำในถังของจนทรมล. และทำการกวาดและฉีดผลิตภัณฑ์ที่ช่วยฆ่าเชื้อ คน แต่ถ้าขี้มูลยังมีสารอินทรีย์อยู่มาก จะต้องทำความสะอาดถัง เพื่อกวาดและฉีดผลิตภัณฑ์ย่อย ๆ เพื่อป้องกันมิให้มีการหมักใหม่เกิดขึ้น และในกรณีเช่นนี้ควรใช้เครื่องกวาดและฉีดผลิตภัณฑ์

16.7 การออกแบบถังตกตะกอน

เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำเสีย อาจเปลี่ยนแปลงได้อย่างกว้างขวางตามฤดูกาล ยังตกตะกอนจึงควรออกแบบให้สามารถใช้งานได้ในช่วงที่น้ำเสียมีคุณสมบัติเฉลี่ยที่สุด การเก็บรวบรวมขี้มูลสำหรับถนอมขี้มูลควรกระทำตลอดทั้งปี เช่นเดียวกับในกรณีของการออกแบบถังรวมเร็วและถังรวมช้า (ของขบวนการทางโค่นอกถังเช่นกัน)

โรงงานผลิตน้ำประปา อาจออกแบบให้ทำงานเต็มวันหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงานและกำลังทรัพย์ที่มีอยู่ โรงงานผลิตประปาที่ทำงานตลอดวันจะมีขนาดเล็กกว่าโรงงานที่ทำงานไม่เต็มวัน โรงงานประปามีขนาดใหญ่ (ประมาณ ๑๐๐,๐๐๐ ลบ. เมตรต่อวันหรือมากกว่า) มีพนักงานอย่างน้อยต้องเมืองตลอดวัน โดยมียุติกรรมผลิตหนึ่ง โรงงานขนาดกลาง (ประมาณ ๑๐๐๐-๑๐๐,๐๐๐ ลบ. เมตร/วัน) มีถังออกแบบให้ทำงานวันละ ๑๕ ชม. หรือวันละ ๒ ชม. ในระหว่างฤดูร้อนที่มีความต้องการน้ำสูงหรือเดือนวันละ ๓ ชม. ส่วนโรงงานขนาดเล็ก (อัตราผลิตน้อยกว่า ๑๐๐๐ ลบ. เมตร/วัน) ควรออกแบบให้ทำงานเพียง ๑ ชม.ต่อวัน ทั้งนี้เพื่อให้มีกำลังสำรองไว้ยาม ๆ และทำให้มีความยืดหยุ่นในการทำงานได้ดียิ่งด้วย

จำนวนถังตกตะกอนมักถูกกำหนดโดยอัตราความต้องการน้ำสูงสุด ระดับความมั่นคงสูงในการควบคุมระบบและขีดจำกัดไม่เหมาะสมของกิจ แต่ไม่ว่าอย่างใดก็ตาม ถังตกตะกอนควรมีอย่างน้อย ๑ ใบต่อคันอย่างชาน เพราะจะได้ประโยชน์ต่ออย่างเต็มที่เหนือกว่าการมีถังเพียงใบเดียว เช่น ทำให้สามารถผลิตน้ำได้อย่างต่อเนื่องแม้อันตรายที่จำเป็นคือหยุดใช้ถังใบใดใบหนึ่งก็ตาม นอกจากนี้การใช้ถังตกตะกอนหลาย

ใบยังเป็นการลดพื้นที่ผิวน้ำของถังอีกด้วย ทำให้สามารถบรรเทาปัญหาคลื่นบนผิวน้ำที่เกิดจากลมพัด

ถังตกตะกอนที่ใบมี เครื่องยกวางตะกอน มักต้องยกใบขึ้นชั่วคราวทุก ๆ ประมาณ ๑ เดือน หรือน้อยกว่า เพื่อทำความสะอาดและกำจัดตะกอนออกจากถัง การปล่อยให้ใบลัดจ์ซึ่งอยู่รวม กันใบ อาจทำให้เกิดการเน่าเหม็นเป็นผลให้คุณภาพของน้ำเสื่อมไปด้วย ใบกรวยใบนี้ จำ เป็นอย่างอื่นที่ต้องมีถังตกตะกอนมากกว่า 1 ใบ เพื่อให้การผลิตเกิดขึ้นได้อีกอย่างต่อเนื่อง

ถังตกตะกอนของขบวนการฟลู-โซลิด หรือถัง เครื่องยกวางและดูดผลัดทั้งนี้ เนื่องจากระบบดังกล่าวมีผลลัดจ์เกิดขึ้นอย่างมากมาตามเวลา ผลลัดจ์เหล่านี้ซึ่งประกอบด้วยหินปูน (CaCO₃) เป็นส่วนใหญ่ จะจับกับแบคทีเรียและมีความเข้มข้นสูงถ้าทิ้งไว้บนถังก้นนานเกินกว่า ๒4 ชม. เนื่องจากสามารถคายน้ำออกมาจากเบี่ยงผลัดจ์ได้

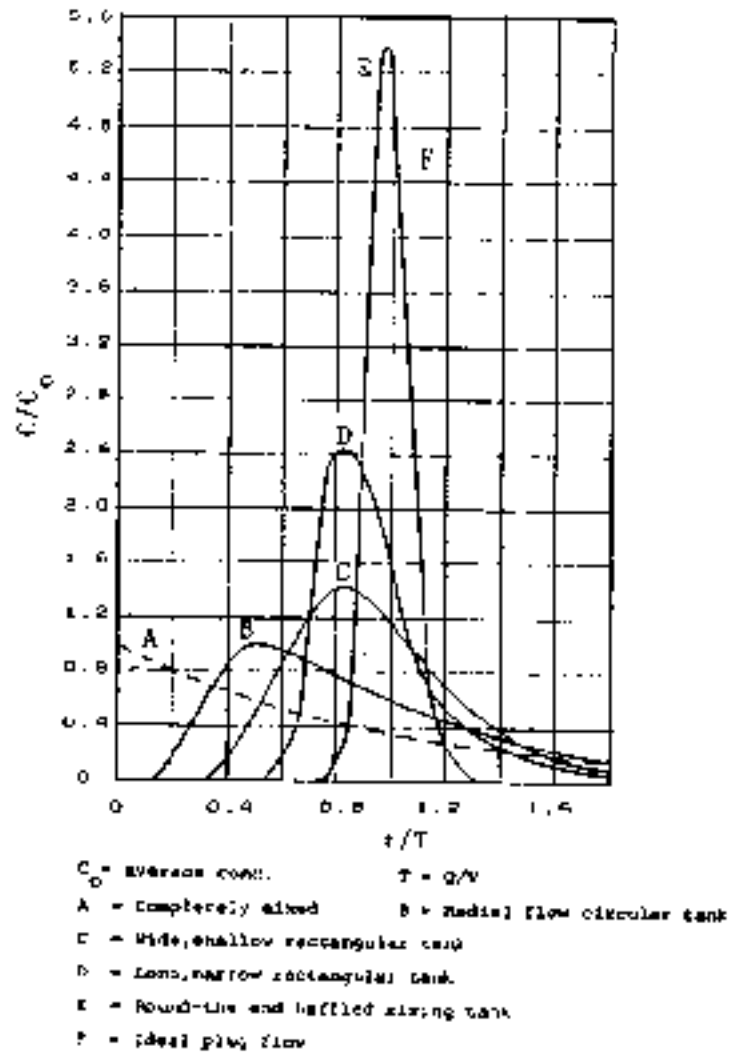
การเลือกค่าสำหรับออกแกบของอัตราการน้ำล้นผิว (Surface Overflow Rate) และ เวลาพักน้ำของถังตกตะกอน สามารถกระทำกันได้โดยพิจารณาจาก คุณสมบัติในด้านการตกตะกอนของอนุภาคแขวนลอยเป็นสำคัญ ตารางที่ 10.5 อาจใช้เป็นแนวทางการพิจารณาการเลือกค่าเหล่านี้ ค่าสำหรับออกแกบที่เหมาะสมของอัตราการน้ำล้นผิว และ เวลาพักน้ำ

หลังจากที่เลือกค่าอัตราการน้ำล้นผิวและ เวลาพักน้ำได้แล้ว การคำนวณหาขนาดของถังตกตะกอน ก็สามารถกระทำได้ง่าย ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ผิวน้ำ (A)} &= \text{อัตราไหล (Q) / อัตราน้ำล้นผิว} \\ \text{และ ความลึกเฉลี่ยของน้ำ (d)} &= \text{อัตราการน้ำล้นผิว} \times \text{เวลาพักน้ำ} \cdot \text{ค่าคงที่} \end{aligned}$$

ค่าคงที่เป็นตัวเลขสำหรับเปลี่ยนหน่วยของอัตราการน้ำล้นผิวให้เป็นหน่วยของระยะทางกับเวลา หน่วยเวลาของทั้งสองพารามิเตอร์ต้องเป็นหน่วย เดียวกันด้วย

เมื่อได้พื้นที่ส่วนหน้าและความลึกเฉลี่ยแล้ว จากวิธีวิเคราะห์จึงสามารถหาตัวกระจายรูปทรงได้ จะใช้วิธีนี้เพื่อเปรียบเทียบค่า พรีคอกูร์สหรือทรงกลม อย่างอื่นว่าดีซึ่งที่เฉลี่ย-พื้นที่ที่มวลและขนาด จะมีข้อได้เปรียบทางจลนศาสตร์สูงกว่าตัวรูปอื่น ๆ ซึ่งแสดงได้ เห็นได้จากกราฟของความเข้มข้น-เวลา ในภาพที่ 10.41



ภาพที่ 10.41 Typical Dispersion Curves for Tank

ในกรณีที่ต้องการใช้ถังรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ยึดติดทางการไหลของน้ำอยู่ในแนวระนาบขนานไปกับความยาวของถัง จะต้องคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้ง (สี่เหลี่ยมผืนผ้า) ที่จะทำให้ความเร็วของน้ำไหลลดลง มีค่าประมาณ ๐.๖ มุลด่อนาที หรือน้อยกว่า และจากพื้นที่หน้าตัด ความกว้างของถังก็สามารถคำนวณได้ ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของน้ำผ่านถัง/พื้นที่แนวตั้ง} &= ๐.๖ \text{ มุลด่อนาที} \\ \text{และความกว้าง} &= \text{พื้นที่แนวตั้ง/ความลึก} \end{aligned}$$

ความกว้างของถังที่คำนวณได้อาจยังไม่ไรค่าที่เหมาะสมพอคือ วิศวกรจะต้องทำการปรับค่าที่หาได้ให้เข้ากับมาตรฐานที่ใกล้เคียงที่สุด ความกว้างมาตรฐาน มีกฎกำหนดโดยขนาดของเครื่องกวาดตักคอนกรีตที่มีขายในท้องตลาด หลังจากปรับเป็นค่าความกว้างมาตรฐานแล้ว วิศวกรควรตรวจสอบย้อนกลับไปยังเครื่องอื่น เพื่อทำการปรับค่าของพารามิเตอร์อื่น ๆ ตามความจำเป็น เพื่อให้สามารถรักษารูปทรงออกแบบให้ได้ตามความจำเป็น เมื่อคำนวณความกว้างได้แล้ว ความยาวของถังที่คำนวณได้จากการหารพื้นที่หน้าตัดด้วยความกว้าง อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของถัง ควรอยู่ในช่วง ๓:๑ ถึง ๒:๑ หลังจากปรับกำหนดความลึกของพื้นที่ถัง ให้อยู่ระหว่าง ๓ ฟุต และคำนวณหาความลึกที่บริเวณทางน้ำเข้าและทางน้ำออก

ในกรณีที่ต้องการใช้ถังรูปกลมทรงแปดเหลี่ยมจตุรัส ให้คำนวณหา เส้นผ่าศูนย์กลางหรือด้านหน้าจากพื้นที่ผิวป่า และเลือกขนาดมาตรฐาน ที่ใกล้เคียงกับขนาดที่คำนวณได้ ขนาดมาตรฐานในกรณีนี้ก็เช่นเดียวกัน มีกำหนดโดยขนาดของเครื่องกวาดตักคอนกรีต เรียงของสี่เหลี่ยมทรงแปดเหลี่ยมจตุรัส มีค่าประมาณ ๓ ฟุต ซึ่งทำให้สามารถคำนวณหาความลึกที่ขบขัง และที่จุดศูนย์กลางได้

หลังจากที่ทราบขนาดต่าง ๆ ของถังตักคอนกรีตได้แล้วก็นำถึงขั้นตอนของการออกแบบรายละเอียดของทางน้ำเข้า ทางน้ำออก และส่วนอื่น ๆ ความลึกเพลา ของถังตักคอนกรีตมีมาตรฐานความลึกหลาติในการออกแบบทางน้ำเข้า ทางน้ำเข้าที่ติดตั้งสามารถกระจายน้ำได้กับถังตักคอนกรีตในได้ขบขังเท่าเทียมกัน และสามารถ

กระจายน้ำให้กับส่วนต่าง ๆ ของตัวได้อย่างสม่ำเสมอ ไม่ทำให้เกิดอาการตั้ง
วงจร และไม่ควรสร้างความกดดันไว้ให้กับน้ำในถัง ทางน้ำออกก็มีต่อมสำคัญ เช่นกัน
เพราะมีหน้าที่นำน้ำไหลออกจากถังตกตะกอน โดยให้กระแสตกตะกอนไหลวน ต่อการตก-
ตะกอนนี้ก็มีอยู่

ขั้นตอนสุดท้ายคือ การลดทอนแบบระบบที่ต่าง ๆ รวมถึงการออกรายการ และให้
รายละเอียดในการเห็นข้อและข้อดีของอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งส่วนอื่น ๆ ของโรงงาน
ประปาด้วย

๑๐.๗.๑ การออกแบบถังตกตะกอนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ถังสี่เหลี่ยม มีความกว้างตั้งแต่ ๓ ฟุต ถึง ๑๕ ฟุต (ถ้ากว้างกว่าก็จะต้องใช้เครื่อง
กวาดตะกอน เป็นคู่) และอาจมีความยาวได้ถึง ๑๕๐ ฟุต แต่เนื่องจากปริมาตรของตะ
กอนในถังสี่เหลี่ยมที่กว้างส่วนบนของถังยาวต่อความกว้างอยู่ในช่วง ๑:๑ ถึง ๑:๑.๕ ความ
ยาวปกติของถังสี่เหลี่ยมอยู่ในช่วง ๑๐๐ ฟุตเท่านั้น ความลึกของน้ำที่ควาเป็นพหุ
มีเตอร์ที่สำคัญ และไม่ควรน้อยกว่า ๕ ฟุต ไม่ว่าจะล้นภาชนะได้สภาวะใดก็ตาม ถังที่
มีความยาวเกินกว่า ๑๐๐ ฟุต (หรือเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า ๗๖ ฟุต สำหรับถัง-
กลม) ควรลึกประมาณ ๑๕-๑๘ ฟุต ซึ่งขนาดกลางและเล็ก อาจอีกเพิ่ม ๑๑-๑๒
ฟุตก็ได้

โดยปกติ น้ำไหลเข้ามาถึงถังตกตะกอนในบ่อบำบัด โดยใช้น้ำหรือรางน้ำมา
จากถังกวนตะกอน ทางน้ำเข้า จะตั้งออกแนวให้สามารถกระจายน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ
ของถังตกตะกอนได้อย่างสม่ำเสมอ น้ำที่ไหลไปแนวเหนือไปตามความยาวของถัง-
จะยังคงมีความเร็วไม่เกิน ๓.๓ ฟุต/วินาที แต่กับน้ำที่เจาะรูเพื่อกระจายน้ำ อีก
ติดตั้งอยู่ที่ระยะประมาณ ๑-๑๐ ฟุต ของความยาวทั้งหมด โดยวัดจากค้ำค้ำ และมีความ
เร็วไหลน้ำประมาณ ๑-๒ ฟุต/วินาที หรือครึ่งหนึ่งของความเร็วที่ออกนอกของ
ถังกวนน้ำและถังตกตะกอนให้อยู่ในโครงสร้างเดียวกัน เพื่อทำให้ไม่ค้ำค้ำน้ำ-
หรือค้ำค้ำน้ำ เชื่อมถึงถังตกตะกอน

คันดึงตกตะกอนควรมีความลาดเอียงประมาณ 1% จากด้านปลายฝั่ง มารับหลุมเก็บ
 ตะกอน (Sludge Hopper) ซึ่งอยู่แนวคันฝั่ง เครื่องกวาดตะกอนมี ๑ ชนิด คือ
 แบบสายพานหรือโซ่ และแบบรถเข็น ประเภทแรกประกอบด้วยอุปกรณ์ Drive
 Unit; ซึ่งทำหน้าที่กวาดตะกอนเคลื่อนที่ และกวาดตะกอนมาเข้าหลุมเก็บ โดยปกติมี
 ความลึกติดตั้งอยู่กับสายพานหรือสายโซ่ยาวที่หมุนไปทางเดียวกับตลอดแนว (ดูภาพที่
 ๑๐.๔๑) เครื่องกวาดแบบรถเข็น ประกอบด้วยล้อโรตารี่และพาน(วางตามข. ๑๐)ของ



- 1 Belt conveyor
- 2 Support rollers
- 3 Drive motor unit
- 4 Scraper
- 5 Return roller

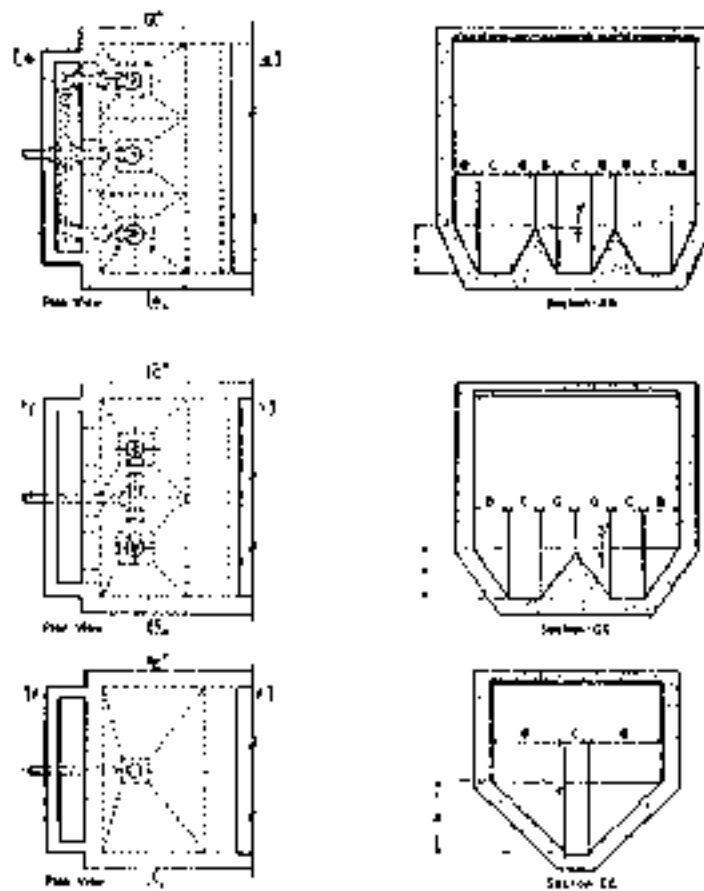


- 1 Wheel
- 2 Roller support rollers
- 3 Drive motor unit
- 4 Scraper
- 5 Return roller

ภาพที่ ๑๐.๔๑ คันตกตะกอนที่เคลื่อนที่ด้วยกำลังจากโซ่ในแนวขนานกับคันฝั่ง
 ยาวประมาณ ๑๐๐ เมตร มีคันฝั่งยาว ๑.๕ ถึง ๓.๕ เมตร ความลึกอยู่ระหว่าง
 ๑.๕-๓ เมตร ความลาดเอียงของคันฝั่งประมาณ 1% เครื่องกวาด
 ตะกอนมี ๒ แบบ ดังแสดงในภาพ

ซึ่งตกตะกอน ปลายสะพานข้างหนึ่งรองรับด้วยรถเข็นขนาดเล็ก ที่มีมอเตอร์ที่ติดอยู่
 ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง ปลายสะพานอีกข้างหนึ่งรองรับไว้ด้วยรถ
 เข็นที่ไม่มีมอเตอร์อีกคันหนึ่ง ใ้การเคลื่อนที่จัดทำได้สะพานทั้งสองข้าง เมื่อสะพาน
 เคลื่อนที่ไปก็จะหาเอาที่วางคเคื่อนที่ตามไปด้วย

ถังตกตะกอนที่มีความกว้างมาก อาจต้องมีทุ่มเก็บสลัดจั่นหลายใบ (ดูภาพที่ 10.49)



ภาพที่ 10.49 ทุ่มเก็บสลัดจั่นแบบต่าง ๆ

ทั้งนี้เพื่อลดความลึกของทรูบ ในกรณีที่ทรูบแต่ละใบจะต้องมีที่หลุดสลัดจ์ แยกออกจากกันเป็นอิสระ เพื่อให้สามารถหลุดสลัดจ์ได้โดยไม่เสียดงกัน

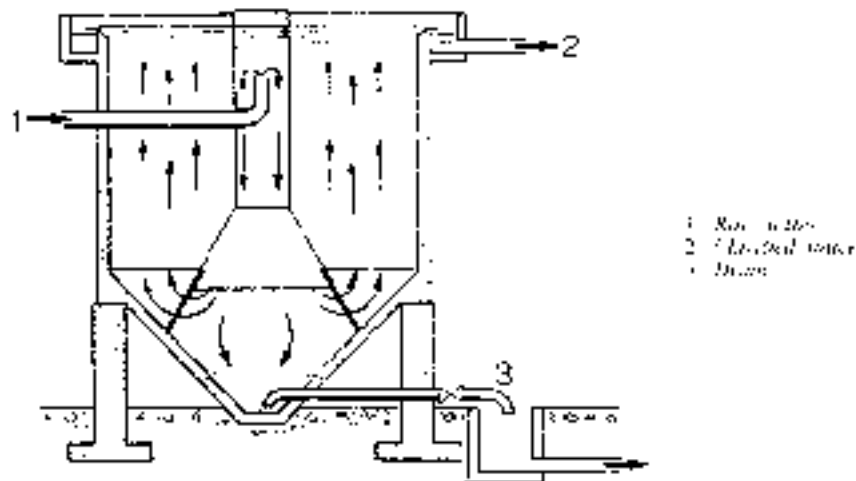
ถึงไว้กล่าวแล้วว่า ทางน้ำออกมักมีข้างเป็นแผ่นน้ำดี้น (Weir) รูปตัว V โดยปกติ ความยาวของแผ่นน้ำดี้นควรจะมากกว่าความกว้างของถังเสมอ หลักปฏิบัติที่ดีเยี่ยมคือ สร้างทางน้ำออกให้เป็นรูปร่างน้ำดี้น (Weir trough) และวางให้ทรูบที่รับบริเวณปลายทางประมาณ $1/3$ หรือ $1/2$ ของพื้นที่ผิวหน้าทั้งหมด (รูปภาพที่ 10.40) ความยาวที่ต้องการของแผ่นน้ำดี้น อาจคำนวณได้จากตารางที่ 2 ซึ่งกำหนดไว้ว่า อัตราเร็วของน้ำดี้นไหลคืนแผ่นน้ำดี้น ไม่ควรเกินกว่า 6-10 เมตรต่อวินาทีต่อฟุต อย่างไรก็ตาม หลังจากการวิจัยเมื่อไม่นานมานี้ แสดงว่าตัวเลขดังกล่าวอาจต่ำเกินไป เนื่องจากพบว่า ถ้าไม่ทำให้เกิด Density Current แล้ว อัตราน้ำดี้นที่สูงถึง 75 เมตรต่อวินาทีต่อฟุต ก็ยังใช้ได้ แต่ในทางตรงกันข้ามแล้ว Density Current สามารถกวนขึ้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) ให้พุ่งและทำให้มีน้ำพุ่งไม่ว่าจะใช้อัตราน้ำดี้นต่ำเพียงใดก็ตาม

10.7.2 การออกแบบถังตะกอนทรายและโคลนที่เหลี่ยมจัตุรัส

ถังตะกอนทรายและโคลนที่มีรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีารูปแบบที่มีน้ำเข้าตรงทางจุดศูนย์กลาง (รูปภาพที่ 10.44) หรือวางตัวถังอาจเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทั้งนี้เพื่อความประหยัดในการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถจะใช้ผนังร่วมกันได้ และยังหาสามารถประหยัดพื้นที่ได้มากกว่าด้วย การเลือกรูปทรงของถัง มักเป็นความพอใจส่วนบุคคลมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ

ขนาดของถังควรมีกฎเกณฑ์กำหนดให้เป็นไปตามขนาดมาตรฐานของเครื่องกวาดตะกอน และไม่ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 120-150 ฟุต ข้อควรระวัง ในการออกแบบถังกลมได้แก่

1. ทางน้ำเข้าต้องสามารถกระจายน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ ได้อย่างสม่ำเสมอ และทั่วถึง



ภาพที่ 10.44 ดึงดัดตะกอนแบบไหลขึ้นที่มิได้เคลื่อนกว่าตะกอน ดึงแบบี้เหมาะสำหรับโรงบำบัดขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน ๒๐ ลบ.เมตรต่อชม. กับมีความเร็วเชิงเส้นประมาณระหว่าง ๔๕-๕๕^๗ อัตราน้ำดิบมีว ๐.๕-๑ เมตร/ชม.

๑. ทางน้ำออก ต้องหาเฉพาะน้ำที่ออกจากถัง และไม่เป็นที่เกิดการพุ่งของชั้นตะกอน
๒. การออกแบบให้มีความลึกของถังพอเพียง

ทางน้ำเข้า-ทางน้ำออก ของถังตะกอนแบบกลมหรือจตุรัสมี ๖ แบบ ซึ่งเป็นที่นิยม ดังนี้

- ก. เข้ากลางถังและออกตรงถัง (ดูภาพที่ ๑๐.๔๕ ก.) แบบนี้เป็นที่นิยมมากกว่าแบบอื่น ท่อตรงกลางถังเรียกว่า Feed Well มีหน้าที่กระจายน้ำให้กับส่วนต่าง ๆ ของถังได้เป็นอย่างดีและสม่ำเสมอ
- ข. เข้ารอบถังและออกกลางถัง (ดูภาพที่ ๑๐.๔๕ ข.) การทดลองโดยใช้สีแสดง



๑) RECTANGULAR CENTER FEED CLARIFIER WITH A SCRAPER SLUDGE REMOVAL SYSTEM



๒) RECTANGULAR SIDE FEED CLARIFIER WITH A HYDRAULIC SIPHON SLUDGE REMOVAL SYSTEM



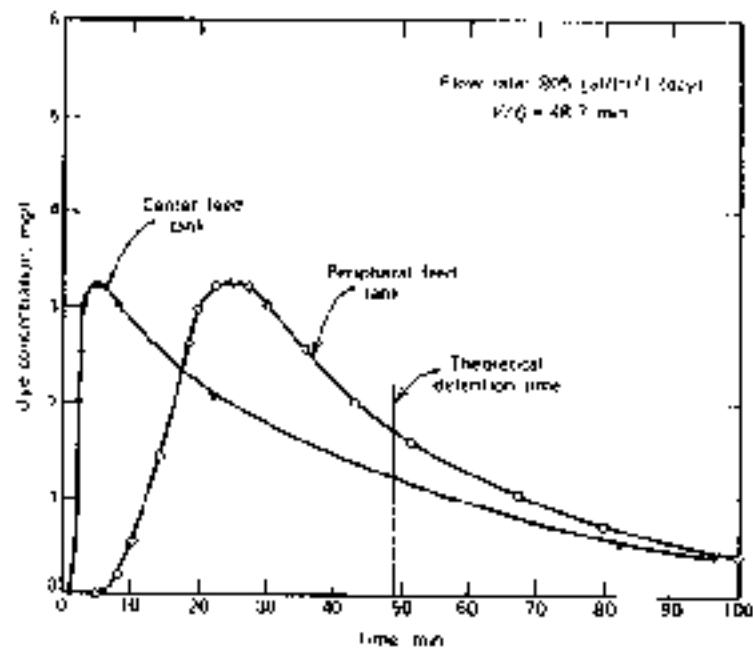
๓) CIRCULAR SIDE FEED WITH SKIMMER

ภาพที่ 10.45 แสดงระบบที่มีการไหลของน้ำในแนวตั้ง

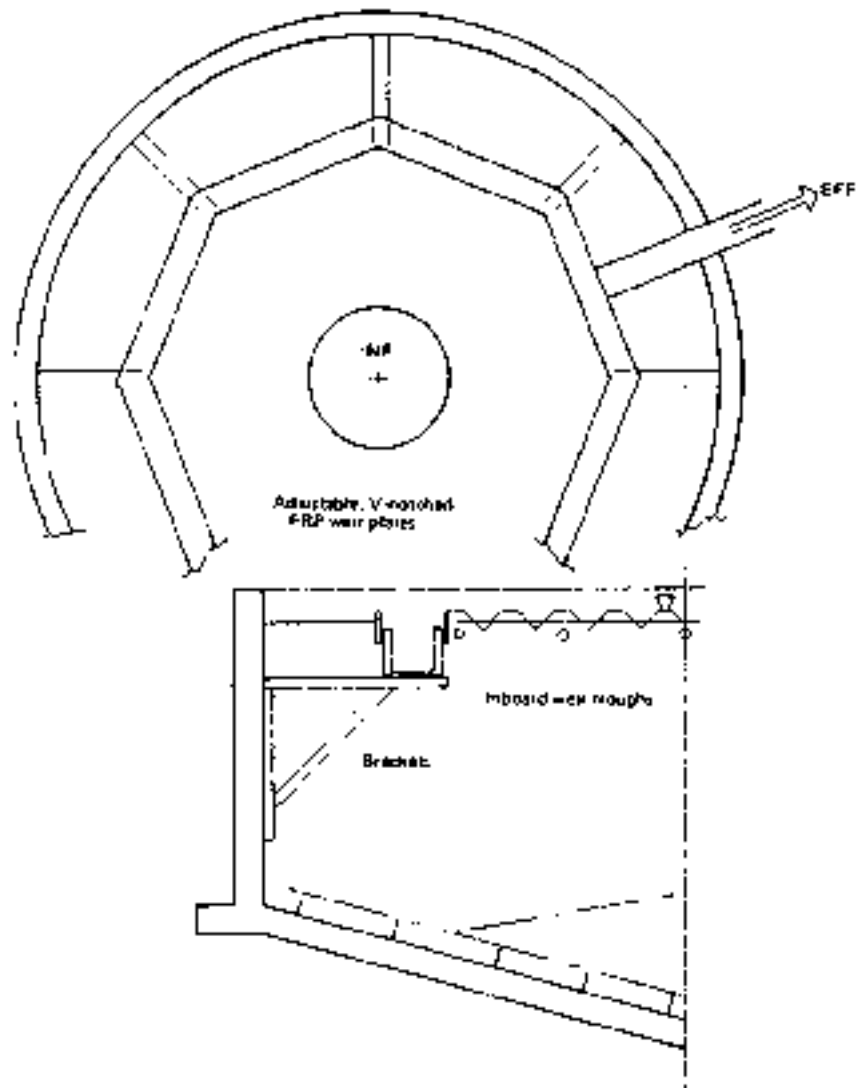
ว่า การป้อนแบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบแรก (ภาพที่ 10.45) จึง
เชื่อว่าน่าจะเป็นวิธีที่ดีกว่า

- ค. เจ้าชอบสียงและชอกชอบสียง (รูปภาพที่ 10.45 ค.) แบบนี้ใช้กินน้อยกว่าแบบ
ต้น การป้อนแบบนี้อาจมีประโยชน์ในกรณีที่มีน้ำเข้าปีละกอนแวนตลอดทั้งชั้นหรือ
มีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำในถัง ทำให้มีน้ำเข้าจวนตัวลงกับถัง และกุ่มเอาสีกชอบ
ขึ้นข้างบน ทางน้ำออกอยู่ที่ชอบสียง ทำให้ความชุ่มมีโอกาสดึงจากถังได้ยาก
ขึ้น เนื่องจากกระแสดึงของความเร็วชุ่มเพิ่มขึ้น

การคิดตั้งรางน้ำดินให้กับถังกลม ไม่ควรวางให้ติดชอบสียง ซึ่งนี้เพราะ Density
Current อาจระลอกและผลักดันให้สีกตั้งที่ก้นถังกระจายและได้ขึ้นมาตามผนัง ทำให้
ให้ความชุ่มที่ถูกหาขึ้นมา สามารถหนีออกจากถังได้ วิธีที่ดี คือคิดตั้งรางน้ำดิน ให้
ห่างจากขอบถังขึ้นมาประมาณ 15-20 % ของเส้นรอบวง (รูปภาพที่ 10.47) ในกรณี



ภาพที่ 10.48 สังกะสีที่ชอบสียงนี้ให้น้ำไหลเข้าทางชอบสียง สามารถกระจายน้ำได้ดี
กว่าดังแบบที่ให้น้ำไหลเข้าตรงกลาง



ภาพที่ 10.47 ลักษณะการวางรางฆ่าคลื่น ในตำแหน่งที่เหมาะสมในช่องลอย หรือ
ขลุ่ย

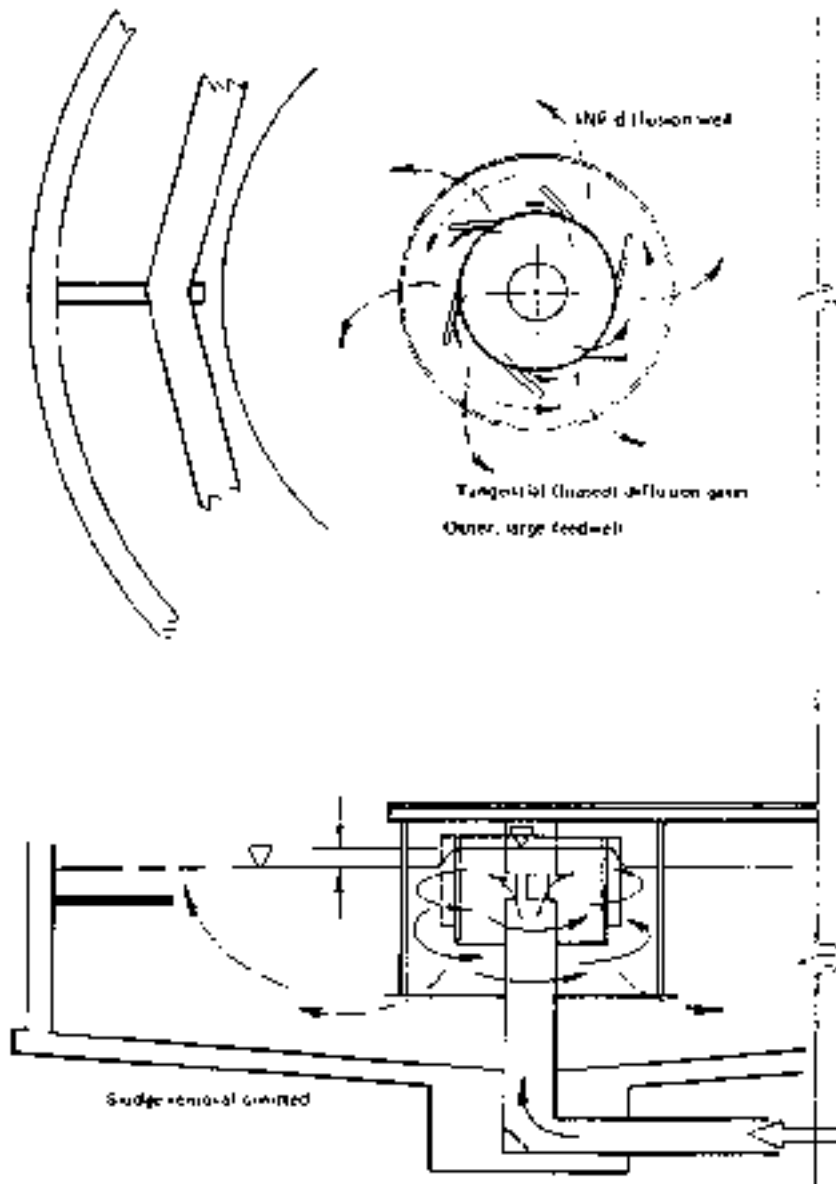
ที่แผ่นลึงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ควรวางระนาบให้ตั้งฉากกับ การวางรางน้ำลึงโดยขนาน และติดกับขอบข้าง อาจทำให้มี Corner Floc (มักเกิดขึ้นกับถังขูดฟlocs) ในกรณี ขอบจากถังได้

รางน้ำลึงสำหรับถังกลม มักเป็นรางตรงยาวน้อยกว่า 5 เมตร นำมาประกอบกัน- เป็นวงกลม (ดูภาพที่ 10.47) รางน้ำลึงแต่ละช่องใช้แผ่นน้ำลึงรูปตัว V เป็นผนัง ถึงสองข้าง บริเวณส่วนล่างของแผ่นน้ำลึงควรมีรูขนาด 1.5 นิ้ว เพื่อติดอยู่กับ แตรงในภาพ รูเหล่านี้มีไว้ระบายน้ำเมื่อเวลาทำการล้างถังและราง รูขนาดนี้จะ ไม่ถูกพลั๊กทำให้เข้าไปในรางและออกไปกับน้ำใส และต้องใช้เวลาานรูจึงจะคืนได้

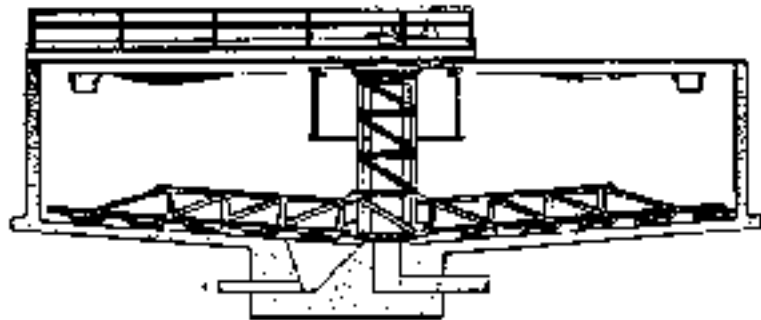
การออกแบบขูดฟlocsซึ่งป้อนน้ำจากจุดศูนย์กลางไปตามรัศมีของถัง ใช้ร่องง่าย- เบื้องจากถ้ำ Feed Well มีขนาดเล็กเกินไป ก็เหมือนกับเบี่ยงการลึงน้ำเข้าสู่ถัง- ตกตะกอน ทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้นภายในถัง เป็นเหตุให้น้ำไม่มีโอกาสที่จะตั้งตัว- อยู่ได้ เพื่อมิให้เกิดปัญหาดังกล่าว ความเร็วของน้ำใน Feed Well ต้องไม่เกิน 1 ฟุตต่อวินาที ภาพที่ 10.48 เป็นภาพของ Feed Well แบบหนึ่งที่สามารถทำงาน- ได้ดี น้ำจะไหลออกจากทรงกระบอกเล็กที่อยู่ข้างใน ผ่านรูสี่เหลี่ยมที่อยู่รอบและจะ- กระจายออกไปทางช่องประตูลึซึ่งสร้างไว้บังคับน้ำให้หมุนเวียนอยู่ภายในทรงกระบอก- อันใหญ่ ล้อขูดฟlocsจะถูกส่งกระจายออกจาก Feed Well อย่างสม่ำเสมอไปให้- กับส่วนต่าง ๆ ของถังตกตะกอนด้วยความเร็วต่ำ การออกแบบนี้ระนาบให้ดูอยู่เสถียร- เชิด (Head) ของน้ำประมาณ 4-5 นิ้ว ทรงกระบอกใหญ่มีพื้นที่ภายในประมาณ 4-5 ไร่ ของพื้นที่ผิวน้ำทั้งหมด และวางอยู่ติดลงไปจากผิวน้ำประมาณครึ่งหนึ่ง ของ- ความลึกทั้งหมด

ร่องน้ำน้ำเข้า อาจมาจากทางก้นถังและวางหัวขึ้นข้างบน ดังแสดงอยู่ ในภาพที่- 10.49 ก. และ 10.49 ข. ถังตกตะกอนแบบนี้มักเป็นถังขนาดเล็ก ร่องน้ำน้ำ- เข้าอาจมาจากทางด้านข้าง เหมือนที่แสดงอยู่ในภาพที่ 10.49 จ. ก็ได้

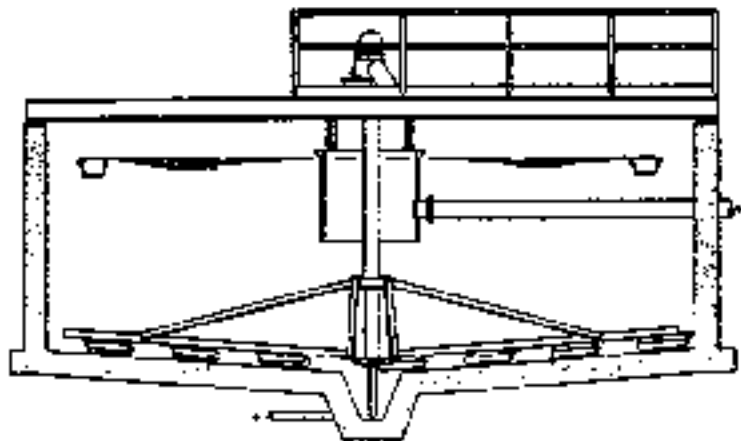
เครื่องกวาดตะกอนของถังกลม อาจเป็นแบบที่มีขดลวดอยู่กลางถังหรืออยู่ที่ขอบถัง



ภาพที่ 10.46 Feedwell ของถังตกตะกอนแบบหมุน



(a) Center-Pier Tubular Girder, Center Diaphragm



(b) Bridge-Supported Tubular Girder, Center Diaphragm



(c) Center-Pier Tubular Girder, Peripheral Diaphragm

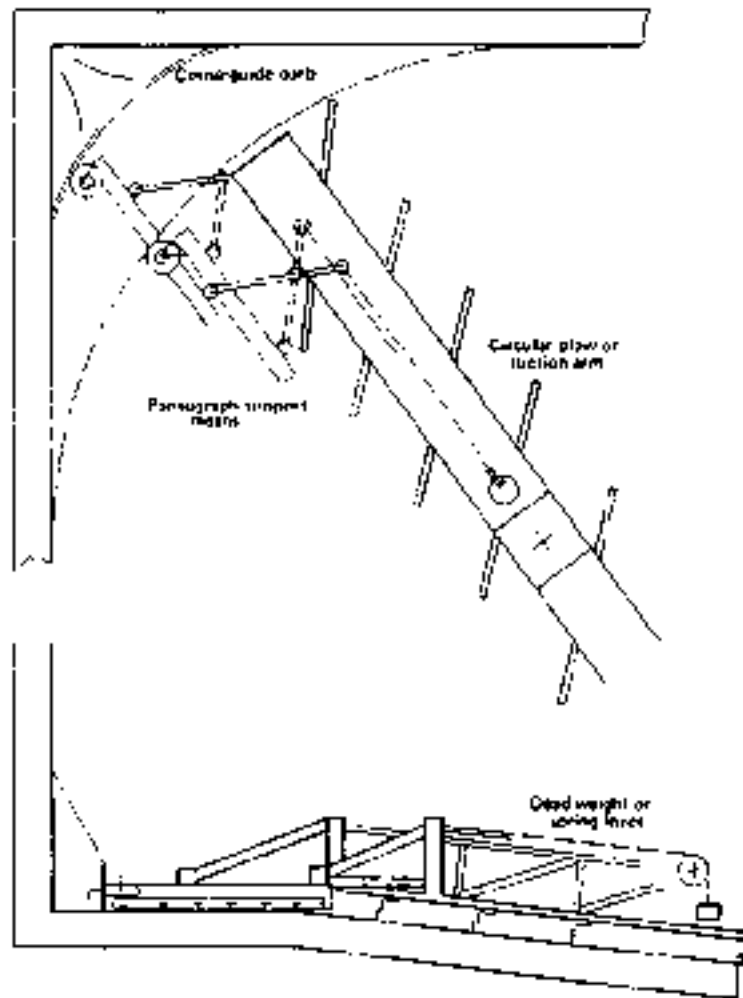
ภาพที่ 10.48 เครื่องจักรและเครื่องมือแบบต่างๆ

ภาพที่ 10.49 ค. เป็นถังตกตะกอนที่ใช้เครื่องกวาดสลัดจ์ ที่มีมอเตอร์ติดอยู่ที่ตรงกลางถังและวางอยู่บนสะพานเดิน มอเตอร์ทำหน้าที่เป็นหัวจุดที่กวาดสลัดจ์ให้หมุนไปอย่างช้า ๆ ภาพที่ 10.50 ค. เป็นถังตกตะกอนซึ่งมีที่กวาดสลัดจ์ติดอยู่กับสะพาน ซึ่งสามารถหมุนได้อย่างช้า ๆ การที่สะพานเดินหมุนได้เนื่องจากปลายของสะพานที่ภาคอยู่บนขอบถังนั้น วางอยู่บนวงแหวนที่มีมอเตอร์ติดอยู่ ทำให้รถ เช่นสามารถเดินไปได้อย่างช้า ๆ ไปตามรางที่วางโดยรอบของถังตกตะกอน การเคลื่อนที่ของสะพาน ทำให้ที่กวาดสลัดจ์เคลื่อนที่ตามไปด้วย อุปกรณ์กวาดสลัดจ์ของถังสี่เหลี่ยมจัตุรัสคล้ายกับของถังกลม แต่อาจต้องปรับปรุงให้สามารถกวาดสลัดจ์ ความสูงทั้งสี่ของถังด้วย ภาพที่ 10.50 แสดงให้เห็นอุปกรณ์เพิ่มเติม สำหรับกวาดสลัดจ์ ความสูงนี้

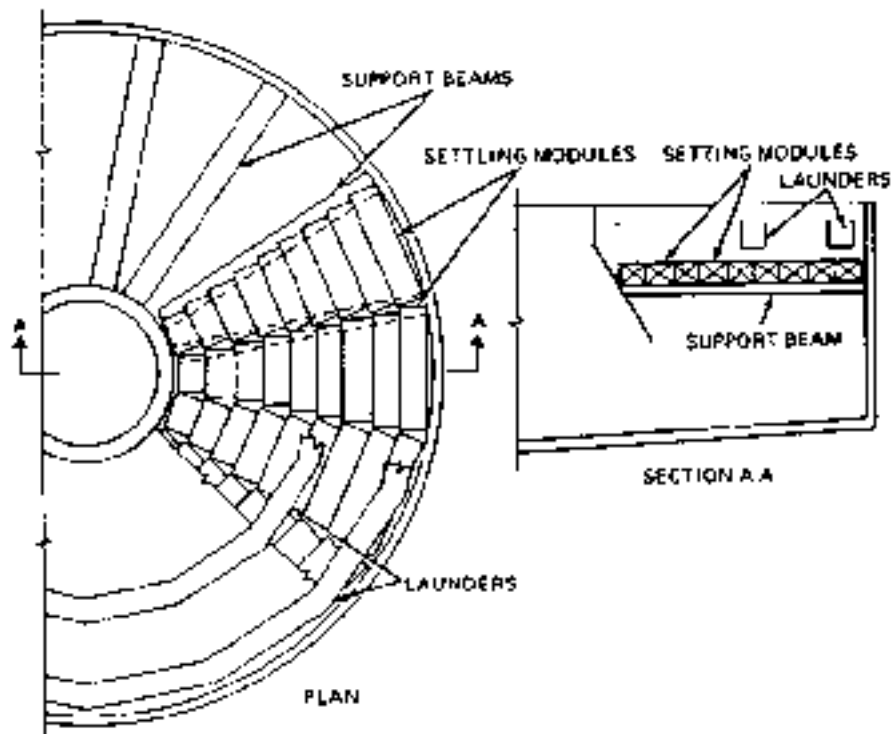
หมุนเก็บสลัดจ์ของถังกลมหรือสี่เหลี่ยมของถังที่มีขนาดเล็กลง เพราะพื้นที่ถังตกตะกอนก็ใช้เป็นที่เก็บสลัดจ์ด้วย ตัวอย่างเช่น ที่นของถังกลมซึ่งมีความลาดเอียงมากกว่าพื้นที่ของถังสี่เหลี่ยมคี่หน้า โดยทั่วไปมักออกแบบสี่เหลี่ยมเพื่อให้มีความลาดเอียงประมาณ ๑%

10.7.3 การออกแบบถังตกตะกอนแบบหมุน

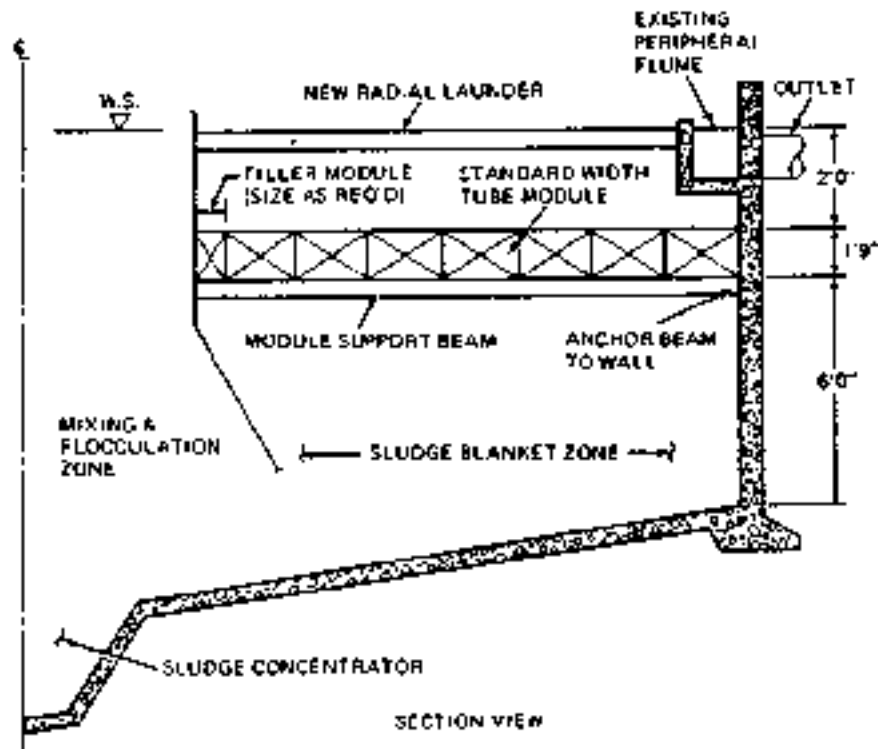
ถังตกตะกอนเป็นแบบเอียงมาก สามารถใช้โคสิทิ่งในถังตกตะกอน แบบคี่หน้า แบบกลม และแบบไฮดรอลิกคอนแทคท์ (Solids Contact Clarifier) อาจนำไปใช้ในถังแก๊สที่อยู่แล้ว หรือใช้ในถังที่ออกแบบใหม่ก็ได้ แต่ไม่ว่าจะใช้ประโยชน์ในการใช้ถังก็ตาม ถังตกตะกอนด้วยแค่สามารถเพิ่มอัตราการตกตะกอนให้กับถังแบบธรรมดา การที่เป็นเช่นนี้เพราะ ถังตกตะกอนแบบท่อสามารถใช้กับอัตราน้ำดื่มหรือที่สูงกว่าถังธรรมดา ภาพที่ 10.51, 10.52 และ 10.53 แสดงการวางท่อตกตะกอนในถังกลมแบบธรรมดา, แบบไฮดรอลิกคอนแทคท์, และ แบบคี่หน้าตามลำดับ สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการติดตั้ง คือต้องมีความรองรับท่อตกตะกอนที่ทำเป็นโมดูล (Module) ซึ่งสามารถยึดให้มีความกว้างและยาวขนาดต่าง ๆ ได้สามารถวางท่อในถังรูปวงรีต่าง ๆ ถังตกตะกอนควรอยู่ห่างจากทางน้ำเข้า ประมาณ



ภาพที่ 10.50 การตรวจสอบความนุ่มกัมถึงกลไกก่อนเริ่มที่เสถียรจุดแรก



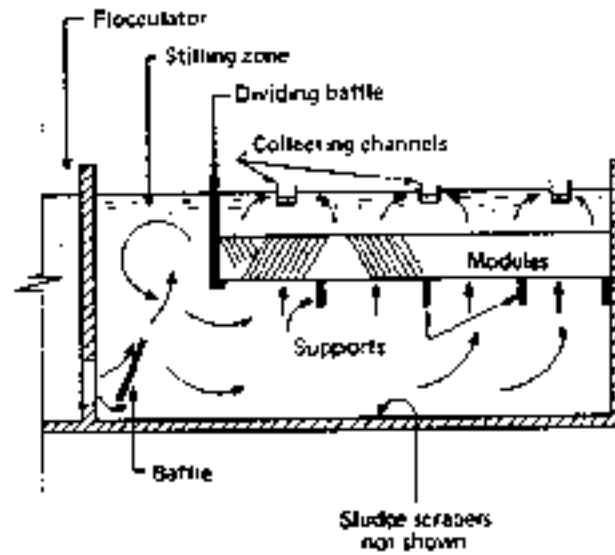
ภาพที่ 10.03 การติดตั้งท่าพักตะกอนโคลนในถังกลม



ภาพที่ 10.52 การติดตั้งท่อคกตะกอนในถังไฮดรอลิกลอยน้ำ

1/2 - 1/2 ของความยาวทั้งหมด ทั้งนี้เพราะ บริเวณใกล้ทางน้ำเข้า มีความเร็วปั่นป่วนสูงกว่าบริเวณอื่น ดังนั้น พื้นที่ของท่อคกตะกอนจะคลุมอยู่ประมาณ 1/2 - 3/4 ของพื้นที่ถังทั้งหมด นอกจากนี้ ควรให้ปลายบนของท่ออยู่ใต้น้ำประมาณ 2-4 ฟุต

ในการออกแบบถังคกตะกอนแบบท่อ สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ อัตราน้ำล้นผิวของถังคกตะกอน (หรือมีน้ำล้นทั้งหมด) และ ของท่อคกตะกอน (มีหน้าที่ใช้กักตะกอนหรือ 否) อย่างไรก็ตาม ถังคกตะกอนแบบท่อ คือถังคกตะกอนแบบธรรมดา ซึ่งมีการติดตั้งท่อคก-



ภาพที่ 10.52 การคิดห้วงก่อดกตะกอนในถังตกตะกอนสี่เหลี่ยมค้ำ

ตะกอนเข้าไปภายในถัง อัตราน้ำคั้นผิวทั้งสองค่าเพิ่มขึ้นอยู่กับความไหลของน้ำที่ได้ออก-
การ ตารางที่ 10.9 และ 10.10 เป็นข้อมณเษนน้ำสำหรับออกนบ น้อตกตะกอน
ของบริษัฒเนคชูนไมโครสโคค ที่สูง ๑ ฟุต สำหรับใช้กับถังกลมและถังสี่เหลี่ยมค้ำ

ตารางที่ 10.9 เกษนน้ำสำหรับเลือกอัตราน้ำคั้นผิวของน้อตกตะกอนสี่เหลี่ยมค้ำ

ความสูงที่กาลว่ง จะได (J น)	อัตราน้ำคั้นผิวที่ควรใช้ (นกลดบ/บาศิ-คร.ฟุต)	
	ถังตกตะกอนสี่เหลี่ยม	เฉพาะน้อตกตะกอน
1-3	2.0	2.0
1-5	2.0	2.0
3-7	2.0	4.0
3-7	๕.๕	2.๕
5-10	2.5	2.0

ตารางที่ 10.10 เกณฑ์แนะนำสำหรับเลือกอัตราน้ำส้มสีของต่อคนละกอนในถัง-
ยี่เข่งที่มีใบผ้า

ความสูงที่ต่ำกว่า จระเข้ (JCB)	ความสูงของ น้ำคั้น (JCB)	อัตราน้ำส้มสีที่ควรใช้ (แกลลอน / นาที-ตร.ฟุต)	
		ถังตกตะกอนทั้งใบ	เฉพาะห้องตกตะกอน
1-2	0-100	2.0	2.5
1-5	0-100	2.5	3.0
2-7	0-100	2.5	4.0
1-5	0-100	3.0	3.5
2-7	0-100	3.0	4.0
1-5	100-200	2.0	2.5
2-7	100-200	2.0	3.0

ตัวอย่างที่ 10.6 ระบบประปาขนาด ๘ ล้านแกลลอนต่อวัน ประกอบด้วยถังตก-
ตะกอนขนาดกว้าง 30 ฟุต ยาว 1๖๖ ฟุต และลึก 15 ฟุต อัตราน้ำส้มสี 1000
กก./วัน-ตร.ฟุต ทางน้ำออกเป็นแผ่นน้ำคั้น (Weir) ที่น้้นเดียว(ซึ่งยาว 3๐ ฟุต
เท่ากับความกว้างของถัง) มีคนผู้ตอนปลายของถังตกตะกอน น้ำคั้นมาจากแผ่นน้ำ
คั้นหนึ่ง มีความสูง 25-30 JCB

ให้ออกแบบห้องตกตะกอนที่จะแนะนำคือถัง, บังตกตะกอน เพื่อให้สามารถเก็บผลผลิต
จาก ๘ เป็น ๘ ล้านแกลลอน/วัน

วิธีทำ อัตราน้ำส้มสีในปฏิกิริยา ๑๐๐๐ กก./วัน-ตร.ฟุตหรือ ๐.7 กก./นาที-ตร.
ฟุต เมื่อเก็บผลผลิตความยาวของถังตกตะกอนเป็นเท่าตัว อัตราน้ำส้มสีจะกลายเป็น
เป็น 1.4 กก./นาที-ตร.ฟุต

เมื่อพิจารณาเกณฑ์ของแบบในตารางที่ 10.10 จะเห็นได้ว่า ถังตกตะกอนและห้อง

คอกตะกอนอาจมีอัตราน้ำดิบผิว 2 และ 3 กณ./นาถึ-ตร.ฟุต ตามลำดับ โดยยอม
ให้มีน้ำที่ความชุ่มได้ประมาณ 1-5 JCU

ดังนั้น จึงเลือกอัตราน้ำดิบผิว 3 กณ./นาถึ-ตร.ฟุต สำหรับห้องคอกตะกอนในกรณี
นี้ เนื่องจากอัตราน้ำดิบผิวของถังคอกตะกอนสูงเพียง 1.4 กณ./นาถึ-ตร.ฟุต ซึ่งค่า
กว่า 2 กณ./นาถึ-ตร.ฟุต จึงคาดได้ว่า น้ำที่ออกจากถังคอกตะกอน จะมีความชุ่ม
1-5

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ของห้องคอกตะกอน} &= \frac{3 \text{ ล้านแกลลอน/วัน}}{3 \text{ กณ./นาถึ-ตร.ฟุต}} \\ &= \frac{3,000 \text{ กณ./นาถึ}}{3 \text{ กณ./นาถึ-ตร.ฟุต}} \\ &= 1,070 \quad \text{ตร.ฟุต} \end{aligned}$$

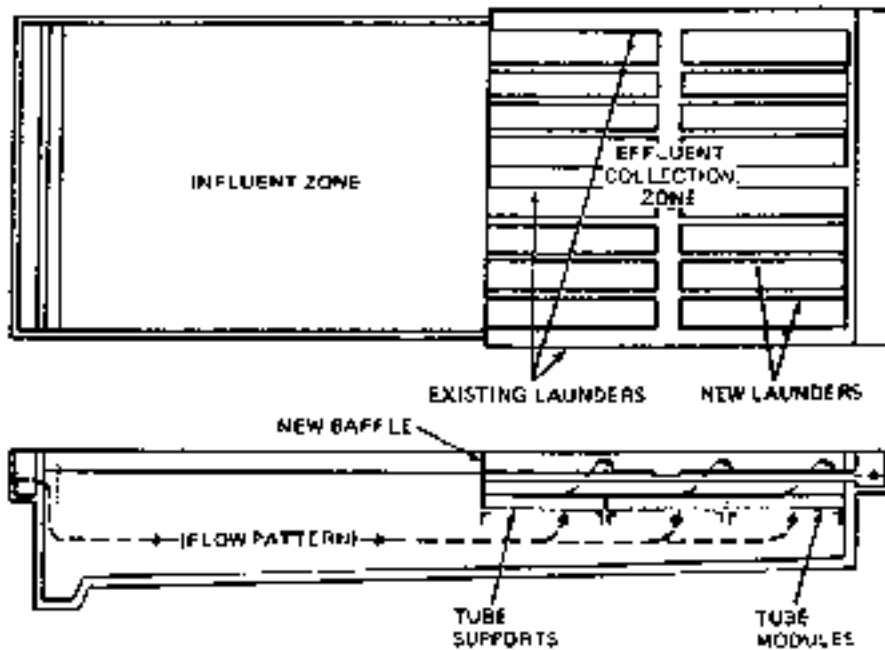
เนื่องจากถังคอกตะกอนมีความกว้าง 30 ฟุต จึงเลือกใช้ไม้อูฐที่กว้าง 30 ฟุต

$$\begin{aligned} \text{ความยาวของไม้อูฐ} &= 1070/30 \\ &= 32 \text{ ฟุต (47\% ของความยาวทั้งหมด)} \end{aligned}$$

ภาพที่ 10.54 แสดงถึงการติดตั้งห้องคอกตะกอน ให้ปลายบนของหัวคอกอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ
เป็นระยะ 4 ฟุต และสร้างรางน้ำดิบออกเพิ่มดังรายละเอียดในภาพ

10.7.4 การออกแบบถังคอกตะกอนแบบใช้ถังซีคอนแทนท์

หลักเกณฑ์ที่ใช้ออกแบบถังซีคอนแทนท์ ก็เป็นมาตรฐานของ 10 มลรัฐในสหรัฐ
อเมริกา (10-State Standards) มีดังนี้



ภาพที่ 10.34 การติดตั้งท่อตะกอนสำหรับตัวอย่างที่ 10.6

เวลาพักน้ำ น้ำเสียดิบ 4 ชม.
 น้ำยาคลอรีน 1 ชม.

โหลตกตะกอน อาจเป็นถังแยกจากถังตกตะกอน หรืออาจก็เป็นหนึ่งถังสำหรับ
 โหลตกตะกอนในถังตกตะกอนก็ได้ แต่ในทั้งสองกรณี ต้องมี
 เวลาพักน้ำสำหรับให้ตะกอนเซตตัวอย่างน้อย 30 นาที

ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ก้นถัง
 ประมาณน้อย 1 %

ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่รวมวมถึง
 ประมาณน้อย 5 %

การผสมปุ๋ยคอก ไม่เกิน ๑ ไร่

อัตราปุ๋ยคอก ไม่เกิน ๑,๕๐๐ กก./ไร่-๑๑.๕๐๐ กก. (๑๐๐ ต./ไร่) วัสดุที่จับ
ซึ่งมีการบดขยี้แล้วด้วย

อัตราน้ำขี้วัว ไม่เกิน ๕๐ กก./นาถึ-๕๐๐ (๑๕๐ กก. เมตรคอกวัน-เมตร)

นอกจากนี้ ยังมีข้อแนะนำดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มสารเคมี อาจเพิ่มสารเคมีโดยตรงเข้าสู่อุ้งน้ำในบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา
แต่ถ้าจะให้ดี ควรเพิ่มและกระจายเร็วสารเคมีก่อนปล่อยเข้าสู่อุ้งน้ำในจุดที่คนแบกถัง (ข้อ
แนะนำนี้ต้องพิจารณาถึงความเข้มข้นของวัสดุที่มีในอุ้งน้ำก่อนทุกครั้ง)
2. แรงบิดของเครื่องกวาดหรือกวาดหญ้า (Rake Torque) แรงบิดซึ่งค่า
ของมอเตอร์ต้องกำหนดให้ชัดเจน เนื่องจากการทำงานของเครื่องกวาดเป็นเวลา 24 ชม.
หรือมากกว่า อาจทำให้ตะกอนดินปูนของแหก เข็มและแมกนีเซียมจับตัวกันแข็งและ
มีผลเครื่องกวาดไว้ มอเตอร์จะต้องมีแรงบิดมากกว่า ที่จะจุดให้เครื่องกวาด หรือกวาด
สามารถเคลื่อนที่ได้ และจะต้องมาบำรุงหมุนไถ้ที่ตามและทวนเข็มมาอีก
3. การระบายสลัดจ์ทิ้ง การระบายสลัดจ์ทิ้งออกจากถังโซลิดส์คอกนแบกถัง ควร
กระทำให้อยู่ แต่เป็นระยะสั้น ๆ เช่น ความถี่ไม่ควรต่ำกว่า 4 ชม.ต่อครั้ง แต่
ไม่ควรมากกว่า 1๕ นาทีต่อครั้ง (หรือมากกว่า 4 ครั้งใน 1 ชม.) ระยะเวลาที่
ระบายสลัดจ์ทิ้ง ไม่ควรเกิน 1๐ ไร่ ของความถี่ในการระบายสลัดจ์ เช่น ระบาย
สลัดจ์ทิ้งทุก ๕ ชม. ก็ให้ทิ้งสลัดจ์ทิ้งนานกว่า ๐.๕ ชม. ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์-
ประมาณ ๕ ไร่ หรือมากกว่า เป็นต้น ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือเมื่อระบายสลัดจ์
ทิ้งเรียบร้อยแล้ว ต้องมีวิธีล้างถังสลัดจ์ เช่นใช้น้ำฉีดจนไม่มีสลัดจ์ทิ้งอยู่ในถัง เติมน้ำ
เต็มถังจนมีให้เกิดการดูดซึมของท่อสลัดจ์

๑๐.๑ ปัญหาการไหลสัดทางในถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนแบบจุดตกตะกอน จะมีการไหลของน้ำเป็นแบบปลั๊กไหล (Plug Flow) กล่าวคือ น้ำจะใช้เวลาอยู่ในถังนานเท่ากับเวลาที่น้ำตามทฤษฎีจะไหล อย่างไรก็ตาม ปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ทำให้บางส่วนของน้ำไหลออกจากถังก่อนหรือหลังเวลาที่กำหนดบ้างมากบ้างน้อยบ้างได้ ปัญหาอีกเกิดขึ้นเมื่อ น้ำใช้เวลาอยู่ในถังน้อยกว่าเวลาที่เชื่อว่าเกิดไหลสัดทางหรือไหลลัดวงจร (Short Circuiling) ผลก็คือตามการไหลสัดทางคือ น้ำมีกษณะกวนวนลอยหลุดออกไปจากถังตกตะกอนด้วย

๑๐.๑.๑ สาเหตุของการไหลสัดทาง

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการไหลสัดทางได้แก่ กระแสความหนาแน่น (Density Current) ซึ่งหมายความว่า การไหลในน้ำที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน กระแสความหนาแน่นเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุใหญ่ ๆ ประกอบด้วย คือ อุณหภูมิ, ความขุ่น, สารละลาย, และ กระแสลม

๑๐.๑.๑.๑ อิทธิพลของอุณหภูมิ

น้ำที่มีอุณหภูมิต่างกันจะมีความหนาแน่นไม่เท่ากันน้ำเย็นหนักกว่าน้ำร้อน ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่ ๕ °C จะมีความหนาแน่น ๑.๐๐๐๓๐ กรัม/มล. แต่น้ำที่ ๑๕ และ ๒๐ °C จะหนัก ๐.๘๘๘๒ และ ๐.๘๘๖๓ กรัม/มล. ตามลำดับ แม้ว่าความแตกต่างดูเหมือนจะไร้มาก แต่น้ำ ๑ ล้านแกลลอน (๓,๗๘๕ ลบ. เมตร) ที่ ๑๕ °C จะหนักมากกว่าน้ำที่ ๒๐ °C ถึง ๑.๖ ตัน

เมื่อน้ำอุ่นไหลเข้ามาในถังตกตะกอนที่มีน้ำเย็นกว่า น้ำเข้าใหม่จะไหลสัดทางตามผิวน้ำ และออกไปจากถังโดยใช้เวลาเพียงเสี้ยวเสี้ยวของเวลาที่น้ำ ทั้งนี้เนื่อง

จากน้ำมีความหนาแน่นน้อยกว่า มันเอง การที่น้ำใช้เวลานานขยับอยู่ในถังสคละกอนจึง
 เชื่อได้ว่า ไส้กรองนี้จะเกิดการตกตะกอน ไส้กรองที่จะเกิดขึ้นได้ความถี่ตกกอนไว้-
 สำหรับในประเทศไทย การไหลกลับทางที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำ
 อาจเกิดขึ้นได้ในฤดูร้อน ความร้อนจากแสงอาทิตย์อาจทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น
 ในอัตราสูงกว่า 1°C/ชม. ทำให้เกิดกระแสความหนาแน่นภายในถัง ซึ่งจะรุนแรง
 ในเวลาเย็นหรือขณะที่อุณหภูมิสูงสุด

น้ำเย็นที่ไหลเข้าไปในถังสคละกอนที่มีน้ำอุ่นกว่า ก็อาจเกิดปัญหาเรื่องการไหลกลับทาง
 ที่รบกวนการกระจายความหนาแน่นได้เช่นเดียวกัน แต่ในกรณีที่มีน้ำที่เข้าใหม่ จะไหลถึง
 ลงไปตามก้นถังอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีน้ำหนักมากกว่าและใช้เวลานานน้อยกว่าเวลา
 กลับน้ำในทางกลับกันที่ออกจากถังสคละกอน การไหลไปตามก้นถังทำให้เกิดการฟุ้ง
 กระจายของสัณฐานที่สคละกอนอยู่ก้นแล้ว ทั้งยังมีความลึกน้อย ความขุ่นที่ฟุ้งกระจาย
 อาจลดลงด้วยน้ำ และหม้อออกไปกับน้ำอื่น ทำให้การตกตะกอนไม่ได้ผล และ
 อาจต้องทำการใส่น้ำในถังสคละกอน (โดยเฉพาะตัวไส้กรองชนิดถ่านแอกทีฟ) มีอุณหภูมิสูง
 กว่าน้ำที่เข้าใหม่ ทำให้เกิดกระแสความหนาแน่นที่มีผลเสียต่อกังตกรกอน ดังสค-
 ละกอนที่ไม่ได้คิดถึงปัญหาเหล่านี้ และไปใช้หาวิธีป้องกันเอาไว้ก่อน จะมีประสิทธิภาพ
 การแปรปรวนตามแต่ของอุณหภูมิ และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายความหนาแน่น

10.๖.1.๒ อิทธิพลของความขุ่นที่มีต่อตะกอนแขวนลอย

ความขุ่น ทำให้มีน้ำมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่มีตะกอนแขวน-
 ลอย 1๐๑ มก./ล. (ก.พ. ๑,๒) จะมีความหนาแน่น 1.๐๐๐๐๓ มก./ล. แต่ถ้า
 ตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้นเป็น 1,๐๖๐ มก./ล. ความหนาแน่นจะเพิ่มเป็น 1,๐๐๐๑
 มก./ล. เป็นต้น อาจเพิ่มความขุ่นของน้ำอย่างกระชั้นชิด (สัปดาห์เมื่อมีฝนตกหนัก
 หรือน้ำฝนจากกระถาง) ก่อให้เกิดกระแสความหนาแน่นในถังสคละกอน และมึ
 การไหลกลับทางเกิดขึ้น น้ำที่มีความขุ่นสูงจะไหลลงของก้นถังเหมือนในการถือน้ำ-
 เย็น ทำให้มีการฟุ้งกระจายของสัณฐานและทำให้ความขุ่นเคลื่อนออกไปจากถังได้

๑๐.๑.๑.๓ อิทธิพลของความเค็มหรือความขุ่นของน้ำ (TDS)

น้ำที่มีเกลือแร่ละลายอยู่มาก จะมีความหนืดมากกว่าน้ำที่มีสารละลายน้อย อิทธิพลของความเค็มหรือความขุ่นของน้ำ ซึ่งคล้ายกับอิทธิพลของความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอย

๑๐.๑.๑.๔ อิทธิพลของกระแสน้ำ

สิ่งสกปรกที่มีพื้นผิวที่กว้างเกินไป จะถูกพัดพาโดยกระแสน้ำที่ไหลเร็วเกินไป เพราะกระแสน้ำที่ไหลเร็วเกินไปจะทำให้เกิดความเป็นปฏิกิริยาของน้ำในถัง และอาจทำให้น้ำไหลออกจากถังเร็วเกินควร ดังนั้นเพื่อรักษาความเร็วที่ควรลดทอนกระแสน้ำในถัง ที่มีขนาดใหญ่กว่า ๆ

๑๐.๑.๒ วิธีแก้ไขและป้องกันภาวะไหลย้อนกลับ

การปิดฝาถังสกปรก อาจช่วยบรรเทาผลเสียหายที่เกิดจากการไหลย้อนกลับ แต่ไม่ใช่วิธีที่เพียงพอในทางปฏิบัติ วิธีที่นิยมใช้และนิยมใช้กันมากกว่า มี ๔ วิธี ดังนี้

๑. ปิดทางน้ำคืนบนผิวน้ำใต้กรรมคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของถัง
๒. ปิดขั้วถังทางด้านน้ำเข้า
๓. ใช้ท่อคอกคอกบนหรือแผ่นสกปรก
๔. ใช้ถังแบบไหลย้อนกลับ

ในกรณีที่น้ำไหลย้อนกลับของถังถังถัง ความขุ่นจะถูกพัดพาให้กระจายขึ้นสู่น้ำ ในบริเวณทางออกของถัง (ไม่ว่าจะเป็นถังทวนหรือถังน้ำ) ถ้าหากทราบว่าน้ำในบริเวณคอกคอกของถัง มีกรเป็นเขตที่น้ำไหลเพราะความขุ่นพุ่งไปไม่ถึง ดังนั้นวิธีแก้ไขคือการปิดทางลงถังถังถัง ซึ่งกระทำได้โดยทางติดตั้งรางน้ำคืนให้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของถัง (ภาพที่ ๑๐.๔๐) การติดตั้งน้ำคืนโดยให้ของถังเป็นวิธี (Heir)

อาจเปิดโอกาสให้ความชุ่มชื้นตามผนัง และอันเนื่องไปสู่น้ำใต้ รางน้ำคั่นควรวางไว้ที่ต่ำกว่าขอบถัง (ดูภาพที่ 10.47) การติดตั้งน้ำขึ้นสูงกว่าไม่ปกติโดยพาน้ำไหลสลับทางผ่านคั่นน้ำ ซึ่งต้องแก้ไขด้วยการปรับรูปร่างน้ำเข้า เช่น ใช้แผ่นคั่นน้ำ เพื่อป้องกันน้ำไหลลงข้างล่าง และกระจายให้กับส่วนล่าง ๆ ของถัง (ดูภาพที่ 10.๓๖ และ 10.4๐) หรืออาจให้น้ำไหลเข้าขอบถัง (ดูภาพที่ 10.45 ข. และ ค.) การติดตั้งท่อตกตะกอน (ดูภาพที่ 10.๒6) หรือแผ่นตกตะกอน (ดูภาพที่ 10.24) สามารถช่วยบรรเทาการไหลสลับทางทั้งสองชนิด ทั้งนี้ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ทำให้การไหลของน้ำมีความผิดปกติลดลง และทำให้การไหลถูกบังคับให้มีทิศทางอย่างแน่นอน

วิธีป้องกันผลเสียที่เกิดจากการไหลสลับทาง ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ได้แก่ การหมุนเวียนน้ำตะกอน (Slurry Recirculation) มาผสมกับน้ำเข้า และติดตั้งน้ำคั่นสองชุดเพื่อให้ส่วนคั่นน้ำ การหมุนเวียนน้ำตะกอนช่วยให้มีน้ำเข้าที่คั่นบนของถังเสมอ เป็นกาวยังช่วยให้มีน้ำไหลลงข้างล่าง การสัมผัสระหว่างความชุ่มชื้นและความหนาแน่น ทำให้มีการจับตัวเป็นก้อนใหญ่ที่ตกตะกอนได้ดี จนผลทำงานของกระแสน้ำความหนาแน่นไม่อาจทำให้เกิดการพุ่งกระจายของความชุ่ม การใช้น้ำรางน้ำคั่นเป็นกาวยังช่วยให้แน่ใจว่า ถึงตกตะกอนจะให้ น้ำสะอาด ถึงแม้ว่าการพุ่งกระจายของสัคคัง-คังคงมีอิทธิพลอยู่บ้างก็ตาม ถึงตกตะกอนแบบไฮดรอลิกที่แยกแยกกัน สามารถใช้ป้องกันกระแสน้ำความหนาแน่นได้ดี แต่หลังจากการไหลของน้ำเข้าถูกบังคับให้มีทิศทางอย่างแน่นอน (ปัจจัยนี้ เป็นข้อดีที่ช่วยให้มีการซื้อถังสำเร็จรูปมาใช้มากกว่าที่จะออกแบบถังไฮดรอลิกคอนกรีตมาใช้) ไม่ว่าจะมีกระแสน้ำความหนาแน่น เกิดขึ้นหรือไม่ก็ตาม นอกจากนี้ การสร้างชั้นสัคคังหรือการหมุนเวียนน้ำตะกอนก็เกิดขึ้นในถังไฮดรอลิกคอนกรีต ยังช่วยฆ่าล้างผลข้างเคียงของกระแสน้ำความหนาแน่น จนไม่สามารถทำให้เกิดการพุ่งกระจายได้ การติดตั้งท่อตกตะกอนหรือแผ่นตกตะกอนให้กับถังไฮดรอลิกคอนกรีต อาจถือ เป็นการป้องกันผลเสียจากกระแสน้ำความหนาแน่น เป็นมาตรการสุดท้าย

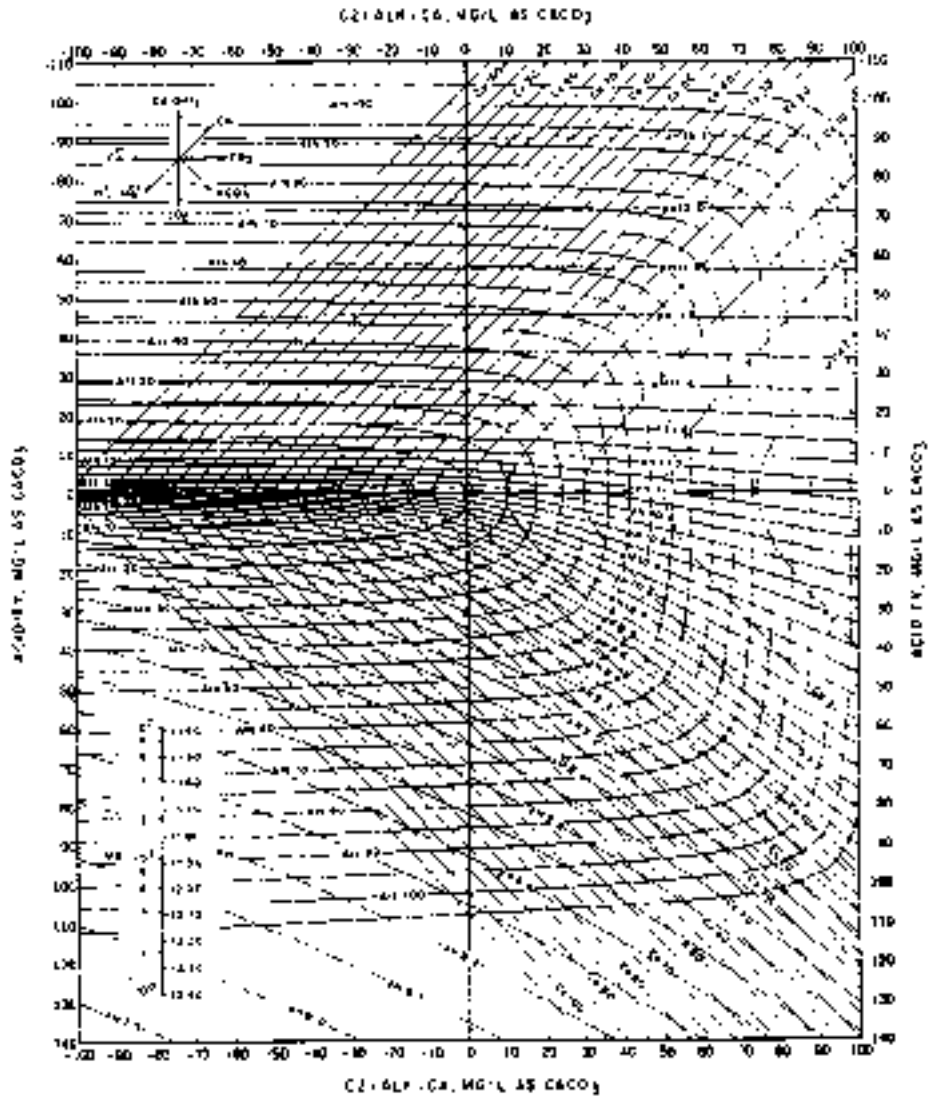
BIBLIOGRAPHY

1. Degremont, "Water treatment Handbook" 5th Ed. A Halsted Press Book, John Wiley & Sons., 1979
2. Weber, M.J. Jr., (1972) "Physicochemical Processes for Water Quality Control" 1st Ed., Wiley - Interscience.
3. American Water Works Association (1971) "Water Quality and Treatment", 3rd Ed., McGraw - Hill Book.
4. กรมชลประทาน, "สถิติชลประทานของประเทศไทย พ.ศ. 2510" (พ.ศ. 2494-2510)
5. Steel, E.W., and McChes, T.J., (1979) "Water Supply and Sewerage" 5th Ed., McGraw - Hill Book.
6. โทงศ์ ศิวราช, เขียวอุทิศ นววิมลเกษม, และ สุรินทร์ ชูบุญเลิศพันธ์ "การประเมินสิ่งแวดล้อม" มหาวิทยาลัยศิลปากร
7. Clark, J.W., Viessman, W. Jr., and Homer, M.J., (1977) "Water Supply and Pollution Control" 3rd Ed., Harper & Row Publishers,
8. Barnes, D. et al (1981) "Water and Wastewater Engineering Systems" Pitman Books, London.
9. Sanka, R.L. (1980) "Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer" 3rd Printing, Ann Arbor Science.
10. Fair, G.M., Geyer, J.C., and Okun, D.A., (1968) "Water and Wastewater Engineering V 1 & 2" John - Wiley & Sons.
11. AWWA, ASCE, and CSE (1968) "Water treatment Plant Design" AWWA, Inc.
12. Sawyer, C.N., and McCarty, P.L. (1967) "Chemistry for Sanitary Engineers" McGraw - Hill Book.

13. Benefield, L.D. et al (1982) "Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment" 1st Ed., Prentice - Hall Inc.
14. Lorch, W. (1982) "Handbook of Water Purification" McGraw - Hill Books.
15. Kemmer, F.H., and McCallion (1979) "The Nalco Water Handbook" McGraw - Hill Book.
16. White, G.C. (1972) "Handbook of Chlorination" Van Nostrand Reinhold Comp.
17. Loewenhal, R.E., and Marais, G.V.R. (1976) "Carbonate Chemistry of Aquatic System: Theory & Application" Ann Arbor Science.
18. Hammer, M.J. (1977) "Water and Waste - water Technology" John Wily & Sons.
19. Rich, L.G. (1973) "Environmental Systems Engineering" McGraw -Hill Book.
20. Walker, (1978) "Water Supply, Treatment and Distribution" Prentice - Hall, Inc.

┌
:
:
:
:
:
:

ภาคผนวก



תוצאות n-2 Water conditioning diagram for 2°C and 40 mg/l total dissolved solids.

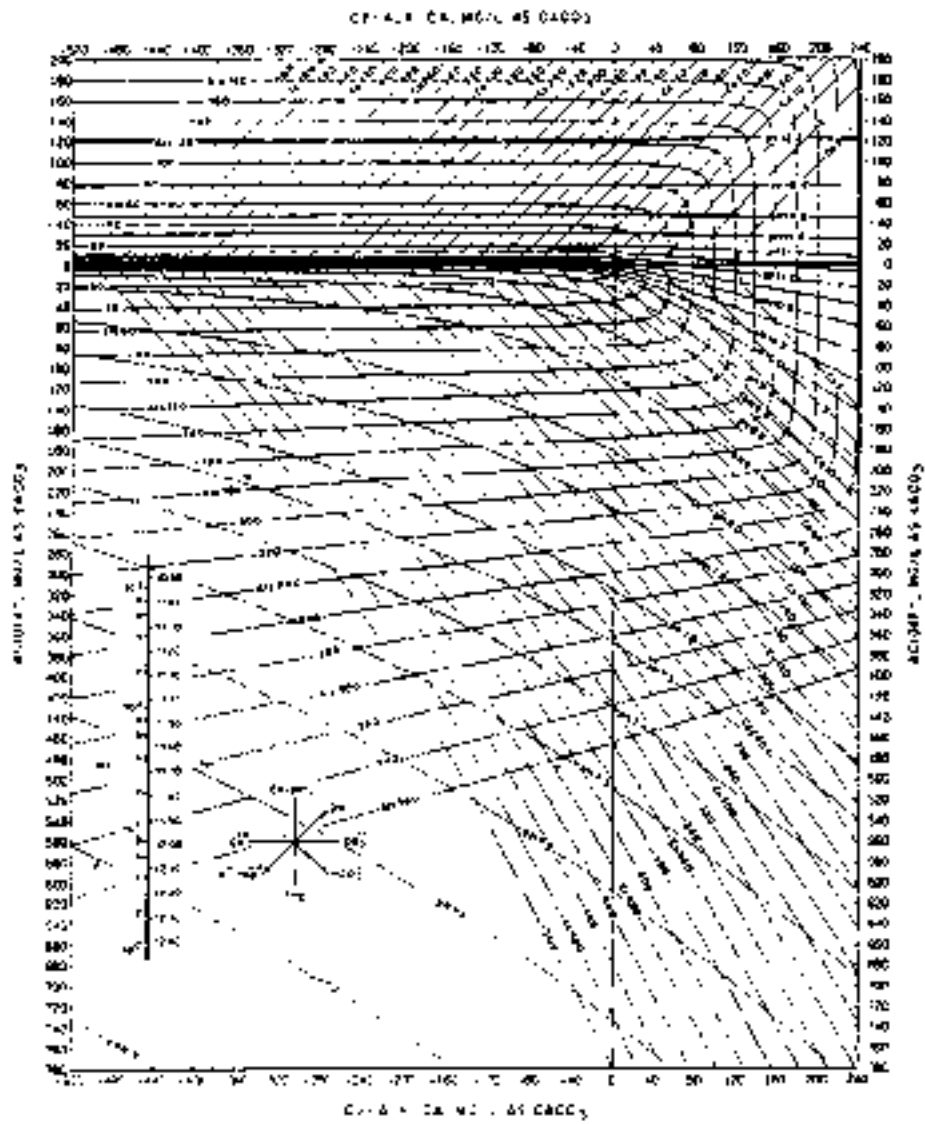


Figure 2 Water conditioning diagram for 2°C and 400 mg/l total dissolved solids.

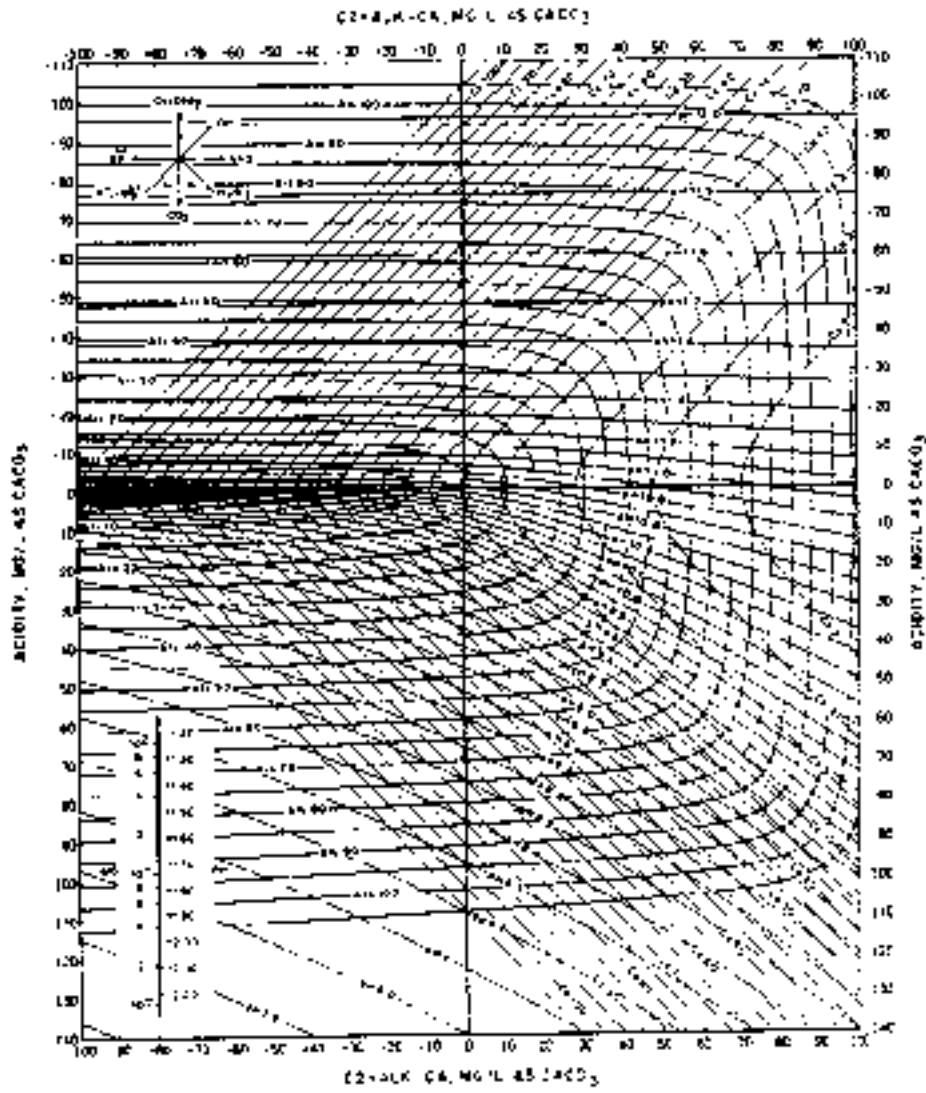


Figure 11-3 Water conditioning diagram for 5°C and 40 mg/l total dissolved solids

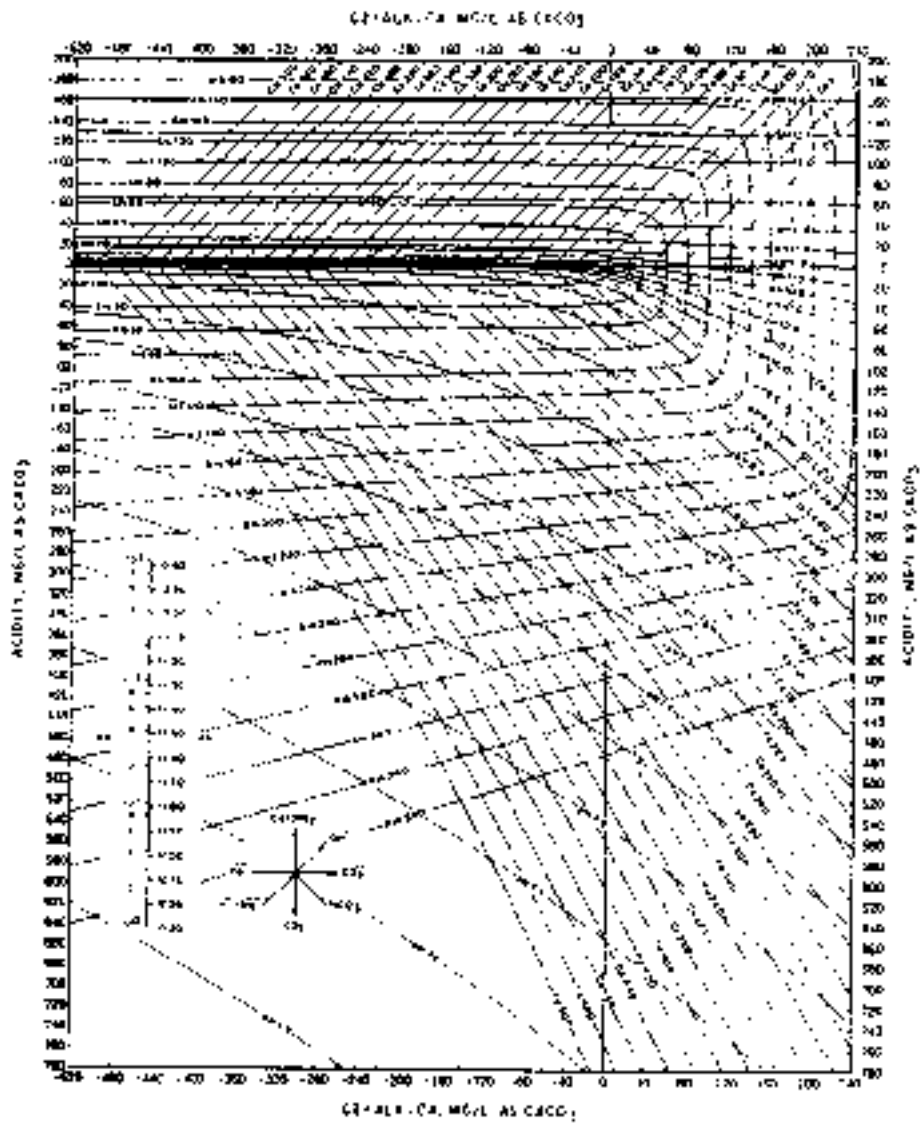


Figure 11-4 Water condensing diagram for 5°C and 400 mg/l total dissolved solids

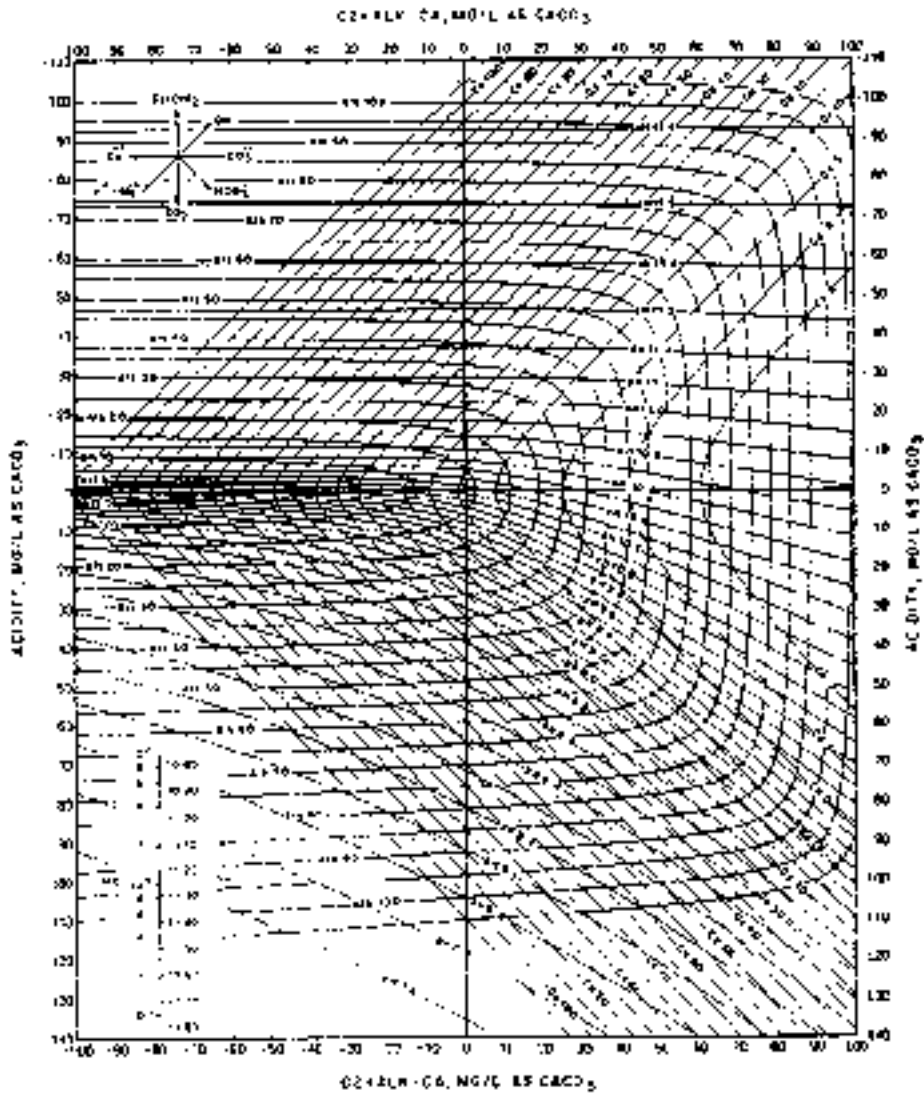
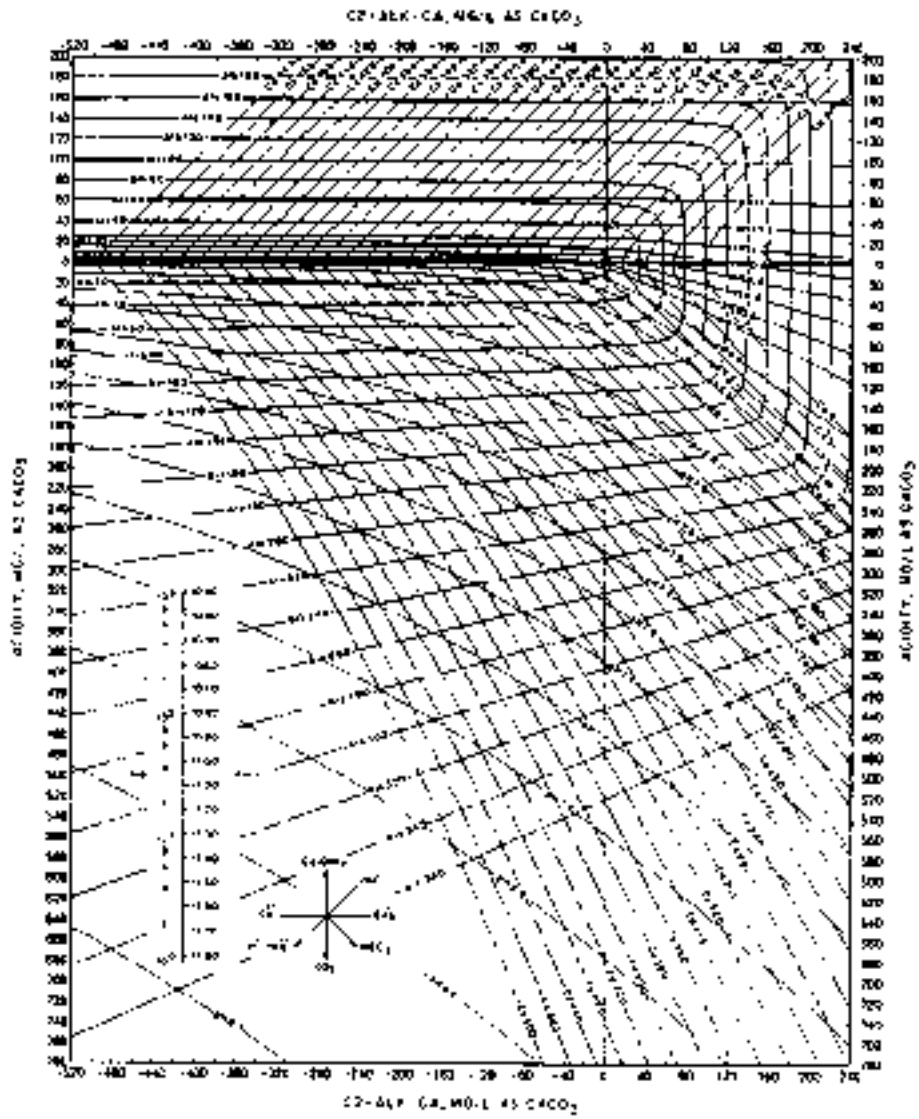


Figure 4-5 Water conditioning diagram for 15°C and 40 mg/l total dissolved solids.



Water conditioning diagram for 15°C and 400 mg/l dissolved solids.

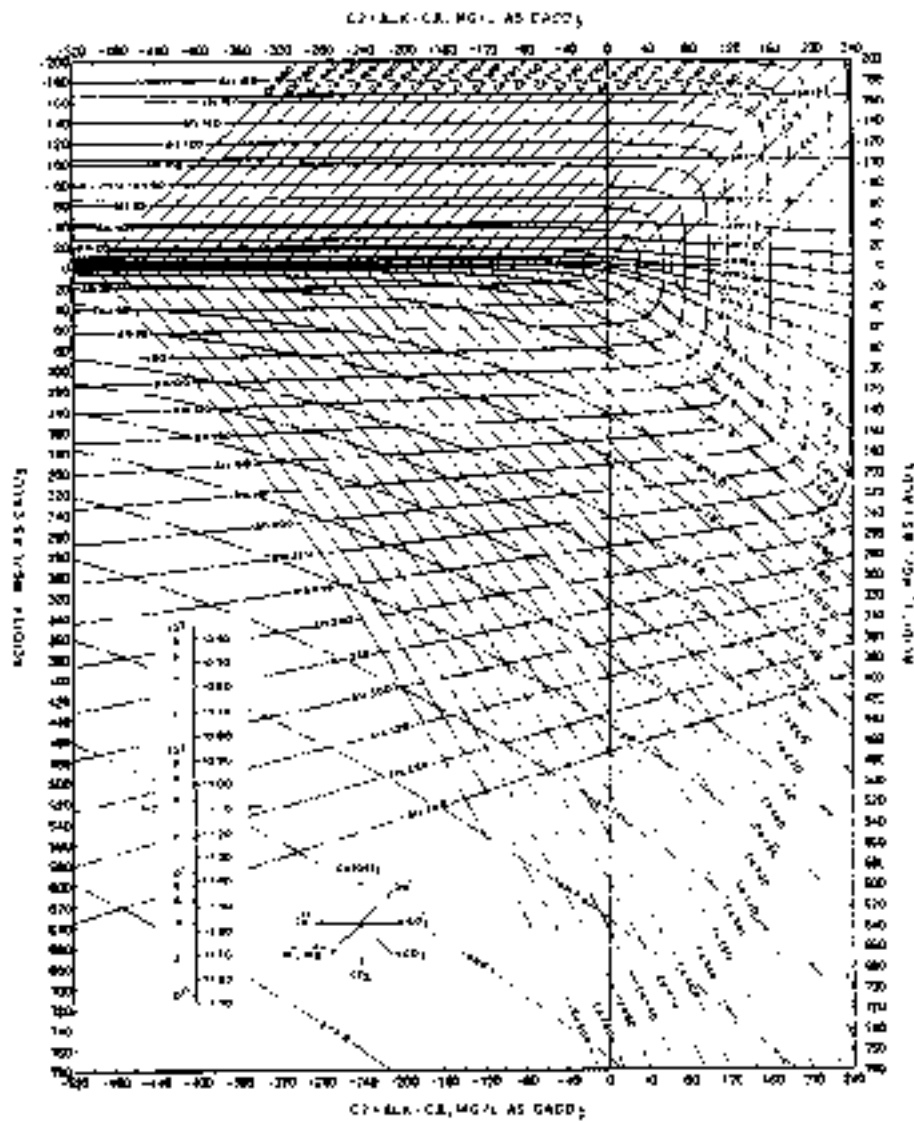
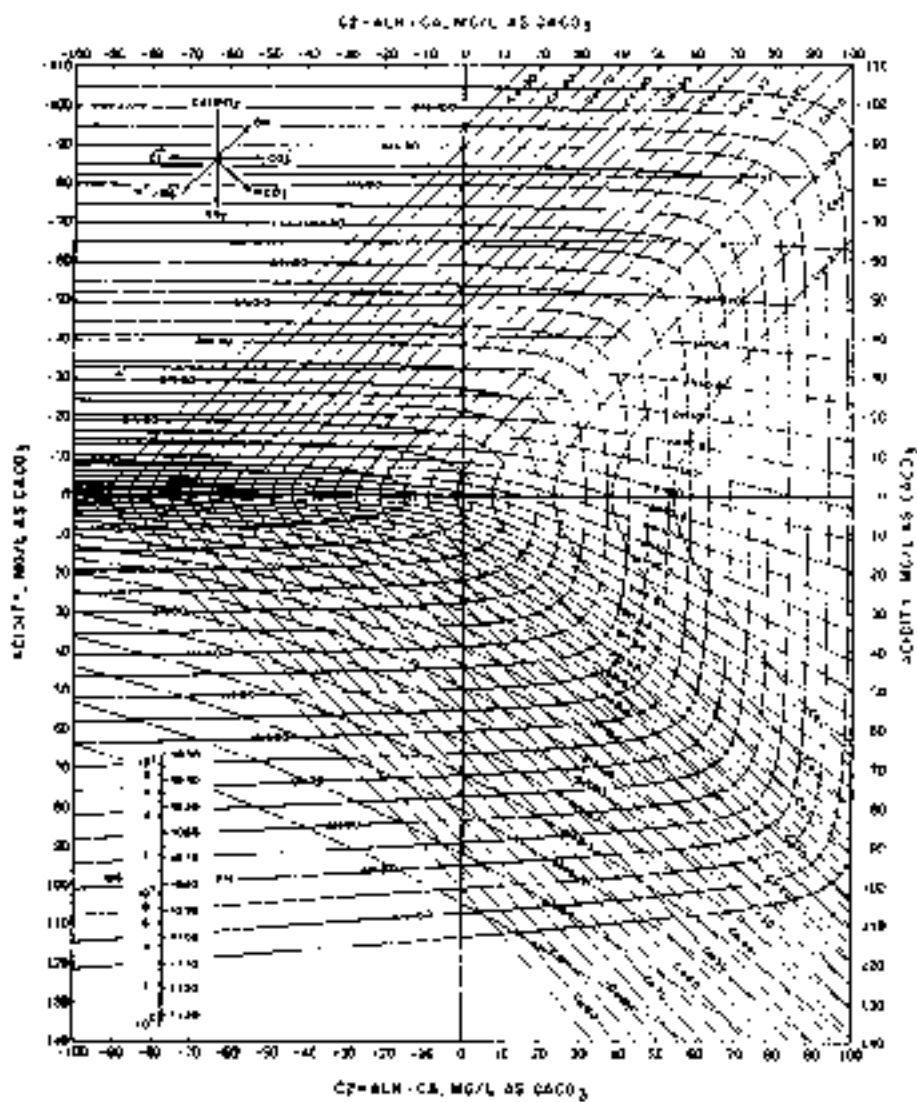


Figure 7 Water conditioning diagram for 15°C and 1700 mg/l total dissolved solids



Water conditioning diagram for 25°C and 40 mg/l total dissolved solids

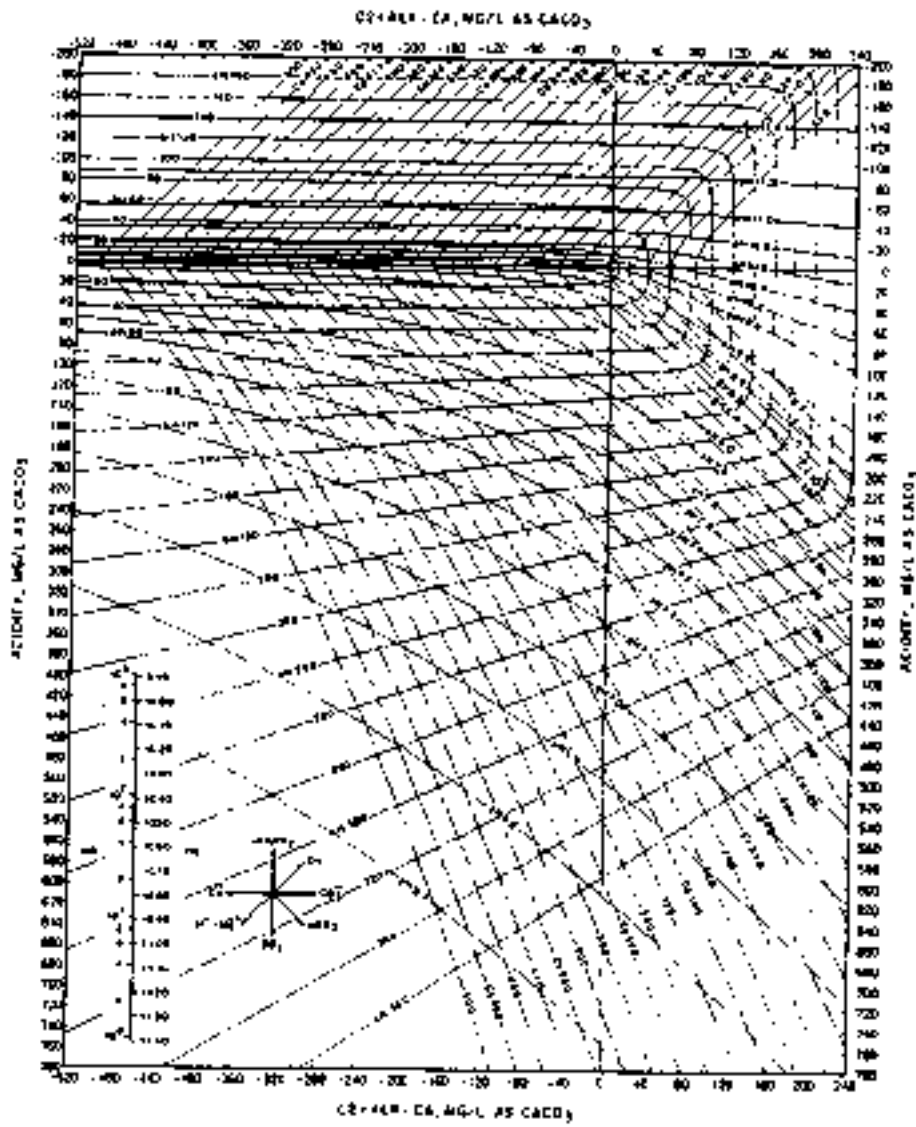
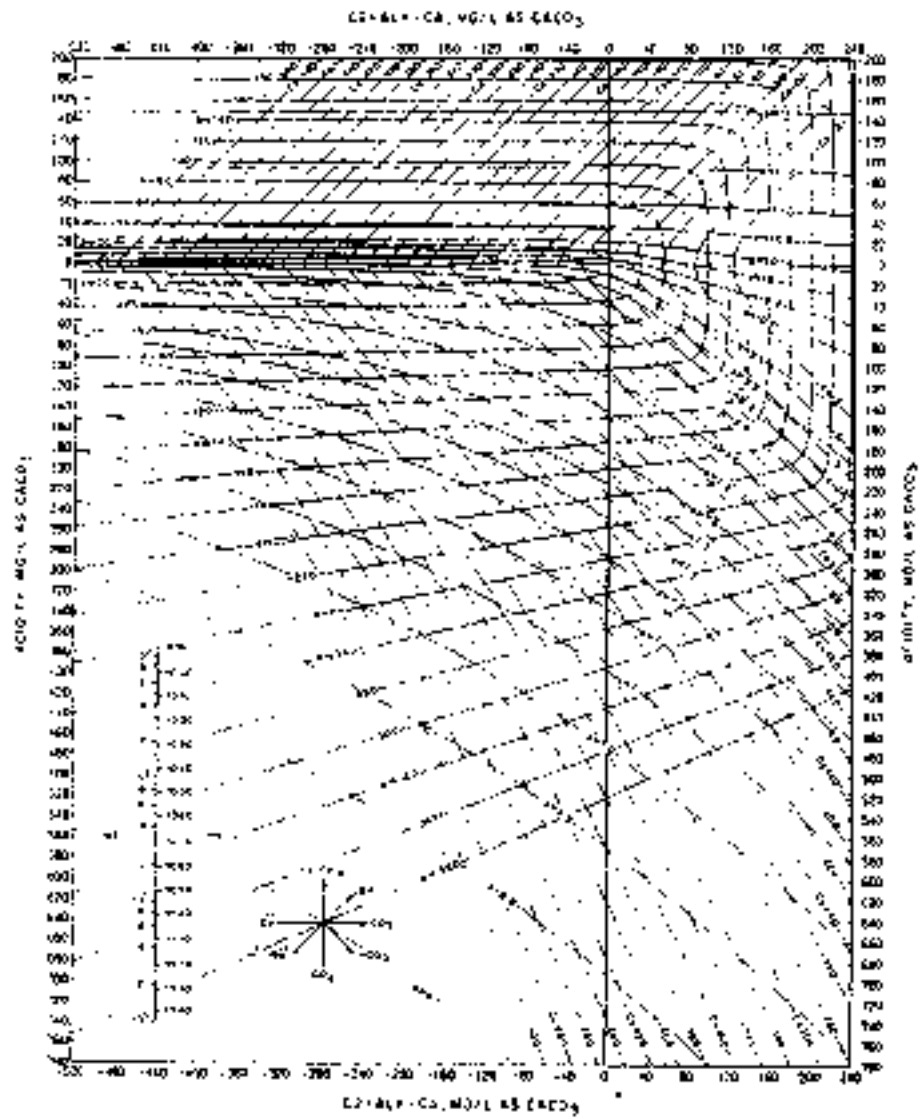


Figure 10-1 Water conditioning diagram for 25°C and 400 mg/L total dissolved solids



Water conditioning diagram for 25°C and 1200 mg/l total dissolved solids

๙
:
.
!

ตชพ

๓๒๔

- ก
- กฎของมโกล 308
- กฎของเพอร์รี 128
- กฎกำลังอิน 180
- กฎเกาส์ 190
- ทฤษฎีวงรี 240, 250, 251
- กฎการกระจายค่า η 34
- กระแสความร้อน (Thermal Current) 383
- กระแสความหนาแน่น (Density Current) 383, 384, 388, 389, 389
- กระแสความปั่นป่วน (Eddy Current) 384, 387
- กราฟโซโกราฟี 328
- กลไกของโคแอกกูเลชันด้วยสารค้ำและ
และสารประกอบเหล็ก 228, 228
- กลไกการทำลายเสถียรภาพของ
คออลลอยด์ 207, 210
- แบบใช้โพสิทีฟเป็นสะพานเชื่อม 217
- แบบจุดยึดผิวและทำลายปฏิกิริยา 214, 228
- แบบลดความหมายของชั้นกระจาย 211
- แบบ Sweep Coagulation 218, 225
- กลไกในการทำลายเสถียรภาพของ
คออลลอยด์ 207, 210
- กลไกแบบจุดยึดผิวและทำลายปฏิกิริยา 214
- กลไกค้ำเหนียว 14
- การกระจาย 80
- การกระจายตัว 232
- การเกิดกร่อนโลหะของน้ำ 177
- การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ 130, 148, 149, 159
- การกำจัดสิ่งกีดขวาง 128
- การกำจัดเหล็กและแมงกานีส 144, 145, 150, 151
- การกำจัดออกซิเจน 152
- การกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 149
- การเก็บกักน้ำ 47
- การควบคุมโคแอกกูเลชัน 232
- การคำนวณขนาดอ่างเก็บน้ำ 48
- การเคลื่อนที่ของคออลลอยด์ในสนามไฟฟ้า 209
- การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน 231
- การเคลื่อนที่แบบอาศัยความร้อน 231
- การจำแนกสิ่งตกตะกอน 382
- การใช้โคแอกกูเลชัน L - C

- ใบการป้อนกับการวัดความร้อน 177
- ใบการป้อนสี, สีข 177
- แบบปรกติ 170
- สำหรับน้ำที่อุณหภูมิ, อุณหภูมิ 170
- การใช้ไม้ในครัวเรือน 82
- การใช้ไม้เพื่อการค้าและอุตสาหกรรม
 - 84, 85, 86
- การใช้ไม้เพื่อสาธารณูปโภค
 - กับเหมือง 84, 87
- การตกแต่งคอนกรีต 208
- การตกแต่งภายในแบบอุตสาหกรรม 207
- การตกแต่งภายนอกอาคาร 208
- การตกแต่งของหินปูน 159, 162, 169, 181
- การติดตั้งท่อตกแต่งคอนกรีต 273, 275-277
- การตกแต่งตกแต่งคอนกรีตแบบโลดหรืออิสระ
 - 312
- การตกแต่งตกแต่งคอนกรีตแบบแบ่งชั้น 221
- การตกแต่งตกแต่งคอนกรีตแบบรวมกลุ่ม 217
- การหั่นขายประสาทร 72, 70
- การทำลายเสถียรภาพของคอนกรีต
 - 207, 210
- การแบ่งชั้นน้ำใต้ดิน 30
- การปรับสี 157, 158, 152, 177
- การหลีกเลี่ยงของซีเมนต์ 86
- การเพิ่มสีโดยตัวปูนขาว 187, 194
- การเพิ่มสีโดยตัวปูนขาว 189
- การแนะนำผลิตภัณฑ์จากสังกะสี
 - คอนกรีต 381
- การระบายอากาศ 126
- การลดสีโดยตัวปูนขาว 120
- การลดสีโดยตัวปูนขาวโดยออกไซด์ 102
- การเติมออกไซด์นอกอุณหภูมิ 246-262
- การเติมออกไซด์ที่มีสี 185
- การวิเคราะห์ผลการตกแต่งคอนกรีต 210-232
 - แบบโลด 312
 - แบบแบ่งชั้น 220
 - แบบรวมกลุ่ม 214
- การสำรวจสีให้กับคอนกรีต 229
- การสูญเสียสี 141
- การทำปฏิกิริยาของสี 24
- การทำสี C_2 224, 225
- การไหลของน้ำบาดาล 26, 26
 - โดยธรรมชาติ 28
 - โดยแรงดัน 30
- การไหลสีคาว (สีคาว) 357, 366
 - 382-383
- การไหลสีคาวของน้ำ 252
- การออกแบบผนังทาสี 275-278
- การออกแบบผนังทาสี 257-271
- การออกแบบผนังทาสีแบบธรรมดา 268
- การออกแบบผนังตกแต่งคอนกรีต 268
 - แบบตกแต่งสีพิเศษพิเศษ 266-272
 - แบบใช้สีพิเศษพิเศษพิเศษ 270-281
 - แบบที่ 273-274
 - แบบสีพิเศษพิเศษพิเศษ 262-266
- การออกแบบระบบทาสีแบบพิเศษพิเศษ
 - 270

เกณฑ์ออกแบบพิมพ์เรเตอร์กำจัด CO ₂	ความกระด้าง 105
150	ความกระด้างคาร์บอเนต 106
เกณฑ์ออกแบบแม่พิมพ์เรเตอร์แบบ	ความกระด้างไม่ใช่คาร์บอเนต 106
ห้องอากาศ 148	ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์กันถังคกคอกอบ
เกณฑ์ออกแบบแม่พิมพ์เรเตอร์แบบถาวร	260
145, 146	ความยืดหยุ่นของซีเมนต์ 29
	ความต้องการน้ำ 39
II	ความเปลี่ยนแปลงของน้ำบาดาล 28
ขนาดของคอนกรีต 189	ความเป็นกรด 59
ขนาดของรูซึม 80	ความเป็นค่าข 104, 157, 243
ขนาดของโรงปรุปรุ 268	ความทนของซีเมนต์ 32, 35
ขนาดของสารล้าง ๆ 209	ความเร็วการเคี้ยว (G) 235,
ขนาดของฟิวส์ 140	262, 264
ข้อพิงของถังไซคลิกคอนกรีต 347	ความเร็วการเคี้ยวหินในถังกรบข้าว 224,
ข้อมูลค่าหรับของแม่พิมพ์ล้างความเร็ว 270	277, 281, 284
เขื่อนศรีนครินทร์ 90	ความเร็วการเคี้ยวหินในถังกรบเร็ว 264,
	288
III	ความเร็วรอบของใบคัท 265, 269
เครื่องกวาดตะกอนครึ่งสลิคซ์ 351,	ความลาดเอียงของถังคกคอกอบ 261,
357, 361, 363, 372, 373,	367, 366, 373
381	ความลึกของถังคกคอกอบ 250, 258
เครื่องกวาดเร็วแบบธรรมดา 248, 260	ความสามารถในการละลายน้ำของกาก
เครื่องเป่าลม 145	130
เครื่องวัดการระเหย	- คาร์บอนไดออกไซด์ 121
-แบบถาวร 29	- ออกซิเจน 131
-แบบที่เร็ว 24	ความสำคัญของโคแอสกูเลชัน 229
โครเมียม 88, 118	ความหนาแน่นของประชากร 78
คลอรีน 245	คลอโรลีน 129
คอปเปอร์ 109	คลอโรอิดโรซิน 252

กอขลชอยด์แบบไฮโดรลิก 2๐4
 กอขลชอยด์แบบไฮโดรโฟบิก ๒๐๕
 ค่ารับแอมบด 1๐4
 ค่ารับบดออกไซด์ ๘๖, 1๐๐, 1๐๑
 ค่ารับบดออกไซด์ลดพีเอช 1๑๐
 ค่าคงที่ K_{Cu} , K_{I} , K_{Zn} 1๑1
 ค่าคงที่ของตัววัด (Cd และ Cu)
 140
 ค่าน้ำประปา ๘๐
 คุณภาพของน้ำ ๘๐
 คุณภาพของน้ำบาดาล ๘๖
 คุณภาพน้ำที่เชื่อมกริมบลรันคร์ ๑๐
 คุณภาพน้ำไหลของประปา ๑1
 คุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำ ๘๘
 คุณภาพน้ำผิวดิน ๘๕, ๘7, ๘๙
 คุณภาพและมาตรฐานของน้ำ ๘1
 คุณสมบัติของน้ำจากภูเขา ๘3
 คุณสมบัติของน้ำดื่ม 81
 คุณสมบัติด้านกัลคอรูอนไอออน 122
 คุณสมบัติด้านของศาสตร์ของสิ่งแวดล้อม
 ๑๕๐
 คุณสมบัติด้านटककरणของอนุภาค ๑4๑
 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ 1๐1
 -กัลคอรูอน 1๐3
 -ความขุ่น 1๐1
 -พี 1๐2
 -อุณหภูมิ 1๐๓
 คุณสมบัติทางแบบคทีเรช 121
 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของคออลอยด์ ๒๐๔

คุณสมบัติน้ำบาดาล ๑4, ๑๑, ๑2
 เคมีของสารส้มในน้ำ 21๑
 เคมีในการปะปนพีเอช 1๕7
 แคลเมียม ๑๕, 110
 แคลเซียม 1๐๑
 แคลเซียมซัลเฟต (ยลค) 1๑๐
 โคออร์ดิเนชันแบบคทีเรช 1๖1
 โคนอกูเลชัน ๘๖, 1๑๑, ๒๑๑
 โคนอกูเลชันด้วยสารประกอบเพอเล็ก ๒23
 โคนอกูเลชันด้วยสารส้ม ๒1๑
 โคนอกูเลชันเพื่อกำจัดความขุ่น 2๕๑-
 ๒5๐
 โคนอกูเลชันเพื่อกำจัดพี 25๐-252
 โคนอกูเลชันเพื่อกำจัดซิลิและ ความขุ่น
 พร้อมกัน 2๕1
 โคนอกูเลชันแยก (หรือโคแอกูเลชันที่
 แยก) 227, ๒๔๒, 24๑
 โคนอกูเลชันที่ ๒4๑
 ป
 เจ็ม ๘๕
 จ
 จำนวนสิ่งแวดล้อม ๑5๑
 ป
 ชั้นกรรจากของคออลอยด์ ๒๐7
 ชั้นกลาง ๑1
 ชั้นจับน้ำ 31

- ชั้นดินเหนียว ๓7
 ชั้นผิวกลางของแอสเฟลต์ 144, 150
 ชั้นน้ำบนทราย 42
 ชั้นน้ำบนทราย 40
 ชั้นน้ำในรูรูกเสา ๖3
 ชั้นน้ำปากบ่ 42
 ชั้นน้ำประปรายบน 41
 ชั้นแรงดึงดูดอยู่ 31
 ชั้นผิวเก็บกักน้ำ ๖๔
 ชั้นดินเนื้อหยาบ ๖2
 ชั้นดินอุ้มน้ำ 32, ๖๐
- ก**
- ซัดเฟด 112
 ซากาโทเทมเฮอช 208, 209, 252, 257
 ซีก-ดีเคอร์ 257
- ข**
- แบบเครื่องควบในท่อ (Static Mixer) 261, 270
 -แบบเครื่องบด 262, 263, 270
 เซลเลนียม 116
 โซดาไฟ 187
 โซดาออส 189, 187, 249
 โซเดียมซัลเฟต (ผลึก) 100
 โซนสัมผัสดอากาศ 29, 31
 โซนชั้นผิวด้วยน้ำ 31, 32
 โซลคซัทส์ 220-222
 โซดาไนต์ ๑๘, 117
- ค**
- คอกเปียเปีย 71
 คับเพอช ๓7, ๑9
 คัดรเวชัน 127
 คัดรเวเคอร์ 137
 คัดรเวเคอร์แบบใช้ความร้อน 152, 163
 คัดรเวเคอร์แบบสูญญากาศ 158
 ไลอเนกามลอร์เรนซ์-ลาวเวด 170
 ไลอเนกาม Stability Diagram 222
- ด**
- ดะกรัน 105, 108
 ดะกรันหินปูน 123, 160
 ดะกรัว ๑๘, 117
- ด**
- ดังกาน้ำ 202, 230, 240, 279
 ดังกาน้ำแบบใช้หมันกักน้ำ 282-285
 ดังกาน้ำแบบใช้ใบพัด 276
 ดังกาน้ำเร็ว 201, 2๓0, 266
 ดังกาน้ำเร็วแบบต่าง ๆ 2๕5-262
- ด**
- แบบใช้ใบพัด 259
 -แบบใช้โรเตอร์ 259, 270
 -แบบใช้หลักการศาสตร์ 259
 -แบบใช้ Orifice 266, 270
 -แบบใช้ Hydraulic Jump 25๙

- ดึงตกตะกอนแบบโซลิดซ์จันท์แบบทอนท์
 332, 342-348
 -แบบมีซีเมนต์ลึคซ์ 349
 -แบบมีท่อหรือแผ่นตกตะกอน
 346, 347
 -แบบหมุนเวียนลึคซ์ 342, 345
 ดึงตกตะกอนแบบห่อ 309, 318-340
 ดึงตกตะกอนแบบธรรมา 332
 ดึงตกตะกอนแบบแผ่น 308, 328,
 336, 340
 ดึงตกตะกอนแบบไหลในแนวตั้ง 328
 ดึงตกตะกอนแบบไหลในแนวอนันต์ 322
 ดึงตกตะกอนแบบจุดบคที 297
 ดึงตกตะกอนแบบ Presedimentation
 322
 ดึงทอง 14
 ถ่านกระดูก 144
 ถ่านโค้ก 144
 ถ่านไม้ 144
- Π
- ทฤษฎีของการตกตะกอน 297-304
 ทฤษฎีโซลิดซ์ฟลัก 290
 ทฤษฎีแอสเวชันและดีฟิวชัน 331
 ทฤษฎี Electric Double Layer
 27
 ท่อน้ำจืดน้ำ 14
 ท่อตกตะกอน 340, 373
 ท่อขนาด 86, 108
- ทาน้ำเข้าของถังตกตะกอน 351, 364
 383, 388, 370
 ทาน้ำออกของถังตกตะกอน 351, 354,
 385, 382, 385, 388
 ติดทางบนถาวร 128
 หุ่นงาน 34
 ไทฟอยด์ 121
- II
- น้ำเค็มหรือน้ำกร่อย 40
 น้ำจากภูเขา 89, 86
 น้ำค่างู 7 88
 น้ำใต้ดิน 28
 น้ำในบรรยากาศ 17
 น้ำบาดาล 22
 น้ำบาดาลในฟิลิปปินส์ 22, 33, 34
 น้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพฯ 40
 น้ำบาดาลปราศจากความเค็ม 36
 น้ำบาดาลปลอม 28, 39, 40
 น้ำประปาภายในอาคาร 177
 น้ำสีวุ้น 20
 น้ำฝน 18, 20, 25, 28
 น้ำหยาบ 39
 น้ำแข็งหย่อมน้ำ 152
 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 86, 88
 น้ำไหลนอง 24, 29, 34, 36
 นิเคิล 88
 ไนโตรเจนระหว่างแบบบีเพ็ชเชอร์และซีเพชเชอร์
 172
 ไนเตรต 88

ในเขตรอบและในโครง 110

U

บริเวณเกษตรกรรม 88

พื้นที่ 100

แบบเริ่ม 116

ใบรอน 116

ใบพัดแบบเพลาโยน 256, 288, 260

ใบพัดแบบใบพัดเรือหรือพัดลม 258,

268, 260

ใบพัดแบบใบพายหรือใบหมุน 258,

268, 260

ใบคาร์บอนเนต 104

U

ปฏิทินปริมาณของเฟรซซัดเฟด 244, 245

ปฏิทินปริมาณของสารส้มในน้ำ 220, 247,
244

ปฏิทินปริมาณระหว่างสารส้มและค่า 243,
244

ปฏิทินปริมาณระหว่างเฟรซซัดเฟดและ
คลอรีน 245

ปฏิทินปริมาณระหว่างเฟรซซัดเฟดและ
ปูนขาว 244

ปฏิทินปริมาณระหว่างแมกนีเซียมคาร์บอเนต
และปูนขาว 245

ปรอท 88

ประจุไฟฟ้าของคลอรีน 204

ประจุค่า 58, 72

ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคความขุ่น

288, 310, 315

ประสิทธิภาพหรือความจำเป็นในการผสม

228, 233

ประเภทของการใช้ผ้า 81

ประเภทของการลดทอน 295, 298

-การลดทอนแบบโพล 295, 297,
307

-การลดทอนแบบแบบขึ้น 295, 301

-การลดทอนแบบมีจุดประศ 303,
304

-การลดทอนแบบรวมกลุ่ม 295,

300, 308

-การลดทอนแบบอัสกีว 295, 309

ปริมาณน้ำดิบ 69

ปริมาณฝนทิ้งปี 23, 24

ปริมาณสารละลาย 83

ปากทางน้ำเข้า 86

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้ผ้า 80

ปูนขาว 167, 189, 243, 244, 245

จุดเฟรซเฟด 132

U

หน่วยฟลอก (MBAS) 88, 131

คลอรีน เทมีอว 204

แผนผังความสัมพันธ์ของผ้าใช้ดิบ 38

แผ่นขวางน้ำ 143

แผ่นลดทอน 304

แผ่นน้ำดิบของถังลดทอน 388

ค

หลักสูตรมาตรฐานของทบวงพลศึกษา ๒๐๒
 คลังงานในการทอผ้า ๒๑๔, ๒๑๖,
 ๒๑๗
 คีโอส 104, 157, 160
 คณิตศาสตร์ของอังกฤษตอน ๓๐1, ๓๐๒
 คณิตศาสตร์ฉบับนำฝน ๒๐, ๒๔, ๒๕, ๔๑
 -รูปใบเสวียน ๕๔
 -รูปพีค ๕๔
 คณิตศาสตร์บริการประชาชน ๗๕
 คณิตศาสตร์เกี่ยวกับน้ำ ๕๑, ๕๔
 โคลัมเบีย (โพลีเทคนิคโคโลเรียล) ๒๒1,
 ๒๒๗, ๒๒๘, ๒๔๖
 -โคลัมเบียฉบับแรก ๒๔๑, ๒๔๗,
 -โคลัมเบียฉบับปรับปรุง ๒๔๕, ๒๔๗
 -โคลัมเบียฉบับใหม่ ๒๔๖, ๒๔๗

ค

คลังบท 1๐๖
 คลังบทคู่มือ ๒๐1, ๒๒๖, ๒๗๕
 คลังบทคู่มือฉบับแก้ไข (ฉบับแก้ไข) ๒๒1,
 ๒๒๗, ๒๗๖
 คลังบทคู่มือฉบับแก้ไข (ฉบับแก้ไข) ๒๒๐,
 ๒๒๖, ๒๗๖
 คลังบทคู่มือฉบับแก้ไข ๒๔๒
 คลังบทคู่มือฉบับแก้ไข ๒๔๒
 ฟอร์ด ๑๑๑
 ฟอร์ด ๑๑, 11๒

คีนอน ๑๑, 11๑
 เฟรชพอดไรต์ 11๐
 เฟรชไฮคาร์บอนแบด 11๐
 เฟรชซีดเฟด 110, ๒๔๔, ๒๔๕
 เฟรชคอลลอร์ ๒1๑, ๒๔๒, ๒๔๔, ๒๔๕
 เฟรชซีดเฟด P1R
 เฟรชไฮคาร์บอน ๒๔๕

ค

คณิตศาสตร์ ๑1, ๑๓
 มาตรฐานน้ำใช้เพื่อกิจกาต่าง ๆ ๑๓
 มาตรฐานน้ำดื่ม
 -สหรัฐอเมริกา ๑๔
 -องค์การอนามัยโลก ๑๖
 มาตรฐานน้ำดื่ม
 -การประปาส่วนกลาง ๑๑, ๑๗
 -องค์การอนามัยโลก ๑๑, ๑๖
 มาตรฐานน้ำบริสุทธิ์ 1๐๐
 มาตรฐานน้ำดื่มเหมือนน้ำ ๑๓
 มีเดียของแบคทีเรีย 1๔๔, 15๐
 มีเทน 12๑
 เมกนีเซียม 1๐๖
 เมกนีเซียมคาร์บอเนตและรูปอื่นๆ ๒๔๕
 เมกนีเซียม 111
 ไม้คอกของคอกคอก ๑๔๐, ๑๗๑
 ย
 ยาฆ่าแมลง 1๐, ๑๑
 ยาฆ่าแมลงศัตรูพืช 11๖

ยาปราบวัชพืช 119
ไฮซีโอกา 225
ไฮลีน 228

8

ระดับเพลิง 14
ระดับความกระต้าง 106
ระดับความบริสุทธิ์ของน้ำ 100, 101
ระดับน้ำใต้ดิน 29, 35, 38
ระดับพีเอชที่แนะนำ 138
ระบบหลั่งน้ำ 12
ระบบคอลลอยด์แบบต่าง ๆ 203
ระบบแจกจ่ายน้ำ 14
ระบบกรองน้ำ 12
ระบบกำจัดความสะอาดน้ำประปา 8, 12
ระบบปรีซิเอชให้กับน้ำ 183
-ระบบต่อเนื่อง 183
-ระบบแยกเฟส 183
-ระบบยึดในยัติ 185
วางน้ำคั้นของสิ่งตกตะกอน 283-270
รายการวิเคราะห์น้ำ 82
เรย์โมดัมเบอส์ 302
แบรินริม 112
มาตรฐานที่วัด 140
แรงดึงดูดและแรงผลักของคอลลอยด์ 210
แรงระหว่างคอลลอยด์ 210
โรคทางเดินอาหาร 121
โรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อ 121
โรคมาเรอ 112, 228

โรงงานอุตสาหกรรม 80
โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ 82
โรงซักผ้าระบบครัด 49

9

ค่าได้ 121
คู่มือฝึกหัด 32
โลหะหนัก 9, 10, 88
ฎ
วิจัยทางน้ำ 18
วัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ 23, 81
วิธีการจัดการอินทรีย์ 8
วิธีแก้ไขและป้องกันการไหลล้นท่ 364
วิธีของไฮซีโอกา 225
วิธีจาร์เจสส์ 259, 267
วิธีถ่ายถอดออกซิเจนจากอากาศไปสู่น้ำ
199
วิธีดักจับสิ่งของรบกวนน้ำฝน 28
เวลาการหรือผสมของสิ่งกวนเร็ว 264,
268, 269, 277
เวลาที่กักน้ำของสิ่งกวนเร็ว 264, 268,
269, 277
เวลาพักน้ำของสิ่งตกตะกอน 261, 262,
264, 268
เวลาสัมผัส 135, 136
ฝ
ศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ 207
-Nernst Potential 207
-Stern Potential 207

๘

สภาพที่ตั้งอย่างเกินน้ำ ๕๐
 สถิติน้ำฝน ๕๒, ๕๓, ๕๕
 สถิติสภาพของกบดเบสส์ ๒๐๑, ๒๐๒,
 ๒๐๔, ๒๐๖
 สภาพไฟฟ้า ๒๐๖
 สถป.ของการเคหะอันอำมาตย์
 (K_L a) ๑๖๐
 สถป.ของการไหลของ ๒๕, ๒๗
 สถป.ของความแห้ง
 (Dry Coefficient) ๒๐๗
 สถป.ของแบริเตอร์แบบซาค ๑๔๕
 สภาพอากาศ ๕๐
 สภาพระดับน้ำด้วยสินปูน ๑๗๒
 ค่าแปรปรวนของโคลนยกสูงและชัน ๒๔๐
 สังกะสี ๕๕, ๑๑๖
 การเคมีสำหรับปรับสีของน้ำ ๑๕๗
 การที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต ๑๑๔
 การที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต ๑๐๔
 การพิษ ๕๕
 การคิดจากน้ำเสียของโรงงาน
 อุตสาหกรรม ๕๕
 การชะล้างน้ำแข็งหยด [TDS] ๑๑๒
 การไหลและไหล ๑๒๗
 การสี ๑๐๗, ๒๑๑, ๒๔๒, ๒๔๖,
 ๒๔๘
 การหมุน ๕๖, ๕๕, ๑๑๕
 การอินทรีย์เคมี ๑๐

สารอินทรีย์สังเคราะห์ที่เป็นพิษ
 (PCD, DDT) ๒๔๐

สถิติจรรยา ๒๔๐, ๒๔๔, ๒๕๐
 เส้นสายของเขต ๑๖

H

เคมีของไนโตรเจน ๑๑๕
 ทฤษฎีเกณฑ์ในการออกแบบถังคอกคอก
 ๓๔๑-๓๕๕
 ความถี่ของคลื่น ๑๕๗, ๒๕๖-๒๕๘
 เหมือง ๑๑๐
 เหมืองและเหมืองถ่านหิน ๕๑, ๕๕
 แหล่งน้ำเค็ม ๑๗
 แหล่งน้ำจืดผิวดิน ๑๗
 แหล่งน้ำจืด ๔, ๑๗, ๑๕, ๔๗
 แหล่งน้ำใต้ดิน ๑๗
 หัวฉีด ๑๑๐, ๑๑๑
 หัวฉีดลม ๑๔๐
 หิน ๑๒๑
 หินก่อสร้าง ๑๔๔
 หินกึ่งหิน ๑๑, ๑๑
 หินปูน ๑๔๕
 หินร่วน ๑๑
 หินอุ้มน้ำกึ่งแข็ง ๑๑
 หินอุ้มน้ำอิสระ ๑๗, ๑๑
 หุ่นเขร ๑๔
 ฮีต ๑๐๗, ๑๐๘
 ฮีตอินทรีย์เคมี ๑๐๗

๑

- อศิวาตกรโรค 121
 ออกซิเจน 114, 127
 ออกซิเจนและธาตุน้ำ ๘3
 อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคล ๘๐
 อัตราการระเหย 23, ๘4, 4๘
 อัตราน้ำดื่มของเบียร์ (Water Loading Rate) 3๘7, 3๘๘
 อัตราน้ำดื่มสัตว์ของทั้งคอกคละกอม 377, 378
 อัตราน้ำดื่มสัตว์ของคอกคละกอม ๑๘๐, 35๐, 3๘2, 3๘๑, 377, 378
 อัตราเร็วของการตกตะกอนแบบต่าง ๆ 307-310
 อัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถึงคอกคละกอม 3๘4, 3๘๕
 อัตราเร็วในภาจคอกคละกอมของสารต่าง ๆ 2๐๐
 อัตราเร็วในการตกตะกอนเจือมัน 3๐3, 321
 อากาศการใช้งาน ๘๐, 71
 - เชื้อย 71
 - ก่อได้ก 72
 - ก่อใหญ่ 72
 - บ่ออากาศ 7๑
 - ระบบท่อจ่ายน้ำ 72
 - โรงคอกของน้ำ 72
 - อุโมงค์ส่งน้ำ 71
 อากาศการใช้งานของระบบ ๘๑, 71
 อ่างเก็บน้ำ 47, 4๘
 อ่างเก็บน้ำสำหรับ 14
 อ่างเก็บน้ำหรือหอคอย ๘๘
 อินฟูเซนท์สกริม 37
 เอนเทอร์ริกไทเจน 121, 12๑
 นอเวชัน 127
 นอเวเตอร์ 137
 นอเวเตอร์แบบใช้ความร้อน 1๕1
 นอเวเตอร์แบบถาก 141
 นอเวเตอร์แบบน้ำตก 1๑7
 นอเวเตอร์แบบบันได 141
 นอเวเตอร์แบบโปรยน้ำ 1๒6, 1๒๘
 นอเวเตอร์แบบพื้นเขียง 141
 นอเวเตอร์แบบพ่องอากาศ 1๒7, 14๘, 147, 148
 นอเวเตอร์แบบหอคอย 144
 นอร์มัลเว็คเค็ดซิวิตี ๒๒7, 24๘
 นอเวเบิธ 1๐7, 1๐๘, 1๐๘
- จ**
- เจตของสัตว์ 14๐
 ไซโครอไซค์ 1๐4
 ไซโครเจนซีไฟต์ 114
 ไซโครเจนไซอานด์ 117

เขียนพิมพ์
๑180.-

หนังสือชุดที่แปลและเรียบเรียงโดย ดร.มันสิน ตันฑุลเวศม์

1. การปรุงแต่งคุณภาพน้ำสำหรับระบบหม้อไอน้ำ ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบประปาในอาคาร
หนังสือเล่มนี้กล่าวถึง ประโยชน์ของการปรุงแต่งน้ำ ปัญหาและวิธีแก้ ปัญหาที่เกิดจากการใช้น้ำในระบบต่าง ๆ ตลอดจนวิธีเติมสารเคมีเพื่อ ปรุงแต่งน้ำ
2. การออกแบบขั้นขบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา
 - เล่มที่ 1 **ความรู้พื้นฐาน** เป็นกรทบทวนความรู้ทางวิศวกรรมเคมี จุลชีววิทยา และชีวเคมีในขั้นที่จำเป็นสำหรับวิศวกรสิ่งแวดล้อม
 - เล่มที่ 2 **โมเดลทางจลน์ศาสตร์** กล่าวถึงการนำเอางานวิจัยและแนวความคิด ของนักวิทยาศาสตร์ชีวภาพ มารวมกับแนวความคิดของวิศวกรให้เป็น รูปแบบที่วิศวกรสิ่งแวดล้อมสามารถเข้าใจและนำไปใช้ได้
 - เล่มที่ 3 **การออกแบบ** กล่าวถึงการพัฒนาวิธีออกแบบขั้นขบวนการของระบบ กำจัดน้ำเสียแบบต่าง ๆ จากโมเดลทางจลน์ศาสตร์ที่บรรยายในเล่มที่ 2
3. วิศวกรรมการประปา
 - เล่มที่ 1 **แหล่งน้ำดิบ, การเก็บตักน้ำดิบ, การคำนวณปริมาณน้ำดิบ, คุณภาพ และมาตรฐานของน้ำ, แอโรชันและดีแอโรชัน, การปรับพีเอช, โคลนแอก กูเลชัน, การตกตะกอน**
 - เล่มที่ 2 **การกรอง, การแลกเปลี่ยนไอออน, การกูดติดผิว, การฆ่าเชื้อโรคและ ฟลูออไรเดชัน, ขบวนการถนอมเบน, การกำจัดความกระด้าง, การกำจัด เมือกและแมงกานีส**