



บทที่ 3

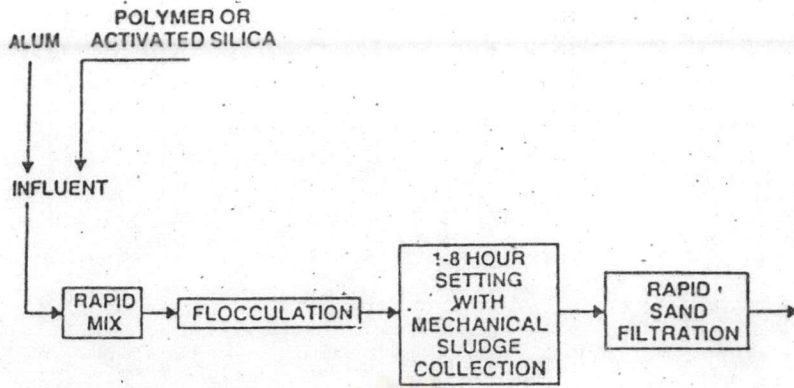
บททวนเอกสาร

3.1 ทฤษฎีการกรองโดยตรง

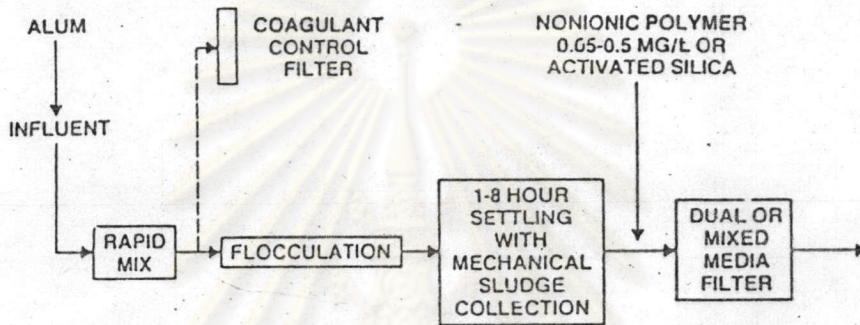
ระบบผลิตน้ำประปาแบบกรองโดยตรง เป็นระบบที่ไม่มีกระบวนการตกตะกอนก่อนเข้าเครื่องกรอง แต่โดยทั่วไปมักมีการเติมสารเคมีให้กับน้ำดิบในขั้นตอนการทวนเร็วและอาจมีขั้นตอนการทวนช้าหรือไม่ก็ได้ ดังรูปที่ 3.1

โดยแท้จริงแล้ว ระบบการกรองโดยตรงมิได้เป็นแนวความคิดใหม่อันใด Culp(2) รายงานว่าได้เริ่มมีการใช้ระบบนี้ครั้งแรกเมื่อประมาณต้นคริสต์ศตวรรษที่ 19 แต่ความพยายามนี้ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากเกิดการอุดตันอย่างรวดเร็วของชั้นกรองทราย แต่ภายหลังได้มีการพัฒนาใช้เครื่องกรองแบบหลายชั้นกรองที่มีการเรียงตัวของขนาดของสารกรอง แบบหยาบ - ละเอียด (coarse-to-fine filter) ทำให้มีช่องว่างภายในชั้นกรองสำหรับการเก็บกักสูงชัน ช่วยลดปัญหาการอุดตันดังกล่าวลงได้ ในปี ค.ศ. 1964 จึงมีการนำระบบนี้กลับมาใช้อีกครั้งในโรงกรองน้ำของเมืองโตรอนโต สหรัฐอเมริกา(3)(4) ซึ่งสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้มีการใช้ระบบนี้กันแพร่หลายมากยิ่งขึ้นทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก

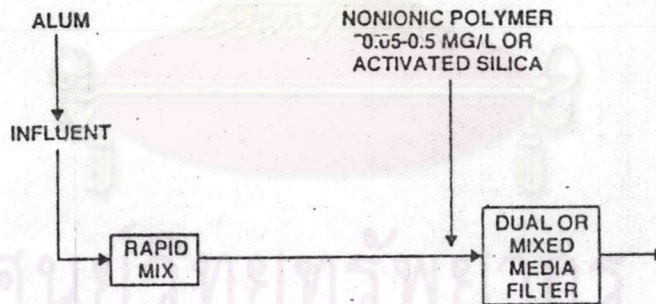
โดยทั่วไป ขั้นตอนแรกๆของระบบผลิตน้ำประปาคือการเติมสารเคมีเพื่อทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ เมื่ออนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเกิดการชนกันก็จะจับตัวกัน โดยที่อัตราการรวมตัวกันของอนุภาคเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับโอกาสสัมผัส ซึ่งในระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไปใช้ถึงทวนช้าในการสร้างโอกาสสัมผัสและรวมตัวกันของอนุภาคจะมีขนาดใหญ่ สามารถตกตะกอนได้ง่ายขึ้น แต่ในระบบผลิตน้ำประปาแบบกรองโดยตรงซึ่งไม่มีขั้นตอนการตกตะกอนจะนำน้ำที่เติมสารเคมีแล้ว ผ่านเข้าสู่ชั้นกรองของเครื่องกรองโดยตรง ชั้นกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสและยังบังคับให้อนุภาคต่างๆเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย นั่นคือจะเกิดการชนสัมผัสและเกาะติดกันระหว่างอนุภาคกับอนุภาค และอนุภาคกับเม็ดสารกรอง แล้วติดค้างอยู่ภายในชั้นของสารกรอง การใช้เครื่องกรองช่วยสร้างฟล็อกคูเลชัน (flocculation) ดังกล่าวนี้นี้ เรียกว่า การกรองสัมผัส (contact



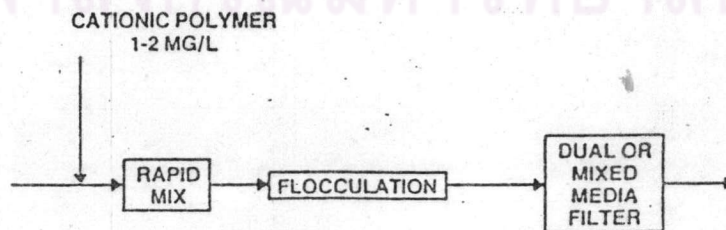
Conventional Filtration Plant Design.



Conventional Filtration Plant Design Incorporating a Coagulant Control Filter and Using Dual- or Mixed-Media Filtration.



Direct Filtration Plant Design Using Rapid Mix Alone Preceding Dual- or Mixed-Media Filtration.



Direct Filtration Plant Design Adding Flocculation to Rapid Mix Preceding Dual- or Mixed-Media Filtration.

รูปที่ 3.1 ระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป และแบบกรองโดยตรง

flocculation-filtration) (5) (6) แต่เนื่องจากช่องว่างภายในชั้นกรองมีจำกัด การใช้งานจึงถูกจำกัดด้วยความเข้มข้นของสารแขวนลอยในน้ำดิบไปในตัว นั่นคือ ระบบการกรองโดยตรงเหมาะสำหรับน้ำดิบที่มีปริมาณสารแขวนลอยต่ำเท่านั้น ถ้าปริมาณสารแขวนลอยสูงก็ย่อมหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องใช้ระบบแบบทั่วไปที่มีการตกตะกอน

พิจารณากลไกดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่า ประสิทธิภาพของกลไกขึ้นอยู่กับโอกาสสัมผัสซึ่งแปรผกผันกับขนาดของเม็ดสารกรอง กล่าวคือเม็ดสารกรองขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรสำหรับการสัมผัสและเกาะจับสูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง แต่ในขณะเดียวกันเม็ดสารกรองขนาดเล็กก็มีช่องว่างในชั้นกรองสำหรับการเก็บกักต่ำ จึงมีระดับการอุดตันสูง และอายุการกรองต่ำ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องเลือกใช้เม็ดสารกรองให้มีขนาดที่เหมาะสม สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพได้ ในขณะที่อัตราการสูญเสียเฮดไม่สูงเกินไป ด้วยเหตุนี้เครื่องกรองแบบหลายชั้นกรองจึงเข้ามามีบทบาทอย่างมากในระบบการกรองโดยตรง

3.2 กระบวนการในระบบการกรองโดยตรง

ระบบการกรองโดยตรงประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ 2 กระบวนการต่อเนื่องกัน คือกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการกรอง

3.2.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

กระบวนการโคแอกกูเลชันมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ขั้นตอนได้แก่ การกวนเร็วและการกวนช้า

3.2.1.1 การกวนเร็ว

ขั้นตอนการกวนเร็วนี้มีหน้าที่ในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์โดยการเติมสารโคแอกกูแลนต์ภายใต้สภาพที่น้ำมีความปั่นป่วนอย่างรุนแรง Kawamura(7) รายงานว่าแฟคเตอร์ที่สำคัญที่สุดสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันก็คือ ชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ (coagulant) และโคแอกกูแลนต์ เอ็ด (coagulant aid) ที่ใช้ และในปัจจุบันเกลืออลูมิเนียม (aluminum salt) ยังคงใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด ซึ่งโคแอกกูเลชันของ

เกลืออลูมิเนียมจะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของเกลือในน้ำดิบ พีเอช อุณหภูมิ ชนิดและขนาดของอนุภาค การกวนผสมและความเข้มข้นของสาร โคแอกกูแลนต์ แต่ปัญหาหนึ่งที่พบเมื่อใช้เกลืออลูมิเนียมกับระบบ การกรองโดยตรงก็คือ การรั่วของความขุ่นหรือเบรคธรู (breakthrough) จะเกิดเร็วขึ้นเมื่อใช้ ปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์สูงขึ้น Kawamura ได้กล่าวถึงข้อดีของการใช้ โพลีเมอร์ (polymers) เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ ว่าสามารถใช้สาร โคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่น้อยลง เกิดสลัดจ์ (sludge) น้อย และสลัดจ์ก็สามารถแยกน้ำออกได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังลดปัญหาเรื่องการปรับพีเอช และความ เป็นด่าง (alkalinity) แต่อาจพบปัญหาอยู่บ้าง ในกรณีที่ใช้สาร โพลีเมอร์ประจุบวกเป็นสาร โคแอกกูแลนต์ นั้นคืออาจ ได้น้ำที่มีคุณภาพต่ำลง

Breland & Cleasby (8) รายงานว่า ปริมาณสารส้ม 5-10 มก/ล สามารถใช้ในการกำจัดความขุ่นสำหรับระบบการกรอง โดยตรง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ อาจต้อง ใช้ ในปริมาณที่สูงขึ้นถ้า ใช้กับน้ำทึบสี และถ้าใช้ โพลีเมอร์เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ อาจ ใช้ใน ช่วงปริมาณ 0.05-1.0 มก/ล หรืออาจน้อยกว่านี้ ถ้าใช้ร่วมกับสารส้ม ในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อน ด้วยสารอินทรีย์

3.2.1.2 การกวนช้า

ขั้นตอนการกวนช้า เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลาย เสถียรภาพแล้ว มีโอกาสสัมผัสและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งขั้นตอนนี้ยังมีข้อขัดแย้งกันอยู่ อย่าง มากในกลุ่มนักวิชาการ Culp(2) รายงานว่าระบบการกรอง โดยตรงสามารถตัดขั้นตอนการกวน ช้าลง ได้ โดย ไม่มีผลกระทบต่อการกระบวนการอื่น ๆ ในระบบแต่อย่างใด Adin & Rebhun(5) ได้ ทดสอบ ให้เห็นว่า ระบบการกรอง โดยตรงสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดี ได้ถึงแม้จะ ไม่มีหน่วยการกวน ช้าก็ตาม แต่ Monsvitz et. al.(9) และ Treweek(10) รายงานว่าหน่วยการกวนช้าเป็น สิ่งจำเป็นสำหรับระบบการกรอง โดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพตามต้องการ ได้ ซึ่ง ขัดแย้งกัน โดยสิ้นเชิง หรือแม้แต่ระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนช้าสำหรับระบบการกรอง โดย ตรงที่ทำการวิจัยกันมาก็ยัง ได้ผลการวิจัยที่แตกต่างกัน Hutchison(11) รายงานว่าระยะเวลา กวนช้าที่มากกว่า 4.5 นาที จะเพิ่มโอกาสเบรคธรูของความขุ่น Sweeney & Prendiville (12) รายงานว่าระยะเวลาการกวนช้าควรอยู่ในช่วง 10 นาที ระหว่างฤดูร้อนถึง 30 นาที ระหว่าง ฤดูหนาว Hutchison & Foley(3) รายงานว่าระยะเวลาการกวนช้าควรมากกว่า 3.5 นาที เพื่อป้องกัน Afterfloc formation แต่น้อยกว่า 10 นาที เพื่อป้องกันมิให้เกิดเบรคธรู และ

การสูญเสียเฮดเร็วจนเกินไป Tate et. al. (13) รายงานว่าการเพิ่มระยะเวลาในการกวน
 ช้ำ ระหว่าง 13 ถึง 26 นาที ไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำที่ผลิตได้ นอกจากนี้ Treweek (10) พบว่า
 ที่ความเร็วแรงแตรเดียนต์ 100 วินาที^{-1} ระยะเวลาการกวนช้ำที่น้อยกว่า 7 นาทีไม่เพียงพอสำหรับการ
 รวมตัวของอนุภาคความขุ่นภายในชั้นสารกรอง สรุปโดยทั่วไปก็คือ นักวิชาการหลายๆท่านมีความ
 คิดเห็นแตกต่างกันอย่างมากในเรื่องที่ว่า ระบบการกรองโดยตรงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการกวนช้ำ
 หรือไม่ หรือแม้แต่ระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนช้ำก็แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

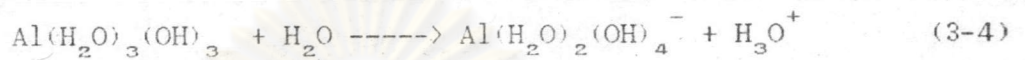
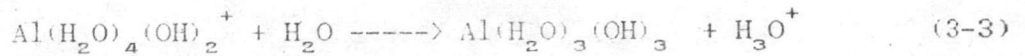
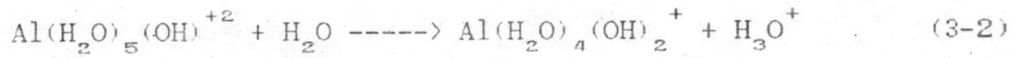
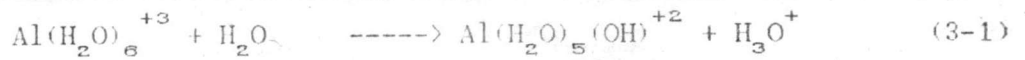
3.2.2 กระบวนการกรอง

กระบวนการกรองเป็นขั้นตอนสำคัญในการทำความสะอาดน้ำโดยเครื่องกรอง
 จะทำหน้าที่เก็บกักฟลูอิด หรือสารแขวนลอยที่ถูกทำลายเสียสภาพแล้วไว้ในชั้นกรองด้วยกลไก
 ทางกายภาพ และเคมี ดังนั้นสารแขวนลอยต่างๆ อาทิเช่น ตะกอนเบา ดินตะกอน ดินเหนียว
 ตะกอนของเหล็กและแมงกานีส อนุภาคคอลลอยด์ สำหรับรวมทั้งแบคทีเรีย จะถูกกักอยู่ในหน่วยนี้
 ดังนั้นน้ำที่ผ่านการกรองจึงนับได้ว่าเป็นน้ำที่มีความสะอาดทางกายภาพเกือบสมบูรณ์

กระบวนการกรองจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการทำงานที่ต่อเนื่องกัน 2 ขั้นตอน
 คือขั้นตอนการเคลื่อนย้าย และขั้นตอนการจับสารแขวนลอย ซึ่งการทำงานดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ดี
 เพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับ การเตรียมน้ำก่อนกรองหรือกระบวนการโคแอกกูเลชันดังกล่าวมาแล้ว นอก
 จากนี้ยังจำเป็นต้องอย่างยิ่งในการเลือกใช้ ชนิด และรูปแบบของเครื่องกรอง ขนาดและความหนา
 ของสารกรอง รวมทั้งอัตราการกรองและการล้างย้อน เพื่อให้เกิดการกรองที่เหมาะสมสามารถ
 ผลิตน้ำที่มีคุณภาพดี และมีระยะเวลาการกรองที่ยาวนานพอเพียง

3.3 เคมีของสารส้มในน้ำ

สารส้มเป็นสารเคมีที่มีบทบาทในกระบวนการโคแอกกูเลชัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของ
 สารส้มเมื่ออยู่ในน้ำ สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีแตกตัวได้อิออนประจุลบ และบวก ไอออนบวกจะ
 ทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารประกอบ $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$ ซึ่งเรียกสารประกอบนี้ว่า Aquametal ion
 สารประกอบดังกล่าวนี้จะมีคุณสมบัติเป็นกรดที่ไร้เสถียรภาพพร้อมที่จะให้ไอออนบวกของไฮโดรเจน
 (H^+) แก่น้ำ ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า Monomeric hydroxo complex ต่างๆ
 ดังสมการ

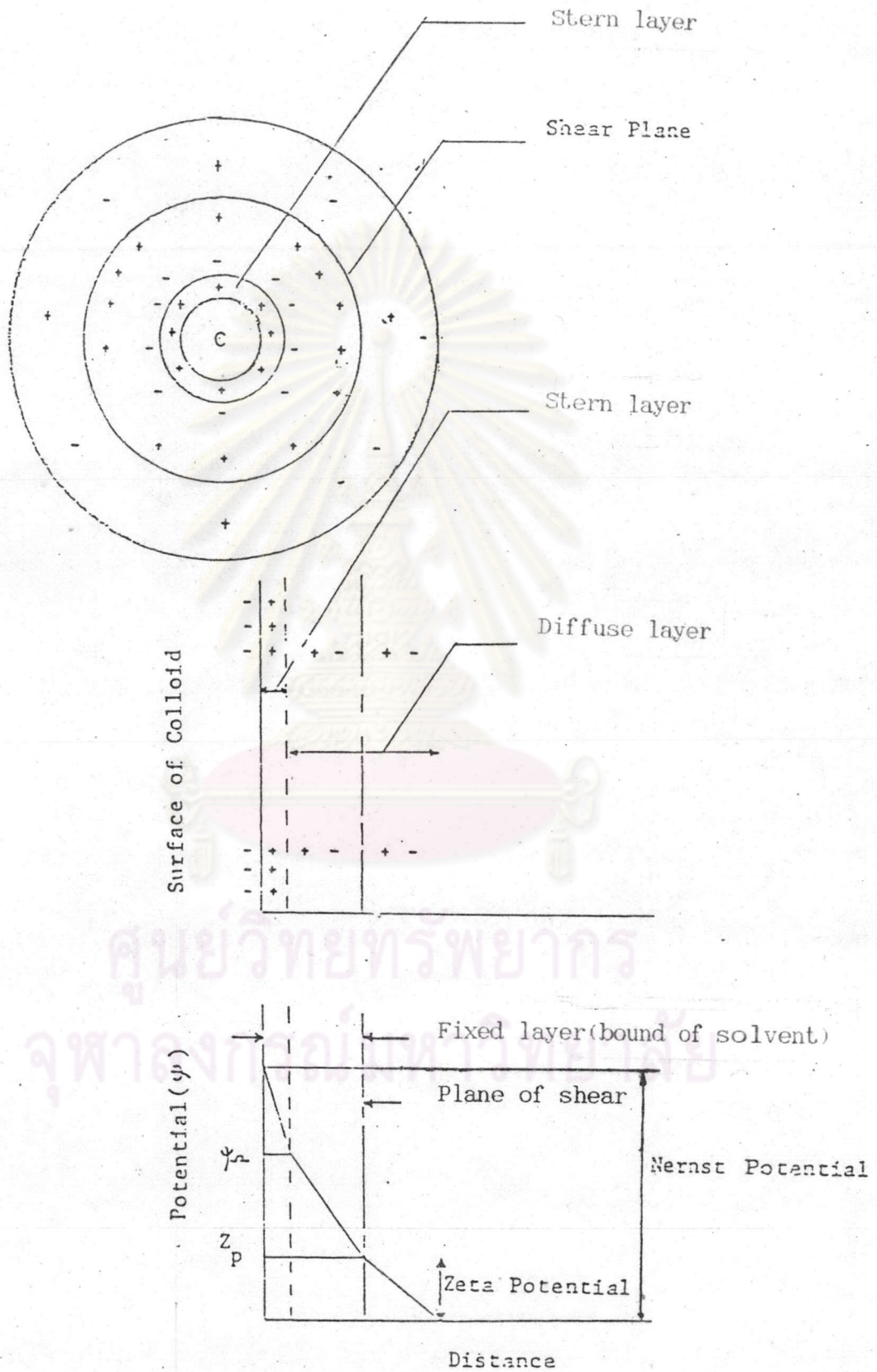


ในสมการ (3-1) - (3-4) ปฏิกิริยาและชนิดของสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารส้มและพีเอช ปริมาณของสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมมูลย์เคมีของสารส้มในน้ำ รายละเอียดสามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 14 และ 15

นักวิจัยหลายท่าน ได้แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างปฏิกิริยาเคมี และสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มพร้อมทั้งผลการทดลองที่สนับสนุนสมมุติฐานของปฏิกิริยาที่กล่าวมาแล้วนี้ Singley (16) ได้เสนอแนะไว้ว่าสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะอยู่ในรูปประจุบวกในช่วงพีเอชเป็นกรด และในรูปประจุลบในช่วงพีเอชเป็นด่าง

โดยทั่วไป สารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกจะดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุลบทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวอนุภาคคอลลอยด์ (nernst potential) ลดลง และอาจตกลงจนไม่มีค่าประจุลบเหลืออยู่ก็ได้ แต่โดยทั่วไปแล้วเชื่อว่า ไอออนบวกของสารประกอบ Al^{+3} จะไม่สามารถสัมผัสโดยตรงกับผิวอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้ เนื่องจากอนุภาคของน้ำที่ยึดเกาะหนาเป็นแผ่นฟิล์มล้อมรอบอนุภาคที่เรียกว่า Stern layer และมีศักย์ไฟฟ้าเป็น Stern potential (14) ดูรูปที่ 3.2

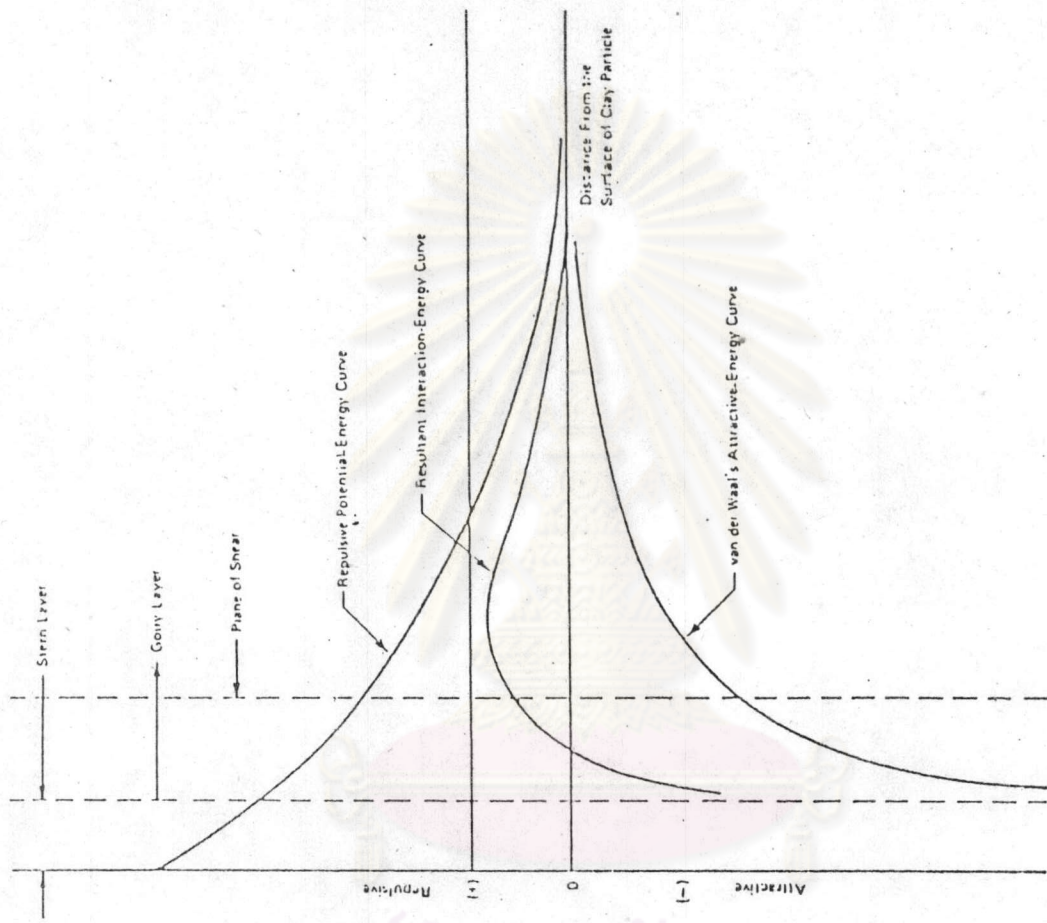
ในทางปฏิบัติ ศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์จะวัดในรูปของค่า Zeta potential (Z_p) ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าที่ผิวออกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ โดยที่ผิวออกนี้เรียกว่า Plane of shear และอยู่ในชั้นกระจาย (diffuse layer) ค่า Z_p นี้สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงปริมาณศักย์ไฟฟ้าบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ ถ้า Z_p สูง แสดงว่าอนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพมาก ทำให้การรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ เป็นไปได้ยากกว่าอนุภาคคอลลอยด์ที่มีระดับ Z_p ต่ำ



รูปที่ 3.2 ลักษณะของการเกิดขึ้นของไฮออนที่ผิวอนุภาคคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิด คือ แรงแวนเดอร์ วาลส์ (vander waals force) ซึ่งเป็นแรงตามธรรมชาติของอนุภาคที่ดึงดูดซึ่งกันและกัน และแรงผลักเนื่องจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน บทบาทของแรงทั้งสองชนิดที่มีผลต่อเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 จากรูปจะเห็นว่าอิทธิพลของแรงดึงดูด Vander waals จะมีผลต่อเมื่ออนุภาคเข้าใกล้กันมากๆ เพราะฉะนั้นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าสูงหรืออยู่ในน้ำที่มีความเข้มข้นของไอออนต่ำ มีชั้นกระจายหยาบ ก็มีแรงผลักสูงจนทำให้อิทธิพลของแรงดูดไม่สามารถแสดงออกมาได้ อนุภาคคอลลอยด์ในสภาวะดังกล่าว จะมีเสถียรภาพมาก เกาะยึดรวมเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนเพียงลำพังได้ยาก (14)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 พลังงานระหว่างอนุภาคโคลอยด์

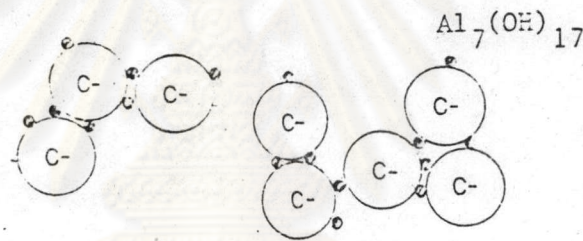
ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม

ปฏิกิริยาเคมีของสารส้มในน้ำทำให้เกิดกลไกของการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

3.4.1 กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption-Destabilization)

กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ เกิดขึ้นจากอิทธิพลของสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มในช่วงพีเอชที่มีสภาพเป็นกรด เสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์จะถูกทำลายโดยสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มที่มีประจุตรงข้าม (ดูรูปที่ 3.4)

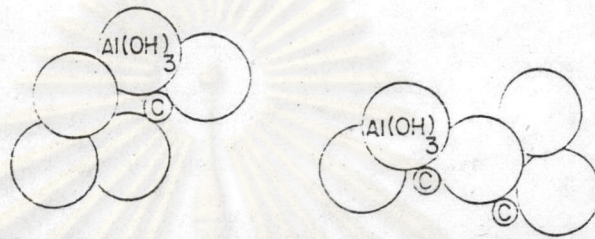


รูปที่ 3.4 กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิว และทำลายประจุ

กลไกการทำลายเสถียรภาพด้วยสารส้มแบบดูดติดผิว และทำลายประจุเป็นกลไกที่มีประโยชน์มาก ทั้งนี้เนื่องจากใช้ปริมาณสารส้มต่ำ ตะกอนน้อยมีความหนาแน่นสูงและแยกออกจากน้ำได้ง่าย ช่วยลดต้นทุนในการกำจัดความขุ่น แต่การสร้างสภาวะที่เหมาะสมสำหรับควบคุมกลไกดังกล่าวให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์นั้นก็ไม่ใช่ว่าเรื่องง่าย

3.4.2 กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation)

กลไกการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบกวาดของสารส้มเกิดขึ้นเมื่อเติมปริมาณสารส้มลงในน้ำจนเกิดผลึกของ $Al(OH)_3$ ที่มีลักษณะเหนียว สามารถเป็นที่ยึดเกาะและห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์จนทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่สามารถแสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า (ดูรูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 กลไกการทำลายเสถียรภาพแบบกวาด

กระบวนการโคแอกกูเลชันที่พบเสมอในระบบผลิตน้ำประปา มักจะอยู่ในประเภทดังกล่าวนี้เพราะเป็นกลไกที่เกิดขึ้นได้ง่าย เพียงแต่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มที่สูงพอและสภาพความเป็นด่างของน้ำดิบที่เหมาะสม ตะกอนจะเกิดขึ้นมาก และยากต่อการแยกออกจากน้ำ ดังนั้นต้นทุนในการกำจัดความขุ่นจึงสูงกว่ากลไกแบบแรก

3.4.3 กลไกแบบผสม (Combine Coagulation)

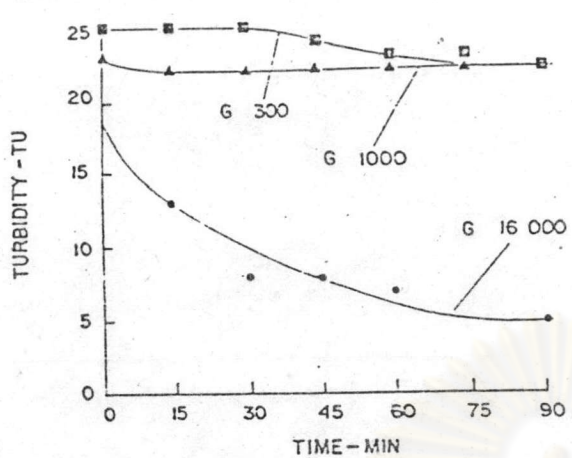
เป็นกลไกทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่าง กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ และแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองไม่เด่นชัด สภาวะดังกล่าวจัดว่าเป็นกลไกแบบผสมซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มและพีเอชของน้ำดิบภายหลังการทำลายเสถียรภาพสูงกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะ ใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกแบบกวาด

3.5 พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน

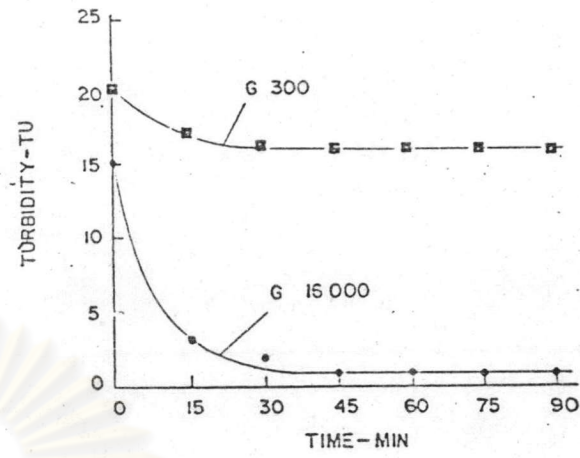
3.5.1 ความเร็วเกรเดียนต์ (Velocity Gradients)

ความเร็วเกรเดียนต์ 'G' หมายถึงความปั่นป่วนของน้ำ การกวนเร็วจะต้องมีระดับ G สูงมาก ทั้งนี้เพื่อให้การผสมระหว่างสารเคมี น้ำและอนุภาคคอลลอยด์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและพร้อมกันทุกจุด ส่วนการกวนช้าจะมีระดับความปั่นป่วนต่ำกว่าเพื่อป้องกันมิให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นเกิดการแตก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความเร็วเกรเดียนต์มีความสำคัญต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นอย่างยิ่ง ระดับ G ที่เหมาะสมสำหรับการกวนเร็วต้องไม่น้อยกว่า 300 วินาที^{-1} และสำหรับการกวนช้ามักมีค่าไม่เกิน $60-100 \text{ วินาที}^{-1}$

Amirtharajah & Mills(15)พยายามแสดงให้เห็นว่า G มีความสำคัญต่อการกำหนดชนิดของกลไกโคแอกกูเลชันด้วย จากการทดลองของนักวิจัยทั้งสองท่านพบว่ากลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อการกวนเร็วมีค่า G สูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.6(ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าโคแอกกูเลชันที่ $G = 16,000 \text{ วินาที}^{-1}$ เกิดขึ้นได้ดีมากกว่าที่ $G = 300$ และ $1,000 \text{ วินาที}^{-1}$ รูปที่ 3.6(ข)ก็แสดงเช่นเดียวกันว่าโคแอกกูเลชันแบบดูดติดผิวและทำลายประจุจะเกิดได้ดีที่ G สูงมากๆ ในรูปที่ 3.6 ยังแสดงอีกด้วยการเปลี่ยนสภาวะจากปริมาณสารส้ม 5 มก/ล พีเอช 7 ในรูป 3.6(ก) เป็นปริมาณสารส้ม 30 มก/ล พีเอช 4-6.5 ในรูป 3.6 (ข) ทำให้โคแอกกูเลชันได้ผลดียิ่งขึ้น สำหรับกลไกโคแอกกูเลชันแบบกวาดนั้น Amirtharajah & Mills พบว่าระดับ G ไม่มีบทบาทมากนักในการกำหนดประสิทธิภาพของโคแอกกูเลชัน ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3.7(ก) และ (ข)



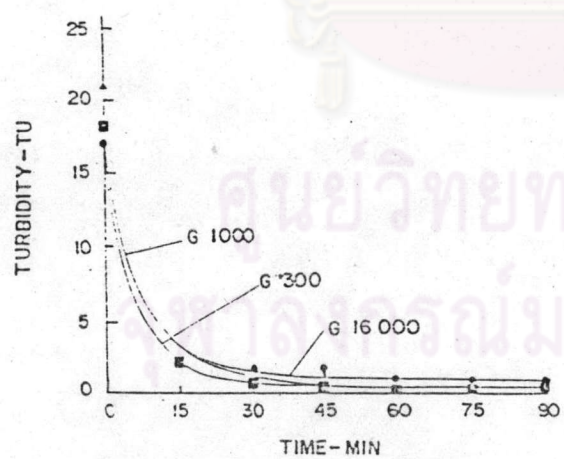
(ก)



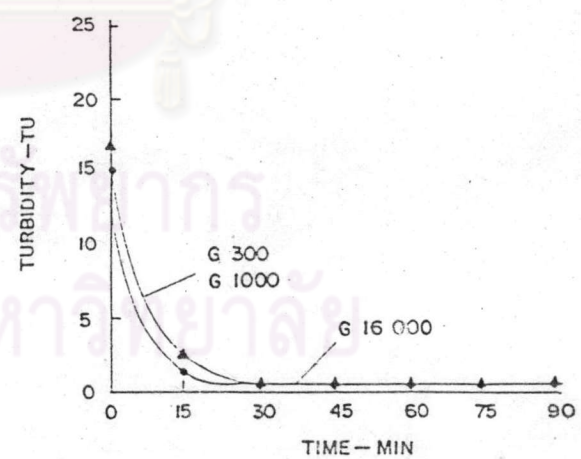
(ข)

รูปที่ 3.6 ผลของความเร็วกการเดียนต์ต่อกลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุ

- ก) ปริมาณสารส้ม 5 มก/ล พีเอช 7
- ข) ปริมาณสารส้ม 30 มก/ล พีเอช 4-6.5



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 ผลของความเร็วกการเดียนต์ต่อกลไกแบบกวาด

- ก) ปริมาณสารส้ม 15 มก/ล พีเอช 7.7-8
- ข) ปริมาณสารส้ม 30 มก/ล พีเอช 7.8

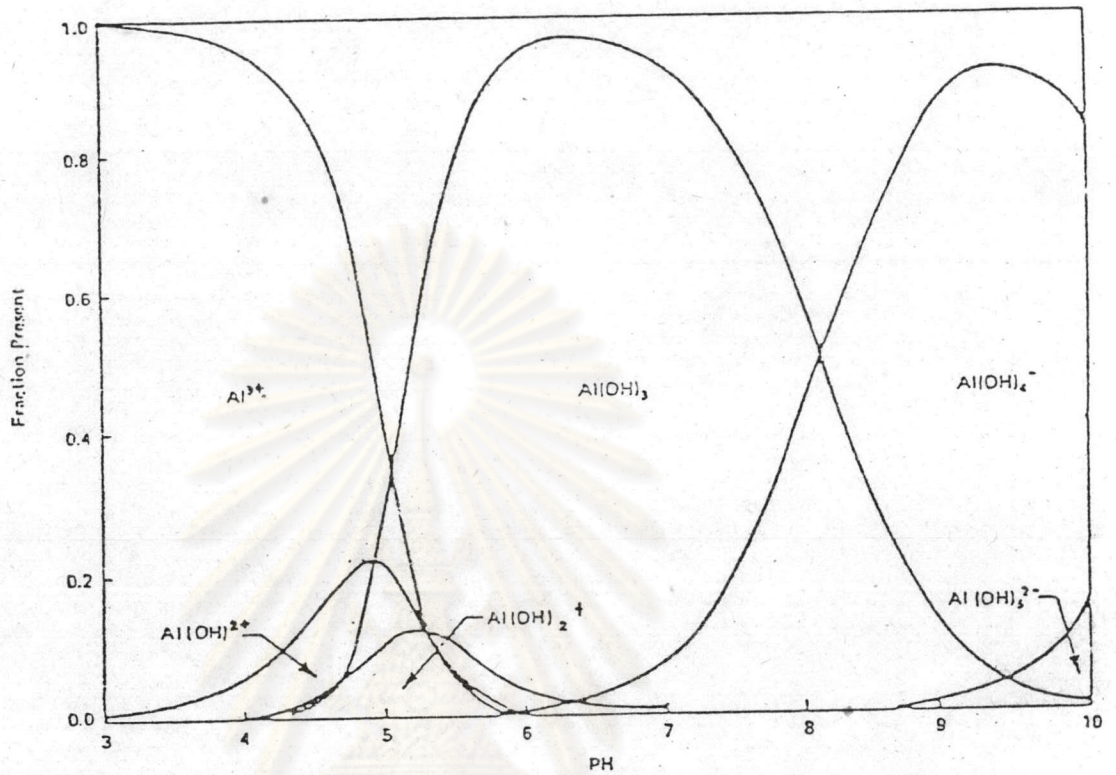
3.5.2 เวลากักน้ำ (Detention Time or Mixing Time)

เวลากักน้ำ หมายถึงระยะเวลาที่ใช้ในการกระจายสารเคมีและครอบคลุมถึงระยะเวลาที่สารประกอบเชิงซ้อนเคมีสัมพันธ์กับอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปแล้ว เวลาในการกระจายสารเคมีมักหมายถึงเวลากักน้ำในขณะทำการกวนเร็ว

ในการออกแบบระบบการกวนเร็ว ASCE และ AWWA ได้เสนอแนะให้ใช้เวลากักน้ำ 10-30 วินาที โดยอาศัยอุปกรณ์การกวนน้ำที่มีพลังงานสูง (0.25-1.0 hp/mgd) แต่ในปัจจุบันเชื่อกันว่าเวลากักน้ำที่เหมาะสมควรมีค่าไม่เกิน 1 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สอดคล้องกับปฏิกิริยาเคมีไฮโดรไลซิสของสารส้ม การทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบจุดติดผิวและทำลายประจุจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 10^{-4} -1 วินาที และ 1 - 7 วินาทีสำหรับกลไกแบบกวาด (15) เนื่องจากระยะเวลาที่สั้นกว่านี้ค่าต่ำมาก อุปกรณ์เบล็นเดอร์ (blender) ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีความสามารถในการกวนน้ำและกระจายสารส้มได้ทั่วถึง จึงมีบทบาทเพิ่มมากขึ้นในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

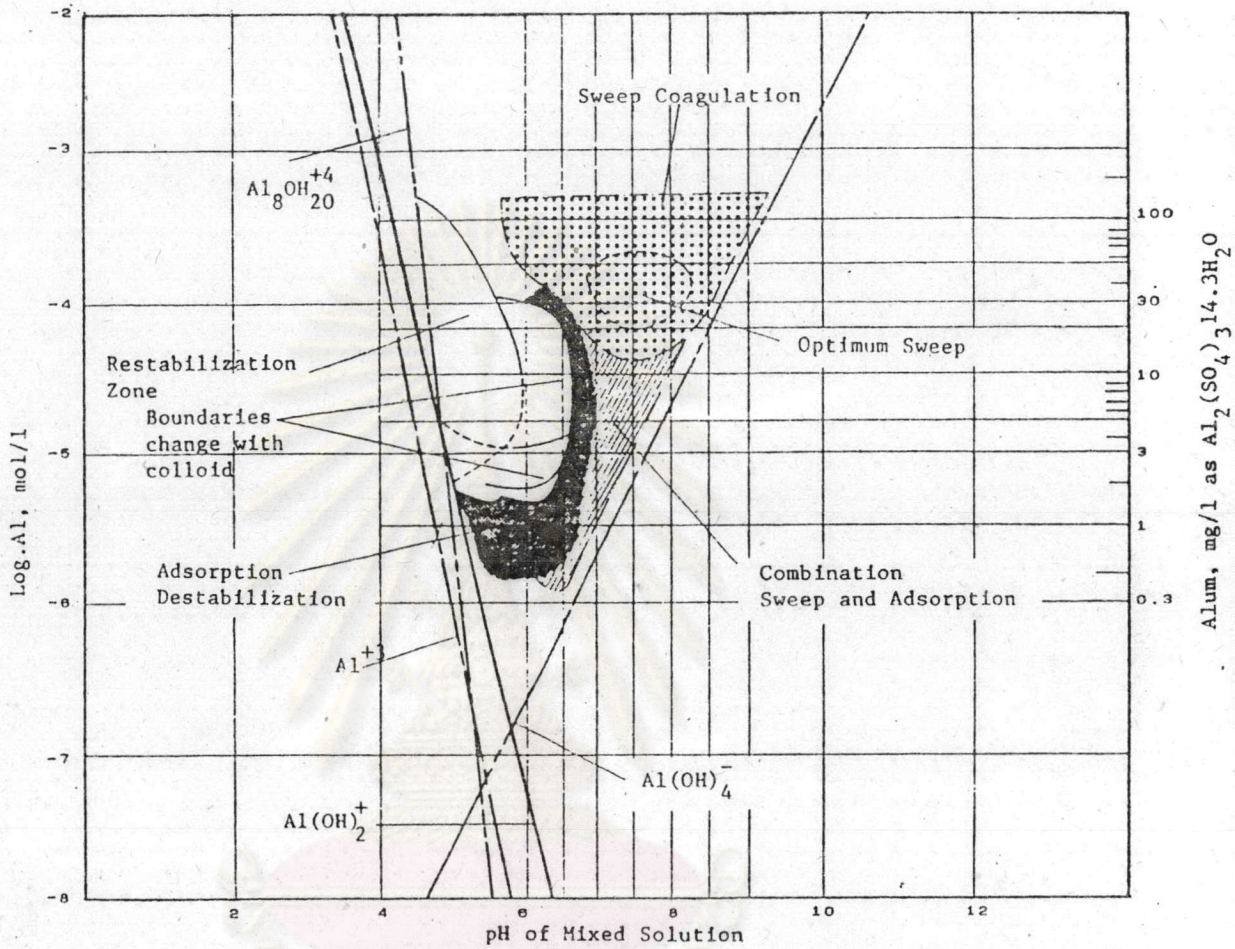
3.5.3 พีเอช และปริมาณสารส้ม

พีเอช ในที่นี้หมายถึง พีเอชสุดท้ายภายหลังจากการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ (15) ซึ่งถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากในกระบวนการโคแอกกูเลชันทั้งนี้เพราะมีผลกระทบต่อการศึกษาของสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มในลักษณะต่างๆกัน อาทิเช่น Al^{+3} , $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_3$ และ $Al(OH)_4^-$ (ดูรูปที่ 3.8) เมื่อนำสารส้มมาละลายในน้ำ ปฏิกิริยาเคมีไฮโดรไลซิสทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวกและลบในสภาพน้ำดิบที่เป็นกรดและต่างตามลำดับ สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มที่มีระดับพีเอช 4-6 จะอยู่ในรูป $Al(OH)^{+2}$ และ $Al(OH)_2^+$ ประจุบวกเหล่านี้มีประโยชน์มากต่อการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบจุดติดผิวและทำลายประจุ ในขณะที่ผลึกของ $Al(OH)_3$ ที่มีบทบาทสูงมากในกลไกแบบกวาดจะปรากฏในช่วงพีเอช 6-8 ในกรณีที่พีเอชสูงมากกว่า 9 สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะอยู่ในรูปสารละลายประจุลบของ $Al(OH)_4^-$ ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันเนื่องจากมีประจุชนิดเดียวกันกับอนุภาคคอลลอยด์



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มและพีเอช

Amirtharajah & Mills(15) ได้กำหนดให้พีเอช และปริมาณสารส้มเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมกลไกโคแอกกูเลชัน (ดูรูปที่ 3.9) น้ำดิบที่มีพีเอชสุดท้ายอยู่ในช่วง 5-7 สารละลายสารส้มจะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนประจุบวกที่เหมาะสมกับการทำลายเสถียรภาพแบบตูดติตผิวและทำลายประจุ ในสภาวะดังกล่าวหากมีการเพิ่มปริมาณสารส้มก็อาจจะทำให้เกิดการพกตัวของประจุบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ และสำหรับที่พีเอช 7-8 นั้นสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะมีประจุบวกลดลงแต่ปริมาณของผลิตภัณฑ์ $Al(OH)_3$ จะเพิ่มขึ้น เกิดกลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แบบผสมและแบบกวาด เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มมากยิ่งขึ้น ถ้าเพิ่มพีเอชสูงกว่า 8 จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุลบ เช่น $Al(OH)_4^-$ ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน



รูปที่ 3.9 แผนภูมิที่ใช้ในการควบคุมกลไกโคแอกกูเลชันของสารส้ม

จากแผนภูมิในรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่ากลไกโคแอกกูเลชันแบบกวาด จะได้ผลดีที่สุดที่พีเอช 6.8 ถึง 8.2 และใช้ปริมาณสารส้ม 20-50 มก/ล ในขณะที่กลไกแบบดูดติดผิว และทำลายประจุและแบบผสมทำให้เกิดโคแอกกูเลชันได้ด้วยสารส้มในปริมาณที่น้อยกว่า 10 มก/ล

3.5.4 ระดับความขุ่นของน้ำดิบ

ระดับความขุ่นในน้ำหมายถึงความหนาแน่นของอนุภาคความขุ่นในน้ำ ความหนาแน่นของอนุภาคความขุ่นมากย่อมหมายถึงเป่าส้มดีส์และประจุบนผิวอนุภาคความขุ่นสูง ลักษณะเช่นนี้จะมีผลต่อการควบคุมกลไกโคแอกกูเลชัน O'Melia(14) ได้กำหนดบทบาทความขุ่นไว้ดังนี้

3.5.4.1 ระดับความขุ่นต่ำ

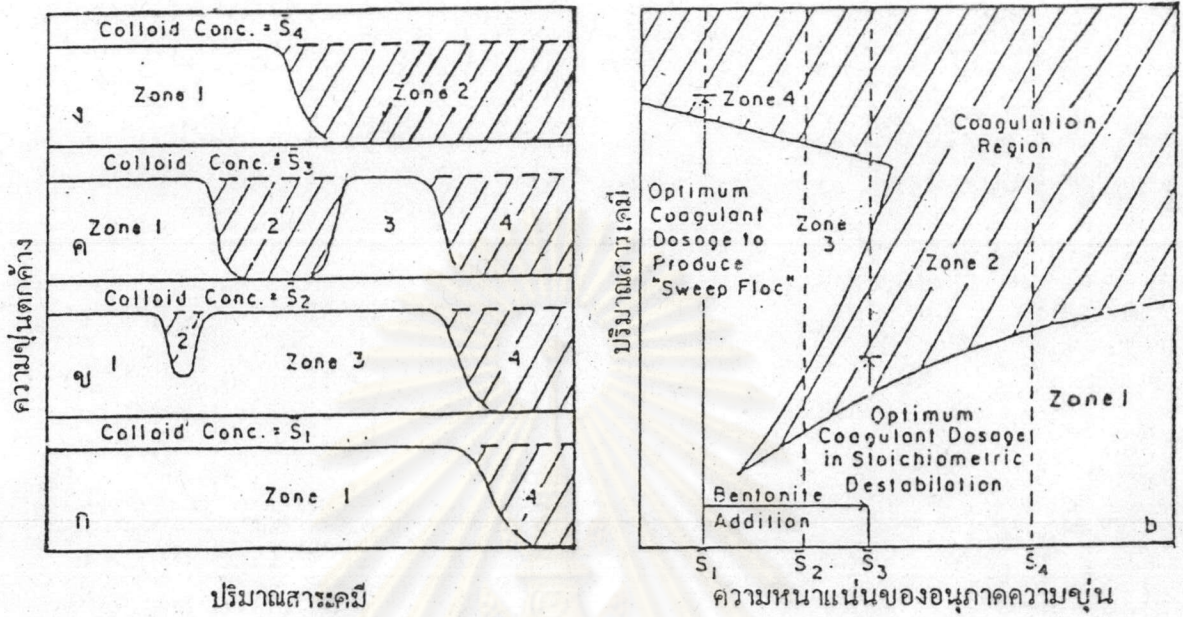
น้ำดิบความขุ่นต่ำ (S_1) (รูปที่ 3.10 ก) จะมีเป่าส้มดีส์น้อยเมื่อใช้ปริมาณสารส้มไม่เพียงพอ ทำให้มีโอกาสสัมผัสดำ รวมถึงเป็นผลต่อขนาดใหญ่ได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สารส้มในปริมาณที่สูง เพื่อให้เกิดผลึก $Al(OH)_3$ ผลึกเหล่านี้จะทำหน้าที่ในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ และยึดเกาะอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกโคแอกกูเลชันแบบกวาด (เห็นแลเงา 4)

3.5.4.2 ระดับความขุ่นสูง

น้ำดิบความขุ่นสูง (S_2 และ S_3) (รูปที่ 3.10 ข,ค) การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชันทำได้ง่าย เมื่อปริมาณสารส้มต่ำจะเกิดกลไกแบบตูดติตผิวและทำลายประจุ (เห็นแลเงา 2) โดยที่น้ำดิบจะมีความต้องการปริมาณสารส้มสูงขึ้นตามระดับความขุ่นที่สูงขึ้น หลังจากนั้นถ้ามีการเพิ่มปริมาณสารส้มต่อไปอีก ก็จะทำให้เกิดกลไกการคืนกลับของเสถียรภาพ (เห็นแลเงา 3) และกลไกแบบกวาด (เห็นแลเงา 4)

3.5.4.3 ระดับความขุ่นสูงมาก

น้ำดิบที่มีความขุ่นสูงมาก (S_4) (รูปที่ 3.10 ง) การทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์แบบตูดติตผิวและทำลายประจุจะใช้ปริมาณสารส้มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากประจุบนผิวอนุภาคคอลลอยด์มาก ซึ่งปริมาณสารส้มที่สูงนี้จะชักนำให้เกิดผลึก $Al(OH)_3$ และกลไกการทำลายเสถียรภาพแบบกวาดได้ ภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้ทำให้เกิดกลไกการทำลายเสถียรภาพแบบตูดติตผิวและทำลายประจุในขั้นต้น หลังจากนั้นจะเกิดกลไกแบบกวาดเมื่อปริมาณสารส้มสูงขึ้น โดยไม่มีกลไกการคืนกลับของเสถียรภาพ



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความขุ่นตกค้างและสารเคมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ในการควบคุมโคแอกกูเลชัน จำเป็นต้องรู้ชนิด และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมตลอดจน สภาวะต่างๆ ที่เอื้ออำนวยต่อกลไกโคแอกกูเลชัน ได้แก่ ระดับพีเอชของน้ำ ความเร็วเกรเดียนต์ และระยะเวลาในการกวนน้ำ ความก้าวหน้าของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโคแอกกูเลชันยังไม่สามารถจะใช้กำหนดและควบคุมตัวแปรต่างๆดังกล่าว ได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้มีผู้พยายามพัฒนาวิธีการควบคุมโคแอกกูเลชันนอกเหนือจากการทดลองจาร์เทสต์ (jar test) ได้แก่ การควบคุมโดยการหาความสามารถในการกรอง (filterability) การควบคุมโดยวัดศักย์ไฟฟ้า Z_p และการควบคุมโดยวิเคราะห์หาสารโคแอกกูแลนต์ที่เหลือ (residual coagulant analysis) เป็นต้น แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการทดลองจาร์เทสต์ และการหาความสามารถในการกรอง

3.6.1 การทดลองจาร์เทสต์

จาร์เทสต์เป็นวิธีที่ใช้มาตั้งแต่อดีต และปัจจุบันยังใช้อย่างกว้างขวาง จาร์เทสต์เป็นวิธีทดสอบอย่างง่ายโดยทำการทดลองในบีกเกอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ชุด ในการทดลองแต่ละครั้ง จะเลือกชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ และกำหนดสภาวะต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลาการกวนน้ำ และระยะเวลาในการตกตะกอน แล้วจึงทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ส่วนระดับพีเอชอาจแปรเปลี่ยนหรือคงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง จากการทดลองจะได้ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ และระดับพีเอช ที่เหมาะสมต่อการเกิดกลไกโคแอกกูเลชัน

ถึงแม้ว่า การทดลองจาร์เทสต์จะเป็นวิธีที่ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันก็จริง แต่เนื่องจากวิธีนี้มีข้อบกพร่องกล่าวคือ บีกเกอร์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะแตกต่างจากสภาพความเป็นจริง ถึงแม้ว่าจะพยายามกำหนดตัวแปรต่างๆในการทดลองให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง แต่อิทธิพลดังกล่าวทำให้ตัวแปรที่มีค่าแตกต่างไปจากความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเร็วเกรเดียนต์ที่ทำให้เกิดการกระจายสารเคมี ซึ่งมีผลต่อกลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุ แต่ไม่มีผลกระทบต่อกลไกแบบกวาด นอกจากนั้นบีกเกอร์ที่ใช้นี้มีความลึกน้อยมากเมื่อเทียบกับถังตกตะกอนจริง ซึ่งระยะทางในการตกตะกอนจะมีผลต่อขนาดและความเร็วในการตกตะกอนจึงทำให้เงื่อนไขแตกต่างจากระบบจริง

อีกประการหนึ่ง จาร์เทสต์ เป็นเพียงผลลัพธ์สุดท้ายเพื่อนำไปใช้กับระบบจริง ซึ่งสภาพจริงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นตัวแปรต่างๆที่ได้ อาจเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมที่สุดตลอดทั้งระบบกำจัดความชื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการกรองที่มีประสิทธิภาพที่สุด

3.6.2 การหาความสามารถในการกรอง

การควบคุมโคแอกกูเลชันโดยการกรอง ได้มีผู้คิดค้นวิธีต่างๆโดยการวัดความชื้นของน้ำที่ผ่านการกรอง วัดการสูญเสียเฮ็ด หรือวัดทั้งสองอย่างควบคู่กัน นอกจากนี้ยังมีการวัดเวลาในการกรองภายใต้เงื่อนไขการทดลองอย่างเดียวกันเพื่อใช้เป็นกฎเกณฑ์ในการเปรียบเทียบหาความเหมาะสมในการเกิดโคแอกกูเลชัน แต่มาตรฐานการวัดความสามารถในการกรองยังไม่เป็นที่ยอมรับกัน ดังนั้นจึงได้มีผู้สนใจที่จะพัฒนาการทดลองหาความสามารถในการกรองที่สามารถใช้กับน้ำที่มีความชื้นทุกระดับซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ และสารช่วยกรองที่เหมาะสมเพื่อให้หน้าที่กรอง ได้มีคุณภาพ และประหยัดค่าใช้จ่าย

3.7 ดัชนีการกรอง

ในปี ค.ศ 1978 Ives(1) ได้พัฒนาวิธีง่ายๆเพื่อหาค่าดัชนีการกรองสำหรับตัวกลางที่แตกต่างกัน ซึ่งวิเคราะห์มาจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่ผิวจำเพาะของเครื่องกรองที่อุดตัน แล้วต่อเครื่องกรองที่ยังไม่อุดตัน ดังแสดงในสมการ (3-5)

$$F = H * C / (v * C_0 * t) \quad (3-5)$$

โดยที่ F คือ ค่าดัชนีการกรอง

H คือ การสูญเสียเฮ็ดที่เกิดขึ้น

C คือ คุณภาพน้ำเฉลี่ยที่กรองได้

C₀ คือ คุณภาพน้ำที่จะกรอง

t คือ เวลาที่ใช้ในการกรอง

v คือ ความเร็วของการกรองมีหน่วยเป็นอัตราไหลของน้ำที่ผ่านสารกรอง ต่อ 1 หน่วยพื้นที่

จะเห็นได้ว่าค่า F ไม่มีหน่วย C/C_0 เป็นอัตราส่วนกัน ดังนั้นจะใช้คุณภาพน้ำเป็นหน่วยอะไรก็ได้ เช่น ความขุ่น Fe content หรือ Coliform number

สำหรับค่าดัชนีการกรองที่ตี้นั้นเกิดจากผลคูณของเศษที่ควรมีค่าต่ำกว่าคือค่าการสูญเสียเสดต่ำและน้ำที่กรอง ได้มีคุณภาพดี ส่วนตัวหารควรมีผลคูณที่สูง นั่นคือ อัตราการไหลสูง(ความเร็วในการกรองสูง) ประกอบกับเครื่องกรองรับความเข้มข้นของน้ำที่จะกรองสูงและกรองได้ในระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้นค่าดัชนีการกรองที่ตี้นี้จึงหมายถึงว่ามีค่า F ต่ำ แต่ค่า F ได้จากการวิเคราะห์จากโมเดลทางคณิตศาสตร์ ไม่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการกรอง ค่า F จึงถูกจำกัดไม่สามารถใช้กับตัวแปรได้ทุกค่า จึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการกรองขึ้นได้

Ives (1) ได้ทำการทดลองหาความสามารถในการกรองและสรุปว่า ค่าดัชนีการกรองสามารถบอกถึงปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมและสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อกลไกโคแอกกูแลชั่นซึ่งเกิดต่อเนื่องมาถึงการกรอง นอกจากนี้ยังใช้ค่าดัชนีการกรองในการศึกษาถึง ขนาดและชนิดของสารกรอง อัตราการกรองและชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว

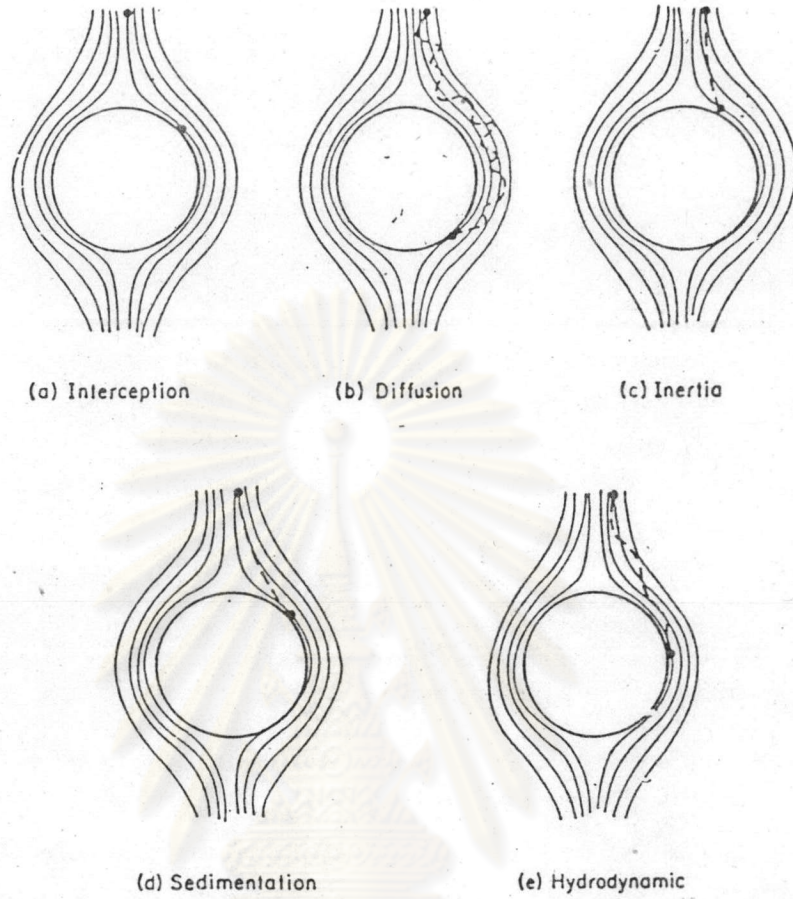
นอกจากนี้ เชาวรินทร์ กิ่งแก้ว (17) ได้ศึกษาการใช้ค่าดัชนีการกรองในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูแลชั่นโดยใช้เครื่องมือที่ดัดแปลงมาจากเครื่องมือของ Ives ทำการทดลองที่ห้องทดลองของโรงกรองน้ำบางเขน การประปานครหลวง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณความขุ่นของน้ำดิบมีผลกระทบต่อค่าดัชนีการกรองกล่าวคือน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงจะทำให้ค่าดัชนีการกรองสูงขึ้นด้วยและค่าดัชนีการกรองที่ต่ำสุดจะบอกถึงจุดที่มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจาร์เทสต์จะเห็นจุดที่มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมได้ชัดเจนกว่า ทำให้สามารถทำนายช่วงความเหมาะสมได้ถูกต้องกว่า

3.8 กลไกของการกรองน้ำ

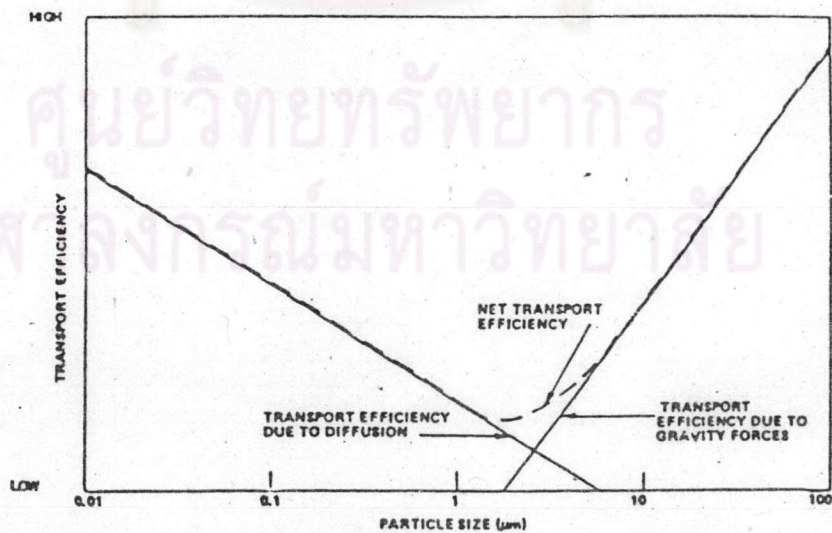
O'Melia & Stumm(18) ได้อธิบายถึงกลไกในการกำจัดสารแขวนลอยของเครื่องกรอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน ดังนี้

3.8.1 กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง(Transport Mechanism)

กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง เป็นกลไกทางฟิสิกส์-ไฮโดรลิกซ์ ซึ่งเกิดได้หลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (19) แต่โดยทั่วไปมักพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรกเป็นการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน(brownian diffusion) ของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และลักษณะที่สองเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรองและติดค้าง(interception)ในขณะที่ผ่านช่องว่างขนาดเล็ก นอกจากนี้สารแขวนลอยขนาดใหญ่ยังอาจตกตะกอน(sedimentation)ในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ขนาดและการกระจายขนาดของสารแขวนลอย มีความสำคัญต่อกลไกเคลื่อนย้ายเป็นอย่างมาก กล่าวคือเมื่อขนาดของสารแขวนลอยเล็กกว่า 1 ไมครอน ประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายจะแปรผกผันกับขนาด นั่นคือการแพร่กระจายทำให้สารขนาดเล็กเคลื่อนที่และมีโอกาสวิ่งเข้าหาสารกรองได้มากกว่าสารขนาดใหญ่ แต่เมื่อสารแขวนลอยมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน การแพร่กระจายในระดับโมเลกุลจะมีน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ ขนาดและน้ำหนักของสารแขวนลอย จะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้างกลไกแบบตกตะกอนและติดค้างซึ่งประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายจะแปรโดยตรงกับขนาดของสารแขวนลอย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารแขวนลอยที่มีขนาดประมาณ 1 ไมครอน ถูกกำจัดออกได้ยากกว่าขนาดอื่น(20) (ดูรูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.11 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง



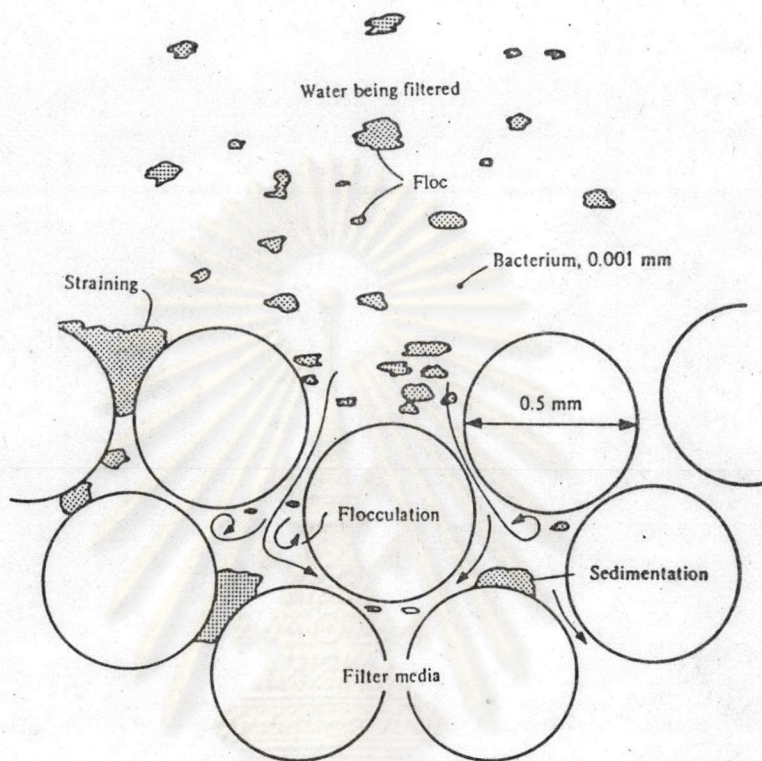
รูปที่ 3.12 ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับขนาด

3.8.2 กลไกจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism)

กลไกจับสารแขวนลอยเป็นกลไกทางฟิสิกส์-เคมี กล่าวคือสารแขวนลอยขนาดใหญ่อาจตกตะกอนหรือติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ทำให้สามารถกรองออกจากรน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตาม ปรากฏว่าเครื่องกรองสามารถกำจัดอนุภาคขนาดเล็กออกจากรน้ำได้ด้วยซึ่งกลไกทางกายภาพเพียงลำพังไม่น่าจะทำได้ นักวิจัยพบว่าการกรองน้ำก็มีกลไกแบบที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย นั่นคือ การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สามารถเกาะจับอยู่บนสารกรองหรือบนสิ่งอื่นที่จับบนสารกรองอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้นการเติมสารช่วยกรองเพื่อทำลายประจุและ/หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นประจุบวกจึงช่วยทำให้การกรองน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

กล่าวโดยสรุปได้ว่าการกรองสารแขวนลอยออกจากรน้ำต้องอาศัยกลไก 2 ชุดที่แตกต่างกันคือ สารแขวนลอยขนาดใหญ่จะตกตะกอนหรือติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ส่วนสารแขวนลอยขนาดเล็กต้องอาศัยแรงที่เกิดจากการแพร่กระจาย และกลไกแบบดูดติดผิว ดังรูปที่ 3.13

นอกจากนี้ ยังมีกลไกอีกประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นในลักษณะตรงข้ามกับกลไกดังกล่าวข้างต้น เรียกว่า กลไกการหลุด (detachment mechanism) กลไกนี้เกิดขึ้นเมื่อชั้นกรองมีความเป็ดเพิ่มขึ้นหรืออุดตันมากขึ้น แรงที่เกิดจากการไหลของน้ำจะมีค่าสูงตามไปด้วยทำให้ตะกอนหลุดออกจากชั้นกรองได้ หรืออาจเกิดขึ้นเนื่องจากพื้นที่ว่างบนสารกรองถูกใช้ไปจนเกือบหมดทำให้สารแขวนลอยมีโอกาสเกาะติดผิวชั้นกรองได้น้อย การรั่วของสารแขวนลอยออกจากชั้นกรองจึงมีมากขึ้น



รูปที่ 3.13 กลไกการจับสารแขวนลอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบการกรองโดยตรง

3.9.1 คุณภาพน้ำดิบ

คุณภาพน้ำดิบเป็นปัจจัยสำคัญ ที่กำหนดความเหมาะสมในการใช้งานของระบบการกรองโดยตรง Baumann รายงานว่าระบบการกรองโดยตรงสามารถใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่น 50-60 NTU ได้อย่างมีประสิทธิภาพ(13) Culp(2) แนะนำว่าไม่ควรใช้ระบบการกรองโดยตรงกับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงกว่า 100-200 หน่วย หรือมีค่าสีสูงกว่า 100 หน่วย หรือทั้งสีและความขุ่นมีค่าเกิน 25 หน่วย หรือมีปริมาณแผลงตอนมากกว่า 500-1,000 หน่วย/มล ในขณะที่ McCormick & King(21) สรุปลักษณะคุณภาพน้ำดิบที่ยอมรับได้สำหรับระบบการกรองโดยตรง ไว้ดังนี้ คือค่าความขุ่น 0-10 หน่วย ค่าสี 0-15 หน่วย และปริมาณแอลจี 0-1,000 หน่วย/มล ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวอาจมีค่าสูงกว่านี้ได้ถ้าพารามิเตอร์ที่เหลือมีค่าต่ำ

3.9.2 การเตรียมน้ำก่อนกรอง

การเตรียมน้ำก่อนกรองด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตน้ำให้มีความใส นักวิจัยพบว่า การกรองน้ำในอัตรา 5-15 ลบ ม/ตร ม-ชม ให้กับน้ำที่มีการเตรียมน้ำก่อนกรองจะให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าไม่มีการเตรียมน้ำก่อนกรอง แม้จะใช้อัตราการกรองที่ต่ำกว่า 5 ลบ ม/ตร ม-ชม ก็ไม่สามารถผลิตน้ำที่ใสสะอาดได้

การเตรียมน้ำเพื่อการกรองที่ดีจะต้องให้ฟล็อกที่มีแรงยึดเกาะสูงสามารถต้านทานแรงเฉือนที่เกิดจากการไหล ไตต์และ ได้น้ำที่มีคุณภาพแต่ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียเร็วเกินไป กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มจะให้ฟล็อกที่มีแรงยึดเกาะต่ำ ทำให้มีโอกาสเกิดเบรคซรุได้ง่าย ดังนั้นการใช้สาร โพลีเมอร์ประจุบวกจึงเข้ามามีบทบาทเพราะให้ฟล็อกที่มีแรงยึดเกาะสูง ทำให้อายุการกรองยาวนานขึ้น แต่การใช้สาร โพลีเมอร์ก็มีข้อเสียคือมีอัตราการสูญเสียสูงและน้ำที่ผ่านการกรองแล้วอาจมีคุณภาพต่ำกว่าการใช้สารส้ม เป็นสาร โคแอกกูแลนต์(5) Kawamura (7) รายงานว่าชนิดและปริมาณของสาร โคแอกกูแลนต์ที่ใช้จะแตกต่างกันสำหรับน้ำดิบแต่ละประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารแขวนลอยที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ

Hutchison(11) รายงานว่า โอกาสที่เครื่องกรองจะเกิดเบรคชรัมีมากขึ้นตามปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เพิ่มขึ้น และปริมาณสารส้มที่มากกว่า 20 มก/ล จะชักนำไปให้เกิดเบรคชรัอย่างรวดเร็ว

โดยปกติปริมาณสารส้มที่ใช้สำหรับระบบการกรองโดยตรงจะอยู่ในช่วง 2-10 มก/ล และไม่ใช่สูงกว่า 15 มก/ล ทั้งนี้เพราะจะไปทำให้ชั้นทรายเหนียวและจับกันมากเกินไปจนเป็นเหตุให้อุดตันเร็วและล้างได้ยาก(22)

3.9.3 สารกรอง

การใช้สารกรองขนาดเล็กเช่นทรายจะทำให้ผลิตน้ำได้ใส กำจัดความขุ่นออกได้มากแต่จะเกิดการอุดตันเร็ว แต่ถ้าใช้สารกรองหยาบเช่นถ่านแอนทราไซต์ จะเกิดการอุดตันช้าแต่จะให้ใสไม่ใสเท่าที่ควร และโดยปกติ เครื่องกรองของระบบการกรองโดยตรงต้องรับภาระความขุ่นสูงมาก ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งในการพิจารณาออกแบบชนิด ขนาดและความหนาของสารกรอง เพื่อให้มีช่องว่างสำหรับการเก็บกักสูง ไม่เกิดการอุดตันเร็วจนเกินไป แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีได้ ด้วยเหตุนี้เครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง หรือหลายชั้นกรองจึงมีความเหมาะสมกว่าเครื่องกรองทรายธรรมดา

Culp(2) ได้ทำการทดสอบระบบการกรองโดยตรงที่ใช้เครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง พบว่า ระบบการกรองโดยตรงนี้สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูงได้ที่อัตราการกรองในช่วง 2.5-20 ลบ ม/ตร ม-ชม นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพ เช่นเดียวกับกับเครื่องกรองที่ประกอบด้วยสารกรอง 3 หรือ 4 ชั้น แต่ต้องใช้สารเคมีในปริมาณที่สูงกว่า และอายุการกรองสั้นกว่า

Tchobanoglous รายงานว่าชั้นถ่านแอนทราไซต์ทำหน้าที่ในการสร้างฟล็อกและเก็บกักฟล็อกที่เกิดขึ้นไว้ภายใน และชั้นถ่านต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 33 ซม (21)

Hutchison รายงานว่าขนาดสัมฤทธิ์ที่สุดสุดของถ่านแอนทราไซต์มีค่าประมาณ 1.05 มม

McCormick & King(21) ได้ทำการทดสอบและสรุปว่าเครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่ประกอบด้วยชั้นถ่านแอนทราไซด์ที่มีขนาดสัมฤทธิ์ 1.3 มม หน้า 51 ซม และชั้นทรายซิลิกาที่มีขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มม หน้า 25 ซม มีประสิทธิภาพและความเหมาะสมมากที่สุด

3.9.4 อัตราการกรอง

อัตราการกรองขึ้นอยู่กับความขุ่นในน้ำดิบ และคุณภาพน้ำที่ต้องการ โดยปกติการกรองเพื่อผลิตน้ำดื่มหรือน้ำประปามักใช้อัตราการกรองประมาณ 4-10 ลบ ม/ตร ม-ชม โดยทั่วไป อัตราการกรองยิ่งต่ำประสิทธิภาพของเครื่องกรองจะยิ่งสูง แต่จะผลิตน้ำได้น้อยและช้า อย่างไรก็ตามอัตราการกรองมิได้เป็นปัจจัยสำคัญที่สุด เครื่องกรองที่มีอัตราการกรองสูงก็สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีได้ถ้ามีการเตรียมน้ำก่อนกรองที่ดี

Culp(2) รายงานว่าระบบการกรองโดยตรงสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูงได้ที่อัตราการกรอง 2.5-20 ลบ ม/ตร ม-ชม โดยอัตราการกรองที่เหมาะสมในการออกแบบและใช้งาน คือ 12.5 ลบ ม/ตร ม-ชม

Tate et.al. รายงานว่าระบบการกรองโดยตรงมีความต้องการปริมาณสารส้มเพียง 1 ใน 5 ของปริมาณที่ต้องการในระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป ในขณะที่อัตราการกรองสูงกว่าเป็น 3 เท่า(15 ลบ ม/ตร ม-ชม) (8)

3.9.5 การล้างย้อน

การล้างย้อนมีความสำคัญต่อการกรองน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องกรอง เครื่องกรองที่ล้างไม่พอเพียงทำให้การสะสมของสารแขวนลอยและสิ่งสกปรกอื่นๆ จะไม่สามารถผลิตน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจัยที่ทำให้สิ่งสกปรก ซึ่งค้างอยู่ในช่องว่างของชั้นกรองหรือเกาะอยู่บนเม็ดสารกรองหลุดออกมามี 2 ปัจจัยคือ แรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของน้ำ และการขัดสีระหว่างเม็ดสารกรอง นักวิจัยมีความเห็นขัดแย้งกันในข้อที่ว่าปัจจัยใดเป็นตัวสำคัญในการทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากชั้นกรอง Amirtharajah(23) และ Cleasby(24) มีความเห็นว่าการล้างย้อน

เครื่องกรอง ปัจจัยหลักที่ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากชั้นกรองคือแรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของน้ำ โดยที่พลังงานส่วนใหญ่ของน้ำจะใช้ในการขย่งให้สารกรองลอยตัวจึงไม่มีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดการขัดสีระหว่างสารกรอง นั่นคือการขัดสีระหว่างสารกรองเกิดขึ้นน้อยจนไม่มีนัยสำคัญ แต่ Kawamura (25) มีความเห็นตรงกันข้ามและได้พยายามพิสูจน์ว่าอัตราไหลที่ใช้ล้างเครื่องกรองนั้น สูงไม่มากพอที่จะทำให้แรงเฉือนเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่ แต่พอเพียงที่จะทำให้มีการขัดสีระหว่างสารกรองจนทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกมาได้ กล่าวโดยสรุปคือสิ่งสกปรกหลุดออกจากชั้นกรองเพราะมีการขัดสีของเม็ดสารกรอง

Amirtharajah (23) วิเคราะห์พบว่าในกรณีที่ใช้ทรายเป็นสารกรอง การล้างย้อนจะได้ผลดีที่สุดเมื่อชั้นทรายขยายตัวจนมีความพรุนเท่ากับ 0.7 หรือระดับการขยายตัวเท่ากับ 30 - 40 %

Culp (2) รายงานว่าปริมาณน้ำล้างย้อนสำหรับระบบการกรองโดยตรงอาจสูงถึง 6 % ของปริมาณน้ำที่ผลิตได้ ในขณะที่ระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไปต้องการปริมาณน้ำล้างย้อนเพียง 2 % และสูญเสียไปกับสลัดจ์จากถังตกตะกอนอีก 2 % นั่นคือ สูญเสียน้ำทั้งหมด 4 % ของปริมาณน้ำที่ผลิต กล่าวโดยสรุปคือระบบการกรองโดยตรงสิ้นเปลืองน้ำล้างย้อนมากกว่านั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย