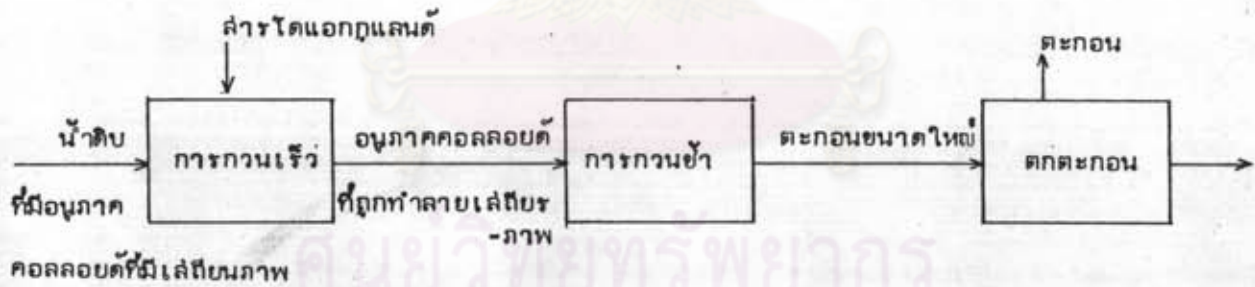




3.1 ทฤษฎีกระบวนการโคแอกกูเลชัน

โคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของความขุ่นเกิดการรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้ตกตะกอนได้ง่าย และถูกกำจัดออกจากระบบโดยการตกตะกอน และการกรองต่อไป กระบวนการโคแอกกูเลชันมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ขั้นตอนได้แก่ การกวนเร็ว (Rapid Mixing) และการกวนช้า (Slow Mixing) ภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

### 3.1.1 การกวนเร็ว (Rapid Mixing)

การทำงานของกระบวนการกวนเร็วเริ่มจาก ผ่านน้ำดิบที่มีอนุภาคความขุ่น หรือ คอลลอยด์เข้าถึงกวนเร็ว สารโคแอกกูแลนต์ซึ่งถูกเติมลงในช่วงการกวนเร็วจะทำให้หน้าที่ทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ ภายใต้สภาพที่น้ำมีความปั่นป่วนอย่างรุนแรง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพจะผ่านเข้าสู่การกวนช้า เพื่อรวมตะกอนต่อไป

### 3.2.1 การกวนช้า (Slow Mixing)

การกวนช้าเป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วมีโอกาสสัมผัส และรวมตัวกันเพื่อให้จับตัวกันจนมีขนาดใหญ่พอเพียงที่จะตกตะกอนได้ง่ายขึ้น ปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดกลไกนี้ได้แก่

#### 3.2.1.1 เพอริไคเนติกฟล็อกกูเลชัน (Perikinetic Flocculation)

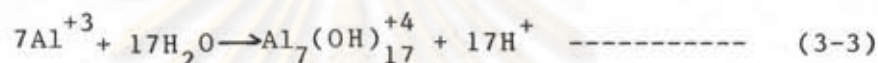
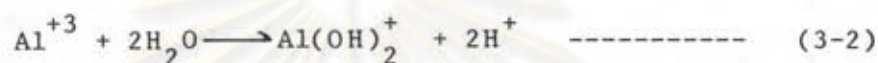
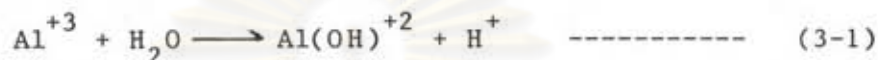
การรวมตะกอนเกิดขึ้นเมื่อการเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อน ซึ่งแปรรูปเป็นพลังงานทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว และชนอนุภาคความขุ่นที่กระจายอยู่ในน้ำ ทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่จะเกิดการสัมผัสกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะจับอยู่กับอุณหภูมิจนของน้ำ และจำนวนอนุภาค และจะมีบทบาทเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ซึ่งอนุภาคความขุ่นรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนแล้ว การรวมตัวแบบนี้จะมีบทบาทน้อยลงมาก

#### 3.2.1.2 ออร์โธไคเนติกฟล็อกกูเลชัน (Orthokinetic Flocculation)

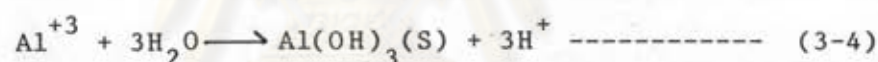
การรวมตะกอนเกิดขึ้นเมื่อ การเคลื่อนที่ของน้ำอยู่ในภาวะของการกวน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำจะแตกต่างกันตามตำแหน่ง และเวลา ดังนั้น อนุภาคความขุ่นที่เคลื่อนที่ไปกับน้ำจะมีความเร็วแตกต่างกันไปด้วย จึงทำให้เกิดการชน และรวมตัวในที่สุด ซึ่งมีบทบาทมากเมื่ออนุภาคความขุ่นมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน ดังนั้น จะเห็นได้ว่า กลไกหลักของการกวนช้าจะต้องมีการสร้างสภาวะการเคลื่อนที่ของน้ำให้มีความเร็วที่แตกต่างกันไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ในน้ำซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ใบพัดแบบต่าง ๆ

### 3.2 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม

เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไอออนจาก  $Al_2(SO_4)_3$  จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้  $Al(H_2O)_6^{+3}$  หรือ  $Al^{+3}$  ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ  $Al^{+3}$  จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Ligands) ชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  $OH^-$  จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำ เกิดเป็นสารประกอบคอมเพล็กซ์ (Complexes) ระหว่างอลูมิเนียม กับไฮดรอกไซด์ไอออน (2) ดังสมการต่อไปนี้



ในกรณีที่มีความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation Point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก  $Al(OH)_3$



ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการ ดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์ คือสารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก  $Al^{+3}$  ถึง  $Al(OH)_3(S)$  สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบ หรือบวก ก็ได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ กล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (Zero point of Charge) ของ  $Al(OH)_3(S)$  จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น  $Al(OH)_4^-$ ,  $Al(OH)_5^{-2}$  ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจะสะเทินทางไฟฟ้าของ  $Al(OH)_3(S)$  ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก เช่น  $Al(OH)^{+2}$ ,  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al_7(OH)_{17}^{+4}$ ,  $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$

3.2.1 กลไกแบบดูดติดผิว และทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) สารคอมเพล็กซ์ที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งสามารถดูดติดผิวของอนุภาคเป็นสารคอมเพล็กซ์ประจุบวกก็จะลดประจุลบของอนุภาคลง ซึ่งเป็นการลดเสถียรภาพ



ของอนุภาคด้วย เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวจนมีขนาดใหญ่ และสามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง กลไกนี้ มีช่วงความเหมาะสมที่แคบ ซึ่งจะควบคุมการทำงานให้ดีนั้นยาก เพราะสารคอมเพล็กซ์ที่เกิดขึ้นจะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณต่ำเกินไปโคแอกกูเลชันจะไม่เกิด แต่ถ้าสูงเกินไปสารคอมเพล็กซ์จะดูดติดผิวอนุภาคมาก ทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุบวก และเกิดเสถียรภาพขึ้นอีก แต่ตะกอนที่เกิดจากกลไกนี้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

3.2.2 กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation) ในกรณีความเข้มข้นของสารส้มเกินพอจนปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนได้  $Al(OH)_3$  ดังสมการที่ (3-4) การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารส้มเป็นจำนวนที่มากพอจนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งทำให้ผลึกของ  $Al(OH)_3$  ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาค และทำให้ผิวของ อนุภาคมีความเหนียวไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า จึงทำหน้าที่สร้างเป่าสัมผัสอนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่ และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

กระบวนการโคแอกกูเลชัน ในระบบผลิตน้ำประปาที่พบอยู่เสมอ มักจะเป็นกลไกดังกล่าวนี้ เพราะเป็นกลไกที่เกิดขึ้นได้ง่ายเพียงแต่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มที่สูงพอ และสภาพความเป็นด่างของน้ำที่พอเหมาะ แต่ตะกอนจะเกิดขึ้นมากและยากต่อการแยกออกจากน้ำ

3.2.3 กลไกโคแอกกูเลชันแบบรวม (Combination Coagulation)

เป็นการทำลายเสถียรภาพ อนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิว และทำลายประจุ และแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มสูงขึ้นกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพ แบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่าแบบกวาด

### 3.3 พารามิเตอร์มีอิทธิพลต่อโคแอกกูเลชัน

3.3.1 ความเร็วแกรเดียนท์ (G) หมายถึง ความปั่นป่วนของน้ำซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยเฉพาะกลไกแบบดูดติดผิว และทำลายประจุ ความปั่นป่วนของน้ำในถังกวนเร็วจะต้องมีระดับสูง กล่าวคือ ไม่น้อยกว่า 300 วินาที<sup>-1</sup> เพื่อให้การกระจายสารสัมเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอ แต่ในถังกวนช้าจะมีระดับความปั่นป่วนต่ำ มีค่าไม่เกิน 60-100 วินาที<sup>-1</sup> เพื่อให้อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วสัมผัสกัน และจะจับตัวเป็นก้อนใหญ่ พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วนสามารถคำนวณหาได้จากสมการของแคมท์ และสไตน์ดังนี้

$$G = \frac{(P / \rho V)^{1/2}}{\dots\dots\dots} \quad (3-5)$$

เมื่อ

$$G = \text{ค่าความเร็วแกรเดียนท์ (วินาที)}^{-1}$$

$$P = \text{พลังงานที่ใช้ ปอนด์-ฟุต/วินาที}$$

$$\rho = \text{ความหนืดของน้ำ ปอนด์-วินาที/(ฟุต)}^2$$

$$V = \text{ปริมาตรของน้ำในถังกวนเร็ว (ฟุต)}^3$$

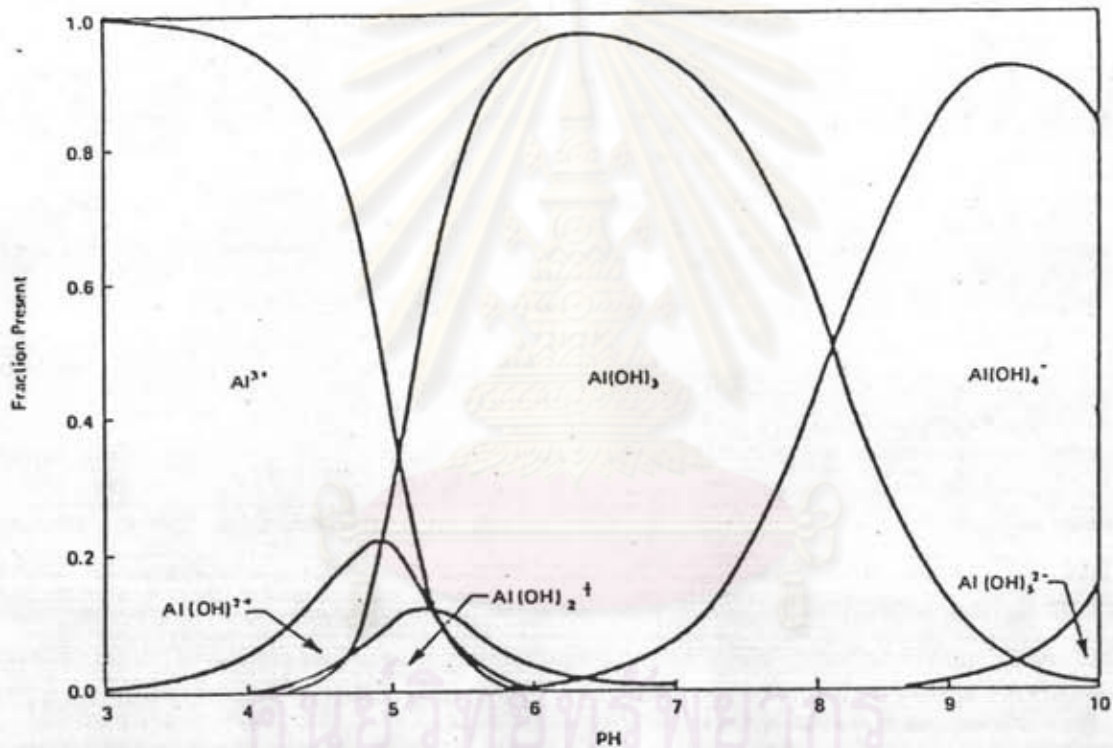
### 3.3.2 เวลาในการกักน้ำ (Detention time or Mixing time)

หมายถึง เวลาที่น้ำอยู่ในถังกวนเร็ว เป็นเวลาสัมผัสระหว่างสารสัมกับความปั่นซึ่งเกิดขึ้นรวดเร็วมากในเวลาไม่เกิน 1 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สอดคล้องกับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารสัม กล่าวคือ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แบบดูดติดผิว และทำลายประจุ จะเกิดในช่วงเวลา  $10^{-4}$  - 1.0 วินาที และ 1-7 วินาที สำหรับกลไกแบบกวาด (3)

ส่วนการกวนช้าเวลากักน้ำจะมีความสัมพันธ์กับค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่ทำให้เกิดโอกาสสร้างสัมผัส กล่าวคือ ค่า G.t ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง  $10^4$  -  $10^5$

### 3.3.3 พีเอช และปริมาณสารส้ม

พีเอช หมายถึง พีเอชสุดท้ายภายหลังจากการทำลายเสถียรภาพ อนุภาคคอลลอยด์ (3) ซึ่งถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ เนื่องจากมีผลกระทบต่อการศึกษาประกอบเชิงซ้อนของสารส้มในลักษณะต่าง ๆ กัน อาทิเช่น  $\text{Al(OH)}^{+2}$ ,  $\text{Al(OH)}_2^+$ ,  $\text{Al}^{+3}$  และ  $\text{Al(OH)}_4^-$       รูปภาพที่ 3-2



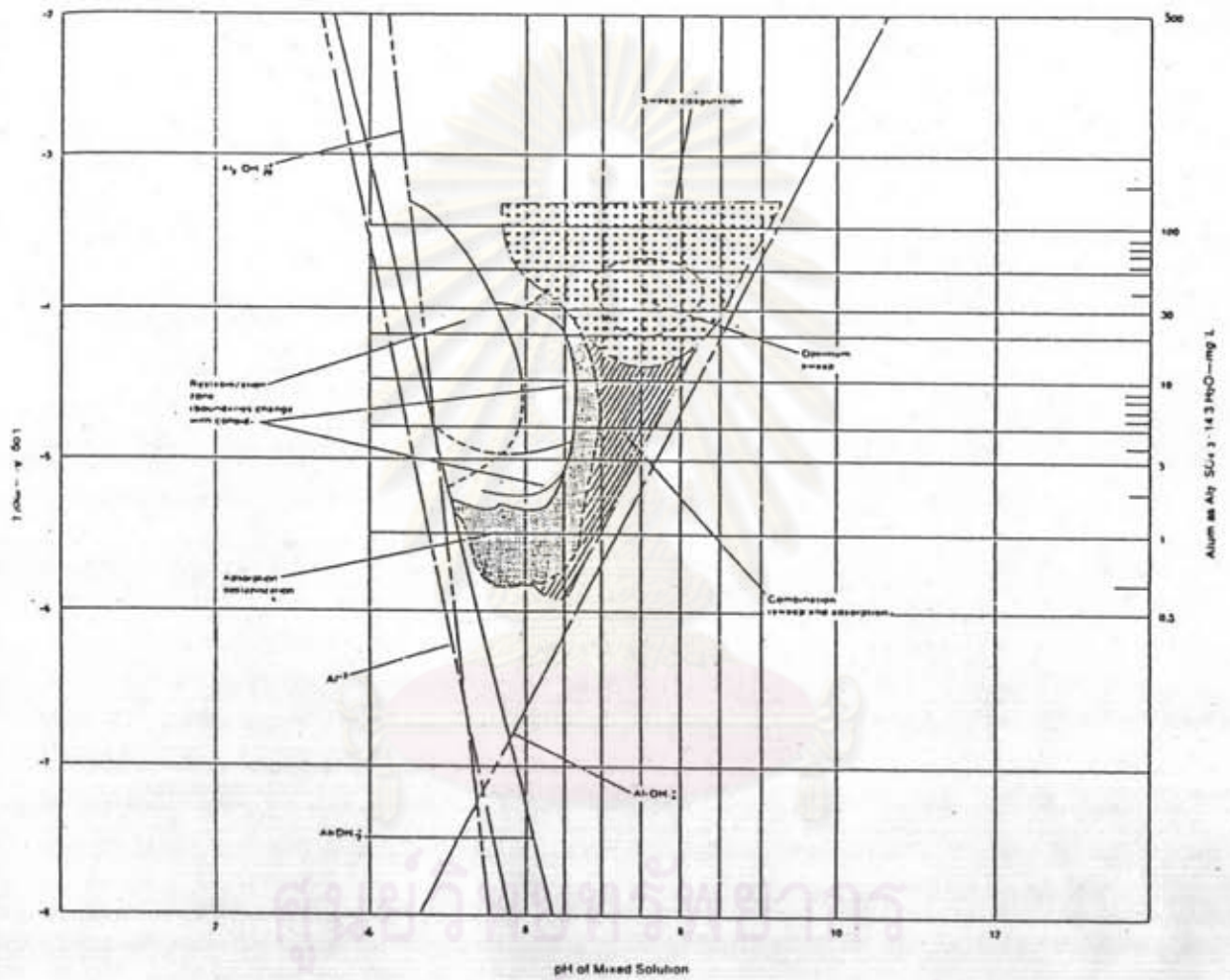
ภาพที่ 3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้ม และพีเอช



เมื่อนำสารส้มมาละลายในน้ำ ปฏิกิริยาเคมีไฮโดรไลซิสทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวกและลบในสภาพน้ำดิบที่เป็นกรด และต่างตามลำดับ ซึ่งมีอิทธิพลต่อกลไกการเกิดโคแอกกูเลชัน สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มในช่วงพีเอชต่ำกว่า 4 อนุพันธ์ส่วนใหญ่อยู่ในรูป  $Al^{+3}$  เมื่อปริมาณสารส้มปกติไม่สามารถลดเสถียรภาพของอนุภาคได้ เนื่องจาก  $Al^{+3}$  ถูกกีดกันด้วยโมเลกุลของน้ำ จึงไม่สามารถดูดติดผิวอนุภาค และช่วงพีเอช 4-6 จะปรากฏอยู่ในรูป  $Al(OH)^{+2}$  ซึ่งเป็นประโยชน์มากต่อการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ แบบดูดติดผิว และทำลายประจุ และผลึกของ  $Al(OH)_3$  มีบทบาทมากในกลไกแบบกวาดจะปรากฏในช่วงพีเอช 6-8 ในกรณีที่พีเอชสูงมากกว่า 9 นั้น อิทธิพลของสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้ม จะอยู่ในรูปสารละลายประจุลบของ  $Al(OH)_4^-$  ซึ่งเป็นประจุชนิดเดียวกับของคอลลอยด์ จึงไม่เป็นผลดีต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการวิจัยเกี่ยวกับโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม และนำมาวิเคราะห์ -  
Amirtharajar และ Mill (3) ได้เสนอหลักการควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม  
ดังแสดงในภาพ 3-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3-3 แผนภูมิที่ใช้ในการควบคุมกลไกโคแอกกูเลชันของสารส้ม



### 3.3.4 ลักษณะของน้ำดิบ

#### 3.3.4.1 ความเป็นต่าง

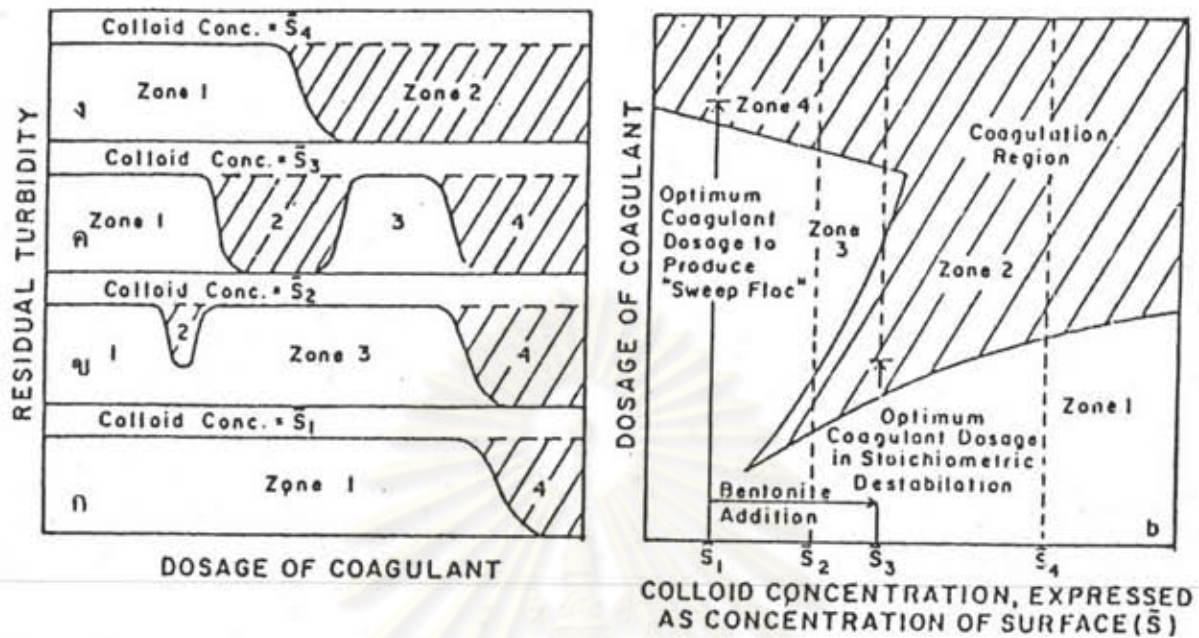
การเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชัน ส่วนใหญ่เป็นกลไกแบบกวาด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเป็นต่างสูง หรือใช้สารส้มปริมาณมาก กล่าวคือ ผลคูณของ  $[Al^{+3}]$  กับ  $[OH^-]$  จะต้องมีค่ามากกว่า  $K_{sp}$  (Solubility Product) จึงทำให้เกิดฟล็อก  $Al(OH)_3$  ซึ่งมีลักษณะเป็น絮เหนียว จะสามารถยึดติดอนุภาคคอลลอยด์ได้ ส่วนกลไกแบบจุดติดผิว และทำลายประจุเกิดขึ้นได้ยากจะเหมาะสมกับสภาวะของความเป็นต่างต่ำกว่ากลไกแรก นั่นคือ ผลคูณของ  $[Al^{+3}]$  กับ  $[OH^-]$  จะต่ำกว่า  $K_{sp}$  และค่าพีเอชจะต้องไม่ต่ำเกินไปด้วย

#### 3.3.4.2 ความขุ่น

ระดับความขุ่นในน้ำ หมายถึง ความหนาแน่นของอนุภาคความขุ่นในน้ำ ความหนาแน่นของอนุภาคความขุ่นมากย่อมหมายถึง เป้าสัมพัทธ์และประจุบนผิวอนุภาคความขุ่นสูง ลักษณะเช่นนี้จะมีผลต่อการควบคุมโคแอกกูเลชัน O'melia (4) ได้กำหนดบทบาทของความขุ่นไว้ดังนี้

##### 1. เมื่อระดับน้ำดิบความขุ่นต่ำ

ดูภาพ 3-4 (ก) เมื่อน้ำดิบความขุ่นต่ำ จะมีเป้าสัมพัทธ์ต่ำ เมื่อปริมาณสารส้มไม่สูงพอ การควบคุมกลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุทำได้ยากบทบาทของกลไกแบบกวาดจะมากขึ้น แต่ก็ต้องใช้ปริมาณสารส้มมากขึ้นด้วยปริมาณสารส้มจะอยู่ในรูปของ - ฟล็อก  $Al(OH)_3$  ฟล็อกเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นเป้าสัมพัทธ์ และทำหน้าที่ในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ อนุภาคคอลลอยด์จะถูกยึดเกาะด้วยฟล็อก  $Al(OH)_3$  และในที่สุดก็จะตกตะกอน (พื้นที่แลเงา 4)



ภาคที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความขุ่นตกค้าง และสารเคมี

2. ระดับความขุ่นสูง

รูปภาพ 3-4 (ข). (ค) น้ำดิบความขุ่นสูง ( $S_2$  และ  $S_3$ ) การควบคุมขบวนการโคแอกกูเลชัน ทำได้ง่าย เมื่อปริมาณสารส้มต่ำจะเกิดกลไกแบบจุดติดผิว และทำลายประจุ (พื้นที่เลข 2) จะมีช่วงการทำงานแคบ เมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้น จะทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้นด้วย โดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นสัดส่วนตรงต่อกัน หลังจากนั้น ถ้ามีการเพิ่มสารส้มต่อไปอีกก็จะเกิดกลไกการคืนกลับของเสถียรภาพ (พื้นที่เลข 3) และกลไกแบบกวาด (พื้นที่เลข 4)

3. ระดับความขุ่นสูงมาก

รูปภาพ 3-4 (ง) น้ำดิบมีความขุ่นสูงมาก ( $S_4$ ) การทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์จะใช้ปริมาณสารส้มมาก ทั้งนี้เนื่องจาก ประจุบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์มาก ภายใต้อัตราการตกตะกอนนี้ บทบาทของกลไกแบบจุดติดผิว และทำลายประจุ จะมากกว่ากลไกแบบกวาด ทั้งนี้เพราะว่า ใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่านั่นเอง



### 3.3.4.3 ขนาดของอนุภาค

ขนาดของอนุภาคคอลลอยด์มีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นผลต่อการสร้างโอกาสสัมผัสกัน จากการศึกษาพบว่า อนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาด 0.1 - 1.0 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 40 มก./ล. จะเกิดฟล็อกแบบออร์โธโคเนติค ฟล็อกกูเลชัน ซึ่งเป็นการเกิดฟล็อกโดยอาศัยการเคลื่อนไหวของน้ำ จะพบมากในกระบวนการผลิตน้ำประปา

### 3.3.5 อุณหภูมิ

พลังงานความร้อนแปรรูปเป็นพลังงานจลน์ กรณีอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลแบบบราวเนียน ซึ่งจะผลต่อการสร้างโอกาสสัมผัส และตกตะกอนทำให้เกิดฟล็อกแบบเพอริโคเนติค ฟล็อกกูเลชัน (Perikinetic Flocculation)

### 3.4 กลไกของการกรองน้ำ

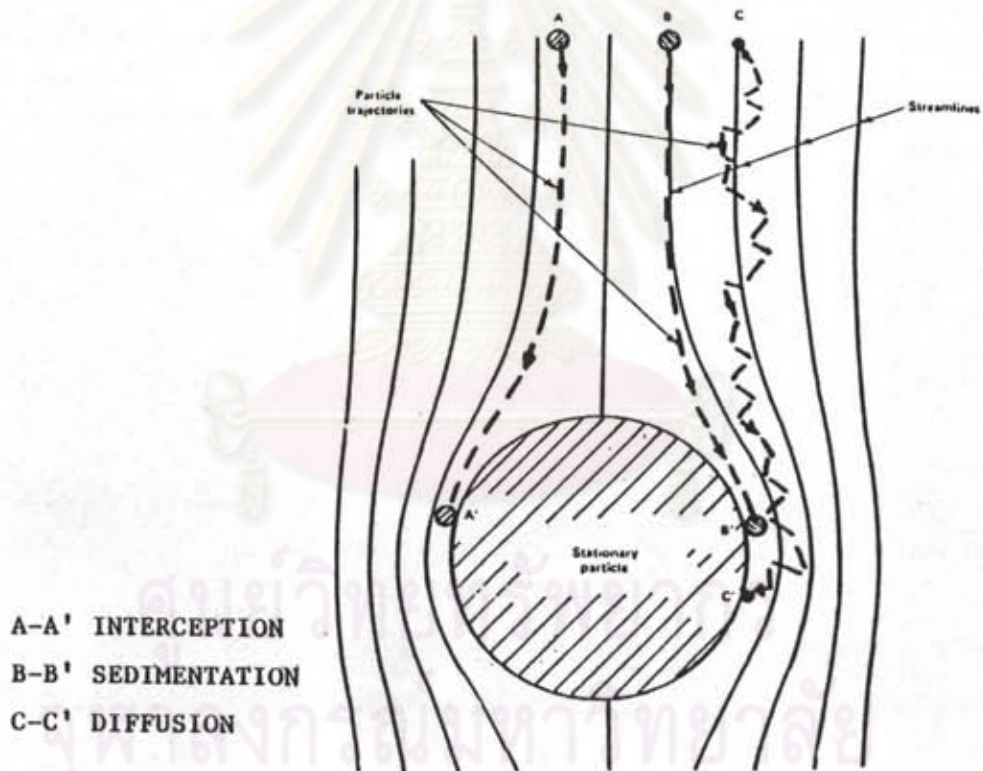
การกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน และการตกตะกอนยังไม่เพียงพอ ดังนั้น จึงต้องมีการกรองตามมาด้วย ซึ่งเป็นการกำจัดความขุ่นที่อาศัยทั้งกรรมวิธีทั้งทางฟิสิกส์ และเคมี (5) อาจกล่าวได้ว่าการกรองเกิดขึ้นได้สองลักษณะ กล่าวคือ ลักษณะแรกเป็นการกรองแบบดูดติดผิวชั้นกรองส่วนใหญ่จะเกิดกรรมวิธีทางฟิสิกส์ เนื่องจากว่าขนาดของอนุภาคความขุ่นที่มีขนาดใหญ่จะถูกดักจับ และติดบนผิวของสารกรอง เรียกกลไกนี้ว่า Staining ซึ่งการทำงานจะแปรผันตามอัตราส่วนระหว่างขนาดของอนุภาคความขุ่น และขนาดของสารกรอง กล่าวคือ ถ้าอนุภาคความขุ่นมีขนาดใหญ่ และสารกรองมีขนาดเล็กกลไกนี้มีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก อัตรา ส่วนระหว่างอนุภาคความขุ่น และสารกรองจะต้องไม่น้อยกว่า 0.5 (6) ในระหว่างการกรองอัตราส่วนนี้จะเปลี่ยนไป เนื่องจากอนุภาคความขุ่นเกิดการสะสม ลักษณะที่สองเป็นการกำจัดความขุ่นที่เกิดขึ้นในระหว่างชั้นกรอง เนื่องจากสารกรองมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคความขุ่น ทำให้อนุภาคความ



ปูนมีโอกาสเข้าแทรกในชั้นกรองได้ กลไกการกำจัดสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นกรอง มี 2 ประเภท และเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน ดังนี้

#### 3.4.1 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอย (Transport Mechanism)

กลไกนี้เป็นการเคลื่อนย้ายอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำเข้าหาสารกรอง ซึ่งอนุภาคเหล่านี้มีขนาดเล็กทำให้สามารถรอดผ่านจากกรวดจับด้วยกลไก Staining การเคลื่อนย้ายอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำเข้าหาสารกรองต้องอาศัยกลไกทางฟิสิกส์ ดังภาพที่ 3-5

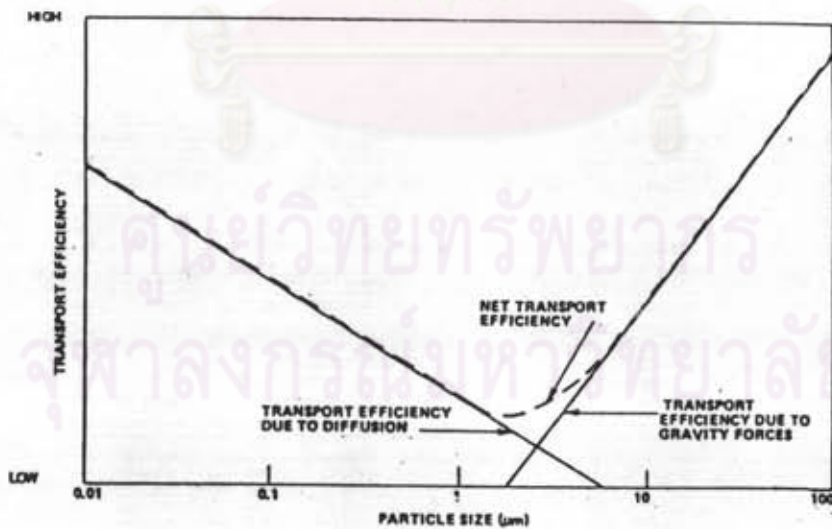


ภาพที่ 3-5 กลไกในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาสารกรอง

การเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์ตามเส้นทางการไหลของน้ำจะทำให้  
อนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน เบียดเข้าหาสารกรอง (Interception)  
โอกาสที่เกิด ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างขนาดของอนุภาคคอลลอยด์กับขนาดของสารกรอง  
ดังนั้น ขนาด และการกระจายขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ จึงมีความสำคัญต่อกลไกนี้  
(6) (7)

การตกตะกอนโดยน้ำหนักของอนุภาคคอลลอยด์ (Gravity Settling)  
ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์ กับความเร็ว  
ของน้ำที่ผ่านช่วงล่างระหว่างสารกรอง และกลไกนี้ จะมีผลต่ออนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาด  
ใหญ่กว่า 25 ไมครอน (6)

การเคลื่อนที่ในระดับไมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน  
(Brownian Diffusion) จะเป็นผลต่ออนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน  
ดังนั้น จะเห็นได้ว่า อนุภาคคอลลอยด์ขนาดประมาณ 1 ไมครอน จะถูก  
กำจัดออกได้ยากกว่าขนาดอื่น ดูภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับขนาด

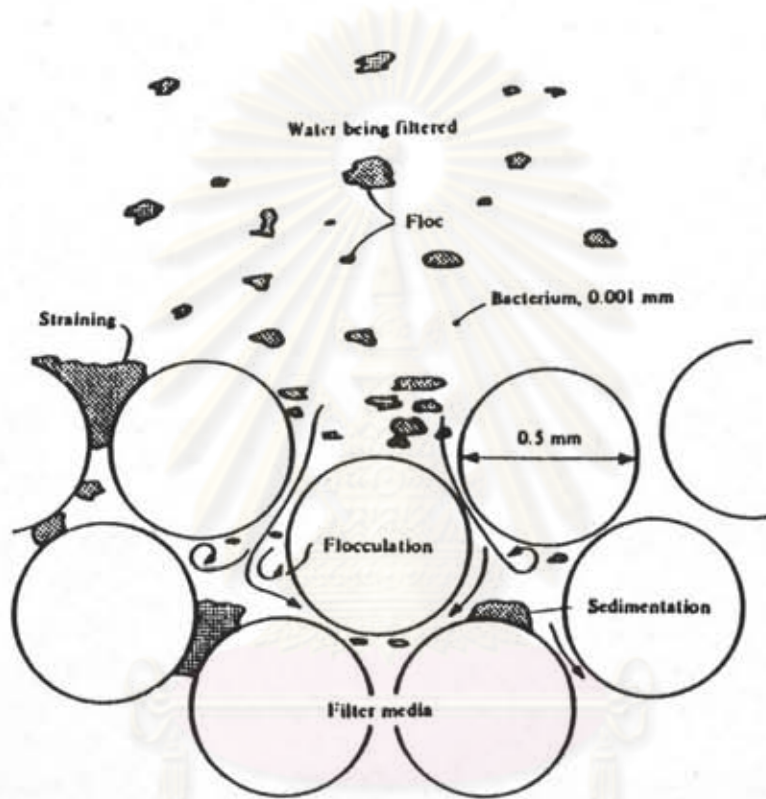
### 3.4.2 กลไกจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism)

อนุภาคความขุ่นที่มีขนาดใหญ่ อาจถูกกำจัดได้ด้วยกลไกทางฟิสิกส์ แต่สำหรับอนุภาคขนาดเล็กไม่น่าจะทำได้ ดังนั้น การกรองน้ำโดยอาศัยกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ การดูดติดผิว และทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาค คอลลอยด์ให้เป็นกลาง ซึ่งเป็นกลไกที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากสารกรองและอนุภาค คอลลอยด์มักมีประจุลบทั้งคู่ จึงจำเป็นต้องมีการทำลายประจุให้หมดไปหรือลดน้อยลง เพื่อสร้างโอกาสให้อนุภาคคอลลอยด์เกาะติดกับสารกรองหรืออนุภาคคอลลอยด์ที่เกาะติดบน สารกรองอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้นการเติมสารช่วยกรองเพื่อทำลายประจุ หรือเพื่อให้อนุภาค คอลลอยด์ต่าง ๆ รวมตัวเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ จะถูกดักจับติดบนผิวชั้นกรอง และ ระหว่างชั้นกรองจะทำให้การกรองได้ผลดี และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประสิทธิภาพของ กลไกนี้ สามารถเปรียบเทียบได้จากการสูญเสียเฮด ต่อเวลาที่ใช้ในการกรอง (6)

สรุปได้ว่า การกรองอนุภาคความขุ่นขนาดเล็ก และใหญ่ออกจากน้ำอาศัย กลไกจับสารแขวนลอยเกิดขึ้นรวมกันแต่อาจแตกต่างกันไป เนื่องจากลักษณะทางกายภาพ เคมีของน้ำ และสารกรอง กล่าวคือ อนุภาคความขุ่นขนาดใหญ่ หรือฟล็อกที่แข็งแรง สามารถตกตะกอน หรือติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ส่วนขนาดเล็กอาจอาศัย การแพร่กระจาย และการดูดติดผิว รูปภาพ 3-7

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3-7 กลไกแบบต่าง ๆ ของการกรองน้ำ

### 3.5 การควบคุมโคแอกกูเลชัน

ในการควบคุมโคแอกกูเลชัน จำเป็นต้องรู้ชนิด และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมตลอดจนสภาวะต่าง ๆ ที่เอื้ออำนวยต่อกลไก โคแอกกูเลชัน ได้แก่ ระดับพีเอชของน้ำ ความเร็วแกว่งตัว และระยะเวลาในการกวนน้ำ ความก้าวหน้าของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการโคแอกกูเลชัน ยังไม่สามารถจะชี้กำหนด และควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้มีผู้พยายามพัฒนาวิธีควบคุมโคแอกกูเลชัน นอกเหนือจากการทดลองจาร์เทสต์ ได้แก่ วิธีการควบคุมโดยวัดศักย์ไฟฟ้า (Zeta - Potential) การควบคุมโดยวิเคราะห์หาสารโคแอกกูแลนต์ที่เหลือ (Residual - Coagulant Analysis) และการควบคุมโดยการหาความสามารถในการกรอง (Filterability) เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการทดลองแบบจาร์เทสต์ และการหาความสามารถในการกรอง

#### 3.5.1 การทดลองแบบจาร์เทสต์

จาร์เทสต์เป็นวิธีที่ใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิม และปัจจุบันยังใช้อย่างกว้างขวาง จาร์เทสต์เป็นวิธีทดสอบอย่างง่าย ๆ โดยทำการทดลองในบีกเกอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ใบ ในการทดลองแต่ละครั้ง จะเลือกชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ และกำหนดสภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลากวนน้ำ และระยะเวลาในการตกตะกอนไว้ค่าหนึ่ง จึงทำการทดลองโดยแปรปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ส่วนระดับพีเอชอาจแปรเปลี่ยนหรือคงที่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ จากนั้นก็จะได้ค่าปริมาณ ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ และระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดโคแอกกูเลชัน ในการทดลองควรทำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

ถึงแม้ว่าการทดลองแบบจาร์เทสต์จะเป็นวิธีที่ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ก็จริง แต่เนื่องจากวิธีนี้มีข้อบกพร่อง กล่าวคือ บิคเกอร์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะแตกต่างจากสภาพความเป็นจริง ถึงแม้ว่าจะพยายามกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองให้ใกล้เคียงกับระบบจริง แต่อิทธิพลดังกล่าว ทำให้ตัวแปรแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความเร็วแรงแผ่นดินที่ทำให้เกิดการกระจายสารเคมีจะมีผลต่อกลไกแบบจุดติดผิว และทำลายประจุ ส่วนกลไกแบบกวาดจะไม่มีผลกระทบ เนื่องจากเป็นการเติมสารสัมจำนวนที่มากพอเพียง และบิคเกอร์มีความลึกน้อยมาก เมื่อเทียบกับถังตกตะกอนจริง ทำให้ระยะทางในการตกตะกอนมีผลต่อขนาด และความเร็วในการตกตะกอน จึงทำให้เงื่อนไขแตกต่างจากระบบจริง ดังนั้น คุณภาพน้ำที่ได้จึงไม่เป็นตัวแทนที่ดัดนัก ซึ่งในการทดลองต้องเปลี่ยนตัวแปรเพื่อหาค่าที่เหมาะสมจริง ๆ และตัวแปรต่าง ๆ มีช่วงความเหมาะสมที่แคบ ดังนั้น จะต้องเสียเวลาในการทดลอง

อีกประการหนึ่งจาร์เทสต์ เป็นเพียงผลลัพธ์ สุดท้ายเพื่อนำไปใช้กับระบบจริง ซึ่งสภาพจริงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น ตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้อาจเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมที่สุดตลอดระบบกำจัดความขุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการกรองที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

### 3.5.2 การหาความสามารถในการกรอง

การควบคุมโคแอกกูเลชันโดยการกรอง ได้มีผู้คิดค้นวิธีต่าง ๆ โดยการวัดความขุ่นที่กรองได้ วัดการสูญเสียเฮด หรือวัดทั้งสองอย่างควบคู่กัน นอกจากนี้ ยังมีการวัดเวลาในการกรองภายใต้เงื่อนไขการทดลองอย่างเดียวกัน เพื่อใช้เป็นกฎเกณฑ์ในการเปรียบเทียบหาความเหมาะสมในการเกิดโคแอกกูเลชัน แต่มาตรฐานการวัดความสามารถในการกรองยังไม่เป็นที่ยอมรับกัน ดังนั้นจึงได้มีผู้สนใจที่จะพัฒนาการทดลองค่าความสามารถในการกรอง ซึ่งสามารถใช้กับน้ำที่มีความขุ่นทุกระดับ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการหาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ และสารช่วยกรองที่เหมาะสมเพื่อให้หน้าที่กรองได้มี -



คุณภาพและประหยัดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังใช้เป็นค่าเปรียบเทียบบอกถึงคุณภาพของน้ำที่กรองได้ เพื่อใช้เป็นหลักสากลบอกความสัมพันธ์กับระบบจริงได้

### 3.6 การวิจัยหาค่าความสามารถในการกรองในอดีต

ในสมัยเริ่มแรกส่วนใหญ่การหาความสามารถในการกรอง เป็นการทดลองแบบจุดติดผิว ซึ่งมีหลักการ 2 อย่าง ได้แก่ การวัดอัตราการกรองที่เปลี่ยนแปลงภายใต้การสูญเสียเฮดคงที่ และการสูญเสียเฮดภายใต้อัตราการกรองที่คงที่ ซึ่งการทดลองแบบจุดติดผิวเป็นการใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ดีนัก ต่อมาจึงได้พัฒนาเป็นการทดลองแบบกรองทราย ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่สมบูรณ์ (5) การหาค่าธรรมชาติของการกรองได้มีผู้ทำการศึกษารวบรวม และพัฒนามาเรื่อย ๆ ตามลำดับดังนี้

ในปี 1943 E.V. Suckling (8) ได้กล่าวถึงความสามารถของการกรองว่าเป็นสัดส่วนกับเวลาที่ใช้ในการกรองน้ำกลั่น 1 ลิตร ผ่านกระดาษกรองต่อเวลาที่ใช้ในการกรองน้ำที่ใช้ทดลอง 1 ลิตร ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ การกรองทำให้เกิดการสะสมตะกอนบนผิวกระดาษกรอง เป็นสาเหตุของการอุดตันซึ่งเกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ

ในปี 1944 P.L. Boucher (8) ได้พยายามแก้ไขปัญหาการเกิด Microstainer ที่เกิดขึ้นในระบบจริง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มการสูญเสียเฮดต่อปริมาตรน้ำที่กรองได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการสูญเสียเฮด ดังแสดงในสมการที่ 3.6

$$\frac{dH}{dV} = n H$$

อินทิเกรตและแก้สมการหาค่า  $n$  จะได้

$$n = \frac{I}{V} = \frac{1}{V} \ln \frac{H}{H_0} \quad \text{----- (3-6)}$$

เมื่อ	I	=	คหรรชนีของการกรอง
	H <sub>o</sub>	=	การสูญเสียเฮดเริ่มต้น
	H	=	การสูญเสียเฮดหลังจากกรองน้ำได้ปริมาตร V

ถ้าปริมาตรวัดเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อตารางฟุต ของพื้นที่ที่กรองน้ำ I เป็นการวัดอัตราการเพิ่มของการสูญเสียเฮดของเครื่องกรองน้ำที่กรองได้ 1 ลูกบาศก์ฟุตผ่านตัวกรองที่มีพื้นที่ 1 ตารางฟุต

ในปี 1953 Doshier และ Webber (8) (9) ได้ปรับปรุงมาใช้ molecular filter membrane แทนกระดาษกรองธรรมดา เพื่อหาแนวโน้มในการอุดตันของการกรองน้ำ เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องกรองน้ำที่มีพื้นที่กรองน้ำมาตรฐาน ค่าความสามารถในการกรองอยู่ในรูปของมิลลิลิตรของน้ำที่กรองได้ในเวลา 5 นาที ที่ความดัน 7.5 นิ้ว ของปรอท

ในปี 1959 Ganet และ Rademacher (8) ได้ใช้เครื่องกรองทราย แทนเครื่องกรองแบบคิดผิว เพื่อหาค่าคหรรชนีของการกรองน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราการกรองน้ำต่อหน่วยพื้นที่ของการกรองน้ำเป็นตารางฟุตกับเวลาที่ใช้ในการกรองน้ำต่อการสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้นดังแสดงในสมการที่ 3-7

$$F = \frac{Q \times L}{H} \quad \text{-----} \quad (3-7)$$

เมื่อ	F	=	ค่าคหรรชนีของการกรอง
	Q	=	อัตราการกรอง แกลลอนต่อนาที/ตารางฟุต
	L	=	เวลาที่ใช้ในการกรอง นาที
	H	=	การสูญเสียเฮดสุดท้าย ฟุต

ในปี 1969 Cleasby (10) (11) ได้ใช้แท่งทรายหลาย ๆ แท่ง ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม. แต่มีความสูงแตกต่างกันออกไปจาก 25 มม. ถึง 130 มม. จุดประสงค์เพื่อใช้ในการทำนายการทำงานของเครื่องกรอง และหาข้อมูลในการออกแบบ ใช้เวลาในการทดลอง 1-7 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาเพียงสั้น ๆ แต่ต้องใช้ตัวอย่างน้ำถึง 40 ลิตร และใช้สารโคแอกกูแลนต์ ในการทดลองด้วย ค่าครรชนีของการกรองที่หาได้ดังแสดงในสมการที่ (3-8)

$$FI = \frac{\lambda t \ \phi t}{\Delta H t} \text{----- (3-8)}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} FI &= \text{ค่าครรชนีของการกรอง} \\ \lambda t &= \text{ค่าสัมประสิทธิ์ของการกรอง ที่เวลา } t \\ \phi t &= \text{ค่าตะกอนที่สะสมในชั้นทรายที่เวลา } t \\ \Delta H &= \text{การสูญเสียเฮดเนื่องจากการอุดตันที่เวลา } t \end{aligned}$$

$\lambda t$  และ  $\phi t$  หาได้จากสมการของ Fox และ Cleasby

ต่อมาในปี 1978 Ives (1)(11) ได้พัฒนาวิธีง่าย ๆ เพื่อหาค่าครรชนีของการกรอง สำหรับตัวกลางที่แตกต่างกัน ซึ่งวิเคราะห์มาจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่ผิวจำเพาะ ของเครื่องกรองที่อุดตันแล้วต่อเครื่องกรองที่ยังไม่อุดตัน ดังแสดงในสมการที่ 3-8

$$F = \frac{HC}{V \cdot C_o \cdot t} \text{----- (3-9)}$$

$$\begin{aligned} F &= \text{ค่าครรชนีของการกรอง} \\ H &= \text{การสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้น} \\ C &= \text{คุณภาพน้ำเฉลี่ยที่กรองได้} \\ C_o &= \text{คุณภาพน้ำที่จะกรอง} \end{aligned}$$



t = เวลาที่ใช้ในการกรอง  
 V = ความเร็วของการกรองมีหน่วยเป็นปริมาตรของน้ำ  
 ที่ผ่านสารกรองต่อ 1 หน่วยพื้นที่

จะเห็นได้ว่าค่า F ไม่มีหน่วย C/Co เป็นอัตราส่วนกันดังนั้นจะใช้  
 คุณภาพน้ำเป็นหน่วยอะไรก็ได้ เช่น ความขุ่น Fe Content หรือ Coli Form  
 number

สำหรับค่าครรชนีของการกรองที่ดีนั้น เกิดจากผลคูณของเศษควรวจะต่ำกล่าว  
 คือ ค่าการสูญเสียเฮดต่ำ และคุณภาพน้ำที่กรองได้ดี ส่วนตัวหารควรมีผลคูณที่สูงโดยที่อัตรา  
 การไหลสูง (ความเร็วในการกรองสูง) ประกอบกับเครื่องกรองรับความเข้มข้นของน้ำที่จะ  
 กรองสูง และกรองในระยะเวลาานาน ๆ

ดังนั้น ค่าครรชนีของการกรองที่ดี จึงหมายถึงค่า F ต่ำ แต่ค่า F  
 ได้จากการวิเคราะห์จากโมเดลทางคณิตศาสตร์ ไม่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีของการกรองโดยตรง  
 จะเห็นได้ว่าค่า F ถูกจำกัด จึงไม่สามารถใช้กับตัวแปรทุกค่า จะต้องเลือกใช้ให้  
 เหมาะสมเพื่อจะทำให้เกิดการกรองขึ้น

Ives ทำการทดลองโดยใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมขึ้นจากดินคาโอลิน  
 และควอทซ์ กำหนดสภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร ที่พีเอช  
 6.3 และ 7.2 นำมาผ่านการกวนด้วยค่าความเร็วแกระเดียนที่ไม่เกิน 50 วินาที<sup>-1</sup>  
 และกำหนดระยะเวลาในการกวนน้ำ โดยใช้สารส้ม และโพลีเมอร์ ในการทดลองตลอดจน  
 แปรเปลี่ยนขนาด ชนิดของสารกรอง และอัตราการกรอง ส่วนกระบอกกรองที่ใช้ใน  
 การทดลองมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มม. และใช้สารกรองสูง 40 มม. (1)

จาก 80 การทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าครรชนีของการกรองสามารถหาค่า  
 ปริมาณสารโคแอกกูแลนที่เหมาะสม และสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อกลไกโคแอกกูแลชัน

ซึ่งเกิดต่อเนื่องมาถึงการกรอง นอกจากนั้นยังศึกษาถึง Pretreatment ขนาดและชนิดของสารกรอง อัตราการกรอง และชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ ที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว (1)

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาการใช้ค่าครรชนีของการกรองในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูแลชัน ซึ่งใช้เครื่องมือที่ดัดแปลงมาจากเครื่องมือที่ออกแบบโดย Ives (1) ใช้น้ำดิบที่มีความขุ่น ตั้งแต่ 56-67 NTU และมีสภาพทางเคมีตามสภาพความเป็นจริง โดยมีตัวอย่างน้ำปริมาตร 1 ลิตร นำมากรองด้วยเครื่องทดลองแบบจาร์เรสต์ แล้วแปรเปลี่ยนปริมาณสารส้มแล้วกรองผ่านกระบอกกรองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 มม. และใช้ทรายเป็นสารกรองสูง 40 มม. และควบคุมอัตราการกรอง 100 มล./นาที ทำการทดลองที่ห้องทดลองของโรงกรองน้ำบางเขน การประปานครหลวง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า ปริมาณความขุ่นของน้ำดิบมีผลกระทบต่อค่าครรชนีของการกรองกล่าวคือ น้ำดิบที่มีความขุ่นสูงจะทำให้ค่าครรชนีของการกรองสูงขึ้นด้วย และค่าครรชนีของการกรองที่ต่ำสุดจะบอกถึงจุดที่มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสม (optimum dose) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรทดลองแบบจาร์เรสต์จะเห็นจุดที่มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเห็นได้ชัดเจนกว่า ทำให้สามารถทำนายช่วงความเหมาะสมได้ถูกต้องกว่า (12)

### 3.7 กระบวนการฟล็อกกูแลชันในเครื่องกรอง (Flocculation Process in Filter beds)

ฟล็อกกูแลชันในเครื่องกรองเป็นการทำให้อนุภาคต่าง ๆ ที่ถูกทำลายเสถียรภาพในขั้นตอนการกรองเร็วเคลื่อนที่มาสัมผัส หรือกระทบกัน และเกาะติดกันจนเป็นกลุ่มก้อนในที่สุด ในขั้นตอนนี้การทำให้อนุภาคต่าง ๆ เหล่านี้สัมผัสกัน หรือกระทบกันสามารถสร้างได้หลายวิธี เช่นการทำให้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำเกิดขึ้นแตกต่างกันเพื่อสร้างโอกาสสัมผัส ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในถังกวนช้า การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีขนาดแตกต่างกัน ทำให้ความเร็วในการตกตะกอนเกิดขึ้นไม่เท่ากัน

ส่วนการใช้สารกรองเป็นการบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่มาชิดกัน เพื่อเพิ่มโอกาสสัมผัส

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบการกวนซ้ำกับการกรองจะเห็นได้ว่า จะมีลักษณะที่เกิดขึ้นเหมือนกัน ในการเกิดฟล็อกกุเลชันอยู่ประการหนึ่ง คือ การสร้างโอกาสสัมผัสของอนุภาคต่าง ๆ เพียงแต่การกวนซ้ำสร้างความปั่นป่วนของน้ำโดยใช้เครื่องมือกล ทำให้ความเร็วของน้ำที่จุดต่าง ๆ แตกต่างกัน ส่วนการกรองจะมีสารกรองอยู่กับที่ และสร้างความปั่นป่วนของน้ำโดยใช้พลังงานทางชลศาสตร์ สามารถคำนวณได้ในรูปของการสูญเสียเฮด ดังสมการ (3-10)

$$P = pQgH \quad \text{-----} \quad (3-10)$$

เมื่อแทนค่า P ในสมการ (3-5) ของแคมท์ และสไตน์ จะได้ความปั่นป่วนของน้ำเกิดขึ้นในชั้นทรายกรอง ดังแสดงในสมการที่ (3-11)

จากสมการ (3-5)

$$G = \left( \frac{p}{uv} \right)^{\frac{1}{2}}$$

แทนค่า P

$$G = \left( \frac{pQgH}{uv} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$G = \left( \frac{gH}{VT} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{-----} \quad (3-11)$$

โดยที่

$$P = \text{พลังงานที่ใช้ วัดดี}$$

$$p = \text{ความหนาแน่นของน้ำ} \quad \text{กก./ม.}^3$$

$$Q = \text{อัตราการกรอง} \quad \text{ม}^3/\text{วท.}$$

$$g = \text{ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง} \quad \text{ม./วท.}^2$$

$$V = \text{ความหนืดจลน์} = u/p$$

$$T = \text{เวลากักน้ำ} = \frac{V}{Q}$$