



บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ปัญหาในการผลิตน้ำประปามักเกิดจากอนุภาคขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุของความขุ่นเรียกอนุภาคเหล่านี้ว่า "อนุภาคคอลลอยด์ (colloidal particle)" เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดเล็ก ไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเองภายในเวลาจำกัด คอลลอยด์จึงเป็นปัญหาที่ต้องทำการศึกษาและหาหนทางแก้ไขที่ต้นและประหยัดที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาผลของความสูงขึ้นเม็ดตะกอนที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นในระบบสร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้นที่ใช่ PACl เป็น coagulant กับน้ำดิบความขุ่นต่ำ

1.2.2 ศึกษาผลของการใช้สารโคแอกกูแลนต์ และช่วงห่างใบพัด ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของวิธีดังกล่าว

1.2.3 หาข้อมูลในการศึกษาต่อและประยุกต์ใช้ในอนาคต

1.3 พฤติกรรมของคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานานๆ โดยไม่ตกตะกอน เรียกว่าเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูงซึ่งเป็นที่เราไม่ต้องการ

ระบบคอลลอยด์ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก กระจายอยู่ทั่วไปในสารตัวกลางซึ่งมีสถานะเป็นเนื้อเดียว เรียกอนุภาคต่างๆเหล่านี้ว่า "dispersed phase" สารตัวกลางเรียกว่า "dispersing phase" ดังตารางที่ 1.1

ระบบคอลลอยด์ที่อยู่ในความสนใจของวิศวกรสิ่งแวดล้อม ได้แก่ระบบที่ประกอบด้วยของแข็งและของเหลว ระบบคอลลอยด์อาจจำแนกตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง Dispersed phase

และ Dispersing phase ถ้าแรงยึดเหนี่ยวมีกำลังอ่อนเรียกว่า lyophobic แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวมีกำลังแรงเรียกว่า lyophilic ในกรณีที่ dispersing phase เป็นน้ำจะเรียกเป็น hydrophobic และ hydrophilic ตามลำดับ คอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายกว่าคอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิก ทั้งนี้เพราะคอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิกมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ จึงต้องใช้แรงมากในการบังคับให้อนุภาคต่างๆ เกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อน เพราะโมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางที่ป้องกันไม่ให้อนุภาคต่างๆ เข้าใกล้ (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2526)

ตารางที่ 1.1 การจำแนกประเภทของระบบคอลลอยด์ต่างๆ (Shaw, 1970)

| Dispersing medium | Dispersed Phase | Name | Example |
|-------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|
| Liquid | Solid | Sol.colloidal suspension | Clay turb.in water |
| Liquid | Liquid | Emulsion | Oil in water |
| Liquid | Gas | Foam | Foam on soap sol. |
| Gas | Solid | Solid Aerosol | Dust.smoke |
| Gas | Liquid | Liquid Aerosol | Mist,fog |
| Solid | Solid | Solid.suspens. | Pigment plastics |
| Solid | Liquid | Solid emulsion | Opal,pearl |
| Solid | Gas | Solid foam | Expanded polystyrene |

1.4 คุณสมบัติของคอลลอยด์

1.4.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (มันลีน ตันทูลเวศม์, 2526)

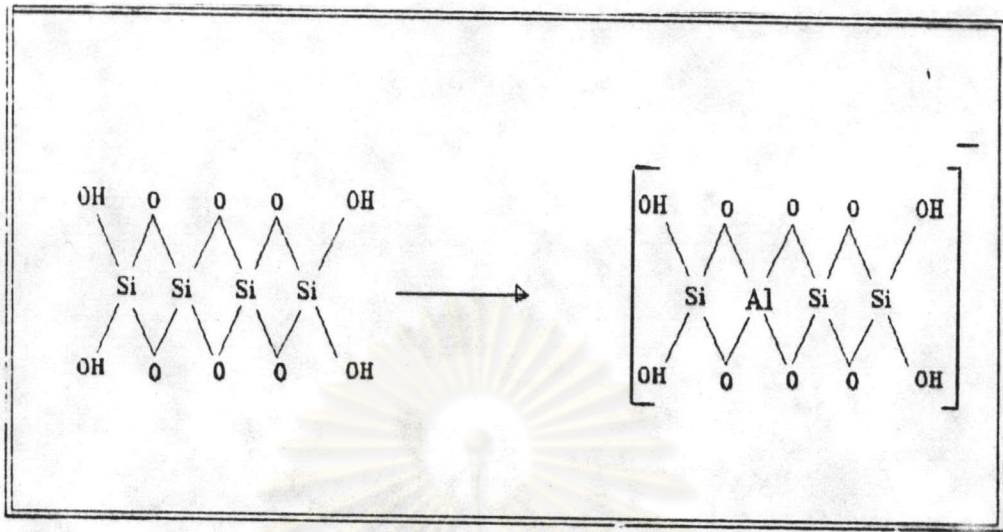
อนุภาคคอลลอยด์อาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ แต่ที่มักพบในงานด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมมักเป็นอนุภาคลบ และเป็นอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก การที่อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาค จึงเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคต่างๆกระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) ที่มาของประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์มีหลายสาเหตุ

1.4.1.1 ความไม่บริสุทธิ์ของผลึกสาร ได้จากการแลกเปลี่ยนอะตอมของผลึกอนุภาคกับอะตอมจากภายนอกซึ่งมีประจุไม่เท่ากัน เช่น Al^{+3} แลกกับ Si^{+4} รูปที่ 1.1

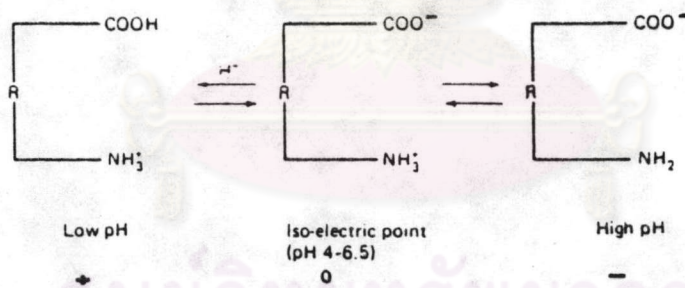
1.4.1.2 ประจุไฟฟ้าของไอออนที่ถูกดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ อนุภาคคอลลอยด์หลายชนิดได้ประจุไฟฟ้าบนผิว เนื่องจากสามารถเลือกดูดไอออนบางชนิดมาติดบนผิว เรียกว่า Peptizing Ions อนุภาคคอลลอยด์ที่กระจายอยู่ในน้ำชอบดูดไอออนลบมากกว่าไอออนบวก เพราะไอออนบวกมีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบอยู่ ทำให้ไอออนบวกไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้แบบชิดเท่ากับไอออนลบ โมเลกุลน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางการจับตัวระหว่างไอออนบวก และอนุภาคคอลลอยด์จึงเป็นสาเหตุให้อนุภาคในน้ำมักมีประจุลบมากกว่าประจุบวก

1.4.1.3 การแตกตัวเป็นไอออนของกลุ่มฟังก์ชัน (Function Group) อนุภาคคอลลอยด์จำนวนมากได้ประจุไฟฟ้าจากการแตกตัวเป็นไอออนของกลุ่มฟังก์ชันบนผิวอนุภาค เช่น โปรตีนได้ประจุไฟฟ้ามาจากการแตกตัวเป็นไอออนของหมู่เอมิโน (amino group) โดยขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ เมื่อน้ำมีพีเอชต่ำโปรตีนจะมีประจุบวก และจะมีประจุลบที่พีเอชสูง โปรตีนอาจไม่มีประจุไฟฟ้าเลยที่พีเอชระหว่างค่าสูงและต่ำซึ่งพีเอชนี้เรียกว่า isoelectric pH รูปที่ 1.2

1.4.2 ทฤษฎีที่ว่าด้วยชั้นของประจุอนุภาคคอลลอยด์ (Electric Double Layer Theory) (มันลีน ตันทูลเวศม์, 2526; Shaw, 1970; Kermmer, 1979)



รูปที่ 1.1 ที่มาของประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์



รูปที่ 1.2 การแตกตัวของโปรตีน

เป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอลลอยด์ โดยพิจารณาอนุภาคดินเหนียว ซึ่งมีประจุลบเป็นตัวอย่าง ประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์สามารถสร้างแรงดึงดูดที่ทำให้ไอออนประจุบวกในน้ำวิ่งเข้ามาหาได้ ไอออนประจุบวกจึงมาแออัดใกล้ผิวอนุภาคคอลลอยด์ ไอออนพวกนี้เรียกว่า Counter Ion ความหนาแน่นจะสูงที่สุดในบริเวณที่อยู่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และลดลงไปตามระยะห่างระหว่างอนุภาค ณ ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์แสดงว่าไม่อยู่ภายใต้อำนาจไฟฟ้าของคอลลอยด์

ตามทฤษฎีนี้เชื่อว่า ไอออนบวกชั้นในสุด ไม่สามารถ เข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ เพราะ ไอออนบวกมีโมเลกุลน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะห่างระหว่างผิวของอนุภาคคอลลอยด์และจุดศูนย์กลางของ ไอออนที่อยู่ไกลที่สุด คล้ายมีเปลือกบางกั้นขวางอยู่ เรียกชั้นบางนี้ว่า stern layer มีศักย์ไฟฟ้า เท่ากับ stern potential เปลือกชั้นนอกเรียกว่า diffuse layer ครอบคลุมจากเปลือกชั้น ในไปถึงตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี ขนาดของประจุไฟฟ้าบนผิวของอนุภาค คอลลอยด์ (nernst potential) ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่นักวิทยาศาสตร์วัดศักย์ไฟฟ้าที่จุด อื่นซึ่งไม่ใช่ที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ทั้งนี้โดยการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนาม ไฟฟ้า และคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากค่าที่วัดได้ ศักย์ที่คำนวณได้นี้เรียกว่า zeta Potential (Z_p) ซึ่งหมายถึงศักย์ที่ผิวนอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ ผิวนอกสุดนี้เรียกว่า plane of shear

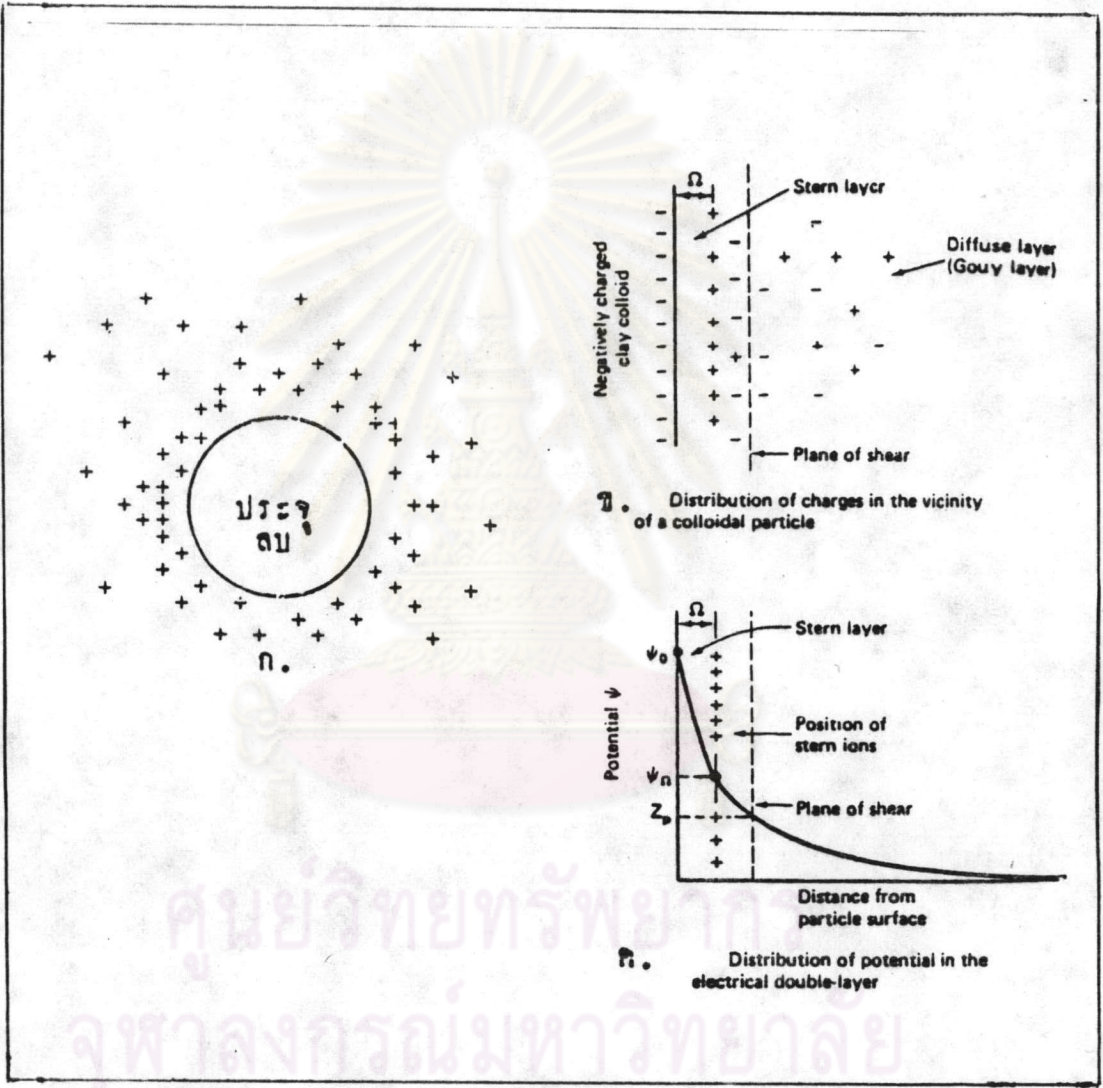
ซีตาโพเทนเชียล ใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ สำหรับคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูงจะมีค่าซีตาโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้ามระบบ คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำจะมีค่าซีตาโพเทนเชียลต่ำและสามารถรวมเป็นกลุ่มได้ง่าย รูปที่ 1.3

1.4.3 เสถียรภาพของคอลลอยด์

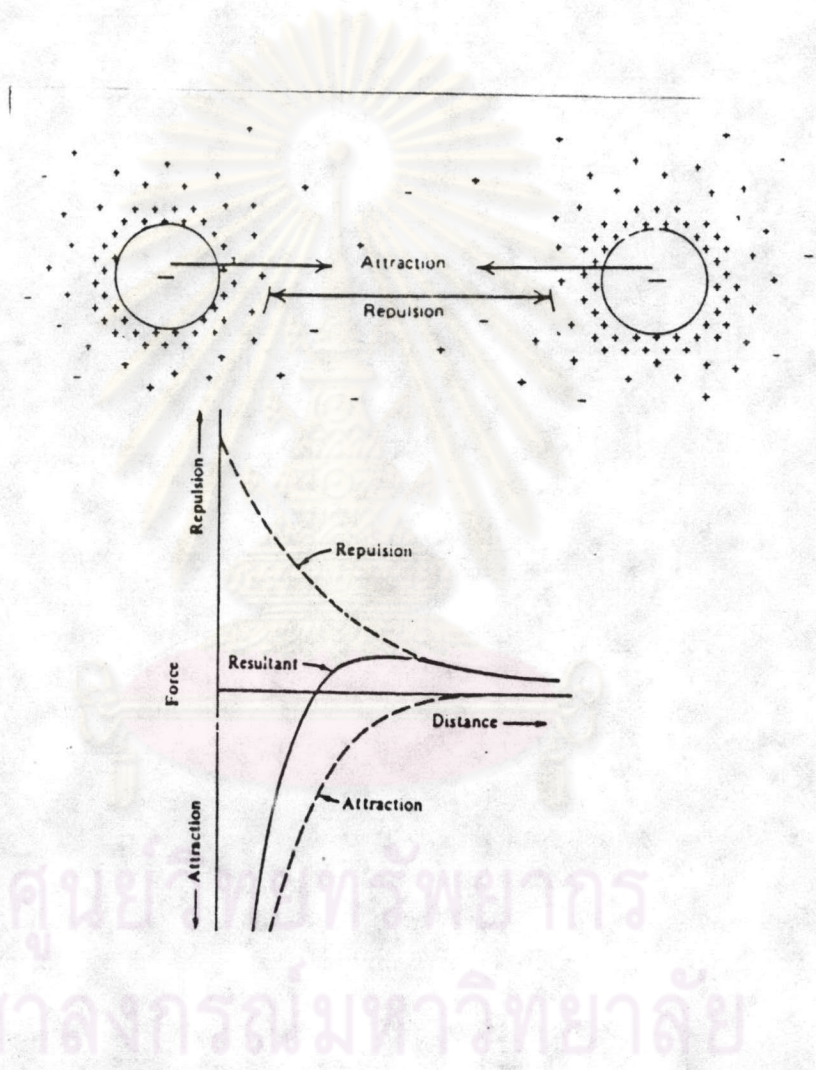
คอลลอยด์ถือว่ามีเสถียรภาพเมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้ โดยไม่ตก ตะกอนภายในเวลาสั้น เมื่อใดที่สามารถทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำ จะถือว่าเสถียรภาพของคอลลอยด์ถูกทำลาย เสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรง ผลักแรงดูดเรียกว่าแรง van der waals force เป็นแรงอ่อนมีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซีตาโพเทนเชียล ผลลัพธ์ของแรงระหว่าง อนุภาคทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค แรงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักต่อเมื่อ อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากๆ รูปที่ 1.4

1.5 การทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์

โดยการทำให้เกิดการจับกลุ่มของอนุภาคคอลลอยด์จนเป็นฟล็อก (flocs) เพื่อแยก อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆออกจากน้ำ โดยการใส่สารเคมีบางประเภทเพื่อทำลายเสถียรภาพของ



รูปที่ 1.3 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electric Double Layer Theory



ศูนย์วิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1.4 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ

อนุภาคคอลลอยด์ (destabilization) เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) และเมื่ออนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพเคลื่อนที่มาสัมผัสหรือชนกันจะเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มหรือที่เรียกว่าฟล็อก เรียกกระบวนการจับตัวกันเป็นกลุ่มนี้ว่ากระบวนการฟล็อกคูเลชัน (flocculation) หรือสมานตะกอน รายละเอียดของกระบวนการทั้งสองมีดังต่อไปนี้คือ

1.5.1 การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของคอลลอยด์

1.5.1.1 โดยการลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer)

1.5.1.2 โดยการดูดติดและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption Charge neutralization)

1.5.1.3 โดยการใช้กลไกการกวาดหรือใช้ฟล็อกสารเคมีเพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (sweep flocs coagulation)

1.5.1.4 โดยใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (polymer bridging)

1.5.2 การทำให้เกิดการสัมผัสกัน (มันสัน ตันทูลเวสต์, 2526)

ให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสกัน และเกาะติดจนเป็นฟล็อกจึงจะถือว่าเกิดฟล็อกคูเลชัน ถ้าสัมผัสกันแต่ไม่จับกันเป็นฟล็อกถือว่าไม่เกิด ซึ่งเป็นเครื่องสะท้อนให้เห็นว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ไม่ได้ผลเท่าที่ควร และอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจะเกิดฟล็อกคูเลชัน ได้สมบูรณ์เพียงใด ยังขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการทำให้เกิดสัมผัสกัน ซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

1.5.2.1 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆเคลื่อนที่ไปมาในน้ำ จนกว่าจะมีการสัมผัสกัน ที่นิยมได้แก่การกวนน้ำให้ส่วนต่างๆมีอัตราเร็วที่แตกต่างกัน โดยอัตราเร็วของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไปอันจะทำให้ฟล็อกที่เกิดแล้วแตกได้ อุปกรณ์ที่ใช้เรียกว่า ถังกวนช้า วิธีสร้างสัมผัสแบบนี้มีชื่อทางเทคนิคว่า orthokinetic flocculation การสมานตะกอนประเภทนี้มีอัตราสูงเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน

1.5.2.2 การสร้างโอกาสสัมผัสที่อาจเกิดขึ้นเอง โดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (brownian motion) เกิดขึ้นโดยอนุภาคคอลลอยด์ถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การเกิดฟล็อกแบบนี้ชื่อทางเทคนิคว่า (perikinetic flocculation) การทำฟล็อกเช่นแบบนี้ไม่เหมาะที่จะใช้ในการผลิตน้ำประปาเพราะต้องเสียเวลามาก ประกอบกับเป็นการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุล ทำให้สามารถสร้างสัมผัสให้กับคอลลอยด์ขนาดเล็กกว่า 0.1 - 1 ไมครอนเท่านั้น

1.5.2.3 การสัมผัสเกิดขึ้นจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคขนาดต่างๆ การทำฟล็อกเช่นแบบนี้เกิดขึ้นพร้อมๆกับการตกตะกอนอนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อก-คูลเช่นแบบนี้ได้ ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

1.5.3 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการโคแอกกูเลชัน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2533;มันลิน ดัณฑุลเวศม์, 2526)

ตัวแปรที่สำคัญในการกวนน้ำคือ ความเร็วเกรเดียนต์ (Velocity Gradient) ซึ่งนิยมใช้ G เป็นสัญลักษณ์ หมายถึงความปั่นป่วนของน้ำในถังกวนเร็ว จะต้องมีค่าความปั่นป่วนสูงทั้งนี้ เพื่อให้การผสมระหว่างสารเคมีกับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและพร้อมๆกันทุกจุด ในทางตรงกันข้ามน้ำในถังกวนช้าจะมีระดับความปั่นป่วนต่ำกว่ามาก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วเกิดการแตกออกจากกัน การเคลื่อนไหวในถังกวนช้ามีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างอนุภาคและจับติดกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ ถังกวนเร็วมีค่า G ไม่ต่ำกว่า 300 วินาที⁻¹ แต่ถังกวนช้ามีค่า G อยู่ในช่วง 60 - 100 วินาที⁻¹ (2) ตัวแปรอีกตัวที่สำคัญได้แก่ เวลาผสม (t) ซึ่งหมายถึงเวลาสัมผัสระหว่างสารเคมีและความขุ่น เนื่องจากปฏิกิริยาทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เกิดขึ้นรวดเร็วมาก ถังกวนเร็วจึงต้องการเวลาสัมผัสเพียง 1 นาทีหรือน้อยกว่า ในทางปฏิบัติมักถือว่าเวลาสัมผัสเป็นเวลาที่น้ำอาศัยอยู่ในถังหรืออุปกรณ์กวนเร็ว ซึ่งหมายถึงเวลากักน้ำ (detention time) พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วนในระดับ G อาจคำนวณได้จากสมการของ แคมท์ และ สไตน์ ดังนี้ (2)

$$G = (P/\mu V)^{0.5} \text{ -----(1)}$$

G = ความเร็วเกรเดียนต์หรือระดับความปั่นป่วน (วินาที⁻¹)

P = พลังงานที่ใช้ในการสร้างความปั่นป่วน (นิวตัน-เมตร/วินาที)

μ = ความหนืดของน้ำ (viscosity), (นิวตัน-วินาที ต่อ ตร.เมตร)

V = ปริมาตรของน้ำในถังกวนเร็ว (ลบ.เมตร)

สำหรับการกวนน้ำที่ใช้ใบพายในการกวนน้ำพลังงานที่ต้องการสามารถคำนวณได้จาก

$$P = 0.5 C_D A \rho v^3 \quad \text{-----}(2)$$

C_D = ค่าคงที่สำหรับใบกวนแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ 1.8 สำหรับใบพัดแบบ

ใบพาย

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

A = พื้นที่ผิวของใบพัด (ตารางเมตร)

v = ความเร็วสัมพัทธ์ของใบพัดเท่ากับ $0.75 \times$ ความเร็วรอบใบพัด

P = พลังงานที่ต้องการ (watt)

1.5.4 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

โคแอกกูเลชันที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ สารส้ม เป็นสารประกอบของอลูมิเนียม มีสูตรเคมีดังนี้ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (aluminium sulfate) สารเคมีที่นิยมรองลงมา ได้แก่ สารประกอบเหล็ก เช่น เฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) นอกจากนี้แล้วยังมีโคแอกกูเลชันที่มีประสิทธิภาพสูงอื่น ๆ อีกที่มักการศึกษาและใช้ยู่คือ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (polyaluminum chloride, PACl) จากการศึกษาของ John, E. Van Benschoten และ James, K. Edzwald (1989) ซึ่งได้เปรียบเทียบปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ระหว่าง PACl กับสารส้ม เมื่อทำการดูดซับแสงผ่านเครื่องสเปกโตรโฟโตเมตริก (spectrophotometric) พบว่า PACl มีโครงสร้างเป็นโพลีเมอร์ส่วนสารส้ม (Alum) เป็นโมโนเมอร์ และเมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ลักษณะฟลอคของสารทั้งสองชนิดต่างกัน กล่าวคือ ฟลอคของ PACl จะมีขนาดเล็กกว่าคือ 25 ไมโครเมตร ลักษณะกระจายเป็นกลุ่มเล็กๆ มีโครงสร้างเชื่อมโยงถึงกัน

ส่วนฟลอคของสารส้มจะมีลักษณะเป็นปะจุ โครงสร้างมีลักษณะเป็นรูพรุน ขนาดอยู่ในช่วง

25 - 100 ไมโครเมตร PAC1 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีกว่าสารส้ม นอกจากนี้ยังพบว่า PAC1 จะไม่รวมตัวเป็นของแข็งจนกว่าพีเอชประมาณ 7 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำโดยทั่วไป และจากการส่งตัวอย่างวิเคราะห์พบว่า PAC1 มีปริมาณ Al เป็นองค์ประกอบประมาณ 28% ซึ่งมีค่ามากกว่า Al ที่มีอยู่ในสารส้มประมาณ 2 เท่า ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นของ PAC1 จึงสนใจที่จะศึกษาใช้ PAC1 เป็นโคแอกกูแลนต์ในการทดลองนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย