

บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

3.1 ทฤษฎี สมมติฐาน หลักการ และเหตุผล

3.1.1 คอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดอยู่ระหว่าง 10^{-6} - 10^{-3} มม. ซึ่งปนอยู่ในน้ำไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยตัวเอง หรืออาจตกตะกอนได้แต่ต้องใช้เวลาานมากในการผลิตน้ำ (Hughes, 1990) ปัญหาหลักคือจะต้องกำจัดความขุ่นออกจากน้ำให้ได้ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นในการกำจัดความขุ่นจะต้องมีการจับกลุ่มของคอลลอยด์ให้มีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น จนสามารถตกตะกอนได้ในเวลาจำกัด โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า โคแอกกูเลชัน (coagulation)

Fair , Geyer และ Morris, (1963) ได้อธิบายถึงสมบัติของคอลลอยด์ไว้ดังนี้

ก) การเกาะติดผิว : ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและอุณหภูมิ แต่ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วมากหลังจากเกิดการสัมผัส

ข) จลนไฟฟ้า : ประจุไฟฟ้าขึ้นกับตัวกลางที่คอลลอยด์นั้นอยู่ด้วย ที่พีเอช 7 คอลลอยด์ซิลิเกตซึ่งมีลักษณะคล้ายอนุภาคดินเหนียว สังกะสีอินทรีย์ และอนุภาคโปรตีนมักมีประจุลบที่พีเอชนี้ ขณะที่ไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมจะมีประจุบวก

ค) ความคงตัวของคอลลอยด์ : ประจุไฟฟ้าบนผิวหน้ามีผลต่อความคงตัวของคอลลอยด์ ความคงตัวจะขึ้นอยู่กับซีตาโพเทนเชียล (zeta-potential, ζ)

$$\zeta = \frac{4\pi\sigma q}{D}$$

$$\zeta = \text{ค่าซีตาโพเทนเชียล(มิลลิโวลท์)}$$

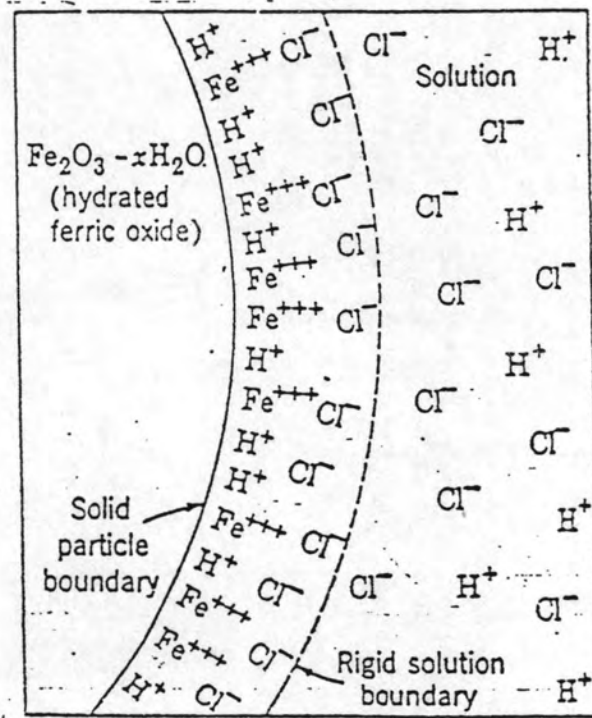
$$q = \text{ประจุนอนุภาคคอลลอยด์(คูอมบ์/พท.)}$$

$$\sigma = \text{ความหนาของชั้นประจุ(หน่วยความยาว)}$$

$$D = \text{ค่าคงที่ dielectric ของตัวกลาง}$$

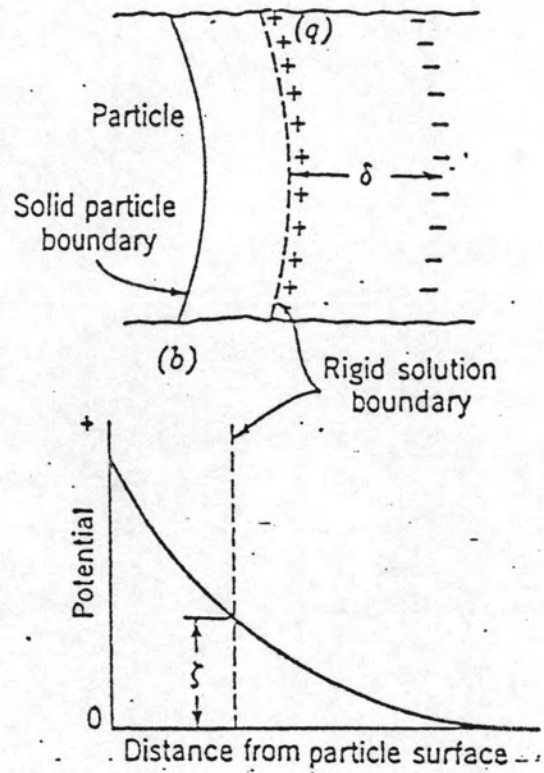
รูปที่ 3.1 แสดงซีตาโพเทนเชียลจากการวัดประจุบนอนุภาคคอลลอยด์และระยะความหนาของชั้นประจุ

ง) โคนอกกู่เลขชั้นของคอลลอยด์ ในกระบวนการโคแอกกูเลชันคอลลอยด์จะมีซีตาโพเทนเชียลลดลง โดยการทำให้ประจุบนคอลลอยด์หรือลดความหนาของชั้นประจุให้น้อยลง ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์



(a)

รูปที่ 3.1 ก) ประจุบนฟอริกออกไซด์หลังจากการเติมเฟอริกคลอไรด์ลงในน้ำ (Fair, Geyer and Morris, 1963)



รูปที่ 3.1 ข) ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงกับระยะห่างจากผิวหน้า
(Fair , Geyer and Morris , 1963)

3.1.2 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

ขั้นตอนของกระบวนการโคแอกกูเลชัน มีอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) และการสร้างโอกาสสัมผัสและรวมตัวกันของอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว (particle transport-aggregation)

3.1.2.1 การทำลายเสถียรภาพ

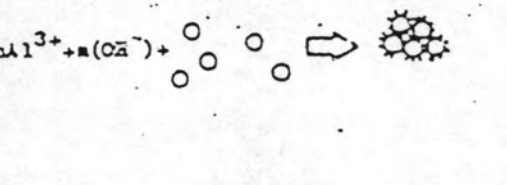
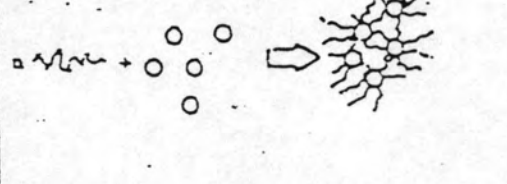

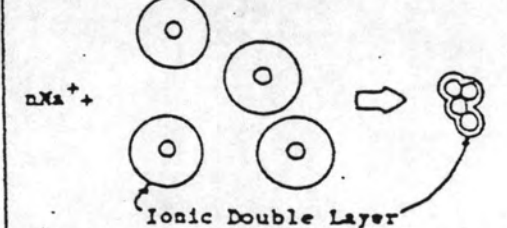
O'Melia และ Stumm (1980) กล่าวว่ากลไกของการทำลายเสถียรภาพขึ้นกับค่าพีเอช ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์ และพื้นที่สัมผัสของคอลลอยด์ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบ่งออกได้ 4 แบบ ดังรูปที่ 3.2

1) การดูดติดและการทำลายประจุไฟฟ้าบนอนุภาคคอลลอยด์ (adsorption / charge neutralization) สารเคมีบางชนิดถ้ามีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับประจุบนผิวหน้าของคอลลอยด์สามารถดูดติดอนุภาคคอลลอยด์ได้ โดยปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ขึ้นกับปริมาณของอนุภาคคอลลอยด์ กลไกนี้สามารถเปลี่ยนประจุของคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิมได้ (charge reversal) เมื่อเติมสารโคแอกกูแลนต์มากเกินไป และเสถียรภาพของคอลลอยด์จะกลับมาใหม่ เพียงแต่จะเปลี่ยนประจุเป็นตรงข้าม

2) การใช้โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (bridging) โดยโมเลกุลของโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ เนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีระหว่างโพลีเมอร์และคอลลอยด์

3) การจับคอลลอยด์โดยผลึกของโคแอกกูแลนต์ (entrapment of colloids) สารโคแอกกูแลนต์ เช่น สารส้ม, เฟอริกคลอไรด์ สามารถทำให้เกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคของแข็งในรูป $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$ ได้ ซึ่งผลึกเหล่านี้จะจับคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้ในเวลาจำกัด

4) การลดความหนาชั้นคู่มานาน (double - layer repression) เป็นการลดความหนาชั้นกระจายของประจุ และทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลง โดยการเพิ่มจำนวนประจุตรงข้ามลงไป เช่น กรณี Al^{+3} ละลายน้ำจะมีโมเลกุลของน้ำ 6 โมเลกุลจับอยู่รอบ คังสัญญาลักษณ์ $Al(H_2O)_6^{+3}$ ดังนั้น Al^{+3} ไม่สามารถสัมผัสกับอนุภาคคอลลอยด์ได้เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำขวางอยู่ แต่หากอยู่ในรูป $Al(OH) \cdot (H_2O)_5^{+2}$, $Al(OH)_2 \cdot (H_2O)_4$ จะสามารถเกาะติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้

TYPE OF DESTABILIZATION	CONCEPTUAL PICTURE OF THE ACTION
ADSORPTION	$nAl^{3+} + m(OH^-) +$ 
BRIDGING	$n \sqrt{\quad}$ 
ENTRAPMENT OF COLLOID IN METAL HYDROXIDE PRECIPITATE "Sweep Floc"	$nAl^{3+} + 3n(OH^-) +$ 
DOUBLE-LAYER REPULSION	$nNa^+ +$ 

รูปที่ 3.2 รูปแบบการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์

(Jordan , 1970)

3.1.2.2 การสร้างโอกาสสัมผัส

อนุภาคเล็กๆเหล่านี้เมื่อมีการสัมผัสกันและรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีชื่อเรียกอนุภาคใหม่นี้ว่าฟล็อก(floc) และเรียกกระบวนการนี้ว่าฟล็อกกูเลชัน(flocculation)(Jordan,1970) การสร้างโอกาสให้อนุภาคสัมผัสและจับรวมตัวกันมีหลายวิธี

ก) ออร์โธไคเนติกฟล็อกกูเลชัน (orthokinetic flocculation) โดยอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1μ การสร้างสัมผัสโดยอาศัยพลังงานจากภายนอกทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ โดยมีความเร็วที่จุดต่างๆไม่เท่ากัน ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีโอกาสสัมผัสกันมากขึ้น

ข) เพอริไคเนติกฟล็อกกูเลชัน (perikinetic flocculation) เกิดโดยอนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion) ซึ่งขึ้นอยู่กับความร้อนหรืออุณหภูมิของน้ำ ไม่ได้อาศัยพลังงานจากภายนอก ระบบ การสร้างโอกาสสัมผัสแบบนี้เกิดขึ้นกับคอลลอยด์ขนาดเล็กกว่า 1μ

นอกจากการสร้างโอกาสสัมผัสดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีการประยุกต์การเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างโอกาสสัมผัส โดยการใช้การกรองเร็วมาช่วยในการบีบให้อนุภาคคอลลอยด์มีโอกาสสัมผัสกันมากขึ้น เรียกวินี้ว่า การกรองสัมผัส(contact filtration) ส่วนการสร้างให้อนุภาคคอลลอยด์ผ่านชั้นสลัดจ์ที่สร้างขึ้นจากฟล็อก เรียกว่า กระบวนการ sludge blanket นอกจากนี้ยังมีการนำฟล็อกวนกลับมาสร้างเป็นเป่าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ที่ไหลเข้ามาใหม่ เรียกว่า กระบวนการโซลิดคอนแทกท์ ซึ่งการชนกันระหว่างอนุภาคเหล่านี้ก็จะจะเป็นแบบออร์โธไคเนติกฟล็อกกูเลชัน

3.1.3 ความขุ่น

ความขุ่นในน้ำสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท (O'Melia,1980)

ก) ความขุ่นสูง , สภาพด่างสูง (high turbidity, high alkalinity) เป็นน้ำขุ่นที่บำบัดได้ง่ายที่สุดและประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด การใช้โพลีเมอร์ประจุบวกจะทำลายเสถียรภาพได้ดี $Al(III)$, $Fe(III)$ เป็นสารโคแอกกูแลนต์ได้ดี โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะเหมาะสมกับสภาพนี้

ข) ความขุ่นสูง , สภาพด่างต่ำ (high turbidity, low alkalinity) สามารถใช้สารส้มและเฟอริกคลอไรด์เป็นตัวโคแอกกูแลนต์ แต่ต้องควบคุมพีเอชเพื่อไม่ให้พีเอชลดลงเนื่องจากการเติมสารส้มและเฟอริกคลอไรด์

ค) ความขุ่นต่ำ , สภาพด่างสูง (low turbidity , high alkalinity) น้ำชนิดนี้จะต้องมีการเติมเป่าส้มผัดด้วยการเติมดินเหนียว โดยการเติมก่อนใส่สาร โคแอกกูแลนต์และโพลิเมอร์ เนื่องจากการเติมดินเหนียวจะทำให้เปลืองสาร โคแอกกูแลนต์น้อยลง และทำให้ฟล็อกตกตะกอนได้ดี รีดน้ำออกได้ง่าย

ง) ความขุ่นต่ำ, สภาพด่างต่ำ (low turbidity, low alkalinity) เป็นการยากที่ทำการทำลายเสถียรภาพ และไม่สามารถใช้โพลิเมอร์อย่างเดียวในการบำบัดน้ำประเภทนี้ จะต้องมีการเติมดินเหนียว และพีเอชจะลดลงเมื่อมีการเติมสารส้มหรือเฟอริกคลอไรด์ ทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดลดลง

จะต้องแก้ไขโดย

ง.1 เติมนูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เพื่อปรับพีเอช

และ ง.2 เติมดินเหนียว เพื่อเพิ่มเป่าส้มผัด

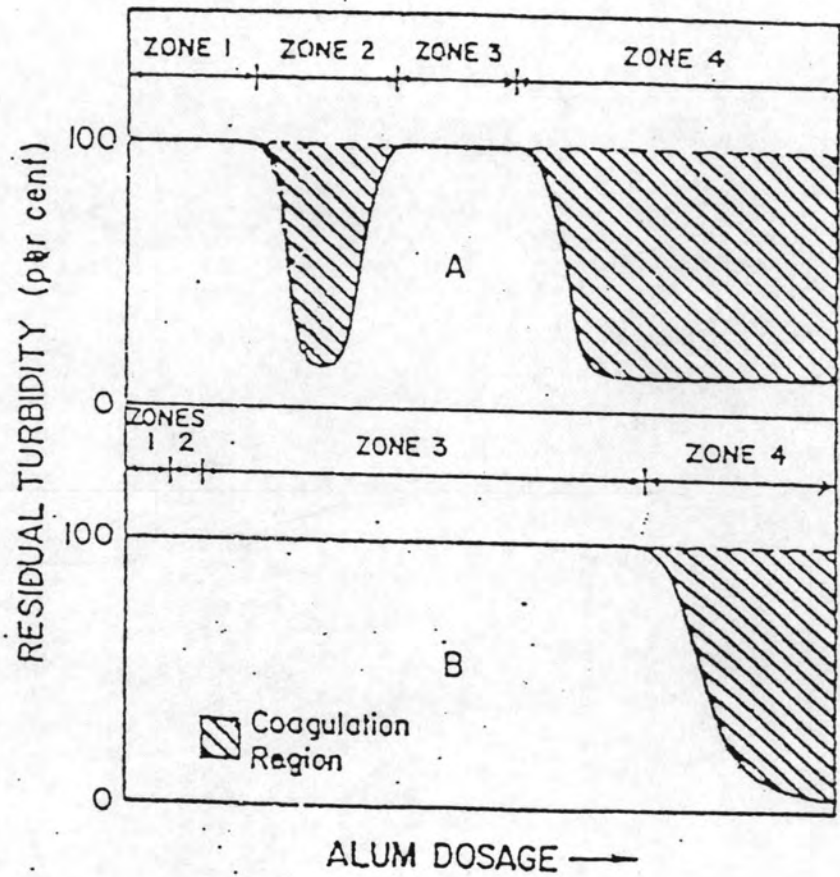
รูปที่ 3.3 a) ในน้ำที่มีความขุ่นสูง บริเวณเขต 1 จะมีการเติมสารส้มปริมาณต่ำ ปริมาณสารส้มที่เติมยังไม่พอสำหรับการทำลายเสถียรภาพโดยการเกาะติดผิว ในเขต 2 มีการทำลายเสถียรภาพโดย Al^{+3} ซึ่งมีประจุบวก ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีประจุเป็นกลาง เขต 3 เป็นการเติมสารส้มมากเกินไปทำให้เกิดเสถียรภาพกลับคืน เนื่องจากมีประจุบวกของ Al^{+3} อยู่รอบๆอนุภาคคอลลอยด์ เขต 4 จะเกิดการตกผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ในการกำจัดความขุ่นแบบการรวมคอลลอยด์โดยผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ และจมตัวลงไปด้วยกัน (sweep coagulation)

รูปที่ 3.3 b) น้ำที่มีความขุ่นต่ำ การกำจัดความขุ่นจึงอยู่บริเวณเขต 4 อย่างเดียว การเกาะติดผิวยังไม่ได้ผล เนื่องจากโอกาสสัมผัสกันระหว่างอนุภาคเองหรือกับสาร โคแอกกูแลนต์มีน้อยมาก ซึ่งการกำจัดความขุ่นแบบนี้จะต้องใช้ปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์มากกว่าน้ำที่มีความขุ่นสูงก็ได้

3.1.4 การผสม (mixing)

ในการเติมสารเคมีจะต้องมีความปั่นป่วนหรือเกรเดียนต์ความเร็ว (velocity gradient, G) พอดีที่จะทำให้เกิดการกระจายตัวของสารเคมีไปเป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลาย ค่า G ที่เหมาะสม

ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์อยู่ระหว่าง 600 - 1000 วินาที⁻¹ และ ค่า Gt อยู่ระหว่าง 1000-2000 โดย t คือระยะเวลาในการกวน, วินาที สูตรการคำนวณค่า G ดังสมการที่ (1)



รูปที่ 3.3 กระบวนการโคแอกกูเลชันของสารส้ม (O'Melia, 1980)

- ก) ความขุ่นสูง
- ข) ความขุ่นต่ำ

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

P = พลังงานที่ให้กับระบบ ,นิวตัน-เมตร/วินาที

μ = ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำ ,นิวตัน-วินาที/เมตร²

V = ปริมาตรของน้ำ ,เมตร³

การทำลายเสถียรภาพโดยการคูดัดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า จะต้องเกิดขึ้นเร็วมากหลังจากการเติมสารโคแอกกูแลนต์ เช่น สารส้ม ซึ่งปฏิกิริยาการคูดัดและทำลายประจุจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากการเติมสารเคมีภายใน 0.1 วินาที ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้ยาก ดังนั้นการทำลายเสถียรภาพจะเป็นแบบการกวาดคอลลอยด์โดยผลึกโคแอกกูแลนต์ ซึ่งใช้เวลาในการเกิดผลึก $Al(OH)_3$ ในช่วงเวลา 1-7 วินาที หลังจากเริ่มสัมผัสกับน้ำ

Hudson และ Wolfner แนะนำการทำลายเสถียรภาพแบบคูดัดและทำลายประจุไฟฟ้าโดยใช้การผสมในเส้นท่อ (inline blender) แทน หลังผ่านการกวนเร็วแล้ว น้ำที่ได้จะผ่านเข้าสู่กระบวนการฟล็อกกูเลชัน ซึ่งจะต้องมีการกวนช้าเพื่อสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพเกิดการชนกัน ค่า G ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง $10-70 \text{ วินาที}^{-1}$ โดยมีระยะเวลาในการกวน 20-30 นาที สูตรการคำนวณค่า G ดังสมการที่ 2

$$G = [Cd.A.v^3/2\sqrt{V}]^{0.5} \text{-----(2)}$$

Cd = ค่าคงที่สำหรับใบกวนแต่ละชนิด

A = พื้นที่หน้าตัดของใบพัด ,ม²

v = ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างใบพัดกับของเหลวเท่ากับ 0.75

V = ปริมาตรของของเหลวในระบบ

$\sqrt{\quad}$ = ค่าความหนืดจลน์ของของเหลว ,ม²/วินาที.

การชนกันของอนุภาคจะเป็นแบบออร์โธโคเนติกฟล็อกกูเลชัน ดังนั้นจำนวนการสัมผัสของอนุภาคจะแสดงได้ ดังสมการที่ 3

$$N = n_1 * n_2 * (G/6) * (d_1 + d_2)^3 \text{ -----(3)}$$

N = จำนวนครั้งการสัมผัสระหว่างอนุภาคที่มีขนาด d_1 จำนวน n_1
อนุภาคกับอนุภาคที่มีขนาด d_2 จำนวน n_2 อนุภาค

ดังนั้นจากสมการข้างบน เห็นได้ว่าอัตราการเกิดฟล็อกกุเลชั่นแปรผันตรงกับจำนวนและขนาดของอนุภาค และพลังงานที่ให้กับระบบ แต่แปรผกผันกับค่าความหนืดของของเหลว ค่า G_t สำหรับกระบวนการฟล็อกกุเลชั่นโดยใช้ปริมาตรอย่างเดียวนั้นจะมีค่าประมาณ 10^5 Glasgow และ Hsu พบว่าฟล็อกที่เกิดจากดินเหนียวคาโอลิไนต์ (kaolinite clay) และโพลีเมอร์ประจุลบมีความแข็งแรงมากกว่าฟล็อกที่เกิดจากดินเหนียวและเฟอริกคลอไรด์ประมาณ 2 เท่า

3.1.5 การสร้างฟล็อก (flocculation)

โพลีเมอร์ที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำจะเป็นโพลีเมอร์ประจุลบ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มคาร์บอกซิลมีมวลโมเลกุลสูงมากกว่า 1,000,000 ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกโพลีเมอร์ในการผลิตน้ำ

ตารางที่ 3.1 การเลือกใช้โพลีเมอร์ในการผลิตน้ำ (Hughes, 1990)

CHOICE OF MOLECULAR WEIGHT FOR DIFFERENT PROCESSING TECHNIQUES	
<i>Process type</i>	<i>Molecular weight range</i>
Sedimentation and centrifugation	High (in conjunction with highly cationic electrolyte for overflow clarity)
Vacuum filtration	Medium to high
Pressure filtration	Low to medium
Pressure belt filtration	Medium to high (in conjunction with low molecular weight, high cationic electrolyte)
Low solids clarification	Very low to high

อุปกรณ์ในการสร้างฟล็อก (Hughes, 1990)

1) ใบพาย (paddle) โดยการหมุนรอบแกนตั้งหรือแกนระนาบ โดยระยะเวลาในการกักน้ำประมาณ 1,200-1,800 วินาที ค่า Gt อยู่ระหว่าง 10^4 - 10^5 พื้นที่ของใบพายไม่ควรเกิน 20% ของพื้นที่หน้าตัดของถังกวนช้า

2) แผ่นกั้นน้ำ (baffle) แบ่งตามการไหลของน้ำได้ 2 แบบ

2.1 แบบบังคับการไหลในแนวระนาบ (around the end baffle flocculator)

2.2 แบบบังคับการไหลในแนวตั้ง (over and under baffle flocculator)

โดยปกติจะให้ความเร็วผ่านแผ่นกั้นน้ำมีค่าประมาณ 0.25-0.5 เมตรต่อวินาที มีระยะเวลาการกักน้ำ 10-60 วินาที ข้อเสีย คือ ค่า G จะขึ้นกับอัตราไหลของน้ำ

3) ระบบท่อ ความปั่นป่วนในเส้นท่อจะทำให้เกิดฟล็อกกุเลชั่น การหาค่าสูญเสียความดันในเส้นท่อโดยสูตรของ Darcy - Weisbach ดังสมการที่ 4

$$H = \frac{4 * f L V^2}{d * 2g} \text{-----(4)}$$

f = ค่าคงที่ความเสียดทานของท่อ

$$G = (\rho g Q H / \mu V)^{0.5}$$

โดยค่า Gt อยู่ระหว่าง 10^4 - 10^5

4) อนุภาคด้วยตัวเอง (particles) อนุภาคต่างๆ มีความเร็วในการตกตะกอนไม่เท่ากัน ทำให้อนุภาคมีโอกาสสัมผัสกันจนเกิดเป็นฟล็อก เช่น ฟลูอิดไดซ์เบดฟล็อกกุเลชั่น

เนื่องจากการรวมตัวของอนุภาคที่เข้ามาในระบบและเกิดการรวมตัวกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ และรักษาฟล็อกให้อยู่ในระบบต่อไป เพื่อเป็นเป้าสัมผัสของอนุภาคขนาดเล็กที่เริ่มเข้าสู่ระบบ เมื่อเกิดการสัมผัสกันจะทำให้เกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าอนุภาคเดิม

ในการเดินระบบจะต้องควบคุมให้อยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) ตลอดเวลา ซึ่งจะมีการระบายสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบ หรืออาจมีการเวียนสลัดจ์กลับเข้าสู่ระบบเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวต่อไป

3.1.6 ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชั่น

3.1.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการการทำลายเสถียรภาพ [Jordan, 1970]

- 1) ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์
- 2) สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของสารโคแอกกูแลนต์
- 3) ปริมาณผิวสัมผัสของคอลลอยด์
- 4) ลักษณะของคอลลอยด์
- 5) พีเอช



3.1.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างโอกาสสัมผัส

- 1) ความปั่นป่วน
- 2) จำนวนอนุภาคของคอลลอยด์
- 3) ขนาดอนุภาคของคอลลอยด์

3.1.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดฟล็อกกูเลชัน (Kawamura, 1976)

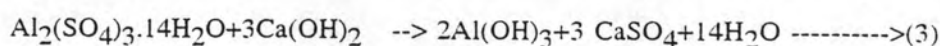
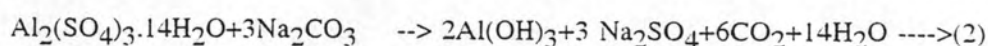
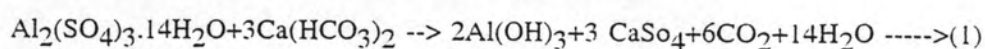
- 1) ปริมาณโคแอกกูแลนต์
- 2) โพลีเมอร์
- 3) ชนิดของความขุ่น
- 4) ขนาดของอนุภาค
- 5) พีเอช สภาพต่าง
- 6) การกวน

3.2 สารโคแอกกูแลนต์

1) สารส้ม มีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

เป็นสารเคมีที่เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชัน มักจะเกิดรูปเชิงซ้อนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ มีพันธะโคเวเลนต์เท่ากับ +3 ทำให้มีความสามารถในการลดประจุของอนุภาคคอลลอยด์ได้

ปฏิกิริยาทางเคมีของสารส้มในการผลิตน้ำ ดังสมการต่อไปนี้



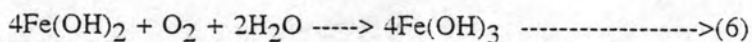
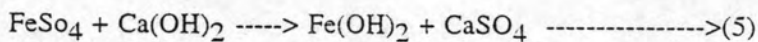
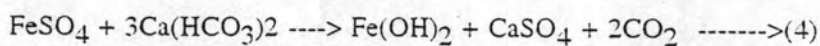
- สมการเคมีที่ (1) การรักษาระดับสภาพด่างโดยไบคาร์บอเนตในน้ำ
 สมการเคมีที่ (2) การรักษาระดับสภาพด่างโดยเติมโซดาแอช
 สมการเคมีที่ (3) การรักษาระดับสภาพด่างโดยเติมปูนขาว

ในการใช้สารส้ม สิ่งที่จะต้องคอยควบคุมไปด้วย คือ ค่าพีเอช ซึ่งช่วงที่เหมาะสมคือ
 5.5 - 7.8

2) เฟอร์รัสซัลเฟต (copperas) มีสูตรโมเลกุล $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

มีช่วงการทำงานกว้างมาก คือ พีเอช 4.0-11.0 ซึ่งกว้างกว่าสารส้ม แต่ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือควรให้มากกว่า 8.0 เพื่อให้แน่ใจในทางปฏิบัติมักจะมีการเติมปูนขาวลงไปพร้อมกับเฟอร์รัสซัลเฟต

ปฏิกิริยาทางเคมีของเฟอร์รัสซัลเฟตในการผลิตน้ำดังสมการต่อไปนี้

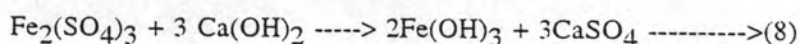
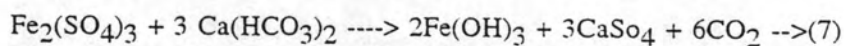


โดยจะต้องควบคุมให้มีปริมาณออกซิเจนพอเพียงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเตรียมความเข้มข้นของเฟอร์รัสซัลเฟตได้ไม่เกิน 5% และต้องใช้เวลาในการละลายอย่างต่ำ 5 นาที

3) เฟอริกซัลเฟต มีสูตรโมเลกุล $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

มีช่วงการทำงานที่พีเอช 4.0-11.0 เหมือนกับเฟอร์รัสซัลเฟต ช่วงพีเอชที่ทำงานได้ดี คือมากกว่า 8.0

ปฏิกิริยาทางเคมีของเฟอริกซัลเฟตในการผลิตน้ำ ดังสมการต่อไปนี้



การเตรียมสารละลายสามารถเตรียมให้มีความเข้มข้นถึง 25% โดยใช้เวลาในการละลาย 30 นาที โดยมีการควบคุมเวลาเพื่อให้เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์

4) โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) มีสูตรโมเลกุล $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$

สามารถทำงานได้ในช่วงพีเอช 5.0-10.0 มีโครงสร้างเป็นแบบโพลีเมอร์เมื่อละลายน้ำ มีผลกระทบต่อความเป็นด่างของน้ำน้อยมาก จึงไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มสภาพด่างในกระบวนการผลิตน้ำ

อลูมิเนียมเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุภาคโมโนเมอร์ โพลีเมอร์ และตกผลึกของแข็ง อนุภาคโมโนเมอร์จะอยู่ในรูปของ Al^{+3} , $AlOH^{+2}$, $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_3$ และ $Al(OH)^{-4}$ อนุภาคโพลีเมอร์จะอยู่ในรูป $Al_2(OH)_2^{+4}$, $Al_3(OH)^{+5}_4$ และ $Al_{13}O_4(OH)^{+7}_{24}$ อนุภาคผลึกของแข็งจะอยู่ในรูป $Al(OH)_3(S)$ (Baes and Mesmer, quoted in Hughes, 1990)

เมื่อโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส อลูมิเนียมจะอยู่ในรูป Al_{13} เป็นส่วนมาก (Akitt Farthing and Batters et al; quoted in Hughes, 1990)

3.3 โพลีเมอร์

3.3.1 ชนิดของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นกลุ่มของโพลีเมอร์ที่มีสมบัติเฉพาะ มีโมโนเมอร์ซึ่งสามารถนำพาประจุหรือแตกตัวเป็นไอออน ทำให้เกิดสารประกอบที่มีประจุไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ อาจมีประจุบวก (cationic polyelectrolytes) หรือมีประจุลบ (anionic polyelectrolytes) โดยทั่วไปสารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 10,000 ถึง 10,000,000 ปัจจุบันมีบทบาทในการใช้งานมากขึ้นเป็นลำดับ ทั้งเพื่อการปรับสภาพน้ำดีและการบำบัดน้ำเสีย

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์มักมีทั้งที่ได้จากธรรมชาติ เช่น แป้ง ยางไม้ สาหร่ายทะเลสกัด และสารที่ได้จากการสังเคราะห์ แต่จากกระบวนการสังเคราะห์ทำให้สามารถควบคุมสมบัติต่างๆ ได้ ทั้งปริมาณ ชนิดประจุ และน้ำหนักโมเลกุล ฯลฯ สารดังกล่าวจึงมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้งาน สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ใช้สำหรับการปรับแต่งสภาพน้ำดิบเพื่อการอุปโภคบริโภคจำเป็นต้องพิจารณาถึงความปลอดภัยด้วย เนื่องจากมักมีสารเจือปนตกค้างอยู่เสมอ ตารางที่ 3.2 เป็นตัวอย่างของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน

การจัดหมวดหมู่สารโพลีเอเล็กโทรไลต์ สามารถกระทำได้หลายรูปแบบตามสมบัติ และ ประโยชน์การใช้งาน กล่าวคืออาจแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิดโครงสร้างหรือขนาดของโมเลกุลหรือ แบ่งตามชนิดของประจุที่เกิดขึ้นในโมเลกุล ฯลฯ ในที่นี้จะกล่าวถึงประเภทของสารโพลีเอเล็กโทรไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นตามสมบัติประการสุดท้ายที่กล่าวมานี้

มวลโมเลกุลของโพลีเมอร์แบ่งออกได้ 4 ระดับ

- ระดับสูง มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 20×10^6
- ระดับกลาง มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 10×10^6
- ระดับต่ำ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 5×10^6
- ระดับต่ำมาก มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 1×10^6

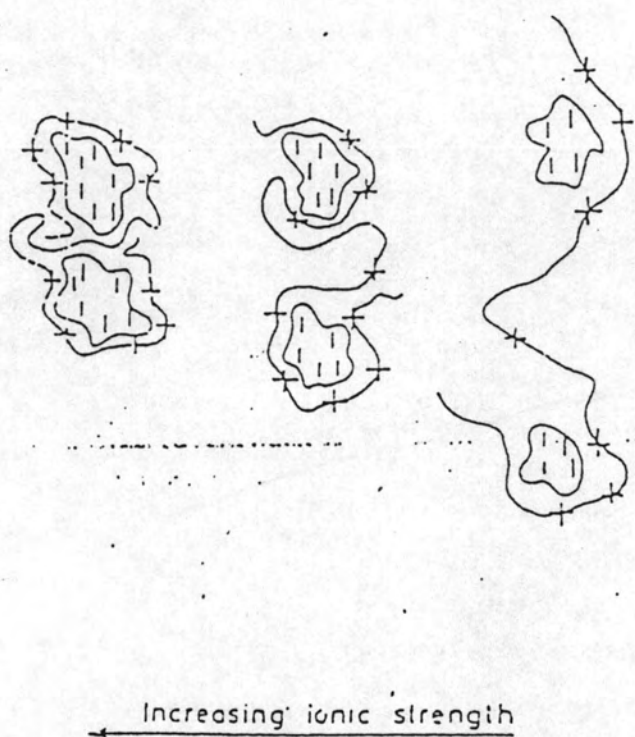
มวลโมเลกุลที่สูงมีผลทำให้ฟลોકกรวมตัวกันตกตะกอนได้เร็วขึ้น

รูปที่ 3.4 แสดงการทำลายประจุและการสร้างสะพานเชื่อมอนุภาค

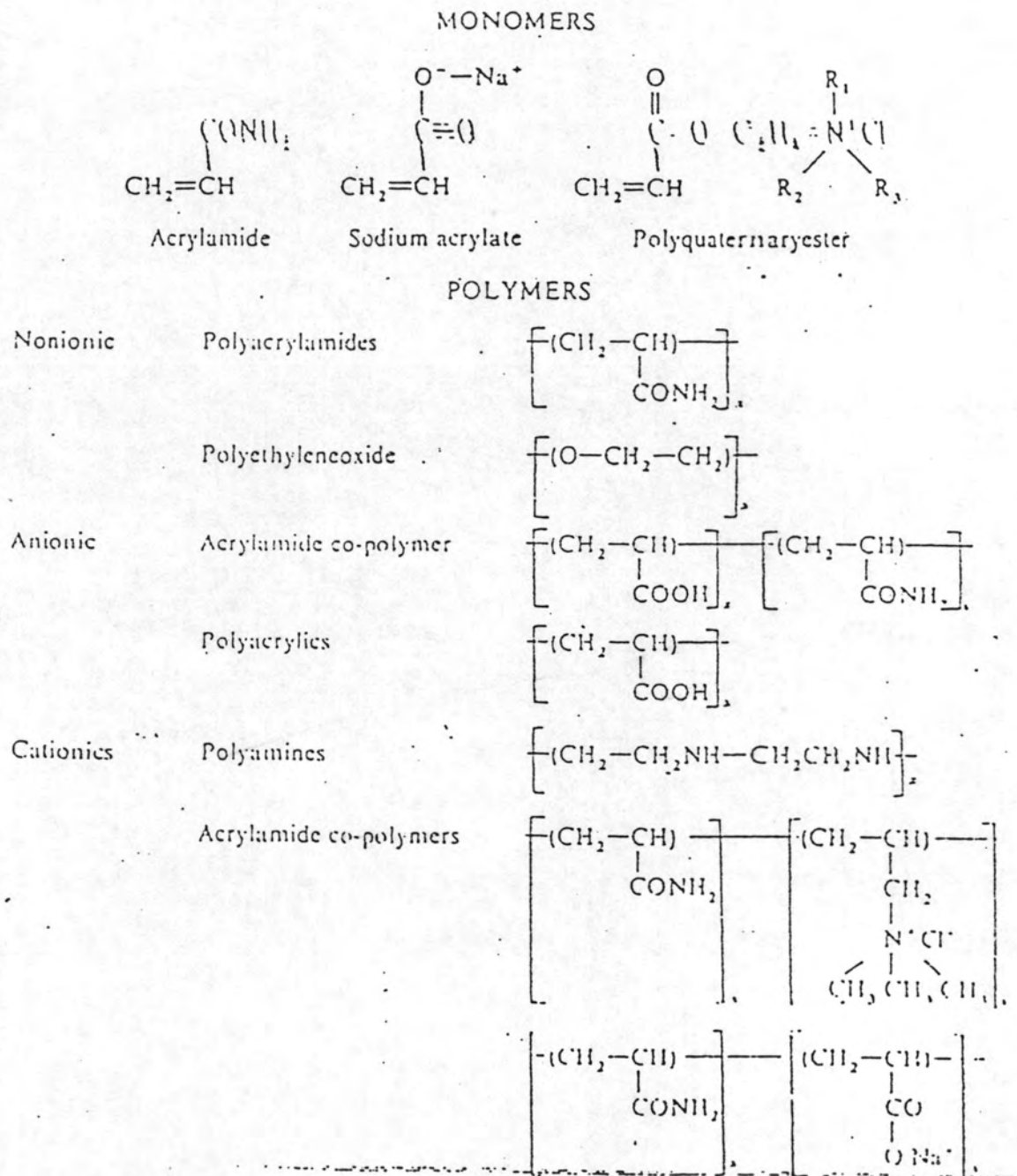
รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างโมโนเมอร์และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ประจุลบและประจุบวก

ตารางที่ 3.2 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เป็นสารสร้างฟล็อก (Bratby,1990)

Name	Charge type	Manufacturer and location
Manifloc 835A	Anionic,high charge	American Cyanamid Co. Wayne, New Jersey
Manifloc 820A	Anionic, intermediate charge	American Cyanamid Co. Wayne, New Jersey
Manifloc 905N	Nonionic	American Cynamid Co. Wayne, New Jersey
Purifloc N-17	Nonionic	Dow Chemical Co. Midland, Michigan
Manifloc 507C	Cationic, moderate charge	American Cynamid Co. Wayne, New Jersey
Manifloc 573C	Cationic, moderate charge	American Cynamid Co. Wayne, New Jersey



รูปที่ 3.4 การทำลายประจุและการสร้างสะพานเชื่อมอนุภาค
(Hughes, 1990)



รูปที่ 3.5 โครงสร้างโมโนเมอร์และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ประจุลบ และประจุบวก

(Hughes, 1990)

3.3.1.1 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุลบ (anionic polyelectrolytes)

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุลบ โดยทั่วไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงสูงถึงสูงมาก มักใช้เป็นสารรวมตะกอน โพลีเมอร์ที่มีประจุลบมากและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีพฤติกรรมเป็นสารที่ช่วยกระจายตะกอนในสารละลาย (dispersants) รูปแบบส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มคาร์บอกซิเลทไอออนได้แก่ พวกลีโพลีเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิเลท เช่น โพลีอะครีลาไมด์ และพวกลีโพลีเมอร์ที่มีหมู่ซัลโฟนิคแอซิด เช่น กาลีโคโซเดียมของโพลีสไตรีน ซัลโฟนิคแอซิด

3.3.1.2 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุ (nonionic polyelectrolytes)

โพลีเมอร์ที่มีประจุต่ำกว่า 1% ในสารละลายโพลีเมอร์เหล่านี้จะทำให้เกิดการรวมตะกอน โดยใช้กลไกการสร้างสะพานเชื่อมเป็นหลัก ในการใช้งานจึงต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือสูงมาก ตัวอย่างสารรวมตะกอนที่สำคัญได้แก่โพลีเอทิลีนออกไซด์ และโพลีอะครีลาไมด์ ส่วนโพลีไวนิลไพโรไลโดนอน มักถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

3.3.1.3 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวก (cationic polyelectrolytes)

มีความเป็นประจุบวกสูง เช่น โพลีเอทิลีน อามีน และ โพลีเอทิลีน ไอมีน (PEI) สารกลุ่มนี้ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ และใช้บ้างในการศึกษาปฏิกิริยารวมตะกอน

โพลีเอทิลีน ควอเทอริ เป็นสารที่ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพพีเอช มีความต้านทานต่อการสลายตัวโดยคลอรีนมากกว่าโพลีเมอร์ทั่วไป จึงมักมีความสำคัญในการคลอรีนน้ำดิบ

แคตไอออนนิค ไซยานามีน เป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำประมาณ 1×10^3 ถึง 1×10^3 เริ่มแรกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษ แต่ก็พบว่าสามารถแสดงปฏิกิริยาทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยเช่นกัน

คาโบโมอิล โพลีเมอร์แคตไอออน เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญในทางการค้าและใช้งานได้อเนกประสงค์ มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 10^6 มีความหนืดสูงและมีสารที่ไวต่อปฏิกิริยาอยู่น้อยเมื่ออยู่ในสารละลาย

โพลีแอลฟา-ไวનીลไมคาโซลีน เป็นโพลีเมอร์พวก โพลีไซคลิก อาไมด์ มีโครงสร้างพิเศษสำหรับการเป็นสารรวมตะกอน ทั้งนี้เพราะมีความเป็นประจุบวกสูงมากและมีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจนถึงสูง

โพลีไดอัลลิลเมทิล แอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างเชิงเส้นมีน้ำหนักโมเลกุลช่วงต่ำถึงปานกลาง(น้อยกว่า 10^6) มีความต้านทานต่อคลอรีนและไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช

ไดเมทิล อะมิโนอัลคิล อะคริลิก และ เมททาไซคลิกเอสเทอร์ โพลีเมอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีความไวในสภาพตัวกลางที่เป็นกรดหรือเบส ใช้เป็นสารรวมตะกอน สารกลุ่มนี้มีราคาค่อนข้างสูง

เอ็น-ไดอัลคิลอะมิโนอัลคิล อะคริลาไมน์ โพลีเมอร์ โพลีเมอร์กลุ่มนี้ได้รับความสนใจในการใช้เป็นสาร เพราะมีเสถียรภาพต่อการไฮโดรไลซิส มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

3.3.2 กลไกทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ด้วยสาร โพลีอิเล็กโทรไลต์

มีกลไกหลัก 2 กลไก คือ

1. กลไกสะพานเชื่อม (bridging mechanism)
2. กลไกการเกิดห่อประจุไฟฟ้าสถิต (electrostatic patch mechanism)

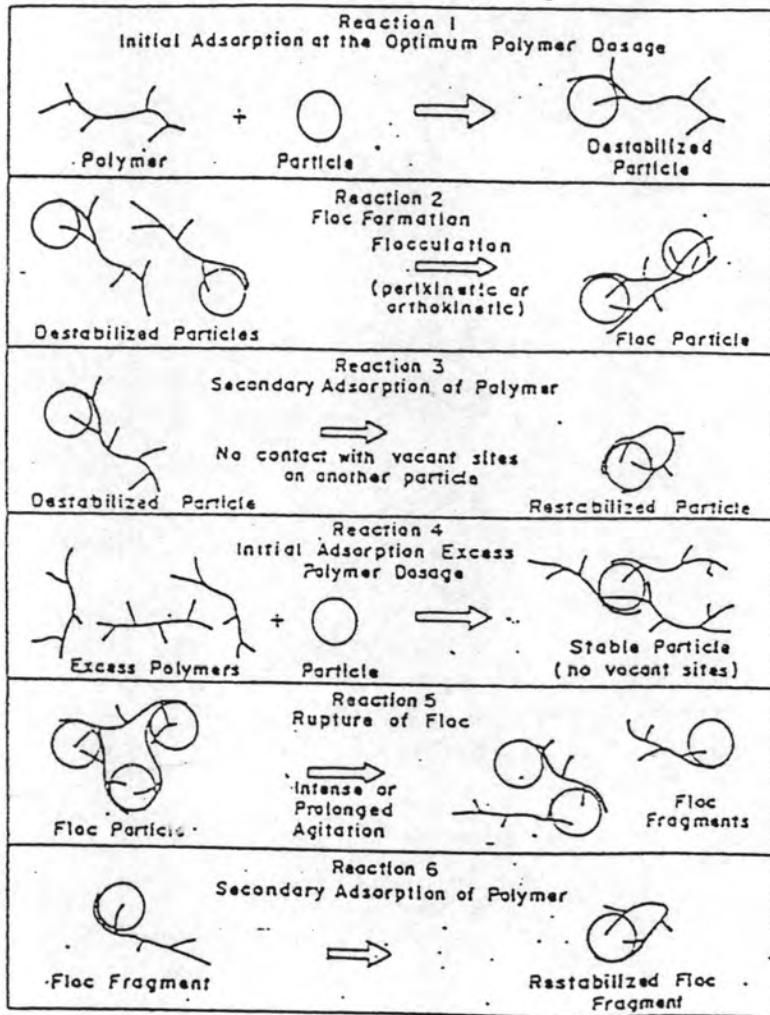
3.3.2.1 กลไกสะพานเชื่อม

รูป 3.6 ในปฏิกิริยาที่ 1 แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะอยู่ โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะติดอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ซึ่งอนุภาคเหล่านี้สามารถจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมี

โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมคังปฏิกิริยาที่ 2 ซึ่งการต่อเชื่อมจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีตำแหน่งว่างและมีโพลีเมอร์ปลายอิสระ และเมื่อปลายอิสระไม่มีการเกาะจับบนอนุภาคอื่นปลายอิสระก็จะจับบนอนุภาคเดิม คังปฏิกิริยาที่ 3 ทำให้ไม่มีปลายอิสระจับอนุภาคอื่นๆ และทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่าง เรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (restabilized particle) การใช้โพลีเมอร์มากเกินไปเพราะโพลีเมอร์มีหลายโมเลกุลไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ คังปฏิกิริยาที่ 4 อนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ การกวนน้ำแรงเกินไปหรือนานเกินไป จะทำให้ฟล็อกแตกเป็นส่วนๆ คังปฏิกิริยาที่ 5 ทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับอนุภาคเดิม คังปฏิกิริยาที่ 6 ทำให้เสถียรภาพกลับคืนมาใหม่อีก

3.3.2.2 กลไกการเกิดห่อหุ้มประจุไฟฟ้าสถิตย์

กลไกนี้ใช้อธิบายพฤติกรรมการเกาะติดหรือทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ในกรณีที่ใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ หรือสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบในการใช้เป็นสารช่วยรวมตะกอน หลังจากผ่านการทำลายเสถียรภาพด้วยสารรวมตะกอนจำพวกโลหะมาก่อนแล้ว และเกิดปรากฏการณ์แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ที่ค่อนข้างรุนแรง โดยที่ตามปกติอนุภาคต่าง ๆ ในสับสเตรต (substrate) มักมีตำแหน่งที่มีประจุลบบนพื้นที่ผิวค่อนข้างจะคงตัว เมื่อโมเลกุลของโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกถูกเติมลงไป ในสับสเตรตนั้นจะเกิดการเกาะติดบนพื้นผิวอนุภาคผ่านพันธะทางไฟฟ้าสถิตย์ โพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกและมีความหนาแน่นของประจุสูงมากและมากกว่าประจุลบบนพื้นผิวอนุภาค และจะทำลายประจุลบ ไม่เพียงแต่บริเวณที่เกาะติดเท่านั้น แต่จะรวมถึงส่วนอื่นหรือทั้งหมดบนผิวอนุภาคได้แล้วก่อตัวเป็นประจุบวกห่อหุ้มล้อมขอบเขตของตำแหน่งประจุลบ ทำให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างอนุภาคโดยตรงและลดแรงผลักระหว่างอนุภาคเกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นได้ โดยอนุภาคที่อยู่ใกล้ชิดกันและอยู่ในแนวเดียวกันสามารถให้แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ที่รุนแรง



รูปที่ 3.6 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แบบต่อเชื่อมด้วยโพลิเมอร์ (Samuel , D.F. and Osman ,M.A.,1983)

3.4. กระบวนการตกตะกอนผลึก (precipitation)

กระบวนการนี้จะช่วยในการกำจัดไอออนของอนุภาคต่างๆออกจากรูปร่างเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภค เช่น การกำจัดแคลเซียมไอออนโดยการทำให้ตกตะกอนในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำ ทำให้เป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะทำให้เกิดเม็ดตะกอน ขนาดของเม็ดตะกอนที่เริ่มเข้าสู่ระบบจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีกับอนุภาคเม็ดตะกอนที่มีอยู่ในระบบก่อนหน้านี้แล้ว ในกรณีที่มีเม็ดตะกอนขนาดเล็กรวมอยู่กับเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ในสารละลายอิมพัลซ์ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับเม็ดตะกอน เม็ดตะกอนขนาดเล็กจะรวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะมีน้ำหนักมากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการตกตะกอนได้เร็วขึ้น และสามารถกำจัดออกจากระบบได้ง่าย กระบวนการนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำ เช่น การลดความกระด้างของน้ำ (softening by precipitation) (Graveland, 1983) รูปที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์การลดความกระด้างของน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดของเม็ดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต โดยเม็ดตะกอนจะเคลื่อนที่อิสระโดยมีการป้อนน้ำไหลขึ้น เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นจะต้องควบคุมไม่ให้แตกเนื่องจากความเร็วน้ำไหลขึ้น ในระหว่างการเดินระบบขนาดของเม็ดตะกอนจะใหญ่ขึ้น ทำให้พื้นผิวสัมผัสกับเม็ดตะกอนอื่นๆน้อยลง จึงต้องมีการระบายตะกอนขนาดใหญ่ออกเป็นระยะๆ ซึ่งระบบจะสร้างเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นมาใหม่ตลอดเวลา ความเร็วในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนในกระบวนการนี้จะสูงกว่าการตกตะกอนของฟล็อกแคลเซียมคาร์บอเนตทั่วไป ความเร็วน้ำไหลขึ้นสูงถึง 150 ม./ชม. การสร้างเม็ดตะกอนที่ดีจะต้องพิจารณาเลือกค่าความสูงของชั้นเม็ดตะกอน ความเร็วน้ำไหลขึ้น ตลอดจนขนาดของเม็ดตะกอนที่เหมาะสม

ความเร็วน้ำไหลขึ้นในระบบฟล็อกแบลิ่งเคทคลาริฟิเคชัน (floc blanket clarification) มีค่าไม่เกิน 0.7 เท่าของความเร็วในการตกตะกอนของฟล็อก (Bond and Tambo, quoted in Gregory, 1979)

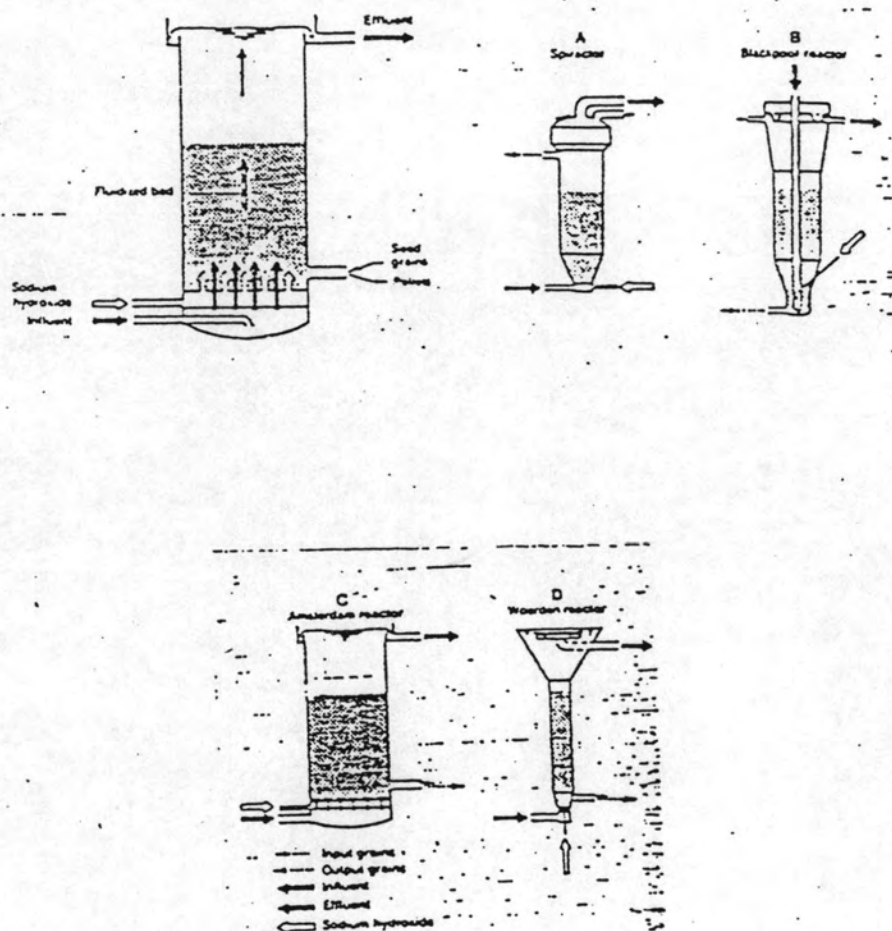
ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและความเข้มข้นของฟล็อกในกระบวนการฟล็อกแบลิ่งเคทคลาริฟิเคชัน

1. คุณภาพน้ำดิบจะแปรไปตามฤดูกาล เช่น ความขุ่น อุณหภูมิ
2. กระบวนการโคแอกกูเลชัน เช่น การเลือกสารเคมี การกวน ช่วงระยะเวลาการเติมสารเคมี
3. การกระจายน้ำเข้า เช่น ขนาดและรูปร่างของถัง

4. การควบคุมชั้นเมืงตะกอน เช่นการระบายเมืงตะกอนส่วนเกิน ความลึก และความเข้มน้ของชั้นเมืงตะกอน

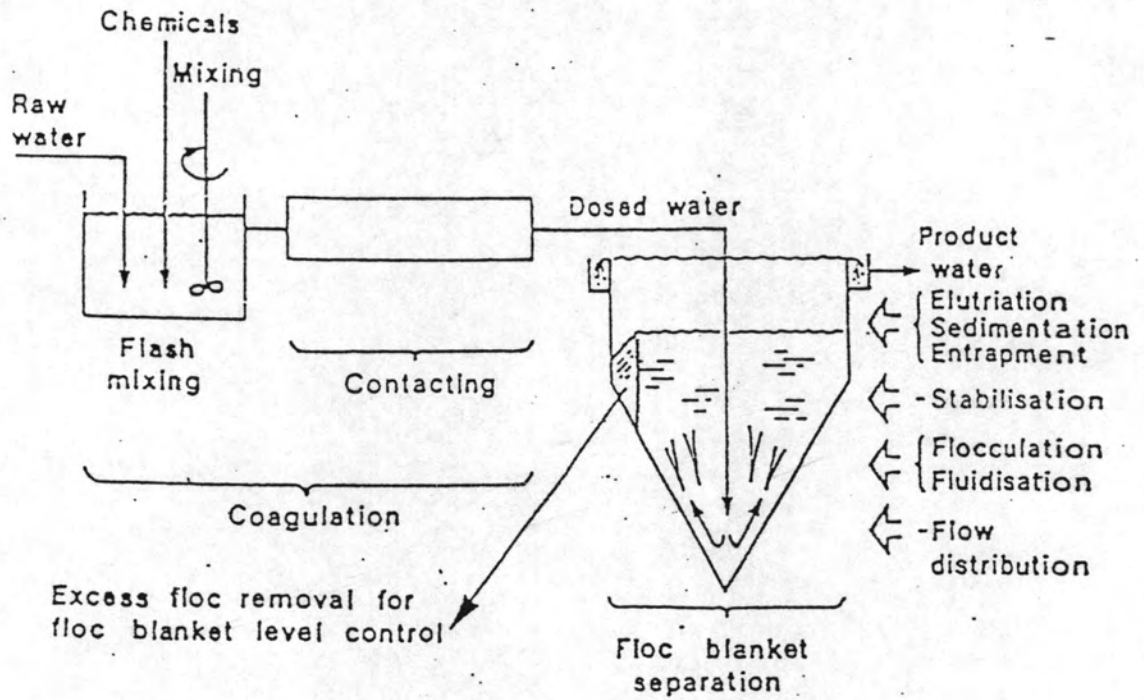
5. การกระจายน้ำออกต้องมีการกระจายของน้ำอย่างสม่ำเสมอและปราศจากแรงกระทำจากภายนอกที่มีผลต่อระบบ เช่น แรงลมที่พัดผ่านผิวน้ำซึ่งอาจมีผลกระทบลงไปถึงชั้นเมืงตะกอนด้านล่าง รูปที่ 3.8 แสดงระบบการผลิตน้ำแบบฟลือกแบลิ่งเคทคลาริฟิเคชั่น

การทดลองพบว่าประสิทธิภาพของระบบนี้จะลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นและลดความลึกของชั้นน้ำใส แต่จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเพิ่มค่าความสูงของชั้นเมืงตะกอนและปริมาณสารโพลีเมอร์(Miller West and Yadav, quoted in Gregory, 1979)



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การลดความกระด้างของน้ำ(pellet reactors)

(Graveland,A. et al., 1983)



รูปที่ 3.8 ระบบการผลิตน้ำแบบฟล็อกแบล็งคทลารีฟิเคชัน

(floc blanket clarification)

(Gregory,1979)

3.5 กระบวนการสภาวะเมตาเสถียร (metastable state process)

สารละลายในสภาวะเมตาเสถียรจะไม่มีการตกผลึกแม้ว่าจะทิ้งไว้ในระยะเวลาที่นาน เนื่องจากไม่มีขนาดหรือความเข้มข้นมากพอที่จะรวมตัวกันเองตกผลึกออกมา ต่างกับสารละลายที่มีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัวซึ่งพร้อมที่จะตกผลึกตลอดเวลาในสภาวะเมตาเสถียร (Yusa,Suzuki and Tanaka, 1975) หากเติมสารชนิดเดียวกับสารละลายที่อยู่ในสภาวะของแข็ง จะทำให้เกิดผิวสัมผัสระหว่างของแข็งกับสารละลายอย่างรวดเร็วจนเกิดการรวมตัวกันเป็นของแข็งที่มีความหนาแน่นสูง เนื่องจากการสัมผัสของอนุภาคเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one by one attachment)

3.6. การสร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้น

การสร้างเม็ดตะกอนแบบนี้จะมีการให้พลังงานจากภายนอกเพื่อทำการรีดน้ำออกจากฟล็อก ทำให้ฟล็อกมีการอัดตัวกันแน่น ถ้ามีแรงดันกระทำต่อฟล็อกขนาดเท่ากันรอบๆ ฟล็อก และเกิดการสมดุลระหว่างแรงดันภายนอกและแรงดันภายใน จะทำให้ไม่มีของเหลวถูกรีดออกจากฟล็อก (Yusa,Suzuki and Tanaka, 1975) ถ้าหากมีแรงดันกระทำไม่เท่ากันรอบๆฟล็อก ของเหลวจะถูกรีดออกจากฟล็อกตรงจุดที่มีแรงดันน้อยที่สุด ผลที่ได้จะทำให้ฟล็อกมีการอัดตัวกันแน่น และมีความแข็งแรง ส่วนฟล็อกที่ยังไม่แข็งแรงจะแตกออก สรุปได้ว่าการสร้างเม็ดตะกอน (pellet flocc) ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น โมเมนต์ และแรงกระทำจากภายนอกที่กระทำต่อผิวหน้าของฟล็อกอย่างไม่สม่ำเสมอ

ทฤษฎีที่ใช้สนับสนุนการเกิดเพลเลตฟล็อก มีดังนี้

- 1) เทคนิคการกลิ้ง (rolling technique)
- 2) เทคนิคการชน (collision technique)

เทคนิคการกลิ้ง

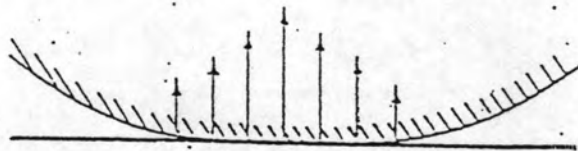
โดยการสมมติว่าการสร้างสัมผัสของฟล็อกกับผิวระนาบ จะมีแรงดันกระทำต่อฟล็อก ดังรูปที่ 3.9 ณ จุดที่สัมผัสจะมีการเปลี่ยนขนาดของฟล็อก ตรงจุดตรงกลางจะมีแรงกระทำมากที่สุด



เมื่อมีการกลิ้งฟล็อกไปข้างหน้าจุดศูนย์กลางของการสัมผัสจะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ตามทิศทางการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 3.10 ดังนั้นขณะกลิ้งจะเกิดแรงกระทำสูงสุดเปลี่ยนไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ ทำให้เม็ดฟล็อกมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทำให้ฟล็อกแข็งแรงขึ้น

เทคนิคการชน

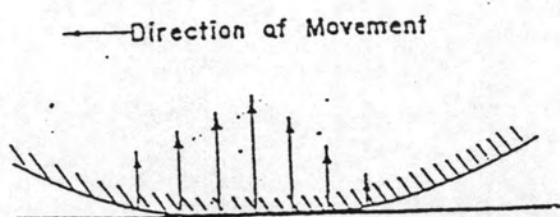
เมื่อฟล็อกมีการชนกันที่ผิวหน้าของอุปกรณ์ทำให้เกิดการอัดตัวของฟล็อก ซึ่งทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กเกาะติดกันแน่นและมีความแข็งแรง รูปที่ 3.11 แสดงการเรียงตัวของอนุภาคก่อนได้รับแรงกระทำ รูปที่ 3.12 แสดงการเรียงตัวของอนุภาคหลังได้รับแรงกระทำ ซึ่งจะทำให้ฟล็อกอัดตัวกันแน่นขึ้น และมีจุดสัมผัสมากขึ้นด้วย จึงพอสรุปได้ว่าฟล็อกมีการรีดน้ำออกมาและมีการอัดตัวกันแน่นขึ้นเนื่องจากแรงที่ไม่สม่ำเสมอกระทำต่อผิวหน้าฟล็อก



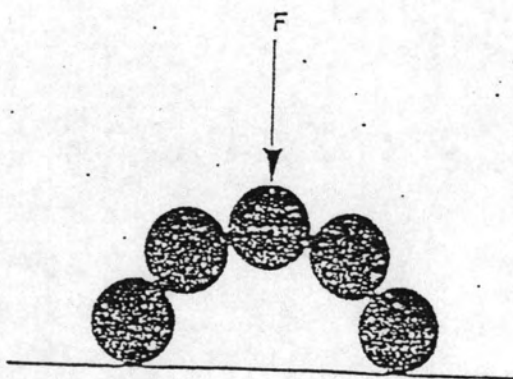
Pressure Distribution Around
the Contact Area When a
Floc is at Rest on a Solid Plane
(Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)

รูปที่ 3.9 การกระจายแรงกระทำต่อฟล็อกเมื่ออยู่กับที่

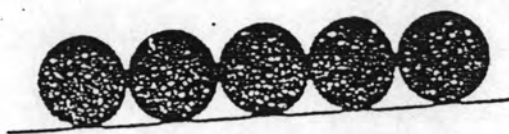
(Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)



รูปที่ 3.10 การกระจายแรงกระทำต่อฟลือกเมื่อเคลื่อนที่
(Yusa,Suzuki and Tanaka, 1975)



รูปที่ 3.11 การเรียงตัวของอนุภาคก่อนได้รับแรงกระทำ
(Yusa,Suzuki and Tanaka, 1975)

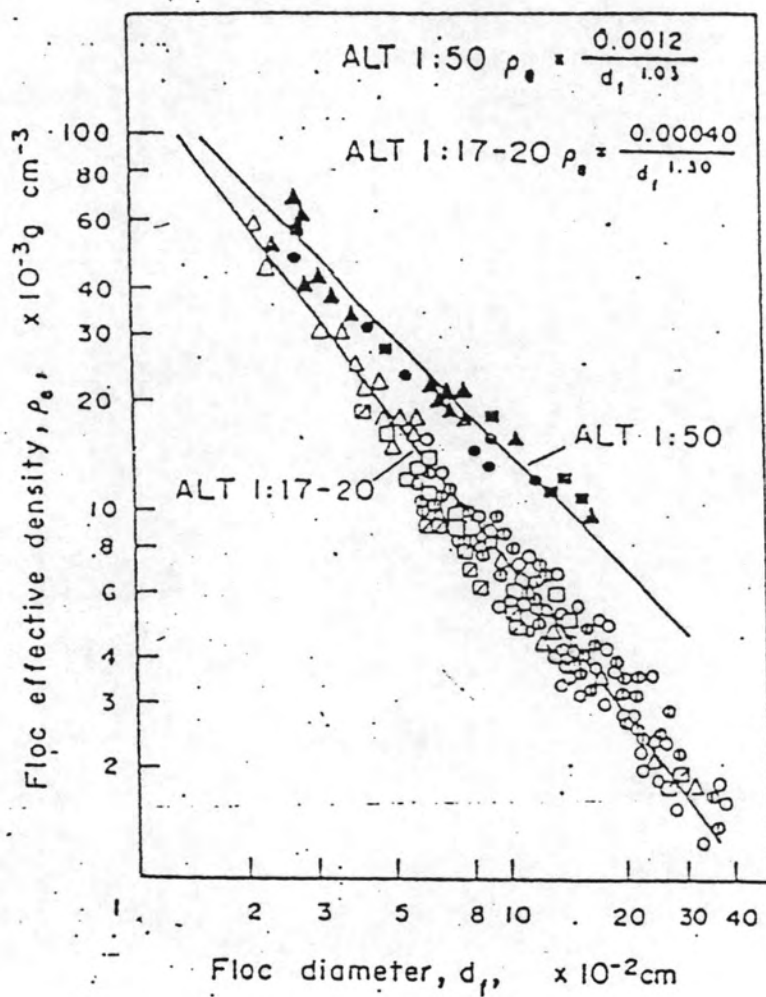


รูปที่ 3.12 การเรียงตัวของอนุภาคหลังได้รับแรงกระทำ
(Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)

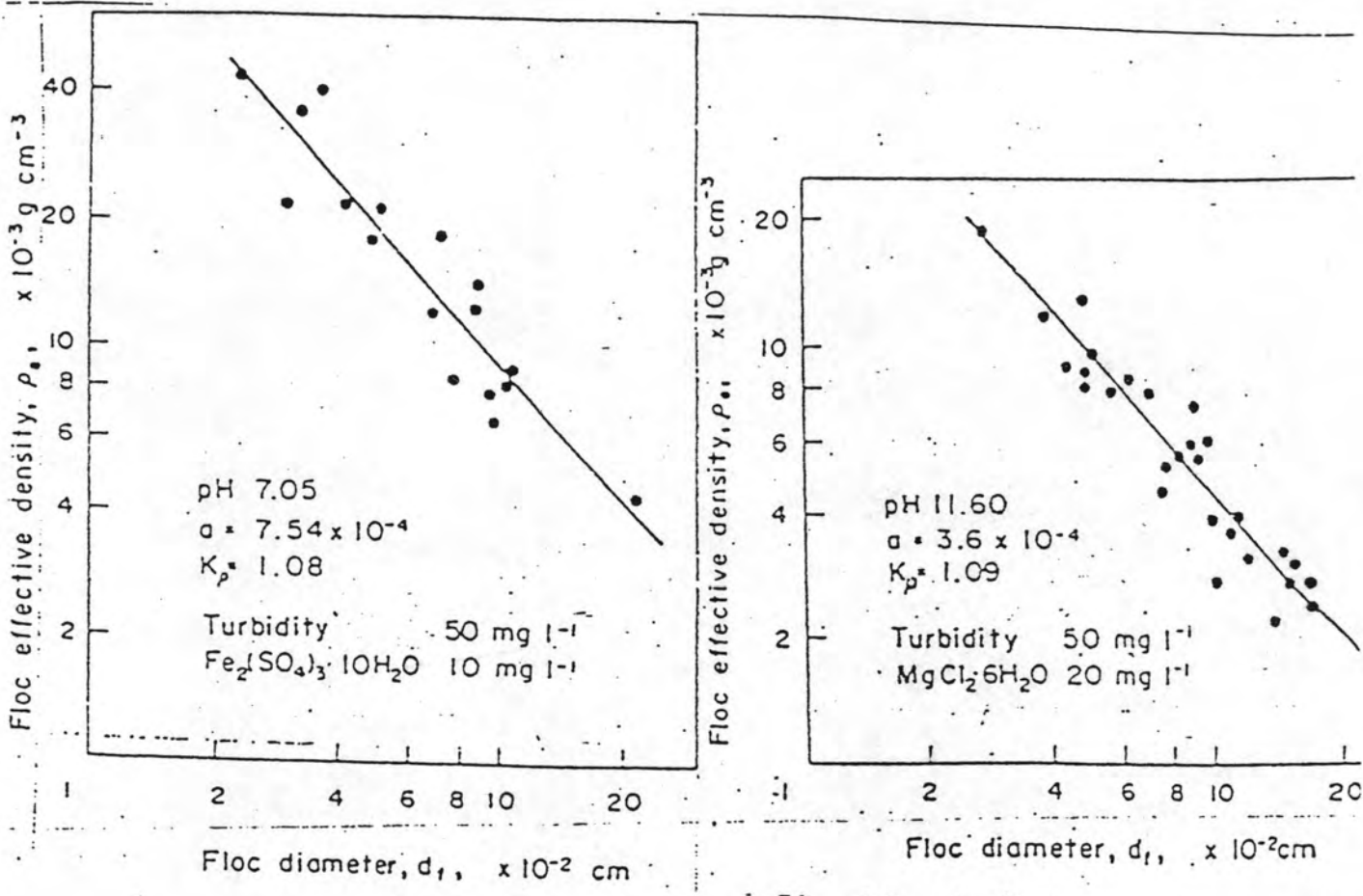
3.7 การศึกษาที่ผ่านมา

3.7.1 Tambo, N. และ Watanabe, Y. (1979) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของฟล็อกโดยใช้ดินเกาหลีแทนความชุ่มชื้น สารส้มและโพลีลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์จากการทดลองพบว่า

- 1) ค่า ALT. (ความเข้มข้นของอลูมิเนียม/ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอย) มีผลต่อความหนาแน่นของฟล็อก ดังรูปที่ 3.13 เมื่อขนาดของฟล็อกเท่ากัน ฟล็อกที่มีค่า ALT. ต่ำกว่าจะมีความหนาแน่นสูงกว่า
- 2) ค่าความปั่นป่วนมีผลต่อขนาดของฟล็อก แต่ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของฟล็อก
- 3) โพลีเมอร์ที่เติมมีผลต่อโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นของฟล็อก
- 4) ชนิดของโคแอกกูแลนต์มีผลต่อความหนาแน่นของฟล็อก ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดและความหนาแน่นของฟล็อกที่ค่า ALT. ต่างกัน
(Tambo and Watanabe, 1979)

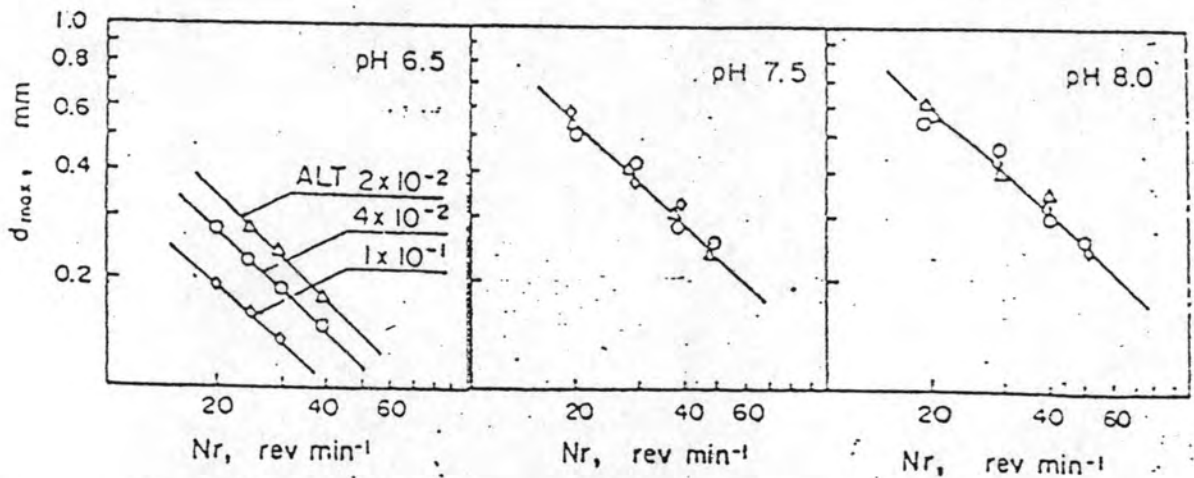


รูปที่ 3.14 ก) ความหนาแน่นของฟล็อกเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ clay-iron flocs
(Tambo and Watanabe, 1979)

ข) ความหนาแน่นของฟล็อกเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ clay-magnesium flocs
(Tambo and Watanabe, 1979)

3.7.2 Tambo, N. และ Hozumi, H. (1979) ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบบต่อขนาดของฟล็อก โดยใช้ดินเหนียวแทนความขุ่นและสารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ จากผลการทดลองพบว่า

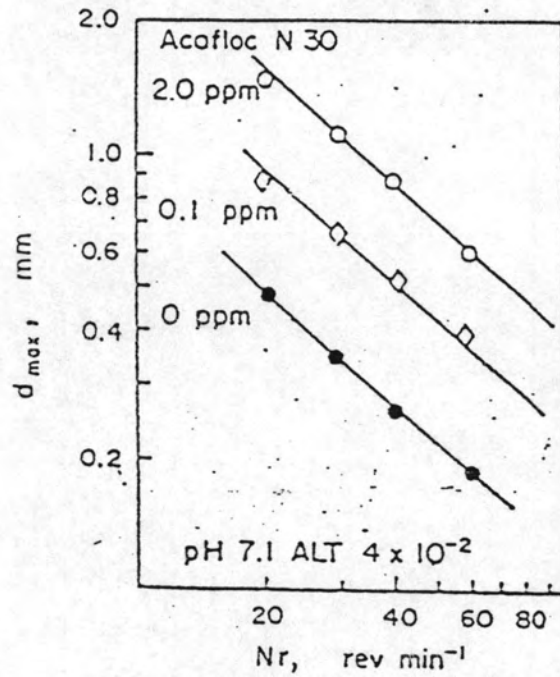
- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างความปั่นป่วนและจำนวนรอบของการกวนที่มากขึ้น จะทำให้ฟล็อกมีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 3.15
- 2) ที่พีเอช 7-8 ขนาดของฟล็อกแปรผันตรงกับพีเอช
- 3) ปริมาณโพลีเมอร์มีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับขนาดของฟล็อก ดังรูปที่ 3.16



Relationship between and the rate of agitation rotation of clay-aluminium flocs with variable $i \times 10^{-2}$. Δ : ALT 2×10^{-2} , O : ALT 4×10^{-2} , \square : ALT 1×10^{-1} .

รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของฟล็อกกับจำนวนรอบของการกวน

(Tambo and Hozumi,1979)



Relationship between d_{max} and Nr of clay-aluminum flocs with variable Acofloc N 30 dosage (40 ppm of Kaolinite suspension).

รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของฟล็อกกับจำนวนรอบของการกวน
ในกรณีทีโพลีเมอร์ต่างกัน (Tambo and Hozumi, 1979)

3.7.3 Tambo, N and Matsui, N. (1987) ทำการทดลองกำจัดความขุ่น โดยใช้อุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนแบบฟลูอิดไลซ์เบด น้ำดิบมีความขุ่นเข้มข้น 3000 มก./ล. รูปที่ 3.17 เป็นอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนแบบฟลูอิดไลซ์เบด

วิธีการทดลอง

- 1) เดิมโคแอกกูแลนต์เพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคดินเหนียวในถังกวนเร็ว
- 2) ส่วนล่างของอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนจะมีการเติมโพลีเมอร์ประจุลบ Acco-floc A110 PWG
- 3) เพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นจนได้ขนาดฟล็อกที่คงตัว จากนั้นจึงรักษาความเร็วไหลขึ้นให้คงที่ 30 ซม./นาที
- 4) ตัวแปรอิสระ เช่น ปริมาณอลูมิเนียม, โพลีเมอร์, ความเข้มข้นของน้ำผลิต ความดันป่วน และรูปแบบใบพัด

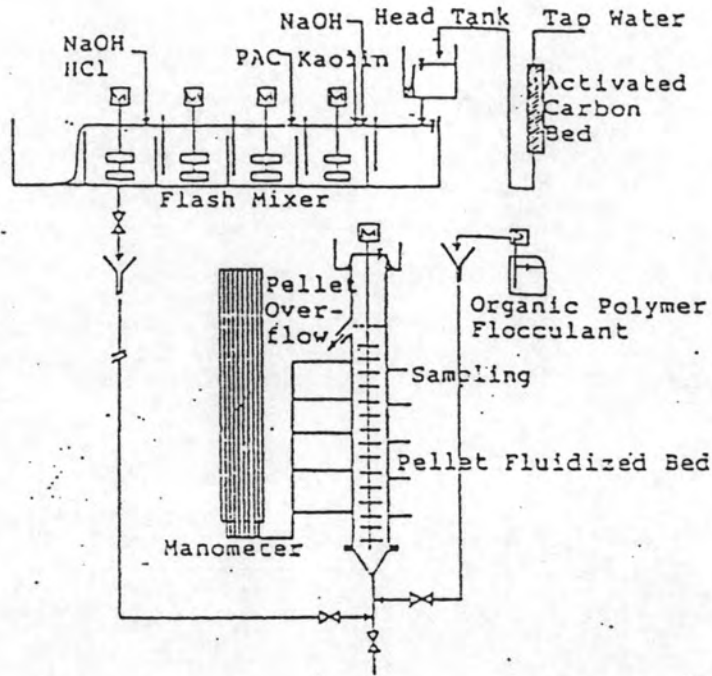
ผลการทดลอง

รูปที่ 3.18 แสดงความเข้มข้นของสารแขวนลอยในน้ำดิบและน้ำผลิต โดยใช้ น้ำดิบซึ่งมีความขุ่นสูงที่อัตราไหลขึ้น 30 ซม./นาที (เวลากักน้ำ 5 นาที)

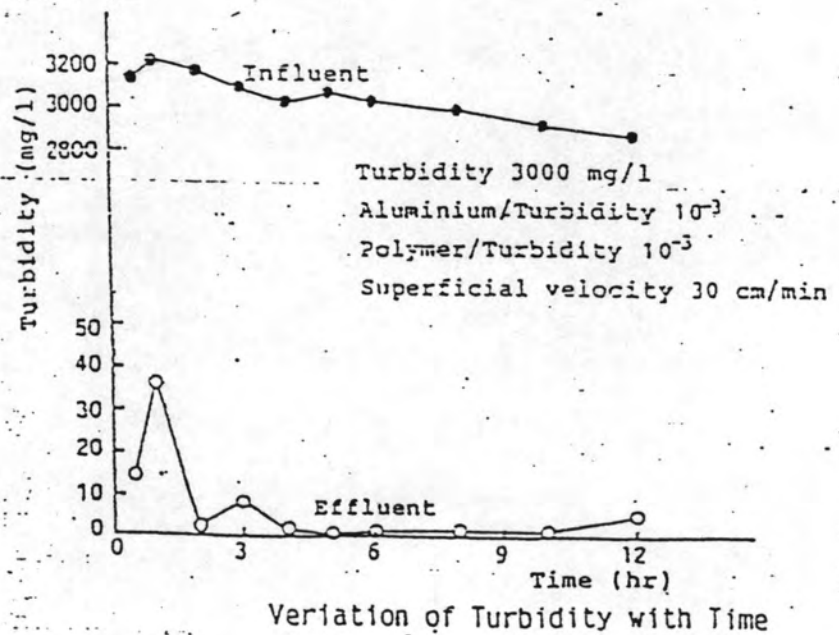
รูปที่ 3.19 (a) และ รูปที่ 3.19 (b) จากการทดลองใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวประมาณ 6 ชั่วโมง หลังการเดินระบบได้ 6 ชั่วโมง ขนาดเม็ดตะกอนเริ่มมีค่าคงที่ หมายความว่าอัตราการเกิดเม็ดตะกอนมีความสมดุลกับอัตราการแตกตัวของเม็ดตะกอนและอัตราการระบายตะกอน

สรุปผลการทดลอง

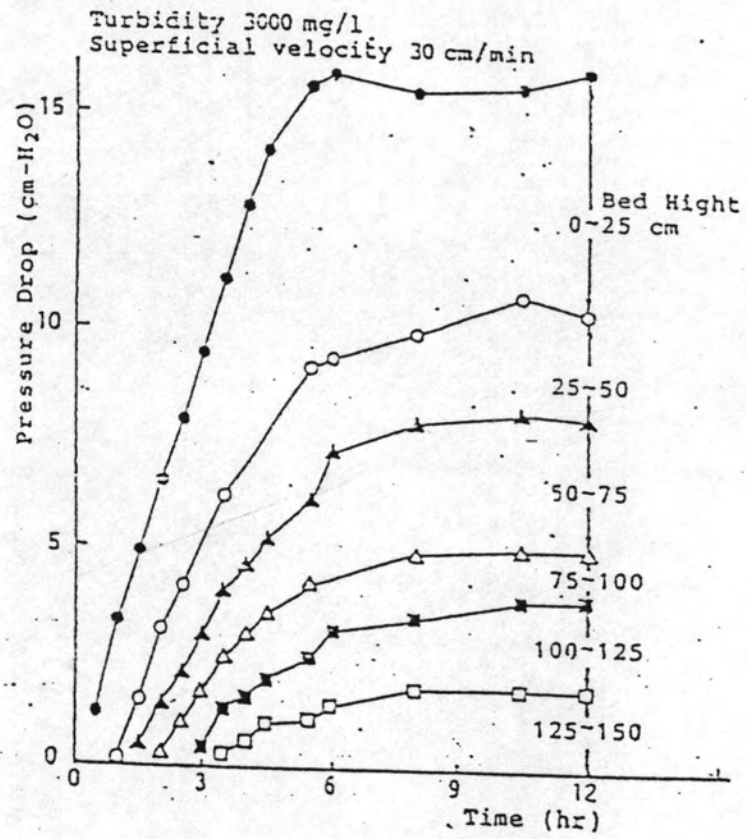
- 1) ค่าความดันป่วนในน้ำ แปรผกผันกับขนาดของเม็ดตะกอน
- 2) ในกรณีน้ำดิบที่มีความขุ่นน้อยจะต้องมีการเพิ่มปริมาณของโพลีเมอร์ในการผลิตน้ำ
- 3) น้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพดี โดยใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที



รูปที่ 3.17 อุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนแบบฟลูอิดไดซ์เบด
(Tombo and Matsui, 1987)

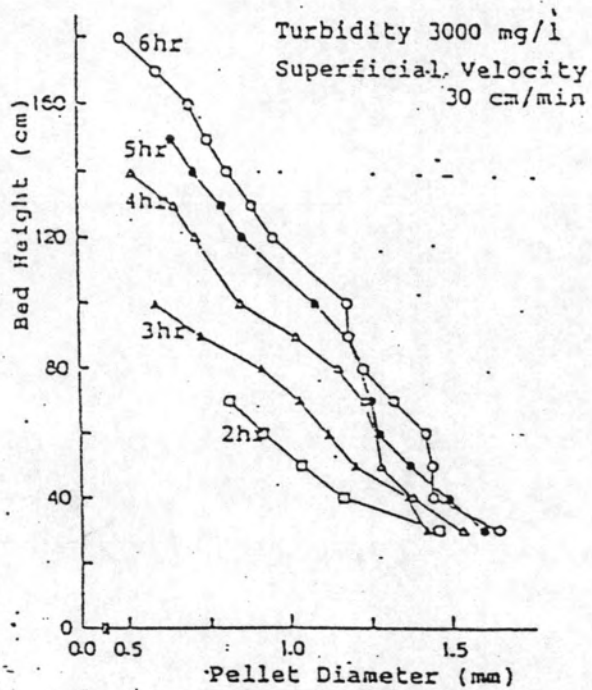


รูปที่ 3.18 ความเข้มข้นของสารแขวนลอยของน้ำดิบและน้ำผลิต
(Tombo and Matsui, 1987)



รูปที่ 3.19 ก) การเดินระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวในระยะเวลา 6 ชั่วโมงแรก

(Tambo and Matsui, 1987)



รูปที่ 3.19 ข) การเดินระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวในระยะเวลา 6 ชั่วโมงแรก
(Tambo and Matsui, 1987)

รูปที่ 3.19 ข) การเดินระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวในระยะเวลา 6 ชั่วโมงแรก

(Tambo and Matsui, 1987)

3.7.4 จากการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Tambo, Yu and Wang, 1987 ; Tambo and Matsui, 1987; Tambo and Matsui, 1989 ใช้กระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized pellet bed separator) โดยความเร็วน้ำไหลขึ้นสูงถึง 30-70 ซม./นาที่ สามารถผลิตน้ำที่มีความขุ่น 10^2 - 10^4 มก./ล. ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใน 4-7 นาที ความหนาแน่นของฟล็อกสูงกว่าฟล็อกที่ได้จากกระบวนการฟล็อกกูเลชันทั่วไป ในการผลิตน้ำดิบทั่วไปจะมีสีและความขุ่นที่จะต้องกำจัดออก สีส่วนมากเกิดจากสารอินทรีย์พวกฮิวมิก ซึ่งสามารถกำจัดโดยการเติมสารโคแอกกูแลนต์จำนวนมาก และมากกว่าที่จะต้องใช้ในการกำจัดความขุ่น ฟล็อกที่เกิดจากการกำจัดสีจะมีโครงสร้างหลวมและความหนาแน่นต่ำ

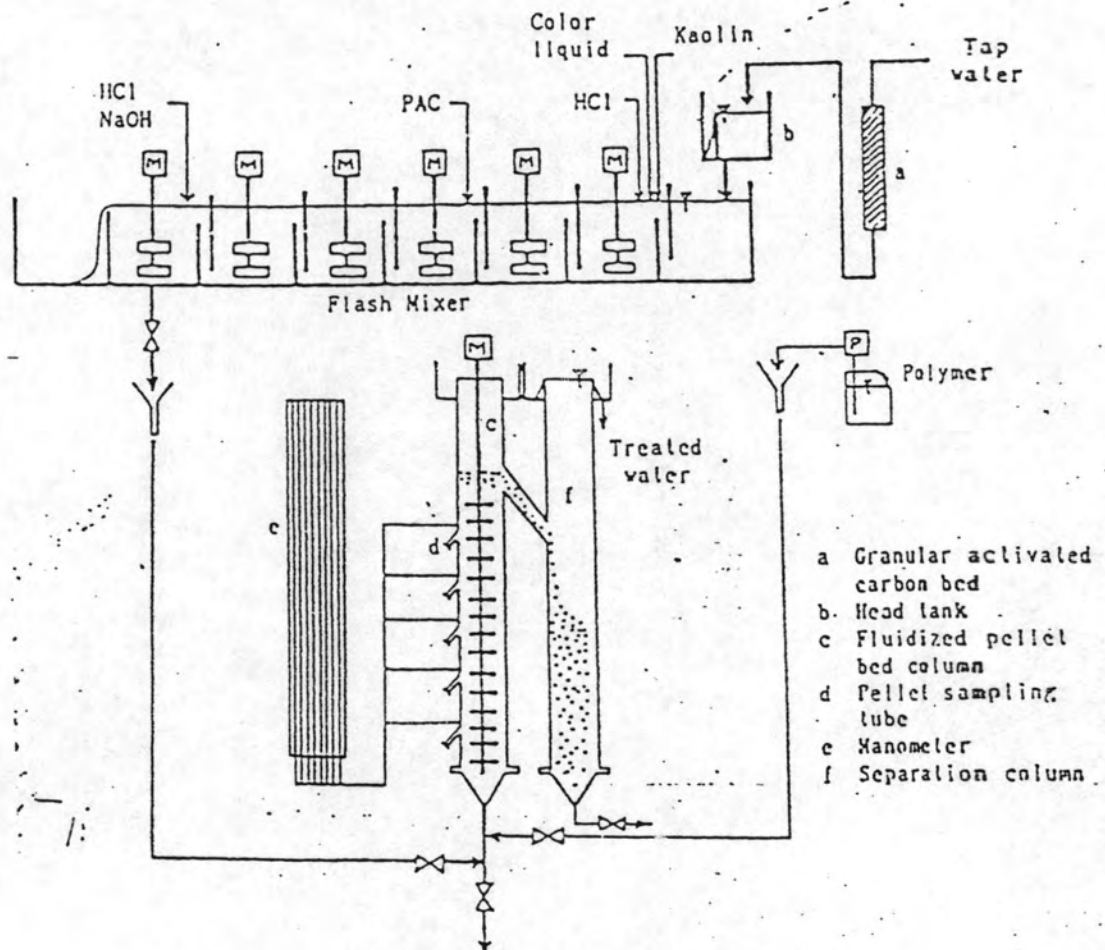
Tambo and Wang (1992) ทำการทดลองกำจัดสีและความขุ่นจากน้ำดิบโดยกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด ดังรูปที่ 3.20 มีความสูงชั้นเม็ดตะกอน 145 ซม. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที่ ใ้พัดในอุปกรณ์หมุนด้วยความเร็วรอบ 36 รอบต่อนาที PAC (Polymerized Aluminum Chloride) เป็นโคแอกกูแลนต์ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ (Accofloc N-100PWG) เป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด มีมวลโมเลกุล 16×10^6 คาลตัน ตารางที่ 3.3 แสดงความเข้มข้นของสีและความขุ่นในน้ำดิบที่ใช้ในการทดลองและผลของคุณภาพฟล็อกที่ได้

ผลการทดลองพบว่า

1. อัตราส่วนค่าความเข้มข้นของสี: ความเข้มข้นความขุ่นเท่ากับ 1:1 หรือต่ำกว่า จะทำให้เกิดฟล็อกที่มีคุณภาพดีมีลักษณะที่คล้ายทรงกลม
2. ถ้าอัตราส่วนมีค่าความเข้มข้นของสี: ความเข้มข้นความขุ่นมีค่ามากกว่า 1:1 จะทำให้เกิดฟล็อกไม่ได้ผลดี แม้ว่าจะมีการเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์ นอกจากนี้ความเข้มข้นสีที่ตกค้างจะมากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 3.21
3. ที่ความขุ่น 1,000 มก./ล. โดยมีการเพิ่มความเข้มข้นของสีจาก 0-100 c.u. ความหนาแน่นของเม็ดตะกอน (pellet) มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นสีตกค้างเพิ่มขึ้นจนความเข้มข้นสีที่เริ่มทดลองเท่ากับ 1,500 c.u. ความหนาแน่นของเม็ดตะกอนจะลดลงอย่างมาก ดังนั้น ถ้าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสีต่อความเข้มข้นของความขุ่นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1:1 จะทำให้เกิดเม็ดตะกอนที่มีคุณภาพดี ดังรูปที่ 3.22

ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความหนาแน่นของเม็ดตะกอน เช่น ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคที่เริ่มต้นเข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ 3.23 เมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเริ่มต้นสูงขึ้น เม็ดตะกอนที่สร้างขึ้น

จะมีความหนาแน่นสูงตามไปด้วย ดังนั้นการผลิตน้ำในกระบวนการนี้จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อสารแขวนลอยในระบบมีความเข้มข้นสูง



รูปที่ 3.20 กระบวนการผลิตน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized pellet bed separator)

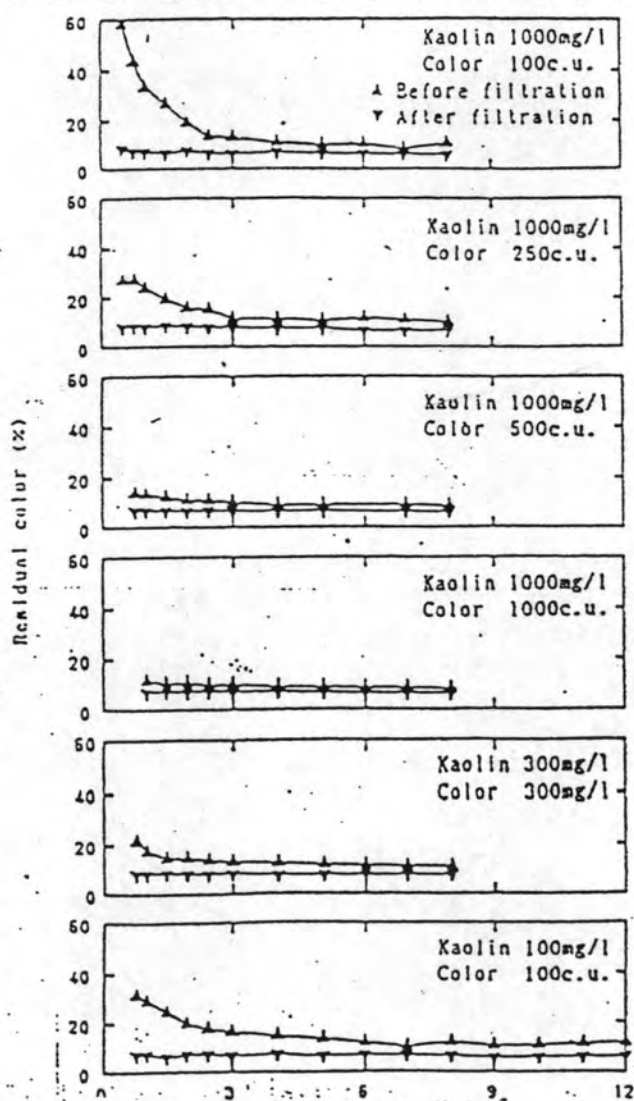
(Tambo and Wang, 1992)

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของน้ำดิบและเม็ดตะกอน (pellet)

Pelleting State in the Fluidized Bed

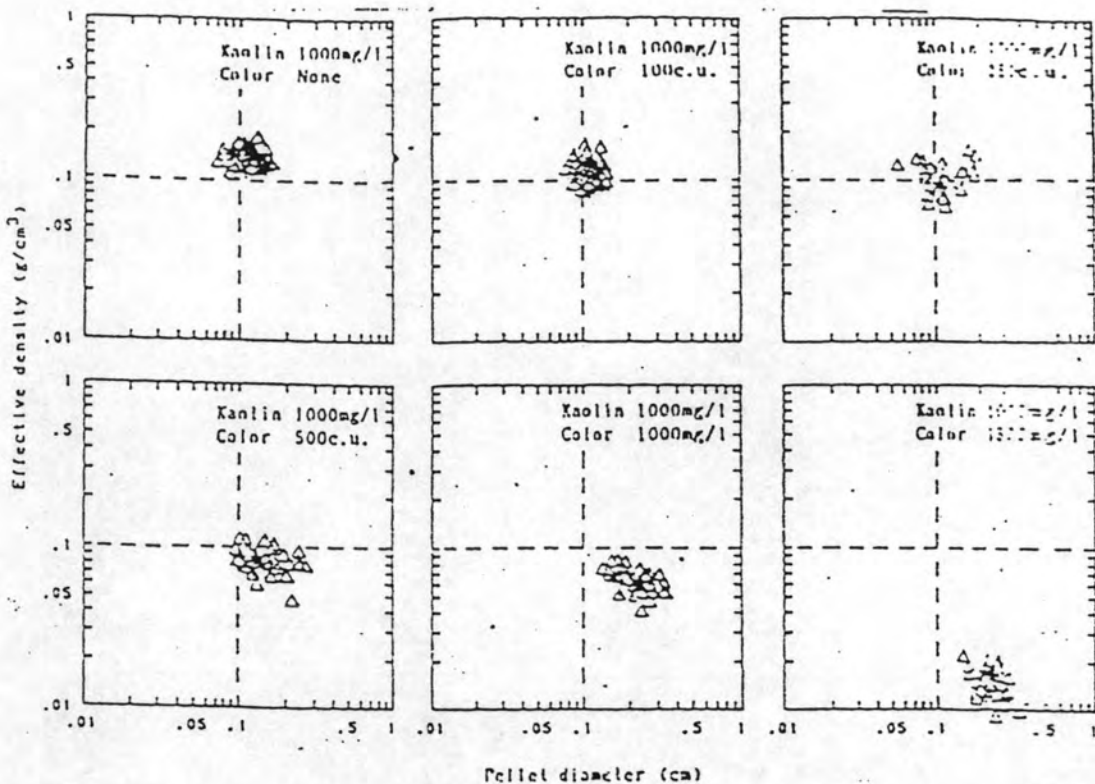
Kaolin Conc. (mg/l)	1000						300			100
	100	200	500	1000	1500	2000	300	600	900	100
Color Conc. (c.u.)	100	200	500	1000	1500	2000	300	600	900	100
Pelleting state	○	○	○	○	△	×	○	△	×	○

- Good pellets
- △ Large agglomerates but not pellets
- × Typical random floc

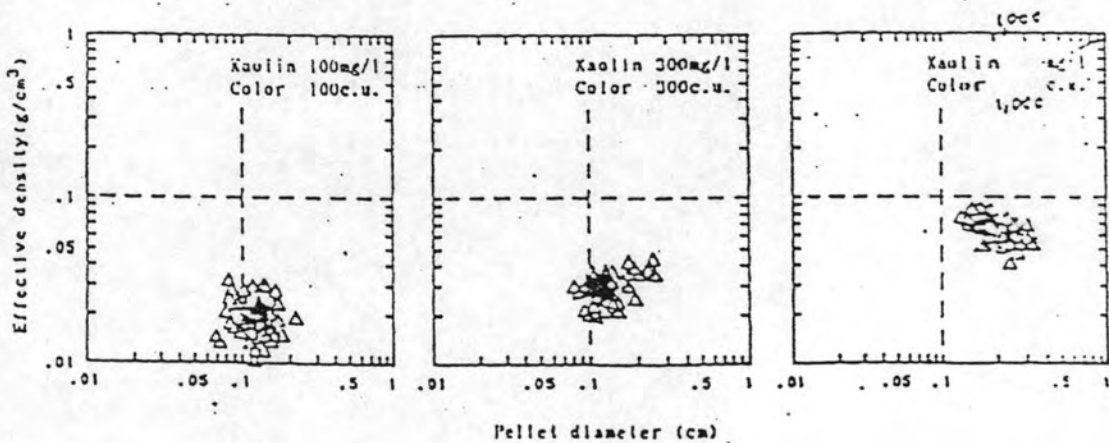


รูปที่ 3.21 ความเข้มข้นสีตกค้าง

(Tambo and Wang, 1992)



รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดของเม็ดตะกอน
ที่อัตราส่วน c.u./turbidity ต่างกัน
(Tambo and Wang, 1992)



รูปที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและขนาดของเม็ดตะกอนที่
ความเข้มข้นของอนุภาคเริ่มต้นต่างกัน (Tambo and Wang, 1992)

3.7.5 Dempsey, B.A. Sheu, H. Tanzeer, T.M. และ Mentink, J. (1985) ทดลองการกำจัดความขุ่นและกรดฟัลวิค โดยใช้สารส้มและโพลลิวมินัมคลอไรด์ จากการทดลองพบว่า

1) เมื่อมีสิ่งเจือปนต่ำโพลลิวมินัมคลอไรด์จะเป็นตัวโคแอกกูแลนต์ที่ดีกว่าสารส้ม โดยเฉพาะที่พีเอชต่ำกว่า 5.5 หรือมากกว่า 7.0 แต่เมื่อมีสิ่งเจือปนมากขึ้นประสิทธิภาพที่ดีกว่าของโพลลิวมินัมคลอไรด์จะค่อย ๆ ลดลง

2) การกำจัดกรดฟัลวิคจะต้องเพิ่มปริมาณ โคแอกกูแลนต์ เพื่อช่วยในการผลิตน้ำให้ได้คุณภาพ การกำจัดกรดฟัลวิคมีผลต่อปริมาณ โคแอกกูแลนต์ที่ต้องใช้เพิ่มมากกว่าปริมาณที่ต้องใช้กำจัดความขุ่น

3) ฟล็อกที่เกิดจากโพลลิวมินัมคลอไรด์ สามารถตกตะกอนได้ดี

10.6 Viraraghavan, T. and Wimmer, C.H. (1988) ทำการทดลองเปรียบเทียบการใช้สารส้มและโพลลิวมินัมคลอไรด์ ในการผลิตน้ำจากน้ำดิบของเมืองเรจินา (Regina)

วิธีการทดลอง

1) ใช้สารส้มและโพลลิวมินัมคลอไรด์ เป็นโคแอกกูแลนต์ โดยมีอัตราส่วนการใช้สารส้ม : โพลลิวมินัมคลอไรด์ 1:2/3

2) น้ำดิบมีความขุ่นประมาณ 2.5 เอ็นทียู อุณหภูมิ 2-19 °C

3) ใช้วิธีทดลองแบบจาร์เทส

ผลการทดลอง

1) ที่อุณหภูมิ 7, 10 และ 20 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของโพลลิวมินัมคลอไรด์ดีกว่าสารส้ม

2) โพลลิวมินัมคลอไรด์กำจัดความขุ่นได้ดีกว่าสารส้ม ประมาณ 20% ดังรูป 3.24

3) โพลลิวมินัมคลอไรด์มีผลต่อสภาพค่าน้อยกว่าสารส้ม

4) โพลลิวมินัมคลอไรด์ สามารถกำจัดกรดฮิวมิคได้ดีกว่าสารส้ม

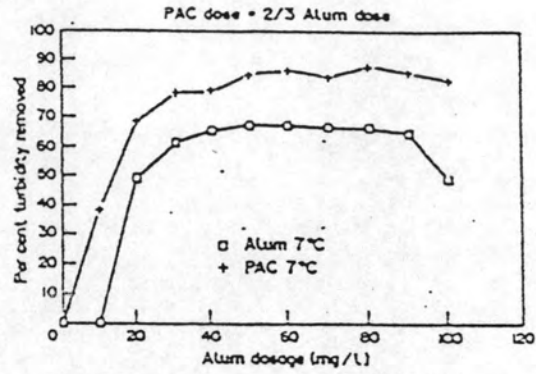


Fig. 2. Removal of turbidity (7°C).

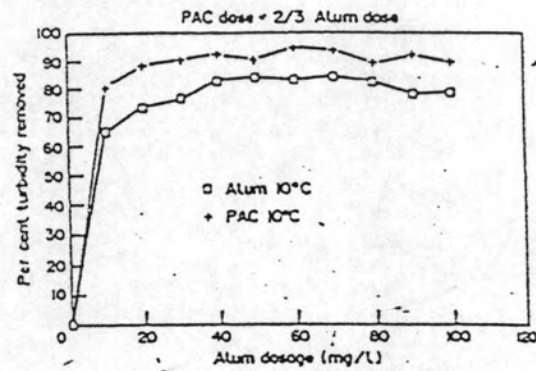


Fig. 3. Removal of turbidity (10°C).

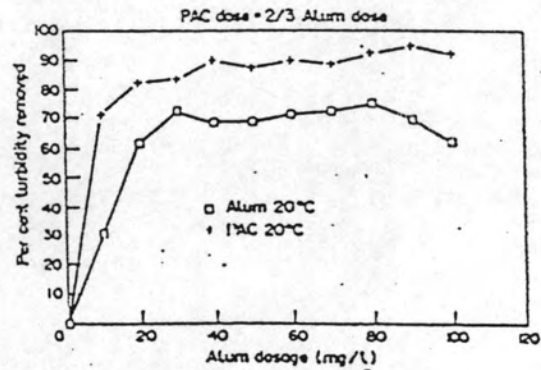


Fig. 4. Removal of turbidity (20°C).

รูปที่ 3.24 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารส้มและโพสไลอูมินัมคลอไรด์ที่
อุณหภูมิต่างๆ (Viraraghavan and Wimmer, 1988)

3.7.7 Van Benschoten, J.E. และ Edzwald, J.K. (1990) ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารส้มกับพอลิอะลูมินัมคลอไรด์ และคุณสมบัติการเป็นโคแอกกูแลนต์ในการผลิตน้ำ โดยวิธีจารุเทศ ผลการทดลองพบว่า

- 1) เมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ อลูมิเนียมจะอยู่ในรูปโมโนเมอร์เกือบทั้งหมด (Al^{+3} , $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_4^-$)
- 2) พอลิอะลูมินัมคลอไรด์จะอยู่ในรูปโพลีเมอร์ของอลูมิเนียมประมาณ 90%
- 3) พอลิอะลูมินัมคลอไรด์มีประจุและกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าสารส้ม
- 4) พอลิอะลูมินัมคลอไรด์ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

นอกจากนี้ Van Benschoten J.E. และ Edzwald, J.K. (1990) ยังได้ทำการทดลองกำจัดกรดฟลิวิด โดยใช้สารส้มและพอลิอะลูมินัมคลอไรด์ ความเข้มข้นของกรดฟลิวิด 3 ค่า ความเข้มข้นสารส้มและพอลิอะลูมินัมคลอไรด์อย่างละ 2 ค่า พอลิอะลูมินัมคลอไรด์จะสรุปได้ว่าที่พีเอช 7 สารส้ม และพอลิอะลูมินัมคลอไรด์สามารถกำจัดกรดฟลิวิดได้ดีกว่าที่พีเอช 5.5 แต่ต้องใช้สารโคแอกกูแลนต์มากกว่าถึง 2 เท่า

3.7.8 บัณฑิต ชาญณรงค์ (2535) ได้ทำการวิจัยการผลิตน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบคของเม็ดตะกอน ที่มีความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 และ 40 ซม./นาทึ โดยเวลากักน้ำในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอน 5.0 และ 3.8 นาทึ ตามลำดับ โดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความขุ่น 50 เอ็นทึ โดยใช้พอลิอะลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์เข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 มก./ล. และใช้โพลีเมอร์ประจุลบเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. ความเร็วในการกวบพัดในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอน 5, 10 และ 15 รอบ/นาทึ จากการทดลองพบว่า

- 1) การใช้พอลิอะลูมินัมคลอไรด์ปริมาณมากจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำกว่าการใช้พอลิอะลูมินัมคลอไรด์ปริมาณน้อย ดังนั้นการใช้พอลิอะลูมินัมคลอไรด์ปริมาณน้อยต้องอาศัยโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มมากขึ้น จึงจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำ
- 2) การใช้โพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณมากจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำกว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณน้อย ดังนั้นการใช้โพลีเมอร์ประจุลบจำนวนน้อยต้องอาศัยปริมาณพอลิอะลูมินัมคลอไรด์มากขึ้น จึงจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำ

3) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดตะกอนอยู่ระหว่าง 0.2-0.3 มม. และความเร็วในการตกตะกอนของเม็ดตะกอน ประมาณ 40-70 ซม./นาที่

4) ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม./นาที่ ต้องการความเร็วใบพัดในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนน้อยกว่า เมื่อใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที่

5) ผลของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี fluidized pellet-floc bed clarifier สามารถบำบัดน้ำได้มากกว่าการใช้ถังตกตะกอนแบบธรรมดา (conventional sedimentation tank) 9 เท่า และมากกว่าการใช้ถังตกตะกอนแบบโซลิดคอนแทค (solid contact clarifier) 3 เท่า รวมทั้งใช้พื้นที่และขนาดของถังตกตะกอนน้อยกว่าทั้ง 2 วิธี ข้างต้นด้วย

10.9 ปริญญา ณ นคร (2535) ได้ทำการทดลองหาอิทธิพลของความสูงชั้นเม็ดตะกอนที่ระดับ 70, 90, 110 และ 130 ซม. ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นโดยมีการใช้โพสลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ปริมาณ 1, 2, 3 และ 4 มก./ล. และใช้โพสิเมอร์ประจุลบเป็นโคแอกกูแลนต์ 0.1 มก./ล. มีความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม./นาที่ รูปแบบใบพัด 4 แบบ มีช่วงห่างระหว่างใบพัด 5, 10, 15 และ 20 ซม. จากการทดลองพบว่า

- 1) การเพิ่มปริมาณโพสลูมินัมคลอไรด์ มีแนวโน้มในการกำจัดความขุ่นได้ดีขึ้น
- 2) รูปแบบของใบพัดน่าจะมีรูปแบบที่มีความถี่ของใบพัดเรียงจากตอนล่างสู่ตอนบนมีค่ามากไปหาน้อย
- 3) ความสูงชั้นเม็ดตะกอนมากขึ้น น้ำผลิตจะมีคุณภาพสูงขึ้น
- 4) เวลาการเดินระบบเพิ่มขึ้นจะทำให้เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากกว่าเม็ดตะกอนที่เวลาการเดินระบบน้อย
- 5) ปริมาณโพสลูมินัมคลอไรด์เข้มข้น 4 มก./ล. โพสิเมอร์ประจุลบ 0.1 มก./ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม./นาที่ สามารถกำจัดความขุ่นได้ถึง 89% จากน้ำดิบที่มีความขุ่น 50 เอ็นทียู

3.7.10 นฤชา ฤชุพันธ์ (2535) ได้ทำการวิจัยการสร้างเม็ดตะกอนโดยสารส้ม โดยใช้ น้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความขุ่น 50 เอ็นทียู ทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นสารส้ม 5, 10, 20 และ 30 มก./ล. โพสิเมอร์ประจุลบ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. ความเร็วใบพัดกวนน้ำในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอน 5, 10 และ 15 รอบ/นาที่ ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 และ 40 ซม./นาที่ จากการทดลองพบว่า

- 1) การเพิ่มความเข้มข้นของสารส้มมากขึ้น ทำให้ความขุ่นของน้ำผลิตลดลง

- 2) ที่ความเร็วใบพัดกวนน้ำสูง จะให้ค่าความขุ่นของน้ำผลิตสูงกว่าที่ความเร็วใบพัดกวนน้ำต่ำ
- 3) อิทธิพลของความเร็วใบพัดที่มีต่อความขุ่นน้ำผลิตจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มขึ้น
- 4) เม็ดตะกอนที่อยู่ด้านล่างของอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนจะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าเม็ดตะกอนที่อยู่ด้านบน
- 5) เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงของชั้นตะกอนเดียวกัน เมื่อใช้ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบมาก เม็ดตะกอนจะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบน้อย
- 6) เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงของชั้นตะกอนเดียวกัน การบำบัดน้ำด้วยความเร็วไหลขึ้น 40 ซม./นาทึ ได้ความเร็วในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนสูงกว่าเมื่อบำบัดด้วยความเร็วไหลขึ้น 30 ซม./นาทึ

3.7.11 อาชวน อิมเอิบธรรม (2536) ทำการวิจัยผลของโพลีเมอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น โดยใช้โพลีลูมินัมคลอไรด์เข้มข้น 0, 1 และ 3 มก./ล. โพลีเมอร์ประจุบวก 2 ชนิด ๆ ละ 0.3 มก./ล. โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุอย่างละ 2 ชนิด ๆ ละ 0.05, 0.1 และ 0.3 มก./ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 และ 60 ซม./นาทึ จากการทดลองพบว่า

- 1) โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ เหมาะสำหรับใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้น ส่วนของโพลีเมอร์ประจุบวกยังไม่มีข้อสรุปเนื่องจากระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะคงตัว
- 2) ความขุ่นของน้ำผลิตที่สภาวะคงตัว มีค่าแปรผันตรงกับความเร็วของน้ำไหลขึ้นในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอน แต่มีค่าแปรผกผันกับปริมาณและน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ
- 3) การใช้โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุปริมาณน้อย (0.05 มก./ล.) ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวช้า และน้ำผลิตมีความขุ่นสูงกว่า 5 เอ็นทียู
- 4) การใช้โพลีลูมินัมคลอไรด์ ปริมาณมาก (3 มก./ล.) มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นต่ำกว่าการใช้โพลีลูมินัมคลอไรด์ จำนวนน้อย 1 มก./ล. เนื่องจากปริมาณอูมิเนียมมากทำให้เม็ดตะกอนอัดตัวไม่แน่น เม็ดตะกอนจะเบาทำให้มีความขุ่นของน้ำผลิตมากขึ้นด้วย
- 5) การใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงกว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุลบ แม้จะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า

- 6) การใช้โพสลิเมอร์ประจุลบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงกว่าการใช้โพสลิเมอร์ประจุลบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า
- 7) การใช้โพสลิเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุเพิ่มขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงขึ้น
- 8) ขนาดและความเร็วในการจมตัวของเม็ดตะกอนมีค่าแปรผันตรงกับปริมาณ และน้ำหนักโมเลกุลของโพสลิเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ

3.7.12 คณิศ ม่วงศิริ (2537) ทำการวิจัยเปรียบเทียบผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น โดยใช้โพสลิโอมิโนมัลคอลไรด์เข้มข้น 1, 3 และ 5 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ และโพสลิเมอร์ทั้งสามประจุเข้มข้น 0.3 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอค ความเร็วน้ำไหลขึ้นในกระบอกกวนช้า 40 ชม./นาที่ ตัวแปรอิสระพีเอช 7 ค่า คือ 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 และ 8 ทำการทดลองแต่ละครั้งใช้เวลา 6 ชม. จากการทดลองพบว่า

1. โพสลิโอมิโนมัลคอลไรด์อาศัยกลไกดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าในการทำลายประจุไฟฟ้าในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่ค่าพีเอชต่ำและอาศัยโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่เกาะยึดอนุภาคคอลลอยด์ที่ค่าพีเอชสูงในขณะที่โพสลิเมอร์ประจุลบอาศัยกลไกการต่อเชื่อมด้วยโพสลิเมอร์ในการสร้างเม็ดตะกอน โพสลิเมอร์ไม่มีประจุอาศัยกลไกการต่อเชื่อมผสมกับการทำลายประจุ ส่วนโพสลิเมอร์ประจุบวกอาศัยประจุบวกในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์และกลไกการต่อเชื่อมด้วยโพสลิเมอร์ในการสร้างเม็ดตะกอน
2. ที่พีเอชต่ำในช่วงที่วิจัย ความขุ่นตกค้างในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าที่พีเอชสูงอยู่บ้างเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญ และในทุกเงื่อนไขการทดลองความขุ่นในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด 5 เอ็นทียู
3. พีเอชไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการจมตัวของเม็ดตะกอนความสูงของชั้นเม็ดตะกอนแต่มีอิทธิพลต่อขนาดเม็ดตะกอนอยู่บ้าง แต่มีรูปแบบที่ไม่ชัดเจน
4. พีเอชมีอิทธิพลต่อปริมาณอลูมิเนียมในน้ำ ซึ่งปริมาณอลูมิเนียมในน้ำมีค่าต่ำเมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.0 และมีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนด 200 ไมโครกรัม/ล.