บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

3.1 ทฤษฎี สมมติฐาน หลักการและเหตุผล

ในการผลิตน้ำประปาจำเป็นต้องกำจัดอนุภาคความขุ่นออกจากน้ำดิบ สำหรับอนุภาคขนาดเล็กที่เรียกว่า อนุภาคคอลลอยด์ (colloidal particle) ซึ่งมีขนาด 10^{-6} มม. ถึง 10^{-3} และไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเอง จึงต้องมีกระบวนการที่ทำให้เกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคจนเป็นก้อนที่หนักขึ้น และสามารถแยกตัวออกจากน้ำได้

3.1.1 ทฤษฎีของการตกตะกอน

ทฤษฎีของการตกตะกอนประกอบด้วยทฤษฎีของกระบวนการโคแอกกูเลชัน และทฤษฎีของกระบวนการฟล็อกกูเลชัน ดังนี้

3.1.1.1 ทฤษฎีของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

กลไกทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดขึ้นในขั้นผสมเร็ว กลไกที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการได้แก่ ธรรมชาติและความเข้มข้นของคอลลอยด์ ลักษณะทางเคมีของน้ำดิบ พีเอช ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ตลอดจนระดับความปั่นป่วนของน้ำ ปัจจัยต่าง ๆ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างแนบแน่นในกลไกทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ที่เกิดขึ้น

สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน สามารถจำแนกออกเป็นเกลือของโลหะและสารโพลีเมอร์ เกลือของโลหะได้แก่ อะลูมิเนียมไฮ-

ดรอกไซด์ เพอริกซัลเฟต เป็นต้น สารโพลีเมอร์ ได้แก่ สารโพลีเมอร์ประจุบวก สารโพลีเมอร์ประจุลบ และสารโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ชนิดของสารโคแอกกูแลนต์จะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับประเภทของกลไกที่เกิดขึ้น กล่าวคือ สารโคแอกกูแลนต์ที่เป็นเกลือของโลหะอาจทำให้เกิดกลไกแบบกวาด(sweep mechanism) หรือกลไกดูดติดและสะเทินทางไฟฟ้า(adsorption and charge neutralization mechanism) หรือกลไกแบบร่วม ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ความเข้มข้นของอนุภาคความขุ่น ลักษณะทางเคมีของน้ำคือพีเอช และปริมาณไอออนในน้ำ และระดับความปั่นป่วนในน้ำซึ่งมีความสัมพันธ์กับเวลาผสม(O'melia, 1972) และสามารถอธิบายกลไกต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.1.1.1.1 กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย

การเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาคมีผลให้ชั้นกระจายมีความหนาลดลง ทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลง อนุภาคคอลลอยด์จะสามารถเข้าใกล้กันได้มากขึ้น จนกระทั่งสามารถทำให้อนุภาคเกาะติดกันได้ (O'melia, 1972)

3.1.1.1.2 กลไกดูดติดผิวและสะเทินทางไฟฟ้า

กลไกดูดติดผิวและสะเทินทางไฟฟ้าเกิดจากการเติมสารเคมีบางชนิดที่สามารถแตกตัวหรือทำปฏิกริยากับน้ำแล้วให้ไอออนต่างประจุกับคอลลอยด์สามารถดูดติดผิวของคอลลอยด์ด้วยพันธะโควาเลนต์ (Sanks, 1978) และสะเทินประจุของคอลลอยด์ ทำให้แรงผลักระหว่างอนุภาคลดลง จนแรงแวนเดอร์วาลส์มีค่ามากกว่า ทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างอนุภาคขึ้น(O'melia, 1972)

อนึ่งในกลไกประเภทนี้ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์จะมีความสัมพันธ์เป็นสตอยชิโอเมตริกกับความเข้มข้นของอนุภาคคอลลอยด์(O'melia, 1972) นอก

จากนี้ปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ พีเอช ความเข้มข้นของคอลลอยด์ และระดับความปั่นป่วนของน้ำ ยังมีอิทธิพลต่อกลไกโดยตรง กล่าวคือปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และพีเอชจะกำหนดชนิดและปริมาณของไอออนเชิงซ้อน ในขณะที่ความเข้มข้นของคอลลอยด์และระดับความปั่นป่วนของน้ำจะกำหนดโอกาสที่ไอออนเชิงซ้อนจะทำปฏิกริยากับคอลลอยด์(O'melia, 1972)

3.1.1.1.3 กลไกแบบกวาด

เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจนความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัวจะทำให้เกิดฟล็อกอย่างรวดเร็ว ฟล็อกที่เกิดจะห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งทำหน้าที่เป็นแกนของฟล็อกหรืออาจจับตัวรวมกับฟล็อก กลไกที่เกิดขึ้นนี้เป็นการเพิ่มขนาดและน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์โดยทำให้รวมตัวกับฟล็อกขนาดใหญ่ เป็นผลให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกลไกแบบกวาดอย่างเด่นชัดคือ ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือการเกิดฟล็อกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วถ้าระดับเกินการอิ่มตัว(extent of oversaturation)ของฟล็อกมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 100 โดยที่ระดับเกินการอิ่มตัวจะแปรตามปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์(O'melia,1972)นอกจากนี้อัตราการเกิดฟล็อกยังขึ้นกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ซึ่งทำหน้าที่เป็นแกนในการเกิดฟล็อก อนึ่งในกลไกประเภทนี้ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ไม่มีความสัมพันธ์เป็นสตอยชิโอเมตริกกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ (O'melia, 1972)

กระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาส่วนใหญ่จะใช้กลไกแบบกวาดนี้ เพราะเกิดผลดีในช่วงพีเอชกว้าง(Amirtharajah, 1982) จึงควบคุมง่าย แต่สลัดจ์ที่เกิดขึ้นจะมีข้อเสียคืออัดตัวไม่แน่นและดึงน้ำออกยาก (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2526)

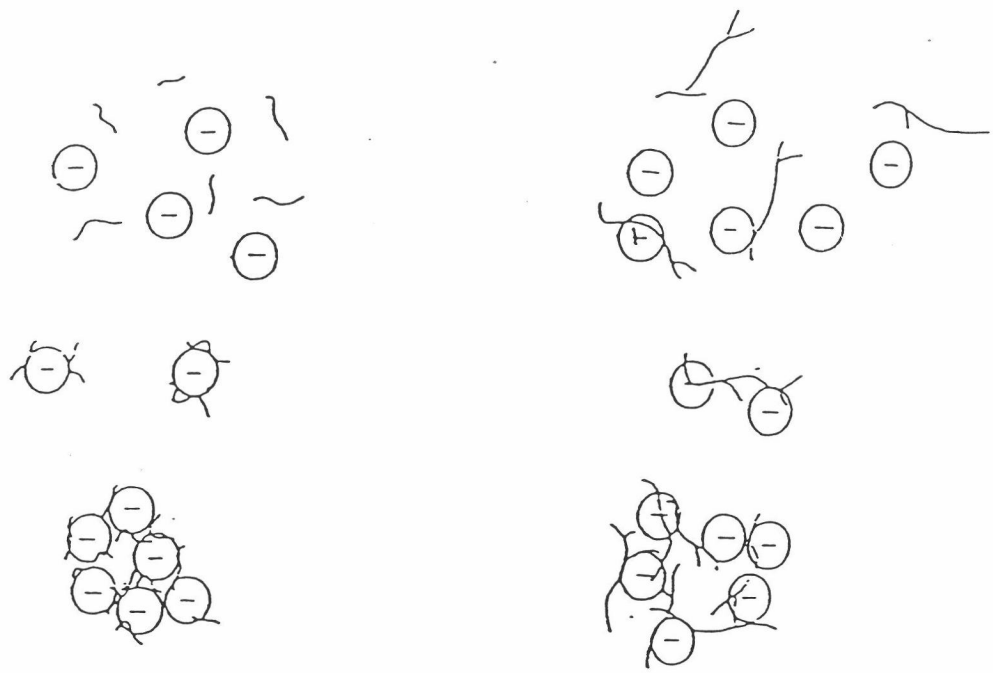
3.1.1.1.4 กลไกแบบร่วม

กลไกแบบร่วมเป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและสะเทินทางไฟฟ้ากับกลไกแบบกวาดโดยที่ไม่มีกลไกชนิดหนึ่งชนิดใดมีอิทธิพลสูงกว่ากลไกอีกชนิดหนึ่งจนกลไกชนิดหนึ่งไม่มีนัยสำคัญ

3.1.1.1.5 การใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม

โพลีเมอร์เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ซึ่งอาจมีประจุบวก, ลบหรือไม่มีประจุเลยก็ได้ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยการใช้โพลีเมอร์จะเกิดขึ้นจากการที่โมเลกุลของโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และอนุภาคคอลลอยด์หรือแรงปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคที่เหมือนกันก็ได้ อนุภาคคอลลอยด์ที่มีปลายโพลีเมอร์เกาะติดแล้วซึ่งถือว่าเป็นอนุภาคที่เสียเสถียรภาพแล้วสามารถจับตัวกับอนุภาคอื่นโดยมีสารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคเข้าด้วยกันทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่สามารถตกตะกอนได้เร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ในทางตรงกันข้ามการใช้โพลีเมอร์มากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลเสียได้ เพราะโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะบนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้น จึงเรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนใหม่ (restabilized particle) และนอกจากนี้การกวนน้ำแรงเกินไปหรือนานเกินไปก่อผลเสียได้ เนื่องจากฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วจะแตกออกเป็นส่วน ๆ และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับอนุภาคอันเดิม เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่เช่นกัน (ดูรูปที่ 3.2)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.1 ลักษณะการเกิดโคแอกกูเลชัน โดยกลไกการเชื่อมต่อของโพลีเมอร์ (Bratby,1980)

(ก) โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แต่มีประจุบวก

(ข) โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

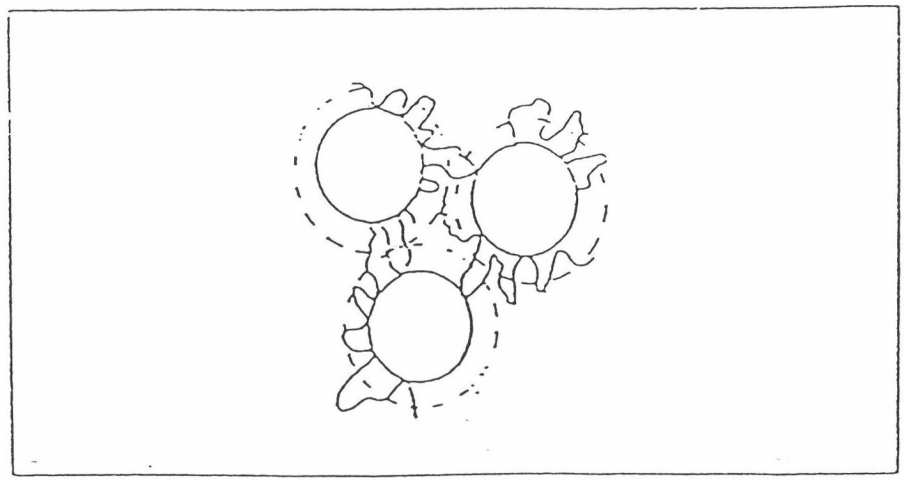


Fig 12a Flocculation by bridging of particles
due to adsorption of polymer segments

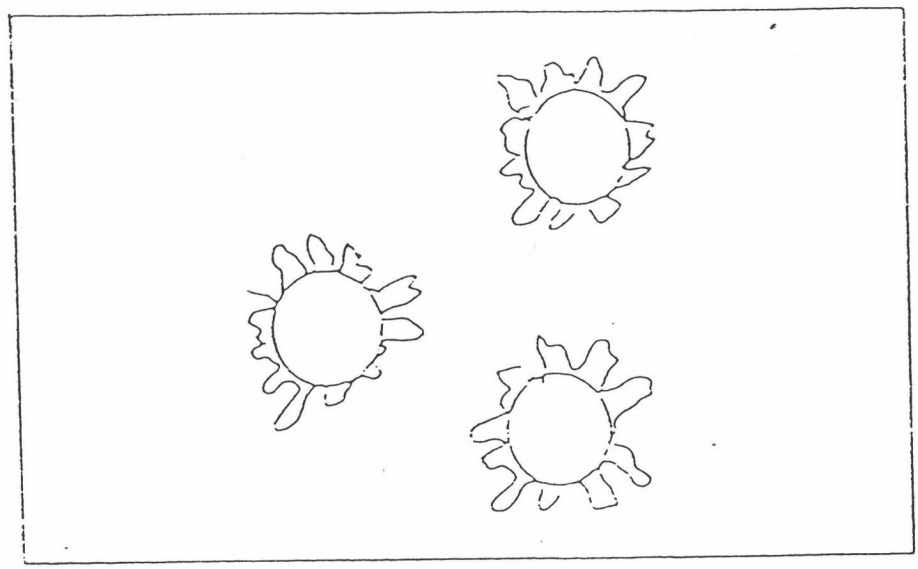


Fig 12b restabillization of particles
due to adsorption of excess polymer

รูปที่ 3.2 กลไกการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วย
โพลีเมอร์และการกลับคืนเสถียรภาพของคอลลอยด์
(Bratby,1980)

3.1.1.2 ทฤษฎีของกระบวนการฟล็อกกูเลชัน

กระบวนการฟล็อกกูเลชันเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ซึ่งถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเกิดการชนกัน และรวมตัวเกิดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น กระบวนการฟล็อกกูเลชันอาจจำแนกเป็นสามประเภท(O'melia, 1972)ดังต่อไปนี้

3.1.1.2.1 การเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อน

กระบวนการฟล็อกกูเลชันแบบนี้เรียกว่ากระบวนการฟล็อกกูเลชันแบบเพอริไคเนติก(perikinetic flocculation)เป็นกระบวนการที่เกิดจากการชนกันของอนุภาคที่เกิดจากความร้อนภายในน้ำซึ่งแปรรูปเป็นพลังงานจลน์ ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว อัตราการสมานแบบนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ อุณหภูมิ และขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคภายในน้ำ อัตราการสมานประเภทนี้จะมีอัตราสูงเมื่ออนุภาคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมครอน และจะมีอัตราการสมานต่ำมากเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน(O'melia, 1972)

3.1.1.2.2 การเคลื่อนที่ของเนื้อของเหลว

กระบวนการฟล็อกกูเลชันแบบนี้เรียกว่ากระบวนการฟล็อกกูเลชันแบบออร์โธไคเนติก(orthokinetic flocculation) กระบวนการประเภทนี้เกิดจากการชนของอนุภาคซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลว อัตราการสมานประเภทนี้จะมีอัตราสูงกว่าอัตราการสมานแบบเพอริไคเนติก เมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน(O'melia, 1972)

โดยทั่วไปอนุภาคที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันแล้วจะมีขนาดตั้งแต่ 100 ถึง 2000 ไมครอน ดังนั้นกระบวนการฟล็อกกูเลชันแบบออร์โธไคเนติกนี้จึงเป็นกลไกหลัก(O'melia, 1972)

3.1.1.2.3 การจมตัวด้วยอัตราเร็วแตกต่างกัน

กระบวนการฟล็อกกูเลชันแบบนี้จะเกิดเมื่อปราศจากความปั่นป่วน โดยอนุภาคขนาดใหญ่กว่าจะมีความเร็วการจมตัวสูงกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้เกิดความเร็วสัมพันธ์ และเกิดการชนและการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคในระหว่างการจมตัว กระบวนการฟล็อกกูเลชันประเภทนี้จะเกิดขึ้นในถังทำใสแบบชั้นสลัดจ์ (sludge blanket clarifier)และในถังตกตะกอนแนวดิ่งทั่วไป

3.1.2 ตัวแปรสำคัญในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ลักษณะการทำงานของกระบวนการโคแอกกูเลชันคือการสร้างความปั่นป่วนให้เกิดในน้ำอย่างรุนแรงในขณะที่เติมสารโคแอกกูแลนต์เพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ดังนั้นระดับความปั่นป่วนและเวลาผสม ซึ่งเป็นเวลาที่น้ำอยู่ภายใต้ความปั่นป่วนดังกล่าว จึงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือควบคุมการทำงานของกระบวนการโคแอกกูเลชัน พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นดัชนีบอกระดับความปั่นป่วนของน้ำ คือ ความเร็วเกรเดียนต์ (velocity gradient) ถังกวนเร็วมักมีค่าG ไม่ต่ำกว่า 300 วินาที$^{-1}$ แต่ถังกวนช้ามักมีค่า G อยู่ในช่วง 60-100 วินาที$^{-1}$ (Camp, 1968) พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วน คำนวณได้จากสมการของแคมป์ (Camp, 1968)

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

G = ความเร็วเกรเดียนต์หรือระดับความปั่นป่วน (วินาที$^{-1}$)

P = พลังงานที่ใช้ในการสร้างความปั่นป่วน (นิวตัน-เมตร/วินาที)

μ = ความหนืด (viscosity) ของน้ำ (นิวตัน-วินาทีต่อ ตร.ม.)

V = ปริมาตรของน้ำในถังกวนเร็ว (ลบ.ม.)

3.1.3 สารโคแอกกูแลนต์

1) <u>สารส้ม</u> (alum) มีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3 .14H_2O$ เป็นสารเคมีที่เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชัน มักจะเกิดรูปเชิงซ้อนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ มีวาเลนซีเท่ากับ +3 ทำให้มีความสามารถในการลดประจุของอนุภาคคอลลอยด์ได้

ปฏิกิริยาทางเคมีของสารส้มในการผลิตน้ำดังสมการต่อไปนี้ (Stumm & Morgan 1970)

$$Al_2(SO_4)_3.14H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3+3CaSO_4+6CO_2+14H_2O \rightarrow (1)$$

$$Al_2(SO_4)_3.14H_2O + 3Na_2CO_3 \rightarrow 2Al(OH)_3+3Na_2SO_4+6CO_2+14H_2O \rightarrow (2)$$

$$Al_2(SO_4)_3.14H_2O + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3+3CaSO_4+14H_2O \rightarrow (3)$$

ในสมการเคมีที่ (1) การรักษาระดับสภาพด่างทำได้โดยไบคาร์บอเนตในน้ำ

ในสมการเคมีที่ (2) การรักษาระดับสภาพด่างทำได้โดยเติมโซดาแอช

ในสมการเคมีที่ (3) การรักษาระดับสภาพด่างทำได้โดยเติมปูนขาว

ในการใช้สารส้มสิ่งที่จะต้องคอยควบคุมไปด้วยคือพีเอช ซึ่งช่วงที่เหมาะสมคือ 5.5 - 7.8 (Fair, Geyer and Morris, 1963)

2) <u>เฟอรัสซัลเฟต</u>(copperas)มีสูตรโมเลกุลคือ $FeSO_4.7H_2O$ มีช่วงการทำงานกว้างมาก คือพีเอช 4-11 ซึ่งมากกว่าของสารส้ม แต่ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือควรให้มากกว่า 8 เพื่อให้แน่ใจในทางปฏิบัติมักจะมีการเติมปูนขาวลงไปพร้อมๆกับเฟอรัสซัลเฟต(Fair, Geyer and Morris, 1963)

ปฏิกิริยาทางเคมีของเฟอรัสซัลเฟตในการผลิตน้ำดังสมการต่อไปนี้

$3FeSO_4 + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 3Fe(OH)_2+3CaSO_4+6CO_2$ -->(4)

$FeSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_2+CaSO_4$ ---------->(5)

$4Fe(OH)_2 + O_2+2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3$ ---------->(6)

โดยจะต้องควบคุมให้มีปริมาณออกซิเจนพอเพียงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนการเตรียมความเข้มข้นของเฟอรัสซัลเฟตควรทำให้ไม่เกิน 5% และต้องใช้เวลาในการละลายอย่างต่ำ 5 นาที(Fair, Geyer and Morris,1963)

3) <u>เฟอริกซัลเฟต</u> มีสูตรโมเลกุล $Fe_2(SO_4)_3.7H_2O$

มีช่วงการทำงานที่พีเอช 4-11 เหมือนกับเฟอรัสซัลเฟต ช่วงพีเอชที่ทำงานได้ดี คือ มากกว่า 8 (Fair, Geyer and Morris, 1963)

ปฏิกิริยาทางเคมีของเฟอริกซัลเฟตในการผลิตน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$Fe_2(SO_4)_3+ 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3+3CaSO_4+6CO_2$ -->(7)

$Fe_2(SO_4)_3+ 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3+ 3CaSO_4$ ------>(8)

การเตรียมสารละลายสามารถเตรียมให้มีความเข้มข้นถึง 25% โดยใช้เวลาในการละลาย 30 นาที และมีการกวนตลอดเวลาเพื่อให้เกิดการละลายอย่างสมบูรณ์(Fair, Geyer and Morris, 1963)

3.1.4 โพลีเมอร์

3.1.4.1 ชนิดของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นกลุ่มของโพลีเมอร์ที่มีสมบัติเฉพาะ มีโมโนเมอร์ซึ่งสามารถนำพาประจุหรือแตกตัวเป็นไอออนทำให้เกิดสารประกอบที่มีประจุไฟฟ้าชนิดต่างๆ อาจมีประจุบวก(cationic polyelectrolytes)หรือมีประจุลบ(anionic polyelectrolytes)หรือไม่มีประจุ(non-ionic polyelectrolytes) โดยทั่วไปสารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 10,000 ถึง10,000,000(Bratby, 1990) ปัจจุบันมีบทบาทในการใช้งานมากขึ้นเป็นลำดับทั้งเพื่อการปรับสภาพน้ำดีและในการบำบัดน้ำเสีย

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์มีทั้งที่ได้จากธรรมชาติ เช่น แป้ง ยางไม้ สาหร่ายทะเลสกัด และสารที่ได้จากการสังเคราะห์ แต่จากกระบวนการสังเคราะห์จะสามารถควบคุมสมบัติต่างๆได้ทั้งปริมาณ ชนิดประจุ และน้ำหนักโมเลกุล ฯลฯ สารดังกล่าวจึงมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น สำหรับสารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ใช้สำหรับการปรับแต่งสภาพน้ำดิบเพื่อการอุปโภคบริโภคจำเป็นต้องพิจารณาถึงอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับผู้อุปโภคบริโภคด้วย เนื่องจากมักมีสารเจือปนตกค้างอยู่เสมอ ตารางที่ 3.1 เป็นตัวอย่างของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารพล็อกกูแลนต์

ตารางที่ 3.1 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เป็นสารฟล็อกกูแลนต์(Bratby,1990)

Name	Charge type	Manufacturer and localtion
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
Purifl1oc 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

การจัดหมวดหมู่สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สามารถกระทำได้หลายรูปแบบตามสมบัติและประโยชน์การใช้งาน กล่าวคืออาจแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิดโครงสร้างหรือขนาดของโมเลกุลหรือแบ่งตามชนิดของประจุที่เกิดขึ้นในโมเลกุล ฯลฯ ในที่นี้จะกล่าวถึงประเภทของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นตามชนิดของประจุที่เกิดขึ้นในโมเลกุล

น้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์แบ่งออกได้ 4 ระดับ(Schwayer, 1981) คือ

ระดับสูง น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ $20x10^6$

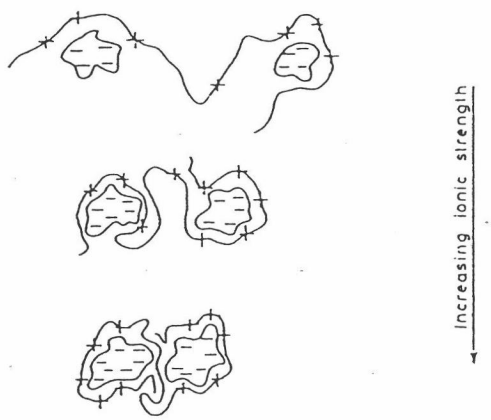
ระดับกลาง น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ $10x10^6$

ระดับต่ำ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ $5x10^6$

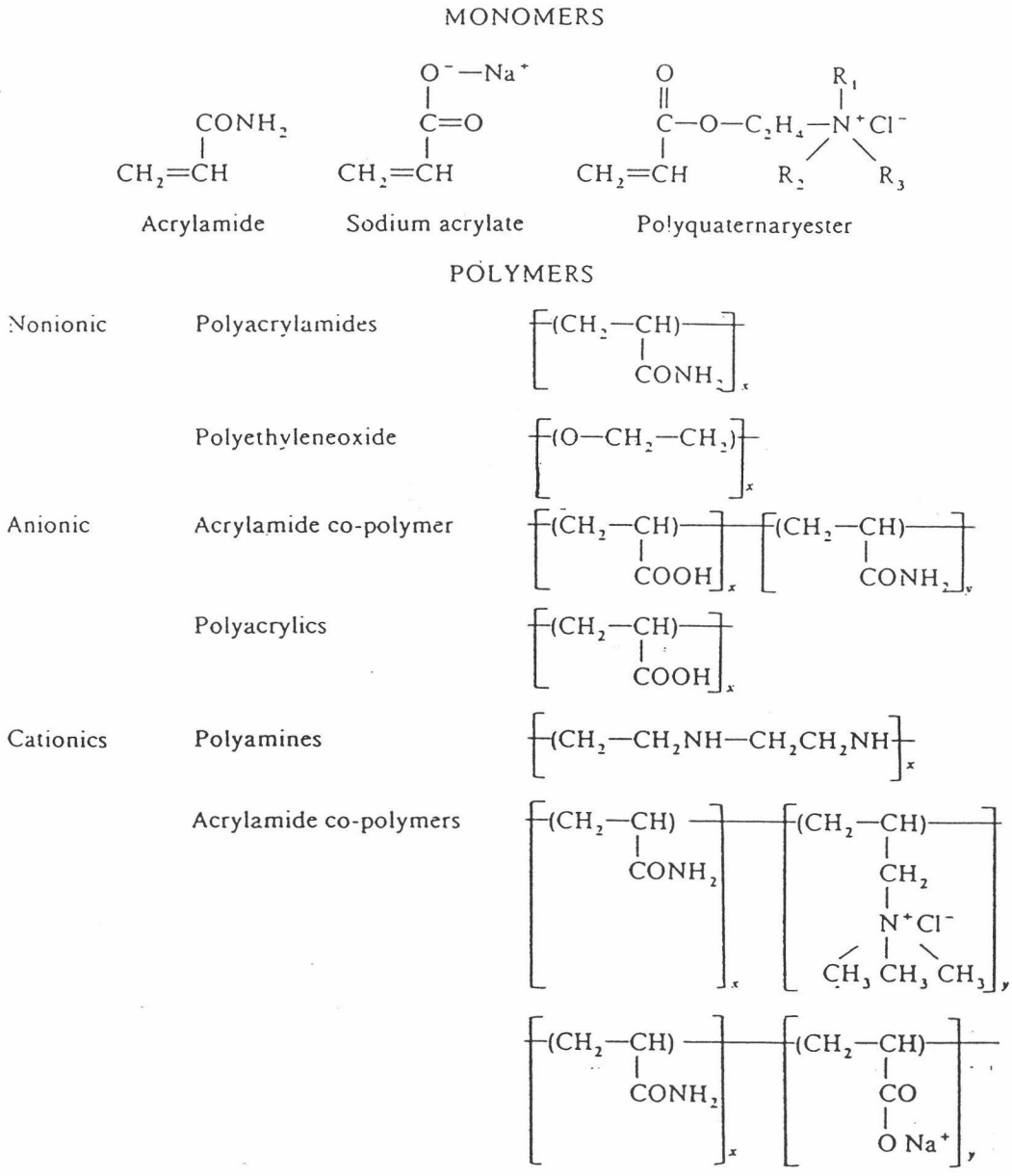
ระดับต่ำมาก น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ $1x10^6$

ทั้งนี้น้ำหนักโมเลกุลที่สูงมีผลทำให้ฟล็อกรวมตัวกันและตกตะกอนได้เร็วขึ้น

รูปที่ 3.3 แสดงการทำลายประจุและการสร้างสะพานเชื่อมอนุภาคสำหรับโพลีเอ็กโทรไลต์ที่อาศัยกลไกสะเทินประจุเป็นหลัก เมื่อโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดใดมีความแข็งแกร่งของประจุสูงกว่าชนิดอื่น โพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดนั้นจะมีความสามารถในการฟล็อกกูเลชันได้ดีกว่าโพลีอีเล็กโทรไลต์ชนิดอื่นด้วย ส่วนรูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างโมโนเมอร์และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ประจุลบและประจุบวก



รูปที่ 3.3 การทำลายประจุและการสร้างสะพานเชื่อมอนุภาค (Hughes, 1990)



รูปที่ 3.4 โครงสร้างโมโนเมอร์และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ประจุลบ และประจุบวก (Hughes, 1990)

3.1.4.1.1 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุบวก

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่มีประจุบวกมีหลายรูปแบบ(Schwayer,1981)ได้แก่

1) โพลีอามีน(polyamine):เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 10^5 แต่มีปริมาณประจุบวกสูงเช่น โพลีเอทีลีน อามีน และโพลีเอทีลีนไอมีน(PEI) สารกลุ่มนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมกระดาษและใช้บ้างในการศึกษาปฏิกิริยาฟล็อกกูเลชัน

2) โพลีเอทีลีน ควอเทอนารี(polyethylene quarternary):เป็นสารที่ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช และมีความต้านทานต่อการสลายตัวโดยคลอรีนมากกว่าโพลีเมอร์ทั่วไป จึงมักมีความสำคัญในการคลอริเนตน้ำดิบ

3) แคตไอออนนิก ไซยานามีน(cationic cyana mine):เป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำประมาณ $1x10^3$ ถึง $1x10^5$ เริ่มแรกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษ แต่ก็พบว่าสามารถแสดงปฏิกิริยาทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ด้วยเช่นกัน

4) คาโบโมอิล โพลีเมอร์แคตไอออน(cabomoyl cationic polymer):เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญในทางการค้า และใช้งานได้เอนกประสงค์ มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 10^6 มีความหนืดสูงและมีสารที่ไวต่อปฏิกิริยาอยู่น้อยเมื่ออยู่ในสารละลาย

5) โพลี แอลฟา-ไวนีลไมดาโซลีน(poly -vinyl midasoline):เป็นโพลีเมอร์พวกโพลีไซคลิกอาไมด์ มีโครงสร้างพิเศษสำหรับการเป็นฟล็อกกูแลนต์ ทั้งนี้เพราะมีความเป็นประจุบวกสูงมากและมีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจนถึงสูง

6) โพลีไดอัลลีเมททิล แอมโมเนียมคลอไรด์(poly-diallymethyl ammonium chloride):เป็นโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างเชิงเส้นมีน้ำหนักโมเลกุลช่วงต่ำถึงปานกลาง(น้อยกว่า 10^6) มีความต้านทานต่อคลอรีนและไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช

7) ไดเมททิล อะมิโนอัลคิล อะครีลิก(dimethyl aminoalkyl acrylic) และเมททาไซคลิกเอสเทอร์โพลีเมอร์(metacyclicester polymer):เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความไวในสภาพตัวกลางที่เป็นกรดหรือเบส ใช้เป็นพล็อกกูแลนต์ สารกลุ่มนี้มีราคาค่อนข้างสูง

8) เอ็น-ไดอัลคิลอะมิโนอัลคิล อะครีลาไมด์ โพลีเมอร์:(n-dialkylaminoalkyl acrylamide polymer) โพลีเมอร์กลุ่มนี้ได้รับความสนใจในการใช้เป็นสารพล็อกกูแลนต์เพราะมีเสถียรภาพต่อการไฮโดรไลซิสและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง

3.1.4.1.2 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่มีประจุลบ

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุลบโดยทั่วไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงสูงถึงสูงมาก(Schwayer, 1981) มักใช้เป็นสารพล็อกกูแลนต์ โพลีเมอร์ที่มีประจุลบมากและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีพฤติกรรมเป็นสารที่ช่วยกระจาย(dispersants)สลัดจ์ในสารละลาย รูปแบบส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มคาร์บอกซิเลตไอออนได้แก่ โพลีเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิเลต(carboxylate) เช่น โฮโมโพลีอะครีลิกแอซิด(homopolyacrylic acid) และพวกที่มีหมู่ซัลโฟนิกแอซิด(sulfonic acid)เช่น เกลือโซเดียมของโพลีสไตรีน ซัลโฟนิก แอซิด (polystyrene sulfonic acid)

3.1.4.1.3 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุ

หมายถึงพวกโมโนเมอร์ที่มีประจุต่ำกว่า 1% ในสารละลาย(Schwayer,1981) โพลีเมอร์เหล่านี้จะทำให้เกิดพล็อกกูเลชันโดยใช้กลไกการสร้างสะพานเชื่อมเป็นหลัก ในการใช้งานจึงต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือสูงมาก ตัวอย่างสารพล็อกกูแลนต์ที่สำคัญได้แก่ โพลีเอทีลีนออกไซด์(polyethlene oxides) และโพลีอะครีลาไมด์(polyacrylamide) ส่วนโพลีไวนิลไพโลไลโดนอน(polyvinyl pilolidinon) มักถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

3.1.4.2 กลไกการทำลายเสถียรภาพโดยโพลีอีเลคโทรไลต์

กลไกที่เกิดจารการใช้โพลีอีเลคโทรไลต์สามารถแยกได้เป็น 2 แบบ คือ กลไกซึ่งเกิดจากการใช้โพลีอีเลคโทรไลต์ดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์แล้วเชื่อมอนุภาคเหล่านั้นเข้าด้วยกัน และกลไกซึ่งเกิดจากโพลีอีเลคโทรไลต์ซึ่งมีประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ดูดติดกับอนุภาค และลดแรงผลักระหว่างอนุภาค กลไกทั้งสองแบบจะสนับสนุนซึ่งกันและกันหรือต่อต้านกันขึ้นอยู่กับว่ามีแรงดึงดูดระหว่างโพลีอีเลคโทรไลต์และอนุภาคมากน้อยแค่ไหน ซึ่งกลไกทั้งสองได้แก่ กลไกการใช้สะพานเชื่อมอนุภาค และกลไกเกิดหย่อมประจุไฟฟ้าสถิตย์ตามลำดับ

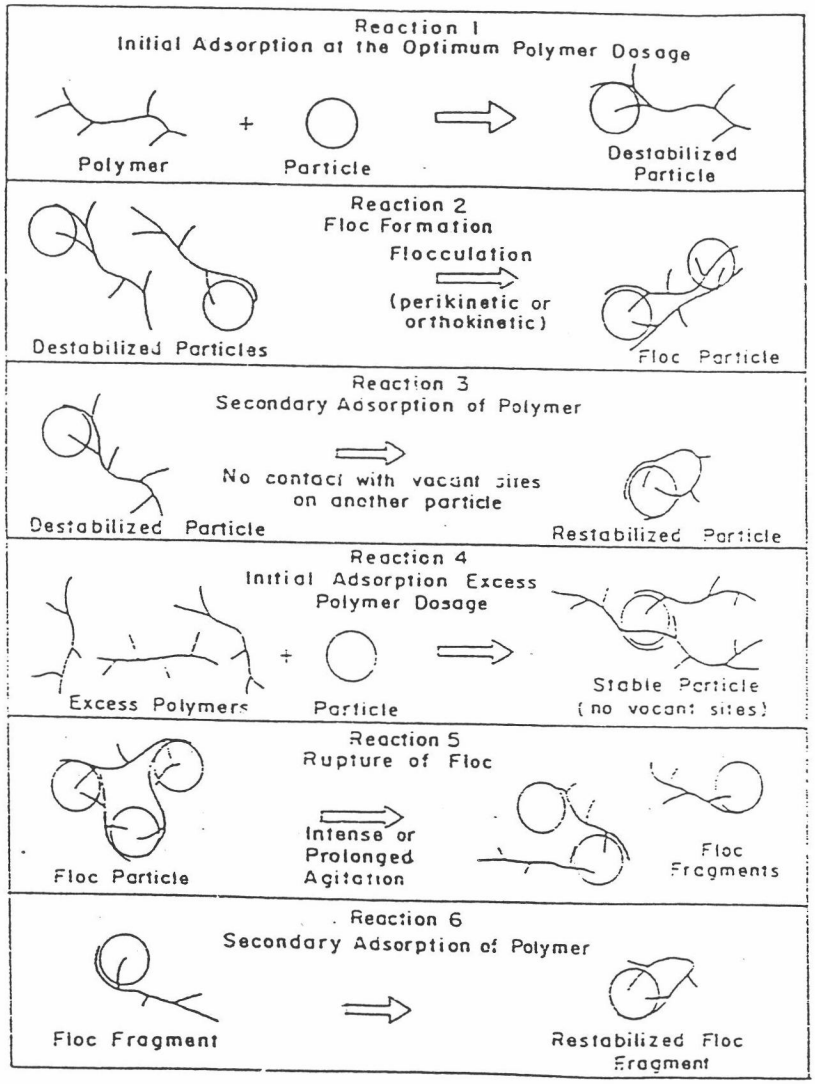
3.1.4.2.1 กลไกการใช้สะพานเชื่อมอนุภาค

กลไกสะพานเชื่อมอธิบายได้ดังรูปที่ 3.5 (Bratby, 1980) และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาที่ 1 จะเป็นปฏิกิริยาเมื่อเติมโพลีอีเลคโทรไลต์ลงในน้ำ จะเกิดการยึดเกาะกันของโมเลกุลของโพลีอีเลคโทรไลต์กับอนุภาคคอลลอยด์ การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องจากประจุที่ต่างกัน หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีอีเลคโทรไลต์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีอีเลคโทรไลต์เกาะติดอยู่ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ปลายโมเลกุลส่วนที่เหลือของโพลีอีเลคโทรไลต์จะแผ่ขยายสู่เนื้อสารละลาย

ปฏิกิริยาที่ 2 จะเป็นการจับอนุภาคคอลลอยด์ของปลายโมเลกุลที่เหลือของโพลีอีเลคโทรไลต์ ซึ่งการจับจะเกิดขึ้นต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์ที่จะจับมีที่ว่างบนผิวอนุภาค

ปฏิกิริยาที่ 3 เกิดเมื่ออนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่นไม่มีที่ว่างบนผิว ในที่สุดปลายอิสระนั้นก็จะจับอนุภาคเดิม ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับบนอนุภาคตัวอื่น ซึ่งทำให้ตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลงกลายเป็นอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่



รูปที่ 3.5 การทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกการสร้างสะพานโดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Bratby, 1980)

ปฏิกิริยาที่ 4 จะเกิดเมื่อใช้โพลีอีเลคโทรไลต์มากเกินไป ทำให้โพลีอีเลคโทรไลต์หลายโมเลกุลจับบนอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาค ทำให้อนุภาคนั้นกลับมีเสถียรภาพคืนมาใหม่

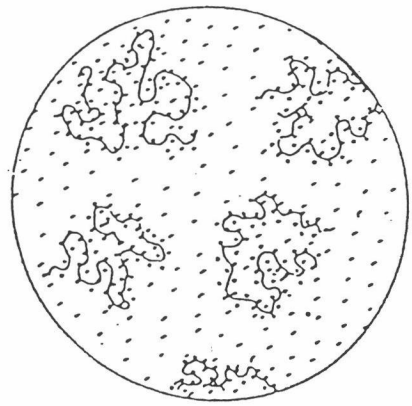
ปฏิกิริยาที่ 5 จะเกิดเมื่อมีการกวนผสมที่รุนแรงหรือนานเกินไปจนเกิดการทำลายฟล็อกที่เกิดขึ้น ทำให้ฟล็อกแตกออกเป็นส่วนๆ

ปฏิกริยาที่ 6 เมื่อฟล็อกแตกออกปลายอิสระของสารโพลีอีเลคโทรไลต์อาจจะเกาะจับบนอนุภาคเดิม ทำให้เสถียรภาพคอลลอยด์กลับคืนมาใหม่

3.1.4.2.2 กลไกเกิดหย่อมประจุไฟฟ้าสถิตย์

กลไกนี้ใช้อธิบายการเกาะของโพลีอีเลคโทรไลต์ที่มีประจุตรงข้ามกับอนุภาคที่ต้องการทำลายเสถียรภาพ หรือการใช้ประจุลบช่วยในการรวมฟล็อกของอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพด้วยโคแอกกูแลนต์จากสารประกอบจำพวกโลหะ และการเกิดปรากฏการณ์แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ที่ค่อนข้างรุนแรงซึ่งการเกิดกลไกสร้างสะพานไม่น่าจะส่งผลเช่นนั้นได้ ปกติประจุบนผิวของอนุภาคจะค่อนข้างคงที่ เมื่อเติมโพลีอีเลคโทรไลต์ที่มีประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาค โพลีอีเลคโทรไลต์จะไปเกาะบนผิวของอนุภาคเป็นหย่อมๆ ทำให้เกิดตำแหน่งที่มีประจุบวกค่อนข้างสูง ล้อมรอบด้วยประจุลบที่มีค่าน้อยกระจายทั่วทั้งอนุภาค ดังแสดงในรูป 3.6 และทำให้เกิดอนุภาคที่มีตำแหน่งประจุบนผิวต่างๆกันคือ บางส่วนยังคงเป็นลบ บางส่วนกลายเป็นบวก การทำลายเสถียรภาพจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคซึ่งมีประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกันเป็นหย่อมๆเคลื่อนที่มาใกล้กันแล้วเกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างหย่อมประจุไฟฟ้าที่มีประจุที่แตกต่างกัน

หอสมุดกลาง ...
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 ความเป็นไปได้ในการจัดเรียงตัวของสารโพลีอีเลคโทรไลต์บนอนุภาคที่มีความหนาแน่นของประจุลบต่ำ (Bratby, 1980)

3.1.5 สมมติฐานเบื้องต้นของการเกิดเพลเล็ต

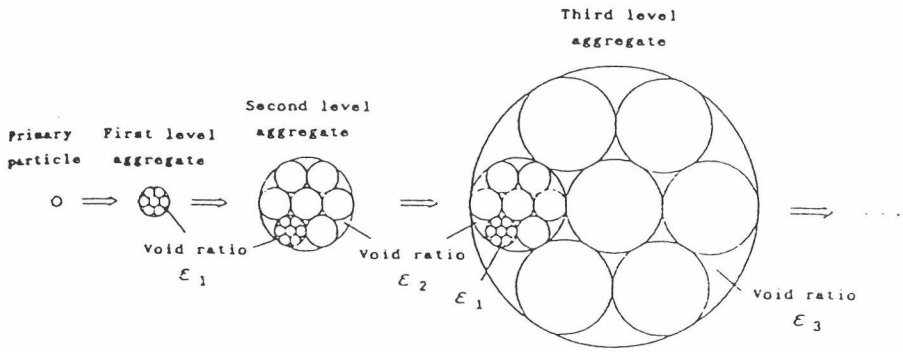
สมมติฐานของการเกิดเพลเล็ตสามารถอธิบายได้ด้วยสมมติฐาน 2 ข้อ (Tambo and Wang, 1993) ดังนี้

3.1.5.1 สมมติฐานการจำกัดระดับการรวมตัว

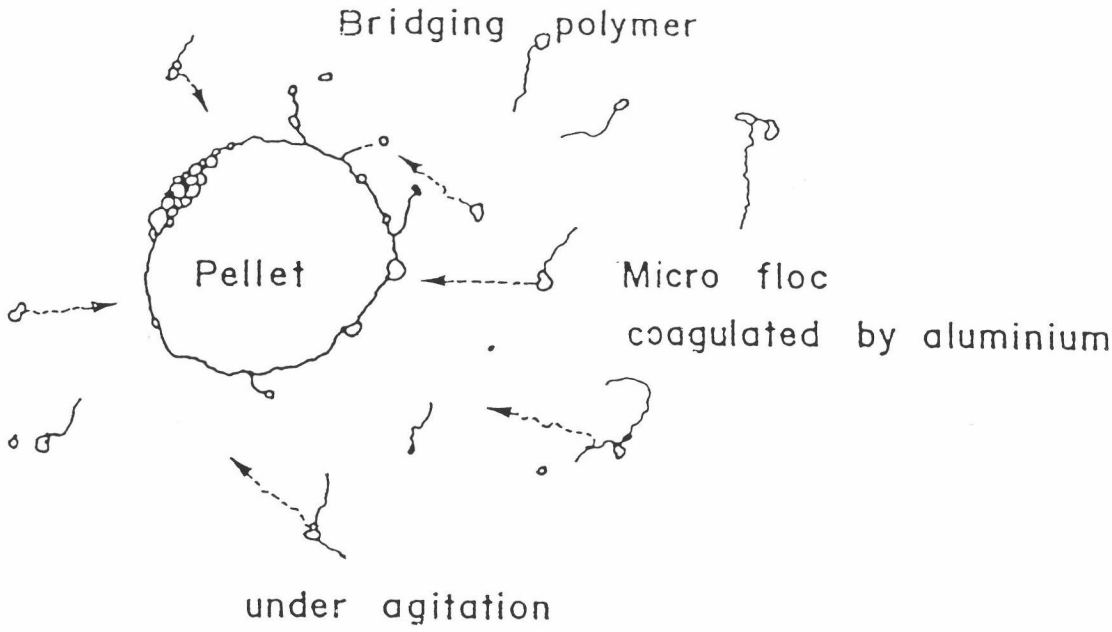
จากรูป 3.7 จะพบว่าถ้ามีระดับการรวมตัวมากจะทำให้เกิดช่องว่างภายในฟล็อกมาก ดังนั้นเพื่อที่จะเกิดเพลเล็ตจึงต้องควบคุมให้มีระดับการรวมตัวเพียงระดับเดียว จากสมมติฐานนี้กลไกการจับตัวกันแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one by one attachment) จึงถูกคิดค้นขึ้น (Tambo and Wang, 1993)

จากสมมติฐานดังกล่าวจึงนำไปสู่การคิดค้นกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นเพื่อใช้กำจัดความขุ่นทั้งนี้โดยการสร้างสภาวะเสถียรแบบเมตะให้เกิดขึ้นโดยการเติมสารโคแอกกูแลนต์ลงไปในขั้นตอนการกวนเร็วเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ คอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพจะรวมตัวกันหรือรวมกับสาร

โคแอกกูแลนต์เกิดเป็นจุลฟล็อก แต่จุลฟล็อกเหล่านี้ยังมีขนาดและความเข้มข้นไม่มากพอที่จะเกิดการจับตัวกันได้เอง เมื่อจุลฟล็อกเหล่านี้เข้าไปรวมกับเพลเล็ตที่ขนาดใหญ่และแข็งแรงภายในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตก็จะเกิดการจับตัวกันระหว่างจุลฟล็อกกับเพลเล็ตเหล่านั้นโดยเป็นการจับกันแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ทำให้ไม่มีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ภายในหรือมีน้อยมาก จึงเกิดเป็นเพลเล็ตที่มีความหนาแน่นสูง ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการรวมตัวของฟล็อกที่มีระดับการรวมตัวหลายขั้น
(Tambo and Wang, 1993)



Application of Metastable State
Operation for Clay Suspension

รูปที่ 3.8 การจับตัวกันแบบหนึ่งต่อหนึ่งภายในสภาวะเสถียรแบบเมตะ (Tambo and Matsui, 1987)

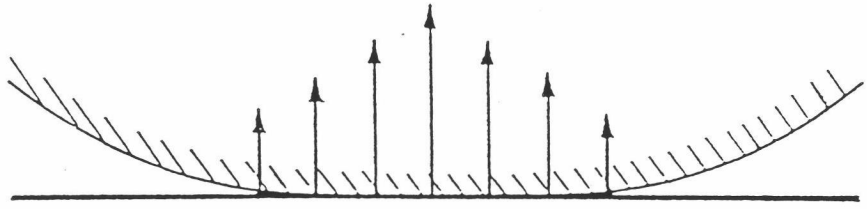
3.1.5.2 สมมติฐานการลดอัตราส่วนช่องว่าง

เมื่อมีการรวมตัวกันในหลายระดับ จะทำให้มีรมเลกุลของน้ำถูกกักภายในฟล็อก เพื่อที่จะลดปริมาณน้ำที่ถูกกักภายในฟล็อกจึงต้องมีกระบวนการแปลงรูปของฟล็อกเกิดขึ้นเพื่อกำจัดน้ำภายในฟล็อก ทำให้ฟล็อกมีความหนาแน่นสูงขึ้น กลไกที่ทำให้เกิดกระบวนการแปลงรูปของฟล็อกนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยเทคนิคการกลิ้งและเทคนิคการชน ซึ่งถูกเสนอโดย Yusa (1975)

3.1.5.2.1 เทคนิคการกลิ้ง (rolling techinque)

เมื่อเม็ดฟล็อกสัมผัสกับพื้นผิวที่จุดหนึ่งๆซึ่งเป็นพื้นที่เล็กๆแรงดันภายนอกจะมีค่าสูงสุด ณ บริเวณจุดกึ่งกลางของพื้นผิวสัมผัสซึ่งเป็นจุดที่ฟล็อกจะเกิดการยุบ

ตัวมากที่สุด และแรงดันภายนอกจะค่อยๆลดลงเมื่ออยู่ห่างออกไปจากจุดสัมผัสตามลำดับ (ดังแสดงในรูป 3.9)

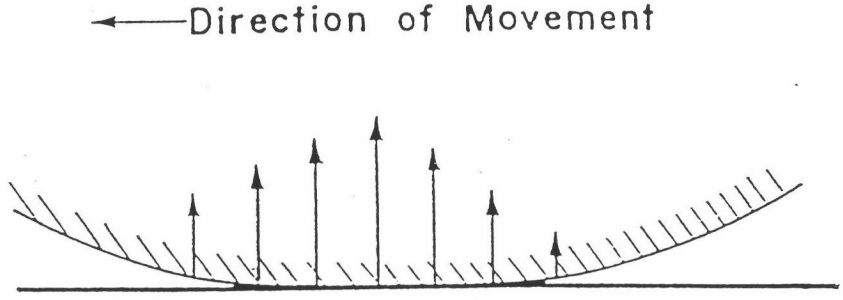


Pressure Distribution Around
the Contact Area When a
Floc is at Rest on a Solid Plane

รูปที่ 3.9 การกระจายของแรงเมื่อเล็อกหยุดนิ่ง

(Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)

หากมีการกลิ้งพล็อกไปข้างหน้า จุดสัมผัสถัดไปข้างหน้าของตำแหน่งเดิมจะเป็นจุดที่มีแรงดันภายนอกสูงสุด จะเห็นได้ว่าการกลิ้งพล็อกไปบนผิวเรียบหรือโค้งทำให้แรงกระทำต่อพล็อกไม่สม่ำเสมอ (ดังแสดงในรูป 3.10) พล็อกจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เป็นผลให้น้ำซึ่งแทรกอยู่ภายในเม็ดพล็อกถูกรีดออกมา

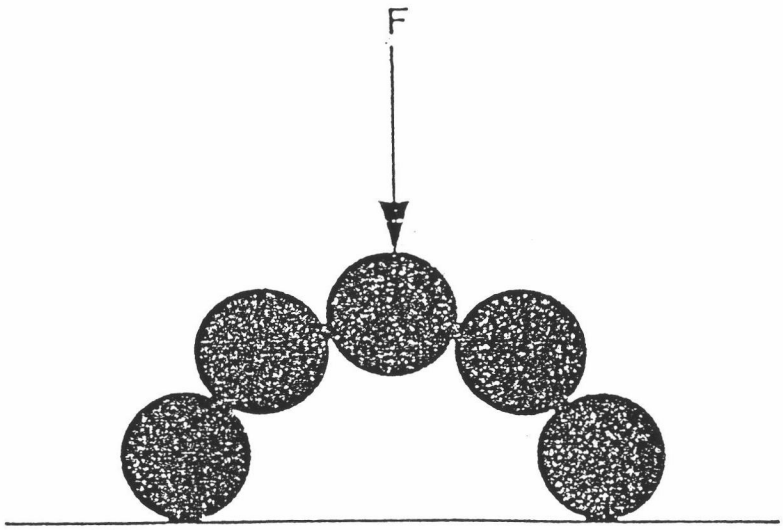


Pressure Distribution Around
the Contact Area When a
Floc Rolls Over Along a Solid Plane

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

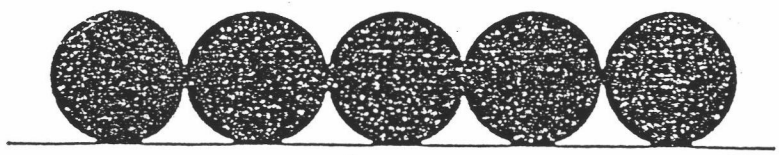
3.1.5.2.2 เทคนิคการชน (collision technique)

การบังคับให้ฟล็อกวิ่งมาชนกัน หรือชนพื้นผิวเรียบหรือโค้ง จะทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาคเล็กๆภายในฟล็อก ทำให้เกิดการจัดเรียงอนุภาคเล็กๆขึ้นใหม่ในลักษณะที่ชิดกัน เป็นผลให้น้ำที่แทรกอยู่ภายในเม็ดฟล็อกถูกรีดออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ 3.12



Internal Constitution of a
Loose Bulky Floc Produced by
Normal Flocculation

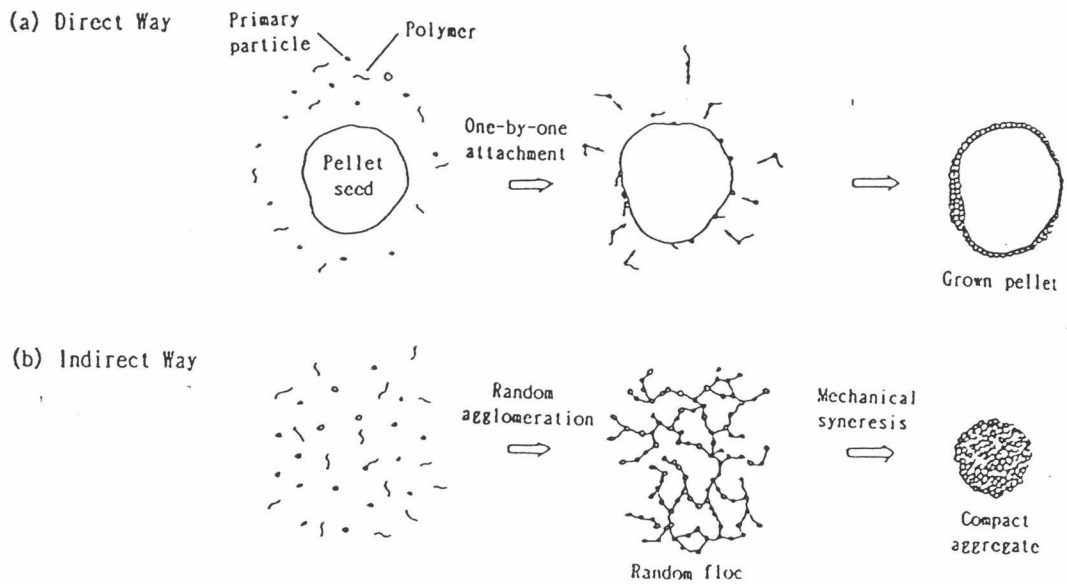
รูปที่ 3.11 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกก่อนชน (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)



Internal Constitution of a
Compact Floc Produced as the
Result of Pellet Flocculation

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

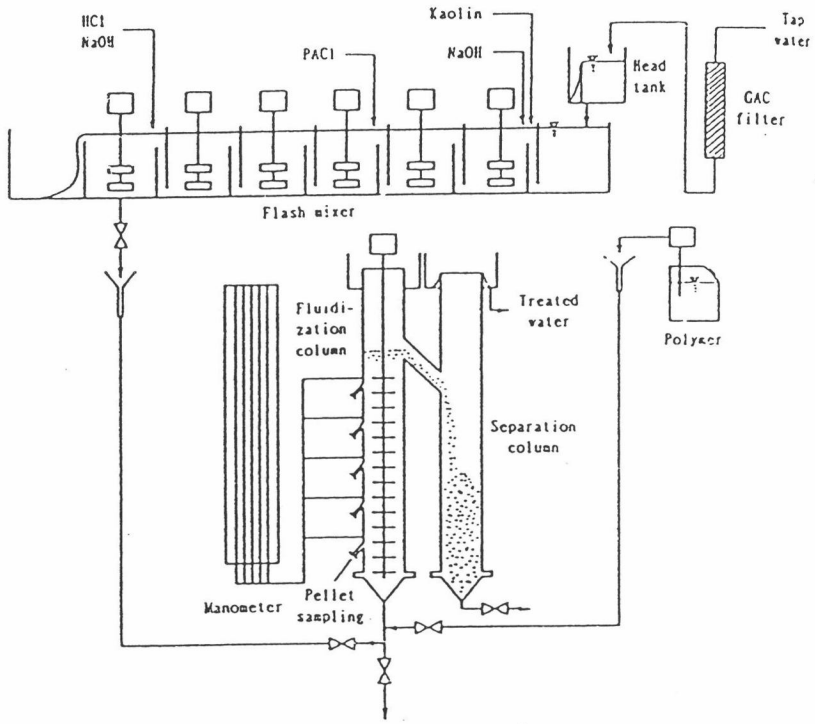
จากการพิจารณาสมมติฐานทั้งสองข้อ จะสามารถเปรียบเทียบข้อแตกต่างของสมมติฐานทั้งสองได้ดังรูปที่ 3.13 กล่าวคือเพลเล็ตที่เกิดตามสมมติฐานข้อแรกจะเกิดจากการจับตัวกันแบบหนึ่งต่อหนึ่ง หรือการจำกัดระดับการรวมตัวให้อยู่เพียงระดับเดียว แต่เพลเล็ตที่เกิดตามสมมติฐานข้อสองจะเกิดขึ้นจากฟล็อกแบบสุ่มได้รับแรงกระทำทำให้น้ำภายในถูกขับออก จึงเกิดเพลเล็ตที่มีความหนาแน่นสูง



รูปที่ 3.13 เปรียบเทียบสมมติฐานการเกิดเพลเล็ตทางตรงและทางอ้อม (Tambo and Wang, 1993)

3.1.6 หลักการของกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น

กระบวนการสร้างเพลเล็ตจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือส่วนที่เกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งเกิดขึ้นในถังกวนเร็วและส่วนสร้างเพลเล็ตซึ่งเกิดในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น (Tambo and Matsui, 1987) ดังแสดงในรูป 3.14 และสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น
(Tambo and Matsui, 1987)

1) โคแอกกูแลนต์ชนิดโลหะจะถูกเติมลงในขั้นผสมเร็วเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ และทำให้เกิดจุลฟล็อกขึ้น

2) โพลีเมอร์ประจุลบจะถูกเติมลงไปบริเวณด้านล่างของอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น เพื่อเชื่อมประสานจุลฟล็อกกับเม็ดเพลเล็ตในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต

3) ภายในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต จุลฟล็อกจะจับกับเพลเล็ตแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ทำให้เกิดเพลเล็ตที่มีความหนาแน่นสูง

4) เพื่อป้องกันการโตแบบสุ่ม จึงมีการกวนช้าภายในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต ความปั่นป่วนของน้ำจะทำให้พล็อกหลวมแตกออกจากกัน และเคลื่อนตัวไปสัมผัสกับจุลพล็อกเกิดการรวมตัวกับแบบหนึ่งต่อหนึ่งอีกครั้ง ได้เป็นเพลเล็ตทรงกลมแกร่งและมีความหนาแน่นสูง

3.2 การศึกษาที่ผ่านมา

3.2.1 Yusa และ Gaudin (1964) ได้ศึกษาถึงลักษณะของพล็อกเมื่อมีแรงกระทำต่อพล็อกขณะเกิดพล็อก

วิธีการทดลองจะดำเนินการทดลองโดยใช้ hydrolyzed polyacrylamide เป็นสารโคแอกกูแลนต์ โดยเติมสารโคแอกกูแลนต์เข้มข้น 0.1% ลงในน้ำสังเคราะห์จากดินคาโอลิน แล้วกวนให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำน้ำที่ผ่านการเติมสารโคแอกกูแลนต์แล้วไปใส่ในหลอดทดลองสองหลอด โดยหลอดแรกจะเขย่าอย่างรุนแรงตามแนวแกนยาวของหลอดด้วยอัตรา 5 ครั้งต่อนาที ส่วนหลอดที่สองทำให้เกิดการผสมโดยการหมุนอย่างเบาๆ โดยให้แกนหมุนทำมุม 90 องศากับแกนของหลอดแก้ว

ผลการทดลองพบว่า ในทั้งสองกรณีจะเกิดพล็อกที่มีลักษณะกลมแกร่งและความหนาแน่นสูงคล้ายเพลเล็ต ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การกวนผสมโดยวิธีเขย่าทำให้น้ำในเม็ดพล็อกถูกขับออกมา พล็อกที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะคล้ายเพลเล็ต

3.2.2 Yusa, Suzuki และ Tanaka (1975) ได้ทำการศึกษาเรื่อง separating liquid form pellet flocculation ซึ่งเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการกลิ้งและการชน ทำให้เกิดพล็อกที่อัดแน่นและแข็งแรง

3.2.3 Tambo และ Watanabe (1978) ได้ศึกษาเรื่องความหนาแน่นของฟล็อกซึ่งเกิดจากอนุภาคดินเหนียวและอะลูมิเนียม โดยใช้อุปกรณ์ทดลองดังรูป 3.15 และคำนวณความหนาแน่นจาก Stoke's Law โดยใช้ค่าความเร็วของการตกตะกอน เส้นผ่าศูนย์กลางของฟล็อก และค่าคงที่บางตัว เช่น ค่าความหนาแน่นของน้ำและความหนืด

วิธีการทดลอง จะดำเนินการทดลองโดยใช้สารโคแอกกูแลนต์สองชนิด คือ อะลูมิเนียมซัลเฟต และโพลีอะลูมินัมคลอไรด์ และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวปรับพีเอช ในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะกวนเร็วที่ 100 รอบต่อนาที และกวนช้า 40 รอบต่อนาทีเป็นเวลานาน 30 นาที

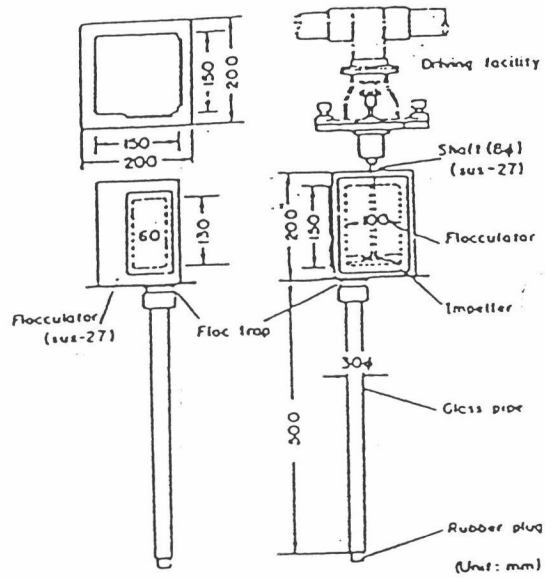
การวิเคราะห์ตัวอย่าง จะวัดความเร็วตกตะกอนในกระบอกทรงสูง ซึ่งติดอยู่ใต้พล็อกกูเลเตอร์ โดยการเลื่อนแผ่นกั้นระหว่างพล็อกกูเลเตอร์กับกระบอกทรงสูง แล้ววัดความเร็วจมตัวและขนาดของฟล็อกโดยเครื่องถ่ายภาพที่วางอยู่ข้างอุปกรณ์

ผลการทดลองพบว่า

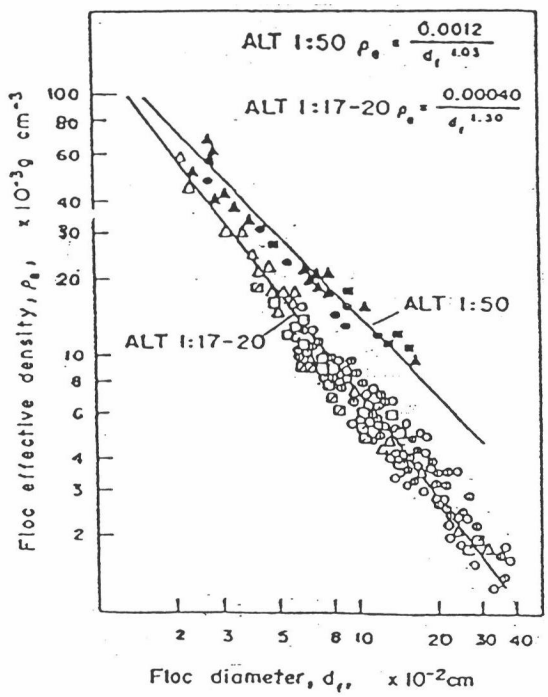
1. ความหนาแน่นประสิทธิผลของฟล็อกกับขนาดของฟล็อกมีลักษณะเป็นเส้นตรงในสเกลของกราฟฟล็อกการิทึม

2. เมื่ออัตราส่วนอะลูมิเนียมต่อความขุ่น(ALT ratio)ลดลง ความหนาแน่นประสิทธิผลของฟล็อก(ความหนาแน่นประสิทธิผลเท่ากับผลต่างของความหนาแน่นของฟล็อกกับความหนาแน่นองน้ำที่อุณหภูมิเดียวกันจะลดลง (เมื่อขนาดของฟล็อกคงที่) ตามรูปที่ 3.16 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า สารอะลูมิเนียมทำให้รม-เลกุลของน้ำแทรกในฟล็อก เป็นผลให้ความหนาแน่นของเม็ดฟล็อกลดลง

3. มีแนวโน้มว่าถ้าทำให้เกิดการรวมตัวโดยไม่มีโมเลกุลของน้ำเข้าแทรกอาจจะทำให้ฟล็อกมีความหนาแน่นสูงได้



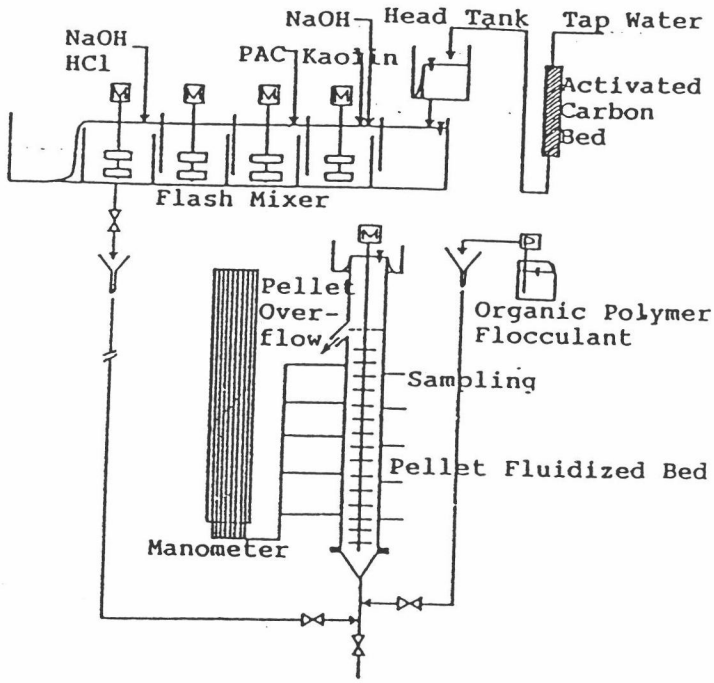
รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ในการทดลองของ Tambo และ Watanabe (Tambo and Watanabe, 1978)



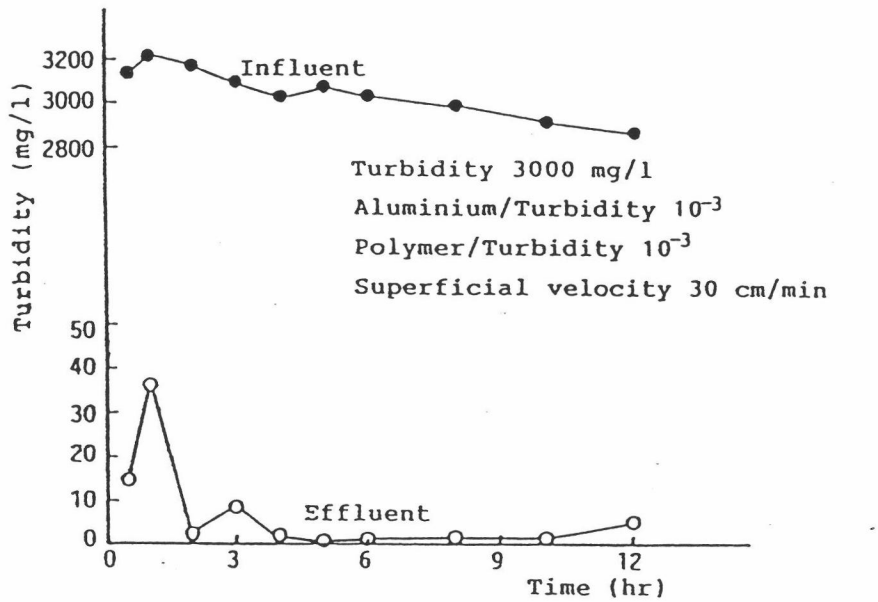
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประสิทธิผล และขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฟล็อกที่อัตราส่วน ALT ต่างๆ (Tambo and Watanabe, 1978)

3.2.4 Tambo และ Matsui (1987) ได้ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ดังรูป 3.17 โดยเติมโลหะโคแอกกูแลนต์ เช่น เกลืออลูมิเนียมที่พีเอชเป็นกลาง เพื่อทำให้ผิวของอนุภาคดินเหนียวมีประจุเป็นกลางเพื่อที่จะมีโอกาสที่จะชนอนุภาคอื่นๆได้ ในขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมอนุภาคเบื้องต้นในชุดอุปกรณ์กวนเร็ว (flash mixer) และจะเติมสารโพลีเมอร์อินทรีย์ที่มีประจุลบอย่างอ่อน(Accofloc A-100 PWG)เพื่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแก่จุลพล็อก โดยจุลพล็อกที่สัมผัสกับสารอินทรีย์โพลีเมอร์จะแสดงสมบัติเป็นอนุภาคเบื้องต้นด้วย จากนั้นอนุภาคเบื้องต้นจะไหลผ่านชั้นเพลเล็ตและทำการสัมผัสแบบหนึ่งต่อหนึ่งต่อไป ในขั้นแรกของอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตจะทำการสร้างเพลเล็ตเทียมให้เป็นตัวนำก่อน โดยการทำให้อนุภาคเบื้องต้นเกิดการสัมผัสในกระบวนการพล็อกกูเลชันที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปคือ อนุภาคแขวนลอยจะสัมผัสกันโดยมีโพลีเมอร์เป็นตัวเชื่อม เมื่อเริ่มเดินเครื่องจะใช้อัตราการไหลของน้ำดิบในอัตราที่ต่ำให้ไหลผ่านชั้นเพลเล็ต และเพิ่มอัตราไหลเร็วขึ้นถึง 30 ซม.ต่อนาที ภายในเวลา 30 นาที และรักษาความเร็วให้อยู่ในอัตราคงที่ต่อไป โดยทั่วไปการสัมผัสของอนุภาคเบื้องต้นจำเป็นต้องใช้การกวนด้วยแรงและขนาดของใบพัดที่เหมาะสม เพื่อหยุดยั้งการโตของกลุ่มพล็อกที่ผิดแปลกไปจากเม็ดเพลเล็ต ทำให้เม็ดเพลเล็ตแข็งแรงมีลักษณะเป็นรูปกลม ซึ่งสามารถจะรีดน้ำออกจากสลัดจ์โดยง่ายและรวดเร็ว วิธีการทดลองข้างต้นจะทำการทดลองหลายครั้งโดยใช้อลูมิเนียมและโพลีเมอร์ในปริมาณต่างๆรวมทั้งความเข้มข้นของน้ำดิบ อัตราการกวนรูปร่างและระยะห่างของใบกวน โดยมีการวัดตัวแปรของผลการทดลองคือความเข้มข้นของความขุ่นของน้ำเข้าระบบและออกจากระบบ การแปรเปลี่ยนผลต่างความดันตลอดความยาวอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต ลักษณะกายภาพของเพลเล็ต เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดเพลเล็ตและความหนาแน่นของเม็ดเพลเล็ตโดยค่าทั้งสองจะเป็นตัวควบคุมความเร็วในการตกตะกอน

จากผลการทดลองตามรูปที่ 3.18 สามารถพัฒนากระบวนการกำจัดความขุ่นที่ความขุ่นสูงโดยใช้ความเร็วของน้ำไหลขึ้นในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตได้ถึง 30 ซม.ต่อนาที ใช้เวลากักน้ำเพียง 5 นาที



รูปที่ 3.17 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลองของ Tambo และ Matsui (Tambo and Matsui,1987)



รูปที่ 3.18 การเปรียบเทียบความขุ่นในน้ำก่อนเข้าระบบและหลังผ่านระบบในช่วงเวลาต่างๆ(Tambo and Matsui,1987)

ในรูปที่ 3.19 การศึกษาความดันลดตลอดความสูงของชั้นเพลเล็ตตลอดระยะเวลา 12 ชั่วโมง พบว่า ในการสร้างเม็ดเพลเล็ตให้อยู่ในภาวะคงตัวใช้เวลาเดินเครื่องประมาณ 6 ชั่วโมง โดยความดันลดสูงสุดวัดได้ 15 ซม. น้ำในภาวะที่เปลี่ยนแปลง(transition) จากสภาวะไม่คงตัวสู่ภาวะคงตัว

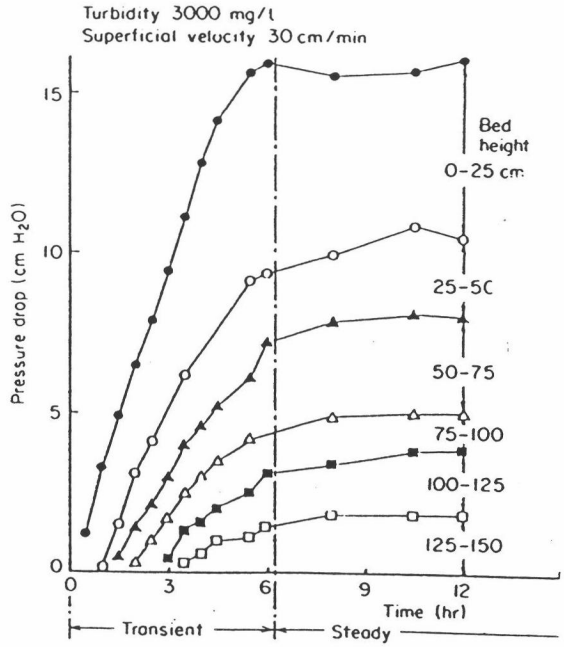
ในการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดพล็อกที่ช่วงเวลาต่างๆตามรูป 3.20 ในช่วงเวลาต่างๆโดยวัดตามความสูงของเพลเล็ต พบว่าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเพลเล็ตที่เวลา 6 ชั่วโมง แสดงว่าเกิดดุลระหว่างการเกิดเม็ดพล็อกและการแยกตัว

รูปที่ 3.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาแน่นของเม็ดพล็อกประสิทธิผล พบว่าความหนาแน่นของเม็ดพล็อกเกือบจะคงที่ในช่วงการกระจายของเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ เมื่อเทียบกับพล็อกที่เกิดแบบสุ่มชี้ให้เห็นว่า ความหนาแน่นที่เกิดจากกลุ่มพล็อกมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นของเม็ดเพลเล็ต

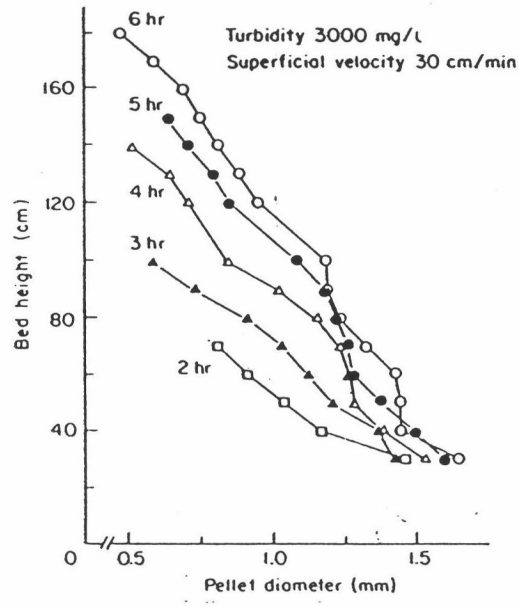
ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมาสามารนำผลไปใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาได้ ดังนี้

1. ความหนาแน่นของเพลเล็ตจะขึ้นอยู่กับอัตราการกวน และระยะห่าง(pitch)ของใบกวน ถ้าอัตราการกวนสูงจะสร้างเพลเล็ตขนาดเล็กกว่าทำให้ความหนาแน่นเพลเล็ตสูงตาม และถ้าใช้ใบพัดที่มีขนาดใหญ่ในการกวนด้วยพลังงานที่เท่ากันจะสร้างเพลเล็ตที่มีขนาดเล็กกว่า เพราะมีการกระจายของแรงที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการแตกแยกของเพลเล็ต

2. ในการบำบัดน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำ เช่นที่ เอสเอส 200 มก./ล. จะต้องเติมโพลีเมอร์เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนความเข้มข้นน้ำดิบที่น้อยลง โดยสรุปที่ความเข้มข้นเอสเอส 3,000 มก./ล. จะใช้อัตราส่วนโพลีเมอร์ต่อความเข้มข้นความขุ่นประมาณ 10^{-3} แต่ถ้าความขุ่นมีความเข้มข้นเอสเอส 200 มก./ล. อัตราส่วนจะเพิ่มขึ้นเป็น 10^{-2} ซึ่งอัตราส่วนนี้ใช้ร่วมอัตราส่วนเดียวกับอัตราส่วนความขุ่นกับปริมาณอลูมิเนียม

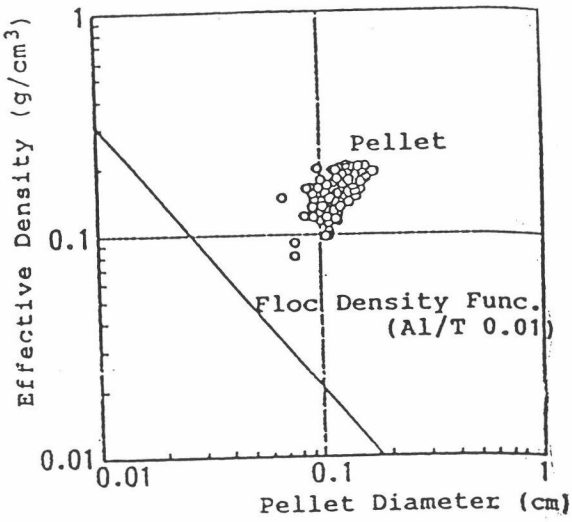


รูปที่ 3.19 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในช่วงเวลาต่างๆ (Tambo and Matsui, 1987)



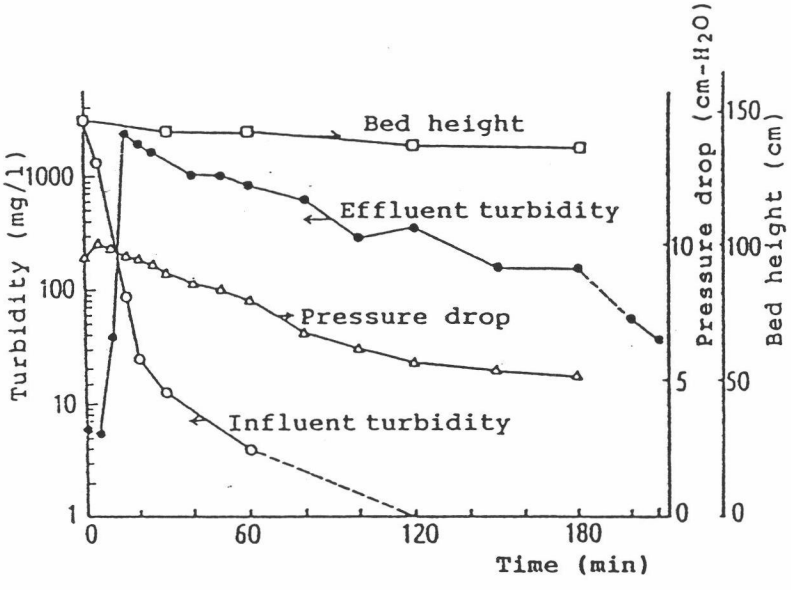
รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลเล็ตที่ความสูงของเพลเล็ตต่างๆ(Tambo and Matsui, 1987)

I17417569



รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประสิทธิผลและขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลเล็ต(Tambo and Matsui, 1987)

การทดลองโดยไม่มีอิทธิพลจากความขุ่นน้ำดิบ ตามรูปที่ 3.22 พบว่าเพลเล็ตเกิดการแยกตัวเป็น 2 ส่วน โดยเพลเล็ตใหญ่จะจับอนุภาคเบื้องต้นต่อไปและเกิดจากแยกตัวในส่วนเกินของอนุภาคซึ่งมีผลทำให้เกิดความขุ่นด้านน้ำออก



รูปที่ 3.22 ลักษณะของชั้นเพลเล็ตเมื่อไม่มีอิทธิพลจากความขุ่นของน้ำดิบเทียบกับเวลา(Tambo and Matsui, 1987)

สรุปการศึกษาพบว่า การแยกอนุภาคความขุ่นออกจากน้ำโดยใช้ชั้นเพลเล็ตสามารถทำได้โดยใช้เวลากักน้ำเพียงไม่กี่นาทีและกำจัดสลัดจ์ที่ออกมาได้ง่ายกว่าระบบแบบเดิม

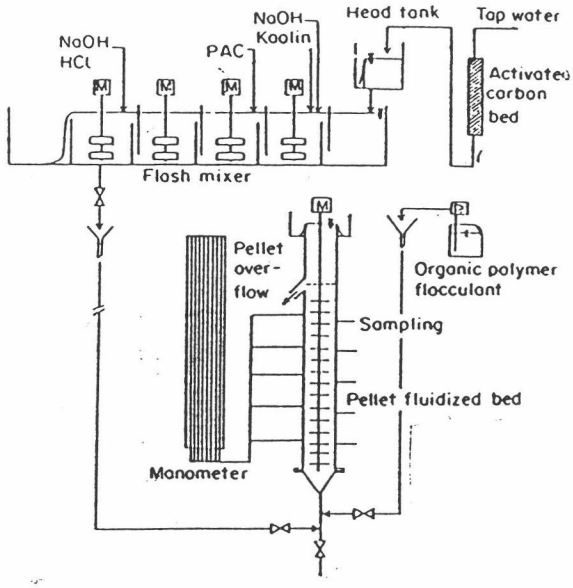
3.2.5 Tambo and Matsui (1989) ได้ทำการศึกษากระบวนการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำดิบแบบใหม่ โดยใช้กระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด โดยมีอุปกรณ์ดังแสดงในรูป 3.23

วิธีการทดลองได้ทำการทดลองเป็น 2 กรณี คือ

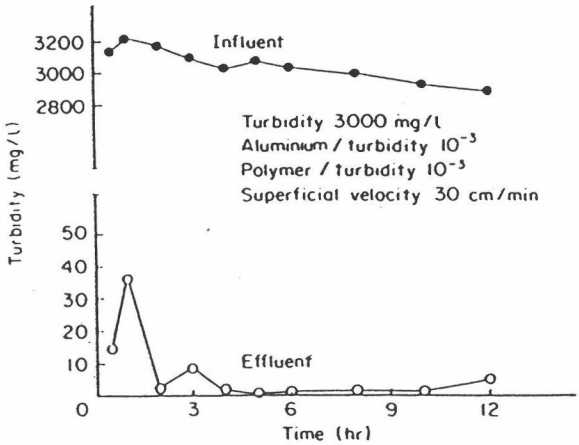
กรณีแรกใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเหลือง ซึ่งมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 3000 มก./ล. และกรณีที่สองใช้น้ำดิบจากประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินเดีย ซึ่งมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 250 มก./ล.

ผลการทดลอง

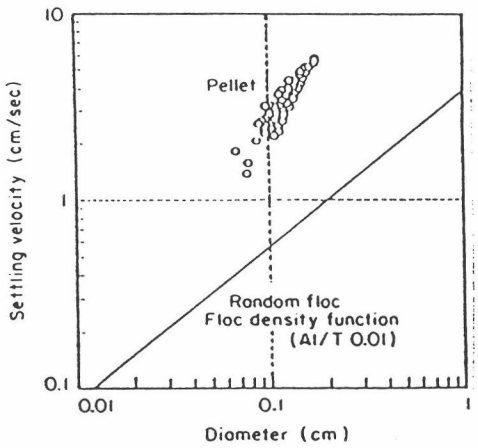
กรณีแรก เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 3,000 มก./ล. พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมต่อความขุ่น(Al/T ratio) ประมาณ 10^{-3} และอัตราส่วนโพลีเมอร์ต่อความขุ่น(P/T ratio)ประมาณ 10^{-3} และใช้ความเร็วไหลขึ้น 30 ซม./นาที น้ำผลิตที่ได้จะมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำมาก(ดังรูป 3.24) นอกจากนั้นความเร็วการจมตัวและความหนาแน่นของเพลเล็ตจะมีค่าสูงกว่าของฟล็อกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน และฟล็อกกูเลชันแบบเก่า(ดังรูป 3.25, 3.26) และเพลเล็ตที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ กลมและแน่นดังแสดงในรูป 3.27



รูปที่ 3.23 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองกระบวนการแยกโดยใช้ฟลูอิดไดซ์เบด(Tambo and Matsui,1989)

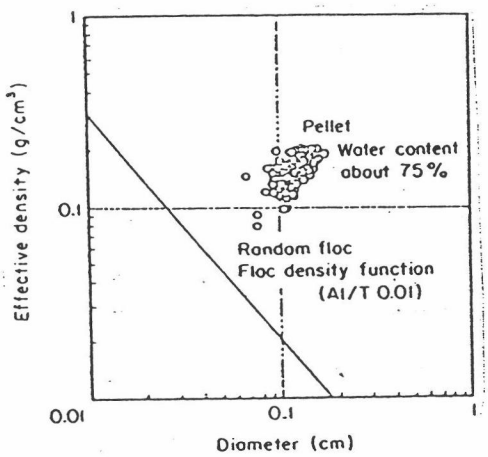


รูปที่ 3.24 ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่เวลาใดๆ(น้ำดิบมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยประมาณ 3,000 มก./ล. (Tambo and Matsui,1989)



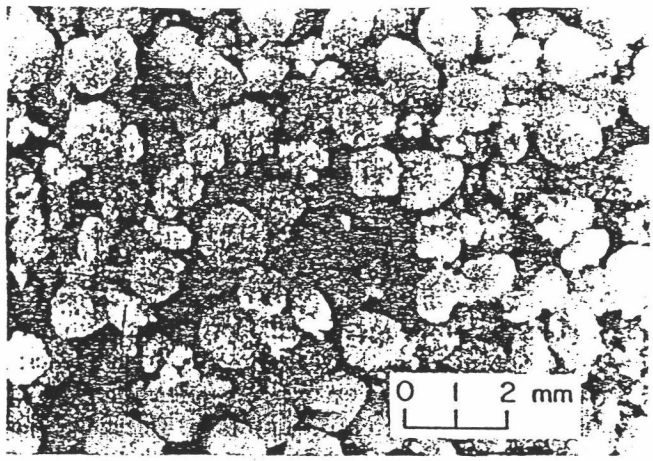
รูปที่ 3.25 ความเร็วจมตัวของเพลเล็ตและฟล็อก

(Tambo and Matsui,1989)



รูปที่ 3.26 ความหนาแน่นของเพลเล็ตและฟล็อก

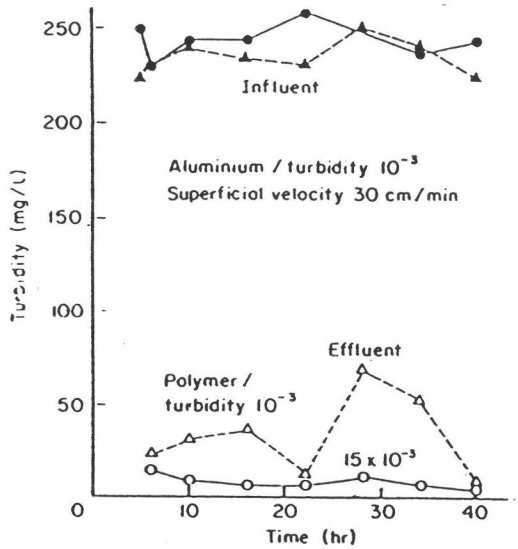
(N. Tambo and Y. Matsui,1989)



รูปที่ 3.27 ลักษณะและขนาดของเพลเล็ต

(Tambo and Matsui,1989)

กรณีที่สอง เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 250 มก./ล. พบว่า ใช้อัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมต่อความขุ่น 10^{-3} และอัตราส่วนโพลีเมอร์ต่อความขุ่นประมาณ 15 x 10^{-3} และใช้ความเร็วไหลขึ้น 30 ซม./นาที น้ำผลิตที่ได้จะมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำและคงที่ (ดังรูป 3.28) แต่เมื่อใช้อัตราส่วนของโพลีเมอร์ต่อความขุ่น 10^{-3} จะทำให้น้ำผลิตที่ได้มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยไม่คงที่ (ดังรูป 3.28) และทำให้การกระจายขนาดของเพลเล็ตไม่ดี ทำให้คุณภาพน้ำผลิตที่ได้ต่ำลง



รูปที่ 3.28 ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่เวลาใดๆ (น้ำดิบมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยประมาณ 250 มก./ล.) (Tambo and Matsui,1989)

จากผลการศึกษาพบว่า จุดที่ใส่โพลีเมอร์แอนไอออนจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและความหนาแน่นของเพลเล็ต (ดังแสดงในตารางที่ 3.2) จากตารางดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะสูงสุดและความหนาแน่นของเพลเล็ตจะมากที่สุดเมื่อใส่โพลีเมอร์ที่ด้านล่างของฟลูอิด-ไดซ์เบด

ตาราง 3.2 ผลของจุดใส่โพลีเมอร์แอนไอออน(Tambo and Matsoi, 1989)

จุดเติมโพลีเมอร์	ความขุ่นน้ำผลิต (เอ็นทียู)	ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต (ก./ซม.^{3})
- ด้านล่างของฟลูอิดไดซ์เบด	<10	0.15
- ด้านล่างของถังกวนเร็ว	25	0.11
- ในถังกวนเร็ว	25	0.08
- ในถังกวนเร็วพร้อมโคแอกกูแลนต์	ไม่เกิดเพลเล็ต	

จากผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ว่าระบบที่ทำการทดลองนี้สามารถแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอนขั้นต้น แม้ว่าน้ำดิบจะมีความขุ่นสูง เช่น น้ำดิบจากแม่น้ำเหลือง

กระบวนการแยกสารแขวนลอยระบบใหม่นี้จะใช้เวลากักน้ำแค่ 3 - 5 นาที ในการแยกสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 10^2-10^3 มก./ล. น้ำผลิตที่ได้จะเหลือสารแขวนลอยแค่ 2-3 มก./ล.เท่านั้น สารโคแอกกูแลนต์ที่จะใช้คืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ และสารโคแอกกูแลนต์เอดที่ใช้คือโพลีเมอร์แอนไอออน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างอลูมิเนียมต่อความขุ่นเท่ากับ 10^{-3} อัตราส่วนโพลีเมอร์ต่อความขุ่นประมาณ 10^{-3} สำหรับความขุ่น 10^3 มก./ล. และ 10^{-2} สำหรับความขุ่น 10^2 มก./ล. เพลเล็ตที่เกิดขึ้นจะมีความแน่นสูงกว่าฟล็อกจากกระบวนการโคแอกกูเลชันแบบธรรมดามาก และเพลเล็ตที่ได้จะมีความสามารถในการรีดน้ำออกได้สูงกว่าฟล็อกธรรมดาด้วย

3.2.6 Benschoten และ Edzwald (1990) ได้ทำการศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันโดยสารส้มและโพลีอลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้หลังจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโคแอกกูแลนต์ทั้งสอง การทดลองทั้งหมดใช้วิธีจาร์เทสต์ ซึ่งมีวิธีการทำโดยใส่ตัวอย่างน้ำซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส และปรับให้มีค่าพีเอชประมาณ 4 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (0.1 N HCl) ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. จากนั้นจึงเติมโคแอกกูแลนต์ให้มีค่าความเข้มข้นของอลูมิเนียมเท่ากับ 13.5 มก./ล.แล้วจึงปรับค่าพีเอชของน้ำด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (0.1 N $NaHCO_3$) และ/หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จนได้ค่าพีเอชที่ต้องการ แล้วนำไปเข้าเครื่องกวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ทำเช่นนี้ทีละบีกเกอร์จนครบทั้ง 6 บีกเกอร์ โดยแต่ละบีกเกอร์จะมีพีเอชต่างกัน เมื่อครบแล้วจึงปรับความเร็วรอบให้เหลือ 20 รอบต่อนาทีแล้ว ทำการกวนน้ำพร้อมกันทั้ง 6 บีกเกอร์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอีก 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำน้ำใสที่ได้มาวิเคราะห์ค่าพีเอช , อุณหภูมิ , ปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายน้ำ ความขุ่นตกค้าง และ electrophoretic mobility(EPM) จากนั้นจึงทำการทดลองเหมือนข้างต้นทั้งหมดอีก แต่คราวนี้ทำการทดลองที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 4 องศาเซลเซียสโดยใช้อ่างปรับคุมอุณหภูมิ

ผลการทดลองสรุปได้ว่าจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอลูมิเนียมในน้ำ เนื่องจากสารส้มพบว่า อลูมิเนียมจะแสดงรูปแบบของโมโนเมอร์เกือบทั้งหมด ส่วนอลูมิเนียมจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโพลีอลูมินัมคลอไรด์จะแสดงในรูปแบบของโพลีเมอร์ถึง 90%

ต่อมาเขาได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความแตกต่างของสารส้มและโพลีอลูมินัมคลอไรด์เมื่ออยู่ในสภาวะของแข็ง โดยทำให้เกิดการตกตะกอนด้วยการไทเทรตสารละลายโคแอกกูแลนต์ทั้งสองตัวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) จนมีพีเอช 7.5 จากนั้นจึงละลายสลัดจ์ที่เกิดขึ้นด้วยกรดจนมีพีเอชเท่ากับ 4 แล้วทำการตรวจสอบผลทันที พบว่ารูปแบบของอลูมิเนียมที่เกิดจากการละลายสลัดจ์

ของสารส้มยังคงเป็นโมโนเมอร์ แสดงว่าสลัดจ์ที่เกิดจากสารส้มคืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ส่วนโพลีอลูมินัมคลอไรด์แสดงรูปแบบของโพลีเมอร์ประมาณ 90% เหมือนก่อนเมื่อทำให้ตกตะกอน ชี้ให้เห็นว่าขณะตกตะกอนโพลีอลูมินัมคลอไรด์ยังคงรักษาสภาพโพลีเมอร์ของอลูมิเนียมไว้ได้ และยังสังเกตได้ว่าสลัดจ์ของสารส้มมีขนาดใหญ่ (25-100 ไมโครเมตร) กว่าสลัดจ์ของโพลีอลูมินัมคลอไรด์ มีลักษณะเป็นปุยเกาะกันไม่แน่น ส่วนฟล็อกของโพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก (25 ไมโครเมตร) มีลักษณะกลมเกาะติดกันเป็นกลุ่ม ที่พีเอชมากกว่า 9 ขึ้นไป สลัดจ์ของโพลีอลูมินัมคลอไรด์ที่ได้จึงจะเหมือนกับสลัดจ์ที่เกิดจากสารส้ม นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารส้มมาก เพราะทำให้ไฮดรอกซิลไอออนในน้ำเปลี่ยนแปลง แต่จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโพลีอลูมินัมคลอไรด์น้อยมาก

ต่อมาทำการทดลองเพื่อแยกกรดฟัลวิกหรือ FA(fulvic acid) ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายออกจากน้ำโดยวิธีการตกตะกอน และใช้สารส้มกับโพลีอลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ ดำเนินการทดลองเป็น 3 แบบด้วยกัน คือ

1. การทดลองจาร์เทสต์ขนาดเล็ก โดยใช้น้ำซึ่งมี FA อยู่ 2,5 และ 10 มก. ดีโอซี/ล. ปริมาณ 200 มล. ที่อุณหภูมิห้อง (22.5 $\pm$ 2.5 องศาเซลเซียส) ดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีจาร์เทสต์เหมือนกับตอนแรกทุกประการ แล้วนำน้ำใสที่ได้มาวัดค่าพีเอช, อุณหภูมิ, การดูดกลืนแสงยูวี (ที่254 นาโนเมตร), ปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายน้ำ, ความขุ่นตกค้าง และ ERM ผลการทดลองพบว่าสารส้มสามารถกำจัด FA ออกจากน้ำได้ดีกว่าโพลีอลูมินัมคลอไรด์เล็กน้อย และที่พีเอช 7 โคแอกกูแลนต์ทั้งสองตัวจะสามารถแยก FA ออกจากน้ำได้ดีกว่าที่พีเอช 5 ประมาณ 8-11% แต่จะใช้ปริมาณมากกว่าถึง 2 เท่า และเพื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสมรวมทั้งหากต้องการประสิทธิภาพในการกำจัด FA ตั้งแต่ 80% ขึ้นไป จะต้องปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.5-7 เหมือนกัน

2. การทำจาร์เทสต์ขนาดใหญ่ ทำการทดลองจาร์เทสต์โดยใช้ถังฟล็อกกูแลนต์ชนิด 2 ลิตร โดยกำหนดตัวแปรอิสระสำหรับการทดลองนี้

คือ ชนิดของโคแอกกูแลนต์ (สารส้ม และโพลีอลูมินัมคลอไรด์), พีเอช (5.5 และ 7), ดีโอซี (2 และ 10 มก./ล.) และอุณหภูมิ (4 และ 22 ± 1 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองพบว่า ทั้งสารส้มและโพลีอลูมินัมคลอไรด์ทำจัด FA ในน้ำ(โดยการวัดค่าดีโอซี)ที่พีเอช 7 ได้ดีกว่าที่พีเอช 5.5 และพบว่าโพลีอลูมินัมคลอไรด์ทำจัดความขุ่นได้ดีกว่าสารส้มทั้งที่พีเอช 7 และที่พีเอช 5 ส่วนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะพบว่าความขุ่นตกค้างมีค่าสูง แต่ฟล็อกยังคงตกตะกอนได้ดี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดการหมุนเวียนของมวลน้ำเนื่องจากอุณหภูมิ

3. การศึกษาแบบซ้ำซ้อน ทำการทดลองโดยใช้ 200 มล. ของ FA ที่ความเข้มข้น 2 มก./ล. ปรับค่าพีเอชให้ได้ 5 หรือ 7 แล้วเติมสารส้มหรือโพลีอลูมินัมคลอไรด์ให้มีความเข้มข้น 0.2, 0.5 หรือ 1.0 มก. อลูมิเนียม/มก. ของ FA หลังจากที่เติมสารโคแอกกูแลนต์แล้วจึงปรับค่าพีเอชให้ได้ตามต้องการ จากนั้นจึงทำการกรองสารละลายทันทีด้วยตะแกรงขนาด 0.22 ไมโครเมตร แล้วทำการวิเคราะห์ Al speciation, พีเอช, การดูดกลืนแสงยูวี ผลการทดลองพบว่า แนวโน้มของการเกิด Al complexation เนื่องจากโพลีอลูมินัม-คลอไรด์และสารส้มเหมือนกันที่พีเอชเดียวกัน ที่พีเอช 5 พบว่ามี Al complexation เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์เพิ่มขึ้น ส่วนที่พีเอช 7 พบว่าจะเกิด Al complexation น้อยลงเมื่อความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองข้างต้น เห็นได้ว่าโพลีอลูมินัมคลอไรด์มีความแตกต่างจากสารส้ม กล่าวคือ เมื่อมีการแตกตัวในน้ำโพลีอลูมินัมคลอไรด์แสดงรูปแบบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโพลีเมอร์ ส่วนสารส้มจะแสดงรูปแบบของโมโนเมอร์ และยังก่อรูปในสถานะของแข็งที่แตกต่างกัน จึงน่าจะให้ผลการเกิดโคแอกกูเลชันที่แตกต่างกันด้วย

3.2.7 Tambo and Wang (1992) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Treatment of highly turbid and colored water by fluidised pellet bed separation โดยใช้โพลีเมอร์ไรซ์อลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์และใช้โพลีเมอร์นอนไอออนเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

วิธีการทดลอง

1. ใช้น้ำสังเคราะห์ด้วยสีที่ได้จากน้ำในกระบวนการผลิตกระดาษซึ่งมีสีดำ ปริมาณสีหลายความเข้มข้น(100, 200, 500, 1000, 1500 และ 2000 หน่วยสี) และความขุ่นสังเคราะห์มีความเข้มข้นเอสเอส 1000, 300, 100 มก./ล.

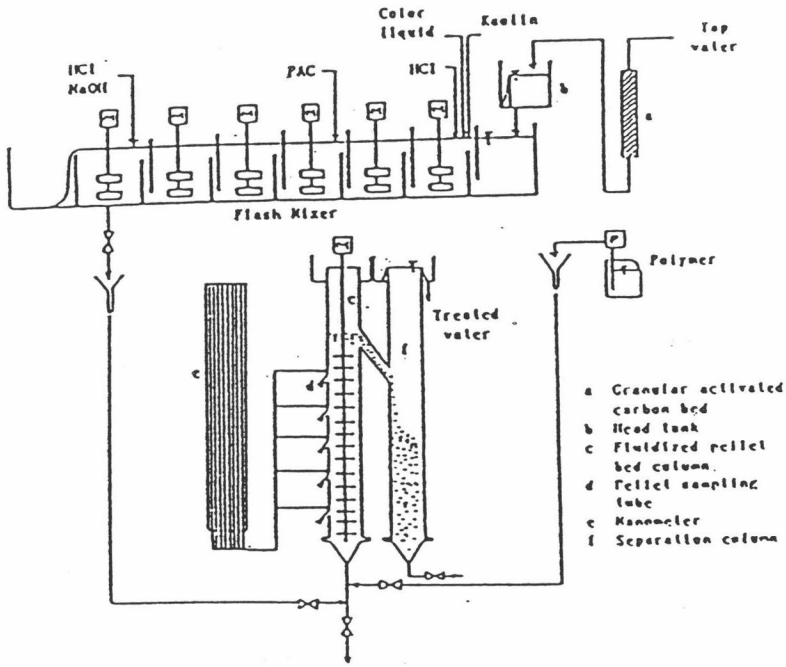
2. ทำจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมที่เหมาะสมของการทำโคแอกกูเลชันที่ได้ผล

3. เมื่อมีการสังเคราะห์น้ำให้ได้ความขุ่นและสีที่ต้องการแล้ว ทำการปรับพีเอชให้ได้ตามต้องการโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก จากนั้นน้ำจะถูกผ่านเข้าสู่อุปกรณ์กวนเร็วเพื่อทำลายเสถียรภาพด้วยโพลีอลูมินัมคลอไรด์ จากนั้นจึงผ่านน้ำเข้าสู่อุปกรณ์สร้างเพลเล็ตทางด้านล่าง โดยเติมโพลีเมอร์นอนไอออนเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นโคแอกกูแลนต์เอด ความเร็วของน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที ภายในอุปกรณ์ให้พลังงานด้วยการกวนใบพัดที่ความเร็ว 36 รอบต่อนาที และที่ระดับ 145 ซม. มีท่อน้ำล้นเพื่อให้น้ำและเพลเล็ตที่ไหลขึ้นมาถึงระดับนี้ไหลล้นลงสู่อุปกรณ์สำหรับแยกน้ำและเพลเล็ต โดยเพลเล็ตจะตกลงสู่ด้านล่างและน้ำผลิตจะไหลล้นออกทางด้านบน(รูปที่ 3.29)

ผลการทดลอง

1. การกำจัดสีและความขุ่นที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาทีได้ผลดีเมื่ออัตราส่วนระหว่างสีและความขุ่นมีค่าน้อยกว่า 1 หรือเท่ากับ 1

content measurement.



Flow Chart of the Fluidized Pellet Bed Separation System

รูปที่ 3.29 อุปกรณ์ในการทดลองของ Tambo และ Wang

(Tambo and Wang, 1992)

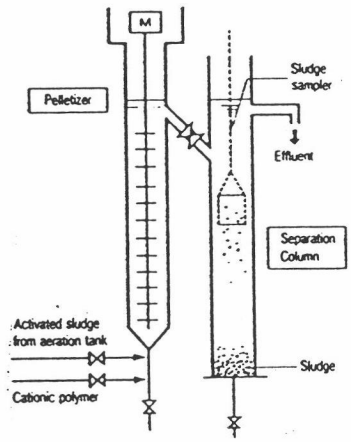
2. อนุภาคที่ละลายได้ถูกกำจัดได้ดีมากกว่า 90% และกำจัดความขุ่นได้ 100%(กรณีที่กำจัดได้ 100% ความขุ่นต้องมีค่าสูงกว่าสีมากๆ)

3. ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ตมีค่าประมาณ 0.02-0.1 ก./ลบ.ซม.และมีความชื้นน้อยกว่า 90% ในการกำจัดสลัดจ์ก็ใช้วิธีการกรองแยกโดยไม่ต้องใช้วิธีทำข้นเลย

4. ที่พีเอช 5 พบว่าสามารถกำจัดสีและความขุ่นได้ดีที่สุด

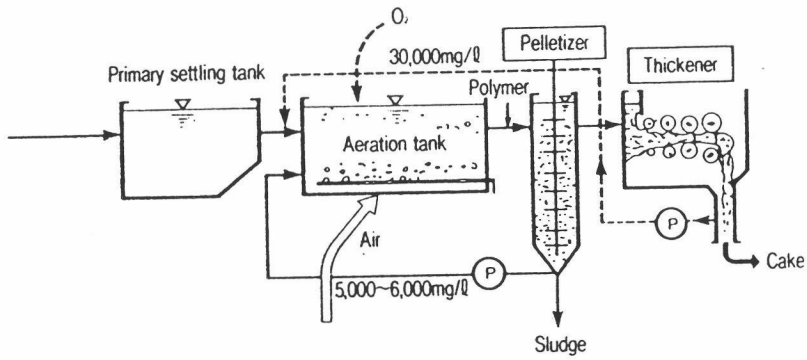
3.2.8 Tambo, Ozawa, Kihara และ Obba (1993)ได้ทำการทดลองนำกระบวนการฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบดมาทำหน้าที่แทนถังตกตะกอนสุดท้ายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์(ดังแสดงในรูป 3.30)

ผลการทดลองพบว่า สลัดจ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีความเข้มข้นสูงเป็น 2 เท่าของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา ทำให้สามารถใช้อัตราไหลสูงในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต



รูปที่ 3.30 การใช้กระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเป็นถังตกตะกอนสุดท้ายในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Tambo, Qzawa, kihara และ Ohba, 1993)

จากการนำกระบวนการแยกแบบฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบดมาใช้เป็นส่วนประกอบของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีอยู่ (ดังรูป 3.31) พบว่า สลัดจ์ที่ผ่านการเอาน้ำออกแล้วสามารถนำกลับมาใช้ที่ถังเติมอากาศ ความเข้มข้นที่สูงของสลัดจ์ที่ผ่านการเอาน้ำออกแล้วสามารถเพิ่มเอ็มแอลเอสเอสในถังเติมอากาศในระดับที่สูงมาก เมื่อหมุนเวียนสลัดจ์กลับเข้าไป



รูปที่ 3.31 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ปรับปรุงใหม่ (Tambo, Qzawa, kihara และ Ohba,1993)

3.2.9 Suzuki, Tambo และ Ozawa (1993) ทำการทดลองศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบใหม่ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบด เครื่องกรองชีวะแบบแอโรบิก และเครื่องกรองไมโครเมมเบรน (ดังแสดงในรูป 3.32) ในระบบนี้ ขั้นแรกอินทรีย์วัตถุน้ำหนักโมเลกุลสูง และสารแขวนลอยจะถูกกำจัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันด้วยสารเคมี สำหรับการทดลองนี้เครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบดใช้ความเร็วในการไหลขึ้น 200-306 เมตร/วัน ส่วนใหญ่ของอินทรีย์วัตถุถูกกำจัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันแบบใหม่ เพราะเหตุนี้บีโอดีที่เข้าในกระบวนการบำบัดทางชีวะขั้นต่อไปจะต่ำมาก และจะมีเพียงอินทรีย์วัตถุที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำเท่านั้นซึ่งจะย่อยสลายทางชีวะได้ง่าย ทำให้เราสามารถใช้การบำบัดทางชีวะอย่างง่ายๆ เช่น เครื่อง

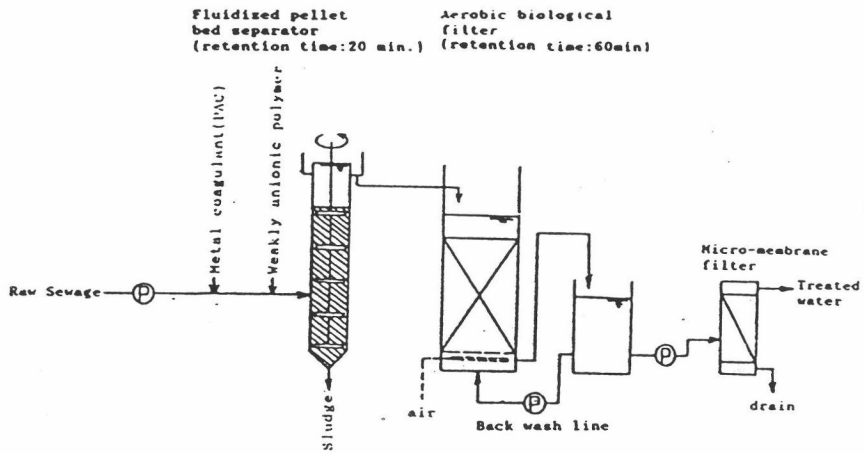
กรองชีวะแบบแอโรบิก ซึ่งใช้เวลากักสั้นเพียง 1 ชั่วโมงได้ ในขั้นสุดท้าย น้ำที่ออกจากเครื่องกรองชีวะจะถูกบำบัดโดยเครื่องกรองไมโครเมมเบรน ทำให้สารแขวนลอยถูกกำจัดไปอย่างสมบูรณ์ ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำที่ผ่านการบำบัดจะต่ำมาก ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากกระบวนการโคแอกกูเลชันในขั้นแรก และการนำสารอาหารไปใช้ในกระบวนการทางชีวะในขั้นที่สอง และการแยกของเหลวและของแข็งโดยสมบูรณ์ในขั้นที่สาม

ผลการทดลองพบว่า

ใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์ประมาณ 10-15 มก. Al_2O_3/ล. และโพลีเมอร์แอนไอออนประมาณ 1-2 มก./ล. ใช้เวลากักเพียง 1.5 ชม. สามารถกำจัดฟอสเฟต และบีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1) ในเครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบดฟอสเฟตและของแข็งแขวนลอยในน้ำดิบถูกกำจัดภายใน 20 นาที พบว่าไม่มีฟอสเฟตเหลือจากสลัดจ์ในเครื่องแยกนี้

2) บีโอดีแขวนลอยจะถูกกำจัดในเครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เบด ต่อจากนั้นเครื่องกรองชีวะจะกำจัดบีโอดีที่เหลือในเวลากักสั้นๆประมาณ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.32 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบฟลูอิดไดซ์เบด

(Suzuki, Tambo และ Ozawa, 1993)

3.2.10 บัณฑิต ชาญณรงค์(2535) ได้ศึกษาการผลิตน้ำใสแบบฟลูอิด-ไดซ์เบดของเพลเล็ต ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 และ 40 ซม./นาที โดยมีเวลากักน้ำในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต 8.33 และ 6.25 นาที ตามลำดับ และมีเวลาในการกำจัดความขุ่นในชั้นเพลเล็ต 5.0 และ 3.8 นาที ตามลำดับ โดยน้ำดิบที่มีความขุ่นสังเคราะห์ 50 เอ็นทียู ถูกบำบัดด้วยการใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ในปริมาณ 1, 2, 3, และ 4 มก./ล. และใช้โพลีเมอร์แอนไอออนเป็นโคแอกกูแลนต์เอดในปริมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. โดยใช้ความเร็วในการกวนของใบพัดกวนน้ำที่ 5, 10 และ 15 รอบต่อนาที ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. การใช้ PAC1 ปริมาณมากจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำกว่าการใช้ PAC1 ปริมาณน้อย ดังนั้นการใช้ PAC1 ปริมาณน้อยต้องอาศัยปริมาณโพลีเมอร์แอนไอออนเพิ่มมากขึ้น จึงจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำ

2. การใช้โพลีเมอร์แอนไอออนในปริมาณมากจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำกว่าการใช้โพลีเมอร์แอนไอออนในปริมาณน้อย ดังนั้นการใช้โพลีเมอร์แอนไอออนในปริมาณน้อยต้องอาศัยปริมาณ PAC1 มากขึ้น จึงจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำ

3. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลเล็ตอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.3 มิลลิเมตร และความเร็วในการตกตะกอนของเพลเล็ต อยู่ระหว่าง 40-70 ซม./นาที

4. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม./นาที ต้องการความเร็วของใบพัดกวนช้าน้อย ในทางตรงกันข้ามที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที ต้องการความเร็วของใบพัดกวนช้ามากกว่า

5. วิธี fluidized pellet-floc bed clarifier สามารถลดความขุ่นจาก 50 เอ็นทียู เหลือน้อยกว่า 3 เอ็นทียู

6. ผลของการบำบัดน้ำด้วยวิธี fluidized pellet-floc bed clarifier สามารถบำบัดน้ำได้มากกว่าการใช้ถังตกตะกอนแบบธรรมดา 9 เท่า และมากกว่าการใช้ถังตกตะกอนแบบโซลิดคอนแทกท์ 3 เท่า รวมทั้งใช้พื้นที่และขนาดของถังตกตะกอนน้อยกว่าทั้ง 2 วิธีข้างต้นด้วย

3.2.11 นฤชา ฤชุพันธ์ (2535)ได้ศึกษาถึงการก่อเพลเล็ตโดยสารส้มซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดความขุ่น โดยการสร้างเพลเล็ตให้เกิดขึ้นในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต เพื่อทำหน้าที่ดักจับอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจากถังกวนเร็วด้วยวิธีการไหลแบบไหลขึ้น ทำการวิจัยโดยใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลินให้มีความขุ่น 50 เอ็นทียู และใช้ความเร็วใบพัดในอุปกรณ์กวนเร็วเท่ากับ 100 รอบ/นาที ตัวแปรควบคุมที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของสารส้มเท่ากับ 5, 10, 20, 30 มก./ล. ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบเท่ากับ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 มก./ล. ความเร็วของน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 30, 40 ซม./นาที ความเร็วของใบพัดกวนน้ำในอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต 5, 10, 15 รอบ/นาที จากการวิจัยพบว่า

1. ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวภายในไม่เกิน 3 ชั่วโมง โดยเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบมากขึ้น

2. การเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบมากขึ้น ทำให้ความขุ่นของน้ำผลิตลดลง แสดงว่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

3. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบที่ระดับซึ่งมีความเข้มข้นต่ำ(0.05 ถึง 0.1 มก./ล.) มีผลกระทบต่อความขุ่นของน้ำผลิตมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นสูง(0.2 ถึง 0.3 มก./ล.) คือ มีความขุ่นน้ำผลิตเท่ากับ 0.35 ถึง 8.5 เทียบกับ 0.18 ถึง 1.8 ตามลำดับ

4. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที และที่ทุกค่าความเร็วใบพัด หากต้องการให้น้ำผลิตมีความขุ่นต่ำกว่า 5 เอ็นทียู จะต้องใช้ความเข้มข้นของสารส้ม 5 ถึง 30 มก./ล. และความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ 0.1 ถึง 0.3 มก./ล. หรือความเข้มข้นของสารส้ม 10 ถึง 30 มก./ล. และความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ 0.05 มก./ล.

5. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม./นาที และที่ทุกค่าความเร็วใบพัด หากต้องการให้น้ำผลิตมีความขุ่นต่ำกว่า 5 เอ็นทียู จะต้องใช้ความเข้มข้นของ

สารส้ม 5 ถึง 30 มก./ล. และความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ 0.1 ถึง 0.3 มก./ล. หรือความเข้มข้นของสารส้ม 20 ถึง 30 มก./ล. และความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ 0.05 มก./ล.

6. ด้วยความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 และ 40 ซม./นาที และความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบสูง คือ ในระดับ 0.1, 0.2, 0.3 มก./ล. ให้ค่าความขุ่นของน้ำที่ผลิตไม่แตกต่างกันนัก แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบสูง การเปลี่ยนแปลงของความขุ่นของน้ำผลิตเนื่องจากการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจะลดลง

7. ที่ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบต่ำหรือ 0.05 มก./ล. เมื่อทำการทดลองโดยความเร็วที่ไหลขึ้น 40 ซม./นาที จะมีค่าความขุ่นของน้ำผลิตสูงกว่าเมื่อทำการทดลอง โดยใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที

8. ที่ความเร็วใบพัดกวนน้ำสูง จะทำให้ค่าความขุ่นของน้ำผลิตสูงกว่าที่ความเร็วใบพัดกวนน้ำต่ำ แสดงว่าการกวนน้ำที่เร็วเกินไปจะทำให้เพลเล็ตแตกกลายเป็นความขุ่นตกค้างไปกับน้ำผลิต

9. อิทธิพลของความเร็วใบพัดที่มีต่อความขุ่นของน้ำผลิตจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มขึ้น แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นโพลี-เมอร์ประจุลบ สามารถลดการแตกของเพลเล็ตเป็นความขุ่นตกค้างไปกับน้ำผลิต

10. เพลเล็ตที่อยู่ด้านล่างของอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต มีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าเพลเล็ตที่อยู่ด้านบน

11. เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงของชั้นเพลเล็ตเดียวกัน เมื่อใช้ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบมาก เพลเล็ตจะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบน้อย

12. เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงของชั้นเพลเล็ตเดียวกัน การบำบัดน้ำด้วยความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม./นาที ได้ความเร็วในการตกตะกอนของเพลเล็ตสูงกว่าเมื่อบำบัดน้ำด้วยความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที

3.2.12 ปริญญา ณ นคร(2535) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความสูงชั้นเพลเล็ตที่ระดับต่างๆ(70, 90, 110 และ 130 ซม.) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น โดยมีการใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์(PAC1)เป็นโคแอกกูแลนต์ในปริมาณ 1, 2, 3 และ 4 มก./ล. และใช้โพลีเมอร์แอนไอออนเป็นโคแอกกูแลนต์เอคในปริมาณ 0.1 มก./ล. โดยมีการใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม./นาที ทดลองที่ช่วงห่างใบพัด 4 ค่าคือ 5, 10, 15 และ 20 ซม. จากการวิจัยพบว่า

1. ปริมาณ PAC1 ที่ใช้ไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น แต่ปริมาณ PAC1 สูงมีแนวโน้มในการกำจัดความขุ่นดีขึ้น

2. รูปแบบของช่วงห่างใบพัดที่ใช้สำหรับระบบเพลเล็ต ควรมีรูปแบบที่มีความถี่ของใบพัดเรียงจากตอนล่างสู่ตอนบนมีค่ามากไปหาน้อย(เมื่อเปรียบเทียบผลกับ บัณฑิต, 2535) เนื่องจากรูปแบบใบพัดดังกล่าวให้ค่าความปั่นป่วนที่เหมาะสมต่อระบบของเพลเล็ตที่มีวัฏจักรการก่อตัวและแตกออกที่เกิดอยู่ภายในตลอดเวลา ที่บริเวณตอนล่างของอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตจะมีการแตกตัวของเพลเล็ตและได้ส่วนที่แตกออกที่มีขนาดเล็กลอยขึ้นสู่ส่วนบน ดังนั้นทางส่วนล่างจึงต้องการแรงปั่นป่วน (ค่า G)ที่มากกว่าส่วนบน

3. ความสูงชั้นเพลเล็ตมากขึ้นจะให้ผลการกำจัดความขุ่นดีขึ้น เนื่องจากระบบมีช่วงความยาวในการกำจัดความขุ่นที่มากขึ้น ทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีความขุ่นน้อยลง จากการวิจัยพบว่าที่ความสูงชั้นเพลเล็ต 130 ซม. เป็นความสูงที่ให้ผลการกำจัดความขุ่นดีที่สุด

4. เมื่อเวลาการเดินระบบเพิ่มขึ้นก็จะมีการสะสมของการจับตัวเป็นของแข็งบนผิวของเพลเล็ตมีมากขึ้น ส่งผลให้ขนาดของเพลเล็ตมีขนาดใหญ่และหนักกว่าเพลเล็ตที่เวลาการเดินระบบน้อยๆ เพลเล็ตที่มีขนาดใหญ่นี้เมื่อถูกแรงเฉือนของใบพัดกวนน้ำและความปั่นป่วนอย่างต่อเนื่องที่ตลอดความยาวของอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต จะทำให้เพลเล็ตเหล่านั้นแตกออก ได้เพลเล็ตที่มีขนาดเล็กลอยขึ้นสู่ผิวบนของอุปกรณ์สร้างเพลเล็ต ดังนั้นจึงพบว่าเพลเล็ตจะมีขนาดจัดเรียงจากใหญ่ไปเล็กจากตอนล่างสู่ตอนบนของอุปกรณ์สร้างเพลเล็ตและเมื่อทำการวัดอัตรา

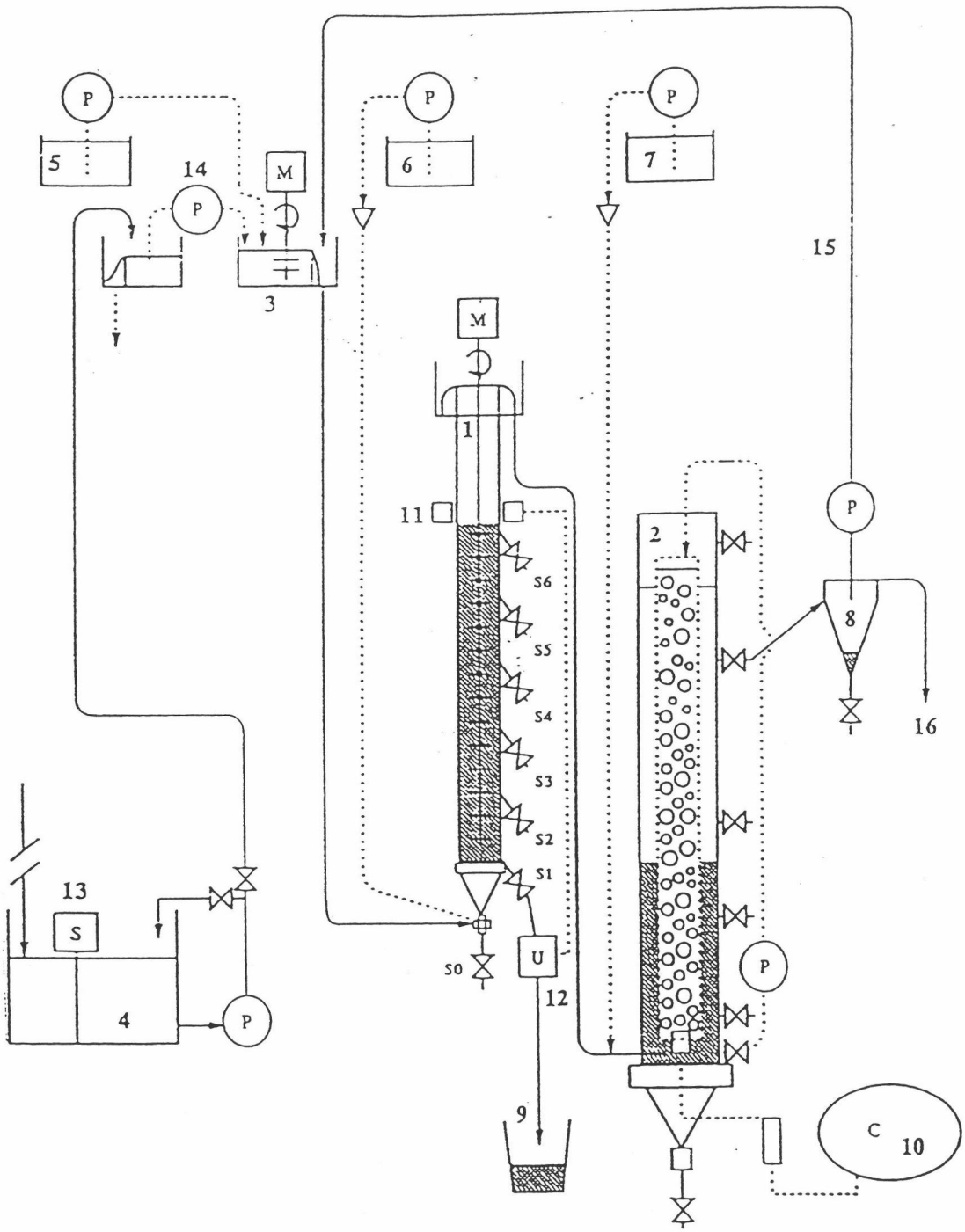
เร็วในการตกจมตัวและขนาดของเพลเล็ตจากตอนบนสู่ตอนล่างของชั้นเพลเล็ตจะได้ค่าที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

5. การวัดขนาดและความเร็วในการจมตัวของเพลเล็ตของผู้ทำการทดลองแต่ละคนอาจมีผลที่ไม่เหมือนกัน(บัณฑิต, 2535 ; นฤชา, 2535) อาจเกิดจากการเลือกสุ่มตัวอย่างของเพลเล็ตที่มีความหลากหลาย แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มของผลที่ได้ของคนๆเดียวกันย่อมให้ผลที่สอดคล้องกันตลอดการทดลอง

6. ค่าเอสเอสมีความสัมพันธ์กับค่าความขุ่นที่ออกมาจากระบบอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ ที่เงื่อนไขใดๆที่มีผลต่อความขุ่นก็จะมีผลต่อเอสเอสที่ออกจากระบบด้วยเช่นกัน หรือกล่าวง่ายๆได้คือ ระบบที่กำจัดความขุ่นได้ดีจะมีของแข็งอนุภาคเล็กๆหลุดออกจากชั้นเพลเล็ตได้น้อยไปด้วย ซึ่งจากการทดลองจะได้เอสเอสอยู่ในช่วง 6.5-21 มก./ล.

7. ระบบกำจัดความขุ่นโดยใช้ระบบเพลเล็ต ในเงื่อนไขของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง สามารถกำจัดความขุ่นของน้ำดิบที่ 50 เอ็นทียูได้ถึง 89% โดยใช้ปริมาณสาร PAC1 สูงสุดเพียง 4 มก./ล. โพลีเมอร์ต่ำถึง 0.1 มก./ล. โดยระบบยังสามารถใช้อัตราการไหลขึ้นได้ถึง 40 ซม./นาที

3.2.13 Shimizu, Tambo, Kudo, Ozuwa และ Hamaguchi (1994) ทำการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบใหม่ ซึ่งประกอบด้วยปฏิกรณ์ชีวะแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบด(AFPB) ตามด้วยและถังเติมอากาศของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ กับถังตกตะกอน(ดังแสดงในรูป 3.33) ขั้นแรกปฏิกรณ์ชีวะ AFPB จะนำมาใช้แทนถังทำให้ขั้นต้น ในขั้นนี้โพลีอลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์แอนไอออนจะถูกเติมลงไปเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดตามลำดับ เพื่อจะทำลายเสถียรภาพของของแข็งแขวนลอยและอินทรีย์วัตถุที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบ และเพื่อที่จะสร้างเพลเล็ตที่มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะตกตะกอนได้เร็ว เพลเล็ตส่วนเกินจะถูกทิ้งออกด้านล่างของปฏิกรณ์ชีวะ AFPB ขั้นที่สองจะออกแบบให้เป็นระบบบำบัดทางชีวะแบบแอโรบิกซึ่งในขั้นนี้จะเกิดกระบวน



Experimental apparatus. 1, AFPB bioreactor; 2, aeration tank with a settler; 3, flash mixer; 4, sewage reservoir; 5, PAC reservoir; 6, anionic polymer reservoir; 7, cationic polymer reservoir; 8, final effluent reservoir; 9, waste sludge; 10, air compressor; 11, photosensor; 12, solenoid valve; 13, screen; 14, influent; 15, recirculation line; 16, effluent.

รูปที่ 3.33 ส่วนประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Shimizu, Tambo, Kudo, Ozawa และ Hamaguchi, 1994)

การไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเทรต น้ำออกที่ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันแล้วจะเวียนกลับมาเข้าปฏิกรณ์ชีวะ AFPB ซึ่งในสภาวะแอนแอโรบิกจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเปลี่ยนไนเทรตเป็นแก๊สไนโตรเจน

ผลการทดลองพบว่า

1) ในปฏิกรณ์ชีวะAFPBของแข็งแขวนลอย อนุภาคคอลลอยด์ และฟอสฟอรัสที่ถูกทำลายเสถียรภาพโดยโพลีอลูมินัมคลอไรด์และโพลีเมอร์แอนไอออน จะสร้างเพลเล็ตที่มีขนาดใหญ่ซึ่งสามารถแยกตัวออกจากระบบได้อย่างรวดเร็ว

2) ปฏิกรณ์ชีวะAFPBสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอย และฟอสฟอรัสโดยการจับไว้ในเพลเล็ต และสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในถังเติมอากาศและดีไนตริฟิเคชันในปฏิกรณ์ชีวะAFPB

3) กระบวนที่ทำการศึกษานี้สามารถกำจัดมลพิษ เช่น ซีโอดีของแข็งแขวนลอย สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ได้ที่เวลากักสั้นมาก ประมาณ 4 ชั่วโมง ซึ่งให้น้ำออกที่มีคุณภาพดี แม้ว่าอุณหภูมิจะลดลงถึง 10 องศาเซลเซียส

3.2.14 คณิศ ม่วงศิริ(2538) ศึกษาเรื่อง ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในกระบวนการสร้างเพลเล็ตไหลขึ้น โดยเลือกใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ และโพลีเมอร์ประจุลบ,ประจุบวกและไม่มีประจุเป็นโคแอกกูแลนต์เอด โดยแปรผันค่าพีเอชของปฏิกิริยา ซึ่งมีรายงานพอจะสรุปได้ดังนี้

3.2.14.1 วิธีการทดลอง

1. ใช้น้ำดิบสังเคราะห์จากดินคาโอลินที่มีความขุ่น 50 เอ็นทียู แปรค่าพีเอช 7 ค่า คือ 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 และ 8 ความเข้มข้นของโพลีอลูมินัมคลอไรด์ 1, 3 และ 5 มก./ล.

2. ทำการทดลองโดยสร้างชั้นเพลเล็ตให้มีความสูง 130 ซม. จากนั้นที่เวลา 0 ชั่วโมง นำน้ำดิบสังเคราะห์ 50 เอ็นทียู ที่ทำการปรับพีเอชแล้วมาผ่านอุปกรณ์กวนเร็ว โดยใช้โพลีอลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์

3. ผ่านน้ำดังกล่าวเข้าสู่อุปกรณ์สร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น และใช้โพลีเมอร์แอนไอออนหรือโพลีเมอร์นอนไอออนหรือโพลีเมอร์แคตไอออนเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

4. เก็บตัวอย่างที่เวลา 0.5 ชม., 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 4 ชม., 5 ชม. และ 6 ชม. จึงสิ้นสุดการทดลอง

5.14.2 ผลการทดลอง

1. โพลีอลูมินัมคลอไรด์อาศัยกลไกดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่ค่าพีเอชต่ำ และอาศัยโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่เกาะยึดอนุภาคที่ค่าพีเอชสูง

2. โพลีเมอร์แอนไอออนอาศัยกลไกของการต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ในการสร้างเพลเล็ต โพลีเมอร์นอนไอออนอาศัยกลไกการต่อเชื่อมและการทำลายประจุ ส่วนโพลีเมอร์แคตไอออนอาศัยประจุบวกในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์และกลไกการต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ในการสร้างเพลเล็ต

3. ที่พีเอชต่ำในช่วงที่วิจัย ความขุ่นตกค้างในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่ากรณีที่พีเอชสูงอยู่เล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญ และในทุกเงื่อนไขการทดลองความขุ่นในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 5 เอ็นทียู

4. พีเอชไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการจมตัวของเพลเล็ต และความสูงของชั้นเพลเล็ต แต่มีอิทธิพลต่อขนาดเพลเล็ตอยู่บ้าง แต่มีรูปแบบไม่ชัดเจน

5. พีเอชมีอิทธิพลต่อปริมาณอลูมิเนียมในน้ำ ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.0 แต่ทั้งหมดก็มีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนดคือ 200 ไมโครกรัม/ล.