

บทที่ 3

ทบทวนเอกสาร

3.1 ทฤษฎี สมมติฐาน หลักการและเหตุผล

ในระบบผลิตน้ำประปา ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดได้แก่การกำจัดความขุ่นที่เกิดจากอนุภาคความขุ่น(colloid)ที่มีอยู่ในน้ำดิบ ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ โดยทำให้สารแขวนลอยสูญเสียเสถียรภาพทางประจุไฟฟ้า(destabilization)ก่อน แล้วจึงทำให้รวมตัวกันเป็นฟล็อก ขั้นตอนของกระบวนการดังกล่าวนี้ประกอบด้วย 2 กระบวนการย่อยที่สำคัญได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน(coagulation)และกระบวนการฟล็อกกูเลชัน(flocculation)

3.1.1 ทฤษฎีของกระบวนการรวมฟล็อก

กระบวนการรวมฟล็อกจะประกอบด้วย 2 กระบวนการย่อย ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการฟล็อกกูเลชัน ซึ่งมีรายละเอียดของกระบวนการทั้งสองดังนี้

3.1.1.1 ขั้นตอนการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์อาศัยกลไก 4 แบบ คือ

1.การลดความหนาของชั้นกระจาย (diffused layer) เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ โดยลดค่าศักย์ไฟฟ้าโพเทนเชียล(zeta potential) โดยการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค(มักมีประจุลบ) ผลคือชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าโพเทนเชียลลดลงด้วย(Stumm and Morgan,1962)

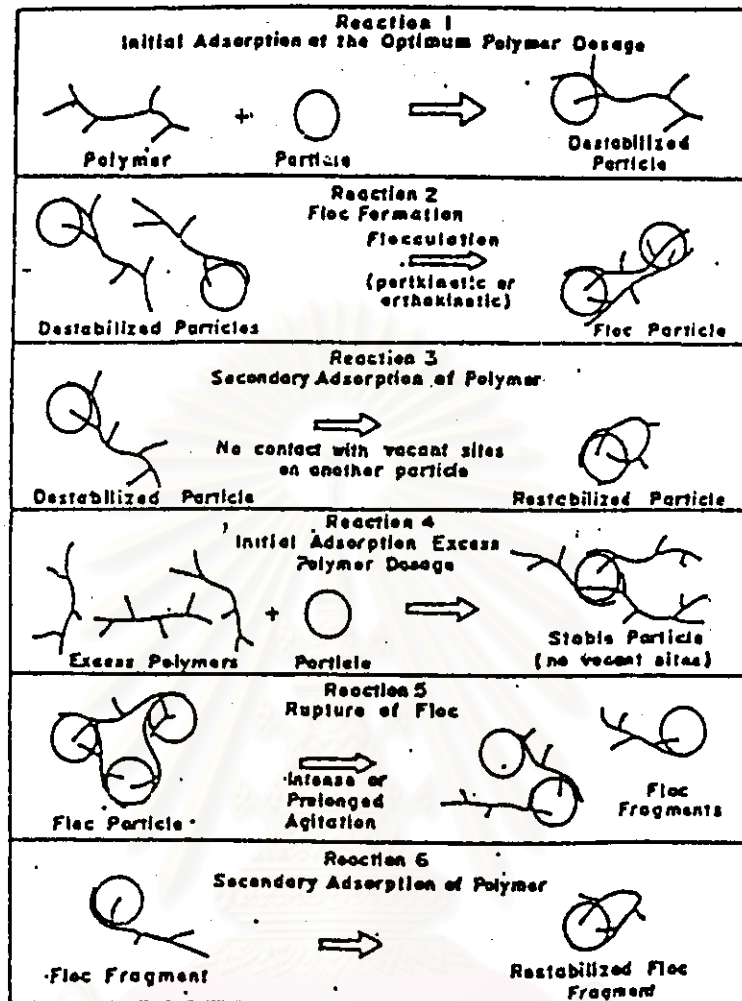
2.การดูดติดผิวและการทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์(adsorption and charge neutralization) โดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามของอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อให้สารเคมีเหล่านั้นสามารถดูดติดไปบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์(Bratby,1980) ซึ่งจะเป็นการลดเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ลงด้วย เมื่อแรงผลักระหว่างอนุภาคลดลงน้อยกว่าแรงวันเดอร์วาล ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ก็จะเกิดการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ขึ้นจนกลายเป็นจุดฟล็อกเล็กๆ

3. กลไกการจับอนุภาคความขุ่นไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้นหรือ กลไกการกวาด(sweep coagulation) เกิดโดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปทำให้เกิดผลึกของสารประกอบ โดยอนุภาคคอลลอยด์เป็นแกนในของผลึกดังกล่าวทำให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้นทำให้จมตัวได้ง่าย กลไกชนิดนี้มักนิยมใช้ในระบบผลิตน้ำประปาในปัจจุบันเนื่องจากสามารถใช้ได้ในช่วงพีเอชกว้าง(Amirtharajar,1982) จึงควบคุมง่าย แต่สัจธรรมที่เกิดขึ้นมีข้อเสียคืออึดตัวไม่แน่นและดึงน้ำออกยาก(มันสิน ดันทุลเวศม์,2526)

4. การใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม(polymer bridging)สามารถอธิบายได้ด้วยโมเดลที่เรียกว่า Polymer Bridging(รูปที่ 3.1) ในปฏิกิริยาที่ 1 โมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และอนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่ โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะติดอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว(destabilized particle) ในปฏิกิริยาที่ 2 อนุภาคดังกล่าวสามารถจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม การต่อเชื่อมนี้จะเกิดขึ้นตรงตำแหน่งที่มีโพลีเมอร์และตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลีเมอร์ไม่มีที่เกาะจับบนอนุภาคอื่น ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม (ดูปฏิกิริยาที่ 3) จนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่าง เรียกว่าอนุภาคมีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่(restabilized particle) การใช้โพลีเมอร์มากเกินไปก็อาจก่อให้เกิดผลเสียได้ เพราะโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ จนไม่มีที่ว่างสำหรับจับกับอนุภาคอื่น(ดูปฏิกิริยาที่ 4) การกวนน้ำแรงเกินไปหรือนานเกินไปก็เกิดผลเสียได้เนื่องจากฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วแตกออกเป็นส่วน ๆ (ปฏิกิริยาที่ 5) และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอื่นเดิม(ปฏิกิริยาที่ 6) เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่อีก

3.1.1.2 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่มาสัมผัสหรือกระทบกันให้มากที่สุด (transports of colloid) การเติมสารเคมีประเภทโคแอกกูแลนต์เพื่อทำลายความหนาของชั้นกระจายโดยการทำลายประจุไฟฟ้าบนอนุภาคคอลลอยด์ หรือการใช้โพลีเมอร์พร้อมกับการกวนน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้สารโคแอกกูแลนต์กระจายไปยังส่วนต่างๆอย่างรวดเร็ว อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจะเกิดการฟล็อกดูเลชันอย่างสมบูรณ์เพียงใดขึ้นอยู่กับขั้นตอนการทำให้เกิดการสัมผัสซึ่งมีอยู่หลายวิธีดังนี้(Stumm and O'Melia, 1968)

1. การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสัมผัสเกิดขึ้น วิธีที่นิยมปฏิบัติคือการกวนน้ำให้มีอัตราเร็วในการไหลในแต่ละจุดแตกต่างกัน ทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงเกิดการสัมผัสขึ้น แต่การเคลื่อนที่จะต้องไม่เร็วเกินไปจนทำให้ฟล็อกแตกออกได้



รูปที่ 3.1 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบค่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์

(Stumm and Morgan, 1962)

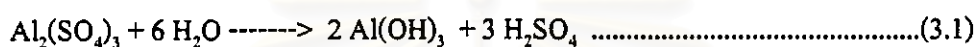
2. การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนซึ่งเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ การชนกันของอนุภาคคอลลอยด์กับโมเลกุลของน้ำแบบนี้ไม่เหมาะกับการทำน้ำประปาเพราะเสียเวลามากและเป็น การเคลื่อนที่ระดับโมเลกุล ทำให้สามารถสร้างการสัมผัสให้กับคอลลอยด์ขนาดเล็กกว่า 0.1-1 ไมครอนเท่านั้น

3. ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ลิตร กระบวนการฟล็อกกูเลชันอาจเกิดจากการสัมผัสแบบออร์โธโคเนติก โดยใช้ผ่านเครื่องกรองทรายเร็ว เพื่อช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสและบังคับให้อนุภาค

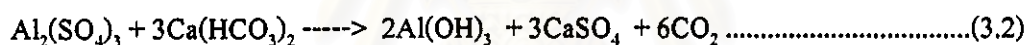
เคลื่อนที่เข้ามาชิดกัน โดยการใช้อุณหภูมิที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้อนุภาคใหม่ เช่น ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (sludge blanket) และบังคับให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนผ่านชั้นสลัดจ์

3.1.2 กลไกการตกตะกอนด้วยโพลีอุมิเนียมคลอไรด์

เนื่องจากการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์มักเกิดปัญหาสภาพเป็นกรดมาก ค่าพีเอชจะต่ำลง ดังสมการ



จากสมการเห็นได้ว่าจะเกิดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ และเกิดกรดซัลฟูริก ทำให้พีเอชลดลงได้ ในบางกรณีจึงต้องเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำไม่ให้มีพีเอชต่ำลงไปมากนัก ดังสมการ



สำหรับกรณีนี้จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเกิดความกระด้างถาวรขึ้น (Kemmer, 1988) จากปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้จึงได้มีการพัฒนาโพลีอุมิเนียมคลอไรด์ (พีเอชแอล) ขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวโดยโพลีอุมิเนียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุลเรียงต่อกันเป็นสายยาวดังนี้ (Goshu, Chemical Co.Ltd.)



เมื่อพีเอชแอลแตกตัวจะได้อะลูมิเนียมที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออน จึงเกิดการไฮโดรไลซิสของอะลูมิเนียมได้สารต่างๆ เช่น $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$, $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{+3}$ เป็นต้น ซึ่งมีอะลูมิเนียมหลายอะตอมที่เรียกว่า polymeric hydroxo complex อันมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์ไม่เสถียร แล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นแล้วจึงตกตะกอน ในกระบวนการสร้างฟล็อกนั้น พีเอชของน้ำจะมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิส เนื่องจากถ้าพีเอชต่ำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกเกิดขึ้นมาก จะให้ผล

ในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ นอกจากอะลูมิเนียมจะจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้วอะลูมิเนียมยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนในน้ำกลายเป็น $Al(OH)_3$ เป็นจุดฟล็อกเล็กๆ และเนื่องจากอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นเมื่อเติมพีเอชแอลลงไป น้ำ จะต้องผสมอย่างรวดเร็วทันที แล้วลดอัตราเร็วในการกวนช้าลงเพื่อให้จุดฟล็อกที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสและจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น แล้วแยกตัวออกจากน้ำโดยการปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ

สมบัติของพีเอชแอลเมื่อเป็นโคแอกกูแลนต์โดยสรุปมีดังนี้ (Goshu, Chemical Co. Ltd.)

1. มีอำนาจในการสร้างฟล็อก, การรวมตัวของจุดฟล็อกสูง และการจมตัวจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าสารส้ม
2. สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี
3. ในการทำงาน พีเอชแอลจะมีช่วงพีเอชในการทำปฏิกิริยากว้างกว่าโคแอกกูแลนต์ตัวอื่นๆ ปกติจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 6-9 แต่บางกรณีสามารถตกตะกอนในช่วงพีเอช 5-10
4. โพลีออลูมินัมคลอไรด์สามารถสร้างฟล็อกได้เร็วกว่าสารส้ม โดยใช้ระยะเวลาในการกวนเร็วน้อยกว่า

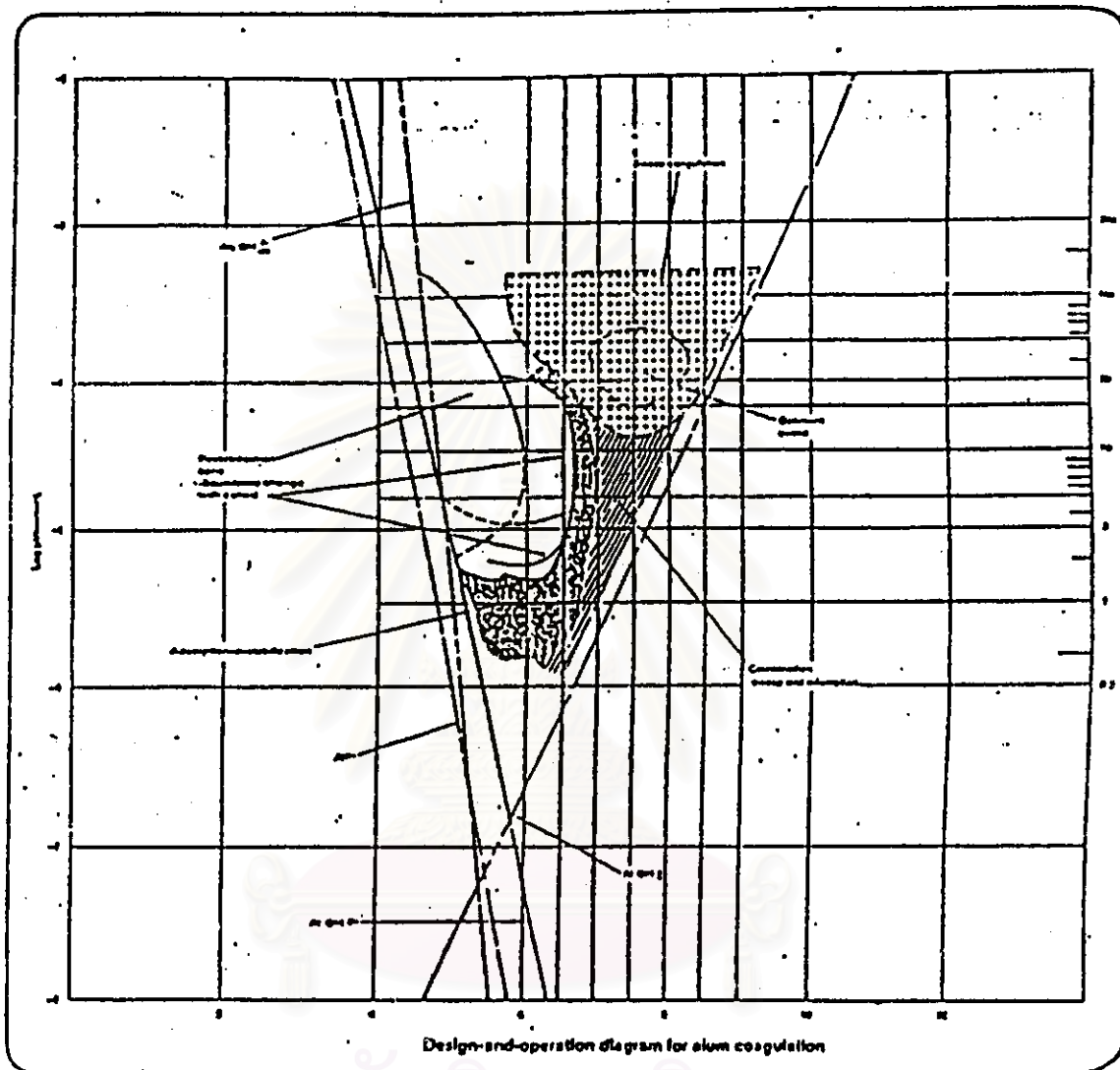
3.1.3 โคแอกกูแลนต์ด้วยสารส้ม

3.1.3.1 เคมีของสารส้ม

สารส้มเป็นสารประกอบของอะลูมิเนียมที่มีสูตรเคมีคือ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3H_2O$ (aluminium sulfate) เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวเป็น ไอออนบวกและ ไอออนลบดังนี้



ความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนตามสมการข้างต้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอะลูมิเนียม(Al) และพีเอช ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูป 3.2 ไดอแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารส้มและพีเอช
(Amirtharaja and Mills,1982)

3.1.4 โพลีเมอร์

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นกลุ่มของโพลีเมอร์ที่มีสมบัติเฉพาะ มีโมโนเมอร์ซึ่งสามารถนำพาประจุหรือแตกตัวเป็นไอออนทำให้เกิดสารประกอบที่มีประจุไฟฟ้าชนิดต่างๆอาจมีประจุบวก(cationic), มีประจุลบ(anionic) หรือไม่มีประจุ(nonionic) โดยทั่วไปสารโพลีอิเล็กโทร

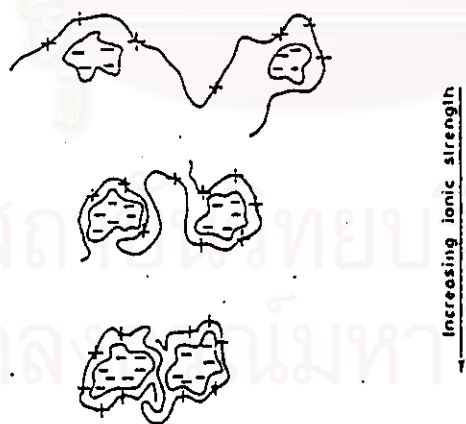
ไลต์เป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 10,000 ถึง 10,000,000 ปัจจุบันมีบทบาทในการใช้งานมากขึ้นเป็นลำดับ ทั้งเพื่อการปรับสภาพน้ำดีและการบำบัดน้ำเสีย

การจัดหมวดหมู่สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ สามารถกระทำได้หลายรูปแบบตามสมบัติและประโยชน์ในการใช้งาน กล่าวคือ อาจแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิดโครงสร้าง หรือขนาดของโมเลกุล หรือแบ่งตามชนิดของประจุที่เกิดขึ้นในโมเลกุล ในที่นี้จะกล่าวถึงประเภทของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นตามสมบัติประการสุดท้ายที่กล่าวมานี้

มวลโมเลกุลของโพลีเมอร์แบ่งออกได้ 4 ระดับ

1. ระดับสูง มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 20×10^6
2. ระดับกลาง มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 10×10^6
3. ระดับต่ำ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 5×10^6
4. ระดับต่ำมาก มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 1×10^6

มวลโมเลกุลที่สูงมีผลทำให้ฟลોકกรวมตัวกันและจมตัวได้เร็วขึ้น รูปที่ 3.3 แสดงการทำลายประจุและการสร้างสะพานเชื่อมอนุภาคสำหรับโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่อาศัยกลไกสะเทินประจุเป็นหลัก โพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีความแข็งแรงของประจุสูงกว่าชนิดอื่นจะมีความสามารถในการเชื่อมอนุภาคได้ดีกว่าชนิดอื่น



รูปที่ 3.3 การทำลายประจุและการสร้างสะพานเชื่อมอนุภาค
(Hughes, 1990)

3.1.4.1 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุบวก

Bratby(1980) รายงานเกี่ยวกับสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุบวกไว้ดังนี้

1. โพลีอามีน เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 10^5 แต่มีความเป็นประจุบวกสูง เช่น โพลีเอทิลีนอามีน และ โพลีเอทิลีนอิมิน(PEI) สารกลุ่มนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมกระดาษ และใช้บ้างในการศึกษาปฏิกิริยารวมฟล็อก

2. โพลีเอทิลีนควอเทอนารี เป็นสารที่ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช มีความต้านทานต่อการสลายตัวโดยคลอรีนมากกว่าโพลีเมอร์ทั่วไป จึงมักมีความสำคัญในการคลอรีนน้ำดิบ

3. แคลอไอออนนิก ไซยานามีน เป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ ประมาณ 1×10^3 ถึง 5×10^3 เริ่มแรกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษแต่พบว่าสามารถแสดงปฏิกิริยาทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ด้วยเช่นกัน

4. คาโบโมอิล โพลีเมอร์แคลอไอออน เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญในทางการค้าและใช้งานได้อเนกประสงค์ มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 10^6 มีความหนืดสูงและมีสารที่ไวต่อปฏิกิริยาอยู่น้อยเมื่ออยู่ในสารละลาย

5. โพลีแอลฟา-ไวนิลไมคาโซลิน เป็นโพลีเมอร์พวกโพลีไซคลิกอะไมด์มีโครงสร้างพิเศษสำหรับการเป็นสารรวมตะกอนทั้งนี้เพราะมีความเป็นประจุบวกสูงมากและมีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจนถึงสูง

6. โพลีไดอัลลิลเมททิล แอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างเชิงเส้นมีน้ำหนักโมเลกุลช่วงต่ำถึงปานกลาง (น้อยกว่า 10^6) มีความต้านทานต่อคลอรีนและไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช

7. ไคเมททิล อะมิโนอัลคิล อะคริลิก และเมททาไซคลิกเอสเทอร์ โพลีเมอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความไวในสภาพตัวกลางที่เป็นกรดหรือเบส ใช้เป็นสารรวมฟล็อก สารกลุ่มนี้มีราคาค่อนข้างสูง

8. เอ็น-ไดอัลคิลอะมิโนอัลคิล อะคริลาไมน์ โพลีเมอร์ กลุ่มนี้ได้รับความสนใจในการใช้เป็นสารรวมฟล็อก เพราะมีเสถียรภาพต่อการไฮโดรไลซิส มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

3.1.4.2 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ให้ประจุลบ

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ให้ประจุลบโดยทั่วไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงสูงถึงสูงมาก(Schwayer,1981) มักใช้เป็นสารรวมฟล็อก โพลีเมอร์ที่มีประจุลบมากและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีพฤติกรรมเป็นสารที่ช่วยกระจายฟล็อกในสารละลาย(dispersants) รูปแบบส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มคาร์บอกซิเลทไอออน ได้แก่ พวกโพลีเมอร์ที่มีหมู่

คาร์บอกซิเลท เช่น โฮโมโพลีอะครีลิก แอซิด (homopolyacrylic acid) และพวกที่มีหมู่ซัลโฟนิค แอซิด เช่น เกลือโซเดียมของโพลีสไตรีน ซัลโฟนิค แอซิด (polystyrene sulfonic acid)

3.1.4.3 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุ

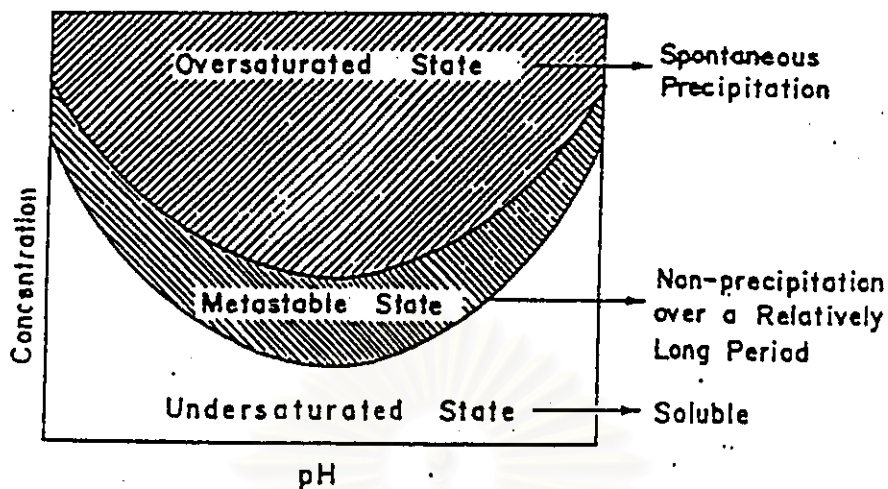
โมโนเมอร์ที่มีประจุต่ำกว่า 1 % ในสารละลายถือว่าเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุ (Schwayer, 1981) โพลีเมอร์เหล่านี้จะทำให้เกิดการรวมฟล็อก โดยใช้กลไกการสร้างสะพานเชื่อมเป็นหลัก ในการใช้งานจึงต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือสูงมาก ตัวอย่างสารรวมตะกอนที่สำคัญได้แก่ โพลีเอททิลีนออกไซด์ และโพลีอะคริลาไมด์

3.1.4.4 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ทั้งประจุลบและบวก

สารกลุ่มนี้เป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีทั้งกลุ่มที่มีสภาพเป็นกรดและเบส มักจะให้ประจุบวกที่มีพีเอชต่ำ ให้ประจุลบที่มีพีเอชสูง และเป็นกลางทางประจุที่ isoelectric pH เช่น สารรวมฟล็อกที่เรียกว่า Switterion flocculant ซึ่งประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่ประกอบด้วยประจุบวกหรือลบอยู่มากมายในโมเลกุล

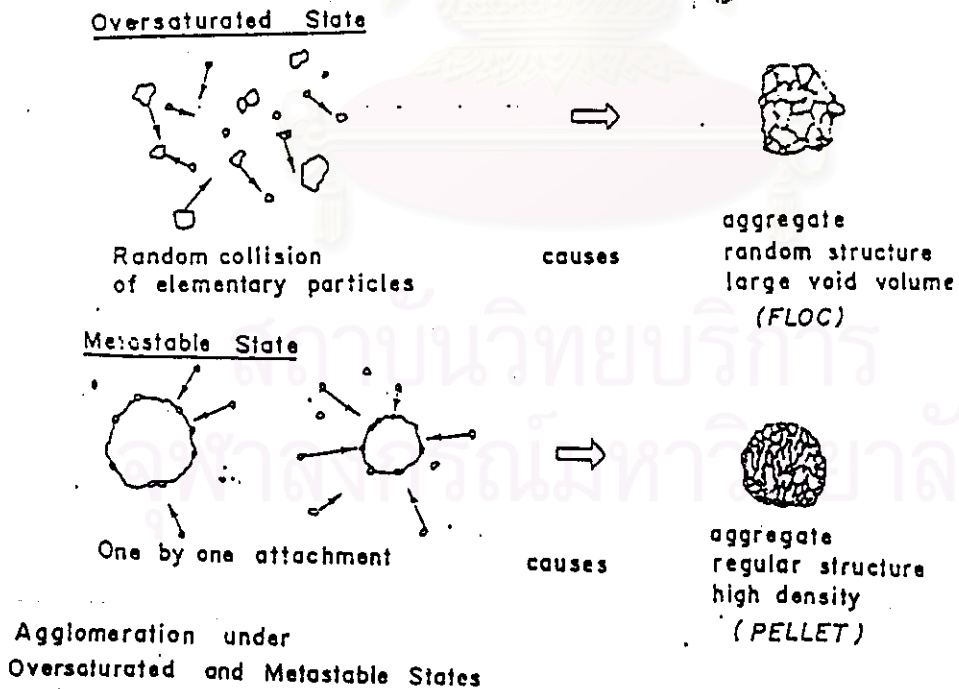
3.1.5 สมมติฐานเบื้องต้นของการกำจัดความขุ่นโดยการสร้างเฟลลิตแบบ ไทลซัน (Tambo and Matsui, 1987)

กระบวนการสร้างเฟลลิตหรือ pellet-floc จะเกิดขึ้นได้ในขณะที่สารละลายอยู่ในสถานะเสถียรแบบเมตา (metastable state) สมมติฐานหนึ่งที่อธิบายกระบวนการนี้คือ ในสถานะเสถียรแบบเมตา ความเข้มข้นของสารจะมากกว่าอัตราการละลายได้ของสาร แต่ยังไม่มากพอที่จะเกิดสถานะเกินอิ่ม (supersaturation) และก่อรูปเป็นของแข็ง (precipitation) หรือเกิดในปริมาณที่น้อยมากแม้จะปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานาน แต่เมื่อมีการเติมสารชนิดเดียวกันกับสารละลายนั้นและอยู่ในสถานะของแข็ง (solid phase) โดยให้เพิ่มเข้าอยู่ในสารละลายที่อยู่ในสถานะเสถียรแบบเมตา จะทำให้สารละลายเหล่านั้นเกิดการจับตัวเป็นของแข็งบนพื้นผิวของของแข็งที่เติมลงไปอย่างรวดเร็ว และมีการรวมตัวเป็นของแข็งที่ใหญ่ขึ้นทันที ดังแสดงในรูป 3.4 จากหลักการนี้ เราสามารถคิดแปลงเป็นกระบวนการกำจัดความขุ่นโดยการสร้างเฟลลิต โดยเติมสารโคแอกกูแลนต์ลงไปใต้น้ำขุ่น จะทำให้อนุภาคที่อยู่ในน้ำถูกทำลายเสถียรภาพเกิดเป็นจุลฟล็อก เมื่อเราทำให้จุลฟล็อกเหล่านี้เข้าไปรวมอยู่กับเฟลลิตที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรงภายในอุปกรณ์สร้างเฟลลิต ก็จะเกิดการจับตัวกันระหว่างจุลฟล็อกกับเฟลลิตเหล่านั้น โดยเป็นการจับแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ทำให้ไม่มีอนุภาคของน้ำแทรกอยู่ภายในหรือมีน้อยมาก จึงเกิดเป็นเฟลลิตที่มีความหนาแน่นสูง ดังแสดงในรูป 3.5



Solubility and Saturation
(Tambo and Matsui,1987)

รูปที่ 3.4 สถานะของสารละลาย เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นและพีเอชต่างกัน
(Tambo and Matsui, 1987)



รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบการจับตัวเป็นของแข็งในสภาวะปกติกับสภาวะเมตะ
(Tambo and Matsui,1987)

Yusa, Suzuki and Tanaka (1975) ได้อธิบายถึงกลไกในการจับตัวของอนุภาค ซึ่งทำให้ได้เม็ดฟล็อกกลมและแน่นว่า โดยปกติแรงดันภายนอกเม็ดฟล็อกกระทำต่อเม็ดฟล็อกสม่ำเสมอทุกทิศทาง แรงดันภายนอกเหล่านี้มีความสมดุลกับแรงดันเนื่องจากของเหลวหรือน้ำภายใน ฟล็อกจึงอยู่ในสภาพคงตัว ในทางตรงข้ามหากมีความดันภายนอกกระทำต่อเม็ดฟล็อกอย่างไม่สม่ำเสมอ และแรงบีบเกาะกันภายในแข็งแกร่งกว่าแรงกระทำภายนอก ของเหลวภายในเม็ดฟล็อกจะถูกขับออกมาตรงจุดที่แรงกระทำภายนอกมีค่าน้อยที่สุด โมเลกุลของน้ำที่แทรกอยู่ภายในเม็ดฟล็อกจะลดจำนวนหรือปริมาณลง อนุภาคฟล็อกที่อยู่ในเม็ดฟล็อกจึงเคลื่อนตัวเข้ามาชิดและอัดตัวกันได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นฟล็อกที่เกิดขึ้นจึงมีความหนาแน่นสูง ตกตะกอนได้เร็วกว่าฟล็อกทั่วไป ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นได้โดยอาศัยเทคนิค 2 อย่าง คือ เทคนิคการกลิ้งฟล็อกไปบนพื้นผิวเรียบหรือโค้ง และเทคนิคการผลักเม็ดฟล็อกให้ชนกันเองหรือผลักเม็ดฟล็อกให้ชนบนพื้นผิวเรียบหรือโค้ง ซึ่งอธิบายโดยละเอียดดังนี้

1. เทคนิคการกลิ้ง (rolling technique) ในขณะที่เม็ดฟล็อกหุคหนึ่งและสัมผัสกับพื้นที่เล็ก ๆ ตรงจุดสัมผัสจะเกิดแรงกระทำต่อเม็ดฟล็อกและการกระจายตัวของแรงจะเป็นดังรูปที่ 3.6 โดยที่ขนาดของแรงกระทำจะมีค่าสูงสุดและลดลงตามรูป เมื่อฟล็อกมีการเคลื่อนที่ จุดสัมผัสจะเปลี่ยนตำแหน่ง รูปลักษณะของการกระจายแรงจะเป็นเช่นเดิมแต่จะเปลี่ยนตำแหน่งตามจุดสัมผัส ดังรูปที่ 3.7 โดยขนาดของแรงน้อยที่สุดจะเกิดขึ้นที่คอนทักซ์ของพื้นที่สัมผัสในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ จะเห็นว่าารกระจายของแรงจะไม่สม่ำเสมอจึงเป็นเหตุให้เม็ดฟล็อกเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง(deformation) และของเหลวภายในเม็ดฟล็อกถูกรีดออกมา

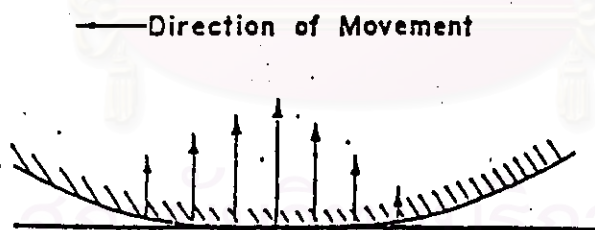
2. เทคนิคการชน (collision technique) ในการทำให้ฟล็อกชนกันด้วยแรงกลจากภายนอก แรงกระทำระหว่างที่ฟล็อกชนกับแรงกลภายนอกจะทำให้เกิดการเรียงตัวของจุดฟล็อกและรีดเอาของเหลวหรือน้ำภายในออกมา เป็นผลให้ภายในฟล็อกเกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาคเล็กๆขึ้นใหม่ในลักษณะที่ชิดกัน เป็นผลให้ช่องว่างภายในฟล็อกลดลง ทำให้เม็ดฟล็อกมีความหนาแน่นขึ้น ดังรูปที่ 3.8 และ รูปที่ 3.9



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

รูปที่ 3.6 การกระจายของแรงเมื่อฟล็อกหยุดนิ่ง

(Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)

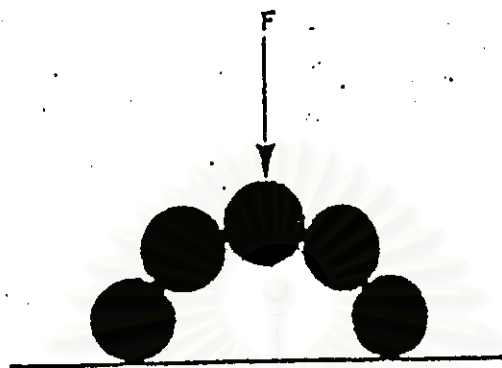


Pressure Distribution Around
the Contact Area When a
Floc Rolls Over Along a Solid Plane

(Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)

รูปที่ 3.7 การกระจายของแรงเมื่อฟล็อกกลิ้ง

(Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)



รูปที่ 3.8 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกก่อนชน
(Yuza, Suzuki and Tanaka, 1975)

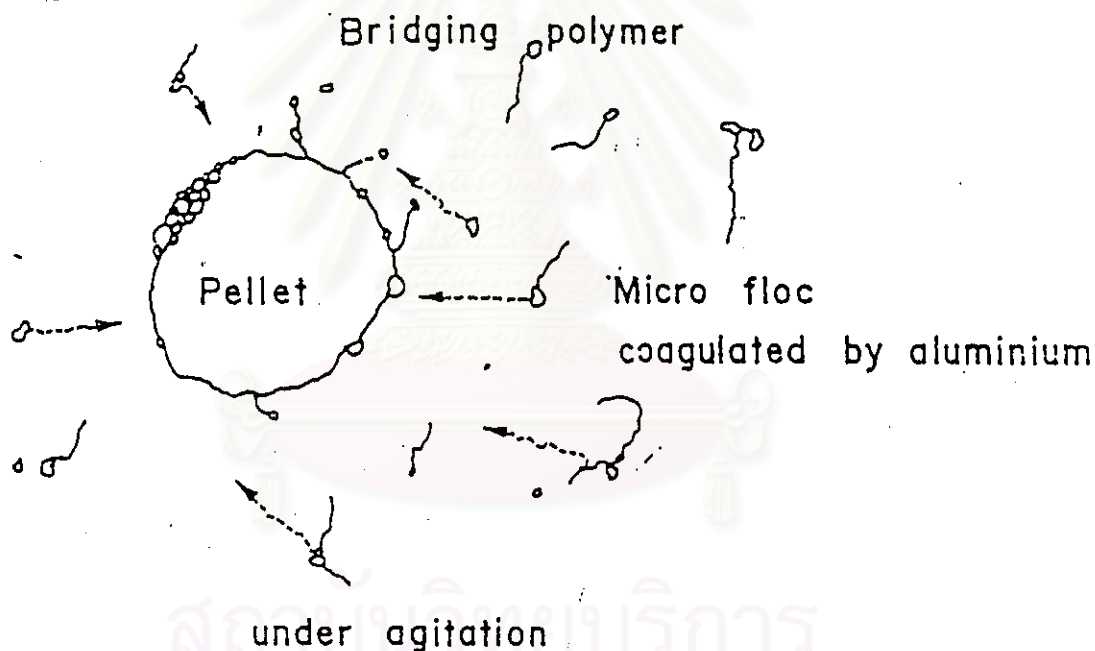


รูปที่ 3.9 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกหลังชน
(Yuza, Suzuki and Tanaka, 1975)

3.1.6 การสร้างเพลลิต

การสร้างเพลลิตให้เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดความขุ่นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในถังกวนเร็ว และการสร้างเพลลิตจากคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วในอุปกรณ์สร้างเพลลิตแบบไหลขึ้น (Tambo and Matsui, 1987)

ในการกวนช้าด้วยความเร็วเกรเดียนท์ปานกลางจะป้องกันการโตแบบสุ่มของฟล็อก (random floc) กล่าวคือ ความปั่นป่วนของน้ำจะทำให้ฟล็อกหลวมที่รวมตัวกันไม่แน่นแตกออกจากกัน และเมื่อฟล็อกที่แตกออกนี้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับอนุภาคเบื้องตัน ฟล็อกที่แน่นจะเป็นเป้าให้อนุภาคเกาะ เกิดการรวมตัวกันแบบหนึ่งต่อหนึ่งอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.10 ได้เป็นเพลลิตทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูงและสามารถทนต่อความปั่นป่วนของน้ำได้ เพลลิตที่มีขนาดเล็กจะอยู่ด้านบน ส่วนเพลลิตที่มีขนาดใหญ่จะอยู่ส่วนล่างของอุปกรณ์ เพลลิตที่มีขนาดใหญ่นี้เมื่อถูกแรงเฉือนของ



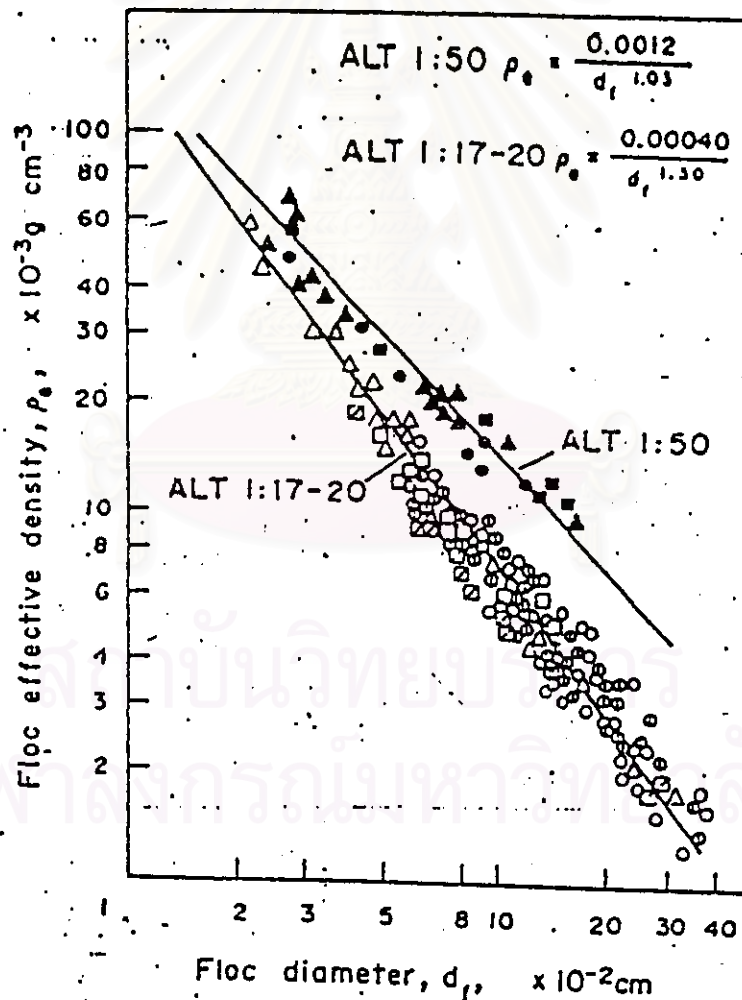
Application of Metastable State
Operation for Clay Suspension

รูปที่ 3.10 การจับตัวแบบหนึ่งต่อหนึ่งภายใต้สภาวะเสถียรแบบเมตะ

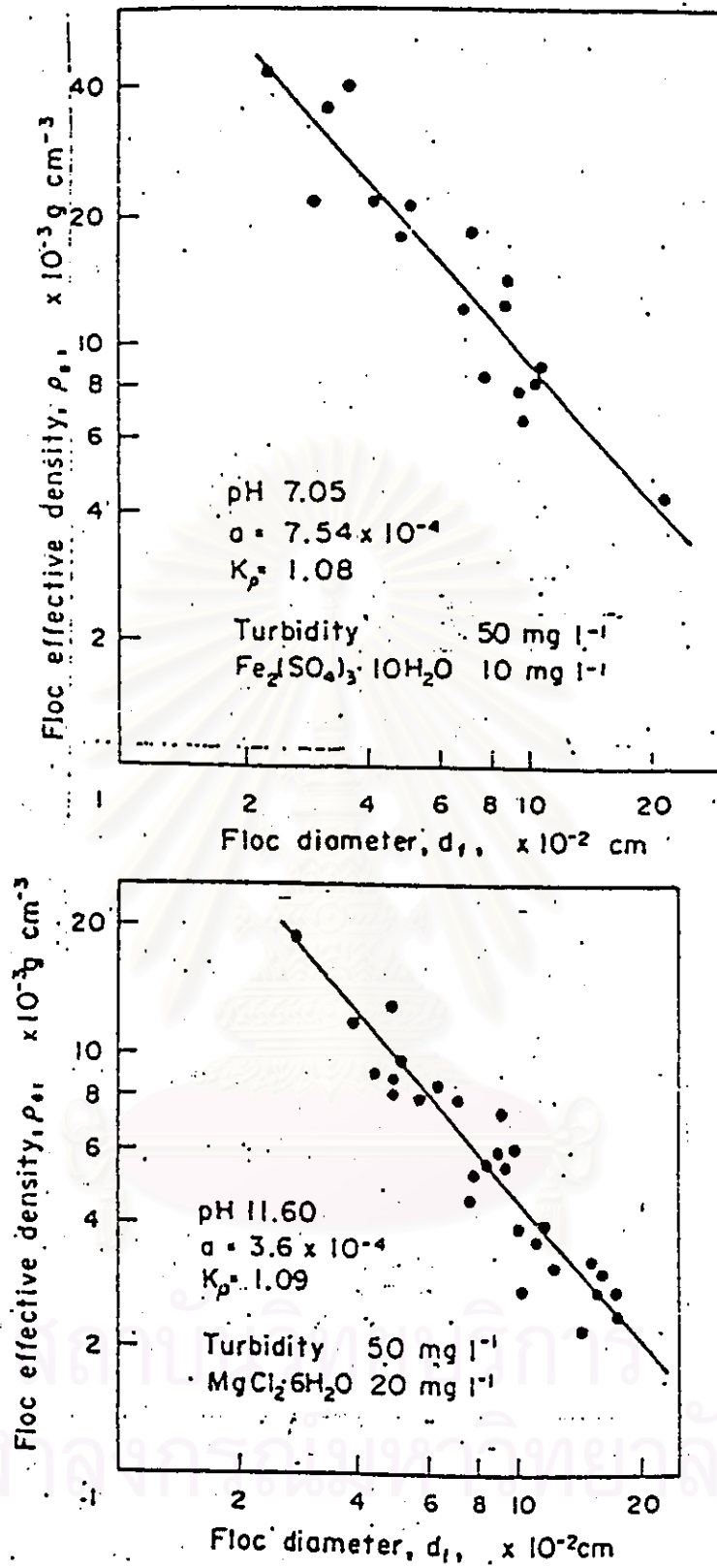
(Tambo and Matsui, 1987)

2. Tambo and Watanabe (1979) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของฟล็อก โดยใช้ความขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลิน ใช้สารส้มและพีเอซีแอลเป็นโคแอกกูแลนต์ จากการทดลองพบว่า

1. ค่า ALT (ความเข้มข้นของอะลูมิเนียม / ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยหรือความขุ่น) มีผลต่อความหนาแน่นของฟล็อก กล่าวคือ เมื่ออัตราส่วน ALT ลดลง(ขนาดของฟล็อกเท่ากัน) ฟล็อกจะมีความหนาแน่นสูงขึ้น ดังรูปที่ 3.13
2. ค่าความปั่นป่วนมีผลต่อขนาดของฟล็อก แต่ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของฟล็อก
3. ปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลองมีผลต่อโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นของฟล็อก
4. ชนิดของโคแอกกูแลนต์มีผลต่อความหนาแน่นของฟล็อกดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและความหนาแน่นประสิทธิผลของฟล็อกที่ค่า ALT ต่างกัน (Tambo and Watanabe, 1979)



รูปที่ 3.14 ความหนาแน่นของฟล็อกเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ต่างกัน

ก) ความหนาแน่นของฟล็อกเมื่อใช้ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ เป็นโคแอกกูแลนต์

ข) ความหนาแน่นของฟล็อกเมื่อใช้ $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นโคแอกกูแลนต์

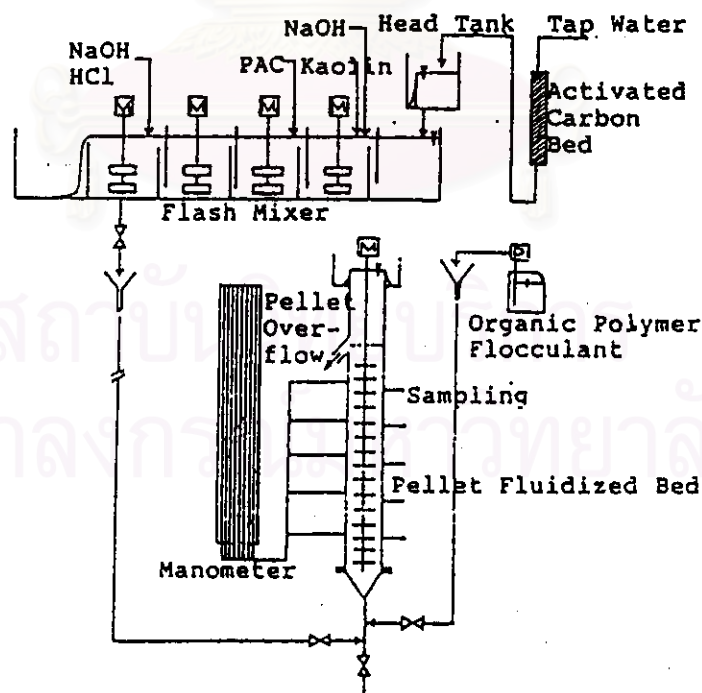
(Tambo and Watanabe, 1979)

3. Tambo and Matsui (1987) ทำการศึกษาเรื่อง Metastable State Operation-Fluidized Bed Pellet Separation โดยใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.15 ใช้ทีเอซีแอลเป็นโคแอกกูแลนต์และ โพลีเมอร์ประจุลบเป็นโคแอกกูแลนต์ชนิด กำจัดความขุ่นสังเคราะห์จากคินคาโอตินที่มีความขุ่น 3000 มก/ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้นในอุปกรณ์ 30 ซม/นาที โดยมีการวัดตัวแปรต่างๆ คือ ความขุ่นน้ำเข้าและออกจากระบบฯ การเปลี่ยนแปลงความดันตลอดความยาวของอุปกรณ์สร้างเพลิงเกิด ลักษณะทางกายภาพของเพลิงเกิด เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาแน่นของเพลิงเกิด จากการทดลองพบว่า

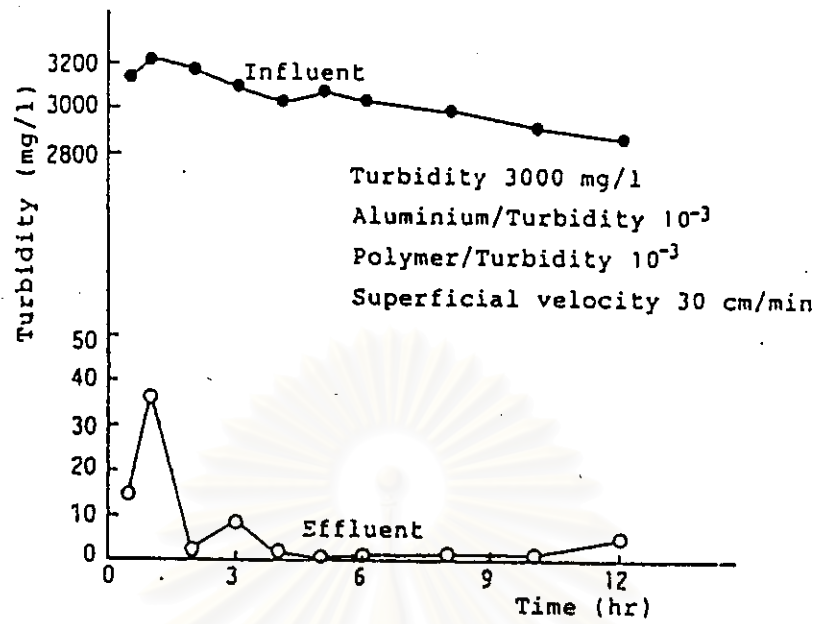
1. น้ำสกิดมีความใสมากและความเข้มข้นของสารแขวนลอย 1 มก./ล. ดังรูปที่ 3.16
2. ความดันตลอดความสูงของชั้นเพลิงเกิด ในเวลา 12 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.17 พบว่า การสร้างเพลิงเกิดให้อยู่ในสภาวะสมดุลจะใช้เวลาเดินระบบฯ ประมาณ 6 ชั่วโมงโดยวัดค่าความดันตลอดสูงสุดได้ 15 ซม.

3. เพลิงเกิดที่เกิดขึ้นมีรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. มีความหนาแน่นสูงสามารถตกตะกอนได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอน และพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเพลิงเกิดที่เวลา 6 ชั่วโมง แสดงว่า เกิดสมดุลระหว่างการเกิดเม็ดฟล็อกและการแตกตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.18

4. ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาแน่นประสิทธิภาพของเพลิงเกิด ดังแสดงในรูปที่ 3.19 พบว่า ความหนาแน่นของเพลิงเกิดเกือบจะคงที่เมื่อเทียบกับฟล็อกที่เกิดแบบสุ่ม แสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นของเพลิงเกิดมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นของกลุ่มฟล็อก

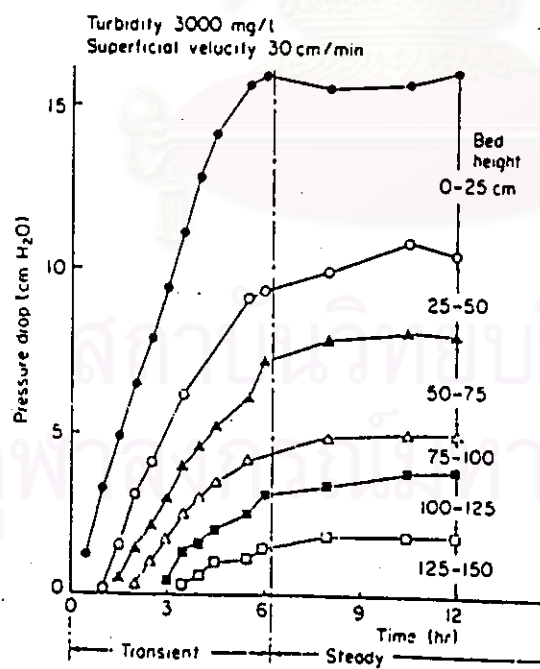


รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของ Tambo และ Matsui ในการศึกษาเรื่อง Metastable State Operation-Fluidized Bed Pellet Separation (Tambo and Matsui, 1987)



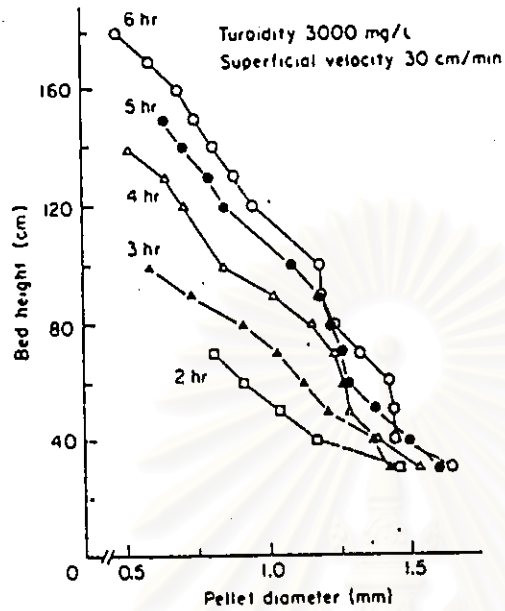
รูปที่ 3.16 ความขุ่นของน้ำดิบและน้ำผลิตในช่วงเวลาต่าง ๆ

(Tambo and Matsui, 1987)

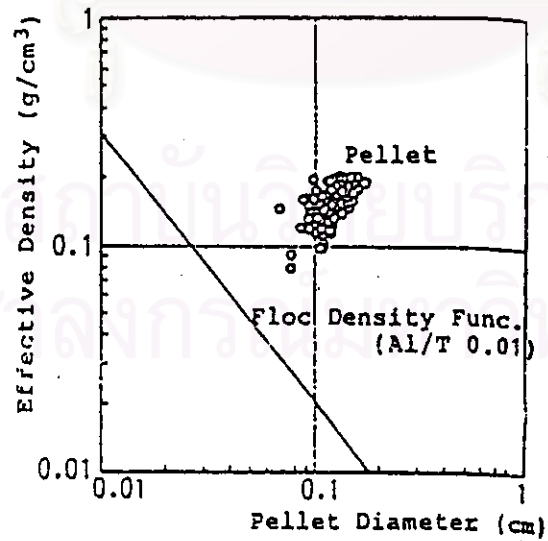


รูปที่ 3.17 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในช่วงเวลาต่าง ๆ

(Tambo and Matsui, 1987)



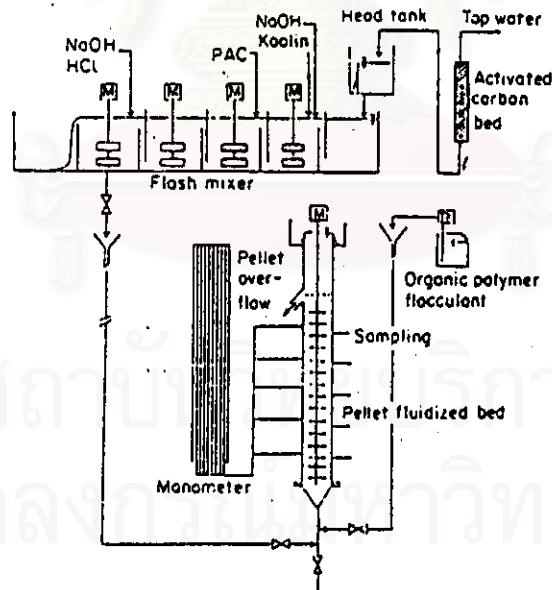
รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนแปลงขนาดเพลเล็ตที่ความสูงต่าง ๆ
(Tambo and Matsui, 1987)



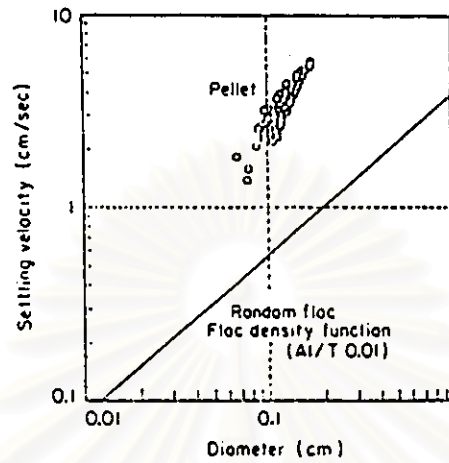
รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต
(Tambo and Matsui, 1987)

4. Tambo and Matsui(1989) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Performance of fluidized pellet bed separator for high-concentration suspension removal ซึ่งเป็นกระบวนการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำดิบโดยใช้กระบวนการฟลูอิดไรซ์เบด (fluidized pellet bed separator) โดยใช้อุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.20 แบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเหลือง ซึ่งมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 3000 มก/ล.และกรณีที่ 2 ใช้น้ำดิบจากประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, อินเดีย และแอฟริกา ซึ่งมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 250 มก/ล. ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

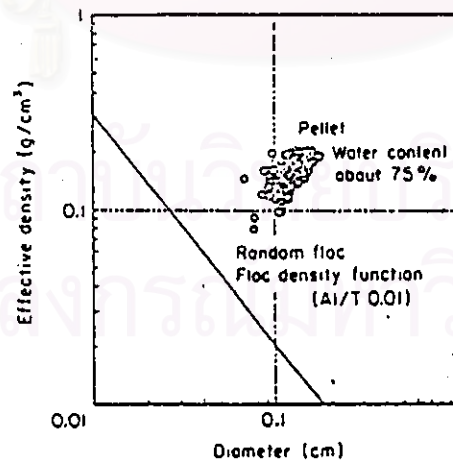
กรณีที่ 1 เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมต่อความขุ่น(AI/T ratio)ประมาณ 10^{-3} และอัตราส่วนระหว่างโพลีเมอร์ต่อความขุ่น(P/T ratio)ประมาณ 10^{-3} และความเร็วไหลขึ้น 30 ซม/นาที่ น้ำผลิตที่ได้จะมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำมากและเพลลิดที่เกิดขึ้นมีลักษณะกลมและแน่น นอกจากนี้ความเร็วจมตัวและความหนาแน่นของเพลลิดจะมีค่าสูงกว่าฟล็อกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน ดังรูปที่ 3.21-3.22



รูปที่ 3.20 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของ Tambo และ Matsui ในการศึกษาเรื่อง Performance of fluidized pellet bed separator for high-concentration suspension removal (Tambo and Matsui, 1989)

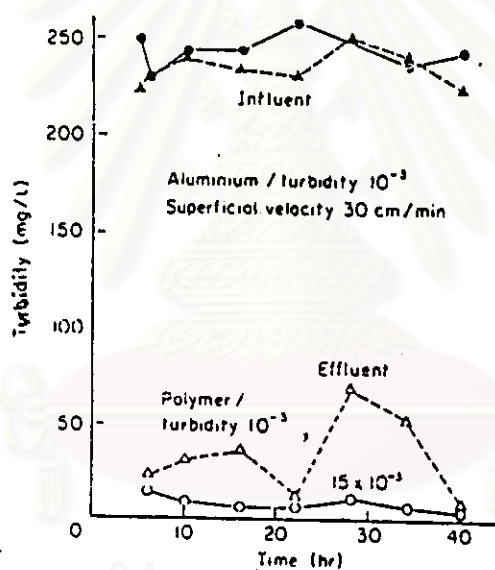


รูปที่ 3.21 ความเร็วจมตัวของเพลเล็ตและฟล็อก กรณีใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเหลือง ซึ่งมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 3000 มก/ล. (Tambo and Matsui, 1989)

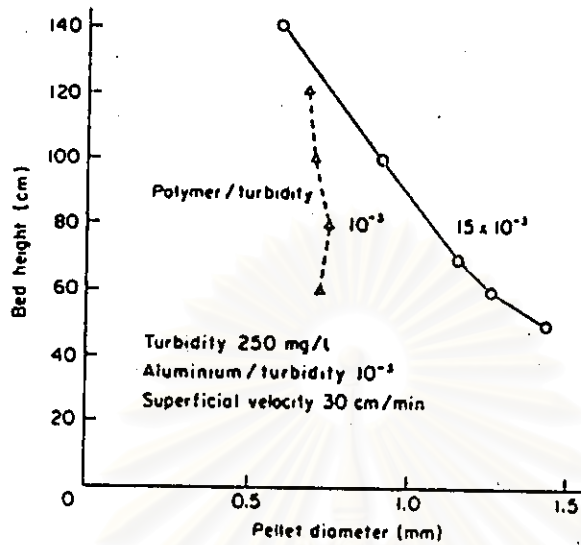


รูปที่ 3.22 ความหนาแน่นของเพลเล็ตและฟล็อก กรณีใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเหลือง ซึ่งมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยประมาณ 3000 มก/ล. (Tambo and Matsui, 1989)

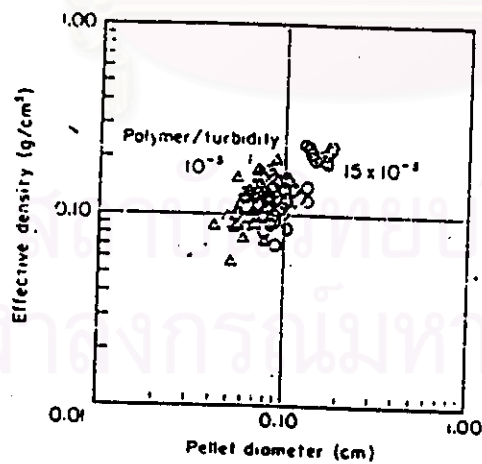
กรณีที่ 2 เมื่อใช้ A/T ประมาณ 10^{-3} และ P/T ประมาณ 15×10^{-3} และใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม/นาที น้ำผลิตที่ได้จะมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำ ดังรูปที่ 3.23 แต่เมื่อใช้ P/T ประมาณ 10^{-3} จะได้น้ำผลิตที่มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยไม่คงที่ และทำให้คุณภาพน้ำผลิตที่ได้ต่ำลง สำหรับรูปที่ 3.24 แสดงขนาดฟlocs เมื่อใช้ค่า P/T ต่างกัน 2 ค่า พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วน P/T สูง (15×10^{-3}) จะได้ฟlocs ที่ขนาดใหญ่และคุณภาพน้ำผลิตดีกว่าเมื่อใช้อัตราส่วน P/T ต่ำ (10^{-3}) และรูปที่ 3.25 แสดงความหนาแน่นของฟlocs ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความหนาแน่นของฟlocs ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับความขุ่นน้ำดิบและอัตราส่วน P/T



รูปที่ 3.23 ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำดิบและน้ำผลิต กรณีใช้น้ำดิบจากประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, อินเดีย และแอฟริกา (Tambo and Matsui, 1989)



รูปที่ 3.24 ขนาด pellets กรณีใช้น้ำดิบจากประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, อินเดีย และแอฟริกา (Tambo and Matsui, 1989)



รูปที่ 3.25 ความหนาแน่นของ pellets และฟล็อก กรณีใช้น้ำดิบจากประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, อินเดีย และแอฟริกา (Tambo and Matsui, 1989)

5. บัณฑิต ชาญณรงค์ (1990) ทำการศึกษาเรื่อง Turbidity Removal by an Upflow Pellet-floc Formation Process โดยใช้น้ำดิบตั้งเคราะห์จากดินคาโอหินความขุ่น 50 เอ็นทียู ใช้ พีเอซีแอล ปริมาณ 1, 2, 3 และ 4 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ และ โพลีเมอร์ประจุลบ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอค ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 และ 40 ซม./นาท. ความเร็วรอบใบพัดกวนช้า 5, 10 และ 15 รอบ/นาที ผลการทดลองพบว่า

1. ปริมาณพีเอซีแอลมีผลต่อการกำจัดความขุ่นเช่นเดียวกับโพลีเมอร์ และหากใช้ปริมาณพีเอซีแอลน้อยจะต้องใช้โพลีเมอร์ในปริมาณที่สูงขึ้นจึงจะสามารถกำจัดความขุ่นได้ดี จากการทดลองได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำกว่า 3 เอ็นทียู

2. ความเร็วไหลขึ้นของน้ำรวมทั้งความเร็วรอบของใบพัด ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัดความขุ่น กล่าวคือ ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม./นาท. ต้องการความเร็วรอบของใบพัดกวนช้าต่ำกว่าที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาท. เพื่อการกำจัดความขุ่นที่เท่ากัน

3. เส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดฟล็อกที่ได้จะมีขนาดระหว่าง 0.2 - 0.3 มม. ความเร็วในการตกตะกอนระหว่าง 40 - 70 ซม./นาท.

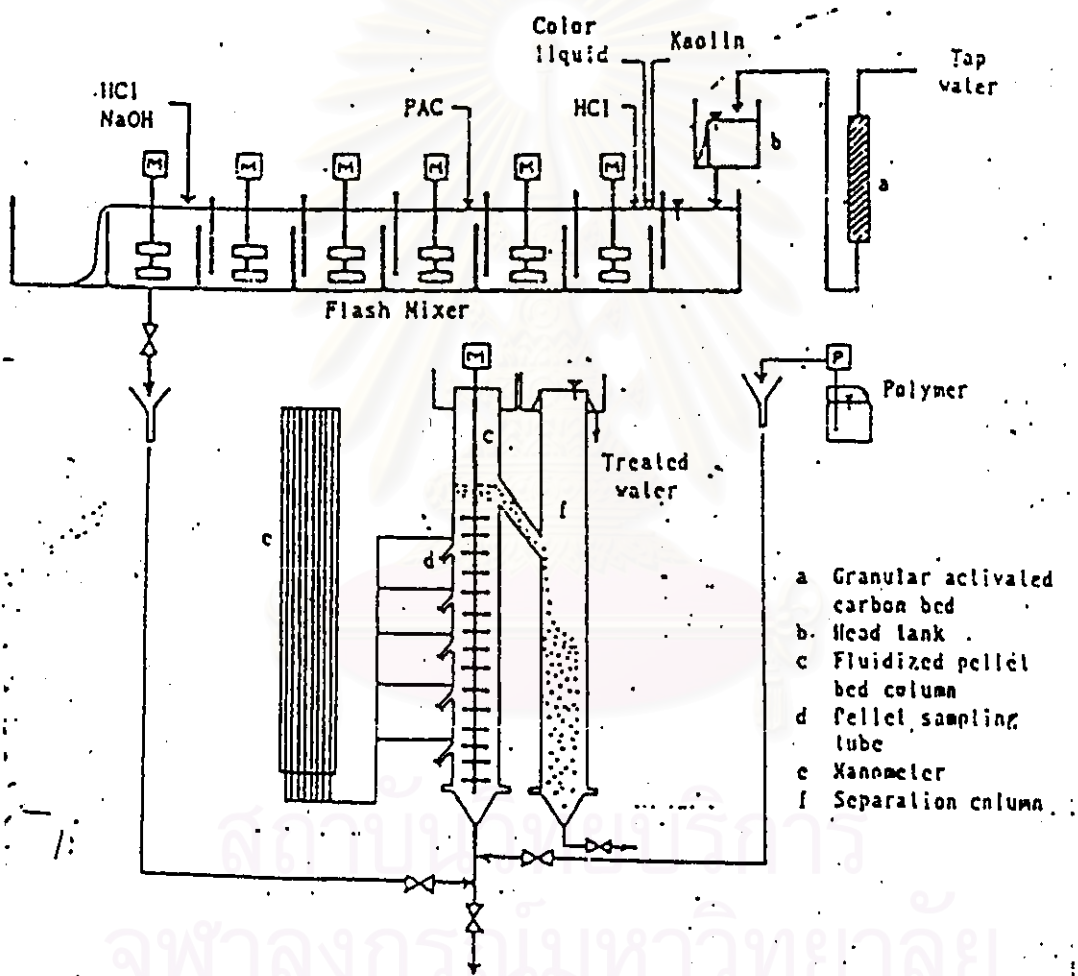
6. Tambo and Wang (1992) ทำการศึกษาเรื่อง Treatment of highly turbid and colored water by fluidized pellet bed separation โดยใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.24 โดยใช้น้ำตั้งเคราะห์ด้วยสีที่ได้จากน้ำในกระบวนการผลิตกระดาษซึ่งมีปริมาณความเข้มของสีต่างกัน ได้แก่ 100, 200, 500, 1000, 1500 และ 2000 หน่วยสี และความขุ่นตั้งเคราะห์มีความเข้มข้นเอสเอส 1000, 300 และ 100 มก/ล. ทำการทดลองโดยใช้ PAC (polymerized aluminum chloride) เป็นโคแอกกูแลนต์และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ(Acco-floc N-100PWG) เป็นโคแอกกูแลนต์เอค ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาท. ความเร็วรอบใบพัดกวนช้า 36 รอบ/นาที คุมความสูงชั้นเพลตที่ระดับ 145 ซม. ได้ผลการทดลองดังนี้

1. อัตราส่วนค่าความเข้มข้นของสี : ความขุ่น เท่ากับหรือน้อยกว่า 1 จะทำให้เกิดฟล็อกที่มีคุณภาพดี มีลักษณะคล้ายทรงกลม ถ้าอัตราส่วนค่าความเข้มข้นของสี : ความขุ่นมากกว่า 1 จะทำให้การเกิดฟล็อกไม่ได้ผลดีแม้ว่าจะเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์นอกจากนี้ความเข้มสีที่ตกค้างจะมากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 3.25

2. ที่ความขุ่น 1000 มก/ล. โดยมีการเพิ่มความเข้มข้นของสี 0 - 100 c.u. ความหนาแน่นของเพลตมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยแต่ความเข้มข้นสีตกค้างเพิ่มขึ้นและเมื่อความเข้มสีที่เริ่มทดลองเท่ากับ 1500 c.u. ความหนาแน่นเพลตจะลดลงมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.26-3.27

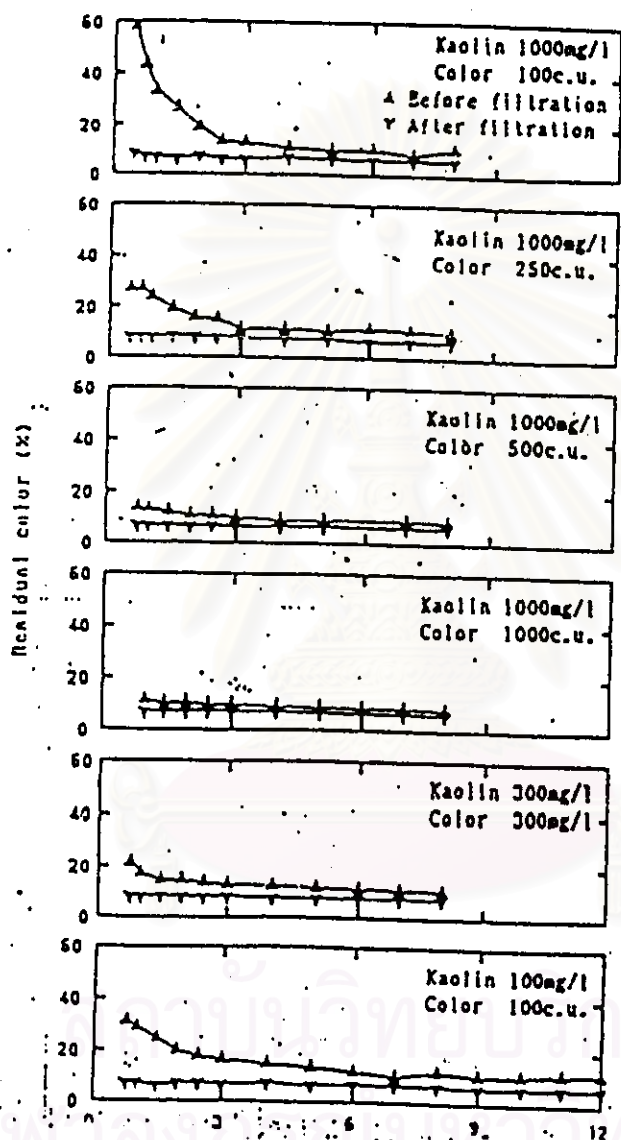
3. ช่วงการทำงานของเพลเล็ตที่เหมาะสมคือ 0.02 - 0.1 ก / ลบ.ซม. มีความชื้นน้อยกว่า 90 %

4. ที่พีเอช 5 พบว่า สามารถกำจัดสีและความขุ่นได้ดีที่สุด



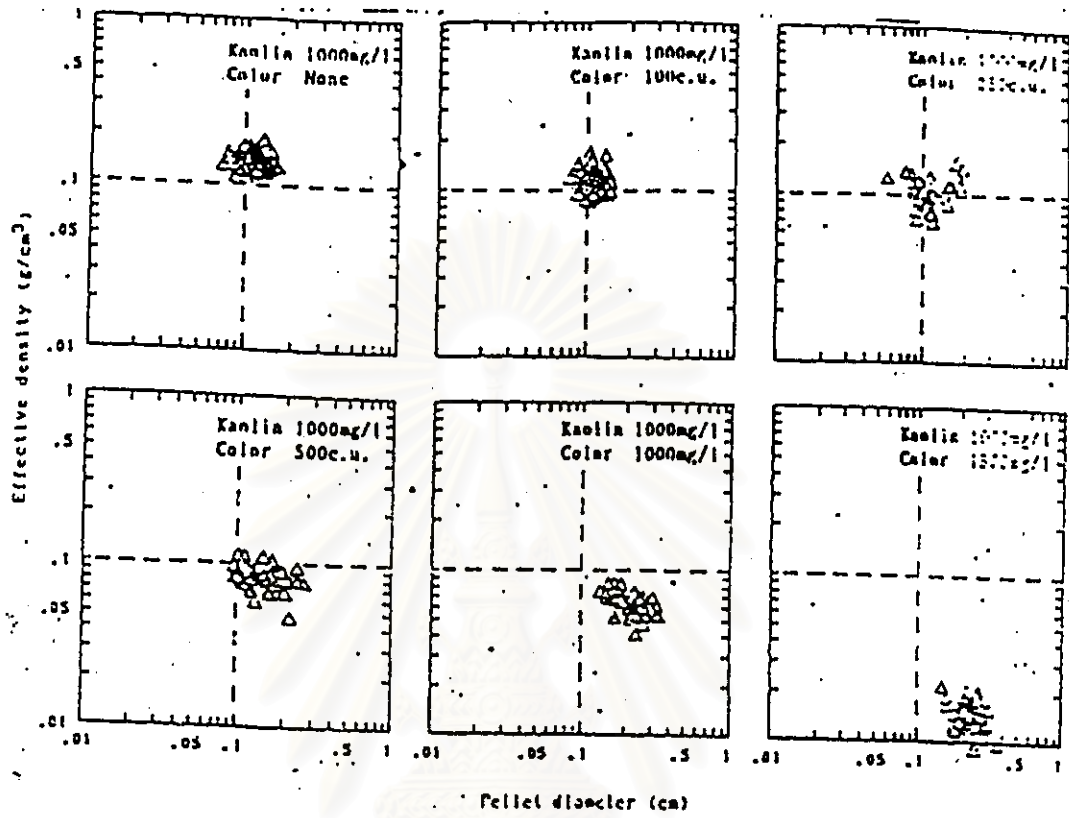
รูปที่ 3.26 กระบวนการผลิตน้ำแบบฟลูอิด ไคซ์เพลเล็ตเบด (fluidized pellet bed separator)

(Tambo and Wang, 1992)

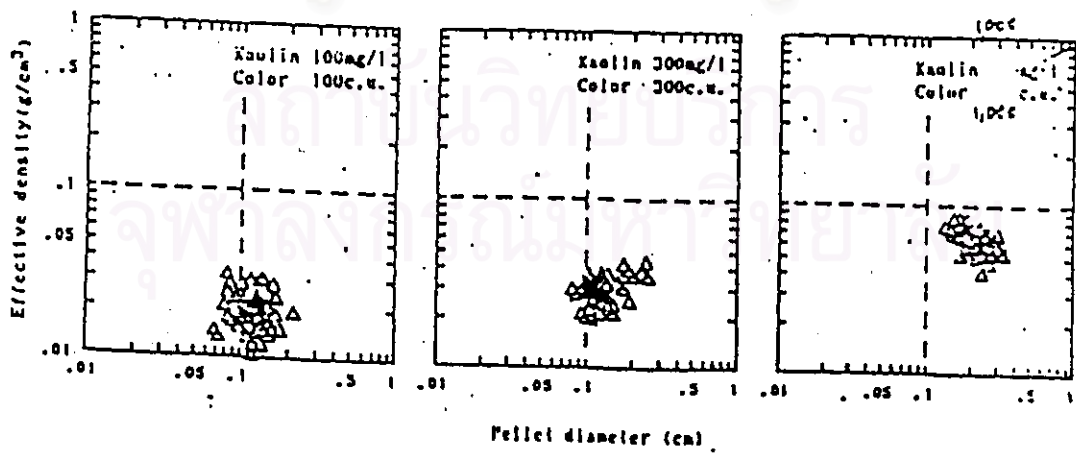


รูปที่ 3.27 ความเข้มข้นสีตกค้าง

(Tambo and Wang, 1992)



รูปที่ 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดเม็ดที่อัตราส่วน c.u./turbidity ต่างกัน (Tambo and Wang, 1992)



รูปที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดเม็ดที่ความเข้มข้นของอนุภาคเบื้องต้นต่างกัน (Tambo and Wang, 1992)

7. นฤชา ฤชพันธ์ (1992) ศึกษาเรื่อง Pellet Formation by Alum โดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์จากดินคาโอลินความขุ่น 50 เอ็นทียู ใช้สารส้ม 5, 10, 15 และ 20 มก/ต. เป็นโคแอกกูแลนต์ และโพลีเมอร์ประจุลบ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ต. เป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด ความเร็วน้ำไหลขึ้นในอุโมงค์สร้างPellet 30 และ 40 ชม/นาทิต ความเร็วรอบใบพัดกวนช้า 5, 10 และ 15 รอบ/นาที ผลการทดลองพบว่า

1. การก่อกPelletโดยสารส้มสามารถกำจัดความขุ่นในน้ำดิบสังเคราะห์ได้ และความสามารถในการกำจัดความขุ่นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ คือ ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอ็ด และการให้พลังงานกลแก่ระบบฯ
2. การเพิ่มโพลีเมอร์หรือโคแอกกูแลนต์อย่างใดอย่างหนึ่ง มีผลต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำผลิต แต่ที่ความเข้มข้นโพลีเมอร์สูงในระดับที่ศึกษาคือ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/ต. การกำจัดความขุ่นจะไม่แตกต่างกัน
3. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ชม/นาทิต และปริมาณโพลีเมอร์ต่ำ (0.05 มก/ต.) สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ชม/นาทิต ในปริมาณโพลีเมอร์ที่เท่ากัน
4. ที่ความเร็วรอบใบพัดกวนช้าสูงจะกำจัดความขุ่นได้น้อยกว่าการใช้ความเร็วรอบต่ำ แต่หากมีการเพิ่มโพลีเมอร์ อิทธิพลของความเร็วรอบใบพัดต่อการกำจัดความขุ่นจะลดลง

8. ปริญญา ณ นคร (1992) ศึกษาเรื่องผลของความสูงชั้นเม็ดตะกอนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น(ที่ความสูง 70, 90, 110 และ 130 ซม.) โดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์จากดินคาโอลิน ความขุ่น 50 เอ็นทียู ใช้พีเอซีแอล 1, 2, 3 และ 4 มก/ต. เป็นโคแอกกูแลนต์ และโพลีเมอร์ประจุลบ 0.1 มก/ต. เป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด ความเร็วน้ำไหลขึ้นในอุโมงค์สร้างPellet 40 ชม/นาทิต ระยะห่างใบพัดกวนช้า 5, 10, 15 และ 20 ซม. ผลการทดลองพบว่า

1. ปริมาณพีเอซีแอลที่ใช้ไม่มีผลชัดเจนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น แต่ปริมาณพีเอซีแอลสูงมีแนวโน้มว่าจะกำจัดความขุ่นได้ดีขึ้น
2. รูปแบบใบพัดที่ให้ผลต่อการกำจัดความขุ่นดี ได้แก่ การจัดวางใบพัดให้มีความถี่ค่อนข้างสูงตอนบนจากมากไปหาน้อย เพราะสามารถให้ค่าความปั่นป่วนที่เหมาะสมต่อPellet
3. ความสูงชั้นPelletดีมีผลต่อการกำจัดความขุ่น กล่าวคือ ความสูงชั้นสูงมากจะสามารถกำจัดความขุ่นได้มาก จากการทดลองพบว่าที่ความสูงชั้นPellet 130 ซม. จะให้ผลในการกำจัดความขุ่นดีที่สุด
4. เวลาในการเดินระบบที่เพิ่มขึ้น จะทำให้การสะสมตัวของอนุภาคบนผิวPelletที่เกิดขึ้นได้มากและจับตัวกันเป็นPelletที่ใหญ่และหนัก เมื่อถูกแรงเฉือนจากใบพัดก็จะแตกตัวเป็น

เพลตขนาดเล็กลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน จึงทำให้เกิดการเรียงตัวของเพลตที่มีขนาดใหญ่และหนักอยู่ด้านล่างของอุปกรณ์สร้างเพลตและเพลตที่เล็กและเบาจะอยู่ด้านบน ตามลำดับ

5. ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในการทดลองที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 40 ซม/นาที โพลีเมอร์ 0.1 มก/ล. และปริมาณพีเอซีแอล 4 มก/ล. เท่ากับ 89 %

9. คณิต ม่วงศิริ (1995) ศึกษาเรื่อง ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้น โดยใช้ น้ำดิบสังเคราะห์จากคินคาโอลินที่มีความขุ่น 50 เอ็นทียู แปรค่าพีเอช 7 ค่า คือ 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 และ 8 ใช้พีเอซีแอล 1, 3 และ 5 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ และใช้โพลีเมอร์ประจุลบหรือโพลีเมอร์ประจุบวกหรือโพลีเมอร์ไม่มีประจุเป็นโคแอกกูแลนต์เอค เก็บตัวอย่างที่เวลา 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชม.จนถึงสิ้นสุดการทดลอง พบว่า

1. พีเอซีแอลอาศัยโครงสร้างโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์เข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเบื้องต้นที่มีประจุค่อนข้างเป็นกลางก่อนเข้าสู่อุปกรณ์สร้างเพลต หลังจากนั้นโพลีเมอร์ประจุลบจะทำหน้าที่เป็นสะพานในการเชื่อมอนุภาคเบื้องต้นรวมเป็นเพลต ช่วยเสริมให้แข็งแรงขึ้น ในขณะที่โพลีเมอร์ประจุบวกใช้ประจุบวกช่วยในการเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์เข้าด้วยกัน และอาศัยมวลโมเลกุลที่ใหญ่ในการเชื่อมต่ออนุภาคเบื้องต้น ทำให้ตกตะกอนได้ดีและความขุ่นในน้ำลดลง

2. เมื่อใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ(ซึ่งมีค่าประจุบวกเล็กน้อย) พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าโพลีเมอร์ประจุลบ สันนิษฐานว่า โพลีเมอร์ประจุลบมีประจุเหมือนกับคอลลอยด์ จึงไม่เอื้ออำนวยต่อการสะเทินประจุ ในขณะที่โพลีเมอร์ไม่มีประจุอาศัยกลไกการต่อเชื่อมผสมกับการสะเทินประจุจึงทำให้ประสิทธิภาพดีกว่า ส่วนในกรณีโพลีเมอร์ประจุบวกอาศัยความหนาแน่นประจุบวกทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ รวมทั้งใช้มวลโมเลกุลทำการเชื่อมต่ออนุภาคที่เสื่อมเสถียรภาพให้มีความหนาแน่นของเพลตสูงขึ้น ทำให้สามารถลดความขุ่นของน้ำลงได้ดีมาก

3. พีเอชไม่มีอิทธิพลต่อความสูงชั้นเพลต ในกรณีที่ใช้โพลีเมอร์ประจุลบ ความสูงชั้นเพลตมีค่าเท่ากับ 130 ซม.ได้ เนื่องจากเพลตมีขนาดเล็ก ความเร็วในการจมตัวของเพลตมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วน้ำไหลขึ้น ส่วนในกรณีโพลีเมอร์ไม่มีประจุและโพลีเมอร์ประจุบวก อาศัยกลไกการสะเทินประจุและต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ ทำให้เพลตจับกันแน่น มีขนาดใหญ่ และมีความเร็วในการจมตัวสูง ทำให้ความสูงชั้นเพลตต่ำกว่า 130 ซม.ทุกเงื่อนไขการแปรค่าพีเอช

10. สุรเชษฐ์ พลวัฒน์ (1996) ทำการศึกษาเรื่อง ความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติของการกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้นสำหรับน้ำดิบความขุ่นต่ำ โดยใช้น้ำดิบที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ จากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยชักตัวอย่างน้ำจากจุดป้อนน้ำเข้าที่โรงงานผลิตน้ำบางเขน แบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงต้น(6 ชม./ครั้ง) และช่วงเดินระบบยาวนาน(72 ชม./ครั้ง) แปรค่าความเข้มข้นของสารส้มเหลว ระหว่าง 0 - 25 มก/ล.(ขึ้นกับความขุ่นน้ำดิบ) ใช้โพลิเมอร์ประจุลบ, ไม่มีประจุ และประจุบวก 0.3 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอค จากการทดลอง พบว่า

1. กระบวนการสร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้นสามารถใช้ในการผลิตน้ำจริงได้ในภาคสนาม โดยใช้สารส้ม 0 - 25 มก/ล.เป็นโคแอกกูแลนต์ และโพลิเมอร์ทั้งสามประจุปริมาณ 0.3 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ และ/หรือโคแอกกูแลนต์เอค

2. กรณีใช้โพลิเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอค จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่ากรณีใช้โพลิเมอร์ประจุลบ 0.3 มก/ล. เนื่องจากโพลิเมอร์ประจุลบ เช่นเดียวกับอนุภาคคอลลอยด์ จึงอาศัยมวลโมเลกุลที่สูงของโพลิเมอร์ในการเชื่อมต่อนุภาคคอลลอยด์ ในขณะที่โพลิเมอร์ไม่มีประจุอาศัยกลไกการสะเทินประจุและการเชื่อมต่อนุภาคด้วยมวลโมเลกุลที่สูง จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่า ส่วนกรณีใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 0.3 มก/ล. อาศัยกลไกการดูดซับผิว การสะเทินประจุ และการเชื่อมต่อนุภาคด้วยมวลโมเลกุลที่สูง จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่ากรณีใช้โพลิเมอร์ประจุลบ

3. กรณีใช้โพลิเมอร์ทั้งสามประจุเป็นโคแอกกูแลนต์ ปรากฏว่าที่ความขุ่นน้ำดิบต่ำหรือประมาณ 25 - 35 เอ็นทียู โพลิเมอร์ประจุบวกปริมาณ 0.3 มก/ล. สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูงได้ ในขณะที่โพลิเมอร์ประจุลบและโพลิเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.3 มก/ล. จะต้องใช้สารส้ม 10 - 15 มก/ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ช่วยในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์จึงจะสามารถผลิตน้ำคุณภาพสูง (ความขุ่นต่ำกว่า 5 เอ็นทียู)

4. พีเอชของน้ำดิบมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น กล่าวคือ ที่พีเอชน้ำดิบประมาณ 7.5 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะสูงกว่ากรณีที่พีเอชน้ำดิบประมาณ 8.0 หรือสูงกว่า จึงต้องปรับพีเอชน้ำดิบให้อยู่ในช่วงที่ใช้งานได้ดี

5. การเดินระบบฯยาวนาน 72 ชั่วโมง มีแนวโน้มที่จะมีความเร็วในการจมตัวของเม็ดฟล็อกลดลง ทำให้มีการระบายของแข็งแขวนลอยออกจากระบบฯสูงกว่าที่เข้ามาในระบบฯ และความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในระบบฯจะลดลงด้วย ซึ่งอาจมีผลกระทบหากมีการเดินระบบฯเป็นเวลานานกว่านี้