

ผลของรูปแบบใบกวนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นของกระบวนการสร้างเพลล็ด



นายวิญญูภาส ชนปทาธิป

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

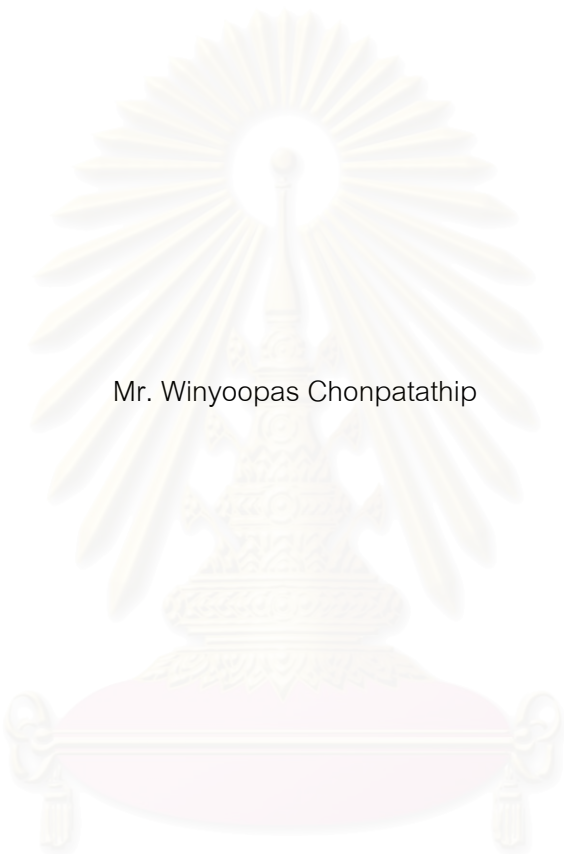
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-00-0000-0

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF IMPELLER CONFIGURATION ON
TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY BY
PELLETIZATION PROCESS

Mr. Winyoopas Chonpatathip



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-00-0000-0

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของรูปแบบไบโกลวนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น โดยกระบวนการสร้างเพลเล็ต
โดย	นายวิญญูภาส ชนปทาธิป
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โฉ่ห้วงศ์วัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

วิทยุภาส ชนปทาธิป : ผลของรูปแบบใบกวนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเพลเล็ต (EFFECT OF IMPELLER CONFIGURATION ON TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY BY PELLETIZATION PROCESS)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 188 หน้า. ISBN

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำงาน ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบโดยใช้น้ำดิบจริงจากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงความขุ่น 30-420 เอ็นทียู ใช้ถังสร้างเพลเล็ตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ม. สูง 3.0 ม. การทดลองแบ่งเป็น 4 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ศึกษาผลของอุปกรณ์กวนเร็ว 2 แบบ โดยแปรค่าความเร็วรอบกวนของถังปฏิกรณ์เพลเล็ตที่ 2 และ 3 รอบ/นาที ช่วงที่ 2 ศึกษาผลของรูปแบบใบกวนโดยแปรค่าความเร็วรอบกวนที่ 2, 3 และ 4 รอบ/นาที และใบกวน 3 รูปแบบคือแบบไม่เจาะรู แบบเจาะรูขนาด 1.5 ซม. และแบบเจาะรูขนาด 3 ซม. ช่วงที่ 3 ศึกษาผลของจำนวนใบกวนและอัตราการผลิตน้ำโดยแปรค่าจำนวนใบกวน 2, 4 และ 6 ใบและอัตราการผลิตน้ำ 6, 8 และ 10 ม./ชม. และช่วงที่ 4 ศึกษาผลของปริมาณสารเคมีโดยแปรค่าปริมาณโพลิเมอร์ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. และปริมาณ PACI 3, 4 และ 5 มก./ล. ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ระบบสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูง (ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู) ได้โดยใช้สาร PACI 3 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ไม่มีประจุ 0.1 มก./ล. ที่อัตราการผลิตน้ำ 10 ม./ชม. สำหรับน้ำดิบความขุ่นต่ำกว่า 110 เอ็นทียู และใช้สารโพลิออลูมินัมคลอไรด์ (PACI) 4 มก./ล. ร่วมกับโพลิเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก./ล. สำหรับน้ำดิบความขุ่นประมาณ 110-160 เอ็นทียู

2. ผลของรูปแบบใบกวนโดยการเจาะรูมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งทั้งหมด มวล เพลเล็ต ขนาดและความเร็วจมตัวของเพลเล็ตลดลง แต่เพลเล็ตมีความหนาแน่นประสิทธิภาพสูงขึ้น

3. ความเร็วรอบกวนที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ 2 รอบ/นาที และเวลาสัมผัส 13.7 นาที โดยให้ค่า G น้อยกว่า 50 วินาที^{-1} และ Gxt น้อยกว่า 26,760

4. ระบบสามารถผลิตน้ำที่มีความขุ่นต่ำกว่า 5 เอ็นทียูได้โดยมีค่าไฟฟ้าและสารเคมีในการเดินระบบโดยรวมต่ำกว่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง

ดังนั้นระบบการกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเพลเล็ตจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของระบบการผลิตน้ำประปา

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2545	

427 05352 21 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: PELLETIZATION / FLUIDIZED PELLET BED / TURBID / PADDLE / WATER TREATMENT

Winyoopa Chonpatathip : EFFECT OF IMPELLER CONFIGURATION ON TURBIDITY REMOVAL EFFICIENCY BY PELLETIZATION PROCESS. THESIS ADVISOR ASSIST. PROF. CHAVALIT RATANATUMSAKUL, Ph.D., 188 pp. ISBN

In this study, a prototype upflow pelletization process was investigated to treat raw water from Chao Phraya river, having turbidity of 30 – 40 NTU. The pelletizer had a diameter of 1.5 m and a height of 3 m. The study was divided into four experiments. The first experiment studied the effect of two types of static mixer with the variation of impeller speed at the pelletizer to be 2 and 3 rpm. The second experiment studied the effect of impeller configuration with three different types; plain impeller without perforation, impellers with perforation of 30 holes and 12 holes. The third experiment studied the effect of number of impellers and upflow velocity. By varying upflow velocity to be 6, 8 and 10 m/hr together with 2, 4 and 6 impellers. The last experiment studied the effect of doses of PACl and nonionic polymer by varying doses of 3, 4 and 5 mg/l of PACl and 0.1, 0.2 and 0.3 mg/l of nonionic polymer. The results could be summarized as follows;

1. The high quality of product water (less than 5 NTU) could be obtained at the rate of 10 m/hr of using the pelletization process. In the case of raw water having turbidity of less than 110 NTU, the doses of PACl and polymer were 3 and 0.1 mg/l, respectively.
2. The effect of impeller configuration by perforation was found decrease turbidity removal efficiency, solid mass, diameter and settling velocity of pellet. However, the effective pellet density was found to increase.
3. The appropriate impeller speed in this experiment was 2 rpm and contact time was 13.7 minutes to yield G value less than 50 s^{-1} and GxT value less than 26,760)
4. The operating costs in terms of electricity and chemicals were found to be half of the expenses for water production at MWA.

In conclusion, this pelletization process is highly efficient in removing turbidity and can be an alternative water treatment system.

Department ENVIRONMENTAL ENGINEERING Student's signature.....

Field of study ENVIRONMENTAL ENGINEERING Advisor's signature.....

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลาย ๆ ท่าน ซึ่งผู้ทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ยิ่งมาตลอดในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบเพื่อแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ รวมทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมและถ่ายทอดความรู้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายซ่อมบำรุงและฝ่ายปฏิบัติการเคมีของการประปานครหลวงทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้คำชี้แนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณเต็มศักดิ์, พี่โต้งและท่านอื่นๆที่ไม่ได้เอยนาม ณ ที่นี้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และเจ้าหน้าที่ภาคสิ่งแวดล้อมที่คอยช่วยเหลือทั้งด้านอุปกรณ์และแรงงาน ตลอดจนคนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ทุกท่าน

และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัวของผู้เขียนวิทยานิพนธ์ที่ดูแลช่วยเหลือในทุกด้าน เป็นกำลังใจและให้ความสนับสนุนด้วยดี ตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

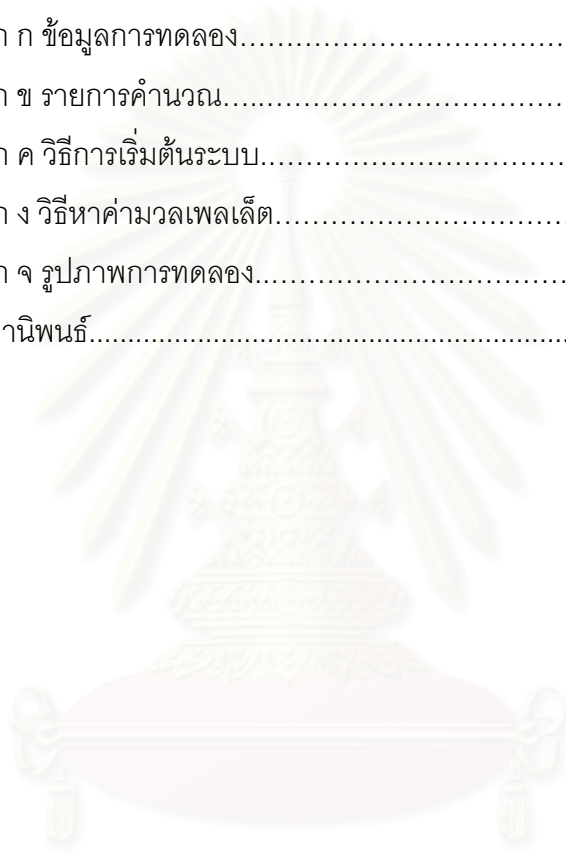
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทบทวนเอกสาร.....	3
2.1 ทฤษฎี สมมติฐาน และหลักการ.....	3
2.2 การศึกษาที่ผ่านมา.....	21
3 แผนการดำเนินงานและการทดลอง.....	41
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	41
3.2 แผนการทดลอง.....	41
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	49
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	51
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	52
4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	55
4.1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว.....	59
4.2 ผลของรูปแบบใบกวนและการปั่นกวน.....	64
4.3 ผลของจำนวนใบกวนและอัตราการผลิตน้ำ.....	86
4.4 ผลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ.....	103
4.5 การนำเสนอหลักการออกแบบ.....	116
4.6 การคิดราคาค่าดำเนินการ.....	117

สารบัญ (ต่อ)

๗

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการทดลอง.....	119
6 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	120
รายการอ้างอิง.....	121
ภาคผนวก.....	124
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง.....	125
ภาคผนวก ข รายการคำนวณ.....	173
ภาคผนวก ค วิธีการเริ่มต้นระบบ.....	178
ภาคผนวก ง วิธีหาค่ามวลเพลล็ด.....	179
ภาคผนวก จ รูปภาพการทดลอง.....	180
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	188



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนจุลฟล็อกกับเพลเล็ตที่ค่าความชื้น และปริมาณสารเคมีที่ใช้	21
2.2 ผลของจุดใส่โพลีเมอร์แอนไอออน.....	23
2.3 ค่า ALT และ PT ที่เหมาะสมในการสร้างเพลเล็ต (Tambo and Wang, 1993).....	36
3.1 การทดลองในช่วงที่ 1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว.....	43
3.2 การทดลองในช่วงที่ 2 ผลของรูปแบบใบกวน.....	45
3.3 การทดลองในช่วงที่ 3 ผลของตความถี่ใบกวนและอัตราการใช้.....	48
3.4 การทดลองในช่วงที่ 4 ผลของปริมาณสารเคมี.....	49
3.5 สมบัติทั่วไปของสารสัมผัสเหลวที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3.6 สมบัติทั่วไปของ PACI ที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3.7 สมบัติทั่วไปของโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.8 จุดเก็บตัวอย่างและความถี่ในการเก็บตัวอย่าง.....	52
4.1 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 1.....	55
4.2 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตที่สภาวะคงตัวจากการทดลองช่วงที่ 1.....	56
4.3 ความชื้นน้ำดิบ น้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น ที่สภาวะคงตัวจากการทดลองช่วงที่ 1.....	58
4.4 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตที่สภาวะคงตัวจากการทดลองช่วงที่ 1.....	59
4.5 ขนาด ความเร็วจมตัวและความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต ที่ระดับต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัวจากการทดลองช่วงที่ 1.....	61
4.6 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2.....	65
4.7 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตโดยเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2.....	66
4.8 ความชื้นน้ำดิบ, น้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น ที่สภาวะคงตัวการทดลอง ช่วงที่ 2.....	67
4.9 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตที่เวลาต่าง ๆ จากการทดลองช่วงที่ 2.....	69
4.10 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลเล็ตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว การทดลองช่วงที่ 2.....	70
4.11 ขนาดของเม็ดเพลเล็ตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2.....	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

ตารางที่	หน้า
4.12 ความเร็วจมตัวของเม็ดเพลเล็ตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2.....	75
4.13 ความหนาแน่นของเม็ดเพลเล็ตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2.....	76
4.14 การวัดค่าพลังงานในการกวนน้ำเพื่อหาค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G)และ ค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง (Cd) ในการทดลองช่วงที่ 2.....	79
4.15 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตโดยเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3.....	87
4.16 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3.....	88
4.17 ความขุ่นน้ำดิบ,น้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น การทดลองช่วงที่ 3....	90
4.18 มวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลเล็ตทั้งหมดโดยเฉลี่ย การทดลองช่วงที่ 3.....	91
4.19 ขนาดของเพลเล็ตเฉลี่ยที่ระดับต่าง ๆ ในการทดลองช่วงที่ 3.....	95
4.20 ความเร็วจมตัวของเพลเล็ตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 3.....	96
4.21 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 3.....	97
4.22 ค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G)และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง (Cd) จากการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (P) ในการทดลองช่วงที่ 3.....	99
4.23 ผลของค่า GxT ต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น,%, มวลของแข็งทั้งหมด และขนาดเพลเล็ต จากการทดลองช่วงที่ 3.....	101
4.24 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตโดยเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 4.....	104
4.25 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 4.....	105
4.26 ความขุ่นน้ำดิบ,น้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น การทดลองช่วงที่ 4...	107
4.27 มวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลเล็ตทั้งหมดโดยเฉลี่ย การทดลองช่วงที่ 4.....	108
4.28 ขนาดของเพลเล็ตเฉลี่ยที่ระดับต่าง ๆ ในการทดลองช่วงที่ 4.....	111
4.29 ความเร็วจมตัวของเพลเล็ตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4.....	112
4.30 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4.....	113

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 กลไกการใช้โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2538).....	6
2.2 stability diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มี ความขุ่น	11
2.3 สถานะของสารละลายเมื่อในสภาวะที่มีความเข้มข้นและพีเอชต่างกัน (Tambo and Matsui, 1989).....	15
2.4 การรวมตัวของกลุ่มอนุภาคในหลายขั้นตอน(Tambo and Wang,1993).....	16
2.5 การรวมตัวกันของเฟลลิตแบบหนึ่งต่อหนึ่งและแบบสุม (Tambo and Wang, 1993)	18
2.6 การกระจายของแรงเมื่อฟล็อกหยุดนิ่ง (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975).....	19
2.7 การกระจายของแรงเมื่อฟล็อกก่อกิ่ง (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975).....	19
2.8 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกก่อนชน (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)...	20
2.9 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกหลังชน (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)....	20
2.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Tambo and Matsui, 1987).....	24
2.11 ความขุ่นในน้ำก่อนเข้าระบบและหลังผ่านระบบในช่วงเวลาต่าง ๆ (Tambo and Matsui, 1987).....	24
2.12 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในช่วงเวลาต่าง ๆ (Tambo and Matsui, 1987)....	25
2.13 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเฟลลิตที่ระดับต่าง ๆ (Tambo and Matsui, 1987).....	25
2.14 ลักษณะของเฟลลิตที่สร้างได้จากการทดลอง (Tambo and Matsui, 1987).....	26
2.15 ความหนาแน่นของเฟลลิต และฟล็อกทั่วไป (Tambo and Matsui, 1987).....	26
2.16 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่าง ๆ สำหรับความขุ่นน้ำดิบประมาณ 3000 มก./ล. (Tambo and Matsui, 1989).....	27
2.17 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่าง ๆ สำหรับความขุ่นน้ำดิบประมาณ 250 มก./ล. (Tambo and Matsui, 1989).....	28
2.18 อุปกรณ์การทดลองสร้างเฟลลิต (บัณฑิต, 2535) ...	30
2.19 ผังอุปกรณ์การทดลอง (Suzuki, Tambo and Ozawa, 1993)	34
3.1 แผนผังของระบบการทดลอง.....	42
3.2 ไบกววนที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 รวม 3 รูปแบบ.....	45
3.3 ระยะเวลาการจัดเรียงไบกววนของการทดลองในช่วงที่ 3.....	47
ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกววนเร็ว และน้ำผลิตที่สภาวะคงตัวจากการทดลองช่วงที่ 1...	56

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ฎ

ภาพประกอบ	หน้า
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 1.....	58
4.4 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลล็ดที่สภาวะคงตัว การทดลองช่วงที่ 1.....	60
4.5 ขนาดของเพลล็ดที่ระดับต่าง ๆ โดยเฉลี่ยที่การทดลองช่วงที่ 1.....	62
4.6 ความเร็วจมตัวของเพลล็ดที่ระดับต่าง ๆ โดยเฉลี่ยที่การทดลองช่วงที่ 1.....	62
4.7 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลล็ดที่ระดับต่าง ๆ โดยเฉลี่ยที่การทดลองช่วงที่ 1..	63
4.7 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2.....	65
4.8 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตโดยเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2.....	66
4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2.....	68
4.10 มวลของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 2.....	71
4.11 มวลเพลล็ดทั้งหมดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 2.....	71
4.12 เปอร์เซ็นต์เพลล็ดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 2.....	72
4.13 ขนาดของเม็ดเพลล็ดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 2.....	76
4.14 ความเร็วจมตัวของเม็ดเพลล็ดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 2.....	77
4.15 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลล็ดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 2.....	77
4.16 ความเร็วเกรเดียนท์ที่เกิดจากพื้นที่บนใบกวนส่วนที่ไม่เจาะรู.....	80
4.17 ความเร็วเกรเดียนท์ที่เกิดจากพื้นที่ส่วนที่เจาะรู.....	81
4.18 ผลของพื้นที่เจาะรูต่อค่าความเร็วเกรเดียนท์และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง...	82
4.19 ผลของความเร็วเกรเดียนท์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น, มวลของแข็งและ ขนาดเพลล็ด จากการทดลองที่ 2.....	84
4.20 ผลของค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น, มวลของแข็งและขนาดเพลล็ด จากการทดลองที่ 2.....	85
4.21 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3.....	88
4.22 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3.....	89
4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3.....	90
4.24 มวลของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 3.....	92
4.25 มวลเพลล็ดทั้งหมดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 3.....	92
4.26 เปอร์เซ็นต์เพลล็ดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 3.....	93
4.27 ขนาดของเม็ดเพลล็ดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 3.....	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ฐ

ภาพประกอบ	หน้า
4.28 ความเร็วจมตัวของเม็ดเพลเล็ตเฉลี่ยจากการทดลองช่วงที่ 3.....	98
4.29 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 3.....	99
4.30 ผลของจำนวนใบพัดต่อความเร็วเกรเดียนท์และสัมประสิทธิ์ของความหน่วง.....	100
4.31 ผลของค่า GxT ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น, มวลของแข็งทั้งหมดและขนาดเพลเล็ต จากการทดลองช่วงที่ 3.....	102
4.32 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตโดยเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4.....	105
4.33 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 4.....	106
4.34 ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 4.....	107
4.35 มวลของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 4.....	109
4.36 มวลเพลเล็ตทั้งหมดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 4.....	109
4.37 เปอร์เซ็นต์เพลเล็ตเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 4.....	110
4.38 ความเร็วจมตัวของเม็ดเพลเล็ตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4.....	114
4.39 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4.....	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันการผลิตน้ำสะอาดที่ใช้กันอยู่มีส่วนที่ล้าค้ำยเป็นอย่งยิ่งคือ การแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำซึ่งกระบวนการที่มีใช้อยู่ได้แก่ โคแอกกูเลชัน, ฟล็อกคูเลชัน, การตกตะกอนและการกรอง กระบวนการสร้างเพลเล็ตเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ใช้แยกของแข็งแขวนลอยซึ่งมีอัตราการผลิตน้ำสูง (Tambo and Matsui, 1987, 1989; Tambo and Wang, 1993; Panswad, 1998; Panswad and Polwanics, 1998; Panswad and Areesawangkit, 1999) และกระบวนการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานบำบัดน้ำเสียได้อีกด้วย (Suzuki, Tambo and Ozawa, 1993) ในประเทศไทยได้มีการทดลองการกำจัดความขุ่นด้วยกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นมานานกว่า 8 ปีแล้ว (บัณฑิต, 2535; นฤชา, 2535; ปริญา, 2353; อาชวน, 2536; คณิต, 2538; กานตพันธุ์, 2539; สุรเชษฐ์, 2539; กุลธิดา, 2540; สุขุม, 2541) ซึ่งเริ่มทดลองในระบบขนาดเล็กกรูปรองกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ซม. และใช้น้ำดิบความขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลิน จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จึงทดลองกับระบบขนาดต้นแบบเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ม. สูง 3 ม. และใช้น้ำดิบจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน (พลภัทร, 2540)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษารูปแบบใบพัดที่เหมาะสมในการกวนน้ำเพื่อให้เกิดเพลเล็ตและศึกษาการปั่นกวนของแต่ละรูปแบบใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ของกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบ รวมถึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะลดต้นทุนการผลิตโดยเปลี่ยนชนิดสารเคมี เพื่อใช้เป็นแนวทางที่จะปรับปรุงระบบให้ใช้งานได้จริงในระบบขนาดใหญ่

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของรูปแบบใบพัดกวนและการปั่นกวนที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างเพลเล็ต
2. ศึกษาผลของจำนวนใบกวนและอัตราการผลิตน้ำของระบบที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างเพลเล็ต
3. ศึกษาผลของปริมาณสารโพลีอูมิโน้มคลอไรด์(PACI)และโพลีเมอร์ไม่มีประจุที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างเพลเล็ต

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การทดลองวิจัยกระทำที่โรงผลิตน้ำประปาบางเขน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ระบบขนาดต้นแบบ เส้นผ่านศูนย์กลางถังสร้างเพลลิต 1.5 ม.และ สูง 3 ม.
2. ใช้น้ำดิบจากคลองประปา (บริเวณโรงสูบน้ำดิบ 1)
3. ใช้สารส้มและสารโพลูมิเนมคลอไรด์(PACI)เป็นโคแอกกูแลนต์
4. ใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุมวลโมเลกุล 12 ล้านเป็นโคแอกกูแลนต์เฮด
5. ใช้ใบกวนเหล็กกว้าง 12 ซม. ยาว 60 ซม.
6. ระยะเวลาในการทดลอง 72 ชั่วโมงต่อการทดลอง

1.4 สิ่งที่คาดว่าจะได้รับการทดลอง

1. ทราบถึงความสามารถและประสิทธิภาพการประยุกต์การใช้งานในระบบสร้างเพลลิตแบบไหลขึ้น จากที่เคยทดลองในระบบขนาดเล็กเป็นระบบขนาดใหญ่ที่จะใช้งานได้จริงในงานสนามตาม ลักษณะในประเทศไทย
2. ศึกษาข้อดีข้อด้อยเพื่อที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นไปอีกในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และหลักการ

2.1.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

โคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ที่ใช้ทั่วไปในการผลิตน้ำประปาซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักคือการกำจัดคอลลอยด์, สารอินทรีย์, อนุภาคที่ทำให้เกิดความขุ่นและสี ฯลฯ กลไกในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์จะเกิดขึ้นในขั้นตอนการกวนเร็ว ซึ่งมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อกลไกการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ ได้แก่ ลักษณะและความเข้มข้นของคอลลอยด์ ลักษณะทางเคมีของน้ำดิบ พีเอช ชนิด และปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ รวมไปถึงความปั่นป่วนของน้ำในขณะกวนเร็ว และเวลาที่ใช้ในการกวนเร็วด้วย เราเรียกกระบวนการทำลายเสถียรภาพนี้ว่า “กระบวนการโคแอกกูเลชัน”

สารโคแอกกูแลนต์ที่มีใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มคือเกลือของโลหะ และสารโพลีเมอร์ต่าง ๆ เกลือของโลหะนั้นจะได้แก่ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เพอริกซัลเฟตและเพอริกคลอไรด์ เป็นต้น ส่วนสารโพลีเมอร์ได้แก่ สารโพลีเมอร์ประจุบวก ประจุลบ ไม่มีประจุ และมีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Schwayer, 1981) การเลือกชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้จะมีความสัมพันธ์กับประเภทของกลไกที่เกิดขึ้นอย่างมาก กล่าวคือการใช้สารโคแอกกูแลนต์ที่เป็นเกลือของโลหะอาจทำให้เกิดกลไกแบบดูดติดผิวและสะเทินทางไฟฟ้า (adsorption and charge neutralization mechanism) หรือกลไกแบบกวาด (sweep mechanism) หรือกลไกแบบรวม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายอย่างดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้น กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบ่งได้เป็น 4 แบบสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. การลดความหนาชั้นกระจาย

เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค มีผลทำให้ชั้นกระจายมีความหนาลดลง และทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงจนทำให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้กันได้มากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากมีประจุบวกเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้อำนาจของประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งไปได้ไกลเท่า

เดิม โดยไอออนต่าง ๆ จะมีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจายไม่เท่ากัน ไอออนที่มีวาเลนซ์ 1, 2 และ 3 จะมีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจายเป็นสัดส่วน 1:100:1000 (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2538)

ข. การดูดติดผิวและการสะเทินทางไฟฟ้า

โดยการเติมสารเคมีที่ให้ไอออนที่มีประจุต่างชนิดกับคอลลอยด์และสามารถดูดติดบนผิวของคอลลอยด์ (adsorbed) ทำให้เกิดการลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แรงผลักระหว่างอนุภาคจะลดลง จนอนุภาคสามารถรวมตัวกันได้ กลไกการดูดติดผิวนั้นต้องการไอออนต่างชนิดน้อยกว่ากลไกการลดความหนาของชั้นกระจาย เนื่องจากไอออนต่างชนิดประจุสามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ การทำลายศักย์ไฟฟ้าจึงได้ผลดีกว่าไอออนต่างชนิดประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้ ซึ่งปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้จะเป็นแบบสตอยชิโอเมตริก คือปริมาณเพิ่มหรือลดจะเป็นไปตามการเพิ่มหรือลดของปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ แต่ที่สำคัญคือถ้าใช้โคแอกกูแลนต์มากเกินไปจะทำให้ประจุคอลลอยด์เปลี่ยนเป็นตรงกันข้ามได้ และจะกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2538)

ค. กลไกแบบกวาด

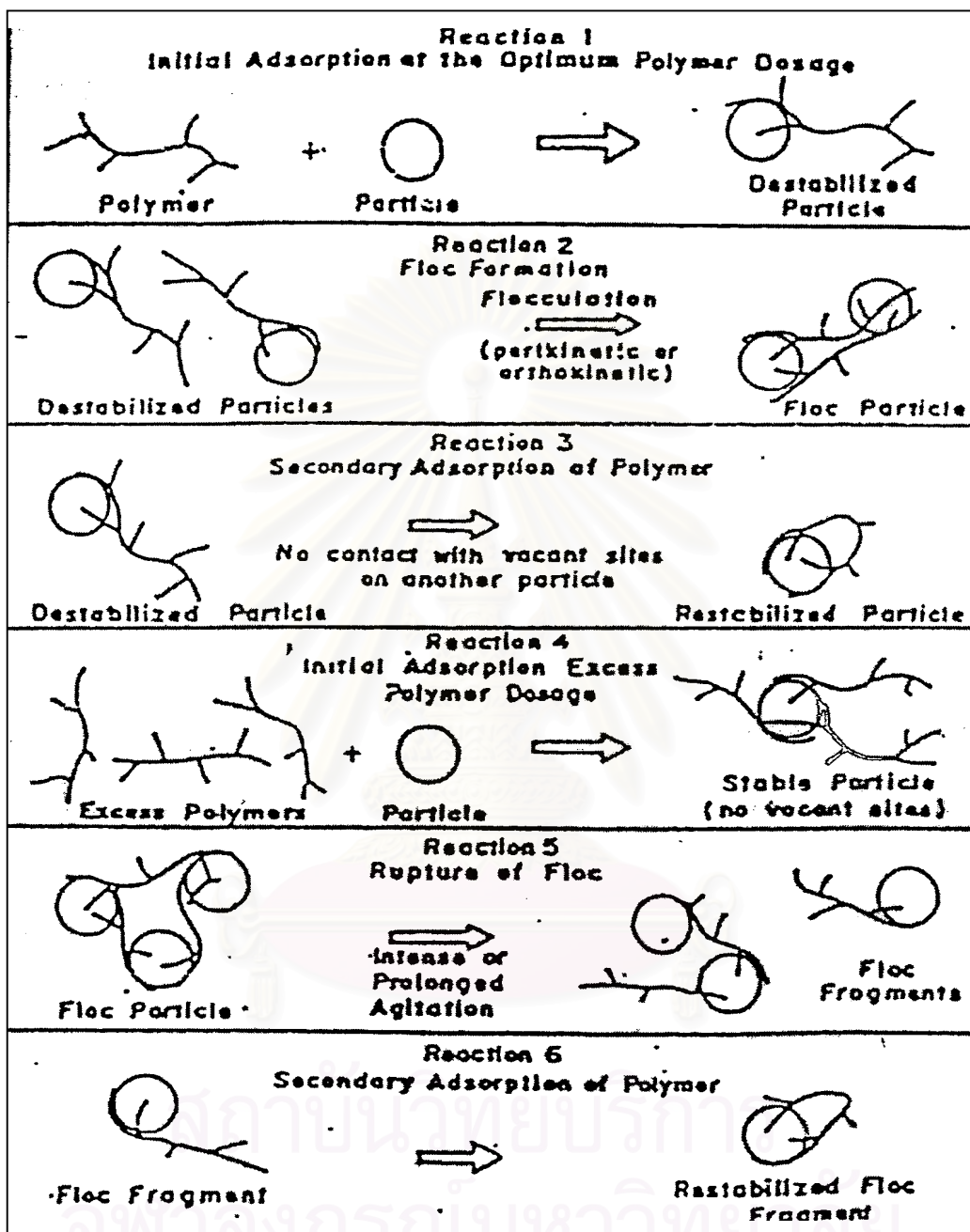
โดยการเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปใ้ในน้ำในปริมาณที่พอเพียงจะทำให้เกิดการตกผลึกของสารประกอบซึ่งสามารถเกาะตัวจับกับอนุภาคคอลลอยด์ โดยที่อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวเพื่อทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจจับตัวรวมกับผลึกเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ ลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้อาจถือเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้ สารโคแอกกูแลนต์เช่น สารส้ม เพอริกคลอไรด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และปูนขาว สามารถทำให้เกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยการสร้างผลึก $Al(OH)_3$ $Fe(OH)_3$ $Mg(OH)_2$ และ $CaCO_3$ ซึ่งล้วนเป็นผลึกสารที่ไม่ละลายน้ำ การกำจัดคอลลอยด์โดยกลไกแบบนี้มักเรียกว่า sweep floc coagulation หรือ sweep coagulation หรือห่อหุ้มคอลลอยด์ ซึ่งระบบประปาส่วนใหญ่จะใช้กลไกนี้ เพราะควบคุมได้ง่าย ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่จะใช้ของกลไกแบบกวาดจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะต้องใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณมากจึงจะเกิดโคแอกกูเลชันได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่า เหตุผลคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตามแต่โคแอกกูเลชันอาจเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร การใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมาก ๆ สำหรับเป็น

เข้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่กรณีนี้ความสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเข้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่าในกรณีแรก (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2538)

ง. กลไกการใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม

โพลีเมอร์เป็นสารที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งอาจมีประจุบวก ประจุลบ หรือไม่มีประจุก็ได้และมีปลายอิสระมากมาย การทำลายเสถียรภาพโดยวิธีนี้สามารถอธิบายได้ด้วยโมเดลที่เรียกว่า polymer bridging ดังรูปที่ 2.1 ตามทฤษฎีนี้โมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่งดังปฏิกิริยาที่ 1 การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และอนุภาคคอลลอยด์หรือแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคที่เหมือนกันก็ได้ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือว่าเป็นอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว (destabilized particle) อนุภาคดังกล่าวสามารถจับตัวกับอนุภาคอื่น ๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมดังปฏิกิริยาที่ 2 การต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์จะเกิดขึ้นตรงบ่อที่มีโพลีเมอร์และตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลีเมอร์ไม่มีที่เกาะจับบนอนุภาคอื่น (ไม่ว่าด้วยเหตุผลใดก็ตาม) ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคอันเดิมดังปฏิกิริยาที่ 3 ทำให้เสียประโยชน์ 2 ประการคือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่น และทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่างเรียกว่าเป็นอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (restabilized particle) การใช้โพลีเมอร์มากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลเสียได้เพราะโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปจับบนอนุภาคคอลลอยด์จนไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น ๆ ดังปฏิกิริยาที่ 4 อนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ และนอกจากนี้การกวนน้ำแรงหรือนานเกินไปก็อาจเกิดผลเสียได้เนื่องจากฟล็อกที่เกิดขึ้นแล้วจะแตกออกดังปฏิกิริยาที่ 5 และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับกับอนุภาคอันเดิมเสถียรภาพคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่อีก ดังปฏิกิริยาที่ 6 (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2538)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 กลไกการใช้พอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (Weber, 1972 อ้างถึงโดยมันนิน, 2538)

2.1.2 กระบวนการฟล็อกคูเลชัน

กระบวนการฟล็อกคูเลชันเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเกิดการชนกัน และรวมตัวเกิดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจจำแนกกระบวนการได้เป็น 3 ประเภท (O' Melia, 1972) ดังต่อไปนี้

ก. การเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อน

กระบวนการฟล็อกคูเลชันแบบนี้เรียกว่ากระบวนการฟล็อกคูเลชันแบบเพอริไคเนติก (perikinetic flocculation) เป็นกระบวนการที่เกิดจากการชนกันของอนุภาคที่เกิดจากความร้อนภายในน้ำซึ่งเปลี่ยนรูปมาเป็นพลังงานจลน์ ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว อัตราการรวมตัวแบบนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิและจำนวนอนุภาคภายในน้ำ อัตราการรวมตัวประเภทนี้จะมีอัตราสูงเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และจะมีอัตรารวมตัวต่ำมากเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน (O' Melia, 1972)

ข. การเคลื่อนที่ของเนื้อของเหลว

กระบวนการฟล็อกคูเลชันแบบนี้เรียกว่ากระบวนการฟล็อกคูเลชันแบบออร์โธไคเนติก (orthokinetic flocculation) กระบวนการประเภทนี้เกิดจากการชนของอนุภาคซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของเหลว อัตราการรวมตัวประเภทนี้จะมีอัตราการรวมตัวแบบเพอริไคเนติก เมื่ออนุภาคใหญ่กว่า 1 ไมครอน (O' Melia, 1972) โดยทั่วไปอนุภาคที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันแล้วจะมีขนาดตั้งแต่ 100 ถึง 2000 ไมครอน ดังนั้นกระบวนการฟล็อกคูเลชันแบบออร์โธไคเนติกนี้จึงเป็นกลไกหลัก (O' Melia, 1972)

ค. การจมตัวด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน

กระบวนการฟล็อกคูเลชันแบบนี้จะเกิดเมื่อไม่มีความปั่นป่วน โดยอนุภาคขนาดใหญ่กว่าจะมีความเร็วการจมตัวสูงกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้เกิดการชนและรวมตัวกันระหว่างอนุภาคในระหว่างการจมตัว กระบวนการฟล็อกคูเลชันประเภทนี้จะเกิดขึ้นในถังทำชั้นในแบบชั้นสลัดจ์ (sludge blanket clarifier) และในถังตกตะกอนแนวตั้งทั่วไป

2.1.3 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชันให้ได้ผลดีจะต้องควบคุมสภาวะต่าง ๆ ให้เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันมีหลายประการ(Kawamura ,1996) ดังนี้

1. ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์
2. พีเอชและสภาพต่าง
3. ความรุนแรงและรูปแบบการกวน
4. ระยะเวลาการกวน
5. อุณหภูมิ
6. ลักษณะของอนุภาคในน้ำ

ซึ่งข้อแรกสามารถกำหนดได้ด้วยการออกแบบและดำเนินการ ส่วนสองข้อหลังไม่สามารถควบคุมได้ การควบคุมโคแอกกูเลชันจึงมุ่งหมายในการควบคุมปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์และระดับพีเอชที่เหมาะสม

2.1.4 การกวนเร็วและกวนช้า

การกวนเร็วเป็นส่วนที่สำคัญในกระบวนการโคแอกกูเลชัน จุดมุ่งหมายของการกวนเร็วก็คือการกระจายสารเคมีในน้ำดิบให้ทั่วถึงและเท่ากันอย่างรวดเร็ว ตัวแปรที่สำคัญในการกวนน้ำก็คือความเร็วเกรเดียนท์ (velocity gradient) หรือค่า G หมายถึงความปั่นป่วนของน้ำ ในถังกวนเร็วจะต้องมีความปั่นป่วนสูงทั้งนี้เพื่อให้การกวนผสมระหว่างสารเคมีกับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและพร้อมๆกันทุกจุด การกวนเร็วมีหลายทางเลือกเช่น เครื่องกวนในเส้นท่อ, เครื่องกวนสถิตย์, กวนด้วยปั๊มหรืออาจใช้ พาแซลฟลูม(Kawamura ,1996) ส่วนน้ำในถังกวนช้าจะมีระดับความปั่นป่วนต่ำกว่ามาก เพื่อป้องกันไม่ให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นเกิดการแยกออกจากกัน การเคลื่อนไหวในถังกวนช้ามีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคและจับติดกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ ถังกวนเร็วก็มีค่า G ไม่ต่ำกว่า 300 วินาที⁻¹ แต่ในถังกวนช้ามักมีค่า G อยู่ในช่วง 60-100 วินาที⁻¹ และตัวแปรที่สำคัญได้แก่ เวลาของการกวนผสมซึ่งหมายถึงเวลาสัมผัสระหว่างสารเคมีกับความขุ่น ส่วนใหญ่แล้วถังกวนเร็วจะมีเวลาในการกวนเร็วจะใช้เวลา 1 นาทีหรือน้อยกว่า ในทางปฏิบัติมักถือว่าเวลาสัมผัสเป็นเวลาให้น้ำอาศัยอยู่ในถังหรืออุปกรณ์กวนเร็วซึ่งหมายถึง เวลากักน้ำ (detention time) พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วนใน

ระดับ G อาจคำนวณได้จากสมการแคมป์ และ สไตน์ (อ้างอิงโดย Mhaisalkar, Paramasivam and Bhole, 1986) ดังสมการ

$$G = (P/\mu V)^{0.5} \quad (2.1)$$

G = ความเร็วเกรเดียนท์หรือระดับความปั่นป่วน (วินาที⁻¹)

P = พลังงานที่ใช้ในการสร้างความปั่นป่วน (นิวตัน-เมตร/วินาที)

μ = ความหนืดของน้ำ (นิวตัน-เมตร/ตารางเมตร)

V = ปริมาตรน้ำในถังกวนเร็ว (ลบ.ม.)

สำหรับการกวนน้ำที่ใช้ใบพายในการกวนน้ำพลังงานที่ต้องการสามารถคำนวณได้จาก

$$P = 0.5 C_D \rho v^3 \quad (2.2)$$

C_D = ค่าคงที่สำหรับใบกวนแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ 1.8 สำหรับใบกวนแบบใบพาย

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (ก.ก./ลบ.ม.)

A = พื้นที่ผิวของใบกวน (ตร.ม.)

v = ความเร็วสัมพัทธ์ของใบพัดเท่ากับ 0.75 เท่าของความเร็วขอบของใบกวน

P = พลังงานที่ต้องการ (วัตต์)

2.1.5 สารส้ม (alum)

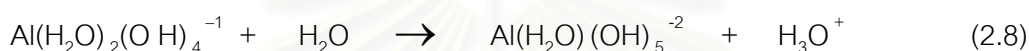
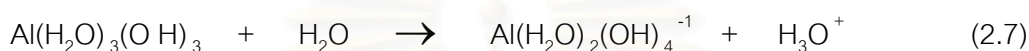
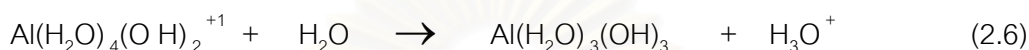
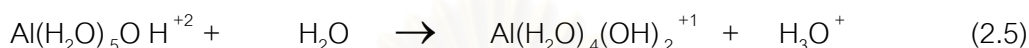
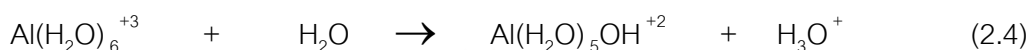
สารส้มหรืออลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่าง ๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาถูก มีชื่อทางเคมีว่า อลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) และเมื่อสารส้มละลายน้ำจะมีการแตกตัวของไอออนบวกและลบเกิดขึ้นดังนี้



เนื่องจากไอออนของโลหะทุกชนิดจะรวมอยู่กับน้ำ และไม่สามารถดำรงอยู่ในรูปอิสระได้ดังนั้น ไอออนบวกของอลูมิเนียมในสมการที่ (2.3) จึงควรเป็น $Al(H_2O)_6^{+3}$ ไอออนที่ประกอบด้วยโลหะและน้ำ

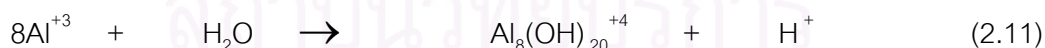
เรียกว่า aqua metal ion โมเลกุลของน้ำเรียกว่า ligand หนึ่งเพื่อความสะดวกในการเขียน บางครั้งมักตัดโมเลกุลของน้ำออกโดยถือว่าเป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไป

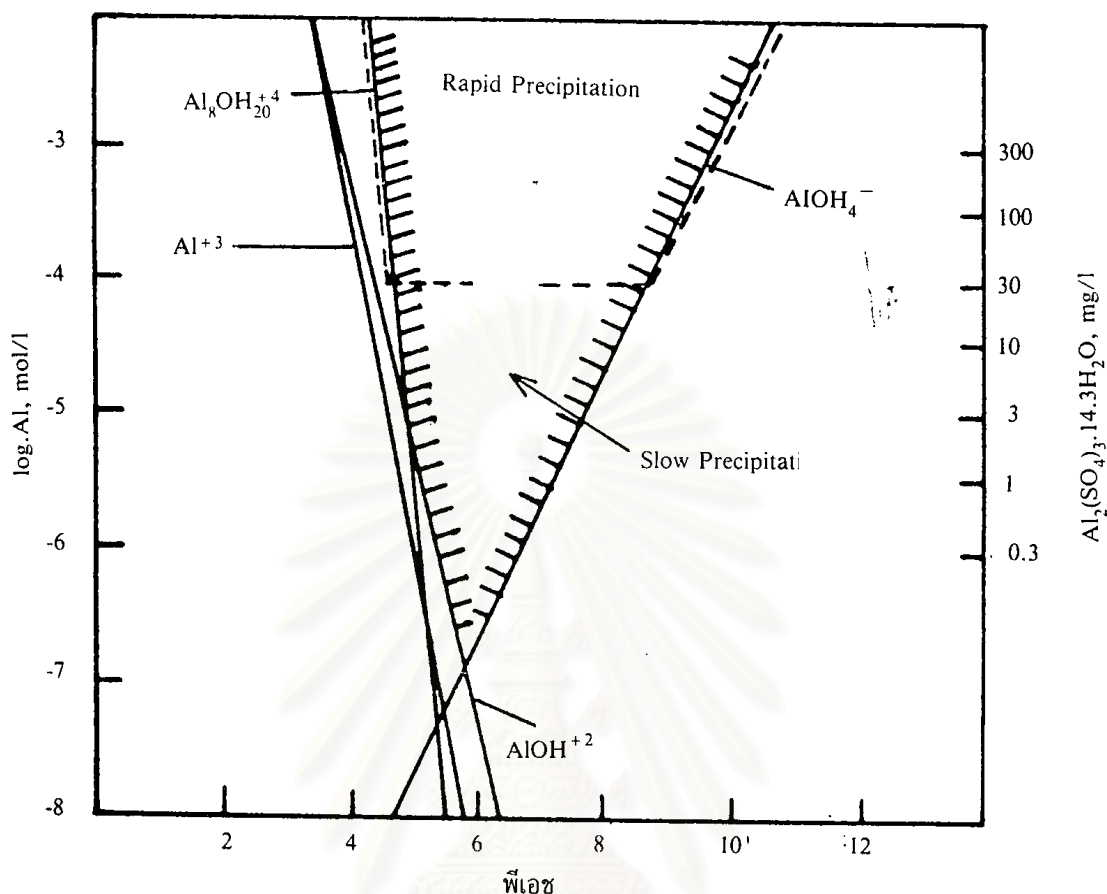
เนื่องจาก Al^{+3} มีอำนาจเป็นกรดซึ่งสามารถให้ H^+ จึงพร้อมที่จะไฮโดรไลซ์ให้เป็นไอออนต่าง ๆ ของอลูมิเนียม ซึ่งมี OH^- เป็น ligand ดังนี้



ไอออนคอมเพล็กซ์ที่กล่าวไปทั้งหมดเป็นไอออนที่มีอลูมิเนียมเพียงอะตอมเดียวเรียกว่า monomeric hydroxo complex สารดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยารวมกันกลายเป็นสารคอมเพล็กซ์ที่มีอลูมิเนียมมากกว่า 1 อะตอมซึ่งเรียกว่า polymeric hydroxo complex เช่น $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$, $\text{Al}_{17}(\text{OH})_{17}^{+4}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ และ $\text{Al}_{16}(\text{OH})_{15}^{+3}$

ในปัจจุบันผลการวิจัย (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2538) แสดงให้เห็นว่าสารคอมเพล็กซ์ของอลูมิเนียมในน้ำที่อยู่ภายใต้สภาวะปกติในระบบประปามี 4 ชนิดคือ Al^{+3} , $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ และ $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ โดยมีความสัมพันธ์กันตามสมการดังนี้





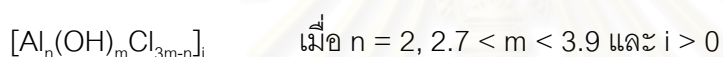
รูปที่ 2.2 stability diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มี ความขุ่น พื้นที่ภายในเส้นประเป็นบริเวณที่มีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นได้เร็ว ส่วนพื้นที่ภายนอกเส้นประแต่ยังแรงอาจอยู่ มีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (Weber, 1972 อ้างถึงโดย มั่นสิน, 2538)

รูปที่ 2.2 แสดงว่าน้ำที่มีพีเอชต่ำจะมี Al^{3+} มากที่สุด เมื่อมีพีเอชเพิ่มขึ้นจะได้ไฮดรอกไซด์คอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกลดน้อยลง เมื่อพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลางสารประกอบ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากกว่าไฮดรอกไซด์อื่น ๆ พื้นที่ในเขตที่แรเงาไว้แสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ ตามทฤษฎีอย่างไรก็ตามนักวิจัยเชื่อว่าการตกผลึกอาจเกิดขึ้นในอัตราช้ามากเมื่อใช้สารส้มน้อย เนื่องจากไม่มีสารชักนำ (seed) ดังนั้นในทางปฏิบัติจะต้องใช้สารส้มไม่น้อยกว่า 30 มก./ล. จึงจะมี $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นในความเร็วพอสมควร เมื่อพีเอชอยู่ในช่วงความเป็นด่างไฮดรอกไซด์คอมเพล็กซ์จะมีประจุลบ ด้วย

เหตุนี้การทำให้โคแอกกูเลชันด้วยสารส้มจึงควรมีพีเอชเป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย และน้ำไม่ควรมีพีเอชต่ำ เนื่องจาก Al^{+3} ไม่ดูดซับผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นแม้ว่าจะมีประจุบวกมากก็ไม่ดีเหมือนไอออนคอมเพล็กซ์อื่นที่มีประจุน้อยกว่าแต่ดูดซับผิวอนุภาคได้ และน้ำก็ไม่ควรมีพีเอชสูงเนื่องจากจะได้ไอออนที่มีประจุลบซึ่งไม่มีประโยชน์ในการทำโคแอกกูเลชันให้กับคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบเหมือนกัน

2.1.6 สารโพลีลูมินัมคลอไรด์ (PACl)

เนื่องจากการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์นั้นมักจะเกิดปัญหาทำให้ค่าพีเอชในน้ำลดต่ำลงจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในบางกรณีถึงกับต้องเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำไม่ให้พีเอชต่ำลงไปมากนัก จึงได้มีการนำสารโพลีลูมินัมคลอไรด์ หรือ PACl มาใช้แทนสารส้มเพราะไม่ทำให้เกิดปัญหาการลดลงของพีเอชโดยโพลีลูมินัมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุลเรียงต่อกันเป็นสายยาวดังนี้



เมื่อโพลีลูมินัมคลอไรด์แตกตัวจะได้ลูมิเนียมที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออน จึงเกิดการไฮโดรไลซิสของลูมิเนียมได้สารต่าง ๆ เช่น $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_6(OH)_{15}^{+3}$ เป็นต้น ซึ่งมีลูมิเนียมหลายอะตอมที่เรียกว่า polymeric hydroxo complex อันมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์ไม่เสถียร แล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น แล้วจึงตกตะกอน สมบัติของโพลีลูมินัมคลอไรด์เมื่อเป็นโคแอกกูแลนต์มีดังนี้

1. มีอำนาจในการสร้างฟล็อก, การรวมตัวของจุลฟล็อกสูง และการจมตัวเป็นไปอย่างรวดเร็ว
2. สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี
3. ในการทำงาน โพลีลูมินัมคลอไรด์จะมีช่วงพีเอชในการทำปฏิกิริยาที่กว้าง ปกติมีพีเอชอยู่ในช่วง 6-9 แต่บางกรณีสามารถตกตะกอนในช่วงพีเอช 5-10 ได้

2.1.7 โพลีเมอร์

สารโพลีเมอร์หรือสารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นกลุ่มอนุพันธ์ที่มีสมบัติเฉพาะ มีโมโนเมอร์ซึ่งสามารถนำพาประจุหรือแตกตัวเป็นไอออนทำให้เกิดสารประกอบที่มีประจุไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ อาจมีประจุ

บวก (cationic) ประจุลบ (anionic) หรือไม่มีประจุ (nonionic) โดยทั่วไปแล้วสารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 10,000 ถึง 10,000,000 ปัจจุบันมีบทบาทในการใช้งานมากขึ้นตามลำดับ ทั้งเพื่อการปรับสภาพน้ำดีและการบำบัดน้ำเสีย เราสามารถแบ่งสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ตามชนิดของประจุได้ 4 ประเภทดังนี้

2.1.7.1 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุบวก

Bratby (1980) รายงานเกี่ยวกับสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุบวกไว้ดังนี้

- 1) โพลีอามีน เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 10^5 แต่มีความเป็นประจุบวกสูง เช่น โพลีเอทีลีนอามีน โพลีเอทีลีนอิมีน (PEI) สารกลุ่มนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมกระดาษและใช้บ้างในการศึกษาปฏิกิริยารวมฟล็อก
- 2) โพลีเอทีลีนควอเทอร์นารี เป็นสารที่ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช มีความต้านทานต่อการสลายตัวโดยคลอรีนมากกว่าโพลีเมอร์ทั่วไป จึงมักมีความสำคัญในการคลอรีนน้ำดิบ
- 3) โพลีแอลฟา-ไวนิลไมดาไซลีน เป็นโพลีเมอร์พวกโพลีไซคลิกอามาดีมีโครงสร้างพิเศษสำหรับการเป็นสารรวมตะกอน ทั้งนี้เพราะมีความเป็นประจุบวกสูงมาก และมีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจนถึงสูง
- 4) ไดเมททิล อะมิโนอัลคิล อะครีลิก และเมททาไซคลิกเอสเทอร์ เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความไวในสภาพตัวกลางที่เป็นกรดหรือเบส ใช้เป็นสารรวมฟล็อก สารกลุ่มนี้ราคาค่อนข้างสูง
- 5) เอ็น-ไดอัลคิลอะมิโนอัลคิล อะครีลาไมน์ โพลีเมอร์กลุ่มนี้ได้รับความสนใจในการใช้เป็นสารรวมฟล็อกเพราะมีเสถียรภาพต่อการไฮโดรไลซิสและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง

2.1.7.2 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ประจุลบ

สารโพลีอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ที่ให้ประจุลบโดยทั่วไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึงสูงมาก (Schwayer, 1981) มักใช้เป็นสารรวมฟล็อก โพลีเมอร์ที่มีประจุลบและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีพฤติกรรมเป็นสารที่ช่วยกระจายฟล็อกในสารละลาย (dispersants) รูปแบบส่วนใหญ่มักเป็นกลุ่มคาร์บอกซิเลทไอออน ได้แก่ พวกโพลีเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิเลท เช่น ไฮโมโพลีอะครีลิกแอซิด

(homopolyacrylic acid) และพวกที่มีหมู่ซัลโฟนิคแอซิด เช่น เกลือโซเดียมของโพลีสไตรีน ซัลโฟนิคแอซิด (polystyrene sulfonic acid)

2.1.7.3 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุ

โมโนเมอร์ที่มีประจุต่ำกว่า 1 % ในสารละลายถือว่าเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุ (Schwayer, 1981) โพลีเมอร์เหล่านี้จะทำให้เกิดการรวมฟล็อก โดยใช้กลไกการสร้างสะพานเชื่อมเป็นหลัก ในการใช้งานจึงต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึงสูงมาก ตัวอย่างสารรวมตะกอนที่สำคัญได้แก่ โพลีเอททีลีนออกไซด์ และโพลีอะครีลาไมด์

2.1.7.4 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ให้ทั้งประจุบวกและลบ

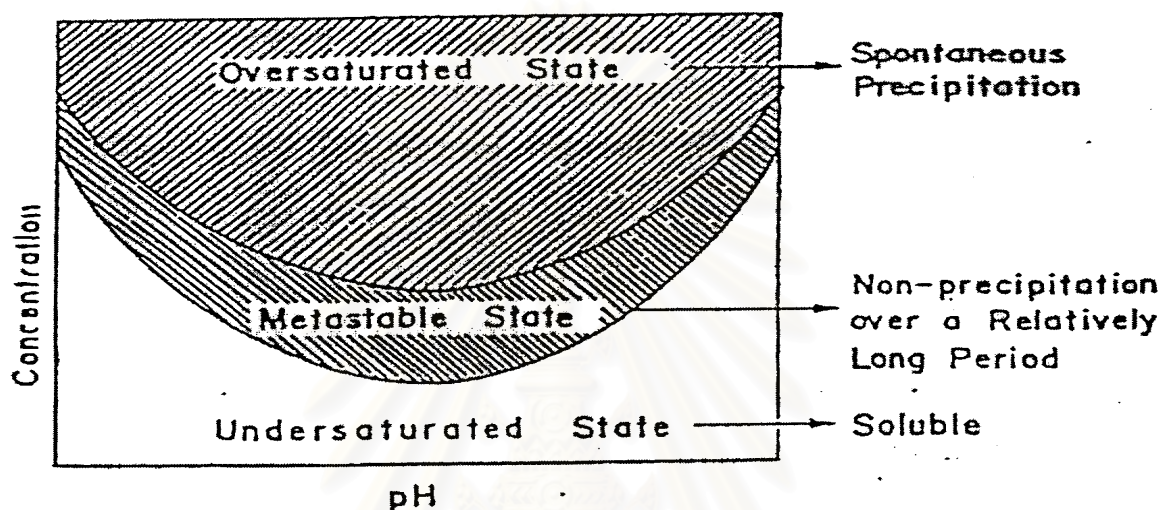
สารกลุ่มนี้เป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีทั้งกลุ่มที่มีสภาพเป็นกรด และเบส มักจะให้ประจุบวกที่มี พีเอชต่ำ ให้ประจุลบที่มีพีเอชสูง และเป็นกลางทางประจุที่ isoelectric pH เช่น สารรวมฟล็อกที่เรียกว่า switterion flocculant ซึ่งประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่ประกอบด้วยประจุบวกหรือลบอยู่มาหลายในโมเลกุล

2.1.8 เพลล็ด

2.1.8.1 สมมติฐานเบื้องต้นของการเกิดเพลล็ด

สมมติฐานหนึ่งของการสร้างเพลล็ด คือ เพลล็ดจะสามารถเกิดขึ้นได้ในขณะที่สารละลายอยู่ในสภาวะเสถียรแบบเมตาเสถียร (metastable state) กล่าวคือในสภาวะดังกล่าวความเข้มข้นสารจะมากกว่าอัตราการละลายได้ของสาร แต่ยังไม่มากพอที่จะเกิดสภาวะเกินอิ่มตัวและก่อรูปเป็นของแข็ง (precipitation) หรือเกิดในปริมาณที่น้อยมากแม้ว่าจะปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลานาน แต่เมื่อมีการเติมสารชนิดเดียวกันกับสารละลายนั้นและอยู่ในสภาวะของแข็ง (solid state) โดยให้เพิ่มเข้าอยู่ในสารละลายที่อยู่ในสภาวะเสถียรแบบเมตาเสถียร จะทำให้สารละลายเหล่านั้นเกิดการจับตัวเป็นของแข็งบนพื้นผิวของของแข็งที่เติมลงไปอย่างรวดเร็วและมีการรวมตัวเป็นของแข็งที่ใหญ่ขึ้นทันที ดังรูปที่ 3.3 จากหลักการนี้เราสามารถดัดแปลงเป็นกระบวนการกำจัดความขุ่นโดยการสร้างเพลล็ด โดยการเติมสาร โคแอกกูแลนต์ลงไปใต้น้ำขุ่น จะทำให้อนุภาคที่อยู่ในน้ำถูกทำลายเสถียรภาพเกิดเป็นจุลฟล็อก เมื่อทำให้จุลฟ

ลึอกเหล่านี้เข้าไปรวมอยู่กับเฟลลิตที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรงภายในอุปกรณัสร้างเฟลลิต ก็เกิด การจับตัวกันระหว่างจุลฟลึอกกับเฟลลิตเหล่านั้น โดยเป็นการจับกันแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one by one attachment) ทำให้ไม่มีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ภายในหรือมีน้อยมากจึงเกิดเฟลลิตที่มีความหนาแน่น สูง (Tambo and Matsui 1989)



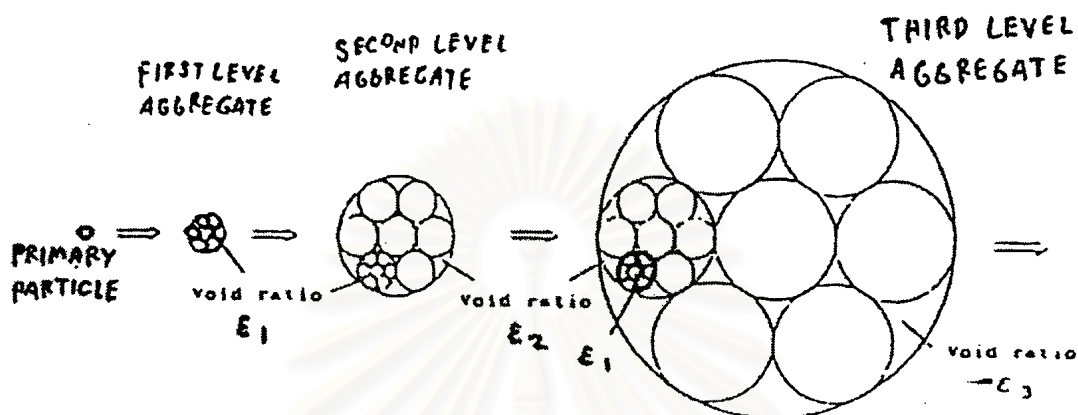
Solubility and Saturation

รูปที่ 2.3 สถานะของสารละลายเมื่อในสภาวะที่มีความเข้มข้นและพีเอชต่างกัน (Tambo and Matsui, 1989)

2.1.8.2 โครงสร้างและความหนาแน่นของเฟลลิต

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเกิดขึ้นในหลายขั้นตอนซึ่งแสดงเป็นแบบจำลองอย่างง่าย ดังรูปที่ 2.4 (Tambo and Wang, 1993) โดยในขั้นแรกอนุภาคเบื้องต้น (Primary Particle) จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของกลุ่มมวลอนุภาคขั้นต้น (first level aggregates) มีความหนาแน่นประสิทธิผล (effective density) คือ ρ จากนั้นก็จะรวมตัวเป็นกลุ่มอนุภาคอันดับสอง สาม และสี่ต่อไป ได้เป็นฟลึอกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ แต่ความหนาแน่นของฟลึอกจะลดลงเนื่องจากมีช่องว่างภายใน

ฟล็อกเพิ่มขึ้น สามารถคำนวณโดยความหนาแน่นประสิทธิผลของอนุภาคขั้นต้น กับอัตราส่วนช่องว่าง (void ratio) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้(Tambo and Wang,1993)



รูปที่ 2.4 การรวมตัวของกลุ่มอนุภาคในหลายขั้นตอน(Tambo and Wang,1993)

$$\rho_1 = \rho_0 (1 - \epsilon_1) \quad (2.13)$$

โดยที่ ρ_1 = ความหนาแน่นประสิทธิผลของการรวมตัวขั้น 1
 ρ_0 = ความหนาแน่นประสิทธิผลของอนุภาคเบื้องต้น
 ϵ_1 = อัตราส่วนช่องว่างของการรวมตัวขั้น 1

ขั้นที่สองของการรวมตัวของกลุ่มมวลอนุภาคขั้นต้นเรียกว่า กลุ่มมวลอนุภาคอันดับสอง(second level aggregates) โดยมีสมการดังนี้

$$\rho_2 = \rho_0 (1 - \epsilon_1)(1 - \epsilon_2) \quad (2.14)$$

และถ้ามีการรวมตัวไปเรื่อยๆ จะได้สมการดังนี้

$$\rho_i = \rho_{i-1} (1 - \varepsilon_i) = \rho_0 (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2) \dots (1 - \varepsilon_{i-1})(1 - \varepsilon_i) \quad (2.15)$$

ความหนาแน่นของมวลอนุภาคจะลดลงเรื่อยๆถ้ามีการรวมตัวหลายขั้นตอนตามสมการจะสามารถอธิบายการรวมตัวของกลุ่มมวลอนุภาคได้ดียิ่งขึ้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วอาจไม่สามารถอธิบายได้ด้วยวิธีอุดมคติแบบนี้ แต่อย่างไรก็ตาม สมการ 2.15 จะช่วยทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและโครงสร้างของฟลોકได้ง่ายที่สุด และจากสมการนี้เป็นแนวทางที่จะสร้างฟลોકที่อัดแน่นได้ 2 ทางคือ

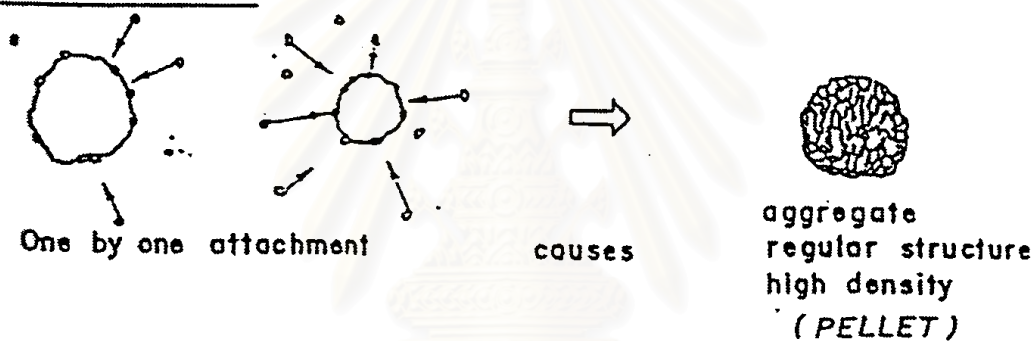
1) จำกัดขั้นของการรวมตัว ดูจากสมการ 2.15 จะพบว่าความหนาแน่นของอนุภาคจะหนาแน่นที่สุดที่การรวมตัวขั้นที่ 1 หรือ $i = 1$ จะทำให้มวลอนุภาคมีช่องว่างน้อยที่สุด และมีรูปแบบการรวมตัวของอนุภาคแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one by one attachment) ดังรูปที่ 2.5 (Tambo and Wang, 1993)

2) ลดอัตราส่วนช่องว่าง คือให้ $\varepsilon_i = 0$ ($i = 2, 3, \dots$) การจำกัดอัตราส่วนช่องว่างให้อยู่ที่ขั้นแรก เพราะการรวมตัวกันในหลายระดับ จะทำให้น้ำถูกกักอยู่ในช่องว่างภายในฟลોક เพื่อที่จะลดปริมาณน้ำที่ถูกกักอยู่ในฟลોકจึงต้องมีกระบวนการกำจัดน้ำภายในฟลอก ทำให้ฟลอกมีความหนาแน่นสูง และมีรูปแบบการรวมตัวแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ดังรูปที่ 2.5 (Tambo and Wang, 1993) กลไกที่ทำให้เกิดกระบวนการแปลงรูปของฟลอกสามารถอธิบายได้ด้วยเทคนิคการกลิ้งและเทคนิคการชน ซึ่งเสนอโดย Yusa, Suzuki and Tanaka (1975)

Oversaturated State



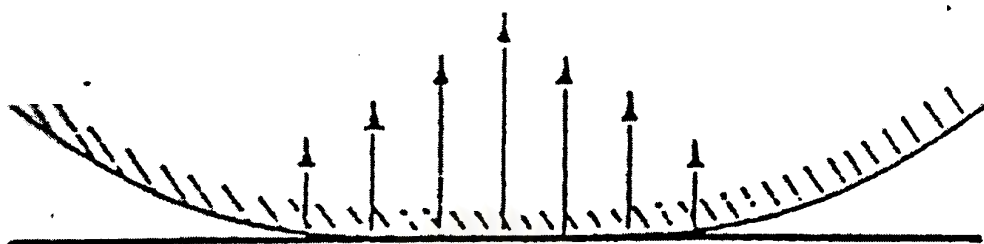
Metastable State



รูปที่ 2.5 การรวมตัวกันของเฟลลิตแบบหนึ่งต่อหนึ่งและแบบสุม (Tambo and Wang, 1993)

2.1) เทคนิคการกลิ้ง (rolling technique)

เมื่อเม็ดฟล็อกสัมผัสกับพื้นผิวที่จุดหนึ่ง ๆ ซึ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ แรงดันภายนอกจะมีค่าสูงสุด ณ บริเวณจุดกึ่งกลางของพื้นผิวสัมผัสซึ่งเป็นจุดที่ฟล็อกจะเกิดการยุบตัวมากที่สุด และแรงดันภายนอกจะค่อย ๆ ลดลงเมื่ออยู่ห่างออกไปจากจุดสัมผัสตามลำดับ ดังรูปที่ 2.6

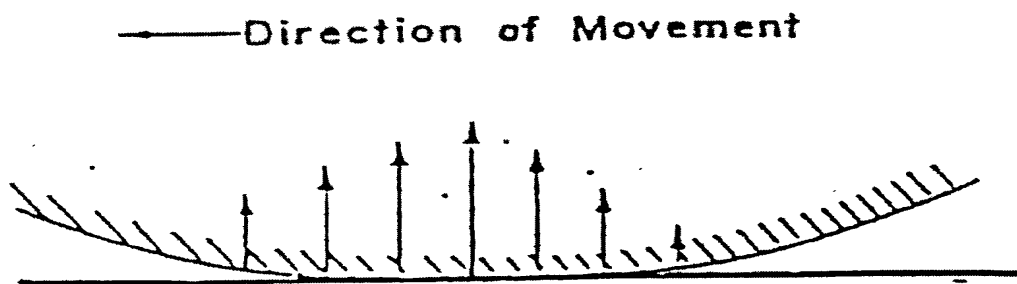


Pressure Distribution Around the Contact Area When a Floc is at Rest on a Solid Plane

รูปที่ 2.6 การกระจายของแรงเมื่อฟล็อกหยุดนิ่ง (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)

หากมีการกลิ้งฟล็อกไปข้างหน้า จุดสัมผัสถัดไปข้างหน้าของตำแหน่งเดิมจะเป็นจุดที่มีแรงดันภายนอกสูงสุด จะเห็นได้ว่าการกลิ้งฟล็อกไปบนผิวเรียบหรือโค้งทให้แรงกระทำต่อฟล็อกไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.7 ฟล็อกจึงเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเป็นผลให้น้ำซึ่งแทรกอยู่ภายในเม็ดฟล็อกถูกรีดออกมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

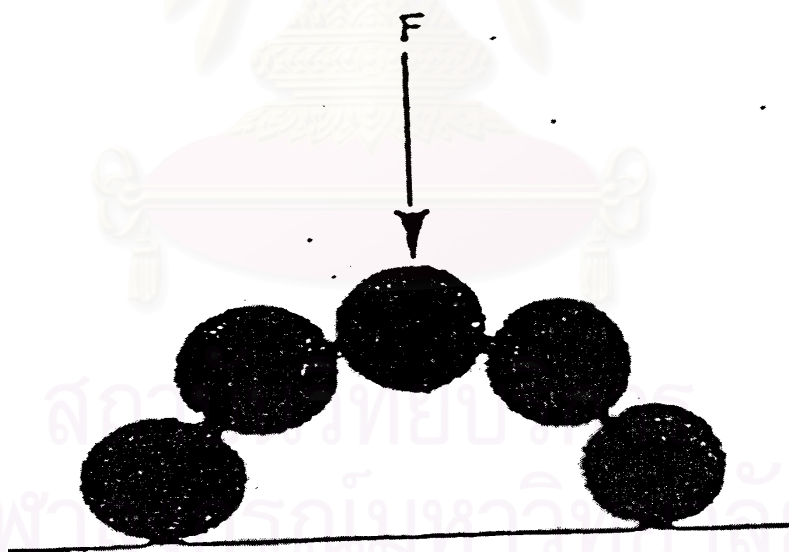


**Pressure Distribution Around
the Contact Area When a
Floc Rolls Over Along a Solid Plane**

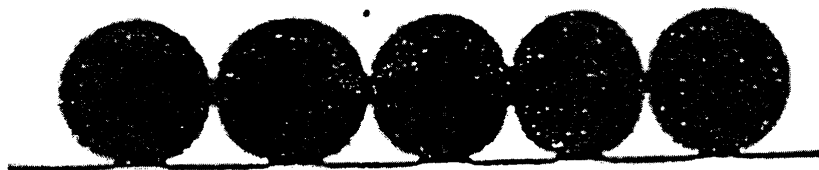
รูปที่ 2.7 การกระจายของแรงเมื่อฟล็อกกลิ้ง (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)

2.2) เทคนิคการชน (collision technique)

การบังคับให้ฟล็อกวิ่งมาชนกัน หรือชนพื้นผิวเรียบหรือผิวโค้งจะทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาคเล็ก ๆ ภายในฟล็อก ทำให้เกิดการจัดเรียงอนุภาคเล็ก ๆ ขึ้นมาใหม่ในลักษณะชิดกัน เป็นผลให้น้ำที่แทรกอยู่ภายในเม็ดฟล็อกถูก擠ออกมา ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกก่อนชน (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)



รูปที่ 2.9 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกหลังชน (Yusa, Suzuki and Tanaka, 1975)

2.1.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประสิทธิผล (effective density) และขนาดของมวลอนุภาคในชั้นตะกอน

Tambo and Wang (1993) ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประสิทธิผลและขนาดของมวลอนุภาคในชั้นตะกอนโดยใช้ดินคาโอลินความเข้มข้น 0.3, 1.0, 3.0, 10.0 ก./ล. อัตราน้ำไหลขึ้น 18 ม./ชม. อัตราการใช้อลูมิเนียมและโพลีเมอร์ตามตารางที่ 3.1 พบว่าความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ตจะเพิ่มตามความชุ่มน้ำเข้า ขนาดของจุลฟล็อกที่เกิดในชั้นกวนเร็ว (วัดโดย microphotographic) ดังตาราง 3.1 แสดงขนาดจุลฟล็อก 4 แบบ Tambo และ Watanabe (อ้างถึงโดย Tambo and Wang, 1993) ได้คำนวณเป็นสมการดังนี้

$$\rho_c = K_c \rho_0 \quad (2.10)$$

ρ_c = ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต

ρ_0 = ความหนาแน่นประสิทธิผลของจุลฟล็อก

K_c = อัตราส่วน substantial

$$= (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)(1-\epsilon_3)\dots\dots(1-\epsilon_{i-1})(1-\epsilon_i)$$

ตามอุดมคติ กลุ่มมวลรวมชั้นหนึ่ง $\epsilon = 0.40$ จะได้ $K_c = 0.60$ แต่ค่าที่ได้จากตารางที่ 2.1 K_c อยู่ระหว่าง 0.42 - 0.54 ซึ่งน้อยกว่าค่า K_c ในอุดมคติ ดังนั้นเพลเล็ตเกือบทั้งหมดจะมีโครงสร้างที่อัดแน่น

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบอัตราส่วนจุลพล็อกกับเพลเล็ตที่ค่าความขุ่นและปริมาณสารเคมีที่ใช้
(Tambo and Wang ,1993)

ความขุ่นน้ำดิบ	อัตราส่วน(X10 ⁻³)		จุลพล็อก		เพลเล็ต	
	ALT *	PT **	ขนาด(μm)	ρ ₀ (mg/cm ³)	ρ _c (mg/cm ³)	K _c
0.3 g/l	6	3	35.1	210	112	0.53
1.0 g/l	3	1.5	25.0	286	139	0.49
3.0 g/l	2	1	16.4	404	170	0.42
10.0 g/l	1	0.5	9.4	687	292	0.42

* อัตราส่วนอลูมิเนียมต่อความขุ่น ** อัตราส่วนโพลีเมอร์ต่อความขุ่น

2.2 การศึกษาที่ผ่านมา

Yusa, Suzuki และ Tanaka (1975) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Separating liquid from pellet flocculation โดยใช้โพลีเมอร์เป็นโคแอกกูแลนต์ และเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิคการกลึงและเทคนิคการชนที่ใช้พลังงานกลเล็กและไม่สม่ำเสมอกระทำต่อพล็อก ทำให้พล็อกที่อัดแน่นและแข็งแรงตกตะกอนได้เร็วและสามารถรีดน้ำออกได้ง่าย และพบว่าปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลองมีช่วงการใช้งานที่แคบเนื่องจากหากมีการใช้โพลีเมอร์มากเกินไปจะทำให้เกิดพล็อกที่ไม่แน่นมีน้ำเป็นส่วนประกอบมาก

Tambo และ Matsui (1987) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Metastable state operation for separation Fluidized Bed Pellet Separator ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ดังรูป 2.10 ใช้เกลืออลูมิเนียมเป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่พีเอชเป็นกลาง และใช้สารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบอย่างอ่อน (Acoofloc A-100 PWG) เป็นสารโคแอกกูแลนต์เอด ทำการทดลองโดยช่วงแรกใช้อัตราน้ำไหลขึ้นต่ำและเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่จนกระทั่งถึง 30 ซม./นาที ภายในเวลา 30 นาที และคงที่ไว้ที่อัตราน้ำไหลขึ้นนี้ต่อไป โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เติมเกลืออลูมิเนียม (PACl) ที่พีเอชเป็นกลางเพื่อทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ ได้เป็นฟล็อกขนาดเล็กหรืออนุภาคเบื้องต้น

2. เติมโพลีเมอร์ประจุลบอย่างอ่อนที่บริเวณส่วนล่างของชั้นฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวของฟล็อก

3. อนุภาคเบื้องต้นจะเข้าไปภายในชั้นฟลูอิดไดซ์เบดและสัมผัสกับเพลเล็ตแบบหนึ่งต่อหนึ่ง โดยในชั้นแรกซูโดเพลเล็ต (pseudo-pellet) จะถูกสร้างขึ้นจากอนุภาคเบื้องต้นโดยใช้โพลีเมอร์เป็นสารรวมฟล็อก โดยเริ่มระบบที่อัตราการน้ำไหลขึ้นต่ำและเพิ่มอัตราคงที่จนกระทั่งถึง 30 ซม./นาที่ ภายในเวลา 30 นาที และคงที่ไว้ที่อัตราการน้ำไหลขึ้นนี้ต่อไป

4. เพลเล็ตทรงกลมจะเพิ่มขนาดขึ้น โดยที่การปั่นกววนที่เหมาะสมของใบกววนในชั้นฟลูอิดไดซ์เบดจะทำลายส่วนที่โตผิดปกติของเพลเล็ตได้เป็นเพลเล็ตทรงกลมและแน่น

5. ทำการทดลองขึ้นต้นซ้ำเพื่อเปรียบเทียบผลโดยแปรค่าปริมาณอลูมิเนียม โพลีเมอร์ ความชุ่มน้ำเข้า อัตราการปั่นกววน รูปร่างและระยะห่างใบกววน

6. ทำการวัดความชุ่มน้ำเข้า น้ำออก ความดันลด คุณสมบัติของเพลเล็ตได้แก่ขนาด และความหนาแน่นเพลเล็ตที่สร้างขึ้นโดยควบคุมความเร็วน้ำไหลขึ้น

ผลการทดลองพบว่า

1. ระบบสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้กับน้ำดิบที่มีความชุ่มสูงเช่นในประเทศจีน และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยจากรูปที่ 2.11 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงสามารถผลิตน้ำที่ใสมากที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที่ และใช้เวลากักน้ำเพียง 5 นาที

2. ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวภายในระยะเวลา 6 ชม. โดยดูจากความดันลดภายในชั้นเพลเล็ตดังรูปที่ 2.12

3. หลังจากทำการทดลองได้ 6 ชม. พบว่าการโตของเพลเล็ตจะสอดคล้องกับการแตกออกและการระบายทิ้ง โดยดูได้จากการกระจายของขนาดเพลเล็ตที่ระดับต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.14

4. เพลเล็ตที่สร้างจากการทดลองนี้มีลักษณะดังรูปที่ 2.14 ซึ่งจะมีความหนาแน่นสูงกว่าฟล็อกทั่วไป โดยดูได้จากรูปที่ 2.15

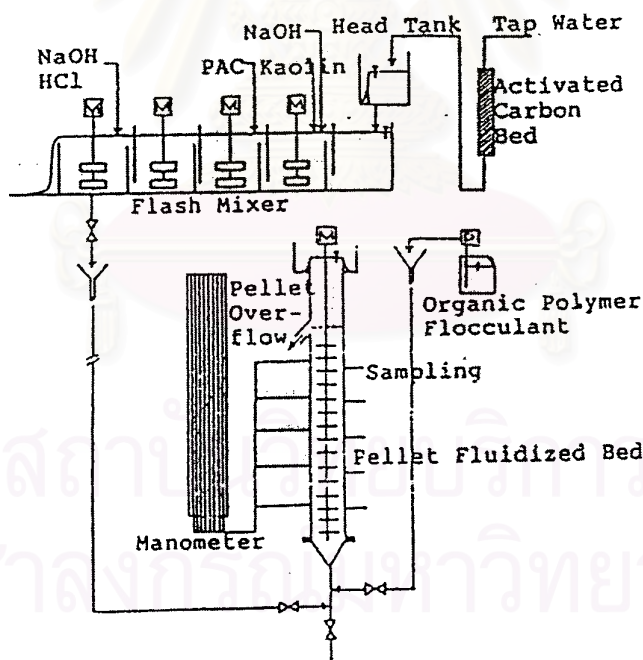
5. ขนาดและความหนาแน่นของเพลเล็ตจะขึ้นอยู่กับอัตราการปั่นกววนและระยะห่างใบกววน โดยที่อัตราการปั่นกววนสูงจะได้เพลเล็ตขนาดเล็กแต่แน่น สำหรับที่ระยะห่างใบกววนกว้างเมื่อให้พลังงานในการกววนเท่ากันเพลเล็ตจะมีขนาดเล็กเพราะมีการกระจายความปั่นป่วนไม่ทั่วถึงภายในชั้นเพลเล็ต

6. ที่ความขุ่น 3000 มก./ล. ค่าอัตราส่วนอลูมิเนียมต่อความขุ่น (ALT) และโพลีเมอร์ต่อความขุ่น (PT) ที่เหมาะสม = 0.001 แต่ที่ความขุ่น 200 มก./ล. จำเป็นต้องเพิ่มค่า ALT และ PT เป็น 0.01 เพื่อรักษาเพลเล็ตภายในชั้นฟลูอิดไดซ์ให้อยู่ต่อไปได้

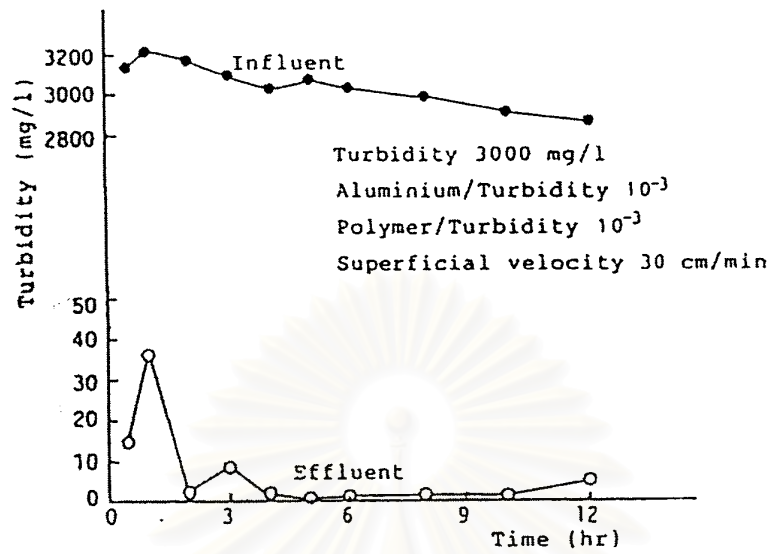
7. จุดที่เหมาะสมสำหรับเติมโพลีเมอร์คือที่บริเวณใต้ชั้นฟลูอิดไดซ์เบดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลของจุดใส่โพลีเมอร์แอนไอออน (Tambo and Matsui, 1989)

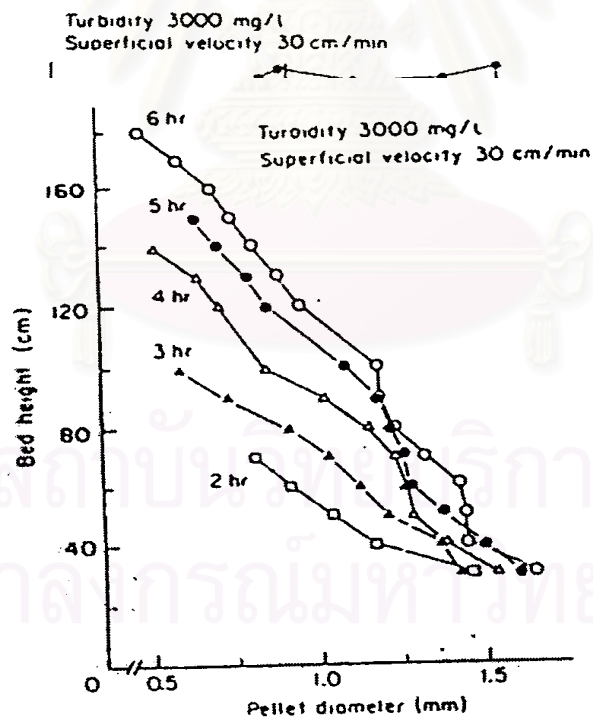
จุดเติมโพลีเมอร์	ความขุ่นน้ำผลิต(เอ็นทียู)	ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ต (ก./ซม. ³)
-ด้านล่างของฟลูอิดไดซ์เบด	<10	0.15
-ด้านล่างของถังกวนเร็ว	25	0.11
-ในถังกวนเร็ว	25	0.08
-ในถังกวนเร็วพร้อมโคแอกกูแลนต์	ไม่เกิดเพลเล็ต	-



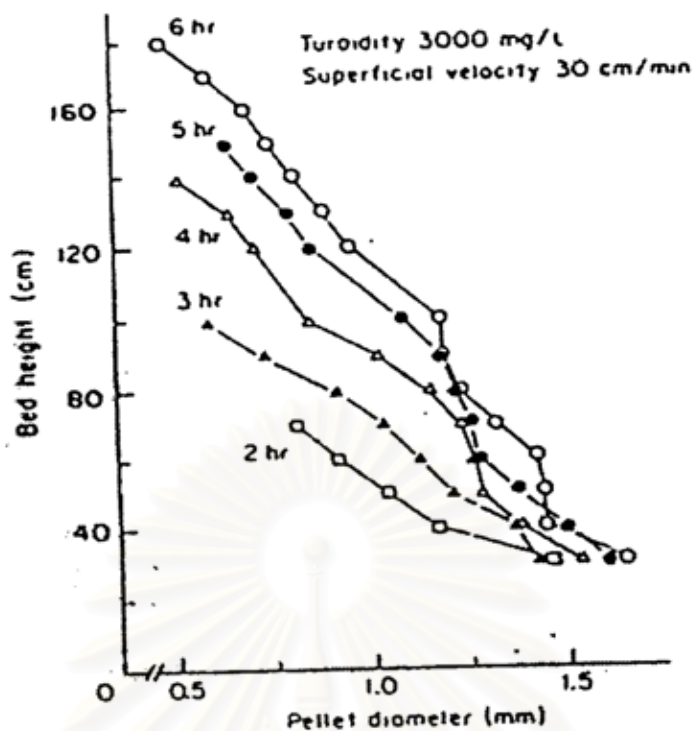
รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Tambo and Matsui, 1987)



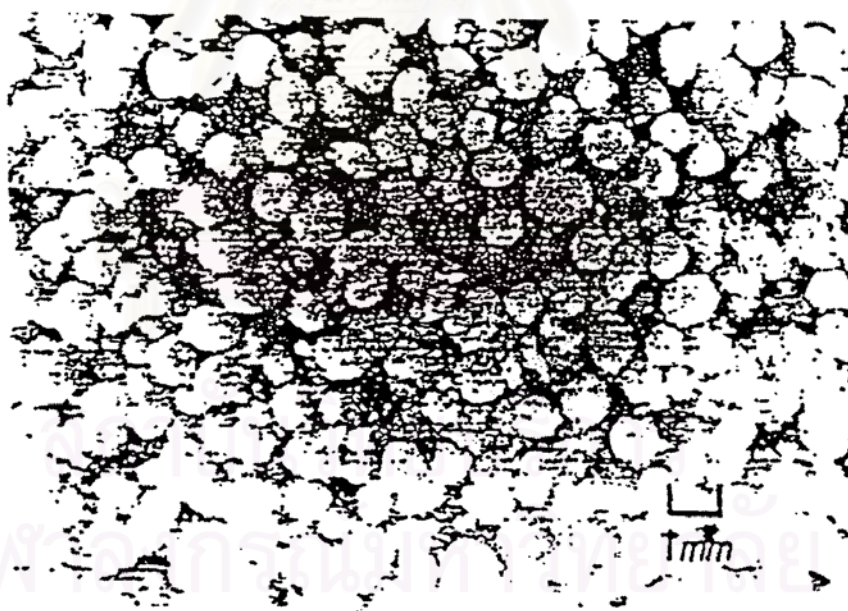
รูปที่ 2.11 ความขุ่นในน้ำก่อนเข้าระบบและหลังผ่านระบบในช่วงเวลาต่าง ๆ (Tambo and Matsui, 1987)



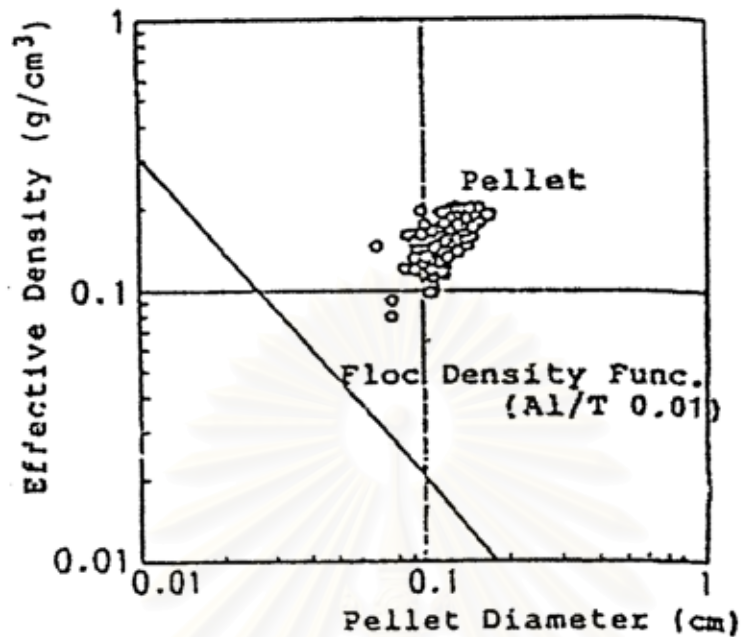
รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในช่วงเวลาต่าง ๆ (Tambo and Matsui, 1987)



รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเพลเล็ตที่ระดับต่าง ๆ (Tambo and Matsui, 1987)



รูปที่ 2.14 ลักษณะของเพลเล็ตที่สร้างได้จากการทดลอง (Tambo and Matsui, 1987)

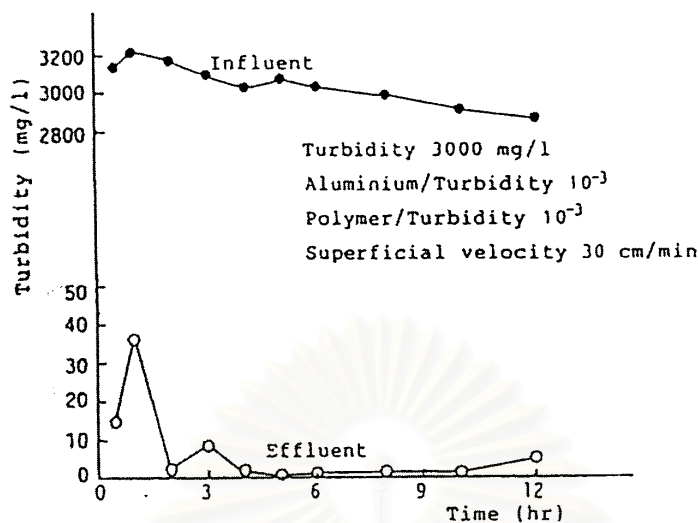


รูปที่ 2.15 ความหนาแน่นของเพลเล็ต และฟล็อกทั่วไป (Tambo and Matsui, 1987)

Tambo และ Matsui (1989) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของเครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เพลเล็ต เบดในการกำจัดของแข็งแขวนลอยความเข้มข้นสูง โดยใช้เกลืออลูมิเนียม (PACl) เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และโพลีเมอร์ชนิดประจุลบอย่างอ่อนเป็นสารโคแอกกูแลนต์เอด ทำการทดลองเป็น 2 กรณี คือที่ความ ชุ่น 3000มก./ล. และที่ 250 มก./ล. (ความชุ่นจากดินคาโอลิน) พบว่า

กรณีแรก ความชุ่น 3000มก./ล. พบว่าเมื่อใช้ $ALT = 0.001$ และ $PT = 0.001$ ที่ ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที น้ำที่ผลิตจะใสมากดังรูปที่ 2.16

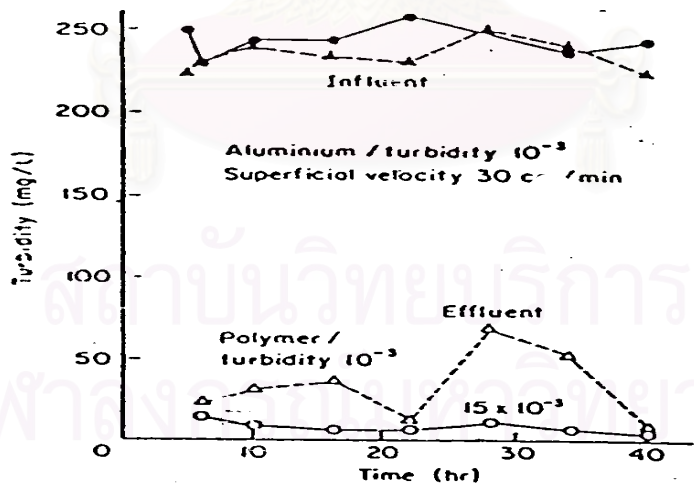
สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.16 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่าง ๆ สำหรับความขุ่นน้ำดิบประมาณ 3000 มก./ล.

(Tambo and Matsui, 1989)

กรณีที่สอง ความขุ่น 250 มก./ล. พบว่าเมื่อใช้ $ALT = 0.001$ และ $PT = 0.015$ ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที น้ำที่ผลิตจะมีความขุ่นต่ำคงที่ แต่เมื่อใช้ $ALT = 0.001$ และ $PT = 0.001$ น้ำที่ผลิตจะมีความขุ่นที่ไม่คงที่ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ความขุ่นน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่าง ๆ สำหรับความขุ่นน้ำดิบประมาณ 250 มก./ล.

(Tambo and Matsui, 1989)

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเครื่องแยกของแข็งแขวนลอยแบบใหม่นี้สามารถแยกของแข็งแขวนลอยที่ความเข้มข้นสูง 100-1000 มก./ล. ได้โดยใช้เวลากักน้ำเพียง 3-5 นาที โดยใช้ อลูมินัมเป็นสารโคแอกกูแลนต์เพียงเล็กน้อยร่วมกับโพลีเมอร์ประจุลบอย่างอ่อนในการสร้างเฟลลิตทรงกลม ความหนาแน่นสูงโดยใช้ $ALT = 0.001$ และ $PT = 0.001$ สำหรับที่ความขุ่น 1000 มก./ล. และ $ALT = 0.001$ และ $PT = 0.01$ สำหรับที่ความขุ่น 100 มก./ล. เฟลลิตที่สร้างได้มีความหนาแน่นสูงกว่าฟล็อกจากกระบวนการโคแอกกูแลชันโดยทั่วไป อีกทั้งยังสามารถรีดน้ำออกได้ดีกว่าฟล็อกธรรมดาอีกด้วย

บัณฑิต ชาญณรงค์ (2535) ได้ทำการศึกษาเรื่องการจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเฟลลิตแบบไหลขึ้น โดยมีอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.18 มีอัตราการไหลขึ้น 18 และ 24 ม./ชม. มีเวลากักน้ำสั้นมากเพียง 5 และ 38 นาที ใช้น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 50 เอ็นทียู ใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 และใช้โพลีเมอร์ประจุลบเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 โดยใช้ความเร็วการกวนใบพัดกวนน้ำที่ 5, 10 และ 15 รอบ/นาที ได้ผลการศึกษาดังนี้

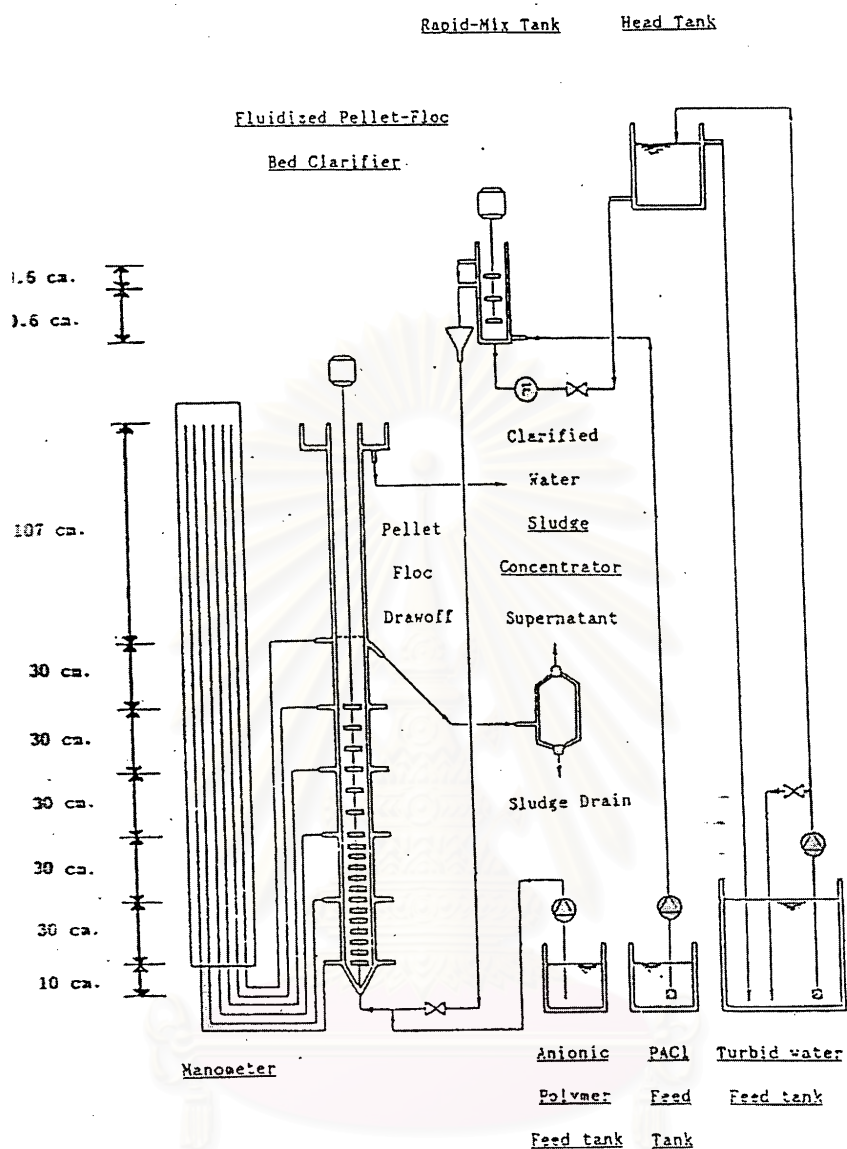
1. การใช้ PACI ปริมาณมากจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำกว่าการใช้ PACI ในปริมาณน้อย ดังนั้นการใช้ PACI ปริมาณน้อยต้องอาศัยปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มมากขึ้น จึงจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำ
2. การใช้โพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณมากจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำกว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณน้อย ดังนั้นการใช้โพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณน้อยต้องอาศัยปริมาณ PACI มากขึ้น จึงจะได้น้ำผลิตที่มีความขุ่นต่ำ
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟลลิตอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.3 มม. และความเร็วในการตกตะกอนอยู่ระหว่าง 24 – 42 ม./ชม.
4. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 24 ม./ชม. ต้องการความเร็วของใบพัดกวนช้าน้อย ในทางตรงข้ามที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 18 ม./ชม. ต้องการความเร็วของใบพัดกวนช้ามากกว่า
5. การกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเฟลลิตแบบไหลขึ้น สามารถกำจัดความขุ่นจาก 50 เอ็นทียู ได้เป็นน้ำที่มีความขุ่นต่ำกว่า 3 เอ็นทียู

6. การกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น สามารถผลิตน้ำได้มากกว่าการใช้ถังตกตะกอนแบบธรรมดาถึง 9 เท่า และมากกว่าการใช้ถังตกตะกอนแบบไซลิคคอนแทคต์ 3 เท่า

ปริญญา ณ นคร (2535) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความสูงชั้นเพลเล็ตที่ระดับต่าง ๆ (70, 90, 110 และ 130 ซม.) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นโดยมีการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) เป็นโคแอกกูแลนต์ในปริมาณ 1, 2, 3 และ 4 มก./ล.และใช้โพลีเมอร์ประจุลบเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

ในปริมาณ 0.1 มก./ล. โดยใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้น 24 ม./ชม. ใช้น้ำดิบความขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลิน 50 เอ็นทียู ทดลองที่ช่วงห่างใบพัด 4 ค่า คือ 5, 10, 15 และ 20 ซม. จากการวิจัยพบว่า

1. ปริมาณ PACI ที่ใช้ไม่มีผลมากนักต่อประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นขนาดเม็ดตะกอนและอัตราเร็วในการตกของเม็ดตะกอน
2. ผลจากช่วงห่างใบพัดที่ถี่กว่าจะให้ผลการบำบัดที่ดีกว่า



รูปที่ 2.18 อุปกรณ์การทดลองสร้างเพลเล็ต (บัณฑิต, 2535)

3. ความสูงชั้นเพลเล็ตมากขึ้นจะให้ผลการกำจัดความขุ่นดีขึ้น เนื่องจากระบบมีช่วงความยาวในการกำจัดความขุ่นที่มากขึ้น ทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีความขุ่นน้อยลง จากการวิจัยพบว่ามี ความสูงชั้นเพลเล็ต 130 ซม. เป็นความสูงที่ให้ผลการกำจัดความขุ่นดีที่สุด

4. ค่า SS มีความสัมพันธ์กับค่าความชุ่มที่ออกมาจากระบบอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ ระบบที่กำจัดความชุ่มได้ดีจะมีของแข็งแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำที่ผลิตน้อยไปด้วย ซึ่งจากการทดลองจะมีค่า SS ของน้ำผลิตอยู่ในช่วง 6.5 – 21 มก./ล.

5. การกำจัดความชุ่มโดยใช้ระบบสร้างเพลล็ด ในเงื่อนไขของตัวแปรที่ใช้ทดลองสามารถกำจัดความชุ่มของน้ำดิบที่ 50 เอ็นทียูได้ถึง 89 % โดยใช้ปริมาณ PACI สูงสุดเพียง 4 มก./ล. โพลีเมอร์ต่ำ 0.1 มก./ล. โดยระบบยังสามารถใช้อัตราไหลขึ้นได้สูงถึง 24 ม./ชม.

นฤชา ฤชุพันธ์ (2535) ได้ทำการทดลองการสร้างเพลล็ดโดยใช้สารส้มในอุปกรณ์สร้างเพลล็ด ซึ่งใช้ความชุ่มสังเคราะห์ด้วยดินคาโอลินให้มีความชุ่ม 50 เอ็นทียู ใช้สารส้มปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 มก./ล. โพลีเมอร์ประจุลบปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 18 และ 24 ม./ชม. อัตราการกวนในอุปกรณ์สร้างเพลล็ดเท่ากับ 5, 10 และ 15 รอบ/นาที จากผลการทดลองพบว่า

1. ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวภายในไม่เกิน 3 ชม. โดยจะเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วขึ้นเมื่อใช้ปริมาณโพลีเมอร์เพิ่มขึ้น

2. การเพิ่มความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบมากขึ้น ทำให้ความชุ่มของน้ำผลิตลดลง

3. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโพลีเมอร์ประจุลบในระดับที่มีความเข้มข้นต่ำ (0.05 – 0.1 มก./ล.) มีผลกระทบต่อความชุ่มของน้ำที่ผลิตมากกว่าในระดับที่มีความเข้มข้นสูง (0.2 – 0.3 มก./ล.) คือมีความชุ่มน้ำผลิตเท่ากับ 0.35 ถึง 8.5 มก./ล. และ 0.18 ถึง 1.8 ตามลำดับ

4. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 18 ม./ชม. และที่ทุกค่าความเร็วใบพัดหากต้องการให้น้ำผลิตมีความชุ่มต่ำกว่า 5 เอ็นทียู จะต้องใช้ความเข้มข้นของสารส้ม 10 ถึง 30 มก./ล. และความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ 0.05 มก./ล.

5. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 24 ม./ชม. และที่ทุกค่าความเร็วใบพัดหากต้องการให้น้ำผลิตมีความชุ่มต่ำกว่า 5 เอ็นทียู จะต้องใช้ความเข้มข้นของสารส้ม 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. ที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 18 และ 24 ม./ชม. ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบสูง คือในระดับ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. ให้ค่าความชุ่มของน้ำที่ผลิตไม่แตกต่างกันนัก แสดงว่า เมื่อความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบสูง การเปลี่ยนแปลงค่าความชุ่มของน้ำผลิตเนื่องจากการเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นลดลง

7. ที่ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบต่ำ หรือ 0.05 มก./ล. เมื่อทำการทดลองที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 24 ม./ชม. จะมีค่าความขุ่นของน้ำผลิตสูงกว่า เมื่อทำการทดลองโดยความเร็วที่ไหลขึ้น 18 ม./ชม.

8. ที่ความเร็วไหลพัดกวนน้ำสูง จะทำให้ค่าความขุ่นของน้ำผลิตสูงกว่าที่ความเร็วไหลพัดกวนน้ำต่ำ แสดงว่าการกวนน้ำที่เร็วเกินไปจะทำให้เฟลลิตแตกกลายเป็นความขุ่นตกค้างไปกับน้ำผลิต

9. อิทธิพลของความเร็วไหลพัดที่มีต่อความขุ่นของน้ำผลิตจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มขึ้น แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ สามารถลดการแตกของเฟลลิตเป็นความขุ่นตกค้างไปกับน้ำผลิต

10. เฟลลิตที่อยู่ด้านล่างของอุปกรณ์สร้างเฟลลิตมีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าเฟลลิตที่อยู่ด้านบน

11. เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงของชั้นเฟลลิตเดียวกัน เมื่อใช้ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบมาก เฟลลิตจะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบน้อย

12. เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงของชั้นเฟลลิตเดียวกัน การบำบัดน้ำด้วยความเร็วน้ำไหลขึ้น 24 ม./ชม. ได้ความเร็วในการตกตะกอนของเฟลลิตสูงกว่าเมื่อบำบัดน้ำด้วยความเร็วน้ำไหลขึ้น 18 ม./ชม.

ลัดดา ธรรมการณีย์ (2536) ทำการศึกษาลักษณะของรูปร่างและการจัดใบกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นด้วยถังน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน ทำการทดลองโดยใช้แบบทดลองในห้องปฏิบัติการ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ใช้ความขุ่นสังเคราะห์ 50 เอ็นทียู ใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ และโพลีเมอร์ประจุลบเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด พบว่าใบกวนแบบราบที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างเท่ากับ 7 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง ความเร็วรอบหมุน และระยะห่างใบกวน โดยใบกวนที่มีรูเล็กจำนวนมากให้ผลดีกว่าใบกวนที่มีรูใหญ่จำนวนน้อยที่มีพื้นที่เปิดเท่ากันและใบกวนที่มีผิวขรุขระให้ผลดีกว่าผิวเรียบ

อาชวัน อิมเอิบธรรม (2536) ทำการทดลองผลของโพลีเมอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นโดยใช้โพลีเมอร์ประจุบวก 2 ชนิด ๆ ละ 0.3 มก./ล. โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุอย่างละ 2 ชนิด

ๆ ละ 0.05, 0.1 และ 0.3 มก./ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 24 และ 36 ม./ชม. ใช้ความชุ่มชื้นเคราะห์จาก ดินคาโอดินที่ 50 เอ็นทียู จากการทดลองพบว่า

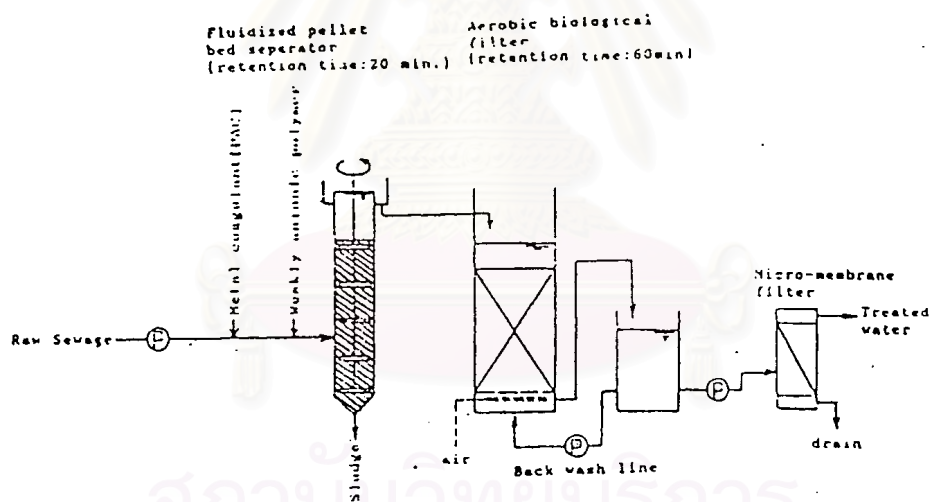
1. โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุเหมาะที่จะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดในกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้น ส่วนโพลีเมอร์ประจุบวกยังไม่ดีข้อสรุปเนื่องจากระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะคงตัว
2. ความชุ่มชื้นของน้ำผลิตที่สภาวะคงตัวมีค่าแปรผันตรงกับความเร็วน้ำไหลขึ้นแต่มีค่าแปรผกผันกับปริมาณและน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุ
3. การใช้โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุปริมาณน้อย (0.05 มก./ล.) ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวช้าและน้ำที่ผลิตมีความชุ่มชื้นสูงกว่า 5 เอ็นทียู
4. การใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณ 3 มก./ล. มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มชื้นต่ำกว่าการใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณ 1 มก./ล. เนื่องจากปริมาณลูมิเนียมมากทำให้เพลเล็ตจะเบาทำให้มีความชุ่มชื้นของน้ำผลิตสูงด้วย
5. โพลีเมอร์ไม่มีประจุ (น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 8 – 10 ล้าน) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่มชื้นสูงกว่าโพลีเมอร์ประจุลบ (น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10 – 11 ล้าน) แม้จะมีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่า
6. การใช้โพลีเมอร์ประจุลบที่มีน้ำหนักโมเลกุล 11 ล้าน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่มชื้นสูงกว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุลบที่มีน้ำหนักโมเลกุล 10 ล้าน
7. การใช้โพลีเมอร์ประจุลบและไม่มีประจุเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่มชื้น
8. ขนาดและความเร็วในการตกตะกอนของเพลเล็ตมีค่าแปรผันตรงกับปริมาณและน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์

Suzuki, Tambo และ Ozawa (1993) ทำการทดลองศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบใหม่ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบด, เครื่องกรองชีวะแบบแอโรบิก และเครื่องกรองไมโครเมมเบรน ดังรูปที่ 2.19 ในระบบนี้ ชั้นแรกสารอินทรีย์แขวนลอยจะถูกกำจัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกคูเลชันด้วยสารเคมี ซึ่งเกิดขึ้นในเครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เพลเล็ตเบดโดยใช้ความเร็วไหลขึ้น 200-300 ม./วัน สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกกำจัดในชั้นตอนนี้ ดังนั้นค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีค่าต่ำ ทำให้สามารถใช้กระบวนการทางชีวะอย่างง่าย ๆ เช่นเครื่องกรองชีวะแบบแอโรบิก ซึ่งใช้

เวลากักน้ำสั้นมากเพียง 1 ชม. ในขั้นสุดท้ายน้ำที่ผ่านออกจากเครื่องกรองซีวะจะถูกบำบัดต่อโดยเครื่องกรองไมโครเมมเบรน ทำให้สารแขวนลอยถูกกำจัดอย่างสมบูรณ์ ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าต่ำมาก ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการโคแอกกูเลชันในขั้นแรก และการนำสารอาหารไปใช้ในขั้นที่สอง และการแยกของเหลว-ของแข็งโดยสมบูรณ์ในขั้นที่สามจากการทดลองพบว่า

ใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ประมาณ 10-15 มก. Al_2O_3 / ล. และโพลีเมอร์ประจุลบประมาณ 1-2 มก./ล. ใช้เวลากักน้ำเพียง 1.5 ชม. สามารถกำจัดฟอสเฟต และบีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1. ในเครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เพลลิตเบด ฟอสเฟตและของแข็งแขวนลอยจะถูกกำจัดภายใน 20 นาที และพบว่าไม่มีฟอสเฟตเหลือจากสลัดจ์จากเครื่องแยกนี้
2. บีโอดีแขวนลอยจะถูกกำจัดในเครื่องแยกฟลูอิดไดซ์เพลลิตเบด ต่อจากนั้นเครื่องกรองซีวะจะกำจัดบีโอดีที่เหลือในเวลาอันสั้นประมาณ 1 ชม.



รูปที่ 2.19 ผังอุปกรณ์การทดลอง (Suzuki, Tambo and Ozawa, 1993)

Tambo และ Wang (1993) ได้ทำการทดลองการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชันในการกำจัดน้ำที่มีความขุ่นสูงในกระบวนการสร้างเพลลัด โดยใช้เวลาขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลิน ทำการทดลองหลายการทดลองดังนี้

1. หาอิทธิพลของอัตราส่วน ALT ทำการโดยใช้ความขุ่น 3000 มก./ล. $PT = 0.001$ แปรค่า ALT 4 ค่าคือ 0.001, 0.002, 0.003 และ 0.004 พบว่าที่ค่า ALT = 0.004 ไม่เกิดเพลลัด ส่วนที่ค่า ALT = 0.001 เกิดเพลลัดแต่เกิดเกาะติดที่ผนังกระบอกลอยและที่แกนใบ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้งาน สำหรับที่ค่า ALT = 0.002 และ 0.003 พบว่าเพลลัดเกิดขึ้นได้ดี ระบบมีความคงตัว และสามารถกำจัดความขุ่นได้อย่างดีมากโดยใช้เวลากักน้ำเพียง 5 นาที

2. หาอิทธิพลของอัตราส่วน PT ทำการโดยใช้ความขุ่น 3000 มก./ล. ALT = 0.002 แปรค่า PT 4 ค่าคือ 0.0005, 0.001, 0.0015 และ 0.002 พบว่าที่ค่า PT = 0.0005 ไม่เกิดเพลลัด และสามารถสรุปได้ว่า

- ปริมาณโพลีเมอร์ที่ใช้มีความสำคัญต่อการสร้างเพลลัด และการใช้โพลีเมอร์มากเกินไป ทำให้การลอยตัวของชั้นฟลูอิดไดซ์เบดเสียไปและเกิดกลุ่มฟล็อกขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น

- เพลลัดจะมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นสูงโดยเรียงจากตอนล่างสู่ตอนบนของชั้นเพลลัด และการใช้ค่า $PT = 0.001$ มีความเหมาะสมสำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่น 3000 มก./ล.

- ระบบสามารถทำงานได้ดีภายใต้เงื่อนไขดังนี้

ก. เพลลัดต้องมีความหนาแน่นสูง

ข. ชั้นเพลลัดต้องมีความคงตัว

ค. น้ำที่ผลิตมีความขุ่นต่ำ

3. หาอิทธิพลของชนิดโพลีเมอร์ ทำการทดลองโดยใช้โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกันแต่ต่างชนิดกันได้แก่ ชนิดไม่มีประจุ N-100 PWG ($MW 1600 \times 10^4$ Dal) ชนิดประจุลบอย่างอ่อน A-100 PWG ($MW 1700 \times 10^4$ Dal) และชนิดประจุลบอย่างแรง A-110 PWG ($MW 1600 \times 10^4$ Dal) น้ำดิบความขุ่น 3000 มก./ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 18 ม./ชม. ALT = 0.002 และ $PT = 0.001$ พบว่าชนิดของโพลีเมอร์ทั้ง 3 ชนิดไม่มีผลอย่างเด่นชัดต่อความคงตัวของระบบ ขนาด และความหนาแน่นของเพลลัด

4. ทำการทดลองจาร์เทสต์ ใช้ความขุ่นสังเคราะห์จากดินโอลิน โดยชั้นแรกเติม

อลูมิเนียม แล้วทำการกวนเร็วเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเติมโพลีเมอร์ลงไปและกวนช้าต่ออีก 15 นาที ทั้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที พบว่าปริมาณอลูมิเนียม และโพลีเมอร์ที่เหมาะสมในการสร้างเพลเล็ตสำหรับน้ำดิบที่ความขุ่นต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่า ALT และ PT ที่เหมาะสมในการสร้างเพลเล็ต (Tambo and Wang, 1993)

ความขุ่น (มก./ล.)	ALT	PT
10,000	0.001	0.0005
3,000	0.002	0.001
1,000	0.003	0.0015
300	0.006	0.003

วิจารณ์ ตันติธรรม (2537) ทำการศึกษาผลของสารส้มในการกำจัดความขุ่นโดยถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน โดยใช้แบบจำลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ใช้ความขุ่นสังเคราะห์ 50 เอ็นทียู ใช้สารส้มปริมาณ 10-30 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ และโพลีเมอร์ประจุลบปริมาณ 0.3 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอดความเร็วรอบหมุน 5-20 รอบ/นาที อัตราน้ำล้นผิว 30-60 ซม./นาที พบว่าค่าความขุ่นของน้ำผลิตขึ้นอยู่กับอัตราน้ำล้นผิว และความเข้มข้นของสารส้ม ในช่วงอัตราน้ำล้นผิว 30-45 ซม./นาที ค่าความขุ่นของน้ำผลิตจะลดลงเมื่อสารส้มเพิ่มขึ้น แต่ในช่วง 45-60 ซม./นาที ค่าความขุ่นของน้ำผลิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารส้มเพิ่มขึ้น การเพิ่มอัตราน้ำล้นผิวและ/ หรือการเพิ่มความเร็วรอบใบกวน นอกจากจะทำให้ค่าความขุ่นน้ำผลิตเพิ่มขึ้น ยังทำให้ความเข้มข้นโดยปริมาตรของตะกอนและความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในถังทำน้ำใสลดลงด้วย

คณิต ม่วงศิริ (2538) ทำการทดลองโดยใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ความเข้มข้น 1,3 และ 5 มก./ล. และใช้โพลีเมอร์ประจุลบ, โพลีเมอร์ประจุบวก, โพลีเมอร์ไม่มีประจุเข้มข้น 0.3 มก./ล เป็นโคแอกกูแลนต์เอด ความเร็วน้ำไหลขึ้น 24 ม./ชม. ตัวแปรอิสระคือพีเอช 7 ค่าที่ 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, และ 8 สังเคราะห์ความขุ่นที่ 50 เอ็นทียู โดยใช้ดินคาโอลิน จากผลการทดลองพบว่า

1. โพลีเอลูมิเนียมคลอไรด์อาศัยกลไกการดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่พีเอชต่ำ และอาศัยโครงสร้างโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่เกาะยึดอนุภาคคอลลอยด์ที่พีเอชสูง ในขณะที่โพลีเมอร์ประจุลบอาศัยกลไกการต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์ในการสร้างเพลลิต โพลีเมอร์ไม่มีประจุอาศัยการต่อเชื่อมร่วมกับการทำลายประจุ ส่วนโพลีเมอร์ประจุบวกอาศัยประจุบวกในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์และกลไกการต่อเชื่อมในการสร้างเพลลิต

2. ที่พีเอชต่ำในช่วงการวิจัย ความขุ่นของน้ำที่ผลิตมีค่าสูงกว่าที่พีเอชสูงเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญ และทุกเงื่อนไขการทดลองความขุ่นของน้ำที่ผลิตมีค่าต่ำกว่า 5 เอ็นทียู

3. พีเอชไม่มีผลต่อความเร็วในการตกตะกอนของเพลลิตและความสูงของชั้นเพลลิตแต่มีผลต่อขนาดเพลลิตอยู่บ้างแต่ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน

4. พีเอชมีผลต่อปริมาณอลูมิเนียมในน้ำ ซึ่งปริมาณอลูมิเนียมในน้ำมีค่าต่ำเมื่อค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5 – 7.0 และมีค่าไม่เกิน 200 ไมโครกรัม/ลิตร

กานตพันธุ์ พิศาลสุขสกุล (2539) ทำการศึกษาการเวียนเพลลิตเพื่อลดปริมาณความต้องการสารเคมีในการกำจัดความขุ่นด้วยกระบวนการสร้างเพลลิต โดยเวียนเพลลิตจากส่วนบนของชั้นเพลลิตกลับมาที่ส่วนล่างของอุปกรณ์สร้างเพลลิต ใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ ปริมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอด กำหนดอัตราเวียนเพลลิต 0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ของอัตราน้ำเข้าระบบ น้ำดิบจริงจากแม่น้ำเจ้าพระยาความขุ่นเปลี่ยนแปลงจาก 20 – 250 เอ็นทียู จากการวิจัยพบว่า

1. ปริมาณความต้องการสารส้มในการผลิตน้ำคุณภาพสูง (ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู) จะต่ำลงเมื่อมีการเวียนเพลลิต โดยไม่ต้องใช้สารส้มเลยในช่วงความขุ่นต่ำ (20-100 เอ็นทียู) และใช้สารส้ม 15.12 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1 มก./ล. ในช่วงน้ำดิบความขุ่นสูง

2. อัตราเวียนเพลลิตสูงขึ้นไปทำให้เพลลิตมีความเร็วจมตัวและความหนาแน่นสูงขึ้นไปโดยเพลลิตที่ความสูง 130 ซม. จะมีความหนาแน่นสูงถึง 1.39 ก./ลบ.ซม. และความเร็วจมตัว 36.44 ซม./นาที เมื่อใช้โพลีเมอร์ 0.3 มก./ล. อัตราเวียน 0.4 เมื่อทดลองในช่วงความขุ่นต่ำ

3. เวลาพักของแข็งในช่วงน้ำดิบความขุ่นต่ำมีค่าประมาณ 2.5 - 3.5 วัน และ 1.5 – 2.5 วัน ในช่วงความขุ่นสูง โดยเวลาพักของแข็งจะมีค่าต่ำเมื่ออัตราเวียนสูง

4. อัตราเวียน 0.2 ของอัตราไหลเข้า ระบบสามารถผลิตน้ำคุณภาพสูงโดยใช้ระยะเวลาสั้น ทั้งนี้ ช่วงน้ำดิบความขุ่นสูงสามารถผลิตน้ำคุณภาพสูงได้ตั้งแต่เริ่มเดินระบบเมื่อใช้สารส้ม 15.12 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก./ล.

5. เมื่ออัตราเวียนเพลลิตเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นต่อมวลเพลลิตสูงขึ้นโดยมีค่าถึง 1.06 % การกำจัดความขุ่นต่อกรัมเมื่อเวียนเพลลิตด้วยอัตรา 0.4 ของอัตราไหลเข้าขณะที่ไม่มีการเวียนเพลลิตมีค่าเพียง 0.81 % การกำจัดความขุ่นต่อกรัม

พลภัทร อรัญยกานนท์ (2540) ทำการทดลองเรื่องประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของกระบวนการสร้างเพลลิตแบบไหลขึ้นในระบบขนาดต้นแบบ ทำการทดลองในระบบขนาดใช้งานจริงโดยใช้น้ำดิบจากคลองประปาที่มีความขุ่นในช่วง 90 ถึง 250 เอ็นทียู ดังปฏิกรณ์ทำด้วยเหล็ก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ม. โดยใช้สารส้มปริมาณ 20 มก./ล. เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และโพลีเมอร์ไม่มีประจุเป็นโคแอกกูแลนต์เอด ที่อัตราน้ำไหลขึ้นอย่างน้อย 8 ม./ชม. พบว่า

1. ในการทดลองยังไม่สามารถสร้างเพลลิตได้ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมลักษณะทางกายภาพของถังปฏิกรณ์ให้มีความเหมาะสมได้ แม้จะใช้ ALT 0.005 และ PT 0.0025 ถึง 0.0098

2. การเวียนมวลของแข็งในการทดลองนี้ทำให้ระบบเสถียร อาจเนื่องมาจากเครื่องสูบน้ำที่ใช้เวียนมวลของแข็งไม่เหมาะสมทำให้มวลของแข็งแตกและกลายเป็นการเพิ่มภาระให้กับระบบ

3. อัตราการหมุนใบกวน 2 รอบ/นาที ให้ผลดีกว่าที่อัตราหมุนที่สูงกว่า และมีแนวโน้มว่าถ้าอัตราการหมุนต่ำกว่านี้จะให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

4. การเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์จาก 0.1 ถึง 0.9 มก./ล. มีผลทำให้ประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นดีขึ้น

T. Panswad (2541) ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการสร้างเพลลิตโดยการเวียนเพลลิตโดยใช้อุปกรณ์สร้างเพลลิตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 62.5 มม. สูง 2,500 มม. เริ่มต้นระบบโดยใช้ความขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลิน 3,000 มก./ล. สารส้ม 30 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุ 0.1-0.3 มก./ล. แล้วแต่การทดลอง ทำการทดลองโดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงฤดูฝนความขุ่น 100-250 เอ็นทียู และฤดูร้อนความขุ่น 30-90 เอ็นทียู อัตราเวียนเพลลิต 0.1-0.4 ของอัตราไหลเข้า พบว่า

1. ระบบสามารถผลิตน้ำที่มีความขุ่นต่ำกว่า 5 เอ็นทียู โดยใช้สารส้ม 15 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ 0.1 มก./ล. อัตราเวียนเพลลิต 0.1 ในช่วงความขุ่น 100-250 เอ็นทียู และโพลีเมอร์ 0.1 มก./ล. ที่อัตราเวียนเพลลิต 0.1 โดยไม่ใช้สารส้มในช่วงความขุ่น 30-90 เอ็นทียู

2. การเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์ทำให้สามารถเพิ่มอัตราผลิตน้ำได้เป็น 17 และ 25 ชม./นาที่ ในช่วงความชุ่ม 100-250 และ 30-90 เอ็นทียูตามลำดับ
3. การเวียนเพลลิตทำให้เกิด wash-out effect ซึ่งจะเกิดการกัดพันธุ้กำจัดเพลลิตที่มีขนาดเล็กและเบาเหลือแต่เพลลิตที่ดีที่มีความหนาแน่นสูง (1.05-1.49 ก./ลบ. ซม.)
4. การเวียนเพลลิตทำให้ความเข้มข้นของอลูมิเนียมในน้ำผลิตมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ในทุกการทดลอง

T. Panswad and S. Polwanich (2541) ทำการศึกษาการใช้กระบวนการสร้างเพลลิตขนาดนำร่องสำหรับน้ำดิบความชุ่มต่ำ โดยใช้น้ำดิบจริงจากแม่น้ำเจ้าพระยาความชุ่ม 20-240 เอ็นทียู อุปกรณ์สร้างเพลลิตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 มม. สูง 2,500 มม. อัตราน้ำไหลขึ้น 20 ชม./นาที่ เวลาถักน้ำ 12.5 นาที ใช้สารส้ม 0 - 9.2 มก. Al_2O_3 /ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ ไม่มีประจุ และประจุบวก 0.3 มก./ล. ทำการทดลองต่อเนื่อง 6 และ 72 ชม. ต่อการทดลองโดยมีการเริ่มต้นระบบโดยใช้ดินคาโอลิน 3,000 มก./ล. พบว่า

1. ใช้สารส้ม 1.53 มก. Al_2O_3 /ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ 0.3 มก./ล. สามารถผลิตน้ำที่มีความชุ่มต่ำกว่า 5 เอ็นทียู ในช่วงน้ำดิบมีความชุ่ม 20-100 เอ็นทียู และใช้สารส้ม 3.83 มก. Al_2O_3 /ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ 0.3 มก./ล. ในช่วงน้ำดิบมีความชุ่ม 100-240 เอ็นทียู
2. โพลีเมอร์ประจุบวกมีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดไม่มีประจุและชนิดประจุลบ
3. เพลลิตมีขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเรียงจากบนสู่ล่างของชั้นเพลลิต ตั้งแต่ 0.25-0.29 มม. 18.7-23 ชม./นาที่ และ 1.06-1.10 ก./ลบ. ซม. ตามลำดับ

T. Panswad and K. Areesawangkit (2542) ทำการศึกษาเรื่องอัตราภาระมวลเพลลิตและกักเพลลิตสำหรับการกำจัดความชุ่มในกระบวนการสร้างเพลลิต ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์สร้างเพลลิตขนาดนำร่อง เริ่มต้นระบบโดยใช้ดินคาโอลิน 3,000 มก./ล. ทำการทดลองต่อเนื่อง 72-84 ชม. ต่อการทดลอง โดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา ใช้สารส้ม 3-10 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก./ล. ความเร็วไหลขึ้น 9.6 และ 15 ม./ชม. ในช่วงฤดูร้อนความชุ่ม 30-60 เอ็นทียู และใช้สารส้ม 19-26 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก./ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 และ 9.6 ม./ชม. ในช่วงฤดูฝนความชุ่ม 100-200 เอ็นทียู และใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1-0.3 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ในทั้งสองกรณีพบว่า

1. มวลเพลเล็ตเพิ่มจาก 23,000 เป็น 47,000 มก./ล. ในระยะเวลาที่ทำการทดลอง 84 ชม. และระบบจะเข้าสู่สถานะคงตัวภายใน 50-70 ชม.

2. ในกรณีน้ำดิบมีความขุ่นต่ำ 30-60 เอ็นทียู ระบบสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูง (ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู) ได้โดยใช้อัตราส่วนอลูมิเนียมต่อความขุ่น (ALT) 0.004-0.015 อัตราส่วนโพลีเมอร์ต่อความขุ่น (PT) 0.0054-0.0059 อัตราการระมวลเพลเล็ต (PML) 0.40-0.76 ก.SS/วัน/ก. หรือ 0.90-1.21 NTUo/ก. และเวลากักเพลเล็ต 4.4-11.9 วัน

3. ในกรณีน้ำดิบความขุ่นสูง 100-200 เอ็นทียู ระบบสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูง(ต่ำกว่า 5 เอ็นทียู) ได้โดยใช้อัตราส่วนอลูมิเนียมต่อความขุ่น (ALT) 0.014-0.022 อัตราส่วนโพลีเมอร์ต่อความขุ่น (PT) 0.002-0.003 อัตราการระมวลเพลเล็ต (PML) 0.13-0.21 ก.SS/วัน/ก. หรือ 0.13-0.20 NTUo/ก. และเวลากักเพลเล็ต 1.3-3.7 วัน

4. ในกรณีที่ใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุเป็นโคเอกกูแลนต์ ระบบไม่สามารถผลิตน้ำคุณภาพสูงได้ (7-18 เอ็นทียู)โดยใช้อัตราส่วนโพลีเมอร์ต่อความขุ่น(PT)0.0006-0.0053

5. เพลเล็ตมีขนาดและความหนาแน่นไม่แตกต่างกันมากนักในทั้งสองกรณีคือ 0.18-0.22 มม. และ 106-1.12 ก./ลบ.ซม.

สรุป ดีประหลาด (2541)ศึกษาผลของการปั่นกวที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบ ทำการทดลองโดยใช้น้ำดิบจากโรงสูบน้ำดิบ 1 โรง ประปาบางเขน ถึงปฏิกรณ์ทำด้วยเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ม. ใช้สารส้ม 0.8 และ 1.0 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3, 0.4 และ 0.5 มก./ล. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 5.7 และ 8.5 ม./ชม. ความเร็วการกว 2, 3, 4 และ 5 รอบ/นาทีพบว่า

1. การทดลองนี้สามารถสร้างเพลเล็ตได้บางส่วนประมาณ 30% โดยน้ำหนักของมวลของแข็งทั้งหมดภายในถัง มีวิธีคำนวณมวลเพลเล็ตดังนี้

2. ความเร็วรอบกวที่เหมาะสมสำหรับระบบ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงอยู่ในช่วง 3-4 รอบ/นาที ($G = 23.9 - 36.8 \text{ s}^{-1}$ หรือ $Gt = 12,906-19872$)

3. การเพิ่มปริมาณสารโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุจาก 0.3 - 0.5 มก./ล. มีผลทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีแนวโน้มว่าถ้าใช้โพลีเมอร์ในปริมาณสูงขึ้นอีกระบบจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

บทที่ 3

แผนการดำเนินงานและการทดลอง

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการกำหนดแผนการดำเนินงานไว้ดังนี้

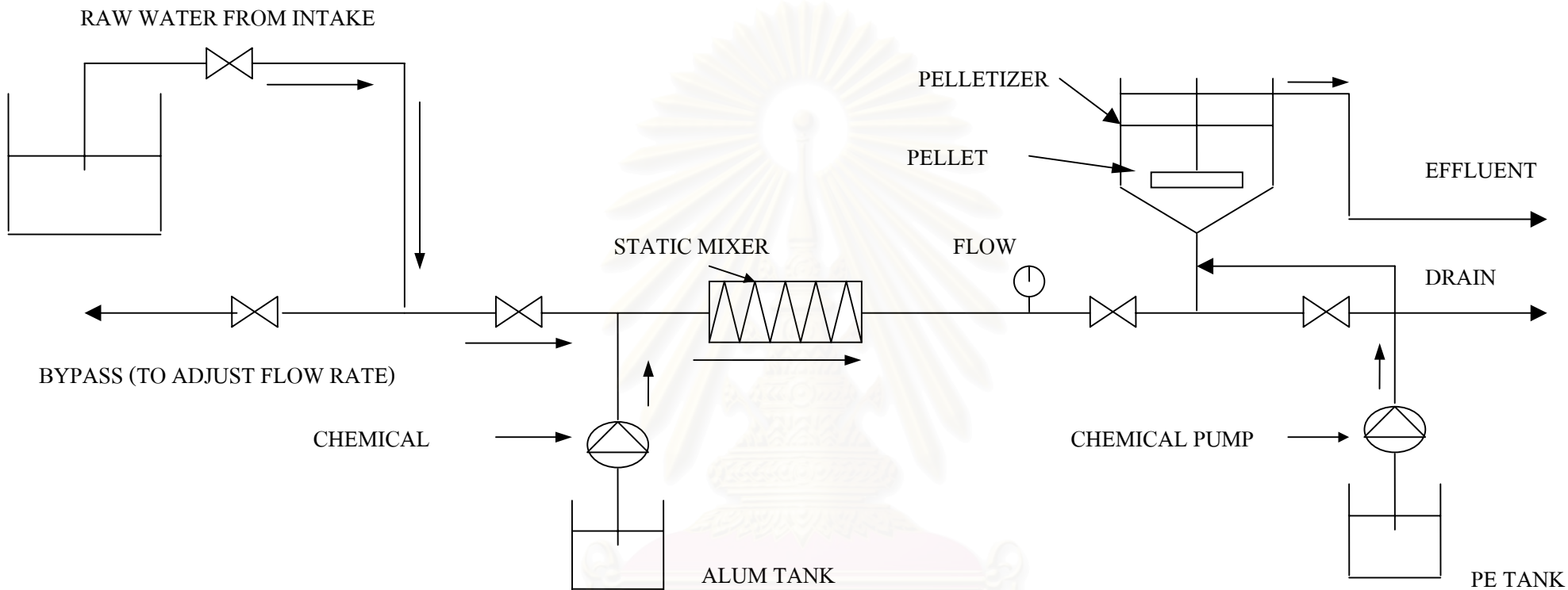
1. ติดต่อประสานงานกับทางการประปานครหลวงเพื่อขอความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมรวมถึงเครื่องมือในการวิเคราะห์
2. ทดสอบระบบและอุปกรณ์การทดลอง
3. ติดตั้งและปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบได้แก่ อุปกรณ์กวนเร็ว ใบกวน จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ถังสารเคมี และเครื่องสูบล้างสารเคมี
4. เริ่มเดินระบบโดยใช้ดินคาโอลินเป็นเป้าสัมผัสเริ่มต้น
5. ดำเนินการทดลองตามแผนการทดลอง
6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2 แผนการทดลอง

จากการทดลองทำจารทดสอบเพื่อหาปริมาณสารสัมผัสที่เหมาะสม(ตารางอยู่ในภาคผนวก ก) จะได้ว่าการใช้สารสัมผัส 37 มก./ล.จะให้ผลดีที่สุด ส่วนปริมาณโพลีเมอร์และความเร็วน้ำไหลขึ้นนั้นใช้ค่าตามเดิม (สุขุม, 2541) โดยมีแผนผังการทดลองดังรูปที่ 3.1 จะแบ่งช่วงการทดลองออกเป็น 4 ช่วงดังนี้

3.2.1 ช่วงที่ 1 ผลของรูปแบบอุปกรณ์กวนเร็ว

ทดลองใช้อุปกรณ์กวนเร็วแบบใหม่แทนอุปกรณ์กวนเร็วแบบที่เคยใช้ในการวิจัยก่อนซึ่งเป็นใบเหล็กที่มีขนาดเล็กกว่าท่อน้ำดิบนำมาตัดแล้วจึงนำมาใส่ไว้ในท่อโดยมีเชือกผูกติดไว้ เนื่องจากขณะที่น้ำไหลจะทำให้เหล็กเคลื่อนที่ไปมาจึงกวนได้ไม่สม่ำเสมอ(มีค่า $G = 700 \text{ วิ}^{-1}$) ส่วนชนิดที่ 2 เป็นท่อทำจากสแตนเลสภายในเป็นอุปกรณ์กวนเร็วเชื่อมติดกับตัวท่อไม่เคลื่อนไปมา(มีค่า G อยู่ที่ $1,000 \text{ วิ}^{-1}$) ทำให้สามารถกวนน้ำได้คงที่และสม่ำเสมอ จึงได้ทดลองเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์กวนเร็วทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบการทดลอง

สถาบันวิจัยปริวรรต
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวแปรอื่น ๆ ที่ควบคุม

1. ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 37 มก./ ล.
2. ปริมาณความเข้มข้นของโพลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุ 0.5 มก./ ล.
3. ระยะเวลา 72 ชม./ การทดลอง
4. ความเร็วน้ำไหลขึ้นในระบบ 8.5 ม./ชม.
5. จำนวนใบกวนจำนวน 4 ใบติดที่ระดับ 40 และ 60 ซม. จากกันถึงชั้นละ 2 ใบ โดยในชั้นเดียวกันจะติดใบกวนไว้ตรงกันข้าม และระหว่างชั้นจะติดตั้งฉากกันแสดงค่า G ดังตารางใน ()
6. ความขุ่นน้ำดิบประมาณ 100-250 NTU (ตามฤดูกาล)
7. ชั่วโมงที่ 0 นับจากเมื่อเลี้ยงชั้นมวลของแข็งจนถึง 150 ซม. แล้ว
8. ค่าระดับชั้นมวลของแข็งให้ไม่เกิน 150 ซม. (โดยการถ่ายมวลเพลเล็ตออกทางท่อที่ระดับ 150 ซม.)

ตารางที่ 3.1 การทดลองในช่วงที่ 1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว

อุปกรณ์กวนเร็ว	ความเร็วรอบกวน (รอบ/นาที)	
	2	3
1	M1S2 (41.79)	M1S3 (42.48)
2	M2S2 (41.79)	M2S3 (42.48)

หมายเหตุ M1 = อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 1
 M2 = อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2
 S2 = ความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาที
 () = ตัวเลขแสดงค่าความปั่นป่วน (G) ในถังสร้างเพลเล็ต, วินาที^{-1}

รวมจำนวนการทดลองในช่วงที่ 1 เท่ากับ 4 การทดลอง

3.2.1 ช่วงที่ 2 ผลของรูปแบบใบกวน และการปั่นกวน

ศึกษาการใช้ใบกวน 3 รูปแบบคือ แบบไม่เจาะรู, แบบเจาะรูขนาด 1.5 ซม. และแบบเจาะรูขนาด 3 ซม. ร่วมกับการแปรค่าความเร็วรอบกวน 2, 3 และ 4 รอบ/นาที

แนวคิด : จากการทดลองที่ผ่านมาสามารถสร้างเพลลิตได้เพียงบางส่วน โดยได้แนะนำให้ปรับเปลี่ยนรูปแบบใบพัดกวนช้า (พลภัทร, 2540) มีสมมติฐานการเจาะรูเพื่อลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของใบกวนและเพื่อให้สามารถกวนน้ำให้ทั่วถึงมากขึ้น (รูปแบบใบพัดกวนช้า 3 แบบดังรูปที่ 3.2) และได้ศึกษาการเปลี่ยนค่าความเร็วรอบกวนเพื่อให้ได้ค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่เหมาะสมในการสร้างเพลลิต ใบพัดกวนทั้ง 3 แบบมีลักษณะดังนี้

1. ใบพัดกวนขนาดกว้าง 12 ซม. ยาว 60 ซม.
2. ใบพัดกวนขนาดกว้าง 12 ซม. ยาว 60 ซม. เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. จำนวน 30 รู
3. ใบพัดกวนขนาดกว้าง 12 ซม. ยาว 60 ซม. เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 ซม. จำนวน 12 รู

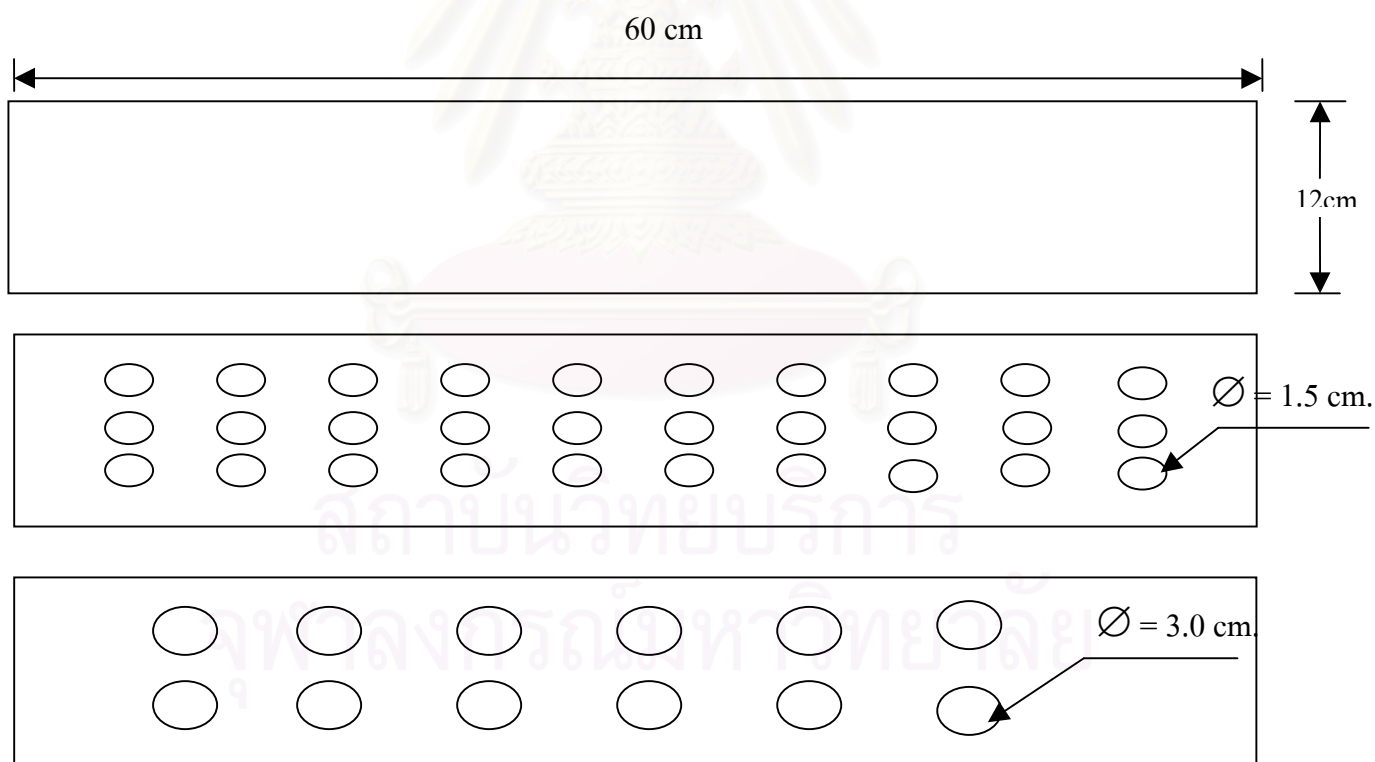
ตัวแปรอื่น ๆ ที่ควบคุม

1. ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 37 มก./ ล.
2. ปริมาณความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุ 0.5 มก./ ล.
3. ระยะเวลา 72 ชม./ การทดลอง
4. ความเร็วน้ำไหลขึ้นในระบบ 8.5 ม./ชม.
5. จำนวนใบกวนชนิดละ 4 ใบติดที่ระดับ 40 และ 60 ซม. จากกันถึงชั้นละ 2 ใบ โดยในชั้นเดียวกันจะติดใบกวนไว้ตรงกันข้าม และระหว่างชั้นจะติดตั้งฉากกัน แสดงค่า G ดังตารางใน()
6. ความขุ่นน้ำดิบประมาณ 100-250 NTU (ตามฤดูกาล)
7. ชั่วโมงที่ 0 นับจากเมื่อเลี้ยงชั้นมวลของแข็งจนถึง 150 ซม. แล้ว
8. คุมระดับชั้นมวลของแข็งให้ไม่เกิน 150 ซม. (โดยการถ่ายมวลเพลลิตออกทางท่อที่ระดับ 150 ซม.)

ตารางที่ 3.2 การทดลองในช่วงที่ 2 ผลของรูปแบบใบกวน

รูปแบบใบกวน	ความเร็วรอบกวน (รอบ/นาที)		
	2	3	4
1(ไม่เจาะรู)	P1S2 (41.8)	P1S3 (42.5)	P1S4 (42.4)
2(รู \varnothing 1.5 ซม.)	P2S2 (42.0)	P2S3 (47.3)	P2S4 (48.2)
3(รู \varnothing 3 ซม.)	P3S2 (45.3)	P3S3 (48.8)	P3S4 (49.2)

หมายเหตุ P1 = ใบกวนแบบที่ 1
 S2 = ความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาที
 () = ค่าความปั่นป่วน (G) ในถังสร้างเพลลัดด์ (ได้จากการทดลอง), วินาที^{-1}
 รวมจำนวนการทดลองในช่วงที่ 2 เท่ากับ 9 การทดลอง



รูปที่ 3.2 ใบกวนที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 รวม 3 รูปแบบ

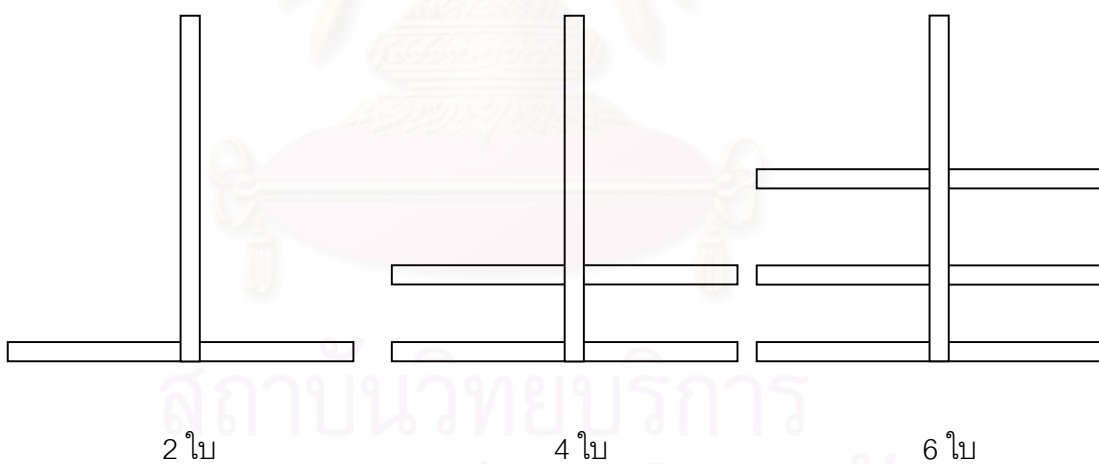
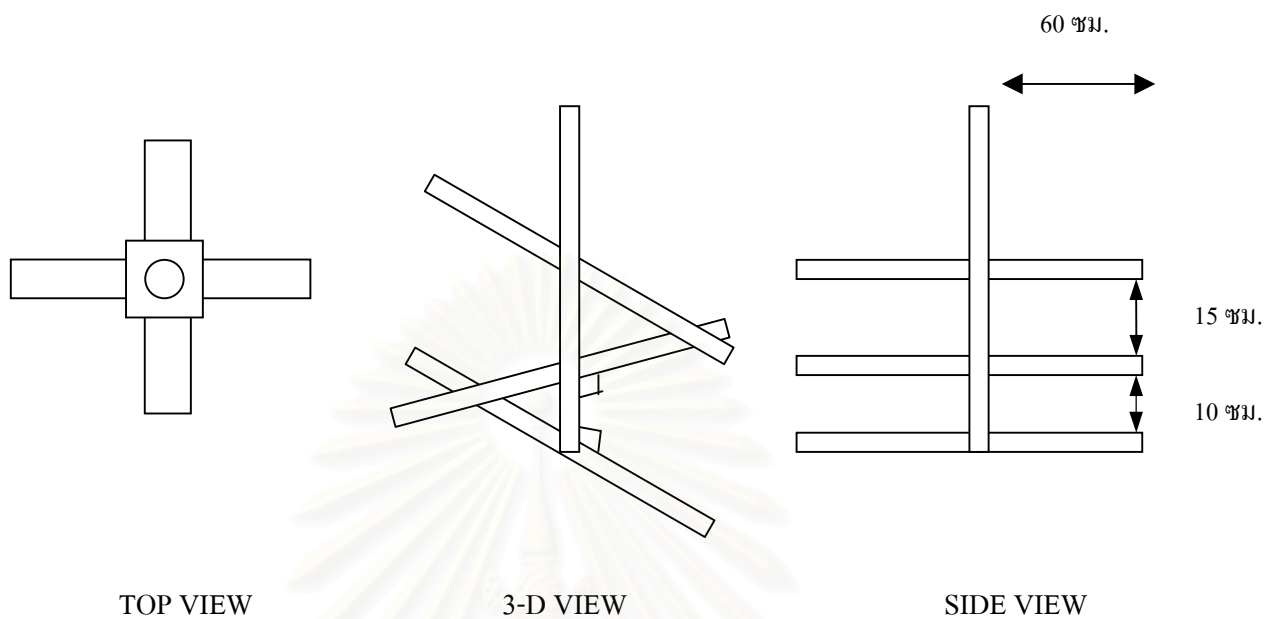
3.2.3 ช่วงที่ 3 ผลของความถี่ไบกวนและอัตราน้ำไหลขึ้น

ศึกษาการใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้นเป็น 6, 8 และ 10 ม./ชม. และเปลี่ยนจำนวนไบกวนเป็น 2, 4 และ 6 ไบ โดยให้ระยะห่างระหว่างไบกวนจากล่างสู่บนเป็น 10 และ 15 ซม.ตามลำดับดังรูปที่ 3.3

แนวคิด : จากการศึกษาความเร็วน้ำไหลขึ้นนั้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ เมื่อมีการเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตของระบบ และการศึกษาผลของการเพิ่มและการลดของจำนวนไบกวนที่มีต่อค่าความปั่นป่วนภายในถังสร้างเพลเล็ต เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ส่วนการกำหนดระยะห่างไบกวนในแต่ละชั้นที่มีระยะไม่เท่ากันนั้น เนื่องจากผลการทดลองก่อนหน้านี้ ได้สรุปผลการทดลองว่าค่าที่เหมาะสมของความถี่ของระยะห่างของการเรียงไบกวนว่าควรเรียงจากตอนล่างสู่ตอนบนมีค่ามากไปหาน้อย (ปริญญา, 2535)

ตัวแปรอื่น ๆ ที่ควบคุม

1. ปริมาณความเข้มข้นของPACI 1.0 มก./ ล.
2. ปริมาณความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุ 0.5 มก./ ล.
3. ความเร็วน้ำไหลขึ้นในระบบ 6, 8 และ 10 ม./ ชม.
4. ระยะเวลา 48 ชม./ การทดลอง
5. จำนวนไบกวน 2, 4 และ 6 ไบ
6. ความขุ่นน้ำดิบประมาณ 50-200 NTU (ตามฤดูกาล)
7. ชั่วโมงที่ 0 นับจากเมื่อเลี้ยงชั้นมวลของแข็งจนถึง 150 ซม. แล้ว
8. คุ้มระดับชั้นมวลของแข็งให้ไม่เกิน 150 ซม.



รูปที่ 3.3 ระยะห่างการจัดเรียงใบกวนของการทดลองในช่วงที่ 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 การทดลองในช่วงที่ 3 ผลของจำนวนใบกวนและอัตราการไหล

จำนวนใบกวน	ความเร็วน้ำไหลขึ้น (ม./ชม.)		
	6	8	10
2	N2V6	N2V8	N2V10
4	N4V6	N4V8	N4V10
6	N6V6	N6V8	N6V10

หมายเหตุ : N2 = ใช้ใบกวนจำนวน 2 ใบ
V6 = ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 เมตร/ชั่วโมง

รวมจำนวนการทดลองในช่วงที่ 3 เท่ากับ 9 การทดลอง

3.2.4 ช่วงที่ 4 ผลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ

ในช่วงที่ 4 นี้ได้ศึกษาการใช้สาร PACI ปริมาณ 3, 4 และ 5 มก./ล. เป็นสารโคแอกกูแลนต์ร่วมกับสารโพลีเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. เป็นสารโคแอกกูแลนต์เอด

แนวคิด : เนื่องจากทาง การประปานครหลวงได้เคยทดลองใช้สาร PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์แทนสารส้ม ซึ่งมีแนวโน้มว่าสามารถลดต้นทุนของการผลิตน้ำประปาได้ เนื่องจากใช้ปริมาณน้อยกว่า และไม่ต้องปรับค่าพีเอชของน้ำ จึงทดลองศึกษาการใช้สาร PACI กับระบบกำจัดความขุ่นโดยการสร้างเพลเล็ตขนาดต้นแบบเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของระบบนี้ สำหรับสารโพลีเมอร์ไม่มีประจุนั้นได้ศึกษาถึงการลดปริมาณลง เพราะคุณสมบัติของโพลีเมอร์ซึ่งมีมวลโมเลกุลสูงจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ตัวแปรอื่น ๆ ที่ควบคุม

1. ปริมาณความเข้มข้นของ PACI 3, 4, และ 5 มก./ ล.
2. ปริมาณความเข้มข้นของโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ ล.
3. ระยะเวลา 48 ชม./ การทดลอง

4. ความเร็วน้ำไหลขึ้น 10 ม./ชม. ค่าจากการทดลองช่วงที่ 3
5. จำนวนใบกวน 6 ใบ ค่าจากการทดลองช่วงที่ 3
6. ความขุ่นน้ำดิบประมาณ 100-250 NTU (ตามฤดูกาล)
7. ชั่วโมงที่ 0 นับจากเมื่อเลี้ยงชั้นมวลของแข็งจนถึง 150 ชม. แล้ว
8. คุณระดับชั้นมวลของแข็งให้ไม่เกิน 150 ชม.

ตารางที่ 3.4 การทดลองในช่วงที่ 4 ผลของปริมาณสารเคมี

ปริมาณ PACI (มก./ล.)	ปริมาณโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุ (มก./ล.)		
	0.1	0.2	0.3
3	A3P01	A3P02	A3P03
4	A4P01	A4P02	A4P03
5	A5P01	A5P02	A5P03

หมายเหตุ : A3 = ปริมาณ PACI 3 มก./ล.

PO1 = ปริมาณ POLYMER ชนิดไม่มีประจุ 0.1 มก./ล.

รวมจำนวนการทดลองในช่วงที่ 4 เท่ากับ 9 การทดลอง

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลองคือสารส้มน้ำ 50 % (ได้รับความอนุเคราะห์จากการประปานครหลวง)ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.5 ส่วน PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 สมบัติทั่วไปของสารส้มเหลวที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของสารส้ม	
สถานะ	ของเหลว
Al ₂ O ₃	อย่างน้อย 6.5%
Fe	ไม่เกิน 0.1 มก./กก.
As	ไม่เกิน 5 มก./กก
Mn	ไม่เกิน 50 มก./กก
Cd	ไม่เกิน มก./กก
Pb	ไม่เกิน 20 มก./กก
Hg	ไม่เกิน 0.4 มก./กก
Cr	ไม่เกิน 20 มก./กก
ความถ่วงจำเพาะ	1.265

ตารางที่ 3.6 สมบัติทั่วไปของ PACI ที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของ PACI	
สถานะ	ของเหลว
Al ₂ O ₃	อย่างน้อย 30%
Fe	ไม่เกิน 0.03 มก./กก.
As	ไม่เกิน 20 มก./กก
Mn	ไม่เกิน 75 มก./กก
Cd	ไม่เกิน 6 มก./กก
Pb	ไม่เกิน 30 มก./กก
Hg	ไม่เกิน 0.6 มก./กก
Basicity	50.0+30 %

ตารางที่ 3.7 สมบัติทั่วไปของโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง
ชื่อทางการค้า Kuriflock PN-133
ประเภท ไม่มีประจุ

สถานะ	ผงสีขาว
มวลโมเลกุล	ประมาณ 12 ล้าน
ความหนืด(cps) 0.1% สารละลาย	20-40
pH(0.1% สารละลาย)	5.5-7.5
ช่วงpH ที่ใช้งาน	5.0-8.0
อายุการเก็บเพื่อใช้งาน	1 ปี

หมายเหตุ- ข้อมูลโพลีเมอร์มาจากเอกสารประกอบสินค้าของบริษัทผู้ขาย

3.4. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. ถังปฏิกรณ์ สูง 3 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตร ทำด้วยเหล็ก พร้อมมอเตอร์ชนิดปรับรอบได้ อัตราการหมุน 2-9 รอบ/นาที
2. เครื่องกวนสถิติในเส้นท่อชนิดที่ 1 สำหรับกระบวนการกวนเร็ว ให้ได้ค่า G 700 วิ^{-1} และเครื่องกวนสถิติในเส้นท่อชนิดที่ 2 ได้ค่า G อยู่ที่ 1,000 วิ^{-1}
3. เครื่องผสมสารโพลีเมอร์ขนาด 0.5 แวงม้า หมุนเร็ว 288 รอบต่อนาที
4. เครื่องสูบลมแบบรีดสายยี่ห้อ Watson Marlow รุ่น 505S ปรับอัตราการหมุนได้ 2-220 รอบต่อนาที เพื่อจ่ายสารส้ม PACI และโพลีเมอร์ 2 เครื่อง
5. เครื่องวัดอัตราการไหล ขนาด 2 นิ้ว ยี่ห้อ KROHNE รุ่น AQUAFLUX 410K วัดอัตราการไหลได้ตั้งแต่ 2-80 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
6. ถังสารเคมีขนาด 500 ลิตร จำนวน 3 ใบ
7. ถังสารเคมีขนาด 200 ลิตร 2 ใบ

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

ตารางที่ 3.8 จุดเก็บตัวอย่างและความถี่ในการเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง
1. ความขุ่น - น้ำดิบ - น้ำผลิต	ทุก 6 ชม.
2. พีเอช - น้ำดิบ - หลังกวนเร็ว - น้ำผลิต	ทุก 6 ชม.
3. ขนาดและความเร็วในการจมตัวของเฟลล็ดระดับ 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 ซม. จากกันถึง	ทุก 12 ชม.
4. สภาพต่าง - น้ำดิบ - น้ำผลิต	ทุก 12 ชม.
5. ของแข็งแขวนลอย - น้ำดิบ - น้ำผลิต	ทุก 12 ชม.
6. ของแข็งทั้งหมด และเฟลล็ด - น้ำดิบ - ในถังสร้างเฟลล็ดที่ระดับ 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 ซม. จากกันถึง - น้ำผลิต	ทุก 12 ชม.

ช่วงเวลาการเก็บและวิเคราะห์ ตามตารางที่ 3.8 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่

1. วัดความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH รุ่น 2100N
2. วัดขนาดเพลเล็ตด้วยกล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น CHS กำลังขยาย 10 เท่า
3. ความเร็วในการจมตัวของเพลเล็ตด้วยกระบอกตวงและนาฬิกาจับเวลา
4. วัดพีเอชด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ Fisher Scientific Accumet รุ่น 910
5. สภาพต่างโดยวิธีไททริเมตริก
6. ของแข็งแขวนลอยในน้ำด้วยวิธีทำให้แห้งที่ 103- 105 องศาเซลเซียส
7. วัดค่า G โดยใช้มิเตอร์วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า
8. ความหนาแน่นประสิทธิผลหาโดยคำนวณจากขนาดและความเร็วจมตัวของเพลเล็ต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองครั้งนี้ได้แบ่งเป็น 4 ช่วงการทดลองด้วยกันคือ ช่วงที่ 1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว, ช่วงที่ 2 ผลของรูปแบบใบกวนและการปั่นกวน, ช่วงที่ 3 ผลของความถี่ใบกวนและอัตราน้ำไหลขึ้น และช่วงที่ 4 ผลของปริมาณPACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ

ในการทดลองช่วงที่ 1 เป็นการทดลองเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์กวนเร็วชนิดเดิมและอุปกรณ์กวนเร็วชนิดใหม่ซึ่งเปรียบเทียบกันโดยแปรค่าความเร็วรอบกวน 2 และ 3 รอบ/นาที

ในการทดลองช่วงที่ 2 จะใช้ใบกวน 3 แบบด้วยกันคือแบบไม่เจาะรู, แบบเจาะรูขนาด 1.5 ซม. จำนวน 30 รู และแบบเจาะรูขนาด 3 ซม. จำนวน 12 รู ร่วมกับการใช้ความเร็วรอบกวน 2, 3 และ 4 รอบ/นาที สารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ได้แก่ สารส้มมีปริมาณ 37 มก./ล.ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์เอ็ดได้แก่ สารโพลีเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.5 มก./ล. เติกระบบที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 8.5 ม./ชม.(อัตราการไหลเท่ากับ15 ลบ.ม./ชม.)

ในการทดลองช่วงที่ 3 จะทดลองเปรียบเทียบจำนวนความถี่ใบกวนที่ใช้กวน โดยมีจำนวน 2, 4 และ 6 ใบ โดยติดใบกวนเข้ากับแกนกวนชั้นละ 2 ใบ และเว้นระยะห่างระหว่างชั้น 10 และ 15 ซม. ตามลำดับ และแปรค่าความเร็วน้ำไหลขึ้นเป็น 6, 8 และ 10 ม./ชม. (อัตราการไหล 10.6, 14.1 และ 17.7 ลบ.ม./ชม.ตามลำดับ) โดยใช้ PACI ปริมาณ 1 มก./ล.เป็นสารโคแอกกูแลนต์ร่วมกับสารโพลีเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.5 มก./ล.เป็นสารโคแอกกูแลนต์เอ็ด

และสุดท้าย การทดลองช่วงที่ 4 เป็นการทดลองหาปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์ และสาร โคแอกกูแลนต์เอ็ดที่เหมาะสม โดยใช้สาร PACI ปริมาณ 3, 4 และ 5 มก./ล.เป็นสารโคแอกกูแลนต์ร่วมกับสารโพลีเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล.เป็นสารโคแอกกูแลนต์เอ็ดเพื่อทดลองการลดปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ไม่มีประจุลง

สำหรับผลการทดลอง แบ่งออกได้ดังนี้

4.1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว

เนื่องจากประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างเพลลิตแบบไหลขึ้น จะขึ้นกับค่าความปั่นป่วนในการผสมระหว่างสารเคมี(สารโคแอกกูแลนต์) กับน้ำดิบอย่างมาก ซึ่งการผสมในขั้นตอนการกวนเร็วจะมีผลต่อการสร้างตะกอนในถังปฏิกรณ์ คือ ถ้าเราสามารถผสมสารเคมีกับน้ำดิบอย่างทั่วถึง ก็จะทำให้สามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคในน้ำได้มาก ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดตะกอนมากขึ้น

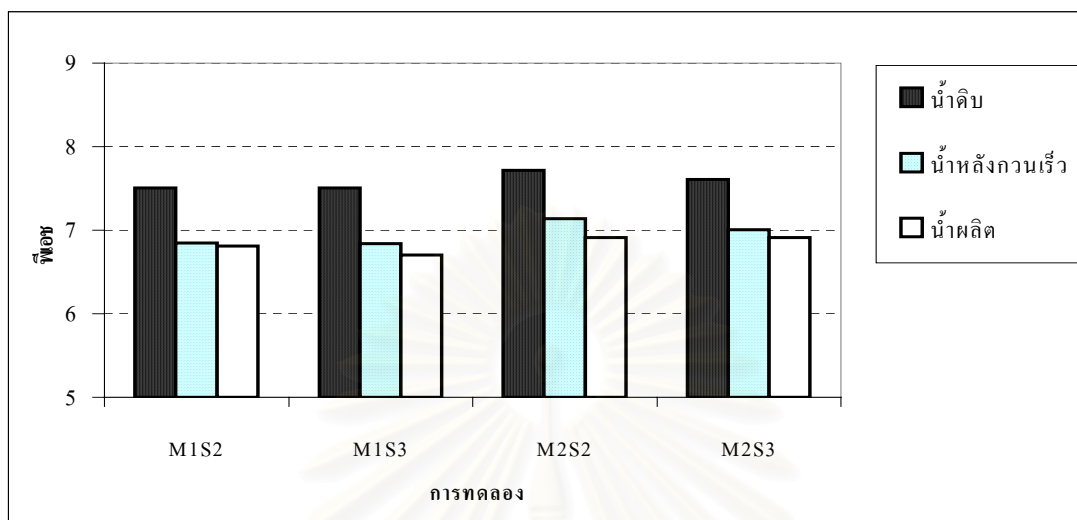
การทดลองนี้เป็นการทดลองโดยใช้อุปกรณ์กวนเร็ว 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดแรกเป็นชนิดที่ได้มีการใช้ในการวิจัยครั้งก่อน เป็นเหล็กตัดขนาดเล็กกว่าท่อแล้วนำเชือกผูกติดไว้ในท่อ เมื่อน้ำไหลจึงแกว่งไปมาทำให้กวนได้ไม่สม่ำเสมอโดยมีค่า G เท่ากับ 700 วิ^{-1} ส่วนชนิดที่ 2 เป็นท่อแอสตันเลสที่ภายในเป็นอุปกรณ์กวนเร็วเชื่อมติดกับผนังท่อจึงไม่มีการแกว่ง มีค่า G เท่ากับ $1,000 \text{ วิ}^{-1}$

4.1.1 ค่าพีเอชและสภาพต่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต

จากการทดลองโดยใช้อุปกรณ์กวนเร็วทั้ง 2 ชนิดและใช้สารส้มปริมาณ 37 มก./ล.เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ร่วมกับสารโพลีเมอร์ไม่มีประจุปริมาณ 0.5 มก./ล.เป็นสารโคแอกกูแลนต์เอ็ด โดยใบกวนช้าที่ใช้จะเป็นใบกวนแบบเรียบไม่เจาะรู และแปรค่าความเร็วรอบกวนเป็น 2 และ 3 รอบ/นาที จะได้ผลค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตดังตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1 และได้ผลสภาพต่างน้ำดิบและน้ำผลิตดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวจากการทดลองครั้งที่ 1

ชนิดอุปกรณ์กวนเร็ว	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	พีเอช		
		น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
1	2	7.51	6.85	6.81
	3	7.51	6.84	6.70
2	2	7.72	7.14	6.91
	3	7.61	7.01	6.91



รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตที่สภาวะคงตัวจากการทดลองช่วงที่ 1

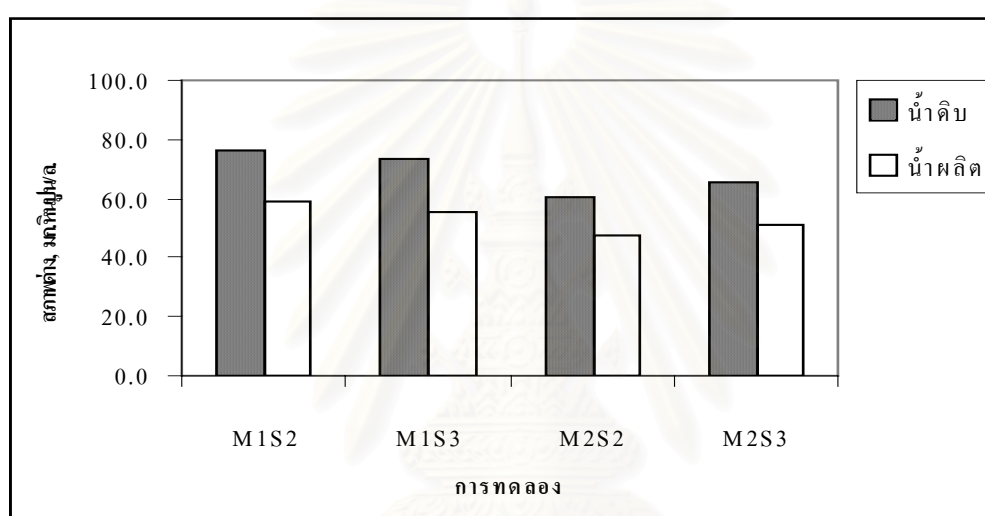
ตารางที่ 4.2 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตที่สภาวะคงตัวจากการทดลองช่วงที่ 1

ชนิดอุปกรณ์กวนเร็ว	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	สภาพต่าง, มก.หินปูน/ล.	
		น้ำดิบ	น้ำผลิต
1	2	76.3	59.3
	3	73.5	55.8
2	2	60.5	47.8
	3	65.5	51.3

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าพีเอชน้ำหลังกวนเร็วจะมีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชน้ำดิบอยู่ประมาณ 0.58-0.76 ซึ่งอธิบายได้ว่าหลังจากที่เติมสารส้มในน้ำดิบและผ่านขั้นตอนการกวนเร็วจึงทำให้เกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิสค่าพีเอชของน้ำหลังกวนเร็วจึงลดลง ส่วนค่าพีเอชของน้ำผลิตจะมีค่า

ต่ำกว่าน้ำหลังกวนเร็วประมาณ 0.04-0.23 การที่ค่าพีเอชลดลงนั้นเนื่องมาจากความปั่นป่วนในถังสร้างเพลิงที่มีผลทำให้ฟล็อกและเพลิงต์บางส่วนภายในถังแตกออกจึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอีกครั้ง ค่าพีเอชจึงลดลงเล็กน้อย

ส่วนค่าสภาพต่างน้ำผลิตนั้นจะมีค่าลดลงและต่ำกว่าค่าสภาพต่างน้ำดิบอยู่ประมาณ 12.7-17.7 มก.หินปูน/ล. สาเหตุของการลดลงนั้นอธิบายได้เหมือนกรณีของค่าพีเอชที่ลดลง และจากการเปลี่ยนอุปกรณ์กวนเร็วและความเร็วรอบในการกวนช้า พบว่าไม่มีผลต่อค่าพีเอชและสภาพต่าง



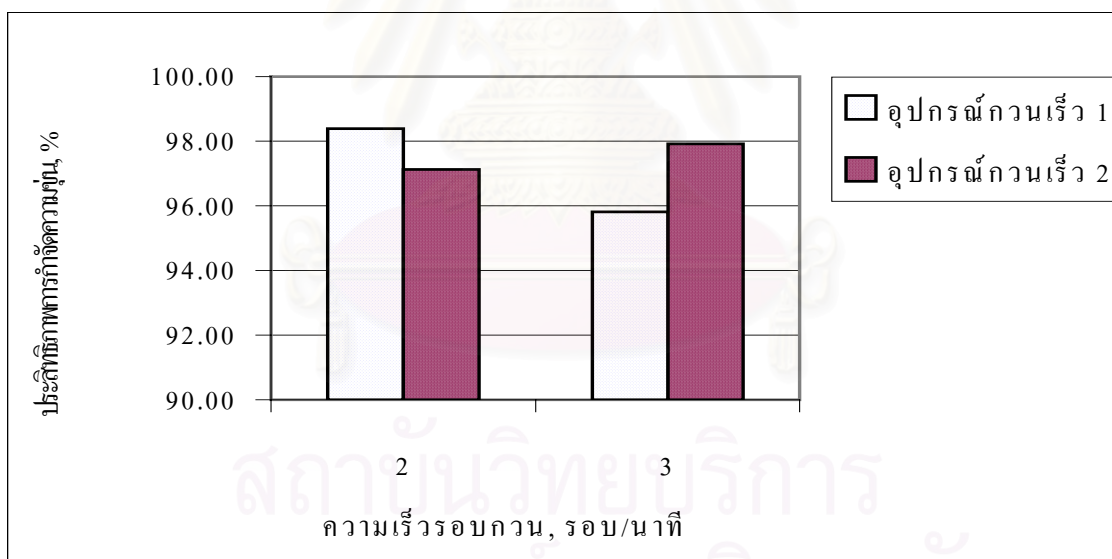
รูปที่ 4.2 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตโดยเฉลี่ยที่ชม. 36-72 จากการทดลองช่วงที่ 1

4.1.2 อิทธิพลของอุปกรณ์กวนเร็วต่อความขุ่นน้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

จากการทดลองโดยใช้อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 1 และ 2 ใช้ใบกวนแบบที่ 1 สำหรับการกวนช้า และใช้ความเร็วรอบกวน 2 และ 3 รอบ/นาที ได้ค่าความขุ่นน้ำดิบ น้ำผลิตและ ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าระบบสามารถกำจัดความขุ่นได้สูง มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นอยู่ในช่วง 95.81-98.39 % โดยรวมแล้วอุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 สามารถให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าแบบที่ 1 เล็กน้อยและเปอร์เซ็นต์เพลิงต์ที่ได้จากอุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 จะมีค่าสูงกว่าของแบบที่ 1 ด้วยซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.1.3

ตารางที่ 4.3 ความชุ่มน้ำดิบ น้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มที่สภาวะคงตัว
จากการทดลองช่วงที่ 1

ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	อุปกรณ์กวนเร็ว	ความชุ่ม, เอ็นทียู		ประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่ม, %
		น้ำดิบ	น้ำผลิต	
2	1	162.4	6.8	95.81
	2	130.6	2.1	98.39
3	1	110.6	2.3	97.92
	2	402.9	11.6	97.12



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 1

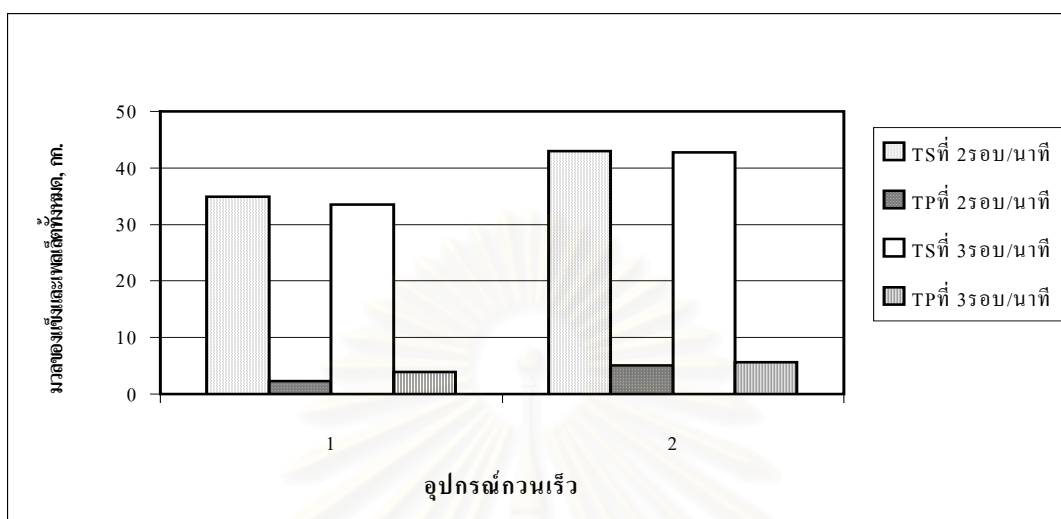
4.1.3 อิทธิพลของอุปกรณ์กวนเร็วต่อมวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลลิต

จากผลการทดลองตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงค่ามวลของแข็งทั้งหมด, มวลเพลลิต และเปอร์เซ็นต์เพลลิต โดยมวลของแข็งทั้งหมดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 33.52 – 43.01 กก., มวลเพลลิต จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.3 – 5.6 กก. และเปอร์เซ็นต์เพลลิตมีค่าอยู่ระหว่าง 6.6 – 13.1 %

ตารางที่ 4.4 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลลิตที่สภาวะคงตัว การทดลองครั้งที่ 1

ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	อุปกรณ์กวนเร็ว	มวลของแข็งทั้งหมด, กก.	มวลเพลลิต, กก.	เปอร์เซ็นต์เพลลิต, %
2	1	34.86	2.3	6.60
	2	43.01	5.02	11.67
3	1	33.52	3.88	11.58
	2	42.76	5.60	13.10

จากการทดลองพบว่ามวลของแข็งทั้งหมด, มวลเพลลิต และเปอร์เซ็นต์เพลลิตจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในการทดลองที่ใช้อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 ที่ความเร็วรอบกวนทั้ง 2 ค่า จากข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นได้ว่าอุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 สามารถให้ค่าความปั่นป่วนในการกวนเหมาะสมกว่าแบบที่ 1 จึงสามารถกระจายสารเคมีในน้ำดิบได้ทั่วถึงกว่าอนุภาคจึงถูกทำลายเสถียรภาพและรวมตัวกันได้มากกว่าทำให้ได้ค่ามวลของแข็งทั้งหมดและเพลลิตเกิดขึ้นได้มากกว่า



รูปที่ 4.4 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลลิตที่สภาวะคงตัว การทดลองครั้งที่ 1

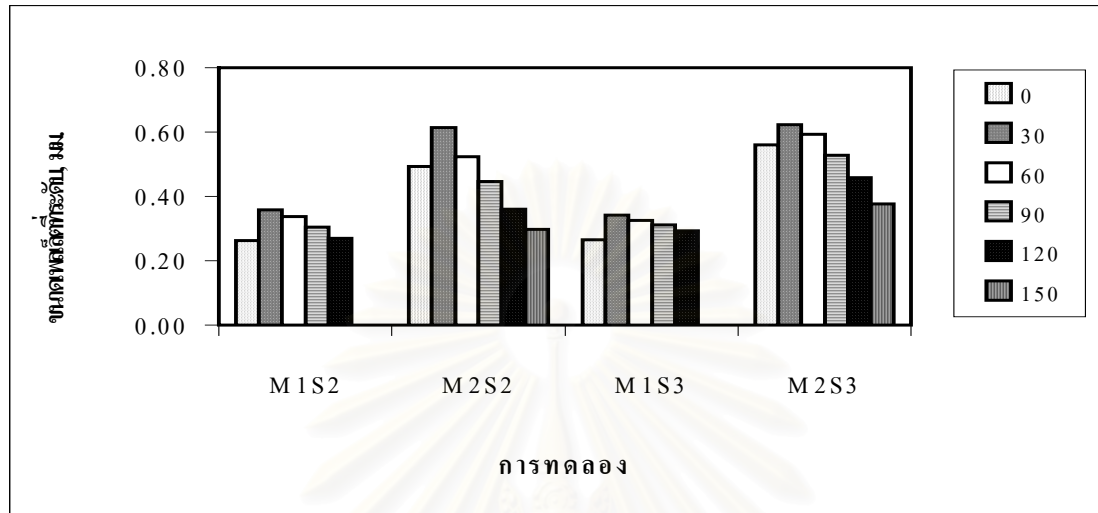
4.14 อิทธิพลของอุปกรณ์กวนเร็วต่อขนาด ความเร็วจมตัวและความหนาแน่น ประสิทธิภาพของเพลลิต

จากผลการทดลองตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงค่าของขนาดและความเร็วจมตัวของเพลลิต เมื่อใช้อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 เพลลิตจะมีค่าขนาดและความเร็วจมตัวมากกว่าเมื่อใช้อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 1 อธิบายเหตุผลได้เหมือนกับค่ามวลของแข็งและมวลเพลลิตคือ อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 จะมีค่าความปั่นป่วนในการกวนเหมาะสมกว่าแบบที่ 1 จึงทำให้อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพมีจำนวนมากขึ้น จึงสามารถรวมตัวกันได้มากขึ้นทำให้ได้ขนาดและความเร็วจมตัวของเพลลิตสูงขึ้น ส่วนความหนาแน่นประสิทธิภาพเพลลิตของอุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 1 จะมีค่ามากกว่า แบบที่ 2 อธิบายได้ว่าการทดลองที่ใช้อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 นั้นน้ำดิบจะมีความขุ่นสูงซึ่งทำให้การรวมตัวของเพลลิตเป็นไปตามการรวมตัวแบบสุ่ม (Tambo and Wang, 1993) ดังนั้นเพลลิตจึงมีความหนาแน่นต่ำ

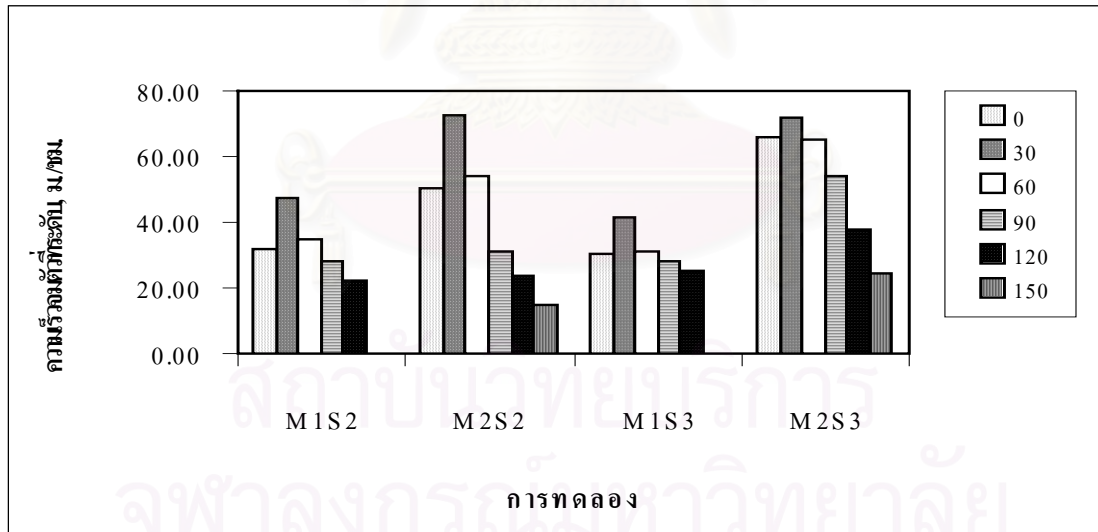
ตารางที่ 4.5 ขนาด ความเร็วจมตัวและความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลลิตที่ระดับต่าง ๆ ที่
สภาวะคงตัว การทดลองช่วงที่ 1

ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	อุปกรณ์กวนเร็ว	ขนาดเพลลิตที่ระดับ, มม.					
		0	30	60	90	120	150
2	1	0.26	0.36	0.34	0.31	0.27	-
	2	0.49	0.62	0.52	0.45	0.36	0.30
3	1	0.27	0.34	0.33	0.31	0.29	-
	2	0.56	0.62	0.59	0.53	0.46	0.38
ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	อุปกรณ์กวนเร็ว	ความเร็วจมตัวเพลลิตที่ระดับ, ม./ชม.					
		0	30	60	90	120	150
2	1	32.03	47.14	35.13	28.49	22.39	-
	2	50.08	72.40	53.96	31.06	23.43	14.85
3	1	30.53	41.30	31.37	28.39	25.09	-
	2	65.64	72.02	65.53	53.95	37.97	24.52
ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	อุปกรณ์กวนเร็ว	ความหนาแน่นประสิทธิผลเพลลิตที่ระดับ, ก./ลบ.ชม.					
		0	30	60	90	120	150
2	1	0.22	0.17	0.14	0.14	0.14	-
	2	0.10	0.09	0.09	0.07	0.08	0.08
3	1	0.21	0.16	0.14	0.13	0.14	-
	2	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08

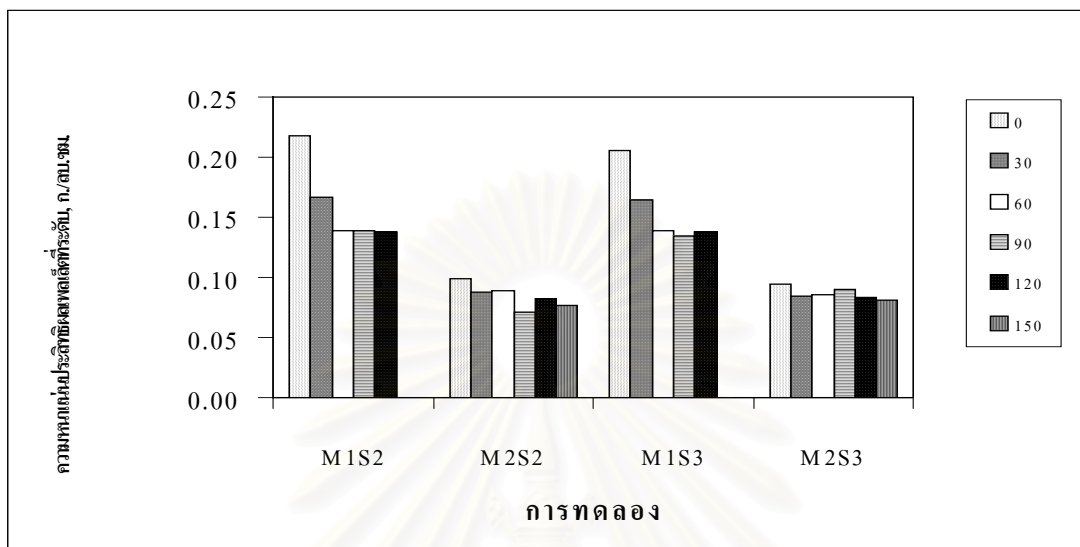
- : ไม่สามารถวัดค่าข้อมูลได้



รูปที่ 4.5 ขนาดของเพลลิตที่ระดับต่าง ๆ โดยเฉลี่ยที่การทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.6 ความเร็วเฉลี่ยของเพลลิตที่ระดับต่าง ๆ โดยเฉลี่ยที่การทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.7 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลลิตที่ระดับต่าง ๆ โดยเฉลี่ยที่การทดลองครั้งที่ 1

ผลของอุปกรณ์กวนเร็วที่มีต่อกระบวนการสร้างเพลลิตแบบไหลขึ้น โดยการวิเคราะห์ข้อมูล การทดลองทั้งหมดคือ ค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น, มวลของแข็งทั้งหมด, มวลเพลลิต, เปอร์เซ็นต์เพลลิต, ขนาด, ความเร็วจมตัวและความหนาแน่นของเพลลิต ดังแสดงในตารางที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 และรูปที่ 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 จะได้ว่ามวลของแข็งทั้งหมด, มวลเพลลิต, เปอร์เซ็นต์เพลลิต, ขนาด, ความเร็วจมตัวและความหนาแน่นของเพลลิตมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้อุปกรณ์ กวนเร็วชนิดที่ 2 จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 จะให้ค่าความปั่นป่วนที่เหมาะสมมากกว่า อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 1 ช่วยให้อนุภาคความขุ่นในน้ำดิบเกิดการผสมกับสารโคแอกกูแลนต์ได้ดี ดังนั้นจึงเลือกใช้อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 ในการทดลองช่วงต่อไป

4.2 ผลของรูปแบบใบกวนและการปั่นกวน

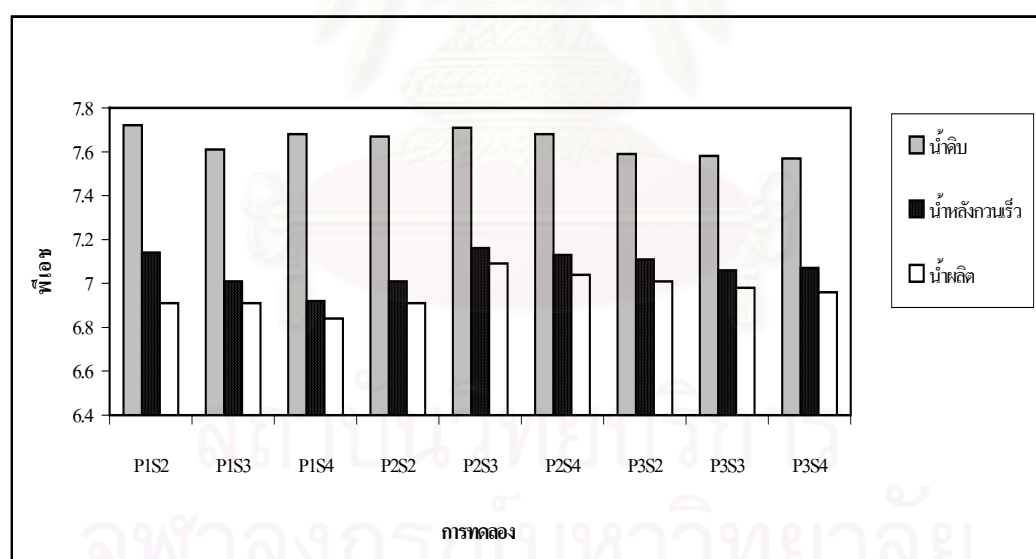
การทดลองนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ใบพัดกวนช้า 3 รูปแบบเป็นใบเรียบทำจากเหล็กขนาด 12 ซม. x 60 ซม. ได้แก่ แบบที่ 1 ไม่มีการเจาะรู (ค่า $G = 41.8, 42.5$ และ 42.4 วิ⁻¹ หรือ $Gt = 22572, 22950,$ และ 22896) แบบที่ 2 มีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. ($G = 42, 47.3, 48.2$ วิ⁻¹ หรือ $Gt = 22680, 25542$ และ 26028) และแบบที่ 3 มีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 ซม. ($G = 45.3, 48.8, 49.2$ วิ⁻¹ หรือ $Gt = 24462, 26352$ และ 26568) (รูปในภาคผนวก ข.) โดยใช้ความเร็วรอบกวน 2, 3 และ 4 รอบ/นาที และใช้อุปกรณ์กวนเร็วแบบที่ 2 ซึ่งได้จากการทดลองในช่วงที่ 1 ดังนั้นในช่วงที่ 2 มีการทดลองรวมทั้งหมด 9 การทดลอง

4.2.1 ค่าพีเอชและสภาพต่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต

จากการทดลองโดยใช้สารส้ม 3 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.5 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอด ใช้ใบพัดกวนช้า 3 รูปแบบ และความเร็วรอบกวน 2, 3 และ 4 รอบ/นาที จะได้ผลค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 รูปที่ 4.7 และ 4.8 จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ค่าพีเอชน้ำหลังกวนเร็วจะมีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชน้ำดิบอยู่ประมาณ 0.48-0.76 ซึ่งอธิบายได้ว่า หลังจากที่เติมสารส้มในน้ำดิบ และผ่านขั้นตอนการกวนเร็ว จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ค่าพีเอชของน้ำหลังกวนเร็วจึงลดลง ส่วนค่าพีเอชของน้ำผลิตจะมีค่าต่ำกว่าน้ำหลังกวนเร็วเล็กน้อย ซึ่งอธิบายได้ว่าการที่ค่าพีเอชลดลงนั้นเนื่องมาจากความปั่นป่วนในถังสร้างเพลเล็ตมีผลให้ฟล็อกและเพลเล็ตบางส่วนภายในถังแตกออกจึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอีกครั้ง ดังนั้นค่าพีเอชจึงลดลงเล็กน้อย ส่วนค่าสภาพต่างน้ำผลิตจะมีค่าต่ำกว่าสภาพต่างน้ำดิบประมาณ 10.5-18 มก.หินปูน/ล. อธิบายได้เหมือนค่าพีเอช และจากการเปลี่ยนรูปแบบใบกวนและความเร็วรอบกวน พบว่าไม่มีผลต่อค่าพีเอชและสภาพต่าง โดยค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 ถือว่าอยู่ในช่วงที่รับได้ตามมาตรฐานน้ำประปา

ตารางที่ 4.6 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวจากการทดลองครั้งที่ 2

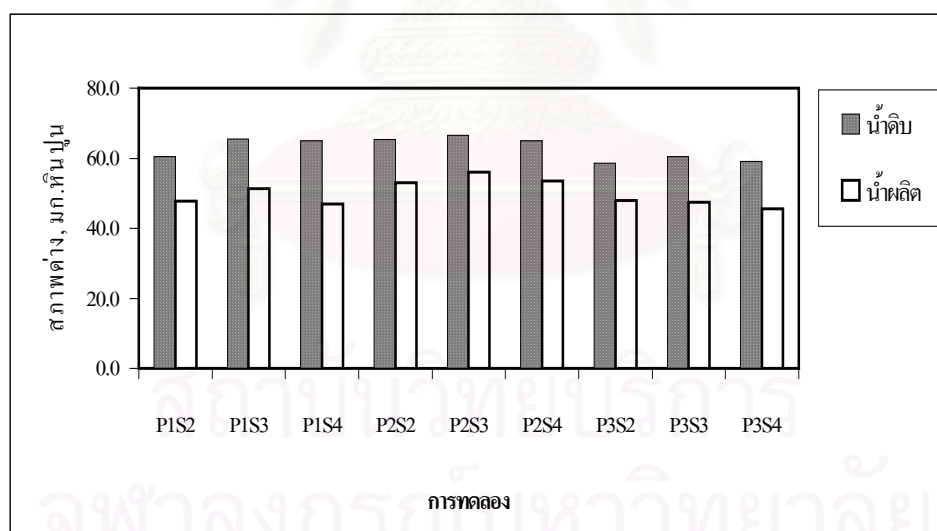
ชนิดใบกวน	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	พีเอช		
		น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
1	2	7.72	7.14	6.91
	3	7.61	7.01	6.91
	4	7.68	6.92	6.84
2	2	7.67	7.01	6.91
	3	7.71	7.16	7.09
	4	7.68	7.13	7.04
3	2	7.59	7.11	7.01
	3	7.58	7.06	6.98
	4	7.57	7.07	6.96



รูปที่ 4.7 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวจากการทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.7 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตโดยเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2

ไบชนิดกวน	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	สภาพต่าง, มก.หินปูน/ล.	
		น้ำดิบ	น้ำผลิต
1	2	60.5	47.8
	3	65.5	51.3
	4	65.0	47.0
2	2	65.3	53.0
	3	66.5	56.0
	4	65.0	53.5
3	2	58.5	48.0
	3	60.5	47.5
	4	59.0	45.5



รูปที่ 4.8 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตโดยเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2

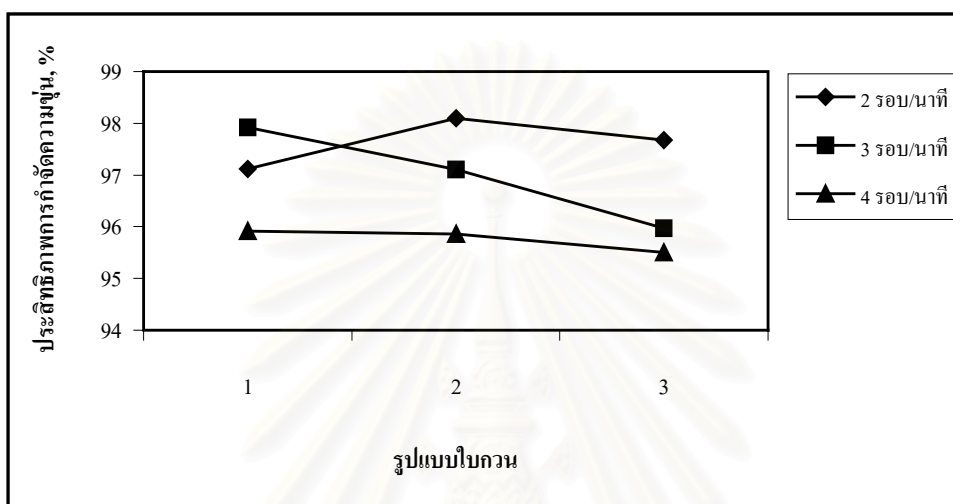
4.2.2 อิทธิพลของรูปแบบใบกวนและความเร็วรอบกวนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด
ความขุ่น

ตารางที่ 4.8 ความขุ่นน้ำดิบ, น้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สภาวะคงตัวการ
ทดลองช่วงที่ 2

ชนิดใบกวน	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	ความขุ่น, เอ็นทียู		ประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น, %
		น้ำดิบ	น้ำผลิต	
1	2	402.9	11.6	97.12
	3	110.6	2.3	97.92
	4	134.6	5.5	95.91
2	2	110.4	2.1	98.10
	3	117.7	3.5	97.03
	4	122.0	4.8	95.98
3	2	103.4	2.4	97.68
	3	119.0	4.8	95.97
	4	120.1	5.4	95.50

จากผลการทดลองโดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา จะได้ค่าความขุ่นน้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นดังตารางที่ 4.8 และกราฟรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น 95.50-98.39 % และสามารถผลิตน้ำความขุ่นต่ำที่ 2.1-11.6 เอ็นทียู จากกราฟพบว่าใบกวนแบบที่ 1 จะมีผลต่อการกำจัดความขุ่นดีกว่าใบกวนแบบที่ 2 และใบกวนแบบที่ 2 จะมีผลต่อการกำจัดความขุ่นดีกว่าแบบที่ 3 สามารถอธิบายได้ว่าการเจาะรูใบกวนจะมีผลกระทบต่อการรวมตัวของความขุ่นในน้ำดิบ นั่นคือรูของใบกวนไปทำให้ตะกอนความขุ่นที่กำลังรวมตัวหรือรวมตัวกันอยู่ในลักษณะไม่แน่นนั้นแยกออกจากกันและกลายเป็นความขุ่นหรือตะกอนเบาลอยออกไปกับน้ำผลิต และใบกวนแบบที่ 3 จะมีพื้นที่สัมผัสของรูกับตะกอนมากกว่าใบกวนแบบที่ 2 จึงมีผลต่อการแยกออก

จากกันของตะกอนมากกว่า ส่วนในการทดลองที่ใช้ใบกวนแบบที่ 1 และความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาที นั้นจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นต่ำกว่าที่ควรเป็น เนื่องจากน้ำดิบมีค่าความขุ่นสูงมากโดยเฉพาะในชม.ที่ 36 สูงถึง 425 เอ็นทียู จึงทำให้ระบบต้องรับภาระสูงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจึงลดต่ำลง



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2

4.2.3 อิทธิพลของรูปแบบใบกวนและความเร็วรอบกวนต่อมวลของแข็งทั้งหมดและมวลเฟลลิตทั้งหมด

จากการที่ได้มีการเริ่มต้นระบบด้วยการใช้ดินคาโอลิน จนกระทั่งระดับตะกอนภายในถังสูงถึงระดับที่จำกัดไว้ (150 ซม.) จึงหยุดใช้ดินคาโอลินและปล่อยน้ำดิบเข้าสู่ระบบ แล้วเริ่มเก็บข้อมูลการทดลอง จะได้ผลมวลของแข็งทั้งหมด และเฟลลิตที่เวลาต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.8 โดยในที่นี้ มวลของแข็งทั้งหมดหมายถึงมวลรวมของฟล็อกกับเฟลลิตซึ่งคำนวณได้จากค่าของแข็งทั้งหมด(TS) ภายในถังกวน ส่วนมวลเฟลลิต(TP)หมายถึงมวลส่วนที่เหลือจากการล้างเอาฟล็อกที่รวมตัวกันไม่แน่นออก (รายการคำนวณในภาคผนวก ข.4) มวลเฟลลิตจึงมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูง และความเร็วจมตัวสูงกว่าฟล็อกทั่วไป

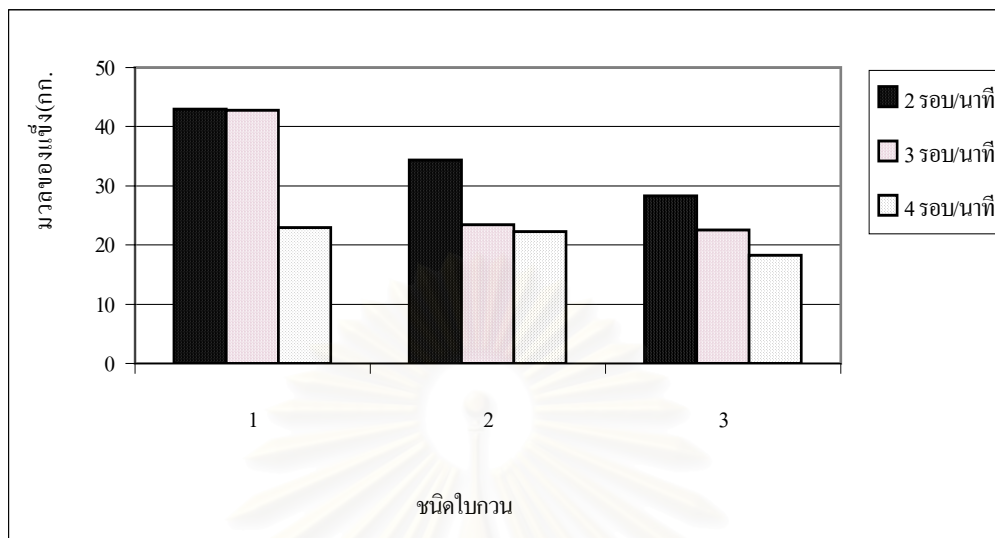
ตารางที่ 4.9 มวลของแข็งทั้งหมดและเฟลลิตที่เวลาต่าง ๆ จากการทดลองช่วงที่ 2

ชนิดใบกวน	ชม.ที่	ความเร็วรอบกวน(รอบ/นาที)					
		2		3		4	
		TS, กก.	เฟลลิต, กก.	TS, กก.	เฟลลิต, กก.	TS, กก.	เฟลลิต, กก.
1	0	35.45	9.40	55.03	10.88	29.27	5.14
	12	42.12	7.50	53.43	12.29	33.89	4.35
	24	43.98	4.95	55.66	8.86	23.08	2.46
	36	30.98	3.34	43.66	6.74	21.60	2.86
	48	51.35	6.76	47.20	9.46	26.51	2.26
	60	45.89	4.54	43.56	2.89	23.26	2.32
	72	45.23	3.86	36.61	3.29	20.58	2.19
	เฉลี่ย	43.36	4.62	42.76	5.60	22.99	2.41
2	0	26.16	4.41	18.07	3.05	15.46	1.73
	12	37.63	4.68	20.06	3.63	18.28	2.22
	24	43.92	6.03	23.96	4.20	21.91	3.15
	36	33.99	6.75	22.32	3.86	22.87	3.40
	48	31.75	5.48	20.63	2.70	19.23	2.32
	60	33.02	4.95	21.53	3.20	21.67	2.83
	72	32.67	5.37	21.04	2.63	20.36	2.36
	เฉลี่ย	32.86	5.64	21.38	3.10	21.03	2.73
3	0	17.11	0.94	11.46	1.21	6.88	0.62
	12	31.28	3.04	16.24	1.99	11.35	1.08
	24	39.45	3.85	18.99	2.23	12.49	1.24
	36	28.04	3.22	22.40	3.03	16.37	1.86
	48	24.34	3.05	21.48	2.49	15.24	2.03
	60	27.74	3.53	20.39	2.54	15.60	1.72
	72	26.58	3.11	21.01	2.24	14.96	1.74
	เฉลี่ย	26.67	3.23	21.32	2.57	15.54	1.83

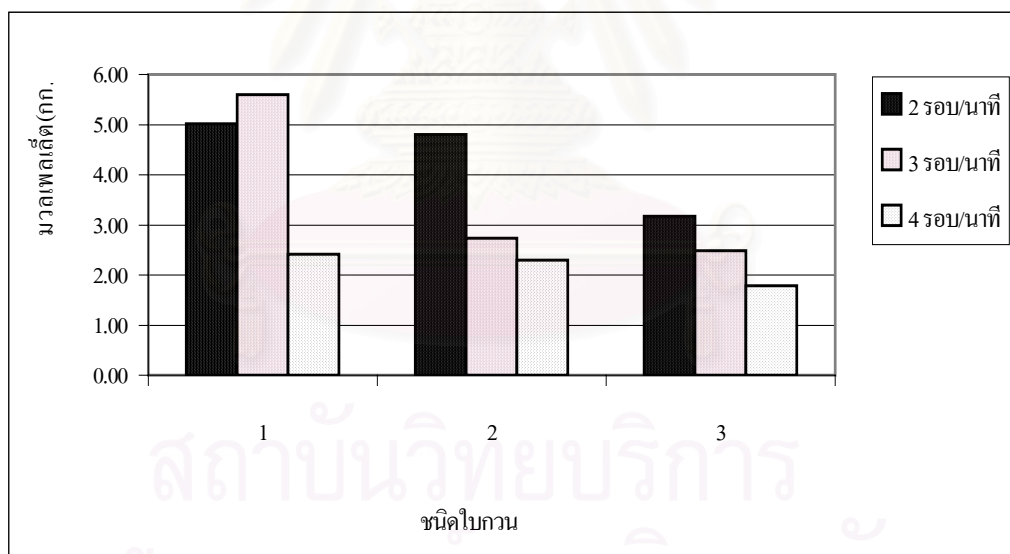
จากผลการทดลองตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าที่ ชม.ที่ 0-24 ตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์จะมีค่ามวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลล็ดสูงและไม่คงที่ เนื่องจากเป็นการทดลองครั้งแรก ซึ่งมีการเริ่มต้นระบบ (start up) โดยใช้ดินคาโอดินเป็นความชุ่มชื้นเคราะห์ จึงมีดินคาโอดินหลงเหลืออยู่ในถังในช่วงแรก จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปอนุภาคของความชุ่มชื้นในน้ำดิบจึงเข้ามาแทนที่ดินคาโอดิน ระบบจึงปรับตัวเข้าสู่สถานะคงตัว ทำให้มวลของแข็งและเพลล็ดมีความคงตัวมากขึ้น หลังจากชม.ที่ 36 ค่ามวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลล็ดจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ๆ ดังนั้นในผลการทดลองจึงใช้ข้อมูลเฉลี่ยที่ ชม. 36-72 เป็นข้อมูลเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.10 มวลของแข็งทั้งหมดและเพลล็ดเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว การทดลองช่วงที่ 2

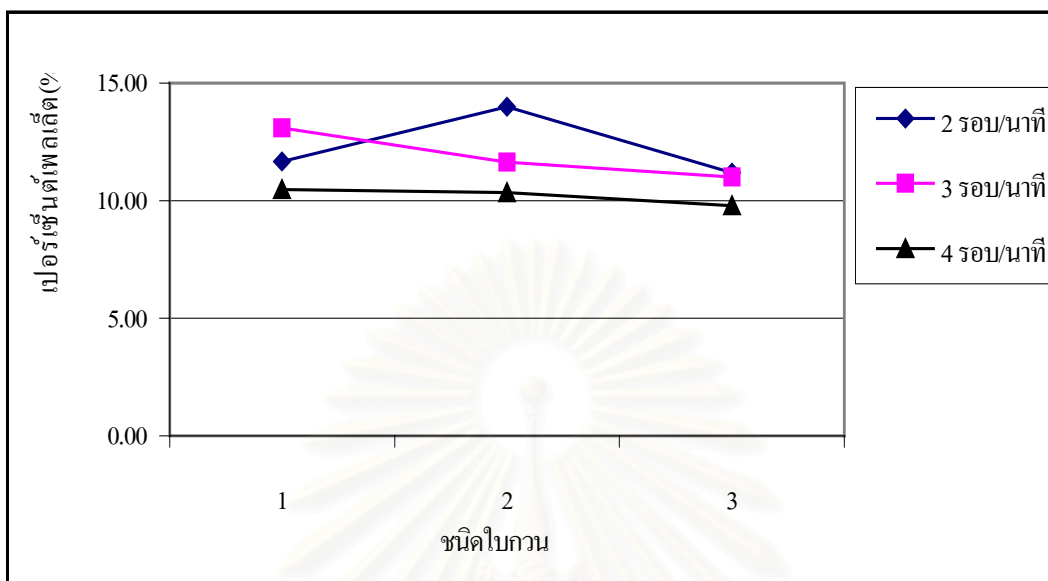
ชนิดใบกวน	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	มวลของแข็งทั้งหมด, กก.	มวลเพลล็ด, กก.	เปอร์เซ็นต์เพลล็ด, %
1	2	43.01	5.02	11.67
	3	42.76	5.60	13.10
	4	22.99	2.41	10.48
2	2	34.37	4.81	13.99
	3	23.48	2.73	11.63
	4	22.23	2.30	10.35
3	2	28.34	3.17	11.19
	3	22.53	2.48	11.01
	4	18.31	1.79	9.78



รูปที่ 4.10 มวลงของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 2



รูปที่ 4.11 มวลงเพล็ดทั้งหมดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 2



รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์เพลลิตเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 2

จากการทดลองช่วงที่ 2 จะได้ค่าเฉลี่ยมวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลลิตทั้งหมด ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 จากรูปจะสรุปได้ว่ามวลของแข็งทั้งหมดจะมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้ใบกวนแบบที่ 1 และน้อยลงเมื่อใช้ใบกวนแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เหตุผลที่ทำให้เป็นเช่นนั้นคือ รูของใบกวนแบบที่ 2 และ 3 นั้นมีผลต่อการจับตัวกันของฟล็อกและเพลลิต กล่าวคือเมื่อใบกวนเคลื่อนที่ผ่านฟล็อกหรือเพลลิต บริเวณขอบใบและรูของใบจะสัมผัสโดยตรงกับฟล็อกหรือเพลลิต ทำให้เกิดมีแรงกระทำต่อฟล็อกหรือเพลลิตนั้น ๆ ถ้าฟล็อกหรือเพลลิตนั้นมีการรวมตัวกันไม่แน่นพอก็จะแตกออกเนื่องจากแรงปั่นป่วนของใบพัดกวนซ้ำ เพราะฉะนั้นถ้ารูใหญ่ก็จะมีพื้นที่ขอบรูสัมผัสกับฟล็อกหรือเพลลิตได้มากกว่ารูเล็กจึงทำให้ฟล็อกหรือเพลลิตแตกได้มากกว่า ส่วนฟล็อกหรือเพลลิตที่แตกออกแล้วนั้นจะลอยขึ้นตามแรงดันน้ำที่ไหลขึ้น และออกจากถังที่ระดับ 150 ซม.

ส่วนความเร็วรอบกวนจะมีผลต่อมวลของแข็งทั้งหมดและเพลลิตคือ การเพิ่มความเร็วรอบกวนสูงขึ้น มวลของแข็งทั้งหมดและเพลลิตจะมีค่าต่ำลง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เพิ่มความเร็วรอบกวนจะทำให้เกิดการชนกันของอนุภาคแรงขึ้น และเกิดแรงเฉือนภายในฟล็อกหรือเพลลิตมากกว่าแรง

ยึดเหนี่ยวของโพลีเมอร์ทำให้ฟล็อกหรือเฟลลิตบางส่วนแตกออกกลายเป็นความขุ่นออกไปกับน้ำผลิต ระบบจึงมีมวลของแข็งทั้งหมดและเฟลลิตลดลง ส่วนในการทดลองที่ใช้ใบพัดกวนช้าแบบที่ 1 และความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาที ระบบจะมีมวลเฟลลิตต่ำกว่าที่ควรเป็นเนื่องจากการทดลองนี้ น้ำดิบมีความขุ่นเพิ่มสูงมาก ทำให้การรวมตัวของฟล็อกเป็นไปอย่างรวดเร็วและสารเคมีไม่สามารถผสมกับอนุภาคความขุ่นได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นฟล็อกส่วนใหญ่จึงเป็นฟล็อกที่มีการรวมตัวกันแบบหลวม ๆ เพราะฟล็อกจะมีขนาดใหญ่จากการรวมตัวแบบสุ่มจึงทำให้มีน้ำถูกกักอยู่ในช่องว่างภายในฟล็อก ฟล็อกจึงไม่มีความหนาแน่นสูง จึงเกิดเฟลลิตน้อย เมื่อนำมาล้างจึงมีแต่ฟล็อกเป็นส่วนใหญ่

จากรูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์เฟลลิตจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ใบกวนแบบที่ 1 และลดลงเมื่อใช้ใบกวนแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ นอกจากการทดลองแรกที่ได้กล่าวไปแล้วว่าความขุ่นน้ำดิบสูงมากจึงทำให้เปอร์เซ็นต์เฟลลิตน้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้ใบกวนแบบที่ 1 และความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาทีจะให้ค่ามวลของแข็งทั้งหมด, มวลเฟลลิตและเปอร์เซ็นต์เฟลลิตสูงสุด

4.2.4 อิทธิพลของรูปแบบใบกวนและความเร็วรอบกวนต่อลักษณะของเม็ดเฟลลิต

ก. ขนาดของเม็ดเฟลลิต

จากการเติมสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์ รวมถึงมีการกวนเร็วและกวนช้า หลังจากเติมสารเคมีทั้ง 2 ชนิดตามลำดับ ทำให้อนุภาคความขุ่นถูกทำลายเสถียรภาพและเกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและมีความหนาแน่นสูงจะเรียกว่าเฟลลิต จากการทดลองนี้เฟลลิตมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.25 – 0.62 มม. โดยเฟลลิตขนาดใหญ่จะจมตัวลงด้านล่างของถังกวน ส่วนเฟลลิตขนาดเล็กจะถูกดันให้ลอยขึ้นสู่ระดับสูงขึ้นไปตามลำดับ ดังนั้นที่ระดับ 30 ซม. จากก้นถังจะมีเฟลลิตขนาดใหญ่ที่สุดในถังกวน และที่ระดับ 150 ซม. จากก้นถังเฟลลิตจะมีขนาดเล็กที่สุดที่ระดับ 0 ซม. นั้นเฟลลิตจะมีขนาดเล็กกว่าที่ระดับ 30 ซม. เนื่องจากเป็นระดับที่น้ำดิบเริ่มเข้าสู่ถังกวน จึงยังไม่เกิดการผสมตัวกันอย่างสมบูรณ์ และเฟลลิตขนาดใหญ่ไม่สามารถจมลงสู่ระดับ 0 ซม. ได้เพราะมีแรงดันของน้ำดิบที่เข้าสู่ถังกวนมากจึงเป็นแรงดันต้านไม่ให้เฟลลิตที่มีขนาดใหญ่จมลงได้

ตารางที่ 4.11 ขนาดของเม็ดเพลลิตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2

ชนิดใบกวน	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	ขนาดเพลลิตที่ระดับ, มม.					
		0	30	60	90	120	150
1	2	0.49	0.62	0.52	0.45	0.36	0.30
	3	0.56	0.62	0.59	0.53	0.46	0.38
	4	0.35	0.44	0.41	0.39	0.37	0.32
2	2	0.55	0.59	0.54	0.44	0.36	0.28
	3	0.36	0.50	0.41	0.38	0.34	0.29
	4	0.36	0.42	0.37	0.33	0.30	-
3	2	0.45	0.53	0.47	0.45	0.40	0.33
	3	0.41	0.46	0.40	0.37	0.31	0.27
	4	0.34	0.40	0.37	0.32	0.25	-

- : ไม่สามารถวัดค่าข้อมูลได้

บางการทดลองจะไม่มีข้อมูล เพราะไม่สามารถวัดขนาดของเพลลิตได้เนื่องจากน้ำตัวอย่างที่เกิดขึ้นมีตะกอนที่มีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถวัดขนาดได้

ข. ความเร็วจมตัวของเม็ดเพลลิต

จากค่าที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4.12 ค่าความเร็วจมตัวของเพลลิตจะมีค่าอยู่ในช่วง 13.45 – 72.40 ม./ชม.ต่างกันไปในแต่ละระดับชั้นความสูงเพลลิต ที่ระดับชั้น 30 ซม.จากกันถึงเพลลิตจะมีความเร็วจมตัวสูงที่สุด ส่วนระดับที่รองลงมาได้แก่ที่ระดับ 60 ซม.จากกันถึง และค่อย ๆ น้อยลงไปตามลำดับจนกระทั่งถึงระดับ 150 ซม. เป็นระดับที่มีค่าความเร็วจมตัวเพลลิตต่ำที่สุด เนื่องจากเพลลิตที่มีความเร็วจมตัวสูงจะจมลงสู่ระดับล่างของถังกวนส่วนเพลลิตที่มีความเร็วจมตัวต่ำจะถูกแรงดันน้ำดันให้ลอยสู่ระดับที่สูงขึ้น ส่วนที่ระดับ 0 ซม.จะมีค่าความเร็วจมตัวน้อยกว่าที่ระดับ 30 ซม. เพราะที่ระดับนี้ อยู่เหนือจุดที่น้ำดิบเข้าสู่ถัง ดังนั้นจึงเกิดการกวนผสมไม่มากนัก ส่วนเพลลิตที่มีความเร็วจมตัวสูงนั้น แต่ไม่สามารถจมตัวลงสู่ระดับ 0 ซม.ได้เพราะมีแรงดันของน้ำดิบที่เข้าสู่ถังด้านอยู่

ทำให้เพลิงเกิดขนาดใหญ่ส่วนมากอยู่ที่ระดับ 30 ซม.จากกันถึง ข้อมูลบางการทดลองไม่มีเพราะว่าการทดลองนั้น ๆ น้ำตัวอย่างที่เก็บมาตะกอนมีขนาดเล็กและจมตัวช้ามากจึงไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 4.12 ความเร็วจมตัวของเม็ดเพลิงเกิดเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2

ชนิดใบพัดกวน	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	ความเร็วจมตัวของเพลิงเกิดที่ระดับต่าง ๆ (ม./ชม.)					
		0	30	60	90	120	150
1	2	50.08	72.40	53.96	31.06	23.43	14.85
	3	65.64	72.02	65.53	53.95	37.97	24.52
	4	28.08	47.29	36.50	34.17	29.69	21.08
2	2	63.91	69.96	57.74	37.30	26.13	15.47
	3	31.36	55.01	36.98	31.36	24.61	17.90
	4	31.11	42.89	33.48	26.76	19.69	-
3	2	45.47	58.40	46.57	40.97	30.87	20.45
	3	39.92	51.52	37.29	29.45	20.11	13.45
	4	31.05	42.58	33.97	22.94	14.38	-

- : ไม่สามารถวัดค่าข้อมูลได้

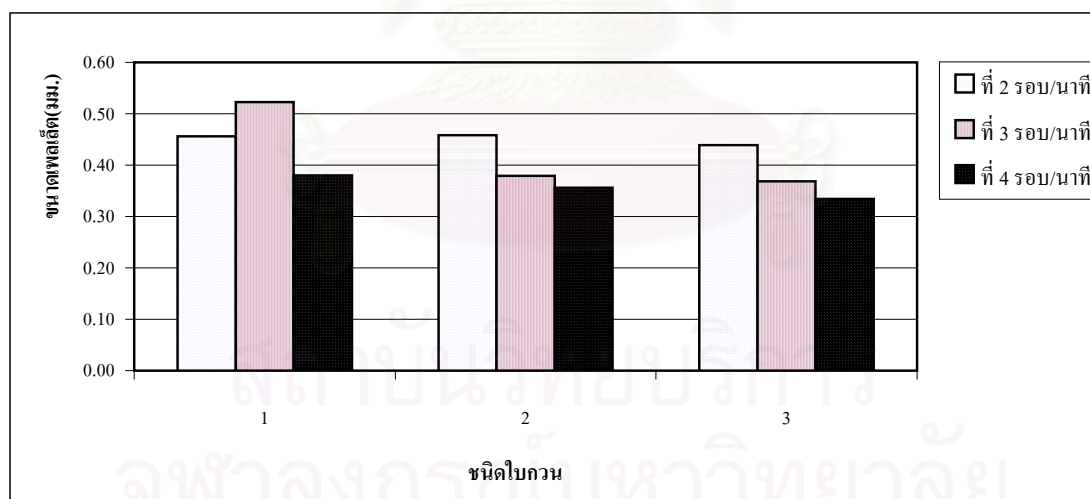
ค. ความหนาแน่นของเม็ดเพลิงเกิด

ข้อมูลความหนาแน่นของเม็ดเพลิงเกิดจากการทดลองช่วงที่ 2 ในตารางที่ 4.13 จะคำนวณออกมาในรูปของความหนาแน่นประสิทธิผลคือเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนาแน่นของเม็ดเพลิงเกิดและความหนาแน่นของน้ำ จากข้อมูลจะเห็นว่าความหนาแน่นเพลิงเกิดจะมีค่าจากมากไปสู่น้อย โดยเรียงจากด้านล่างไปสู่ด้านบน เนื่องจากเพลิงเกิดที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวลงสู่ด้านล่าง และเพลิงเกิดที่มีความหนาแน่นต่ำจะลอยตัวสูงขึ้นสู่ด้านบนโดยแรงดันของน้ำดิบที่เข้าสู่ระบบ ส่วนเพลิงเกิดที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจะลอยตัวออกไปจากถังกวน

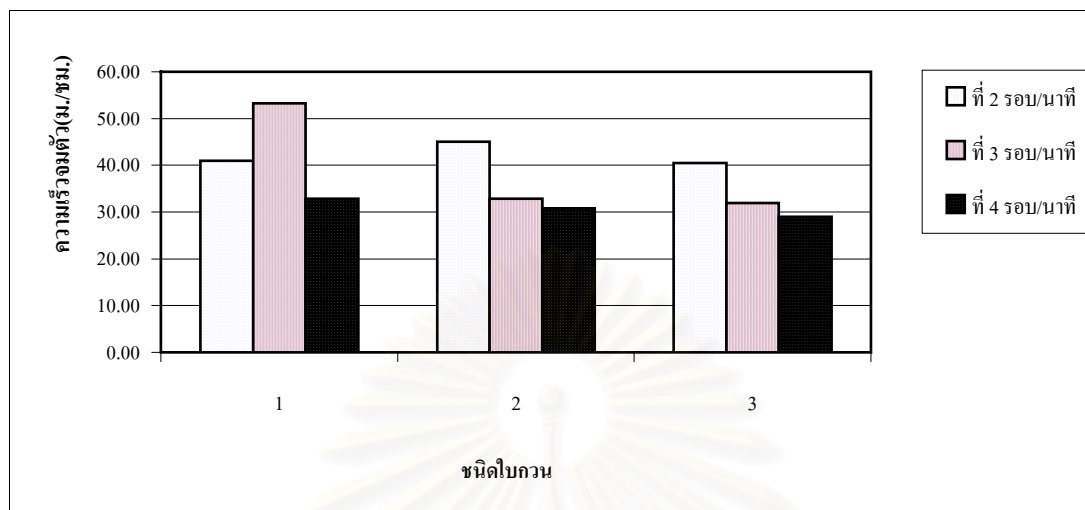
ตารางที่ 4.13 ความหนาแน่นของเม็ดเพลลิตเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว จากการทดลองช่วงที่ 2

ชนิดใบพัดกวน	ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที	ความหนาแน่นประสิทธิผลเพลลิตที่ระดับ, ก./ลบ.ซม.					
		0	30	60	90	120	150
1	2	0.099	0.088	0.089	0.071	0.082	0.076
	3	0.095	0.085	0.085	0.090	0.084	0.081
	4	0.109	0.116	0.099	0.101	0.102	0.094
2	2	0.098	0.092	0.092	0.091	0.090	0.088
	3	0.109	0.103	0.099	0.101	0.100	0.096
	4	0.113	0.112	0.110	0.112	0.105	-
3	2	0.101	0.094	0.094	0.091	0.086	0.087
	3	0.108	0.109	0.108	0.101	0.097	0.089
	4	0.129	0.125	0.119	0.109	0.109	-

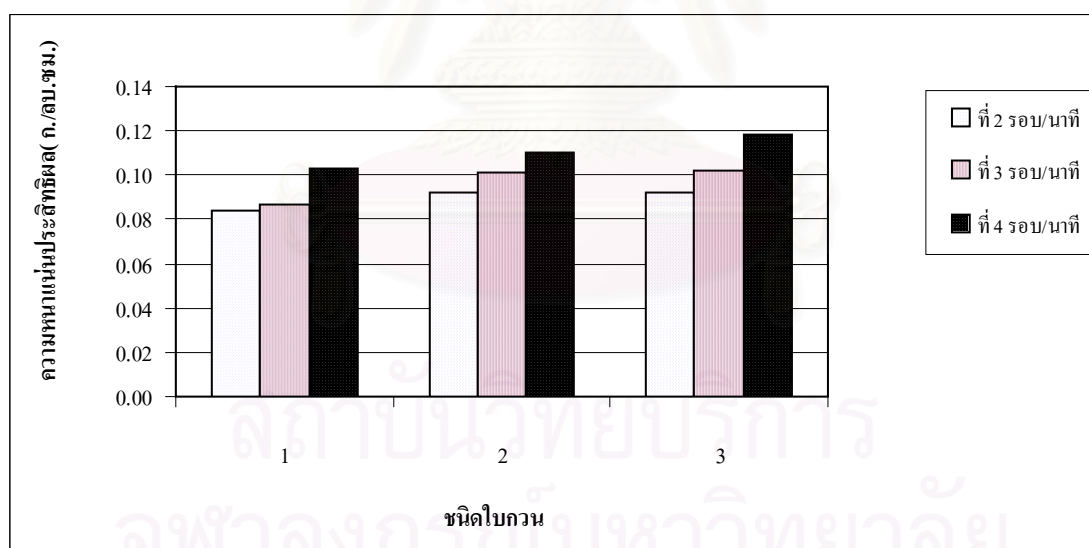
- : ไม่สามารถวัดค่าข้อมูลได้



รูปที่ 4.13 ขนาดของเม็ดเพลลิตเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 2



รูปที่ 4.14 ความเร็วเฉลี่ยของเม็ดเพลลัดเตเลีย ในการทดลองช่วงที่ 2



รูปที่ 4.15 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลลัดเตเลีย ในการทดลองช่วงที่ 2

จากการใช้ใบกวนทั้ง 3 ชนิด จะสรุปได้ว่า ขนาด และความเร็วจมตัวของ เพลเล็ตจะมีค่าสูงสุดถ้าใช้ใบกวนแบบที่ 1 และจะมีค่าลดลงเมื่อใช้ใบกวนแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ อธิบายได้ว่าการเกิดเพลเล็ตต้องอาศัยค่าความเร็วเกรเดียนท์และลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม การเจาะรูของใบกวนแบบที่ 2 และ 3 จะทำให้ค่าความเร็วเกรเดียนท์มีค่าสูงขึ้น(ค่า G ที่ได้จากการทดลอง) ซึ่งการเกิดเกิดแรงเฉือนจากรูที่เจาะ มีผลทำให้ขนาดของเพลเล็ตลดลงและความเร็วจมตัวของเพลเล็ตลดลงด้วย แต่ถ้าพิจารณารูปที่ 4.15 จะพบว่าค่าความหนาแน่นประสิทธิผลมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อใช้ใบกวนแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ อธิบายได้ว่าการเกิดแรงเฉือนจากรูใบกวนที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการกลิ้งและชนกันมากขึ้น(อธิบายทฤษฎีหน้า 18) ซึ่งทำให้เพลเล็ตมีขนาดเล็กลงแต่ความหนาแน่นสูงขึ้น

จากข้อมูลของเพลเล็ตที่ระดับต่าง ๆ พบว่าเพลเล็ตจะมีขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลลดลงเมื่อเพลเล็ตอยู่ในระดับสูงขึ้นไป เนื่องจากการเติมโพลีเมอร์จะเติมที่บริเวณก้นถัง ทำให้โพลีเมอร์จะมีความเข้มข้นสูงสุดบริเวณด้านล่างถังและลดน้อยลงเมื่อระดับสูงขึ้นไป ดังนั้นเพลเล็ตที่อยู่ด้านล่างจึงมีขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลสูงกว่าที่ระดับบน แต่จะสังเกตได้ว่าที่ระดับ 0 ซม. แม้จะอยู่ต่ำสุดก็ตามแต่กลับมีขนาด และความเร็วจมตัวต่ำกว่าที่ระดับ 30 ซม. อธิบายได้ว่าที่ระดับ 0 ซม. นั้นถึงแม้จะมีความเข้มข้นโพลีเมอร์สูง แต่เวลาของการผสมรวมตัว (mixing time) น้อย เพลเล็ตจึงมีขนาดและความเร็วจมตัวต่ำกว่าที่ระดับ 30 ซม. ขณะเดียวกันเพลเล็ตที่ระดับ 0 จะมีความหนาแน่นประสิทธิผลสูงกว่าที่ระดับบน อธิบายได้จากขั้นตอนการรวมตัวของกลุ่มอนุภาค (Tambo and Wang, 1993) คือในขั้นแรกอนุภาคเบื้องต้น (Primary Particle) จะรวมตัวกันได้เป็นกลุ่มอนุภาคอันดับหนึ่ง จากนั้นก็จะรวมตัวเป็นกลุ่มอนุภาคอันดับที่สอง สาม และสี่ต่อไป ได้เป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับแต่ความหนาแน่นของฟล็อกจะลดลงเนื่องจากมีช่องว่างภายในฟล็อกเพิ่มขึ้นโดยจะเป็นไปตามสมการความหนาแน่นของฟล็อกดังนี้

$$\rho_n = \rho_{(n-1)}(1-\varepsilon_n) \quad (4.1)$$

โดยที่ ρ_n = ความหนาแน่นประสิทธิผลของการรวมตัวขั้นที่ n

ρ_0 = ความหนาแน่นประสิทธิผลของอนุภาคเบื้องต้น

ε_n = อัตราส่วนช่องว่างของการรวมตัวขั้นที่ n

n = ลำดับขั้นการรวมตัว

จากสมการจะเห็นได้ว่าการรวมตัวในขั้นแรกจะมีค่าความหนาแน่นประสิทธิผลสูงสุด และลดต่ำลงเมื่อมีการรวมตัวขั้นต่อไป

4.2.5 การวิเคราะห์ผลของรูปแบบใบพัด

4.2.5.1 ผลของรูปแบบใบพัดที่มีต่อค่าความเร็วเกรเดียนท์และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง

ความเร็วเกรเดียนท์ในถังกวนช้าเกิดเนื่องจากใบพัดกวนช้าโดยใบพัดจะมีทั้งหมด 3 รูปแบบด้วยกันดังนี้

1. แบบไม่เจาะรู
2. แบบเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. จำนวน 30 รู
3. แบบเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 ซม. จำนวน 12 รู

จากการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการกวนน้ำของระบบที่ทดสอบจะได้ว่าใบกวนแต่ละชนิดจะมีค่าความเร็วเกรเดียนท์และสัมประสิทธิ์ของความหน่วงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การวัดค่าพลังงานในการกวนน้ำเพื่อหาค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G) และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง (Cd)

Run No.	P(watt)	Cd	G จากการทดลอง(วิน^{-1})
P1S2	3.51	23.0	41.8
P1S3	3.63	7.0	42.5
P1S4	3.62	3.0	42.4
P2S2	3.55	33.0	42.0
P2S3	4.50	12.4	47.3
P2S4	4.68	5.4	48.2
P3S2	4.13	51.1	45.3
P3S3	4.78	17.5	48.8
P3S4	4.86	7.5	49.2

หมายเหตุ P1 หมายถึงใบพัดกวนชนิดที่ 1

S2 หมายถึงความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาที

จากตารางที่ 4.14 ค่าความเร็วกระเดียนที่ที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบกวนหรือเจาะรูโบกวนหรือเพิ่มจำนวนโบกวน สำหรับกรณีรูปแบบใบพัดกวนที่ใช้เมื่อมีการเจาะรูค่าความเร็วกระเดียนที่เกิดขึ้นอาจแบ่งพิจารณาออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันดังนี้

1) ความเร็วกระเดียนที่เกิดขึ้นโดยพื้นที่บนใบกวนส่วนที่ไม่ได้เจาะรู เกิดจากการที่ส่วนผิวหน้าของใบพัด(ส่วนที่แรงแเงาในรูป)สัมผัสกับน้ำที่กวน ทำให้เกิดความปั่นป่วน โดยความเร็วกระเดียนที่ชนิดนี้สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{จากสมการ Camp; } P = G^2 \mu V \quad (3.1)$$

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

โดย G = ความเร็วกระเดียนที่หรือระดับความปั่นป่วน, วินาที⁻¹

μ = ความหนืดน้ำ, นิวตัน-วิ/ตร.ม. (0.00089 นิวตัน-วิ/ตร.ม.)

V = ปริมาตรน้ำในถังกวน, ลบ.ม.

$$\text{และ } P = 0.5 C_D \rho A v^3 \quad (4.2)$$

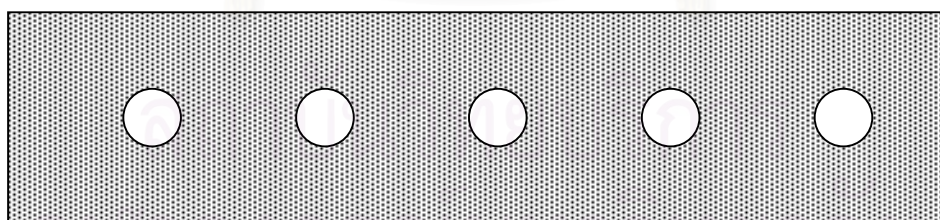
P = พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำ, วัตต์

C_D = สัมประสิทธิ์ของความหน่วง

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ, กก./ลบ.ม. (998 กก./ลบ.ม.)

A = พื้นที่ใบกวน, ตร.ม.

v = ความเร็วสัมพัทธ์ใบกวน, ม./วินาที

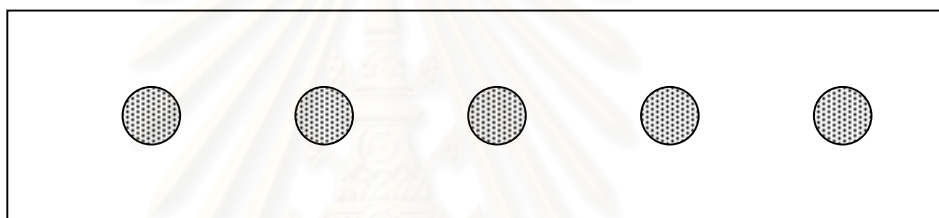


รูปที่ 4.16 ความเร็วกระเดียนที่เกิดขึ้นจากพื้นที่บนใบกวนส่วนที่ไม่ได้เจาะรู

2) ความเร็วเกรเดียนท์ที่เกิดจากการที่น้ำไหลผ่านบริเวณรูของใบพัด

เป็นความเร็วเกรเดียนท์ที่เกิดจากการที่น้ำไหลผ่านบริเวณรูของใบพัดดังรูปที่ 4.17 ซึ่งทำให้เกิดความปั่นป่วนอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานของผนัง ดังนั้นค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่เกิดจากรูใบพัดนี้จะหาจากการสูญเสียพลังงาน ดังสมการ

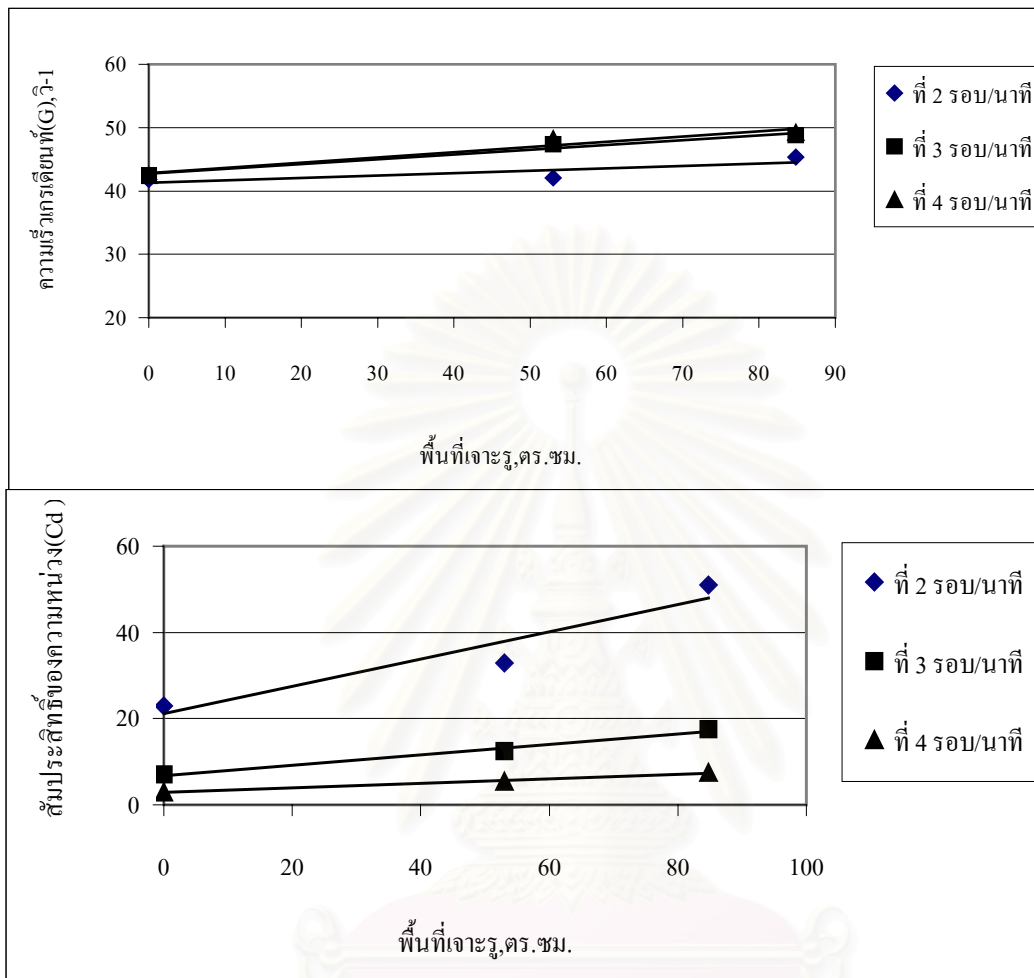
โดยที่	G	$=$	$(P/\mu V)^{0.5}$
	P	$=$	γQH
	γ	$=$	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ, กก./ลบ.ม.
	Q	$=$	อัตราการไหลของน้ำ, ลบ.ม./ชม.
	H	$=$	ความดันที่สูญเสียของน้ำไหลผ่านบริเวณรู, ม.



รูปที่ 4.17 ความเร็วเกรเดียนท์ที่เกิดจากพื้นที่ส่วนที่เจาะรู

วิเคราะห์ผลของรูปแบบใบพัด โดยดูจากขนาดพื้นที่เจาะรูบนใบพัดที่จะมีผลต่อค่าความเร็ว เกรเดียนท์และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงโดยมีการศึกษาที่ความเร็วรอบกวนต่าง ๆ ที่ 2, 3 และ 4 รอบ/นาที ดังรูปที่ 4.18

ค่าความเร็วเกรเดียนท์จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเจาะรูใบพัด เนื่องจากการเจาะรูจะทำให้เกิดแรงเฉือนที่ไปกระทำต่ออนุภาคในน้ำ ทำให้ค่าความปั่นป่วนในถังสูงขึ้น และการเพิ่มขนาดของรูที่เจาะจะทำให้ค่าความเร็วเกรเดียนท์มีค่าสูงขึ้นอีก เพราะขนาดรูที่ใหญ่ขึ้นทำให้พื้นที่ของรูมากขึ้น จึงเกิดค่าความเร็วเกรเดียนท์จากแรงเสียดทานของรูเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.18 ผลของพื้นที่เจาะรูต่อค่าความเร็วเกรเดียนท์และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง

จากรูปกราฟจะได้ความสัมพันธ์

$$G = aA + b$$

ที่ความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาที

$$a = 0.04, b = 41.31$$

ที่ความเร็วรอบกวน 3 รอบ/นาที

$$a = 0.08, b = 42.71$$

ที่ความเร็วรอบกวน 4 รอบ/นาที

$$a = 0.08, b = 42.82$$

$$Cd = aA + b$$

ที่ความเร็วรอบกววน 2 รอบ/นาที $a = 0.32$, $b = 21.12$

ที่ความเร็วรอบกววน 3 รอบ/นาที $a = 0.12$, $b = 6.73$

ที่ความเร็วรอบกววน 4 รอบ/นาที $a = 0.05$, $b = 2.87$

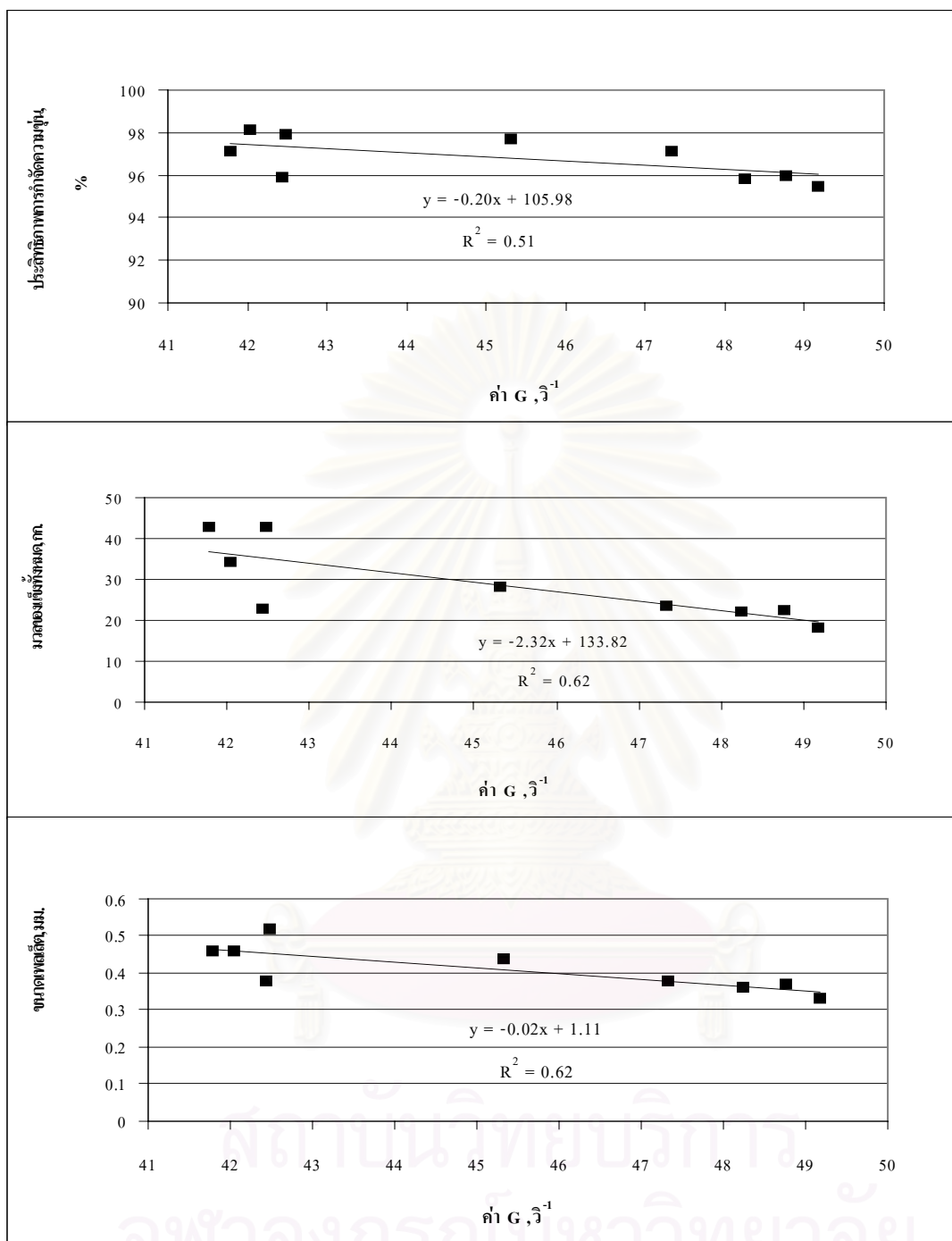
โดย A คือพื้นที่เจาะรู (ตร.ซม.)

ค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงจะมีค่าสูงขึ้น จากกราฟจะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง มีค่าความชันเป็นบวก เมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ของรูที่เจาะ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เพราะเกิดพื้นที่ผิวสัมผัสของรูใบพัดมากขึ้นจึงทำให้ค่าแรงเสียดทานมีค่ามากขึ้น

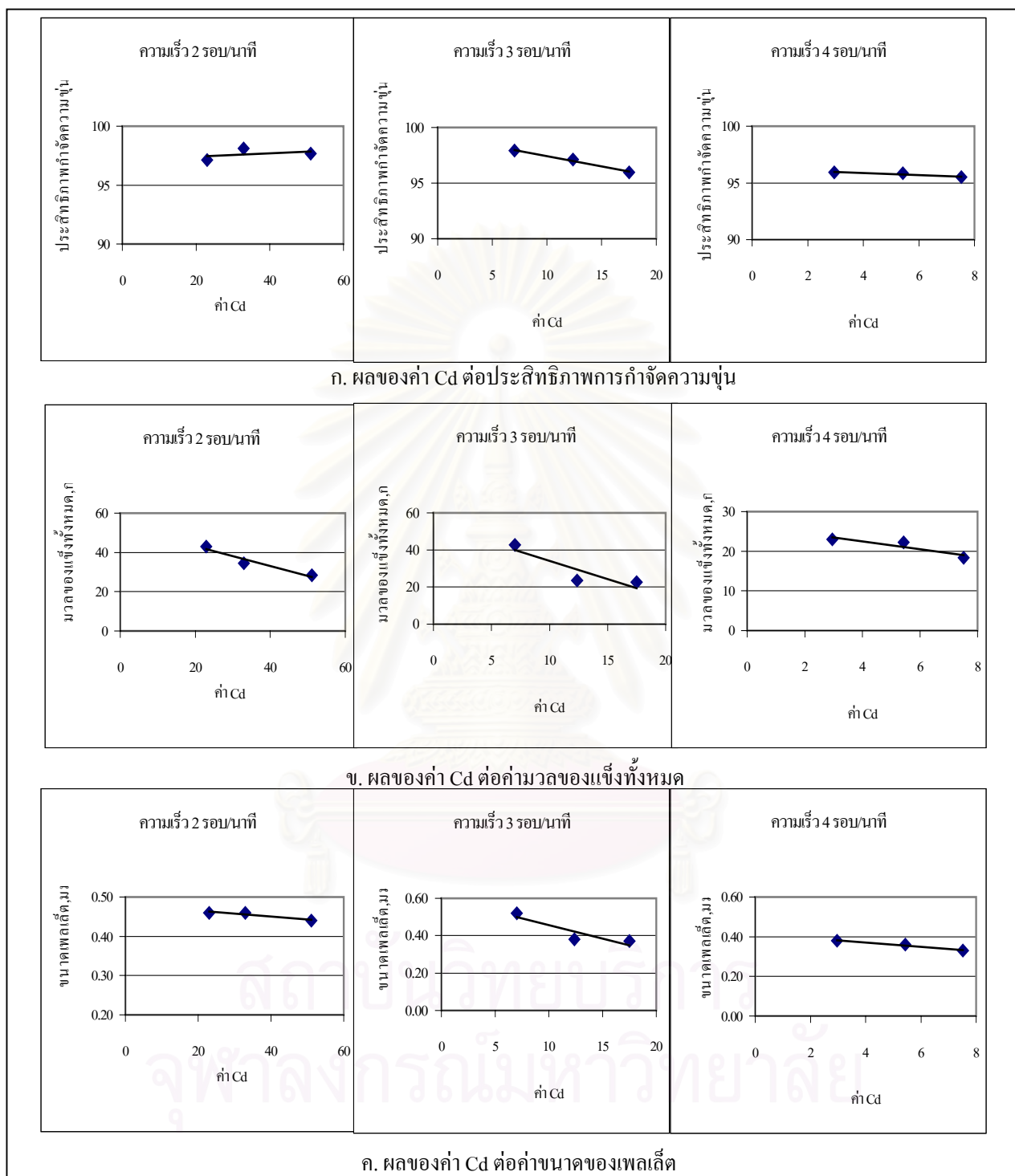
จากค่าความเร็วเกรเดียนท์และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเจาะรูมีผลทำให้ความปั่นป่วนในน้ำสูงขึ้น ขั้นต่อไปจะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเกรเดียนท์และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงที่จะมีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งและขนาดของเม็ดพลูเล็ตที่เกิดขึ้น

4.2.5.2 ผลของความเร็วเกรเดียนท์ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งและขนาดของเม็ดพลูเล็ต

รูปที่ 4.19 แสดงค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งและขนาดของเม็ดพลูเล็ตที่เกิดขึ้น พบว่าเมื่อค่าความเร็วเกรเดียนท์เพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งและขนาดของเม็ดพลูเล็ตมีค่าลดลง โดยมีความสัมพันธ์กันในเชิงสมการเส้นตรงมีความชันเป็นลบ การที่เป็นเช่นนั้นเพราะเมื่อค่า G สูงขึ้น นั่นคือภายในถังกวนจะมีความปั่นป่วนสูงขึ้นทำให้อนุภาคของแข็งและพลูเล็ตที่จับตัวกันอยู่นั้นหลุดออกจากกัน มวลของแข็งและขนาดของพลูเล็ตจึงลดลง ส่วนอนุภาคที่หลุดออกจากกันนั้น บางส่วนก็จะลอยออกจากถังไปกับน้ำผลิต ทำให้ความขุ่นน้ำผลิตสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดต่ำลง ซึ่งค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่เหมาะสมจะประมาณ 42 วิ^{-1} ระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นดีที่สุด



รูปที่ 4.19 ผลของความเร็วเกรเดียนต์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น, มวลของแข็งทั้งหมด และขนาดผลึกเฉลี่ยของไบควอน 3 รูปแบบ จากการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 4.20 ผลของค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น, มวลของแข็งทั้งหมดและขนาดเพลลีสต์ของไบโคอน 3 รูปแบบ จากการทดลองครั้งที่ 2

จากผลของค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งทั้งหมดและขนาดของเพลเล็ต ดังรูปที่ 4.20 โดยพิจารณาที่ความเร็วรอบกวนค่าต่าง ๆ จะได้ว่าเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากการเจาะรูที่ใบพัดกวนซ้ำ จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งทั้งหมดและขนาดของเพลเล็ตมีค่าลดลง ค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลทำให้เกิดแรงเฉือนหรือแรงเสียดทานมากขึ้นในการที่อนุภาคฟล็อกหรือเพลเล็ตจะเคลื่อนที่ผ่านรูของใบพัด อนุภาคฟล็อกหรือเพลเล็ตบางส่วนจะแตกออกเป็นอนุภาค ที่มีขนาดเล็กลง ทำให้มวลของแข็งทั้งหมดมีค่าลดลง เพลเล็ตจะมีขนาดเล็กลง และระบบจะมี ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นต่ำลง

4.3 ผลของจำนวนใบกวนและอัตราการผลิตน้ำของระบบ

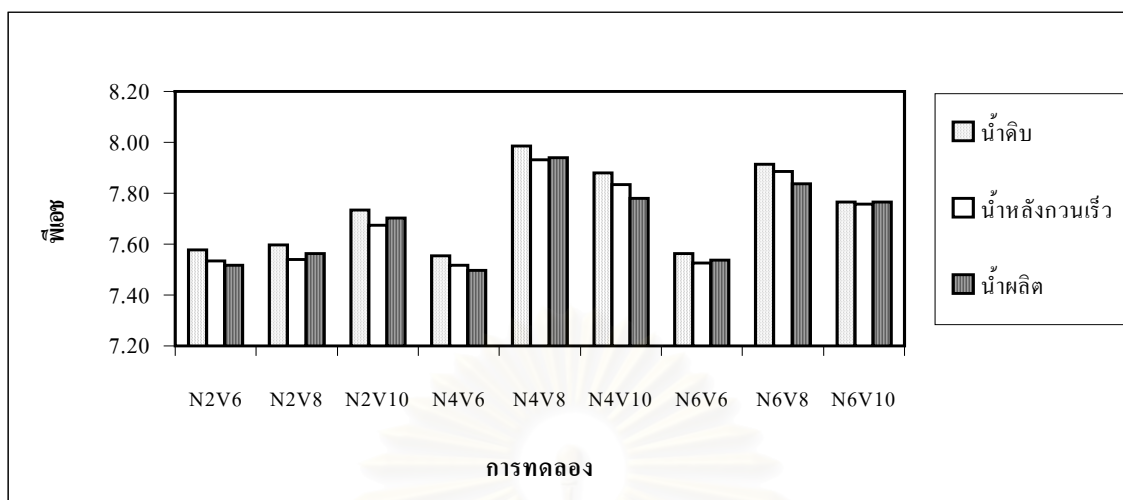
การทดลองนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ใบกวน แบบที่ 1 (ไม่มีการเจาะรู) มีการแปรค่าจำนวนใบกวน 2 ใบ ($Gt = 29,419$, $Gt = 22,068$ และ $Gt = 17,655$) 4 ใบ ($Gt = 32,417$, $Gt = 24,317$ และ $Gt = 19,453$) และ 6 ใบ ($Gt = 37,920$, $Gt = 28,445$ และ $Gt = 22,756$) ติดชั้นละ 2 ใบสูงจากกันถึง 40, 60 และ 90 ซม.ตามลำดับ โดยเว้นระยะห่างระหว่าง 10 และ 15 ซม.จากด้านล่างสู่ด้านบน เนื่องจากผลการทดลองก่อนหน้านี้ ซึ่งให้ค่าที่เหมาะสมของความถี่ของระยะห่างการเรียงใบกวนว่าควรเรียงจากตอนล่างสู่ตอนบนให้มีค่าระยะห่างมากไปหาน้อยจะให้ผลในการปั่นกวนที่ดี(ปริญญา, 2535) คือจะเป็นการลดระดับค่า G ไปตามความยาวของถัง(มั่นสิน ตันกุลเวศม์, 2538) ใช้ความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาทีและใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6, 8 และ 10 ม./ชม. โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สารPACI ปริมาณ 1 มก./ล.เป็นสารโคแอกกูแลนต์ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.5 มก./ล. เป็นโคแอกกูแลนต์เอด รวมการทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ค่าพีเอชและสภาพด่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิต

จากการทดลองได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 รูปที่ 4.21 และ 4.22 จะพบว่าค่าพีเอชน้ำหลังกวนเร็วจะมีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชน้ำดิบอยู่ประมาณ 0.01-0.06 และสภาพด่างน้ำผลิตมีค่าต่ำกว่าสภาพด่างน้ำดิบประมาณ 0-2 มก.หินปูน/ล. อธิบายได้ว่าการใช้สาร PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่เมื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้วจะไม่ทำให้ค่าพีเอชลดลง ดังนั้นน้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตจะมีค่าพีเอชและค่าสภาพด่างไม่ต่างจากน้ำดิบมากนัก การใช้ PACI จึงมีข้อดีคือไม่ทำให้พีเอชลดและไม่ต้องการปรับพีเอชหลังจากการกวนเร็วแล้ว

ตารางที่ 4.15 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตโดยเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3

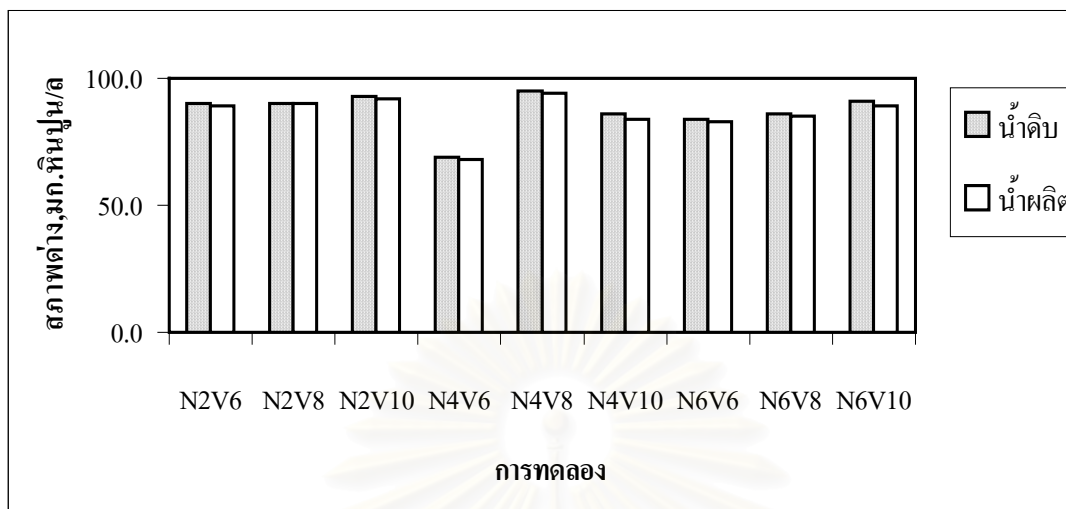
จำนวนใบกวน	ความเร็วน้ำไหลขึ้น, ม./ชม.	พีเอช		
		น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
2	6	7.58	7.53	7.52
	8	7.60	7.54	7.56
	10	7.73	7.67	7.70
4	6	7.55	7.52	7.50
	8	7.99	7.93	7.94
	10	7.88	7.83	7.78
6	6	7.56	7.53	7.54
	8	7.91	7.89	7.84
	10	7.77	7.76	7.77



รูปที่ 4.21 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็ว และน้ำผลิตเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3

ตารางที่ 4.16 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3

จำนวนใบกวน	ความเร็วน้ำไหลขึ้น, ม./ชม.	สภาพต่าง, มก.หินปูน/ล.	
		น้ำดิบ	น้ำผลิต
2	6	90.0	89.0
	8	90.0	90.0
	10	93.0	92.0
4	6	69.0	68.0
	8	95.0	94.0
	10	86.0	84.0
6	6	84.0	83.0
	8	86.0	85.0
	10	91.0	89.0



รูปที่ 4.22 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3

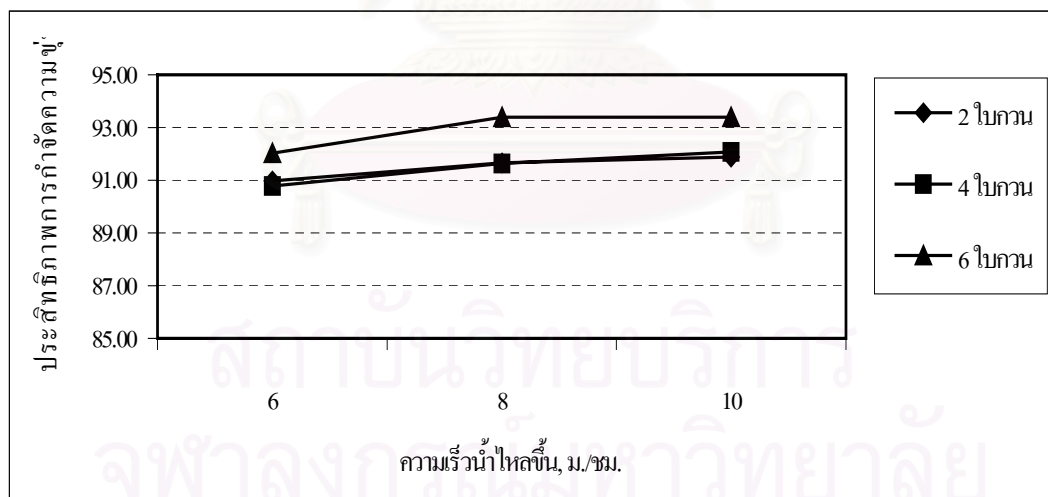
4.3.2 อิทธิพลของความเร็วน้ำไหลขึ้นและจำนวนใบกวนต่อความขุ่นน้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

จากตารางที่ 4.17 ระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงขึ้นเมื่อความเร็วน้ำไหลขึ้นสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 90 – 93 % ส่วนน้ำผลิตจะมีค่าอยู่ในช่วง 3 – 9.3 เอ็นทียู ซึ่งเป็นผลมาจากความขุ่นน้ำดิบด้วย ทำให้ค่าความขุ่นน้ำผลิตออกมาต่าง ๆ กัน

ผลของความขุ่นน้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ดังที่ได้แสดงและจากรูปที่ 4.23 เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองช่วงที่ 3 จะสรุปได้ว่าที่ความเร็วน้ำไหลขึ้นมากขึ้นระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงขึ้นด้วย อธิบายได้ว่าการเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นนั้นทำให้มีความปั่นป่วนมากขึ้น อนุภาคจะเกิดการชนและการรวมตัวกันมากขึ้น ทำให้มีความขุ่นออกไปกับน้ำผลิตน้อย และผลจากการใช้ใบกวนจำนวน 2, 4 และ 6 ใบนั้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนใบกวนเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าการเพิ่มใบกวนนั้นมีผลทำให้เกิดการกวนที่เหมาะสมและทั่วถึง จึงทำให้อนุภาคในน้ำรวมตัวกันได้ดีมากขึ้นโดยที่ใบกวน 6 ใบระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุดคือ 93.39 %

ตารางที่ 4.17 ความขุ่นน้ำดิบ,น้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น การทดลองช่วงที่ 3

จำนวนใบกวน	ความเร็วน้ำไหลขึ้น, ม./ชม.	ความขุ่น, เอ็นทียู		ประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น, %
		น้ำดิบ	น้ำผลิต	
2	6	48.1	4.3	90.98
	8	41.3	3.4	91.66
	10	37.2	3.0	91.89
4	6	92.5	8.5	90.77
	8	71.8	6.0	91.64
	10	116.7	9.3	92.07
6	6	115.3	9.2	92.02
	8	129.3	8.6	93.35
	10	134.7	8.9	93.39



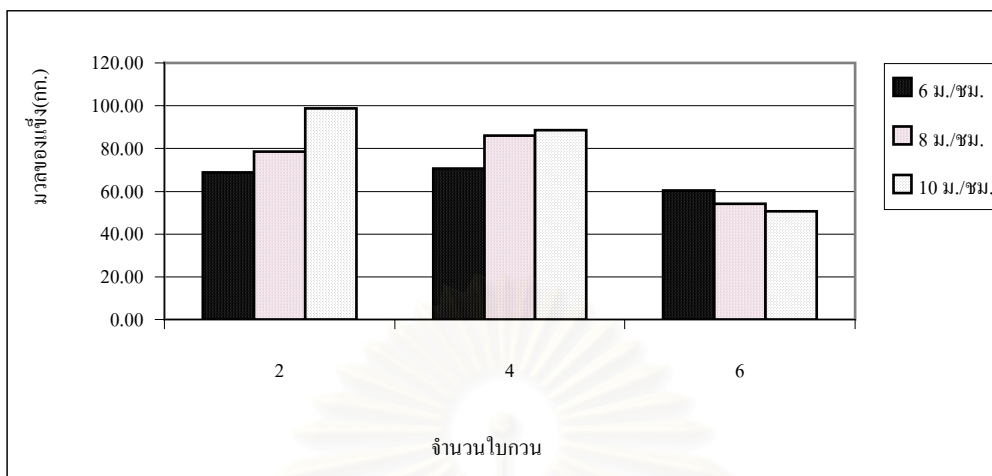
รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยในการทดลองช่วงที่ 3

4.3.3 อิทธิพลของความเร็วน้ำไหลขึ้นและจำนวนใบกวนต่อมวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลล็ด

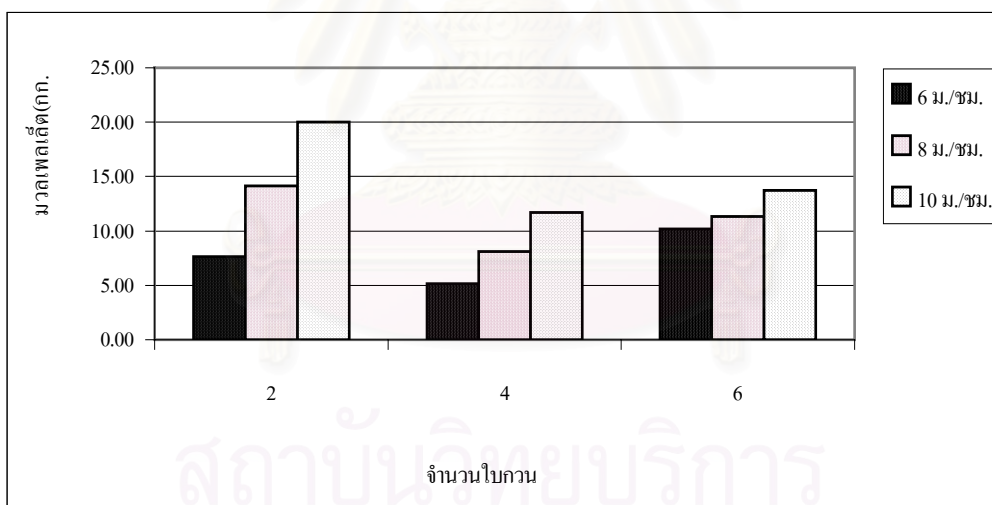
ตารางที่ 4.18 แสดงค่ามวลของแข็งทั้งหมดและเพลล็ด เมื่อใช้ใบกวนจำนวน 2, 4 และ 6 ใบและความเร็วน้ำไหลขึ้น 6, 8 และ 10 ม./ชม. โดยมวลของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 50 – 98 กก., มวลเพลล็ดทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 4 – 20 กก. และ เปอร์เซนต์เพลล็ดมีค่าอยู่ในช่วง 5 – 27 กก. ซึ่งทั้ง 3 ค่าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นมากขึ้น เปอร์เซนต์เพลล็ดจะมีค่าสูงสุดที่ความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 10 ม./ชม.และใช้ใบกวน 6 ใบ โดยมีค่า 27.14 %

ตารางที่ 4.18 มวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลล็ดทั้งหมดโดยเฉลี่ย การทดลองช่วงที่ 3

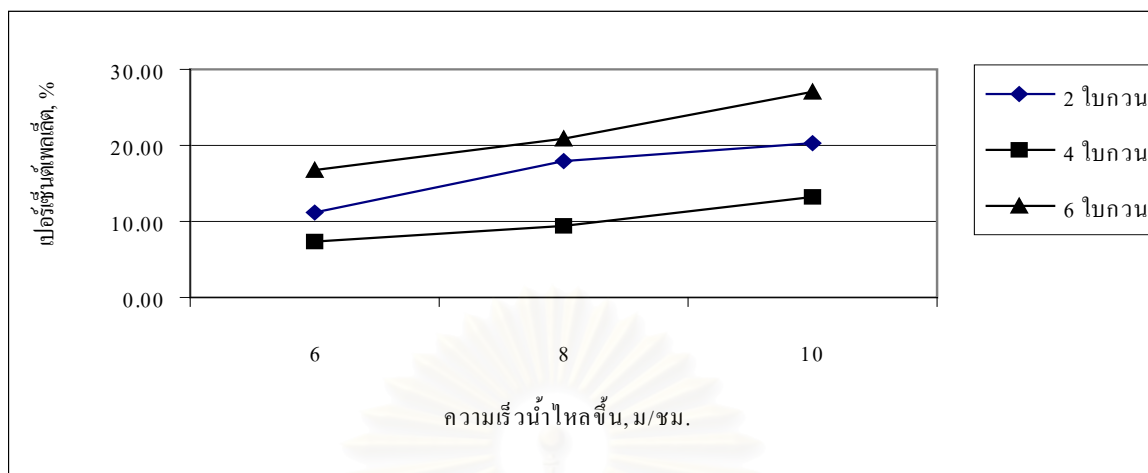
จำนวนใบกวน	ความเร็วน้ำไหลขึ้น, ม./ชม.	มวลของแข็งทั้งหมด, กก.	มวลเพลล็ด, กก.	เปอร์เซนต์เพลล็ด, %
2	6	68.89	7.63	11.08
	8	78.66	14.16	18.00
	10	98.75	19.99	20.24
4	6	70.48	5.16	7.33
	8	85.98	8.12	9.44
	10	88.45	11.7	20.73
6	6	60.39	10.19	16.87
	8	54.14	11.31	20.89
	10	50.59	13.73	27.14



รูปที่ 4.24 มวลของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 3



รูปที่ 4.25 มวลเพลลิตทั้งหมดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 3



รูปที่ 4.26 เปอร์เซนต์เฟลลัดเฉลี่ย ในการทดลองช่วงที่ 3

จากผลการทดลองที่ได้ สรุปได้ว่ามวลของแข็งทั้งหมดและเฟลลัดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นสูงขึ้น อธิบายได้เนื่องจากการเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นนั้นทำให้อนุภาคเกิดการสัมผัสกันมากขึ้นจึงรวมตัวได้มวลของแข็งทั้งหมดและเฟลลัดมากขึ้น ส่วนการทดลองที่ใช้ใบกวนจำนวน 6 ใบกวนและความเร็วน้ำไหลขึ้นที่ 8 และ 10 ม./ชม. นั้นจะมีค่ามวลของแข็งลดลง อธิบายได้ว่าการใช้ใบกวนจำนวน 6 ใบกวนโดยที่ 2 ใบกวนจะอยู่สูงจากกันถึงประมาณ 90 ซม. จึงทำให้บริเวณชั้นของแข็งด้านบนเกิดความปั่นป่วนมาก มวลของแข็งทั้งหมดและเฟลลัดบางส่วนที่อยู่ในระดับนี้จึงแตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ประกอบกับความเร็วน้ำไหลขึ้นที่สูงขึ้น จึงทำให้มวลของแข็งทั้งหมดและเฟลลัดที่แตกออกและมีน้ำหนักเบาลอยตัวขึ้น ถูกระบายออกไปที่ระดับ 150 ซม. เป็นจำนวนมาก

ผลจากจำนวนใบกวนจะพบว่ามวลของแข็งทั้งหมดและเฟลลัดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนใบกวนมากขึ้น อธิบายได้ว่าการเพิ่มจำนวนใบกวนมีผลทำให้ค่าความปั่นป่วนสูงขึ้น จึงเกิดการผสมอย่างสมบูรณ์มากขึ้นภายในถังสร้างเฟลลัด และมีมวลของแข็งและเฟลลัดเกิดขึ้นมากตามไปด้วย สำหรับการทดลองที่ใช้ใบกวน 4 ใบกวนกับความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 และ 8 ม./ชม. จะมีค่ามวล เฟลลัดต่ำเนื่องมาจากในการทดลองที่ใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม./ชม. นั้น ครั้งแรกที่เดินระบบปรากฏว่าไฟฟ้าดับ จึงทำให้ปั๊มจ่ายสารเคมีไม่ทำงาน ในขณะที่น้ำดิบยังคงไหลเข้าสู่ระบบตลอดเวลาเนื่องจากน้ำดิบที่เข้า

สู่ระบบไม่ได้ใช้ปั๊มพ์สูบแต่ใช้ระดับความสูงของถังน้ำเป็นเฮดสร้างแรงดันในน้ำ ดังนั้นเมื่อไฟดับและน้ำดับยังคงไหลอยู่ตลอดแต่ไม่มีการจ่ายสารโคแอกกูแลนต์และสารโคแอกกูแลนต์เอค จึงทำให้ของแข็งและเพลล็ดภายในถังเกิดการเจือจางลงจนกระทั่งลอยออกจากถังไปจนหมด จึงต้องมีการเริ่มต้นระบบใหม่โดยไม่มีเป่าสัมผัสภายในถัง ดังนั้นค่ามวลเพลล็ดที่วัดได้จึงต่ำ

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์เพลล็ดจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นสูงขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นสูงขึ้นทำให้ระบบมีการระบายฟล็อกหรือมวลของแข็งที่มีขนาดและความเร็วจมตัวต่ำออกไปมาก แต่เพลล็ดซึ่งมีขนาดและความเร็วจมตัวสูงจะไม่ถูกระบายออกไปจึงทำให้เปอร์เซ็นต์เพลล็ดสูงขึ้น ดังนั้นผลของจำนวนใบกวนและอัตราเร็วน้ำไหลขึ้นต่อมวลของแข็ง มวลเพลล็ดและเปอร์เซ็นต์เพลล็ดสามารถสรุปได้ว่าการใช้ใบกวนจำนวน 6 ใบร่วมกับความเร็วน้ำไหลขึ้น 10 ม./ชม.จะให้มวลของแข็งทั้งหมด, มวลเพลล็ดและเปอร์เซ็นต์เพลล็ดสูงที่สุด

4.3.4 อิทธิพลของจำนวนใบกวนและความเร็วน้ำไหลขึ้นต่อขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลล็ด

ก. อิทธิพลต่อขนาดของเม็ดเพลล็ด

ตารางที่ 4.19 แสดงผลขนาดของเม็ดเพลล็ดเมื่อใช้ใบกวนจำนวน 2, 4 และ 6 ใบ และใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6, 8 และ 10 ม./ชม. เพลล็ดจะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.28 – 0.70 มม. โดยที่ระดับ 30 ซม. เพลล็ดจะมีขนาดใหญ่ที่สุด และที่ ระดับ 150 ซม.เพลล็ดจะมีขนาดเล็กที่สุดเนื่องจากการเรียงตัวของเพลล็ด มวลเพลล็ดที่มีขนาดใหญ่จะจมลงระดับล่างได้มากกว่าเพลล็ดที่มีขนาดเล็กซึ่งจะถูกน้ำพาให้ลอยขึ้นไปสู่ด้านบน ส่วนที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 8 และ 10 ม./ชม. เพลล็ดจะมีขนาดใหญ่กว่าที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 6 ม./ชม.เพราะเมื่อความเร็วน้ำไหลขึ้นเพิ่มสูง มวลเพลล็ดที่มีขนาดเล็กจะถูกดันโดยแรงดันน้ำให้ลอยสู่ด้านบนหรือลอยออกจากถังไป ดังนั้นเพลล็ดส่วนที่เหลือจึงเป็นเพลล็ดส่วนที่มีขนาดเล็ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ขนาดของเพลลิตเฉลี่ยที่ระดับต่าง ๆ ในการทดลองครั้งที่ 3

จำนวน ใบกวน	ความเร็ว น้ำไหลขึ้น, ม./ชม.	ขนาดเพลลิตที่ระดับ, มม.					
		0	30	60	90	120	150
2	6	0.46	0.52	0.46	0.42	0.39	0.34
	8	0.44	0.57	0.53	0.50	0.43	0.39
	10	0.41	0.57	0.51	0.47	0.44	0.41
4	6	0.48	0.53	0.48	0.39	0.34	0.32
	8	0.44	0.60	0.51	0.41	0.35	0.28
	10	0.54	0.62	0.52	0.44	0.37	0.33
6	6	0.54	0.60	0.47	0.41	0.37	0.34
	8	0.58	0.67	0.54	0.50	0.46	0.40
	10	0.58	0.70	0.62	0.56	0.51	0.46

ข. อิทธิพลต่อความเร็วจมตัวของเม็ดเพลลิต

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าความเร็วจมตัวของเม็ดเพลลิตในการทดลองครั้งที่ 3 จะได้ว่าเม็ดเพลลิตมีค่าความเร็วจมตัวอยู่ระหว่าง 22 –188 ม./ชม. โดยค่าความเร็วจมตัวของเม็ดเพลลิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเร็วน้ำไหลขึ้นเพิ่มสูงขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นนั้นจะเปรียบเสมือนการคัดเพลลิต เพลลิตที่มีความเร็วจมตัวสูงจะสามารถอยู่ในถังได้ ส่วนเพลลิตที่มีความเร็วจมตัวต่ำจะถูกดันให้ลอยออกไป ดังนั้นที่ความเร็วน้ำไหลขึ้น 10 ม./ชม.เพลลิตจึงมีค่าความเร็วจมตัวสูงที่สุด และเพลลิตที่มีความเร็วจมตัวสูงจะสามารถจมตัวลงสู่ด้านล่างของถังได้มากกว่าเพลลิตที่มีความเร็วจมตัวต่ำ

ตารางที่ 4.20 ความเร็วจมตัวของเพลลิตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 3

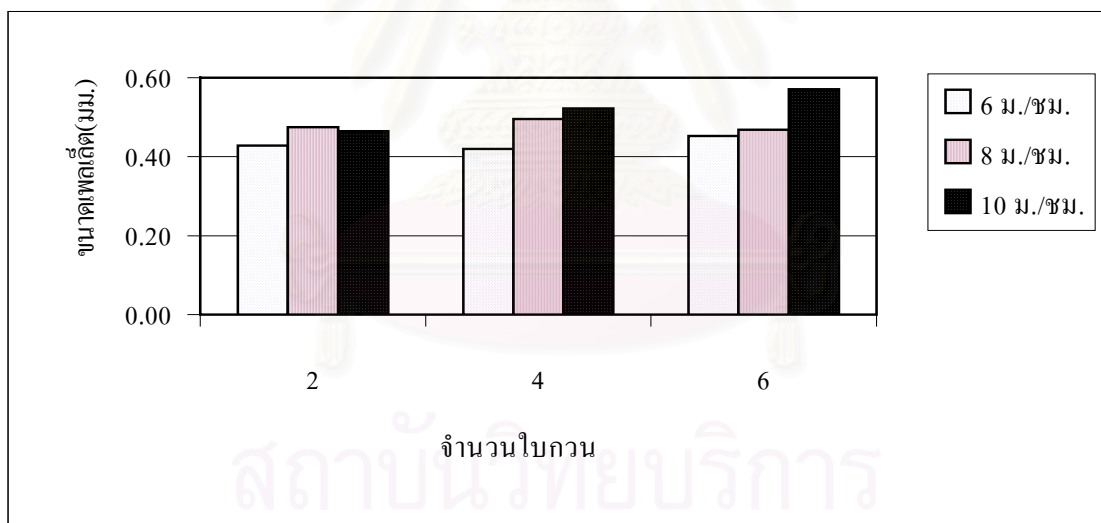
จำนวน ใบกวน	ความเร็วน้ำ ไหลขึ้น, ม./ชม.	ความเร็วจมตัวเพลลิตที่ระดับ, ม./ชม.					
		0	30	60	90	120	150
2	6	61.98	79.60	58.22	48.17	39.97	26.50
	8	67.78	96.19	81.38	69.88	48.00	33.73
	10	67.17	103.47	82.77	73.78	64.75	53.15
4	6	85.15	90.75	72.01	43.71	32.96	28.10
	8	75.03	103.58	83.44	55.30	37.97	22.17
	10	115.04	133.36	86.26	60.01	46.07	36.33
6	6	108.97	116.07	66.59	50.27	40.54	33.89
	8	126.29	150.78	89.21	76.83	59.15	46.43
	10	137.34	188.52	132.00	108.12	88.12	70.85

ค. อิทธิพลต่อความหนาแน่นประสิทธิผลของเม็ดเพลลิต

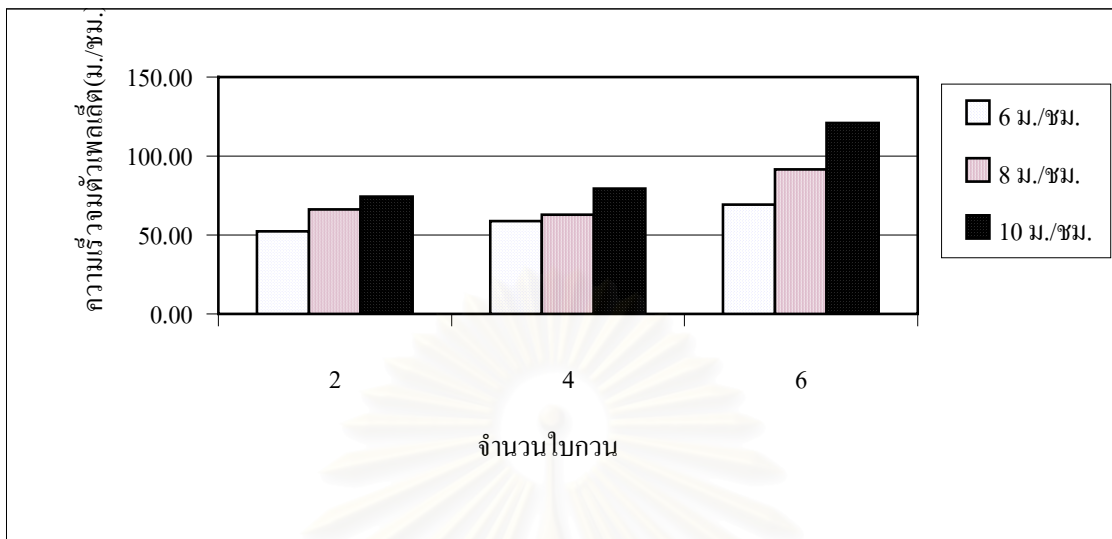
ตารางที่ 4.21 แสดงค่าความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลลิตเมื่อใช้ใบกวน 2, 4 และ 6 ใบ และความเร็วน้ำไหลขึ้น 6, 8 และ 10 ม./ชม. จะได้ค่าความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลลิต 0.101 – 0.185 ก./ลบ.ชม. โดยค่าความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลลิตจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเร็วน้ำไหลขึ้นเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นทำให้เกิดความปั่นป่วนภายในถัง กวนมากขึ้น จึงเกิดการก่อกวนกันของอนุภาคมากขึ้น

ตารางที่ 4.21 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพล็ดเตี๊ญ จากการทดลองช่วงที่ 3

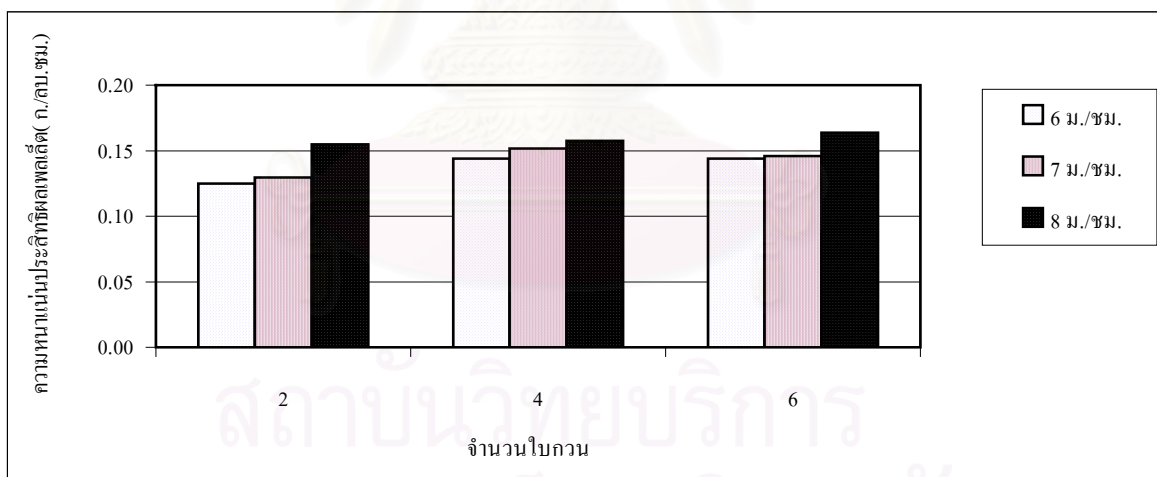
จำนวน ใบกวน	ความเร็วน้ำไหล ขึ้น, ม./ชม.	ความหนาแน่นประสิทธิผลเพล็ดเตี๊ญที่ระดับ, ก./ลบ.ชม.					
		0	30	60	90	120	150
2	6	0.137	0.133	0.124	0.127	0.123	0.107
	8	0.159	0.135	0.131	0.129	0.121	0.101
	10	0.181	0.147	0.147	0.152	0.155	0.147
4	6	0.171	0.147	0.145	0.138	0.134	0.130
	8	0.176	0.148	0.153	0.150	0.145	0.137
	10	0.183	0.161	0.148	0.143	0.157	0.154
6	6	0.170	0.146	0.140	0.139	0.134	0.134
	8	0.174	0.153	0.139	0.143	0.130	0.136
	10	0.185	0.175	0.156	0.160	0.154	0.152



รูปที่ 4.27 ขนาดของเม็ดเพล็ดเตี๊ญ จากการทดลองช่วงที่ 3



รูปที่ 4.28 ความเร็วจมตัวของเม็ดเพลลัดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 3



รูปที่ 4.29 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลลัดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 3

จากรูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลลิตของการทดลองครั้งที่ 3 สรุปได้ว่าขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลลิตจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อจำนวนใบกวนเพิ่มมากขึ้น อธิบายได้ว่าการเพิ่มจำนวนใบกวนทำให้เกิดความปั่นป่วนมากขึ้น มีผลให้ฟล็อกและเพลลิตเกิดการกลิ้งและการชนกันมากขึ้นจึงทำให้เพลลิตมีขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลลิตสูงขึ้นตามทฤษฎีการกลิ้งและการชนซึ่งเสนอโดย Yusa, Suzuki and Tanaka (1975) และผลของความเร็วน้ำไหลขึ้นต่อขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลลิต จะได้ว่าขนาด ความเร็วจมตัว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพลลิตจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วน้ำไหลสูงขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วน้ำไหลสูงขึ้นจะทำให้เพลลิตที่มีขนาด และความเร็วจมตัวต่ำลอยตัวขึ้นสูงและถูกระบายออกไปที่ระดับ 150 ซม. ดังนั้นเพลลิตที่เหลือในถังจึงมีขนาด ความเร็วจมตัวสูงและความหนาแน่นสูง

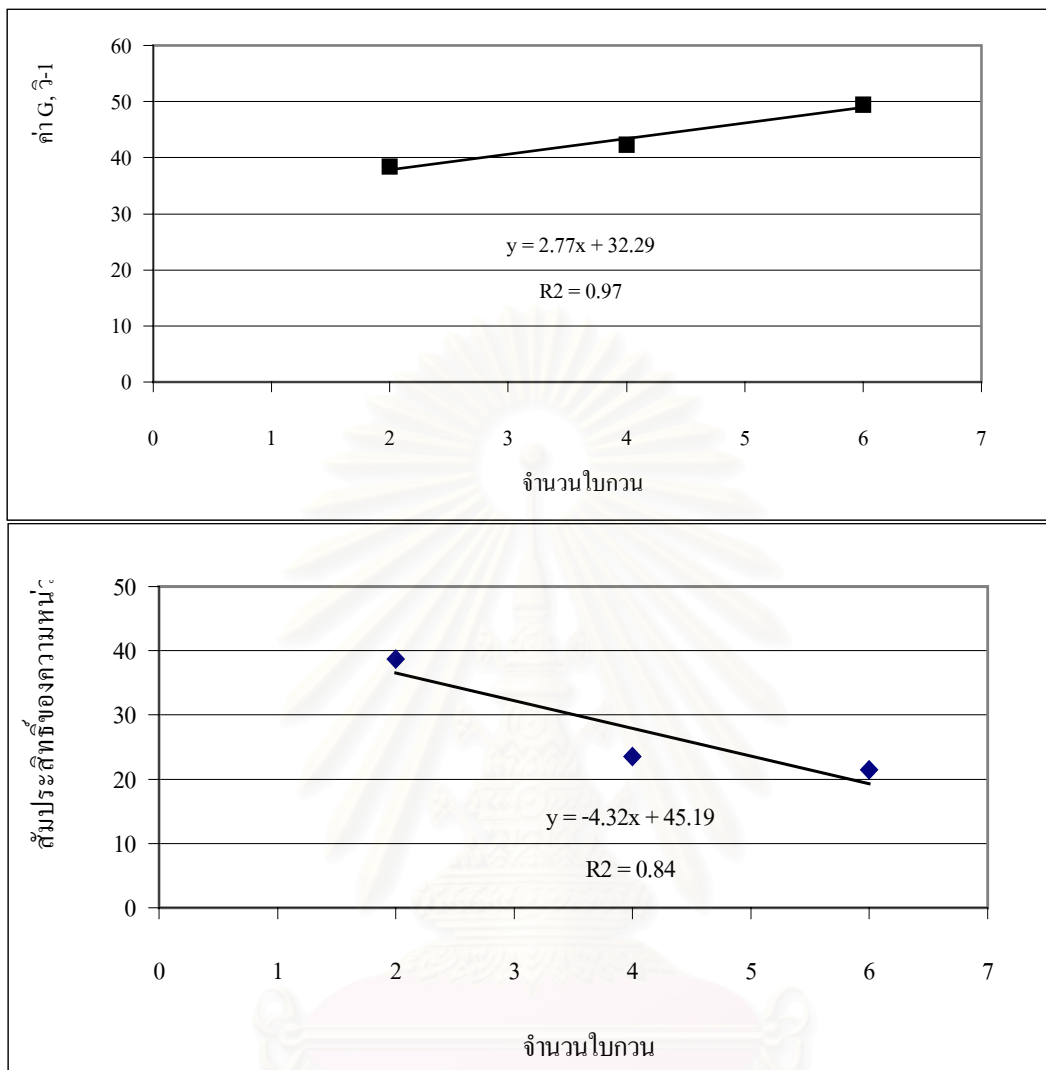
4.3.5 การวิเคราะห์ผลของการปั่นกวนโดยการเปลี่ยนจำนวนใบพัดกวน

จากการศึกษาผลของการปั่นกวนโดยการเปลี่ยนจำนวนใบกวนและเปลี่ยนความเร็วน้ำไหลขึ้น จะได้ค่า $G \times T$ จากการวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G) และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง (C_d) จากการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (P) ในการทดลองครั้งที่ 3

จำนวนใบพัด	P(watt)	C_d	G จากการทดลอง($วินาที^{-1}$)
2	2.96	38.74	38.38
4	3.59	23.52	42.29
6	4.92	21.46	49.47

จากข้อมูลที่ได้ ค่า G จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนใบพัดมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มจำนวนใบพัดทำให้มอเตอร์กวนต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการกวนมากขึ้นเพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างใบพัดกับน้ำมากขึ้น ส่วนค่า C_d จะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนใบพัดเพิ่มขึ้นเพราะค่า C_d หรือสัมประสิทธิ์ของความหน่วงนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบใบพัดและสภาพการไหลของน้ำ (Flow Condition)



รูปที่ 4.30 ผลของจำนวนใบกวนต่อความเร็วเกรเดียนท์และสัมประสิทธิ์ของความหน่วง

จากกราฟจะสามารถหาความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงของจำนวนใบกวนกับค่าความเร็วเกรเดียนท์และสัมประสิทธิ์ของความหน่วงได้ดังนี้

$$G = 2.77N + 32.29$$

$$Cd = -4.32N + 45.19$$

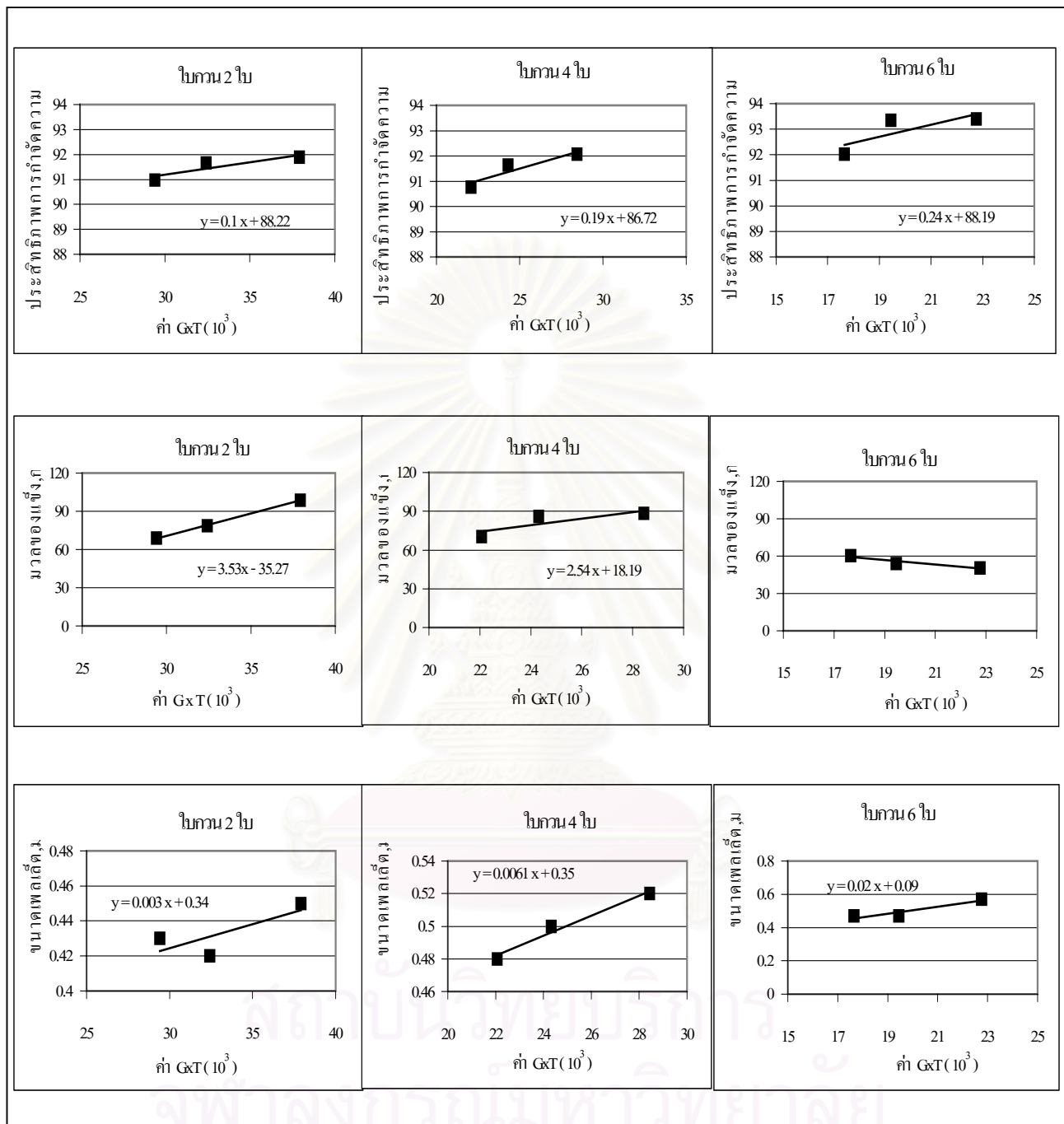
โดย N คือจำนวนใบกวน

ตารางที่ 4.23 ผลของค่า GxT ต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น,% , มวลของแข็งทั้งหมดและ
ขนาดเฟลลิต จากการทดลองช่วงที่ 3

การทดลอง	ค่า GxT	ประสิทธิภาพการ กำจัดความขุ่น,%	มวลของแข็ง, กก.	ขนาดเฟลลิต, มม.
N2V6	29,419	90.98	68.89	0.43
N2V8	22,069	91.66	78.66	0.42
N2V10	17,655	91.89	98.75	0.45
N4V6	32,417	90.77	70.48	0.48
N4V8	24,317	91.64	85.98	0.50
N4V10	19,453	92.07	88.45	0.52
N6V6	37,920	92.02	60.39	0.47
N6V8	28,445	93.35	54.14	0.47
N6V10	22,756	93.39	50.59	0.57

จากรูปที่ 4.31 ค่า GxT จะมีผลต่อค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นคือ เมื่อค่า GxT เพิ่มมากขึ้นโดยเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นในการใช้ไบกวนแต่ละชนิดจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงขึ้น ค่า GxT เป็นค่าที่มีผลมาจากค่าความเร็ว เกรเดียนท์และเวลารวมตะกอน ดังนั้นระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงเมื่อมีค่า GxT ที่เหมาะสม สำหรับการทดลองนี้ จะได้ว่าการใช้ไบก์ 6 ไบ และความเร็วน้ำไหลขึ้น 10 ม./ชม.ที่ค่า GxT = 22,756 ระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงที่สุด

ผลของค่า GxT ที่มีต่อค่ามวลของแข็งทั้งหมด จากรูปจะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า GxT มีค่าเพิ่มสูงขึ้น นั่นคือการใช้ค่า GxT เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องมาจากตะกอนมีเวลาในการรวมตัวนานมากขึ้น อนุภาคในน้ำจึงสามารถรวมกลุ่มกันได้ปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ภายในถังมีมวลของแข็งทั้งหมดมากขึ้น ส่วนการใช้ไบก์ 6 ไบ นั้นจะมีค่ามวลของแข็งลดลงเนื่องจากเหตุผลที่ได้อธิบายไปแล้ว คือไบก์ที่อยู่ชั้นบนสุดจะทำให้ผิวน้ำมีความปั่นป่วนสูงมวลของแข็งด้านบนจึงลอยออกจากถังไป



รูปที่ 4.31 ผลของค่า GxT ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น, มวลของแข็งทั้งหมดและขนาดเพลลัด จากการทดลองครั้งที่ 3

ขนาดของเม็ดเพลเล็ตนั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่า GxT คือเมื่อค่า GxT สูงขึ้น เพลเล็ตจะมีขนาดใหญ่มากขึ้น คือเมื่อกวนน้ำด้วยค่าความปั่นป่วนที่เหมาะสมและมีเวลาในการผสมรวมตัวของอนุภาคมากขึ้น จะทำให้ได้เม็ดเพลเล็ตขนาดที่ใหญ่มากขึ้นตามไปด้วย โดยในการศึกษาช่วงที่ 3 นี้จะได้ว่าที่การใช้ใบกวนจำนวน 6 ใบและความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับ 10 ม./ชม. เพลเล็ตจะมีขนาดเฉลี่ยที่ใหญ่ที่สุดคือ 0.57 มม.

4.4 ผลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ

การทดลองในช่วงที่ 3 นี้ได้ศึกษาปริมาณของสารโคเอกกูแลนต์และสารโคเอกกูแลนต์เอดโดยใช้สาร PACI ปริมาณ 3, 4 และ 5 มก./ล. เป็นสารโคเอกกูแลนต์ เนื่องจากเป็นสารโคเอกกูแลนต์ที่ไม่มีผลต่อปัญหาการลดลงของพีเอช อีกทั้งทางการประสานครหลวงเคยศึกษาถึงผลการใช้ PACI แทนการใช้สารส้มปรากฏว่ามีแนวโน้มที่ดีคือ สามารถลดต้นทุนในการผลิตน้ำประปาหลง เนื่องจากใช้ปริมาณน้อยกว่า และไม่ต้องปรับค่าพีเอชของน้ำ จึงทดลองศึกษาการใช้สาร PACI ในระบบกำจัดความขุ่นโดยการสร้างเพลเล็ตขนาดต้นแบบเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของระบบนี้ ส่วนสารโคเอกกูแลนต์เอดจะใช้สารโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุปริมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. เพื่อศึกษาผลของการลดปริมาณการใช้สารโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุลง เนื่องจากสารโพลีเมอร์มวลโมเลกุลสูงจะมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ ซึ่งในการทดลองช่วงที่ 4 นี้ได้นำค่าตัวแปรที่ได้ศึกษามาแล้วจากการทดลองช่วงที่ 1-3 มาใช้ในการทดลอง ได้แก่ ใบกวนที่ใช้แบบที่ 1 ไม่มีการเจาะรู ทั้งหมดจำนวน 6 ใบ กวนช้าที่ความเร็วรอบกวน 2 รอบ/นาที และความเร็วน้ำไหลขึ้นที่ 10 ม./ชม. ในช่วงที่ 4 นี้มีการทดลองรวมทั้ง 9 การทดลอง

4.4.1 ค่าพีเอชและสภาพต่างน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิต

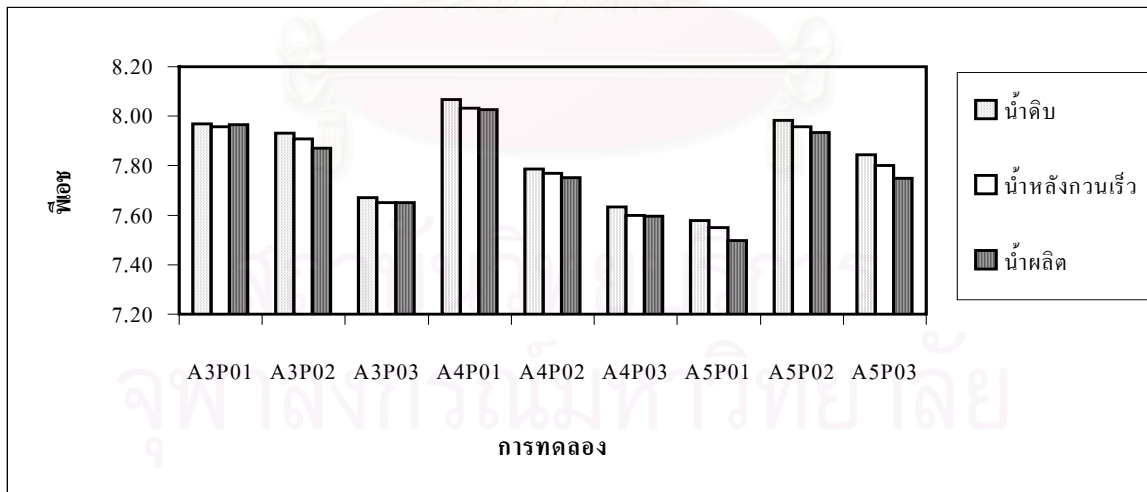
จากตารางที่ 4.24 และ 4.25 และรูปที่ 4.32 และ 4.33 จะแสดงค่าพีเอช และสภาพต่างเฉลี่ยที่การทดลองต่าง ๆ ในช่วงที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำหลังกวนเร็วจะต่ำกว่าพีเอชของน้ำดิบเพียงเล็กน้อย อธิบายได้ว่าการใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์นั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้ว จะไม่ทำให้พีเอชลดลงนอกจากนี้ PACI สามารถใช้งานได้ในช่วงพีเอชช่วงที่กว้างดังนั้นการใช้ PACI จึงไม่ต้องปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ส่วนพีเอชของน้ำผลิตแต่ละการทดลองจะต่ำกว่าพีเอชของน้ำหลังกวนเร็วเพียงเล็กน้อย อธิบายได้ว่าค่าพีเอชที่ลดลงเนื่องมาจากความปั่นป่วนภายในถังสร้างเพลเล็ตทำให้ฟล็อกและเพลเล็ตบางส่วนภายในถังแตกออกจึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอีกครั้งหนึ่ง ค่าพีเอชน้ำผลิตจึงลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้ปริมาณ PACI ที่ใช้มีค่าน้อยทำให้การแตกตัวของไฮโดรเจนอิออนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจึงมีค่าน้อยด้วย สำหรับค่าสภาพต่างน้ำผลิตจะต่ำกว่าน้ำดิบประมาณ 2-4 มก.หินปูน/ล. ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับค่าพีเอช

ตารางที่ 4.24 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตโดยเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4

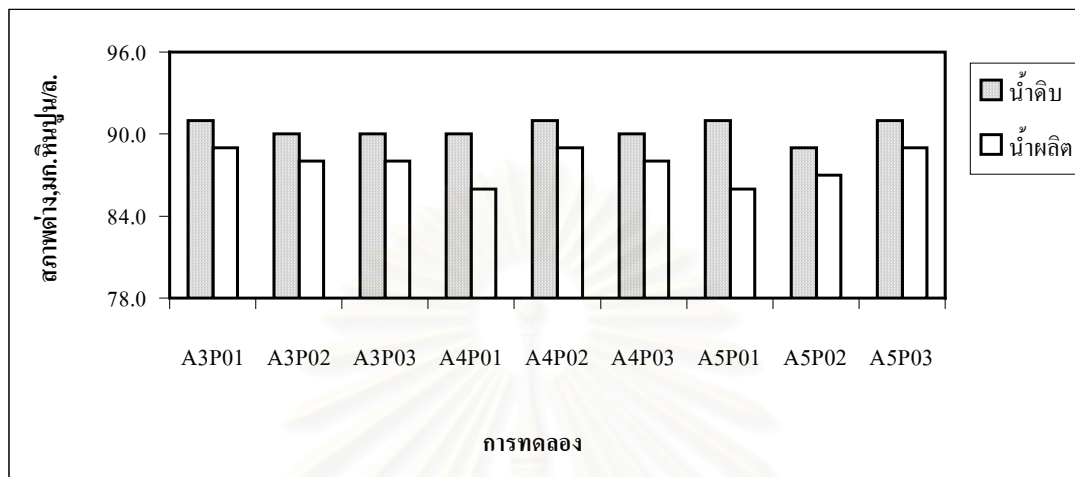
PACL มก./ล.	โพลีเมอร์ มก./ล.	พีเอช		
		น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
3	0.1	7.97	7.96	7.97
	0.2	7.93	7.91	7.87
	0.3	7.67	7.65	7.65
4	0.1	8.07	8.03	8.03
	0.2	7.79	7.77	7.75
	0.3	7.63	7.60	7.60
5	0.1	7.58	7.55	7.50
	0.2	7.98	7.96	7.93
	0.3	7.84	7.80	7.75

ตารางที่ 4.25 ค่าสภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตโดยเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4

PACL มก./ล.	โพลิเมอร์ มก./ล.	สภาพต่าง, มก.หินปูน/ล.	
		น้ำดิบ	น้ำผลิต
3	0.1	91.0	89.0
	0.2	90.0	88.0
	0.3	90.0	88.0
4	0.1	90.0	86.0
	0.2	91.0	89.0
	0.3	90.0	88.0
5	0.1	91.0	86.0
	0.2	89.0	87.0
	0.3	91.0	89.0



รูปที่ 4.32 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตโดยเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4



รูปที่ 4.33 สภาพต่างน้ำดิบ และน้ำผลิตโดยเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4

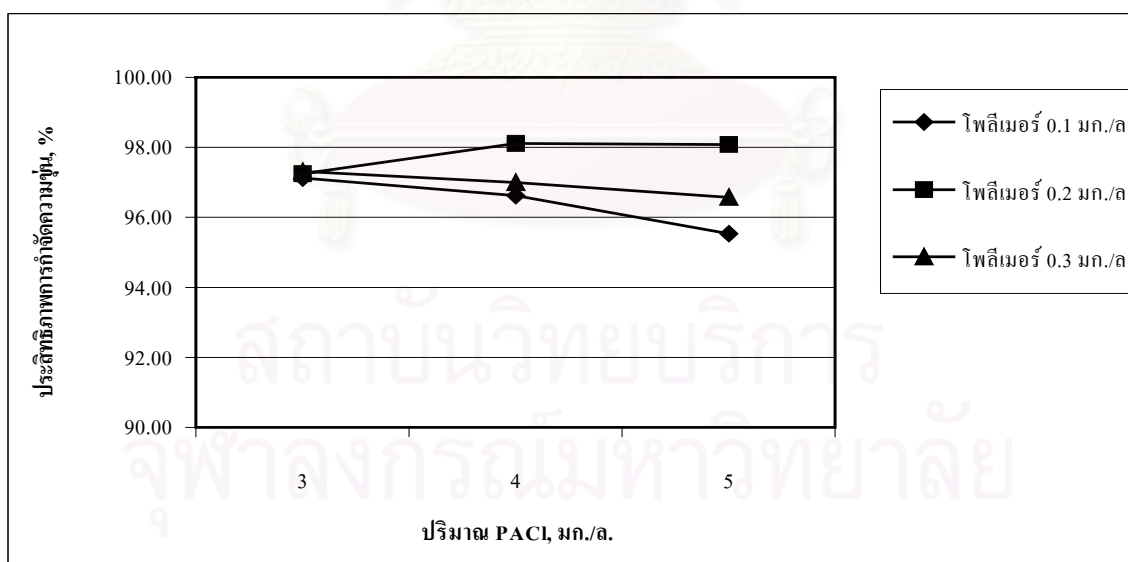
4.4.2 อิทธิพลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุ ต่อความขุ่นน้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

จากตารางที่ 4.26 ระบบสามารถผลิตน้ำคุณภาพสูง ความขุ่นน้ำผลิตอยู่ที่ 2 – 5.5 เอ็นทียู และมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงถึง 95 – 97 % โดยการทดลองนี้ได้ลดปริมาณการใช้โพลีเมอร์ลงมาเหลือเพียง 0.1 – 0.3 มก./ล. ซึ่งจะช่วยลดปริมาณสารก่อมะเร็งในน้ำอันเกิดเนื่องมาจากสารโพลีเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง

จากการทดลองใช้สาร PACI 3, 4 และ 5 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. จะสรุปได้ว่าระบบสามารถผลิตน้ำที่ความขุ่น 2-5.5 เอ็นทียู และมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของแต่ละการทดลองนั้นใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าสูงสุด 98.12 % เมื่อใช้ PACI 4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.2 มก./ล. แต่สำหรับการใช้ PACI 3 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1 มก./ล. ก็เพียงพอสำหรับการกำจัดความขุ่นแล้ว โดยได้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเท่ากับ 97 %

ตารางที่ 4.26 ความชุ่มน้ำดิบ, น้ำผลิตและประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มเฉลี่ยที่การทดลองช่วงที่ 4

ปริมาณโพลีเมอร์ มก./ล.	ปริมาณ PACI, มก./ล.	ความชุ่ม, เอ็นทียู		ประสิทธิภาพการ กำจัดความชุ่ม, %
		น้ำดิบ	น้ำผลิต	
0.1	3	113.7	3.3	97.12
	4	161.7	5.5	96.63
	5	123.7	5.5	95.53
0.2	3	104.7	2.9	97.24
	4	105.6	2.0	98.12
	5	123.0	2.4	98.09
0.3	3	120.3	3.2	97.31
	4	159.3	4.8	97.00
	5	140.7	4.8	96.57



รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มโดยเฉลี่ย จากการทดลองในช่วงที่ 4

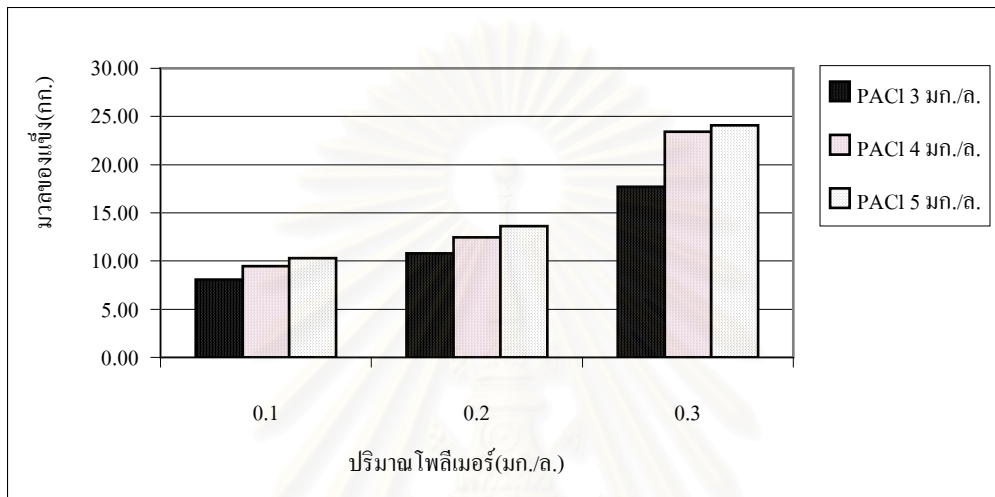
ผลของโพลีเมอร์ต่อความชุ่มน้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่ม จะสรุปว่าความชุ่มน้ำผลิต และประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มที่ดีที่สุดจะอยู่ที่การใช้โพลีเมอร์ 0.2 มก./ล. ซึ่งที่การใช้โพลีเมอร์อีกทั้ง 2 ค่าจะให้ผลที่ต่ำกว่าทั้ง 2 ค่า อธิบายได้ว่าที่การใช้ โพลีเมอร์ 0.2 มก./ล. จะเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดกับระบบในการทดลองช่วงที่ 4 นี้เนื่องจากโมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง และอนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับตัวกับอนุภาคอื่น ๆ ได้โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม ส่วนการใช้โพลีเมอร์ 0.3 มก./ล.จะเป็นปริมาณที่มากเกินไป และจะทำให้อนุภาคกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง กล่าวคือโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น ๆ อนุภาคคอลลอยด์จึงกลับมีเสถียรภาพขึ้นอีกครั้ง

4.4.3 อิทธิพลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุต่อมวลของแข็งทั้งหมดและมวลเฟลล็ด

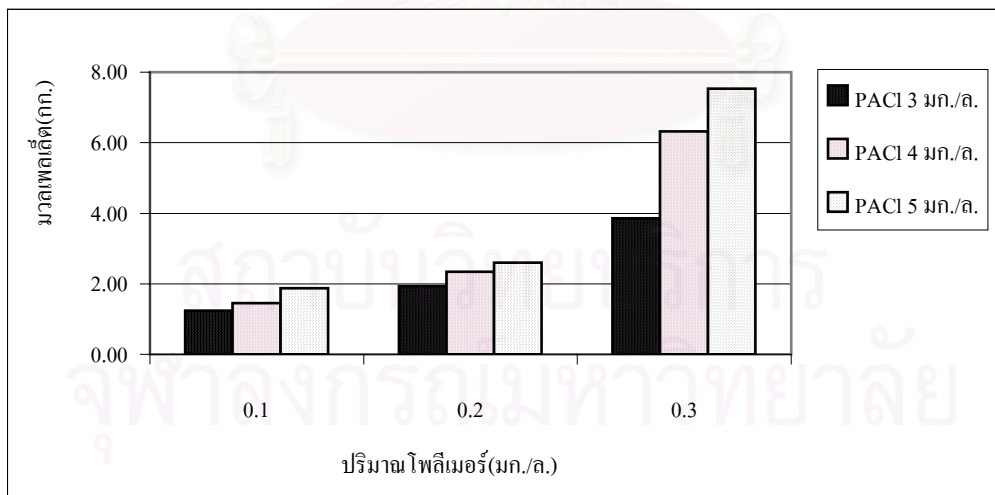
ตารางที่ 4.27 มวลของแข็งทั้งหมด, เฟลล็ดและเปอร์เซ็นต์เฟลล็ดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4

ปริมาณโพลีเมอร์ มก./ล.	ปริมาณ PACI, มก./ล.	มวลของแข็งทั้งหมด, กก.	มวลเฟลล็ด, กก.	เปอร์เซ็นต์เฟลล็ด, %
0.1	3	8.07	1.24	15.30
	4	9.45	1.35	14.34
	5	10.31	1.87	18.11
0.2	3	10.79	1.94	17.98
	4	12.46	2.34	18.77
	5	13.61	2.60	19.08
0.3	3	17.72	3.85	21.70
	4	23.42	6.32	26.99
	5	24.10	7.53	31.22

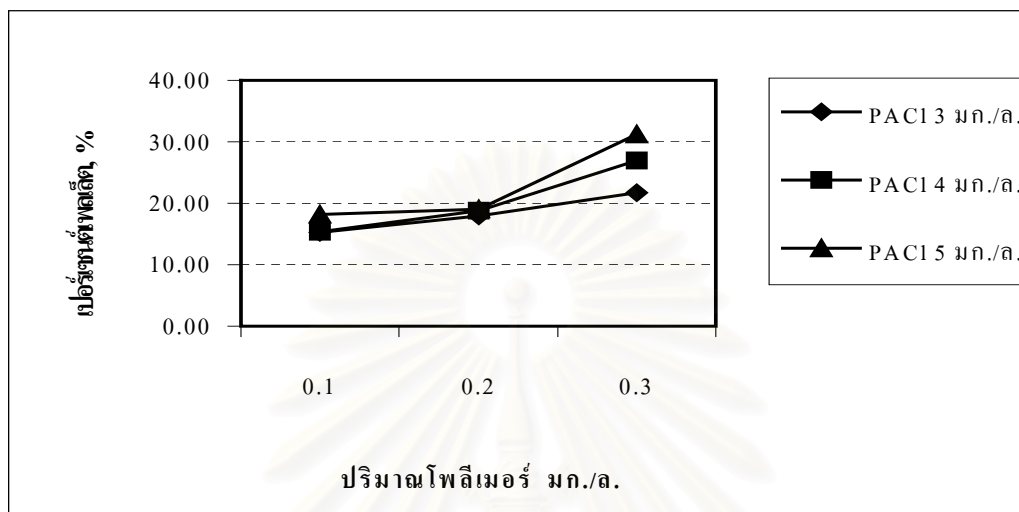
จากตารางที่ 4.27 จะได้ว่าค่าต่อมวลของแข็งทั้งหมด 8 – 24 กก., มีมวลเพลล็ดทั้งหมด 1 – 7 กก. และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เพลล็ด 14 – 31 % โดยมวลของแข็งทั้งหมด, เพลล็ด และเปอร์เซ็นต์เพลล็ดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PACI และปริมาณโพลีเมอร์ไม่มีประจุ



รูปที่ 4.35 มวลของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4



รูปที่ 4.36 มวลเพลล็ดทั้งหมดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4



รูปที่ 4.37 เปอร์เซนต์เพลล็ดทั้งหมดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4

ผลของปริมาณสาร PACI ที่มีต่อมวลของแข็งทั้งหมดและเพลล็ดจะสรุปได้ว่ามวลของแข็งทั้งหมด และเพลล็ดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณ PACI สูงขึ้น อธิบายได้ว่า สาร PACI ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยทำให้อนุภาครวมตัวกันได้มากขึ้น อีกทั้ง PACI เป็นสารโพลีเมอร์ดังนั้นจึงมีปฏิกิริยาช่วยในการเกาะจับกันระหว่างอนุภาคหรือเพลล็ดทำให้มีของแข็งและเพลล็ดเพิ่มมากขึ้น สำหรับการทดลองนี้สามารถสร้างเพลล็ดได้ประมาณ 15-31 % ซึ่งมีความมากกว่าการทดลองในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 โดยสามารถได้สูงสุด 31.22 % ในการทดลองที่ใช้ PACI 5 มก./ล. ทั้งนี้ น่าจะมีผลมาจากการใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์เพราะมีช่วง pH ในการใช้กว้างกว่าสารส้มจึงมีประสิทธิภาพในการทำลาย เสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ได้ดีกว่าสารส้ม นอกจากนี้สารโคแอกกูแลนต์แล้วยังมีผลมาจากจำนวนใบกวนและความเร็วรอบกวนที่สร้างความปั่นป่วนในการกวนในถังสร้างเพลล็ดได้ดีจึงเกิดการรวมตัวที่ดี

ผลของปริมาณ โพลีเมอร์จะสรุปได้ว่ามวลของแข็งทั้งหมดเพลลิต และ เปอร์เซ็นต์เพลลิตจะมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณโพลีเมอร์สูงขึ้น อธิบายได้ว่าการเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์จะ ช่วยในการจับตัวของอนุภาคมากขึ้น จึงได้มวลของแข็งทั้งหมดและเพลลิตเพิ่มมากขึ้นด้วย

4.4.4 อิทธิพลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุต่อลักษณะของเม็ด เพลลิต

ก อิทธิพลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุต่อขนาดของเม็ด เพลลิต

จากการใช้โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1, 0.2 และ 0.3 มก./ล. และ PACI 3, 4 และ 5 มก./ล. จะได้ขนาดของเม็ดเพลลิตดังตารางที่ 4.28 เม็ดเพลลิตจะมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.17 และ 0.49 มม. โดยจะมีขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PACI และ/หรือปริมาณโพลีเมอร์ไม่มีประจุสูงขึ้น เพลลิตจะมีขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ที่ระดับ 30 ซม. จากกันถึงซึ่งเหมือนกับ การทดลองช่วงอื่น ๆ ที่ผ่านมา

ตารางที่ 4.28 ขนาดเพลลิตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4

ปริมาณโพลีเมอร์, มก./ล.	PACI, มก./ล.	ขนาดเพลลิตที่ระดับ, มม.					
		0	30	60	90	120	150
0.1	3	0.22	0.25	0.22	0.20	0.19	0.17
	4	0.25	0.29	0.26	0.23	0.21	0.20
	5	0.32	0.36	0.33	0.28	0.25	0.23
0.2	3	0.23	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17
	4	0.30	0.35	0.31	0.28	0.25	0.22
	5	0.36	0.45	0.38	0.36	0.31	0.27
0.3	3	0.25	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21
	4	0.33	0.37	0.34	0.30	0.28	0.25
	5	0.42	0.49	0.43	0.39	0.34	0.32

ข อธิพิผลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุต่อความเร็วจมตัวของเม็ดเพลเล็ต

จากการศึกษาปริมาณการใช้ PACI และ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ จะได้ความเร็วจมตัวของเม็ดเพลเล็ตดังตารางที่ 4.29 เม็ดเพลเล็ตจะมีความเร็วจมตัวอยู่ระหว่าง 11 และ 98 ม./ชม. โดยจะมีความเร็วจมตัวสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PACI และ/หรือเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์ไม่มีประจุสูงขึ้น เพลเล็ตที่มีความเร็วจมตัวสูงจะจมลงสู่ระดับที่ต่ำกว่าเพลเล็ตที่มีความเร็วจมตัวต่ำ

ตารางที่ 4.29 ความเร็วจมตัวของเพลเล็ตเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4

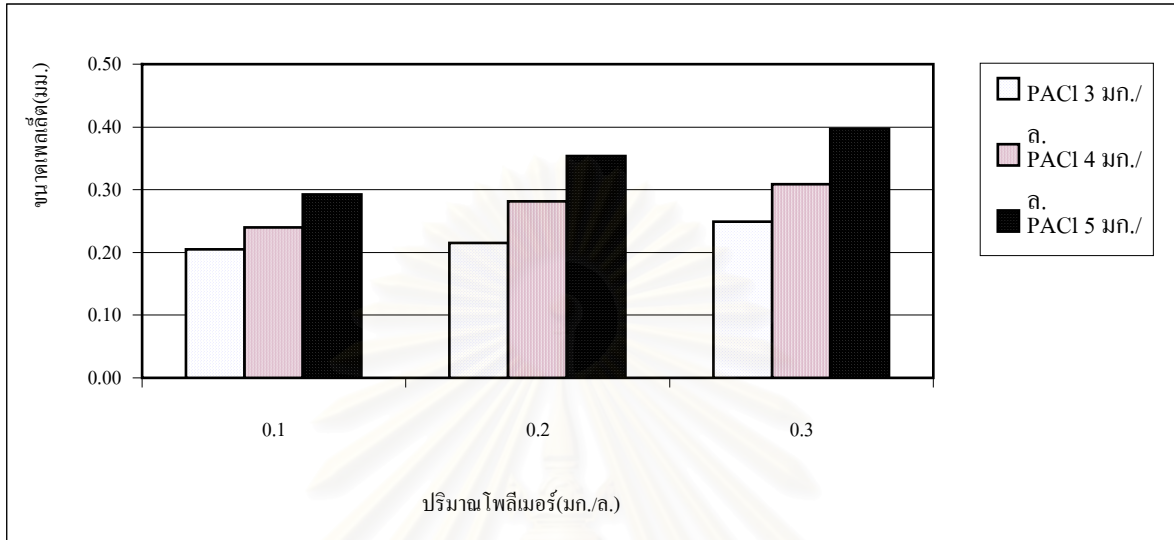
โพลีเมอร์ไม่มีประจุ (มก./ล.)	PACI, (มก./ล.)	ความเร็วจมตัวของเพลเล็ตที่ระดับ, ม./ชม.					
		0	30	60	90	120	150
0.1	3	23.30	30.45	21.29	17.24	15.35	11.75
	4	30.89	38.51	29.30	21.78	18.69	16.34
	5	46.25	54.52	40.08	27.99	21.39	18.68
0.2	3	32.47	42.51	30.58	26.05	19.76	14.02
	4	46.27	54.30	39.30	30.25	24.73	17.98
	5	55.92	65.94	45.01	37.92	34.56	25.24
0.3	3	47.56	59.23	46.37	39.09	34.78	25.04
	4	64.80	74.63	61.35	45.97	39.25	26.97
	5	85.58	98.98	73.00	59.63	48.27	42.40

ค อธิทธิพลของปริมาณสาร PACI และโพลีเมอร์ไม่มีประจุต่อความหนาแน่นประสิทธิผลของเม็ดเพลล็ด

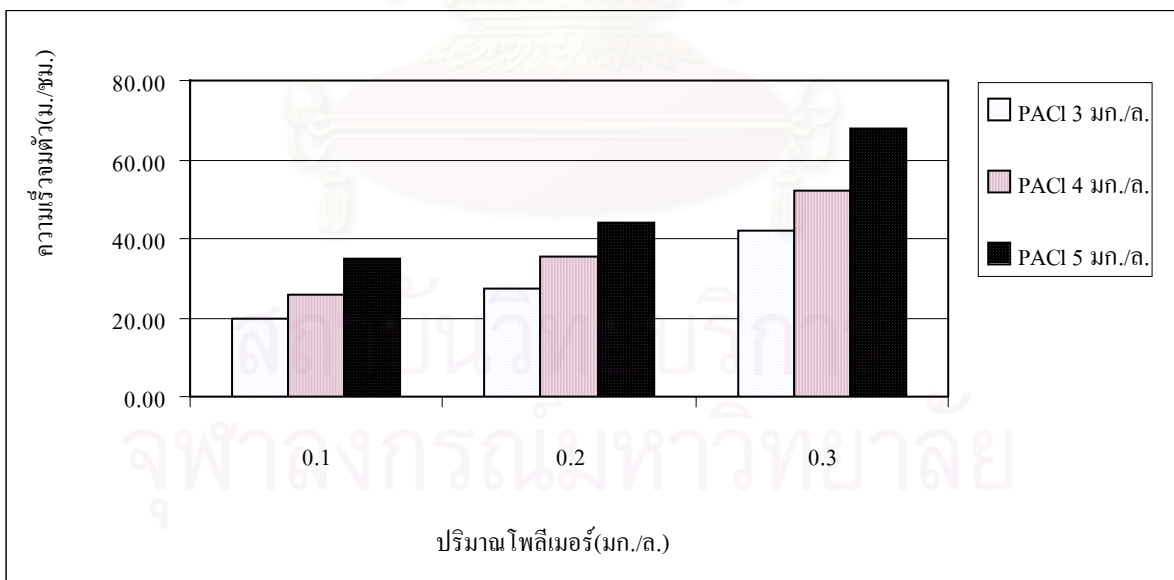
จากการศึกษาผลของปริมาณสารเคมีในการทดลองช่วงที่ 4 จะได้ความหนาแน่นประสิทธิผลของเม็ดเพลล็ดดังตารางที่ 4.30 เม็ดเพลล็ดจะมีความหนาแน่นประสิทธิผลอยู่ระหว่าง 0.157 และ 0.348 ก./ลบ.ซม.โดยจะมีความหนาแน่นประสิทธิผลเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์ไม่มีประจุสูงขึ้น กลับกันเพลล็ดจะมีความหนาแน่นต่ำลงเมื่อเพิ่มปริมาณ PACI

ตารางที่ 4.30 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลล็ดเฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4

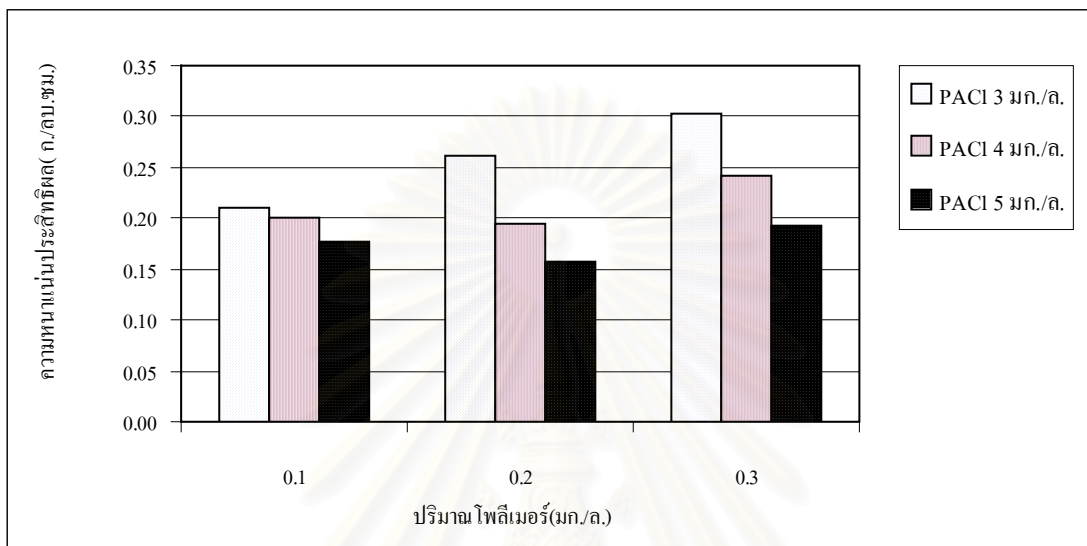
โพลีเมอร์, มก./ล.	PACI, มก./ล.	ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลล็ดที่ระดับ, ก./ลบ.ซม.					
		0	30	60	90	120	150
0.1	3	0.233	0.221	0.210	0.196	0.205	0.196
	4	0.226	0.212	0.199	0.188	0.194	0.188
	5	0.212	0.196	0.168	0.163	0.162	0.160
0.2	3	0.292	0.265	0.263	0.270	0.263	0.220
	4	0.241	0.201	0.192	0.182	0.179	0.177
	5	0.196	0.151	0.141	0.137	0.165	0.157
0.3	3	0.348	0.309	0.290	0.296	0.300	0.271
	4	0.278	0.247	0.241	0.240	0.235	0.204
	5	0.221	0.192	0.180	0.182	0.191	0.190



รูปที่ 4.38 ขนาดเพลลีดที่เฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4



รูปที่ 4.39 ความเร็วจมตัวของเพลลีดที่เฉลี่ย จากการทดลองช่วงที่ 4



รูปที่ 4.40 ความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลลิตเจเลีย จากการทดลองช่วงที่ 4

จากผลการทดลองจะสรุปได้ว่าขนาดและความเร็วจมตัวของเพลลิตเจเลียมีค่าแปรผันตรงกับปริมาณของPACI กล่าวคือจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณPACI มากขึ้น โดยจะมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.17-0.49 มม. และมีความเร็วจมตัวอยู่ระหว่าง 11.75-98.98 ม./ชม. โดยเฉลี่ย อธิบายได้ว่าการเพิ่มปริมาณ PACI จะทำให้เสถียรภาพของอนุภาคลดลง และคุณสมบัติของโพลีเมอร์ที่เกิดกลไกสามารถสร้างสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคจึงมีขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น แต่สำหรับความหนาแน่นของเพลลิตเจเลียจะกลับกันกับขนาดและความเร็วจมตัว คือความหนาแน่นของเพลลิตเจเลียจะมีค่าต่ำลงเมื่อปริมาณPACI สูงขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่อใช้ PACI มากขึ้น โมเลกุลของ PACI จะมีน้ำมาล้อมรอบมากขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้เมื่อใช้ PACI มากขึ้นความหนาแน่นของเพลลิตเจเลียจึงต่ำลง

ผลของปริมาณของโพลีเมอร์จะสรุปได้ว่า เพลลิตเจเลียจะมีขนาด ความเร็ว และความหนาแน่นประสิทธิผลไปในทางเดียวกันคือมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของโพลีเมอร์มากขึ้น อธิบายได้คือการเพิ่มความเข้มข้นโพลีเมอร์ทำให้โพลีเมอร์มีปลายอิสระมากขึ้นจึงสามารถจับอนุภาคและรวมตัวเป็นเพลลิตเจเลียได้มากขึ้น เพลลิตเจเลียจึงมีขนาด ความเร็ว และความหนาแน่นประสิทธิผลเพิ่มขึ้น

4.5 การนำเสนอหลักการออกแบบระบบเพลล็ดเพื่อผลิตน้ำประปา

จากผลการศึกษาระบบการสร้างเพลล็ดเพื่อผลิตน้ำประปา ขนาดต้นแบบ โดยรวมสามารถสรุปแนวทางการออกแบบระบบได้ดังต่อไปนี้

PROPOSE DESIGN CRITERIA

กรณีใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุเป็นสารโคแอกกูแลนต์เอ็ด

- | | | | |
|---|---|---------------|--|
| 1. HRT | = | 16 | นาที |
| 2. G (ความเร็วเกรเดียนท์) | = | 42 | วิ ⁻¹ |
| 3. GxT | = | 22,680 | |
| 4. ปริมาณสารเคมี (ที่ความขุ่นน้ำดิบ 100 – 130 เอ็นทียู) | | | |
| | สารส้ม | = | 37 มก./ล.สารส้ม |
| | ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ | = | 0.5 มก./ล. |
| 5. ขนาดเม็ดเพลล็ด | = | 0.3 – 0.6 | มม. |
| ความหนาแน่นประสิทธิผล | = | 0.076 – 0.099 | ก./ลบ.ซม. |
| 6. ขนาดใบกวนแบบเรียบ | = | 60 x 12 | ซม. ² (กรณีถังเพลล็ดขนาด 4 ม ³) |
| 7. จำนวนใบกวน | = | 6 | ใบ (กรณีถังเพลล็ดขนาด 4 ม ³) |
| | โดยเรียงใบกวนชั้นละ 2 ใบที่ระดับ 40 และ 60 ซม. จากพื้นถัง | | |

กรณีใช้สารPACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุเป็นสารโคแอกกูแลนต์เอ็ด

- | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------|------------------|
| 1. HRT | = | 13.7 | นาที |
| 2. G (ความเร็วเกรเดียนท์) | = | 50 | วิ ⁻¹ |
| 3. GxT | = | 26,760 | |
| 4. ปริมาณสารเคมี | | | |
| กรณีน้ำดิบความขุ่น 100 – 110 เอ็นทียู | | | |
| | - PACI | = | 3 มก./ล. |
| ร่วมกับ | - โพลีเมอร์ไม่มีประจุ | = | 0.1 มก./ล. |
| กรณีน้ำดิบความขุ่น 110 – 160 เอ็นทียู | | | |
| | - PACI | = | 4 มก./ล. |
| ร่วมกับ | - โพลีเมอร์ไม่มีประจุ | = | 0.3 มก./ล. |
| 5. ขนาดเม็ดเพลล็ด | = | 0.2 -0.37 | มม. |

- ความหนาแน่นประสิทธิผลเปลี่งเต็ด = 0.204 – 0.278 ก./ลบ.ชม.
6. ขนาดใบกวนแบบเรียบ = 60 x 12 ซม.²(กรณีถึงเปลี่งเต็ดขนาด 4 ม³)
7. จำนวนใบกวน = 6 ใบ (กรณีถึงเปลี่งเต็ดขนาด 4 ม³)
- โดยเรียงใบกวนชั้นละ 2 ใบที่ระดับ 40, 60 และ 90 ซม. จากพื้นถึง

4.6 การคิดราคาค่าดำเนินระบบ

ในที่นี้ได้ทดลองคิดเฉพาะค่าไฟฟ้าและค่าสารเคมีเท่านั้น

ค่าไฟฟ้า 0.123 บาท/ลบ.ม.

ราคาสารเคมีแต่ละชนิดดังนี้

1. สารส้มเหลว 3,530 บาท/ลบ.ม.
2. สาร PACI เหลว 5,460 บาท/ลบ.ม.
3. สาร โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 210 บาท/กก.

- กรณีใช้สารส้ม 37 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.5 มก./ล.

ราคาสารเคมี 0.208 บาท/ลบ.ม.

รวมค่าไฟฟ้าและสารเคมี **0.331** บาท/ลบ.ม.

- กรณีใช้สาร PACI 3 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1 มก./ล.

ราคาสารเคมี 0.062 บาท/ลบ.ม.

รวมค่าไฟฟ้าและสารเคมี **0.185** บาท/ลบ.ม.

- กรณีใช้สาร PACI 4 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก./ล.

ราคาสารเคมี 0.117 บาท/ลบ.ม.

รวมค่าไฟฟ้าและสารเคมี **0.240** บาท/ลบ.ม.

จากราคาดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าการใช้สาร PACI 3 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1 มก./ล. จะมีต้นทุนการผลิตน้ำถูกกว่าการใช้สารส้ม 37 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.5 มก./ล. ถึง 1.8 เท่า และกรณีใช้สาร PACI 4 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก./ล. จะมีต้นทุนการผลิตน้ำถูกกว่าการใช้สารส้ม 37 มก./ล. ร่วมกับ โพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.5 มก./ล. อยู่ 1.4 เท่า จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้สาร PACI มีผลทำให้ลดต้นทุนการผลิตน้ำลงได้ เมื่อเทียบกับการผลิตน้ำ

ของการประปาซึ่งมีต้นทุนค่าสารเคมีและค่าไฟฟ้าประมาณ 0.45 บาท/ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าระบบ
สร้างเพลิงเตี้นี้จะมีต้นทุนการผลิตน้ำสูงกว่าต้นทุนการผลิตน้ำของการประปาอยู่ประมาณครึ่งหนึ่ง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าของรูปแบบใบกวนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. กระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบในการทดลองนี้ระบบสามารถสร้างเพลเล็ตได้ประมาณ 31 % ของมวลของแข็งทั้งหมดโดยจำเป็นต้องมีการเริ่มต้นระบบมาก่อน

2. ระบบสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูง (ต่ำกว่า 5 เอนทิยู) ได้โดยใช้สาร PACI 3 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.1 มก./ล. ที่อัตราการผลิตน้ำ 10 ม./ชม. สำหรับน้ำดิบความขุ่นต่ำกว่า 110 เอนทิยู และใช้สาร PACI 4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก./ล. สำหรับน้ำดิบความขุ่นประมาณ 110-160 เอนทิยู

3. ผลของรูปแบบใบกวนโดยการเจาะรูใบกวนทำให้ความปั่นป่วนสูงขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งทั้งหมด มวลเพลเล็ต ขนาดและความเร็วจมตัวของเพลเล็ตลดลง แต่เพลเล็ตมีความหนาแน่นประสิทธิผลสูงขึ้น

4. การเพิ่มความเร็วยกวนจาก 2 ถึง 4 รอบ/นาทีทำให้เกิดความปั่นป่วนมากขึ้น ส่งผลให้มวลของแข็งทั้งหมด มวลเพลเล็ต ขนาดและความเร็วจมตัวของเพลเล็ตลดลง แต่เพลเล็ตจะมีความหนาแน่นประสิทธิผลสูงขึ้น

5. ความเร็วยกวนที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ 2 รอบ/นาที และเวลาสัมผัส 13.7 นาที โดยให้ค่า G น้อยกว่า 50 วินาที และ $G \times t$ น้อยกว่า 26,760

6. การเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มวลของแข็งทั้งหมด มวลเพลเล็ต ขนาด ความเร็วจมตัวและความหนาแน่นประสิทธิผลของเพลเล็ตสูงขึ้น

7. การใช้ PACI แทนสารส้มสามารถลดต้นทุนได้ คือที่การใช้สารส้ม 37 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.5 มก./ล. จะมีต้นทุนค่าสารเคมีอยู่ที่ 0.208 บาท/ลบ.ม. และที่การใช้ PACI 4 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ไม่มีประจุ 0.3 มก./ล. จะมีต้นทุนค่าสารเคมีอยู่ที่ 0.117 บาท/ลบ.ม.

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. ศึกษารูปแบบใบกวนอื่น ๆ โดยให้สามารถกระจายความปั่นป่วนได้อย่างทั่วถึงภายในถัง
2. ศึกษารูปแบบถังปฏิกริยา เพื่อออกแบบให้ได้สัดส่วนความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลางให้เหมาะสม (ควรมีสัดส่วนความสูงมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางมาก)
3. ศึกษาการใช้สาร โคแอกกูแลนต์เอ็ดอื่น เช่น สาร โพลีเมอร์ประจุบวกและลบ เนื่องจากมีราคาถูกกว่าโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุ
4. ศึกษาการเพิ่มอัตราน้ำไหลขึ้น เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตน้ำของระบบ และน่าจะเป็นการคัดพันธ์ให้เหลือเพียงเพลเล็ดที่ดีมีความหนาแน่นสูง
5. ทดลองนำระบบไปใช้กับการบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง
6. ทดลองทำการวิจัยควบคู่กันระหว่างระบบขนาดเล็กกับระบบขนาดต้นแบบ เพื่อเปรียบเทียบข้อแตกต่างของทั้งสองระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กานตพันธ์ พิศาลสุขสกุล. ความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติของการป้องกันเพลิงเกิดเพื่อลดปริมาณความต้องการสารเคมีในกระบวนการสร้างเพลิงเกิดแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- กุลธิดา อารีย์สว่างกิจ. ดูมวลงของของแข็งในกระบวนการสร้างเพลิงเกิดแบบไหลขึ้นโดยใช้น้ำดิบของกปน. เป็นน้ำป้อนและสารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- คณิต ม่วงศิริ. ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในกระบวนการสร้างเพลิงเกิดแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- นฤชา ฤชุพันธ์. การก่อเพลิงเกิดโดยสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- บัณฑิต ชาญณรงค์. การกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเพลิงเกิดแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- ปริญญา ณ นคร. ผลความสูงชั้นเพลิงเกิดต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- พลภัทร อรัณยกานนท์. ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของกระบวนการสร้างเพลิงเกิดแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- มันลิน ตันทุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

- ลัดดา ธรรมการันย์. ผลของใบกวนต่อการกำจัดความขุ่นด้วยถังน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- วิจารณ์ ตันติธรรม. ผลของสารส้มในการกำจัดความขุ่นโดยถังน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- สุชุม ดีประหลาด. ผลของการปั่นกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นขนาดต้นแบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- สุรเชษฐ์ พลวณิช. ความเป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติของการกำจัดความขุ่นโดยกระบวนการสร้างเพลเล็ตแบบไหลขึ้นสำหรับน้ำดิบความขุ่นต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- อาชวัน อิมเอิบธรรม. ผลของโพลีเมอร์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในกระบวนการเม็คตะกอนแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ภาษาอังกฤษ

- Bratby, J. Coagulation and Flocculation, England, Upland press, (1980).
- O'Melia, C.R. Coagulation and Flocculation, Physiochemical process for water quality control, (1972).
- Panswad, T. Performance improvement of a pelletization system by pellet recirculation. JAWWA April 27 (1998).
- Panswad, T. and Areesawangkit, K. Pellet mass loading and pellet retention time for turbidity removal in a pelletization process. J Water SRT-Aqua. (1999).
- Panswad, T. and Polwanich S. Pilot plant application of a pelletization process on low turbidity river water. J Water SRT-Aqua, Vol. 47 No.5 (1998): 236-244.
- Schwayer, W.L.K. Polyelectrolytes for Water and Wastewater Treatment. CRC. Press Inc. (1981).

- Suzuki , T. ,Tambo,N. and Ozawa,G. A new sewage treatment system with fluidized pellet bed separator. Wat. Sci. Tech. Vol. 27 No. 11 (1993) : 185-192.
- Tambo,N. and Wang ,X.C. Control of coagulation condition for treatment of high turbidity water by fluidized pellet bed separation. J Water SRT- Aqua. Vol. .42 No.4 (1993) : 212-222.
- Tambo,N. , Wang ,X.C. and Matsui , Y. Kinetic of fluidized pellet bed process. I. Characteristics of particle motions. J Water SRT- Aqua. Vol .42 No.3 (1993) : 146-154.
- Tambo ,N. , Ozawa,G. Kiihara,Y. and Ohba,A. Replacement of the final settling basin by a fluidized pellet bed separator to improve efficiency of activated sludge system. Wat. Sci. Tech. Vol. 27 No. 11 (1993) : 253-256.
- Tambo, N. and Matsui, Metastable state operation for separation Fluidized Bed Pellet Separator. J Water SRT- Aqua. Vol .36 No.3 (1987) : 134-139.
- Tambo, N. and Matsui, Y.;Performance of fluidized pellet bed separator for high concentration suspension removal. J Water SRT- Aqua. Vol .38 No.3 (1989) : 155-165.
- Walter, J. Weber, JR. Physicochemical Process for Water Quality Control. John Wiley and Sons, Inc. (1972): 95-96.
- Yusa, M. , Suzuki, H. and Tanaka,S. ; Separating liquids from solids by pellet flocculation. JAWWA (July 1975) : 397-402.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลการทำจาร้ทดสอบ

ก.1 ความชุ่มน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่าง ๆ

ก.1.1 การทดลองช่วงที่ 1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว

M1S2

ปริมาณสารส้ม	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอินทียู		เอินทียู	
มก./ล.				
1	120		6.21	
2	133		5.13	
3	126		3.46	
4	118		4.11	

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอินทียู	มก./ล.	เอินทียู	มก./ล.
0	133	97	3.01	1
6	165		4.44	
12	153	112	2.76	2
18	145		2.67	
24	131	105	1.74	1
30	125		2.85	
36	125	98	2.38	2
42	138		2.92	
48	134	101	2.08	1
54	121		1.78	
60	136	103	2.12	1
66	128		1.71	
72	132	99	1.97	3

M1S3

M2S2

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอินทียู	มก./ล.	เอินทียู	มก./ล.
0	145	106	6.9	3
6	156		6.7	
12	177	120	6.8	3
18	161		6.8	
24	175	118	6.9	4
30	181		6.9	
36	160	114	6.9	4
42	148		6.9	
48	158	113	6.9	4
54	156		6.9	
60	178	122	6.7	6
66	163		6.8	
72	174	118	6.8	5

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอินทียู	มก./ล.	เอินทียู	มก./ล.
0	234	154	7.03	7
6	211		3.18	
12	378	166	7.42	5
18	387		8.52	
24	411	232	8.78	4
30	325		5.61	
36	425	260	19.5	22
42	410		6.69	
48	398	227	10.3	5
54	386		9.5	
60	418	252	12.6	6
66	387		9.02	
72	396	229	13.7	7

M2S3

P1S4

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	114	65	3.9	1
6	126		2.0	
12	123	98	2.0	2
18	124		1.9	
24	126	89	1.3	1
30	106		2.3	
36	113	76	4.3	5
42	126		3.9	
48	111	79	1.8	1
54	110		1.6	
60	105	62	2.1	2
66	95.5		1.1	
72	114	79	1.1	1

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	117	73	6.92	7
6	147		4.95	
12	145	105	4.36	8
18	125		2.14	
24	116	96	4.14	10
30	153		7.19	
36	156	103	8.54	5
42	130		5.85	
48	122	78	4.38	5
54	140		4.89	
60	146	107	5.58	8
66	123		4.2	
72	125	62	4.92	6

P2S2

P2S3

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	119	86	4.9	8
6	114		4.4	
12	105	77	3.2	7
18	102		2.8	
24	111	80	2.8	5
30	124		2.9	
36	106	77	2.2	3
42	101		2.1	
48	99	70	1.9	3
54	108		2.2	
60	112	85	2.2	4
66	121		2.3	
72	126	94	2.2	4

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	111	67	3.88	8
6	121		4.47	
12	126	79	4.25	7
18	129		4.31	
24	121	74	3.87	7
30	125		3.95	
36	115	70	3.48	6
42	118		3.65	
48	106	69	3.11	4
54	122		3.55	
60	114	72	3.49	6
66	126		3.52	
72	123	79	3.27	4

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	121	92	5.2	8
6	126		6.1	
12	133	98	6.2	11
18	123		5.7	
24	138	103	6.4	11
30	118		5.2	
36	119	79	4.9	7
42	125		5.3	
48	112	71	4.6	7
54	128		5.4	
60	126	85	5.1	8
66	119		4.9	
72	125	81	5.2	8

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	108	75	3.74	5
6	87.9		2.15	
12	107	81	2.86	4
18	98		2.14	
24	87.4	71	2.11	3
30	103		2.49	
36	106	64	2.56	4
42	99.1		2.24	
48	98	78	2.18	3
54	109		2.76	
60	101	70	2.31	4
66	112		2.78	
72	98.7	72	2.16	3

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	108	74	4.9	7
6	115		4.9	
12	111	79	4.8	6
18	124		5.5	
24	122	85	5.2	6
30	128		6.1	
36	126	90	5.7	5
42	119		5.0	
48	124	88	5.2	5
54	113		3.8	
60	117	81	4.9	4
66	114		4.2	
72	120	83	4.8	4

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	108	68	6.37	11
6	116		6.56	
12	119	77	6.53	11
18	114		6.14	
24	121	80	5.87	9
30	125		6.03	
36	115	70	5.74	8
42	120		5.82	
48	114	68	5.16	8
54	124		5.24	
60	118	71	5.14	7
66	122		5.19	
72	128	88	5.18	7

ก.1.3 การทดลองช่วงที่ 3 ผลของจำนวนใบกวนและอัตราการไหลขึ้น

N2V6

N2V8

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	60.4	32	11.6	4
6	61.8		12.1	
12	57.3	37	11.2	1
18	50.8		8.3	
24	57.6	40	8.81	3
30	67.4		8.73	
36	40.6	57	3.17	1
42	57.1		5.01	
48	46.6	45	4.83	2

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	27.8	49.0	3.4	7.0
6	33.2		4.3	
12	30.6	56.0	3.8	11.0
18	32.9		3.7	
24	33.8	51.0	4.3	10.0
30	42.3		4.4	
36	36.9	42.0	3.6	3.0
42	37.8		2.7	
48	49.1	42.0	4.0	3.0

N2V10

N4V6

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	35.6	43.0	3.4	3.0
6	36.3		3.4	
12	42.4	29.0	4.1	1.0
18	40.3		3.8	
24	31.7	25.0	3.3	1.0
30	37.6		3.4	
36	34.8	38.0	3.2	1.0
42	37.5		2.9	
48	39.4	38.0	3.0	1.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	61.7	66.0	10.9	7.0
6	70.7		8.2	
12	81.1	79.0	8.2	6.0
18	74.3		7.1	
24	70.2	68.0	6.6	5.0
30	93.8		8.8	
36	102.0	97.0	9.8	7.0
42	95.1		9.2	
48	80.4	75.0	6.6	5.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	42.2	72.0	4.6	5.0
6	59.1		5.8	
12	53.3	47.0	5.5	4.0
18	69.9		6.7	
24	49.3	65.0	4.4	4.0
30	73.4		6.6	
36	65.3	71.0	5.8	3.0
42	71.2		5.9	
48	78.8	72.0	6.3	8.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	100.0	96.0	10.9	10.0
6	84.7		8.5	
12	105.0	118.0	10.2	9.0
18	71.4		6.4	
24	75.3	84.0	6.6	7.0
30	78.2		6.5	
36	111.0	68.0	9.3	4.0
42	127.0		10.2	
48	112.0	110.0	8.2	10.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	118.0	114.0	10.3	6.0
6	115.0		9.9	
12	121.0	107.0	10.2	6.0
18	128.0		11.1	
24	115.0	72.0	9.7	3.0
30	123.0		10.2	
36	137.0	116.0	11.4	8.0
42	106.0		8.5	
48	103.0	90.0	7.7	11.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	123.0	128.0	11.2	8.0
6	108.0		10.1	
12	130.0	105.0	11.6	7.0
18	121.0		10.2	
24	111.0	118.0	7.6	10.0
30	85.4		6.1	
36	112.0	108.0	7.7	6.0
42	130.0		8.7	
48	146.0	132.0	9.3	8.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	111.0	89.0	10.8	10.0
6	104.0		7.7	
12	128.0	106.0	9.4	9.0
18	117.0		8.3	
24	134.0	78.0	9.6	8.0
30	123.0		8.4	
36	127.0	91.0	8.0	7.0
42	147.0		9.2	
48	140.0	77.0	8.7	7.0

ก.1.4 การทดลองช่วงที่ 4 ผลของปริมาณสารเคมี

A3P01

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	101	115	14.2	21
6	105		12.7	
12	123	136	14.3	23
18	124		8.09	
24	124	141	7.68	18
30	122		5.77	
36	113	128	3.06	9
42	115		2.55	
48	113	132	4.21	12

A3P02

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	98.5	128	5.0	11
6	72.1		3.6	
12	88.4	66	4.3	6
18	132		4.2	
24	116	130	3.6	34
30	116		4.6	
36	97.2	100	2.6	4
42	105		3.0	
48	112	135	3.1	1

A3P03

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	95.7	106	7.2	11
6	93.2		5.7	
12	124	116	8.2	35
18	119		6.2	
24	128	130	3.7	34
30	125		3.7	
36	120	83	3.4	1
42	128		3.5	
48	113	120	2.8	1

A4P01

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	137	109	12.4	7
6	141		10.7	
12	179	128	13.8	8
18	144		12.8	
24	112	89	6.2	4
30	119		5.3	
36	164	117	5.4	3
42	175		5.8	
48	146	111	5.2	3

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	75.8	90.0	2.4	1.0
6	82.3		2.4	
12	117.0	120.0	2.9	1.0
18	101.0		2.4	
24	112.0	127.0	2.1	3.0
30	105.0		2.3	
36	122.0	109.0	2.7	1.0
42	99.3		1.9	
48	95.4	135.0	1.4	1.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	160	111	8.2	7
6	138		6.8	
12	156	109	7.8	7
18	137		6.2	
24	157	101	7.1	6
30	165		5.2	
36	164	119	5.3	5
42	172		5.1	
48	142	108	4.0	3

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	122.0	98.0	6.4	4.0
6	73.6		4.0	
12	123.0	102.0	6.6	4.0
18	90.3		5.7	
24	96.5	82.0	6.0	4.0
30	125.0		6.4	
36	112.0	91.0	5.7	3.0
42	115.0		5.7	
48	144.0	113.0	5.3	3.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	164.0	86.0	3.7	1.0
6	118.0		2.8	
12	86.2	61.0	1.9	1.0
18	90.8		1.9	
24	102.0	97.0	2.0	1.0
30	108.0		2.3	
36	132.0	100.0	2.7	1.0
42	106.0		1.9	
48	131.0	116.0	2.4	1.0

เวลา(ชม.)	ความชุ่มน้ำดิบ		ความชุ่มน้ำผลิต	
	เอ็นทียู	มก./ล.	เอ็นทียู	มก./ล.
0	128.0	109.0	5.8	13.0
6	116.0		5.3	
12	106.0	92.0	4.8	8.0
18	130.0		5.6	
24	112.0	100.0	4.4	6.0
30	131.0		4.8	
36	124.0	106.0	4.6	6.0
42	144.0		5.1	
48	154.0	142.0	4.8	2.0

ก.2 ค่าพีเอชน้ำดิบ น้ำหลังกวนเร็วและน้ำผลิตที่เวลาต่าง ๆ

ก.2.1 การทดลองช่วงที่ 1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว

M1S2

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.41	6.92	6.53
6	7.52	6.78	6.76
12	7.49	6.83	6.81
18	7.65	6.79	6.77
24	7.52	6.82	6.79
30	7.44	6.58	6.56
36	7.50	6.68	6.66
42	7.55	6.95	6.92
48	7.57	6.78	6.76
54	7.54	6.86	6.78
60	7.71	7.05	7.03
66	7.34	6.74	6.68
72	7.38	6.91	6.83

M1S3

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.51	6.90	6.80
6	7.46	6.70	6.68
12	7.48	6.80	6.70
18	7.53	6.84	6.72
24	7.55	6.86	6.74
30	7.54	6.88	6.72
36	7.57	6.93	6.78
42	7.55	6.90	6.76
48	7.52	6.85	6.70
54	7.60	6.89	6.76
60	7.52	6.66	6.55
66	7.35	6.83	6.70
72	7.46	6.82	6.67

M2S2

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.73	7.09	6.84
6	7.46	6.90	6.76
12	7.72	6.96	6.86
18	7.63	6.90	7.02
24	7.66	6.92	6.74
30	7.41	6.90	6.85
36	7.57	7.04	6.94
42	7.59	7.05	6.80
48	7.95	7.18	6.94
54	7.69	7.08	6.96
60	7.89	7.36	6.95
66	7.51	6.93	6.77
72	7.85	7.33	6.99

M2S3

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.75	7.01	6.85
6	7.67	7.06	6.79
12	7.72	7.04	6.81
18	7.79	7.35	6.89
24	7.75	7.25	6.86
30	7.58	7.12	7.14
36	7.64	7.13	6.95
42	7.69	6.92	6.90
48	7.88	7.13	6.92
54	7.41	6.97	6.91
60	7.77	6.93	6.93
66	7.43	6.97	6.93
72	7.43	6.99	6.86

ก.2.2 การทดลองช่วงที่ 2 ผลของรูปแบบใบกวน
PIS4

133

P2S2

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.81	7.18	7.15
6	7.90	7.10	6.98
12	7.78	7.12	7.02
18	7.70	6.98	6.91
24	7.50	6.90	6.80
30	7.60	6.90	6.80
36	7.61	6.88	6.78
42	7.67	7.00	6.85
48	7.62	6.93	6.86
54	7.69	6.88	6.79
60	7.72	6.94	6.84
66	7.66	6.85	6.76
72	7.76	6.97	6.97

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.72	7.27	7.25
6	7.86	7.23	7.15
12	7.79	7.15	7.11
18	7.62	7.02	6.97
24	7.58	6.94	6.88
30	7.75	7.09	6.99
36	7.63	6.96	6.91
42	7.71	7.08	7.01
48	7.69	7.11	6.98
54	7.62	6.91	6.83
60	7.73	7.13	6.97
66	7.68	6.94	6.83
72	7.64	6.91	6.83

P2S3

P2S4

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.68	7.18	7.14
6	7.77	7.25	7.21
12	7.82	7.28	7.22
18	7.68	7.16	7.10
24	7.66	7.11	6.98
30	7.84	7.29	7.24
36	7.69	7.02	6.94
42	7.74	7.17	7.12
48	7.62	7.15	7.08
54	7.68	7.18	7.11
60	7.74	7.20	7.14
66	7.79	7.25	7.16
72	7.68	7.16	7.09

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.78	7.27	7.22
6	7.64	7.23	7.18
12	7.76	7.25	7.21
18	7.61	7.19	7.13
24	7.60	7.15	6.96
30	7.75	7.26	7.21
36	7.66	7.08	6.97
42	7.71	7.14	7.07
48	7.68	7.13	7.04
54	7.62	7.05	6.91
60	7.72	7.20	7.16
66	7.71	7.18	7.09
72	7.64	7.11	7.01

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.55	7.09	6.97
6	7.53	7.01	6.98
12	7.57	6.99	6.94
18	7.62	7.12	7.01
24	7.49	6.98	6.94
30	7.51	7.08	6.94
36	7.57	7.01	6.93
42	7.53	7.00	6.97
48	7.67	7.18	7.15
54	7.47	7.09	7.03
60	7.55	7.21	7.00
66	7.52	7.13	7.00
72	7.82	7.15	7.02

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.58	7.13	7.03
6	7.61	7.15	7.09
12	7.52	6.94	6.90
18	7.66	7.18	7.11
24	7.51	6.97	6.91
30	7.45	6.91	6.86
36	7.60	7.06	6.98
42	7.58	7.04	6.96
48	7.59	7.08	6.99
54	7.51	7.01	6.93
60	7.47	6.88	6.82
66	7.61	7.14	7.06
72	7.69	7.18	7.12

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.69	7.17	7.09
6	7.51	7.12	7.06
12	7.63	7.15	7.08
18	7.61	7.11	7.02
24	7.58	7.05	6.97
30	7.57	7.05	6.95
36	7.51	7.01	6.89
42	7.62	7.12	6.99
48	7.59	7.09	6.95
54	7.55	7.03	6.90
60	7.49	6.97	6.81
66	7.63	7.15	7.09
72	7.59	7.13	7.07

ก.2.3 การทดลองช่วงที่ 3 ผลของจำนวนใบกวนและอัตราน้ำไหลขึ้น

N2V6

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.51	7.50	7.52
6	7.48	7.47	7.45
12	7.60	7.58	7.57
18	7.57	7.53	7.55
24	7.61	7.58	7.59
30	7.54	7.49	7.49
36	7.67	7.62	7.62
42	7.53	7.48	7.45
48	7.53	7.50	7.48

N2V8

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.73	7.69	7.66
6	7.52	7.54	7.51
12	7.78	7.74	7.71
18	7.7	7.68	7.65
24	7.69	7.68	7.61
30	7.38	7.33	7.27
36	7.38	7.35	7.31
42	7.65	7.59	7.63
48	7.76	7.68	7.75

N2V10

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.60	7.56	7.57
6	7.36	7.38	7.36
12	7.59	7.53	7.50
18	7.55	7.56	7.42
24	7.83	7.72	7.70
30	7.51	7.54	7.46
36	7.82	7.82	7.82
42	7.62	7.55	7.60
48	7.76	7.65	7.69

N4V6

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.46	7.43	7.42
6	7.53	7.50	7.48
12	7.68	7.62	7.58
18	7.65	7.63	7.62
24	8.08	8.00	8.06
30	7.59	7.55	7.53
36	7.41	7.39	7.37
42	7.43	7.36	7.35
48	7.82	7.80	7.77

N4V8

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.84	7.76	7.82
6	7.80	7.77	7.62
12	7.75	7.65	7.66
18	7.57	7.63	7.51
24	7.87	7.87	7.87
30	7.95	8.06	7.95
36	7.97	7.95	7.95
42	7.96	7.96	7.90
48	8.03	7.88	7.97

N4V10

136

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.92	7.87	7.85
6	7.68	7.70	7.65
12	7.95	7.92	7.94
18	7.95	7.87	7.85
24	7.99	7.96	7.93
30	7.77	7.64	7.64
36	7.73	7.75	7.71
42	7.89	7.86	7.78
48	8.02	7.89	7.85

N6V6

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	8.27	7.91	8.25
6	7.98	8.01	7.98
12	8.06	8.09	8.03
18	7.56	7.58	7.49
24	7.49	7.48	7.48
30	7.74	7.70	7.68
36	7.56	7.49	7.53
42	7.58	7.55	7.56
48	7.55	7.54	7.52

N6V8

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.77	7.76	7.70
6	7.67	7.62	7.62
12	7.95	7.75	7.80
18	7.83	7.83	7.79
24	7.87	7.64	7.78
30	7.72	7.68	7.66
36	7.70	7.71	7.68
42	7.94	7.90	7.85
48	8.10	8.05	7.98

N6V10

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.62	7.62	7.63
6	7.73	7.73	7.72
12	7.62	7.61	7.62
18	7.58	7.59	7.59
24	7.66	7.65	7.65
30	7.74	7.73	7.73
36	7.83	7.83	7.84
42	7.69	7.67	7.68
48	7.78	7.77	7.78

ก.2.4 การทดลองช่วงที่ 3 ผลของปริมาณสารเคมี

A3P01

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.86	7.81	7.84
6	7.95	7.90	7.89
12	7.72	7.70	7.70
18	7.75	7.69	7.70
24	7.74	7.65	7.68
30	7.68	7.65	7.66
36	8.03	8.02	7.99
42	7.86	7.85	7.88
48	8.02	8.00	8.03

A3P02

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.86	7.81	7.79
6	7.70	7.59	7.64
12	8.04	7.98	7.92
18	8.06	8.01	7.98
24	7.92	7.89	7.88
30	7.85	7.85	7.84
36	8.02	8.01	7.97
42	7.82	7.79	7.77
48	7.95	7.92	7.87

A3P03

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.79	7.74	7.70
6	7.63	7.60	7.59
12	7.58	7.55	7.52
18	7.43	7.42	7.39
24	7.68	7.68	7.65
30	7.75	7.76	7.73
36	7.49	7.47	7.45
42	7.85	7.83	7.82
48	7.67	7.65	7.68

A4P01

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	8.04	8.00	7.94
6	7.97	7.90	7.89
12	8.14	8.16	8.11
18	8.12	8.11	8.09
24	8.04	8.06	7.94
30	7.87	7.79	7.75
36	8.11	8.09	8.11
42	8.08	8.04	7.99
48	8.01	7.97	7.98

A4P02

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.42	7.39	7.36
6	7.71	7.65	7.68
12	7.73	7.68	7.64
18	7.76	7.71	7.68
24	7.86	7.82	7.79
30	7.81	7.76	7.73
36	7.82	7.82	7.79
42	7.72	7.70	7.71
48	7.82	7.79	7.76

A4P03

138

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.73	7.70	7.63
6	7.90	7.86	7.83
12	8.14	8.09	8.05
18	8.11	8.07	8.01
24	8.18	8.09	8.06
30	7.67	7.69	7.65
36	7.71	7.69	7.67
42	7.56	7.51	7.54
48	7.63	7.60	7.58

A5P01

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.90	7.86	7.83
6	8.10	8.05	7.99
12	7.94	7.90	7.86
18	8.05	8.03	8.01
24	7.89	7.85	7.86
30	7.55	7.50	7.48
36	7.58	7.55	7.47
42	7.55	7.51	7.47
48	7.64	7.59	7.55

A5P02

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.81	7.77	7.76
6	7.84	7.82	7.80
12	7.86	7.80	7.81
18	7.81	7.79	7.77
24	7.78	7.80	7.72
30	7.89	7.87	7.86
36	8.04	8.06	8.01
42	7.95	7.91	7.89
48	7.96	7.90	7.90

A5P03

เวลา(ชม.)	ค่าพีเอช		
	น้ำดิบ	น้ำหลังกวนเร็ว	น้ำผลิต
0	7.65	7.62	7.61
6	7.84	7.79	7.74
12	7.88	7.85	7.86
18	7.85	7.83	7.76
24	7.78	7.71	7.74
30	7.71	7.69	7.65
36	7.82	7.80	7.76
42	7.86	7.81	7.75
48	7.85	7.79	7.74

ก.3 สภาพต่างน้ำดิบและน้ำผลิตที่เวลาต่าง ๆ

139

ก.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว

MIS2

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	70	54
12	74	56
24	74	56
36	78	64
48	76	58
60	77	60
72	74	55

MIS3

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	74	56
12	74	60
24	72	58
36	70	54
48	74	55
60	74	56
72	76	58

M2S2

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	66	53
12	62	50
24	63	50
36	60	54
48	64	46
60	60	44
72	58	47

M2S3

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	70	46
12	70	46
24	68	48
36	68	55
48	72	56
60	56	46
72	66	48

PIS4

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	55	49
12	57	48
24	67	49
36	70	45
48	62	45
60	63	50
72	65	48

P2S2

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	60	50
12	64	52
24	58	49
36	65	54
48	70	54
60	62	52
72	64	52

P2S3

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	62	52
12	66	54
24	64	54
36	70	58
48	68	58
60	64	56
72	64	52

P2S4

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	58	46
12	64	50
24	62	50
36	66	54
48	60	52
60	68	54
72	66	54

P3S2

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	62	52
12	62	46
24	58	48
36	58	46
48	56	46
60	60	50
72	60	50

P3S3

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	60	48
12	62	50
24	58	50
36	64	50
48	62	48
60	58	46
72	58	46

P3S4

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	62	48
12	64	48
24	64	50
36	60	46
48	58	46
60	58	44
72	60	46

N2V6

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	90	88
12	96	96
24	96	94
36	90	88
48	90	90

N2V8

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	90	88
12	96	96
24	96	96
36	90	90
48	90	90

N2V10

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	90	88
12	88	86
24	90	90
36	92	92
48	94	92

N4V6

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	92	90
12	92	90
24	70	68
36	68	66
48	70	70

N4V8

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	90	90
12	98	96
24	96	96
36	98	98
48	92	90

N4V10

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	74	70
12	68	66
24	68	68
36	86	84
48	86	84

N6V6

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	78	78
12	80	80
24	80	80
36	86	84
48	82	82

N6V8

142

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	86	86
12	86	86
24	88	88
36	86	86
48	86	84

N6V10

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	90	88
12	92	90
24	92	90
36	92	90
48	90	88

ก.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 ผลของปริมาณสารเคมี

A3P01

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	92	90
12	88	86
24	92	90
36	92	90
48	90	88

A3P02

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	92	90
12	90	88
24	92	88
36	90	88
48	90	88

A3P03

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	90	88
12	90	88
24	90	88
36	90	88
48	90	88

A4P01

143

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	92	90
12	94	92
24	90	86
36	90	86
48	90	86

A4P02

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	90	88
12	92	90
24	90	88
36	90	88
48	92	90

A4P03

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	92	90
12	90	88
24	90	88
36	90	88
48	90	88

A5P01

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	92	86
12	92	90
24	98	92
36	92	88
48	90	84

A5P02

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	88	86
12	92	88
24	88	86
36	90	88
48	88	86

A5P03

เวลา(ชม.)	สภาพต่าง(มก.หินปูน/ล.)	
	น้ำดิบ	น้ำผลิต
0	90	88
12	92	90
24	90	88
36	90	88
48	92	90

ก.4 ของแข็งทั้งหมดและเพลลิตที่ระดับและเวลาต่าง ๆ

144

ก.4.1 การทดลองช่วงที่ 1 ผลของอุปกรณ์กวนเร็ว

MIS2

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	26400	42190	35454	34456	13496	400
12	16800	34000	30876	27096	15842	210
24	18400	33000	27400	26800	19800	180
36	10800	19800	14800	15400	11200	200
48	13200	23400	19400	14800	20000	170
60	8600	25800	20000	21400	18400	150
72	7600	16600	14400	16000	15400	640
เวลา(ชม.ที่)	เพลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	2000	3800	3600	2000	1000	-
12	1200	3100	3000	1800	800	-
24	1300	2800	2700	1800	1000	-
36	800	1600	1200	1000	600	-
48	1000	1800	1600	1000	800	-
60	600	1800	1600	1200	800	-
72	600	1400	1000	1000	800	-
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	7.58	9.01	10.15	5.80	7.41	-
12	7.14	9.12	9.72	6.64	5.05	-
24	7.07	8.48	9.85	6.72	5.05	-
36	7.41	8.08	8.11	6.49	5.36	-
48	7.58	7.69	8.25	6.76	4.00	-
60	6.98	6.98	8.00	5.61	4.35	-
72	7.89	8.43	6.94	6.25	5.19	-

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	31400	28400	29400	17000	11400	320
12	8000	24800	11600	8400	10000	150
24	6600	19600	20800	14400	12400	150
36	8400	26000	22000	13800	11600	220
48	7600	24000	18200	18000	17800	180
60	8200	21000	17600	16400	15200	180
72	6800	17000	14600	13000	12200	190
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	4400	6600	5400	3600	2200	-
12	1000	4200	3800	2400	1800	-
24	800	3600	2200	1800	1200	-
36	1200	3400	2600	2600	2200	-
48	800	3200	2800	2600	1200	-
60	400	2400	2000	1400	1000	-
72	400	2000	1600	1000	800	-
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	14.01	23.24	18.37	21.18	19.30	-
12	12.50	16.94	32.76	28.57	18.00	-
24	12.12	18.37	10.58	12.50	9.68	-
36	14.29	13.08	11.82	18.84	18.97	-
48	10.53	13.33	15.38	14.44	6.74	-
60	4.88	11.43	11.36	8.54	6.58	-
72	5.88	11.76	10.96	7.69	6.56	-

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	13400	26400	26200	12000	9200	1000
12	18600	29600	23000	19600	14600	1400
24	20000	31200	21800	19000	16000	6800
36	14000	27600	16800	12400	9400	6200
48	23800	34600	28600	19600	17600	11400
60	18600	30200	25400	16800	16200	12400
72	15100	29800	25000	19000	15400	9000
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	3000	7500	7600	2400	2000	800
12	2400	5400	3600	3400	2800	1000
24	2600	5800	2200	1600	1200	400
36	2000	5800	1200	600	400	-
48	3600	7600	5000	800	1200	600
60	1800	4200	2400	200	200	-
72	2800	4200	2000	1000	800	400
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	22.39	28.41	29.01	20.00	21.74	80.00
12	12.90	18.24	15.65	17.35	19.18	71.43
24	13.00	18.59	10.09	8.42	7.50	5.88
36	14.29	21.01	7.14	4.84	4.26	-
48	15.13	21.97	17.48	4.08	6.82	5.26
60	9.68	13.91	9.45	1.19	1.23	-
72	18.54	14.09	8.00	5.26	5.19	4.44

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	11200	43800	33600	20400	15200	8000
12	15000	35800	28600	22000	20000	9400
24	17000	35000	28400	24600	22000	9800
36	8800	32200	29600	16000	12000	4400
48	7800	27600	27400	19000	16600	13400
60	7200	25200	24800	17600	16200	11800
72	8200	28600	19200	15400	12000	4800
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1800	8800	9000	3200	1800	800
12	1600	9800	6800	6200	3000	800
24	1800	6000	5600	4200	2200	1000
36	1200	6800	5400	1800	600	400
48	1000	6000	5400	6000	2000	600
60	400	1800	2200	1200	600	400
72	1600	3800	2000	1000	400	200
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	16.07	20.09	26.79	15.69	11.84	10.00
12	10.67	27.37	23.78	28.18	15.00	8.51
24	10.59	17.14	19.72	17.07	10.00	10.20
36	13.64	21.12	18.24	11.25	5.00	9.09
48	12.82	21.74	19.71	31.58	12.05	4.48
60	5.56	7.14	8.87	6.82	3.70	3.39
72	19.51	13.29	10.42	6.49	3.33	4.17

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	11000	18200	14000	13600	12400	4000
12	7600	22000	18200	16600	12600	2000
24	6000	13800	11200	11000	11000	1000
36	6400	14800	12800	8800	8000	1200
48	6600	15000	13000	12000	11400	5800
60	5400	12000	11400	10400	10600	5800
72	5800	11000	9600	10000	9400	3800
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1600	3200	2400	2000	2600	800
12	800	3000	2600	2400	1000	200
24	600	1600	1400	1000	1000	200
36	800	2400	2000	1000	600	200
48	800	2200	1400	800	400	200
60	600	1800	1400	1000	600	200
72	600	1600	1200	1000	600	400
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	14.55	17.58	17.14	14.71	20.97	20.00
12	10.53	13.64	14.29	14.46	7.94	10.00
24	10.00	11.59	12.50	9.09	9.09	20.00
36	12.50	16.22	15.63	11.36	7.50	16.67
48	12.12	14.67	10.77	6.67	3.51	3.45
60	11.11	15.00	12.28	9.62	5.66	3.45
72	10.34	14.55	12.50	10.00	6.38	10.53

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	9400	19600	12400	10800	9200	5800
12	11600	25600	20200	17000	11800	7400
24	10600	26400	22200	20200	16600	10200
36	10200	20800	18000	15000	11600	9200
48	10000	19600	16800	14200	10400	8800
60	10200	20600	17200	14400	11600	8600
72	9800	20400	17200	14200	11200	8800
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1400	4000	2800	1400	1000	600
12	1800	3800	2800	1600	1200	1000
24	2400	5000	3600	2600	1200	800
36	2000	5400	4200	2800	1400	1000
48	1800	5000	3400	1800	1200	800
60	2000	4400	3200	1600	1000	800
72	2200	4800	3400	1600	1200	1000
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	14.89	20.41	22.58	12.96	10.87	10.34
12	15.52	14.84	13.86	9.41	10.17	13.51
24	22.64	18.94	16.22	12.87	7.23	7.84
36	19.61	25.96	23.33	18.67	12.07	10.87
48	18.00	25.51	20.24	12.68	11.54	9.09
60	19.61	21.36	18.60	11.11	8.62	9.30
72	22.45	23.53	19.77	11.27	10.71	11.36

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	8400	12400	10800	7200	5600	2800
12	9600	14400	11200	7800	6200	4200
24	10500	17200	13800	9400	7200	4600
36	9400	16600	12400	8800	6800	4200
48	8800	15200	12000	7800	6200	3800
60	9800	16400	12800	8200	6000	3400
72	9600	15800	12800	8000	5800	3200
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	800	2200	1400	1400	1200	400
12	1000	3200	1800	1400	1000	800
24	1000	3600	2200	1600	1200	800
36	1400	3200	2000	1600	1000	800
48	800	2400	1400	1000	800	400
60	1600	2800	1600	1200	1000	400
72	1400	2000	1200	1000	1000	600
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	9.52	17.74	12.96	19.44	21.43	14.29
12	10.42	22.22	16.07	17.95	16.13	19.05
24	9.52	20.93	15.94	17.02	16.67	17.39
36	14.89	19.28	16.13	18.18	14.71	19.05
48	9.09	15.79	11.67	12.82	12.90	10.53
60	16.33	17.07	12.50	14.63	16.67	11.76
72	14.58	12.66	9.38	12.50	17.24	18.75

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	6400	10400	9600	6800	5200	2200
12	8800	12800	10400	7200	5800	3400
24	9400	15600	12800	8600	6800	3600
36	8200	16200	13400	8800	7200	4200
48	7600	13800	11200	7800	6200	2200
60	8800	15600	13000	8400	6800	2800
72	8400	14800	12600	8000	5800	2600
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	600	1200	1000	800	600	-
12	800	1800	1200	1000	600	200
24	1000	2600	1600	1600	800	200
36	1400	2800	1800	1600	800	400
48	800	1800	1400	1000	600	200
60	1400	2400	1600	1200	600	400
72	1200	2000	1200	1000	600	400
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	9.38	11.54	10.42	11.76	11.54	-
12	9.09	14.06	11.54	13.89	10.34	5.88
24	10.64	16.67	12.50	18.60	11.76	5.56
36	17.07	17.28	13.43	18.18	11.11	9.52
48	10.53	13.04	12.50	12.82	9.68	9.09
60	15.91	15.38	12.31	14.29	8.82	14.29
72	14.29	13.51	9.52	12.50	10.34	15.38

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	6200	10000	8600	8600	7800	4200
12	8800	18000	16600	14800	10800	7800
24	7800	22400	18600	17800	17000	10400
36	7400	16800	14600	12400	10600	8200
48	6800	15600	12400	11400	9400	7800
60	7200	16600	13800	12000	10400	8600
72	6800	16200	13600	11600	9800	8200
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	400	800	600	400	200	-
12	1400	2400	1400	1200	1000	800
24	800	2800	2200	1400	1400	600
36	800	2200	1800	1400	800	600
48	600	1800	1600	1000	800	400
60	800	2000	1600	1200	800	600
72	600	1800	1600	1200	800	600
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	6.45	8.00	6.98	4.65	2.56	-
12	15.91	13.33	8.43	8.11	9.26	10.26
24	10.26	12.50	11.83	7.87	8.24	5.77
36	10.81	13.10	12.33	11.29	7.55	7.32
48	8.82	11.54	12.90	8.77	8.51	5.13
60	11.11	12.05	11.59	10.00	7.69	6.98
72	8.82	11.11	11.76	10.34	8.16	7.32

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	6200	10200	8800	5400	4000	1800
12	7800	12400	9800	6600	5200	2200
24	8200	13800	10800	7600	6200	2400
36	9200	15800	12600	9400	7400	2800
48	8800	15200	12200	9200	7000	2200
60	7800	14800	11800	8600	6400	2000
72	8200	15000	12400	8800	6800	1600
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	800	1200	800	600	-	-
12	800	1600	1000	1000	600	-
24	1000	1800	1200	800	800	200
36	1200	2600	1600	1200	1000	400
48	1400	2200	1400	1000	600	200
60	800	1800	1400	1200	800	200
72	1200	1800	1200	800	800	200
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	12.90	11.76	9.09	11.11	-	-
12	10.26	12.90	10.20	15.15	11.54	-
24	12.20	13.04	11.11	10.53	12.90	8.33
36	13.04	16.46	12.70	12.77	13.51	14.29
48	15.91	14.47	11.48	10.87	8.57	9.09
60	10.26	12.16	11.86	13.95	12.50	10.00
72	14.63	12.00	9.68	9.09	11.76	12.50

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	3400	6600	5800	4200	2800	1000
12	5200	9400	7600	5400	3800	1200
24	4800	9200	7200	4800	3000	1000
36	6400	10200	9200	6200	4400	1600
48	5800	9800	8000	5800	4200	1400
60	6200	9600	7600	5200	3800	1200
72	5400	9600	7800	5400	4200	1200
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	400	800	600	-	-	-
12	400	1200	800	400	-	-
24	800	1000	800	600	200	-
36	1000	1800	1000	600	600	-
48	800	2000	1200	800	400	-
60	1000	2000	1000	600	200	-
72	800	1800	1000	600	400	-
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	11.76	12.12	10.34	-	-	-
12	7.69	12.77	10.53	7.41	-	-
24	16.67	10.87	11.11	12.50	6.67	-
36	15.63	17.65	10.87	9.68	13.64	-
48	13.79	20.41	15.00	13.79	9.52	-
60	16.13	20.83	13.16	11.54	5.26	-
72	14.81	18.75	12.82	11.11	9.52	-

ก.4.3 การทดลองช่วงที่ 3 ผลของจำนวนใบกวนและอัตราน้ำไหลขึ้น

N2V6

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	53800	81800	44800	30600	17200	12000
12	50800	66200	44400	30200	19200	9800
24	44200	57400	47600	36600	31800	11400
36	28200	57600	29600	27000	21800	21000
48	22000	43200	33400	29800	23400	24000
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	5600	10600	2400	1400	1200	1000
12	9000	6000	3400	2000	1600	800
24	5800	8800	300	2600	2200	800
36	2600	8600	2800	2600	2000	1600
48	2400	8200	3200	2400	2200	2000
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ(%)					
	0	30	60	90	120	150
0	10.41	12.96	5.36	4.58	6.98	8.33
12	17.72	9.06	7.66	6.62	8.33	8.16
24	13.12	15.33	0.63	7.10	6.92	7.02
36	9.22	14.93	9.46	9.63	9.17	7.62
48	10.91	18.98	9.58	8.05	9.40	8.33

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	4000	55600	42800	38800	30000	24200
12	8800	59200	43600	36200	31400	18600
24	7600	56800	41600	33800	29600	15400
36	8200	56200	42600	36600	25200	14200
48	7200	51600	41200	38600	23400	15400
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1000	12000	3600	3200	1600	600
12	2200	19000	6800	3000	2200	600
24	2400	15200	8400	4000	3600	800
36	2200	15400	9800	4200	3600	800
48	1600	15000	8400	3000	2800	600
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	25.00	21.58	8.41	8.25	5.33	2.48
12	25.00	32.09	15.60	8.29	7.01	3.23
24	31.58	26.76	20.19	11.83	12.16	5.19
36	26.83	27.40	23.00	11.48	14.29	5.63
48	22.22	29.07	20.39	7.77	11.97	3.90

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	37000	89400	58600	41400	28600	13600
12	22800	58000	53200	38200	41600	28400
24	16600	44800	54000	35200	21400	6600
36	36600	56000	41800	37400	35400	17400
48	25400	66800	60400	54600	34800	22400
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	3400	15600	5800	5200	1600	600
12	600	18000	24000	11800	17200	8800
24	1000	10000	5200	3600	3400	1400
36	4400	23000	11600	10600	7000	3200
48	1800	14000	7800	5200	4600	2800
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	9.19	17.45	9.90	12.56	5.59	4.41
12	2.63	31.03	45.11	30.89	41.35	30.99
24	6.02	22.32	9.63	10.23	15.89	21.21
36	12.02	41.07	27.75	28.34	19.77	18.39
48	7.09	20.96	12.91	9.52	13.22	12.50

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	57800	86400	39000	26400	26800	21000
12	29600	54800	33600	25400	21800	18800
24	46600	55800	34400	29000	26800	18600
36	32200	60600	48400	31000	29200	24800
48	41400	62400	42800	31600	26200	23200
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	6000	10800	2200	2200	2800	1800
12	2600	5600	2000	2000	1200	1600
24	2800	5800	2000	1600	1200	800
36	2400	3400	1800	1600	1400	1000
48	5200	6400	2200	1400	1400	600
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	10.38	12.50	5.64	8.33	10.45	8.57
12	8.78	10.22	5.95	7.87	5.50	8.51
24	6.01	10.39	5.81	5.52	4.48	4.30
36	7.45	5.61	3.72	5.16	4.79	4.03
48	12.56	10.26	5.14	4.43	5.34	2.59

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	16000	64400	29800	16200	9200	1600
12	34800	42200	52800	25000	22600	2000
24	11600	70000	39600	27800	25600	8800
36	20800	67200	61600	28000	28800	10200
48	18800	62800	46400	29800	27600	11400
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1200	9200	3600	1800	800	600
12	3000	9000	5400	1200	1200	800
24	1000	8200	4200	1600	4000	1800
36	1400	5200	10200	2200	2400	1400
48	1000	3000	3000	2000	3400	2000
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ(%)					
	0	30	60	90	120	150
0	7.50	14.29	12.08	11.11	8.70	37.50
12	8.62	21.33	10.23	4.80	5.31	40.00
24	8.62	11.71	10.61	5.76	15.63	20.45
36	6.73	7.74	16.56	7.86	8.33	13.73
48	5.32	4.78	6.47	6.71	12.32	17.54

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	11000	60800	24400	20200	14400	13400
12	9400	38800	21400	18200	13200	10800
24	9200	34200	25800	22000	18800	6600
36	12000	58800	30800	21800	20000	14200
48	12200	51000	22800	19600	9600	9600
เวลา(ชม.ที่)	เพลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1400	24400	4800	4000	2600	1800
12	1200	17800	6800	2800	1800	1200
24	1200	7600	4200	3400	2400	1000
36	1600	18600	5600	3000	1800	1800
48	1600	19800	3600	1400	800	1400
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	12.73	40.13	19.67	19.80	18.06	13.43
12	12.77	45.88	31.78	15.38	13.64	11.11
24	13.04	22.22	16.28	15.45	12.77	15.15
36	13.33	31.63	18.18	13.76	9.00	12.68
48	13.11	38.82	15.79	7.14	8.33	14.58

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	3800	64400	24800	23200	22800	16800
12	3600	51000	24600	21800	21800	16200
24	5200	54200	32000	28400	25000	23200
36	5400	45600	29000	27000	23800	23200
48	2400	44000	25200	23600	18600	15200
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1000	22800	4400	2000	1800	800
12	1000	20200	4200	2400	2000	1000
24	1800	34600	6400	2600	1800	1200
36	1800	16000	3200	2600	1400	1400
48	1000	14200	1200	4400	2800	2800
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	26.32	35.40	17.74	8.62	7.89	4.76
12	27.78	39.61	17.07	11.01	9.17	6.17
24	34.62	63.84	20.00	9.15	7.20	5.17
36	33.33	35.09	11.03	9.63	5.88	6.03
48	41.67	32.27	4.76	18.64	15.05	18.42

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	36200	82800	36000	19600	18200	14200
12	13800	40800	24600	22200	18800	17800
24	35200	84400	39000	14000	12800	9800
36	29800	45200	26800	22200	19200	14400
48	13800	43800	22200	19400	18200	10400
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	12200	24600	4000	2400	2000	1800
12	9200	24600	3400	2800	2600	2000
24	10800	29800	5600	2800	2000	1400
36	10000	16600	5200	2600	1200	1200
48	4000	18400	2600	2600	2600	800
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลิตที่ระดับ(%)					
	0	30	60	90	120	150
0	33.70	29.71	11.11	12.24	10.99	12.68
12	66.67	60.29	13.82	12.61	13.83	11.24
24	30.68	35.31	14.36	20.00	15.63	14.29
36	33.56	36.73	19.40	11.71	6.25	8.33
48	28.99	42.01	11.71	13.40	14.29	7.69

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1200	59600	28400	27600	14400	14000
12	1800	30600	21000	17800	15800	12400
24	1600	29600	19800	18800	14800	12200
36	2000	43600	22600	18800	15800	12000
48	1800	42800	26200	20200	16200	12200
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	400	30200	5400	5000	3600	2400
12	600	16800	6600	4800	3800	2000
24	600	18800	4800	3800	3600	2000
36	800	19400	4400	3400	3200	1800
48	600	19000	5200	4200	3400	1800
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	33.33	50.67	19.01	18.12	25.00	17.14
12	33.33	54.90	31.43	26.97	24.05	16.13
24	37.50	63.51	24.24	20.21	24.32	16.39
36	40.00	44.50	19.47	18.09	20.25	15.00
48	33.33	44.39	19.85	20.79	20.99	14.75

A3P01

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	4600	12800	5400	5000	4200	1600
12	4200	12600	5800	5200	5000	1600
24	4000	9000	5600	4800	5000	1200
36	3600	7200	5100	4400	4600	2000
48	2800	7200	5200	4600	4600	1800
เวลา(ชม.ที่)	เพลลีสต์ที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1000	2200	600	800	600	200
12	1000	2400	800	400	600	200
24	800	1400	600	400	600	200
36	800	1400	600	600	400	400
48	600	1400	600	600	400	200
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลีสต์ที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	21.74	17.19	11.11	16.00	14.29	12.50
12	23.81	19.05	13.79	7.69	12.00	12.50
24	20.00	15.56	10.71	8.33	12.00	16.67
36	22.22	19.44	11.76	13.64	8.70	20.00
48	21.43	19.44	11.54	13.04	8.70	11.11

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	8600	16200	16000	11600	12400	3800
12	4600	14600	11200	11000	11000	7600
24	5800	12200	11200	10200	7400	5400
36	5400	8600	7400	5600	6200	4600
48	4800	8400	6800	6400	6800	5800
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลีสที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	1400	2800	2600	1800	2000	400
12	800	2600	1800	1600	1600	800
24	1000	2600	1800	1600	1000	600
36	1000	2000	1200	1000	1000	400
48	800	2000	1200	1000	1000	600
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลีสที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	16.28	17.28	16.25	15.52	16.13	10.53
12	17.39	17.81	16.07	14.55	14.55	10.53
24	17.24	21.31	16.07	15.69	13.51	11.11
36	18.52	23.26	16.22	17.86	16.13	8.70
48	16.67	23.81	17.65	15.63	14.71	10.34

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	5000	14000	12000	12200	7600	5600
12	5400	15200	12400	12000	8200	3600
24	4600	13200	11000	12800	6200	2800
36	4200	17600	15200	13600	13400	8400
48	5600	18000	10400	12200	10800	7800
เวลา(ชม.ที่)	เพลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	800	2000	1400	1400	1000	600
12	1000	2200	1400	1400	1000	400
24	800	2600	1200	1400	800	400
36	800	2400	2000	1600	1600	1000
48	1000	3000	1400	1800	1400	800
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	16.00	14.29	11.67	11.48	13.16	10.71
12	18.52	14.47	11.29	11.67	12.20	11.11
24	17.39	19.70	10.91	10.94	12.90	14.29
36	19.05	13.64	13.16	11.76	11.94	11.90
48	17.86	16.67	13.46	14.75	12.96	10.26

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	2600	7600	5200	4800	4600	2800
12	1600	6600	4800	3800	3800	2200
24	1800	7400	4000	3000	4200	2000
36	1800	5800	2800	3000	2800	1800
48	1600	6200	3800	4000	4000	2400
เวลา(ชม.ที่)	เพลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	800	1600	600	400	400	-
12	400	1200	400	400	200	-
24	600	1400	800	400	600	200
36	600	1200	600	400	200	-
48	400	1600	800	600	200	200
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	30.77	21.05	11.54	8.33	8.70	-
12	25.00	18.18	8.33	10.53	5.26	-
24	33.33	18.92	20.00	13.33	14.29	10.00
36	33.33	20.69	21.43	13.33	7.14	-
48	25.00	25.81	21.05	15.00	5.00	8.33

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	4200	10600	8400	7200	6800	1400
12	3600	8600	5400	6600	5400	2400
24	3200	9200	5200	5000	5000	1200
36	2200	6200	4600	4800	4600	1800
48	3000	8800	6600	6600	7000	2600
เวลา(ชม.ที่)	เพลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	800	1800	1400	1200	1200	200
12	600	1600	1000	1000	1000	600
24	600	1800	1000	800	800	200
36	400	1400	800	800	600	400
48	600	1800	1000	1000	800	600
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	19.05	16.98	16.67	16.67	17.65	14.29
12	16.67	18.60	18.52	15.15	18.52	25.00
24	18.75	19.57	19.23	16.00	16.00	16.67
36	18.18	22.58	17.39	16.67	13.04	22.22
48	20.00	20.45	15.15	15.15	11.43	23.08

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	14600	18200	14800	12600	12400	4800
12	15600	18800	12000	14200	6000	4000
24	10200	11800	11600	10200	7200	3200
36	12200	12400	13200	12800	11000	3600
48	11000	13000	10200	9400	8600	4600
เวลา(ชม.ที่)	เพลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	4200	4400	4200	3400	3200	1000
12	5800	6000	4000	3600	1400	800
24	2000	4600	4200	3000	1000	400
36	2000	4600	5000	3200	1800	600
48	1800	5200	2400	2400	1400	800
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	28.77	24.18	28.38	26.98	25.81	20.83
12	37.18	31.91	33.33	25.35	23.33	20.00
24	19.61	38.98	36.21	29.41	13.89	12.50
36	16.39	37.10	37.88	25.00	16.36	16.67
48	16.36	40.00	23.53	25.53	16.28	17.39

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	2000	6200	4600	3600	3400	2000
12	1400	4600	3200	3400	3000	1200
24	1600	5800	4800	5000	3600	1800
36	1600	4400	3600	3600	2400	1600
48	1800	4800	4000	3400	3000	1600
เวลา(ชม.ที่)	เฟลลัดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	600	1200	800	600	600	200
12	400	1000	600	800	400	-
24	400	1400	1000	1000	400	200
36	400	800	600	400	200	-
48	600	1000	1000	800	400	200
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เฟลลัดที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	30.00	19.35	17.39	16.67	17.65	10.00
12	28.57	21.74	18.75	23.53	13.33	-
24	25.00	24.14	20.83	20.00	11.11	11.11
36	25.00	18.18	16.67	11.11	8.33	-
48	33.33	20.83	25.00	23.53	13.33	12.50

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	2600	9800	7600	5200	5000	2200
12	1200	8400	4600	4400	4400	2000
24	2000	9200	4200	4000	4400	2200
36	1800	7400	4800	3600	3200	1800
48	2200	6800	4200	3800	3600	1800
เวลา(ชม.ที่)	เพลลิตที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	600	2000	1200	1000	1000	200
12	200	1800	800	600	600	200
24	400	2000	800	600	800	400
36	400	1400	800	400	400	200
48	600	1400	800	600	400	200
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลิตที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	23.08	20.41	15.79	19.23	20.00	9.09
12	16.67	21.43	17.39	13.64	13.64	10.00
24	20.00	21.74	19.05	15.00	18.18	18.18
36	22.22	18.92	16.67	11.11	12.50	11.11
48	27.27	20.59	19.05	15.79	11.11	11.11

เวลา(ชม.ที่)	ของแข็งทั้งหมดที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	10000	14400	13800	11200	10000	3400
12	10400	18400	15400	10400	9600	3000
24	6800	16800	6200	8400	5600	3800
36	5000	12600	8400	6000	8000	1600
48	6400	14600	10800	6400	6200	3200
เวลา(ชม.ที่)	เพลลีสต์ที่ระดับ (มก./ล.)					
	0	30	60	90	120	150
0	2400	5000	4000	2400	2200	600
12	2600	6000	4600	2400	2200	400
24	2000	5600	1800	2000	1600	600
36	1600	5200	2200	1600	1800	400
48	2000	5600	3400	1800	1800	600
เวลา(ชม.ที่)	เปอร์เซ็นต์เพลลีสต์ที่ระดับ (%)					
	0	30	60	90	120	150
0	24.00	34.72	28.99	21.43	22.00	17.65
12	25.00	32.61	29.87	23.08	22.92	13.33
24	29.41	33.33	29.03	23.81	28.57	15.79
36	32.00	41.27	26.19	26.67	22.50	25.00
48	31.25	38.36	31.48	28.13	29.03	18.75

ภาคผนวก ข รายการคำนวณ

ข. 1 การคำนวณค่าความปั่นป่วนภายในชั้นมวลของแข็ง

$$\text{จากสมการ Camp; } P = 0.5C_D\rho Av^3 \quad (4.2)$$

P = พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำ, วัตต์

C_D = ค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ, กก./ลบ.ม. (998 กก./ลบ.ม.)

A = พื้นที่ใบกวน, ตร.ม.

v = ความเร็วสัมพัทธ์ใบกวน, ม./วินาที

= 0.75 เท่าของความเร็วขอบ

= $0.75 \times n \times 2 \times \pi \times l / 60$

l = ความยาวใบกวนจากศูนย์กลาง, ม.

n = ความเร็วรอบกวน, รอบ/นาที

ตารางที่ 4.14 การวัดค่าพลังงานในการกวนน้ำเพื่อหาค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G) และค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วง (Cd)

Run No.	P(watt)	Cd	G จากการทดลอง(วินาที^{-1})
P1S2	3.51	22.97	41.79
P1S3	3.63	7.03	42.48
P1S4	3.62	2.96	42.43
P2S2	3.55	32.96	42.04
P2S3	4.50	12.38	47.33
P2S4	4.68	5.43	48.24
P3S2	4.13	51.07	45.32
P3S3	4.78	17.52	48.76
P3S4	4.86	7.52	49.18

จากการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการกวนน้ำ (P) จะได้ค่าดังตารางที่ 4.14 นำค่า P ที่ได้ไปแทนค่าในสมการ 4.2 จะสามารถหาค่า Cd ออกมาได้ ส่วนค่าความเร็วเกรเดียนท์ (G) จะหาได้โดยนำค่า P แทนลงในสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ Camp; } G &= (P/\mu V)^{0.5} && (4.2) \\ G &= \text{ความเร็วเกรเดียนท์หรือระดับความปั่นป่วน, วินาที}^{-1} \\ \mu &= \text{ความหนืดน้ำ, นิวตัน-วิ./ตร.ม. (0.00089 นิวตัน-วิ./ตร.ม.)} \\ V &= \text{ปริมาตรน้ำในถังกวน, ลบ.ม.} \end{aligned}$$

จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของความหน่วงและค่าความเร็วเกรเดียนท์ดังตารางที่ 4.14 ส่วนค่าเวลากักน้ำจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{เวลากักน้ำภายในชั้นมวลของแข็ง } t &= V/Q \\ &= 2.257/15 \\ &= 0.15 \text{ ชม.} \\ &= 540 \text{ วิ.} \end{aligned}$$

ข.2 การคำนวณความหนาแน่นประสิทธิผลเพิลเล็ต

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ Stoke; } V_c &= g(\rho_s - \rho)d^2/18\mu \\ V_c &= \text{ความเร็วจมตัวของแข็ง, ม./วิ.} \\ g &= \text{ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลก, ม./วิ.}^{-2} (9.81 \text{ ม./วิ.}^{-2}) \\ \rho_s &= \text{ความหนาแน่นของของแข็ง, กก./ลบ.ม.} \\ \rho &= \text{ความหนาแน่นน้ำ, กก./ลบ.ม.} \\ (\rho_s - \rho) &= \text{ความหนาแน่นประสิทธิผลของของแข็ง, กก./ลบ.ม.} \\ d &= \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของของแข็ง, ม.} \\ \mu &= \text{ความหนืดน้ำ, นิวตัน-วิ./ตร.ม. (0.00089 นิวตัน-วิ./ตร.ม.)} \\ (\rho_s - \rho) &= 18V_c\mu/gd^2 \\ &= 18 \times 0.00089 \times V_c / (9.81 \times d^2) \\ &= 0.001633 \times V_c / d^2 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง เพล็ดขนาด 0.4 มม. (0.0004 ม.) ความเร็วจมตัว 80 ม./ชม. (0.02222 ม./วิ.)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (ข); } (\rho_s - \rho) &= 0.001633 \times V_c / d^2 \\ &= 0.001633 \times 0.02222 / 0.0004^2 \\ &= 227 \text{ กก./ลบ.ม.} \\ &= 0.227 \text{ ก./ลบ.ชม.} \end{aligned}$$

ข.3 การคำนวณปริมาณสารส้ม

ใน $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ จะมี Al_2O_3 6.5 % w/w (จากข้อมูลการประปานครหลวง)

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วน } \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} &= 102/666 \\ &= 15.3 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วน } \text{Al} / \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} &= 54/666 \\ &= 8.1 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 6.5 ก. คิดเป็น } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} &= 6.5 \times 100 / 15.3 \\ &= 42.5 \text{ ก.} \end{aligned}$$

จึงได้ว่าในสารส้มเหลวจะมี $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 42.5 % w/w

หาปริมาณความเข้มข้น Al เทียบกับปริมาณสารส้มเหลว

$$8.1 \text{ ก. ของ Al ในสารส้ม} \quad 100 \text{ ก.}$$

$$\text{ดังนั้น } 1.0 \text{ ก. ของ Al จะอยู่ในสารส้ม} \quad 100/8.1 = 12.345 \text{ ก.}$$

$$\text{จะได้ว่า } 1 \text{ มก. Al/ล. เท่ากับ } 12.345 \text{ มก. สารส้ม/ล.}$$

$$\text{เนื่องจาก ถ.พ. สารส้มน้ำ} = 1.265 \quad (\text{จากข้อมูลการประปานครหลวง})$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ถ.พ. ของ } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} &= 1.265 \times (42.5/100) \\ &= 0.538 \text{ กก./ล.} \end{aligned}$$

สมมติ ต้องการเติมสารส้มเข้มข้น 12.345 มก. สารส้ม/ล. ที่อัตราการไหล 15 ลบ.ม./ชม.

ปั๊มสารส้มจ่ายที่ 8.82 ล./ชม.

$$\begin{aligned} \text{จาก } \text{PumpRate} &= \frac{\text{QxDose}}{\text{Conc.}} \\ \text{Conc.} &= 15 \times 12.345 / 8.82 \\ &= 20.995 \text{ ก./ล.} \end{aligned}$$

ต้องการเตรียมสารละลายเข้มข้น 20.995 ก./ล. ปริมาณ 50 ล.

$$\begin{aligned}
 \text{จะต้องใช้น้ำหนักสารส้ม} &= 20.995 \times 50 \\
 &= 1.05 \quad \text{กก.} \\
 \text{คิดเป็นปริมาณสารส้มเหลว} &= 1.05 / 0.538 \\
 &= 2.0 \quad \text{ล.}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นต้องเติมน้ำอีก 48 ล.

ข.4 การคำนวณมวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลเล็ตทั้งหมดในถังสร้างเพลเล็ต

จากรูป 3.21 แสดงปริมาตรชั้นมวลของแข็งที่ระดับต่าง ๆ จะสามารถหาค่ามวลของแข็งทั้งหมดและมวลเพลเล็ตทั้งหมดได้โดยวิธีดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการคำนวณ ; โดยกำหนดค่า TS และ TP ดังนี้

ที่ระดับ 0 ซม. จากก้นถัง ค่า SS = 9,400 มก./ล. เพลเล็ต = 2,000 มก./ล.

30 ซม. จากก้นถัง ค่า SS = 17,200 มก./ล. เพลเล็ต = 6,000 มก./ล.

60 ซม. จากก้นถัง ค่า SS = 13,800 มก./ล. เพลเล็ต = 4,200 มก./ล.

90 ซม. จากก้นถัง ค่า SS = 10,200 มก./ล. เพลเล็ต = 3,000 มก./ล.

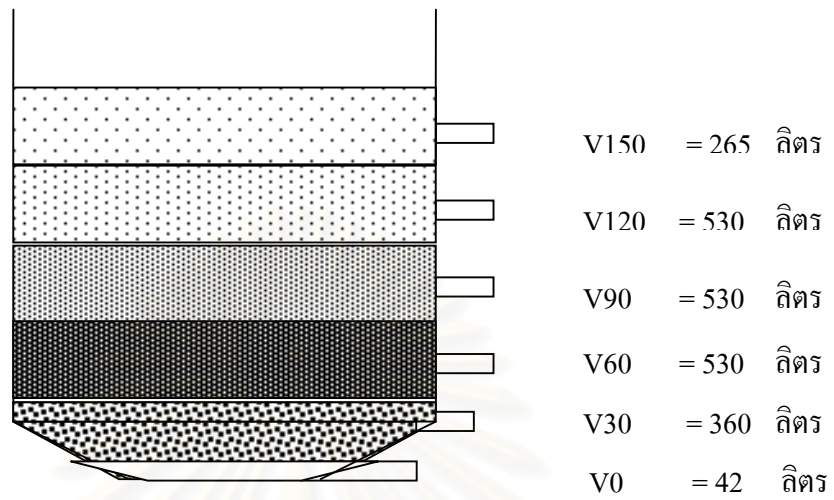
120 ซม. จากก้นถัง ค่า SS = 8,200 มก./ล. เพลเล็ต = 2,400 มก./ล.

150 ซม. จากก้นถัง ค่า SS = 5,200 มก./ล. เพลเล็ต = 1,200 มก./ล.

$$\begin{aligned}
 \text{มวลของแข็งทั้งหมด} &= 30,000 \times 42 + 70,000 \times 360 + 50,000 \times 530 + \\
 &\quad 32,000 \times 530 + 22,000 \times 530 + 10,000 \times 265 \\
 &= 84,230,000 \text{ มก./ล.} \\
 &= 84.23 \text{ กก.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{มวลเพลเล็ต} &= 4,000 \times 42 + 20,000 \times 360 + 15,000 \times 530 + \\
 &\quad 10,000 \times 530 + 7,000 \times 530 + 1,000 \times 265 \\
 &= 24,593,000 \text{ มก./ล.} \\
 &= 24.59 \quad \text{กก.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ มวลเพลเล็ต} &= 24.59 / 84.23 \\
 &= 29.19 \%
 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.21 ปริมาตรชั้นมวลของแข็งที่ระดับต่าง ๆ (not to scale)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค วิธีกรเริ่มต้ระบบ (Start up)

จะต้ดินคโอินเป็นควมขุ่นส้งครระหใกรเริ่มต้ระบบ โดยมีเงื่อนไขต้งนี้

1. ค่ขงแ่งขวณลอย	=	10,000	มก./ล.
2. ค่อลูมิเนี่ยมต่ควมขุ่น (ALT)	=	0.001	(10 มก. Al/ล.)
3. ค่โพลีเมอร์ต่ควมขุ่น (PT)	=	0.00025	(2.5 มก./ล.)
4. ควมเร็วน้ำไหลขุ่น	=	5.66	ม./ชม.
5. ระยเวลา	=	3	ชม.
6. ปริมาณดินคโอินที่ใ้	=	225	ก.ก.

กรเริ่มต้ระบบทำโดยเตรียมดินคโอินข่มขุ่น 150,000 มก./ล. ในถ้งเตรียมดินคโอิน จกน้บ่อดินคโอินเข้าในเส้นท่อไปรวมกับน้ำดิบในส้ดส่วนเพื่อใ้ได้ควมข่มขุ่นของแ่งขวณลอย 10,000 มก./ล. แล้วบ่อดินคโอินในปริมาณที่กำหนด และฝ่ำนกรกวนเร็วด้วยเครื่องกวนสถิตยใ้ในเส้นท่อ จกน้บ่อดินคโอินไม่มีประจุตามปริมาณที่กำหนดที่บริเวณก้นถ้ง ภายใ้ถ้งจะม่กรกวนด้วยควมเร็วรอบกวน 2 รอบ/นหที่ ข้นมวลของแ่งจะเพิ่มสูงขุ่นจนถ้งระดับ 150 ซม. จกน้ถ้ง จ้งปล่อยมวลของแ่งส่วนเกินออกเพื่อควมคุมระดับข้นมวลของแ่งใ้ที่ 150 ซม. ส่วน้ำใสจะไหลออกบริเวณส่วบนของถ้ง

ภาคผนวก ง วิธีหาค่ามวลเพลล็ด

เทตัวอย่างจากขวดที่เก็บจากระดับต่าง ๆ มา 100 มล. ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ล. เติมน้ำประปาจนมีปริมาตร 1 ล. (ระวังอย่าเติมน้ำแรงเพราะจะทำให้เพลล็ดแตก) ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที ให้เพลล็ดจมตัวลง เทน้ำส่วนบนที่ไม่มีเพลล็ดออก แล้วเติมน้ำประปาอีก ทำซ้ำประมาณ 10 – 15 ครั้ง จนเหลือแต่เพลล็ด จึงเทเพลล็ดใส่ในถ้วยไปเข้าตู้อบที่ $103 - 105^{\circ}\text{C}$ ประมาณ 5 ชม. จึงนำออกมาชั่งเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณเพลล็ด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ รูปการทดลอง



รูปที่ จ 1 บริเวณโรงสูบน้ำดิบ 1 การประปาบางเขน



รูปที่ ๑ 2 สถานที่ทดลอง อยู่หลังโรงสูบน้ำดิบ 1

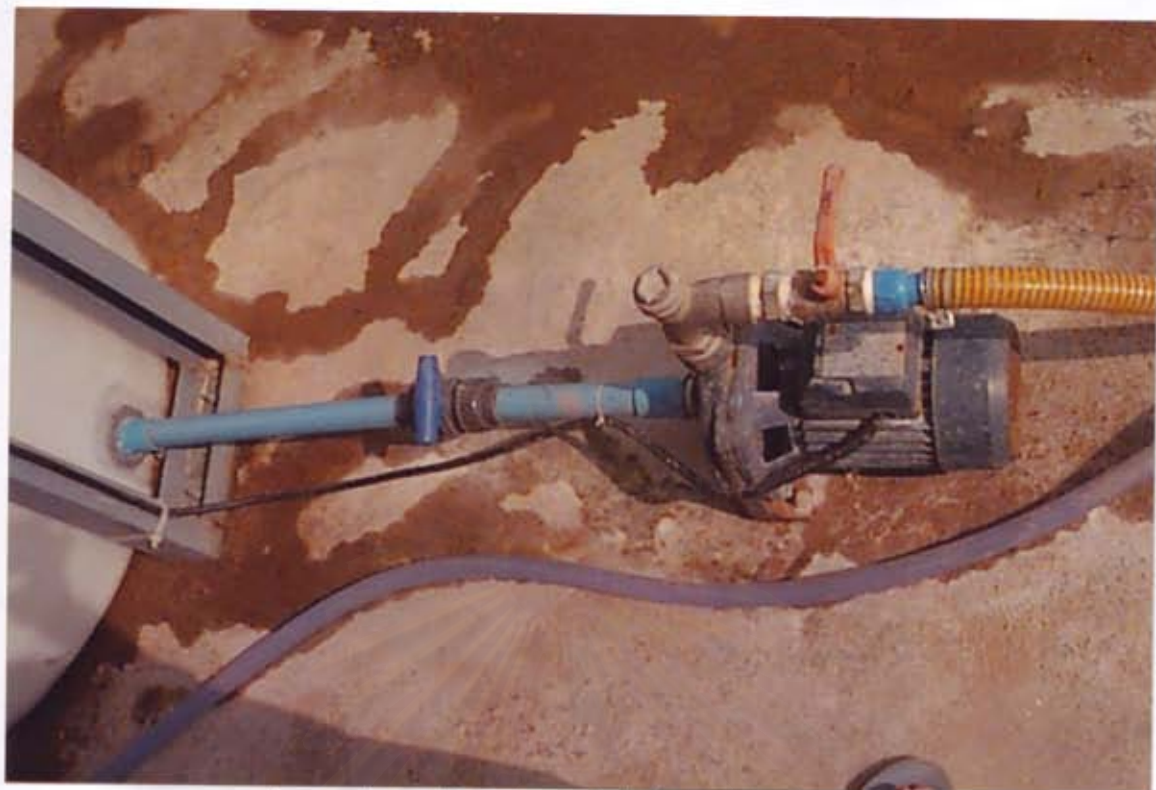


รูปที่ ๑ 3 ถังผสมสารเคมีและอุปกรณ์กวนสารเคมี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

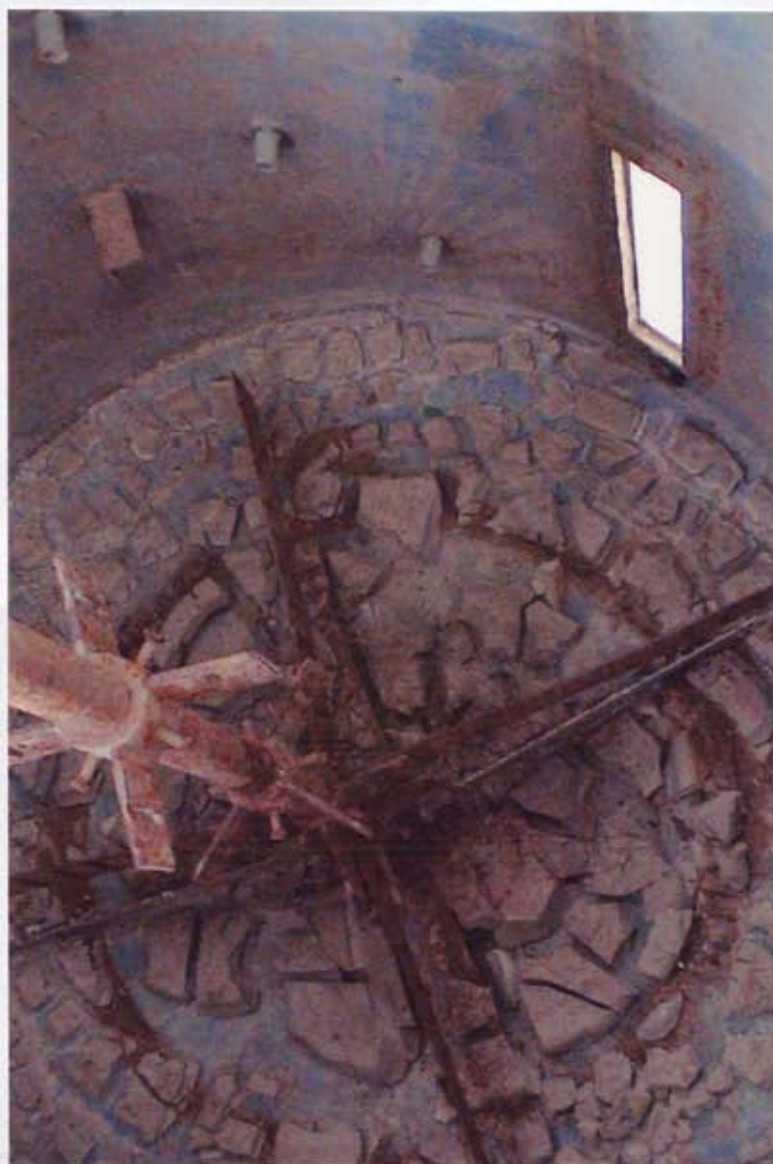
รูปที่ ๑ 4 ถังสร้างเพลลิต



รูปที่ ๑ 5 เครื่องสูบน้ำดินคาโกลินเพื่อเริ่มต้นระบบ



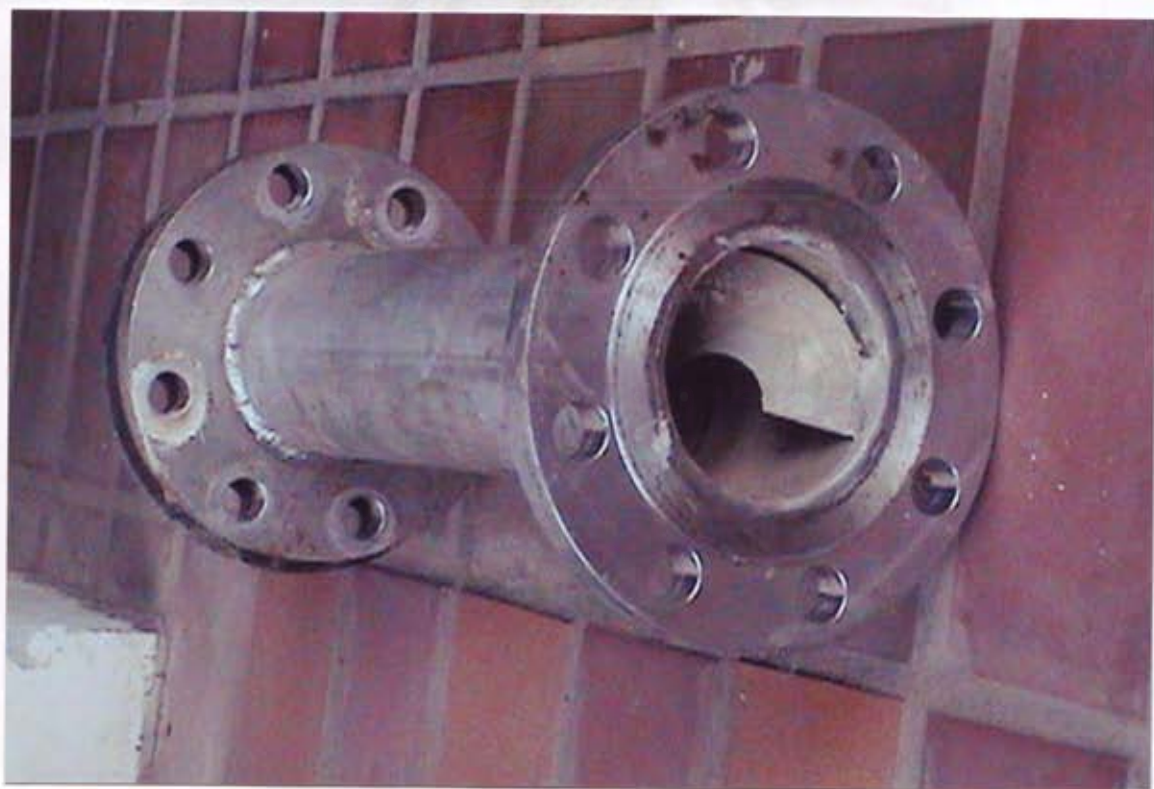
รูปที่ ๑ 6 โบกวนทั้ง 3 รูปแบบ



รูปที่ ๑ 7 การตีตบคอนกรีตภายในถังสร้างเพลาเหล็ก



รูปที่ ๑ 8 อุปกรณ์กวนเร็วแบบเดิม



รูปที่ ๑ 9 อุปกรณ์กวนเร็วแบบใหม่



รูปที่ ๑ 10 ลักษณะภายในอุปกรณ์ความเร็วแบบใหม่



รูปที่ ๑ 11 ลักษณะของโพลีเมอร์ที่ละลายแล้ว

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิญญูภาส ชนปทาธิป เกิดเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ.2521 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสุรศักดิ์มนตรี ระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย