

การแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาดในฟลูอิด์เบดแบบสามวัฏภาค



นายदनย์วิทย์ ประทีปวัฒนาสถิต

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF SHREDDED MUNICIPAL WASTE IN THREE-PHASE FLUIDIZED BED



Mr. Donvit Pratheepwattanasatid

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Fuel Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาดในฟลูอิดไรด์แบบสามวัฏ
ภาค

โดย

นาย ดนยวิทย์ ประทีปวัฒนาสถิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีเชื้อเพลิง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิจิตตานต์

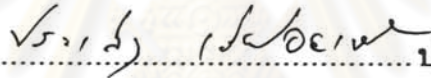
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

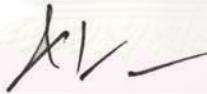
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



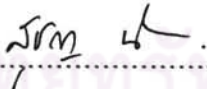
..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)




..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิจิตตานต์)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชญา นิตวิฒนานนท์)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย ตริยไชยาพร)

คณวิทย์ ประทีปวัฒนาสถิต : การแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาดในฟลูอิไดซ์เบดแบบ
สามวัฏภาค. (SEPARATION OF SHREDDED MUNICIPAL WASTE IN THREE-
PHASE FLUIDIZED BED) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร.ธราพงษ์ วิจิตร
ศานต์, 79 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาดที่ประกอบด้วย เศษกระดาษ เศษ
พลาสติก และขยะอินทรีย์ โดยต้องการแยกขยะอินทรีย์ออกจากกระดาษและพลาสติกเพื่อนำ
ขยะอินทรีย์ไปใช้ในการผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ในการทดลองใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบ
สามวัฏภาคในการแยกขยะชุมชน โดยกระบวนการนี้ใช้น้ำและอากาศเป็นตัวพาพลาสติกให้
ลอยขึ้นทางยอดหอ และนำเอาขยะอินทรีย์ที่มีความหนาแน่นมากกว่าออกทางก้นหอ การวิจัย
แบ่งเป็นสองขั้นตอนในขั้นแรกเป็นการศึกษาและทดสอบความสามารถในการแยกของเครื่อง
ปฏิกรณ์โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคืออัตราไหลของน้ำ, อัตราไหลของอากาศ และอัตราไหลของ
สารป้อน ทำการทดลองแยกพลาสติกพอลิเอไมด์และพอลิคาร์บอเนต ผลปรากฏว่าเครื่อง
ปฏิกรณ์สามารถแยกพลาสติกพอลิคาร์บอเนตจากพลาสติกพอลิเอไมด์ได้โดยมีประสิทธิภาพ
การแยกเท่ากับ 0.67

จากนั้นนำความรู้และประสบการณ์ในการใช้เครื่องปฏิกรณ์มาทดสอบการแยกกับ
ขยะจริงเรียกขั้นนี้ว่าการทดสอบการแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาด โดยมีตัวแปรคืออัตราไหลของ
น้ำที่ 20, 25, 30, 35 และ 40 ลิตรต่อนาที อัตราไหลของอากาศที่ 0, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อ
ชั่วโมง อัตราไหลของสารป้อนที่ 60, 85, 100 และ 200 กรัมต่อนาที และศึกษาขนาดของขยะ
พลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1x3 และ 1x5 ตาราง
เซนติเมตร ในการทดลองพบว่าขนาดของขยะพลาสติกไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกและ
ได้ประสิทธิภาพการแยกมากที่สุดเท่ากับ 0.87 คือที่สภาวะอัตราไหลของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อ
นาที อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราไหลของสารป้อนที่ 85 กรัมต่อ
นาที

ภาควิชา เคมีเทคนิค

สาขาวิชา เทคโนโลยีเรือเพลิง

ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนิสิต ดนวิทย์ ประทีปวัฒนาสถิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5272308823 : MAJOR FUEL TECHNOLOGY

KEYWORDS : SEPARATION / SHREDDED MUNICIPAL WASTE / FLUIDIZED BED / SEPARATION EFFICIENCY

DONVIT PRATHEEPWATTANASATID : SEPARATION OF SHREDDED MUNICIPAL WASTE IN THREE-PHASE FLUIDIZED BED. ADVISOR : ASSOC. PROF. THARAPONG VITIDSANTA Ph.D., 75 pp.

This research studied separation of shredded municipal waste containing papers, plastics and organic waste for biogas production. In experiment, Three phase fluidized bed reactor was used in session. In this process, water and air contributed plastic and paper to top of column and high density organic waste was lead to bottom of column. The research was divided into two steps. First to study and test separation performance of Three phases fluidized bed reactor. The variables were water flow rate, air flow rate and feed flow rate. The result shown that separate performance PC plastic (polycarbonate) from PA plastic (polyamide) in reactor was 0.67.

Subsequently, the method and experimental was tested in real waste. The water flow rates in this study were 20, 25, 30, 35 and 40 L/min. Air flow rates were 0, 10, 15 and 20 L/hr. Feed flow rates were 60, 85, 100 and 200 g/min. Furthermore, sizes of plastic waste which were 1x3 and 1x5 cm² were studied. The result shown that size of plastic has no significant in separate performance and optimum performance was 0.87. The appropriate factors were 35 L/min of water flow rate, 20 L/hr. of air flow rate and 85 g/min of feed flow rate.

Department : Chemical Technology

Field of Study : Fuel Technology

Academic Year : 2010

Student's Signature Donvit Pratheepwattanasatid

Advisor's Signature T. Vitidsanta

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จด้วยดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดขึ้นได้ด้วยความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ซึ่งท่านได้คอยให้ความช่วยเหลือเป็นห่วงเป็นใยในทุกๆ ด้าน รวมทั้งให้คำชี้แนะที่มีประโยชน์เกี่ยวกับงานวิจัย พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีเสมอมา

งานวิจัยเรื่อง “การแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาดในฟลูอิดไรเซชันแบบสามวัฏภาค” สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเชื้อเพลิง ภายใต้โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์ปิโตรเลียมและเทคโนโลยีปิโตรเคมี ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชญา นิติวฒนานนท์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ตระชัยยาพร ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะคุณสังข์ ชมชื่น ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียมปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยร่วมกับบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ พร้อมทั้งชาวเคมีเทคนิคทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือประกอบกับคำแนะนำดีๆ ที่มอบให้เสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ฟลูอิดไดเซชัน.....	4
2.1.1 นิยาม.....	4
2.1.2 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน.....	4
2.1.3 ลักษณะของฟลูอิดไดซ์เบด.....	5
2.1.4 แก๊สฟลูอิดไดเซชัน.....	7
2.1.5 ฟลูอิดไดเซชันสามวัฏภาค.....	13
2.1.5.1 เบดที่ไม่มีการไหลของของเหลว.....	14
2.1.5.2 เบดที่มีการไหลของของเหลว.....	14
2.1.5.3 การศึกษาฟลูอิดไดเซชันสามวัฏภาค.....	15
2.2 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน.....	15
2.3 การจัดเรียงตัวของเม็ดของแข็ง.....	17
2.4 องค์ประกอบขยะ.....	19
2.5 การหาประสิทธิภาพการแยก.....	21
2.6 แรงลอยตัว.....	21
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22

บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	25
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.2 วิธีการทดลอง.....	31
3.2.1 การเตรียมขยะตัวอย่าง.....	31
3.2.2 การดำเนินการทดลอง.....	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	33
4.1 การทดลองในระบบเดี่ยว.....	33
4.2 การทดลองในระบบคู่.....	35
4.2.1 ศึกษาผลของอัตราไหลของน้ำ.....	36
4.2.2 ศึกษาผลของอัตราไหลของอากาศ.....	38
4.2.3 ศึกษาผลของอัตราไหลของสารป้อน.....	40
4.3 ทดลองในขณะชุมชนย่อยขนาด.....	42
4.3.1 ผลของอัตราไหลของสารป้อน.....	43
4.3.2 ผลของอัตราไหลของน้ำ.....	45
4.3.3 ผลของอัตราไหลของอากาศ.....	46
4.3.4 ผลของขนาดของขยะพลาสติกในขณะชุมชนที่่ย่อยขนาด.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 การทดสอบความสามารถในการแยกของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดได้ซ์เบดแบบสามวัฏ ภาค.....	50
5.1.1 การทดลองในระบบเดี่ยว.....	50
5.1.2 การทดลองในระบบคู่.....	50
5.2 การทดสอบการแยกขยะชุมชนที่่ย่อยขนาด.....	50
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	51
รายการอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณ.....	55
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	58
ภาคผนวก ค รูปภาพขยะพลาสติกและขยะอินทรีย์.....	77
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	79

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลแสดงแสดงคุณสมบัติของเม็ดของแข็ง (ขนาด, ปริมาตร และความเร็วตก อิสระ.....	18
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดกับสัดส่วนช่องว่างของเบด.....	18
ตารางที่ 2.3 สัดส่วนขององค์ประกอบขยะเก่า (ฝังกลบน้อยกว่า 2 ปี)	20
ตารางที่ 4.1 ชนิดและความหนาแน่นของสารปนเปื้อนสัมพันธ์กับอัตราไหลของน้ำที่ทำให้เกิด การลอยตัว.....	34



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเกิดฟลูอิดไฮดรอลิกของเบดที่มีของไหลต่างชนิดกันไหลผ่าน	5
รูปที่ 2.2 รูปแบบการไหลสำหรับฟลูอิดไฮดรอลิก - ของแข็ง	6
รูปที่ 2.3 ลักษณะของเบดนิ่งที่ไม่มีและมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับผนัง	7
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับ ความเร็วของของไหล	10
รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นแตกต่างตลอดทั้งความสูงของเบด	17
รูปที่ 3.1 โครงร่างเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไฮดรอลิกแบบสามวัฏภาคที่ใช้ในงานวิจัย	25
รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไฮดรอลิกแบบสามวัฏภาคที่ใช้ในงานวิจัย	26
รูปที่ 3.3 โรเตอร์ (ท่อใส่แนวตั้งด้านขวา)	27
รูปที่ 3.4 ระบบป้อนขยะเข้า (บน) และระบบป้อนขยะออก (ล่าง)	28
รูปที่ 3.5 ถังเก็บน้ำ (รูปซ้าย) และถังเก็บน้ำที่ใช้แล้ว (รูปขวา)	29
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราไหลของน้ำ	29
รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอัตราไหลของอากาศ	30
รูปที่ 3.8 เครื่องสูบน้ำ	30
รูปที่ 3.9 เครื่องอัดอากาศ	31
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของพลาสติกกับอัตราไหลของน้ำ	35
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของมวลพลาสติกที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของน้ำ (อัตรา ไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อ ชั่วโมง)	36
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอเนตในยอดหอ กับอัตราไหลน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของ อากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)	37
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของสารป้อน เท่ากับ 52 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)	38
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของมวลพลาสติกที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของน้ำที่อัตรา ไหลของอากาศต่างๆ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที)	39
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอเนตในยอดหอกับ อัตราไหลของน้ำที่อัตราไหลของอากาศต่างๆ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที)	39

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของน้ำที่อัตราไหลของอากาศ ต่าง ๆ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที).....	40
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของจำนวนพลาสติกที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของสารป้อนที่ อัตราไหลของน้ำต่าง ๆ (อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง).....	41
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอเนตในยอดหอกับ อัตราไหลของสารป้อนที่อัตราไหลของน้ำต่าง ๆ (อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตร ต่อชั่วโมง).....	41
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของสารป้อนที่อัตราไหลของ น้ำต่าง ๆ (อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง).....	42
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของจำนวนพลาสติกที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของสารป้อน (อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อ ชั่วโมง).....	43
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกในยอดหอกับอัตราไหลของ สารป้อน (อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง).....	43
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของสารป้อน (อัตราไหลของ น้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง).....	44
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของปริมาณขยะชุมชนที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตร ต่อชั่วโมง).....	45
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของร้อยละขององค์ประกอบของขยะพลาสติกในยอดหอกับอัตรา ไหลของน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศ เท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง).....	45
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของสาร ป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)....	46
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของปริมาณขยะชุมชนที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของ อากาศ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที).....	47

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ร้อยละขององค์ประกอบของขยะพลาสติกในยอดหอกับอัตราไหล ของอากาศ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที).....	47
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของอากาศ (อัตราไหลของ สารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที).....	48
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ของปริมาณขยะชุมชนที่ออกมาทางยอดหอกับขนาดของขยะ พลาสติก (อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อนาที และอัตราไหลของอากาศ เท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง).....	49
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับขนาดของขยะพลาสติก (อัตราไหล ของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อนาที และอัตราไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลิตรต่อ ชั่วโมง).....	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการนั้นเป็นปัญหาใหญ่ที่น่าวิตกของชุมชนต่างๆทั่วประเทศ ระดับความรุนแรงของผลกระทบนั้นนับวันจะเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านทัศนียภาพ กลิ่น พายุฝน โรค สิว และโรคภัย และโลหะหนัก ตลอดจนเป็นแหล่งผลิตก๊าซมีเทนอันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ถ้าคิดเฉพาะในเขตเทศบาลทั่วประเทศมีการผลิตขยะวันละ 44,000 ตัน (16 ล้านตันต่อปี) ส่วนใหญ่ยังใช้วิธีเทกองฝังกลบแบบไม่ถูกสุขลักษณะ ได้มีความพยายามแก้ปัญหาขยะชุมชนแต่ไม่ประสบความสำเร็จเป็นที่พึงพอใจ โดยเฉพาะการนำเข้าเทคโนโลยีการกำจัดขยะจากต่างประเทศยังไม่สามารถปรับระบบให้เข้ากับขยะในประเทศไทยได้

ขยะชุมชนที่ย่อยขนาดแล้วประกอบด้วยอินทรีย์สารที่ได้มาจากเศษอาหารตลอดจนชีวมวลต่างๆและอีกส่วนที่เป็นอนินทรีย์สารที่ประกอบด้วย พลาสติก กระดาษ ยาง ที่มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงได้ทันที กับเศษโลหะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ กระบวนการเบื้องต้นของการแยกขยะซึ่งแยกโดยอาศัยน้ำและลม การทดลองนี้ทำในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิโดเบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร มีระบบป้อนขยะและนำขยะที่แยกออกแล้วอย่างต่อเนื่อง ซึ่งควบคุมด้วยสกรูพีดเดอร์ 2 เครื่อง เป็นเครื่องส่งขยะเข้าและออก โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราการป้อนขยะ ขนาดของขยะ อัตราไหลของน้ำ และอัตราไหลของอากาศ วัดผลที่ได้ของขยะที่แยกได้ที่เป็นพลาสติกและกระดาษที่เบากว่าเพื่อหาภาวะที่เหมาะสม หลังจากนั้นจะนำขยะจริงที่ย่อยขนาดแล้วมาป้อนเข้าเครื่องแยกเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและคำนวณพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการแยกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดเซชัน
2. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบแยกขยะชุมชนย่อยขนาดโดยทดลองกับขยะจริง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ใช้ขยะพลาสติกชนิดต่างๆและใช้ขยะจริงในการทดลอง
2. ทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบสามวัฏภาค
3. หาภาวะที่เหมาะสมตามตัวแปรที่กำหนด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกวัสดุด้วยวิธีฟลูอิดเซชัน
2. เตรียมและตั้งระบบเครื่องปฏิกรณ์ในการทดลอง
3. หาภาวะที่เหมาะสมในการแยกขยะชุมชนย่อยขนาดเพื่อให้ได้พลาสติกและกระดาษ ซึ่งตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย
 - อัตราการป้อนขยะ
 - ขนาดของขยะ
 - อัตราไหลของน้ำ
 - อัตราไหลของอากาศ
4. นำผลจากการแยกมาวิเคราะห์ปริมาณของพลาสติกที่ได้แต่ละการทดลองเปรียบเทียบกับพลาสติกในขยะเริ่มต้น
5. ทดลองและหาภาวะที่เหมาะสมกับขยะจริงย่อยขนาดแล้วของโครงการนำร่องและเปรียบเทียบผล
6. วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการทดลอง
7. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องต้นแบบการแยกขยะชุมชนย่อยขนาดเพื่อให้แยกเป็นพลาสติกจากขยะอินทรีย์
2. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการแยกขยะชุมชนย่อยขนาด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 ฟลูอิดไอเซชัน[1]

2.1.1 นิยาม (สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, 2528)

คำว่า ฟลูอิดไอเซชัน เป็นนิยามที่ใช้อธิบายกระบวนการหรือวิธีการที่ทำให้ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือชิ้น เมื่อสัมผัสกับของไหลแล้วเม็ดของแข็งเหล่านี้จะมีสมบัติคล้ายของไหล ดังนั้น เมื่อนำเม็ดของแข็งกลุ่มหนึ่งมาวางไว้บนตะแกรงในหอตดลองแล้วให้ของไหล(แก๊สของเหลว) ไหลผ่านจากด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็งเหล่านั้น ของไหลก็จะผ่านชั้นของเม็ดของแข็งและไหลออกทางส่วนบนของหอตดลอง เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลขึ้นเรื่อยๆ ในที่สุดจะเห็นเม็ดของแข็งขยับตัวและลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีสมบัติคล้ายของไหล เรียกของแข็งที่ประพฤติตัวในลักษณะนี้ว่า ฟลูอิดไอซ์เบด และเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่าฟลูอิดไอเซชัน

2.1.2 ประเภทของฟลูอิดไอเซชัน

งานของฟลูอิดไอเซชัน ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงปัจจุบันพอที่จะสรุปประเภทของงานได้เป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ ฟลูอิดไอเซชันสองสถานะและฟลูอิดไอเซชันสามสถานะ

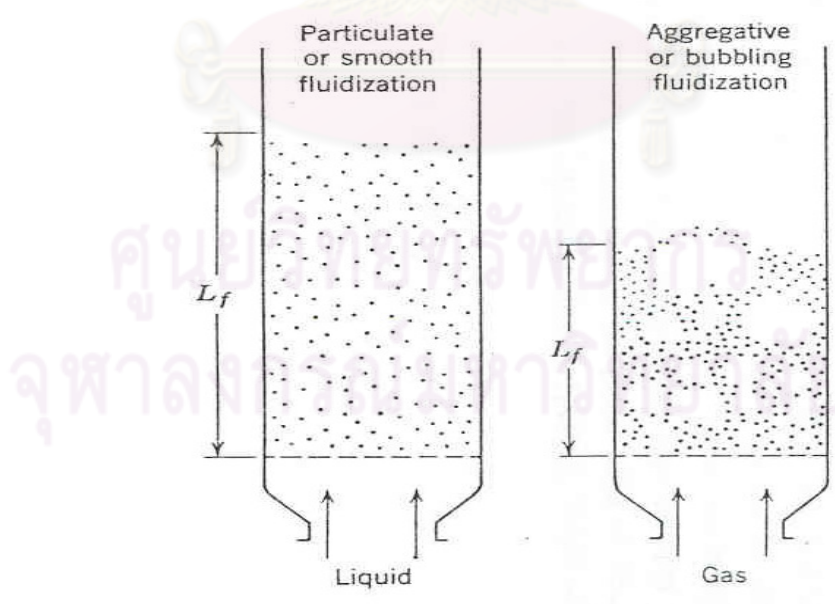
1. ฟลูอิดไอเซชันสองสถานะ (two-phase fluidization) หมายความว่าในหอตดลองหรือในเบดที่ใช้งานประกอบด้วยสองสถานะ คือ ของแข็งกับของไหล โดยที่ของไหลจะเป็นแก๊สหรือของเหลวอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้นฟลูอิดไอซ์เบด 2 สถานะจึงแบ่งย่อยได้เป็น แก๊สฟลูอิดไอเซชัน (gas fluidization) และฟลูอิดไอเซชันของเหลว (liquid fluidization)

2. ฟลูอิดไอเซชันสามสถานะ (three-phase fluidization) หมายความว่าในหอตดลองหรือในเบดจะประกอบด้วยของสามสถานะอยู่พร้อม คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส สำหรับฟลูอิดไอเซชันสามสถานะนั้นเป็นกระบวนการที่พัฒนาไปจากฟลูอิดไอเซชันสองสถานะหอตดลองที่เป็นฟอง (bubble column) และหอตดลองที่บรรจุด้วยของแข็ง (packed bed) ดังนั้นจึงมีกลไกที่ซับซ้อนมากกว่า การคำนวณต้องใช้หลักคณิตศาสตร์ขั้นสูง

2.1.3 ลักษณะของฟลูอิด์เบด

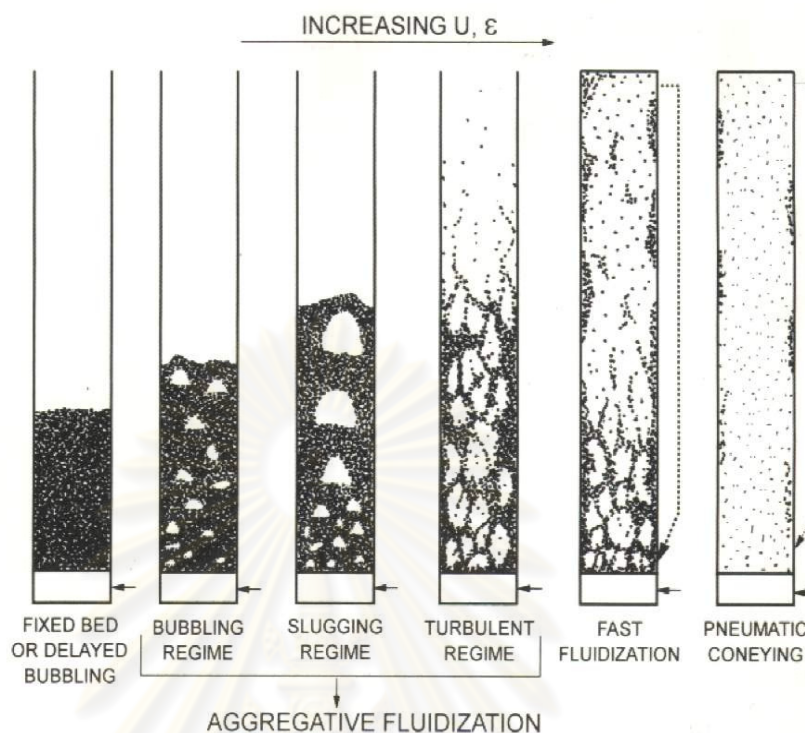
คำว่า เบด (bed) หมายถึง อาณาเขตในหอการทดลองที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ไม่ว่าของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอทดลอง จะมีระดับตั้งแต่แผ่นโลหะที่ทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายแก๊ส (gas distributor) จนถึงระดับสูงสุดหรือผิวหน้าของเม็ดเบด

ฟลูอิด์เบดที่เป็นของเหลวจะมีการขยายตัวของเบดอย่างสม่ำเสมอ การลอยตัวและการหมุนรอบตัวเป็นไปอย่างช้าๆของเบด เรียกเบดแบบนี้ว่าเบดสม่ำเสมอหรือเบดที่เป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับ ฟลูอิด์เบดที่ของไหลเป็นแก๊ส ลักษณะเบดที่เกิดขึ้นจะแตกต่างจากที่เป็นของเหลวมาก เพราะว่าเมื่อความเร็วของแก๊สสูงกว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิด์เบดแล้ว แก๊สส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของเม็ดของแข็งเหมือนเดิม แต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวกันแล้วก่อตัวกันเป็นฟองแก๊สขึ้น ฟองแก๊สก็จะแทรกตัวขึ้นมาบนผิวหน้าของเบดและแตกตัวในที่สุด แต่ขณะที่ฟองแก๊สลอยขึ้นมาจะทำให้เม็ดของแข็งลอยติดตามฟองแก๊สขึ้นมาด้วย เม็ดของแข็งภายในเบดจึงมีการเคลื่อนที่เป็นไปอย่างซุกมุ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเกิดฟลูอิด์เซชันของเบดที่มีของไหลต่างชนิดกันไหลผ่าน

(สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, 2528)



รูปที่ 2.2 รูปแบบการไหลสำหรับฟลูอิด์เบดแก๊ส - ของแข็ง

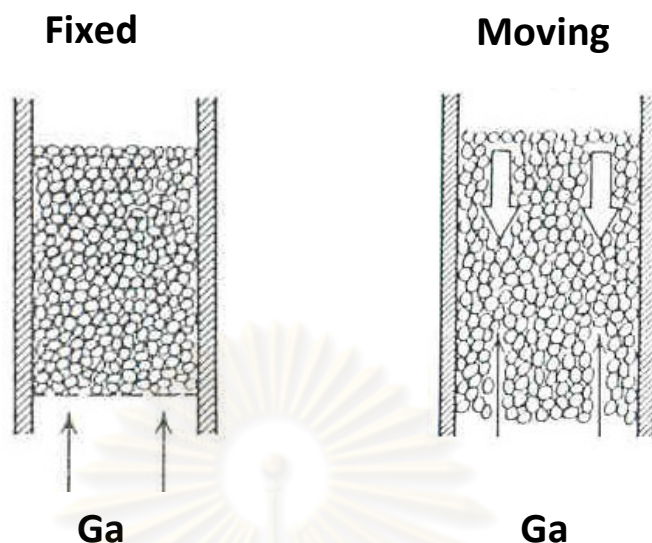
(Grace, et al., 1977)

2.1.4 แก๊สฟลูอิด์ไอเซนซ์

แก๊สฟลูอิด์ไอเซนซ์เป็นการเกิดฟลูอิด์เบดสองสถานะระหว่างของไหลที่เป็นแก๊สกับของแข็ง ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น รูปแบบของฟลูอิด์เบด (regime of fluidization) สามารถแบ่งได้ดังรูปที่ 2.2 เมื่อเบดวางตัวบนตะแกรงหรือตัวกระจายแก๊ส (gas distributor) และมีแก๊สเคลื่อนที่ผ่านขึ้นมา (upward flowing) ซึ่งความเร็วที่เพิ่มขึ้น และอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic) ที่เกิดขึ้นอธิบายได้ดังนี้

- เบดนิ่ง (packed bed หรือ fixed bed)

เมื่อแก๊สไหลผ่านเบดขึ้นมาด้วยความเร็วต่ำ ของแข็งที่วางตัวอยู่บนตัวกระจายแก๊สจะวางตัวนิ่งไม่เคลื่อนไหว แก๊สจะไหลคดเคี้ยวไปตามช่องว่างที่มีอยู่ในเบด เรียกลักษณะเบดแบบนี้ว่าเบดนิ่ง หรือเบดอาจมีการเคลื่อนที่สัมผัสกับผนังแต่อนุภาคของแข็งในเบดไม่มีการเคลื่อนที่สัมผัสต่อกัน กรณีนี้เรียกว่า เบดเคลื่อนที่ (moving bed) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเบตนิ่งที่ไม่มีและมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับผนัง

(Kunii, et al., 1969)

เมื่อแก๊สเคลื่อนที่ผ่านเบตนิ่งจะมีแรงเนื่องจากการไหลของของไหล กระทำต่ออนุภาคของแข็งในทิศทางตรงกันข้าม เรียกว่าแรงลากเนื่องจากการไหล (drag force) ซึ่งจะก่อให้เกิดความดันลด (pressure drop) ตกคร่อมเบต ความดันตกคร่อมเบตตลอดความสูงของเบตนิ่งที่เกิดขึ้น จะเพิ่มตามความเร็วของแก๊สที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการของ Ergun ดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu U (1-\varepsilon)^2}{(\phi d_p)^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75\rho_g U^2 (1-\varepsilon)}{(\phi d_p)^2 \varepsilon^3} \quad (2.1)$$

- เบตแบบฟองแก๊ส (bubbling fluidized bed)

เมื่อความเร็วแก๊สที่เคลื่อนที่ผ่านเบตนิ่งเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วค่าหนึ่ง อนุภาคของแข็งจะเริ่มเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น ความเร็วที่จุดนี้เรียกว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน (minimum fluidization velocity, U_{mf}) และเรียกเบต ณ จุดนี้ว่า minimum fluidized bed ซึ่งเป็นจุดแรกที่อนุภาคของแข็งประพฤติตัวคล้ายของไหล สำหรับค่าความดันตกคร่อมเบต ณ จุดนี้มีค่าเท่ากับน้ำหนักของเบต ดังนั้น แรงเสียดทานเนื่องจากการไหล (drag force; F_D) ที่เกิดขึ้น ณ จุดนี้สามารถแสดงได้ดังนี้

$$F_D = \Delta P \cdot A = AL(1 - \varepsilon)(\rho_s - \rho_g)g \quad (2.2)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้ภาวะต่ำสุดของฟลูอิดไอเซชัน (minimum fluidization condition) ดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g)g \quad (2.3)$$

สำหรับความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$- \text{Re}_p < 20 \quad U_{mf} = \frac{(\phi d_p)^2}{150} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_g)}{\mu} g \left(\frac{\varepsilon_{mf}^3}{1 - \varepsilon_{mf}} \right) = \frac{d_p^2 (\rho_s - \rho_g) g}{1650 \mu} \quad (2.4)$$

$$- \text{Re}_p > 1,000 \quad U_{mf} = \frac{\phi d_p}{1.75} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_g)}{\rho_g} g \varepsilon_{mf}^3 = \frac{d_p (\rho_s - \rho_g) g}{24.5 \rho_g} \quad (2.5)$$

ฟองแก๊สที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่แทรกขึ้นไป และอาจมีการรวมตัวกันผ่าน emulsion phase โดยที่อาจจะมีของแข็งบางส่วนติดไปด้านบนของฟองแก๊ส และบางส่วนวิ่งตามฟองแก๊สขึ้นมาด้วย จนกระทั่งถึงผิวบนก็จะเคลื่อนที่หลุดออกไปแล้วแตกกระจายอยู่เหนือผิว อนุภาคของแข็งที่ติดอยู่เกือบทั้งหมดจะตกกลับลงมายังเบดใหม่ โดยเรียกปรากฏการณ์ที่ของแข็งเคลื่อนที่ตามฟองแก๊สนี้ว่าการเกิด wake การเกิด wake เกิดจากความดันที่อยู่ใต้ล่างฟองแก๊สน้อยกว่าความดันบริเวณ emulsion phase ทำให้ของแข็งเคลื่อนที่จากบริเวณที่ความดันสูงมาอยู่ในบริเวณที่มีความดันต่ำ

ส่วนบริเวณที่อยู่เหนือเบดขึ้นไป ซึ่งฟองแก๊สจะเกิดการแตกตัวและของแข็งที่ติดไปกับฟองแก๊สจะตกลงมายังเบดอีกครั้งด้วยผลของแรงโน้มถ่วง เรียกว่าบริเวณอิสระ (freeboard) อย่างไรก็ตามอาจจะมีอนุภาคของแข็งบางส่วน (น้อยมาก) ซึ่งมีขนาดเล็กถูกพัดพาเคลื่อนที่ไปกับแก๊สด้วย (ไม่ตกกลับลงมา) ณ ความสูงค่าหนึ่งใน freeboard ซึ่งอนุภาคของแข็งเกือบทั้งหมดตกกลับลงมายังเบดจะเรียกความสูงนี้ว่า ความสูงหลุดลอยส่งผ่าน หรือ transport disengaged height

(TDH) เหนือความสูงนี้ไปจะมีของแข็งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งอาจหลุดไปกับแก๊สด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งในช่วงนี้จะเรียกว่า elutriation rate

- เบริดแบบสลัก (slugging bed)

ดังกล่าวมาแล้วว่าขนาดของฟองแก๊สจะมีขนาดเพิ่มตามความเร็วของแก๊ส และความสูงของเบด ถ้าเบดบรรจุอยู่ในหอทดลองซึ่งมีขนาดเล็กหรือแคบและยาว ฟองแก๊สที่เกิดขึ้นอาจจะมีขนาดใหญ่เกือบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของเบด (หอทดลอง) ในกรณีนี้จะสังเกตเห็นฟองแก๊สเคลื่อนที่ผ่านเบดและแยกอนุภาคของแข็งออกเป็นชั้นๆ เรียกว่าเกิดสลัก และที่ความเร็วของแก๊สที่ทำให้ฟองแก๊สเริ่มมีขนาดใหญ่เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเบดหรือหอทดลองก็คือ Minimum slugging velocity (U_{ms}) มีค่าประมาณไว้คือ

$$U_{ms} = U_{mf} + 0.07\sqrt{gD} \quad (2.6)$$

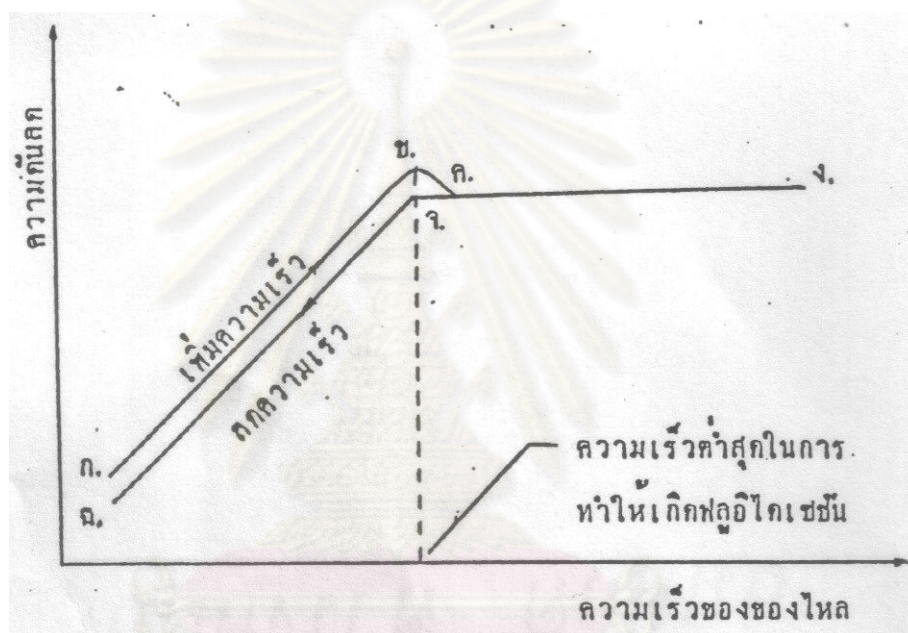
- เบริดแบบปั่นป่วน (turbulent bed)

เมื่อความเร็วของแก๊สที่เคลื่อนที่ผ่านเบดแบบฟองแก๊สเพิ่มขึ้น จนมากกว่า U_{mf} เบดจะเกิดการขยายตัว และเมื่อเพิ่มความเร็วขึ้นเรื่อยๆ จะเริ่มสังเกตเห็นรูปแบบการสัมผัสของอนุภาคของแข็งกับแก๊ส ซึ่งมีการขยายตัวเปลี่ยนแปลงไป ฟองแก๊สที่เกิดขึ้นมีการรวมตัวและแตกกระจายออกจากกันอย่างรวดเร็ว (จนดูเหมือนไม่มีฟองแก๊ส) การเคลื่อนไหวภายในเบดเป็นแบบปั่นป่วน ลักษณะภายในเบดจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

- Dense phase ซึ่งเป็นส่วนที่มีอนุภาคของแข็งอยู่หนาแน่น
- Dilute phase ซึ่งเป็นส่วนที่มีอนุภาคของแข็งอยู่เบาบาง

สำหรับช่วงในการเปลี่ยนแปลงภาวะจากเบดแบบฟองแก๊สไปเป็นเบดแบบปั่นป่วนนั้นไม่ได้เกิดขึ้นแบบทันทีทันใดที่ความเร็วค่าหนึ่ง แต่จะมีช่วงของความเร็วในการเปลี่ยนภาวะทั้งสองนี้ โดยการเปลี่ยนภาวะจากเบดแบบฟองแก๊สไปเป็นเบดแบบปั่นป่วนนั้นจะมีช่วงของการเปลี่ยน โดยเมื่อค่อยๆ เพิ่มความเร็วขึ้นจนถึงค่าๆ หนึ่ง เบดซึ่งเดิมอยู่ในภาวะเบดแบบฟองแก๊สนั้น ที่บริเวณผิวหน้าของเบดจะเริ่มเปลี่ยนไปเป็นเบดแบบปั่นป่วน ซึ่งเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของความดันตกคร่อมเบดที่เกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยนภาวะได้ดังนี้ รูปที่ 2.4

จากการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันโดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลที่ละน้อย ความดันลด (pressure drop) จะค่อยๆเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของความเร็วของของไหล จนกระทั่งถึงจุดจุดหนึ่ง ความดันลดจะมีค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับความเร็วของของไหล ดังนั้นในช่วงที่ความดันลดเริ่มคงที่ก็คือช่วงที่เปลี่ยนจากเขตที่อยู่กับที่เป็นฟลูอิดไอซ์เบด ถ้าวาดกราฟระหว่างความดันลดและความเร็วของของไหล ก็จะสามารถหาความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชันได้ (พล สาเกตทอง, 2526)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับ ความเร็วของของไหล

(พล สาเกตทอง, 2526)

ในขณะที่ค่อยๆเพิ่มความเร็วของของไหลนั้นของไหลจะค่อยๆแทรกตัวผ่านไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาค ความดันลดที่เกิดขึ้นก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามความเร็วของของไหล จากรูปที่ 2.4 จะสังเกตเห็นได้ว่าเส้นกราฟ กขค. ที่แสดงการเพิ่มความเร็วของของไหลจะมีส่วนที่โค้งและลากลงมาตามแนวเส้น ขค. บริเวณดังกล่าวนี้จะต้องใช้แรงดันมากเป็นพิเศษ เพื่อที่จะกระจายหรือแยกอนุภาคให้ออกจากกันและจัดเรียงตัวกันให้เป็นระเบียบ เมื่ออนุภาคจัดเรียงตัวกันเรียบร้อยแล้ว ความดันลดจึงค่อยๆ ลดลง และจะคงที่ตลอดไปไม่ขึ้นกับความเร็วของของไหล ความดันลดที่เกิดขึ้นจะเดินตามเส้น คง. หลังจากนั้นถ้าค่อยๆ ลดความเร็วของไหล ความดันลดก็จะเดินตามเส้น

งคจ. ซึ่งมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความเร็วของของไหล และถ้ายังคงลดความเร็วของของไหลลงอีก ความดันลดที่เกิดขึ้นจะเดินตามเส้น จจ. ซึ่งขนานกับเส้นกราฟขณะเพิ่มความเร็ว กข. แต่ความดันลดมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะเบดเปลี่ยนจากฟลูอิดไคซ์เบด (เส้น งคจ.) มาเป็นเบดที่อยู่กับที่นั่น (จจ.) อนุภาคได้จัดเรียงตัวเป็นระเบียบอยู่ก่อนแล้ว จึงไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการจัดช่องว่างให้เป็นระเบียบอีก และเมื่อได้มีการทดลองซ้ำในเบดเดิม เส้นกราฟที่แสดงการเพิ่มความเร็วใหม่นี้จะเดินตามเส้นลดความเร็วในการทดลองครั้งแรก จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่จุด จ. ความดันลดจะเริ่มคงที่ไม่ว่าจะเพิ่มความเร็วของของไหลเป็นเท่าไรก็ตาม ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากเบดที่อยู่กับที่ ความเร็วของของไหลที่จุด จ. จึงเป็นความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไคซ์ชัน

ความเร็วสุดท้าย (terminal velocity) คือ ความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งในของไหล ซึ่งความเร็วนี้จะมีค่าเท่ากับความเร็วของไหลที่ทำให้เม็ดของแข็งเคลื่อนตัวหลุดออกจากหอคทดลองไป โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี ตามลักษณะของอนุภาคของแข็ง (Kunii, 1969)

กรณีอนุภาคของแข็งมีรูปร่างเป็นทรงกลม

$$U_t^* = \left[\frac{18}{(d_p^*)^2} + \frac{0.591}{(d_p^*)^{1/2}} \right]^{-1} \quad (2.7)$$

หรือ

$$U_{t,spherical} = \frac{g(\rho_s - \rho_g)d_p^2}{18\mu} \quad \text{เมื่อ } Re_p < 0.4 \quad (2.8)$$

$$U_{t,spherical} = \left[\frac{4}{225} \frac{(\rho_s - \rho_g)^2 g^2}{\rho_g \mu} \right]^{1/3} d_p \quad \text{เมื่อ } 0.4 < Re_p < 500 \quad (2.9)$$

$$U_{t,spherical} = \left[\frac{3.1g(\rho_s - \rho_g)d_p}{\rho_g} \right]^{1/2} \quad \text{เมื่อ } 500 < Re_p < 200,000 \quad (2.10)$$

กรณีที่อนุภาคของแข็งไม่เป็นทรงกลม

$$U_t^* = \left[\frac{18}{(d_p^*)^2} + \frac{2.335 - 1.744\phi}{(d_p^*)^{1/2}} \right]^{-1} \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.7 และ 2.11 จะอยู่ในตัวแปร U_t^* และ d_p^* ซึ่งเป็นเทอมของตัวแปรไร้หน่วย โดยที่

$$d_p^* = d_p \left[\frac{\rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \right]^{1/3} \quad (2.12)$$

และ

$$U_t^* = U_t \left[\frac{\rho_g^2}{\mu (\rho_s - \rho_g) g} \right]^{1/3} \quad (2.13)$$

ดังนั้นจาก U_t^* ที่ได้จากสมการที่ 2.7 และ 2.11 นำมาหา U_t โดยอาศัยสมการที่ 2.14 ได้

$$U_t = U_t^* \left[\frac{\mu (\rho_s - \rho_g) g}{\rho_g^2} \right]^{1/3} \quad (2.14)$$

- fast fluidized bed

เมื่อความเร็วของอากาศมากขึ้นจนไม่สามารถระบุพื้นผิวด้านบนของเบดได้ จนกระทั่งอนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ออกทางด้านบนหอตกลงและต้องเติมอนุภาคของแข็งเข้ามาแทนที่โดยการใส่เข้ามาใกล้ๆ ส่วนล่างหอตกลง อนุภาคของแข็งจะรวมกลุ่มและเคลื่อนที่ลงบริเวณใกล้ๆผนังของหอตกลง ขณะที่แก๊สและอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวอยู่ด้านบนจะเคลื่อนที่ขึ้น ในขณะที่อัตราการป้อนของแข็งคงที่ที่ความเร็วแก๊สเพิ่มขึ้นจะทำให้อนุภาคของแข็งในหอตกลงเจือจางมากขึ้น ที่ภาวะนี้อัตราส่วนของปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรของเบดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 0.98

จากรูปที่ 2.4 ในภาวะที่เป็น fast fluidization ถ้านำเอาของแข็งที่หลุดออกจากเบดหรือหอตลอดกลับเข้ามาในระบบใหม่ตรงบริเวณส่วนล่างของหอตลอด ระบบแบบนี้จะเรียกว่าฟลูอิดเซชันแบบหมุนเวียน (circulating fluidized bed, CFB)

หมายเหตุ ฟลูอิดเซชันที่ผ่านมาทั้งหมด ยกเว้น fast fluidized bed อาจจะเรียกรวมกันว่า captive fluidized bed เพราะว่า อนุภาคของแข็งทั้งหมดซึ่งสัมผัสกับแก๊สจะถูกจำกัดบริเวณอยู่ภายในระยะความสูงหนึ่งจากตัวกระจายแก๊สเท่านั้น หรือในบางกรณีที่มีการพัดพาเกิดขึ้นก็มีอนุภาคของแข็งเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ถูกพัดพาไป

- dilute-phase transport หรือ pneumatic conveying

เป็นการขนถ่ายอนุภาคของแข็งด้วยแก๊ส ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งในแนวแกนยกเว้นในส่วนล่างที่อนุภาคของแข็งมีความเร่ง และอนุภาคของแข็งบางส่วนอาจหยุดนิ่งอยู่ใกล้ๆ ผนังของหอตลอด ความเร็วแก๊สที่ทำให้เบดในท่อเปลี่ยนจากเบดเฉื่อยจางเป็นเบดหนาแน่นเรียกว่า ความเร็วในการเกิดโซคกิ้ง (choking velocity, U_{ch}) ค่าความเร็วนี้สามารถหาได้จากการทำการทดลอง โดยการปรับลดความเร็วแก๊สในระบบที่เป็นเฟสเฉื่อยจางและมีปริมาณอนุภาคของแข็งในระบบคงที่ลงจนกระทั่งเบดเกิดการยุบตัวลงอย่างรวดเร็วเปลี่ยนจากเฟสเฉื่อยจางเป็นเฟสหนาแน่น ซึ่งความเร็วแก๊สที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว คือความเร็วในการเกิดโซคกิ้งนั่นเอง ปริมาณของแข็งที่ไหลออกจากเบดภาวะนี้ คือ

$$G_{s,ch} = \rho_s (1 - \varepsilon_{ch}) (U_{ch} - U_t) \quad (2.15)$$

โดยค่าอัตราส่วนของปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรของเบดในภาวะ choking พบว่าค่านี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.943 ถึง 0.987

2.1.5 ฟลูอิดเซชันสามวัฏภาค

ฟลูอิดเซชันสามวัฏภาคเป็นระบบที่เพิ่มของแข็งเข้าไปใน Bubble Column ของของแข็งที่เพิ่มเข้าไปนี้ใช้ได้ทั้งแบบ inert และ active แล้วแต่ที่จะทำ เช่น ในหอตลอดที่มีการดูดกลืนก๊าซในของเหลว ของแข็งที่ใส่จะเป็นพวก inert ของแข็งทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่สัมผัสเท่านั้น แต่ถ้าในหอตลอดมีปฏิกิริยาของแข็งที่ใส่ก็เป็นพวก active หรือในทางชีวภาพของแข็งอาจจะเป็นพวก

microorganism เปลี่ยนสารประกอบอย่างหนึ่งให้เป็นสารประกอบอีกอย่างหนึ่ง อาจมีอากาศหรือออกซิเจนเป็นอาหารของ microorganism นั้นๆก็ได้

2.1.5.1 เบดที่ไม่มีการไหลของของเหลว

ในเบดที่มีของเหลวและของแข็งปนกันอยู่แล้ว เมื่อให้ฟองก๊าซผ่านเข้ามาก็ย่อมจะต้องกระทบกับเม็ดของแข็งที่อยู่ในเบด ฟองก๊าซอาจจะเกิดการแตกตัวในรูปแบบที่แตกต่างจากปกติตามแต่คุณสมบัติของของแข็ง โดยตามปกติแล้วฟองก๊าซจะมีรูปร่างรี การที่มีเม็ดของแข็งทรงกลมปรากฏอยู่ในเบดยังทำให้คุณสมบัติทางอุทกพลศาสตร์เปลี่ยนแปลงไปจากระบบของ Bubble Column ทั้งนี้เพราะการหมุนเวียนของของแข็งแตกต่างกับของของเหลวในเบดมาก นอกจากนี้แล้วของแข็งที่อยู่ในเบดนี้จะช่วยให้การกระจายของฟองก๊าซไปอยู่ตามที่ต่างๆของเบดได้อย่างทั่วถึง ผิดกับในหอทดลองแบบ Bubble Column จะมีฟองก๊าซส่วนใหญ่สะสมอยู่ตรงกลางของหอทดลอง

2.1.5.2 เบดที่มีการไหลของของเหลว

เป็นที่น่าสังเกตว่าในเบดของฟลูอิดไอเซชันสามวัฏภาคที่มีการไหลของของเหลวและก๊าซในทางเดียวกัน เมื่อปล่อยก๊าซเข้าไปในเบดที่ถูกฟลูอิดไอซ์ด้วยน้ำก่อนแล้วความสูงของเบดจะลดลง ทั้งนี้เพราะว่าจะมีจำนวนของแข็งส่วนหนึ่งวิ่งตามฟองก๊าซขึ้นไปทางส่วนหางของฟองก๊าซและจะติดตามจนฟองก๊าซผ่านเบดไปแล้วระยะหนึ่ง ของแข็งจำนวนนี้จึงตกกลับลงมาอยู่ในเบดเหมือนเดิม นอกจากนี้มีของแข็งติดตามไปแล้วก็ยังมีของเหลวอีกส่วนตามฟองก๊าซไปด้วย ความเร็วเท่าๆกับฟองก๊าซด้วย ฉะนั้นของเหลวส่วนที่เหลืออยู่ในเบดจะมีความเร็วลดลงจึงเป็นเหตุให้ความสูงของเบดลดลง ฟองก๊าซยังเกิดการรวมตัวกันได้ง่ายและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย ในเบดที่ใช้เม็ดของแข็งขนาดเล็ก แต่ถ้าในเบดใช้เม็ดของแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นการหดตัวของเบดก็น้อยลงและยังทำให้ฟองก๊าซแตกตัวออกเป็นฟองเล็กๆได้อีกด้วย

2.1.5.3 การศึกษาฟลูอิดไดเซชันสามวัฏภาค

การศึกษาฟลูอิดไดเซชันสามวัฏภาคสามารถแบ่งได้เป็นสามประเภท ตามคุณสมบัติที่ใช้และที่เกิดขึ้นภายในหอทดลอง

1. Static bed (เบดที่ไม่มีการไหลของของเหลวอย่างต่อเนื่อง)

ในเบดมีของแข็งและของเหลวรวมกันในครั้งแรก เมื่อปล่อยให้ก๊าซที่ก่อกัว เป็นฟองก๊าซลอยขึ้นจากส่วนล่างและแตกกระจายตรงส่วนของเบด ขณะที่ฟองก๊าซลอยขึ้นมา จะทำให้ของเหลวและของแข็งหมุนเวียนอยู่ในเบด มีลักษณะเป็นฟลูอิดไดเซชันเกิดขึ้น

2. เบดที่มีการไหลของของเหลวต่อเนื่อง แบบไหลไปทางเดียวกับก๊าซ

เม็ดของแข็งถูกทำให้ลอยตัวด้วยกระแสของเหลวที่ไหลผ่านขึ้นมา จากนั้นก๊าซที่ก่อกัวเป็นฟองแล้ว ลอยผ่านเบดขึ้นไปออกทางส่วนบน โดยทั่วไปเม็ดของแข็งที่ใช้จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าของเหลวมากๆ

3. Turbulent bed แบบการไหลของของเหลวและก๊าซสวนทางกัน

การทดลองแบบนี้มักใช้เม็ดของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าของเหลวมากๆ เพื่อให้อากาศที่เป่าขึ้นมาทำให้เม็ดของแข็งเหล่านี้เกิดเป็นลักษณะฟลูอิดไดเซชันก่อน แล้วซึ่งพ่นของเหลวฝอยๆ ลงมาจากส่วนบน ของเหลวจะติดอยู่บนเม็ดของแข็งเป็นฟิล์มบางๆ

2.2 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน

ในขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งได้ว่า เม็ดของแข็งอยู่ในสภาวะสมดุลของแรงสองแรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็ง คือแรงที่เกิดจากน้ำหนักของตัวเม็ดของแข็งเองกับแรงพยุงจากของไหลหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหล

$$\text{แรงพยุง (แรงเสียดทาน + แรงต้าน)} = \text{น้ำหนักของเม็ดของแข็ง}$$

หรือ

$$(\text{ความดันตกในพื้นที่ภาคตัดขวางของเบด})(\text{พื้นที่ภาคขวางของหอทดลอง}) =$$

$$(\text{ปริมาตรของเบด})(\text{ส่วนของของแข็งในเบด})(\text{ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง})$$

ซึ่งเขียนใหม่ได้

$$\Delta p \cdot A = W = (AL_{mf})(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g) \frac{g_c}{g} \quad (2.16)$$

จัดระเบียบใหม่เพื่อให้ได้สถานะต่ำสุดของฟลูอิดเซชัน

$$\frac{\Delta p}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g) \frac{g_c}{g} \quad (2.17)$$

ปริมาณช่องว่างในเบดต่ำสุดสำหรับขณะที่เริ่มเกิดนั้นจะมีค่ามากกว่าปริมาณช่องว่างที่อยู่ในเบดนี้เล็กน้อย ในขณะที่เบดยังอยู่ในลักษณะของค่าต่ำสุดของฟลูอิดเซชันนั้น สมการของความดันตกยังสามารถเอามาประยุกต์ได้เมื่อแทนค่าความดันตกในสมการของ ERGUN จะได้

$$\frac{1.75}{\phi_s \varepsilon_{mf}^3} \frac{(D_p U_{mf} \rho_g)^2}{\mu} + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\phi_s^2 \varepsilon_{mf}} \frac{(D_p U_{mf} \rho_g)}{\mu} = \frac{D_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g_c}{\mu^2} \quad (2.18)$$

ในเบดที่ใช้เม็ดของแข็งขนาดเล็กจะทำให้สามารถใช้ความเร็วของของไหลเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดฟลูอิดเซชันได้แล้ว เพราะฉะนั้นความเร็วต่ำสุดที่จะทำให้เกิดฟลูอิดเซชันนั้นสามารถคำนวณได้จาก

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s D_p)^2}{150} \frac{\rho_s - \rho_g}{\mu} g_c \frac{\varepsilon_{mf}^3}{1 - \varepsilon_{mf}} \quad \text{เมื่อ } Re < 20 \quad (2.19)$$

และสำหรับของไหลที่มีค่า Re น้อยกว่า 5.0 (มีค่าเท่ากับ $0.0007 Re^{-0.063}$) เมื่อแทนค่า g ในสมการก็จะได้

$$U_{mf} = \frac{688 D_p^{1.82} (\rho_s - \rho_g)^{0.94}}{\mu^{0.88}} \quad (2.20)$$

U_{mf} เป็นความเร็วต่ำสุดในสมการ 2.20 มีหน่วยเป็นฟุตต่อชั่วโมง, D_p ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมีหน่วยเป็นนิ้ว, ความหนาแน่นมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต และความหนืดมีหน่วยเป็นเซนติพอยส์

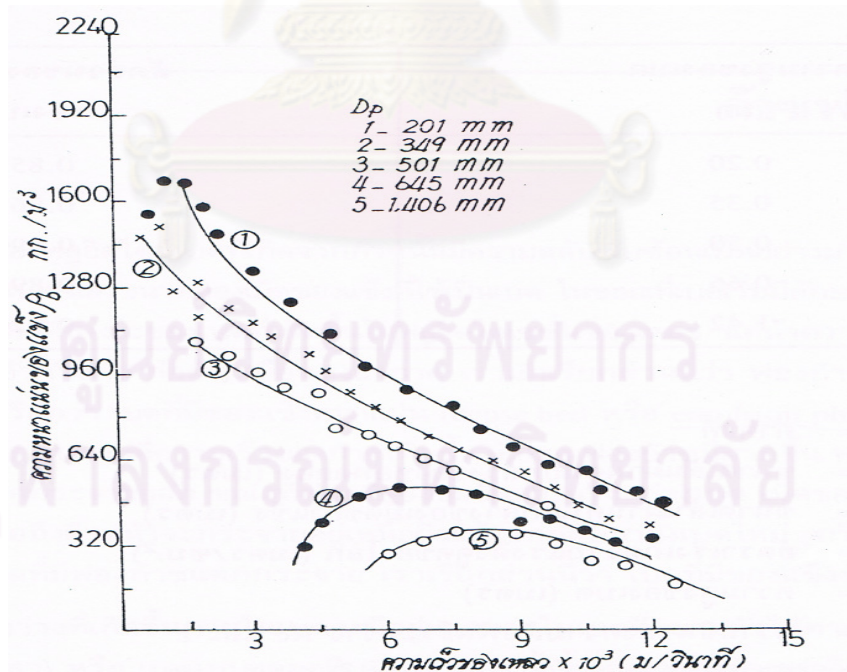
2.3 การจัดเรียงตัวของเม็ดของแข็ง (Stratification)

ขณะที่เบตขยายตัวขึ้นไปตามความเร็วของของเหลว หรือถ้าซก็ตามยิ่งขยายตัวมาก ก็จะมีการจัดเรียงตัวของเม็ดของแข็ง เม็ดโตจะอยู่ข้างล่างสุดแล้วก็จะเรียงลำดับความโตจนถึงชั้นผิวหน้าขนาดของเม็ดจะเล็กสุด การเรียงลำดับชั้นอย่างนี้เราเรียกว่าที่แบ่งชั้น หรือ Stratification

ANDRIEU ได้ศึกษาเรื่องนี้โดยใช้เม็ดของแข็งขนาด 35 ถึง 48 mesh จำนวน 10 กิโลกรัม ใส่ในเบต ครั้งแรกเบตสูง 25.5 ซม. เมื่อผ่านน้ำเข้าไปในเบตจะสูงถึง 129 ซม. เขาได้วัดความดันตกที่ความสูงต่างๆของเบต ตั้งแต่ 20 ซม. ถึง 140 ซม. จากค่าความดันตกเขานำไปหาความหนาแน่นของแข็งในส่วนต่างๆของเบตดังนี้

$$\rho_i = \frac{\Delta P_i - \Delta P_{i-1}}{(L)_i - (L)_{i-1}} \quad (2.21)$$

ผลการทดลองของ ANDRIEU ได้นำมาแสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นแตกต่างตลอดทั้งความสูงของเบต

(สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, 2528)

ความหนาแน่นของเบตของแข็งลดลงเมื่อความเร็วของเหลวเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของเม็ดของแข็งนั่นเอง

ในการทดลองของ ANDRIEU ใช้เม็ดของแข็งขนาด 35 ถึง 48 mesh หรือประมาณ 0.028 ซม. ถึง 0.019 ซม. เม็ดของแข็งเป็นแบบทรงกลมซึ่งมีขนาด, ปริมาตร และความเร็วตกอิสระ U_t แสดงไว้ในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลคุณสมบัติของเม็ดของแข็ง (ขนาด, ปริมาตร และความเร็วตกอิสระ)

D_p (ซม.)	ปริมาตร ซม. ³	U_t ม./วินาที
0.028	1.23×10^{-5}	0.035
0.019	5.39×10^{-6}	0.023

ความหนาแน่นของเบต ρ_b ที่ ANDRIEU วัดจากแนวแกนของหลอดตองที่ระดับความสูงต่างๆกัน ผลการทดลองที่เขาวัดได้นำมาแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบตกับสัดส่วนช่องว่างของเบต

ความสูงของเบต (ม.)	สัดส่วนของช่องว่างของเบต
0.2	0.853
0.35	0.865
0.50	0.890
0.66	0.896
1.42	0.920

2.4 องค์ประกอบขยะ

องค์ประกอบของขยะจะเปลี่ยนไปตามสภาพของภูมิอากาศ ฤดูกาล และพฤติกรรมทางเศรษฐกิจสังคม วิธีชีวิตตลอดจนอุปนิสัยและแบบแผนในการบริโภคของแต่ละชุมชน/เมือง โดยทั่วไปมีองค์ประกอบแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามขยะมูลฝอยที่มีแหล่งกำเนิดมาจากชุมชนมีองค์ประกอบหลักอยู่ด้วยกัน 5 ประเภท คือ ขยะอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น เศษอาหาร เศษใบไม้ เศษหญ้า ขยะรีไซเคิล เช่น แก้ว กระดาษ โลหะ พลาสติก อะลูมิเนียม และยาง ขยะอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ได้แก่ กระดาษ พลาสติกที่สกปรก ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ขยะอันตรายหรือของเสียอันตรายจากชุมชน เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดไฟฟ้า ขยะทั่วไป เช่น เศษผ้า เศษไม้ เศษวัสดุก่อสร้าง เกิดจากการเผาไหม้และอื่นๆ โดยองค์ประกอบของขยะที่ใช้ในการออกแบบระบบโครงการนำร่องนี้จะใช้สัดส่วนตามตารางที่ 2.3



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 สัดส่วนขององค์ประกอบขยะเก่า (ฝังกลบน้อยกว่า 2 ปี)

ประเภทของขยะ	ร้อยละ
ผัก ผลไม้ เศษอาหาร	45.34
กระดาษ	19.68
พลาสติก	13.63
ผ้า	10.10
โฟม	3.76
ยางและหนัง	2.89
ไม้	1.46
หิน เปลือกหอย	1.58
เปลือกไข่	0.87
โลหะ	0.29
อื่นๆ	0.42

สำหรับขยะที่ฝังกลบตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป พบว่าองค์ประกอบที่เป็นอินทรีย์สารจะลดลง 10 ถึง 25 % และมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลายได้ก๊าซมีเทน ไก๊กรดอินทรีย์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซแอมโมเนีย เมื่อนำขยะเก่าที่มีอายุขนาดนี้มาหมักจะได้ไบโอแก๊สลดลง 30 ถึง 50% เมื่อเทียบกับขยะที่ฝังกลบน้อยกว่า 2 ปี ส่วนองค์ประกอบที่นำไปทำเชื้อเพลิงแข็ง (RDF) ไม่ว่าจะเป็นขยะใหม่หรือขยะเก่าจะไม่แตกต่างกันมาก จะขึ้นกับสภาวะการได้ขยะมาในแต่ละช่วงเวลา โดยเฉลี่ยแล้วเชื้อเพลิงแข็งที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ 4,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

2.5 การหาประสิทธิภาพการแยก (Tomoo Sekito, 2005)

การหาประสิทธิภาพในการแยกที่สภาวะต่างๆโดยใช้สมการ 2.22

$$e = \frac{R_c}{F_c} - \frac{R_i}{F_i} \quad (2.22)$$

โดยที่

R_c = มวลขององค์ประกอบที่สนใจในส่วนที่เก็บได้ (กรัม)

R_i = มวลขององค์ประกอบที่ไม่สนใจในส่วนที่เก็บได้ (กรัม)

F_c = มวลขององค์ประกอบที่สนใจในสารป้อนเริ่มแรก (กรัม)

F_i = มวลขององค์ประกอบที่ไม่สนใจในสารป้อนเริ่มแรก (กรัม)

2.6 แรงลอยตัว

วัตถุบางชนิดจะจมในของเหลวและวัตถุบางชนิดจะลอยในของเหลว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุและของเหลว ถ้าวัตถุมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลว วัตถุนั้นจะจมและถ้าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลววัตถุนั้นจะลอย กรณีที่วัตถุจมในของเหลว ถ้านำวัตถุซึ่งน้ำหนักในของเหลวจะพบว่าน้ำหนักที่ชั่งได้นั้นน้อยกว่าวัตถุที่ชั่งในอากาศ เพราะว่าของเหลวมีแรงต้านทานวัตถุในทิศตรงข้ามกับน้ำหนักวัตถุ ซึ่งแรงนี้เรียกว่า แรงพยุง (Buoyant Force) หรือแรง BF

หลักของอาร์คิมิดีส กล่าวว่า แรงพยุงที่เกิดขึ้นกับวัตถุที่จมในของเหลวหรือลอยในของเหลวย่อมมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่จมดิ่งนั้นสามารถคำนวณแรงพยุงได้ดังสมการ 2.17

$$F_{BF} = \rho v g \quad (2.23)$$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Carvalho และคณะ (2010) ศึกษาการแยกขยะพลาสติก 3 ชนิด คือ PET, PVC และ PS ต้องการนำขยะพลาสติก PS ออกจากพลาสติกอีกสองชนิด โดยการวิจัยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนในขั้นแรกเป็นการทดสอบความสามารถในการแยกโดยใช้ขยะสังเคราะห์และมีตัวแปรคือความเร็วของน้ำ, ขนาดพลาสติก และชนิดของพลาสติก พบว่ามีความเร็วของน้ำเท่านั้นที่มีผลต่อการแยกขยะพลาสติก ต่อมานำผลที่ได้มาใช้กับขยะจริงเรียกขั้นนี้ว่าการทดสอบการแยก ซึ่งพบว่าผลที่ได้นั้นเป็นไปตามขั้นตอนแรกที่ทดลองกับขยะสังเคราะห์คือ เมื่อเพิ่มความเร็วน้ำมากขึ้นจะทำให้พลาสติกทั้งสามชนิดมีอัตราลอยขึ้นไปทางยอดดอมากขึ้น และที่ความเร็วมากกว่า 79 ซม./นาที จะทำให้สามารถแยก PS ได้มากกว่าร้อยละ 50

Yoshida และคณะ (2010) ศึกษาเพื่อที่จะลดปริมาณ CI ในขยะพลาสติก กระบวนการแยกของพลาสติกที่มี CI และพลาสติกที่ไร้ CI จะใช้เครื่องแยกก๊าซ-ของแข็ง ฟลูอิดไดซ์เบดแบบกึ่งต่อเนื่อง rotating-type กับทรายซิลิกา เครื่องแยกมีสองคุณลักษณะ: (1) พลาสติกถูกป้อนเข้าที่ความสูงตรงกลางของเบดทราย และ (2) เมื่อพลาสติกจะนำกลับคืนด้วยทรายจากภาชนะหลังจาก float-sink ความสูงในการนำกลับของเบดทรายสามารถ เปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับพลาสติกว่าเป็นแบบลอยหรือแบบจม ในการศึกษาที่ใช้ขยะพลาสติกที่มีปริมาณ CI = 5.4% โดยน้ำหนัก เครื่องแยกถูกตรวจสอบโดยการเปลี่ยนสภาวะการทดลอง ผลการลอยและจมของพลาสติกมีผลกระทบจากความเร็วของอากาศสำหรับกระบวนการฟลูอิดไดซ์เซชัน, เวลาของการลอยและจม และปริมาณการป้อนของพลาสติก ทำให้ในการทดลองได้ให้ความสนใจความหนาแน่นในฟลูอิดไดซ์เบด, ความปั่นป่วนในกระบวนการฟลูอิดไดซ์เซชัน, การแยกขนาดของอนุภาคฟลูอิดไดซ์, รูปร่างของพลาสติก และความสัมพันธ์ในพลาสติกระหว่างการลอยและจม เมื่อความสูงในการนำกลับทำได้ในสภาวะที่ปรับเปลี่ยนให้ปริมาณ CI ในตัวลอยลดลงเหลือ 0.4-0.85% โดยน้ำหนัก ฉะนั้นการนำกลับของพลาสติกที่ปราศจาก CI ทำได้ถึง 40-60%

Kinoshita และคณะ (2006) ศึกษาการแยกพลาสติกผสม (PVC, PET และ PBT) โดยอาศัยน้ำ การศึกษาเพื่อดูผลของ ปริมาณของตัวอย่างและความแตกต่างของความหนาแน่นที่มีต่อ

การแยก ซึ่งได้ผลว่าความแตกต่างของความหนาแน่นจะแยกได้ไม่ดีเมื่อมีค่าต่ำกว่า 0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณของเม็ดพลาสติกไม่มีผลต่อการแยก

Sekito และคณะ (2006) ศึกษาเครื่องแยกก๊าซ-ของแข็งฟลูอิดไดซ์เบด ที่ใช้เม็ดวัสดุต่างๆ ในการแยกขยะเทศบาล (SBW) ใช้ลูกบิดขนาด 290 ไมโครเมตรเป็นเม็ดวัสดุ มีความหนาแน่นของฟลูอิดไดซ์เบด 1.5 g/cm^3 และ SBW สามารถแยกเป็นที่เผาไหม้ได้เช่น ไม้ กระดาษ และพลาสติก และที่เผาไหม้ไม่ได้ เช่น โลหะ และ กระจก ประสิทธิภาพโดยรวม (Newton's efficiency) ของกระบวนการแยกคำนวณได้เท่ากับ 0.93 การทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงต้องปรับความเร็วที่เทียบกับพื้นผิวเพื่อให้ฟลูอิดไดซ์เบดมีความปั่นป่วน และในขณะเดียวกันจะต้องไม่มีพื้นที่ที่เบาบาง ในฟลูอิดไดซ์ ในการทดลองใช้การผสมระหว่างอนุภาคของไนลอนและลูกบิดขนาด 68 ไมโครเมตร ความหนาแน่นของฟลูอิดไดซ์เบดผสมจะอยู่ระหว่าง 0.63 และ 0.99 g/cm^3 โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมของทั้งสองวัสดุ ในกรณีที่อัตราผสม 20% สำหรับลูกบิด, ความหนาแน่นจะเท่ากับ 0.65 g/cm^3 ซึ่งในส่วนประกอบพวกไม้และกระดาษจะถูกนำกลับ ในขณะที่พลาสติกอยู่ในเบดเพื่อให้มีประสิทธิภาพโดยรวมเท่ากับ 0.88

Sekito และคณะ (2006) ศึกษาการแยกขยะชุมชน โดยในขนาดระดับปฏิบัติการเครื่องแยกก๊าซ-ของแข็ง ฟลูอิดไดซ์เบดสามารถแยกองค์ประกอบขยะชุมชน (SBW) ที่เผาได้และเผาไม่ได้ ขนาด 5.6-50 มม. ในชุดทดสอบพบว่าการผสมของ SBW ที่ด้านล่างของเบดมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง ในการศึกษาครั้งนี้ไมควรมีประสิทธิภาพในการป้องกันการผสมของขยะด้านล่าง วัสดุหลายชนิด เช่น กระดาษ พลาสติก และฟิล์ม นั้นทำให้ประสิทธิภาพการแยกมีค่าลดลง ใน ชุด-ทดสอบจะมีประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 90% เมื่อวัสดุ เช่น พลาสติก ฟิล์ม และกระดาษ ไม่อยู่ในสารป้อนSBWในการทดสอบจะป้อนสารป้อนอย่างต่อเนื่องความบริสุทธิ์ของส่วนที่ลอยและส่วนที่จมมีประสิทธิภาพเท่ากับ 95% และ 86% ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพโดยรวมเท่ากับ 79% ในการศึกษาผลของรูปร่างวัตถุติดต่อประสิทธิภาพการแยก พบว่าอนุภาคขนาดใหญ่สามารถแยกได้โดยอาศัยหลักของความหนาแน่น ในขณะที่รูปร่างของวัตถุมีอิทธิพลมากต่อพฤติกรรมในฟลูอิดไดซ์เบด

Beunder และคณะ (2002) ศึกษาความแตกต่างระหว่างการเคลือบที่แบบกลิ้ง และแบบ เลื่อนที่เป็นพื้นฐานสำหรับการแยกของอนุภาค การทดลองได้มีการใช้หลักการเข้ามาเพื่อ ประยุกต์ใช้ในตัวแยกรูปร่างต่างๆ ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองในตัวแยกกรวยที่หมุนได้ ซึ่งถูก ออกแบบมาเพื่อการดำเนินการกับวัสดุรีไซเคิลโดยเฉพาะ ในแบบจำลองจะใช้วัสดุที่มีลักษณะ เฉพาะตัวในแง่ของรูปร่าง และแรงเสียดทาน และทำนายการแยกวัสดุในกรวยหมุน

Huiling และคณะ (2002) ศึกษาการลอยตัวของพลาสติก 7 ชนิด (POM, PVC, PET, PMMA, PC, PS และ ABS) ในพฤติกรรมของเมทิลเซลลูโลส (MC) และกระบวนการแยกพลาสติกผสม ในการทดลองพบว่าพลาสติกทั้ง 7 ชนิดสามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่มโดยใช้ wetting agent MC กลุ่มแรกมี POM และ PVC จะจมที่ความเข้มข้นของ MC ต่ำมากๆ กลุ่มสองมี PET, PMMA และ PC มีการลอยตัวในระดับกลาง กลุ่ม สาม (ABS และ PS) มีการลอยตัวในระดับสูง พวกนี้จะไม่จม ภายในช่วงความเข้มข้น MC ที่ทดลอง การทำความเข้าใจกลไกของการเลือกการลอยตัวของ พลาสติก และสภาวะในกระบวนการทางเคมี ปัจจัยของพื้นผิวทางเคมี เช่น ความเปียกชื้นของ พลาสติก และความตึงเครียดผิวของการลอยตรงกลาง และปัจจัยของแรงโน้มถ่วง เช่นความ หนาแน่นของอนุภาคและ รูปร่าง พบว่าผลกระทบของการจมของ MC ต่อพลาสติก เป็นเหตุผล หลักเพื่อดูดซับมันบนพื้นผิวพลาสติก โมเลกุล MC ถูกดูดซับบนพลาสติก เนื่องจากกลุ่มที่มีขั้วมุ่ง เข้าหาเฟสของเหลว กลายเป็นส่วนที่ชอบน้ำของพื้นผิวพลาสติก นอกจากนี้การเลือกการลอยของ พลาสติกถูกควบคุมโดยการให้เปียกของพลาสติก, ขนาดอนุภาค, ความหนาแน่น และรูปร่าง

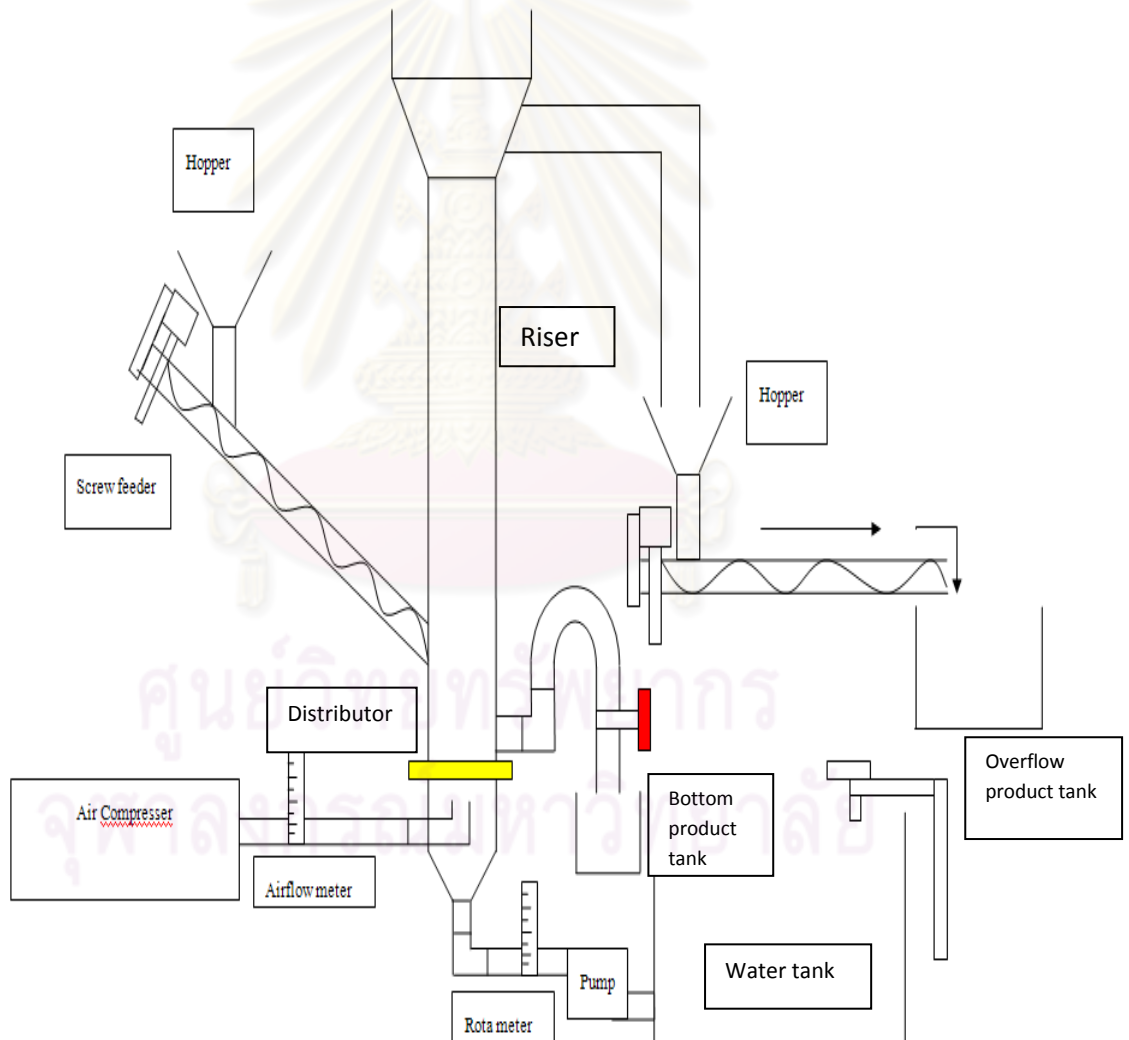
สมศักดิ์ ดำรงเลิศ (1983) ศึกษาการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นด้วย สารละลายกรดหรือด่างในฟลูอิดไดเซชันที่อยู่ในสามสถานะด้วยกัน โดยการศึกษาแบ่งออกเป็นสอง ภาคคือภาคที่หนึ่ง ทำการศึกษาคือความเป็นไปได้ในเบดที่จะทำให้เกิดปริมาณก๊าซค้างอยู่ในเบด การทดลองได้ใช้เม็ดพลาสติกทรงกลมหลายขนาดเป็นเบดบรรจุในหอทดลอง จากการศึกษาตัว แปรต่างๆที่เกิดขึ้นในเบดแล้วก็สามารถหาความสัมพันธ์ของก๊าซค้างอยู่ในรูปของสมการ และภาค ที่สอง ศึกษาการดูดซึมก๊าซแอมโมเนียด้วยน้ำ พบว่านอกจากตัวแปรที่ปรากฏในภาคที่หนึ่งแล้ว ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในก๊าซผสมมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทมวลสารอีกด้วยซึ่งเขียนสรุป เป็นสมการ การถ่ายเทมวลสารในฟลูอิดไดเซชันสามสถานะ

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบดแบบสามวัฏภาค



รูปที่ 3.1 โครงร่างเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบดแบบสามวัฏภาคที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชน์เบดแบบสามวัฏภาคที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชน์เบดแบบสามวัฏภาคที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ท่อไรเซอร์ (Riser) (รูปที่3.3) ทำจากวัสดุอะครีลิคใส หนา 0.3 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 เซนติเมตร



รูปที่ 3.3 โรเตอร์ (ท่อใสแนวตั้งด้านขวา)

2. แผ่นกระจายอากาศ (Distributor) เป็นแบบแผ่นตะแกรง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง 0.635 เซนติเมตร เพื่อให้อากาศกระจายตัวสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดและป้องกันไม่ให้ขยะหล่นลงสู่ด้านล่าง

3. อุปกรณ์ป้อนขยะ (รูปที่ 3.4) เป็นเครื่องป้อนแบบสกรูพิดเดอร์ทั้งหมด 2 ตัว ประกอบด้วยถังบรรจุขยะและระบบลำเลียงขยะรูปเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวป้อน 4 เซนติเมตร ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส โดยตำแหน่งที่ป้อนขยะเข้าอยู่ที่ระดับสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 0.15 เมตร และอีกตัวสำหรับป้อนขยะออกที่รับขยะจากทางยอดหอเพื่อส่งต่อไปสู่ถาดรับผลิตภัณฑ์ยอดหอ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

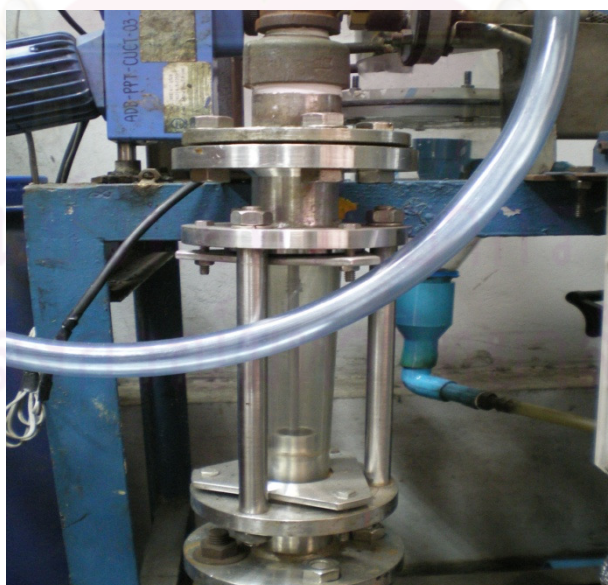
รูปที่ 3.4 ระบบป้อนขยะขาเข้า (บน) และระบบป้อนขยะขาออก (ล่าง)

4. ถังเก็บน้ำและถังเก็บน้ำที่ใช้แล้ว(รูปที่3.5) ในระบบตอนแรกจะทำการใช้น้ำในถังเก็บน้ำและเมื่อเวลาผ่านไประบบจะดึงน้ำจากถังเก็บน้ำที่ใช้ไปแล้วมาใช้ในการดำเนินระบบด้วย



รูปที่ 3.5 ถังเก็บน้ำ (รูปซ้าย) และถังเก็บน้ำที่ใช้แล้ว (รูปขวา)

5. เครื่องวัดอัตราไหล (Flow meter) (รูปที่ 3.6) สำหรับใช้วัดอัตราไหลของน้ำขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบดแบบสามวัฏภาค เครื่องวัดอัตราไหลของน้ำมีช่วงวัดอัตราไหลอยู่ที่ 10-100 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราไหลของน้ำ

6. เครื่องวัดอัตราไหลของอากาศ (Airflow meter) (รูปที่3.7) สำหรับใช้ปรับอัตราไหลของอากาศเข้าเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดิ์เบดแบบสามวัฏภาค เครื่องวัดอัตราไหลของอากาศมีช่วงวัดอัตราไหลอยู่ที่ 10-100 ลิตรต่อชั่วโมง.



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอัตราไหลของอากาศ

7. เครื่องสูบน้ำ (Pump) (รูปที่3.8)



รูปที่ 3.8 เครื่องสูบน้ำ

8. เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 เครื่องอัดอากาศ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมขยะตัวอย่าง

3.2.1.1 เตรียมขยะตัวอย่างปริมาณ 300 กรัม

3.2.1.1.1 สำหรับขั้นตอนทดสอบความสามารถในการแยกของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบดแบบสามวัฏภาค เตรียมพลาสติกพอลิเอไมด์และพลาสติกพอลิคาร์บอเนต อย่างละ 130 กรัม รวม 260 กรัม

3.2.1.1.2 สำหรับขั้นตอนทดสอบการแยกขยะชุมชน เตรียมขยะอินทรีย์ ปริมาณ 277.92 กรัม (ร้อยละ 92.64) และขยะพลาสติก LDPE ปริมาณ 22.08 กรัม (ร้อยละ 7.36) รวม 300 กรัม ซึ่ง

ปริมาณนี้เกิดจากการสู่มัดกษะชุมชน 5 ครั้ง และนำมาเฉลี่ย
หาอัตราส่วนของขยะอินทรีย์กับขยะพลาสติก

3.2.2 การดำเนินการทดลอง

- 3.2.2.1 เปิดแอร์วาล์วและตั้งค่าอัตราไหลของอากาศให้เท่ากับที่ต้องการ เปิดเครื่องสูบน้ำและปรับวาล์วน้ำให้อัตราไหลของน้ำเท่ากับค่าที่ต้องการ จากนั้นรอกจนกระทั่งน้ำล้นออกมาทางยอดหอ
- 3.2.2.2 เปิดเครื่องป้อนขยะตั้งค่าอัตราป้อนตามที่ต้องการ จากนั้นทำการเทขยะลงสู่ถังบรรจุขยะ เริ่มจับเวลาและทำการทดลองเป็นเวลา 10 นาที
- 3.2.2.3 เปิดเครื่องป้อนขยะขาออก ขยะที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าจะลอยและล้นออกมาทางยอดหอและตกสู่ถังเก็บขยะยอดหอเพื่อทำการส่งต่อไปยังถาดรับขยะยอดหอ โดยเครื่องป้อนขยะขาออก
- 3.2.2.4 ทำการสังเกตขยะที่มีความหนาแน่นมาก ถ้าหากมีปริมาณที่สูงกว่าระดับท่อหน้าเข้า ให้ทำการเปิดวาล์วตรงท่อขยะได้หอเพื่อทำการนำขยะได้หอออกมาสู่ถังเก็บขยะได้หอ
- 3.2.2.5 เมื่อครบ 10 นาที ปิดเครื่องสูบน้ำและปิดแอร์วาล์วตามลำดับ หากมีขยะในหอทดลองเหลืออยู่ให้ทำการนำออกและคิดขยะส่วนนั้นเป็นขยะได้หอ
- 3.2.2.6 นำขยะยอดหอและขยะได้หอที่แยกได้นำไปปอบในตู้อบ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อระเหยน้ำออก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาองค์ประกอบของขยะยอดหอและคำนวณประสิทธิภาพการแยก บันทึกผลการทดลอง
- 3.2.2.7 เปลี่ยนสภาวะการทดลองและทำซ้ำตามวิธีด้านบนจนกระทั่งได้สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาดในฟลูอิดไดซ์เบดแบบสามวัฏภาค โดยขยะชุมชนที่ย่อยขนาดที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นขยะจากที่ฝังกลบ อำเภอศรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี ในการวิจัยได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรสำคัญต่างๆ ที่มีผลต่อการแยกขยะชุมชน ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราไหลของน้ำ อัตราไหลของอากาศ อัตราการป้อนของขยะ และขนาดของขยะ

4.1 การทดลองในระบบเดี่ยว

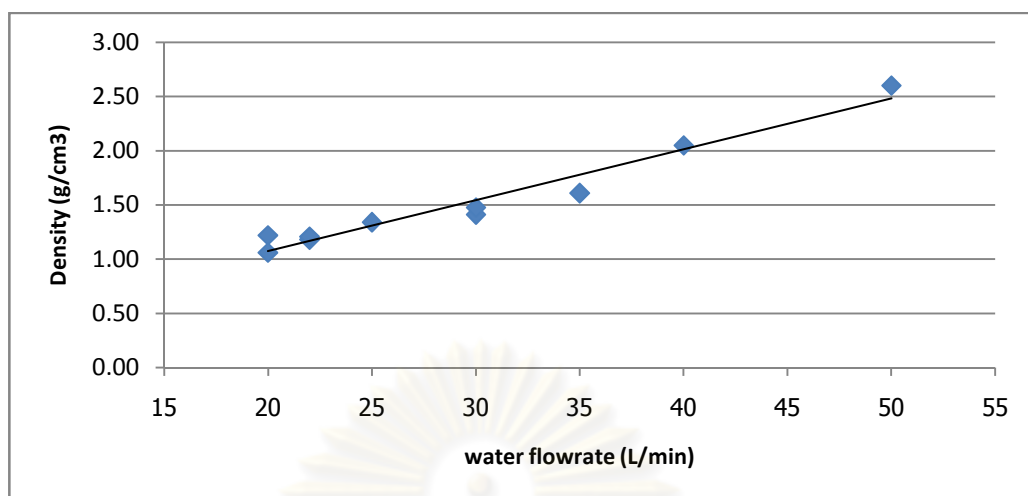
คือการใช้สารป้อนเพียงชนิดเดียวในการทำการทดลอง

ทำการทดลองหาอัตราการลอยตัวของพลาสติก 10 ชนิด ได้แก่ โพลีไวนิลคลอไรด์, เอ็น-โบรโมซัคซินไมด์, โพลีคาร์บอนเนต, โพลีคาร์บอนเนตกับเส้นใยปิพซิม, โพลีเอไมด์, โพลีออกซิเมทิลีน, โพลีสไตรีน, โพลีเอทิลีนเทอพาทาเลท และพลาสติกวีไอ และกระดาษ โดยการทดลองนำตัวอย่างพลาสติกหรือกระดาษปริมาณ 50 กรัม เข้าเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดแบบสามวัฏภาค ใช้อัตราป้อนเท่ากับ 10 กรัมต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศ จากนั้นปรับอัตราไหลของน้ำจนกว่าพลาสติกหรือกระดาษเริ่มลอยขึ้นไปบนยอดหอทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ชนิดและความหนาแน่นของสารป้อนสัมพันธ์กับอัตราไหลของน้ำที่ทำให้เกิดการ
ลอยตัว

ชนิดของสารป้อน	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	อัตราไหลของน้ำ (ลิตรต่อนาที)
polyvinyl chloride	1.410	30
polyoxymethylene	2.049	40
polycarbonate	1.220	20
N-Bromosuccinimide	1.608	35
polyamide	2.600	50
polycarbonate + gypsum fiber	1.340	25
HiVO	1.477	30
acrylonitrile-butadiene-styrene	1.180	22
polystyrene	1.060	20
Polyethylene terephthalate	1.209	22
Paper	0.555	-
Wet paper	1.580	24



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของพลาสติกกับอัตราไหลของน้ำ

จากตาราง 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าความหนาแน่นและอัตราไหลของน้ำแปรผันตรงกัน โดยที่ขยะพลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใช้อัตราไหลของน้ำน้อยเพื่อที่จะทำให้ลอยตัวขึ้นไปทางยอดหอ และขยะพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูงต้องใช้อัตราไหลของน้ำที่สูงในการที่จะทำให้ลอยตัวขึ้นไปยอดหอ ซึ่งตรงตามทฤษฎีของแรงพยุงโดยจะต้องเพิ่มแรงดันน้ำหรืออัตราไหลของน้ำให้เท่ากับน้ำหนักที่ตกลงมาของพลาสติก พลาสติกถึงจะเริ่มลอยตัวขึ้น แต่ในกรณีของกระดาษที่มีความหนาแน่น 0.555 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กลับมีการใช้อัตราไหลของน้ำที่สูงกว่าพลาสติก บางตัวที่มีความหนาแน่นมากกว่ากระดาษ เนื่องจากเมื่อกระดาษถูกน้ำจะทำการดูดซับน้ำไว้ในตัว ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น และด้วยรูปร่างของกระดาษเป็นแผ่นระนาบทำให้สามารถแนบติดกับแผ่นกระจายอากาศได้ง่าย การทดลองนี้ยังบ่งบอกถึงอัตราไหลของน้ำต่ำสุดที่สามารถทำให้พลาสติกเกิดฟลูอิไดเซชันได้

4.2 ทดลองในระบบคู่

คือการทำทดลองโดยใช้สารป้อนสองชนิดที่คลุกเคล้าเข้าด้วยกันและป้อนเข้าสู่หอทดลอง เพื่อทำการทดลอง

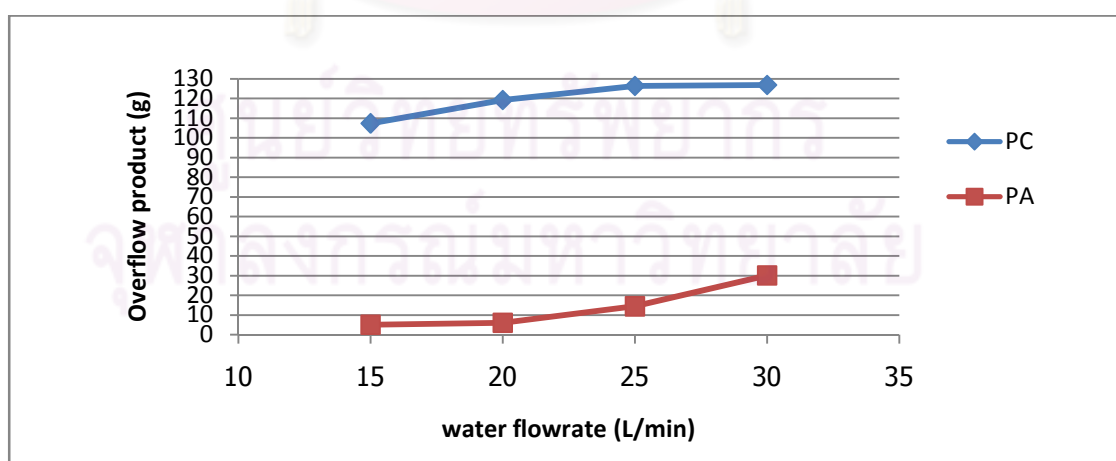
ในการทำการทดลองระบบคู่ได้เลือกใช้พลาสติกชนิดพอลิเอไมด์ (ความหนาแน่น 2.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และพอลิคาร์บอนเนต (ความหนาแน่น 1.22 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตรจำนวน 130: 130 กรัม มาใช้ในการทดลอง

เพราะมีลักษณะเม็ดพลาสติกคล้ายกัน มีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน และมีสีที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เพื่อดูความสามารถในการแยกของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบด การทดลองขั้นนี้ทำการทดลองเป็นเวลา 10 นาที มีตัวแปรที่ใช้ 3 ตัวแปร คือ

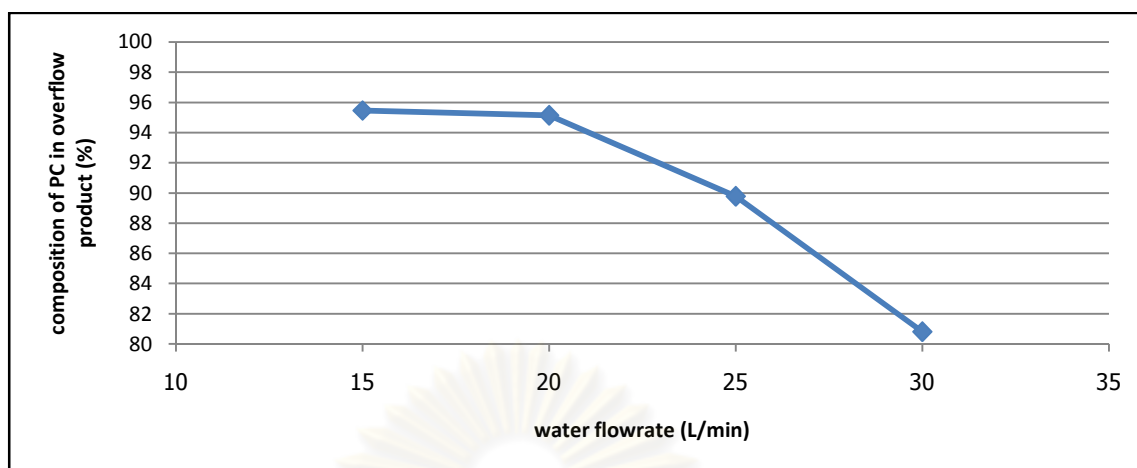
- อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 15, 20, 25 และ 30 ลิตรต่อนาที
- อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0, 50 และ 100 ลิตรต่อชั่วโมง
- อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52, 88, 130 และ 260 กรัมต่อนาที

4.2.1 ศึกษาผลของอัตราไหลของน้ำ

ในส่วนนี้ศึกษาผลของอัตราไหลของน้ำที่มีผลต่อการแยกพลาสติกสองชนิด ซึ่งพลาสติกทั้งสองชนิดนี้มีค่าความหนาแน่นแตกต่างกันเท่ากับ 1.38 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่ามีค่ามากกว่าค่าความหนาแน่นแตกต่างกันต่ำสุดคือ 0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามข้อสรุปของงานวิจัยของ T. Kinoshita เพราะฉะนั้นพลาสติกทั้งสองชนิดนี้จึงสามารถนำมาแยกโดยอาศัยน้ำได้ ในการทดลองส่วนนี้ทดลองโดยใช้อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 15, 20, 25 และ 30 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที และไม่ใช้อากาศในการช่วยแยกขยะพลาสติก

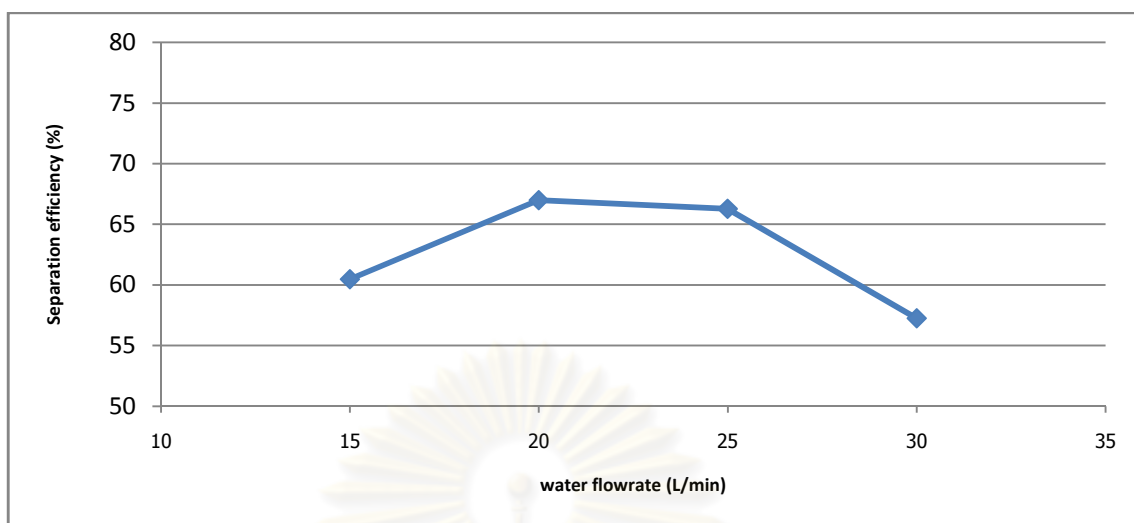


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของมวลพลาสติกที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตในยอดหอกับอัตราไหลน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)

จากการทดลองป้อนพลาสติกทั้งสองชนิดเข้าไปในหอทดลอง พบว่าพลาสติกทั้งสองชนิดมีการจัดเรียงตัวโดยพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าจะอยู่ชั้นบนและพอลิเอไมด์ที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะอยู่ชั้นล่าง เมื่อเพิ่มอัตราไหลของน้ำพลาสติกมากขึ้นพลาสติกทั้งสองชนิดจะลอยขึ้นไปทางยอดหอมากขึ้น เป็นผลทำให้จำนวนของพลาสติกทั้งสองในยอดหอเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2) และในรูปที่ 4.3 พบว่าร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตในยอดหอมีค่าลดลงเนื่องจากอัตราไหลของน้ำมีเพิ่มขึ้นทำให้ระบบมีความปั่นป่วนมากขึ้นและทำให้เกิดการพาพลาสติกพอลิเอไมด์มาผสมกับพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตมากขึ้นที่ขั้วยอดหอ ซึ่งการที่พลาสติกพอลิเอไมด์หรือพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตลอยขึ้นไปทางยอดหอได้ทั้งที่อัตราไหลของน้ำยังไม่ถึงอัตราไหลของน้ำต่ำสุดที่ทำให้พลาสติกลอยตัว เพราะในการทดลองพลาสติกทั้งสองจับตัวกันเป็นกลุ่ม โดยลักษณะของกลุ่มที่จับตัวกันเป็นแผ่น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาตรทำให้ความหนาแน่นลดลงจากสมการ ความหนาแน่นเท่ากับมวลส่วนด้วยปริมาตร ทำให้ใช้อัตราไหลของน้ำลดลงในการที่จะทำให้พลาสติกลอยขึ้นทางยอดหอ

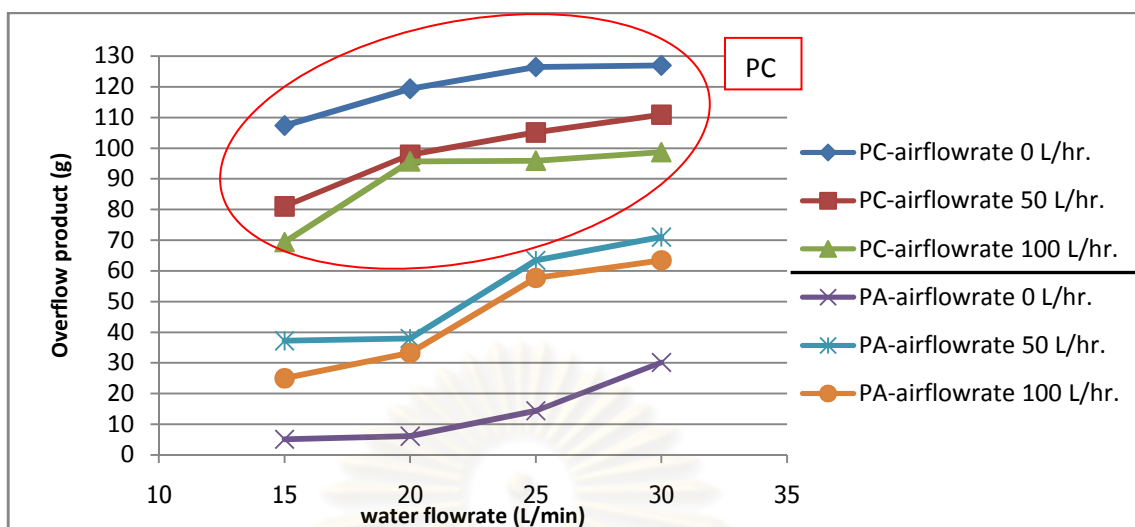


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)

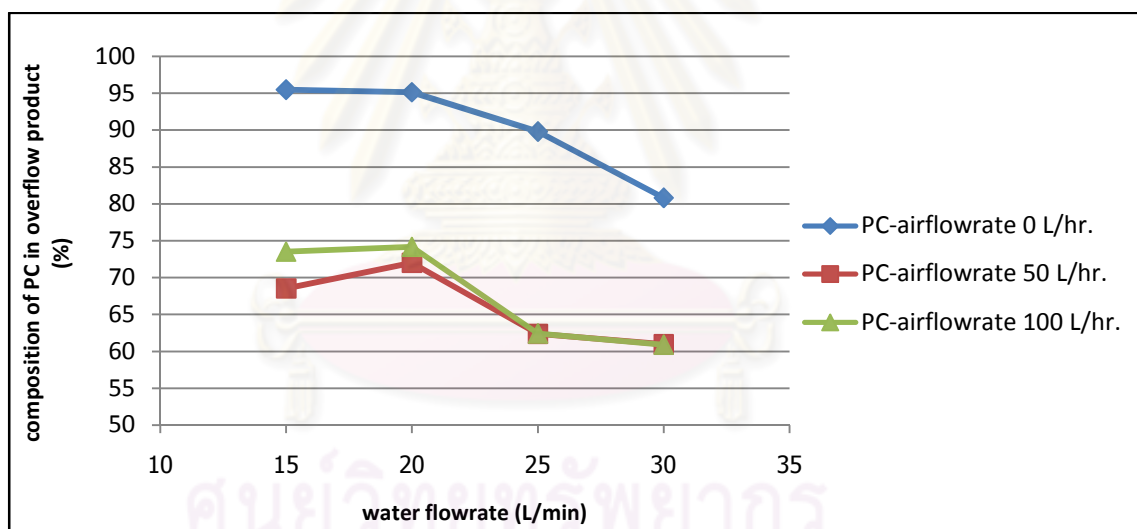
จากนั้นเมื่อนำข้อมูลการทดลองที่ได้มาคำนวณโดยใช้สมการ 2.22 ตามงานวิจัยของ T. Sekito เพื่อหาประสิทธิภาพของการแยก ได้ผลการทดลองคือที่อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที เป็นอัตราไหลที่ให้ประสิทธิภาพในการแยกดีที่สุดคือ 0.67 แสดงดังรูป 4.4

4.2.2 ศึกษาผลของอัตราไหลของอากาศ

ในส่วนนี้ศึกษาผลของอัตราไหลของอากาศที่มีผลต่อการแยกพลาสติกสองชนิด โดยคาดว่า การเติมอากาศเข้ามาในระบบจะทำให้สามารถช่วยเพิ่มค่าประสิทธิภาพในการแยก ในการทดลองส่วนนี้ได้ทดลองโดยใช้อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 15, 20, 25 และ 30 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที และอัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0, 50 และ 100 ลิตรต่อชั่วโมง



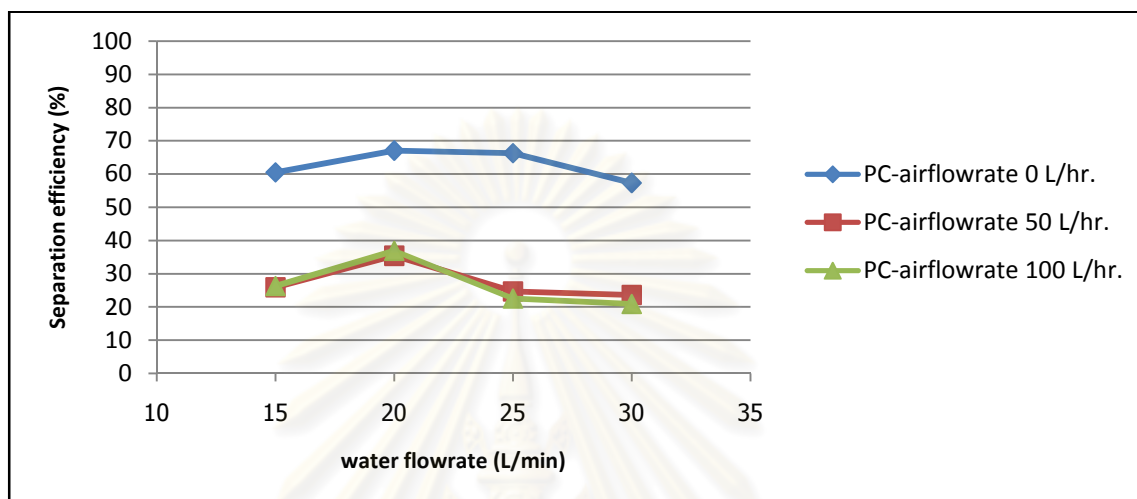
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของมวลพลาสติกที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของน้ำที่อัตราไหลของอากาศต่างๆ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตในยอดหอกับอัตราไหลของน้ำที่อัตราไหลของอากาศต่างๆ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที)

การศึกษารูปแบบของอัตราไหลของอากาศ พบว่าเมื่อมีปริมาณของอากาศมากขึ้นจะทำให้ระบบมีความปั่นป่วนมากขึ้น ในการทดลองการเคลื่อนที่ของพลาสติกทั้งสองชนิดมีความปั่นป่วนมากและเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทาง ซึ่งทำให้เกิดการชนกันของเม็ดพลาสติก หลังจากเม็ดพลาสติกชนกันจะตกลงมาสู่ด้านล่าง ซึ่งผลการทดลองนี้เกิดขึ้นในทุกๆ อัตราไหลของน้ำ แต่ในภาวะที่ไม่ได้ป้อนอากาศเข้าระบบพบว่าพลาสติกมีการเกาะกลุ่มกัน และลอยขึ้นไปโดยไม่มีอาการชน

กันของพลาสติก (รูปที่ 4.5) ในรูปที่ 4.6 เมื่อระบบมีอากาศเข้ามากขึ้นส่งผลให้พลาสติกพอลิเอไมด์ลอยขึ้นไปปะปนกับพลาสติกพอลิคาร์บอเนตได้มากขึ้น ทำให้ร้อยละองค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอเนตมีค่าลดลง

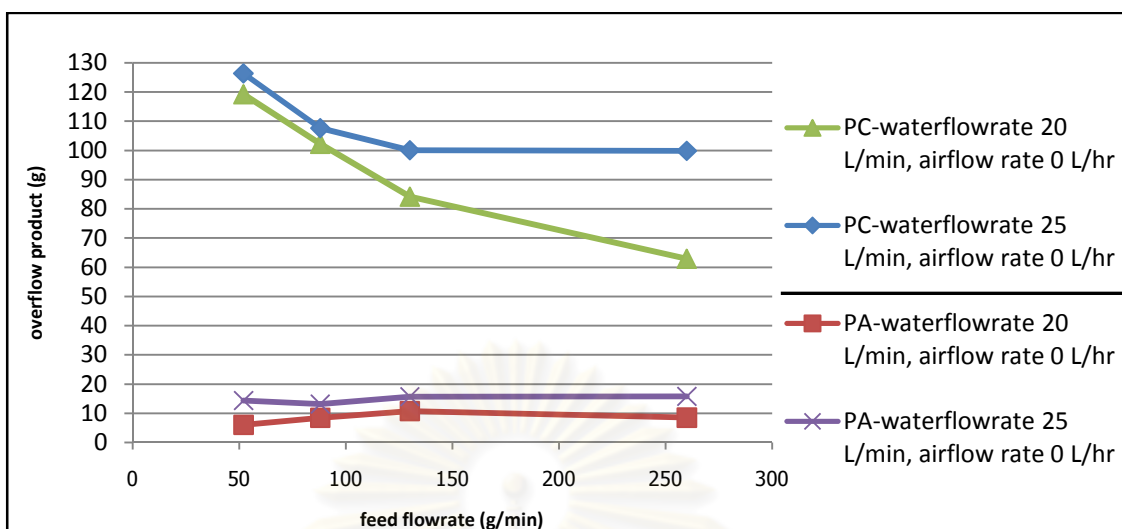


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของน้ำที่อัตราไหลของอากาศต่างๆ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที)

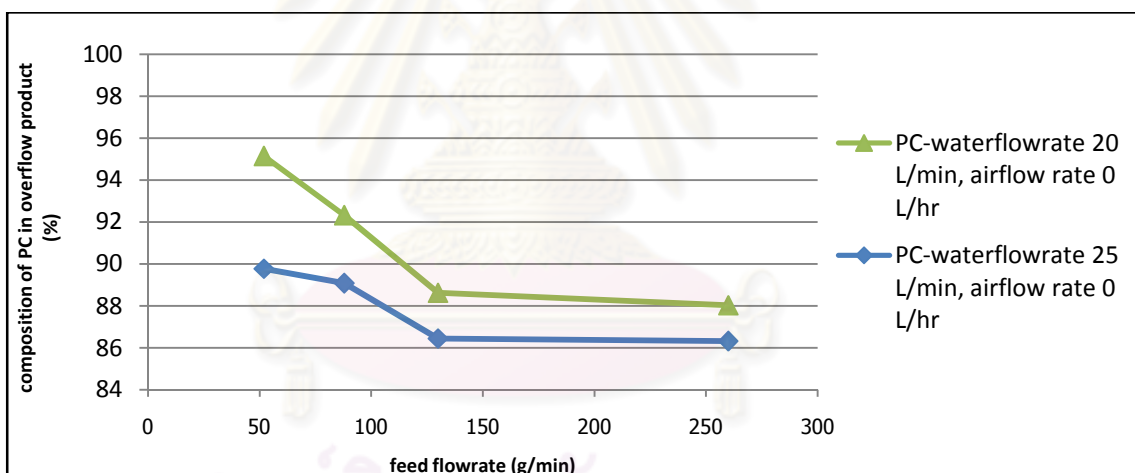
เมื่อนำข้อมูลการทดลองที่ได้มาคำนวณโดยใช้สมการ 2.22 ตามงานวิจัยของ T. Sekito เพื่อหาประสิทธิภาพของการแยก ได้ผลการทดลองคือที่อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที และไม่ป้อนอากาศเข้าระบบ จะสามารถให้ประสิทธิภาพในการแยกที่ดีที่สุดคือ 0.67 แสดงดังรูปที่ 4.7

4.2.3 ศึกษาผลของอัตราไหลของสารป้อน

ในส่วนนี้ศึกษาผลของอัตราไหลของสารป้อนหรืออัตราไหลของการป้อนขยะเข้าระบบที่มีผลต่อการแยกพลาสติกพอลิเอไมด์กับพลาสติกพอลิคาร์บอเนต เพื่อหาประสิทธิภาพการแยกที่เหมาะสมและคุ้มค่ากับปริมาณที่แยกได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ในการทดลองส่วนนี้ได้ทดลองโดยใช้อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 และ 25 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52, 88, 130 และ 260 กรัมต่อนาที และไม่ป้อนอากาศ



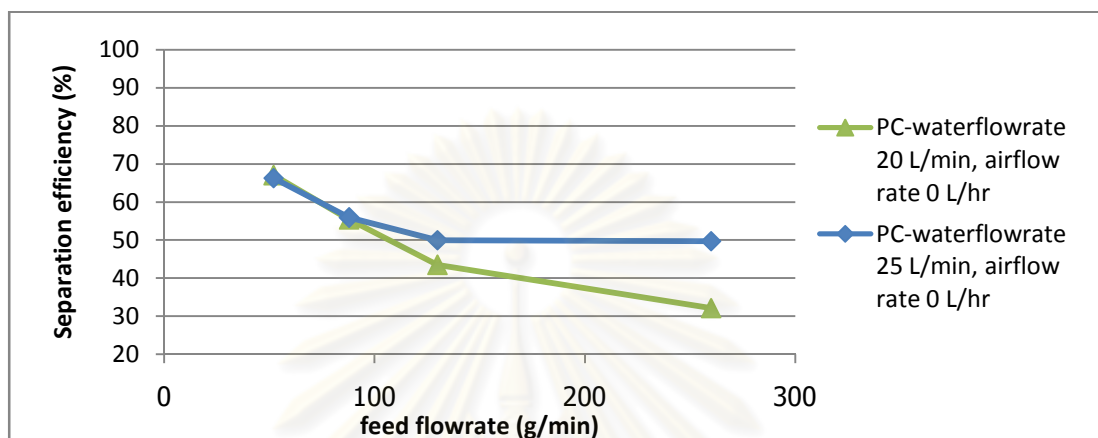
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของมวลพลาสติกที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของสารป้อนที่อัตราไหลของน้ำต่างๆ (อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตในยอดหอกับอัตราไหลของสารป้อนที่อัตราไหลของน้ำต่างๆ (อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเพิ่มอัตราไหลของสารป้อนส่งผลให้พลาสติกพอลิคาร์บอนเนตมีอัตราการลอยขึ้นไปทางยอดหอลดลงเนื่องจากการที่ป้อนพลาสติกเข้ามามากเกินไป ทำให้เกิดการสะสมกันของพลาสติกทั้งสองชนิด ซึ่งทำให้พลาสติกพอลิคาร์บอนเนตลอยขึ้นไปมากขึ้น และเมื่อดูปริมาณของพลาสติกพอลิเอไมด์พบว่าที่อัตราไหลของน้ำเท่ากันปริมาณของพลาสติกพอลิเอไมด์ทางยอดหอจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ เนื่องจากพลาสติกพอลิเอไมด์ที่ลอยขึ้นไปมีลักษณะเป็น

ก้อนเล็กๆ ทำให้ลอยน้ำได้ง่าย จึงเป็นผลให้มีจำนวนร้อยละองค์ประกอบของพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตมีค่าลดลง เพราะพลาสติกพอลิเอไมด์มีปริมาณทางยอดห่อเท่าเดิม แต่ปริมาณของพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตมีปริมาณลดลง แสดงดังรูป 4.9



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของสารป้อนที่อัตราไหลของน้ำต่างๆ (อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)

รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพการแยกที่ดีที่สุดในการแยกขยะพลาสติกพอลิคาร์บอนเนตและพอลิเอไมด์คือสภาวะที่มี อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพการแยกเท่ากับ 0.67

4.3 ทดลองในขณะชุมชนย่อยขนาด

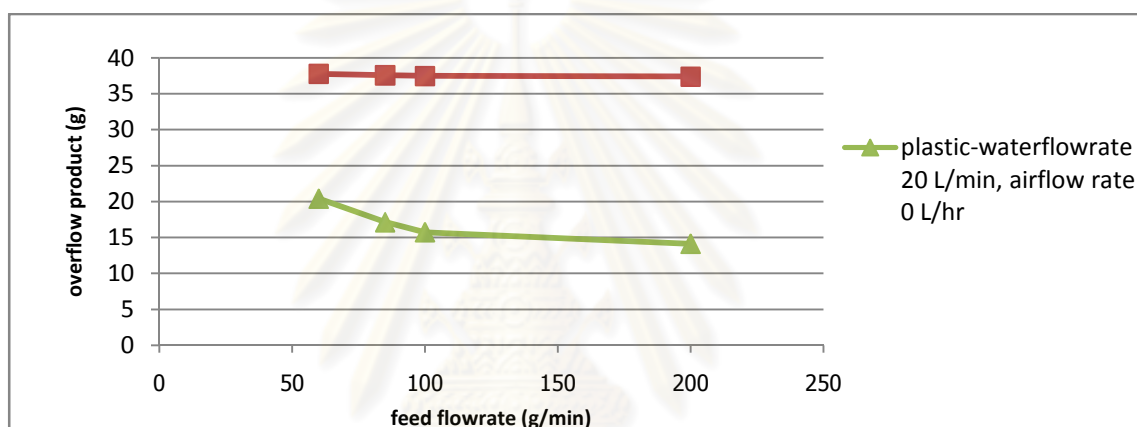
ในการทำการทดลองนี้ใช้ขยะชุมชนย่อยขนาดปริมาณ 300 กรัม แบ่งเป็นขยะอินทรีย์จำนวน 277.92 กรัม (ร้อยละ 92.64) และขยะพลาสติก LDPE รวมกับขยะอื่นๆปริมาณ 22.08 กรัม (ร้อยละ 7.36) ทดสอบเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาด การทดลองขั้นนี้ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 10 นาที มีตัวแปรที่ใช้ 4 ตัวแปร คือ

- อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20, 25, 30, 35 และ 40 ลิตรต่อนาที
- อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อชั่วโมง
- อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 60, 85, 100 และ 200 กรัมต่อนาที

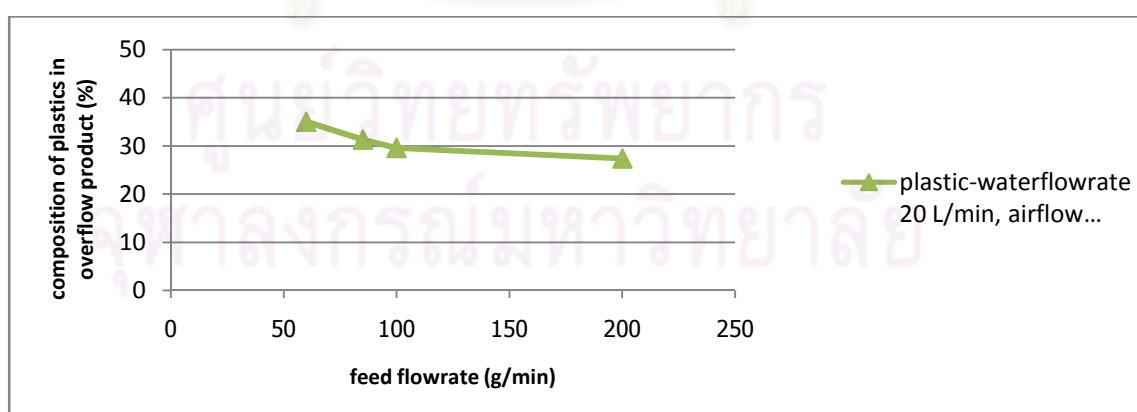
- ขนาดของขยะพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีพื้นที่เท่ากับ 1x3 และ 1x5 ตารางเซนติเมตร

4.3.1 ผลของอัตราไหลของสารป้อน

ในขั้นแรกทำการหาอัตราไหลของสารป้อนที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด ที่ให้ประสิทธิภาพในการแยกขยะชุมชนย่อยขนาดที่ดี โดยต้องการที่จะแยกขยะชุมชนให้ได้ 10,000 กรัม ภายในเวลา 120 นาที ในการทดลองส่วนนี้ทดลองโดยใช้อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อ นาที, อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 60, 85, 100 และ 200 กรัมต่อ นาที และไม่ป้อนอากาศ

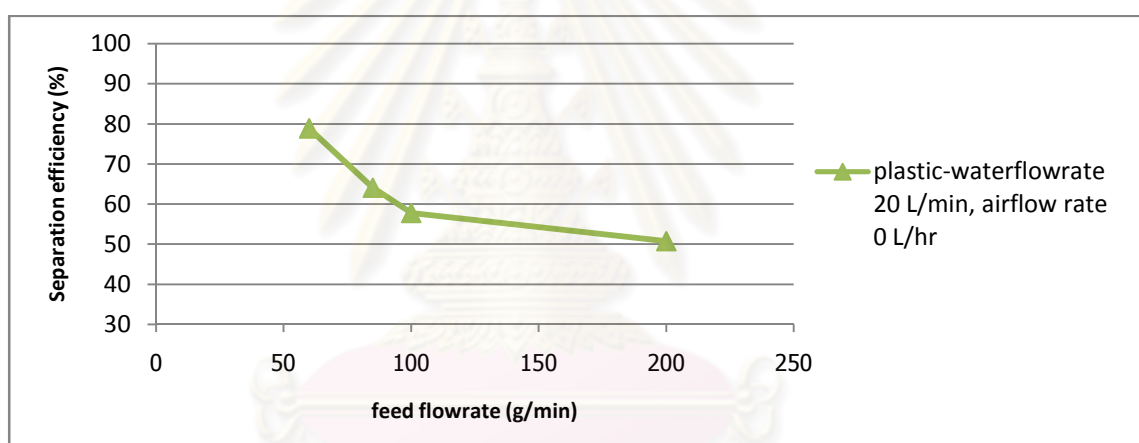


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของจำนวนพลาสติกที่ออกมาทางยอดหยอกับอัตราไหลของสารป้อน (อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อ นาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อ ชั่วโมง)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกในยอดหยอกับอัตราไหลของสารป้อน (อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อ นาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อ ชั่วโมง)

จากรูปที่ 4.11 เมื่อเพิ่มอัตราไหลของสารป้อนส่งผลให้ขยะพลาสติกมีอัตราการลอยขึ้นไปทางยอดหลอดลงเนื่องจากการที่ป้อนขยะชุมชนเข้ามามากเกินไป ทำให้เกิดการสะสมกันของขยะอินทรีย์และขยะพลาสติก ซึ่งทำให้พลาสติกแยกและลอยขึ้นไปได้ยากขึ้น โดยให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองในระบบคู่ และเมื่อดูปริมาณของขยะอินทรีย์ พบว่าที่อัตราไหลของน้ำเท่ากับปริมาณของขยะอินทรีย์ทางยอดหลอดจะมีปริมาณประมาณค่อนข้างคงที่ เนื่องจากขยะอินทรีย์ที่ลอยขึ้นไปมีลักษณะคล้ายฟองน้ำทำให้ลอยน้ำได้ง่าย ซึ่งต่างจากขยะอินทรีย์ที่อยู่ทางใต้ห่อที่มีลักษณะคล้ายกับดินมีการจับเป็นกลุ่มก้อนและดูดซับน้ำไว้ได้มาก จึงเป็นผลให้ มีจำนวนร้อยละองค์ประกอบของพลาสติกมีค่าลดลง เพราะขยะอินทรีย์มีปริมาณทางยอดหลอดเท่าเดิม แต่ปริมาณของพลาสติกมีปริมาณลดลง (รูปที่ 4.12)



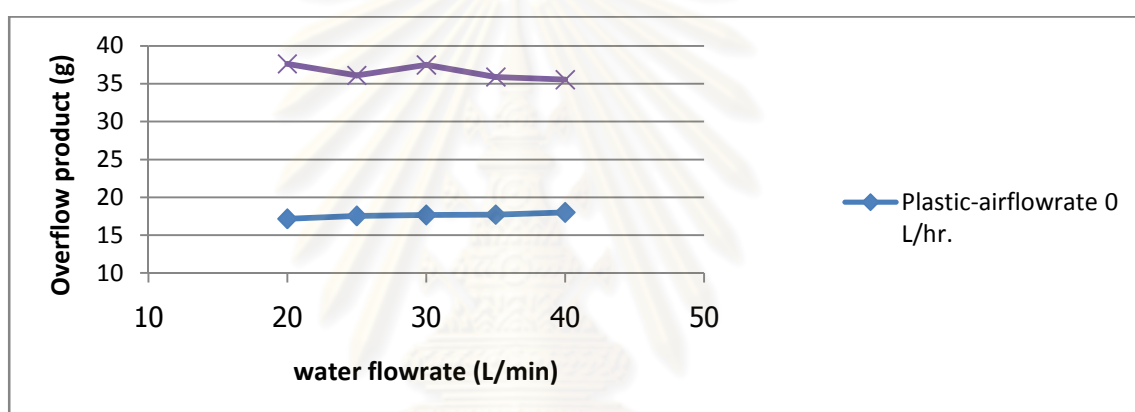
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของสารป้อน (อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)

รูปที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการแยกขยะพลาสติกกับขยะอินทรีย์ที่อัตราการป้อนต่างๆ พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดมี อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที อัตราไหลของลมเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 60 กรัมต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพการแยกเท่ากับ 0.79 แต่ที่อัตราไหลของสารป้อนนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้จริงเพราะมีอัตราการแยกในปริมาณที่ต่ำ จึงเลือกอัตราไหลของสารป้อนที่ 85 กรัมต่อนาที เนื่องจากมีอัตราการแยกขยะที่สูงกว่า โดยมีประสิทธิภาพการแยกเท่ากับ 0.64 เมื่อดูผลการทดลองในระบบคู่การปรับเปลี่ยนอัตราไหลของน้ำเพิ่มขึ้นคาดว่าขยะพลาสติกจะลอยขึ้นไปทางยอดหลอดมากขึ้นและทำให้มีประสิทธิภาพ

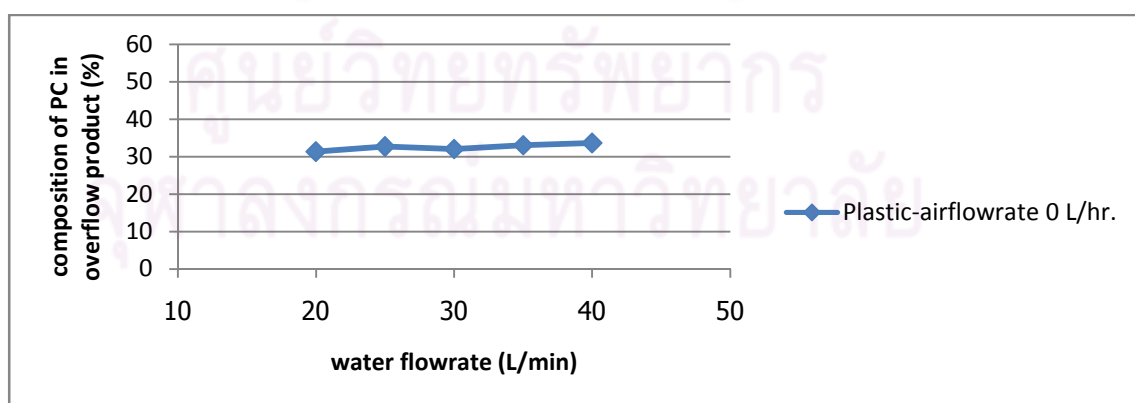
การแยกเพิ่มขึ้น ในส่วนของอัตราไหลของอากาศจากการอ่านงานวิจัยของ T. Sekito คาดว่าหากเพิ่มอากาศเข้าไปในระบบอากาศจะช่วยพัฒนาขยะพลาสติกที่มีลักษณะเป็นแผ่นให้ลอยขึ้นไปทางยอดหอมากขึ้น

4.3.2 ผลของอัตราการไหลของน้ำ

ในขั้นต่อมาหลังจากได้อัตราไหลของสารป้อนที่เหมาะสมแล้ว จึงมาดูผลของอัตราไหลของน้ำ การทดลองส่วนนี้ทดลองโดยใช้อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20, 25, 30, 35 และ 40 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที และไม่ป้อนอากาศ

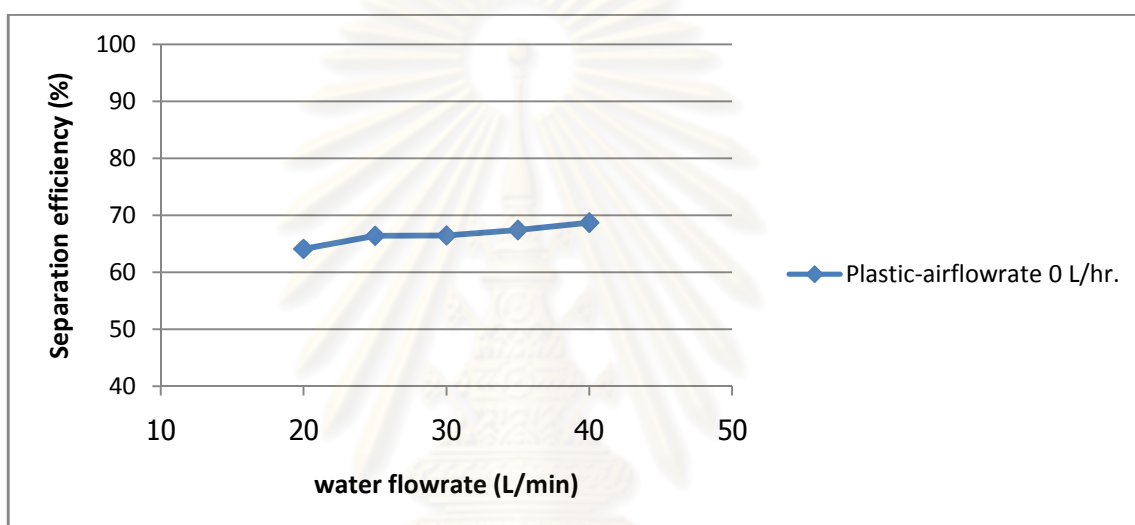


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของปริมาณขยะชุมชนที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของร้อยละขององค์ประกอบของขยะพลาสติกในยอดหอกับอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)

จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราไหลของน้ำมีค่ามากขึ้น จะเป็นผลทำให้จำนวนของพลาสติกในยอดหอเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของขยะอินทรีย์นั้นยังคงมีปริมาณประมาณเท่าเดิมคือประมาณ 35-38 กรัม เนื่องจากขยะอินทรีย์ที่ลอยขึ้นไปมีลักษณะคล้ายฟองน้ำทำให้ลอยน้ำได้ง่าย ซึ่งต่างจากขยะอินทรีย์ที่อยู่ทางใต้หอที่มีลักษณะคล้ายกับดินมีการจับเป็นกลุ่มก้อนและดูดซับน้ำไว้ได้มาก (รูปที่ 4.14) ทำให้ร้อยละขององค์ประกอบของพลาสติกในยอดหอมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะมีปริมาณพลาสติกเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่มีปริมาณของขยะอินทรีย์ในยอดหอมีค่าคงที่ ดังรูป 4.15



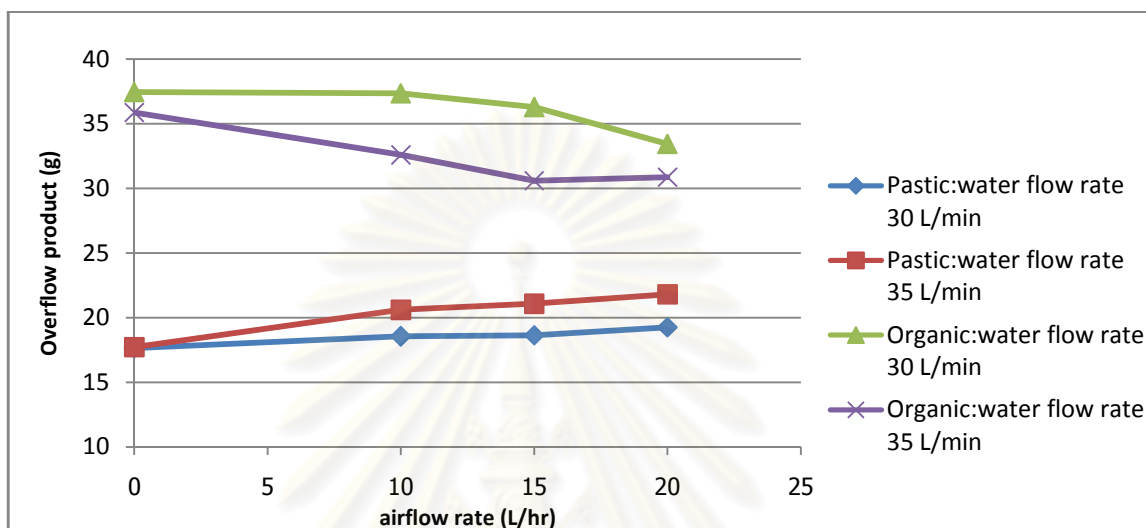
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที, อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง)

เมื่อนำข้อมูลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของการแยก ได้ผลการทดลองคือที่อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 40 ลิตรต่อนาที เป็นอัตราไหลที่ให้ประสิทธิภาพในการแยกดีที่สุดคือ 0.69 โดยใช้อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที ดังรูป 4.16

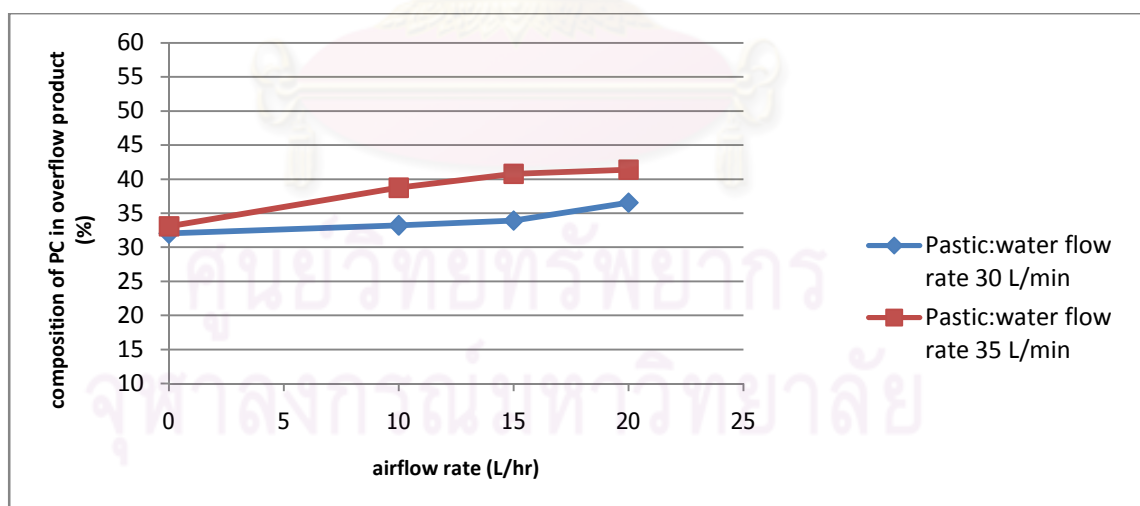
4.3.3 ผลของอัตราไหลของอากาศ

จากการทดลองหาอัตราไหลของน้ำที่ดีที่สุดในตอน 4.3.2 ได้ผลว่าอัตราไหลที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคืออัตราไหลของน้ำที่ 40 ลิตรต่อนาที แต่เมื่อทำการทดลองควบคู่กับการปล่อยอากาศพบว่าที่อัตราไหลของน้ำนี้ทำให้น้ำล้นออกมาทางด้านบนของคอลัมน์ ฉะนั้นจึงไม่สามารถที่จะใช้อัตราไหลของน้ำที่ 40 ลิตรต่อนาทีในการทดลองขั้นตอนนี้ได้ ผู้ทำการทดลองจึง

เลือกใช้อัตราไหลของน้ำที่ 30 และ 35 ลิตรต่อนาที ในการทดลองส่วนนี้ทดลองโดยใช้อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 30 และ 35 ลิตรต่อนาที, อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที และอัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อชั่วโมง



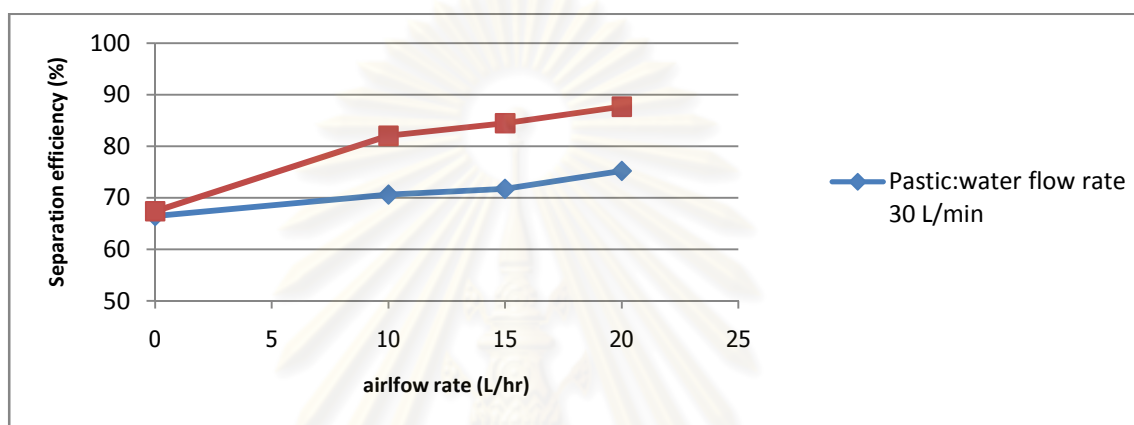
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของปริมาณขยะชุมชนที่ออกมาทางยอดหอกับอัตราไหลของอากาศ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที)



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ร้อยละขององค์ประกอบของขยะพลาสติกในยอดหอกับอัตราไหลของอากาศ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที)

ในรูปที่ 4.17 การทดลองการป้อนอากาศเข้าสู่ระบบพบว่าปริมาณของขยะพลาสติกในยอดหอมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากขยะพลาสติกมีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่นทำให้เมื่อสัมผัสกับ

อากาศแล้วจะลอยขึ้นไปได้ง่ายขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปของ T. Sekito แต่เมื่อดูปริมาณของขยะอินทรีย์ในยอดหมักกลับมีปริมาณลดลง เนื่องมาจากลักษณะของขยะอินทรีย์ทางยอดหมักมีรูปร่างเป็นเม็ดทำให้ได้ผลเช่นเดียวกับขั้นตอนการศึกษามลของอัตราไหลของอากาศในระบบคู่ คือขยะอินทรีย์เกิดความปั่นป่วนและชนกันทำให้ตกลงมาทางใต้หมัก จึงเป็นผลให้ร้อยละองค์ประกอบของขยะพลาสติกในยอดหมักมีปริมาณเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.18)

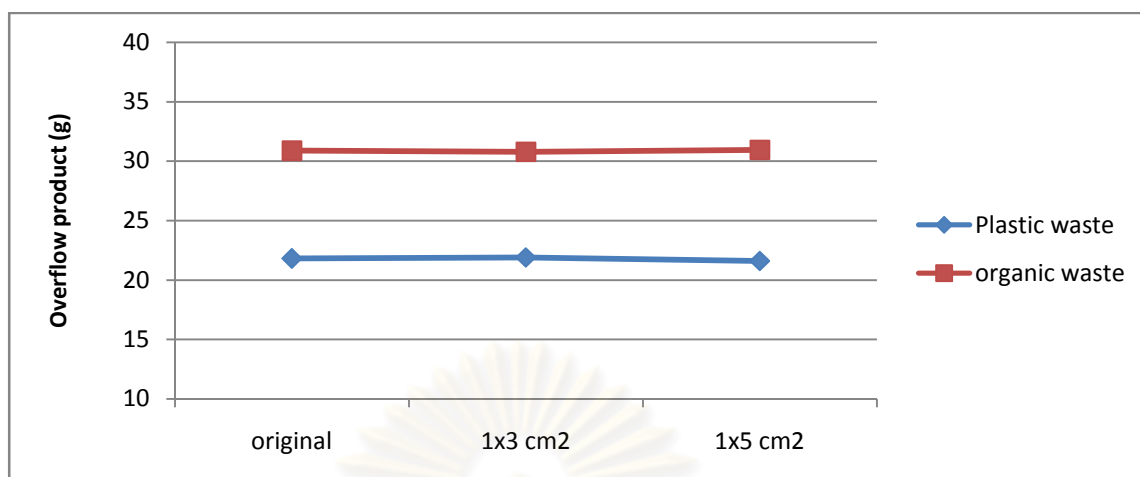


รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับอัตราไหลของอากาศ (อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที)

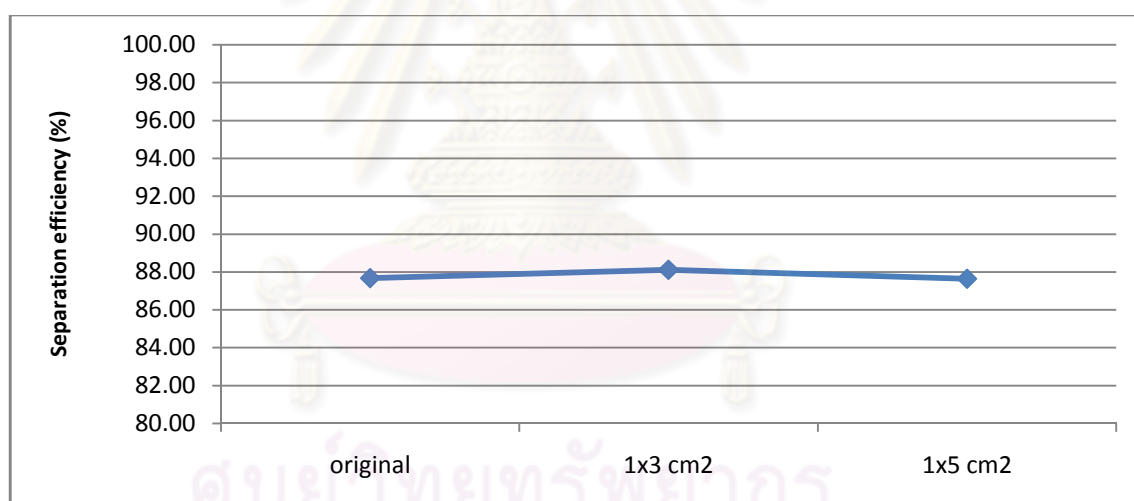
เมื่อนำข้อมูลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพการแยกพบว่าที่อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อนาที และอัตราไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพการแยกที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.87 โดยใช้ความเร็วของน้ำเท่ากับ 19.44 เมตรต่อนาที มากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน 0.11 เมตรต่อนาที เท่ากับ 176.73 เท่า ดังรูป 4.19

4.3.4 ผลของขนาดของขยะพลาสติกในขยะชุมชนที่ย่อยขนาด

ในการทดลองส่วนที่ผ่านมาเป็นการทดลองที่ขนาดของขยะพลาสติกมีการผสมกันตั้งแต่ขนาด 1x3 ตารางเซนติเมตร ถึงขนาด 1x5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งในส่วนนี้จะทำการแยกขนาดของขยะพลาสติกออกเป็นสองขนาดคือขนาด 1x3 ตารางเซนติเมตร และขนาด 1x5 ตารางเซนติเมตร ที่สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคือที่ อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อนาที และอัตราไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ของปริมาณขยะชุมชนที่ออกมาทางยอดหอกับขนาดของขยะพลาสติก (อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อนาที และอัตราไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง)



รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการแยกกับขนาดของขยะพลาสติก (อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อนาที และอัตราไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง)

รูปที่ 4.20 พบว่าที่ขนาดของขยะพลาสติกต่างกันให้ปริมาณขยะพลาสติกทางยอดหอใกล้เคียงกันคือประมาณ 21.7 กรัม เนื่องจากที่สภาวะที่ทำการทดลองนี้สามารถทำให้ขยะพลาสติกลอยขึ้นไปทางยอดหอเกือบทั้งหมดจากจำนวน 22.08 กรัม ทำให้เมื่อนำไปหาประสิทธิภาพแล้วได้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันดังรูป 4.20 ที่ให้ค่าที่ประมาณร้อยละ 0.87 จึงสรุปได้ว่าขนาดของขยะพลาสติกนั้นไม่มีผลต่อการแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 การทดสอบความสามารถในการแยกของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบดแบบสามวัฏภาค

5.1.1 การทดลองในระบบเดี่ยว

อัตราไหลของน้ำที่ทำให้วัสดุลอยขึ้นไปทางยอดหอแปรผันตามความหนาแน่นของวัสดุ

5.1.2 การทดลองในระบบคู่

- 1) อัตราไหลของอากาศเมื่อมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของขยะพลาสติกทั้งสองชนิดในยอดหอลดลง และมีประสิทธิภาพการแยกลดต่ำลง เนื่องจากเกิดการชนกันของพลาสติกทำให้พลาสติกร่วงลงสู่ก้นหอ
- 2) เมื่ออัตราไหลของสารป้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของขยะพลาสติกพอลิคาร์บอเนตในยอดหอลดลง และมีประสิทธิภาพการแยกลดต่ำลง เนื่องจากเกิดการสะสมของพลาสติก
- 3) เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบดแบบสามวัฏภาคสามารถทำการแยกพลาสติกพอลิคาร์บอเนตออกจากพลาสติกเอไมต์ได้ โดยมีประสิทธิภาพการแยกที่ดีที่สุดคือ 0.67 ที่อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 0 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 52 กรัมต่อนาที

5.2 การทดสอบการแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาด

- 1) อัตราไหลของสารป้อนที่มีค่าต่ำจะทำให้มีประสิทธิภาพการแยกที่ดี แต่มีอัตราการแยกขยะชุมชนที่ต่ำ ดังนั้นจึง เลือกอัตราการป้อนสารที่ 85 กรัมต่อนาที เพราะเป็นอัตราการป้อนสารที่มากขึ้นและยังสามารถที่จะพัฒนาประสิทธิภาพการแยกได้อีก

- 2) อัตราไหลของน้ำเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของขยะพลาสติกในยอดหอเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ขยะอินทรีย์ในยอดหอมีปริมาณเท่าเดิม เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพการแยกจึงดีขึ้นตามไปด้วย
- 3) ผลของอัตราไหลของอากาศเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ขยะพลาสติกในยอดหอมีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขยะอินทรีย์ในยอดหอมีปริมาณลดลง เนื่องจากการชนกันของเม็ดขยะอินทรีย์ ซึ่งเป็นผลในทิศทางเดียวกับการทดลองในระบบคู่ ทำให้ประสิทธิภาพการแยกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก
- 4) ขยะพลาสติกที่มีลักษณะเป็นแผ่นเมื่อถูกอากาศจะลอยขึ้นไปได้ง่าย แต่สำหรับขยะพลาสติกที่มีลักษณะเป็นเม็ดเมื่อถูกอากาศจะตกลงสู่ได้หอ จากการชนกัน
- 5) ขนาดของขยะพลาสติกนั้นไม่มีผลต่อการแยกขยะชุมชนที่ย่อยขนาด
- 6) เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิโดซ์เบดแบบสามวัฏภาคสามารถทำการแยกขยะพลาสติกออกจากขยะอินทรีย์ได้ โดยมีประสิทธิภาพการแยกที่ดีที่สุดคือ 0.87 ที่อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อนาที และอัตราไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ในการทดลองควรทำการทดลองอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากถ้าทิ้งไว้จะเกิดตะกอนบั้งมาตราบัวด์ของมิเตอร์วัดอัตราไหลของน้ำและอากาศ
- 2) ก่อนการทดลองทุกครั้งควรทำให้ขยะเปียกก่อน เพื่อที่ขยะอินทรีย์จะดูดซับน้ำและจะไม่ลอยขึ้นสู่อยอดหอ
- 3) ควรตรวจดูความสะอาดในถังน้ำทุกครั้งว่ามีผงขยะอยู่ในถังหรือไม่ มิเช่นนั้นขยะเหล่านั้นจะไปอุดตันที่ส่วนกรองน้ำและทำให้การสูบน้ำเข้าระบบเป็นไปอย่างไม่ถูกต้อง
- 4) ในส่วนของการส่งขยะในยอดหอขาออกไม่ควรใช้ความเร็วมอเตอร์ที่เร็วมาก เพราะใบพัดของตัวสกรูจะทำให้ขยะที่เป็นเม็ดแตกเป็นส่วนตัวเล็กและอาจเล็กจนสามารถผ่านรูระบายน้ำตกลงสู่ถังน้ำที่ใช้แล้วได้ เป็นผลทำให้เกิดเหตุการณ์ในข้อที่ 3
- 5) การทดลองนี้ใช้โลหะเป็นส่วนประกอบตัวสกรูพีดเดอร์ขาเข้าทำให้เมื่อใช้นานๆไปจะเกิดสนิมและเกิดการติดขัด ซึ่งจะไปทำให้มอเตอร์นั้นรับภาระการหมุนที่เพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นในการนำไปใช้จริงควรปรับตัวประกอบไม่ให้เป็นโลหะ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

พล สาเกทอง. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟลูอิดไธด์เบด. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไดเซชัน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. การดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นด้วยสารละลายกรดหรือด่างในฟลูอิดไดเซชันที่อยู่ในสามสถานะด้วยกัน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

ภาษาอังกฤษ

Beunder, E.M., Van Olst, K.A., and Rem, P.C. Shape separation on a rotating cone. Int. J. Miner. Process. 67 (2002): 145– 160.

Yoshida, M., Nakatsukasa, S., Nanba, M., Gotoh, K., Zushi, T., Kubo, Y., and Oshitani, J. Decrease of Cl contents in waste plastics using a gas–solid fluidized bed separator. Advanced Powder Technology 21 (2010): 69–74

Carvalho, M.T., Ferreira, C., Portela, A., and Santos, J.T. Application of fluidization to separate packaging waste plastics. Waste Management 29 (2009): 1138–1143.

Kinoshita, T., Okamoto, K., Yamaguchi, K., and Akita, S. Separation of plastic mixtures using liquid-fluidized bed technology. Chemosphere 63 (2006): 893-902.

Seikito, T., Tanaka, N., and Matsuto, T. Application of a gas–solid fluidized bed separator for shredded municipal bulky solid waste separation. Waste Management 26 (2006): 1422–1429.

Seikito, T., Tanaka, N., and Matsuto, T. Batch separation of shredded bulky waste by gas-solid fluidized bed at laboratory scale. Waste Management 26 (2006): 1246-1252.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาค่าร้อยละขององค์ประกอบของขยะพลาสติกในยอดหอ ตัวอย่างที่สภาวะ

- อัตราไหลของสารป้อนเท่ากับ 85 กรัมต่อนาที
- อัตราไหลของน้ำเท่ากับ 35 ลิตรต่อนาที
- อัตราไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลิตรต่อชั่วโมง

จากข้อมูลการทดลอง

ขยะอินทรีย์เท่ากับ 277.92 กรัม

ขยะพลาสติกเท่ากับ 22.08 กรัม

water flowrate	35.00 l/min
airflowrate	20.00 L/h
time	10.00 min
feed rate	85.00 g/min
overflow	
Plastic waste	21.81 g
Organic waste	30.88 g
underflow	
Plastic waste	0.27 g
Organic waste	247.04 g

วิธีการคำนวณ

จำนวนขยะในยอดหอเท่ากับ $21.81 + 30.88 = 52.69$ กรัม มีขยะพลาสติกเท่ากับ 21.81 กรัม

ถ้าจำนวนขยะในยอดหอเท่ากับ 100 กรัม

จะมีขยะพลาสติกในยอดหอเท่ากับ $21.81 \times 100 \times (1/52.69) = 41.39$ กรัม

เพราะฉะนั้นที่สภาวะนี้ มีร้อยละองค์ประกอบของพลาสติกในยอดหอเท่ากับ 41.39

2. การคำนวณหาประสิทธิภาพการแยก

จากสมการประสิทธิภาพการแยก

$$e = \frac{R_c}{F_c} - \frac{R_i}{F_i}$$

โดยที่

R_c = มวลขององค์ประกอบที่สนใจในส่วนที่เก็บได้ (กรัม)

R_i = มวลขององค์ประกอบที่ไม่สนใจในส่วนที่เก็บได้ (กรัม)

F_c = มวลขององค์ประกอบที่สนใจในสารป้อนเริ่มแรก (กรัม)

F_i = มวลขององค์ประกอบที่ไม่สนใจในสารป้อนเริ่มแรก (กรัม)

จากข้อมูลในข้อที่ 1

$R_c = 21.81$; $R_i = 30.88$; $F_c = 22.08$; $F_i = 277.92$

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพการแยก(e) เท่ากับ 0.87

3. การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน

หอตกลงทำด้วยอะครีลิคใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 15 ซม. บรรจุด้วยขยะอินทรีย์ขนาด 0.5 มม. และความหนาแน่นของขยะอินทรีย์เมื่อเปียกเท่ากับ 1.67 กรัม/ลบ.ซม. ขยะอินทรีย์ถูกฟลูอิดไคซ์ด้วยน้ำอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสมีความหนืด 0.862 เซ็นติพอยส์ จงคำนวณหาค่าต่ำสุดของฟลูอิดเซชัน

วิธีทำ

$$U_{mf} = \frac{688D_p^{1.82}(\rho_s - \rho_f)^{0.94}}{\mu^{0.88}}$$

$$D_p = 0.5 \text{ มม.} = 0.02 \text{ นิ้ว}$$

$$D_p^{1.82} = 0.00081$$

$$\mu = 0.862 \text{ เซ็นติพอยส์}$$

$$\mu^{0.88} = 0.877$$

$$\rho_s = 1.67 \text{ กรัม/ลบ.ซม.} = 104.11 \text{ ปอนด์/ฟุต}$$

$$(\rho_s - \rho_f)^{0.94} = (104.11 - 62.4)^{0.94} = 33.35$$

เพราะฉะนั้น $U_{mf} = (688 \times 0.00081 \times 33.35) / 0.877$

$$U_{mf} = 21.19 \text{ ฟุต/ชม.}$$

$$U_{mf} = 6.46 \text{ ม./ชม.}$$

$$U_{mf} = 0.11 \text{ ม./นาที}$$

ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการทดลอง

1. การศึกษาผลของอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของน้ำ 15, 20, 25 และ 30 ลิตรต่อนาที)

water flowrate =	15.00 l/min	water flowrate =	25.00 l/min
airflowrate =	0.00	airflowrate =	0.00
time =	10.00 min	time =	10.00 min
overflow		overflow	
PC =	107.30 g	PC =	126.40 g
PA =	5.10 g	PA =	14.40 g
underflow		underflow	
PC =	22.70 g	PC =	3.60 g
PA =	124.90 g	PA =	115.60 g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	
time =	10.00	min
overflow		
PC =	119.30	g
PA =	6.10	g
underflow		
PC =	10.70	g
PA =	123.90	g

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	0.00	
time =	10.00	min
overflow		
PC =	126.90	g
PA =	30.15	g
underflow		
PC =	3.10	g
PA =	99.85	g

2. การศึกษาผลของอัตราไหลของอากาศ (อัตราไหลของอากาศ 0, 50 และ 100 ลิตรต่อชั่วโมง)

water flowrate =	15.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	107.30	g
PA =	5.10	g
underflow		
PC =	22.70	g
PA =	124.90	g

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	119.30	g
PA =	6.10	g
underflow		
PC =	10.70	g
PA =	123.90	g

water flowrate =	25.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	126.40	g
PA =	14.40	g
underflow		
PC =	3.60	g
PA =	115.60	g

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	126.90	g
PA =	30.15	g
underflow		
PC =	3.10	g
PA =	99.85	g

water flowrate =	15.00	l/min
airflowrate =	50.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	81.00	g
PA =	37.20	g
underflow		
PC =	49.00	g
PA =	92.80	g

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	50.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	97.80	g
PA =	38.00	g
underflow		
PC =	32.20	g
PA =	93.70	g

water flowrate =	25.00	l/min
airflowrate =	50.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	105.10	g
PA =	63.40	g
underflow		
PC =	24.90	g
PA =	66.60	g

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	50.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	110.90	g
PA =	71.00	g
underflow		
PC =	3.10	g
PA =	99.85	g

water flowrate =	15.00	l/min
airflowrate =	100.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	69.40	g
PA =	25.00	g
underflow		
PC =	60.60	g
PA =	105.00	g

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	100.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	95.60	g
PA =	33.30	g
underflow		
PC =	34.40	g
PA =	96.70	g

water flowrate =	25.00	l/min
airflowrate =	100.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	95.80	g
PA =	57.70	g
underflow		
PC =	34.20	g
PA =	72.30	g

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	100.00	L/h
time =	10.00	min
overflow		
PC =	98.70	g
PA =	63.40	g
underflow		
PC =	3.10	g
PA =	99.85	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การศึกษาผลของอัตราไหลของสารป้อน (อัตราไหลของสารป้อน 52, 88, 130 และ 260 กรัมต่อนาที)

water flowrate =	20.00	l/min	water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h	airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min	time =	10.00	min
feed rate	52.00	g/min	feed rate	88.00	g/min
overflow			overflow		
PC =	119.30	g	PC =	102.21	g
PA =	6.10	g	PA =	8.51	g
underflow			underflow		
PC =	10.70	g	PC =	27.79	g
PA =	123.90	g	PA =	121.49	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	130.00	g/min
overflow		
PC =	84.22	g
PA =	10.80	g
underflow		
PC =	45.78	g
PA =	119.20	g

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	260.00	g/min
overflow		
PC =	62.93	g
PA =	8.55	g
underflow		
PC =	67.07	g
PA =	121.45	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

water flowrate =	25.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	52.00	g/min
overflow		
PC =	126.40	g
PA =	14.40	g
underflow		
PC =	3.60	g
PA =	115.60	g

water flowrate =	25.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	88.00	g/min
overflow		
PC =	107.65	g
PA =	13.20	g
underflow		
PC =	22.35	g
PA =	116.80	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

water flowrate =	25.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	130.00	g/min
overflow		
PC =	100.11	g
PA =	15.70	g
underflow		
PC =	29.89	g
PA =	114.30	g

water flowrate =	25.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	260.00	g/min
overflow		
PC =	99.87	g
PA =	15.83	g
underflow		
PC =	30.13	g
PA =	114.17	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ผลของอัตราไหลของสารป้อน (อัตราไหลของสารป้อน 60, 85, 100 และ 200 กรัมต่อนาที)

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	60.00	g/min
overflow		
plastic =	20.41	g
organic =	37.79	g
underflow		
plastic =	1.67	g
organic =	240.13	g

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	17.14	g
organic =	37.61	g
underflow		
plastic =	4.94	g
organic =	240.31	g

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	100.00	g/min
overflow		
plastic =	15.74	g
organic =	37.49	g
underflow		
plastic =	6.34	g
organic =	240.43	g

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	200.00	g/min
overflow		
plastic =	14.13	g
organic =	37.41	g
underflow		
plastic =	7.95	g
organic =	245.82	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การศึกษาผลของอัตราไหลของน้ำ (อัตราไหลของน้ำ 20, 25, 30, 35 และ 40 ลิตรต่อนาที)

water flowrate =	20.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	17.14	g
organic =	37.61	g
underflow		
plastic =	4.94	g
organic =	240.31	g

water flowrate =	25.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	17.53	g
organic =	36.10	g
underflow		
plastic =	4.55	g
organic =	241.82	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	17.65	g
organic =	37.47	g
underflow		
plastic =	4.43	g
organic =	240.45	g

water flowrate =	35.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	17.73	g
organic =	35.88	g
underflow		
plastic =	4.35	g
organic =	242.04	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

water flowrate =	40.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	17.99	g
organic =	35.53	g
underflow		
plastic =	4.09	g
organic =	242.39	g



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ผลของอัตราไหลของอากาศ (อัตราไหลของอากาศ 0, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อชั่วโมง)

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	17.65	g
organic =	37.47	g
underflow		
plastic =	4.43	g
organic =	240.45	g

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	10.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	18.56	g
organic =	37.36	g
underflow		
plastic =	3.52	g
organic =	240.56	g

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	15.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	18.64	g
organic =	36.29	g
underflow		
plastic =	3.34	g
organic =	241.63	g

water flowrate =	30.00	l/min
airflowrate =	20.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	19.27	g
organic =	33.45	g
underflow		
plastic =	2.81	g
organic =	244.47	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

water flowrate =	35.00	l/min
airflowrate =	0.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	17.73	g
organic =	35.88	g
underflow		
plastic =	4.35	g
organic =	242.04	g

water flowrate =	35.00	l/min
airflowrate =	10.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	20.61	g
organic =	32.60	g
underflow		
plastic =	1.47	g
organic =	255.32	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

water flowrate =	35.00	l/min
airflowrate =	15.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	21.08	g
organic =	30.60	g
underflow		
plastic =	1.00	g
organic =	247.32	g

water flowrate =	35.00	l/min
airflowrate =	20.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate	85.00	g/min
overflow		
plastic =	21.81	g
organic =	30.88	g
underflow		
plastic =	0.27	g
organic =	247.04	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. ผลของขนาดขยะพลาสติก (ขนาดของขยะพลาสติกรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีพื้นที่เท่ากับ 1x3 และ 1x5 ตารางเซนติเมตร)

water flowrate =	35.00	l/min
airflowrate =	20.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate =	85.00	g/min
size =	3.00	cm ²
overflow		
plastic =	21.90	g
organic =	30.79	g
underflow		
plastic =	0.18	g
organic =	247.13	g

water flowrate =	35.00	l/min
airflowrate =	20.00	L/h
time =	10.00	min
feed rate =	85.00	g/min
size =	5.00	cm ²
overflow		
plastic =	21.61	g
organic =	30.95	g
underflow		
plastic =	0.27	g
organic =	247.04	g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

รูปภาพขยะพลาสติกและขยะอินทรีย์

1. รูปภาพขยะพลาสติก



PVC
(polyvinyl chloride)



NBS
(N-Bromosuccinimide)



PC+GF
(PC + gypsum fiber)



HVO



PA
(polyamide)



ABSVO
(acrylonitrile-butadiene-styrene)

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



PC
(polycarbonate)



POM
(polyoxymethylene)



HiPS
(polystyrene)



PET
(Polyethylene terephthalate)



Papers

2. รูปภาพขยะอินทรีย์



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายदनยวิทย์ ประทีปวัฒนาสถิต เกิดวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2552



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย