

การแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความ
หนาแน่นต่ำโดยเทคนิคการลอยแยก



นายรัตนชัย พงศ์ศิริประภา

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

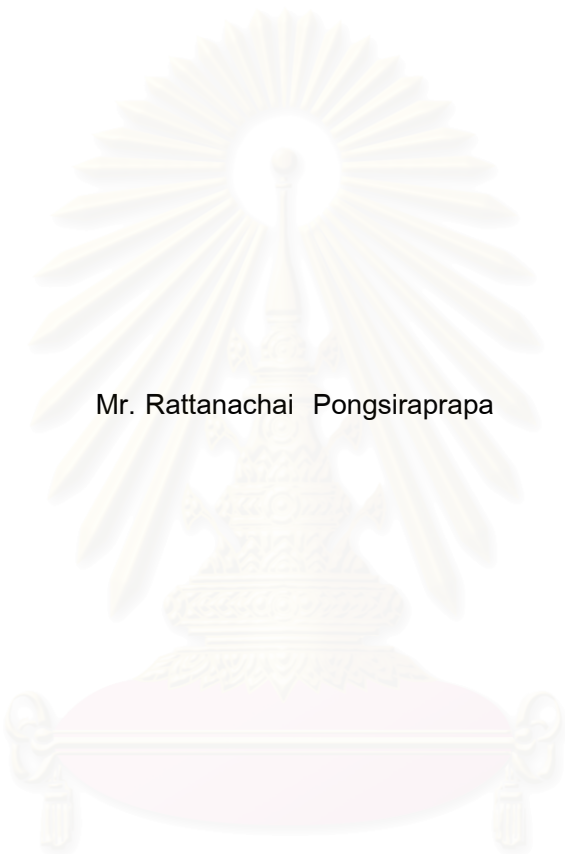
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF PLASTIC PELLET MIXTURE CONTAINING POLYPROPYLENE,
HIGH-DENSITY POLYETHYLENE AND LOW-DENSITY POLYETHYLENE BY FROTH
FLOTATION TECHNIQUE



Mr. Rattanachai Pongsiraprapa

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน โพลีเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
โดยเทคนิคการลอยแยก

โดย

นายรัตนชัย พงศ์ศิริประภา

สาขาวิชา

วิศวกรรมทรัพยากรธรณี


อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณะเดช


อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย

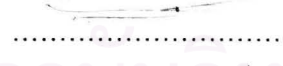
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

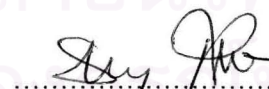

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิญโญ มีชานะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรณะเดช)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร พุ่มจันทร์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.จิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

รัตนชัย พงศ์ศิริประภา : การแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลิโพรไพลีน โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยเทคนิคการลอยแยก. (SEPARATION OF PLASTIC PELLET MIXTURE CONTAINING POLYPROPYLENE, HIGH DENSITY POLYETHYLENE, AND LOW-DENSITY POLYETHYLENE BY FROTH FLOTATION TECHNIQUE) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ดาวัลย์ วิวรรณระเดช, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย 72 หน้า.

เม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลิโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งมีสมบัติพื้นผิวประเภทไม่ชอบน้ำหรือไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic Surface) และเบา กว่าน้ำ (ความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ) เมื่อนำมาใส่ในเซลล์ลอยแอร์ที่มีน้ำบรรจุอยู่ จะพบว่าเม็ดพลาสติกลอยเหนือน้ำ ทั้งสามชนิด จากหลักการลอยแยกวัสดุโดยอาศัยความแตกต่างด้านสมบัติพื้นผิวพบว่า หากสามารถคัดเลือกสารปรับสภาพผิวที่มีความสามารถในการปรับสภาพผิววัสดุผสมแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน หรือเลือกปรับสภาพผิวเฉพาะวัสดุใด วัสดุหนึ่ง เราจะสามารถลอยแยกวัสดุผสมออกจากกันได้ด้วยเทคโนโลยีการลอยแยก

สำหรับกรณีเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง PP, HDPE และ LDPE จากการศึกษาพบว่าโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ซึ่งมีสมบัติพื้นผิวประเภทชอบน้ำหรือไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic Surface) มีความสามารถในการเคลือบผิวเม็ดพลาสติกแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน กล่าวคือ สามารถเคลือบผิว HDPE ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลแบบสายโซ่ตรงได้ดีที่สุด รองลงมาคือ LDPE และ PP ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก LDPE มีโครงสร้างโมเลกุลแบบกิ่งก้าน จะต้องใช้สายโซ่ PVA เคลือบผิวทั้งสายโซ่หลักและกิ่งก้าน จึงต้องใช้ PVA ในการปรับสภาพผิวมากกว่ากรณี HDPE ส่วนกรณี PP ซึ่งมีกลุ่มฟังก์ชันเมทิล (Methyl Functional Group) กระจายอยู่ตลอดสายโซ่ เป็นอุปสรรคกีดขวางการเข้าเคลือบผิวของสายโซ่ PVA ประสิทธิภาพการปรับสภาพผิวจึงต่ำสุด แม้จะเพิ่มปริมาณ PVA มากถึง 48 กิโลกรัมต่อตันพลาสติกป้อนเข้า ความสามารถในการลอยตัวของ PP ลดลงเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ ยังคงลอยตัวได้มากกว่า 50% ฉะนั้นหากสามารถเลือกหาสภาวะตัวแปรที่เหมาะสม น่าจะลอยแยกพลาสติกทั้งสามชนิดออกจากกันได้ โดยใช้ PVA เป็นสารปรับสภาพผิว

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อประสิทธิภาพการลอยแยกพลาสติกผสมพบว่า เวลาการปรับสภาพผิวที่เหมาะสมที่สุด คือ 10 นาที ความเร็วรอบใบพัดที่เหมาะสม คือ 1,300 รอบต่อนาที ส่วนปริมาณสารปรับสภาพผิวที่เหมาะสม คือ 24 กิโลกรัมต่อตันพลาสติกป้อนเข้า สำหรับการแยก HDPE ออกจากของผสม และ 32 กิโลกรัมต่อตันพลาสติกป้อนเข้า สำหรับการแยก LDPE ออกจากของผสม โดยที่ความเข้มข้นพลาสติกสูงสุดไม่ควรเกิน 3% ดังนั้นจึงควรดำเนินการลอยแยกพลาสติกผสม 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกใช้ PVA 24 กิโลกรัมต่อตันพลาสติกป้อนเข้า เพื่อแยก HDPE ออกจากของผสมก่อน แล้วจึงปรับความเข้มข้น PVA เป็น 32 กิโลกรัมต่อตันพลาสติกป้อนเข้า เพื่อแยก LDPE ออกจาก PP ก็จะสามารถแยกเม็ดพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันด้วยประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนประมาณ 90% โดยที่เม็ดพลาสติกที่แยกได้มีความบริสุทธิ์ประมาณ 90% เช่นกัน ซึ่งเป็นค่าความบริสุทธิ์ที่ยอมรับได้ในอุตสาหกรรมพลาสติกรีไซเคิล

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา 2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4770423021: MAJOR MINING AND PETROLEUM ENGINEERING


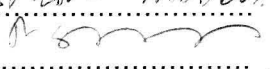
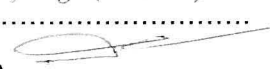
KEY WORD: PLASTICS SEPARATION/ FROTH FLOTATION TECHNIQUE

RATTANACHAI PONGSIRAPRAPA : SEPARATION OF PLASTIC PELLET MIXTURE CONTAINING POLYPROPYLENE, HIGH-DENSITY POLYETHYLENE AND LOW-DENSITY POLYETHYLENE BY FROTH FLOTATION TECHNIQUE.
 THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.DAWAN WIWATTANADATE, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASST.PROF.SOMSAK SAISINCHAI, 72 pp.

Mixture of Polypropylene (PP), High Density Polyethylene (HDPE) และ Low Density Polyethylene (LDPE), which are all hydrophobic plastics and lower specific gravity than water, was found to be floating in a flotation cell filled with water. According to principles of materials flotation, it is suggested that specific surface treating agent would bring to different floatability of each material in the mixture; hence, specific material can be separated from the mixture.

In case of the mixture of PP, HDPE and LDPE, the study found that a hydrophilic polyvinyl alcohol (PVA) can be used as a surface treating agent to increase different hydrophilicity of each plastic. It was found that the PVA can increase hydrophilicity of a straight chain HDPE better than LDPE and PP, respectively. In case of a branch chain LDPE, it will require more PVA to increase its hydrophilicity than the case of HDPE because it requires PVA to coat its branch as well. In case of the PP having methyl functional groups as a barrier for PVA penetration; hence, limited increasing hydrophilicity of the PP. Though adding PVA as much as 48 kg per ton plastic feed, more than 50% of the PP was still floating. Therefore, it is expected that each plastic can be separated from the mixture by froth flotation technology using PVA as a surface treating agent if operation at the optimum condition.

The study of factors influence on separation efficiency of the plastic mixture found that appropriate condition for the plastic separation should be 3% solid, 10 minutes conditioning time, and 1,300 rpm stirring rate. It was also found that appropriate PVA concentration should be 24 kg per ton plastic feed for HDPE-PP separation, and 32 kg per ton plastic feed for HDPE-PP separation respectively. Therefore, the separation process is suggested to be 2 steps, starting with PVA 24 kg per ton plastic feed to separate HDPE from the mixture, and then adjusting the PVA condition to be 32 kg per ton plastic feed to separate LDPE from the PP. Upon these conditions, each plastic can be separated from the mixture with approximate 90% recovery and also 90% plastic purity, which is acceptable in the plastic recycle industry.

Department Mining and Petroleum Engineering.....Student's signature.....
 Field of study Georesources Engineering.....Advisor's signature.....
 Academic year 2006.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิ
วรรณเดชะ ที่กรุณาสละเวลาในการให้คำปรึกษา คำแนะนำแนวทางการทำวิจัย ตรวจสอบแก้ไข
เนื้อหาและสำนวนภาษาด้วยความเอาใจใส่ และข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่ดียิ่งตลอด
มาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ
ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร.สุนทร พุ่มจันทร์ กรรมการ และอาจารย์ ดร.จิตติศักดิ์ บุญ
ปราโมทย์ กรรมการ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบพระคุณพี่ ระวิน อยู่ใจ ที่เสียสละเวลาในการควบคุมดูแลการทำวิจัย ทั้ง
ในวันธรรมดาและวันหยุด การสรรหาอุปกรณ์เครื่องมือมาดัดแปลงแก้ไขซ่อมแซม และช่วยทำ
ความสะอาดล้างเครื่องมื้อุปกรณ์ในการทดลองอย่างยากลำบาก และขอขอบพระคุณบุคลากร
ในสาขาวิศวกรรมทรัพยากรธรณีและปิโตรเลียมทุกท่านที่อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำที่ดี
ผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้องๆ ทุกคนที่มีส่วนร่วมในการทำงานวิจัยครั้ง
นี้และขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่ๆและน้องสาว ผู้ให้
ความสำคัญการศึกษา คอยสนับสนุนและอยู่เบื้องหลังความสำเร็จของผู้วิจัยเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 พลาสติก.....	4
2.2 โพลีเอทิลีน.....	7
2.2.1 สมบัติทางกายภาพ.....	8
2.2.2 สมบัติทางเคมี.....	8
2.2.3 สมบัติทางไฟฟ้า.....	8
2.3 โพลีพรพีลีน.....	10
2.4 เทคโนโลยีการตัดแยกวัสดุ.....	13
2.4.1 กระบวนการตัดแยกโดยไฟฟ้า.....	14
2.4.2 กระบวนการตัดแยกโดยอากาศ.....	15
2.4.3 กระบวนการตัดแยกโดยไฮโดรไซโคลน.....	15
2.4.4 กระบวนการตัดแยกโดยจี้ก.....	16
2.4.5 กระบวนการตัดแยกโดยการจมและลอย.....	17
2.4.6 กระบวนการตัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ.....	18
2.5 กระบวนการตัดแยกวัสดุโดยการลอยแยก.....	20
2.6 ระบบการลอยอนุภาค.....	21
2.6.1 บัจจัยทางเคมี.....	22
2.6.2 บัจจัยทางการปฏิบัติงาน.....	23
2.6.3 บัจจัยทางอุปกรณ์เครื่องมือ.....	23
2.6.4 บัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการลอยอนุภาค.....	24

บทที่	ช หน้า
2.7 เครื่องลดยอนุภาคแร่.....	25
2.7.1 ประเภทของเครื่องลดยแร่.....	27
2.8 สารเคมีที่ใช้ในการลดยพลาสติก.....	28
2.8.1 สารเคลือบผิว.....	28
2.8.2 สารเคลือบฟอง.....	32
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	36
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.3 วิธีการดำเนินการทดลองและขั้นตอนการทดลอง.....	37
3.3.1 การเก็บตัวอย่างเม็ดพลาสติก.....	37
3.3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดยแยกเม็ดพลาสติกผสมเมื่อใช้.....	39
น้ำมันสนและไม่ใช้น้ำมันสน	
3.3.3 ศึกษาอิทธิพลของเวลาการกวน (conditioning time) ที่มีต่อ.....	39
ประสิทธิภาพการลดยแยกเม็ดพลาสติกผสมกับเวลาในการกวน	
3.3.4 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารปรับสภาพผิวและ.....	40
ความเร็วรอบที่มีต่อประสิทธิภาพการลดยแยกเม็ดพลาสติกผสม	
3.3.5 ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของแข็งต่อของเหลว.....	41
(หรือความเข้มข้นของเม็ดพลาสติกผสม) ที่มีต่อประสิทธิภาพ	
การลดยแยกเม็ดพลาสติกผสม	
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	43
4.1 อิทธิพลของน้ำมันสนที่มีต่อประสิทธิภาพการลดยแยกเม็ดพลาสติกผสม.....	43
4.2 อิทธิพลของสารปรับสภาพผิวที่มีต่อความสามารถในการลดยตัว.....	44
ของเม็ดพลาสติก	
4.3 อิทธิพลของเวลาการปรับสภาพผิว (Condition time).....	46
ที่มีต่อความสามารถในการลดยตัวของเม็ดพลาสติก	
4.4 อิทธิพลของความเร็วรอบใบพัดและ/หรือปริมาณสารปรับสภาพผิว.....	48
ที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง PP กับ HDPE	
4.5 อิทธิพลของความเร็วรอบใบพัดและ/หรือปริมาณสารปรับสภาพผิว.....	51
ที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง PP กับ LDPE	
4.6 อิทธิพลของความเร็วรอบใบพัดและ/หรือปริมาณสารปรับสภาพผิว.....	54
ที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE	
4.7 อิทธิพลของความเข้มข้นพลาสติกผสม (สัดส่วนของแข็งต่อของเหลว).....	57
ที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกระหว่าง PP, HDPE และ LDPE	

บทที่	ณ หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	59
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองขยายผล.....	61
รายการอ้างอิง.....	65
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก.....	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	72



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2-1 ประเภทพลาสติกชนิดต่างๆ.....	5
ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบสมบัติของโพลีโพรไพลีน (PP) และโพลีเอทิลีน.....	12
ชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	
ตารางที่ 2-3 ความสามารถในการคัดแยกแต่ละกระบวนการ.....	19
ตารางที่ 2-4 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อระบบการลอยอนุภาค.....	25
ตารางที่ 2-5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารเคลือบฟอง.....	33
ตารางที่ 4-1 แสดงผลเปรียบเทียบความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติก.....	49
ตารางที่ 4-2 แสดงผลเปรียบเทียบความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติก.....	52
ตารางที่ 4-3 แสดงผลเปรียบเทียบความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติก.....	55
ตารางที่ 4-4 แสดงผลเปรียบเทียบความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติก.....	57



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1-1 เม็ดพลาสติกผสมที่เกิดจากเศษเหลือทิ้งในโรงงาน.....	2
ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเอทิลีน.....	8
ภาพที่ 2-2 โครงสร้างทางเคมีของโพลีโพรพิลีน.....	10
ภาพที่ 2-3 เครื่องคัดแยกแบบไฟฟ้า.....	14
ภาพที่ 2-4 เครื่องคัดแยกแบบอากาศ.....	15
ภาพที่ 2-5 เครื่องคัดแยกแบบไฮโดรไซโคลน.....	16
ภาพที่ 2-6 เครื่องคัดแยกแบบจี้ก.....	16
ภาพที่ 2-7 เครื่องคัดแยกแบบจมและลอย.....	17
ภาพที่ 2-8 เครื่องคัดแยกด้วยฟองอากาศ.....	18
ภาพที่ 2-9 หลักการลอยอนุภาคแร่.....	21
ภาพที่ 2-10 รูปร่างของเซลล์และใบพัดกวน.....	26
ภาพที่ 2-11 เครื่องลอยแร่แบบกลไก.....	27
ภาพที่ 2-12 เครื่องลอยแร่แบบแรงดันอากาศ.....	28
ภาพที่ 2-13 โครงสร้างทางเคมีของสารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์.....	29
ภาพที่ 2-14 ความหนาแน่นของพลาสติกต่างๆ.....	29
ภาพที่ 2-15 กลไกการปรับสภาพผิวของพลาสติก.....	30
ภาพที่ 2-16 ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่น้อยเกินไป.....	31
ภาพที่ 2-17 ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่พอดี.....	31
ภาพที่ 2-18 ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่มากเกินไป.....	32
ภาพที่ 2-19 การจับกันของฟองอากาศกับผิวพลาสติก.....	33
ภาพที่ 3-1 เครื่องลอยแร่ ยี่ห้อ DENVER Model B755-SER.....	36
ภาพที่ 3-2 เครื่องสูมตัวอย่างโจนส์รีเฟิล.....	37
ภาพที่ 3-3 เม็ดพลาสติกผสมที่ตกหล่นบริเวณพื้นโรงงาน.....	38
ภาพที่ 3-4 ตัวอย่างเม็ดพลาสติกแต่ละชนิด.....	38
ภาพที่ 3-3 แผนผังการทดลอง.....	42
ภาพที่ 4-1 อิทธิพลของน้ำมันสนที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม.....	44
ภาพที่ 4-2 อิทธิพลของสารปรับสภาพผิวที่มีต่อความสามารถในการลอยตัว.....	45
ของเม็ดพลาสติกผสม	
ภาพที่ 4-3 เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิวกับความสามารถในการลอยตัวของ.....	46
เม็ดพลาสติก	

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 4-4 เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิวกับความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก	47
ภาพที่ 4-5 เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิวกับความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก	47
ภาพที่ 4-6 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีนและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแปรผันกับความเร็รรอบต่างๆที่ปริมาณสารปรับสภาพผิว 24 kg/ton feed	48
ภาพที่ 4-7 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีนและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแปรผันปริมาณของสารปรับสภาพผิว ที่ความเร็รรอบ 1300 rpm	50
ภาพที่ 4-8 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีนและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแปรผันปริมาณของสารปรับสภาพผิวที่ความเร็รรอบ 1500 rpm	50
ภาพที่ 4-9 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีนและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับความเร็รรอบต่างๆที่ปริมาณสารปรับสภาพผิว 32 kg/ton feed	51
ภาพที่ 4-10 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีนและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับปริมาณ PVA ที่ 1300 rpm	53
ภาพที่ 4-11 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีนและโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับปริมาณ PVA ที่ 1500 rpm	53
ภาพที่ 4-12 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับความเร็รรอบต่างๆที่ปริมาณสารปรับสภาพผิว 28 kg/ton feed	54
ภาพที่ 4-13 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับปริมาณ PVA ที่ 1300 rpm	56
ภาพที่ 4-14 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับปริมาณ PVA ที่ 1500 rpm	56
ภาพที่ 4-15 ประสิทธิภาพการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีนโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับความเข้มข้นของส่วนผสม	58

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 4-16 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลิโพรไพลีน.....	58
โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	
แปรผันกับความเข้มข้นของส่วนผสม	
ภาพที่ 5-1 แผนผังการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมโดยวิธีการลอยแยก.....	60
ภาพที่ 5-2 ลักษณะใบพัดในเครื่องลอยแร่แบบแนวนอน.....	61
ภาพที่ 5-3 ลักษณะใบพัดในเครื่องลอยแร่แบบแนวตั้ง.....	62
ภาพที่ 5-4 แผนผังเครื่องแยกแร่ระดับโรงประลองแร่.....	63
ภาพที่ 5-5 แผนผังเครื่องแยกแร่ระดับโรงประลองแร่ที่ลดจำนวนเซลล์ลง.....	64



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศไทยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา ทนต่อการกัดกร่อน และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ หลากหลายขนาด แม้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนก็สามารถขึ้นรูปได้ด้วยเทคโนโลยีการอัดขึ้นรูปหรือฉีดขึ้นรูป และที่สำคัญพลาสติกส่วนใหญ่สามารถรีไซเคิลหรือแปรรูปใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี จึงสามารถปรับสูตรโครงสร้างและองค์ประกอบให้มีสมบัติตามที่ต้องการได้ พลาสติกจึงเป็นวัสดุที่มีความนิยมสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้อุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก มีเศษเหลือทิ้งพลาสติกเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ หากไม่นำกลับมาหลอมใช้ใหม่ ก็จะเป็นการเพิ่มต้นทุนสิ้นเปลืองทรัพยากรและเป็นภาระต่อการจัดการขยะ

การบริโภคเม็ดพลาสติกในประเทศไทยนั้น มีปริมาณ 2 ล้านตันต่อปี ประเภทเม็ดพลาสติกที่ใช้ในประเทศไทยแบ่งเป็น โพลีเอทิลีน (PE) 41%, โพลีโพรไพลีน (PP) 24%, โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) 20%, โพลิสไตรีน (PS) 8% และอื่นๆ 7% ส่งผลให้เศษพลาสติกเหลือทิ้งทั้งพลาสติกใช้แล้ว และเศษเม็ดพลาสติกที่ตกหล่นบริเวณพื้นโรงงานมีปะปนกันหลายชนิด

การนำพลาสติกกลับมาหลอมใช้ใหม่จะต้องเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน หากเป็นของผสมคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่หลอมใช้ใหม่หรือผลิตภัณฑ์รีไซเคิลจะมีคุณภาพด้อยกว่าเดิมมาก ขณะที่ของเสียหรือเศษเหลือทิ้งพลาสติกบริเวณพื้นโรงงานพลาสติก มักประกอบด้วยเม็ดพลาสติกผสมกันหลายชนิด (ดังภาพที่ 1-1) หากจะนำกลับมาหลอมใช้ใหม่จะต้องคัดแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันก่อน



ภาพที่ 1-1 เม็ดพลาสติกผสมที่เกิดจากเศษเหลือทิ้งในโรงงาน

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเทคโนโลยีการแยกวัสดุที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานนั้น พิจารณาถึงปัจจัยหลายประการ เช่น ปัญหาที่เกิดขึ้น รูปแบบที่สามารถใช้งานได้จริง ความสะดวกรวดเร็ว และประสิทธิภาพในการคัดแยก โดยเฉพาะเทคโนโลยีการลอยแยกแร่ (Froth Flotation) มาประยุกต์ใช้ในการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง โพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์นำไปหลอมขึ้นรูปใหม่ ซึ่งจะ เป็นแนวทางสำหรับคัดแยกขยะพลาสติกในอุตสาหกรรมรีไซเคิลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาแนวทางการคัดแยกเม็ดพลาสติกประเภท โพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยวิธีการลอยแยกแร่ (Froth Flotation)
2. ศึกษาอิทธิพลของ ปริมาณของน้ำยาเคมี ความเร็วรอบของใบพัด และ ปริมาณความเข้มข้นของของผสม ที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติก โดยวิธีการลอยแยกแร่ (Froth Flotation)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาแนวทางการตัดแยกเม็ดพลาสติกประเภท โพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยวิธีการลอยแยกแร่ (Froth Flotation) ในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-Scale)
2. นำผลจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-Scale) เพื่อหาแนวทางการขยายผลต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแนวทางการตัดแยกเศษเหลือทิ้งพลาสติกที่มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการลอยแยกแร่ (Froth flotation)
2. เป็นแนวทางสำหรับไปประยุกต์ใช้เพื่อการตัดแยกขยะพลาสติกในอุตสาหกรรมพลาสติกรีไซเคิล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก (Plastics)

พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ประเภทหนึ่งที่มีส่วนใหญ่นำมาจากการสังเคราะห์ขึ้น (Synthetic polymer) แต่ก็มีพลาสติกที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติเช่นกัน พลาสติกสังเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พลาสติกชนิดหลอมใหม่ได้ (Thermoplastic) และพลาสติกชนิดที่หลอมใหม่ไม่ได้ (Thermosetting Plastic)








1. พลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Plastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืด จึงสามารถนำมาหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้ แต่พลาสติกชนิดนี้มีข้อจำกัดในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆ อาจเสียรูปทรงขณะใช้งานได้ ตัวอย่างพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ โพลีเอทิลีน (PE) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลิสไตรีน (PS) และ โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นต้น

2. พลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Plastic) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างพอลิเมอร์แบบร่างแห ไม่สามารถอ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน จึงไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ ตัวอย่างพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ อีพ็อกซี เรซิน (Epoxy resin) เมลามีน (Melamine)

พลาสติกเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันโดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ เพราะมีราคาถูก น้ำหนักเบา ทนความชื้นได้ดี ไม่เป็นสนิม ทำให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่ายกว่าโลหะหรือวัสดุประเภทอื่น เป็นฉนวนไฟฟ้า มีทั้งชนิดโปร่งแสงและมีสีสวยงาม อย่างไรก็ตามพลาสติกมีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ไม่แข็งแรงเท่าโลหะ ไม่ทนความร้อน มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเซรามิก และโลหะ ติดไฟง่ายและไม่อาจคงรูปร่างได้

เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวและความหนาแน่นต่างกัน จึงนิยมใช้สัญลักษณ์กำหนดประเภทพลาสติกชนิดต่างๆ เพื่อช่วยในการคัดแยกพลาสติกในกระบวนการรีไซเคิล โดยทั่วไปนิยมจำแนกชนิดพลาสติกออกเป็น 7 กลุ่ม (ดังตารางที่ 2-1)

ตารางที่ 2-1 ประเภทพลาสติกชนิดต่างๆ

ชื่อพลาสติก	อักษรย่อ	สัญลักษณ์	ความหนาแน่น (g/cm ³)	จุดหลอมเหลว (C)
โพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลท	PET		1.35-1.40	240-260
โพลีเอทิลีนชนิด ความหนาแน่น สูง	HDPE		0.92-0.96	130
โพลีไวนิลคลอ ไรด์	PVC		1.35-1.40	70-90
โพลีเอทิลีนชนิด ความหนาแน่น ต่ำ	LDPE		0.92-0.94	110
โพลีโพรไพลีน	PP		0.90-0.91	160-170
โพลีสไตรีน	PS		0.90-0.91	70-115
อื่นๆ	-		-	-

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากพลาสติกแต่ละประเภท

1. โพลีเอทิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE)

- ขวดยา อาหาร และแชมพู
- ถังน้ำมัน ถังสำหรับใส่สารเคมี
- ท่อพลาสติก และข้อต่อ
- ฉนวนสายไฟหรือเคเบิล
- ท่อก๊าซและน้ำสำหรับครัวเรือน
- ถุงพลาสติก
- ถุงร้อน
- เชือก ตาข่าย กบดัก

2. โพลีเอทิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

- ถุงพลาสติกสำหรับอาหารแช่แข็ง
- เครื่องครัว
- ถุงพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรม
- ถุงพลาสติกกึ่งแข็งกึ่งอ่อน ถุงร้อนและถุงเย็น
- ดอกไม้พลาสติก
- แผ่นพลาสติกสำหรับทำอ่างน้ำ
- หลอดยาสีฟัน

3. โพลีโพรพิลีน (PP)

- ของเล่น
- พรม
- ถุงเสื้อผ้า
- เครื่องครัว
- ถุงปู้ย
- หลอดดูด
- ฉนวนสายไฟหรือเคเบิล
- แบตเตอรี่

4. โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)

- ท่อ ท่อสายยาง ข้อต่อ
- ขวดน้ำมันผัก
- ท่อสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเคมี
- ฉนวนไฟฟ้า
- แผ่นพลาสติกสำหรับทำอ่างน้ำ

- หนังสือกระดาษ
- ฟ้ายาง
- รองเท้า

5. โพลิสไตรีน (PS)

- แผ่นฉนวน
- รูปทรงสำหรับภาชนะ
- แก้วกาแฟ
- รังผึ้งสำหรับวางไข่ไก่
- ถาดใส่เนื้อสัตว์

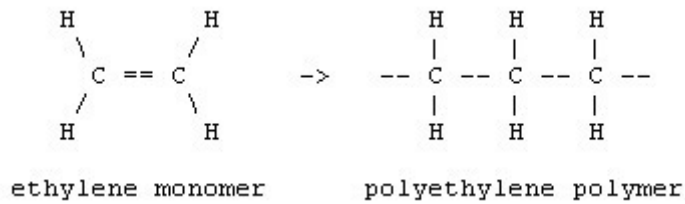
6. โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลท (PET)

- ขวดเครื่องดื่ม
- ขวดน้ำมันผัก
- ฟิล์ม
- ถาดสำหรับเตาอบ

2.2 โพลีเอทิลีน (Polyethylene)

โพลีเอทิลีน เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทหนึ่ง โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยสายโซ่ อะลิฟาติกส์ ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) ซึ่งมี C-C เป็นโซ่หลัก (ดังภาพที่ 2-1) ความแข็งแรงส่วนมากมาจากการเรียงตัวของโมเลกุลที่เป็นระเบียบ กล่าวคือ การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากจะมีผลึกมากทำให้มีความแข็งแรงมาก และทึบแสง

โพลีเอทิลีน เริ่มผลิตขึ้นทางการค้าครั้งแรกโดยบริษัท Imperial Chemical Industries (ICI) ในปี ค.ศ. 1933 ที่ประเทศอังกฤษ ได้ค้นพบผลของการทำปฏิกิริยาร่วมกันของ เบนซิลดีไฮด์กับเอทิลีนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง (สังเกตจากถ่านหิน) ได้ผลิตภัณฑ์เป็น โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีอื่นมาใช้ เช่น Phillips Petroleum Company ได้พัฒนากระบวนการผลิตโดยใช้ ความดันต่ำร่วมกับ โครเมียม ไตรออกไซด์ (Chromium trioxide) และ ซิลิกา อะลูมินา (Silica-alumina) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกว่า Phillips process หรือกระบวนการผลิตของ Karl Ziegler ที่ใช้อุณหภูมิและความดันต่ำร่วมกับ อะลูมิเนียม ไตรเอทิล (aluminum triethyl) และ ไททาเนียม เทตระคลอไรด์ (titanium tetrachloride) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น การปรับปรุงวิธีเหล่านี้ ทำให้ได้ โพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น แข็งขึ้น มีอุณหภูมิการอ่อนตัวมากขึ้น



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเอทิลีน

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติที่สำคัญของ โพลีเอทิลีน ที่ใช้ระบุในการค้าได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ดัชนีการหลอมตัว (melt index) และ การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution)

โดยทั่วไปความหนาแน่นของ โพลีเอทิลีน มีค่าอยู่ในช่วงระยะ 0.910 - 0.965 ในทางการค้านิยมจำแนกโพลีเอทิลีนเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ low-, medium-, และ high-density group เพื่อบ่งบอกถึงสมบัติของ โพลีเอทิลีน โดย ความหนาแน่นต่ำ (low-density) มีค่าอยู่ที่ 0.925 gm/cm³, ความหนาแน่นกลาง (medium-density) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.925 - 0.940 gm/cm³, และ ความหนาแน่นสูง (high-density) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.940 - 0.965 gm/cm³

2.2.2 สมบัติทางเคมี

โพลีเอทิลีน ที่มีโครงสร้างเป็นระเบียบมากหรือมีความเป็นผลึกมาก มักจะไม่ละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้องสำหรับ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 70°C ก็จะเริ่มบวมและสามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวก โทลูอีน (toluene), คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄) ทนต่อกรดและด่างได้ดี สารละลายที่มีความเป็นออกซิไดส์ (oxidizing agent) สูง เช่น กรดไนตริกเข้มข้น หรือ โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต จะทำให้สมบัติเชิงกลเสียไป

2.2.3 สมบัติทางไฟฟ้า

โพลีเอทิลีนมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีปัจจัยทางพลังงาน (Power factor) และ ค่าคงที่ฉนวน (dielectric constant) ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามโพลีเอทิลีนสามารถจำแนกออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

1) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เป็นโพลีเอทิลีนที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตที่ความดันสูง (high pressure process) โครงสร้างโมเลกุลจะมีกิ่งสาขามาก ถ้ามีกิ่งสาขาน้อยลงก็เป็นพวก โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นกลาง (MDPE) โดยปกติ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) จะนำมาใช้เป็นแผ่นฟิล์ม แต่สามารถนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ ได้ เช่น การฉีดขึ้น (injection molding) การเป่าขึ้นรูป (blow molding) เป็นต้น สมบัติของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) จะขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล และความหนาแน่น

โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) แบบฟิล์ม (Film) นิยมใช้ผลิตถุงที่โปร่งใส และพวก shrink warp สามารถเคลือบผิววัสดุ แบบ Extrusion coated เช่น กระดาษสำหรับทำกล่องนม บรรจุภัณฑ์บรรจุอาหาร เนื่องจาก โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยทั่วไปไม่ยอมให้ออกซิเจนผ่าน ขวดโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่ทำจาก blow molding จะใช้สำหรับบรรจุนมและสารเคมี นอกจากนี้โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) สามารถนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีฉีดขึ้นรูปได้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ของเด็กเล่น อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน เป็นต้น

2) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เป็นโพลีเมอร์เส้นตรง (linear polymer) ที่ไม่มีกิ่งก้านสาขา สามารถผลิตได้โดยวิธีความดันต่ำ (low-pressure process) สามารถนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ ได้ เช่น injection molding, blow film, และ thermoforming

เมื่อเปรียบเทียบกับโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) แล้ว โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความแข็งแรงและความสามารถในการทนทานต่อสารเคมีและความร้อนดีกว่า ถึงแม้ว่าโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จะมีความทนทานต่อสารเคมีที่ดี แต่จะมีความเค้นการแตก (stress cracking) มากเมื่ออยู่ในสารพวกผงซักฟอก หรือสารเคลือบผิว (surfactants) การใช้งานของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ในด้านของบรรจุภัณฑ์ (packaging) จำเป็นต้องเลือกเกรดที่มีช่วงเวลาของความเค้นการแตก (stress cracking) ยาวกว่าชั้นอายุ (shelf life) ของผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จะไม่มีอุปสรรค (barrier) ต่อพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียเมื่อนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุสารดังกล่าว เช่น คีโรซีน (kerosene) ใช้ในระบบระบายอากาศ หรือ แก๊สโซลีน (gasoline) แต่สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้โดยการไปบำบัด (treat) ผิวหน้าด้วยกระบวนการ Sulfonation หรือ Fluorination เพื่อให้มีสมบัติของ barrier มากขึ้นโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความแข็งพอที่จะนำมาใช้งานด้านโครงสร้าง

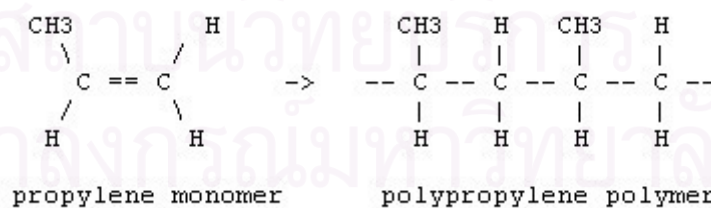
การใช้งานของโพลีเอทิลีน สามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ เนื่องจากสมบัติเด่นหลายประการได้แก่

1. ราคาถูก
2. มีกระบวนการการขึ้นรูปที่ง่าย
3. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
4. มีความทนทานต่อสารเคมี
5. เหนียว และ มีความยืดหยุ่น แม้อยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ
6. เมื่อนำมาทำเป็นฟิล์มแล้ว ได้ฟิล์มที่มีความใสสูง
7. ไม่มีกลิ่น และไม่เป็นพิษ
8. มีความสามารถในการให้ก๊าซต่างๆ ซึมผ่านได้น้อย

จากสมบัติดังกล่าวทำให้ โพลีเอทิลีน สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมาย ปริมาณความต้องการใช้จึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ

2.3 โพลีโพรไพลีน (Polypropylene)

ในปี ค.ศ. 1954 ได้มีการผลิตโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจากโพรไพลีนได้โดย Natta ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับตัวเร่ง (catalyst) ให้เหมาะสมทำให้สามารถผลิตโพลีโพรไพลีนที่แตกต่างกันได้ แบบหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันดี คือ ไอโซแทคติก โพลีโพรไพลีน (Isotactic polypropylene) ซึ่งมีความคล้ายกับโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) แต่มีจุดอ่อนตัวที่สูงกว่า และมีความแข็งกว่า โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยโซ่อะลิฟาติกส์ ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) ซึ่งมี C-C เป็นโวลหลัก โดยมีหมู่เมทิล (Methyl Group) มาเกาะตรงแขนของคาร์บอน ทำให้โครงสร้างทางเคมีของโพรไพลีนมีลักษณะเป็นกิ่ง (ดังภาพที่ 2-2)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างทางเคมีของโพลีโพรไพลีน

การผลิตก็สามารถผลิตได้คล้ายกับโพลีเอทิลีน โดยการใช้ Ziegler Natta catalyst การใช้กระบวนการ Phillips และ standard oil ก็สามารถทำได้แต่ได้ผลผลิตต่ำจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในทางการค้าวิธีที่ได้ผลดีที่สุด ได้แก่ Ziegler process ตัวเร่งที่นิยมใช้กัน คือ ไททานิยม ไตรออกไซด์ (titanium trioxide), อะลูมิเนียม ไตรเอทิล (aluminium triethyl) ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน เทคนิคในการโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ใช้กระบวนการแบบแวนดออยมากกว่าแบบสารละลาย การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลทำได้โดยการใช้ไฮโดรเจน ซึ่งหลังจากทำปฏิกิริยาแล้ว ของผสมจะประกอบไปด้วย

1. ไอโซแทคติก โพลีโพรไพลีน (Isotactic polypropylene)
2. อะแทคติก โพลีโพรไพลีน (Atactic polypropylene)
3. ตัวทำละลาย
4. โมโนเมอร์
5. ตัวเร่งปฏิกิริยา

หลังจากนั้นเราสามารถแยกโมโนเมอร์ออกแล้วทำการเซนติฟิวจ์แยกตัวทำละลาย ซึ่งมีอะแทคติก โพลีโพรไพลีน (Atactic polypropylene) อยู่ แล้วแยกตัวเร่งด้วยเมทานอล (methanol) ผสมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) แล้วจึงเซนติฟิวจ์เพื่อแยกเมทานอล (methanol) ออกอีกที

สมบัติของโพลีโพรไพลีน

1. ความหนาแน่นต่ำ ประมาณ $0.8-0.9 \text{ g/cm}^3$
2. มีอุณหภูมิการอ่อนตัว และอุณหภูมิการใช้งานสูงกว่าโพลีเอทิลีน
3. ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการแตกซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อม
4. ไวต่อการเกิดออกซิเดชัน (oxidation)
5. สามารถขึ้นรูปได้เช่นเดียวกับโพลีเอทิลีน

สมบัติต่างๆ ของโพลีโพรไพลีนจะคล้ายกับโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) แต่จะมีความไวต่อสารเคมีมากกว่าโพลีเอทิลีน เนื่องจากมี tertiary carbon atom ในโซ่หลักทำให้ไวต่อการออกซิเดชัน (oxidation) เมื่ออุณหภูมิสูง สามารถป้องกันได้โดยการใส่สารพวก ต่อการเกิดออกซิไดส์ (antioxidant)

นอกจากนี้สมบัติต่างๆ ของโพลีโพรไพลีนยังขึ้นกับ น้ำหนักโมเลกุล ลักษณะโครงสร้าง และ Isotacticity การเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะทำให้โพลีโพรไพลีนมีความทนทานต่อแรงดึงน้อยลง แต่มีความสามารถในการทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น ปริมาณครึ่งหนึ่งของโพลีโพรไพลีน ที่ผลิต

ขึ้นจะถูกนำไปใช้ในการผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์ และอุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน ส่วนที่เหลือจะนำไปใช้งานในรูปแบบของเส้นใย (เชือก) และฟิล์ม

สมบัติโดยทั่วไปของโพลีโพรไพลีนทนต่อความร้อนสูง นิยมใช้ทำถุงบรรจุอาหารร้อน ง่ายต่อการขึ้นรูปและสามารถใช้งานได้ในขอบเขตที่กว้างขวาง นอกจากนี้โพลีโพรไพลีนมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) (ดังตารางที่ 2-2) และราคาใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบสมบัติของโพลีโพรไพลีน (PP) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

Properties	โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	โพลีโพรไพลีน (PP)
ความแข็ง	พอใช้	ดี
ความใส	แย	ดี
ความทนทานต่อสารเคมี	ดี	ดีมาก
ความทนทานต่อสภาพอากาศ	ดี	พอใช้
ความสามารถนำไปใช้ที่อุณหภูมิสูง	พอใช้	ดี
ความทนทานต่อการขีดข่วน	ดี	ดี
การซึมผ่านได้น้อย	ดี	ดี
ความทนทานต่อการกระทบกระเทือน	ดี	พอใช้
ความทนทานต่อความเค้นจากสภาพแวดล้อมภายนอก	พอใช้	ดีมาก

โพลีโพรไพลีน (PP) จะมีสมบัติในด้านความทนทานต่อสารเคมี และความเหนียวที่ดีกว่า โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ในขณะเดียวกัน ความทนทานต่อแรงกระทบที่อุณหภูมิต่ำ และความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จะมีสมบัติที่ดีกว่าโพลีโพรไพลีน (PP) แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ปัจจัยต่างๆ ในการ

เลือกใช้จะมีความซับซ้อนกว่านี้ ทั้งโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีโพรไพลีน (PP) สามารถขึ้นรูปด้วยวิธี injection molding ได้ดีแต่โพลีโพรไพลีน (PP) จะเกิดการหดตัวน้อยกว่าโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ดังนั้น โพลีโพรไพลีน (PP) จึงเหมาะที่จะนำมาทำชิ้นงานขนาดใหญ่ๆ แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นฟิล์มห่อของ โพลีโพรไพลีน (PP) จะให้พื้นที่ผิวที่ดีกว่าโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ในการทำบรรจุภัณฑ์ (Packaging) ความใสของโพลีโพรไพลีน และความสามารถในการทนต่อความร้อน เป็นลักษณะที่ต้องการ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายน้ำมันจะดูน่ารับประทานกว่าเมื่อถูกบรรจุในภาชนะที่ผลิตจากโพลีโพรไพลีน (PP) อย่างไรก็ตามการเลือกใช้โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีโพรไพลีน (PP) ในการผลิตนั้นยังมีเกณฑ์การพิจารณามากมายตามความเหมาะสม

2.4 เทคโนโลยีการคัดแยกวัสดุ (Technology for Materials Separation)

กระบวนการคัดแยกวัสดุ เป็นกระบวนการคัดแยกวัสดุที่ต้องการออกจากของผสม โดยสามารถจำแนกได้เป็น กระบวนการคัดแยกวัสดุทางกายภาพ (Physical Process) และ กระบวนการคัดแยกวัสดุทางเคมี (Chemical Process)

1. กระบวนการคัดแยกทางกายภาพ (Physical Process) เป็นกระบวนการคัดแยกวัสดุที่ต้องการออกจากของผสม โดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพเป็นหลัก เช่น ขนาดและรูปร่าง แสง ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิววัสดุ การนำไฟฟ้า และความชื้นซาบแม่เหล็ก เป็นต้น

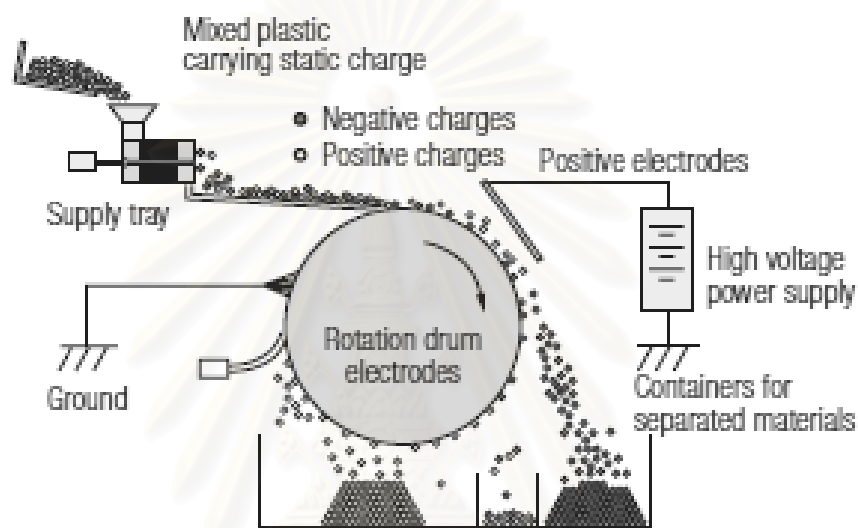
2. กระบวนการคัดแยกทางเคมี (Chemical Process) เป็นกระบวนการคัดแยกวัสดุที่ต้องการออกจากของผสม โดยอาศัยสมบัติทางเคมี เช่น ความสามารถในการละลาย และสมบัติทางด้านคอลลอยด์และผิววัสดุ (Colloid and Surface Properties) เป็นต้น

นอกจากนี้ในกระบวนการคัดแยกวัสดุยังสามารถจำแนกได้เป็น กระบวนการคัดแยกแบบแห้ง (Dry Process) และกระบวนการคัดแยกแบบเปียก (Wet Process) ซึ่งในทางกระบวนการคัดแยกวัสดุส่วนใหญ่เป็นกระบวนการคัดแยกแบบเปียก (Wet Process) เช่น กระบวนการคัดแยกโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะ (Gravity Separation) กระบวนการคัดแยกโดยอาศัยอากาศ (Air Separation) และกระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยก (Flotation Separation) เป็นต้น

สำหรับกระบวนการคัดแยกพลาสติกที่นิยมใช้มีอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีก็แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับวัสดุหรือพลาสติกที่จะนำมาคัดแยก

2.4.1 กระบวนการคัดแยกโดยไฟฟ้า (Electrostatic Separation)

กระบวนการคัดแยกโดยไฟฟ้า (Electrostatic Separation) เป็นการคัดแยกของผสมโดยอาศัยความแตกต่างทางด้านประจุไฟฟ้าของวัสดุที่จะนำมาคัดแยก โดยทำให้วัสดุนั้นมีประจุที่แตกต่างกัน อาศัยสนามไฟฟ้าในการเหนี่ยวนำวัสดุให้มีประจุ โดยการแลกเปลี่ยนประจุบนผิวของวัสดุ ให้วัสดุหนึ่งกลายเป็นประจุลบ อีกวัสดุกลายเป็นประจุบวก และเกิดการแยกออกจากกัน (ดังภาพที่ 2-3)



ภาพที่ 2-3 เครื่องคัดแยกแบบไฟฟ้า
ที่มา : <http://greenweb.hitachi.co.jp>

G.Dodbiba, A. Shibayama, T. Miyazaki and T. Fujita ได้ทำการศึกษาคัดแยกพลาสติกผสมโดยวิธีการคัดแยกโดยไฟฟ้า (Electrostatic Separation) โดยใช้พลาสติกโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) และ โพลีเอทิลีน (PE) มาผสมกันแล้วนำมาแยกในเครื่องมือ Tribo-cyclone (air-cyclone) โดยมีอัตราส่วนของของผสมอยู่ที่ 50:50 และศึกษาถึง สนามไฟฟ้า (electric field) ความเร็วลม และ Tribo-charging time พบว่า Tribo-charging time ที่นานขึ้นสามารถแยกและเก็บกลับคืน โพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) ได้ดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าที่ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงขึ้น สามารถแยกของผสมระหว่างพลาสติกโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) และ โพลีเอทิลีน (PE) ได้ดีกว่า

2.4.2 กระบวนการคัดแยกโดยอากาศ (Air Separation)

กระบวนการคัดแยกโดยอากาศ (Air Separation) เป็นกระบวนการคัดแยกของผสมโดยอาศัยความแตกต่างเรื่องน้ำหนักวัสดุ โดยของผสมอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ วัสดุที่มีน้ำหนักเบา ก็จะลอยแยกไปข้างบน ส่วนวัสดุที่น้ำหนักมากกว่าก็จะลงสู่ข้างล่าง (ดังภาพที่ 2-4) ซึ่งกระบวนการวิธีนี้ นอกจากอาศัยความแตกต่างเรื่องน้ำหนักหรือความถ่วงจำเพาะแล้ว ขนาด รูปร่างของวัสดุ ล้วนมีผลต่อการคัดแยกด้วยวิธีนี้ทั้งสิ้น นอกจากนี้การออกแบบเครื่องมือต้องให้เหมาะสมกับวัสดุและปัจจัยต่างๆ ด้วย



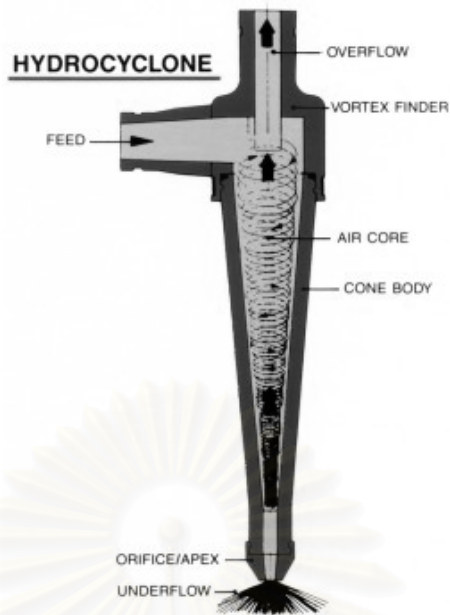
ภาพที่ 2-4 เครื่องคัดแยกแบบอากาศ

ที่มา : www.bellgossett.com

2.4.3 กระบวนการคัดแยกโดยไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)

กระบวนการคัดแยกโดยไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) เป็นกระบวนการคัดแยกของผสมที่มีความแตกต่างของขนาด และความถ่วงจำเพาะหรือน้ำหนักของอนุภาค โดยของผสมที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งมีแรงหนีศูนย์กลางมากจะถูกบังคับให้ไหลลงทางด้านล่างหรือช่องทางออกขนาดหยาบ (Underflow) ส่วนของผสมที่มีความหนาแน่นต่ำหรือเท่ากับของเหลว จะถูกผลักให้ไหลออกทางด้านบน หรือช่องทางออกขนาดละเอียด (Overflow) (ดังภาพที่ 2-5)

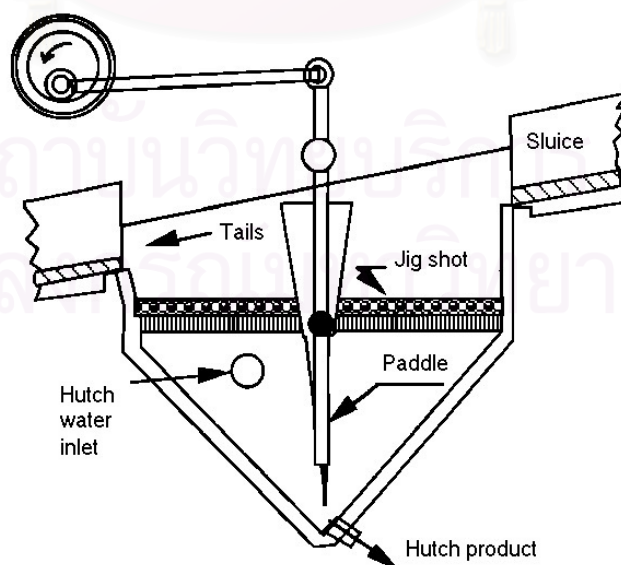
Renner และ Cohen กล่าวว่า เนื่องจากมีตัวแปรมากมายที่มีผลต่อการคัดขนาด และได้ทำการทดลองเก็บตัวอย่างของผสมจากจุดต่างๆ ในไฮโดรไซโคลนแล้วนำมาวิเคราะห์การกระจายของขนาด พบว่า การคัดขนาดของไฮโดรไซโคลนไม่ได้เกิดขึ้นตลอดทั้งตัวของไซโคลน



ภาพที่ 2-5 เครื่องคัดแยกแบบไฮโดรไซโคลน
ที่มา : www.flotrend.com

2.4.4 กระบวนการคัดแยกโดยจิก (Jig Separation)

กระบวนการคัดแยกโดยจิก (Jig Separation) เป็นกระบวนการคัดแยกของผสมที่มีความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะหรือน้ำหนัก โดยอาศัยช่วงชักของเครื่องมือในการเขย่าเพื่อแยกของผสมออกจากกัน มีน้ำเป็นตัวกลางหรืออาจจะมีสารปรับความหนาแน่นผสมลงไป โดยที่ของผสมที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าหรือเท่ากับน้ำจะลอยสู่ด้านบน ส่วนของผสมที่มีความหนาแน่นสูงกว่าจะจมลงสู่ด้านล่าง (ดังภาพที่ 2-6)

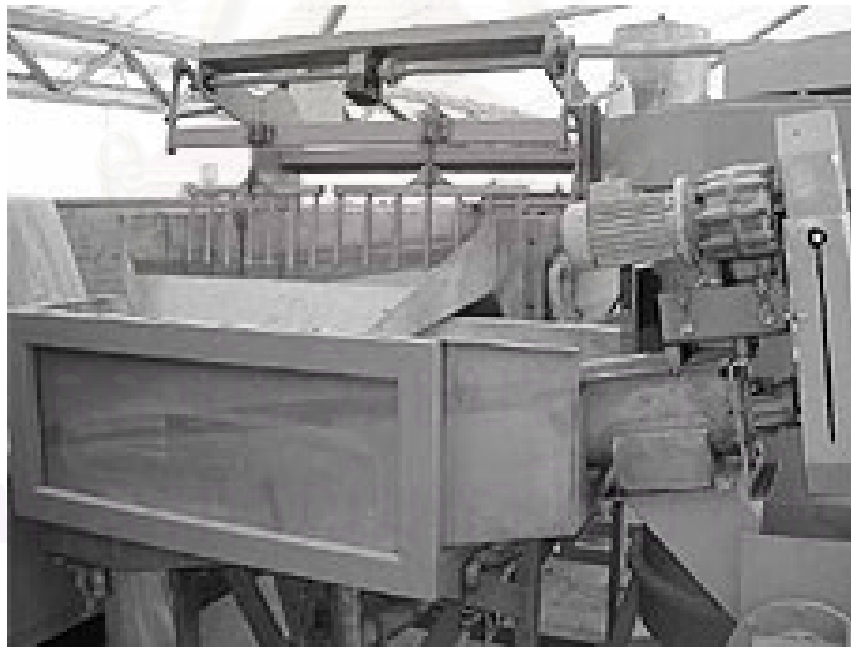


ภาพที่ 2-6 เครื่องคัดแยกแบบจิก
ที่มา : www.admmr.state.az.us

Masami Tsunekawa, Kunihiro Hori, Tsuyoshi Hirajima. ได้ทำการศึกษาการตัดแยกพลาสติกทั้งแบบแท่ง และแบบแผ่น โดยรูปร่างแบบแท่งใช้ โพลีเอทิลีน (PE) และ โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ทำการทดลอง และรูปร่างแบบแผ่นใช้ โพลีสไตรีน (PS) อะคริโลไนไตรลบิวทาไดส์ สไตรีน (ABS) และ โพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) โดยวิธีกระบวนการตัดแยกโดยจิ๊ก (Jig Separation) พบว่า ความถี่ (Frequency) และความยาวของช่วงชัก (Amplitude) มีผลต่อการตัดแยกพลาสติก

2.4.5 กระบวนการตัดแยกโดยการจมและลอย (Sink-Float Separation)

กระบวนการตัดแยกโดยการจมและลอย (Sink-Float Separation) เป็นกระบวนการตัดแยกของผสมที่มีความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะหรือน้ำหนัก โดยอาศัยสารปรับความหนาแน่น (Dense Medium) เพื่อปรับความหนาแน่นของน้ำให้อยู่ระหว่างของผสม เพื่อที่จะแยกของผสมออกจากกัน (ดังภาพที่ 2-7) กระบวนการตัดแยกนี้นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการแยกโพลีเอทิลีนออกจากโพลีไวนิลคลอไรด์หรือโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต แต่ไม่สามารถตัดแยกพลาสติกที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันหรือเท่ากันได้ เช่น โพลีเอทิลีนกับโพลีโพรไพลีน หรือโพลีเอทิลีนทาเรฟทาเลตกับโพลีไวนิลคลอไรด์ได้ นอกจากนี้ยังพบปัญหาหลายอย่าง เช่น ความล่าช้าของกระบวนการ ความยุ่งยากในการควบคุมความหนาแน่นของของเหลว เป็นต้น

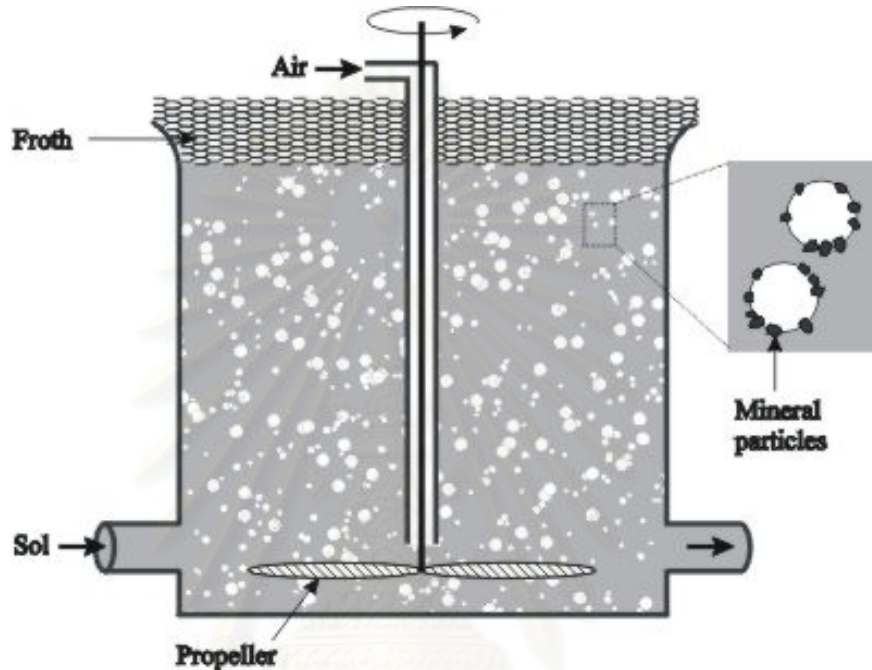


ภาพที่ 2-7 เครื่องตัดแยกแบบจมและลอย

ที่มา : www.schulz-partner.com

2.4.6 กระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation)

กระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ(Froth Flotation) เป็นกระบวนการคัดแยกของผสมที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงหรือเท่ากันแยกออกจากกัน โดยใช้ฟองอากาศเป็นตัวนำวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ลอยขึ้นมากับฟอง ซึ่งกระบวนการนี้จำเป็นต้องใช้สารเคมีในการปรับสภาพผิวของวัสดุเสียก่อน ที่พื้นฟองอากาศ (ดังภาพที่ 2-8)



ภาพที่ 2-8 เครื่องคัดแยกด้วยฟองอากาศ

ที่มา : www.mpip-mainz.mpg.de

กระบวนการคัดแยกวัสดุทางกายภาพ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับพลาสติกมีหลากหลายวิธีที่นิยมใช้กัน ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน (ดังตารางที่ 2-3) แต่กรรมวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดได้แก่ กระบวนการคัดแยกวัสดุโดยการลอยแยก (Flotation Separation) ซึ่งสามารถคัดแยกวัสดุที่มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันแยกออกจากกันได้ดี โดยอาศัยสมบัติทางด้านคอลลอยด์และผิววัสดุ (Colloid and Surface Properties)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-3 ความสามารถในการคัดแยกแต่ละกระบวนการ

กระบวนการวิธี	ข้อดี	ข้อเสีย
- กระบวนการคัดแยกโดยไฟฟ้า (Electrostatic Separation)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - สามารถแยกวัสดุจำพวกที่นำไฟฟ้าได้	- ยุ่งยาก สลับซับซ้อน - วัสดุที่นำมาแยกต้องมีสมบัติทางไฟฟ้า
- กระบวนการคัดแยกโดยอากาศ (Air Separation)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	- ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีน้ำหนักใกล้เคียงหรือเท่ากันได้
- กระบวนการคัดแยกโดยไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	- ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันได้
- กระบวนการคัดแยกโดยจิก (Jig Separation)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	- ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันได้ - ชนิดรูปร่างและขนาดของวัสดุมีผลต่อการคัดแยก
- กระบวนการคัดแยกโดยการจมและลอย (Sink-Float Separation)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	- ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันได้ - สารเคมีที่ใช้ปรับความหนาแน่น เป็นสารติดไฟง่าย
- กระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation)	- แยกของผสมที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันได้ - สามารถเก็บกลับคืนวัสดุมีค่าจากของผสมได้ดี - มีความยืดหยุ่นสูง รวดเร็ว ต่อเนื่อง เหมาะกับงานที่มีปริมาณมาก	- ค่าใช้จ่ายสูง - ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก - ต้องมีความชำนาญ

กระบวนการคัดแยกวัสดุโดยการลอยแยก (Flotation Separation) แบบนี้เหมาะกับการที่พลาสติกมีความหนาแน่นใกล้เคียงหรือเท่ากัน เช่น โพลีโพรไพลีน (PP) กับ โพลีเอทิลีน (PE) หรือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับ โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลท (PET) ซึ่งเป็นเทคนิคที่เป็นจุดมุ่งหมายของการทำวิจัยในครั้งนี้

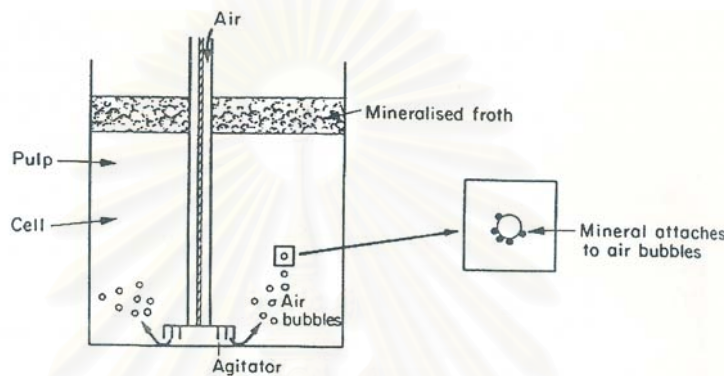
2.5 กระบวนการคัดแยกวัสดุโดยการลอยแยก (Flotation Separation)

การลอยอนุภาคถูกค้นพบ และประยุกต์ใช้ครั้งแรกในวงการเหมืองแร่โดย Haynes ในปี ค.ศ. 1860 ซึ่งพบว่าแร่ต่างชนิดกันมีสมบัติการเปียกน้ำและน้ำมันต่างกัน โดยอาศัยความแตกต่างของคุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้เกิดแนวคิดในการแยกแร่ที่มีค่าออกจากเศษดินหินทรายปนแร่ชนิดอื่นโดยการลอยแร่ด้วยน้ำมัน (Oil Flotation) ขึ้น แนวคิดการลอยแร่แบบนี้ถูกวิจัยและพัฒนาเรื่อยมาเป็นลำดับดังนี้คือ การลอยแร่ในชั้นน้ำมัน (Bulk Oil Flotation) การลอยปาดแร่ที่ผิวหน้า (Skin Flotation) และการลอยแร่ด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation or Dispersed-air Flotation)

เนื่องจากการลอยอนุภาคซึ่งถูกประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแร่เริ่มต้นด้วยความบังเอิญ หรือการลองผิดลองถูก (Trial and Error) เป็นส่วนใหญ่ ถึงแม้ว่าการลองผิดลองถูกนี้จะให้ผลดี และน่าพอใจในทางปฏิบัติ จนบางครั้งถึงกล่าวกันว่า การลอยอนุภาคแร่เป็นศิลป์ (Art) ชนิดหนึ่ง แต่บางครั้งผลการลอยแร่ที่ได้ไม่อาจอธิบายได้อย่างแน่ชัดว่า ทำไมถึงเป็นอย่างนี้ จึงทำให้มีความสนใจที่จะค้นคว้าทดลองโดยการตั้งสมมุติฐาน (Hypothesis) และทฤษฎี (Theory) ทำการทดลอง (Experiment) และนำผลทดลองที่พิสูจน์แน่ชัดแล้วมาวางเป็นหลักการ (Principle) ลอยอนุภาคแร่เชิงวิทยาศาสตร์ (Science) มากขึ้น สามารถประยุกต์ใช้องค์ความรู้นี้มาปรับปรุงการลอยแร่อย่างมีประสิทธิภาพ (Effectiveness) ยิ่งขึ้น นอกจากนี้เทคโนโลยี (Technology) การลอยอนุภาคแร่ก็ได้ถูกวิจัย พัฒนา ปรับปรุงให้มีความทันสมัยและประสิทธิผล (Effectiveness) มากขึ้นพร้อมกันด้วย

การลอยอนุภาคแร่ที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางฟิสิกส์ เคมี และกลศาสตร์ที่เกิดขึ้นในระบบการลอยอนุภาคนั้นๆ ปัจจัยทางฟิสิกส์เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา 3 เฟส ระหว่างอนุภาคของแข็ง อากาศ และของเหลว ปฏิกิริยาเหล่านี้จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เปียกผิว (Wettability Phenomena) ของอนุภาค ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะควบคุมจลนพลศาสตร์การลอยแร่เชิงจุลทรรศน์ (Microscopic Flotation Kinetics) หรือ อีกนัยหนึ่งควบคุมอันตรกิริยาระหว่างฟองอากาศกับอนุภาคนั้นเอง อีกทั้งควบคุมอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับอนุภาคทำให้เกิดการกระจาย (Dispersion) หรือเกาะกลุ่มอนุภาค (Flocculation) ซึ่งส่งผลต่อการลอยอนุภาคแร่โดยรวมปัจจัยทางเคมีเป็นปัจจัยหลักของการลอยอนุภาคแร่ สารเคมีที่เติมลงไปในระบบการลอยอนุภาค ทำให้เกิดการดูดซับระหว่างพื้นผิวของแข็งและของเหลว ของแข็งและแก๊ส และของเหลวและแก๊ส ส่งผลให้คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ (Physical-Chemical Characteristics) ของระบบดีขึ้นเหมาะแก่การลอยแร่ นั่นคือสารเคมีที่เติมลงไปจะควบคุมเคมีและไฟฟ้าเคมีของระบบ เช่น การเปียกผิว ศักย์ไฟฟ้า การกระจายและเกาะกลุ่มของอนุภาค นอกจากนี้ยังทำให้เกิดฟองอากาศและควบคุมเสถียรภาพของฟองอากาศ เป็นต้น

หลักการลอยอนุภาคจะอาศัยความแตกต่างทางด้านสมบัติทางเคมีกายภาพที่ผิวอนุภาคนั้นๆ อนุภาคต่างชนิดกันมีสมบัติการเปียกน้ำไม่เท่ากัน ยิ่งเติมสารเคมีลงไปปรับสภาพผิวอนุภาคที่ต่างชนิดกันแล้ว คุณสมบัติการเปียกน้ำยิ่งต่างกันมาก ทำให้ง่ายต่อการแยกลอยอนุภาคยิ่งขึ้น เมื่อฟองอากาศ (Air) เข้าไปในช่องของผสม ที่บรรจุอยู่ในเซลล์ลอยแร่ (Cell) นี้ อนุภาคที่ไม่เปียกน้ำจะมีโอกาสเกาะติดฟองอากาศ (Air Bubbles) ดีกว่าแร่ที่เปียกน้ำ ฟองอากาศจะพุงพาอนุภาคที่เกาะติดลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ และสะสมตัวเป็นชั้นฟองอากาศปนแร่ (Mineralized froth) (ดังภาพที่ 2-9)



ภาพที่ 2-9 หลักการลอยอนุภาคแร่
ที่มา : ชัยโรจน์ รตนกวิน (2548)

ลักษณะการลอยอนุภาคแร่ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เป็นวิธีการลอยแบบตรง (Direct Flotation) คือการลอยอนุภาคแร่ที่มีค่าที่ต้องการขึ้นมา ขณะเดียวกันกักตมสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการไว้ที่ก้นเซลล์ลอยแร่ ตรงกันข้าม สามารถลอยสิ่งปนเปื้อนหรือมลทินต่างๆขึ้นมา และปล่อยแร่มีค่าที่ต้องการจมอยู่ข้างล่าง ลักษณะการลอยอนุภาคแร่เช่นนี้เรียกว่า วิธีการลอยแบบตรงข้าม (Reverse Flotation)

2.6 ระบบการลอยอนุภาค (Flotation System)

ระบบการลอยอนุภาค เป็นระบบหลายเฟส (Multi-phase) หลายส่วนประกอบ (Multi-component) ที่มีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างเฟสหรือส่วนประกอบ ประกอบไปด้วยปัจจัยหลักซึ่งได้แก่ ปัจจัยทางเคมี อุปกรณ์เครื่องมือ และการปฏิบัติงาน ซึ่งแต่ละปัจจัยหลักเหล่านี้ยังประกอบไปด้วยปัจจัยรองอีกมากมาย และการเปลี่ยนแปลงแค่หนึ่งในปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อระบบการลอยอนุภาคโดยรวมได้หมดทั้งสิ้น

2.6.1 ปัจจัยทางเคมี

ปัจจัยทางเคมี (Chemical Factor) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับระบบการลอยอนุภาคปกติแล้วธรรมชาติโดยรวมของอนุภาคชนิดหนึ่งๆ เป็นตัวกำหนดวิธีการลอยอนุภาคที่มีค่าชนิดหนึ่งออกจากเพื่อนอนุภาคที่อยู่รวมกันด้วยสารเคมีชนิดหนึ่งๆ และขนาดที่แยกตัวเป็นอิสระ (Liberation Size) ของอนุภาคมีค่าที่ส่งผลต่อการออกแบบเครื่องบดย่อย และคัตขนาด

2.6.1.1 ปัจจัยทางสารเคมี

การเลือกลอยอนุภาคแร่ชนิดหนึ่งออกจากเพื่อนอนุภาคที่อยู่รวมกัน สามารถทำได้โดยใช้สารเคมีซึ่งมีหลากหลายชนิด ได้แก่ สารเคลือบผิวอนุภาคแร่หรือตัวเก็บ (Collectors) ซึ่งทำหน้าที่เคลือบผิวอนุภาคแร่ไม่ให้เปียกน้ำและเกาะติดฟองอากาศได้ง่าย สารกระตุ้นผิวอนุภาคหรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Activators) เพื่อกระตุ้นผิวอนุภาคให้เหมาะแก่การเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอนุภาค สารป้องกันการเคลือบผิวอนุภาคหรือตัวกด (Depressants) ทำหน้าที่ป้องกันการเคลือบผิวอนุภาคที่ไม่ต้องการลอยให้อยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะแก่การเกาะติดกับสารเคลือบผิวอนุภาคได้ และสารเคลือบฟองอากาศ (Frothers) ซึ่งทำหน้าที่เคลือบฟองอากาศให้เหมาะสมต่อการเกาะติดของอนุภาคกับฟองอากาศและลอยขึ้นมาตามลำดับ

2.6.1.2 ปัจจัยทางเคมีของอนุภาค

สำหรับเคมีของอนุภาค และเคมีพื้นผิวระหว่างอนุภาค น้ำ และอากาศนั้น ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับชนิดอนุภาคต่างๆ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น อนุภาคที่มีความสามารถลอยได้เองตามธรรมชาติ (Naturally Floatable Mineral) อนุภาคที่สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย (Sparingly Soluble Minerals)

2.6.1.3 ปัจจัยทางเคมีของน้ำ

เคมีของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อกระบวนการลอยอนุภาค น้ำที่ใช้ในกระบวนการลอยอนุภาคควรเป็นน้ำดิบ (Raw Water) ตามธรรมชาติซึ่งมีตะกอนแขวนลอยและไอออนของโลหะหนักปนเปื้อนน้อย เนื่องจากตะกอนแขวนลอยและไอออนหลายวาเลนซ์ (Multi-valence Ions) เหล่านี้ และความเป็นกรดเบสของของผสม จะส่งผลกระทบต่อ การดูดซับของสารเคลือบผิวอนุภาค และสารเคลือบฟองอากาศ ตลอดจนระบบการลอยอนุภาคโดยรวม ดังนั้นการนำน้ำที่ผ่านการลอยแร่แล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Water) จำเป็นต้องตรวจสอบและบำบัดน้ำเหล่านี้ให้มีคุณภาพเหมาะสมต่อการลอยอนุภาคหนึ่งๆ ด้วย

2.6.2 ปัจจัยทางการปฏิบัติงาน

2.6.2.1 ขนาดอนุภาค

ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคในแร่ป้อนเป็นปัจจัยสำคัญทางการปฏิบัติงาน (Operational Factors) พบว่าขนาดที่ใหญ่ที่สุดของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะของอนุภาคนั้นๆ ขนาดที่เหมาะสมต่อการลอยอนุภาคอยู่ระหว่าง 10-1500 ไมครอน ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคด้วย

2.6.2.2 ความเข้มข้นของของผสม

ความเข้มข้นของของผสม เป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการลอยอนุภาค ส่วนผสมระหว่างอนุภาคกับน้ำจะต้องไม่เข้มข้นหรือเจือจางเกินไป ถ้าเข้มข้นเกินไปโอกาสที่อนุภาคแต่ละตัวจะเกาะติดฟองอากาศน้อยลง หรืออาจร่วงหล่นหลังจากเกาะติดฟองอากาศแล้ว เนื่องจากการเสียดสีและความปั่นป่วนที่เพิ่มขึ้น ถ้าเจือจางเกินไปจะทำให้วิสัยสามารถ (Capacity) ของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการลอยแร่ที่ออกแบบมาดีแล้วลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของของผสมจะต้องมีอัตราส่วนระหว่างของแข็งในของผสมที่เหมาะสมต่อการลอยแร่ชนิดหนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของเซลล์ลอยแร่ที่ใช้ และชนิดของอนุภาคที่ต้องการลอย

2.6.2.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการลอยอนุภาค

เนื่องจากธรรมชาติของแร่ชนิดต่างๆ หรือแม้กระทั่งแร่ชนิดเดียวกันแต่ต่างแหล่งกัน ก็มีสมบัติทางเคมีพื้นผิวไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวเกี่ยวกับปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่หนึ่งๆ ส่วนใหญ่แล้วปริมาณสารเคมีที่ใช้ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างเคมีของแร่ เคมีพื้นผิวระหว่างแร่ น้ำ และอากาศ ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่

2.6.2.4 อัตราการป้อนอากาศ

การป้อนอากาศให้แก่ของผสมแร่ป่น น้ำที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบฟองอากาศในเซลล์ลอยแร่ มีผลต่อขนาด พื้นที่ผิว จำนวน และความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศ ส่วนใหญ่แล้วปริมาณการป้อนอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดแร่

2.6.3 ปัจจัยทางอุปกรณ์เครื่องมือ

ปัจจัยทางอุปกรณ์เครื่องมือ (Operational Factors) ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ การออกแบบเซลล์ลอยอนุภาคแร่ โครงแบบชุดเซลล์ลอยแร่ ระบบการควบคุมชุดเซลล์ลอยแร่ ระบบการกวนผสม และระบบการปาดฟองออก เป็นต้น โดยทั่วไปการกวนของผสมแร่ป่นน้ำกับสารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่ มักจะทำในถังกวนปรับสภาพผิวแร่ (Conditioning Tank) เพื่อปรับสภาพผิวแร่ให้

เหมาะแก่การลอยในเซลล์ลอยแร่เสมอ แต่บางครั้งอาจกวนผสมโดยตรงที่เซลล์ลอยแร่เลย ถ้าผิวแร่ชนิดนั้นๆไวต่อการตอบสนองของสารเคมีที่ใช้ ปกติความเข้มข้นของของผสมในถังกวนปรับสภาพแร่จะสูงกว่าในเซลล์ลอยแร่ สูงถึง 50-60% Solids ดังนั้น ชนิดและสภาพของแร่ ชนิดและสภาพของเซลล์ลอยแร่ ความเข้มข้นของของผสม ปริมาณสารเคมีที่ใช้ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาดูดซับที่ผิวแร่ของสารเคมี หรือเวลาปรับสภาพผิวแร่ (Conditioning Time) และระยะเวลาที่อยู่ในเซลล์ลอยแร่ (Residence Time) เริ่มตั้งแต่มีการเกาะติดของอนุภาคแร่กับฟองอากาศ จนกระทั่งลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ และล้นออกจากเซลล์ เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการกำหนดออกแบบขนาดและจำนวนของถังปรับสภาพผิวแร่ และเซลล์ลอยแร่ ความเร็วรอบของใบพัดกวน อัตราการไหลของอากาศ และอื่นๆ

2.6.4 ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการลอยอนุภาค

2.6.4.1 การเตรียมและป้อนสารเคมีที่ใช้ในการลอยอนุภาค

สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่อาจอยู่ในสภาพเป็นก้อน เกล็ด ผง หรือสารละลายขึ้นอยู่กับชนิดหรือประเภทของสารเคมีที่กำหนดในท้องตลาด สารเคมีบางชนิดที่สามารถละลายได้ง่ายในน้ำ สารเคมีบางชนิดละลายได้ยากในน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องเตรียมในรูปของสารละลายโดยใช้กรดน้ำส้ม (Acetic acid) และความร้อนช่วยในการละลายก่อนป้อนเข้าสู่ระบบการลอยแร่

2.6.4.2 อุณหภูมิ

ปกติการลอยอนุภาคแร่ทั่วไป จะทำกันที่อุณหภูมิของ (Room Temperature) อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนแก่ของผสมแร่ปนน้ำบางครั้ง ช่วยเร่งปฏิกิริยาทำให้การลอยแร่ได้ผลดียิ่งขึ้น เช่น การใช้ความร้อนช่วยในการปรับสภาพผิวแร่สฟาเลอไรต์ (Sphalerite, ZnS) เป็นต้น

สำหรับระบบลอยอนุภาคแร่ พบว่าปัจจัยทางเคมีเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่จะตัดสินว่าสามารถลอยแร่ชนิดหนึ่งๆได้หรือไม่ในทางปฏิบัติ สำหรับปัจจัยทางอุปกรณ์เครื่องมือและปฏิบัติงานจะเป็นปัจจัยที่จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการลอยแร่หนึ่งๆ (ดังตารางที่ 2-4)

ตารางที่ 2-4 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อระบบการลอยอนุภาค

ปัจจัยทางเคมี	ปัจจัยทางอุปกรณ์เครื่องมือ	ปัจจัยทางการปฏิบัติงาน
<ul style="list-style-type: none"> ■ สารเคลือบฟองอากาศ ■ สารเคลือบผิวอนุภาคแร่ ■ สารกระตุ้นการเคลือบผิวแร่ ■ สารป้องกันการเคลือบผิวแร่ ■ ความเป็นกรดเบสของของผสม ■ คุณภาพน้ำที่ใช้ในการลอยอนุภาค 	<ul style="list-style-type: none"> ■ การออกแบบเซลล์ลอยอนุภาค ■ โครงแบบชุดเซลล์ลอยอนุภาค ■ ระบบควบคุมชุดเซลล์ลอยอนุภาค ■ ระบบการกวน ■ ระบบการปาดฟองออก 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ชนิดและขนาดอนุภาคแร่ ■ ความเข้มข้นของของผสม ■ อัตราการป้อนของของผสม ■ ความเข้มข้นของสารเคมี ■ เวลาปรับสภาพผิวอนุภาค ■ อัตราการไหลของอากาศ ■ เวลาที่ใช้ในการลอย ■ การกระจายขนาดของฟอง ■ ความเร็วในการลอยตัวของฟองอากาศ ■ จำนวนฟองอากาศ ■ พื้นที่ผิวของฟองอากาศ ■ ความลึกของชั้นฟองอากาศ ■ การปาดฟองออก ■ การล้างอนุภาคออกจากฟอง ■ การล้างเก็บอนุภาค

ที่มา : ชัยโรจน์ รัตนกวิน (2548)

2.7 เครื่องลอยอนุภาคแร่ (Flotation Machines)

เครื่องลอยอนุภาคแร่จะประกอบไปด้วยถังหรือเซลล์ (Cell) อุปกรณ์สำหรับการกวนผสมและทำฟองอากาศ และ กลไกการเก็บแร่ที่ลอยได้ ซึ่งตัวเซลล์ลอยแร่ต้องมีสิ่งเหล่านี้

1. ประสิทธิภาพการพองตัวและการกระจายตัวของอนุภาค ปกป้องการตกตะกอนของอนุภาค และการจับกันกับฟองอากาศ
2. การกระจายฟองอากาศขนาดเล็กให้อยู่ทั่วไปในของผสมอนุภาค
3. ก่อให้เกิดบริเวณที่มีความปั่นป่วนน้อยภายใต้ชั้นฟองอากาศ เพื่อความเสถียรของฟองอากาศที่เกาะจับกับอนุภาคและพร้อมที่จะกวาดออกไป
4. เพิ่มโอกาสการชนระหว่างอนุภาคกับอนุภาค อนุภาคกับสารเคลือบผิว และอนุภาคที่เคลือบผิวแล้วกับฟองอากาศ

จากปัจจัยที่กล่าวข้างต้น จึงมีการออกแบบเครื่องลอยแร่หลายชนิด เพื่อสามารถทำงานตอบสนองความต้องการของงานที่จะนำมาใช้

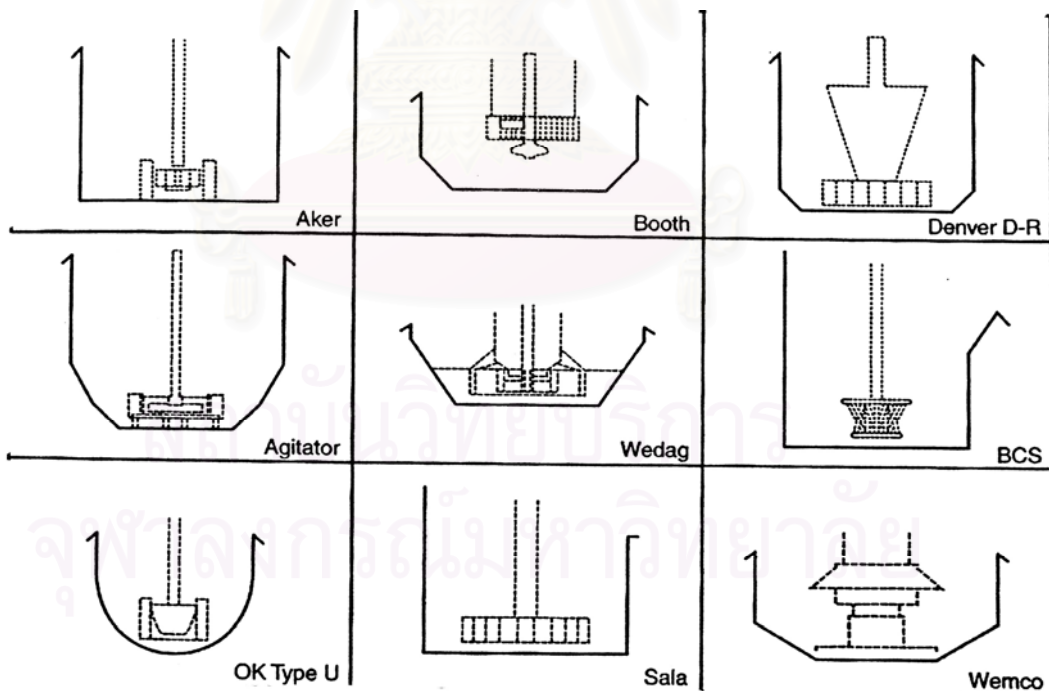
โดยการออกแบบเครื่องลอยแร่ควรคำนึงถึงความสามารถของศักยภาพของความสามารถบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนอนุภาคที่ต้องการ ซึ่งสัมพันธ์กันกับ อากาศ พลังงานที่ใช้ และสัดส่วนขนาดเครื่องลอยแร่ นอกจากนี้ยังพบว่า ความเร็วรอบใบพัด อัตราการป้อนฟองอากาศ ความเข้มข้นของของผสม และความหนาของชั้นฟองอากาศ เป็นต้น ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องลอยแร่ โดยการออกแบบเครื่องลอยแร่จะพิจารณา

- รูปทรงของตัวเซลล์

ส่วนใหญ่ตัวเซลล์มักจะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าประกอบไปด้วย ใบพัด ความกว้างความยาวของตัวเซลล์ นอกจากนี้ ปริมาตรบางส่วนของตัวเซลล์ต้องสูญเสียไปกับอุปกรณ์สำหรับกวนผสมและทำฟองอากาศ ดังนั้นปริมาตรยังผล (Effective Volume) เหลือสำหรับการใช้งานจะน้อยกว่าปกติ ตัวเซลล์จึงต้องมีพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (Dead Volume) น้อยที่สุด

- ใบพัดกวน

จากการสำรวจพบว่า ส่วนใหญ่ใบพัดกวนของเซลล์ลอยแร่มักจะไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก ประกอบไปด้วยชั้นส่วนใบพัด 4-16 ชั้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับรูปทรงของตัวเซลล์ด้วย นอกจากนี้ยังคำนวณถึงปัจจัยต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการลอยแร่ด้วย



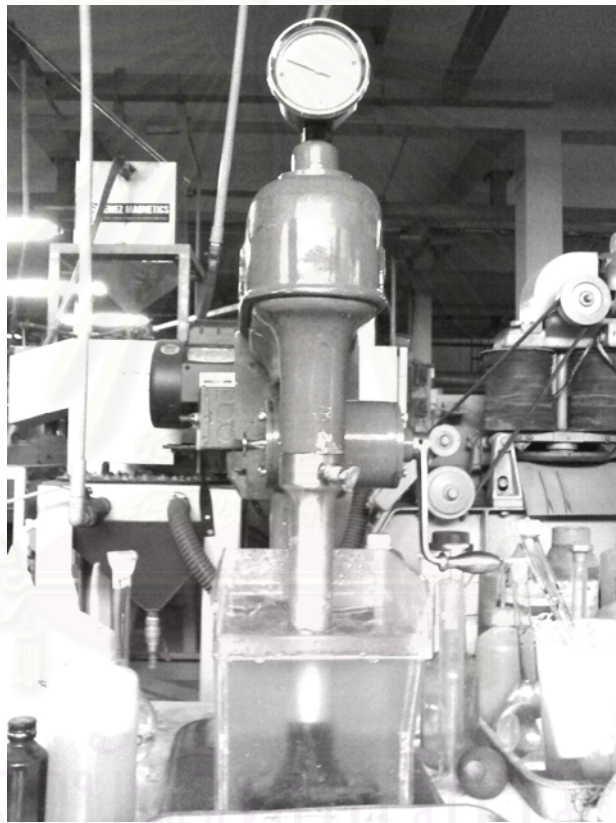
ภาพที่ 2-10 รูปร่างของเซลล์และใบพัดกวน

ที่มา : ชัยโรจน์ รัตนกวิน (2548)

2.7.1 ประเภทของเครื่องลอยแร่

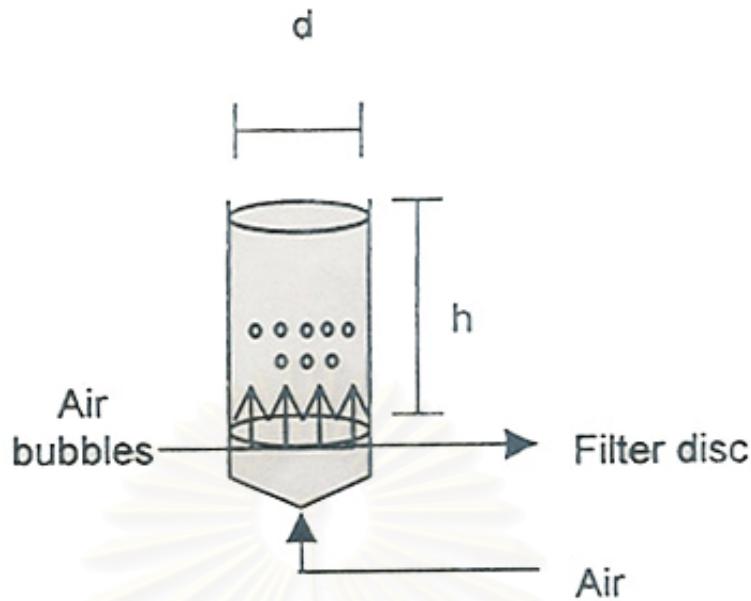
เครื่องลอยแร่สามารถแบ่งตามวิธีการเติมฟองอากาศ (Aeration) เข้าไปในเซลล์ลอยแร่ ออกเป็น 2 ประเภทกว้างๆ ดังนี้

1. เครื่องลอยแร่แบบกลไก (Mechanical Machine) เป็นเครื่องลอยแร่ที่นิยมใช้มากที่สุด ในอุตสาหกรรม ทำงานด้วยใบพัดกวน ขับเคลื่อนด้วยพลังงานกล ระบบเติมฟองอากาศของเครื่องลอยแร่แบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ การเติมอากาศเอง (Self-aerating) จากการกวนของใบพัด และการป้อนอากาศเพิ่มเติม (Supercharging) เครื่องลอยแร่ชนิดนี้ได้แก่ Denver เป็นต้น (ดังภาพที่ 2-11)



ภาพที่ 2-11 เครื่องลอยแร่แบบกลไก

2. เครื่องลอยแร่แบบแรงดันอากาศ (Pneumatic Machine) เป็นเครื่องลอยแร่ที่ไม่ใช้ใบพัดกวน แต่อาศัยแรงดันอากาศกวนผสมและผลิตฟองอากาศแทน ทำได้โดยการป้อนอากาศแรงดันสูงเข้าสู่ทางด้านล่างของเซลล์ลอยแร่โดยตรง หรือป้อนอากาศผ่านตัวกลางที่มีความพรุน (Porous Medium) เครื่องลอยแร่ชนิดนี้ได้แก่ Flotation Column (ดังภาพที่ 2-12)

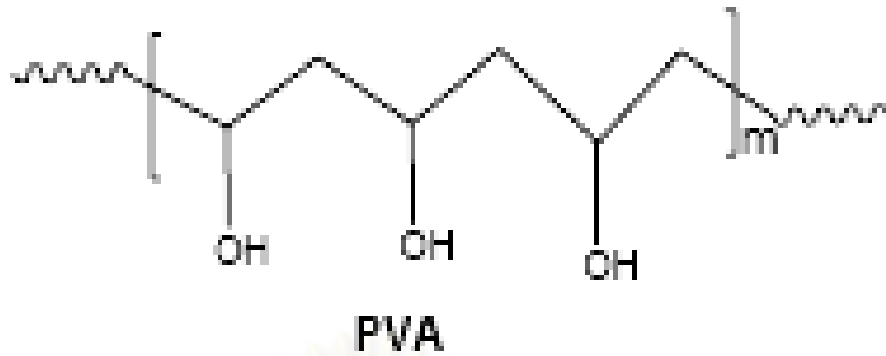


ภาพที่ 2-12 เครื่องลอยแร่แบบแรงดันอากาศ

2.8 สารเคมีที่ใช้ในการลอยพลาสติก (Flotation Reagents)

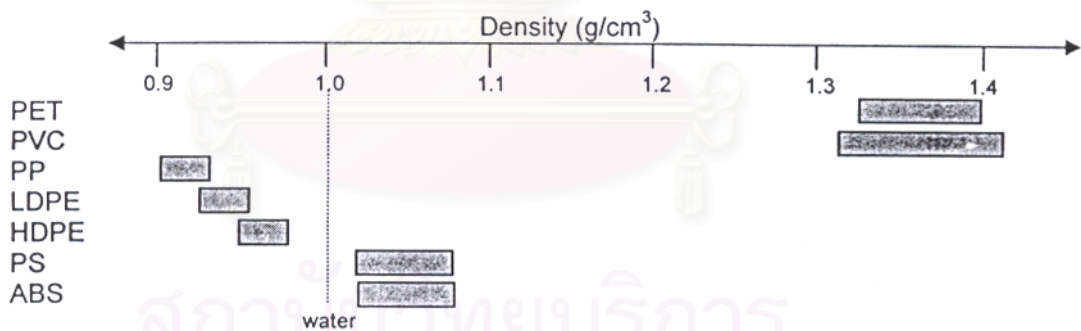
สารเคมีที่ใช้ในการลอยพลาสติกสามารถแบ่งตามหน้าที่การใช้งานกว้างๆดังนี้ สารเคลือบผิว (Collectors) สารเคลือบฟองอากาศ (Frothers) สารปรับสภาพความเป็นกรดเบส (pH Regulators)

2.8.1 สารเคลือบผิว (Collectors) สารเคลือบผิวที่ใช้ในการลอยพลาสติกขึ้นอยู่กับอนุภาคของพื้นผิวพลาสติก ซึ่งสารเคลือบผิวจะไปทำให้พลาสติกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) กลายเป็นชอบน้ำ (Hydrophilic) การเปลี่ยนสมบัติของผิวพลาสติกโดยวิธีทางเคมี จำเป็นอย่างยิ่งในการเลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้ผิวของพลาสติกมีความพร้อมที่จะทำปฏิกิริยา และลดแรงดึงผิวกับตัวของเหลวโดยรอบ เช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) (ดังภาพที่ 2-13) เป็นต้น



ภาพที่ 2-13 โครงสร้างทางเคมีของสารโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)
ที่มา : C.T.Lee (2005)

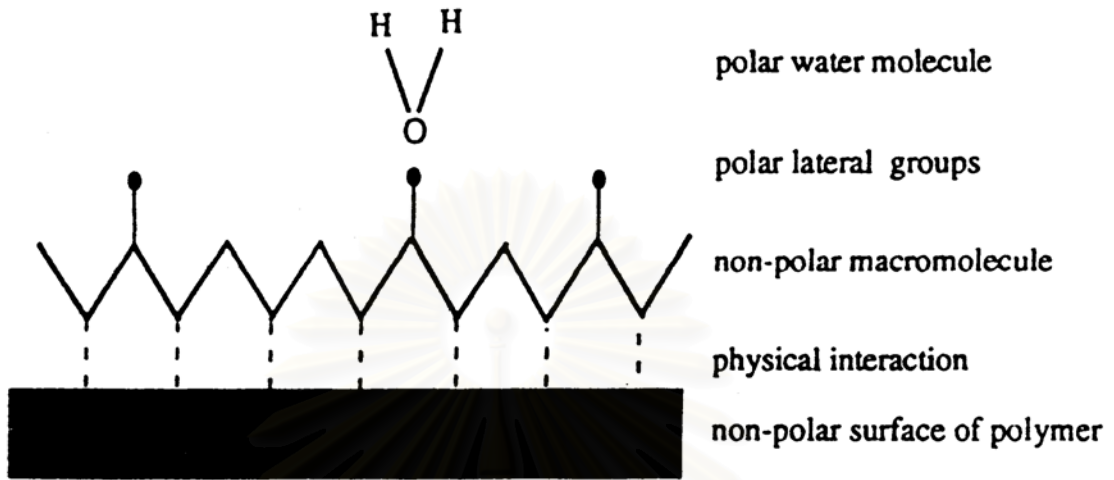
พลาสติกที่สามารถลอยน้ำได้เองนั้น เช่น โพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) นั้นมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ (ดังภาพที่ 2-14) โครงสร้าง (Structure) และพันธะ (Bonding) ระหว่างอะตอมของอนุภาคนั้นๆ มักเกาะตัวเป็นชั้นๆ ด้วยแรงระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนชนิดแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) จึงทำให้ผิวของอนุภาคมีลักษณะไม่มีขั้ว ไม่เปียกน้ำ และมีความสามารถในการลอยตามธรรมชาติ



ภาพที่ 2-14 ความหนาแน่นของพลาสติกต่างๆ
ที่มา : G.E.Hans (1993)

โดยกลไกการปรับสภาพผิวของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) กับ พลาสติกโพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เกิดขึ้นโดยอาศัยโครงสร้างทางเคมีที่เหมือนกัน พลาสติกทั้ง 3 ชนิด จัดเป็นโพลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว (non-polar) หรือ ไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic) ส่วนโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) จัดเป็นโพลิเมอร์ที่มีขั้ว (polar) หรือ เปียกน้ำ (Hydrophilic) ซึ่ง โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

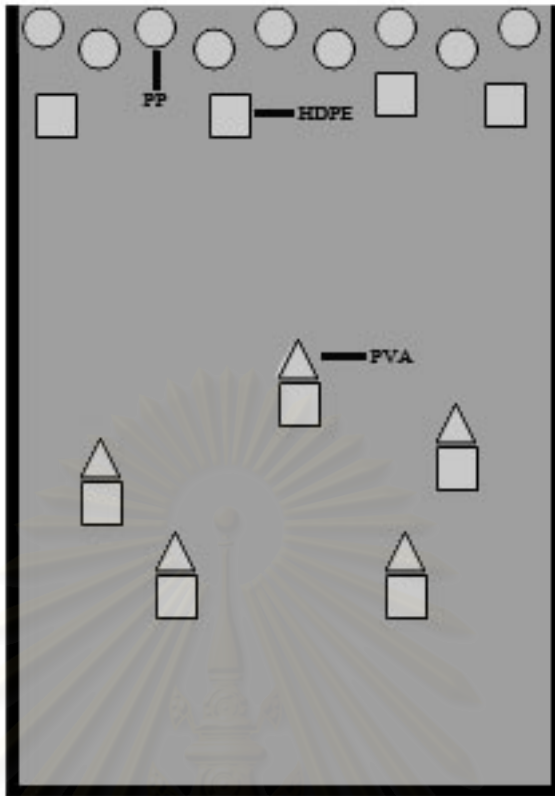
จะเข้ามาจับกับพลาสติกที่บริเวณผิวพลาสติก โดยเป็นการจับกันด้วยแรงพันธะแวนเดอวาลส์ (van der Waals) ทำให้ผิวพลาสติกเปลี่ยนสภาพจากไม่มีขั้ว (non-polar) หรือ ไม่เปียกน้ำ (Hydrophobic) เป็นมีขั้ว (polar) หรือ เปียกน้ำ (Hydrophilic) (ดังภาพที่ 2-15)



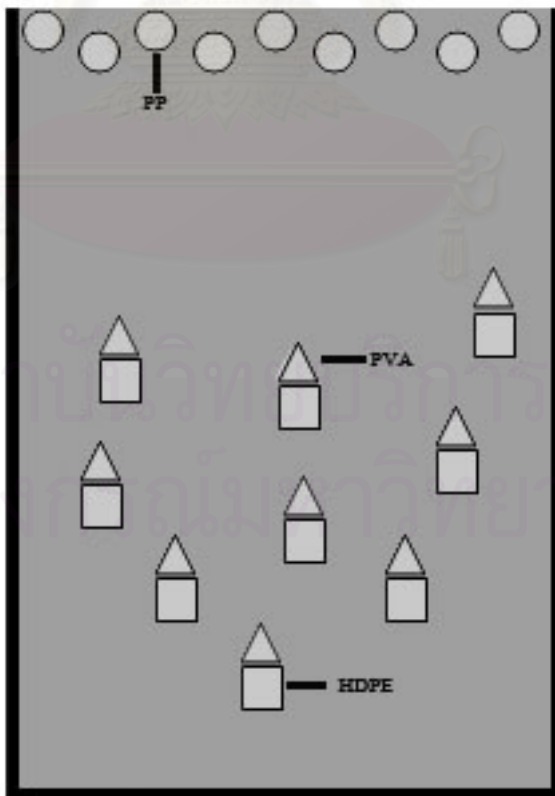
ภาพที่ 2-15 กลไกการปรับสภาพผิวของพลาสติก

ที่มา : Stuckrad BTO, Lo"hr K, Vogt V (1997)

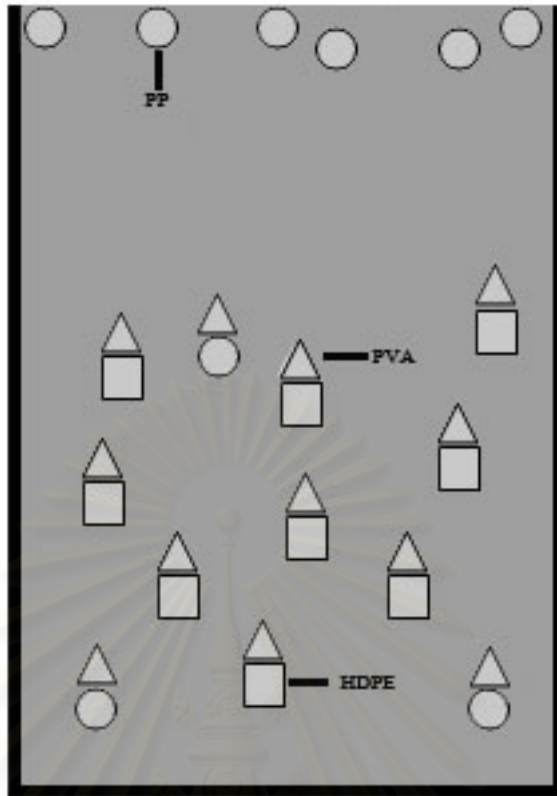
โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ตรงไม่มีกิ่งก้าน (Branch Chain) และกลุ่มฟังก์ชัน (Functional Group) จึงมีแนวโน้มถูกเคลือบผิวด้วยสารปรับสภาพผิว (PVA) ดีที่สุด ส่วนกรณีโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลแบบกิ่งก้าน โมเลกุลของสารปรับสภาพผิว (PVA) สามารถเข้าเคลือบผิวได้ทั้งสายโซ่หลักและสายโซ่กิ่ง จึงต้องใช้สารปรับสภาพผิว (PVA) ในการปรับสภาพผิวมากกว่ากรณีโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ขณะที่โมเลกุลของโพลีโพรพิลีน (PP) มีกลุ่มเมทิลตลอดสายโซ่ ส่งผลให้โมเลกุลของสารปรับสภาพผิว (PVA) เข้าเคลือบผิวได้ยาก จึงต้องใช้ปริมาณสารปรับสภาพผิว (PVA) มากกว่าทั้ง 2 กรณีที่กล่าวข้างบน ประสิทธิภาพการถูกเคลือบผิวด้วยสารปรับสภาพผิว (PVA) เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ HDPE>LDPE>PP ปริมาณสารปรับสภาพผิว (PVA) ที่มีน้อยเกินไปจะไม่เพียงพอต่อการเคลือบผิวพลาสติก แต่ถ้ามีปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการตัดแยกลดน้อยลง (ดังภาพที่ 2-16 ถึง 2-18)



ภาพที่ 2-16 ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่น้อยเกินไป



ภาพที่ 2-17 ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่พอดี



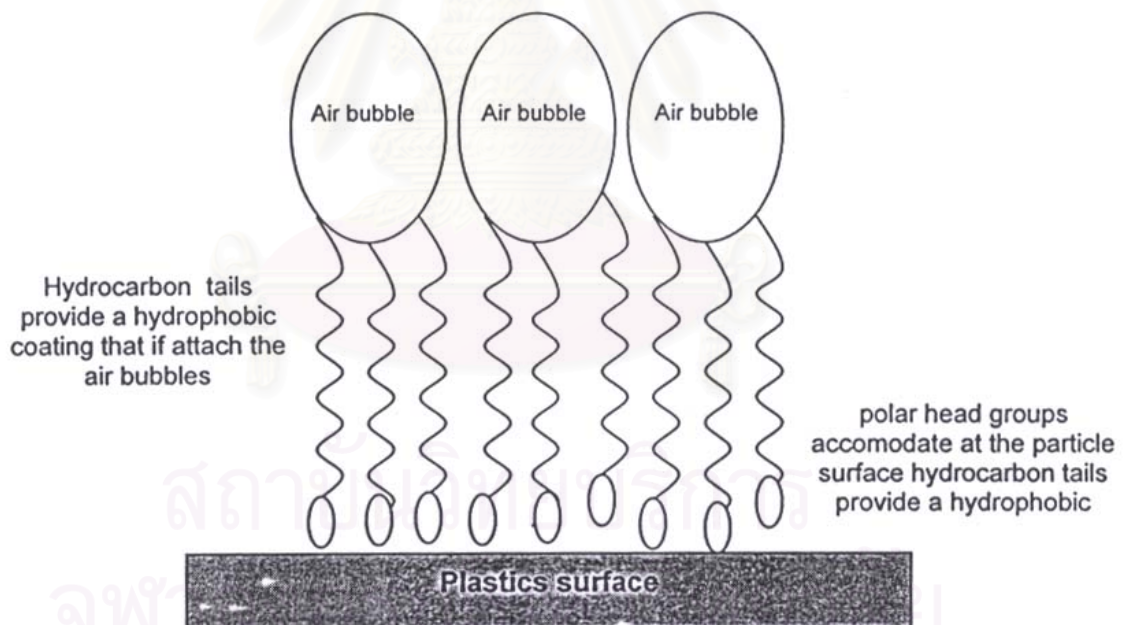
ภาพที่ 2-18 ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่มากเกินไป

2.8.2 สารเคลือบฟอง (Frothers) สารเคมีที่ใช้เป็นสารเคลือบฟองส่วนใหญ่จะมีสูตรทางเคมี คือ R.OH เช่นน้ำมันสน (Pine Oil), Methyl isobutyl carbinol (MIBC) (ดังตารางที่ 2-5) แต่ปรากฏว่ามีสารเคลือบผิวบางชนิดทำหน้าที่เป็นสารเคลือบฟองได้เช่นกัน เช่น กรดโอเลอิก (Oleic acid) ซึ่งถ้าใช้เป็นสารเคลือบฟองโดยตรงจะทำให้มีความเสถียรมากเกินไปจนทำให้การไหลหรือเคลื่อนย้ายถ่ายเทลำบาก ฉะนั้นสารเคลือบฟองที่ดีควรมีอำนาจการเคลือบผิวน้อยที่สุด ทำให้ฟองอากาศมีเสถียรภาพพอที่จะพองเม็ดแร่และวัสดุขึ้นมาได้ แต่ไม่เหนียวจนเกินไปจนยากแก่การเคลื่อนย้ายถ่ายเท

ตารางที่ 2-5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารเคลือบฟอง

สารเคลือบฟอง	สูตรโครงสร้าง
อะลิฟาติกส์ แอลกอฮอล์ - เมทิลไอโซบิวทิลคาร์บีนอล (MIBC)	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_3$
ไซคลิก แอลกอฮอล์ - น้ำมันสน (Pine oil)	$\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{OH}$
ฟีนอล - ครีซอล (Cresol)	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$
โพลีไกลคอล - โพลีโพรไพลีน ไกลคอล	$\text{R}(\text{OC}_3\text{H}_6)_n \text{OH}$, $n = 2-5$, $\text{R} = \text{CH}_3, \text{C}_4\text{H}_9$

สารเคลือบฟองจะทำหน้าที่เคลือบผิวพลาสติกที่มีสภาพผิวไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เพื่อช่วยพยุงตัวเม็ดแร่และวัสดุขึ้นมาได้ (ดังภาพที่ 2-13)



ภาพที่ 2-19 การจับกันของฟองอากาศกับผิวพลาสติก

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation) ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. วริษฐ์ โมกชะเวส และพรวิรัช เฟงศรี (2543) ศึกษาการแยกโพลิเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) ออกจาก โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยกระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation) ใช้กระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation) ในการคัดแยกพลาสติกผสมโพลิเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) ออกจาก โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) สำหรับตัวอย่างที่ใช้เป็นพลาสติกโพลิเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ทั่วไป นำมาย่อยให้มีขนาด $-4+10$ เมช แล้วทำการทดลองโดยศึกษา ความเข้มข้นของของผสม มีผลต่อความบริสุทธิ์ (%Purity) และการเก็บกลับคืน (%Recovery) อย่างไร

จากการทดลองพบว่า ขนาดที่เหมาะสมคือ $-7+10$ เมช ทำให้ความบริสุทธิ์ (%Purity) ของ โพลิเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) ลดลงเล็กน้อยแต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะใช้ขนาดโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) เล็กลงก็ยังให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ

2. สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย (2542) ศึกษาการแยกพลาสติกโพลีโพรไพลีน (PP) และ โพลิเอทิลีน (PE) โดยกระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation) ใช้หลักทฤษฎีกระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation) ในการคัดแยกพลาสติกผสมโพลีโพรไพลีน (PP) และ โพลิเอทิลีน (PE) ออกจากกัน สำหรับตัวอย่างที่ใช้เป็นพลาสติกที่เป็นผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์นำมาบดโดยเครื่องย่อย Shredder ให้มีขนาดเล็กลงแล้วนำไปคัดขนาดกับตะแกรง (sieve) แบ่งออกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ $+4$, $-4 + 6$, $-6 + 10$ และ -10 โดยการทดลองที่ตัวแปรต่าง ๆ กันเพื่อหาความบริสุทธิ์ (%Purity) และการเก็บกลับคืน (%Recovery)

จากการทดลองสรุปได้ว่า สามารถแยกจากกันได้ดีใกล้เคียงกันในทุกขนาดและทุกสภาวะ มีความบริสุทธิ์ (%Purity) และการเก็บกลับคืน (%Recovery) สูง โดยจุดที่มีปริมาณน้ำยา 80 cc ความเร็วรอบ 1300 rpm ขนาดพลาสติก $-4+6$ เมช ความเข้มข้นของของผสม = 0.4%solid มีความบริสุทธิ์ (%Purity) = 99% และการเก็บกลับคืน (%Recovery) = 99%

3. Gisela Ablas Marques, Jorge Alberto Soares Tenorio (1999) ทำการศึกษาคัดแยกโพลิเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) ออกจาก โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยกระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation) ได้ทำการทดลองโดยนำตัวอย่างพลาสติกจาก ท่อน้ำและขวดน้ำดื่ม มาทำการย่อยขนาดอยู่ที่ size $+4-6$ และ $-6+10$ โดยนำตัวอย่างอย่างละ 10 g มาผสมกัน และใช้ Calcium lignin sulfonate ที่ความเข้มข้น 300mg/l ใช้

Methyl isobutyl carbinol (MIBC) เป็นสารเคลือบฟอง และใช้ เวลาการกวน (condition time) 2 h, 1h, 30 min และ 10 min จากนั้นปรับ pH ของสารละลาย

จากการทดลองสรุปได้ว่า ที่ pH 12 ค่า recovery PVC อยู่ที่ 43.3% และ grade อยู่ที่ 93.5% และจะมีค่าการเก็บกลับคืน (%Recovery) ลดลงตามค่า pH ที่ลดลง นอกจากนี้ระยะเวลาการกวน (conditioning time) ที่ 30 และ 10 นาที ค่าการเก็บกลับคืน (%Recovery) มีค่าสูง และมีโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลท (PET) ปนมามากกว่า 30% โดยระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 60 นาที มีค่าการเก็บกลับคืน (%Recovery) = 98.9% และความบริสุทธิ์ (%Purity) = 99.3%

4. Teresa Bartolo, M. Teresa Carvalho, Fernando Durao and Elsa Agante (2003) ทำการศึกษาคัดแยกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลท (PET) จากโพลิสไตรีน (PS) โดยกระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation) โดยได้แบ่งการทดลองเป็น 3 phases โดย phase ที่ 1 ทำการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบพื้นฐานของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลท (PET) และโพลิสไตรีน (PS) เพื่อทำการหาสารเคมี (reagent) และค่า pH และศึกษาผลกระทบของ pH ที่มีต่อสารเคมี (reagent) ที่เลือกใช้ phase ที่ 2 ประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อการเก็บกลับคืน (%Recovery) ต่อพลาสติกทั้ง 2 ชนิด โดยศึกษาในส่วนของ grain size, flotation intensity, solids weight และ depressor's conditioning time phase ที่ 3 ทำการศึกษาโดยใช้ค่า condition ที่ทดลองมาคัดแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิด

จากการทดลองสรุปได้ว่า ในพลาสติกแต่ละชนิดทั้งโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลท (PET) และโพลิสไตรีน (PS) มีค่าการเก็บกลับคืน (%Recovery) ใน phase ที่ 1 และ 2 ที่ความเข้มข้นของ NaLS 20 mg/l และ pH 8.5 อยู่ที่ 74.2% of PET and 2.2% of PS (recovery on the floated product) ส่วนในการทดลอง phase ที่ 3 ได้ทำการทดลองพลาสติกทั้ง 2 ชนิดรวมกัน โดยอัตราส่วน PS:PET เป็น 1:9 ใช้ 60 mg/l ของ NaLS และ pH 8.5 ค่าการเก็บกลับคืน (%Recovery) อยู่ที่ 35.5% of pure PET

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

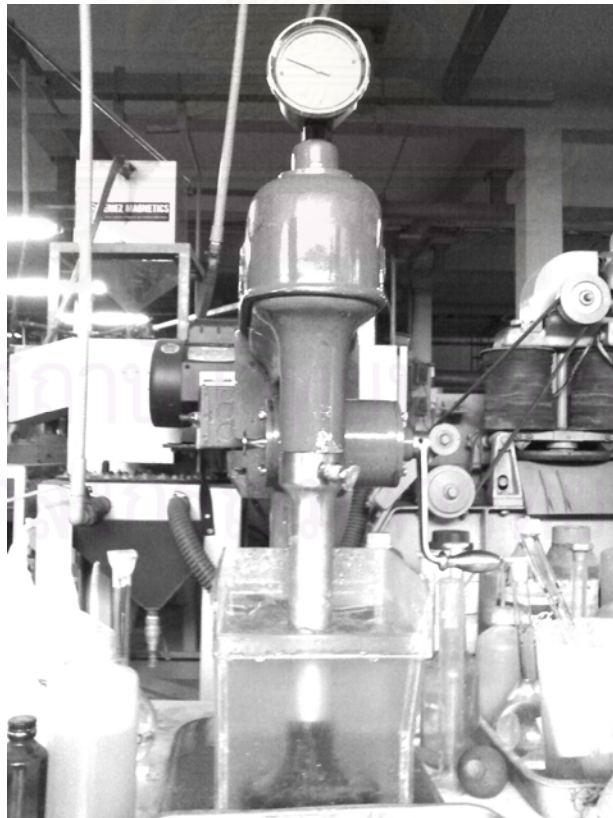
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิคการตัดแยกวัสดุทางกายภาพเพื่อการตัดแยกพลาสติกผสม ซึ่งประกอบด้วยโพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ได้ดำเนินการ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการสู่มตัวอย่างศึกษาสมบัติพื้นฐาน และศึกษาอิทธิพลของน้ำยาเคมี (สารปรับสภาพผิว) และความเร็วรอบที่มีผลต่อการลอยตัวของเม็ดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองแยกเม็ดพลาสติกผสมโดยใช้ปริมาณน้ำยาเคมี และความเร็วรอบที่เหมาะสม ณ ความเข้มข้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมรีไซเคิลต่อไป

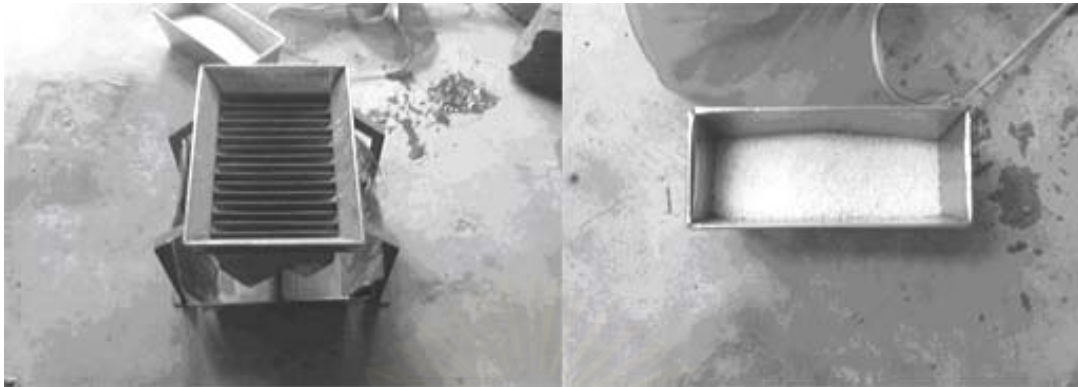
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.1.1 เครื่องลอยแร่ ยี่ห้อ DENVER Model B755-SER



ภาพที่ 3-1 เครื่องลอยแร่ ยี่ห้อ DENVER Model B755-SER

3.1.2 เครื่องสูมตัวอย่างโจนส์ริฟเฟิล (Jones riffle)



ภาพที่ 3-2 เครื่องสูมตัวอย่างโจนส์ริฟเฟิล (Jones riffle)

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 98.5-99.2 mol% จาก Chang Chun Petrochemical Co., Taiwan

3.2.2 น้ำมันสน (Pine Oil) ที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมลอยแร่

3.3 วิธีการดำเนินการทดลองและขั้นตอนการทดลอง

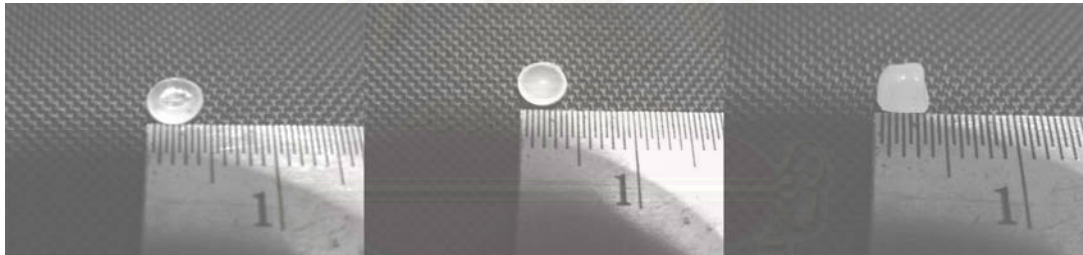
การทดลองเริ่มต้นจากการทดสอบสมบัติการลอยตัวของพลาสติกต่างชนิดกัน เมื่อมีปริมาณสารปรับสภาพผิวที่เหมาะสม เมื่อมีและไม่มีน้ำมันสนเปรียบเทียบกัน โดยควบคุมสัดส่วนองค์ประกอบของผสมคงที่ จากนั้นจึงศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำยาปรับสภาพผิว ความเร็วรอบการกวนของผสม เวลาการกวน (Conditioning time) สัดส่วนของแข็ง (เม็ดพลาสติก) กับของเหลว (น้ำผสมสารปรับสภาพผิวและน้ำมันสน) เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว จึงนำไปทดลองแยกเม็ดพลาสติกที่มีสัดส่วนองค์ประกอบใกล้เคียงองค์ประกอบของผสมที่ได้จากโรงงาน

3.3.1 การเก็บตัวอย่างเม็ดพลาสติก

สำหรับตัวอย่างเม็ดพลาสติกผสมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นของผสมระหว่าง โพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) (ดังภาพที่ 3-3) ซึ่งตกหล่นบนพื้นโรงงานระหว่างกระบวนการผลิตและขนถ่ายในโรงงานอุตสาหกรรมพลาสติกแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยได้ทำการสูมตัวอย่างด้วยวิธีโจนส์ริฟเฟิล (Jones riffle)



ภาพที่ 3-3 เม็ดพลาสติกผสมที่ตกหล่นบริเวณพื้นโรงงาน



(a)

(b)

(c)

ภาพที่ 3-4 ตัวอย่างเม็ดพลาสติกแต่ละชนิด

(a) โพลีโพรไพลีน (PP)

(b) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

(c) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

3.3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกผสมเมื่อใช้น้ำมันสน และไม้น้ำมันสน

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด มาล้างผึ่งให้แห้ง จากนั้นทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 4-10 ซึ่งเม็ดพลาสติกที่ใช้ทั้ง 2 ชนิด ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างที่ตะแกรงเบอร์ 6
2. ชั่งเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด อย่างละ 5 กรัม
3. นำเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ใส่ลงเครื่องลอยแร่พร้อมกับสารปรับสภาพผิวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 32 kg/ton feed ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 1300 rpm
4. ใช้เวลาในการกวน 5 นาที จึงเปิดฟองอากาศ
5. กวาดเอาฟองออกมานำเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยมากับฟองไปล้างแล้วชั่งน้ำหนัก และนำเม็ดพลาสติกส่วนที่จมอยู่ในเครื่องลอยแร่มาล้างแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นหาความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด
6. ทำข้อ 2-5 ซ้ำ โดยครั้งนี้ใส่น้ำมันสนลงไปพร้อมกับสารปรับสภาพผิว และเม็ดพลาสติก
7. นำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ

3.3.3 ศึกษาอิทธิพลของเวลาการกวน (conditioning time) ที่มีต่อประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกผสมกับเวลาในการกวน

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเม็ดพลาสติกโพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ทั้ง 2 ชนิด มาล้างผึ่งให้แห้ง จากนั้นทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 4-10 ซึ่งเม็ดพลาสติกที่ใช้ทั้ง 2 ชนิด ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างที่ตะแกรงเบอร์ 6
2. ชั่งเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด อย่างละ 5 กรัม
3. นำเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ใส่ลงเครื่องลอยแร่พร้อมกับสารปรับสภาพผิวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 20 kg/ton feed ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 1300 rpm

4. ใช้เวลาในการกวน 5 นาที จึงเปิดฟองอากาศ

5. กวาดเอาฟองออกมานำเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยมากับฟองไปล้างแล้วชั่งน้ำหนัก และนำเม็ดพลาสติกส่วนที่จมอยู่ในเครื่องลอยแร่มาล้างแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นหาความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด

6. ทำข้อ 2-5 ซ้ำ โดยปรับเวลาการกวนเป็น 10 และ 15 นาทีตามลำดับ

7. ทำข้อ 2-6 ซ้ำ โดยเปลี่ยนเม็ดพลาสติกผสมเป็นโพลิโพรไพลีน (PP) กับ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ตามลำดับ

3.3.4 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารปรับสภาพผิวและความเร็วรอบที่มีต่อประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกผสม

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเม็ดพลาสติกโพลิโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ทั้ง 2 ชนิด มาล้างผึ่งให้แห้ง จากนั้นทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 4-10 ซึ่งเม็ดพลาสติกที่ใช้ทั้ง 2 ชนิด ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างที่ตะแกรงเบอร์ 6

2. ชั่งเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด อย่างละ 5 กรัม

3. นำเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ใส่ลงเครื่องลอยแร่พร้อมกับสารปรับสภาพผิวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 16 kg/ton feed ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 1300 rpm

4. ใช้เวลาในการกวน 10 นาที จึงเปิดฟองอากาศ

5. กวาดเอาฟองออกมานำเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยมากับฟองไปล้างแล้วชั่งน้ำหนัก และนำเม็ดพลาสติกส่วนที่จมอยู่ในเครื่องลอยแร่มาล้างแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นหาความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด

6. ทำข้อ 2-5 ซ้ำ โดยปรับปริมาณสารปรับสภาพผิวเป็น 20, 24, 28, 32 และ 36 kg/ton feed

7. ทำข้อ 2-6 ซ้ำ โดยเปลี่ยนเม็ดพลาสติกผสมเป็นโพลิโพรไพลีน (PP) กับ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ตามลำดับ

8. ทำข้อ 3-7 ซ้ำโดยใช้ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่เหมาะสมที่หาได้ข้างต้นแต่ละชุดการทดลอง เปลี่ยนความเร็วรอบใบพัดเป็น 1100, 1300, 1500, 1700 และ 2100 rpm

3.3.5 ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของแข็งต่อของเหลว (หรือความเข้มข้นของเม็ดพลาสติกผสม) ที่มีต่อประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกผสม

การทดลองนี้ นำเม็ดพลาสติกทั้งสามชนิดที่ผสมกันมาทำการทดลองโดยใช้ปริมาณ PVA และความเร็วรอบเหมาะสม ที่ได้จากการทดลองส่วนแรก เพื่อหาสัดส่วนของของผสม (%solid) โดยการทดลองนี้จะแบ่งเป็น 2 เฟส โดยเฟสแรกจะทำการแยกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ออกจากโพลิโพรไพลีน (PP) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ส่วนเฟส 2 จะทำการแยกโพลิโพรไพลีน (PP) ออกจากโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) (ดังภาพที่ 3-3) ทำการคำนวณหาการเก็บกลับคืน (%Recovery) และ ความบริสุทธิ์ (%Purity) ของพลาสติกทั้ง 3 ชนิด

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเม็ดพลาสติกโพลิโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ทั้ง 3 ชนิด มาล้างผึ่งให้แห้ง จากนั้นทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 4-10 ซึ่งเม็ดพลาสติกที่ใช้ทั้ง 3 ชนิด ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างที่ตะแกรงเบอร์ 6

2. ชั่งเม็ดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด น้ำหนักรวม 10 กรัม

3. นำเม็ดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ใส่ลงเครื่องลอยแร่พร้อมกับสารปรับสภาพผิวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 24 kg/ton feed ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 1300 rpm

4. ใช้เวลาในการกวน 10 นาที จึงเปิดฟองอากาศ

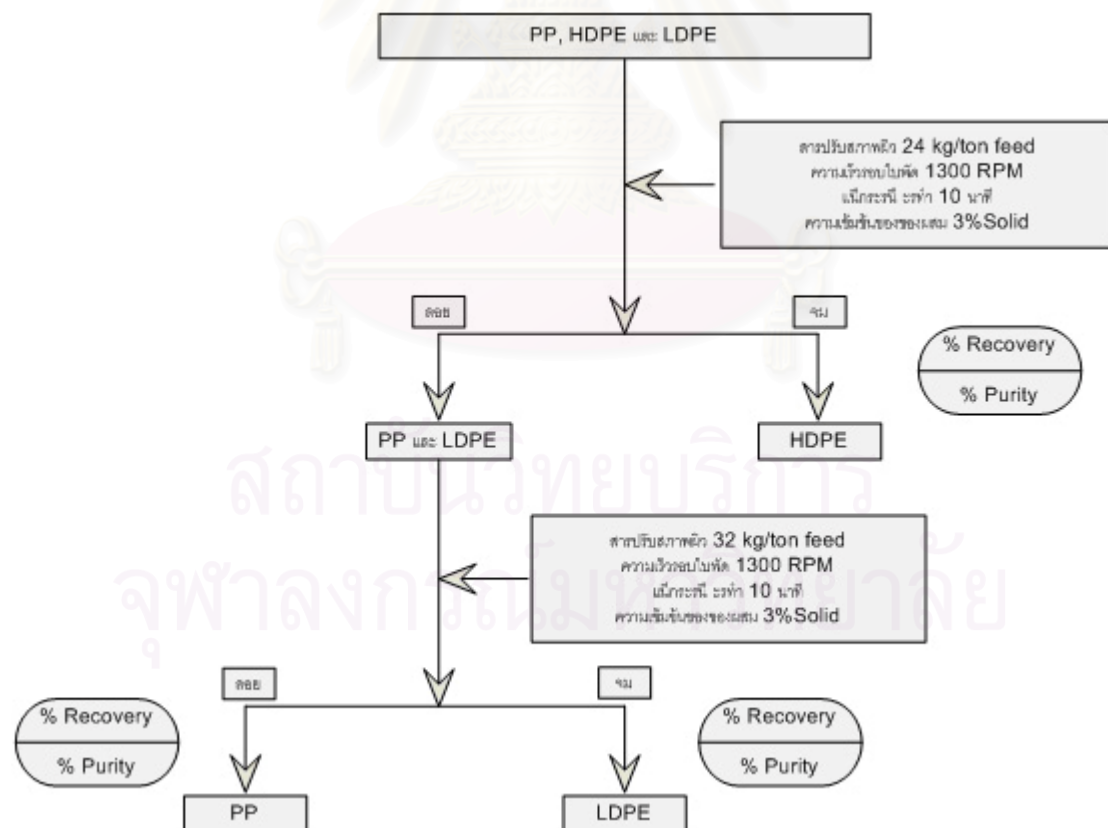
5. กวาดเอาฟองออกมานำเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยมากับฟองไปล้างแล้วชั่งน้ำหนัก และนำเม็ดพลาสติกส่วนที่จมอยู่ในเครื่องลอยแร่มาล้างแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นหาความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติกที่จม

6. นำเม็ดพลาสติกผสมส่วนที่ลอยออกมา ใส่ลงเครื่องลอยแร่พร้อมกับสารปรับสภาพผิว โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 32 kg/ton feed ตั้งความเร็วรอบไว้ที่ 1300 rpm

7. ใช้เวลาในการกวาน 10 นาที จึงเปิดฟองอากาศ

8. กวาดเอาฟองออกมานำเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยมากับฟองไปล้างแล้วชั่งน้ำหนัก และนำเม็ดพลาสติกส่วนที่จมอยู่ในเครื่องลอยแร่มาล้างแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นหาความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด

9. ทำข้อ 2-8 ซ้ำ โดยปรับปริมาณความเข้มข้นของของผสมเป็น 1, 2, 3 และ 4%



ภาพที่ 3-3 แผนผังการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

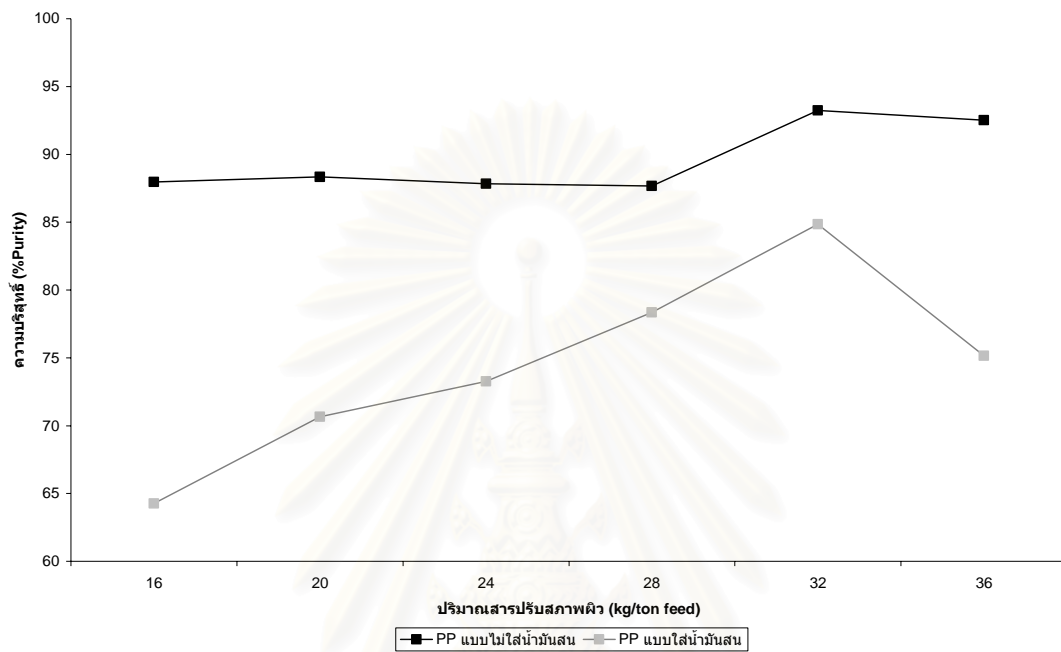
4.1 อิทธิพลของน้ำมันสนที่มีต่อประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกผสม

ในการลอยแยกแรงแนียมใช้น้ำมันสนช่วยในการเพิ่มเสถียรภาพฟองอากาศ ช่วยพยุงให้แร่ที่ต้องการลอยตัวได้ดีขึ้น การทดลองนี้จึงทดสอบอิทธิพลของน้ำมันสน (Pine Oil) ที่มีต่อประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกผสม โดยทดลองใช้เม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลิโพรไพลีน (PP) และโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ใช้สารปรับสภาพผิว (PVA) ความเข้มข้น 2000 ppm ใช้เวลาในการกวน 10 นาที ความเร็วรอบใบพัด 1300 rpm โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ไม่ใส่น้ำมันสน (Pine Oil) ชุดที่ 2 ใส่น้ำมันสน (Pine Oil) 10 หยด

จากการศึกษาทดลองคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง โพลิโพรไพลีน (PP) และโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับน้ำมันสน (Pine oil) พบว่า การทดลองชุดที่ 1 สามารถคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมได้ดี ส่วนการทดลองชุดที่ 2 แม้จะคัดแยกเม็ดพลาสติกได้ดี แต่ก็ไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากหลังจากเปิดฟองอากาศไปสักครู่แล้วฟองอากาศสามารถพยุงเม็ดพลาสติกโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ขึ้นมาด้วย ทั้งที่เม็ดพลาสติกโพลิโพรไพลีน (PP) ยังลอยขึ้นมาไม่หมด ทำให้ต้องหยุดเปิดฟองอากาศ ซึ่งมีผลต่อการเก็บกลับคืน และความบริสุทธิ์ของเม็ดพลาสติกโพลิโพรไพลีน (PP) ทั้งนี้เพราะน้ำมันสน (Pine Oil) มีส่วนทำให้ฟองอากาศเหนียวและไม่แตกง่าย จึงสามารถพยุงเอาเม็ดพลาสติกโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่อยู่ในลักษณะของสารแขวนลอยลอยขึ้นมาได้ ในขณะที่การทดลองชุดที่ 1 ไม่ใส่น้ำมันสน (Pine Oil) พบว่า สามารถที่จะเก็บเม็ดพลาสติกโพลิโพรไพลีน (PP) ได้โดยที่เม็ดพลาสติกโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ไม่ลอยขึ้นมา

เนื่องจากเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนั้น มีสมบัติ Hydrophobic (มีสภาพลอยน้ำ) เมื่อใส่สารปรับสภาพผิวลงไปเพื่อให้เม็ดพลาสติกอีกชนิดหนึ่งอยู่ในสภาพมีขั้วและจมน้ำ ดังนั้นน้ำมันสน (Pine Oil) จึงไม่จำเป็นที่จะใส่ลงไป นอกจากนี้ น้ำมันสน (Pine Oil) ยังเป็นอุปสรรคในการเก็บกลับคืนเม็ดพลาสติกที่ลอยมากับน้ำด้วย เพราะน้ำมันสน (Pine Oil) สามารถที่จะพยุงเม็ดพลาสติกที่จมอยู่ให้ลอยขึ้นมาได้ ดังนั้นวิธีการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมแบบไม่ใส่น้ำมันสน เหมาะกับการคัดแยกพลาสติกที่มีสมบัติการลอยตัวตามธรรมชาติ เช่น โพลิโพรไพลีน (PP), โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

อาจสรุปได้ว่าการคัดแยกพลาสติกผสมที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำและมีสมบัติไฮโดรโฟบิก อย่างเช่น โพลีโพรไพลีน (PP) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ด้วยเทคนิคการลอยแยก ไม่มีความจำเป็นต้องใช้น้ำมันสนเป็นสารช่วยเพิ่มฟองอากาศ



ภาพที่ 4-1 อิทธิพลของน้ำมันสนที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม

4.2 อิทธิพลของสารปรับสภาพผิวที่มีต่อความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก

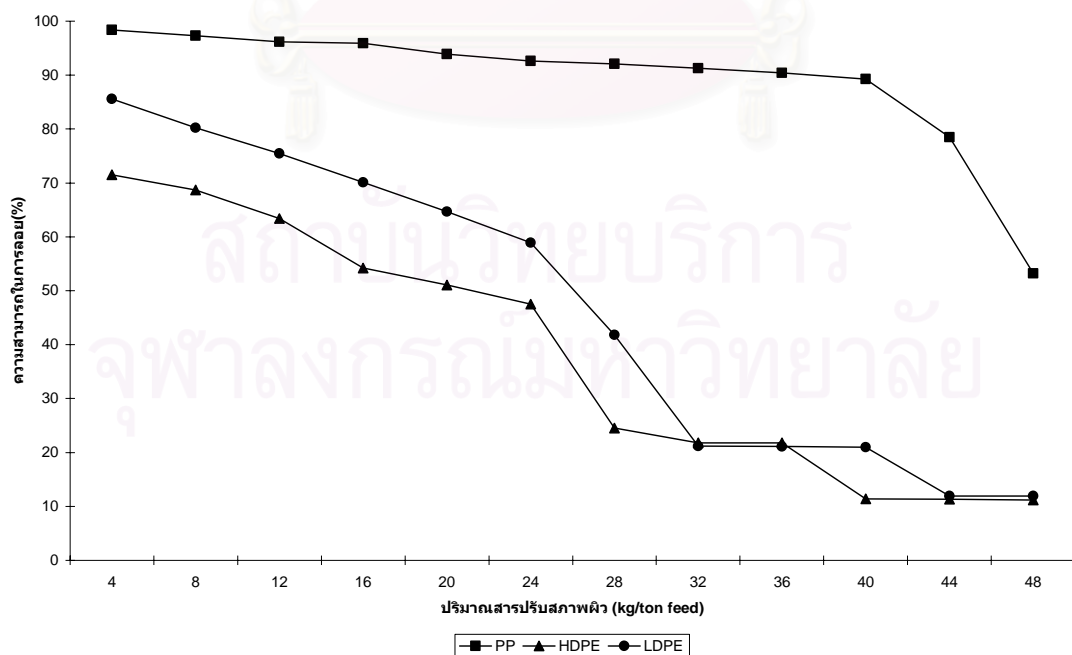
การทดลองนี้ทดสอบอิทธิพลของสารปรับสภาพผิว (PVA) ที่มีต่อความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ชุด ชุดที่ 1 ใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรไพลีน (PP) ชุดที่ 2 ใช้เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และชุดที่ 3 ใช้เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ตามลำดับ ทั้ง 3 ชุดการทดลองใช้เวลาในการกวนคงที่ 10 นาที ความเร็วรอบใบพัดคงที่ 1300 rpm ขณะที่แปรผันปริมาณสารปรับสภาพผิว (PVA) ตั้งแต่ 4-48 กิโลกรัมต่อตันพลาสติกป้อนเข้า (kg/ton feed)

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4-2 พบว่า กรณี โพลีโพรไพลีน (PP) แม้เพิ่มสารปรับสภาพผิว (PVA) มากถึง 48 kg/ton feed ความสามารถในการลอยตัวก็ยังคงสูงกว่า 50% ขณะที่กรณี โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ความสามารถในการลอยตัวลดลงเมื่อปริมาณสารปรับสภาพผิวเพิ่มมากขึ้น และความสามารถในการลอยตัวลดลงกว่า 50% เมื่อปริมาณสารปรับสภาพผิวมากกว่า 28 kg/ton

feed โดยที่ประสิทธิภาพการลดความสามารถในการลอยตัวของพลาสติกทั้งสามชนิดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ HDPE>LDPE>PP ตามลำดับ

การที่สารปรับสภาพผิว (PVA) ลดความสามารถในการลอยตัวของ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ได้ดีกว่า โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และโพลีโพรไพลีน (PP) ตามลำดับ อาจอธิบายได้ดังนี้ ณ สภาวะปกติ (ไม่มีสารปรับสภาพผิว) พลาสติกทั้ง 3 ชนิด มีสภาพผิวเป็นไฮโดรโฟบิก และเนื่องจากความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ พลาสติกทั้ง 3 ชนิด จึงลอยน้ำ แต่เมื่อเติมสารปรับสภาพผิว (PVA) ลงไป ซึ่งเป็นไฮโดรฟิลิกพอลิเมอร์ จะเข้าไปเคลือบสายโซ่พอลิเมอร์ของพลาสติก ส่งผลให้สภาพผิวพลาสติกมีสมบัติไฮโดรฟิลิกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการลอยตัวจึงลดลง

ดังนั้นโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ตรง ไม่มีกิ่งก้าน (Branch Chain) และกลุ่มฟังก์ชัน (Functional Group) จึงมีแนวโน้มถูกเคลือบผิวด้วยสารปรับสภาพผิว (PVA) ดีที่สุด ความสามารถในการลอยตัวจึงลดลงได้ดีที่สุดเมื่อเติมสารปรับสภาพผิว (PVA) ลงในน้ำ ส่วนกรณีโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลแบบกิ่งก้าน โมเลกุลของสารปรับสภาพผิว (PVA) สามารถเข้าเคลือบผิวได้ทั้งสายโซ่หลักและสายโซ่กิ่ง จึงต้องใช้สารปรับสภาพผิว (PVA) ในการปรับสภาพผิวมากกว่ากรณีโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ขณะที่โมเลกุลของโพลีโพรไพลีน (PP) มีกลุ่มเมทิลตลอดสายโซ่ ส่งผลให้โมเลกุลของสารปรับสภาพผิว (PVA) เข้าเคลือบผิวได้ยาก ความสามารถในการลอยตัวจึงลดลงเล็กน้อย



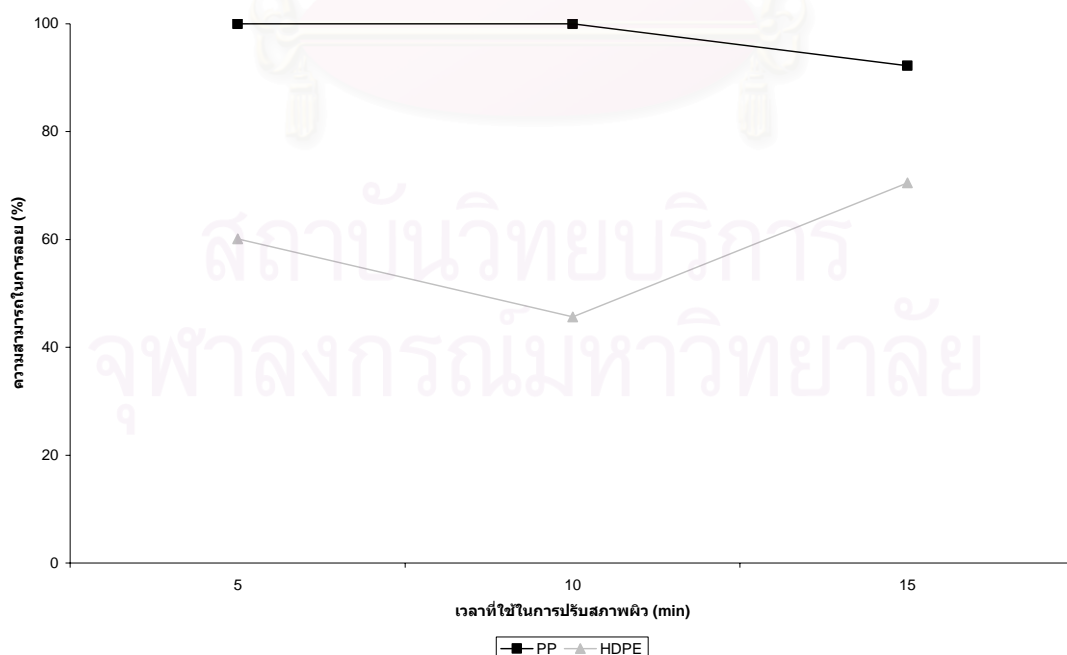
ภาพที่ 4-2 อิทธิพลของสารปรับสภาพผิวที่มีต่อความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติกผสม

4.3 อิทธิพลของเวลาการปรับสภาพผิว (Condition time) ที่มีต่อความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก

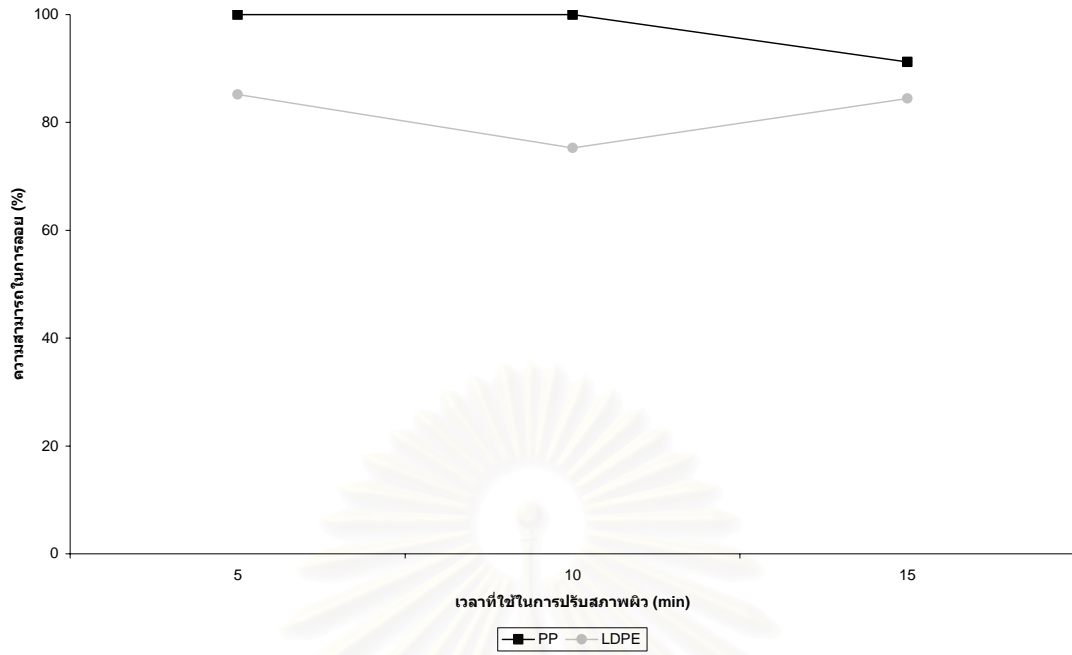
การทดลองนี้ทดสอบอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิว (Conditioning time) ที่มีต่อความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ชุด ชุดที่ 1 ใช้เม็ดพลาสติก PP ผสมกับ HDPE ชุดที่ 2 ใช้เม็ดพลาสติก PP ผสมกับ LDPE และชุดที่ 3 ใช้เม็ดพลาสติก HDPE ผสมกับ LDPE โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองใช้ปริมาณสารปรับสภาพผิว (PVA) คงที่ 20 kg/ton feed ความเร็วรอบใบพัดคงที่ 1300 rpm ขณะที่แปรผันเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิว (Conditioning time)

จากการศึกษาทดลองพบว่า หากเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิว (Conditioning time) น้อยเกินไปทำให้สารปรับสภาพผิวเกิดปฏิกิริยาเข้าจับกับเม็ดพลาสติกทั้ง 3 ชุด การทดลองได้ไม่ดี นอกจากนี้ หากเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิว (Conditioning time) มากเกินไป ยิ่งทำให้สารปรับสภาพผิวสามารถเข้าจับกับเม็ดพลาสติกทั้ง 3 ชุดการทดลองได้ดี ทำให้ความสามารถในการลอยตัว (Floatability) ของเม็ดพลาสติกทั้งสามไม่แตกต่างกันมาก จึงทำให้แยกเม็ดพลาสติกออกจากกันได้ยากยิ่งขึ้น

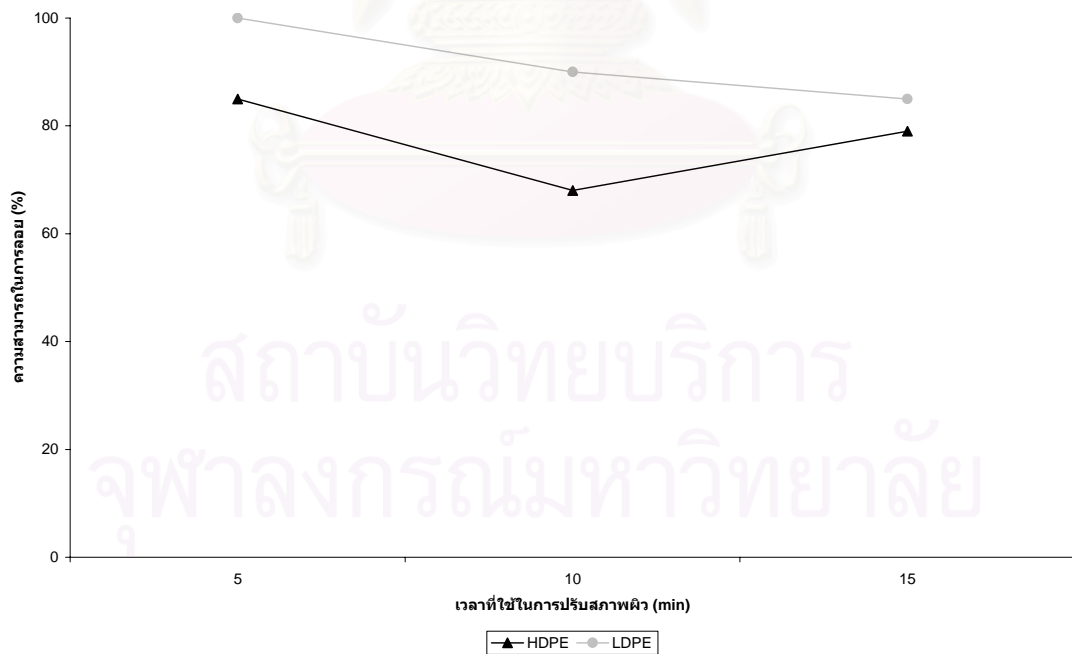
จากผลการทดลองทั้ง 3 ชุด พบว่า เวลาการปรับสภาพผิวหรือ conditioning time ที่เหมาะสม กล่าวคือ ความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติกแต่ละชนิดต่างกันมากที่สุดคือ 10 นาที (ดังภาพที่ 4-3 ถึง 4-5)



ภาพที่ 4-3 เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิวกับความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก



ภาพที่ 4-4 เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิวกับความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก



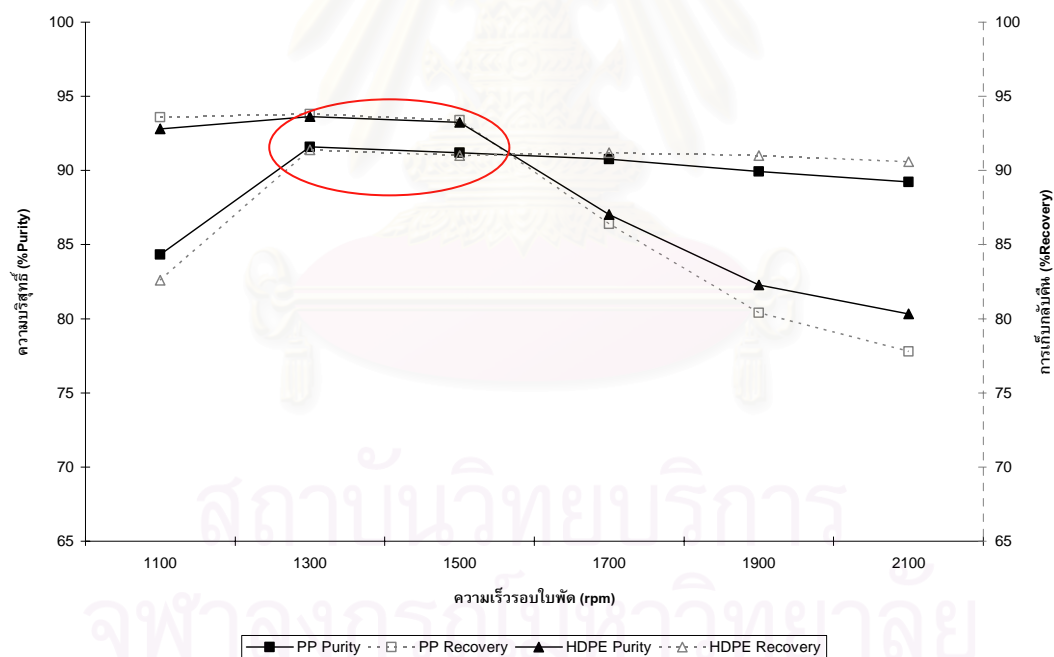
ภาพที่ 4-5 เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิวกับความสามารถในการลอยตัวของเม็ดพลาสติก

4.4 อิทธิพลของความเร็รรอบใบพัดและ/หรือปริมาณสารปรับสภาพผิวที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง PP กับ HDPE

4.4.1 ความเร็รรอบใบพัดกับประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติก

โดยการทดลองใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรไพลีน (PP) กับเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที ปริมาณสารปรับสภาพผิว 24 kg/ton feed ขณะแปรผันความเร็รรอบใบพัด

จากการศึกษาทดลองอิทธิพลของความเร็รรอบใบพัดที่มีต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน (PP) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยใช้ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่ 24 kg/ton feed พบว่า ที่ความเร็รรอบใบพัดระหว่าง 1300-1500 rpm เป็นความเร็รรอบที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยก PP กับ HDPE ได้ดีที่สุด กล่าวคือ ทั้ง%ความบริสุทธิ์ และ%การเก็บกลับคืนสูงสุด ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านพลังงานจึงควรเลือกที่ความเร็รรอบ 1300 rpm (ดังภาพที่ 4-6)



ภาพที่ 4-6 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแปรผันกับความเร็รรอบต่างๆที่ปริมาณสารปรับสภาพผิว 24 kg/ton feed

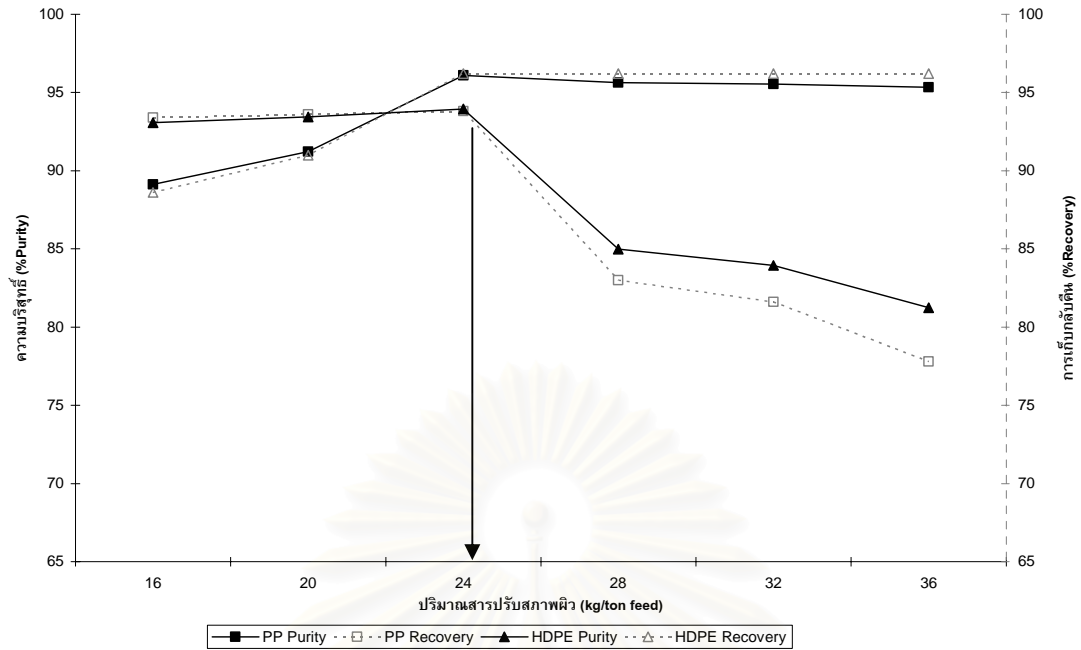
4.4.2 ปริมาณสารปรับสภาพผิวกับประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติก

โดยการทดลองใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรไพลีน (PP) กับเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที ความเร็วรอบใบพัดที่ 1300-1500 rpm ขณะแปรผันปริมาณสารปรับสภาพผิว

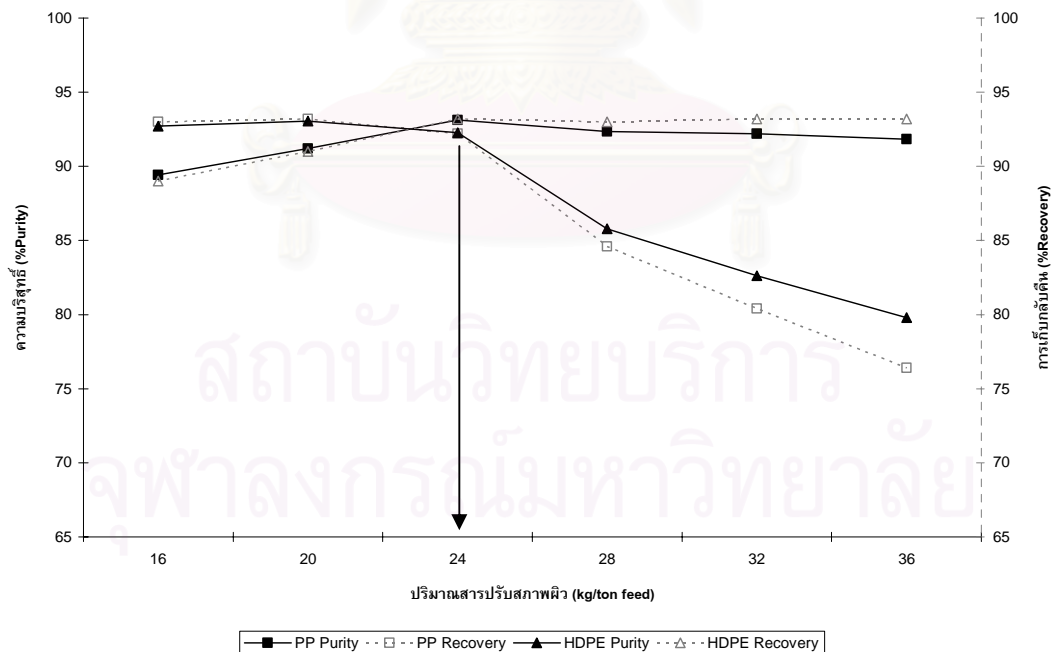
จากการศึกษาทดลองประสิทธิภาพในการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน (PP) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ความเร็วรอบใบพัด 1300-1500 rpm ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที พบว่า ปริมาณสารปรับสภาพผิว หรือ PVA ที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยก PP กับ HDPE สูงสุด (กล่าวคือ ความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนสูงสุด) คือ 24 kg/ton feed พบว่า ความบริสุทธิ์ (%Purity) และการเก็บกลับคืน (%Recovery) ในช่วงปริมาณสารปรับสภาพผิวที่ 24 kg/ton feed นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในแง่เศรษฐศาสตร์เลือกจุดที่คุ้มค่าที่สุดในด้านการลงทุนคือ ที่ความเร็วรอบใบพัด 1300 rpm

ตารางที่ 4-1 แสดงผลเปรียบเทียบความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติก

ชนิดพลาสติก/ความเร็วรอบใบพัด	1300 rpm		1500 rpm	
	ความบริสุทธิ์ (%Purity)	การเก็บกลับคืน (%Recovery)	ความบริสุทธิ์ (%Purity)	การเก็บกลับคืน (%Recovery)
โพลีโพรไพลีน (PP)	96.11	93.80	93.13	92.20
โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	93.94	96.20	92.28	93.20



ภาพที่ 4-7 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน และโพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงแปรผันปริมาณของสารปรีสภาพผิว ที่ความเร็วรอบ 1300 rpm



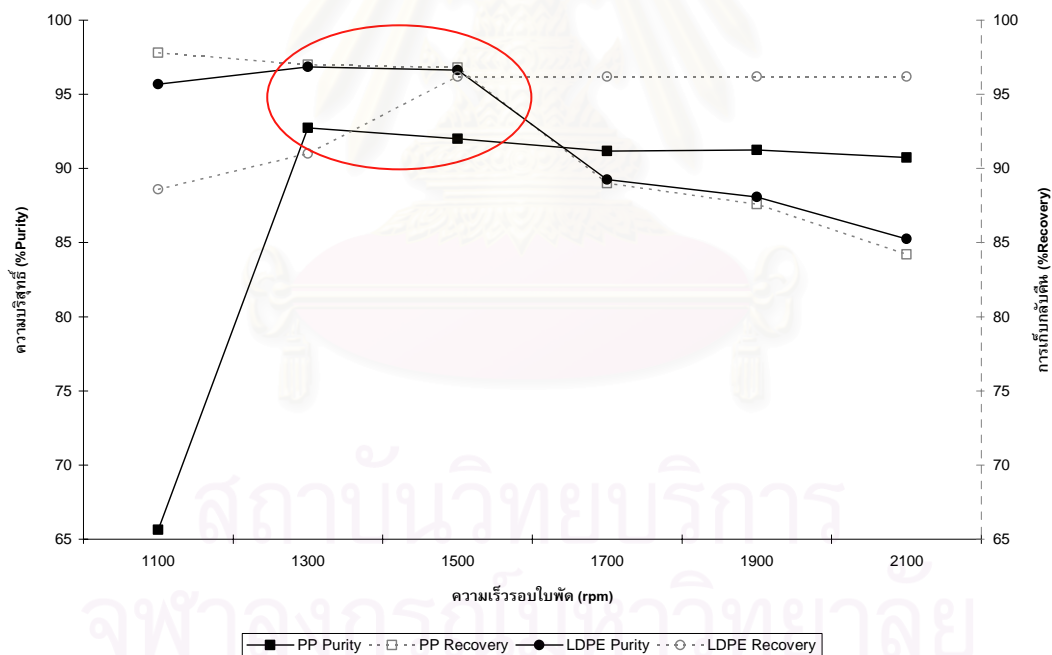
ภาพที่ 4-8 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน และโพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงแปรผันปริมาณของสารปรีสภาพผิว ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm

4.5 อิทธิพลของความเร็รรอบใบพัดและ/หรือปริมาณสารปรับสภาพผิวที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง PP กับ LDPE

4.5.1 ความเร็รรอบใบพัดกับประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติก

โดยการทดลองใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรไพลีน (PP) กับเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที ปริมาณสารปรับสภาพผิว 32 kg/ton feed ขณะแปรผันความเร็รรอบใบพัด

จากการศึกษาทดลองถึงอิทธิพลของความเร็รรอบใบพัดที่มีต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน (PP) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยใช้ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่ 32 kg/ton feed พบว่า ที่ความเร็รรอบใบพัดระหว่าง 1300-1500 rpm เป็นความเร็รรอบที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยก PP กับ LDPE ได้ดีที่สุด กล่าวคือ ทั้ง%ความบริสุทธิ์ และ%การเก็บกลับคืนสูงสุด ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านพลังงานจึงควรเลือกที่ความเร็รรอบ 1300 rpm (ดังภาพที่ 4-9)



ภาพที่ 4-9 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับความเร็รรอบต่างๆที่ปริมาณสารปรับสภาพผิว 32 kg/ton feed

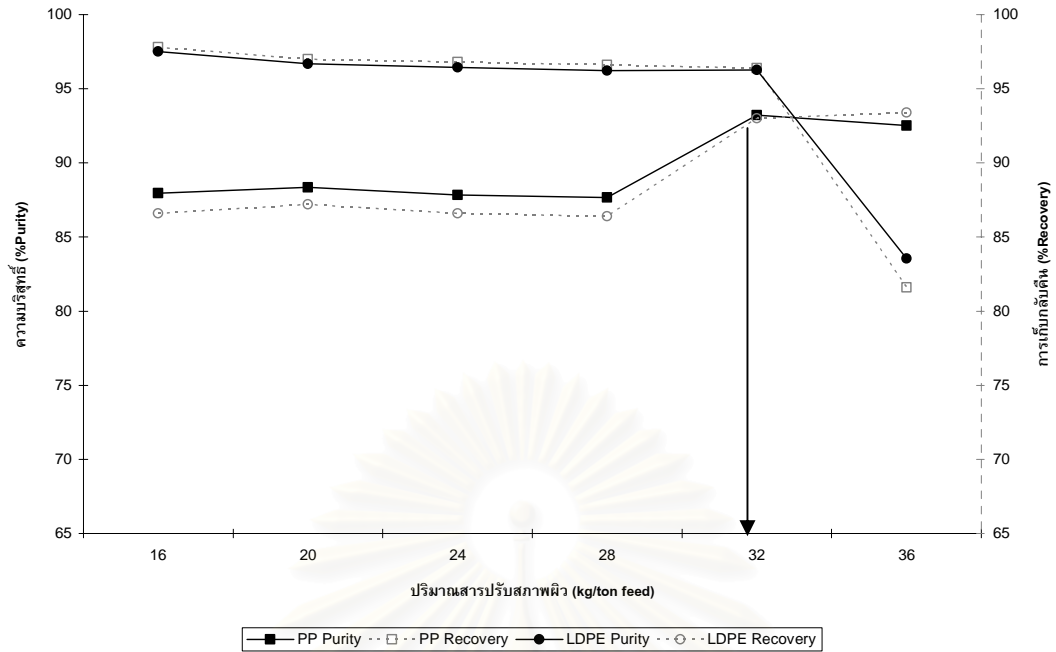
4.5.2 ปริมาณสารปรับสภาพผิวกับประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติก

โดยการทดลองใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรไพลีน (PP) กับเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที ความเร็วรอบใบพัดที่ 1300-1500 rpm -Itแปรผันปริมาณสารปรับสภาพผิว

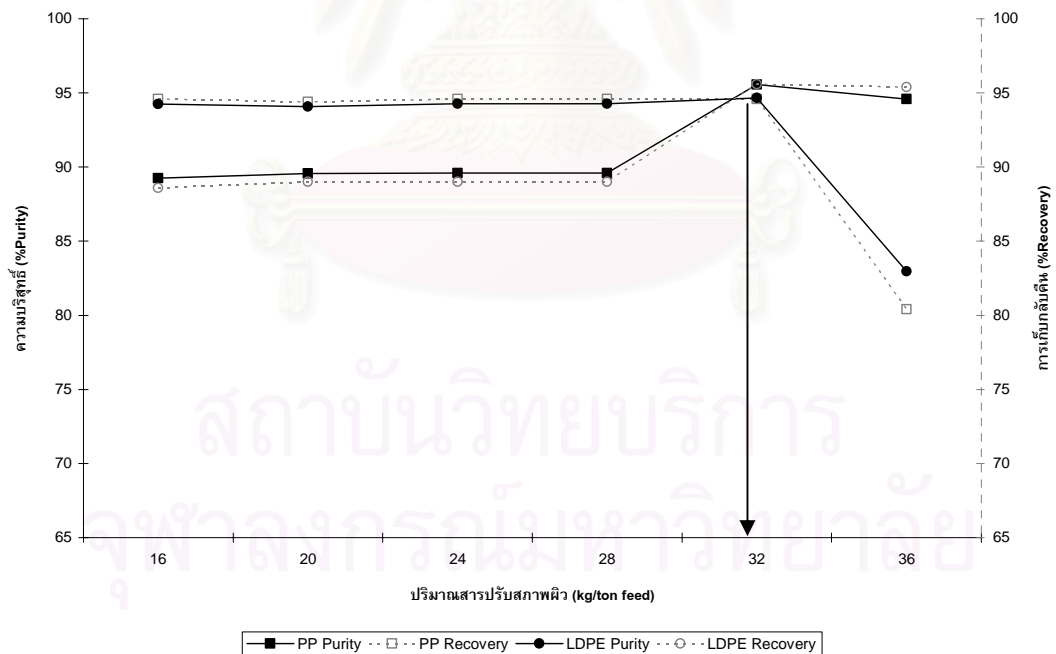
จากการศึกษาทดลองประสิทธิภาพในการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน (PP) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่ความเร็วรอบใบพัด 1300-1500 rpm ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที พบว่า ปริมาณสารปรับสภาพผิว หรือ PVA ที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยก PP กับ LDPE (กล่าวคือ ความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนสูงสุด) คือ 32 kg/ton feed พบว่า ความบริสุทธิ์ (%Purity) และการเก็บกลับคืน (%Recovery) ในช่วงปริมาณสารปรับสภาพผิวที่ 32 kg/ton feed นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในแง่เศรษฐศาสตร์เลือกจุดที่คุ้มค่าที่สุดในด้านการลงทุนคือ ที่ความเร็วรอบใบพัด 1300 rpm

ตารางที่ 4-2 แสดงผลเปรียบเทียบความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติก

ชนิดพลาสติก/ความเร็วรอบใบพัด	1300 rpm		1500 rpm	
	ความบริสุทธิ์ (%Purity)	การเก็บกลับคืน (%Recovery)	ความบริสุทธิ์ (%Purity)	การเก็บกลับคืน (%Recovery)
โพลีโพรไพลีน (PP)	93.23	96.40	95.56	94.60
โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	96.27	93.00	94.65	95.60



ภาพที่ 4-10 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน และโพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับปริมาณ PVA ที่ 1300 rpm



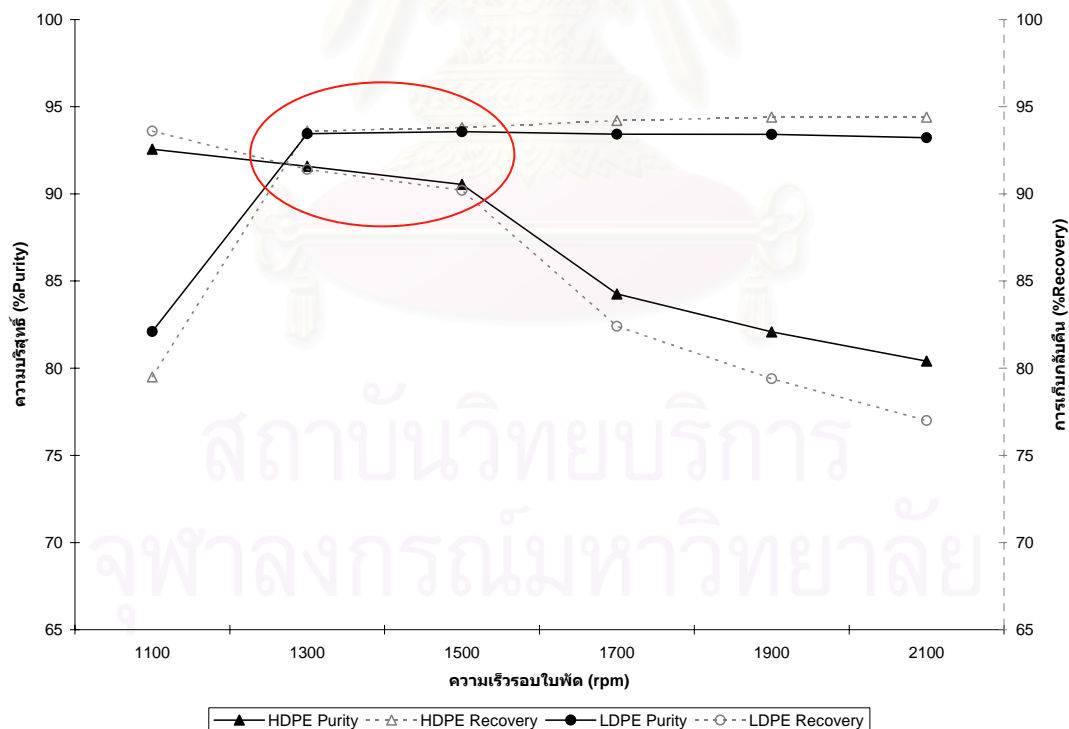
ภาพที่ 4-11 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน และโพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับปริมาณ PVA ที่ 1500 rpm

4.6 อิทธิพลของความเร็รรอบใบพัดและ/หรือปริมาณสารปรับสภาพผิวที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE

4.6.1 ความเร็รรอบใบพัดกับประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติก

โดยการทดลองใช้เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที ปริมาณสารปรับสภาพผิว 28 kg/ton feed ขณะแปรผันความเร็รรอบใบพัด

จากการศึกษาทดลองถึงอิทธิพลของความเร็รรอบใบพัดที่มีต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยใช้ปริมาณสารปรับสภาพผิวที่ 28 kg/ton feed พบว่าที่ความเร็รรอบใบพัดระหว่าง 1300-1500 rpm เป็นความเร็รรอบที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยก HDPE กับ LDPE ได้ดีที่สุด กล่าวคือ ทั้ง%ความบริสุทธิ์ และ%การเก็บกลับคืนสูงสุด ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านพลังงานจึงควรเลือกที่ความเร็รรอบ 1300 rpm (ดังภาพที่ 4-12)



ภาพที่ 4-12 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับความเร็รรอบต่างๆที่ปริมาณสารปรับสภาพผิว 28 kg/ton feed

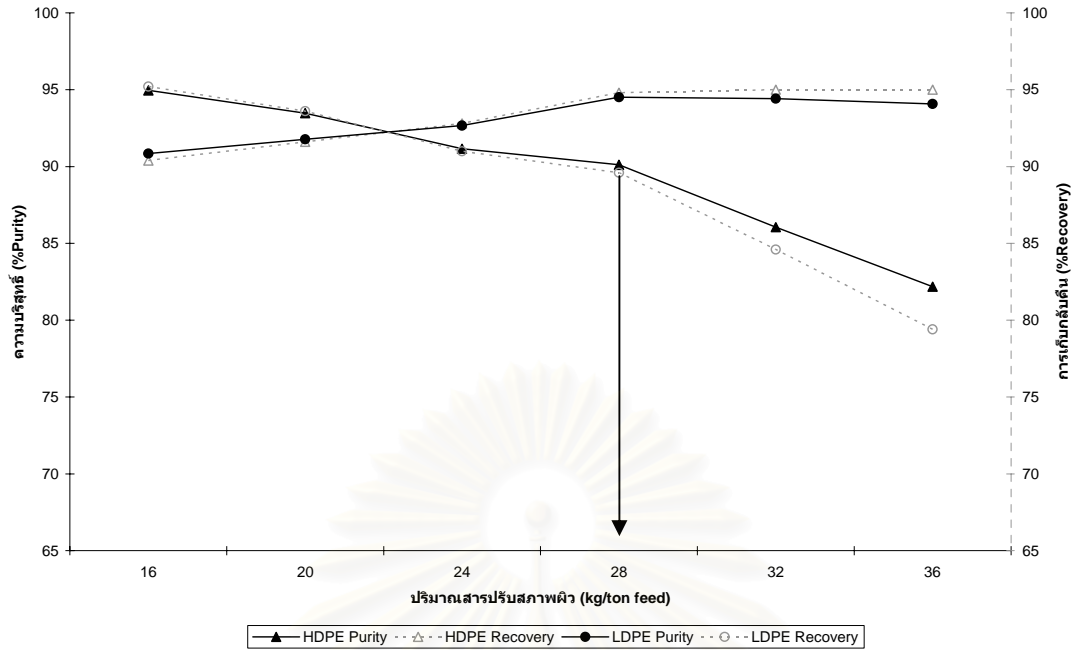
4.6.2 ปริมาณสารปรับสภาพผิวกับประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติก

โดยการทดลองใช้เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที ความเร็วรอบใบพัดที่ 1300-1500 rpm ขณะแปรผันปริมาณสารปรับสภาพผิว

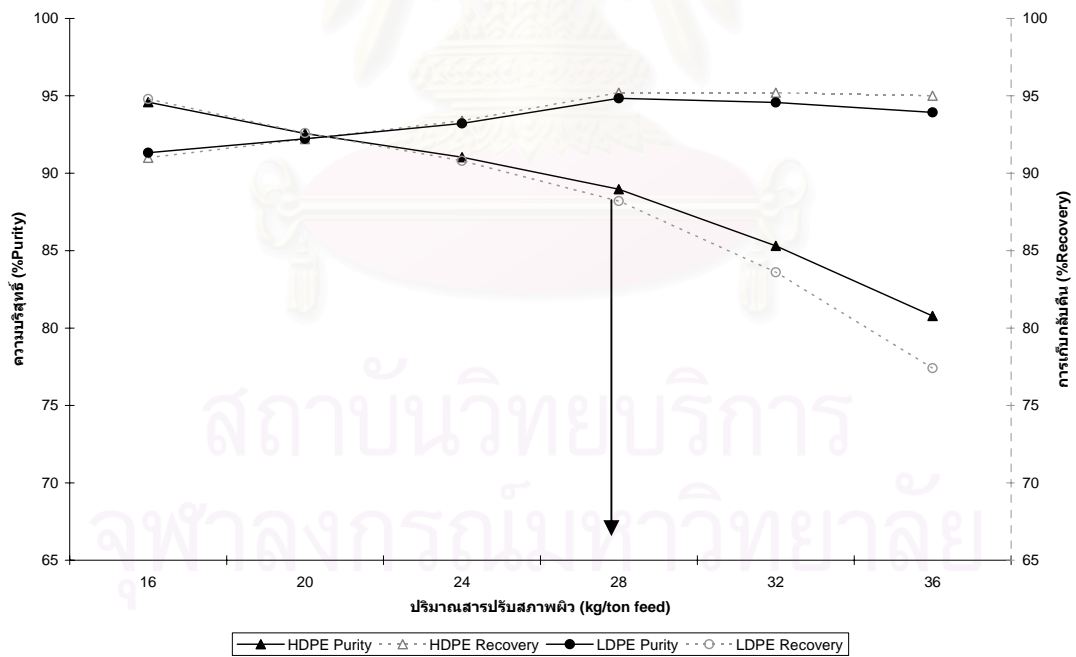
จากการศึกษาทดลองประสิทธิภาพในการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่ความเร็วรอบใบพัด 1300-1500 rpm ใช้เวลาในการปรับสภาพผิว (Condition time) 10 นาที พบว่า ปริมาณสารปรับสภาพผิว หรือ PVA ที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการคัดแยก HDPE กับ LDPE (กล่าวคือ ความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนสูงสุด) คือ 28 kg/ton feed พบว่า ความบริสุทธิ์ (%Purity) และการเก็บกลับคืน (%Recovery) ในช่วงปริมาณสารปรับสภาพผิวที่ 28 kg/ton feed นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในแง่เศรษฐศาสตร์เลือกจุดที่คุ้มค่าที่สุดในด้านการลงทุนคือ ที่ความเร็วรอบใบพัด 1300 rpm

ตารางที่ 4-3 แสดงผลเปรียบเทียบความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติก

ชนิดพลาสติก/ความเร็วรอบใบพัด	1300 rpm		1500 rpm	
	ความบริสุทธิ์ (%Purity)	การเก็บกลับคืน (%Recovery)	ความบริสุทธิ์ (%Purity)	การเก็บกลับคืน (%Recovery)
โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	90.11	94.80	88.97	95.20
โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	94.51	89.60	94.84	88.20



ภาพที่ 4-13 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับปริมาณ PVA ที่ 1300 rpm



ภาพที่ 4-14 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแปรผันกับปริมาณ PVA ที่ 1500 rpm

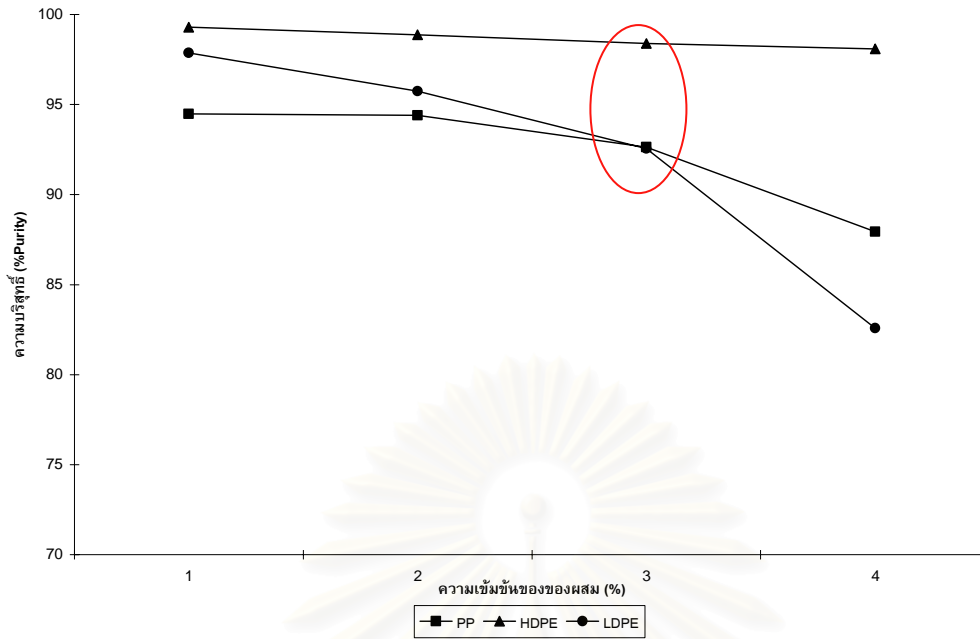
4.7 อิทธิพลของความเข้มข้นพลาสติกผสม (สัดส่วนของแข็งต่อของเหลว) ที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกระหว่าง PP, HDPE และ LDPE

การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทำการแยกเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ออกจากเม็ดพลาสติกผสมทั้งสามชนิดโดยใช้ปริมาณสารปรับสภาพผิว 24 kg/ton feed ความเร็วรอบใบพัดคงที่ 1300 rpm condition time คงที่ 10 นาที จากนั้นส่วนที่สองทำการแยกเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ออกจากเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน (PP) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยใช้ปริมาณสารปรับสภาพผิว 32 kg/ton feed ความเร็วรอบใบพัด 1300 rpm และ conditioning time 10 นาที ขณะที่แปรผันความเข้มข้นพลาสติกผสม

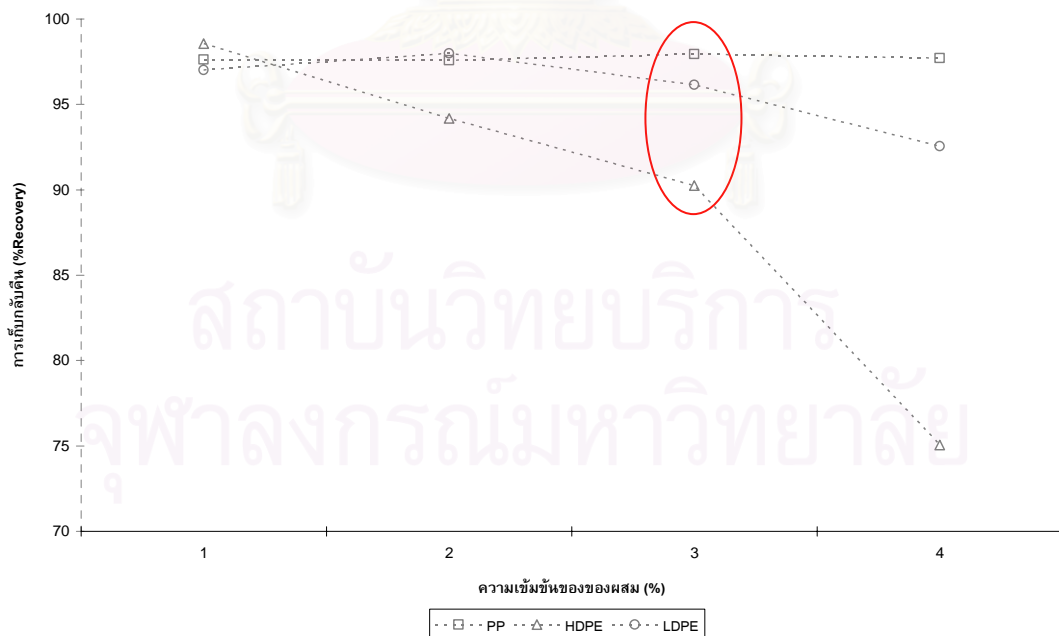
การเพิ่มความเข้มข้นพลาสติกผสมในการคัดแยกแต่ละครั้งจะเป็นแนวทางหนึ่งของการลดต้นทุนดำเนินงาน อย่างไรก็ตามหากความเข้มข้นสูงเกินไป ประสิทธิภาพการคัดแยกจะลดลง จากผลการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการคัดแยกเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นพลาสติกผสมสูงกว่า 3% (ทั้ง %ความบริสุทธิ์ และ %การเก็บกลับคืน ลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงกว่า 3%) ดังนั้นในการคัดแยกพลาสติกผสมระหว่าง PP, HDPE และ LDPE จึงไม่ควรใช้ความเข้มข้นเกิน 3%

ตารางที่ 4-4 แสดงผลเปรียบเทียบความบริสุทธิ์และการเก็บกลับคืนของเม็ดพลาสติก

ชนิดพลาสติก	ความเข้มข้นของของผสม 3%		
	โพลีโพรไพลีน (PP)	โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)
ความบริสุทธิ์ (%Purity)	92.63	98.40	92.56
การเก็บกลับคืน (%Recovery)	97.94	90.25	96.16



ภาพที่ 4-15 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลิโพรไพลีน โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แปรผันกับความเข้มข้นของส่วนผสม



ภาพที่ 4-16 ประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลิโพรไพลีน โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แปรผันกับความเข้มข้นของส่วนผสม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพการลอยแยกพลาสติกผสมระหว่าง PP, HDPE และ LDPE โดยใช้ PVA เป็นสารปรับสภาพผิว สรุปได้ดังนี้

1. น้ำมันสนไม่มีความจำเป็นสำหรับการลอยแยกพลาสติก ซึ่งมีสมบัติพื้นผิวเป็นไฮโดรโฟบิกและมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ อย่างกรณีเช่น PP, HDPE และ LDPE ซึ่งใช้ในการศึกษาครั้งนี้

2. PVA เป็นสารปรับสภาพผิวหรือเพิ่มสมบัติไฮโดรฟิลิกให้กับพลาสติกทั้ง 3 ชนิด เรียงลำดับประสิทธิภาพการเพิ่มสมบัติไฮโดรฟิลิก (หรือลดความสามารถในการลอยตัว) จากมากไปหาน้อย HDPE>LDPE>PP ตามลำดับ

3. ความเร็วรอบใบพัดที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการลอยแยกพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ได้ดีที่สุดคือ ระหว่าง 1300-1500 rpm แต่เพื่อความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์จึงเลือกใช้ความเร็วรอบ 1300 rpm

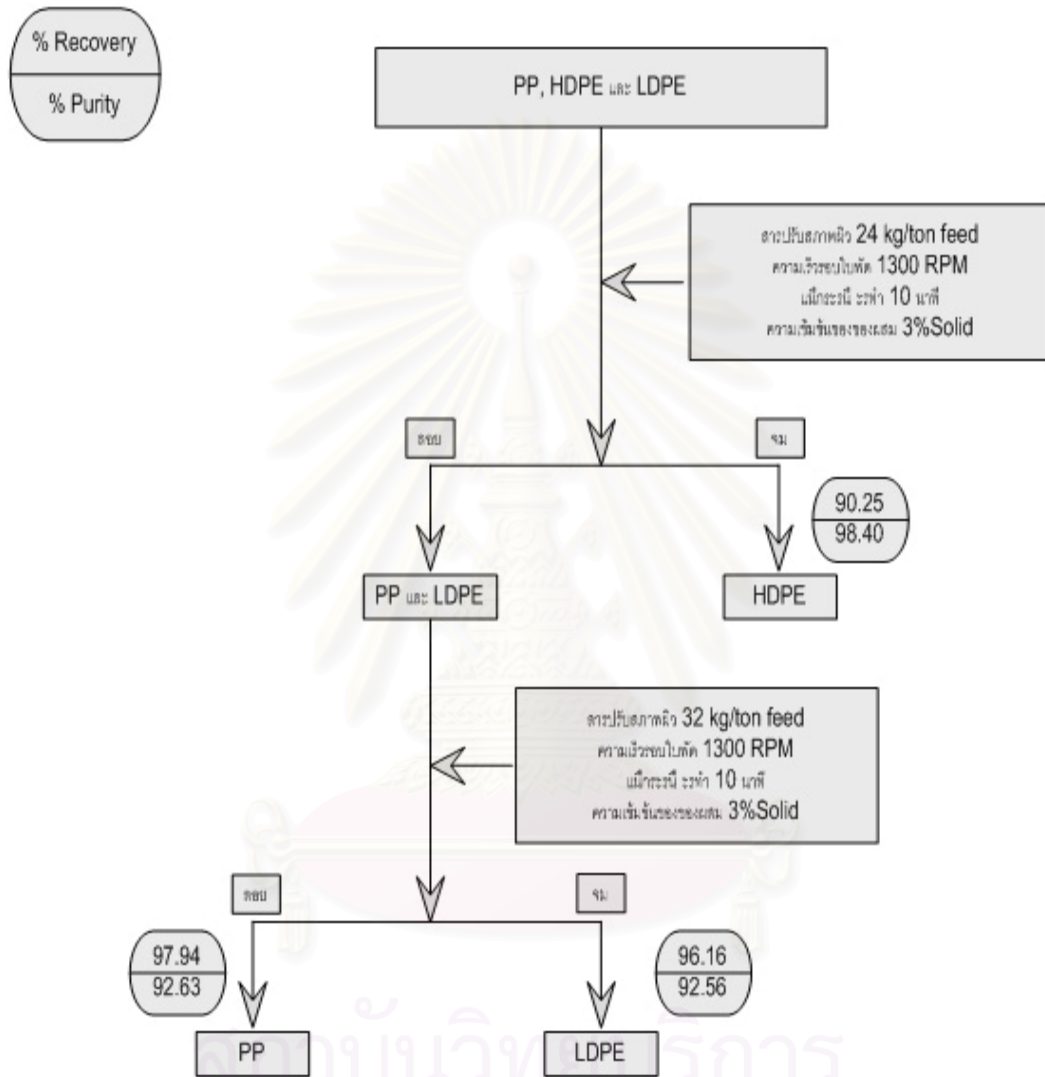
4. เวลาการปรับสภาพผิว (conditioning time) ที่เหมาะสมคือ 10 นาที หากใช้เวลาน้อยกว่านี้ หรือมากกว่านี้ประสิทธิภาพการคัดแยกจะลดลง

5. ปริมาณ PVA ที่ใช้ในการปรับสภาพผิวที่เหมาะสมสำหรับการแยก PP กับ HDPE คือ 24 kg/ton feed ขณะที่ปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการแยก PP กับ LDPE คือ 32 kg/ton feed จึงควรทำการลอยแยก 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกใช้ PVA 24 kg/ton feed เพื่อแยก HDPE ออกจาก PP และ LDPE ก่อน แล้วจึงเพิ่มปริมาณ PVA เป็น 32 kg/ton feed เพื่อแยก LDPE ออกจาก PP

6. ประสิทธิภาพการลอยแยกพลาสติกผสมทั้ง 3 ชนิด จะเริ่มลดลงเมื่อความเข้มข้นพลาสติกผสม (หรือ%solid) เกิน 3% ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ความเข้มข้นพลาสติกผสมเกิน 3% ในการลอยแต่ละครั้ง

จากผลการทดลองศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลอยแยกพลาสติกผสมระหว่าง PP, HDPE และ LDPE โดยใช้ PVA เป็นสารปรับสภาพผิว คือ ใช้พลาสติกผสม 3% เติม PVA 24 kg/ton feed ทำการกวนด้วยความเร็วใบพัด 1300 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการแยก HDPE ออกจาก PP+LDPE แล้วจึงเพิ่มความเข้มข้น PVA เป็น 32 kg/ton feed ทำการกวนด้วยความเร็วรอบ 1300 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยก LDPE

ออกจาก PP ก็จะสามารถแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันด้วย %การเก็บกลับคืน และ % ความบริสุทธิ์ มากกว่า 90% ซึ่งเป็นค่าความบริสุทธิ์ที่อุตสาหกรรมพลาสติกยอมรับได้ (ดังภาพที่ 5-1)

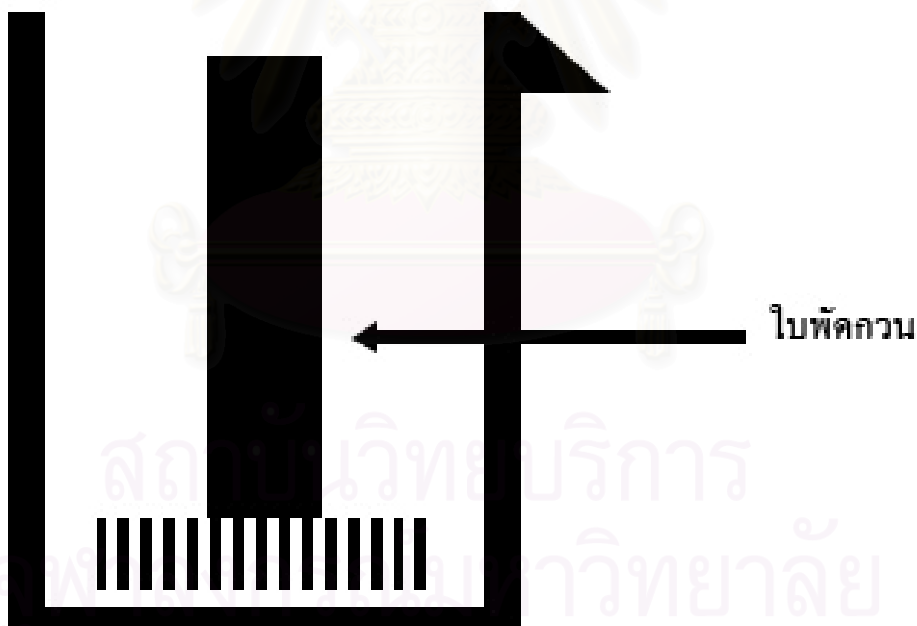


ภาพที่ 5-1 แผนผังการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมโดยวิธีการลอยแยก

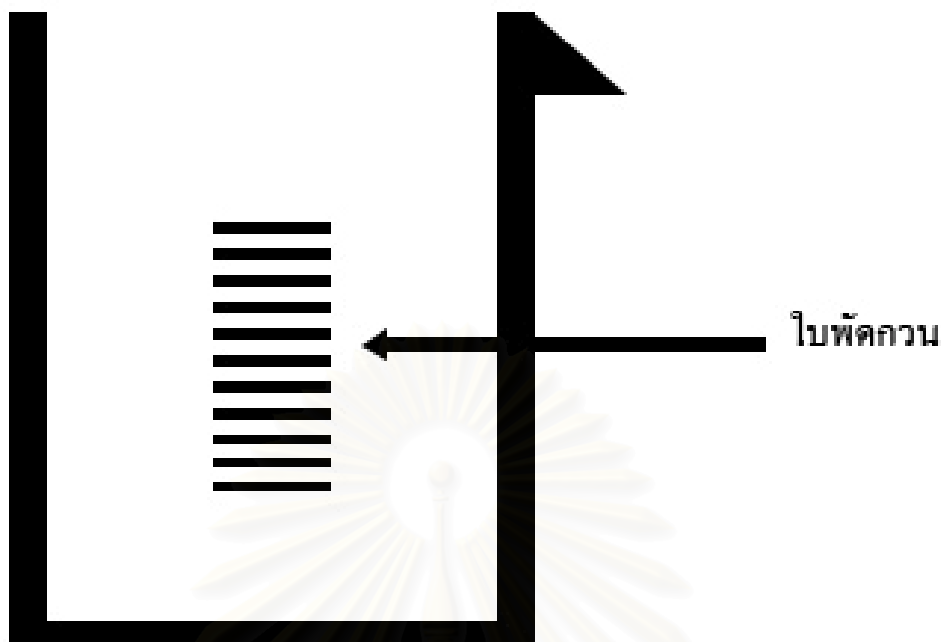
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองขยายผล

สำหรับในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม การออกแบบเครื่องมือมีส่วนสำคัญเป็นอย่างมาก นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดแยกแล้ว ยังช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ และลดระยะเวลาในการทำงาน เนื่องจากเครื่องลอยแร่ที่ใช้ในงานลอยแร่ที่วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ มักจะมีความถ่วงจำเพาะที่มากกว่าน้ำ แตกต่างจากการทดลองครั้งนี้ วัสดุที่นำมาลอยแยกมีความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าน้ำ การออกแบบใบพัดกวนใหม่จึงน่าจะมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดแยกได้ดีกว่าเดิม โดยลักษณะใบพัดเดิมวางตัวอยู่ในแนวราบกับตัวเซลล์ ถ้าปรับเปลี่ยนทิศทางใบพัดใหม่ โดยอยู่ในลักษณะแนวตั้ง น่าจะมีส่วนช่วยในการกดเม็ดพลาสติกที่เปลี่ยนสภาพผิวแล้ว และอยู่ในลักษณะสารแขวนลอยไม่ให้ลอยปะปนขึ้นมากับฟอง เพราะทิศทางและการไหลเวียนของกระแสน้ำที่เกิดจากใบพัดในลักษณะแนวตั้ง จะช่วยให้เม็ดพลาสติกที่ไม่จมน้ำลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำเร็วขึ้น ในขณะเดียวกันก็ช่วยกดเม็ดพลาสติกที่จมน้ำให้อยู่ในสภาพแขวนลอยต่อไปพร้อมกับไหลออกทางช่องทางออกด้านหลังสำหรับวัสดุหรือพลาสติกที่เป็นส่วนจมหรือหางแร่



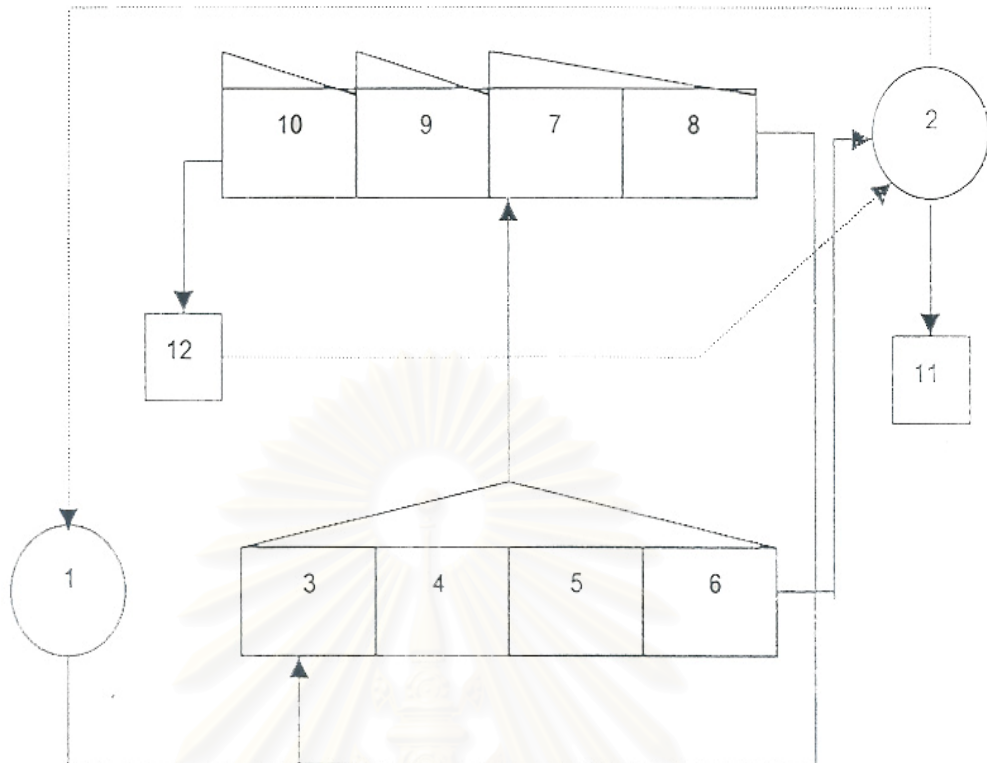
ภาพที่ 5-2 ลักษณะใบพัดในเครื่องลอยแร่แบบแนวนอน



ภาพที่ 5-3 ลักษณะไบพัตในเครื่องลอยแร่แบบแนวตั้ง

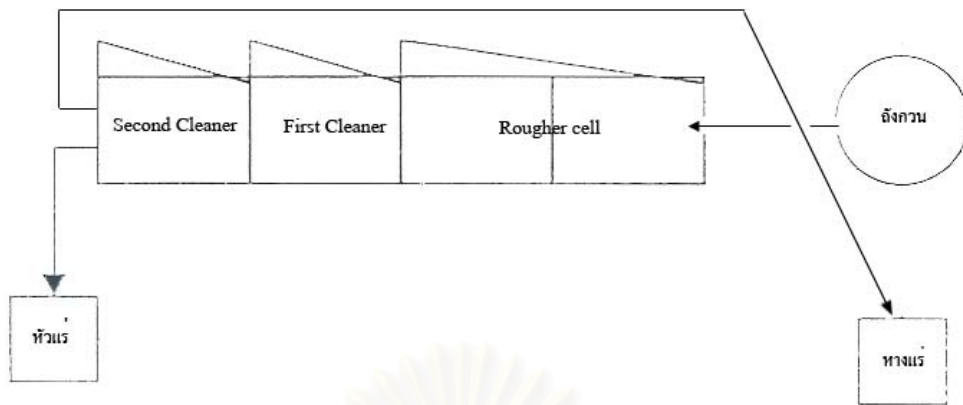
นอกจากนี้ในเครื่องลอยแยกแร่ระดับโรงประลองแร่ (Pilot Plant) ส่วนใหญ่จะมีหลายเซลล์ ประกอบไปด้วย เซลล์คัดแยกแร่แบบหยาบ เซลล์คัดแยกแร่แบบละเอียด เป็นต้น (ตั้งภาพที่ 5-4) จำนวนเซลล์ที่มีขึ้นอยู่กับแร่และวัสดุที่จะนำมาคัดแยก รวมทั้งปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการคัดแยกแร่ แต่ในงานคัดแยกเม็ดพลาสติกครั้งนี้ จำนวนเซลล์ลอยแร่ อาจจะลดจำนวนให้น้อยลงได้ (ตั้งภาพที่ 5-5) เนื่องจากเม็ดพลาสติกแตกต่างจากแร่ตรงที่สามารถลอยน้ำได้เอง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีจำนวนเซลล์ที่ทำความสะอาด (Cleaner) อาจส่งผลกระทบต่อหางแร่หรือเม็ดพลาสติกที่จมได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- 1 = ถังกวน
- 2 = ถังพักน้ำยา
- 3-6 = Rougher cell
- 7-8 = First cleaner
- 9 = Second cleaner
- 10 = Third cleaner
- 11 = Tailing
- 12 = Concentrate

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 ภาพที่ 5-4 แผนผังเครื่องแยกแร่ระดับโรงทดลองแร่



ภาพที่ 5-5 แผนผังเครื่องแยกแร่ระดับโรงประลองแร่ที่ลดจำนวนเซลล์ลง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2548. แผนกลยุทธ์ และแผนปฏิบัติการปรับโครงสร้างอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์พลาสติก. (ม.ป.ท)

ขวัญชัย ลีเผ่าพันธ์. การแต่งแร่ระดับกลาง. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2530.

ชัยโรจน์ รัตนกวิน. การลอยอนุภาคแร่. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2548.

ณัฐกานต์ จินตพยุกุล. สมบัติกายภาพของขยะพลาสติกในประเทศสำหรับศักยภาพการเวียนใช้ใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ประสิทธิ์ สุ่มนัสวรพันธ์. อิทธิพลของตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ยุทธศิลป์ ชำนาญดี และวุฒิพงษ์ วัชรินทร์รัตน์. การแยกพลาสติก PP และ PE โดยวิธี Froth Flotation. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.

วริษฐ์ โหมกชะเวส และพรวิษ เฟ่งศรี. Removal of PET from PVC by Froth Flotation in pilot plant. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.

ภาษาอังกฤษ

Anthony, L.A. Plastics and the environment. New Jersey : John Wiley & Sons, 2003.

Brydson, A.J. Plastic Material. Second edition : 99-147.

Buchan, R., Yarar, B. Application of mineral-processing technology to plastic recycling. Mineral engineering 48 (1996) : 69-72.

Buchan, R., Yarar, B. Recovery plastics for recycling by mineral processing techniques, J. Miner.Met.Master. Soc 47, 1995.

Chemistry in Britain. Good news for polyolefins. In Chemistry in Britain, 2001.

Dodbina, G., Haruki, N., Shibayama, A., Miyazaki, T., Fujita. Combination of sink-float separation and flotation technique for purification of shredded PET-bottle from PP or PP flakes. Int.J.Miner.Process. 65 (2002)

Dodbina, G., T., Fujita. Progress in Separating plastic materials for recycling. Physical Separation in Science and Engineering 13 (2004) : 165-182.

- Drelich, J., Payne, T., Kim, J.H., Miller, J.D., Kobler, R., Christiansen, S. Selective froth flotation of PVC from PVC/PET mixtures for the plastics recycling industry. Polymer Engineering and Science 38 (1998) : 1378–1386.
- Fraunholz, N., Plastics flotation. Ph.D. Thesis. Delft University of Technology, The Netherlands. 1997.
- Fraunholz, N., Separation of waste plastics by froth flotation-a review, part I. Mineral Engineering 17 (2004)
- Fuerstenau, M.C., Chemistry of Flotation. New York : AIME. 1980.
- Gail Elber. Polyethylene. Plastic Design Vol.19 (1994)
- Gisela Ablas Marques, Jorge Alberto Soares Tenorio. Use of froth flotation to separate PVC/PET mixtures. Waste Management 20 (2000) : 265-269.
- Hans, G.E. An Introduction plastics. VCH, 1993.
- Hatch, L.F. From Hydrocarbon to Petrochemical. Texas : Gulf Publishing Company, 1981.
- Kobler RW. Polyvinyl chloride-polyethylene terephthalate separation. US Patent, No. 5399433, 1995.
- Kounosu, A., Hayashi, Y., Saito, K. Separation between polypropylene and polyethylene by means of flotation. Journal of Mining and Metallurgical Institute of Japan 94 (1978) : 475-478.
- Izumi, S. Flotation method for separation of mixture plastics, US Patent, No. 3926790, 12 (1975)
- Masami Tsunekawa, Kunihiro Hori, Tsuyoshi Hirajima, Naoki Hiroyoshi, Masazumi Ito. Application of Jig Separator to recycle plastic used in electrical appliances. In SEED-NET seminar Geo-Hazard and Earth Resources Management
- Milgron, J. Polyethylene terephthalate, Plastic recycling product and process. New York : Hasser. 1992.
- Murakami, O. Technology for recycling plastics materials. Mitsubishi Electric Advance Magazine Environmental Technology Editions 96 (2001) : 6-9.
- Saitoh, K., Nagano, I., Izumi, S. New separation technique for waste plastics. Resource Recovery and Conservation 2 (1976) : 127-145.
- Schwartz, S.S., and Goodman, S.H. Plastic Materials and Processes. New York : Van norstand Reinhold Co., 1982.

Somsak Saisinchai. Removal of PET from PVC by Froth Flotation. TJTTP-OECF seminar resource engineering education and recycling technology. Faculty of Engineering. Chulalongkorn University. 1999.

Somsak Saisinchai. Separation of PP from PP&PE Mixture by Froth Flotation Technique. Faculty of Engineering. Chulalongkorn University. 1999.

Stuckrad BTO, Lo'hr K, Vogt V. Sorting of waste plastic mixtures by flotation. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, Germany : Aachen. 5 (1997) : 307-318.

Teresa Bartolo, M. Teresa Carvalho, Femando Durao and Elsa Agante. Froth Flotation Applied to the Separation of PET from PS. CVRM-Centro de Geosistemas-Instituto Superior Tecnico Av. Rovisco Pais. 1049-001 Lisboa. Portugal

The Dow Chemical Company. Flotation Fundamentals and Mining Chemicals. pp. 3

Valdez, E.G., Wilson, W.J. Separation of plastics by flotation. US Patent, NO. 4167477, (1979)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

Brandrup, J., Bittner, M., Michaeli, W. and Menges, G. Recycling and Recovery of Plastics. New York : Hanser. 1995

Rao, S.R. Surface Chemistry of Froth Flotation. 2nd edition. New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers. 2004.

Smith, R.W., and Akhtar, S. Flotation. M. C. Fuerstenau. ed., New York : AIME. 1976.

Will, B.A., Mineral Processing Technology. 6th edition, Oxford : Butterworth Heinemann. 1997.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

1. Floatability of plastics (%)

$$F = A/B \times 100$$

A = พลาสติกที่ลอยขึ้นมา

B = น้ำหนักของพลาสติกที่ใส่ลงไป

F = ค่าความสามารถในการลอยคิดเป็น %

2. Plastic recovery (%)

$$R = B/A \times 100$$

A = น้ำหนักพลาสติกที่ใส่ลงไป

B = น้ำหนักพลาสติกที่ลอยขึ้นมา (กรณีที่พลาสติกลอยขึ้นมาบนเซลล์ลอยแร่)

B = น้ำหนักพลาสติกที่จมอยู่ในเซลล์ (กรณีที่พลาสติกจมลงในเซลล์ลอยแร่)

R = พลาสติกที่สามารถเก็บคืนได้

3. Plastic Grade (%)

$$G = 100 - [C/R \times 100]$$

C = น้ำหนักพลาสติก A ปนเปื้อนในพลาสติก B

R = น้ำหนักรวม

P = ความบริสุทธิ์ของพลาสติก

ตัวอย่าง, การแยกพลาสติกผสมกัน ของ PP และ PE ชั่งน้ำหนักอย่างละ 5 กรัม พบว่ามี PP 4.055 กรัม ลอยแยกออกมาที่ PVA 120 ml pH 7 1300 RPM และพบว่ามี PE หลงเหลืออยู่ใน เซลล์ลอยแร่ 4.580 กรัม

$$\begin{aligned}\text{Floatability of PP} &= (4.055/5) \times 100 \\ &= 81.1 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Floatability of PE} &= (0.42/5) \times 100 \\ &= 8.4 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Recovery of PP} &= (4.055/5) \times 100 \\ &= 81.1 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Recovery of PE} &= (4.580/5) \times 100 \\ &= 91.6 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Purity of PP} &= 100 - \{(0.42 \times 100)/4.475\} \\ &= 90.62 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Purity of PE} &= 100 - \{(0.945 \times 100)/5.525\} \\ &= 82.9 \%\end{aligned}$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย รัตนชัย พงศ์ศิริประภา เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2524 จบการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี 2545 และจบการศึกษาระดับปริญญาศิลปศาสตรบัณฑิต คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อปี 2548 ได้เข้าศึกษาต่อปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย