

การตัดแยกพลาสติก ABS และ HIPS โดยใช้เทคนิคการลอยแยก



นายอัจฉริย์ กรมเมือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556


ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

SEPARATION OF ABS AND HIPS BY FLOTATION TECHNIQUE



Mr. Atchari Krommuang

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การคัดแยกพลาสติก ABS และ HIPS โดยใช้เทคนิคการ
ลอยแยก

โดย

นายอัจฉริย์ กรมเมือง

สาขาวิชา

วิศวกรรมทรัพยากรธรณี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณะเดช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณะเดช)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ทรงวุฒิ อาทิตย์ทอง)

อัจฉริย์ กรมเมือง : การคัดแยกพลาสติก ABS และ HIPS โดยใช้เทคนิคการลอยแยก.
(SEPARATION OF ABS AND HIPS BY FLOTATION TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ดาววัลย์ วิวรรณเดชะ, 96 หน้า.

ปัจจุบันการผลิตชิ้นส่วนตู้เย็นนิยมใช้พลาสติกเป็นองค์ประกอบน้อยชนิดที่สุด เพื่อความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกสำหรับแปรรูปใช้ใหม่ จากการศึกษาของ R.D. Pascoe พบว่า ซากชิ้นส่วนตู้เย็นส่วนใหญ่ประกอบด้วยพลาสติกหลัก 5 ชนิด ได้แก่พลาสติก PUR (Polyurethane Foam) 45%, พลาสติก HIPS (High Impact Polystyrene) 25%, พลาสติก ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 13%, พลาสติก PVC (Polyvinyl Chloride) 13% และ พลาสติก PE (Polyethylene) 4% ตามลำดับ ทั้งนี้ในการคัดแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันนั้น R.D. Pascoe พบว่าสามารถแยก PUR, PVC และ PE ออกจากพลาสติกผสมได้ไม่ยาก ขณะที่พลาสติก HIPS และ ABS ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันมาก จำเป็นต้องใช้เทคนิคการลอยแยก (Froth Flotation) โดยการปรับสภาพผิวพลาสติกตัวใดตัวหนึ่งด้วยสารเคมีที่เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกตัวหนึ่งเปียกน้ำได้น้อยกว่าลอยแยกตัวขึ้นมาได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกพลาสติก ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ใช้น้ำมันสนเป็นสาร Frother (สารเคลือบฟองอากาศ) และใช้กรดแทนนิกเป็นสาร Depressant (สารปรับสภาพผิวพลาสติก) ผลการวิจัยพบว่าการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียวให้ประสิทธิภาพการแยก (%Recovery และ %Grade) ค่อนข้างต่ำ แม้เติมกรดแทนนิกก็ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแยก (%Recovery ไม่เปลี่ยนแปลง แม้ %Grade สูงขึ้นเล็กน้อยก็ตาม) ขณะที่การใช้กรดแทนนิก ร่วมกับน้ำมันสนพบว่าประสิทธิภาพการแยกสูงขึ้นอย่างเด่นชัด โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติก HIPS กับ ABS ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ การใช้น้ำมันสน (ความเข้มข้น 30 ppm) เป็นสารเคลือบฟองอากาศ ร่วมกับการใช้กรดแทนนิก (ความเข้มข้น 80-120 ppm) เป็นสารปรับสภาพผิวพลาสติก ABS ให้มีความชอบน้ำมากขึ้น ทำการลอยแยกในน้ำที่มี pH ≥ 10 ทำการกวนที่ 800 รอบต่อนาที เป็นเวลาประมาณ 5 นาที แล้วปล่อยให้พลาสติกค่อยๆลอยแยกจากกันเป็นเวลาประมาณ 12 นาที

ทั้งนี้พบว่า การลอยแยกโดยใช้กรดแทนนิกเข้มข้น 120 ppm ในน้ำที่มี pH 11 ทำการกวนที่ 800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วปล่อยให้พลาสติกค่อยๆลอยแยกจากกันเป็นเวลา 12 นาที สามารถแยกพลาสติก ABS ให้จมอยู่ในน้ำด้วย 89.45 %Recovery และ 91.11 %Grade และแยกพลาสติก HIPS ให้ลอยเหนือน้ำด้วย 91.12 %Recovery และ 89.45 %Grade ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมทรัพยากรธรณี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5370387021 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: FROTH FLOTATION TECHNIQUE / PLASTIC SEPARATION /

ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS) / HIGH IMPACT POLYSTYRENE (HIPS)

ATCHARI KROMMUANG: SEPARATION OF ABS AND HIPS BY FLOTATION
TECHNIQUE. ADVISOR: ASSOC. PROF. DAWAN WIWATTANADATE, Ph.D., 96 pp.

At present, manufacturing of electronic parts, like refrigerator parts, aims to use fewer types of plastic to achieve higher efficiency of separation process for recycle. According to R.D. Pascoe's study, it was found that most refrigerator wastes mainly consist of 45% PUR (Polyurethane Foam), 25% HIPS (High Impact Polystyrene), 13% ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), 13% PVC (Polyvinyl Chloride), and 4% PE (Polyethylene), respectively. It was also found that it was not so difficult to separate PUR, PVC, and PE from the mixed waste, while it was quite difficult to separate HIPS and ABS from each other due to its similar specific gravity. Therefore, froth flotation technique with appropriate chemical surface treatment was suggested for HIPS and ABS separation.

This study aims to investigate factors affecting on efficiency of HIPS and ABS separation by froth flotation technique. Water was used as separation media, pine oil as a frother, and tannic acid as a depressant. The study found that without addition of either frother or depressant, the separation efficiency was quite low. Upon addition of tannic acid, the separation efficiency was still low, even slightly higher grade was achieved, but remarkably increase with tannic acid and pine oil addition. Optimum condition found in the present study was froth flotation in water media at $\text{pH} \geq 10$ with addition of 80-120 ppm tannic acid, addition of 30 ppm pine oil, stir at 800 rpm for 5 minutes and then let the plastics gradually separate from each other for 12 minutes.

The study also found that the froth flotation in a water media at pH 11 with 120 ppm tannic acid addition, 5 min conditioning at 800 rpm and 12 min flotation, 89.45% ABS can be recovered in the sinking part with 91.11 %grade, and 91.12% HIPS recovered in the floating part with 89.45 %grade, respectively.

Department: Mining and Petroleum Student's Signature

Engineering Advisor's Signature

Field of Study: Georesources Engineering

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย ที่ได้เสียสละเวลา ให้คำปรึกษาแนะนำ และข้อคิดต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งและขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์อย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความเมตตาของคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ รวมถึงดร.ทรงวุฒิ อาทิตย์ทอง กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ช่วยแนะนำและเพิ่มเติมเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างเม็ดพลาสติก รวมถึงข้อมูลอันเกี่ยวข้องกับพลาสติกทั้งสองชนิดที่ใช้สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์อุทิศ ทองกลิ้ง และคุณระวิน อยู่ใจ ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี รวมถึงบุคลากรสายสนับสนุนในภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และปิโตรเลียมทุกท่าน โดยเฉพาะคุณสิริลักษณ์ แสงละออ ที่อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ด้านธุรการ ทำให้การสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น ที่ได้ให้ความรู้ ประสบการณ์ แนะนำ ช่วยเหลือทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ ขณะทำการฝึกงานอยู่ที่ประเทศญี่ปุ่น จนทำให้เกิดแนวคิดในการศึกษาวิจัยและออกแบบการทดลอง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ชาย ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน ในทุกๆด้านเป็นอย่างดี โดยเฉพาะด้านการศึกษาจนสามารถสำเร็จได้ดังเจตนารมณ์ และท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	15
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	17
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	17
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.1 พลาสติก.....	19
2.1.1 การจำแนกพลาสติกตามการใช้งาน.....	19
2.1.1.1 พลาสติกที่ใช้งานทั่วไป (Commodity Plastics).....	19
2.1.1.2 พลาสติกสำหรับงานวิศวกรรม (Engineering Plastics).....	20
2.1.1.3 พลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษ (High Performance Plastics).....	20
2.1.2 การจำแนกพลาสติกตามสมบัติทางความร้อน.....	20
2.1.2.1 พลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting plastics).....	20
2.1.2.2 พลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic plastics).....	21
2.2 พลาสติกชนิด Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS).....	21
2.2.1 สมบัติทั่วไปของพลาสติก ABS.....	22
2.2.2 สมบัติของพลาสติก ABS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	23
2.2.3 การนำไปใช้ประโยชน์ของพลาสติกชนิด ABS.....	24
2.3 พลาสติกชนิด High Impact polystyrene (HIPS).....	24
2.3.1 สมบัติทั่วไปของพลาสติก HIPS.....	25
2.3.2 สมบัติของพลาสติก HIPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	26

2.3.3 การนำไปใช้ประโยชน์ของพลาสติกชนิด HIPS.....	27
2.4 เทคโนโลยีการคัดแยกวัสดุ.....	27
2.4.1 กระบวนการคัดแยกวัสดุทางกายภาพ (Physical Process).....	27
2.4.1.1 กระบวนการคัดแยกโดยไฟฟ้า (Electrostatic Separation).....	28
2.4.1.2 กระบวนการคัดแยกโดยอากาศ (Air Separation).....	28
2.4.1.3 กระบวนการคัดแยกโดยไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone).....	29
2.4.1.4 กระบวนการคัดแยกโดยจี้ก (Jig Separation).....	30
2.4.1.5 กระบวนการคัดแยกโดยการจมและลอย (Sink-Float Separation).....	30
2.4.1.6 กระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation).....	31
2.4.2 กระบวนการคัดแยกวัสดุทางเคมี (Chemical Process).....	33
2.5 หลักการลอยแยกสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS.....	34
2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบการลอยแยก.....	35
2.6.1 ปัจจัยทางเคมี.....	35
2.6.1.1 ปัจจัยทางสารเคมี.....	35
2.6.1.2 ปัจจัยทางเคมีของอนุภาค.....	35
2.6.1.3 ปัจจัยทางเคมีของน้ำ.....	36
2.6.2 ปัจจัยทางการปฏิบัติงาน.....	36
2.6.2.1 ขนาดอนุภาค.....	36
2.6.2.2 ความเข้มข้นของสารละลายตัวกลาง.....	36
2.6.2.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการลอยอนุภาค.....	36
2.6.2.4 อัตราการป้อนฟองอากาศ.....	37
2.6.3 ปัจจัยทางอุปกรณ์เครื่องมือ.....	37
2.6.4 ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการลอยอนุภาค.....	37
2.6.4.1 การเตรียมและป้อนสารเคมีที่ใช้ในการลอยอนุภาค.....	37
2.6.4.2 อุณหภูมิ.....	38
2.7 สาร Depressant.....	38
2.7.1 กรดแทนนิก (Tannic acid).....	38

2.7.2 สมบัติของกรดแทนนิกที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	39
2.7.1.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของกรดแทนนิกบนผิวพลาสติกชนิด ABS ในสภาวะ สารละลายตัวกลางที่เป็นเบส	40
2.8 สาร Frother.....	42
2.9 เครื่องลอยอนุภาคแร่ (Flotation Machines).....	43
2.9.1 ประเภทของเครื่องลอยแร่	44
2.9.1.1 เครื่องลอยแร่แบบกลไก (Mechanical Machine).....	44
2.9.1.2 เครื่องลอยแร่แบบแรงดันอากาศ (Pneumatic Machine).....	45
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	48
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย	48
3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	52
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	52
3.4 วิธีการดำเนินการทดลองและขั้นตอนการทดลอง	52
3.4.1 ศึกษาการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำ เป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว.....	53
3.4.2 การศึกษาอิทธิพลของกรดแทนนิกที่มีต่อการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก.....	55
3.4.3 การศึกษาอิทธิพลของค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่มีต่อการตัดแยกเม็ดพลาสติก ผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก	56
3.4.4 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกในสารละลายตัวกลางที่มีต่อ การตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก.....	58
3.4.5 การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการลอยแยกที่มีต่อการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก.....	59
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	61
4.1 ผลการศึกษาการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำ เป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว	61
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของกรดแทนนิกที่มีต่อการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วย เทคนิคการลอยแยก.....	66

4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่มีต่อการกัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก	69
4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกในสารละลายตัวกลางที่มีต่อการกัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก	73
4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการลอยแยกที่มีต่อการกัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก	81
4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกระหว่างชนิด ABS และ HIPS จากปัจจัยต่างๆ	87
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผลการวิจัย	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	92
รายการอ้างอิง.....	94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	96

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สมบัติของพลาสติกชนิด ABS เกรดต่างๆ.....	22
ตารางที่ 2 สมบัติของพลาสติกชนิด ABS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	23
ตารางที่ 3 สมบัติของพลาสติกชนิด HIPS.....	25
ตารางที่ 4 สมบัติของพลาสติกชนิด HIPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	27
ตารางที่ 5 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการตัดแยกวัสดุทางกายภาพเทคนิคต่างๆ.....	33
ตารางที่ 6 สมบัติทั่วไปของกรดแทนนิก.....	39
ตารางที่ 7 ผลการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดย ใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว.....	62
ตารางที่ 8 ผลการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดย ใช้น้ำเป็นตัวกลางร่วมกับกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ที่สภาวะค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11.....	66
ตารางที่ 9 ผลของค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่มีต่อการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก.....	70
ตารางที่ 10 ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกในสารละลายตัวกลางที่มีต่อ การตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก.....	74
ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนดสารละลาย ตัวกลางที่แตกต่างกัน.....	79
ตารางที่ 12 ผลของเวลาที่ใช้ในการลอยแยกที่มีต่อการตัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก.....	82
ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนดสารละลาย ตัวกลางและสภาวะที่ใช้ในการลอยแยกที่แตกต่างกัน.....	88

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ระบบการแยกพลาสติกโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน.....16

ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ ABS.....21

ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของอะครีโลไนไตรล์ บิวตะไดอินและสไตรีน.....22

ภาพที่ 4 แสดงเม็ดพลาสติกชนิด ABS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....23

ภาพที่ 5 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ HIPS.....25

ภาพที่ 6 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ บิวตะไดอินและสไตรีน.....25

ภาพที่ 7 แสดงเม็ดพลาสติกชนิด HIPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....26

ภาพที่ 8 แสดงเม็ดพลาสติกชนิด HIPS (ซ้าย) เปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติกชนิด ABS (ขวา) ...26

ภาพที่ 9 แสดงเครื่องแยกแร่ไฟฟ้าสถิตแบบปล่อยตกตัวอิสระ28

ภาพที่ 10 แสดงเครื่องคัดแยกโดยอากาศ.....29

ภาพที่ 11 แสดงเครื่องไฮโดรไซโคลน29

ภาพที่ 12 แสดงเครื่องจึกแบบฮาร์ช.....30

ภาพที่ 13 แสดงเครื่องคัดแยกโดยการจมและลอย30

ภาพที่ 14 แสดงเครื่องลอยแร่และลักษณะการเกาะตัวของฟองอากาศบนผิวอนุภาคของแร่31

ภาพที่ 15 แสดงเครื่องลอยแร่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....32

ภาพที่ 16 แสดงการทำงานของสาร Depressant ที่เกิดเฉพาะกับผิวพลาสติกชนิด ABS34

ภาพที่ 17 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของกรดแทนนิก.....38

ภาพที่ 18 แสดงลักษณะกรดแทนนิกที่ใช้ในการวิจัยนี้.....39

ภาพที่ 19 แสดงกรดแทนนิกที่ใช้ในการวิจัยนี้.....39

ภาพที่ 20 แสดงสารละลายกรดแทนนิกที่ใช้ในการวิจัยนี้.....40

ภาพที่ 21 แสดงสมการสมดุลเคมีของการแตกตัวของกรดแทนนิกในน้ำ40

ภาพที่ 22 แสดงการแตกตัวของ NaOH ในน้ำ.....40

ภาพที่ 23 แสดงสมการสมดุลเคมีของการแตกตัวของน้ำเกิดเป็น $[OH^-]$ และ $[H^+]$ 41

ภาพที่ 24 แสดงโครงสร้างโมเลกุลเปรียบเทียบระหว่างพลาสติกชนิด ABS และ HIPS.....41

ภาพที่ 25 แสดงลักษณะการดูดซับของไอออน tannic-[O] ซึ่งเกิดเฉพาะกับผิวพลาสติก ABS....42

ภาพที่ 26 แสดงลักษณะน้ำมันสนที่ใช้ในการวิจัยนี้.....43

ภาพที่ 27 แสดงน้ำมันสนที่ใช้ในการวิจัยนี้.....43

ภาพที่ 28 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันสน43

ภาพที่ 29 แสดงเครื่องลอยแร่แบบกลไกที่ใช้ในการวิจัยนี้44

ภาพที่ 30 แสดงเครื่องลอยแร่แบบแรงดันอากาศ Hallimond Tube.....45

ภาพที่ 31 แสดงรูปร่างเม็ดพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ซ้าย) และรูปร่างของแผ่นพลาสติก
ที่ใช้ในงานวิจัยของ R.D.Pascoe (ขวา)48

ภาพที่ 32 แสดงรูปร่างของเซลล์ลอยแยก (Flotation cell) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ซ้าย) และรูปร่าง
ของเซลล์ลอยแยกที่ใช้ในงานวิจัยของ R.D.Pascoe (ขวา)49

ภาพที่ 33 แสดงแผนภาพสรุปลำดับขั้นตอนการทดลอง (Flowchart).....	51
ภาพที่ 34 การเตรียมตัวอย่างเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัม ลงในเซลล์ลอยแยก.....	53
ภาพที่ 35 การกวนของเครื่อง Flotation และการกระจายตัวของเม็ดพลาสติกเมื่อเปิดเครื่อง	53
ภาพที่ 36 แสดงลักษณะการลอยของเม็ดพลาสติกเมื่อผ่านฟองอากาศเข้าไปในระบบและ การกวาดส่วนที่ลอย	54
ภาพที่ 37 แสดงการอุปโล้ความขึ้นเม็ดพลาสติกที่ผ่านการลอยแยก	54
ภาพที่ 38 แสดงเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS หลังผ่านการคัดแยกด้วยมือ	54
ภาพที่ 39 แสดงการเตรียมสารละลายกรดแทนนิกลงในเซลล์ลอยแยก	55
ภาพที่ 40 แสดงการวัดค่า pH ของสารละลายตัวกลางด้วย pH meter และสีของสารละลาย ตัวกลางที่เปลี่ยนไปหลังจากการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	55
ภาพที่ 41 แสดงการวัดค่า pH ของสารละลายตัวกลาง การหยดน้ำมันสน และการกวาดเอา เม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยออกจากระบบ.....	57
ภาพที่ 42 แสดงการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับค่า pH ของสารละลายตัวกลาง ให้ได้ค่าตามที่ต้องการ.....	57
ภาพที่ 43 แสดงเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดที่จมตัวในน้ำ (ซ้าย) แต่เมื่อเปิดเครื่อง Flotation พร้อมกับเป่าฟองอากาศก็จะลอยตัวขึ้นบนผิวหน้า (ขวา).....	62
ภาพที่ 44 แสดงลักษณะการเกาะตัวของอนุภาคเร่บนผิวฟองอากาศ (ซ้าย) และฟองอากาศ ที่ล้อมรอบผิวพลาสติก (ขวา)	63
ภาพที่ 45 กราฟแท่งแสดง % Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จาก การลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว	64
ภาพที่ 46 กราฟแท่งแสดง % Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จาก การลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว	65
ภาพที่ 47 กราฟแท่งแสดง % Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จาก การลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางร่วมกับกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ที่สภาวะ ค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11.....	67
ภาพที่ 48 กราฟแท่งแสดง %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางร่วมกับกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ที่สภาวะค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11	68
ภาพที่ 49 แสดงลักษณะเม็ดพลาสติกที่ลอยตัวเมื่อเป่าฟองอากาศพร้อมกับการกวน เปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว(ซ้าย) และสารละลาย ตัวกลางที่เติมกรดแทนนิก(ขวา).....	68
ภาพที่ 50 กราฟแท่งแสดง %Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จาก การลอยแยก โดยเปลี่ยนค่า pH ของสารละลายตัวกลาง	71
ภาพที่ 51 กราฟแท่งแสดง %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนค่า pH ของสารละลายตัวกลาง	72

ภาพที่ 52 แสดงกลไกการแตกตัวของกรดแทนนิกเกิดเป็นไอออน tannic-[O ⁻].....	75
ภาพที่ 53 แสดงลักษณะไอออน tannic-[O ⁻] เมื่อเกาะตัวบนผิวพลาสติกชนิด ABS.....	75
ภาพที่ 54 กราฟแท่งแสดง %Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการ การลอยแยกโดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก.....	76
ภาพที่ 55 กราฟแท่งแสดง %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก.....	77
ภาพที่ 56 กราฟแสดงประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนด สารละลายตัวกลางที่แตกต่างกัน	80
ภาพที่ 57 กราฟแท่งแสดง %Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการ การลอยแยกโดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการลอยแยก	83
ภาพที่ 58 กราฟเส้นแสดง %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อ เพิ่มเวลาที่ใช้ในการลอยแยก	84
ภาพที่ 59 กราฟแท่งแสดง %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการลอยแยก	85
ภาพที่ 60 กราฟเส้นแสดง %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อ เพิ่มเวลาที่ใช้ในการลอยแยก	86
ภาพที่ 61 กราฟแท่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จาก การกำหนดสารละลายตัวกลางและสภาวะที่ใช้ในการลอยแยกที่แตกต่างกัน	89

บทที่ 1

บทนำ

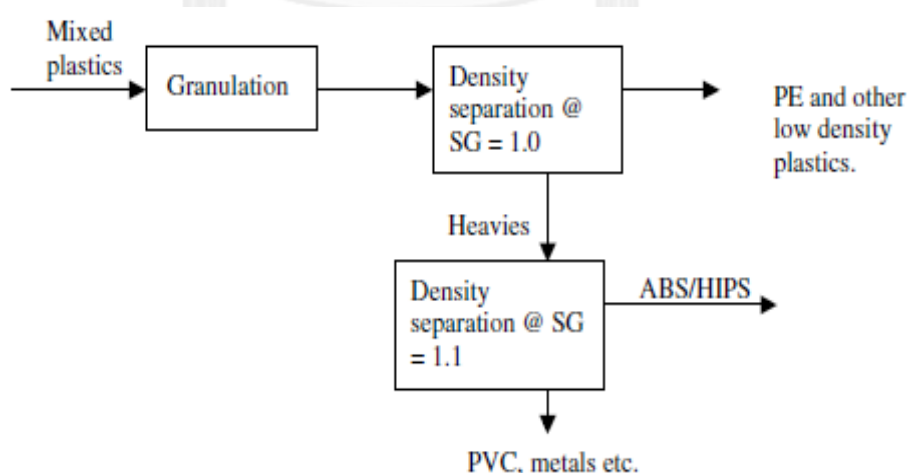
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก อีกทั้งมีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้นเรื่อยๆ โดยจะพบได้ทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ หรือเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ร่วมกับวัสดุชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติเด่นหลายประการของพลาสติกเมื่อเทียบกับวัสดุที่ได้ธรรมชาติอื่นๆ เช่น ไม้ แก้ว หนัง โลหะต่างๆ กล่าวคือ มีความเหนียว แข็งแรง น้ำหนักเบา ทนทานต่อสารเคมี ไม่เป็นสนิม เป็นฉนวนไฟฟ้าและความร้อนที่ดี สามารถนำไปขึ้นรูปได้ง่าย และที่สำคัญพลาสติกส่วนใหญ่สามารถแปรรูปใช้ใหม่ได้ ซึ่งนอกจากช่วยลดปัญหาขยะล้นเมืองแล้ว ยังช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามก่อนที่จะสามารถนำขยะพลาสติกมาแปรรูปใช้ใหม่ได้นั้น จำเป็นต้องผ่านกระบวนการคัดแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันก่อน เพื่อให้ได้พลาสติกรีไซเคิลที่มีความบริสุทธิ์สูงที่สุดก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ โดยอาจใช้พลาสติกกรีไซเคิลที่ได้นี้ มาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ทั้งหมด หรือใช้ผสมกับเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อีกทางหนึ่ง แต่หากพลาสติกกรีไซเคิลที่ได้มีการปนเปื้อนของพลาสติกต่างชนิดกันก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเชิงกลต่างๆ ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น (Pongstabodee, Kunachitpimol, & Damronglerd, 2008)

หนึ่งในเทคนิคการแยกพลาสติกที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ การแยกโดยอาศัยความแตกต่างความถ่วงจำเพาะของพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องคัดแยกที่มีใช้เดิมอยู่แล้วในกระบวนการแต่งแร่เช่น เครื่องคัดแยกแบบอากาศ (Air Separation) เครื่องคัดแยกแบบไฮโดรไซโคลอน (Hydrocyclone) เครื่องคัดแยกแบบจิก (Jig) รวมถึงเครื่องลอยแร่ (Flotation) ซึ่งกระบวนการแยกด้วยเครื่องมือเหล่านี้ มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน การจะใช้เทคนิคใด จำเป็นต้องพิจารณาถึงชนิด รูปร่าง รวมถึงปริมาณของพลาสติกที่จะนำมาแยกเป็นสำคัญ (Pongstabodee et al., 2008) แต่หากพิจารณาถึงเครื่องมือที่มีจุดเด่นในด้านการแยกพลาสติกที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันมากๆ ก็พบว่าเครื่องลอยแร่นั้นจะเป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีหลักการสำคัญในการแยกโดยอาศัยความแตกต่างของการเปียกผิวของพลาสติกต่างชนิดที่แตกต่างกัน ภายใต้อุณหภูมิและสารละลายตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับการเปียกผิวของพลาสติกตัวใดตัวหนึ่ง กระบวนการแยกจะเริ่มต้นจากการทำให้พลาสติกผสมได้รับการสัมผัสกับสารละลายตัวกลางอย่างทั่วถึงก่อน จากนั้นจึงผ่านฟองอากาศขนาดเล็กเข้าไปในระบบ แต่การแยกจะมีประสิทธิภาพเมื่อการเกาะของฟองอากาศบนผิวพลาสติกนั้นเกิดได้ดีเฉพาะพลาสติกตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น เมื่อพลาสติกชนิดที่มีฟองอากาศเข้าไปติดได้มากพอก็จะเกิดแรงพยุงให้ลอยตัวขึ้นไปบนผิวของสารละลายตัวกลางได้ ส่วนพลาสติกที่เหลือจะยังคงจมอยู่ จึงสามารถแยกเอาพลาสติกส่วนที่จมออกจากส่วนที่ลอยได้ ทั้งนี้ข้อดีของการแยกพลาสติกด้วยวิธีนี้ คือหากให้ฟองอากาศไปพร้อมๆ กับอัตราการกวนที่สูงเกินไป จะทำให้พลาสติกที่ควรอยู่ใน

ส่วนที่จมปนออกมารวมกับส่วนที่ลอยเป็นส่วนมาก เกิดการปนเปื้อนสูง (%Grade ต่ำ) จำเป็นต้องเข้าสู่กระบวนการลอยแยกซ้ำเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ตามต้องการ (Fraunholz, 1997)

ปัจจุบันการผลิตชิ้นส่วนตู้เย็นนิยมใช้พลาสติกเป็นองค์ประกอบน้อยชนิดที่สุด เพื่อความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพการตัดแยกสำหรับแปรรูปใช้ใหม่ จากการศึกษาของ R.D. Pascoe พบว่าซากชิ้นส่วนตู้เย็นส่วนใหญ่ประกอบด้วยพลาสติกหลัก 5 ชนิดได้แก่ พลาสติก PUR (Polyurethane Foam) ซึ่งมีองค์ประกอบสูงถึง 45% โดยประมาณ รองลงมาได้แก่พลาสติก HIPS (High Impact Polystyrene) ประมาณ 25% พลาสติก ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ประมาณ 13% พลาสติก PVC (Polyvinyl Chloride) ประมาณ 13% และพลาสติก PE (Polyethylene) ประมาณ 4% ตามลำดับ ในการตัดแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกัน R.D. Pascoe เลือกทำการตัดแยกพลาสติก PUR ออกมาก่อนด้วยเทคนิค Air Classification จากนั้นจึงทำการแยกพลาสติก PE ด้วยเทคนิคจม-ลอย (Sink-Float Technique) โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแยก เนื่องจาก PE มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำจึงลอยแยกตัวขึ้นมาได้ดี ขณะที่พลาสติกอีก 3 ชนิดยังคงจมน้ำเนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ อย่างไรก็ตาม R.D. Pascoe พบว่าพลาสติก PVC สามารถลอยแยกตัวขึ้นมาได้ หากใช้น้ำเกลือที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.1 g/cm^3 เป็นตัวกลางสำหรับการแยกด้วยเทคนิคจม-ลอย ขณะที่พลาสติกชนิด HIPS และ ABS มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันมาก ไม่สามารถแยกด้วยเทคนิคจม-ลอยโดยอาศัยความหนาแน่นของตัวกลาง จำเป็นต้องใช้เทคนิคการลอยแยก (Froth Flotation) โดยการปรับสภาพผิวพลาสติกตัวใดตัวหนึ่งด้วยสารเคมีที่เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกตัวหนึ่งเปียกน้ำได้มากกว่าหรือน้อยกว่าพลาสติกอีกชนิดหนึ่ง พลาสติกที่เปียกน้ำได้น้อยกว่าจะลอยแยกตัวขึ้นมาได้ในที่สุดหากเลือกสภาวะการลอยแยกได้เหมาะสม (Pascoe, 2005) ระบบการแยกพลาสติกชนิดต่างๆโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะที่ต่างกันจากการศึกษาของ R.D. Pascoe สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบการแยกพลาสติกโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน (Pascoe, 2005)

R.D. Pascoe ได้ทำการศึกษาการลอยแยกพลาสติก ABS และ HIPS โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้สาร Depressant 3 ชนิดคือ กรดอะซิติก (Acetic acid) เมทานอล (Methanol) และกรดแทนนิก (Quebracho หรือ Tannic acid) ทำการลอยแยกที่ pH และค่าความเข้มข้นของสารละลาย Depressant แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้ Quebracho ความเข้มข้น 80 ppm ใช้ Pine oil ความเข้มข้น 30 ppm ทำการลอยแยกที่ pH 11 ใช้เวลาการกวน (Conditioning time) 5 นาที และเวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time) 8 นาที จะให้ประสิทธิภาพการแยกสูงที่สุด คือได้ค่า % Recovery ของ HIPS ที่สูงกว่า 90% แต่ยังพบว่าค่า % Flotation Recovery ของ ABS ยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 80% เนื่องจาก ABS ส่วนหนึ่งยังปนออกไปพร้อมกับ HIPS ในช่วงเวลา Flotation time (Pascoe, 2005) จึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนากระบวนการแยกพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ โดยใช้ตัวอย่างพลาสติกของไทยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในช่วงที่กว้างขึ้นเพื่อให้ได้สภาวะการลอยแยกที่เหมาะสม เพิ่มประสิทธิภาพการลอยแยกได้สูงขึ้นทั้งกรณี HIPS และ ABS

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) และ High impact polystyrene (HIPS) ด้วยเทคนิคการลอยแยก (Froth Flotation Technique) โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ใช้น้ำมันสนเป็นสาร Frother (สารเคลือบฟองอากาศ) ใช้กรดแทนนิกเป็นสาร Depressant (สารปรับสภาพผิวพลาสติก) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติกชนิด HIPS กับ ABS ออกจากกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 พลาสติกที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ รูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร และไม่เคยผ่านกระบวนการขึ้นรูปใดๆมาก่อน

1.3.2 เครื่องลอยแร่ที่ใช้ในกระบวนการลอยแยก เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

1.3.3 สารปรับสภาพผิวพลาสติกที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้คือกรดแทนนิก และเพิ่มค่า pH ของสารละลายตัวกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.3.4 สารเคลือบฟองอากาศที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้คือน้ำมันสน

1.3.5 ประสิทธิภาพการแยกที่ได้พิจารณาจาก %Recovery และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบสถานะอ้างอิงสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างชนิด ABS และHIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำตัวกลางเพียงอย่างเดียว

1.4.2 ทราบสถานะที่เหมาะสม (ค่า pH ของสารละลายตัวกลาง, ความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิก, เวลาที่ใช้ในการกวน, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก และอัตราการกวนของเครื่องลอยแยก ฯลฯ) สำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติก ผสมระหว่างชนิด ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

1.4.4 ทราบแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้เพื่อการคัดแยกขยะพลาสติกในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้คือพลาสติกชนิด ABS และ HIPS รวมถึงหลักการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่ใช้ในการอุตสาหกรรมการแต่งแร่มาใช้สำหรับกระบวนการรีไซเคิลพลาสติก และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์ (พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, 2545) กล่าวว่า พลาสติกเป็นสารสังเคราะห์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นหลัก นอกจากนี้ยังอาจมีส่วนประกอบของออกซิเจน ไนโตรเจน หรือพลาสติกบางชนิดอาจมีส่วนประกอบของกำมะถัน คลอรีน ฟลูออรีน รวมถึงซิลิกอนอยู่ด้วย โดยอ้างนิยามของสมาคมวิศวกรรมพลาสติกและสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกของอเมริกา ที่ได้ให้นิยามของพลาสติกเอาไว้ว่า “พลาสติกคือวัสดุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คงรูปเมื่อผ่านกระบวนการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อนหรือแรงอัด หรือทั้งสองอย่าง ทำให้พลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ”

2.1.1 การจำแนกพลาสติกตามการใช้งาน

มินา เหล่าหะเกียรติ (มินา เหล่าหะเกียรติ, 2552) กล่าวว่าหากพิจารณาพลาสติกตามประโยชน์การใช้งานสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะสามารถจำแนกพลาสติกออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

2.1.1.1 พลาสติกที่ใช้งานทั่วไป (Commodity Plastics)

เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติแปรรูปได้หลากหลาย สามารถตอบสนองความต้องการพื้นฐานของมนุษย์มากมาย อีกทั้งยังมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกสำหรับงานวิศวกรรม (Engineering Plastic) และมีปริมาณความต้องการใช้สูง ตัวอย่างพลาสติกกลุ่มนี้ ได้แก่ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene (LDPE)) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene (HDPE)) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โพลีโพรพิลีน (PP) และโพลิสไตรีน (PS) เป็นต้น

2.1.1.2 พลาสติกสำหรับงานวิศวกรรม (Engineering Plastics)

เป็นพลาสติกที่ใช้ในงานวิศวกรรมซึ่งต้องการคุณสมบัติพิเศษ อาจใช้ทดแทนโลหะในงานวิศวกรรม เช่น ชิ้นส่วนคอมพิวเตอรื ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น ตัวอย่างพลาสติกกลุ่มนี้ ได้แก่ ไนลอน (Nylon) โพลีคาร์บอเนต (PC) โพลีอะซีทัล (Polyacetal) อะคริโลไนไตรลิวทาไดอินส์ไตรน (ABS) โพลีสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง (HIPS) และโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) เป็นต้น

2.1.1.3 พลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษ (High Performance Plastics)

เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษสำหรับใช้งานเฉพาะทาง เช่น ทนกรด ทนด่าง ทนความร้อน เป็นต้น พลาสติกประเภทนี้มีราคาสูงมากตามคุณสมบัติพิเศษแต่ละชนิด ตัวอย่างพลาสติกกลุ่มนี้ ได้แก่ โพลีเตตราฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene หรือ Teflon) โพลีอีเทอร์อีเทอร์คีโตน (Poly Ether Ether Ketone (PEEK) โพลีอีเทอร์ซัลโฟน (Polyethersulfone (PES) ปริมาณการใช้พลาสติกเหล่านี้ยังมีไม่มากนักและยังเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิตและเทคโนโลยียังไม่เป็นที่แพร่หลายทั่วไป

2.1.2 การจำแนกพลาสติกตามสมบัติทางความร้อน

หากพิจารณาพลาสติกตามลักษณะที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิจะสามารถจำแนกพลาสติกออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.1.2.1 พลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting plastics)

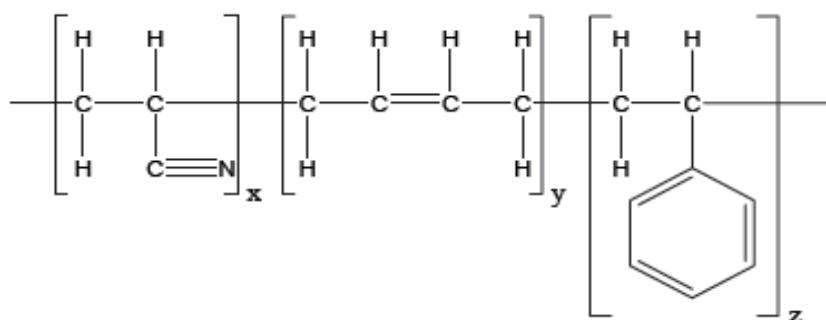
เป็นพลาสติกที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นตาข่าย โครงสร้างโมเลกุลมีการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่ (Crosslinked structure) พลาสติกชนิดนี้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปทรงต่างๆได้ โดยทำให้แข็งตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีในแม่พิมพ์ (mold) และเมื่อแข็งตัวแล้วมีความคงรูปสูงมากไม่สามารถหลอมเหลวได้เมื่อให้ความร้อน ตัวอย่างพลาสติกกลุ่มนี้ ได้แก่ ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เมลามีนฟีนอลิก เป็นต้น (มีนา เหล่าหะเกียรติ, 2552)

2.1.2.2 พลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic plastics)

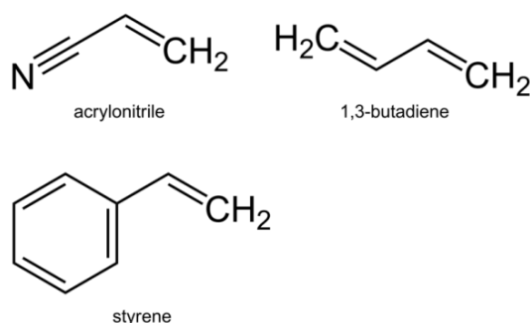
เป็นพลาสติกที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นสายโซ่หรือแบบกิ่ง (Linear/Branched chain structure) เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะอ่อนตัว และเมื่ออุณหภูมิลดลงจะแข็งตัว โดยอาจทำให้แข็งตัวกลับเป็นรูปเดิม หรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ซึ่งคุณสมบัติของพลาสติกที่ได้นี้ยังเหมือนเดิมเนื่องจากพลาสติกประเภทนี้มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว หรือมีการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์เล็กน้อย ดังนั้นพลาสติกประเภทนี้จึงมีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับมาเข้าสู่กระบวนการผลิตซ้ำๆ ได้ ตัวอย่างพลาสติกกลุ่มนี้ได้แก่ โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีเอทิลีน (PE) โพลีสไตรีน (PS) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต (PET) เป็นต้น (สุภาสิณี ลิ้มปานานภาพ ชีท, 2554)

2.2 พลาสติกชนิด Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

นริศรา จิตรตระกูลชัย (นริศรา จิตรตระกูลชัย, 2549) กล่าวว่าพลาสติก ABS เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ประเภทหนึ่งที่ได้จากการทำปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ของมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) บิวทาไดอีน (Butadiene) และสไตรีน (Styrene) โดยมอนอเมอร์แต่ละชนิดที่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบสังเคราะห์ ABS ขึ้นมานั้น ล้วนมีผลต่อสมบัติของพลาสติกทั้งสิ้น กล่าวคือส่วนของอะคริโลไนไตรล์ มีผลต่อสมบัติการทนความร้อนและสารเคมี ส่วนของบิวทาไดอีนมีผลต่อสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก และส่วนของสไตรีนมีผลทำให้ได้พลาสติกที่มีพื้นผิวเป็นมันเงา ตัดแต่งวัสดุได้ง่าย เนื่องจาก ABS เป็นพลาสติกที่ได้จากการนำมอนอเมอร์ 3 ชนิดมาผลิต ดังนั้นผู้ผลิต ABS จึงสามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนของมอนอเมอร์ทั้งสามชนิด เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ โดย ABS ที่จำหน่ายในท้องตลาดจะประกอบด้วยอะคริโลไนไตรล์ ประมาณ 15-30% บิวทาไดอีน ประมาณ 5-30% และสไตรีน ประมาณ 45-75% ในส่วนของโครงสร้างโมเลกุลของ ABS และมอนอเมอร์ทั้งสามชนิดแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ ABS (นริศรา จิตรตระกูลชัย, 2549)



ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของอะคริโลไนไตรล์ บิวตะไดอีนและสไตรีน (Padleckas, 2005)

2.2.1 สมบัติทั่วไปของพลาสติก ABS

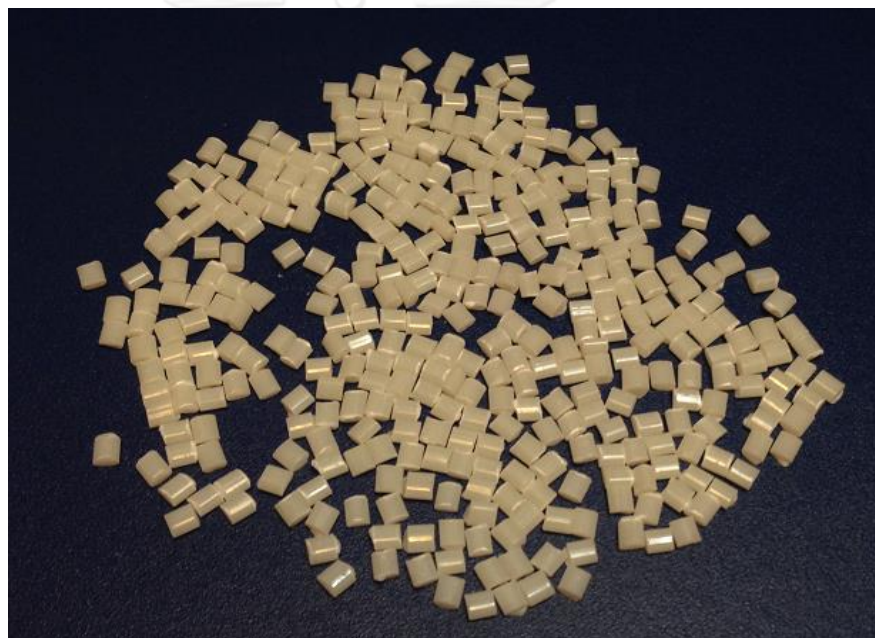
บวรกิตต์ เนคมานุรักษ์ (บวรกิตต์ เนคมานุรักษ์, 2549) กล่าวว่าพลาสติก ABS โดยทั่วไปเป็นพลาสติกที่มีความสมดุลทั้งในด้านความแข็ง (hardness) และความเหนียว (toughness) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติทนแรงกระแทก (impact resistance) ดี นอกจากนี้ ABS ยังมีสมบัติเด่นอีกหลายเรื่อง เช่น คงสภาพรูปร่างได้ดี (dimension stability) ทนต่อแรงเสียดสี (abrasion) ทนสารเคมี ทนความร้อน มีช่วงอุณหภูมิใช้งานกว้าง (ตั้งแต่ -20°C ถึง 80°C) อีกทั้งยังสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายวิธี โดยสมบัติของ ABS เกรดต่าง ๆ นั้นแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของพลาสติกชนิด ABS เกรดต่างๆ (บวรกิตต์ เนคมานุรักษ์, 2549)

Properties	ABS General	ABS/PC	ABS Heat Resistant
Specific Gravity, g/cm^3	1.16-1.21	1.17-1.23	1.05-1.08
Tensile Strength, psi	3300-8000	5800-9300	4800-7500
Flexible Strength, psi	6200-14000	12000-14500	9000-13000
Elongation, %	1.5-80	20-70	3-45
Izod Impact, ftlb/in	1.4-12	4.1-14	2.0-6.5
Dielectric Strength, volt/mil	350-500	450-760	350-500

2.2.2 สมบัติของพลาสติก ABS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เม็ดพลาสติกชนิด ABS ที่ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) โดยเป็นเม็ดพลาสติก ABS เกรด GA300 ซึ่งเป็นเกรดที่ขึ้นรูปด้วยการฉีดได้ง่าย มีความเงางาม และทนแรงกระแทกสูง เหมาะสำหรับการใช้ในการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิดเช่น เครื่องปรับอากาศ พัดลม ตู้เย็น เป็นต้น มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร มีสีขาวอมเหลือง ดังแสดงในภาพที่ 4 และสมบัติแสดงไว้ในตารางที่ 2



ภาพที่ 4 แสดงเม็ดพลาสติกชนิด ABS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 สมบัติของพลาสติกชนิด ABS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน), 2556)

Properties	Test Method	Unit	Value
Melt Flow Index (10 kg/220 ⁰ C)	ASTM D1238	g/10min	30
Izod Notched Impact (1/4", 23 ⁰ C)	ASTM D256	Kg-cm/cm	22
Tensile Strength at Yield (23 ⁰ C)	ASTM D638	kg/cm ²	480
Flexural Strength at Yield (23 ⁰ C)	ASTM D790	kg/cm ²	670
Flexural Modulus (23 ⁰ C)	ASTM D790	×10 ⁴ kg/cm ²	2.30
Rockwell Hardness (1/4", 23 ⁰ C)	ASTM D785	R-Scale	112
Specific Gravity	ASTM D792	g/cm ³	1.04-1.07

2.2.3 การนำไปใช้ประโยชน์ของพลาสติกชนิด ABS

บวรกิตติ เนคมานุรักษ์ (บวรกิตติ เนคมานุรักษ์, 2549) กล่าวว่าเนื่องจาก ABS เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติที่ดี ด้านความเหนียวและความแข็งแรงสูง ทนทานต่อความร้อน และมีคุณภาพของพื้นผิวภายนอกชิ้นงานที่ดี ทำให้ ABS มีการนำมาใช้งานเป็นองค์ประกอบภายในผลิตภัณฑ์ต่างๆกัน อย่างกว้างขวาง เช่น หมวกกันน็อค กระเป๋าเดินทาง โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ เครื่องใช้ภายในบ้าน อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ ท่อและข้อต่อต่างๆ รวมถึงการใช้ในอุตสาหกรรมที่มีการประยุกต์ใช้พลาสติก ABS โดยมีการปรับปรุงสัดส่วนของมอนอเมอร์ทั้งสามชนิดเพื่อให้ได้สมบัติต่างๆตรงตามความต้องการ

(1) การใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ เนื่องจากพลาสติกที่จะนำมาใช้ในรถยนต์ จะถูกกำหนดเกณฑ์เรื่องคุณภาพไว้ค่อนข้างสูง จึงต้องการพลาสติกที่มีสภาพหรือรูปร่างคงที่ ไม่โก่งงอหรือบิดตัวในสภาวะที่มีความเค้น (stress) หรือสภาพที่ต้องเผชิญการเปลี่ยนอุณหภูมิช่วงกว้าง ซึ่งพลาสติกชนิด ABS มีสมบัติดังกล่าวสูง จึงรองรับสภาพการใช้งานในรถยนต์ได้ดี

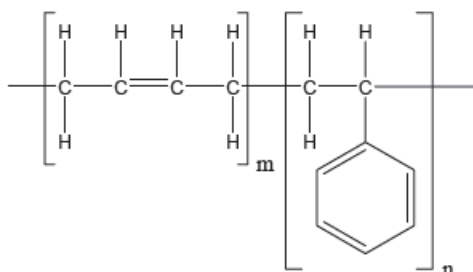
(2) การใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนมากจะถูกใช้เป็นวัสดุที่เป็นโครงภายนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งนอกจากต้องการคุณสมบัติเกี่ยวกับความแข็งแรงทนต่อการขีดข่วน (scratch) และการเสียดสี (wear) แล้ว ยังต้องมีความสวยงาม ทำความสะอาดง่าย และไม่เกิดไฟฟ้าสถิต ซึ่งพลาสติกชนิด ABS สามารถตอบสนองความต้องการเหล่านี้ได้

(3) การใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้สำนักงาน เนื่องจากเครื่องใช้สำนักงานต้องการแบบที่ดูดีและมีสีสวยงดงาม ซึ่งพลาสติก ABS สามารถตอบสนองได้ดีเนื่องจากผสมสีสันทันทีหลากหลาย และบางเกรดก็สามารถนำมาชุบเคลือบด้วยไฟฟ้าเพื่อให้ได้ผิวแวววาวเหมือนโลหะ อีกทั้งสามารถเลือกใช้กระบวนการขึ้นรูปเพื่อให้ชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์มีพื้นผิวเป็นมันเงาหรือเรียบด้านแล้วแต่ความต้องการ

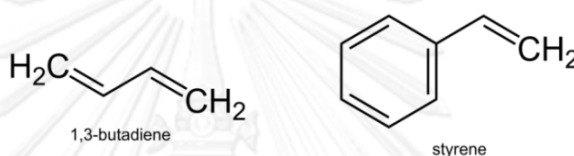
2.3 พลาสติกชนิด High Impact polystyrene (HIPS)

นริศรา จิระตระกูลชัย (นริศรา จิระตระกูลชัย, 2549) กล่าวว่าพลาสติกพอลิสไตรีน (Polystyrene) เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก จัดว่าเป็นผลผลิตหนึ่งในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลาย (Downstream) ซึ่งได้มาจากสารสไตรีนมอนอเมอร์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลาง (Intermediate) โดยพลาสติกพอลิสไตรีน ยังสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ General Purpose Polystyrene (GPPS) และ High Impact Polystyrene (HIPS) ความแตกต่างของพลาสติกทั้งสองชนิดนี้อยู่ที่พลาสติกชนิด GPPS มีคุณสมบัติเด่นด้านความใส แต่เปราะหักง่าย ขณะที่ HIPS มีคุณสมบัติเด่นด้านการทนแรงกระแทกได้ดีกว่า เนื่องจากมีพอลิบิวตะไดอินอยู่ในโครงสร้างหลักของสายโซ่ ซึ่งได้มาจากมอนอเมอร์สองชนิด คือ บิวตะไดอินและสไตรีน โดยโครงสร้างบิวตะไดอินจะทำให้มีความทนทานต่อแรงกระแทก มีความเหนียวขณะอุณหภูมิต่ำ มีสมบัติที่ดีและมีความยืดหยุ่น ส่วนของโครงสร้าง สไตรีนจะทำให้มี

ความแข็ง พื้นผิวชิ้นงานมีความเงามันและช่วยให้ชิ้นรูปขึ้นงานได้ง่ายขึ้น ในส่วนของโครงสร้างโมเลกุลของ HIPS และมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดแสดงดังภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ HIPS (นริศรา จิตรตระกูลชัย, 2549)



ภาพที่ 6 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ บิวตะไดอีนและสไตรีน (Padleckas, 2005)

2.3.1 สมบัติทั่วไปของพลาสติก HIPS

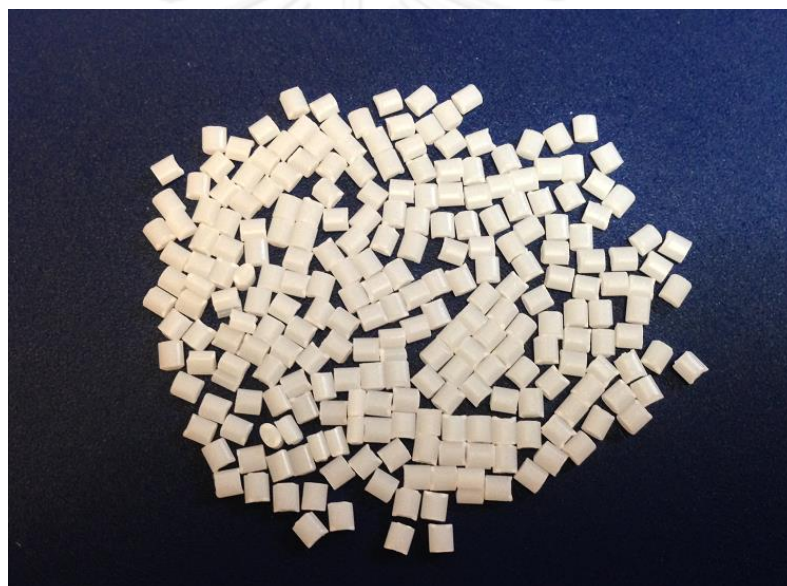
บวรกิตติ เนคมานุรักษ์ (บวรกิตติ เนคมานุรักษ์, 2549) กล่าวว่าพลาสติก HIPS เป็นพอลิเมอร์ที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อปรับปรุงสมบัติการทนทานต่อแรงกระแทกของพลาสติก Polystyrene (PS) สมบัติเชิงกลที่ได้มีความใกล้เคียงกับพลาสติกชนิด ABS เช่น มีค่าอุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 240-250°C ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ประมาณ 1.03-1.08 g/cm³ แต่สมบัติเชิงเคมีจะด้อยกว่า เช่น ไม่สามารถทนทานต่อน้ำมัน เนื่องจากไม่มี Acrylonitrile ในโครงสร้าง โดยสมบัติเชิงกลต่างๆของ HIPS สามารถแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติของพลาสติกชนิด HIPS (บวรกิตติ เนคมานุรักษ์, 2549)

Property	HIPS
Specific Gravity, g/cm ³	1.03-1.08
Tensile Strength, psi	2,325-6,000
Tensile modulus, kpsi	240-370
Flexural modulus, kpsi	260-390
Elongation, %	1.0-1.5
Izod Impact, ftlb/in	0.9-4.1

2.3.2 สมบัติของพลาสติก HIPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เม็ดพลาสติกชนิด HIPS ที่ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) โดยเป็นเม็ดพลาสติก HIPS เกรด HI650 ซึ่งเป็นเกรดที่ขึ้นรูปด้วยการฉีดได้ง่าย มีความทนทานต่อแรงกระแทกสูง เหมาะสำหรับการใช้ในการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด เช่น โทรทัศน์ เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น ของเล่น เป็นต้น มีลักษณะเป็นรูปทรงระบอบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร มีสีขาวขุ่นดังแสดงในภาพที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติกชนิด ABS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเห็นถึงความแตกต่างดังแสดงในภาพที่ 8 และสมบัติของพลาสติกชนิด HIPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงไว้ตารางที่ 4



ภาพที่ 7 แสดงเม็ดพลาสติกชนิด HIPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 8 แสดงเม็ดพลาสติกชนิด HIPS (ซ้าย) เปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติกชนิด ABS (ขวา)

ตารางที่ 4 สมบัติของพลาสติกชนิด HIPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน), 2554)

Properties	Test Method	Unit	Value
Melt Flow Index (5 kg/200 ⁰ C)	ASTM D1238	g/10min	8.0
Izod Notched Impact (1/4", 23 ⁰ C)	ASTM D256	Kg-cm/cm	11
Tensile Strength at Yield (23 ⁰ C)	ASTM D638	kg/cm ²	232
Flexural Strength at Yield (23 ⁰ C)	ASTM D790	kg/cm ²	450
Flexural Modulus (23 ⁰ C)	ASTM D790	×10 ⁴ kg/cm ²	2.32
Rockwell Hardness (1/4", 23 ⁰ C)	ASTM D785	L-Scale	79
Specific Gravity	ASTM D792	g/cm ³	1.04-1.05

2.3.3 การนำไปใช้ประโยชน์ของพลาสติกชนิด HIPS

บวรกิตติ เนคมานุรักษ์ (บวรกิตติ เนคมานุรักษ์, 2549) กล่าวว่าเนื่องจากพลาสติก HIPS เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติที่ดี มีค่าความเหนียวและค่าความแข็งแรงสูง ทนทานต่อความร้อน ง่ายต่อการขึ้นรูป รวมถึงมีราคาถูกกว่าพลาสติก ABS ขณะที่สมบัติการใช้งานคล้ายคลึงกัน ส่งผลให้ HIPS มีการนำมาใช้งานร่วมกับพลาสติก ABS กันอย่างกว้างขวาง โดยจะเป็นการใช้พลาสติก ABS ซึ่งทนทานต่อสภาพแวดล้อมและสารเคมีได้ดีกว่าเป็นชิ้นส่วนด้านนอก แล้วใช้พลาสติก HIPS ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีแต่มีสมบัติเชิงเคมีต่ำเป็นชิ้นส่วนด้านใน เช่น การใช้แผ่นพลาสติก ABS สำหรับผนังประตูด้านนอกของตู้เย็น และใช้ผนังด้านในเป็นแผ่นพลาสติก HIPS เป็นต้น

2.4 เทคโนโลยีการตัดแยกวัสดุ

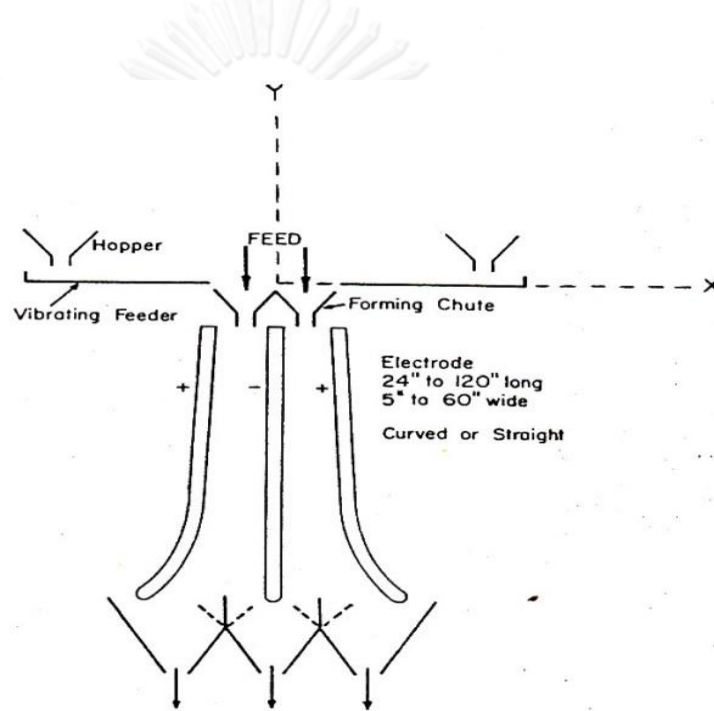
รัตนชัย พงศ์ศิริประภา (รัตนชัย พงศ์ศิริประภา, 2549) กล่าวว่ากระบวนการตัดแยกวัสดุเป็นกระบวนการตัดแยกวัสดุที่ต้องการออกจากของผสม โดยสามารถจำแนกได้เป็น กระบวนการตัดแยกวัสดุทางกายภาพ (Physical Process) และกระบวนการตัดแยกวัสดุทางเคมี (Chemical Process)

2.4.1 กระบวนการตัดแยกวัสดุทางกายภาพ (Physical Process)

เป็นกระบวนการตัดแยกวัสดุที่ต้องการออกจากของผสม โดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพเป็นหลัก เช่น ขนาดและรูปร่าง ความถ่วงจำเพาะ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิววัสดุ การนำไฟฟ้า เป็นต้น

2.4.1.1 กระบวนการคัดแยกโดยไฟฟ้า (Electrostatic Separation)

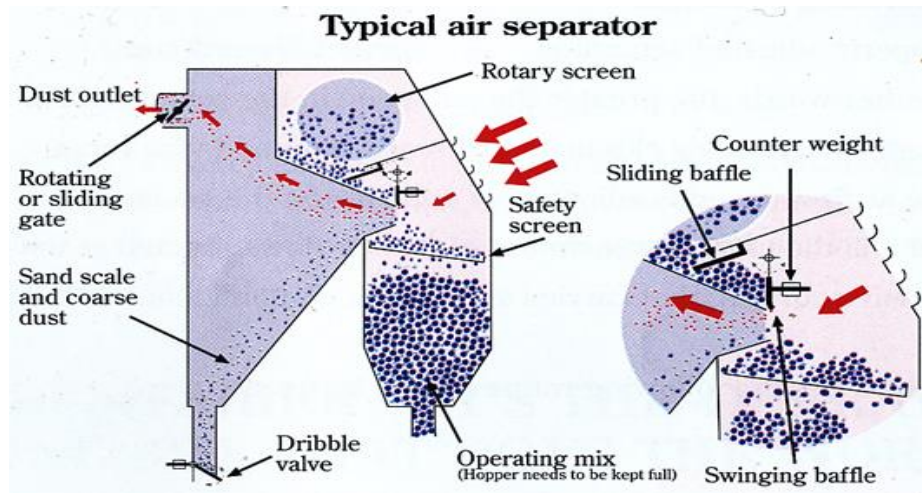
กระบวนการคัดแยกโดยไฟฟ้าเป็นการคัดแยกของผสมโดยอาศัยสมบัติทางประจุไฟฟ้าของวัสดุที่จะนำมาคัดแยก กระบวนการแยกเริ่มจากทำให้วัสดุผสมนั้นมีประจุที่แตกต่างกันโดยอาศัยสนามไฟฟ้าในการเหนี่ยวนำวัสดุให้เกิดประจุ ซึ่งเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบนผิวของวัสดุ ให้วัสดุหนึ่งกลายเป็นประจุลบ อีกวัสดุกลายเป็นประจุบวก และเกิดการแยกออกจากกัน โดยส่วนประกอบสำคัญของเครื่องคัดแยกโดยไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงเครื่องแยกแร่ไฟฟ้าสถิตแบบปล่อยตกตัวอิสระ (ภิญโญ มีชำนะ, 2553)

2.4.1.2 กระบวนการคัดแยกโดยอากาศ (Air Separation)

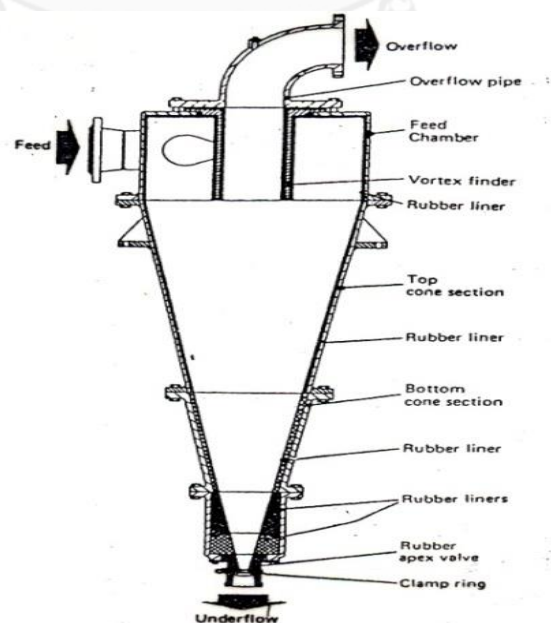
กระบวนการคัดแยกโดยอากาศ เป็นกระบวนการคัดแยกของผสมโดยอาศัยความแตกต่างเรื่องน้ำหนักของวัสดุ ซึ่งของผสมอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ เมื่อของผสมถูกป้อนเข้าไปในระบบ วัสดุที่มีน้ำหนักเบา ก็จะลอยแยกไปข้างบน ส่วนวัสดุที่มีน้ำหนักมากกว่าก็จะลงสู่ด้านล่าง หลักการทำงานของกระบวนการนี้นอกจากอาศัยความแตกต่างเรื่องน้ำหนักหรือความถ่วงจำเพาะแล้วยังต้องคำนึงถึงชนิดของวัสดุ รวมถึงรูปร่างและขนาดของวัสดุด้วย ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องคัดแยกโดยอากาศแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงเครื่องคัดแยกโดยอากาศ (Granowski, 2014)

2.4.1.3 กระบวนการคัดแยกโดยไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)

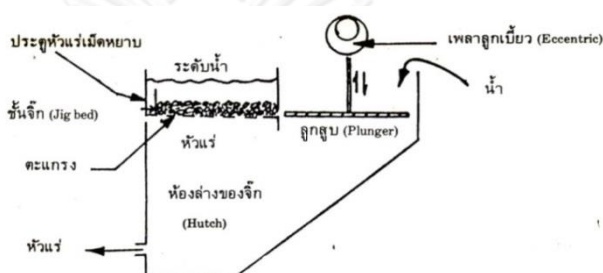
กระบวนการคัดแยกโดยไฮโดรไซโคลนเป็นกระบวนการคัดแยกของผสมที่อาศัยความแตกต่างความถ่วงจำเพาะหรือน้ำหนักของวัสดุ โดยวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงซึ่งมีแรงหนีศูนย์กลางมากจะถูกบังคับให้ไหลลงทางด้านล่างหรือช่องทางออกขนาดเล็ก (Underflow) ขณะที่วัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำหรือเท่ากับของเหลว จะถูกผลักให้ไหลออกทางด้านบน หรือช่องทางออกขนาดใหญ่ (Overflow) โดยส่วนประกอบสำคัญของเครื่องคัดแยกโดยไฮโดรไซโคลนแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงเครื่องไฮโดรไซโคลน (ภิญโญ มีขำนะ, 2553)

2.4.1.4 กระบวนการคัดแยกโดยจิก (Jig Separation)

กระบวนการคัดแยกโดยจิกเป็นกระบวนการคัดแยกของผสมที่อาศัยความแตกต่าง ความถ่วงจำเพาะหรือน้ำหนักของวัสดุ โดยอาศัยช่วงชักของเครื่องมือในการเขย่าเพื่อแยกของผสมออกจากกัน มีน้ำเป็นตัวกลางหรืออาจจะมีการเติมสารปรับความหนาแน่นผสมลงไป วัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าหรือเท่ากับน้ำจะลอยสู่ด้านบน ส่วนวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าจะจมสู่ด้านล่าง โดยส่วนประกอบสำคัญของเครื่องคัดแยกจิกแสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงเครื่องจิกแบบฮาร์ซ (ภิญโญ มีชำนาญ, 2553)

2.4.1.5 กระบวนการคัดแยกโดยการจมและลอย (Sink-Float Separation)

กระบวนการคัดแยกโดยการจม-ลอย เป็นกระบวนการคัดแยกของผสมที่อาศัยความแตกต่างความถ่วงจำเพาะหรือน้ำหนักของวัสดุ โดยจะใช้สารปรับความหนาแน่น (Dense Medium) เพื่อปรับความหนาแน่นของน้ำให้อยู่ระหว่างของผสม เพื่อที่จะแยกของผสมออกจากกัน กระบวนการคัดแยกวิธีนี้นิยมใช้มากสำหรับการแยกโพลีเอทิลีน (PE) ออกจากโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) หรือโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) แต่ไม่สามารถแยกพลาสติกที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันหรือเท่ากันได้ เช่น โพลีเอทิลีน (PE) กับโพลีโพรพิลีน (PP) หรือโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) กับโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) นอกจากนี้ยังพบข้อจำกัดในการคัดแยกด้วยเทคนิคนี้หลายอย่าง เช่น ความล่าช้าของกระบวนการแยก ความยุ่งยากในการควบคุมความหนาแน่นของของเหลว เป็นต้น เครื่องคัดแยกโดยการจมและลอยแสดงดังภาพที่ 13



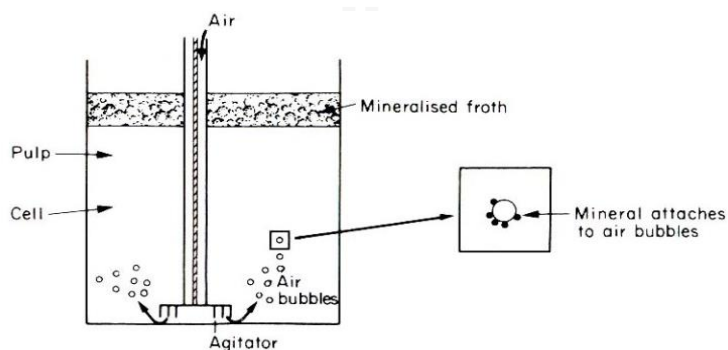
ภาพที่ 13 แสดงเครื่องคัดแยกโดยการจมและลอย (Haith Group, 2014)

2.4.1.6 กระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation)

อรรถพล รัตน์ะ (อรรถพล รัตน์ะ, 2552) กล่าวว่ากระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศเป็นกระบวนการคัดแยกของผสมที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันออกจากกัน โดยอาศัยความสามารถในการเปียกผิวของพื้นผิวของของแข็งที่แตกต่างกัน โดยปกติแล้วพื้นผิวของแข็งที่มีขี้หรือมีประจุสามารถเปียกน้ำได้ดี เรียกได้ว่ามีลักษณะเป็น Hydrophilic ซึ่งจะช่วยให้ของแข็งจมลงในน้ำ ในทางตรงกันข้ามพื้นผิวที่มีลักษณะเป็น Hydrophobic จะทำให้ฟองอากาศยึดติดกับพื้นผิวของแข็งได้อย่างดี หรืออาจเรียกได้ว่าเป็น Aerophilic แล้วลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้ ลักษณะความเป็น Hydrophobic และ Hydrophilic ของอนุภาคของแข็งสามารถแสดงได้ด้วยค่า Contact angle (θ) ซึ่งในกรณี Hydrophobic จะมีค่า Contact angle มากกว่า 90° แต่ส่วนใหญ่แล้วค่า Contact angle ในกระบวนการ Froth Flotation จะมีค่าไม่เกิน 100° ในขณะที่ Hydrophilic จะมีค่า Contact angle อยู่ระหว่าง $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

อุปกรณ์ในกระบวนการ Froth Flotation จะประกอบด้วย Flotation cell ที่บรรจุสารละลายและของผสมของอนุภาคของแข็ง และมีใบพัดกวนหรือ Agitator ที่ช่วยให้เกิดการผสมหมุนเวียนระหว่างของแข็งกับสารละลายภายในถังอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์การปล่อยอากาศจากส่วนล่างของใบพัดกวนนี้ไปสู่สารละลาย ซึ่งการปล่อยอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นมา โดยฟองอากาศดังกล่าวจะถูกทำให้เสถียรด้วยสารทำให้เกิดฟองหรือสารเคลือบฟองอากาศ (Frother) อนุภาคของแข็งที่มีลักษณะเป็น Hydrophobic โดยการเคลือบด้วย Collector หรือ Surfactant จะยึดติดกับฟองอากาศได้ดี ลอยขึ้นสู่ส่วนผิวของสารละลาย แยกตัวออกจากของผสม

จากนั้นแยกเก็บของแข็งส่วนที่ลอย โดยอาจทำให้สารละลายล้นลงสู่ถาดรองรับของแข็งหรือใช้วิธีทางกลเช่น กวาดของแข็งที่อยู่บนผิวสารละลายออก ส่วนอนุภาคของแข็งที่พื้นผิวมีลักษณะเป็น Hydrophilic (อนุภาคที่ Collector ไม่เข้าไปเคลือบผิว) ก็จะถูกจมอยู่ในสารละลาย ซึ่งสามารถแยกออกจากสารละลายโดยการรินสารละลายออก องค์ประกอบของระบบ Froth Flotation และลักษณะการเกาะตัวของฟองอากาศบนผิวอนุภาคของแข็งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงเครื่องลอยแร่และลักษณะการเกาะตัวของฟองอากาศบนผิวอนุภาคของแร่ (ภิญโญ มีชำนะ, 2553)

จากหลักการกระบวนการคัดแยกโดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Froth Flotation) ที่มีจุดเด่นสำหรับการแยกวัสดุที่เป็นของแข็งซึ่งมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน จึงเป็นที่มาของการประยุกต์เทคนิคนี้สำหรับกระบวนการคัดแยกพลาสติกซึ่งมีความถ่วงจำเพาะไม่ต่างกันมาก อย่างในกรณีของพลาสติก ABS และ HIPS เนื่องจากเป็นคู่พลาสติกที่มักใช้ร่วมกันในผลิตภัณฑ์เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ ชิ้นส่วนรถยนต์ ตู้เย็น รวมไปถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่นๆ การแยกพลาสติกทั้งสองออกจากกันจึงนิยมใช้เทคนิคการลอยแยก โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองลอยแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ด้วยเครื่องลอยแร่ยี่ห้อ DENVER รุ่น B755-SER มีเซลล์ลอยแยก (Flotation cell) ที่สามารถบรรจุสารละลายตัวกลางปริมาตร 5 ลิตร อัตราการกวนของเครื่อง 800 ถึง 3300 รอบต่อนาที และสามารถปล่อยฟองอากาศออกจากส่วนล่างของใบพัดกวน เครื่องลอยแร่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงเครื่องลอยแร่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

จากกระบวนการคัดแยกวัสดุทางกายภาพทั้ง 6 เทคนิค สามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิคได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการคัดแยกวัสดุทางกายภาพเทคนิคต่างๆ (รัตนชัย พงศ์ศิริประภา, 2549)

กระบวนการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
- กระบวนการคัดแยกโดยไฟฟ้า (Electrostatic Separation)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - สามารถแยกวัสดุจำพวกที่นำไฟฟ้าได้	- ยุ่งยาก สลับซับซ้อน - วัสดุที่นำมาแยกต้องมีสมบัติทางไฟฟ้า
- กระบวนการคัดแยก โดยอากาศ (Air Separation)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	- ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีน้ำหนักใกล้เคียงหรือเท่ากันได้
- กระบวนการคัดแยก โดยไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	- ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันได้
- กระบวนการคัดแยกโดยจิก (Jig Separation)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	- ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันได้ - ชนิด รูปร่างและขนาดของวัสดุมีผลต่อการคัดแยก
- กระบวนการคัดแยก โดยการจมและลอย (Sink-Float Separation)	- แยกของผสมออกจากกันได้ดี - ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก	- ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันได้ - สารเคมีที่ใช้ปรับความหนาแน่นเป็นสารติดไฟง่าย
- กระบวนการคัดแยก โดยการลอยแยกด้วยฟองอากาศ (Float Separation)	- แยกของผสมที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือเท่ากันได้ - มีความยืดหยุ่นสูง รวดเร็ว ต่อเนื่อง เหมาะกับการที่มีปริมาณมาก	- ค่าใช้จ่ายสูง - ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก - ต้องมีความชำนาญ

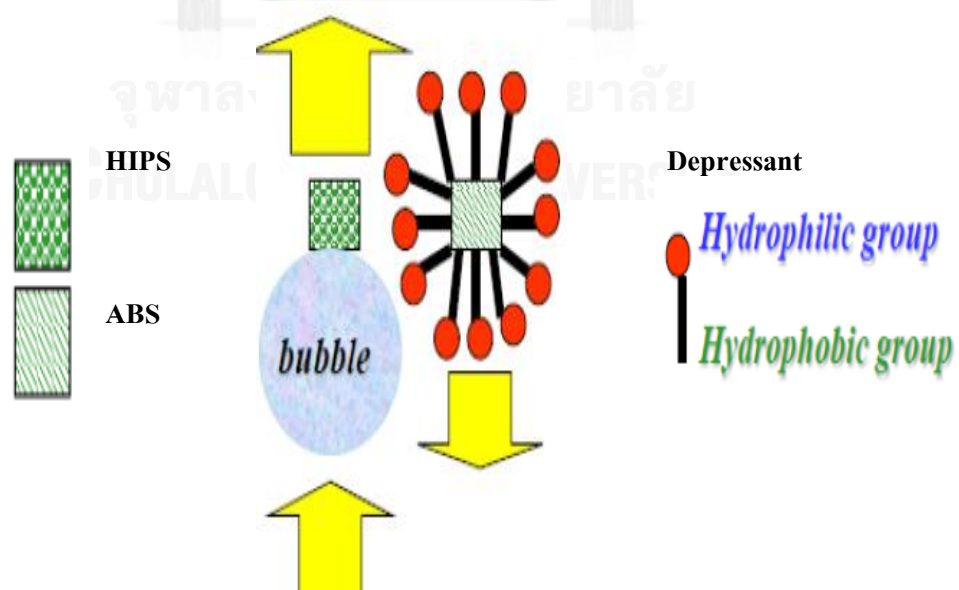
2.4.2 กระบวนการคัดแยกวัสดุทางเคมี (Chemical Process)

ภิญโญ มีชำนะ (ภิญโญ มีชำนะ, 2553) กล่าวว่าในบางกรณีการคัดแยกวัสดุบางชนิดไม่สามารถแยกให้มีเปอร์เซ็นต์สูงด้วยกระบวนการคัดแยกทางกายภาพเพียงอย่างเดียว การที่จะคัดแยกวัสดุที่ต้องการออกมาอาจต้องใช้สารเคมีและกรรมวิธีทางเคมีเข้าช่วย กรรมวิธีทางเคมีได้แก่ วิธีการชะละลาย (Leaching) การจับหรือสกัดด้วยปรอท (Amalgamation) การละลายด้วยสารละลายไซยาไนด์ (Cyanidation) เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการเปลี่ยนสภาพทางเคมีของวัสดุหรือไล่สารบางอย่างออกจากวัสดุโดยการเผา (Roasting)

2.5 หลักการลอยแยกสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS

จากหลักการหลักการสำคัญของกระบวนการลอยแยกที่อาศัยความสามารถของการเปียกผิวของวัสดุที่ต่างกัน เป็นผลดีต่อการแยกพลาสติกผสมที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน แต่มีความสามารถในการเปียกผิวแตกต่างกันเมื่ออยู่ในสารละลายสารปรับสภาพผิว (Depressant) ที่เหมาะสม โดยสาร Depressant นี้จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสมบัติพื้นผิวของพลาสติกตัวใดตัวหนึ่งให้มีสมบัติเป็น Hydrophilic ได้สูงขึ้น เนื่องจากสาร Depressant ทำหน้าที่ป้องกันผิวอนุภาคที่ไม่ต้องการให้ลอยอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะแก่การเกาะติดกับสารเคลือบฟองอากาศ (Frothers) จากนั้นเมื่อผ่านฟองอากาศเข้าไปในระบบ พลาสติกชนิดที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากสาร Depressant จะยังคงแสดงสมบัติ Hydrophobic จึงถูกล้อมรอบด้วยฟองอากาศลอยตัวขึ้นสู่ส่วนผิวของสารละลายตัวกลาง ทำให้สามารถทยอยแยกเอาส่วนที่ลอยขึ้นมานี้ออกมาได้ ในขณะที่พลาสติกชนิดที่มีสมบัติ Hydrophilic สูงขึ้น จะกระจายตัวอยู่ในสารละลายตัวกลางมากกว่าลอยขึ้นมาบนผิว (Saisinchai, 2014)

ในกรณีพลาสติกผสมชนิด ABS และ HIPS ที่มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน (มากกว่า 1 ทั้งคู่) เทคนิคการลอยแยกจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้มากกว่าเทคนิคอื่นๆ โดยเลือกสาร Depressant ที่เพิ่มสมบัติ Hydrophilic ให้เฉพาะพลาสติกชนิด ABS ดังนั้นเมื่อผ่านฟองอากาศเข้าไปในระบบพร้อมๆ กับการกวน พลาสติกชนิด ABS ซึ่งเปียกผิวอย่างสมบูรณ์ ฟองอากาศไม่สามารถเข้าไปเกาะที่ผิวได้ก็จะกระจายตัวอยู่ในสารละลายตัวกลาง ขณะที่พลาสติก HIPS จะถูกฟองอากาศเข้าไปเกาะที่ผิวได้ตามปกติ ส่งผลให้เกิดการลอยตัวขึ้นมาส่วนผิวของสารละลายตัวกลางได้ดีกว่าพลาสติก ABS จึงสามารถกวาดเอาพลาสติก HIPS ที่ลอยตัวขึ้นมาบนผิวของสารละลายตัวกลางแยกออกจากพลาสติก ABS ได้ โดยการทำงานของสาร Depressant ที่เกิดเฉพาะกับผิวพลาสติกชนิด ABS แสดงได้ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงการทำงานของสาร Depressant ที่เกิดเฉพาะกับผิวพลาสติกชนิด ABS (Saisinchai, 2014)

2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบการลอยแยก

รัตนชัย พงศ์ศิริประภา (รัตนชัย พงศ์ศิริประภา, 2549) กล่าวว่าระบบการลอยอนุภาค เป็นระบบหลายเฟส (Multi-phase) หลายส่วนประกอบ (Multicomponent) ที่มีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างเฟสหรือส่วนประกอบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบการลอยแยกประกอบไปด้วยปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัยทางเคมี อุปกรณ์เครื่องมือ และการปฏิบัติงาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อระบบการลอยอนุภาคโดยรวมได้หมดทั้งสิ้น

2.6.1 ปัจจัยทางเคมี

ปัจจัยทางเคมีเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับระบบการลอยอนุภาค โดยปกติแล้วเพื่อที่จะสามารถแยกอนุภาคที่ต้องการออกจากอนุภาคผสมได้นั้น นอกเหนือจากต้องให้ขนาดอนุภาคเป็นขนาดที่จำเป็นแยกตัวเป็นอิสระ (Liberation Size) แล้ว ต้องพิจารณาถึงปัจจัยทางสารเคมีที่ใช้ ปัจจัยทางเคมีของอนุภาค รวมถึงปัจจัยทางเคมีของน้ำ ประกอบด้วย

2.6.1.1 ปัจจัยทางสารเคมี

การเลือกลอยอนุภาคแร่ชนิดหนึ่งออกจากอนุภาคผสมที่อยู่รวมกันสามารถทำได้ โดยการใช้สารเคมีซึ่งมีหลากหลายชนิด ได้แก่ สารเคลือบผิวอนุภาคหรือตัวเก็บ (Collectors) ซึ่งทำหน้าที่เคลือบผิวอนุภาคไม่ให้เปียกน้ำและเกาะติดฟองอากาศได้ง่าย สารกระตุ้นผิวอนุภาคหรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Activators) เพื่อกระตุ้นผิวอนุภาคให้เหมาะแก่การเคลือบด้วยสารเคลือบผิวอนุภาค สารป้องกันการเคลือบผิวอนุภาคหรือตัวกด (Depressants) ทำหน้าที่ป้องกันผิวอนุภาคที่ไม่ต้องการลอยให้อยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะแก่การเกาะติดกับสารเคลือบผิวอนุภาคได้ รวมถึงสารเคลือบฟองอากาศ (Frothers) ซึ่งทำหน้าที่เคลือบฟองอากาศให้เหมาะสมต่อการเกาะติดของอนุภาคกับฟองอากาศและลอยขึ้นมาตามลำดับ

2.6.1.2 ปัจจัยทางเคมีของอนุภาค

ในส่วนของเคมีพื้นผิวระหว่างอนุภาค น้ำ และอากาศนั้น ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับชนิดอนุภาคต่างๆ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น อนุภาคที่มีความสามารถลอยได้เองตามธรรมชาติ (Naturally Floatable Mineral) และอนุภาคที่สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย (Sparing Soluble Minerals)

2.6.1.3 ปัจจัยทางเคมีของน้ำ

น้ำที่ใช้ในกระบวนการลอยอนุภาคควรเป็นน้ำดิบ (Raw Water) ตามธรรมชาติซึ่งมีตะกอนแขวนลอยและไอออนของโลหะหนักปนเปื้อนน้อย เนื่องจากตะกอนแขวนลอยและไอออนของโลหะเหล่านี้ รวมถึงความเป็นกรดเบสของสารละลายตัวกลาง จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของสารเคลือบผิวอนุภาค และสารเคลือบฟองอากาศ ตลอดจนระบบการลอยอนุภาคโดยรวม ดังนั้นการนำน้ำที่ผ่านการลอยแร่แล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Water) จำเป็นต้องตรวจสอบและบำบัดน้ำเหล่านี้ให้มีคุณภาพเหมาะสมต่อการลอยอนุภาค

2.6.2 ปัจจัยทางการปฏิบัติงาน

2.6.2.1 ขนาดอนุภาค

ขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสำหรับกระบวนการลอยแยกเป็นปัจจัยสำคัญทางการปฏิบัติงาน (Operational Factors) พบว่าขนาดที่เหมาะสมต่อการลอยอนุภาคอยู่ระหว่าง 10-1500 ไมครอน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคด้วย

2.6.2.2 ความเข้มข้นของสารละลายตัวกลาง

ความเข้มข้นของสารละลายตัวกลางเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการลอยแยกอนุภาค ส่วนผสมระหว่างอนุภาคกับน้ำจะต้องไม่เข้มข้นหรือเจือจางเกินไป ถ้าเข้มข้นเกินไปโอกาสที่อนุภาคแต่ละตัวจะเกาะติดฟองอากาศก็จะน้อยลง หรือเมื่อฟองอากาศติดกับผิวอนุภาคแล้วไม่สามารถลอยตัวจนถึงผิวของสารละลายตัวกลางได้ เนื่องจากการเสียดสีและความปั่นป่วนที่เพิ่มขึ้นในระบบ ถ้าความเข้มข้นนี้ต่ำเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนผิวอนุภาคเกิดได้ไม่เต็มที่

2.6.2.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการลอยอนุภาค

เนื่องจากธรรมชาติของแร่ชนิดต่างๆ หรือแม้กระทั่งแร่ชนิดเดียวกันแต่ต่างแหล่งกันก็มีสมบัติทางเคมีพื้นผิวไม่เหมือนกัน จึงจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่ โดยเฉพาะสำหรับตัวอย่างแร่จากแหล่งนั้น

2.6.2.4 อัตราการป้อนฟองอากาศ

การป้อนฟองอากาศให้แก่ระบบลอยแยกอนุภาคผสมที่มีสารละลายตัวกลางเป็นน้ำที่ปรับสภาพด้วยสารเคลือบฟองอากาศในเซลล์ลอยแร่ ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ลอยแร่ พื้นที่ผิว ปริมาณตัวอย่าง และความเร็วในการกวน ส่วนใหญ่แล้วปริมาณการป้อนฟองอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดแร่

2.6.3 ปัจจัยทางอุปกรณ์เครื่องมือ

ปัจจัยทางอุปกรณ์เครื่องมือ (Operational Factors) ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ การออกแบบ เซลล์ลอยอนุภาคแร่ ระบบการกวนผสม และระบบกวาดเอาส่วนที่ลอย เป็นต้น โดยทั่วไปการกวนของอนุภาคผสมในกระบวนการการลอยแร่ อาจจะทำในถังกวนปรับสภาพผิวแร่ (Conditioning Tank) เพื่อปรับสภาพผิวแร่ให้เหมาะแก่การลอยในเซลล์ลอยแร่ก่อนเสมอ แต่บางครั้งอาจกวนผสมโดยตรงในเซลล์ลอยแร่เลย ถ้าผิวแร่ชนิดนั้นๆไวต่อการตอบสนองของสารเคมีที่ใช้ ปกติความเข้มข้นของของผสมในถังกวนปรับสภาพผิวแร่ จะสูงกว่าในเซลล์ลอยแร่ สูงถึง 50-60% Solids ดังนั้น ชนิดและสภาพของเซลล์ลอยแร่ ความเข้มข้นของของผสม ปริมาณสารเคมีที่ใช้ เวลาปรับสภาพผิวแร่ (Conditioning Time) และระยะเวลาที่อยู่ในเซลล์ลอยแร่ (Residence Time) เริ่มตั้งแต่มีการเกาะติดของอนุภาคแร่กับฟองอากาศ จนกระทั่งลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ และล้นออกจากเซลล์ เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการกำหนดขนาดของเซลล์ลอยแร่ ความเร็วรอบของใบพัดกวน อัตราการไหลของอากาศ และอื่นๆ

2.6.4 ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการลอยอนุภาค

2.6.4.1 การเตรียมและป้อนสารเคมีที่ใช้ในการลอยอนุภาค

สารเคมีที่ใช้ในการลอยแร่อาจอยู่ในสภาพเป็นก้อน เกล็ด ผง หรือสารละลาย ขึ้นอยู่กับชนิดหรือประเภทของสารเคมีที่มีจำหน่าย สารเคมีบางชนิดอาจสามารถละลายได้ง่ายในน้ำ แต่หากเป็นสารเคมีชนิดที่ละลายได้ยากในน้ำอาจจำเป็นต้องเตรียมในรูปของสารละลายโดยใช้กรดน้ำส้ม (Acetic acid) และความร้อนช่วยในการละลายก่อนป้อนเข้าสู่ระบบการลอยแร่

2.6.4.2 อุณหภูมิ

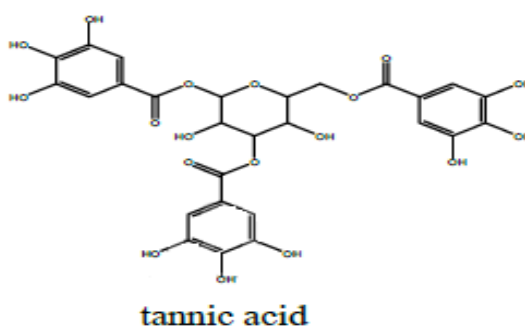
ปกติการลอยอนุภาคแร่ทั่วไปจะทำที่อุณหภูมิห้องคือ 25 องศาเซลเซียส (Room Temperature) อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนแก่อนุภาคผสมที่อยู่ในสารละลายตัวกลาง บางครั้งช่วยเร่งปฏิกิริยาทำให้การลอยแร่ได้ผลดียิ่งขึ้น เช่น การใช้ความร้อนช่วยในการปรับสภาพผิวแร่สฟาเลไรต์ (Sphalerite, ZnS) เป็นต้น

2.7 สาร Depressant

Somsak Saisinchai (Saisinchai, 2014) กล่าวว่าหน้าที่หลักของสาร Depressant คือเพิ่มความสามารถในการเปียกผิวของอนุภาคเพียงหนึ่งชนิด โดยอนุภาคนี้อาจมีสมบัติที่เป็น Hydrophilic สูงขึ้น อนุภาคนั้นก็จะจมลงในสารละลายตัวกลาง จึงสามารถแยกวัสดุสองชนิดออกจากกันแม้ว่าวัสดุสองชนิดนั้นจะมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันมาก โดยทั่วไปสาร Depressant แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือสาร Depressant ชนิดอินทรีย์ ที่จะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น Polysaccharides ในขณะที่สาร Depressant ชนิดสังเคราะห์จะมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่า เช่น Polyglycol ether และ Polyphenol เป็นต้น

2.7.1 กรดแทนนิก (Tannic acid)

บวรกิตต์เนค มานูรักษ์ (บวรกิตต์ เนคมานูรักษ์, 2549) กล่าวว่ากรดแทนนิก (Tannic acid) เป็นสาร Depressant จำพวก Polyphenol ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของ Gallic acid โดยมีโครงสร้างโมเลกุลดังภาพที่ 17 และคุณสมบัติทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 6 โดยในโมเลกุลที่แสดงนี้จะแสดงให้เห็นเพียง 3 โมเลกุล แต่โดยปกติแล้วกรดแทนนิกจะประกอบไปด้วย 8 โมเลกุลของ Gallic acid เพราะเมื่อกรดแทนนิก ถูก Hydrolyte แล้วจะได้เป็นหน่วยของ Gallic acid หรือ Ellagic acid



ภาพที่ 17 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของกรดแทนนิก (บวรกิตต์ เนคมานูรักษ์, 2549)

ตารางที่ 6 สมบัติทั่วไปของกรดแทนนิก (The Merck Index, 2013)

Property	Tannic acid
Molecular weight	1701.22 g/mol
Melting point	218 ° C
Flash point	198 ° C
Water solubility	250 g/L (20 ° C)

2.7.2 สมบัติของกรดแทนนิกที่ใช้ในงานวิจัยนี้

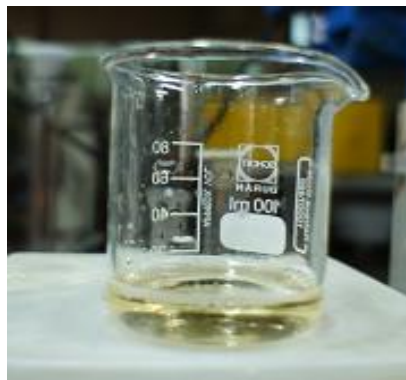
กรดแทนนิกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกรดแทนนิกเกรดอาหาร (CAS Number 1401-55-4) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด มีสูตรเคมี $C_{76}H_{52}O_{46}$, น้ำหนักโมเลกุล 1701.20 g/mol เป็นกรดเดียวกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไวน์ (บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด, 2555b) มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อนดังแสดงในภาพที่ 18 บรรจุอยู่ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ดังแสดงในภาพที่ 19 เมื่อทำการละลายด้วยน้ำจะมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อนดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 18 แสดงลักษณะกรดแทนนิกที่ใช้ในการวิจัยนี้



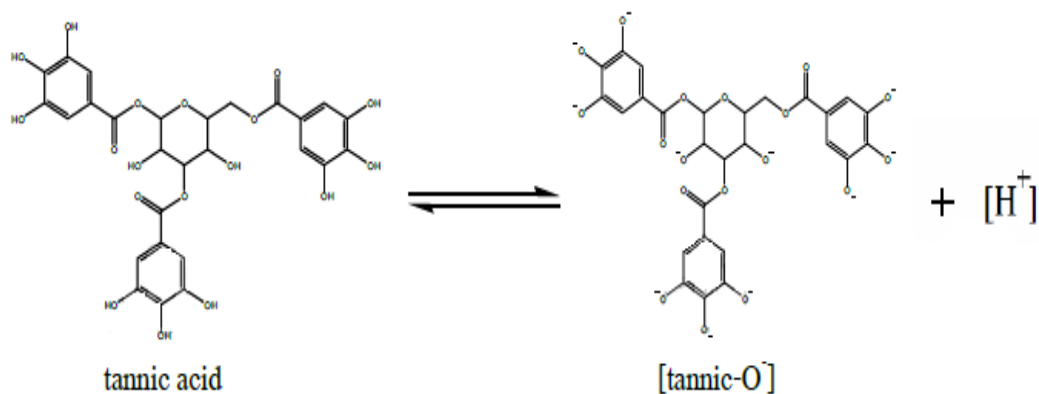
ภาพที่ 19 แสดงกรดแทนนิกที่ใช้ในการวิจัยนี้



ภาพที่ 20 แสดงสารละลายกรดแทนนิกที่ใช้ในการวิจัยนี้

2.7.1.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของกรดแทนนิกบนผิวพลาสติกชนิด ABS ในสภาวะสารละลายตัวกลางที่เป็นเบส

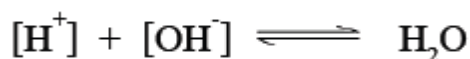
บวรกิตติ เนคมานุรักษ์ (บวรกิตติ เนคมานุรักษ์, 2549) กล่าวว่ากลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นจากกรดแทนนิกซึ่งแตกตัวเมื่ออยู่ในน้ำ เกิดเป็นไอออน tannic-[O⁻] และ [H⁺] ตามสมการภาพที่ 21 ดังนี้



ภาพที่ 21 แสดงสมการสมดุลเคมีของการแตกตัวของกรดแทนนิกในน้ำ (บวรกิตติ เนคมานุรักษ์, 2549)



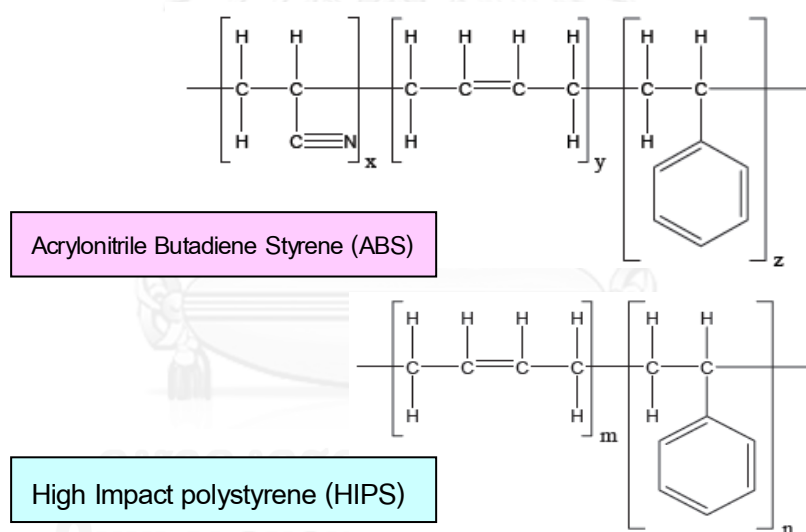
ภาพที่ 22 แสดงการแตกตัวของ NaOH ในน้ำ



ภาพที่ 23 แสดงสมการสมดุลเคมีของการแตกตัวของน้ำเกิดเป็น $[\text{OH}^-]$ และ $[\text{H}^+]$
(บวรกิตติ เนคมานุรักษ์, 2549)

เช่นเดียวกับเมื่อ NaOH ละลายในน้ำจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน $[\text{Na}^+]$ และ $[\text{OH}^-]$ ตามสมการในภาพที่ 22 จากนั้น $[\text{OH}^-]$ ที่เกิดขึ้นจะเป็นส่วนไปจับกับ $[\text{H}^+]$ จากส่วนของน้ำ (H_2O) ซึ่งแตกตัวตามสมการในภาพที่ 23 และส่วนของ $[\text{OH}^-]$ ที่เกิดจากน้ำนี้จะเป็นส่วนที่ไปจับกับ $[\text{H}^+]$ ที่เกิดขึ้นจากสมการในภาพที่ 21 ส่งผลให้สมดุลปฏิกิริยาเคมีจากสมการในภาพที่ 21 ดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น กล่าวคือเกิดการแตกตัวของกรดแทนนิกเป็นไอออน tannic- $[\text{O}^-]$ ได้สูงขึ้น

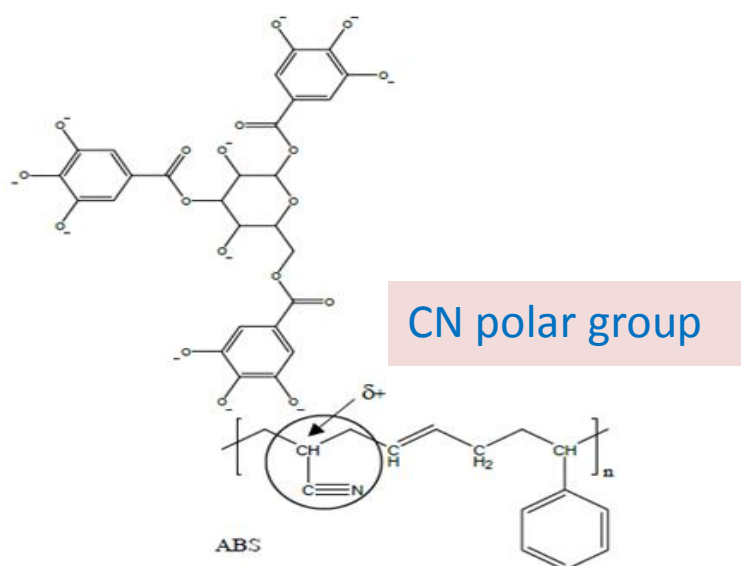
เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของพลาสติกชนิด ABS เปรียบเทียบกับชนิด HIPS ตามภาพที่ 24 จะพบว่ามีความคล้ายคลึงกัน แตกต่างกันในส่วนของ ABS ที่มีองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชัน Acrylonitrile group ซึ่งแสดงลักษณะความเป็นขั้วบวก (CN Polar Group) อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล



ภาพที่ 24 แสดงโครงสร้างโมเลกุลเปรียบเทียบระหว่างพลาสติกชนิด ABS และ HIPS
(นริศรา จิตรระกูลชัย, 2549)

ดังนั้นเมื่อพลาสติกทั้งสองชนิดอยู่ในสารละลายตัวกลางชนิดเดียวกันซึ่งมีกรดแทนนิกทำหน้าที่เป็นสาร Depressant ก็จะช่วยทำให้ผิวของพลาสติกชนิด ABS ดูดซับไอออน tannic- $[\text{O}^-]$ เกิดเป็นสมบัติ Hydrophilic ที่สูงขึ้นและเกิดการเปียกผิวสมบูรณ์สำหรับพลาสติกชนิด ABS (ดังแสดงในภาพที่ 25) ในขณะที่พลาสติกชนิด HIPS จะยังคงสมบัติ Hydrophobic อยู่เช่นเดิม เพราะฉะนั้นเมื่อครบเวลาลอยแยก (Conditioning time) แล้วเปิดให้ฟองอากาศเข้ามาในระบบการลอยแยก

ก็จะสามารถกวาดแยกเอาพลาสติกส่วน HIPS ซึ่งจะถูกฟองอากาศล้อมรอบและลอยตัวขึ้นมาบนผิวของสารละลายตัวกลางออกมาได้ก่อน และเมื่อครบเวลาลอยแยก (Flotation time) จึงทำการปิดเครื่อง Flotation เพื่อเก็บเอาพลาสติกส่วนของ ABS ซึ่งจะจมอยู่ที่ก้นเซลล์ลอยแยกนี้



ภาพที่ 25 แสดงลักษณะการดูดซับของไอออน tannic-[O⁻] ซึ่งเกิดเฉพาะกับผิวพลาสติก ABS (บวรกิตติ เนคมานุรักษ์, 2549)

2.8 สาร Frother

จุฑารัตน์ บ่อมจัตรัส (จุฑารัตน์ บ่อมจัตรัส, 2549) กล่าวว่าสาร Frother หรือสารเคลือบฟองอากาศ เป็นสารที่ทำให้การยึดติดของฟองอากาศกับของแข็งมีความเสถียร โดยทำหน้าที่ป้องกันการรวมตัวกันของฟองอากาศเมื่ออนุภาคลอยขึ้นมาสู่ผิวของเหลว สารเคลือบฟองอากาศที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

(1) ทำให้ปริมาตรของกลุ่มฟองอากาศมากพอสำหรับการเกาะของอนุภาคที่ลอยขึ้นมาและทำให้กลุ่มฟองมีความเหนียวพอสมควร ไม่แตกง่าย

(2) มีความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility) ได้ดี

(3) มีการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ต่ำ และไม่ควรมีสมบัติในการเคลือบผิวของแข็ง สารเคลือบฟองอากาศจะถูกดูดซับบนผิวของฟองอากาศและน้ำ และมีผลทำให้ลดแรงตึงผิวของน้ำ

สารเคลือบฟองอากาศที่นิยมใช้ได้แก่ อัลกอฮอล์ชนิดเฮกซิล (hexyl) หรือออกทิล (octyl) น้ำมันสน (pine oil) และกรดคีเซอริก (cresylic acid) เป็นต้น สารเคลือบฟองอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้

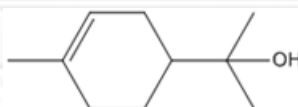
คือน้ำมันสนเกรดอุตสาหกรรม (CAS Number 8002-09-3) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด มีสูตรเคมี $C_{10}H_{16}$, ความหนาแน่น 0.95 g/cm^3 ไม่ละลายน้ำ เป็นเกรดเดียวกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตซีเมนต์ สี สารขัดเงาของเฟอร์นิเจอร์ (บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด, 2555a) มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน ดังแสดงในภาพที่ 26 บรรจุอยู่ในขวดดังแสดงในภาพที่ 27 และมีโครงสร้างโมเลกุลดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 26 แสดงลักษณะน้ำมันสนที่ใช้ในการวิจัยนี้



ภาพที่ 27 แสดงน้ำมันสนที่ใช้ในการวิจัยนี้



ภาพที่ 28 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันสน (RSC Group, 2014)

2.9 เครื่องลอยอนุภาคแร่ (Flotation Machines)

รัตนชัย พงศ์ศิริประภา (รัตนชัย พงศ์ศิริประภา, 2549) กล่าวว่าเครื่องลอยอนุภาคแร่มีส่วนประกอบหลักสามส่วนคือ เซลล์ลอยแร่ อุปกรณ์สำหรับการกวนผสมและทำฟองอากาศ และกลไกการเก็บแร่ที่ลอยขึ้นมาได้ โดยการทำงานร่วมกันของทั้งสามส่วนเพื่อให้ได้ระบบการลอยแยกที่สมบูรณ์คือประกอบด้วยปัจจัยเหล่านี้

(1) ต้องการการกระจายตัวของอนุภาคภายในสารละลายตัวกลาง ปกป้องการตกตะกอนของอนุภาค และการจับกันกับฟองอากาศ

(2) สามารถกระจายฟองอากาศขนาดเล็กให้อยู่ทั่วไปในของผสมอนุภาค

(3) การกวนต้องก่อให้เกิดบริเวณที่มีความปั่นป่วน (Turbulence) น้อยที่สุดภายใต้ชั้นฟองอากาศ เพื่อความเสถียรของฟองอากาศที่เกาะจับกับอนุภาคและพร้อมที่จะกวาดออกไป

(4) เพิ่มโอกาสการชนระหว่างอนุภาคและอนุภาค อนุภาคกับสารเคลือบผิว และอนุภาคที่เคลือบผิวแล้วกับฟองอากาศ

จากปัจจัยที่กล่าวมานี้จึงมีการออกแบบเครื่องลอยแร่ไว้หลายรูปแบบเพื่อตอบสนองลักษณะการใช้งานรูปแบบต่างๆ แต่หลักการออกแบบที่สำคัญคือจำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถในการเก็บกลับคืนอนุภาคที่ต้องการให้มีความบริสุทธิ์สูงสุด

2.9.1 ประเภทของเครื่องลอยแร่

หากแบ่งเครื่องลอยแร่ตามวิธีการเติมฟองอากาศเข้าไปในเซลล์ลอยแร่จะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทกว้างๆคือ

2.9.1.1 เครื่องลอยแร่แบบกลไก (Mechanical Machine)

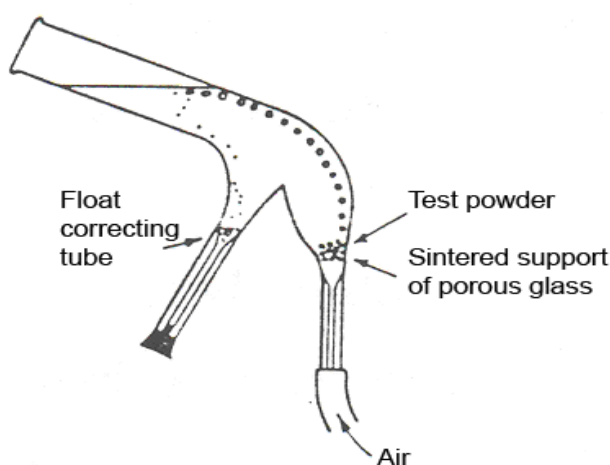
เป็นเครื่องลอยแร่ที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม ทำงานด้วยใบพัดกวนที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานกล ระบบการเติมฟองอากาศของเครื่องลอยแร่ประเภทนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิดคือ การเติมอากาศเอง (Self airting) จากการกวนของใบพัด และการป้อนอากาศเพิ่มเติม (Supercharging) โดยในงานวิจัยนี้เป็นการใช้เครื่องลอยแร่แบบกลไก เป็นระบบที่มีการเติมอากาศเอง ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 แสดงเครื่องลอยแร่แบบกลไกที่ใช้ในการวิจัยนี้

2.9.1.2. เครื่องลอยแร่แบบแรงดันอากาศ (Pneumatic Machine)

เป็นเครื่องลอยแร่ที่ไม่มีใบพัดกวน แต่อาศัยแรงดันอากาศกวนผสมและผลิตฟองอากาศแทน ทำได้โดยการป้อนอากาศแรงดันสูงเข้าสู่ทางด้านล่างของเซลล์ลอยแร่โดยตรง หรือป้อนอากาศผ่านตัวกลางที่มีความพรุน (Poros Medium) นิยมใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น เครื่องลอยแร่ชนิด Hallimond Tube ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 แสดงเครื่องลอยแร่แบบแรงดันอากาศ Hallimond Tube

(ภิญโญ มีชำนะ, 2553)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

R.D. Pascoe (Pascoe, 2005) ได้ศึกษาเรื่อง The use of selective depressants for the separation of ABS and HIPS by froth flotation ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการแยกเศษพลาสติกผสมระหว่าง ABS และ HIPS ซึ่งเป็น Engineering Plastic ที่ถูกใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ผลิตตู้เย็นประมาณ 13 และ 25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่การจะแยกออกจากกันของพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ทำได้ยากเนื่องจากพลาสติกทั้ง 2 ชนิด จะมีคุณสมบัติเชิงกลคล้ายกันมาก รวมทั้งมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันมากด้วย ซึ่งระบบ Froth flotation จะใช้หลักการ Selective wetting ช่วยในการแยก โดยเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่มีความเป็นไปได้สูงในการแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ออกจากกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาร Depressant 4 ชนิดคือ Acetic acid, Methanol, NaCMC และ Quebracho (Tannic acid) อีกทั้งมีการศึกษาอิทธิพลเกี่ยวกับขนาดของแผ่นพลาสติก ABS และ HIPS หนา 2 mm ที่ถูกนำมาตัดลดขนาดเพื่อใช้ในการทดลอง เปรียบเทียบกันสามขนาดคือ 5 × 5 mm, 5 × 10 mm และ 10 × 10 mm

ผลการวิจัยพบว่า การแยกพลาสติกทั้งสองชนิดนี้โดยใช้สารละลายตัวกลางชนิด Acetic acid และ Methanol นั้นทำให้การแยกของแผ่นพลาสติก ABS และ HIPS เกิดได้ไม่ดี เนื่องจากจะต้องใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่สูงเพื่อทำการลดแรงตึงผิวของสารละลายให้ต่ำกว่า 40 mNm^{-1} เท่านั้น ซึ่งเมื่อเติม Frother คือ Pine oil ลงไปจะเป็นการไปเพิ่มแรงตึงผิวของสารตัวกลางทำให้ไม่เกิดการแยกกรณีของสาร Depressant ชนิด NaCMC นั้นจะเกิดการแยกได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะที่ pH ต่ำกว่า 3 แต่เมื่อสารละลายมีสภาพเป็นกรดนั้น NaCMC จะเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็น Acid Form คือ HCMC ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการแยกพลาสติกทั้งสองชนิด ส่วนกรณีของสาร Depressant ชนิด Quebracho (Tannic acid) นั้นเกิดการแยกได้ดีที่สุดเนื่องจากอาศัยอิทธิพลของการดูดซับบนผิวของ ABS ทำให้เกิดการเปียกผิวอย่างสมบูรณ์และจมลงได้ และการใช้แผ่นพลาสติกขนาดเล็กคือ $5 \times 5 \text{ mm}$ จะทำให้เกิดการแยกที่ดีกว่าขนาด $5 \times 10 \text{ mm}$ และ $10 \times 10 \text{ mm}$ ตามลำดับ เนื่องจากขนาดที่เล็กกว่าทำให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักที่มากกว่า การจมตัวของ ABS เพื่อแยกออกจาก HIPS จึงเกิดได้ดีกว่าด้วย

R.D. Pascoe (Pascoe, 2006) ได้ศึกษาเรื่อง Investigation of hydrocyclones for the separation of shredded fridge plastics ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการรีไซเคิลองค์ประกอบพลาสติกที่มีอยู่ในตู้เย็นโดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลน ในขั้นตอนการทดลองจะเริ่มจากการลดขนาดแผ่นพลาสติกที่ได้จากชิ้นส่วนของตู้เย็นซึ่งมีองค์ประกอบของ HIPS 70%, ABS 10%, PVC 2%, PE 2%, PUR 2%, Rubber 1.5% และ Polyamide 0.5% โดยแผ่นพลาสติกที่ถูกลดขนาดนี้将有ความหนา 2 mm แล้วจะถูกนำมาบดให้มีขนาดที่ต่าง ๆ กัน 5 ขนาดเพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดพลาสติกคือ $-4 + 2.36 \text{ mm}$, $-2.36 + 0.5 \text{ mm}$, $-8 + 5.6 \text{ mm}$, $-5.6 + 4 \text{ mm}$ และ $-4 + 3.35 \text{ mm}$ ร่วมกับการใช้สารละลายตัวกลางคือน้ำ เปรียบเทียบกับสารละลาย Calcium chloride ซึ่งจะกำหนดค่าความหนาแน่นสองค่าคือ 1035 kgm^{-3} และ 1060 kgm^{-3}

ผลการทดลองแยกพลาสติกผสมดังกล่าวด้วยเครื่อง Hydrocyclone ของ Mozley ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 75 mm ใช้ตัวอย่างพลาสติกผสม 250 กรัม ต่อการแยกหนึ่งครั้ง ที่อุณหภูมิห้อง (20°C) พบว่าปัจจัยของขนาดพลาสติกผสมที่ใช้ทดลองมีส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการแยก เนื่องจากพลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำจะสามารถเคลื่อนที่ขึ้นไปส่วนบนของเครื่อง Hydrocyclone ได้ง่ายกว่าพลาสติกขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง ก็จะสามารถเคลื่อนที่ลงด้านล่างของเครื่องได้ง่ายเช่นกัน ซึ่งแนวโน้มนี้เกิดเช่นเดียวกันทั้งสารละลายตัวกลางที่เป็นน้ำและสารละลาย Calcium chloride โดยเฉพาะที่ความหนาแน่น 1035 kgm^{-3} ของ Calcium chloride นั้นจะเกิดการแยกของ ABS และ HIPS ได้ดีที่สุด

บวรกิตต์ เนคมานุรักษ์ (บวรกิตต์ เนคมานุรักษ์, 2549) ได้ศึกษาเรื่อง Effect of Temperature on HIPS and ABS Separation System by Froth Flotation Technique using Depressant ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบ และสร้างระบบการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ด้วยเทคนิค Froth floatation โดยใช้ Tannic acid รวมทั้งศึกษาปัจจัยทางด้านกายภาพของการแยก คือ อุณหภูมิของตัวกลาง อัตราเร็วในการกวน และอัตราการไหลของฟองอากาศ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกพลาสติก HIPS และ ABS วิธีการดำเนินงานจะเริ่มจากการออกแบบ และสร้างระบบจำลองการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ซึ่งระบบนี้จะสามารถปรับอัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิ

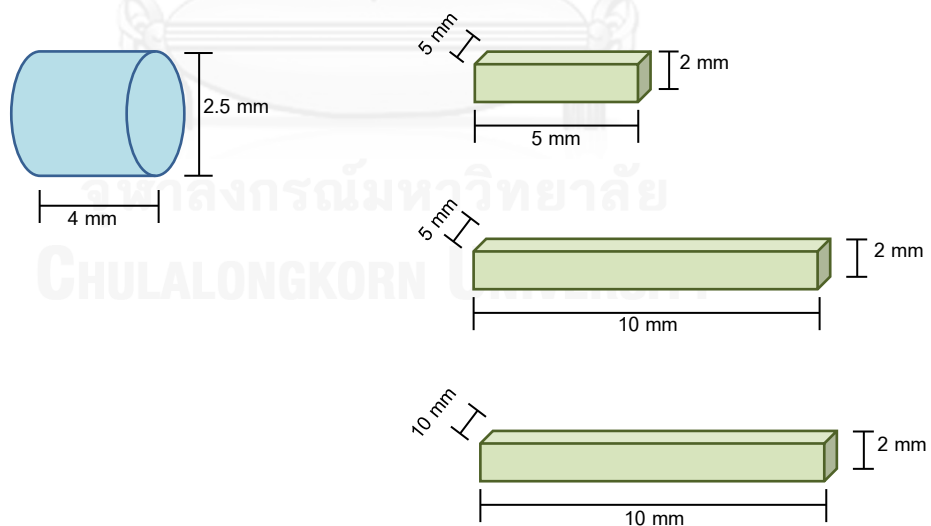
ตัวกลาง และอัตราเร็วการกวน ของระบบได้ จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของแต่ละปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของตัวกลาง (30-50°C) อัตราเร็วในการกวน (0-400 รอบต่อนาที) และ อัตราการไหลของ ฟองอากาศ (0-2 ลิตรต่อนาที) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมทำให้เกิด ประสิทธิภาพการแยกพลาสติก HIPS และ ABS อย่างสูงสุด

ผลการวิจัยพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลาง อัตราเร็วในการกวน และอัตราการ ไหลของฟองอากาศ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการแยกพลาสติกด้วยระบบ Froth floatation ใน สารละลายเกลือความหนาแน่น 1.037 g/cm^3 ที่ใช้ Tannic acid เป็น reagent ในถังแยกขนาด 12.39 ลิตร ของการแยกพลาสติกผสม HIPS และ ABS อย่างละ 250 กรัม โดยที่ระบบจำลองนี้ สามารถแยกพลาสติกผสม HIPS และ ABS ออกจากกันได้ดีที่สุดที่สภาวะการแยกอุณหภูมิของ ตัวกลาง 30 °C อัตราความเร็วในการกวน 200 รอบต่อนาที อัตราการไหลของฟองอากาศ 1 ลิตรต่อนาที โดยร้อยละของการแยกพลาสติก ABS มากกว่า 98 %

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

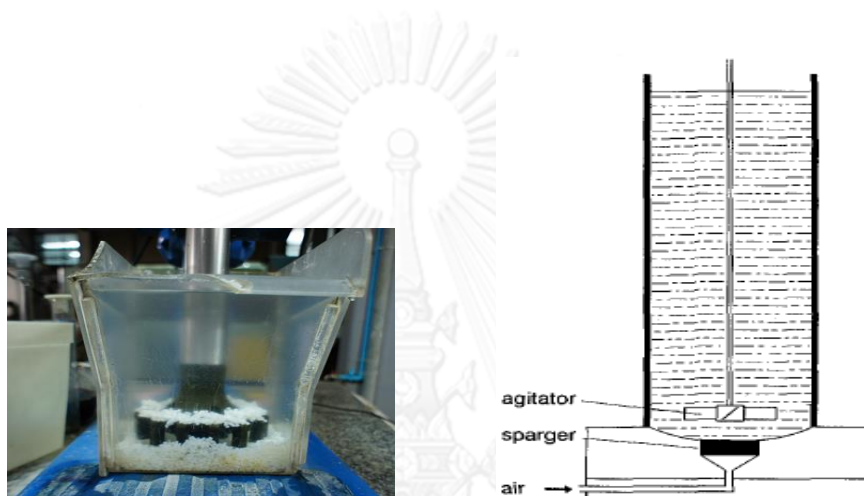
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยนี้เริ่มต้นจากการกำหนดสภาวะตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS จากงานวิจัยของ R.D.Pascoe กล่าวคือ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm, ความเข้มข้นของน้ำมันสนเท่ากับ 30 ppm, ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11, เวลาที่ใช้ในการกวน (Conditioning time) 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time) 8 นาที แต่จะกำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation (Rotation Speed) เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) และตัวอย่างพลาสติกทั้งสองชนิดจะใช้เป็นเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ จากบริษัท บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) โดยเป็นเม็ดพลาสติก ABS เกรด GA300 และเม็ดพลาสติก HIPS เกรด HI650 มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe ที่ใช้แผ่นพลาสติกที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร มาตัดให้เป็นขนาด 5 × 5, 5 × 10 และ 10 × 10 มิลลิเมตร โดยรูปร่างเม็ดพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้และรูปร่างของแผ่นพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยของ R.D.Pascoe แสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 แสดงรูปร่างเม็ดพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ซ้าย) และรูปร่างของแผ่นพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยของ R.D.Pascoe (ขวา)

เครื่องลอยแยกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยี่ห้อ DENVER รุ่น B755-SER มีเซลล์ลอยแยก (Flotation cell) ที่สามารถบรรจุสารละลายตัวกลางปริมาตร 5 ลิตร อัตราการกวนของเครื่อง 800 ถึง 3300 รอบต่อนาที และสามารถปล่อยฟองอากาศออกจากส่วนล่างของใบพัดกวน แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe ที่ใช้เครื่องลอยแยกที่มีเซลล์ลอยแยก บรรจุสารละลายตัวกลางปริมาตร 1.2 ลิตร กำหนดอัตราการกวนของเครื่องคงที่ 120 รอบต่อนาที และปล่อยฟองอากาศออกจากส่วนล่างของเซลล์ลอยแยก โดยรูปร่างเซลล์ลอยแยก ที่ใช้ในงานวิจัยนี้และรูปร่างของเซลล์ลอยแยกที่ใช้ในงานวิจัยของ R.D.Pascoe แสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 แสดงรูปร่างของเซลล์ลอยแยก (Flotation cell) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ซ้าย) และรูปร่างของเซลล์ลอยแยกที่ใช้ในงานวิจัยของ R.D.Pascoe (ขวา) (Fraunholz, 1997)

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัม เท่ากันทุกสภาวะ เนื่องจากการศึกษาเชิงวิชาการจึงกำหนดสัดส่วนของพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง (Feed) ให้เท่ากันหมดทุกสภาวะ เพื่อสะดวกเปรียบเทียบในการทดลองแต่ละสภาวะ แต่ในทางปฏิบัติจริงพลาสติกผสมที่ได้จากการบดย่อยขนาดจะมีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกขนาดเล็กที่ไม่ทราบว่ามีพลาสติกชนิด ABS หรือ HIPS อยู่อย่างละกี่กรัม (สัดส่วนของ Feed ไม่แน่นอน)

อัตราการกวนของเครื่องลอยแยก จะกำหนดให้ใช้อัตราการกวนที่ต่ำที่สุดของเครื่องลอยแยกนี้คือเท่ากับ 800 รอบต่อนาที เท่ากันทุกสภาวะ เนื่องจากเป็นอัตราการกวนที่เพียงพอสำหรับการทำให้เม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดกระจายตัวภายในสารละลายตัวกลางได้อย่างทั่วถึง อีกทั้งการเพิ่มอัตราการกวนที่สูงขึ้น พบว่าผิวของสารละลายตัวกลางบริเวณรอบแกนของเครื่องลอยแยก จะมีระดับต่ำกว่าผิวของสารละลายตัวกลางที่อยู่ห่างจากแกนนี้ (สารละลายตัวกลางเกิดปรากฏการณ์หมุนแบบ Vortex) ส่งผลให้เมื่อเป่าฟองอากาศเข้าไปในระบบแล้วระดับของเม็ดพลาสติกซึ่งจะลอยตัวขึ้นมาบนผิวสารละลายตัวกลางนี้ มีระดับที่ไม่สม่ำเสมอตามไปด้วย การเก็บเอาพลาสติกส่วนที่ลอยออกจากระบบจึงต่ำกว่าที่ควรจะเป็น (Fraunholz, 1997)

เวลาที่ใช้ในการกวน (Conditioning time) จะกำหนดให้ใช้เวลาเท่ากับงานวิจัยของ R.D.Pascoe คือ 5 นาที (Pascoe, 2005) เท่ากันทุกสภาวะ เนื่องจากเป็นเวลาที่เพียงพอสำหรับการทำให้เม็ดพลาสติกผสมทั้งสองชนิดกระจายตัวภายในสารละลายตัวกลางได้อย่างทั่วถึง แต่จะทำการทดลองศึกษาเวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time) เนื่องจากการให้เวลาส่วนนี้มากขึ้น (อ้างอิงจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe คือ 8 นาที) จะสามารถเก็บเอาพลาสติกส่วนที่ลอยออกมาได้มากขึ้น แต่หากให้เวลาลอยแยกที่มากเกินไปพลาสติกทั้งสองชนิดก็อาจจะลอยขึ้นมาทั้งหมดไม่เกิดการแยก

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงกำหนดให้ตัวอย่างเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการทดลองมีสัดส่วนเท่ากันหมดทุกสภาวะคือ ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัม เช่นเดียวกับอัตราการกวน 800 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการกวน 5 นาที ในส่วนของปัจจัยอื่นๆที่มีอิทธิพลต่อการลอยแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้จะทำการทดลองโดยกำหนดสภาวะตามลำดับต่อไปนี้

3.4.1 ใช้น้ำสะอาด (น้ำประปา) เป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว เพื่อใช้เป็นสภาวะอ้างอิง

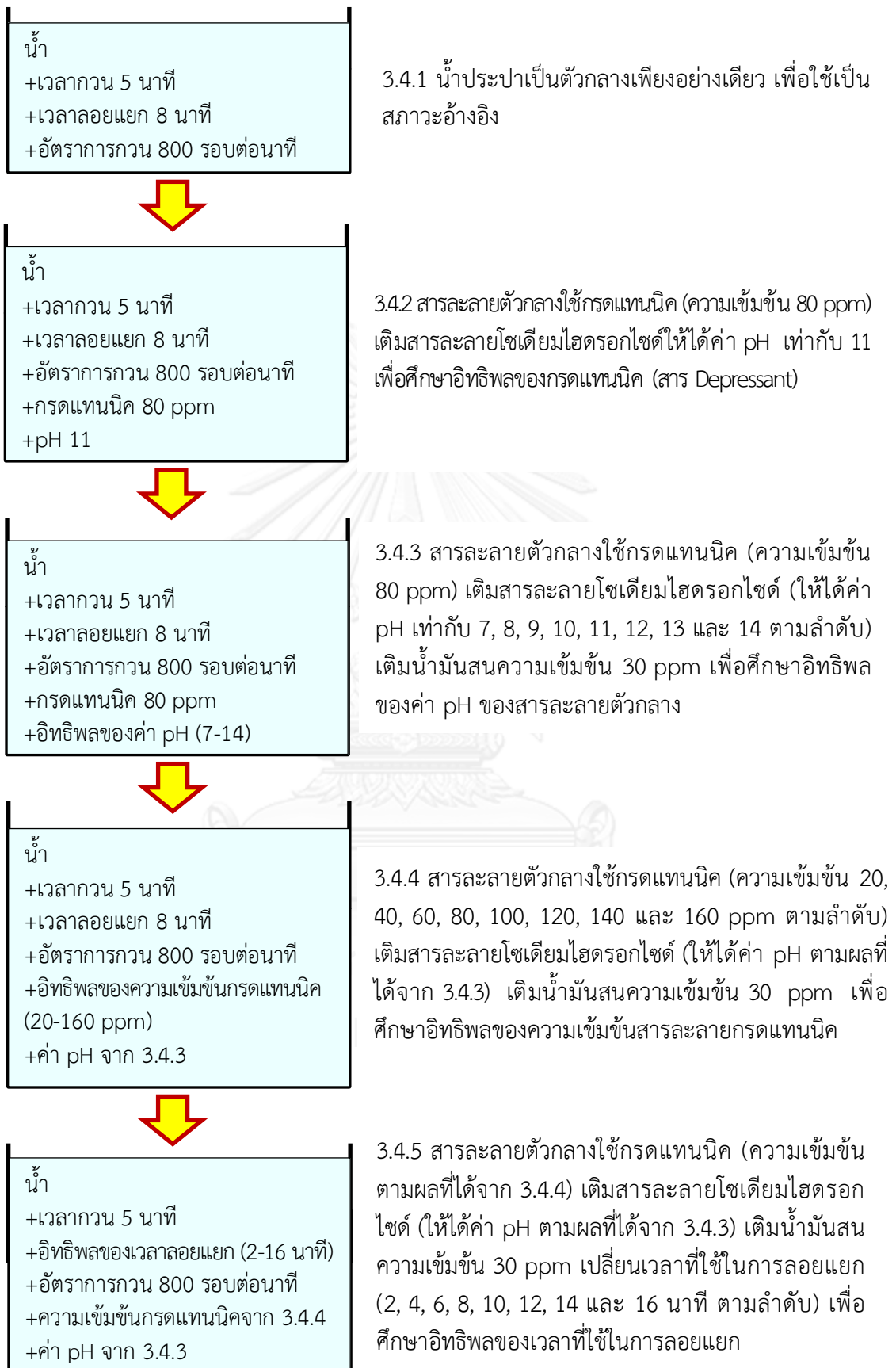
3.4.2 สารละลายตัวกลางใช้กรดแทนนิก (ความเข้มข้น 80 ppm) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้ค่า pH เท่ากับ 11 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกรดแทนนิก (สาร Depressant) ซึ่งทำหน้าที่ได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นเบส

3.4.3 สารละลายตัวกลางใช้กรดแทนนิก (ความเข้มข้น 80 ppm) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ให้ได้ค่า pH เท่ากับ 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 และ 14 ตามลำดับ) เติมน้ำมันสนความเข้มข้น 30 ppm เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่า pH ของสารละลายตัวกลาง

3.4.4 สารละลายตัวกลางใช้กรดแทนนิก (ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 ppm ตามลำดับ) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ค่า pH ตามผลที่ได้จาก 3.4.3) เติมน้ำมันสนความเข้มข้น 30 ppm เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก

3.4.5 สารละลายตัวกลางใช้กรดแทนนิก (ความเข้มข้นตามผลที่ได้จาก 3.4.4) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ให้ได้ค่า pH ตามผลที่ได้จาก 3.4.3) เติมน้ำมันสนความเข้มข้น 30 ppm เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการลอยแยก (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 นาที ตามลำดับ) เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการลอยแยก

จากการออกแบบการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทดลอง (Flowchart) ดังแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แสดงแผนภาพสรุปลำดับขั้นตอนการทดลอง (Flowchart)

3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- (1) เครื่องลอยแร่ (Froth Flotation Cell) ยี่ห้อ DENVER Model B755-SER
- (2) เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ชนิด ABS (บริษัท ไออาร์พีซีจำกัด เกรด GA300) รูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร มีสีขาวอมเหลือง
- (3) เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ชนิด HIPS (บริษัท ไออาร์พีซีจำกัด เกรด HI650) รูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร มีสีขาวขุ่น
- (4) pH meter (ยี่ห้อ Index รุ่น ID 1000), Forceps, Dropper, กระจกตวงขนาด 500 cm³, ปีกเกอร์ขนาด 500 และ 1000 cm³

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- (1) กรดแทนนิก (Tannic acid) เกรดอาหาร อยู่ในรูปของแข็ง (บริษัทรวมเคมี 1986 จำกัด (MW.1701.20))
- (2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดอุตสาหกรรม อยู่ในรูปของแข็ง (บริษัทรวมเคมี 1986 จำกัด (MW.39.99))
- (3) น้ำมันสน (Pine oil) เกรดอุตสาหกรรม อยู่ในรูปของเหลว (บริษัทรวมเคมี 1986 จำกัด (ความหนาแน่น 0.95 g/cm³))

3.4 วิธีการดำเนินการทดลองและขั้นตอนการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแยกเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS ด้วยกระบวนการลอยแยกทีละปัจจัยเพื่อเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป โดยทำการศึกษาทดลอง 5 การทดลองคือ

3.4.1 ศึกษาการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว

(1) เติมน้ำประปา 5 ลิตร และเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS (เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์รูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร, ความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร) อย่างละ 50 กรัมต่อการทดลองหนึ่งสภาวะลงในเซลล์ลอยแยก ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 การเตรียมตัวอย่างเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัมลงในเซลล์ลอยแยก

(2) เปิดเครื่อง Flotation กำหนดอัตราการการวน (Rotation Speed) 800 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการการวน (Conditioning time) 5 นาที ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 การการวนของเครื่อง Flotation และการกระจายตัวของเม็ดพลาสติกเมื่อเปิดเครื่อง

(3) เมื่อครบ 5 นาที จึงเปิดฟองอากาศเข้ามาในระบบ จากนั้นจึงกวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยขึ้นมาบนผิวของน้ำ (เรียกเม็ดพลาสติกส่วนนี้ว่า “ส่วนที่ลอย”) แยกออกมา โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการเก็บส่วนที่ลอย (Flotation time) 8 นาที ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 แสดงลักษณะการลอยของเม็ดพลาสติกเมื่อผ่านฟองอากาศเข้าไปในระบบ และการกวาดส่วนที่ลอย

(4) เมื่อเก็บเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยจนครบ 8 นาที ปิดเครื่อง Flotation แยกเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่เหลืออยู่ในเซลล์ลอยแยก ออกจากสารละลาย (เรียกเม็ดพลาสติกส่วนนี้ว่า “ส่วนที่จม”) จากนั้นนำเม็ดพลาสติกทั้งส่วนที่จมและลอยไปใส่ในตู้อบอุณหภูมิ 90 °c เพื่อไล่ความชื้น (ประมาณ 45 นาที) ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แสดงการอบไล่ความชื้นเม็ดพลาสติกที่ผ่านการลอยแยก

(5) นำเม็ดพลาสติกที่อบแห้งแต่ละส่วนมาแยกด้วยมือวิเคราะห์สัดส่วน ABS และ HIPS เพื่อนำไปคำนวณหา % Recovery (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักพลาสติก A ที่ป้อนเข้าระบบ) และ %Grade (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักรวมพลาสติก A และ B ในส่วนนั้น)

(6) ทำการทดลองซ้ำเดิมจาก (1) ถึง (5) อีกสองครั้งเพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า %Recovery และ %Grade เฉลี่ย ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แสดงเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS หลังผ่านการคัดแยกด้วยมือ

3.4.2 การศึกษาอิทธิพลของกรดแทนนิกที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

การทดลองนี้เริ่มต้นจากการกำหนดสภาวะตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS จากงานวิจัยของ R.D.Pascoe กล่าวคือ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm, ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11, เวลาที่ใช้ในการกวน (Conditioning time) 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time) 8 นาที แต่จะกำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation (Rotation Speed) เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) และไม่ใช้น้ำมันสน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

(1) เติมน้ำสะอาด 5 ลิตร และเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัม ต่อการทดลองหนึ่งสภาวะลงในเซลล์ลอยแยก จากนั้นเปิดเครื่อง Flotation กำหนดอัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เติมน้ำ Depressant คือกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm (เตรียมโดยใช้ผงกรดแทนนิก 0.4 กรัม ละลายในน้ำ 5 ลิตรแล้วเติมลงในเซลล์ลอยแยก) ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แสดงการเตรียมสารละลายกรดแทนนิกลงในเซลล์ลอยแยก

(2) วัดค่า pH ของสารละลายตัวกลางโดยใช้ pH meter ดังภาพที่ 40 จากนั้นใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ค่อยๆหยดลงไปเพื่อปรับค่า pH ให้สูงขึ้นจนถึง 11 แล้วใช้เวลาในการกวน 5 นาที



ภาพที่ 40 แสดงการวัดค่า pH ของสารละลายตัวกลางด้วย pH meter และสีของสารละลายตัวกลางที่เปลี่ยนไปหลังจากการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

(3) เมื่อครบเวลาในการกวน 5 นาที เปิดให้ฟองอากาศเข้ามาในระบบ แล้วเริ่มกวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยขึ้นมาบนผิวของสารละลายตัวกลางแยกออกมา โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการเก็บส่วนที่ลอยนี้คือ 8 นาที (Flotation time เท่ากับ 8 นาที) จากนั้นทำการล้างสารละลายตัวกลางออกจากเม็ดพลาสติกทั้งสองส่วนนี้ด้วยน้ำประปา ก่อนจะนำไปใส่ในตู้อบอุณหภูมิ 90°C เพื่อไล่ความชื้น (ประมาณ 45 นาที)

(4) นำเม็ดพลาสติกที่อบแห้งแต่ละส่วนมาแยกด้วยมือวิเคราะห์สัดส่วน ABS และ HIPS เพื่อนำไปคำนวณหา % Recovery (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักพลาสติก A ที่ป้อนเข้าระบบ) และ %Grade (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักรวมพลาสติก A และ B ในส่วนนั้น) แล้วทำการทดลองซ้ำเดิมจาก (1) ถึง (3) อีกสองครั้ง เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า %Recovery และ %Grade เฉลี่ย

3.4.3 การศึกษาอิทธิพลของค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

การทดลองนี้เริ่มต้นจากการกำหนดสภาวะตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS จากงานวิจัยของ R.D.Pascoe กล่าวคือ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm, ความเข้มข้นของน้ำมันสนเท่ากับ 30 ppm, เวลาที่ใช้ในการกวน (Conditioning time) 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time) 8 นาที แต่จะกำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation (Rotation Speed) เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

(1) เติมน้ำสะอาด 5 ลิตร และเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัม ต่อการทดลองหนึ่งสภาวะลงในเซลล์ลอยแยก จากนั้นเปิดเครื่อง Flotation กำหนดอัตราการกวน 800 รอบต่อนาที เติมน้ำ Depressant คือกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ใช้เวลากวน 5 นาที

(2) เมื่อครบเวลากวน 5 นาที วัดค่า pH ของสารละลายตัวกลางด้วย pH meter แล้วทำการหยดน้ำมันสน ซึ่งทำหน้าที่เป็นสาร Frother ความเข้มข้น 30 ppm จากนั้นเปิดให้ฟองอากาศเข้ามาในระบบ กวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยขึ้นมาบนผิวของสารละลายตัวกลางแยกออกมา โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการเก็บส่วนที่ลอยนี้คือ 8 นาที เท่ากันหมดทุกสภาวะ ดังภาพที่ 41

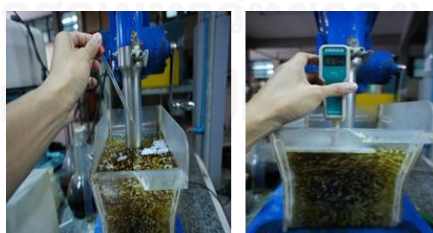


ภาพที่ 41 แสดงการวัดค่า pH ของสารละลายตัวกลาง การหยดน้ำมันสน และการกวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยออกจากระบบ

(3) เมื่อเก็บเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยจนครบ 8 นาที ปิดเครื่อง Flotation แยกเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่จมซึ่งเหลืออยู่ในเซลล์ลอยแยกออกมาจากสารละลายตัวกลาง จากนั้นทำการล้างสารละลายตัวกลางออกจากเม็ดพลาสติกทั้งสองส่วนนี้ด้วยน้ำประปา ก่อนจะนำไปใส่ในตู้อบอุณหภูมิ 90 °c เพื่อไล่ความชื้น (ประมาณ 45 นาที)

(4) นำเม็ดพลาสติกที่อบแห้งแต่ละส่วนมาแยกด้วยมือวิเคราะห์สัดส่วน ABS และ HIPS เพื่อนำไปคำนวณหา % Recovery (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักพลาสติก A ที่ป้อนเข้าระบบ) และ %Grade (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักรวมพลาสติก A และ B ในส่วนนั้น)

(5) ทำการทดลองซ้ำเดิมจาก (1) ถึง (4) แต่ในข้อ (2) หลังจากเติมสารละลายกรดแทนนิก จะทำการปรับค่า pH ของสารละลายตัวกลางด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไปในช่วงเวลาที่ทำการกวน แล้วทำการวัด pH ด้วย pH meter ดังภาพที่ 42 โดยกำหนดค่า pH ของสารละลายตัวกลางให้เป็น 7, 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบค่า %Recovery และ %Grade เพื่อเลือกใช้ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างชนิด ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก



ภาพที่ 42 แสดงการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับค่า pH ของสารละลายตัวกลางให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

3.4.4 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกในสารละลายตัวกลางที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

การทดลองนี้เริ่มต้นจากการกำหนดสภาวะตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS จากงานวิจัยของ R.D.Pascoe กล่าวคือ กำหนดให้ความเข้มข้นของน้ำมันสนเท่ากับ 30 ppm, เวลาที่ใช้ในการกวน (Conditioning time) 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time) 8 นาที แต่จะกำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation (Rotation Speed) เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) และเลือกใช้ค่า pH จากการทดลองที่ผ่านมาคือมากกว่าหรือเท่ากับ 10 (ในการทดลองนี้เลือกใช้ค่า pH เท่ากับ 11 เนื่องจากให้ค่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดสูงกว่าสภาวะอื่นๆ) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

(1) เติมน้ำสะอาด 5 ลิตร และเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัม ต่อการทดลองหนึ่งสภาวะลงในเซลล์ลอยแยก จากนั้นเปิดเครื่อง Flotation กำหนดอัตราการกวน 800 รอบต่อนาที

(2) เติมสาร Depressant คือกรดแทนนิกความเข้มข้น 20 ppm ปรับค่า pH ของสารละลายตัวกลางให้เท่ากับ 11 ด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในช่วงเวลาที่ทำการกวน ใช้เวลากวน 5 นาที

(3) เมื่อครบเวลากวน 5 นาที หยดน้ำมันสนซึ่งทำหน้าที่เป็นสาร Frother ความเข้มข้น 30 ppm จากนั้นเปิดให้ฟองอากาศเข้ามาในระบบ กวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยขึ้นมาบนผิวของสารละลายตัวกลางแยกออกมา โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการเก็บส่วนที่ลอยนี้คือ 8 นาที เท่ากันหมดทุกสภาวะ

(4) เมื่อเก็บเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยจนครบ 8 นาที ปิดเครื่อง Flotation แยกเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่จมซึ่งเหลืออยู่ในเซลล์ลอยแยกออกมาจากสารละลายตัวกลาง จากนั้นทำการล้างสารละลายตัวกลางออกจากเม็ดพลาสติกทั้งสองส่วนนี้ด้วยน้ำประปา ก่อนจะนำไปใส่ในตู้อบอุณหภูมิ 90 °c เพื่อไล่ความชื้น (ประมาณ 45 นาที)

(5) นำเม็ดพลาสติกที่อบแห้งแต่ละส่วนมาแยกด้วยมือวิเคราะห์สัดส่วน ABS และ HIPS เพื่อนำไปคำนวณหา % Recovery (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักพลาสติก A ที่ป้อนเข้าระบบ) และ %Grade (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักรวมพลาสติก A และ B ในส่วนนั้น)

(6) ทำการทดลองซ้ำเดิมจาก (1) ถึง (5) แต่ในข้อ (2) จะทำการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก โดยกำหนดค่าความเข้มข้นให้เป็น 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 ppm ตามลำดับ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบค่า %Recovery และ %Grade เพื่อเลือกใช้ค่าความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างชนิด ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

3.4.5 การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการลอยแยกที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

การทดลองนี้เริ่มต้นจากการกำหนดสภาวะตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS จากงานวิจัยของ R.D.Pascoe กล่าวคือ กำหนดให้ความเข้มข้นของน้ำมันสนเท่ากับ 30 ppm และเวลาที่ใช้ในการกวน (Conditioning time) 5 นาที แต่จะกำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation (Rotation Speed) เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) และเลือกใช้ค่า pH จากการทดลองที่ผ่านมาคือ มากกว่าหรือเท่ากับ 10 (ในการทดลองนี้เลือกใช้ค่า pH เท่ากับ 11 เนื่องจากให้ค่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดสูงกว่าสภาวะอื่นๆ) ร่วมกับการใช้ค่าความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก 120 ppm ที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

(1) เติมน้ำสะอาด 5 ลิตร และเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัม ต่อการทดลองหนึ่งสภาวะลงในเซลล์ลอยแยก จากนั้นเปิดเครื่อง Flotation กำหนดอัตราการกวน 800 รอบต่อนาที

(2) เติมสาร Depressant คือกรดแทนนิกความเข้มข้น 120 ppm ปรับค่า pH ของสารละลายตัวกลางให้เท่ากับ 11 ด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในช่วงเวลาที่ทำการกวน ใช้เวลากวน 5 นาที เท่ากันหมดทุกสภาวะ

(3) เมื่อครบเวลากวน 5 นาที หยดน้ำมันสนซึ่งทำหน้าที่เป็นสาร Frother ความเข้มข้น 30 ppm จากนั้นเปิดให้ฟองอากาศเข้ามาในระบบ กวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยขึ้นมาบนผิวของสารละลายตัวกลางแยกออกมา โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการเก็บส่วนที่ลอยนี้คือ 2 นาที

(4) เมื่อเก็บเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยจนครบ 2 นาที ปิดเครื่อง Flotation แยกเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่จมซึ่งเหลืออยู่ในเซลล์ลอยแยกออกมาจากสารละลายตัวกลาง จากนั้นทำการล้างสารละลายตัวกลางออกจากเม็ดพลาสติกทั้งสองส่วนนี้ด้วยน้ำประปา ก่อนจะนำไปใส่ในตู้อบอุณหภูมิ 90 °C เพื่อไล่ความชื้น (ประมาณ 45 นาที)

(5) นำเม็ดพลาสติกที่อบแห้งแต่ละส่วนมาแยกด้วยมือวิเคราะห์สัดส่วน ABS และ HIPS เพื่อนำไปคำนวณหา % Recovery (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักพลาสติก A ที่ป้อนเข้าระบบ) และ %Grade (น้ำหนักพลาสติก A ในแต่ละส่วน/น้ำหนักรวมพลาสติก A และ B ในส่วนนั้น)

(6) ทำการทดลองซ้ำเดิมจาก (1) ถึง (5) แต่ในข้อ (3) จะทำการเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการลอยแยก โดยกำหนดเวลาให้เป็น 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบค่า %Recovery และ %Grade เพื่อเลือกใช้เวลาในการลอยแยกที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างชนิด ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

3.5 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

จากการทดลองคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างชนิด ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกที่สภาวะแตกต่างกัน จะสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกที่ได้จาก %Recovery และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิด โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \% \text{ Recovery of HIPS} &= \frac{\text{น้ำหนักของ HIPS ส่วนที่ลอย}}{\text{น้ำหนักรวมของ HIPS}} \\
 (2) \quad \% \text{ Grade of HIPS} &= \frac{\text{น้ำหนักของ HIPS ส่วนที่ลอย}}{\text{น้ำหนักส่วนที่ลอยทั้งหมด}} \\
 (3) \quad \% \text{ Recovery of ABS} &= \frac{\text{น้ำหนักของ ABS ส่วนที่จม}}{\text{น้ำหนักรวมของ ABS}} \\
 (4) \quad \% \text{ Grade of ABS} &= \frac{\text{น้ำหนักของ ABS ส่วนที่จม}}{\text{น้ำหนักส่วนที่จมทั้งหมด}}
 \end{aligned}$$



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) และ High impact polystyrene (HIPS) ด้วยเทคนิคการลอยแยก (Froth Flotation Technique) โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง, ใช้น้ำมันสน (Pine oil) เป็น Frother (สารเคลือบฟองอากาศ) ใช้กรดแทนนิก (Tannic acid) เป็นสาร Depressant (สารปรับสภาพผิวพลาสติก) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติก HIPS กับ ABS ออกจากกัน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกที่ได้จากค่า %Recovery และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิด

จากนั้นจะแสดงค่าที่ได้ในรูปของตาราง รวมถึงในรูปของกราฟ เพื่อแสดงค่า %Recovery และ %Grade ซึ่งมีการแจกแจงออกเป็นส่วนของพลาสติกทั้งชนิด HIPS และ ABS เพื่อใช้ข้อมูลเหล่านี้สำหรับวิจารณ์ผลการศึกษาที่ได้จากการทดลอง รวมถึงใช้เป็นเครื่องมือในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองทั้ง 5 การทดลองตามลำดับต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว

จากการทดลองคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ผลการทดลองที่ได้เป็นสภาวะอ้างอิง เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่มีการปรับแต่งตัวกลางหรือสภาวะในการทดลองต่อไป โดยกำหนดสภาวะตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS ของงานวิจัย R.D.Pascoe คือ กำหนดให้เวลาที่ใช้ในการกววน (Conditioning time) 5 นาที และเวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time) 8 นาที แต่กำหนดอัตราการกววนของเครื่อง Flotation (Rotation Speed) เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว

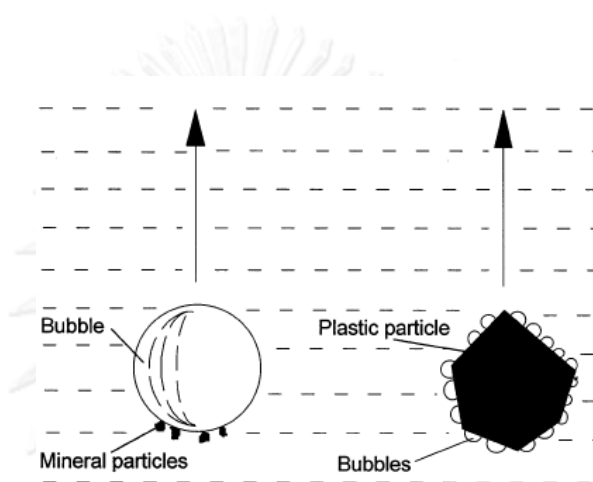
Batch	Float		Sum of float (g)	Sink		Sum of sink (g)	% Recovery of HIPS	% Grade of HIPS	% Recovery of ABS	% Grade of ABS
	HIPS (g)	ABS (g)		HIPS (g)	ABS (g)					
1	43.7	35.2	78.9	6.7	14.2	20.9	86.71	44.61	28.74	67.94
2	38.1	33.4	71.5	11.7	17.1	28.8	76.50	46.71	33.86	59.38
3	41.6	30.9	72.5	8.5	19.1	27.6	83.03	42.62	38.20	69.20
Average	41.1	33.2	74.3	8.9	16.8	25.8	82.08	44.65	33.60	65.51

สิ่งที่สังเกตพบจากการทดลองคือ ในขั้นตอนแรกที่เม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดลงในเซลล์ลอยแยก (Flotation cell) ที่มีน้ำอยู่ จะพบว่าเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดจมน้ำไปด้านของล่างเซลล์ลอยแยกเกือบทั้งหมด เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่า 1 ทั้งคู่ จากนั้นเมื่อเปิดเครื่อง Flotation โดยที่ยังไม่เป่าฟองอากาศ ก็พบว่าเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นส่วนมาก ส่วนที่ลอยบนผิวน้ำมีอยู่น้อย เมื่อครบเวลากวน (Condition time) 5 นาที จึงทำการเปิดให้ฟองอากาศไหลจากส่วนล่างของเซลล์ลอยแยก (ออกจากส่วนของใบพัดกวน) ในขั้นตอนนี้สังเกตพบว่ามีเม็ดพลาสติกลอยขึ้นมาอยู่บนผิวน้ำมากขึ้น ลักษณะเกาะกันเป็นแพ ดังแสดงในภาพที่ 43



ภาพที่ 43 แสดงเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดที่จมตัวในน้ำ (ซ้าย) แต่เมื่อเปิดเครื่อง Flotation พร้อมกับเป่าฟองอากาศก็จะลอยตัวขึ้นบนผิวน้ำ (ขวา)

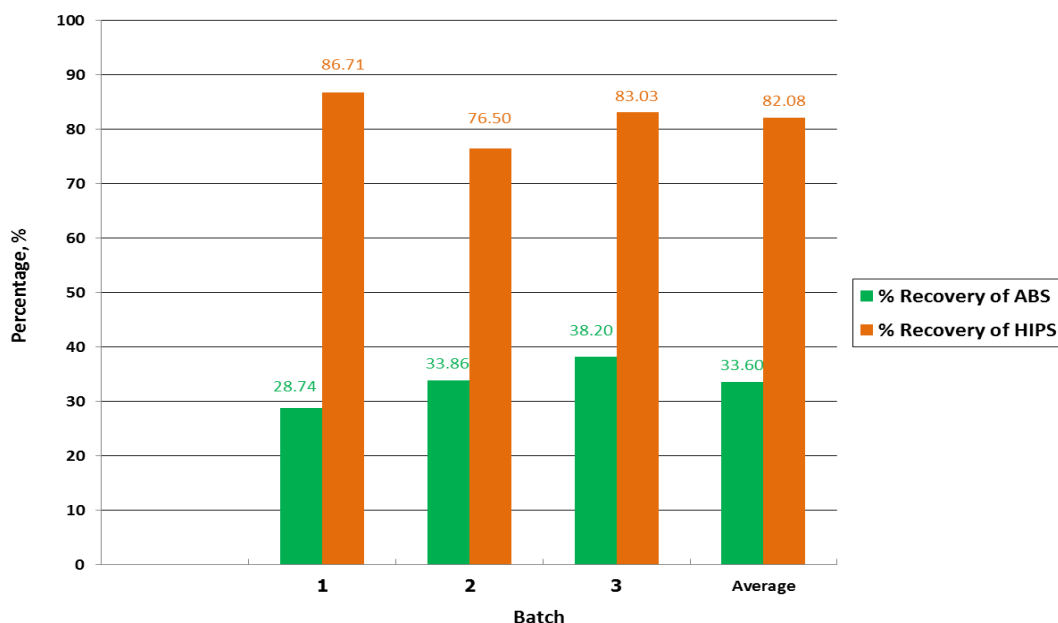
เนื่องจากโดยธรรมชาติของพลาสติกส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติของพื้นผิวแบบไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ทำให้เมื่อเปิดเครื่อง Flotation เพื่อทำการกวนพร้อมๆกับการเป่าฟองอากาศ ฟองอากาศเหล่านี้จะไปเกาะล้อมรอบที่ผิวของเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ เพราะขนาดอนุภาคเม็ดพลาสติกใหญ่กว่าฟองอากาศมาก จากนั้นจึงนำพาให้ขึ้นมาบนผิวน้ำได้ แตกต่างจากการลอยอนุภาคแร่ ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าฟองอากาศ แร่จึงสามารถไปเกาะบนผิวของฟองอากาศแล้วลอยตัวขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้ (Huiting, Forssberg, & Pugh, 2001) ลักษณะการเกาะตัวของอนุภาคแร่บนผิวฟองอากาศ และฟองอากาศที่ล้อมรอบผิวพลาสติกแสดงดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 แสดงลักษณะการเกาะตัวของอนุภาคแร่บนผิวฟองอากาศ (ซ้าย) และฟองอากาศที่ล้อมรอบผิวพลาสติก (ขวา) (Huiting et al., 2001)

จากตารางที่ 7 พิจารณาประสิทธิภาพการแยกที่ได้ด้วยการนำค่า %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดมาแสดงผลในรูปของกราฟแท่งดังภาพที่ 45 และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดแสดงผลในรูปของกราฟแท่งดังภาพที่ 46

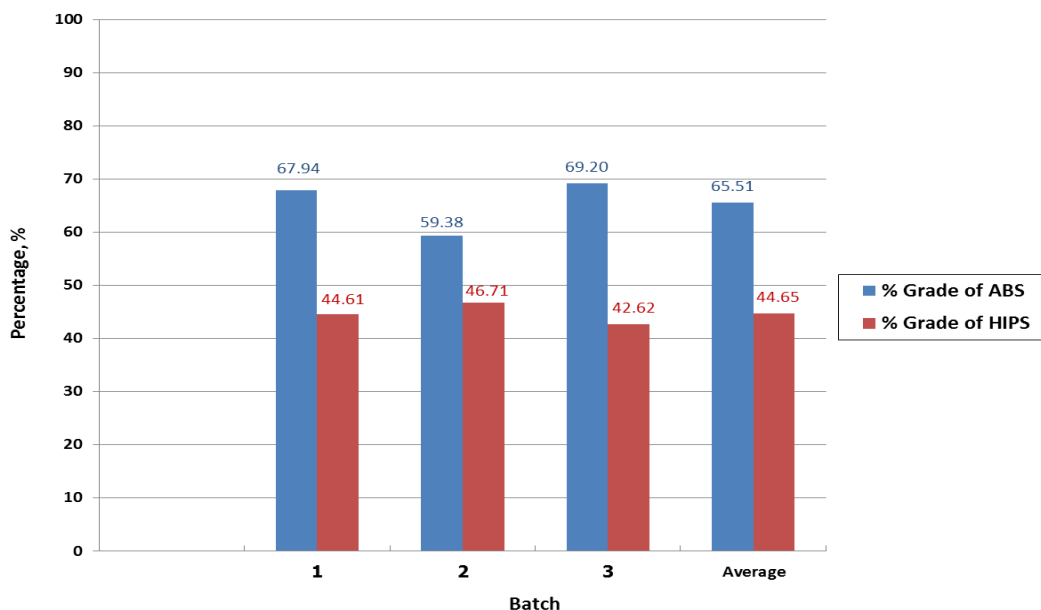
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 45 กราฟแท่งแสดง % Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว

จากภาพที่ 45 พบว่า %Recovery ของเม็ดพลาสติก HIPS ที่ได้มีค่าสูงกว่า %Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.08% และ 33.60% ตามลำดับ เนื่องจากค่า %Recovery ของ HIPS ได้จากการคำนวณสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเม็ดพลาสติก HIPS ที่ได้จาก “ส่วนที่ลอย” ต่อน้ำหนักของเม็ดพลาสติก HIPS ที่ป้อนเข้าระบบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเม็ดพลาสติกทั้งชนิด ABS และ HIPS นั้นจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำเกือบทั้งหมดเมื่อทำการเปิดเครื่อง Flotation พร้อมกับการเป่าฟองอากาศ ค่าน้ำหนักเม็ดพลาสติก HIPS ในส่วนที่ลอยจึงสูง ส่งผลให้ได้ค่า %Recovery HIPS ที่สูง

ในขณะที่ค่า %Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS นั้นได้จากการคำนวณสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเม็ดพลาสติก ABS ที่ได้จาก “ส่วนที่จม” ต่อน้ำหนักของเม็ดพลาสติก ABS ที่ป้อนเข้าระบบ ดังนั้นเมื่อเม็ดพลาสติก ABS ถูกเก็บออกไปเป็นส่วนที่ลอยมาก ส่งผลให้ค่า %Recovery ABS ที่ได้ต่ำ



ภาพที่ 46 กราฟแท่งแสดง % Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยกโดยใช้ น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว

จากภาพที่ 46 พบว่า %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS ที่ได้มีค่าสูงกว่า %Grade ของ HIPS กล่าวคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.51% และ 44.65% ตามลำดับ เนื่องจาก %Grade ของ ABS ได้จากการคำนวณสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเม็ดพลาสติก ABS ที่อยู่ในส่วนที่จมต่อน้ำหนักรวมของพลาสติกทั้งสองชนิดที่อยู่ในส่วนที่จม เพื่อเป็นการวัดว่ามีการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติกชนิด HIPS อยู่ในส่วนที่จมมากน้อยเพียงใด (หากการปนเปื้อนน้อย %Grade ABS จะมีค่าสูง) ซึ่งจากการทดลองพบว่าเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิด ABS และ HIPS นั้นจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำเกือบทั้งหมดเมื่อทำการเปิดเครื่อง Flotation พร้อมกับการเป่าฟองอากาศ ทำให้เหลือเป็นพลาสติกส่วนที่จมอยู่น้อยและยังพบว่าเป็นพลาสติกชนิด ABS อยู่มากกว่า HIPS ส่งผลให้ได้ค่า %Grade ABS ที่สูง

ในขณะที่ %Grade ของเม็ดพลาสติก HIPS นั้นได้จากการคำนวณสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเม็ดพลาสติก HIPS ที่อยู่ในส่วนที่ลอยต่อน้ำหนักรวมของพลาสติกทั้งสองชนิดที่อยู่ในส่วนที่ลอย เพื่อเป็นการวัดว่ามีการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติกชนิด ABS อยู่ในส่วนที่ลอยมากน้อยเพียงใด (หากการปนเปื้อนน้อย %Grade HIPS จะมีค่าสูง) ซึ่งจากการทดลองพบว่าแม้จะมีพลาสติกอยู่ในส่วนลอยนี้มากก็จริง แต่ก็มีการปนเปื้อนของพลาสติก ABS อยู่มากด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ %Grade HIPS ที่ได้ต่ำ

ดังนั้นจากผลการศึกษาคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างชนิด ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว ทำให้ทราบถึงสถานะอ้างอิงที่ไม่มีการเติมสารเคมีใดๆลงไปเลย ซึ่งทำให้ผลของการลอยแยกระหว่างเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS เกิดได้ไม่ดี จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการลอยแยก ด้วยการเติมสาร Depressant ชนิดกรดแทนนิก, การเติมสาร Frother คือน้ำมันสน, การปรับค่า pH ของสารละลายตัวกลาง และการปรับเวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time)

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของกรดแทนนิกที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

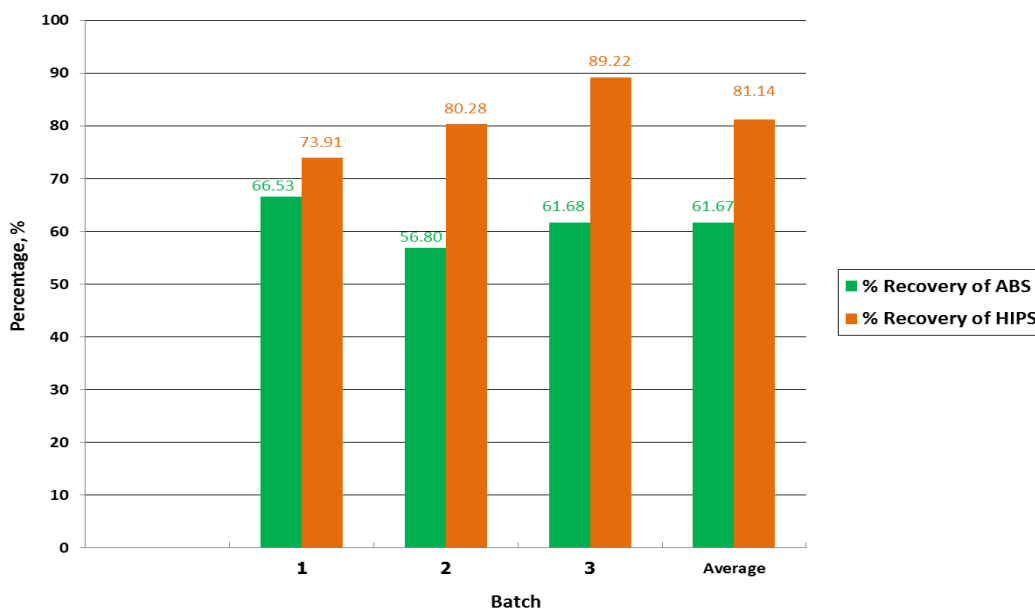
จากการทดลองที่กำหนดสภาวะ ตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS ของงานวิจัย R.D.Pascoe คือ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm, ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11, เวลาที่ใช้ในการกรวน 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก 8 นาที แต่กำหนดอัตราการกรวนของเครื่อง Flotation เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) และไม่ใช้น้ำมันสน เนื่องจากการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบถึงอิทธิพลของกรดแทนนิกซึ่งทำหน้าที่เป็นสาร Depressant ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกได้มากน้อยเพียงใดหากเปรียบเทียบกับกรวนใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางร่วมกับกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ที่สภาวะค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11

Batch	Float		Sum of float (g)	Sink		Sum of sink (g)	% Recovery of HIPS	% Grade of HIPS	% Recovery of ABS	% Grade of ABS
	HIPS (g)	ABS (g)		HIPS (g)	ABS (g)					
1	37.4	16.8	54.2	13.2	33.4	46.6	73.91	69.00	66.53	71.67
2	40.3	21.6	61.9	9.9	28.4	38.3	80.28	65.11	56.80	74.15
3	44.7	19.2	63.9	5.4	30.9	36.3	89.22	69.95	61.68	85.12
Average	40.8	19.2	60.0	9.5	30.9	40.4	81.14	68.02	61.67	76.98

สิ่งที่สังเกตพบจากการทดลองคือ สารละลายตัวกลางที่มีความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm ค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่วัดได้โดยใช้เครื่อง pH meter มีค่าประมาณ 7 สีของสารละลายตัวกลางยังไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มค่า pH ของสารละลายด้วยการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไป จะพบว่าสีของสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีกลายเป็นสีน้ำตาลจางๆ แล้วก็กลับมาเป็นใสไม่มีสีอีกเช่นเคย จากนั้นเมื่อหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มจนกระทั่งค่า pH ของสารละลายอยู่ระหว่าง 9 ถึง 10 จะพบว่าสีของสารละลายตัวกลางเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มอย่างถาวร

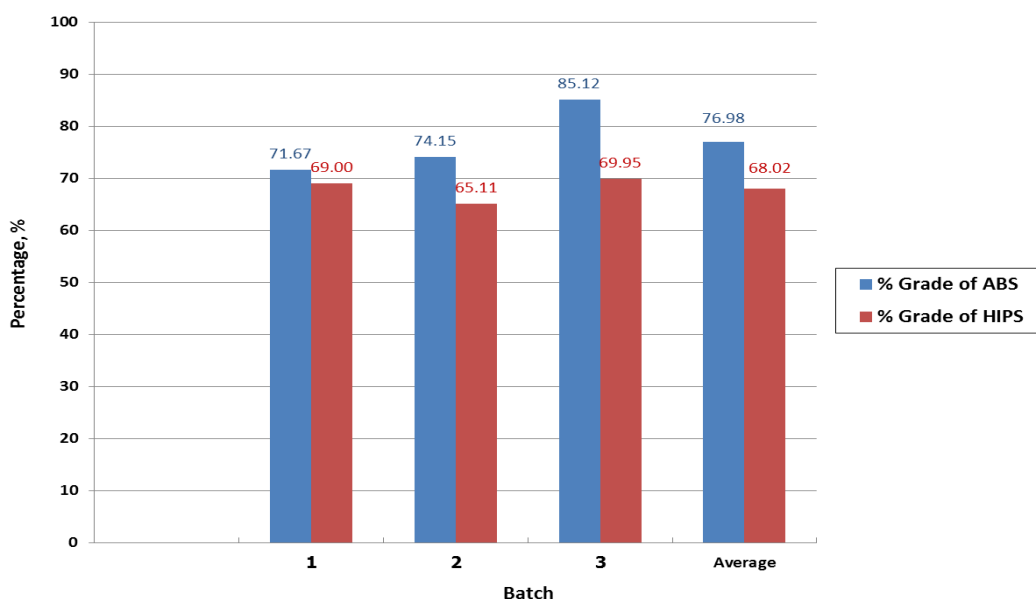
จากตารางที่ 8 พิจารณาประสิทธิภาพการแยกที่ได้ด้วยการนำค่า %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดมาแสดงผลในรูปของกราฟแท่งดังภาพที่ 47 และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดแสดงผลในรูปของกราฟแท่งดังภาพที่ 48



ภาพที่ 47 กราฟแท่งแสดง % Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางร่วมกับกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ที่สภาวะค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11

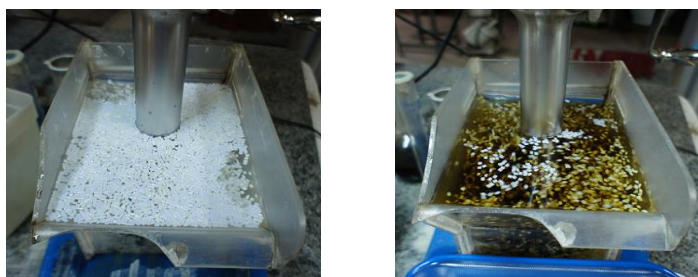
จากภาพที่ 47 พบว่า %Recovery ของพลาสติก ABS มีค่าสูงขึ้น (เฉลี่ย 61.67%) หากเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย %Recovery ABS จากภาพที่ 45 (เฉลี่ย 33.60%) เนื่องมาจากอิทธิพลของกรดแทนนิก ที่มีการเติมลงไปใต้น้ำความเข้มข้น 80 ppm ร่วมกับการเติมสารละลายไฮเดรอกไซด์ที่ทำหน้าที่เพิ่มค่า pH ของสารละลายตัวกลางให้มีค่าเท่ากับ 11 ซึ่งสภาวะที่เป็นเบสนี้สนับสนุนการทำงานของกรดแทนนิกให้สามารถแตกตัวเกิดเป็นไอออน tannic-[O⁻] ไปจับกับผิวของพลาสติกเฉพาะชนิด ABS เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชัน Acrylonitrile group อยู่ในโครงสร้าง ผิวของพลาสติก ABS จึงเกิดสมบัติ Hydrophilic สูงขึ้น ส่งผลให้เมื่อเป่าฟองอากาศเข้าไปในระบบพร้อมๆกับการกวนเม็ดพลาสติก ABS จะลอยตัวขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางลดลง หรืออีกนัยหนึ่งคือมีเม็ดพลาสติก ABS อยู่ในพลาสติก “ส่วนที่จม” สูงขึ้น เมื่อคำนวณสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเม็ดพลาสติก ABS ที่ได้จากส่วนที่จม เปรียบเทียบกับเม็ดพลาสติก ABS ที่ป้อนเข้าสู่ระบบทั้งหมด พบว่า %Recovery ABS ที่ได้สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว

ในขณะที่ %Recovery ของพลาสติก HIPS พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.14% ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว (เฉลี่ย 82.08%) เนื่องจากกรดแทนนิกที่เติมลงไปในตัวกลางนั้นไม่มีส่วนช่วยให้เม็ดพลาสติก HIPS ลอยตัวได้มากขึ้น



ภาพที่ 48 กราฟแท่งแสดง %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยใช้ น้ำเป็นตัวกลางร่วมกับกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ที่สภาวะค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11

จากภาพที่ 48 พบว่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน หากเปรียบเทียบกับ การลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว โดยมีค่า %Grade ABS และ %Grade HIPS เฉลี่ย เท่ากับ 76.98% และ 68.02% ตามลำดับ (อ้างอิงจากภาพที่ 46 ซึ่งมีค่า %Grade ABS และ %Grade HIPS เฉลี่ยเท่ากับ 65.51% และ 44.65% ตามลำดับ) เนื่องจากกรดแทนนิกที่อยู่ใน สารละลายตัวกลางจะช่วยเพิ่มสมบัติ Hydrophilic ให้เฉพาะพลาสติก ABS ส่งผลให้เมื่อเป่าฟองอากาศและ ทำการกวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอย จะพบว่ามีกรปนเปื้อนของเม็ดพลาสติก ABS ออกมากับ ส่วนที่ลอยนี้ลดลง ในขณะที่เม็ดพลาสติก HIPS นั้นยังคงสมบัติ Hydrophobic จึงลอยตัวขึ้นสู่ผิวของ สารละลายตัวกลางนี้ได้ดีไม่ต่างจากการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว แตกต่างกันที่ลักษณะการ ลอยตัวของเม็ดพลาสติกขึ้นสู่ผิวสารละลายตัวกลางที่มีกรดแทนนิกผสมอยู่จะมีการเกาะตัวกันเป็นแพ ลดลงหากเทียบกับการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว ดังแสดงตามภาพที่ 49



ภาพที่ 49 แสดงลักษณะเม็ดพลาสติกที่ลอยตัวเมื่อเป่าฟองอากาศพร้อมกับการกวาดเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว(ซ้าย) และสารละลายตัวกลางที่เติมกรดแทนนิก(ขวา)

ดังนั้นจากผลการศึกษาอิทธิพลของกรดแทนนิกที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก ทำให้ทราบถึงสถานะอ้างอิงกรณีที่กำหนดสถานะตามงานวิจัย R.D.Pascoe คือกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm, ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11, เวลาที่ใช้ในการกวน 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก 8 นาที และกำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation 800 รอบต่อนาที พบว่าประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน แต่ค่าที่ได้ยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 80% กล่าวคือยังมีการปนเปื้อนของพลาสติก ABS อยู่ในส่วนที่ลอยอยู่มาก เช่นเดียวกับมีการปนเปื้อนของพลาสติก HIPS ในส่วนที่จมอยู่มาก สาเหตุหนึ่งเกิดจากพลาสติก HIPS ที่ถูกฟองอากาศล้อมรอบ ไม่สามารถลอยขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากฟองอากาศไม่มีความเสถียรเพียงพอที่จะนำพาให้เม็ดพลาสติกลอยจากส่วนก้นของเซลล์ลอยแยก ขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้ ดังนั้นการจะพัฒนาประสิทธิภาพการลอยแยกนี้จำเป็นต้องอาศัยสารเคลือบฟองอากาศ (Frother) เพื่อช่วยให้ฟองอากาศในระบบมีความเหนียวและเสถียรเพียงพอสำหรับการนำพาพลาสติกขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้ (Fraunholz, 1997) โดยในการวิจัยนี้เลือกใช้น้ำมันสน (Pine Oil) เป็นสารเคลือบฟองอากาศ กำหนดความเข้มข้นน้ำมันสนตามงานวิจัยอ้างอิง R.D.Pascoe (Pascoe, 2005) คือ 30 ppm เท่ากันหมดทุกสถานะ ร่วมกับการศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่า pH ของสารละลายตัวกลาง, ความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิก รวมถึงเวลาที่ใช้ในการลอยแยก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการลอยแยกพลาสติกทั้งสองชนิดนี้

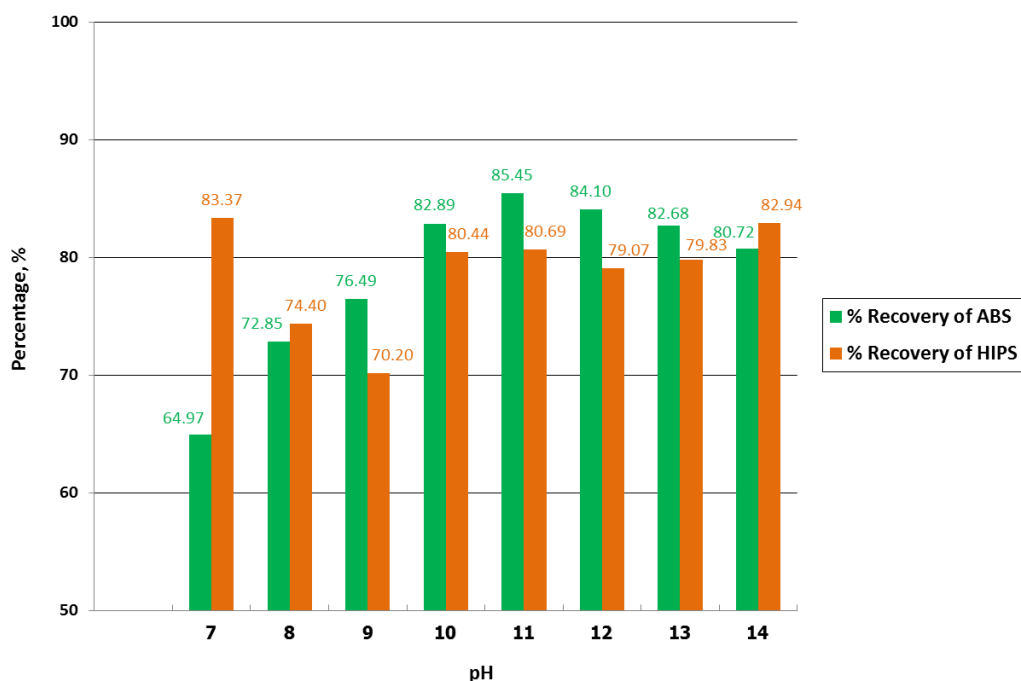
4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

จากการทดลองที่กำหนดสถานะ ตามสถานะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS ของงานวิจัย R.D.Pascoe คือ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm, ความเข้มข้นของน้ำมันสนเท่ากับ 30 ppm, เวลาที่ใช้ในการกวน 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก 8 นาที แต่กำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) วัตถุประสงค์การทดลองนี้เพื่อต้องการทราบถึงค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับสำหรับใช้แยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS เนื่องจากตัวอย่างที่งานวิจัยอ้างอิง R.D.Pascoe ใช้ในการศึกษานั้นมีลักษณะเป็นแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร นำมาตัดให้ได้ขนาด 5×5, 5×10 และ 10×10 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างจากตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้เม็ดพลาสติกรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร จึงเป็นที่มาของการศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่มีรูปร่างแตกต่างออกไปจากงานวิจัยอ้างอิง โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

pH	Float		Sum of float (g)	Sink		Sum of sink (g)	% Recovery of HIPS	% Grade of HIPS	% Recovery of ABS	% Grade of ABS
	HIPS (g)	ABS (g)		HIPS (g)	ABS (g)					
7 (NoNaOH)	42.1	17.2	59.3	8.4	31.9	40.3	83.37	70.99	64.97	79.16
8	36.9	13.6	50.5	12.7	36.5	49.2	74.40	73.07	72.85	74.19
9	35.1	11.8	46.9	14.9	38.4	53.3	70.20	74.84	76.49	72.05
10	40.3	8.4	48.7	9.8	40.7	50.5	80.44	82.75	82.89	80.59
11	39.7	7.2	46.9	9.5	42.3	51.8	80.69	84.65	85.45	81.66
12	38.9	7.9	46.8	10.3	41.8	52.1	79.07	83.12	84.10	80.23
13	38.4	8.9	47.3	9.7	42.5	52.5	79.83	81.18	82.68	81.42
14	41.8	9.7	51.5	8.6	40.6	49.2	82.94	81.17	80.72	82.52

จากตารางที่ 9 ที่แสดงผลของการเปลี่ยนค่า pH ของสารละลายตัวกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยกำหนดความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm ในการทดลองครั้งแรกที่ไม่มีการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีของสารละลายตัวกลางจะเป็นใสไม่มีสี มีค่า pH เท่ากับ 7 เมื่อผ่านกระบวนการลอยแยกพบว่ามีค่าน้ำหนักพลาสติกชนิด ABS อยู่ในส่วนที่จมต่ำที่สุดในตาราง คือเท่ากับ 31.9 กรัม และเมื่อเพิ่มค่า pH ของสารละลายตัวกลาง ก็จะทำให้ค่าน้ำหนักส่วนนี้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากค่า pH ที่สูงขึ้นจะช่วยให้ กรดแทนนิกซึ่งทำหน้าที่เป็นสาร Depressant แยกตัวเป็นไอออน tannic-[O] ได้ดีขึ้น โดยไอออนนี้จะไปช่วยทำให้ผิวพลาสติกชนิด ABS ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน Acrylonitrile group ในโครงสร้างโมเลกุลเกิดสมบัติ Hydrophilic ได้สูงขึ้น ส่งผลให้ได้เม็ดพลาสติกชนิด ABS ในส่วนที่จมมากขึ้น และยังสังเกตพบอีกว่าค่าน้ำหนักพลาสติกชนิด ABS ที่สูงขึ้นนี้เริ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อค่า pH มีค่าเท่ากับ 10 เป็นต้นไป จึงจำเป็นต้องพิจารณารูปแบบ %Recovery และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดประกอบเพื่อหาค่า pH ที่เหมาะสม



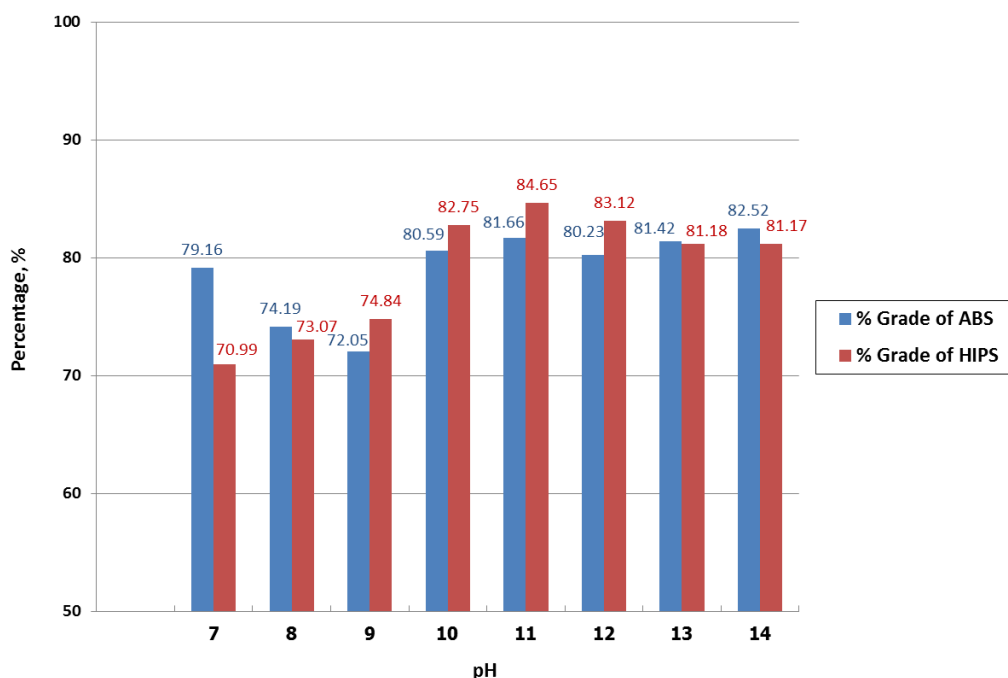
ภาพที่ 50 กราฟแท่งแสดง %Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนค่า pH ของสารละลายตัวกลาง

จากภาพที่ 50 พบว่า %Recovery ของพลาสติก ABS มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเพิ่มค่า pH ของสารละลายตัวกลางจะช่วยให้กรดแทนนิกแตกตัวในน้ำเกิดเป็นไอออน tannic-[O]⁻ ได้มากขึ้น โดยไอออนที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่ในการจับกับผิวของเม็ดพลาสติกชนิด ABS ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน Acrylonitrile group อยู่ในโครงสร้างก่อให้เกิดสมบัติ Hydrophilic สูงขึ้น เมื่อกระบวนการลอยแยกถึงขั้นตอนการเป่าฟองอากาศเข้าสู่ระบบ ก็จะเหลือเฉพาะเม็ดพลาสติกชนิด HIPS ที่ยังคงสมบัติ Hydrophobic อยู่ ลอยตัวขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลาง ในขณะที่เม็ดพลาสติกชนิด ABS จมลงสู่ด้านล่างของเซลล์ลอยแยก

ในส่วนของแนวโน้ม %Recovery พลาสติก HIPS นั้นไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจนเมื่อเพิ่มค่า pH ของสารละลายตัวกลาง เนื่องจากไอออน tannic-[O]⁻ ที่มีมากขึ้นในสารละลายตัวกลางนั้นไม่มีส่วนช่วยให้เม็ดพลาสติก HIPS ลอยตัวได้มากขึ้น เนื่องจากพลาสติก HIPS นั้นไม่มีหมู่ฟังก์ชัน Acrylonitrile group อยู่ในโครงสร้าง แต่ผลที่เกิดทางอ้อมจากการจมตัวของเม็ดพลาสติก ABS เมื่อค่า pH สารละลายตัวกลางสูงขึ้น คือพบการเกาะตัวกันเป็นแพของเม็ดพลาสติกบนผิวของสารละลายตัวกลางลดลง เนื่องจากเม็ดพลาสติกส่วนใหญ่ ABS กระจายตัวในสารละลายตัวกลางหรือจมลงสู่ก้นของเซลล์ลอยแยกได้ดี

หากพิจารณาหาค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่เหมาะสมโดยอาศัยเฉพาะข้อมูลจากกราฟ %Recovery ภาพที่ 50 พบว่าค่า %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อค่า pH มากกว่าหรือเท่ากับ 10 โดย %Recovery ABS มีค่าสูงสุดที่สภาวะ pH 11 และ %Recovery HIPS

มีค่าสูงสุดที่สภาวะ pH 14 คิดเป็น 85.45% และ 82.94% ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวอาจเลือกใช้ค่า pH ตั้งแต่ 10 ขึ้นไปสำหรับการลอยแยกพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ แต่ในงานวิจัยนี้ต้องการค่า pH เพียงหนึ่งค่าในการเลือกใช้สำหรับการทดลองปัจจัยอื่นๆ จึงจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลที่ได้นี้ร่วมกับภาพที่ 51 ซึ่งแสดง %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดที่ได้จากการลอยแยกโดยเปลี่ยนค่า pH ของสารละลายตัวกลาง



ภาพที่ 51 กราฟแท่งแสดง %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนค่า pH ของสารละลายตัวกลาง

จากภาพที่ 51 พบว่าเมื่อเพิ่มค่า pH ของสารละลายตัวกลางแล้ว %Grade ของพลาสติก HIPS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากพลาสติกที่อยู่ใน “ส่วนที่ลอย” นั้นมีการปนเปื้อนของพลาสติก ABS ลดลง อันเนื่องมาจากอิทธิพลของกรดแทนนิกที่ทำหน้าที่เพิ่มสมบัติ Hydrophilic ให้กับพลาสติก ABS ได้ดีเมื่อในสารละลายตัวกลางที่มีความเป็นเบสสูง เช่นเดียวกับส่วนของ %Grade ABS ที่จะให้ค่าที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อค่า pH ของสารละลายตัวกลางมีค่าเท่ากับ 10 เป็นต้นไป

เพราะฉะนั้นสภาวะค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่เหมาะสมต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกคือ pH มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10 แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่า pH เท่ากับ 11 เนื่องจากเป็นค่า pH ที่ให้ค่า %Recovery ABS และ %Grade HIPS มีค่าสูงสุดที่สุดคิดเป็น 85.45% และ 84.65 % ตามลำดับ แม้ค่า %Recovery HIPS และ %Grade ABS ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าสภาวะ pH เท่ากับ 14 แต่ก็มีส่วนต่างเพียงเล็กน้อย อีกทั้งการใช้ค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่สูงมากๆจำเป็นต้องใช้น้ำสะอาดในขั้นตอนการล้างสารละลายตัวกลางออกจากเม็ดพลาสติกซ้ำหลายครั้ง เพื่อให้ได้เม็ดพลาสติกสะอาดก่อนนำไปอบไล่ความชื้นในขั้นตอนต่อไป

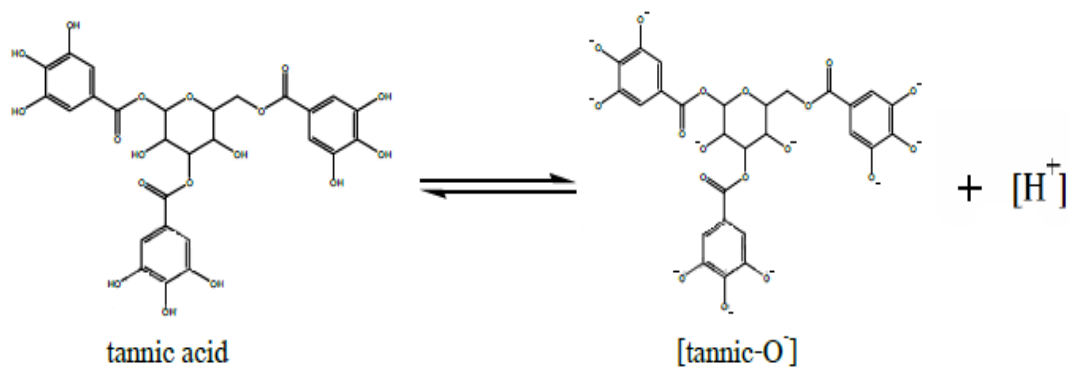
4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกในสารละลายตัวกลางที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

จากการทดลองที่กำหนดสภาวะ ตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS ของงานวิจัย R.D.Pascoe คือ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของน้ำมันสนเท่ากับ 30 ppm, เวลาที่ใช้ในการรวน 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก 8 นาที แต่กำหนดอัตราการรวนของเครื่อง Flotation เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) และเลือกใช้ค่า pH จากผลการทดลองที่ผ่านมาคือมากกว่าหรือเท่ากับ 10 (ในการทดลองนี้เลือกใช้ค่า pH เท่ากับ 11 เนื่องจากให้ค่า %Recovery ABS และ %Grade HIPS สูงกว่าสภาวะอื่นๆ) วัตถุประสงค์การทดลองนี้เพื่อต้องการทราบถึงค่าความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกที่เหมาะสมสำหรับใช้แยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS เนื่องจากตัวอย่างที่งานวิจัยอ้างอิง R.D.Pascoe ใช้ในการศึกษานั้น มีลักษณะเป็นแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร นำมาตัดให้ได้ขนาด 5×5, 5×10 และ 10×10 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างจากตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้เม็ดพลาสติกรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร จึงเป็นที่มาของการศึกษาหาค่าความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่มีรูปร่างแตกต่างออกไปจากงานวิจัยอ้างอิง โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 10

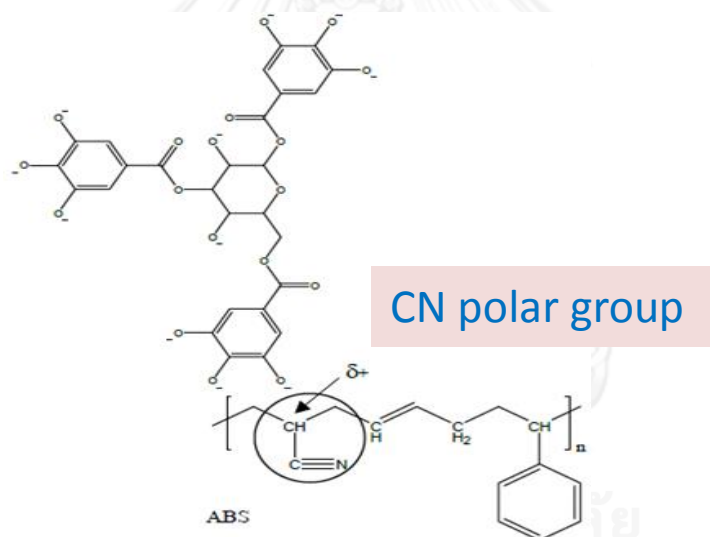
ตารางที่ 10 ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกในสารละลายตัวกลางที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

Tannic acid Concentration (ppm)	Float		Sum of float (g)	Sink		Sum of sink (g)	% Recovery of HIPS	% Grade of HIPS	% Recovery of ABS	% Grade of ABS
	HIPS (g)	ABS (g)		HIPS (g)	ABS (g)					
20	44.7	23.8	68.5	5.3	27.3	32.6	89.40	65.26	53.42	83.74
40	41.4	17.8	59.2	8.7	31.5	40.2	82.63	69.93	63.89	78.36
60	42.8	19.2	62.0	7.2	32.2	39.4	85.60	69.03	62.65	81.73
80	39.4	8.3	47.7	9.5	40.8	50.3	80.57	82.60	83.10	81.11
100	40.9	7.9	48.8	8.8	42.1	50.9	82.29	83.81	84.20	82.71
120	41.6	5.5	47.1	8.5	44.7	53.2	83.03	88.32	89.04	84.02
140	40.7	6.1	46.8	9.4	44.8	54.2	81.24	86.97	88.02	82.66
160	41.1	5.9	47.0	10.3	43.2	53.5	79.96	87.45	87.98	80.75

จากตารางที่ 10 พบว่าสภาวะแรกที่ทำให้ความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกต่ำที่สุดคือ 20 ppm จะให้น้ำหนักของพลาสติก “ส่วนที่จม” อยู่น้อยที่สุด เช่นเดียวกับน้ำหนักพลาสติกชนิด ABS ที่อยู่ในส่วนนี้ (32.6 กรัม และ 27.3 กรัม ตามลำดับ) แต่เมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก ก็พบว่าค่าน้ำหนักทั้งสองส่วนนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก จะเป็นการเพิ่มส่วนของไอออน tannic-[O⁻] ให้อยู่ในสารละลายตัวกลางมากขึ้น ทำให้สัดส่วนของไอออน tannic-[O⁻] ต่อพลาสติกชนิด ABS เพียงพอต่อการทำหน้าที่เป็นสาร Depressant ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เมื่อผ่านกระบวนการลอยแยกแล้วหลงเหลือพลาสติกอยู่ในส่วนที่จมสูงขึ้น อีกทั้งยังเป็นพลาสติกชนิด ABS ที่จมมากขึ้น โดยกลไกการแตกตัวของกรดแทนนิก เกิดเป็นไอออน tannic-[O⁻] แสดงไว้ในภาพที่ 52 และลักษณะไอออน tannic-[O⁻] เมื่อเกาะตัวบนผิวพลาสติกชนิด ABS แสดงไว้ในภาพที่ 53

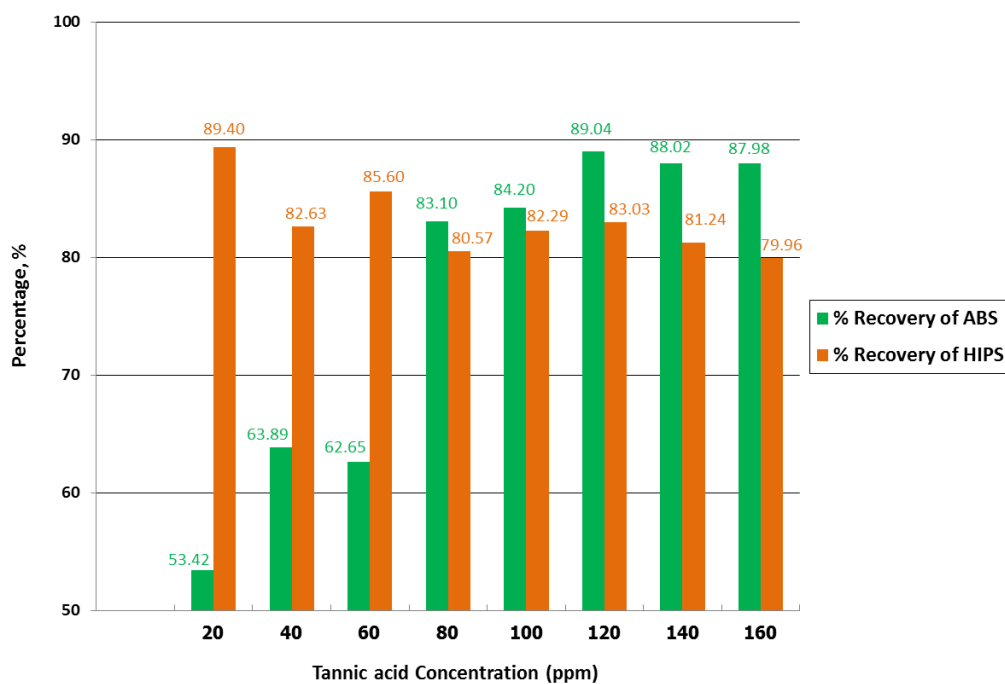


ภาพที่ 52 แสดงกลไกการแตกตัวของกรดแทนนิกเกิดเป็นไอออน tannic-[O⁻] (บวรกิตติ์ เนคมานุรักษ์, 2549)



ภาพที่ 53 แสดงลักษณะไอออน tannic-[O⁻] เมื่อเกาะตัวบนผิวพลาสติกชนิด ABS (บวรกิตติ์ เนคมานุรักษ์, 2549)

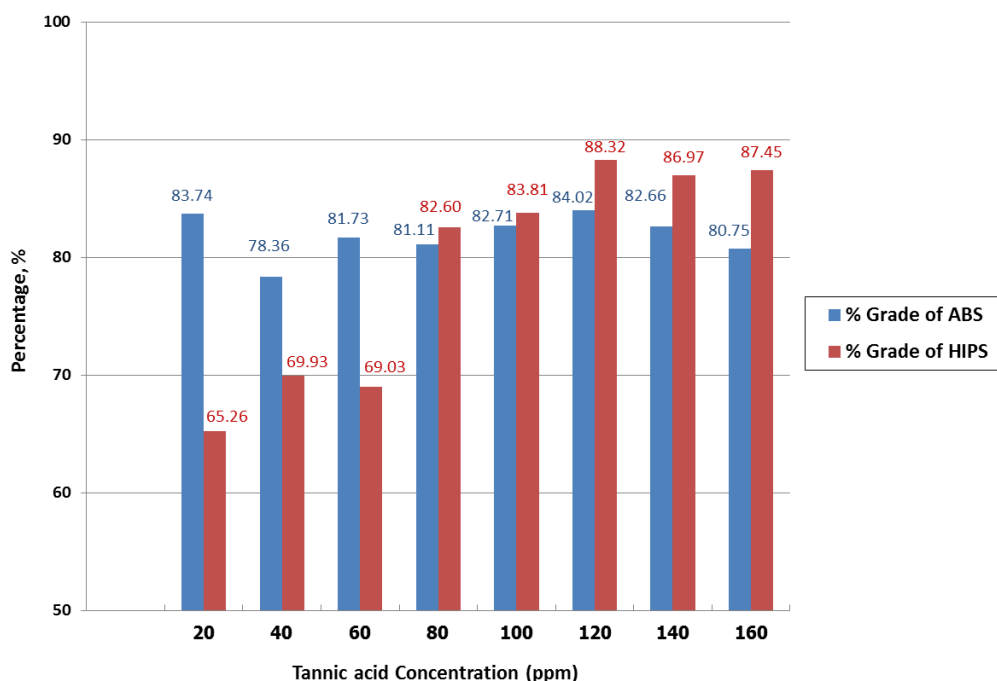
จากตารางที่ 10 พิจารณาประสิทธิภาพการแยกที่ได้ด้วยการนำค่า %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดมาแสดงผลในรูปของกราฟแท่งดังภาพที่ 54 และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดแสดงผลในรูปของกราฟแท่งดังภาพที่ 55



ภาพที่ 54 กราฟแท่งแสดง %Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก

จากภาพที่ 54 พบว่า %Recovery ของพลาสติก ABS มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก โดยพบว่าที่สภาวะแรกความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก 20 ppm จะได้ค่า %Recovery ABS เท่ากับ 53.42% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 63.89%, 62.65%, 83.10%, 84.20% และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 89.04% ที่สภาวะกรดแทนนิกความเข้มข้น 40, 60, 80, 100 และ 120 ppm ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกนั้นเป็นการเพิ่มไอออน tannic-[O⁻] ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มสมบัติ Hydrophilic ให้เฉพาะพลาสติก ABS ส่งผลให้เมื่อเป่าฟองอากาศเข้าไปในระบบพร้อมๆกับการกวน พลาสติก ABS จะเปื่อยกผิวสมบูรณ์แล้วจมลงสู่ก้นของเซลล์ลอยแยก ในขณะที่พลาสติก HIPS ซึ่งยังคงสมบัติ Hydrophobic จะลอยตัวขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลาง

ในส่วนของ %Recovery พลาสติก HIPS พบว่าการใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก 20 ppm นั้นจะให้ค่า %Recovery HIPS สูงที่สุดคือ 89.40% แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดแทนนิกกลับพบว่าค่า %Recovery HIPS ที่ได้มีค่าลดลงเรื่อยๆคิดเป็น 82.63%, 85.60%, 80.57%, 82.29%, 83.03%, 81.24% และ 79.96% ที่สภาวะกรดแทนนิกความเข้มข้น 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 ppm ตามลำดับ สาเหตุเกิดจากที่สภาวะความเข้มข้นกรดแทนนิกต่ำ เมื่อเป่าฟองอากาศเข้าไปในระบบจะพบการเกาะตัวกันเป็นแพของเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดบนผิวของสารละลายตัวกลาง ดังนั้นเม็ดพลาสติก HIPS จึงอยู่ใน “ส่วนที่ลอย” สูงเช่นเดียวกับเม็ดพลาสติก ABS ที่ปนเปื้อนอยู่ในพลาสติกส่วนที่ลอยนี้อยู่มากด้วยเช่นกัน จึงจำเป็นต้องนำข้อมูลค่า %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดที่ได้มานี้พิจารณาพร้อมกับค่า %Grade ดังแสดงตามกราฟภาพที่ 55



ภาพที่ 55 กราฟแท่งแสดง %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก

จากภาพที่ 55 พบว่าที่สภาวะความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก 20 ppm นั้นให้ค่า %Grade ของพลาสติก HIPS ต่ำที่สุดคิดเป็น 65.26% เนื่องจากที่สภาวะความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกต่ำจะพบการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติก ABS ออกไปอยู่กับพลาสติก “ส่วนที่ลอย” อยู่มาก สาเหตุจากกรดแทนนิกที่เติมลงไปในการละลายตัวกลางยังไม่เพียงพอต่อการทำหน้าที่เป็นสาร Depressant เพื่อเพิ่มสมบัติ Hydrophilic ให้กับพลาสติก ABS ได้อย่างเต็มที่ แต่ที่สภาวะเดียวกันนี้ กลับพบว่า %Grade ABS ที่ได้มีค่าสูงคิดเป็น 83.74% เนื่องจากมีพลาสติกอยู่ใน “ส่วนที่จม” น้อย

เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าน้ำหนักของพลาสติกที่ได้จากตารางที่ 10 จะพบว่าน้ำหนักพลาสติกที่จมรวมทั้งหมด (Sum of Sink) เท่ากับ 32.6 กรัม และน้ำหนักพลาสติกที่ลอยรวมทั้งหมด (Sum of Float) เท่ากับ 68.5 กรัม จากนั้นเมื่อนำพลาสติกส่วนที่จมทั้งหมดมาทำการคัดแยกพลาสติกทั้งสองชนิดออกจากกันแล้วพบว่า เป็นพลาสติก ABS มากถึง 27.3 กรัม เปรียบเทียบกับน้ำหนักพลาสติกที่ได้จากส่วนนี้เพียง 5.3 กรัม ดังนั้นค่า %Grade ABS ที่ได้จึงมีค่าสูง

ผลที่ได้จากสภาวะความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก 20 ppm มีความคล้ายคลึงกับสภาวะความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก 40 และ 60 ppm คือแม้จะได้ค่า %Grade ABS ที่สูง (คิดเป็น 78.36% และ 81.73% ตามลำดับ) แต่ก็ให้ค่า %Grade HIPS ที่ต่ำ (คิดเป็น 69.93% และ 69.03% ตามลำดับ) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกที่สูงขึ้นเพื่อเพิ่มสมบัติ Hydrophilic ให้กับพลาสติก ABS ให้เพียงพอ

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกจาก 80 เป็น 100 และ 120 ppm พบว่าค่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากความเข้มข้นกรดแทนนิกที่สูงขึ้นช่วยให้เม็ดพลาสติก ABS จมตัวได้ดีขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือพลาสติก ABS ลอยตัวออกมาปนเปื้อนอยู่ในพลาสติก “ส่วนที่ลอย” ลดลง โดยค่า %Grade HIPS ที่สูงที่สุดจากภาพที่ 55 มีค่าเท่ากับ 88.32% ที่สภาวะความเข้มข้นกรดแทนนิก 120 ppm และที่สภาวะเดียวกันนี้ยังให้ค่า %Grade ABS ที่สูงที่สุดคิดเป็น 84.02%

ดังนั้น เมื่อพิจารณาเลือกสภาวะความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกที่เหมาะสมสำหรับการแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ จึงเลือกใช้ค่าความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 120 ppm โดยจะทำให้ได้ค่า %Grade ของเม็ดพลาสติกชนิด HIPS, % Grade ของเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ % Recovery ของเม็ดพลาสติกชนิด ABS ที่สูงที่สุด คือเท่ากับ 88.32%, 84.02% และ 89.04% ตามลำดับ

จากผลการศึกษาการแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างชนิด ABS และ HIPS โดยใช้การลอยแยกทั้ง 4 การทดลองที่ผ่านมา มุ่งเน้นหาองค์ประกอบรวมถึงสัดส่วนของสารเคมีสำหรับปรับแต่งสารละลายตัวกลางให้เหมาะสมเพื่อแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ ทำให้ได้ผลการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยด้านสารเคมีสำหรับสารละลายตัวกลาง ได้แก่

(1) ผลการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว พบว่าพลาสติกทั้งสองชนิดปะปนกันอยู่ในส่วนที่ลอยเป็นจำนวนมาก พลาสติกส่วนที่จมมีน้อย ประสิทธิภาพการแยกต่ำ

(2) ผลการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางร่วมกับกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ที่สภาวะค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11 พบว่าประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า %Recovery และ %Grade ของเม็ดพลาสติกชนิด ABS ที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน แต่ค่าที่ได้นี้ก็ยังคงอยู่ในระดับต่ำกว่า 80%

(3) ค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่เหมาะสมต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างชนิด ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกคือ pH มากกว่าหรือเท่ากับ 10 (เลือกใช้ค่า pH เท่ากับ 11) เนื่องจากเป็นสภาวะที่ช่วยให้กรดแทนนิกแตกตัวเป็นไอออน tannic-[O⁻] ได้ดี โดย tannic-[O⁻] นี้จะเป็นตัวไปเกาะที่ผิวของพลาสติกชนิด ABS เพื่อให้เกิดสมบัติ Hydrophilic ที่สูงขึ้น ประสิทธิภาพการแยกที่ได้สูงกว่าผลการทดลองที่ผ่านมา

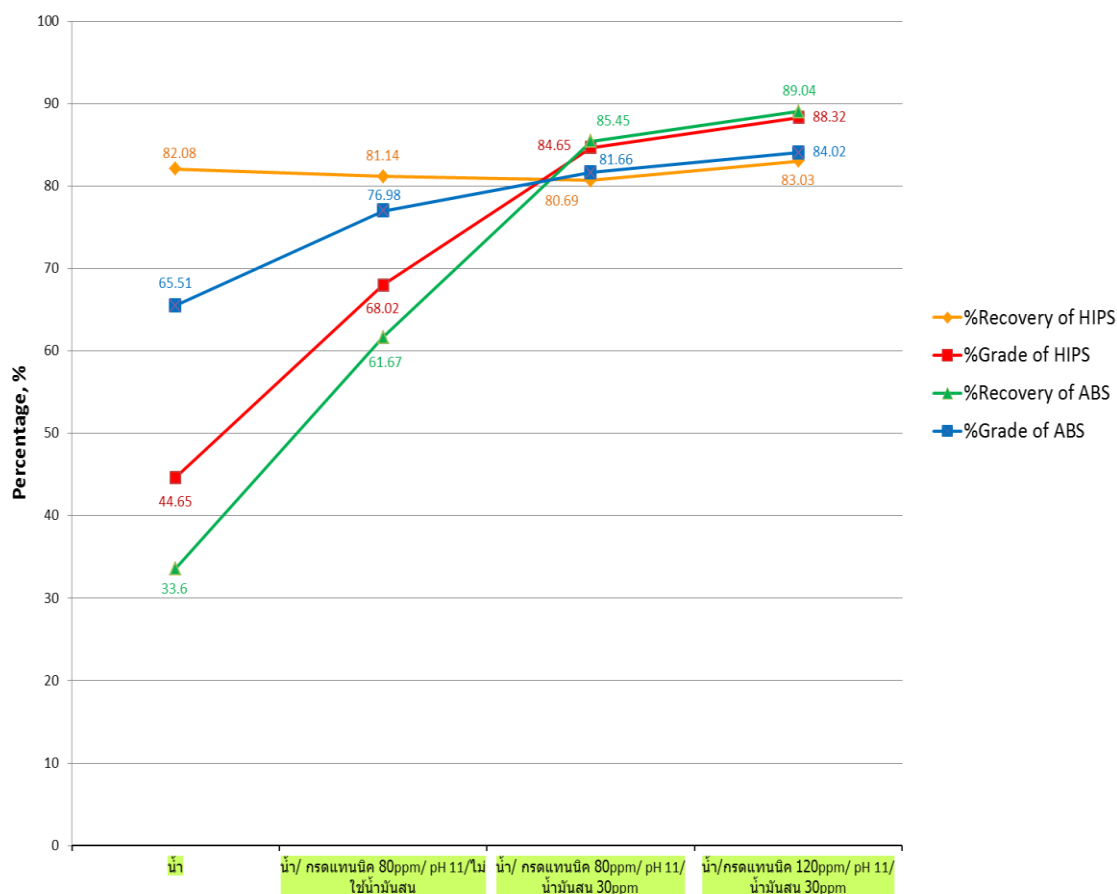
(4) สภาวะความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกที่เหมาะสมสำหรับการแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้เท่ากับ 120 ppm เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกจากเดิม 80 ppm จะเป็นการเพิ่มส่วนของ tannic-[O⁻] ให้อยู่ในสารละลายตัวกลางมากขึ้น ทำให้สัดส่วนของ tannic-[O⁻] ต่อพลาสติกชนิด ABS เพียงพอต่อการทำหน้าที่เป็นสาร Depressant ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการศึกษาทั้ง 4 การทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงสัดส่วนของสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับใช้เตรียมสารละลายตัวกลางเพื่อแยกพลาสติกทั้งสองชนิดนี้คือ กำหนดให้ค่า pH มากกว่าหรือเท่ากับ 10, ความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก (ทำหน้าที่เป็นสาร Depressant) เท่ากับ 120 ppm ร่วมกับการใช้น้ำมันสน (ทำหน้าที่เป็นสาร Frother) ความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm โดยประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนดสารละลายตัวกลางที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนดสารละลายตัวกลางที่แตกต่างกัน

ตัวกลางและสภาวะที่ใช้ในการลอยแยก	HIPS		ABS	
	%Recovery	%Grade	%Recovery	%Grade
น้ำ (เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 8 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที)	82.08	44.65	33.60	65.51
น้ำ, กรดแทนนิก 80 ppm, pH เท่ากับ 11 และไม่ใช้น้ำมันสน (เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 8 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที)	81.14	68.02	61.67	76.98
น้ำ, กรดแทนนิก 80 ppm, pH เท่ากับ 11 และใช้น้ำมันสน 30 ppm (เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 8 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที)	80.69	84.65	85.45	81.66
น้ำ, กรดแทนนิก 120 ppm, pH เท่ากับ 11 และใช้น้ำมันสน 30 ppm (เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 8 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที)	83.03	88.32	89.04	84.02

จากตารางที่ 11 แสดงประสิทธิภาพการแยกที่ได้โดยกำหนดให้ตัวกลางที่ใช้ในการลอยแยกมีความแตกต่างกัน แต่กำหนดให้ปัจจัยทางกายภาพอื่นๆคงที่ (เวลาที่ใช้ในการกวน 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก 8 นาที และอัตราการกวน 800 รอบต่อนาที) เพื่อให้ได้สัดส่วนของสารเคมีเพื่อใช้เป็นสารละลายตัวกลางสำหรับกระบวนการลอยแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากตารางพบว่าการใช้ น้ำมันสนร่วมกับกรดแทนนิกความเข้มข้น 120 ppm ที่สภาวะค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11 ให้ประสิทธิภาพการแยกที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอ้างอิง (สภาวะที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว) รวมถึงดีกว่าสภาวะที่มีการเติมสารละลายกรดแทนนิกความเข้มข้นต่ำ (80 ppm) โดยให้ค่า %Recovery ของพลาสติก ABS และ HIPS คิดเป็น 89.04% และ 83.03% ตามลำดับ ในส่วนของ %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS คิดเป็น 84.02% และ 88.32% ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 11 มาแสดงในรูปของกราฟจะแสดงได้ดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 กราฟแสดงประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนดสารละลายตัวกลางที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 56 พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียวให้ประสิทธิภาพการแยกต่ำที่สุดคิดเป็น %Recovery ABS และ HIPS เท่ากับ 33.60% และ 82.08% ตามลำดับ จากนั้นเมื่อมีการใช้สารละลายกรดแทนนิกความเข้มข้น 80 ppm ที่สภาวะค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11 จะพบว่าค่า %Recovery และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน อีกทั้งยังพบว่าการใช้น้ำมันสนร่วมกับการใช้กรดแทนนิกจะเพิ่มประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ให้สูงขึ้นได้เนื่องจากน้ำมันสนที่ทำหน้าที่เป็นสาร Frother นี้ จะช่วยเคลือบฟองอากาศในระบบให้มีความเสถียรมากขึ้น จากนั้นฟองอากาศนี้จะนำพาเม็ดพลาสติกให้สามารถลอยขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้ดีขึ้น และการใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกที่สูงขึ้นเป็น 120 ppm มีส่วนช่วยให้ประสิทธิภาพการลอยแยกดีขึ้นเนื่องจากกรดแทนนิกสามารถแตกตัวในน้ำเกิดเป็นไอออน tannic-[O] ได้อย่างเพียงพอ สำหรับไปจับที่ผิวของเม็ดพลาสติก ABS ให้เกิดสมบัติ Hydrophilic ได้สูงขึ้น ส่งผลให้เม็ดพลาสติก ABS นี้ลอยตัวไปปะปนกับเม็ดพลาสติก HIPS ซึ่งลอยตัวอยู่บนผิวของสารละลายตัวกลางลดลง

อย่างไรก็ตามจากการทดลองที่ผ่านมา สังเกตพบว่าเวลาที่ใช้ในการกววน 5 นาทีและอัตราการกววน 800 รอบต่อนาที ที่กำหนดนั้นเพียงพอสำหรับการทำให้เม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดกระจายตัวได้ทั่วในสารละลายตัวกลาง แต่ปัญหาที่พบจากการทดลองที่ผ่านมาคือส่วนของเวลาที่ใช้ในการลอยแยก เนื่องจากแม้จะให้เวลาส่วนนี้ครบ 8 นาทีแล้วก็ยังพบว่าเม็ดพลาสติกสามารถลอยตัวขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้อีกจำนวนไม่น้อย จึงเป็นที่มาของการศึกษาปัจจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการลอยแยก เพื่อให้ทราบถึงเวลาในการลอยแยกที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการลอยแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้

4.5 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการลอยแยกที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

จากการทดลองที่กำหนดสภาวะ ตามสภาวะอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับการแยกพลาสติกชนิด ABS และ HIPS ของงานวิจัย R.D.Pascoe คือ กำหนดให้ความเข้มข้นของน้ำมันสนเท่ากับ 30 ppm, เวลาที่ใช้ในการกววนเท่ากับ 5 นาที แต่จะกำหนดอัตราการกววนของเครื่อง Flotation เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) และเลือกใช้ค่า pH จากผลการทดลองที่ผ่านมาคือมากกว่าหรือเท่ากับ 10 (ในการทดลองนี้เลือกใช้ค่า pH เท่ากับ 11 เนื่องจากให้ค่า %Recovery ABS และ %Grade HIPS สูงกว่าสภาวะอื่นๆ) ร่วมกับการใช้ค่าความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิก 120 ppm จากผลการทดลองที่ผ่านมา วัตถุประสงค์การทดลองนี้เพื่อต้องการทราบถึงเวลาที่ใช้ในการลอยแยกที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการลอยแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS เนื่องจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า แม้จะครบเวลาลอยแยก 8 นาทีตามงานวิจัยอ้างอิง R.D.Pascoe แล้ว (Pascoe, 2005) ยังพบการลอยตัวของเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดมาบนผิวของสารละลายตัวกลางได้เพิ่มอีก จึงเป็นที่มาของการศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับเวลาส่วนนี้ว่าหากเพิ่มเวลาลอยแยกให้มากขึ้นจะช่วยให้ประสิทธิภาพการแยกเพิ่มหรือลดลงมาน้อยเพียงใด

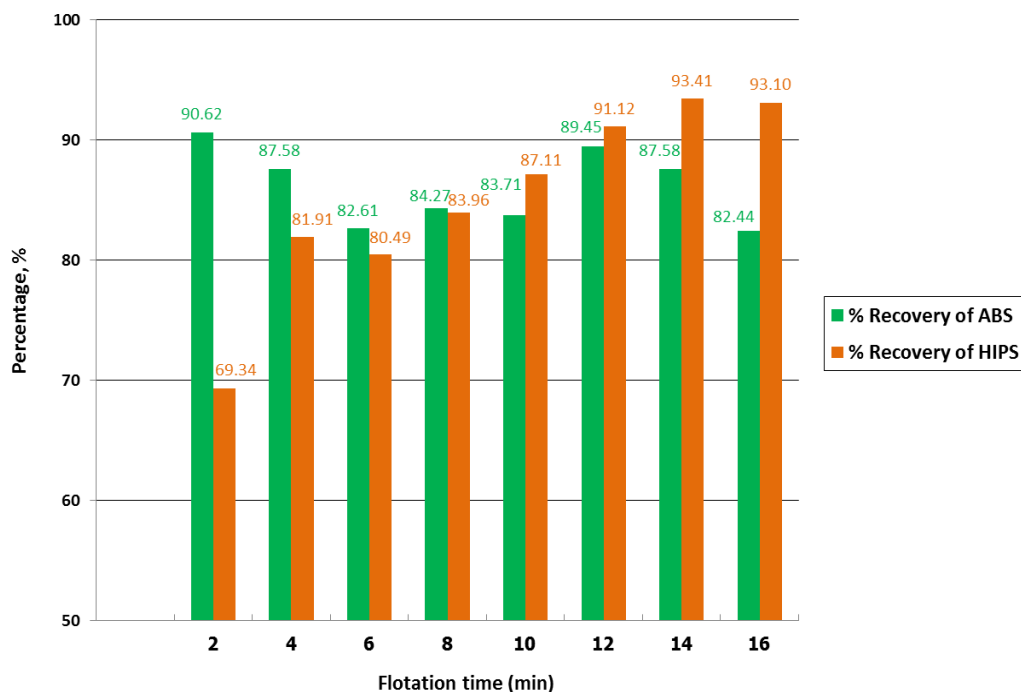
ในการทดลองนี้จะอาศัยสัดส่วนของสารเคมีที่ได้ทำการศึกษาดทดลองที่ผ่านมาแล้วว่าเหมาะสมสำหรับกระบวนการลอยแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้มากที่สุด กล่าวคือกำหนดให้สารละลายกรดแทนนิกมีความเข้มข้น 120 ppm ที่สภาวะค่า pH สารละลายตัวกลางเท่ากับ 11 และใช้น้ำมันสนความเข้มข้น 30 ppm ร่วมกับเวลาที่ใช้ในการกววน 5 นาที และอัตราการกววน 800 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลของเวลาที่ใช้ในการลอยแยกที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก

Flotation time (min)	Float		Sum of float (g)	Sink		Sum of sink (g)	% Recovery of HIPS	% Grade of HIPS	% Recovery of ABS	% Grade of ABS
	HIPS (g)	ABS (g)		HIPS (g)	ABS (g)					
2	33.7	4.7	38.4	14.9	45.4	60.3	69.34	87.76	90.62	75.29
4	41.2	6.2	47.4	9.1	43.7	52.8	81.91	86.92	87.58	82.77
6	39.6	8.4	48.0	9.6	39.9	49.5	80.49	82.50	82.61	80.61
8	42.4	7.8	50.2	8.1	41.8	49.9	83.96	84.46	84.27	83.77
10	41.9	7.9	49.8	6.2	40.6	46.8	87.11	84.14	83.71	86.75
12	44.1	5.2	49.3	4.3	44.1	48.4	91.12	89.45	89.45	91.11
14	46.8	6.2	53.0	3.3	43.7	47.0	93.41	88.30	87.58	92.98
16	45.9	8.8	54.7	3.4	41.3	44.7	93.10	83.91	82.44	92.39

จากตารางที่ 12 พบว่าการให้เวลาลอยแยกน้อยที่สุดคือ 2 นาทีจะมีน้ำหนักของพลาสติก “ส่วนที่ลอย” อยู่ น้อยที่สุด และมีน้ำหนักของพลาสติก “ส่วนที่จม” อยู่มากที่สุดคิดเป็นน้ำหนัก 38.4 กรัม และ 60.3 กรัม ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการลอยแยกมากขึ้นพบว่าแนวโน้มน้ำหนักพลาสติก ส่วนที่ลอยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่น้ำหนักพลาสติกส่วนที่จมนั้นลดลง เนื่องจากเวลาลอยแยกที่เพิ่มขึ้นมานี้ช่วยให้สามารถกวาดเอาเม็ดพลาสติกที่ลอยตัวขึ้นมาบนผิวของสารละลายตัวกลางได้มากขึ้นเรื่อยๆ โดยยังพบอีกว่าพลาสติกส่วนที่ลอยออกมาเพิ่มขึ้นนี้เป็นพลาสติกชนิด HIPS มากกว่าเม็ดพลาสติก ชนิด ABS (พิจารณาจากค่า %Recovery HIPS ที่สูงขึ้นตามเวลาลอยแยกที่มากขึ้น) แต่จากตารางที่ 12 ยังพบอีกว่าการให้เวลาส่วนนี้มากเกินไปจะส่งผลให้เม็ดพลาสติก ABS ลอยตัวขึ้นมาบนผิวของ สารละลายตัวกลางได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน (เกิดการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติก ABS ในส่วนที่ลอยมาก ทำให้ %Grade HIPS ต่ำ) ดังนั้นการจะพิจารณาว่าเวลาลอยแยกใดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการลอยแยกนี้

จึงต้องเลือกเวลาที่ให้ %Recovery HIPS และ %Recovery ABS ที่มีค่าสูงอีก ทั้งต้องมีการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติก ABS ออกมากับพลาสติกส่วนที่ลอยน้อยที่สุด เพื่อให้ได้ค่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดสูงด้วยเช่นกัน โดยเริ่มพิจารณาจากค่า %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดดังแสดงตามภาพที่ 57

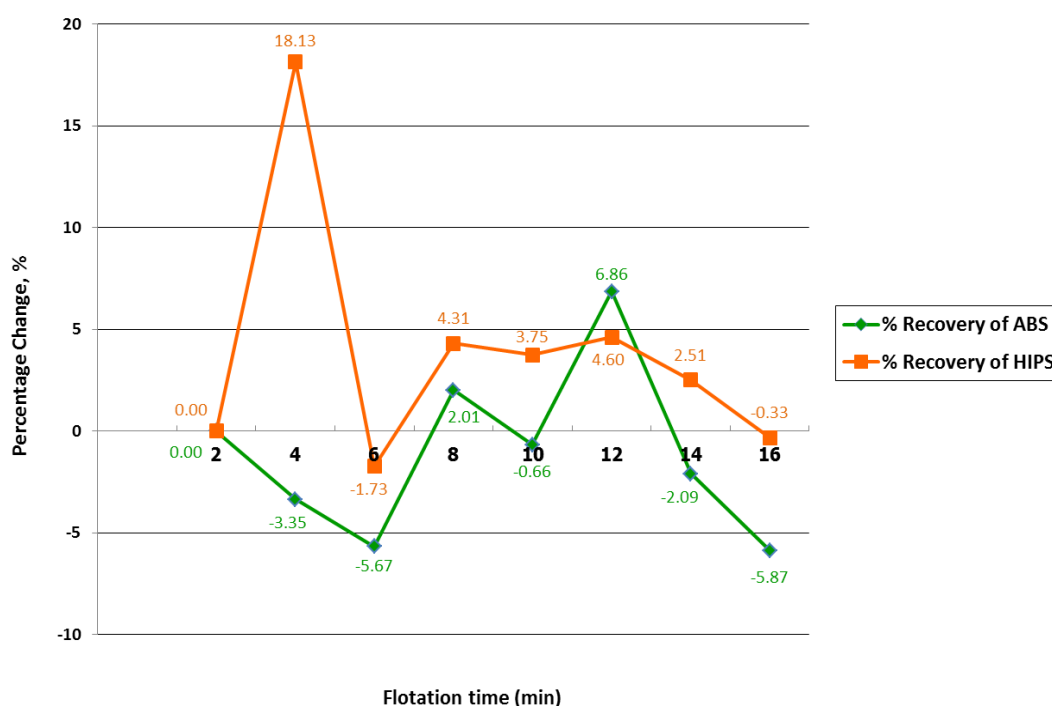


ภาพที่ 57 กราฟแท่งแสดง %Recovery ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการลอยแยก

จากภาพที่ 57 พบว่า %Recovery ของพลาสติก HIPS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการลอยแยก โดยพบว่าที่สภาวะแรกเวลาลอยแยก 2 นาที จะได้ค่า %Recovery HIPS เท่ากับ 69.34% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 81.91%, 80.49%, 83.96%, 87.11% และ 91.12% ที่สภาวะเวลาลอยแยก 4, 6, 8, 10 และ 12 นาที ตามลำดับ โดย %Recovery HIPS ตามภาพที่ 57 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 93.41 % ที่สภาวะเวลาลอยแยก 14 นาที สาเหตุที่ %Recovery HIPS สูงขึ้นเมื่อให้เวลาลอยแยกมากขึ้น เนื่องจากมีเวลาในการกวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยบนผิวของสารละลายตัวกลางที่สูงขึ้น อีกทั้งพลาสติกส่วนที่ลอยนี้ส่วนมากเป็นพลาสติกชนิด HIPS เนื่องจากพื้นผิวยังคงสมบัติ Hydrophobic ไม่ถูกเปลี่ยนให้เกิดสมบัติ Hydrophilic ดังเช่นพลาสติกชนิด ABS ในขณะที่ส่วนของ %Recovery ABS ที่มีค่าสูงสุดเมื่อให้เวลาลอยแยกน้อยที่สุดคือ 2 นาที คิดเป็น 90.62% เนื่องจากเวลาลอยแยกที่น้อยเกินไปทำให้มีเวลาสำหรับกวาดเอาเม็ดพลาสติกส่วนที่ลอยออกจากระบบน้อย จึงเหลือเป็นพลาสติกทั้งสองชนิดปะปนกันอยู่ในส่วนที่จมมากกว่า โดยพบว่า การให้เวลาลอยแยก

ที่สูงขึ้นส่งผลให้ %Recovery ABS ลดลงเหลือ 87.58% และ 82.61% ที่เวลาลอยแยก 4 และ 6 นาที ตามลำดับ จากนั้น %Recovery ABS ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในสภาวะเวลาลอยแยก 8, 10, 12, 14 และ 16 นาที โดยคิดเป็น 84.27%, 83.37%, 89.45%, 87.56% และ 82.44% ตามลำดับ เนื่องจาก การให้เวลาลอยแยกที่สูงขึ้นไม่ได้ส่งผลให้เม็ดพลาสติก ABS จมตัวได้สูงขึ้นโดยตรง แต่มีส่วนช่วยให้ เม็ดพลาสติก ABS บางส่วนที่ยังคงกระจายตัวอยู่ในสารละลายตัวกลางสามารถได้รับอิทธิพลจากสาร Depressant (กรดแทนนิก) ได้ทั่วถึงมากขึ้นจึงเกิดการจมตัวของเม็ดพลาสติก ABS ลงสู่ก้นของเซลล์ ลอยแยกสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากให้เวลาลอยแยกที่สูงเกินไปเม็ดพลาสติก ABS ที่เดิมจมตัวอยู่แล้ว ก็อาจกระจายตัวขึ้นมาบนผิวของสารละลายตัวกลางได้อีกครั้ง

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากกราฟเส้นภาพที่ 58 เพิ่มเติม เพื่อใช้ในการบอกถึงค่า %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเพียงใด หากเปรียบเทียบกับ เวลาลอยแยกที่เพิ่มมากขึ้น เพราะเวลาลอยแยกที่มากเกินไปอาจเกินความจำเป็น เนื่องจากให้ส่วน ต่างของค่า %Recovery เพียงเล็กน้อย

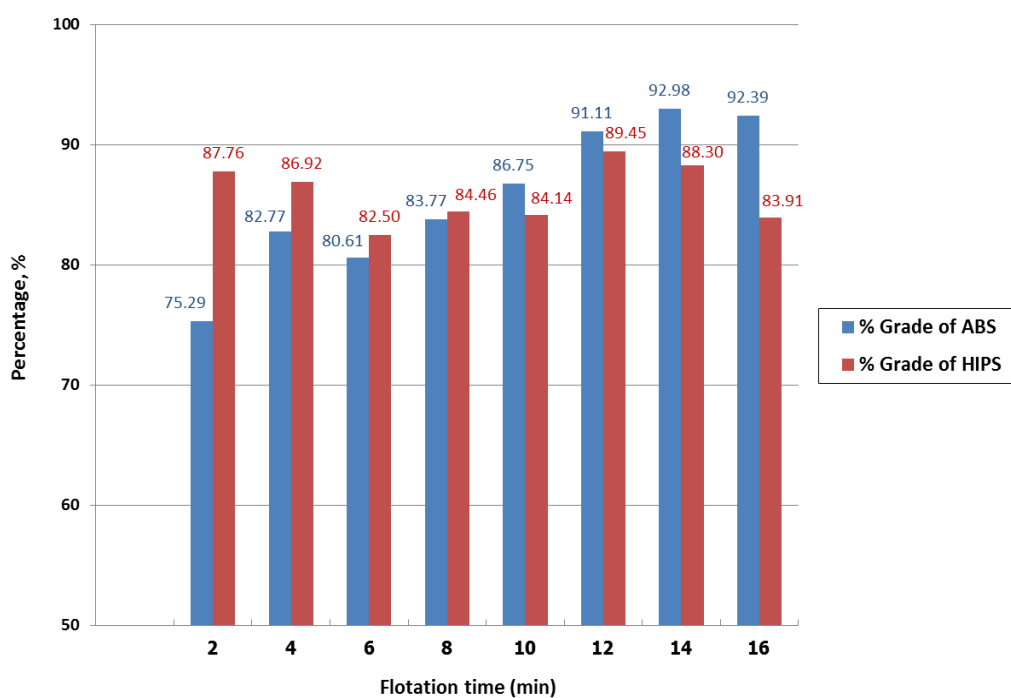


ภาพที่ 58 กราฟเส้นแสดง %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อ เพิ่มเวลาที่ใช้ในการลอยแยก

จากภาพที่ 58 พบว่าการให้เวลาลอยแยกมากกว่าหรือเท่ากับ 8 นาทีขึ้นไป สามารถเพิ่มค่า %Recovery ของพลาสติกทั้งสองชนิดได้เนื่องจากเป็นเวลาที่เพียงพอให้ฟองอากาศสามารถเข้าไป ล้อมรอบเม็ดพลาสติก HIPS เพื่อนำพาให้ขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้อย่างทั่วถึง ในขณะเดียวกัน

เม็ดพลาสติก ABS ก็จะถูกอิทธิพลของกรดแทนนิกที่ทำหน้าที่เป็นสาร Depressant ซึ่งจะป้องกันการเกาะตัวของฟองอากาศบนผิวเม็ดพลาสติก ABS จึงพบว่าพลาสติก ABS ลอยตัวไปปะปนกับพลาสติกส่วนที่ลอยลดลง และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า %Recovery เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาลอยแยกที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับการเพิ่มเวลาลอยแยกจาก 10 นาที เป็น 12 นาที โดยพบว่าที่เวลาลอยแยก 12 นาที ค่า %Recovery ABS มีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็น 6.86% (เปรียบเทียบกับเวลาลอยแยก 10 นาที) ส่วนค่า %Recovery HIPS มีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็น 4.60% (เปรียบเทียบกับเวลาลอยแยก 10 นาที)

ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้ตามภาพที่ 58 สามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมสำหรับการลอยแยกเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้คือเวลา 12 นาที เพราะแม้จะเพิ่มเวลาเป็น 14 หรือ 16 นาทีก็พบว่าค่า %Recovery ของพลาสติก ABS มีแนวโน้มที่ลดลง อย่างไรก็ตามก็จำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลในส่วนของ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดประกอบด้วยซึ่งแสดงตามภาพที่ 59

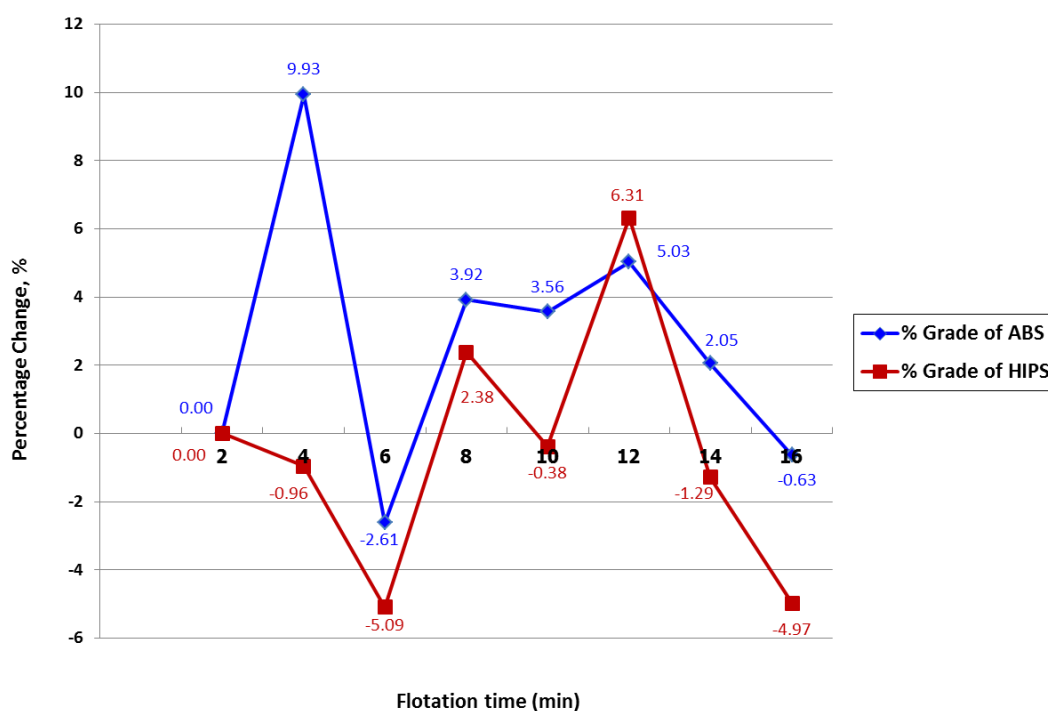


ภาพที่ 59 กราฟแท่งแสดง %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ที่ได้จากการลอยแยก โดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการลอยแยก

จากภาพที่ 59 พบว่า %Grade ของพลาสติก ABS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการลอยแยก โดยพบว่าที่สภาวะแรกเวลาลอยแยก 2 นาที จะได้ค่า %Grade ABS เท่ากับ 75.29% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 82.77%, 80.61%, 83.77%, 86.75% และ 91.11% ที่สภาวะเวลาลอยแยก 4, 6, 8, 10 และ 12 นาที ตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 92.98% ที่สภาวะเวลาลอยแยก 14 นาที สาเหตุที่ค่า %Grade ABS มีค่าสูงขึ้นเมื่อให้เวลาลอยแยกมากขึ้นเนื่องจาก

เม็ดพลาสติก HIPS สามารถลอยตัวไปที่ผิวของสารละลายตัวกลางได้อย่างเต็มที่ ทำให้เหลือเม็ดพลาสติก HIPS ปะปนกับเม็ดพลาสติก “ส่วนที่จม” ลดลง แต่หากให้เวลาการลอยแยกนี้มากเกินไปก็จะส่งผลให้เม็ดพลาสติก ABS ซึ่งควรจะจมอยู่กับของเซลล์ลอยแยกทั้งหมด กลับขึ้นมากระจายตัวบริเวณภายในสารละลายตัวกลาง รวมถึงบริเวณผิวของสารละลายตัวกลางได้อีกครั้ง ส่งผลให้เมื่อกวาดเอาพลาสติก “ส่วนที่ลอย” ออกจากระบบจึงพบการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติก ABS ที่มากขึ้นทำให้ได้ค่า %Grade HIPS ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น โดยจากภาพที่ 59 พบว่าเวลาลอยแยก 12 นาทีจะให้ค่า %Grade HIPS ที่สูงที่สุดคิดเป็น 89.45%

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากกราฟเส้นภาพที่ 60 เพิ่มเติม เพื่อใช้ในการบอกถึงค่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมาเพียงน้อยนิด หากเปรียบเทียบกับเวลาลอยแยกที่เพิ่มมากขึ้น เพราะเวลาลอยแยกที่มากเกินไปอาจเกินความจำเป็น เนื่องจากให้ส่วนต่างของค่า %Grade เพียงเล็กน้อย



ภาพที่ 60 กราฟเส้นแสดง %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการลอยแยก

จากภาพที่ 60 พบว่าการให้เวลาที่ใช้ในการลอยแยกมากกว่าหรือเท่ากับ 8 นาทีขึ้นไปสามารถเพิ่มค่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดได้ เนื่องจากเป็นเวลาที่เพียงพอสำหรับการเคลือบผิวเม็ดพลาสติก HIPS ด้วยฟองอากาศแล้วลอยตัวขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลาง เช่นเดียวกับการเคลือบผิวเม็ดพลาสติก ABS ด้วยสาร Depressant (กรดแทนนิก) เพื่อจะจมตัวลงสู่ก้นของเซลล์ลอยแยก

โดยหากมีการปนเปื้อนของเม็ดพลาสติก HIPS อยู่ในส่วนที่จมน้อยก็จะได้ค่า %Grade ABS ที่สูง เช่นเดียวกับหากมีเม็ดพลาสติก ABS ปนเปื้อนอยู่ในส่วนที่ลอยน้อยก็จะได้ค่า %Grade HIPS ที่สูง โดยพบว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดของค่า %Grade ABS และ %Grade HIPS ที่เวลาลอยแยก 12 นาที คิดเป็นส่วนต่าง 5.03 % และ 6.31% ตามลำดับ (เปรียบเทียบกับเวลาลอยแยก 10 นาที)

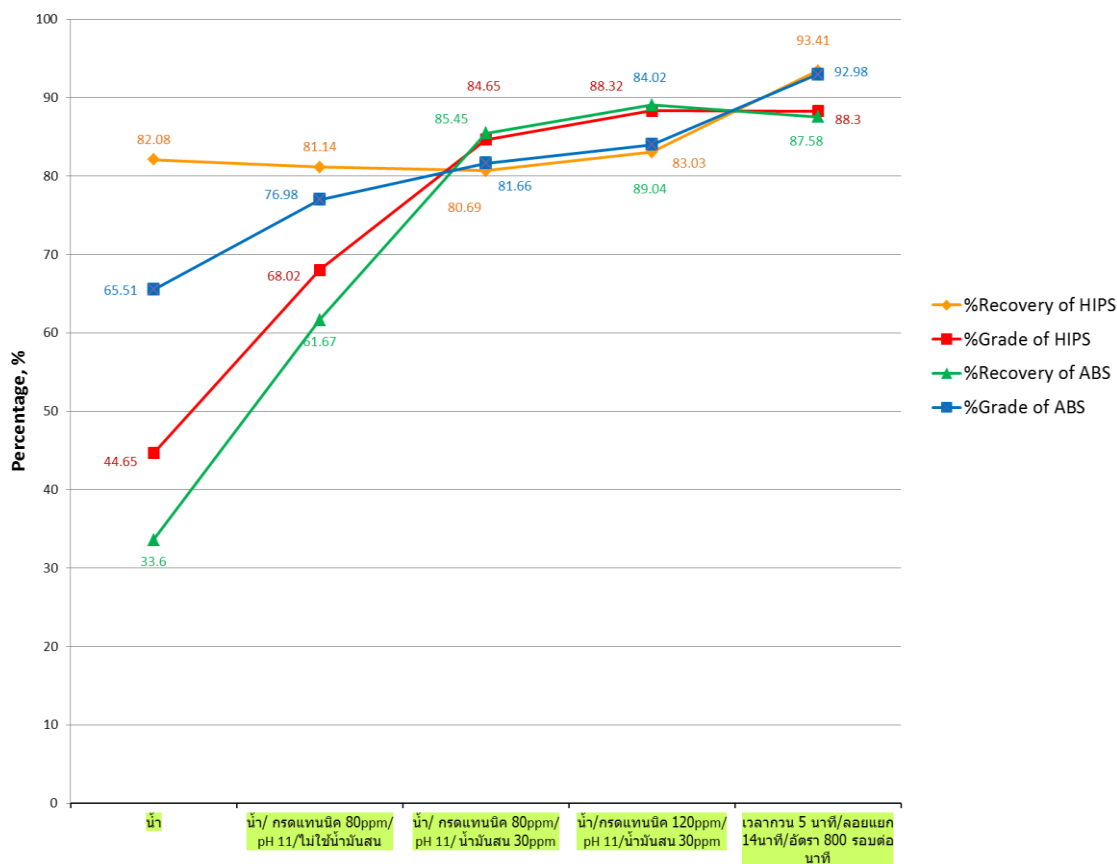
เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณารูปภาพที่ 57 ร่วมกับภาพที่ 58, 59 และ 60 จะสามารถเลือกใช้เวลาที่ใช้ในการลอยแยกที่เหมาะสมสำหรับการลอยแยกพลาสติกทั้งสองชนิดนี้คือเท่ากับ 12 นาที เนื่องจากให้ประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้อยู่ในระดับที่ให้ค่ามากกว่าการทดลองที่ผ่านมา คือให้ %Recovery และ %Grade ของ HIPS เท่ากับ 91.12% และ 89.45% ตามลำดับ ในส่วนของ ABS ให้ %Recovery และ %Grade ของ ABS เท่ากับ 89.45% และ 91.11% ตามลำดับ

4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลอยแยกเม็ดพลาสติกระหว่างชนิด ABS และ HIPS จากปัจจัยต่างๆ

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงสัดส่วนของสารเคมีที่เหมาะสมรวมถึงสภาวะที่ใช้ในการลอยแยกที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก คือกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิก (ทำหน้าที่เป็นสาร Depressant) เท่ากับ 120 ppm กำหนดให้ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11 ร่วมกับการใช้น้ำมันสน (ทำหน้าที่เป็นสาร Frother) ความเข้มข้น 30 ppm โดยประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนดสารละลายตัวกลางและสภาวะที่ใช้ในการลอยแยกที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 13 และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 13 มาแสดงผลในรูปแบบของกราฟเส้นจะแสดงได้ดังภาพที่ 61

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนดสารละลายตัวกลาง และสภาวะที่ใช้ในการลอยแยกที่แตกต่างกัน

ตัวกลางและสภาวะที่ใช้ในการลอยแยก	HIPS		ABS	
	%Recovery	%Grade	%Recovery	%Grade
น้ำ (เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 8 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที)	82.08	44.65	33.60	65.51
น้ำ, กรดแทนนิก 80 ppm, pH เท่ากับ 11 และไม่ใช้น้ำมันสน (เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 8 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที)	81.14	68.02	61.67	76.98
น้ำ, กรดแทนนิก 80 ppm, pH เท่ากับ 11 และใช้น้ำมันสน 30 ppm (เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 8 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที)	80.69	84.65	85.45	81.66
น้ำ, กรดแทนนิก 120 ppm, pH เท่ากับ 11 และใช้น้ำมันสน 30 ppm (เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 8 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที)	83.03	88.32	89.04	84.02
เวลากวน 5 นาที, ลอยแยก 12 นาที และอัตราการกวน 800 รอบต่อนาที (น้ำ, กรดแทนนิก 120 ppm, pH เท่ากับ 11 และใช้น้ำมันสน 30 ppm)	91.12	89.45	89.45	91.11



ภาพที่ 61 กราฟแท่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS จากการกำหนดสารละลายตัวกลางและสภาวะที่ใช้ในการลอยแยกที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 61 แสดงประสิทธิภาพการแยกที่ได้ทั้งหมดจากงานวิจัยนี้ โดยมีการเพิ่มเติมจากตารางที่ 11 เฉพาะสภาวะสุดท้ายซึ่งเพิ่มเวลาที่ใช้ในการลอยแยกจาก 8 นาที เป็น 12 นาที พบว่าประสิทธิภาพการแยกที่ได้จากสภาวะสุดท้ายนี้ให้ค่าสูงสุดทั้ง %Recovery และ %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิด ดังนั้นจึงทำให้ทราบถึงสัดส่วนของสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับเติมลงไปใต้น้ำสะอาดเพื่อเตรียมสารละลายตัวกลาง ว่าควรใช้สารละลายกรดแทนนิกความเข้มข้น 120 ppm, น้ำมันสนความเข้มข้น 30 ppm ร่วมกับการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อกำหนดให้ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11 ในส่วนของปัจจัยทางกายภาพสำหรับการลอยแยกเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ควรกำหนดให้ใช้เวลาในการถน 5 นาที, อัตราการถน 800 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เพียงพอสำหรับการกระจายตัวอย่างทั่วถึงของเม็ดพลาสติกภายในสารละลายตัวกลาง ร่วมกันกับการใช้เวลาลอยแยกเท่ากับ 12 นาที เพื่อให้เม็ดพลาสติก HIPS ถูกล้อมรอบด้วยฟองอากาศ และเม็ดพลาสติก ABS ถูกล้อมรอบด้วยสาร Depressant ได้อย่างทั่วถึง โดยเมื่อกำหนดสภาวะดังกล่าวนี้ จะได้ค่า %Recovery ของ ABS และ HIPS เท่ากับ 89.45% และ 91.12% ตามลำดับ ในส่วนของ %Grade ของ ABS และ HIPS มีค่าเท่ากับ 91.11% และ 89.45% ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยการคัดแยกเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS โดยใช้เทคนิคการลอยแยกครั้งนี้ได้ทำการศึกษาทดลองปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการลอยแยกของเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิด โดยกำหนดสภาวะจากงานวิจัยอ้างอิงของ R.D.Pascoe คือ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm , ความเข้มข้นของน้ำมันสนเท่ากับ 30 ppm, ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11, เวลาที่ใช้ในการกวน (Conditioning time) 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time) 8 นาที แต่จะกำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation (Rotation Speed) เท่ากับ 800 รอบต่อนาที แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe (120 รอบต่อนาที) และตัวอย่างพลาสติกทั้งสองชนิดจะใช้เป็นเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์จากบริษัท บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) โดยเป็นเม็ดพลาสติก ABS เกรด GA300 และเม็ดพลาสติก HIPS เกรด HI650 มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร แตกต่างจากงานวิจัยของ R.D.Pascoe ที่ใช้แผ่นพลาสติกที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร มาตัดให้เป็นขนาด 5 × 5, 5 × 10 และ 10 × 10 มิลลิเมตร ในแต่ละการทดลองใช้ตัวอย่างเม็ดพลาสติกชนิด ABS และ HIPS อย่างละ 50 กรัมเท่ากันทุกสภาวะ ทดลองในเซลล์ลอยแยก (Flotation cell) ที่มีปริมาตรสารละลาย 5 ลิตร ท้ายที่สุดทำการวัดประสิทธิภาพการลอยแยกที่ได้จากค่า % Recovery และ % Grade ของเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิด

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียวในการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก ทำให้ทราบถึงสภาวะอ้างอิงที่ไม่มีการเติมสารเคมีใดๆลงไปในน้ำเลยพบว่าผลของการลอยแยกของเม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดเกิดได้ไม่ดี ประสิทธิภาพการแยกที่ได้คือ %Recovery ของพลาสติก ABS และ HIPS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.60% และ 82.08% ตามลำดับ ในส่วนของ %Grade ของพลาสติก ABS และ HIPS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.51% และ 44.65% ตามลำดับ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการลอยแยก ด้วยการเติมสาร Depressant คือกรดแทนนิก, การเติมสาร Frother คือน้ำมันสน, การปรับค่า pH ของสารละลายตัวกลาง และการปรับเวลาที่ใช้ในการลอยแยก (Flotation time)

5.1.2 การศึกษาอิทธิพลของกรดแทนนิกที่มีต่อการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยก ทำให้ทราบถึงสภาวะอ้างอิงกรณีที่กำหนดสภาวะตามงานวิจัย R.D.Pascoe คือกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm, ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11, เวลาที่ใช้ในการกวน 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก 8 นาที และกำหนดอัตราการกวนของเครื่อง Flotation 800 รอบต่อนาที พบว่าประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ

การใช้น้ำเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า %Grade ของพลาสติกทั้งสองชนิดนี้ที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน ประสิทธิภาพการแยกที่ได้คือ %Recovery ของพลาสติก ABS และ HIPS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.67% และ 81.14% ตามลำดับ ในส่วนของ %Grade ของพลาสติก ABS และ HIPS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.98% และ 68.02% ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 80% เนื่องจากมีการปนเปื้อนของพลาสติก ABS อยู่ในส่วนที่ลอยอยู่มาก เช่นเดียวกับมีการปนเปื้อนของพลาสติก HIPS ในส่วนที่จมอยู่มาก สาเหตุหนึ่งเกิดจากพลาสติก HIPS ที่ถูกฟองอากาศล้อมรอบไม่สามารถลอยขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากฟองอากาศไม่มีความเสถียรเพียงพอที่จะนำพาให้เม็ดพลาสติกลอยจากส่วนล่างของเซลล์ลอยแยกขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงจำเป็นต้องใช้สารเคลือบฟองอากาศ (Frother) เพื่อช่วยให้ฟองอากาศในระบบมีความเหนียวและเสถียรเพียงพอสำหรับการนำพาพลาสติกขึ้นสู่ผิวของสารละลายตัวกลางได้ โดยในการวิจัยนี้เลือกใช้น้ำมันสน (Pine Oil) เป็นสารเคลือบฟองอากาศ กำหนดความเข้มข้นน้ำมันสนตามงานวิจัยอ้างอิง R.D.Pascoe คือ 30 ppm เท่ากันหมดทุกสภาวะ ร่วมกับการศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่า pH ของสารละลายตัวกลาง, ความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิก รวมถึงเวลาที่ใช้ในการลอยแยก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการแยกพลาสติกทั้งสองชนิดนี้

5.1.3 ค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสม ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกคือ pH มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10 แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่า pH เท่ากับ 11 เนื่องจากเป็นค่า pH ที่ให้ค่า %Recovery ABS และ %Grade HIPS สูงที่สุดคิดเป็น 85.45% และ 84.65 % ตามลำดับ แม้ค่า %Recovery HIPS และ %Grade ABS ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าสภาวะ pH เท่ากับ 14 แต่ก็มีส่วนต่างเพียงเล็กน้อย อีกทั้งการใช้ค่า pH ของสารละลายตัวกลางที่สูงมากจำเป็นต้องใช้น้ำสะอาดในขั้นตอนการล้างสารละลายตัวกลางออกจากเม็ดพลาสติกซ้ำหลายครั้งเพื่อให้ได้เม็ดพลาสติกสะอาดก่อนนำไปโบลั่วความชื้นในขั้นตอนต่อไป ประสิทธิภาพการแยกที่ได้เมื่อกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 80 ppm, ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11, เวลาที่ใช้ในการกรวน 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก 8 นาที, อัตราการกรวนของเครื่อง Flotation 800 รอบต่อนาที และใช้น้ำมันสนความเข้มข้น 30 ppm คิดเป็น %Recovery ของพลาสติก ABS และ HIPS มีค่าเท่ากับ 85.45% และ 80.69% ตามลำดับ ในส่วนของ %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS มีค่าเท่ากับ 81.66% และ 84.65% ตามลำดับ

5.1.4 ความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง ABS และ HIPS ด้วยเทคนิคการลอยแยกคือ 120 ppm เนื่องจากกรดแทนนิกสามารถแตกตัวในน้ำเกิดเป็นไอออน tannic-[O⁻] ได้อย่างเพียงพอสำหรับไปจับที่ผิวของเม็ดพลาสติก ABS ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชัน Acrylonitrile group อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลเกิดสมบัติ Hydrophilic ได้มากขึ้น ส่งผลให้มีสัดส่วนของพลาสติก ABS อยู่ในส่วนที่จมสูงขึ้น ประสิทธิภาพการแยกที่ได้เมื่อกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 120 ppm, ค่า pH ของสารละลายตัวกลางเท่ากับ 11, เวลาที่ใช้ในการกรวน 5 นาที, เวลาที่ใช้ในการลอยแยก 8 นาที, อัตราการกรวนของเครื่อง Flotation 800 รอบต่อนาที และใช้น้ำมันสนความเข้มข้น 30 ppm คิดเป็น %Recovery ของพลาสติก ABS

และ HIPS มีค่าเท่ากับ 89.04% และ 83.03% ตามลำดับ ในส่วนของ %Grade ของเม็ดพลาสติก ABS และ HIPS มีค่าเท่ากับ 84.02% และ 88.32% ตามลำดับ

5.1.5 ปัจจัยทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับการลอยแยกเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ควรกำหนดให้ใช้เวลาในการกวน 5 นาที, อัตราการกวน 800 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เพียงพอสำหรับการกระจายตัวอย่างทั่วถึงของเม็ดพลาสติกภายในสารละลายตัวกลาง ร่วมกันกับการใช้เวลาลอยแยกเท่ากับ 12 นาที เพื่อให้เม็ดพลาสติก HIPS ถูกล้อมรอบด้วยฟองอากาศ และเม็ดพลาสติก ABS ถูกล้อมรอบด้วยสาร Depressant ได้อย่างทั่วถึง โดยเมื่อกำหนดสภาวะดังกล่าวนี้ จะได้ค่า %Recovery ของ ABS และ HIPS มีค่าเท่ากับ 89.45% และ 91.12% ตามลำดับ ในส่วนของ % Grade ของ ABS และ HIPS มีค่าเท่ากับ 91.11% และ 89.45% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาสภาวะที่ได้จากการทดลองทั้งหมดจากการวิจัยนี้ จะสามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง ABS และ HIPS โดยใช้เทคนิคการลอยแยกได้ดังนี้

- (1) กำหนดให้ค่า pH ของสารละลายตัวกลางมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10
- (2) กำหนดความเข้มข้นสารละลายกรดแทนนิกเท่ากับ 120 ppm
- (3) กำหนดเวลาที่ใช้ในการกวนเท่ากับ 5 นาที
- (4) กำหนดเวลาที่ใช้ในการลอยแยกเท่ากับ 12 นาที
- (5) กำหนดอัตราการกวนเท่ากับ 800 รอบต่อนาที

เมื่อกำหนดสภาวะตามนี้แล้วจะให้ประสิทธิภาพการแยกอยู่ระดับที่สูงขึ้นจากสภาวะอ้างอิง โดยส่วนของ ABS ให้ % Recovery และ %Grade เท่ากับ 89.45% และ 91.11% ตามลำดับ และส่วนของ HIPS ให้ % Recovery และ %Grade เท่ากับ 91.12% และ 89.45% ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 พลาสติกที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองเป็นเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปหรือใช้สารปรับปรุงสมบัติใดๆ ซึ่งแตกต่างจากพลาสติกที่ใช้จริงในผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่ตัวอย่างเป็นพลาสติกที่ใช้งานทั่วไป

5.2.2 เครื่อง Flotation ที่ใช้ในการทดลองนี้ มีข้อจำกัดสำหรับปริมาณของสารละลายตัวกลางไม่เกิน 5 ลิตร ส่งผลให้ปริมาณพลาสติกตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแยกทำได้ในปริมาณที่น้อย ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม จึงควรนำสภาวะที่ศึกษาได้นี้ประยุกต์สำหรับเครื่อง Flotation ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

5.2.3 เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงวิชาการ จึงกำหนดให้ตัวอย่างเม็ดพลาสติกที่ใช้ในแต่ละการทดลอง (Feed) มีสัดส่วนเท่ากันทั้งหมดคือเม็ดพลาสติก ABS 50 กรัม ผสมกับเม็ดพลาสติก HIPS 50 กรัม เพื่อสะดวกต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกแต่ละสภาวะ แต่ในทางปฏิบัติจริง

นั้นไม่อาจทราบถึงสัดส่วนของตัวอย่างพลาสติกที่จะนำมาแยกได้ ดังนั้นหากต้องการประยุกต์สภาวะที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปใช้จริงในระดับอุตสาหกรรม จึงควรปรับปรุงสภาวะให้เหมาะสมกับสัดส่วนของตัวอย่างพลาสติก (Feed)

5.2.4 การคัดแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่าง ABS และ HIPS โดยใช้เทคนิคการลอยแยกในงานวิจัยนี้เป็นการลอยแยกเพียงรอบเดียวต่อหนึ่งสภาวะ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการลอยแยกซ้ำเพื่อช่วยให้พลาสติกที่ผ่านกระบวนการลอยแยกมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น อันจะส่งผลดีต่อกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกต่อไป

5.2.5 กระบวนการลอยแยกในงานวิจัยนี้กำหนดให้เวลาที่ใช้ในการกวนเท่ากับ 5 นาที และกำหนดให้อัตราการกวนเท่ากับ 800 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เพียงพอสำหรับการกระจายตัวอย่างทั่วถึงของเม็ดพลาสติกภายในสารละลายตัวกลาง แต่หากเป็นเครื่องลอยแยกที่สามารถบรรจุปริมาตรของสารละลายตัวกลางรวมถึงปริมาณของตัวอย่างพลาสติกที่สูงมากขึ้น จำเป็นต้องปรับเวลาที่ใช้ในการกวนหรืออัตราการกวนให้สูงขึ้น เพื่อให้พลาสติกผสมเกิดการกระจายตัวภายในสารละลายตัวกลางได้อย่างสมบูรณ์ แต่ก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับอัตราการกวนที่มากเกินไป อาจทำให้ผิวของสารละลายตัวกลางบริเวณใกล้กับแกนหมุนมีระดับที่ต่ำกว่าผิวของสารละลายตัวกลางบริเวณรอบนอก (สารละลายตัวกลางเกิดปรากฏการณ์หมุนแบบ Vortex) ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถกวาดเอาพลาสติกที่ลอยขึ้นบนผิวของสารละลายตัวกลางได้อย่างสม่ำเสมอ

รายการอ้างอิง

- Fraunholz, N. (1997). *Plastics flotation*. (Ph.D. thesis), Delft University of Technology.
- Granowski, W. (2014). A typical air wash separator. Retrieved 21 March 2014, 2014, from <http://www.granowski.com.au/Equipment/Abrasive-Cleaning-and-Recycling.aspx>
- Haith Group. (2014). Sink Float Tanks. Retrieved 11 March 2014, 2014, from http://www.haith-recycling.com/sink_float_tank_stone_separation_de-stoning.html
- Huiting, S., Forssberg, E., & Pugh, R. J. (2001). Selective flotation separation of plastics by particle control. *Resources, Conservation and Recycling*, 33(2001), 37–50.
- Padleckas, H. (2005). Monomers in ABS polymer. *ABS resin formula*. Retrieved 13 March 2014, 2014, from http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ABS_resin_formula.PNG
- Pascoe, R. D. (2005). The use of selective depressants for the separation of ABS and HIPS by froth flotation. *Minerals Engineering*, 18(2), 233-237. doi: 10.1016/j.mineng.2004.07.006
- Pascoe, R. D. (2006). Investigation of hydrocyclones for the separation of shredded fridge plastics. *Waste Manag*, 26(10), 1126-1132. doi: 10.1016/j.wasman.2005.06.017
- Pongstabodee, S., Kunachitpimol, N., & Damronglerd, S. (2008). Combination of three-stage sink-float method and selective flotation technique for separation of mixed post-consumer plastic waste. *Waste Manag*, 28(3), 475-483. doi: 10.1016/j.wasman.2007.03.005
- RSC Group. (2014). Making the active ingredient soluble. Retrieved 19 March 2014, 2014, from <http://www.rsc.org/learn-chemistry/resources/chemistry-in-your-cupboard/dettol/8>
- Saisinchai, S. (2014). Separation of PVC from PET/PVC Mixtures Using Flotation by Calcium Lignosulfonate Depressant. *ENGINEERING JOURNAL*, 18(1), 46-53. doi: 10.4186/ej.2014.18.1.45
- The Merck Index. (2013). Tannic acid. Retrieved 11 March 2014, 2014, from http://en.wikipedia.org/wiki/Tannic_acid
- จุฑารัตน์ ป้อมจตุรัส. (2549). ผลและกลไกของสารเติมแต่งบางชนิดในการลอยแร่สังกะสี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่
- นริศรา จิตรระกูลชัย. (2549). การตัดแยก ABS และ HIPS ด้วยกระบวนการ *Froth Flotation* ที่ใช้ *Surfactant*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ
- บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน). (2554). SAFETY DATA SHEET (HIPS). In I. A. w. r. r. G. SDS (Ed.), (pp. 1-4). กรุงเทพฯ
- บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน). (2556). SAFETY DATA SHEET (ABS). In I. A. w. t. r. e. o. GHS (Ed.), (pp. 1-4). กรุงเทพฯ.

- บวรกิตต์ เนคมานุรักษ์. (2549). การออกแบบระบบการแยกพลาสติก *HIPS* และ *ABS* ที่ใช้ในเทคนิค *Froth Flotation*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. (2545). พลาสติก. กรุงเทพฯ: ป.สัมพันธ์พาณิชย์.
- ภิญโญ มีชำนะ. (2553). เอกสารประกอบการบรรยายวิชา *MINERAL AND PROCESS ENGINEERING*. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มีนา เหล่าหะเกียรติ. (2552). ข้อจำกัดด้านกฎหมายต่อการประกอบธุรกิจจัดการพลาสติกเหลือใช้. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. (164)
- รัตน์ชัย พงศ์ศิริประภา. (2549). การแยกเม็ดพลาสติกผสมระหว่างโพลีโพรไพลีน โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยเทคนิคการลอยแยก. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด. (2555a). Pine oil (Commercial Grade). กรุงเทพฯ.
- บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด. (2555b). Tannic acid (Food Grade). กรุงเทพฯ.
- สุภาสินี ลิ้มปานภาพ ชีท. (2554). เอกสารประกอบการสอน วัสดุศาสตร์ขั้นแนะนำ (*Introduction to Materials Science*) (pp. 167-187).
- อรรถพล รัตน์นะ. (2552). การออกแบบและสร้างเครื่องแยกพลาสติกกรีไซเคิลโดยใช้หลักการแยกความหนาแน่น. (ปริญญาโทมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอัจฉริย์ กรมเมือง เกิดวันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2553

ปัจจุบันได้เข้ารับการศึกษาคือต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY