

การคัดแยกขยะพลาสติกผสมโดยประยุกต์วิธีโม่ถ่วงและซีเล็กทีฟโฟลเทชันในคอลัมน์แบบกึ่งต่อเนื่อง



นายธงชัย เถกิงศักดิ์กุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

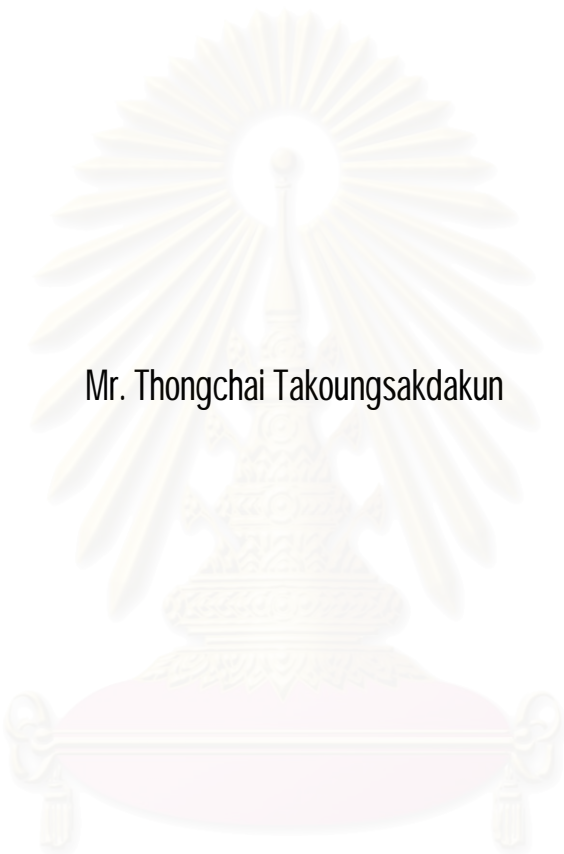
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2192-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF WASTE PLASTIC MIXTURE BY APPLYING GRAVITY METHOD AND SELECTIVE  
FLOTATION IN SEMI-CONTINUOUS COLUMN



Mr. Thongchai Takoungsakdakun

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

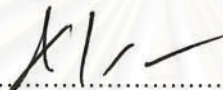
Academic Year 2005

ISBN 974-14-2192-3


หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การคัดแยกขยะพลาสติกผสม โดยประยุกต์วิธี โน้มถ่วงและซีเล็กทีฟ  
โพลเทชันในคอลัมน์แบบกึ่งต่อเนื่อง  
โดย    นายธงชัย เกกิงศักดิ์ากุล  
สาขาวิชา                                      เคมีเทคนิค  
อาจารย์ที่ปรึกษา                              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาปติ

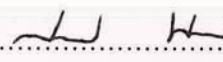
---

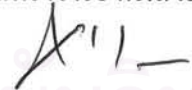
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....  ..... รักษาการราชการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชราพงษ์ วิทิตสานต์)  
รองคณบดีฝ่ายบริหาร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรหม ประศาสน์สารกิจ)

.....  ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาปติ)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชราพงษ์ วิทิตสานต์)

.....  ..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ พังวิวัฒน์)

ธงชัย เถกิงศักดิ์ดากุล : การคัดแยกขยะพลาสติกผสมโดยประยุกต์วิธี โน้มถ่วงและ  
ซีเล็กทีฟโฟลเทชันในคอลัมน์แบบกึ่งต่อเนื่อง (SEPARATION OF WASTE PLASTIC  
MIXTURE BY APPLYING GRAVITY METHOD AND SELECTIVE FLOTATION IN  
SEMI-CONTINUOUS COLUMN) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาปติ, 69 หน้า.  
ISBN 974-14-2192-3

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคัดแยกขยะพลาสติกผสมออกจากกันโดยประยุกต์วิธี  
โน้มถ่วงและซีเล็กทีฟโฟลเทชัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ศึกษาการแยกขยะพลาสติก PS ABS PP  
HDPE PC PVC POM และ PET ด้วยวิธีลอยจม ตัวแปรที่ใช้ศึกษาส่วนนี้ได้แก่ น้ำประปา สารละลาย  
ความหนาแน่นสูง และสารละลายความหนาแน่นต่ำ ส่วนที่ 2 จะนำขยะพลาสติกที่ไม่สามารถแยกได้  
ในส่วนที่ 1 มาคัดแยกด้วยวิธีการโฟลเทชัน ตัวแปรที่ใช้ศึกษาส่วนนี้ได้แก่ (ก). เวตติงต์เอเจนต์  
(ข). สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (โพลีออกซีเอททิลลินซอบิเทน โมโน โอลีเอต ทวิน 80)  
สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (เฮกซะเดคซิลไตรเมททิวแอมโมเนียมโบรมาйд ซีเทบ) สารลดแรงตึง  
ผิวชนิดประจุลบ (โซเดียมโคเดซิลซัลเฟต เอสดีเอส) (ค). ความเข้มข้นและชนิดของอิเล็กโตรไลต์  
(ง). ความเข้มข้นของโฟรเตอร์ (จ). ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ฉ). อัตราการไหลของอากาศ และ (ช). เวลา  
ที่ใช้ในการโฟลเทชัน เพื่อแยกขยะพลาสติก โดยค่าแรงตึงผิว และค่ามุมสัมผัส ถูกใช้เพื่ออธิบายผลการ  
ทดลอง จากการทดลองส่วนที่ 1 พบว่าขยะพลาสติกแยกออกเป็น 2 กลุ่มด้วยน้ำ กลุ่ม 1 ประกอบด้วย  
PP และ HDPE กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย PET POM PC PVC PS และ ABS ภาวะที่เหมาะสมในการแยก  
ขยะพลาสติกกลุ่มที่ 1 เมื่อใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตรต่อปริมาตร  
ภาวะที่เหมาะสมที่แยกขยะพลาสติกกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มย่อยคือเมื่อใช้โซเดียมไนเตรท แล้วจึงทำการแยก  
ขยะพลาสติกกลุ่มย่อยด้วยซีเล็กทีฟโฟลเทชัน พบว่า ภาวะที่เหมาะสมที่แยก PS/ABS เมื่อใช้เกลือ  
รีโนซัลโฟเนต แคลเซียมที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีเทบที่  $2.67 \times 10^{-5}$  ส่วนในล้านส่วน pH 6.8 อัตราการ  
ไหลของอากาศที่ 140 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และภาวะที่เหมาะสมที่แยก PET/POM เมื่อใช้  
พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีเทบ  $3.33 \times 10^{-5}$  ส่วนในล้านส่วน แมกนีเซียมซัลเฟต 0.01  
มิลลิกรัมต่อลิตร pH 6.8 อัตราการไหลของอากาศ 238 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ซึ่งมีผลทำให้การ  
แยกพลาสติก PS/ABS และ PET/POM มีร้อยละการนำกลับและความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 90

ภาควิชา เคมีเทคนิค  
สาขาวิชา เคมีเทคนิค  
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต..... *ธงชัย เถกิงศักดิ์ดากุล* .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *สงบทิพย์ พงศ์สถาปติ* .....



## 4672271223 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: FROTH FLOTATION/WETTING AGENT/CONTACT ANGLE/ CONDITION TIME

THONGCHAI TAKOUNGSAKDAKUN: SEPARATION OF WASTE PLASTIC MIXTURE BY APPLYING GRAVITY METHOD AND SELECTIVE FLOTATION IN SEMI-CONTINUOUS COLUMN. THESIS ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR DR. SANGOB TIP PONGSTABODEE 69 pp.ISBN 974-14-2192-3

The objective of this work was to separate waste plastic mixture by applying gravity method and selective flotation. The experiments were divided into 2 parts. Part 1 concerned about sink-float method. The solution used in this part was tap water, dense medium solution and light medium solution. Part 2 involved in selective floatation. Factors studied in this part were (a) wetting agent (CaLS, PVA, CMCCa) (b) presence of nonionic surfactant (Poly(oxyethylene)(20)-sorbitane monooleate, Tween 80), presence of cationic surfactant (Hexadecyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) , presence of anionic surfactant (Sodium Dodecyl Sulphate, SDS) (c) concentration and type of electrolyte (d) concentration of frother (e) pH (f) air flow rate and (g) condition time. Surface tension and contact angle measurements were also performed in order to interpret the obtained results. From Part 1, waste plastics can be separated into 2 groups by water. Group 1 included PP and HDPE. Group 2 accompanied with PET POM PC PVC PS and ABS. To separate PP from HDPE, isopropyl alcohol at concentration of 40 %v/v was used. To separate plastic in group 2 into subgroup, NaNO<sub>3</sub> was introduced. The plastic subgroups were then separated individually by selective flotation. To separate PS from ABS, it was introduced to use CaLS 400 mg/l and CTAB 2.67\*10<sup>-5</sup> ppm at pH 6.8 and air flow rate of 140 SCCM. To separate PET from POM, it was introduced to use PVA 50 mg/l, CTAB 3.33\*10<sup>-5</sup> ppm and MgSO<sub>4</sub> 0.01 %w/v at pH 6.8 and air flow rate of 238 SCCM. The recovery and purity of separated PS/ABS and PET/POM were more than 90 percents.

Department Chemical Technology  
Field of study Chemical Technology  
Academic year 2005

Student's signature.....*Thongchai Takoungsakdakun*  
Advisor's signature.....*Sangobtip Pongstabodee*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากบุคคลหลายๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สงบทิพย์ พงศ์สถาปติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอด

ขอบขอบคุณ ท่านอาจารย์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ที่ให้การอนุเคราะห์ให้สถานที่ และอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณ คุณ โกวิท ปิยมังคลา คุณณภัทร คุณฉัตรพิมล คุณชวลีกร ชุกกลิ่น คุณทิพย์วิมล เกิดอิม และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกาย กำลังสติปัญญา และกำลังใจที่ดีตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และพี่น้อง ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                   | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                 | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                    | ฉ    |
| สารบัญ.....                             | ช    |
| สารบัญตาราง.....                        | ฐ    |
| สารบัญรูปภาพ.....                       | ฑ    |
| บทที่                                   |      |
| 1 บทนำ.....                             | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....                   | 4    |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย.....                 | 4    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....      | 4    |
| 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....    | 5    |
| 2.1 พลาสติก.....                        | 5    |
| 2.1.1 สัณฐานของพลาสติก.....             | 8    |
| 2.1.2 ปริมาณขยะพลาสติกในประเทศไทย.....  | 9    |
| 2.1.3 การกำจัดขยะพลาสติก.....           | 11   |
| 2.2 โพลเทชั่น.....                      | 12   |
| 2.2.1 หลักการในการคัดแยกพลาสติก.....    | 12   |
| 2.2.2 ความสามารถในการเปียก.....         | 13   |
| 2.2.3 เวดดิ้งส์ เอเจนต์.....            | 15   |
| 2.2.4 สารลดแรงตึงผิว.....               | 17   |
| 2.2.5 โพรเตอร์.....                     | 19   |

| บทที่  | หน้า |
|--|------|
| 23งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                           | 21   |
| 3วิธีดำเนินการวิจัย.....                               | 23   |
| 31 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....         | 23   |
| 32 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....           | 24   |
| 33 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....                 | 25   |
| 34 การดำเนินงานวิจัย.....                              | 25   |
| 341 การทดลองด้วยวิธีการลอย-จมและซีเล็กทีฟโพลเทชัน..... | 25   |
| 341.1 การทดลองด้วยวิธีการลอย-จม.....                   | 26   |
| 341.2 การทดลองด้วยวิธีการซีเล็กทีฟโพลเทชัน.....        | 26   |
| 4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง.....                          | 28   |
| 41 กระบวนการลอย-จม.....                                | 28   |
| 41.1 สารละลายความหนาแน่นสูง.....                       | 28   |
| 41.2 สารละลายความหนาแน่นต่ำ.....                       | 32   |
| 42 โพลเทชัน.....                                       | 34   |
| 421 เวตติงต์เอเจนต์.....                               | 34   |
| 422 สารลดแรงตึงผิว.....                                | 38   |
| 423 อิเล็กโทรไลต์.....                                 | 42   |
| 424 โพรเตอร์.....                                      | 45   |
| 425 ความเป็นกรด-ด่าง.....                              | 47   |
| 426 อัตราการไหลของอากาศ.....                           | 49   |
| 427 เวลา.....  | 51   |
| 43 คำมูมสัมพัทธ์.....                                  | 53   |
| 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....           | 58   |
| 51 สรุปผลวิจัย.....                                    | 58   |
| 52 ข้อเสนอแนะ.....                                     | 61   |



| บทที่                           | หน้า |
|---------------------------------|------|
| รายการอ้างอิง .....             | 62   |
| ภาคผนวก .....                   | 64   |
| ภาคผนวก ก.....                  | 65   |
| ภาคผนวก ข.....                  | 66   |
| ภาคผนวก ค.....                  | 67   |
| ภาคผนวก ง.....                  | 68   |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 69   |



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

|  | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1.1 ราคาเม็ดพลาสติก.....  | 2    |
| ตารางที่ 1.2 ตารางเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบในการนำพลาสติกที่ใช้แล้ว<br>นำกลับมาใช้อีก..... | 2    |
| ตารางที่ 21 เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงพลาสติก.....   | 7    |
| ตารางที่ 22 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์พลาสติก.....  | 8    |
| ตารางที่ 23 ปริมาณขยะที่ประเทศไทยผลิตในปี 2545.....  | 10   |
| ตารางที่ 24 ค่าแรงดึงผิวและมุมสัมผัสของพลาสติกในน้ำ.....   | 15   |
| ตารางที่ 25 โครงสร้างของพลาสติก.....   | 16   |
| ตารางที่ 26 ตัวอย่างของโฟรเตอร์และโครงสร้างโมเลกุล.....  | 20   |
| ตารางที่ 41 ค่ามุมสัมผัสของพลาสติกในน้ำ.....   | 53   |
| ตารางที่ 42 เปรียบเทียบงานวิจัยอื่นกับงานวิจัยนี้ที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด.....                             | 57   |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 21 เครื่องมือฟอทโพลเทชัน.....  | 12   |
| รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟสของแข็ง เฟสของเหลวและเฟสแก๊ส.....  | 13   |
| รูปที่ 23 ปรัชญาการณ้ความสามารถในการเปียก.....  | 14   |
| รูปที่ 24 กลไกการเกาะตัวของสารบนพื้นผิวพลาสติกที่ไม่มีขั้ว.....   | 16   |
| รูปที่ 25 โครงสร้างของเกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม.....   | 17   |
| รูปที่ 26 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว.....   | 18   |
| รูปที่ 27 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิด ไมเซลล์.....  | 18   |
| รูปที่ 28 ระหว่างโมเลกุลในสารละลาย.....   | 19   |
| รูปที่ 31 แผนผังอุปกรณ์ทดลองวิธีการซีเล็กทีฟโพลเทชัน.....   | 26   |
| รูปที่ 41 (ก) การแยกขยะพลาสติกผสมด้วยสารละลายความหนาแน่นสูง $\text{NaNO}_3$ solution...   | 30   |
| รูปที่ 41 (ข) การแยกขยะพลาสติกผสมด้วยสารละลายความหนาแน่นสูง $\text{MgCl}_2$ solution.....                                       | 30   |
| รูปที่ 41 (ค) การแยกขยะพลาสติกผสมด้วยสารละลายความหนาแน่นสูง $\text{CaCl}_2$ solution.....                                       | 30   |
| รูปที่ 42 ความหนาแน่นของสารละลายความหนาแน่นสูง (ก) และความหนาแน่นของพลาสติกแต่ละชนิด (ข).....                                   | 31   |
| รูปที่ 43(ก) การแยกขยะพลาสติกผสมที่ลอยบนผิวน้ำด้วยสารละลายความหนาแน่นต่ำ (เมทานอล).....   | 33   |
| รูปที่ 43(ข) การแยกขยะพลาสติกผสมที่ลอยบนผิวน้ำด้วยสารละลายความหนาแน่นต่ำ (เอทิลแอลกอฮอล์).....                                  | 33   |
| รูปที่ 43(ค) การแยกขยะพลาสติกผสมที่ลอยบนผิวน้ำด้วยสารละลายความหนาแน่นต่ำ (ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์).....                             | 33   |
| รูปที่ 44(ก) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อใช้เวตติงต์เอเจนต์เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม ที่ pH 6.8.....             | 35   |
| รูปที่ 44(ข) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อใช้เวตติงต์เอเจนต์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ pH 6.8.....                     | 35   |
| รูปที่ 44(ค) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อใช้เวตติงต์เอเจนต์เกลือคาร์บอกซิล เมทิลเซลลูโลส แคลเซียม ที่ pH 6.8..... | 35   |
| รูปที่ 45 โครงสร้างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์.....  | 36   |
| รูปที่ 46(ก) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อใช้เวตติงต์เอเจนต์เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียมที่ pH 6.8.....             | 37   |

|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 46(ข) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อใช้เวตติงต์เอเจนต์ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่ pH 6.8.....   | 37 |
| รูปที่ 46(ค) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อใช้เวตติงต์เอเจนต์เกลือคาร์บอกซิล เมทิลเซลลูโลส แคลเซียมที่ pH 6.8.....                                      | 37 |
| รูปที่ 47(ก) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมเกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิวชนิดขั้วบวก (CTAB) ที่ pH 6.8.....       | 40 |
| รูปที่ 47(ข) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติม เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิวชนิดขั้วลบ (SDS) ที่ pH 6.8.....        | 40 |
| รูปที่ 47(ค) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติม เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีขั้ว (Tween80) ที่ pH 6.8..... | 40 |
| รูปที่ 48(ก) ร้อยละการลอยตัวของ PET และ POM เมื่อเติม โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิวชนิดขั้วบวก (CTAB) ที่ pH 6.8.....             | 41 |
| รูปที่ 48(ข) ร้อยละการลอยตัวของ PET และ POM เมื่อเติม โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิวชนิดขั้วลบ (SDS) ที่ pH 6.8.....               | 41 |
| รูปที่ 48(ค) ร้อยละการลอยตัวของ PET และ POM เมื่อเติม โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีขั้ว (Tween80) ที่ pH 6.8..           | 41 |
| รูปที่ 49(ก) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติม CaLS 400mg/l, CTAB $2.67 \times 10^5$ ppm และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ $MgCl_2$ ที่ pH 6.8.....               | 43 |
| รูปที่ 49(ข) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติม CaLS 400mg/l, CTAB $2.67 \times 10^5$ ppm และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ $MgSO_4$ ที่ pH 6.8.....               | 43 |
| รูปที่ 49(ค) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติม CaLS 400mg/l, CTAB $2.67 \times 10^5$ ppm และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ pH 6.8.....         | 43 |
| รูปที่ 410(ก) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติม PVC 50mg/l, CTAB $3.33 \times 10^5$ ppm และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ $MgCl_2$ ที่ pH 6.8.....               | 44 |
| รูปที่ 410(ข) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติม PVC 50mg/l, CTAB $3.33 \times 10^5$ ppm และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ $MgSO_4$ ที่ pH 6.8.....               | 44 |
| รูปที่ 410(ค) ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติม PVC 50mg/l, CTAB $3.33 \times 10^5$ ppm และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ $Al_2(SO_4)_3$ ที่ pH 6.8.....         | 44 |

|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 411 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสาร CaLS 400mg/l, CTAB $2.67 \times 10^5$ ppm ที่ pH 6.8 และเติม MIBC.....  | 46 |
| รูปที่ 412 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติมสาร PVA 50mg/l, CTAB $3.33 \times 10^5$ ppm $MgSO_4$ 0.01 %w/v ที่ pH 6.8 และเติม MIBC.....                            | 46 |
| รูปที่ 413 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสาร CaLS 400mg/l, CTAB $2.67 \times 10^5$ ppm และปรับความเป็นกรด-ด่าง.....  | 48 |
| รูปที่ 414 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติมสาร PVA 50mg/l, CTAB $3.33 \times 10^5$ ppm $MgSO_4$ 0.01 %w/v MIBC 0.01 ml และปรับความเป็นกรด-ด่าง.....               | 48 |
| รูปที่ 415 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสาร CaLS 400mg/l, CTAB $2.67 \times 10^5$ ppm pH 6.8 และปรับอัตราการไหลของอากาศ.....                                    | 49 |
| รูปที่ 416 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติมสาร PVA 50mg/l, CTAB $3.33 \times 10^5$ ppm $MgSO_4$ 0.01 %w/v MIBC 0.01 ml pH 6.8 และปรับอัตราการไหลของอากาศ.....     | 50 |
| รูปที่ 417 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสาร CaLS 400mg/l, CTAB $2.67 \times 10^5$ ppm pH 6.8 Flow rate 140 และปรับเวลา.....                                     | 51 |
| รูปที่ 418 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติมสาร PVA 50mg/l, CTAB $3.33 \times 10^5$ ppm $MgSO_4$ 0.01 %w/v MIBC 0.01 ml pH 6.8 Flow rate 238 SCCM และปรับเวลา..... | 52 |
| รูปที่ 419(ก) ค่ามุมสัมผัสของพลาสติกพลาสติก PS และ ABS เติม CaLS และที่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น.....   | 54 |
| รูปที่ 419(ข) ค่ามุมสัมผัสของพลาสติกพลาสติก PET และ POM เติม PVA และที่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น.....   | 54 |
| รูปที่ 420(ก) ค่ามุมสัมผัสพลาสติกต่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ของพลาสติก PS และ ABS เติม CaLS 400mg/l และ CTAB.....   | 55 |
| รูปที่ 420(ข) ค่ามุมสัมผัสพลาสติกต่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ของพลาสติก PET และ POM เติม PVA 50mg/l และ CTAB.....  | 55 |
| รูปที่ 421 ค่ามุมสัมผัสพลาสติกต่อความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ ของพลาสติก PET และ POM เติม PVA 50mg/l CTAB $3.33 \times 10^5$ ppm และ $MgSO_4$ .....                               | 56 |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหามลภาวะขยะพลาสติกกำลังเป็นปัญหาที่ต้องการแก้ไข ในปี 2547 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยในชุมชนเกิดขึ้นประมาณ 146 ล้านตันต่อปี โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร มีปริมาณขยะมูลฝอยวันละ 9,365 ตัน ในขณะที่ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลและเมืองพัทยา เกิดขึ้นวันละประมาณ 12,500 ตัน และนอกเทศบาลซึ่งครอบคลุมพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบล เกิดขึ้นประมาณวันละ 18,100 ตัน โดยจะมีขยะพลาสติกประมาณ 2.9 ล้านตันต่อปีคิดเป็นร้อยละ 20 ของขยะทั้งหมด ซึ่งนำกลับมาแปรรูปได้ใหม่เพียง 0.6 ล้านตันคิดเป็นร้อยละ 21 ของปริมาณของเสียประเภทพลาสติกทั้งหมด (สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2547)

การกำจัดขยะพลาสติกนั้นมีอยู่ 3 วิธีคือ การนำไปฝังกลบ การนำไปเผา และการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า พื้นที่สำหรับการฝังกลบนั้นมีน้อยลงมาก ถ้าหากกำจัดขยะพลาสติกโดยการเผา ก็นำไปสู่มลพิษทางอากาศ ส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล จึงถูกพิจารณาว่าเป็นทางเลือกที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการรีไซเคิล ทำให้ปริมาณขยะลดน้อยลง และช่วยลดปริมาณการนำทรัพยากรธรรมชาติ มาใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม การรีไซเคิลยังเป็นการลดการใช้พลังงาน และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่อากาศซึ่งจะทำให้เกิดภาวะฝนกรด และภาวะเรือนกระจกอีกด้วย

เมื่อพิจารณาผลทางด้านเศรษฐกิจหรือราคาเม็ดพลาสติก ราคาของเม็ดพลาสติก (virgin plastics) พบว่า ราคาของเม็ดพลาสติกมีราคาสูง ดังแสดงในตารางที่ 1.1 ในขณะที่เม็ดพลาสติกที่ผลิตจากพลาสติกรีไซเคิลจะมีราคาถูกกว่ามาก ตัวอย่างเช่น พลาสติก PET ที่ผลิตจากการรีไซเคิลมีราคาเพียง 8 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งผลต่างของราคาเม็ดพลาสติกและพลาสติกที่ผลิตจากการรีไซเคิลสูงถึง 40 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่จะช่วยในการลดต้นทุนวัตถุดิบเม็ดพลาสติก

ตารางที่ 1.1 ราคาเม็ดพลาสติก ([www.tpia.org](http://www.tpia.org))

| ชนิดของพลาสติก                        | ราคา (บาท/กิโลกรัม) | ราคา (ดอลลาร์/ตัน) |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Polyethylene Terephthalate (PET)      | 49.84               | -                  |
| Polyvinyl Chloride (PVC)              | -                   | 790                |
| Polyoxymethylene (POM)                | 78.5                | -                  |
| Polycarbonate (PC)                    | 138.5               | 3,350              |
| Acrylonitrile butadiene-styrene (ABS) | 62.67               | 1,465              |
| Polyethylene (PE)                     | 51.67               | 1,220              |
| Polypropylene (PP)                    | 48.17               | -                  |
| High Density Polyethylene (HDPE)      | -                   | 1,040              |
| Low Density Polyethylene (LDPE)       | -                   | 1,125              |

การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่นั้นมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบทางการตลาดเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกเก่า และเม็ดพลาสติกใหม่

ตารางที่ 1.2 ตารางเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบในการนำพลาสติกที่ใช้แล้ว  
นำกลับมาใช้อีก (สรุปสถานภาพทั่วไปเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย  
ภายในประเทศ, MTEC)

| ตัวชี้วัด                                | ข้อได้เปรียบ   | ข้อเสียเปรียบ  |
|--|--|--|
| ด้าน คุณ ของ ภาพ สิ้น ค้า /<br>ผลิตภัณฑ์ | เหมาะสำหรับทำสินค้าที่ค่าที่มี<br>คุณภาพอยู่ในระดับรองลงมา<br>หรือพลาสติกที่ไม่ต้องการ<br>ความสวยงามมากนัก | วัตถุดิบที่เป็นเม็ดพลาสติกใหม่<br>มีคุณภาพดีกว่า ทำให้สินค้าได้<br>มาตรฐานและไม่แปรเปลี่ยน<br>ต่างกับวัสดุเหลือใช้ที่มีคุณภาพ<br>ไม่คงที่ให้ผู้ซื้อไม่นิยม |
| ด้านการแข่งขันของราคา                    | สามารถแข่งขันด้านราคาได้ดี<br>เนื่องจากมีต้นทุนที่ถูกกว่าใช้<br>เม็ดพลาสติกใหม่                            | มีต้นทุนสูงกว่า เนื่องจากเม็ด<br>พลาสติกใหม่มีราคาแพงกว่า  |

| ตัวชี้วัด                         | ข้อได้เปรียบ   | ข้อเสียเปรียบ  |
|-----------------------------------|--|--|
| การส่งเสริมด้านการขาย             | โดยทั่วไปจะจำหน่ายสินค้าตามที่มีลูกค้าส่วนใหญ่ไม่ทราบว่าทำจากผลิตภัณฑ์พลาสติกเก่ารีไซเคิล  | ถ้าลูกค้าทราบว่าผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายนำมารีไซเคิลอาจจะมีปัญหาด้านทัศนคติได้ บ้างบริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่จึงมักไม่ได้กล่าวถึงเรื่องของการแจ้งให้ลูกค้าทราบว่าผลิตภัณฑ์มาจากการรีไซเคิล |
| ภาพพจน์ของสินค้าที่มีต่อผู้บริโภค | สินค้าจากกรีไซเคิลประชาชนที่มีความรู้และทราบว่าประเทศไทยกำลังมีปัญหาสิ่งแวดล้อมก็จะนิยมใช้สินค้าจากกรีไซเคิลเพื่อร่วมแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ก็จะนิยมใช้สินค้าจากกรีไซเคิล เพื่อร่วมแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศ | สินค้าประเภทใดที่ต้องนำมาเป็นภาชนะใส่อาหารการใช้ผลิตภัณฑ์จากการรีไซเคิลผู้บริโภคมักมีภาพพจน์ที่ไม่ดีเกรงว่าจะสกปรก ไม่ทนทานเพราะขาดความรู้ด้านการรีไซเคิล                        |

อย่างไรก็ตาม การรีไซเคิลขยะพลาสติกนั้น มีขั้นตอนสำคัญที่เกี่ยวข้องคือ การกำจัดสิ่งสกปรกออกจากขยะพลาสติก และการแยกประเภทของขยะพลาสติกก่อนที่จะนำไปรีไซเคิล เพราะหากมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกหรือการปนกันของขยะพลาสติกที่นำมารีไซเคิลจะทำให้คุณภาพของพลาสติกกรีไซเคิลต่ำลงมาก และจะส่งผลกระทบต่อราคาของพลาสติกกรีไซเคิลด้วย

ในปัจจุบันการคัดแยกขยะพลาสติกตามประเภทของพลาสติก จะใช้แรงงานคนจำนวนมากในการคัดแยก ดังนั้นต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของผู้คัดแยกและยังเสียค่าใช้จ่ายในการล้างและทำความสะอาดขยะพลาสติกเหล่านั้นด้วย จึงเป็นเหตุให้เกิดต้นทุนสูงในการคัดแยกขยะพลาสติกตามประเภทของพลาสติก

นอกจากนี้การคัดแยกขยะพลาสติกตามประเภทของพลาสติก โดยอาศัยแรงงานคน ยังเกิดความผิดพลาดในการคัดแยกสูง ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณภาพของพลาสติกกรีไซเคิล จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นเหตุจูงใจให้เกิดงานวิจัย การคัดแยกขยะพลาสติกผสมโดยประยุกต์วิธีโน้มถ่วงและซีเล็กทีฟโฟลเทชันในคอลัมน์แบบกึ่งต่อเนื่อง

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการแยกขยะพลาสติกผสม
2. ศึกษาวิธีการคัดแยกขยะพลาสติกผสมออกจากกันให้มีประสิทธิภาพสูง โดยประยุกต์วิธี โน้มถ่วงและวิธีซีเล็กทีฟโพลเทชัน

## 1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องโพลเทชัน
2. สร้างและติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย โดยออกแบบเครื่องเป็นแบบคอล์มน์ที่มีการทำงานแบบกึ่งต่อเนื่องในกระบวนการซีเล็กทีฟโพลเทชัน
3. ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการแยกพลาสติกผสม เช่น ชนิดพลาสติก เวตติงต์เอเจนต์ โพรเตอร์ อีเล็กโทรไลต์ ความเป็นกรด-ด่าง เวลาที่ใช้ในการคัดแยก
4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
5. เขียนวิทยานิพนธ์

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบการคัดแยกพลาสติกผสมโดยวิธี โน้มถ่วงและซีเล็กทีฟโพลเทชันที่มีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ได้จริง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พลาสติก (คณะกรรมการเทคนิคคณะที่ 2 โครงการฉลาดเขียว, 2539)

พลาสติกเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ชนิดหนึ่ง ทั้งนี้เพราะพลาสติก ส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีพลาสติกหลายชนิดที่มีเฉพาะธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนล้วนๆ ผสมอยู่ แต่พลาสติกส่วนมากยังประกอบด้วยธาตุชนิดอื่นๆ อีก เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฟลูออรีน ฟอสฟอรัสและกำมะถัน

พลาสติกที่ใช้กันทั่วไปในชีวิตประจำวันที่สำคัญมีอยู่ประมาณ 40-50 ประเภท แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ตระกูลตามสมบัติ ได้แก่

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือเรซิน เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด มีสมบัติพิเศษคือ เมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ ชนิดของพลาสติกในตระกูลเทอร์โมพลาสติก ได้แก่

1.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอควร เป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เช่น ท่อน้ำ ถัง ถู ขวด แท่นรองรับสินค้า

1.2 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แข็งกว่าพอลิเอทิลีนทนต่อสารไขมันและความร้อนสูงใช้ทำแผ่นพลาสติกถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน หลอดดูดพลาสติก เป็นต้น

1.3 พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) มีลักษณะโปร่งใส เพราะ ทนต่อกรดและด่าง ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น

1.4 SAN (styrene-acrylonitrile) เป็นพลาสติกโปร่งใส ใช้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น

1.5 ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene) สมบัติคล้ายพอลิสไตรีน แต่ทนสารเคมีดีกว่า เหนียวกว่า โปร่งแสง ใช้ผลิตถ้วย ถาด เป็นต้น

1.6 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร แต่ป้องกันไขมันได้ดีมีลักษณะใส ใช้ทำขวดบรรจุน้ำมันและไขมันปรุง



อาหาร ขวดบรรจุเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ เบียร์ ใช้ทำแผ่นพลาสติกห่อเนยแข็ง ทำแผ่นแลมินเนตชั้นในของถุงพลาสติก

**1.7 ไนลอน (Nylon)** เป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมาก คงทนต่อการเพิ่มอุณหภูมิ ทำแผ่นแลมินเนตสำหรับทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ

**1.8 พอลิเอทิลีน เทอร์ฟะธาเลต (Terylene: polyethylene terephthalate)** เหนียวมาก โปร่งใส ราคาแพง ใช้ทำแผ่นฟิล์มบาง ๆ บรรจุอาหาร

**1.9 พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC)** มีลักษณะโปร่งใส แข็ง ทนแรงยึดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด แต่ไม่ทนด่าง เป็นรอยหรือคราบอาหารจับยาก ใช้ทำถ้วย จาน ชาม ขวดนมเด็ก และขวดบรรจุอาหารเด็ก

**2. เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic)** เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษ คือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก พลาสติกแบบนี้เมื่อหลอมตัวเป็นรูปแบบใด จะเป็นรูปแบบนั้นอย่างถาวรหมายความว่า จะเอามาหลอมใช้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ไม่ได้ กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (**cross linking among polymer chains**) เหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้ว จะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน หากแต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับ การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูง และโดยมากต้องการแรงอัดด้วย เทอร์โมเซตติงพลาสติก ได้แก่

**2.1 เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde)** มีสมบัติทางเคมีทนแรงดันได้ **7,000-135,000** ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ **25,000-50,000** ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงกระแทกได้ **0.25-0.35** ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทนความร้อนได้ถึง **140** องศาเซลเซียส และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก เมลามีนใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารหลายชนิด และนิยมใช้กันมาก มีทั้งที่เป็นสีเขียวและลวดลายสวยงาม ข้อเสียคือ น้ำส้มสายชูจะซึมเข้าเนื้อพลาสติกได้ง่าย ทำให้เกิดรอยด่าง แต่ไม่มีพิษภัยเพราะไม่มีปฏิกิริยากับพลาสติก

**2.2 ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ (phenol-formaldehyde)** มีความต้านทานต่อตัวทำละลาย สารละลายเกลือและน้ำมัน แต่พลาสติกอาจพองบวมได้เนื่องจากน้ำหรือแอลกอฮอล์ พลาสติกชนิดนี้ใช้ทำฝาขวดและหม้อ

**2.3 อีพ็อกซี (epoxy)** ใช้เคลือบผิวของอุปกรณ์ภายในบ้านเรือน และท่อเก็บก๊าซ ใช้ในการเชื่อมส่วนประกอบโลหะ แก้ว และเซรามิก ใช้ในการหล่ออุปกรณ์ที่ทำจากโลหะและเคลือบผิวอุปกรณ์ ใช้ในส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้า เส้นใยของท่อ และท่อความดัน ใช้เคลือบผิวของพื้นและผนัง ใช้เป็นวัสดุของแผ่นกำบังนิวตรอน

ซีเมนต์ และปูนขาว ใช้เคลือบผิวถนน เพื่อกันลื่น ใช้ทำโฟมแข็ง ใช้เป็นสารในการทำสีของแก้ว

**24 พอลิเอสเตออร์ (polyester)** กลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ ( $-O\cdot CO-$ ) ในหน่วยซ้ำเป็นพอลิเมอร์ที่นำมาใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้ทำพลาสติกสำหรับเคลือบผิว ขวดน้ำ เส้นใย พิล์มและยาง เป็นต้น ตัวอย่างพอลิเมอร์ในกลุ่มนี้ เช่น พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต พอลิบิวทิลีนเทเรฟทาเลต และพอลิเมอร์ผลึกเหลวบางชนิด

**25 ยูรีเทน (urethane)** ชื่อเรียกทั่วไปของเอทิลคาร์บาเมต มีสูตรทางเคมีคือ  $NH_2COOC_2H_5$

**26 พอลิยูรีเทน (polyurethane)** พอลิเมอร์ประกอบด้วยหมู่ยูรีเทน ( $-NH\cdot CO\cdot O-$ ) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนต (**di-isocyanates**) กับ ไดออล (**diols**) หรือ ไทรออล (**triols**) ที่เหมาะสม ใช้เป็นกาว และน้ำมันชักเงา พลาสติกและยาง ชื่อย่อคือ PU

เมื่อพิจารณาข้อแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกกับเทอร์โมเซตติงพลาสติก แสดงได้ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงพลาสติก

| เทอร์โมพลาสติก   | เทอร์โมเซตติงพลาสติก                                      |
|--|---|
| โมโนเมอร์มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่   | โมโนเมอร์อย่างน้อย 1 ชนิดต้องมีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 2 หมู่ |
| เป็นพอลิเมอร์แบบเส้น   | เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมขวางหรือแบบร่างแห                   |
| จะอ่อนตัว หรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน                              | จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน                              |
| ต้องทำให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบ เทอร์โมพลาสติกมิฉะนั้นจะเสียรูปทรงได้ | ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบเทอร์โมเซต             |
| ไม่เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันอีกในแม่แบบ                                     | เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันอีกในแม่แบบ                           |
| สามารถนำกลับมารีไซเคิล   | ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิล                                 |



## 21.1 สัญลักษณ์ของพลาสติก

พลาสติกแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวและความหนาแน่นต่างกัน จึงมีการใช้สัญลักษณ์ เพื่อช่วยในการเลือกพลาสติกชนิดต่างๆ และช่วยในการแยกพลาสติกในกระบวนการรีไซเคิลซึ่งเราสามารถแยกชนิดของพลาสติกออกเป็น 7 กลุ่มดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์พลาสติก

([http://americanplasticscouncil.org/benefits/about\\_plastics/resin\\_codes/resin.html](http://americanplasticscouncil.org/benefits/about_plastics/resin_codes/resin.html))

| สัญลักษณ์   | ชื่อพลาสติก                                   | ผลิตภัณฑ์ที่ใช้   | ผลิตภัณฑ์ที่น่ากลับมาใช้ใหม่   |
|---|---|---|--|
| <br>PETE   | <b>Polyethylene Terephthalate (PET, PETE)</b> | ขวดน้ำดื่มพลาสติก, น้ำ, น้ำดื่มสำหรับนักกีฬา, เบียร์, ภาชนะบรรจุสุสัด | ไฟเบอร์, ฟิล์มอาหาร, ขวด, พรหม                                       |
| <br>HDPE | <b>High Density Polyethylene (HDPE)</b>       | นม, น้ำดื่ม, น้ำผลไม้, แชมพู, ถ้วยโยเกิร์ต                            | น้ำยาสำหรับซักแห้ง, แชมพู, ขวดน้ำมันรถ, ท่อ, ถัง, ถัง, กระจาดต้นไม้  |
| <br>V    | <b>Vinyl (Polyvinyl Chloride or PVC)</b>      | บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารและไม่ใช่อาหาร, กระบอกฉีดยา, ฟิล์ม, ท่อน้ำ       | บรรจุภัณฑ์, ใยไม้ปลอม, รางน้ำ, ฟิล์ม, กระเบื้องยาง, เคเบิล           |
| <br>LDPE | <b>Low Density Polyethylene (LDPE)</b>        | บรรจุภัณฑ์ของขนมปัง, บรรจุภัณฑ์ เช่น น้ำผึ้ง, มัสตราด                 | พื้น, เฟอร์นิเจอร์, ฟิล์ม  |
| <br>PP   | <b>Polypropylene (PP)</b>                     | ขวดซอสมะเขือเทศ, ถ้วยโยเกิร์ตและเนยเทียม, ถังน้ำ                      | กล่องแบตเตอรี่, ไฟสัญญาณ, สายแบตเตอรี่, ไม้กวาดด้ามยาว, แปรง, ที่ตัด |

| สัญลักษณ์   | ชื่อพลาสติก      | ผลิตภัณฑ์ที่ใช้   | ผลิตภัณฑ์ที่นำกลับมาใช้ใหม่                                 |
|---|------------------|---|---|
|  | Polystyrene (PS) | บรรจุภัณฑ์ประเภทเนื้อ , ก่อแข็ง, ขวดบรรจุ แอสไพริน, ถ้วย, จาน | โทโมมิเตอร์, สวิตช์ไฟ, ฉนวนกันความร้อน, บรรจุภัณฑ์ประเภทโฟม |
|  | อื่นๆ            | ถังบรรจุของเหลว 4 ถึง 5 แกลลอน, บรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้ บางชนิด    | ถ้วย, ไม้ที่ทำจากพลาสติก                                    |

## 21.2 ปริมาณขยะพลาสติกในประเทศไทย

ขยะเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยเฉพาะในชุมชนเมืองขนาดใหญ่ ได้แก่ กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ และจังหวัดที่ตั้งอยู่ชายฝั่งทะเลตะวันออก เป็นต้น ปัญหาขยะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของชุมชนและภาคธุรกิจต่างๆ รวมทั้งการส่งเสริมและพัฒนาการท่องเที่ยวในหลายพื้นที่ การแก้ไขปัญหาขยะในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าในระยะสั้น แม้ว่ารัฐบาลจะได้ประกาศนโยบายในการจัดการขยะของประเทศแล้วเมื่อปี พ.ศ. 2542 แต่ก็ยังไม่มีผลการดำเนินงานที่เป็นรูปธรรมมากนัก รัฐบาลจึงพิจารณาผลักดันนโยบายการลดปริมาณขยะจาก แหล่งกำเนิด การนำกลับมาใช้ใหม่ การคัดแยกขยะ การจัดการขยะแบบรวมศูนย์ ตลอดจนการมีส่วนร่วมของประชาชนผู้ก่อมลพิษเป็นผู้รับภาระค่าใช้จ่าย (รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2545)

ปัจจุบันประเทศไทยผลิตขยะเกือบ 22 ล้านตันต่อปีซึ่งแยกได้ดังแสดงในตาราง ที่ 23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ปริมาณขยะที่ประเทศไทยผลิตในปี 2545 (Thailand environment monitor, 2003)

| ชนิดขยะ                                  | ขยะที่ผลิต ('000 ตัน/ปี) |  | จังหวัดที่ผลิตมากที่สุด<br>(% ของทั้งหมด)                                   |
|--|--------------------------|--|---|
|  | ทั้งหมด                  | ทั้งหมดลบกับการนำ<br>กลับมาใช้ใหม่และ<br>การรีไซเคิล |   |
| ของเสียจำพวกของแข็ง<br>จากเทศบาล         | 14,400                   | 12,800   | กรุงเทพฯ (27%)<br>นครราชสีมา (3.3%)<br>สมุทรปราการ (2.3%)<br>ขอนแก่น (2.1%) |
| ของเสียติดเชื้อ                          | 21.3                     | 21.3   | กรุงเทพฯ (21%)<br>เชียงใหม่ (3.9%)<br>นนทบุรี (3.4%)<br>นครราชสีมา (3.0%)   |
| ของเสียอันตรายจาก<br>ภาคอุตสาหกรรม       | 963                      | 788  | สมุทรปราการ (19%)<br>กรุงเทพฯ (18%)<br>ปทุมธานี (11%)<br>สมุทรสาคร (7.0%)   |
| ของเสียที่ไม่อันตรายจาก<br>ภาคอุตสาหกรรม | 5,890                    | 1,271  | สมุทรปราการ (13%)<br>กรุงเทพฯ (11%)<br>สมุทรสาคร (8.5%)<br>ปทุมธานี (5.2%)  |
| ของเสียอันตรายจาก<br>ชุมชน               | 372                      | 182  | กรุงเทพฯ (34%)<br>นครปฐม (2.6%)<br>นนทบุรี (1.4%)<br>ปทุมธานี (0.8%)        |



### 21.3 การกำจัดขยะพลาสติก

การกำจัดขยะพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำไปฝัง (Burial) หรือนำไปถมกลบ (Landfill) การนำไปเผา (Incineration) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ซึ่ง การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ ถูกพิจารณาว่า เป็นทางเลือกที่ให้ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทางหนึ่ง ในการแก้ไขปัญหาขยะพลาสติก อย่างไรก็ตาม การนำพลาสติกกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่นั้น ประเด็นสำคัญอยู่ที่การแยกประเภทของพลาสติกก่อนที่จะนำไปรีไซเคิล และการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป (<http://kanchanapisek.or.th/kp11/articles/index.th.html>)

โดยทั่วไป สามารถแบ่งกิจกรรม การนำกลับมาใช้ใหม่ ออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. การเก็บรวบรวมขยะพลาสติก ผ่านศูนย์กลางการนำกลับมาใช้ใหม่ เครื่องรับคืนขวดที่อยู่ตามซูเปอร์มาร์เก็ตหรือ รับซื้อตามโรงงานต่างๆ
2. สิ่งอำนวยความสะดวกในการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ โดยอาศัยกระบวนการการแยกส่วนพลาสติก เพื่อสามารถนำไปขายต่อได้หรือ ผ่านกระบวนการอื่นได้ต่อไป นอกจากขยะพลาสติกแล้วยังรวมถึงโลหะ แก้ว และกระดาษ ด้วย
3. จัดกระบวนการแปรรูปพลาสติกให้อยู่ในลักษณะที่เป็นเม็ดหรือเป็นเกล็ดที่สะอาดเพื่อนำไปขายต่อไปการจัดเก็บ

อย่างไรก็ตาม การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ในประเทศไทย ยังไม่เป็นที่นิยมมากเท่าไร ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับแหล่งพลาสติกที่ได้มามีอยู่หลายแห่ง แต่ละแห่งไม่มีการแยกชนิดของพลาสติกออกจากกันและมีความสกปรกมาก ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการแยกชนิดของขยะพลาสติก และทำความสะอาดต้นทุนจึงสูงขึ้น และสมบัติของพลาสติกที่ได้ไม่ดีเท่ากับพลาสติกบริสุทธิ์ จึงไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไป ถึงแม้ว่าจะมีการณรงค์ให้มีการแยกขยะที่ใช้แล้วเป็นขยะเปียก ขยะแห้ง ขยะสำหรับวัตถุดิบ ขยะที่ยังใช้ได้ และขยะที่ใช้ไม่ได้แล้วก็ตาม พบว่า ยังไม่ได้ผลเท่าที่ควร สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจจะเป็นเพราะว่าบางคนยังไม่เข้าใจถึงประโยชน์ และความสำคัญของการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่เท่าที่ควรอุปสรรคกับการขาดระเบียบ วินัย ความรับผิดชอบที่มีต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการให้ความรู้ในเรื่องการนำกลับมาใช้ใหม่ ยังไม่กว้างขวางเท่าที่ควร ทำอย่างไรถึงจะจูงใจให้ทุกคนตระหนัก และ ร่วมกันรณรงค์ทำให้ประเทศไทยน่าอยู่ มีสภาพแวดล้อมที่ดี เก็บเป็นมรดกแก่ลูกหลานได้ต่อไป คำตอบอยู่ที่จิตสำนึก และความรับผิดชอบของทุกๆ คน ที่มีต่อประเทศไทย ของเรา (สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2546)

## 2.2 โฟลเทชัน (Flotation)

โฟลเทชันเป็นกระบวนการแยกในอุตสาหกรรมแร่ตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 1800 ในทุกวันนี้ แร่ไม่ต่ำกว่า 100 ชนิด อาทิเช่น ทองแดง ตะกั่ว เงิน แมกนีเซียม โคบอลต์และ ไททาเนียม ยังใช้กระบวนการโฟลเทชัน และเริ่มจดสิทธิบัตรครั้งแรกในปี 1906 เพื่อใช้ในการคัดแยกแร่ผสมที่มีคุณภาพต่ำกับคุณภาพดี และในปี 1970 Mitsui Mining & Smelting Company พัฒนาวิธีการนี้ ในการคัดแยกพลาสติกผสม โดยเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการศึกษาระหว่างการคัดแยกแร่กับพลาสติก การคัดแยกพลาสติกเพิ่งเพียงเริ่มต้นเท่านั้น

### 2.2.1 หลักการในการคัดแยกพลาสติกผสม

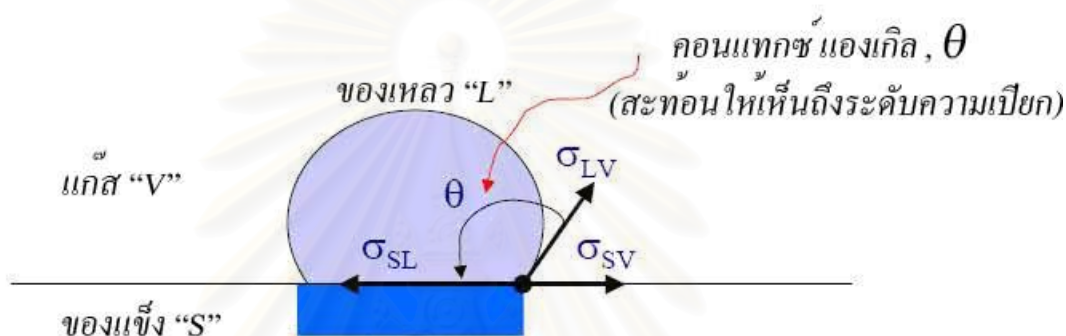
พลาสติกโฟลเทชันเป็นการปรับปรุงพื้นผิวของพลาสติกด้วยสารเคมี เพื่อเพิ่มความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำโดยปกติแล้วพลาสติกมักจะไม่นชอบน้ำ ซึ่งพลาสติกที่ไม่ชอบน้ำจะมี ปฏิสัมพันธ์กับอากาศได้ดีกว่าพลาสติกที่ชอบน้ำ โดยสารที่เติมลงไปช่วยทำให้เกิดสิ่งต่างๆ เช่นการเพิ่มความชอบน้ำของพลาสติก การลดแรงตึงผิวของสารละลาย การเชื่อมโยงอนุภาคเข้าด้วยกันซึ่งการทำเช่นนี้จะทำให้โครงสร้างง่ายต่อการถูกจับด้วยฟองอากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดการคัดแยก ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 เครื่องมือฟอทโฟลเทชัน (Froth flotation)

## 2.2.2 ความสามารถในการเปียก (Wettability)

โพลเทชันเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง 3 เฟส (เฟสของแข็ง เฟสของเหลว เฟสของแก๊ส) คือ เฟสของแข็งกับเฟสของเหลว เฟสของเหลวกับเฟสแก๊ส เฟสของแข็งกับเฟสแก๊ส และเฟสของแข็งกับเฟสของเหลวและเฟสแก๊ส ตามธรรมชาติความชอบน้ำหรือความไม่ชอบน้ำของของแข็งจะเป็นตำแหน่งร่วมของ เฟสของแข็ง เฟสของเหลวและเฟสแก๊ส ดังรูปที่ 2.2 โดยที่หาความสามารถในการเปียกของของแข็งนั้นๆ ได้

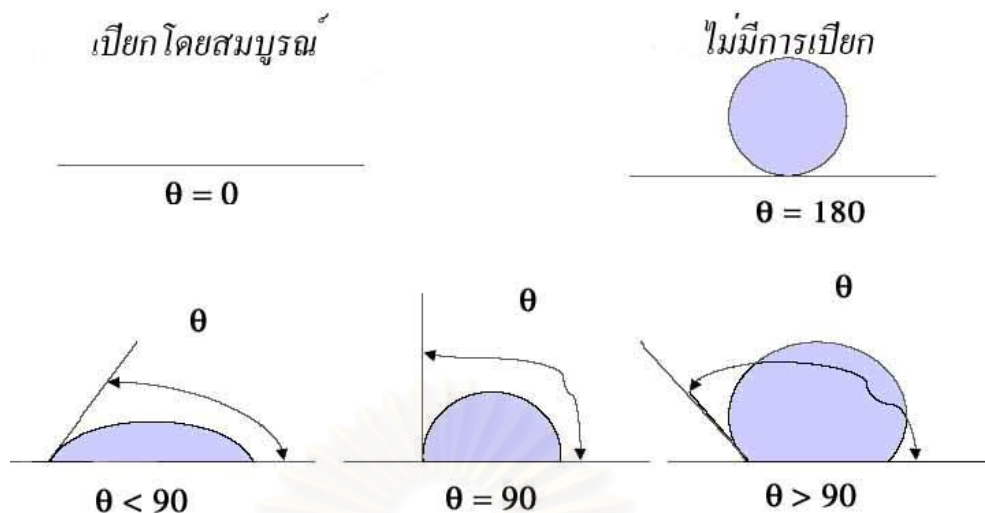


รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟสของแข็ง เฟสของเหลวและเฟสแก๊ส (Christo, 2004)

ปัจจัยที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเปียกคือ มุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างเฟสทั้ง 3 เฟสโดยที่

- มุม  $q$  มีค่าเท่ากับ  $0^\circ$  ของแข็งจะมีความสามารถในการเปียกสูง (ชอบน้ำมาก)
- มุม  $q$  มีค่าระหว่าง  $0^\circ < q < 90^\circ$  ของแข็งจะเริ่มมีความสามารถในการเปียก (ชอบน้ำ)
- มุม  $q$  มีค่าระหว่าง  $90^\circ < q < 180^\circ$  ของแข็งจะเริ่มไม่มีความสามารถในการเปียก (ไม่ชอบน้ำ)
- มุม  $q$  มีค่าเท่ากับ  $180^\circ$  ของแข็งจะไม่มีความสามารถในการเปียก (ไม่ชอบน้ำมาก)
- แต่ถ้ามุม  $q$  มีค่าเท่ากับ  $90^\circ$  ของแข็งจะไม่บ่งบอกถึงความสามารถในการเปียกหรือไม่เปียกได้อย่างชัดเจน

ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 23 ปรากฏการณ์ความสามารถในการเปียก (Christo, 2004)

ค่ามุมสัมผัสมีความสัมพันธ์กับค่าแรงตึงผิวตามสมการ Young's equation ดังสมการที่ 21

$$g_{SV} = g_{SL} + g_{LV} \cos \theta \quad 21$$

โดยทั่วไปแล้ว ธรรมชาติของพลาสติกมีความไม่ชอบน้ำและความแตกต่างของแรงพื้นผิว (Surface energy) ดังตารางที่ 24 ในกรณีของพลาสติกทั่วไป PE มีความไม่ชอบน้ำมากที่สุด เช่นนั้น การที่คัดแยกพลาสติกให้สมบูรณ์ด้วยกระบวนการโพลเทชัน จำเป็นที่จะต้องเลือกให้พลาสติกชนิดหนึ่งมีความไม่ชอบน้ำ และพลาสติกชนิดหนึ่งมีความชอบน้ำหรือมีความไม่ชอบน้ำน้อยกว่า ดังนั้น การจะปรับปรุงพลาสติกให้เกิดความสามารถในการเปียกหรือมีความชอบน้ำในกระบวนการโพลเทชัน จำเป็นต้องใช้สารที่เรียกว่า เวตติงต์เอเจนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ค่าแรงตึงผิว(Surface tension ( $g_{SV}$ )) และมุมสัมผัสของพลาสติกในน้ำ (Fraunholz,N.,1997)

| ชนิด | $g_{SV}$ (mN/m)                         | มุมสัมผัส (องศา)  |
|------|---|-------------------|
| PS   | 43,40 <sup>a</sup>                      | 86.3              |
| ABS  | 42.7                                    | 83.7              |
| PC   | 44.5,34 <sup>a</sup>                    | 80.3              |
| PVC  | 41.5 <sup>a</sup> ,33 - 38 <sup>b</sup> | 84.6              |
| POM  | 44.9                                    | 71.2              |
| PET  | 44.6 <sup>a</sup>                       | 76.5 <sup>c</sup> |
| PP   | 30.1 <sup>a</sup>                       | 95.0 <sup>c</sup> |
| PE   | 35.7 <sup>a</sup>                       | 96.8 <sup>c</sup> |

a จาก [www.surface-tension.de/solid-surface-energy.html](http://www.surface-tension.de/solid-surface-energy.html)

b จาก [www.accudynetest.com/surface\\_energy\\_materials.html](http://www.accudynetest.com/surface_energy_materials.html)

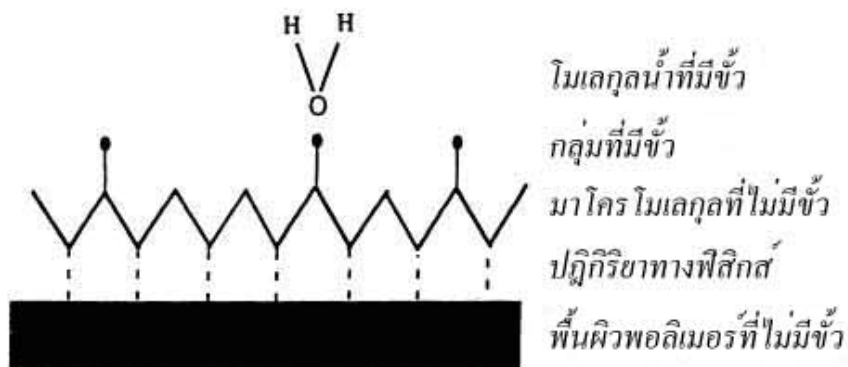
c จาก Dodbiba N., et al 2002

### 2.2.3 เวตติงต์ เอเจนต์ (Wetting agents)

เวตติงต์ เอเจนต์เป็นสารประกอบที่มีความเป็นขี้และไม่ขี้ในตัวเอง โดยพบว่า สารประกอบที่ไม่มีขี้จะประกอบด้วยสายโซ่ของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ส่วน สารประกอบที่มีขี้จะแสดงออกถึงความชอบน้ำ

การที่เวตติงต์ เอเจนต์ สามารถเกาะกับพื้นผิวพลาสติก เป็นเพราะเกิดแรงวาล เดอร์ วาลส์ (Van-der-Waals) ระหว่างโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนของพลาสติกและเวตติงต์ เอเจนต์ ดังรูปที่ 2.4 แต่พลาสติกบางชนิดจะมีส่วนประกอบของธาตุอื่นๆ เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และคลอรีน ฯลฯ ซึ่งจะเกิดแรงระหว่างขี้กรด-ด่างของลิวอิส (Lewis-acid-base) ด้วย ซึ่งจากโครงสร้างของพลาสติก ดังตารางที่ 2.5 พบว่าพลาสติก PS และ ABS นั้นจะมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนมากกว่า พลาสติกชนิดอื่นๆ และพลาสติกอื่นๆ เช่น PET PVC จะมีธาตุอื่นๆ ผสม



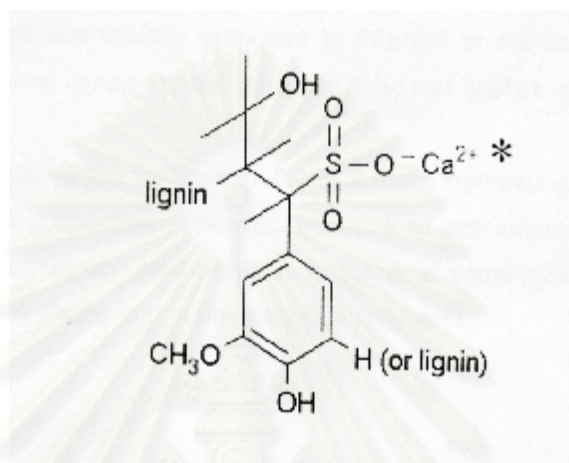


รูปที่ 24 กลไกการเกาะตัวของสารบนพื้นผิวพลาสติกที่ไม่มีขั้ว (Shen และคณะ, 1999)

ตารางที่ 2.5 โครงสร้างของพลาสติก (Shen และคณะ, 1999)

| Polymer                         | Abbreviation | Molecular Category | Formula   |
|---------------------------------|--------------|--------------------|---|
| Polyethylene                    | PE           | Polyolefin         | $[-CH_2-CH_2-]_n$   |
| Polypropylene                   | PP           | -----              | $\left[ \begin{array}{c} CH_3 \\   \\ -CH_2-CH- \end{array} \right]_n$  |
| Polystyrene                     | PS           | Polystyrene        | $\left[ -CH_2-\overset{\overset{C_6H_5}{ }}{C}- \right]_n$  |
| Polystyrene-acrylonitrile       | SAN          | Copolymer          | $\left[ \begin{array}{c} H & H \\   &   \\ -C & -C- \\   &   \\ H & CN \end{array} \right]_x \left[ \begin{array}{c} H & H \\   &   \\ -C & -C- \\   &   \\ H & C_6H_5 \end{array} \right]_z$   |
| Acrylonitrile-butadiene-styrene | ABS          | -----              | $\left[ \begin{array}{c} H & H \\   &   \\ -C & -C- \\   &   \\ H & CN \end{array} \right]_x \left[ \begin{array}{c} H & H & H & H \\   &   &   &   \\ -C & -C & = & C & -C- \\   & & &   \\ H & & & H \end{array} \right]_y \left[ \begin{array}{c} H & H \\   &   \\ -C & -C- \\   &   \\ H & C_6H_5 \end{array} \right]_z$ |
| Polyvinylchloride               | PVC          | Vinylchloride      | $[-CH_2-CCl_2-]_n$  |
| Polymethylmethacrylate          | PMMA         | Polyacrylate       | $\left[ -CH_2-\overset{\overset{CH_3}{ }}{C}-\overset{\overset{COOCH_3}{ }}{C}- \right]_n$  |
| Polyoxymethylene                | POM          | Polyether          | $[-CH_2-O-]_n$  |
| Nylon 6                         | PA6          | Polyamide          | $[-(CH_2)_5-CO-NH-]_n$  |
| Polyethyleneterephthalate       | PET          | Polyester          | $\left[ -O-CH_2-CH_2-O-OC-\text{C}_6\text{H}_4-CO- \right]_n$   |
| Polybutyleneterephthalate       | PBT          | -----              | $\left[ -OC-\text{C}_6\text{H}_4-CO-O-CH_2-CH_2-CH_2-C \right]_n$   |
| Polycarbonate                   | PC           | Aromatic polymer   | $\left[ -O-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\overset{CH_3}{ }}{C}(\text{CH}_3)-\text{C}_6\text{H}_4-O-CO- \right]_n$   |

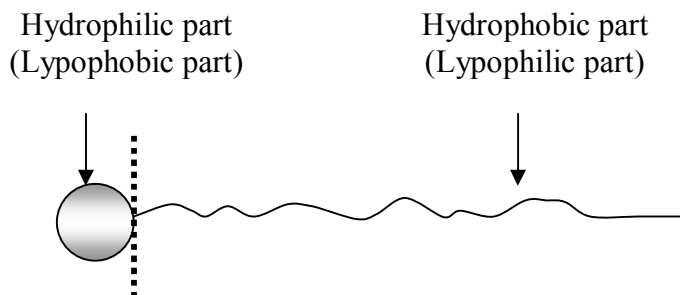
ความหลากหลายของเวดติงต์ เอเจนต์ที่มีประจุ (ไอออนบวกหรือไอออนลบ) ก็มีผลในการคัดแยกขยะพลาสติกยกตัวอย่างเช่น เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม (CaLS) ที่ใช้ในการคัดแยกแร่ ดังรูปที่ 2.5 เป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ ประกอบด้วยสายโซ่ของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วหรือลิกนิน (Lignin) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำและขั้วของกลุ่มซัลโฟเนต โดยกลุ่มของซัลโฟเนตจะไปเกาะบนพื้นผิววัสดุที่ไม่ชอบน้ำให้ชอบน้ำ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม

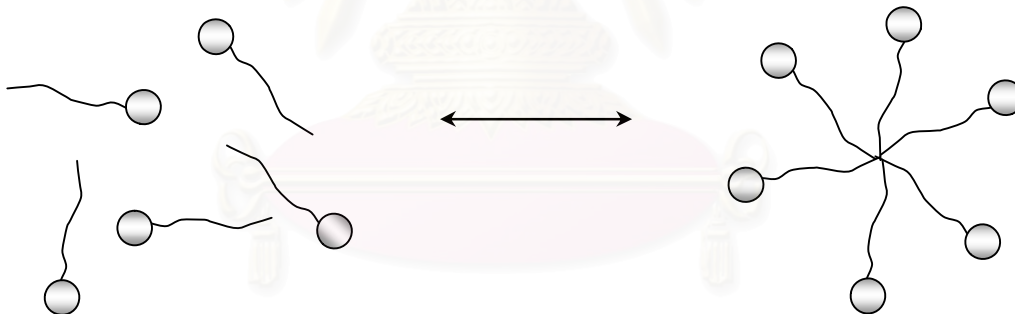
## 2.2.4 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) (ชูลีกร, 2548)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นคำย่อของ **surface active agent** เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการลดค่าที่ผิวระหว่างเฟส ทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ลดต่ำลง สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เป็นส่วนหัวซึ่งจะละลายน้ำได้และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เป็นส่วนหาง ซึ่งจะเป็นอนุพันธ์ของสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สารลดแรงตึงผิวมี 4 ชนิดคือ สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic Surfactant) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic Surfactant) สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant) และสารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวก และประจุลบในตัวมันเอง (Combinations Surfactant)



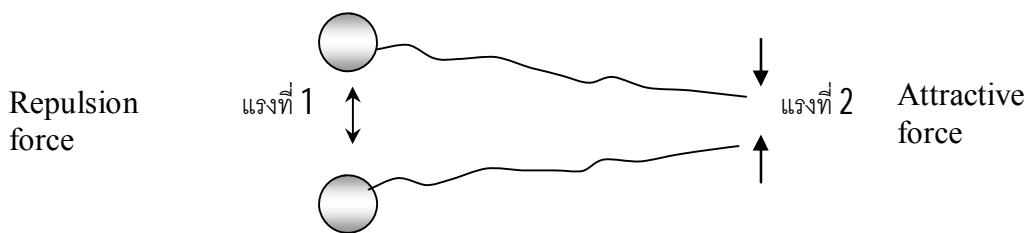
รูปที่ 26 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 1989)

เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่ระดับความเข้มข้นต่ำลงในสารละลาย สารลดแรงตึงผิวจะกระจายตัวในสารละลายเป็นโมเลกุลเดี่ยวๆ และมักจะอยู่บริเวณผิวของสารละลาย (**Interface**) ซึ่งจะทำให้ค่าแรงตึงผิวของสารละลายลดต่ำลง แต่เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นค่าแรงตึงผิวของสารละลายลดลงจนคงที่ และเป็นค่าแรงตึงผิวที่ต่ำสุด ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในสารละลาย ณ จุดนี้เรียกว่า ความเข้มข้นวิกฤตหรือค่าซีเอ็มซี ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะจัดเรียงตัวจะอยู่ในรูปของไมเซลล์ (**Micelles**) ดังแสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์ (Rosen, 1989)

อิทธิพลที่มีผลทำให้สารลดแรงตึงผิวเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มหรือ ไมเซลล์ มาจากแรงทางไฟฟ้า (**electrostatic force**) เกิดขึ้นที่ส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเกิดแรงผลัก (**repulsion**) เนื่องจากส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวมีประจุเดียวกัน ถ้าส่วนหัวมีความเป็นขั้วมากจะทำให้การเกิดไมเซลล์ยากขึ้นด้วย ดังนั้นสารประเภทนอนไอออนิกซึ่งไม่มีประจุจึงเกิดไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ส่วนอีกแรงคือแรงไฮโดรโฟบิก (**hydrophobic force**) เกิดที่ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิว ส่วนหางซึ่งไม่ชอบน้ำจึงพยายามที่จะมารวมกัน ดังรูปที่ 28



รูปที่ 2.8 แรงระหว่างโมเลกุลในสารละลาย (Clint, 1992)

ที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะอยู่ห่างกัน แรงทั้งสองจะมีน้อย ความเข้มข้นที่มากขึ้นจะทำให้โมเลกุลเกิดแรงทั้ง 2 มากขึ้น ถ้ากรณีที่แรงที่ 1 มากกว่าแรงที่ 2 มากๆ โมเลกุลจะไม่รวมตัวกันไม่ว่าความเข้มข้นจะมากเพียงใด และจะกระจายตัวเป็นสารแขวนลอยในน้ำ ถ้าส่วนหางสั้นโมเลกุลละลายน้ำได้มากขึ้น ในกรณีกลับกันถ้าแรงที่ 2 มากกว่าแรงที่ 1 มากๆ โมเลกุลจะรวมตัวกันง่าย แต่ไม่ละลายน้ำ และมีค่าซีเอ็มซีต่ำจนไม่อาจวัดค่าได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงทั้ง 2 และโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวจึงมีผลต่อค่าซีเอ็มซี

## 2.2.5 โฟรเตอร์ (Frother) (froth floatation, 2001)

แม้การเติมเวตติงต์ เอเจนต์และส่วนประกอบอื่นๆ ก็เป็นส่วนสำคัญในการโฟลเทชัน การลอยตัวของพลาสติกจำเป็นต้องถูกจับโดยฟองก๊าซเพื่อที่จะลอยไปสู่ผิวของสารละลาย แต่ฟองก๊าซค่อนข้างจะไม่เสถียรและแตกง่ายเมื่อเกิดการชนกันของฟองก๊าซ ดังนั้นการเติมโฟรเตอร์ลงไปก็เพื่อจะเพิ่มความเสถียรของฟองก๊าซให้มากขึ้น

โฟรเตอร์คล้ายๆ กับเวตติงต์ เอเจนต์ ที่ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วและไม่ขั้ว ส่วนปลายที่ไม่มีขั้วจะจับกับฟองก๊าซ ผนังฟองก๊าซจะมีความแข็งแรงมากขึ้นทั้งนี้เพราะมีปฏิกิริยาระหว่างขั้วของน้ำและส่วนที่มีขั้วของโฟรเตอร์ที่ตรงส่วนระหว่างฟองก๊าซและน้ำ ทำให้ความตึงผิวสูงขึ้น

โฟรเตอร์ถูกแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ด้วยกลุ่มของขั้ว (Polar group) เช่น กลุ่มไฮดรอกซิล (Hydroxyl) (-OH), กลุ่มคาร์บอกซิล (Carboxyl) (-COOH), กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl) (=C=O), กลุ่มอะมิโน (Amino)(-NH<sub>2</sub>) และ กลุ่มซัลโฟ (OSO<sub>2</sub>OH และ -SO<sub>2</sub>OH) ดังในตารางที่ 2.6 โดยเรียงเป็นกลุ่มๆ ของโฟรเตอร์แต่ละชนิดในตารางมีคาร์บอนอย่างน้อย 5 ถึง 6 อะตอมซึ่งทำให้สายโซ่มีความแข็งแรง ส่วนปลายที่ไม่มีขั้วจะไปมีปฏิสัมพันธ์กับก๊าซ สำหรับสายโซ่กิ่ง ไฮโดรคาร์บอนจำนวนคาร์บอนอะตอมในส่วนที่มีขั้วอาจจะมากถึง 16 อะตอม อย่างไรก็ตาม โฟรเตอร์จำเป็นต้องใส่เพียงเล็กน้อยในสารละลายและการเพิ่มขึ้นของสายโซ่ตรง ไฮโดรคาร์บอน จะเป็นการลด

ประสิทธิภาพของโฟรเตอร์ เช่นนั้นแล้วการใส่ปริมาณโฟรเตอร์ที่เหมาะสม จำเป็นต้องให้เกิดความสมดุลระหว่าง การปฏิสัมพันธ์ส่วนที่ไม่มีขั้วกับก๊าซ และความสามารถในการละลายในน้ำ

โฟรเตอร์ส่วนมาก เป็นโฟรเตอร์กลุ่มไฮดรอกซิลที่มีคุณสมบัติที่เป็นเวตติงต์ เอเจนต์น้อย อย่างไรก็ตาม เพราะเวตติงต์ เอเจนต์ มีลักษณะที่เป็นหลายขั้ว (Hetero - polarity) ซึ่งทำให้เวตติงต์ เอเจนต์สามารถเป็นโฟรเตอร์ในบางกรณี ซึ่งก็เป็นจริงทั้ง โฟรเตอร์ชนิดคาร์บอกซ์ซิควัต, โซเดียม โอลีเอต (Sodium oleate) และ ซัลโฟ โซลิโดฟิล แพลตต์ เอซิด (sulfo-solidophil fatty acid)

การเสริมกันของเวตติงต์ เอเจนต์และโฟรเตอร์ อาจจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกดีขึ้น อย่างไรก็ตามการออกแบบระบบโฟรเทชันอยู่บนพื้นฐานการใช้เวตติงต์ เอเจนต์ปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวพลาสติกเพื่อช่วยให้เกิดการคัดแยก โฟรเตอร์ที่เติมลงไปหลังจากใช้เวตติงต์ เอเจนต์ จำเป็นต้องมีความเข้มข้นที่เหมาะสม และจะต้องไม่คั่นอยู่ระหว่างพื้นผิวของพลาสติกและเวตติงต์ เอเจนต์

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างของโฟรเตอร์และโครงสร้างโมเลกุล ([www.engr.pitt.edu/Chemical/undergrad/lab\\_manuals/flotation.pdf](http://www.engr.pitt.edu/Chemical/undergrad/lab_manuals/flotation.pdf))

| โฟรเตอร์  | โครงสร้าง  |
|---|--|
| <b>Aliphatic Alcohols</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MIBC (4-methyl-2-pentanol)</li> <li>- Di-acetone alcohol</li> <li>- 2-ethyl 3-hexanol</li> </ul> | $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$<br>$(\text{CH}_3)_2(\text{OH})\text{CH}_2\text{COCH}_3$<br>$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CH}_2\text{OH}$ |
| <b>Cyclic Alcohols</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pine oil (terpineol)</li> <li>- Eucalyptus oil (cineole)</li> </ul>                                 | $\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{OH}$<br>$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$  |
| <b>Phenols</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cresol</li> <li>- Xylenol (e.g, xylitol)</li> </ul>   | $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$<br>$\text{HOCH}(\text{CHOH})_3\text{CH}_2\text{OH}$   |
| <b>Alkoxyparaffins</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1,1,3-triethoxybutane</li> </ul>  | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{OC}_2\text{H}_5)\text{CH}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$   |



| โพรเตอร์   | โครงสร้าง   |
|--|---|
| <b>Polyglycols</b><br>- Poly(propylene glycol) monalkyl ethers<br>- Poly(ethylene glycol)s | $R(OC_3H_6)_nOH$ , $n= 2-5$ , $R= CH_3, C_4H_9$<br>$R(OC_2H_4)_nOC_2H_4OH$ , $n= 2-5$ |
| <b>Other</b><br>Sulfo-cetyl alcohol  | $CH_3(CH_2)_{14}CH_2OSO_2OH$  |

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**P.S. Bimal (1998)** ศึกษาเปรียบเทียบ เวตติงต์เอเจนต์ (Wetting agents) 2 ชนิดในกระบวนการคัดแยกพลาสติกชนิด PVC และ POM โดยแบบแรกใช้โซเดียมลิกนินซัลโฟเนต (sodium lignin sulfonate) แบบที่สองใช้ซอร์บิแทน โมโนลอเรต (sorbitan monolaurate) ในภาวะที่มีกรดต่างเท่ากับ 7 สารโพรเตอร์ที่ใช้คือ ไพออยด์และเวลาที่ใช้ทั้งหมด 12 นาที พบว่าโซเดียมลิกนินซัลโฟเนตจะให้เปอร์เซ็นต์การนำกลับและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ PVC ที่ 97 และ 92 ส่วน POM ที่ 95 และ 96 ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการลอยตัวของ PVC จะลดต่ำลงเมื่อเพิ่มโซเดียมลิกนินซัลโฟเนต ซึ่งคิดว่าซอร์บิแทน โมโนลอเรตที่ให้เปอร์เซ็นต์การนำกลับและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ PVC ที่ 95 และ 90.7 ส่วน POM ที่ 80 และ 96 ตามลำดับ เนื่องจากค่ามุมสัมผัสของ PVC ในโซเดียมลิกนินซัลโฟเนตลดลงเหลือ 35 องศาทำให้อัตราการลอยตัวของ PVC ลดต่ำลงและพบว่าโซเดียมลิกนินซัลโฟเนตจะลดเปอร์เซ็นต์การนำกลับของ PVC มากกว่า POM ส่วนซอร์บิแทน โมโนลอเรตจะลดเปอร์เซ็นต์การนำกลับของ POM มากกว่า PVC

**Marques และคณะ (1999)** ศึกษาเปรียบเทียบ ตัวแปรที่มีผลต่อสาร non-ionic surfactants (frothers) ในกระบวนการคัดแยกพลาสติกชนิด PET และ PVC โดยแบบแรกใช้สาร MIBC และแบบที่สองใช้สารไพออยด์ (Pine oil) วิธีการทดลองจะเพิ่มภาวะความเป็นด่างมากขึ้น ผลที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่มความเป็นด่างมากขึ้น สาร MIBC จะให้เปอร์เซ็นต์การนำกลับและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ PVC เพิ่มขึ้น ส่วนสารไพออยด์ จะให้เปอร์เซ็นต์การนำกลับของ PVC สูงกว่าการสาร MIBC แต่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ PVC ต่ำกว่า เนื่องจากสารไพออยด์เหนียวน่าประจุของสารละลายซึ่งทำให้ผลออกมาคุณภาพไม่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การนำกลับและพบว่าเวลาที่ใช้ทั้งหมด 1 ชั่วโมงจะให้เปอร์เซ็นต์การนำกลับและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ PVC และ PET สูงที่สุดโดยเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ PVC อยู่ที่ 99.3 และ PET อยู่ที่ 98.9

**Shen และคณะ (2002)** ศึกษา ผลของเมทิลเซลลูโลส (**Methyl Cellulose**) ต่อการลอยตัวของพลาสติก พบว่าปริมาณของเมทิลเซลลูโลส มีผลต่อพลาสติกแต่ละกลุ่มที่ไม่เท่ากัน โดยสามารถแยกเป็นกลุ่มพลาสติกออกได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 ประกอบด้วย **POM** และ **PVC** ถูกทำให้จมลงเมื่อใช้เมทิลเซลลูโลสปริมาณน้อยๆ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย **PET**, **PMMA** และ **PC** มีอัตราการลอยตัวลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเพิ่มปริมาณเมทิลเซลลูโลสและกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย **ABS** และ **PS** มีอัตราการลอยตัวที่สูงแม้จะเพิ่มปริมาณเมทิลเซลลูโลสการจมตัวลงเนื่องจากผลของเมทิลเซลลูโลสเคลือบบนพื้นผิวของพลาสติกและขี้ของเมทิลเซลลูโลสได้ไปจับกับน้ำ เช่นนั้นจะทำให้พลาสติกเกิดความชอบน้ำมากขึ้น และพบว่าเมทิลเซลลูโลสจะลดค่ามุมสัมผัสของพลาสติกตามเวลาแต่จะไม่ลดความตึงผิวของน้ำจนน้อยกว่าความตึงผิวของพลาสติก โดยลำดับจากมากไปหาน้อยของค่ามุมสัมผัสคือ **ABS > PS > PC > PET > PVC > POM > PMMA**

**Shen และคณะ (2002)** ศึกษา ผลของสาร **TERGITOL 15-S-7** ต่อการลอยตัวของพลาสติก พบว่า ปริมาณของสาร **TERGITOL 15-S-7** มีผลต่อพลาสติกแต่ละกลุ่มและแต่ละชนิดที่ไม่เท่ากัน และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเคมีจะส่งผลให้ความตึงผิวของน้ำลดลงจนน้อยกว่าความตึงผิวของพลาสติก แต่ไม่ค่อยมีผลต่อพลาสติกที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันเช่น การแยก **POM** และ **PVC** จาก **PC**, **POM** และ **PVC** จาก **PS** และ **ABS**, **PET** และ **PMMA** จาก **PS** และ **ABS** และพบว่า สารเคมีจะลดค่ามุมสัมผัสของพลาสติกลงตามเวลา โดยที่ค่ามุมสัมผัสของพลาสติก **PS** และ **ABS** จะมากกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ ซึ่งทั้งหมดจะส่งผลต่ออัตราการลอยของพลาสติก โดยลำดับการลอยตัวของพลาสติกจากน้อยไปหามากคือ **POM < PVC < PMMA < PET < PC < ABS < PS**

**Kunachitpimol (2003)** ศึกษาการแยกพลาสติกผสม โดยวิธีผสมระหว่าง วิธีลอย-จมและวิธีใช้เหล็กที่ฟโฟลเทศัน โดยการทดลองจะใช้พลาสติก 6 ชนิดคือ **PP**, **HDPE**, **ABS**, **PS**, **PET**, **PVC** พบว่า การใช้ น้ำและสารอิเล็กโทรไลต์สามารถคัดแยกพลาสติกออกมาเป็นกลุ่ม ๆ เนื่องจากความหนาแน่นของพลาสติกแต่ละชนิดไม่เท่ากัน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 เป็นพลาสติกที่เบาที่น้ำคือ **PP**, **HDPE** กลุ่มที่ 2 คือ **ABS**, **PS** กลุ่มที่ 3 คือ **PET**, **PVC** โดยกลุ่มที่ 1 สามารถแยกได้อีกโดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร ในการคัดแยก โดยให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ **PP** ที่ 99.88 และ **HDPE** ที่ 99.90 ในส่วนของกลุ่มที่ 2 ใช้แคลเซียมริโนซัลโฟเนต (**Calcium lignosulfonate**) และแคลเซียมคลอไรด์ 0.1%w/v ที่ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 ใช้เวลาทั้งหมด 4 นาทีโดยให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ **PS** ที่ 96.43 และ **ABS** ที่ 98.97 ส่วนกลุ่มที่ 3 ใช้แคลเซียมริโนซัลโฟเนตผสมแคลเซียมคลอไรด์ 0.1%w/v ที่ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 11 ใช้เวลาทั้งหมด 3 นาทีและใช้สาร **MIBC 0.02** มิลลิลิตร โดยให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ **PVC** ที่ 91.15 และ **PET** ที่ 98.05

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ก. พลาสติกที่ใช้ในการทดลองเป็นพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ทั้งเป็นขยะซึ่งประกอบด้วย

| พลาสติก | แหล่งที่มา          | ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|---------------------|----------------------------------|
| PET     | ขวดน้ำชาเขียว       | 1.38 - 1.40                      |
| POM     | แผ่นบอร์ด           | 1.39 - 1.41                      |
| PVC     | แผ่นบอร์ดและท่อ     | 1.35 - 1.38                      |
| PS      | ขวดยาкулส์          | 1.01 - 1.03                      |
| ABS     | กรอบจอคอมพิวเตอร์   | 1.02 - 1.04                      |
| PC      | หลังคาใส            | 1.28 - 1.30                      |
| HDPE    | ขวดน้ำ              | 0.91 - 0.93                      |
| PP      | ขวดน้ำดื่ม (สีขุ่น) | 0.90 - 0.92                      |

ข. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง (สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น Analytical reagent)

| ชื่อสารเคมี                  | สูตรโมเลกุล   | บริษัท, ประเทศ             |
|------------------------------|---|----------------------------|
| แคลเซียมคลอไรด์              | $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$             | Ajax,<br>ออสเตรเลีย        |
| โซเดียมไนเตรต                | $\text{NaNO}_3$                                       | BDH, อังกฤษ                |
| แมกนีเซียมคลอไรด์            | $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$             | ศึกษาภัณฑ์<br>พาณิชย์, ไทย |
| แมกนีเซียมซัลเฟต             | $\text{MgSO}_4$                                       | ศึกษาภัณฑ์<br>พาณิชย์, ไทย |
| แคลอรีโนซัลโฟเนต<br>แคลเซียม | $\text{C}_{115}\text{H}_{132}\text{O}_{40}\text{SCa}$ | Aldrich, อเมริกา           |

| ชื่อสารเคมี                               | สูตรโมเลกุล                 | บริษัท, ประเทศ         |
|---|-----------------------------|------------------------|
| เกลือคาร์บอกซิลเมทิล<br>เซลลูโลส แคลเซียม | $C_6H_9OCH_2COONa$          | Aldrich, อเมริกา       |
| พอลิไวนิล แอลกอฮอล์                       | $(CH_2-CHOH)_n$             | Fluka,<br>นิวซีแลนด์   |
| โพลีออกซีเอทิลลินซอ<br>บิเทนโมโนโอเลต     | $C_{64}H_{124}O_{27}$       | สงหวด, ไทย             |
| เฮกซะเดคซิลไตรเมทิล<br>แอมโมเนียมโบรมาด์  | $C_{19}H_{42}BrN$           | Fluka,<br>นิวซีแลนด์   |
| โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต                     | $CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$    | Ajax,<br>ออสเตรีย      |
| เมทิล ไอโซบิวทิล คาร์บิ<br>โนล            | $CH_3CH(CH_3)CH_2(OH)CH_3$  | Aldrich, อเมริกา       |
| อลูมิเนียมซัลเฟต                          | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ | Ajax,<br>ออสเตรีย      |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์                         | NaOH                        | BDH, อังกฤษ            |
| กรดไฮโดรคลอริก                            | HCl                         | BDH, อังกฤษ            |
| เมทานอล                                   | $CH_3OH$                    | LAB-SCAN,<br>ไอร์แลนด์ |
| เอทิลแอลกอฮอล์                            | $C_2H_5OH$                  | BDH, อังกฤษ            |
| ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์                       | $C_3H_7OH$                  | CARLO ERBA,<br>อิตาลี  |

### 32 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

| เครื่องมือและอุปกรณ์                                 | รุ่น  |
|--|-------|
| เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ<br>(Digital Flow check) | 47000 |
| ตู้อบ (Hot air oven)                                 | TSF   |
| ปั๊มอากาศ  | AP-10 |
| ซินเตอร์ กลาส (40-100 ไมโครเมตร)                     | -     |

| เครื่องมือและอุปกรณ์                  | รุ่น   |
|---------------------------------------|--------|
| เครื่องชั่งน้ำหนัก                    | MT-800 |
| เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) |        |
| เครื่องกวนปรับความเร็วรอบ             | RW20N  |
| ไพคโนมิเตอร์ (Pycnometer)             | -      |
| เครื่องมืออื่นๆ ในห้องปฏิบัติการ      | -      |

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

| เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ | รุ่น              |
|--------------------------------|-------------------|
| Contact angle                  | OCA 15 Plus       |
| Tensiometer                    | K 8               |
| Zeta Potential                 | Zetazier 3000 HSa |

### 3.4 การดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการคัดแยกพลาสติกออกเป็นแต่ละชนิด โดยขั้นแรกพลาสติกที่ใช้ในการทดลองนั้นจะถูกตัดให้มีขนาด 3-5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยกพลาสติกออกเป็นแต่ละชนิด โดยข้อมูลที่น่าเสนอจะเป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองจำนวน 3 ครั้ง และแต่ละข้อมูลการวัดค่ามุมสัมผัส และแรงตึงผิวเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าเฉลี่ยที่ทำการวัดจำนวน 5 ครั้งและ 2 ครั้งตามลำดับ

#### 3.4.1 การทดลองด้วยวิธีการลอย-จมและซีเล็กทีฟโฟลเทชัน

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการคัดแยกโดยใช้วิธีลอย-จม แล้วจึงนำขยะพลาสติกที่ไม่สามารถแยกด้วยวิธีลอย-จม ไปทำการคัดแยกโดยวิธีซีเล็กทีฟโฟลเทชัน



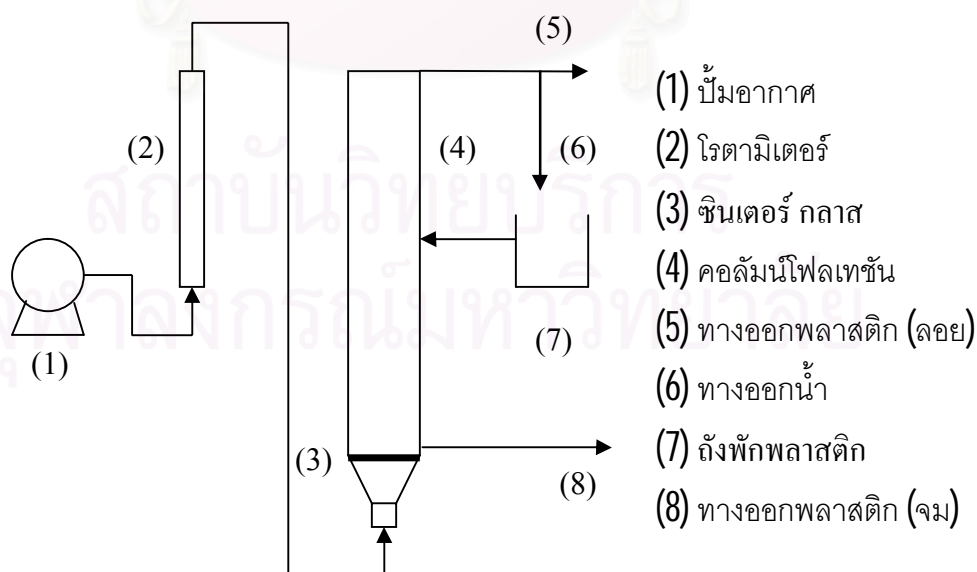
### 341.1 การทดลองด้วยวิธีการลอย-จม (Sink-Float method)

1. นำขยะพลาสติกแต่ละชนิด จำนวน 1 กรัม นำมาผสมกัน
2. นำขยะพลาสติกที่ผสมกัน ใส่ลงในน้ำปริมาตร 1 ลิตร แล้วทำการคนให้ทั่ว
3. ทำการเก็บพลาสติกที่ลอยและจมออกจากกัน
4. นำพลาสติกที่ถูกคัดแยกทำความสะอาดและผึ่งลมให้แห้ง
5. คัดแยกพลาสติกที่ลอยและจมออกเป็นแต่ละชนิด นำพลาสติกที่ถูกคัดแยก ไปชั่งเพื่อคำนวณหาอัตราการลอยตัวและความบริสุทธิ์ของพลาสติกแต่ละชนิด

### 341.2 การทดลองด้วยวิธีการซีเล็กทีฟโฟลเทชัน (Selective flotation)

การศึกษานี้จะใช้พลาสติกที่ไม่สามารถถูกคัดแยกด้วยวิธีการลอย-จม นำมาคัดแยกด้วยวิธีการซีเล็กทีฟโฟลเทชัน

คอลัมน์พลาสติก (Plastic Column) ที่ใช้ในการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่องมีความสูงจากซินเตอร์ กลาสถึงปากคอลัมน์ 500 มิลลิเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางคอลัมน์ 90 มิลลิเมตร อากาศจะถูกป้อนจากเครื่องปั๊มอากาศและถูกควบคุมอัตราการไหลด้วยโรตاميเตอร์ แล้วจึงไหลเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของคอลัมน์ ผ่านซินเตอร์ กลาสที่มีความพรุน 40-100 ไมโครเมตร ดังแสดงแผนภาพดังรูปที่ 31 พลาสติกที่ลอยตัวจะไหลลื่นออกทางด้านบนของคอลัมน์ ส่วนพลาสติกที่จมตัวลงจะตกด้านล่างของคอลัมน์



รูปที่ 31 แผนผังอุปกรณ์ทดลองวิธีการซีเล็กทีฟโฟลเทชัน

1. เตรียมพลาสติกแต่ละคู่ ในหัวข้อที่ 341.1 จำนวน 2 กรัม
2. เตรียมสารละลายตามสภาวะที่ต้องการศึกษา ปริมาตร 3,000 มิลลิลิตร เรียงตามตัวแปรต่อไปนี้
  21. เวตติงต์เอเจนต์ ใช้สารละลายรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม ซอล์ท สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ สารละลายคาร์บอกซิล เมทิลเซลลูโลส แคลเซียม ซอล์ท ที่ระดับความเข้มข้น 100 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
  22. สารลดแรงตึงผิว ใช้ CTAB Tween80 และ SDS ที่ระดับความเข้มข้น 1 510 และ 100 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ
  23. อีเล็กโทรไลต์ ใช้แมกนีเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมไนเตรต อลูมิเนียมซัลเฟต ที่ระดับความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 0.3 0.7 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
  24. โพรเตอร์ ใช้ MBC ปริมาตร 0.01 0.05 0.1 0.3 0.7 และ 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ
  25. ค่าความเป็นกรด-ด่าง
3. นำพลาสติกจากขั้นตอนที่ 1 ใสลงถึงป้อนพลาสติกที่บรรจุสารละลายข้างต้น ปริมาตร 700 มิลลิลิตร แล้วจึงป้อนเข้าสู่คอลัมน์ที่บรรจุสารละลาย ปริมาตร 2,300 มิลลิลิตร ซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศที่ 238 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
4. เก็บพลาสติกที่ลอยขึ้น ทำความสะอาดพลาสติกด้วยการล้างและนำไปผึ่งให้แห้ง
5. คัดแยกพลาสติกลอยและจมออกเป็นแต่ละชนิด เพื่อหาร้อยละลอยตัวและร้อยละความบริสุทธิ์ของพลาสติกแต่ละชนิด
6. ทำการศึกษาผลของสารละลายแต่ละชนิดต่อการแยกพลาสติก แต่ละคู่ โดยเปลี่ยนเป็นพลาสติกคู่อื่น
7. นำสภาวะในการแยกพลาสติกแต่ละคู่ มาศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศต่อการแยกพลาสติกด้วยวิธีซีเล็กทีฟโฟลเทชัน
8. นำสภาวะที่เหมาะสมในการแยกพลาสติกแต่ละคู่ มาศึกษาผลของเวลาต่อการคัดแยก

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 กระบวนการลอย-จม

ขยะพลาสติกผสมจะถูกแยกออกเป็นกลุ่มย่อยโดยใช้น้ำในการคัดแยก โดยพบว่าขยะพลาสติกผสมทั้ง 8 ชนิด จะถูกแยกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือขยะพลาสติกกลุ่มที่ลอยบนผิวน้ำ และขยะพลาสติกกลุ่มที่จมน้ำ ขยะพลาสติกที่ลอยบนผิวน้ำประกอบด้วย HDPE และ PP ในขณะที่ขยะพลาสติกชนิดอื่นๆ (PET, PVC, POM, PS, ABS และ PC) จะจมน้ำ ที่ผลเป็นเช่นนี้เนื่องจากผลต่างของความหนาแน่นระหว่างขยะพลาสติกและน้ำ ขยะพลาสติกที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจะจมอยู่ใต้น้ำ ขณะที่ขยะพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจะลอยอยู่บนผิวน้ำ จากผลการทดลองที่ได้ ขยะพลาสติกผสมที่แยกเป็นกลุ่มย่อยนี้ ยังมีองค์ประกอบพลาสติกอยู่อีกหลายชนิด จึงทำการคัดแยกให้เป็นกลุ่มย่อยต่อไปอีกด้วย โดยใช้สารละลายที่มีความหนาแน่นสูงสำหรับการแยกขยะพลาสติกที่จมน้ำและใช้สารละลายที่มีความหนาแน่นต่ำสำหรับการคัดแยกขยะพลาสติกที่ลอยบนผิวน้ำ

##### 4.1.1 สารละลายความหนาแน่นสูง (Dense medium solution, DMS)

ในงานวิจัยการแยกพลาสติกกลุ่มที่จมน้ำจะใช้สารละลายที่มีความหนาแน่นสูง 3 ชนิดคือ สารละลายโซเดียมไนเตรท สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) 4.1 (ข) และ 4.1 (ค) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.1 (ก) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไนเตรทในการคัดแยกขยะพลาสติกผสมพบว่า PS และ ABS ลอยแยกจากขยะพลาสติกผสม เมื่อความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%wt/v) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทเป็น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร PC จะลอยแยกออกจากขยะพลาสติกผสมและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนเตรทเป็น 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร PVC จะลอยแยกออกจากขยะพลาสติกผสม ขยะพลาสติกผสมที่เหลือประกอบด้วย PET และ POM

จากรูปที่ 4.1 (ข) เมื่อใช้สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ในการคัดแยกขยะพลาสติกผสมพบว่า PS และ ABS ลอยแยกจากขยะพลาสติกผสม เมื่อความเข้มข้นสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ 14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์

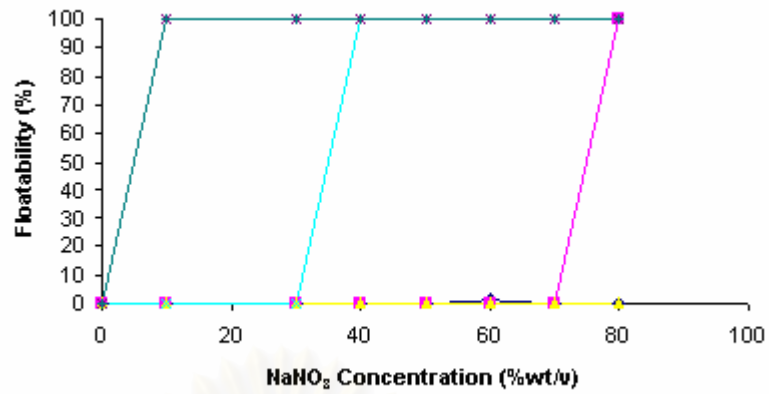
จนถึงจุดอิ่มตัว พบว่าไม่มีพลาสติกชนิดใดลอยแยกออกจากขยะพลาสติกผสม ขยะพลาสติกผสมที่เหลื่อประกอบด้วย PET, PVC, POM และ PC

จากรูปที่ 4.1 (ค) เมื่อใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในการคัดแยกขยะพลาสติกผสมพบว่า PS และ ABS ลอยแยกจากขยะพลาสติกผสม เมื่อความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร PC จะลอยแยกออกจากขยะพลาสติกผสมเป็นอันดับถัดไป เมื่อเพิ่มความเข้มข้นถึงจุดอิ่มตัว พบว่าไม่มีพลาสติกชนิดใดลอยแยกออกจากขยะพลาสติกผสม ขยะพลาสติกผสมที่เหลื่อประกอบด้วย PET, PVC และ POM

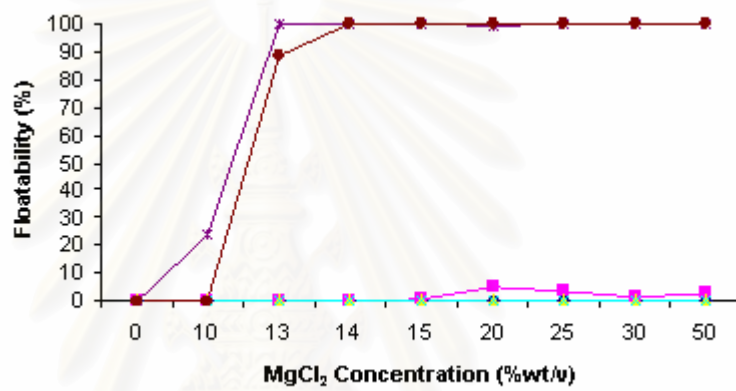
จากผลการทดลองเหล่านี้ ทำให้ทราบว่า เมื่อใช้สารละลายต่างชนิดกันในการคัดแยกขยะพลาสติกผสมก็จะให้ผลต่างกันและใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะความแตกต่างความหนาแน่นของสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.2



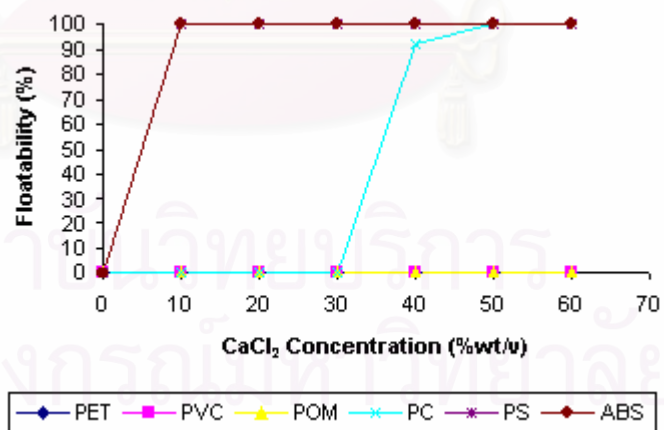
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

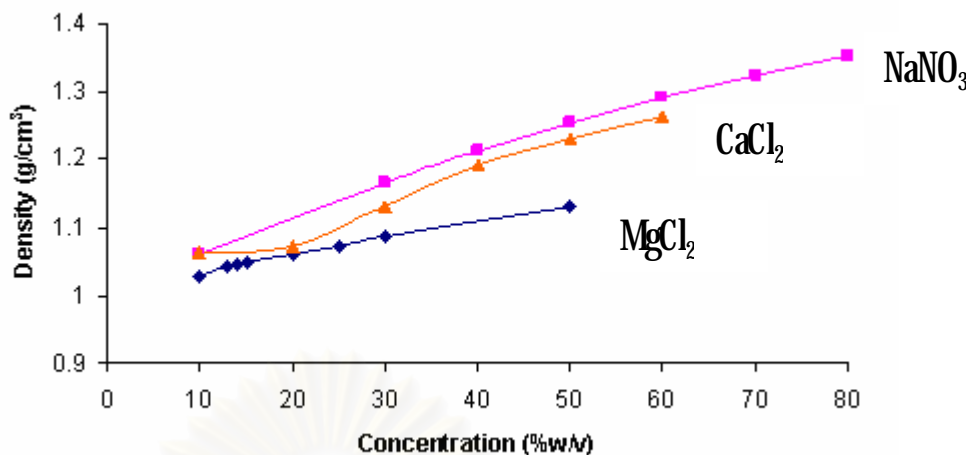


(ค)

รูปที่ 41 การแยกขยะพลาสติกผสมด้วยสารละลายความหนาแน่นสูง 3 ชนิด ได้แก่  
 (ก) NaNO<sub>3</sub> solution (ข) MgCl<sub>2</sub> solution (ค) CaCl<sub>2</sub> solution

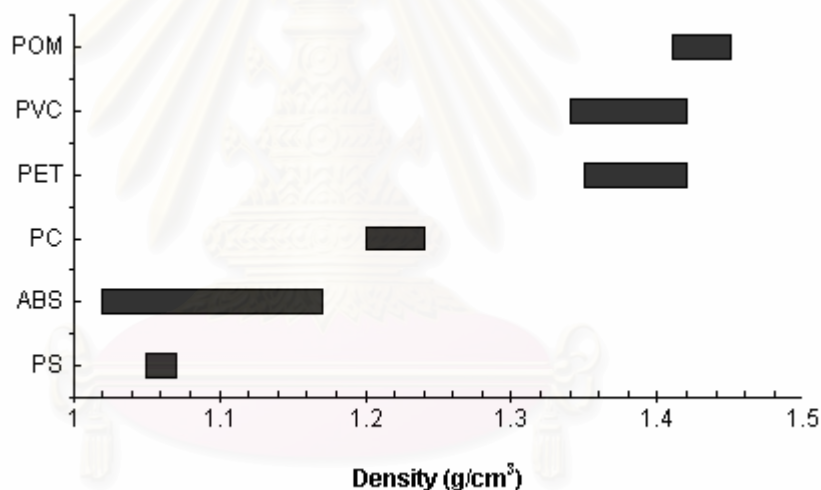


(ก)



หมายเหตุ MgCl<sub>2</sub> อิ่มตัวที่ความเข้มข้น > 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร  
CaCl<sub>2</sub> อิ่มตัวที่ความเข้มข้น > 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

(ข)



รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นของสารละลายความหนาแน่นสูง (ก) และความหนาแน่นของพลาสติกแต่ละชนิด (ข)

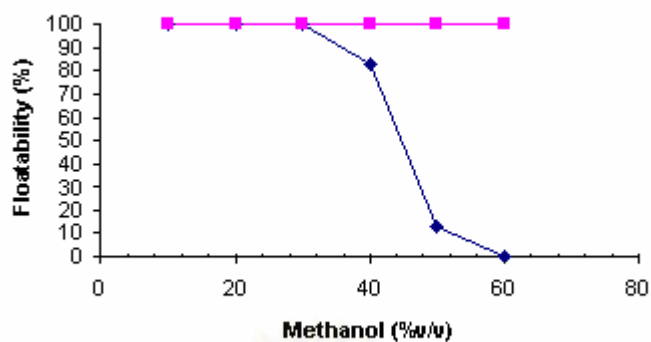
อย่างไรก็ตาม การแยกขยะพลาสติกผสมในขั้นตอนนี้ ไม่สามารถแยกออกเป็นแต่ละชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูงได้ ทั้งนี้เป็นเพราะความหนาแน่นของแต่ละคู่พลาสติกมีค่าใกล้เคียงกัน ฉะนั้นขยะพลาสติกผสมที่แยกเป็นกลุ่มเหล่านี้ (พลาสติก PS และ ABS และ พลาสติก PET และ POM) จะนำไปแยกด้วยกระบวนการโพลเทชัน

## 41.2 สารละลายความหนาแน่นต่ำ (Light medium solution, LMS)

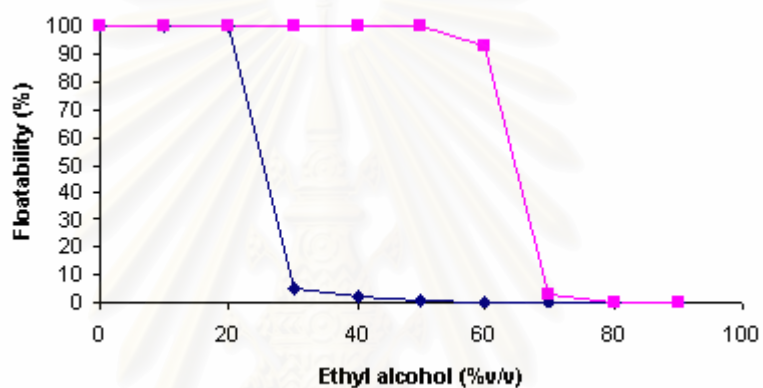
ส่วนขยะพลาสติกผสมที่มีความหนาแน่นต่ำ (ลอยบนผิวน้ำ) จะถูกคัดแยกโดยใช้สารละลายความหนาแน่นต่ำ 3 ชนิดคือ เมทานอล เอทิลแอลกอฮอล์ และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งจากการทดลองพบว่า HDPE แยกตัวออกจาก PP อย่างสมบูรณ์ที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์และที่ 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของเมทานอลและที่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของเอทิลแอลกอฮอล์

ที่เป็นเช่นนี้เพราะความต่างระหว่างความหนาแน่นของพลาสติกและสารละลายความหนาแน่นต่ำ โดยความหนาแน่นของเมทานอล เอทิลแอลกอฮอล์ และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ แสดงในภาคผนวก ข

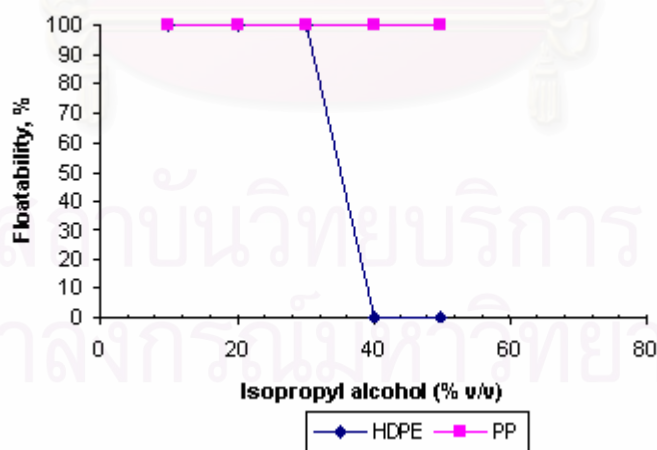
จากผลการคัดแยกขยะพลาสติกผสมด้วยวิธีลอย-จม จะสามารถคัดแยกพลาสติกตามแต่ละชนิดออกได้สำเร็จคือ PC PVC HDPE และ PP ส่วนขยะพลาสติกที่ยังไม่สามารถแยกออกตามชนิดพลาสติกและผสมกันอยู่คือ ขยะพลาสติกผสมระหว่าง PS และ ABS ขยะพลาสติกผสมระหว่าง PET และ POM ซึ่งขยะพลาสติกผสมเหล่านี้จะถูกนำไปแยกต่ออีก ด้วยวิธีซีเล็กทีฟโฟลเทชัน



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.3 การแยกขยะพลาสติกผสมที่ลอยบนผิวน้ำด้วยสารละลายความหนาแน่นต่ำ 3 ชนิด ได้แก่ (ก) เมทานอล (ข) เอทิลแอลกอฮอล์ (ค) ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

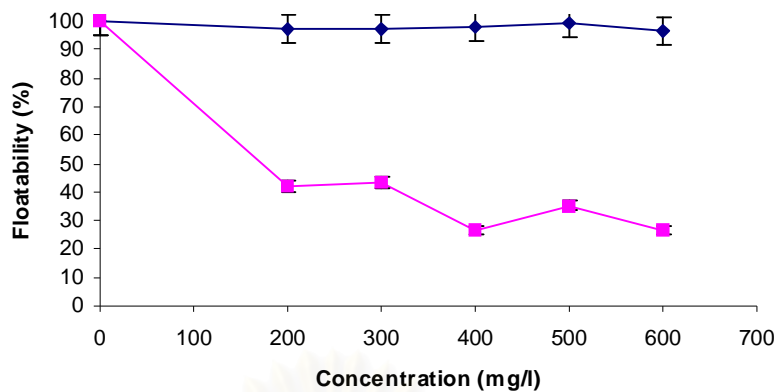
## 4.2 โฟลเทชัน (Flotation)

### 4.2.1. เวตติงต์เอเจนต์

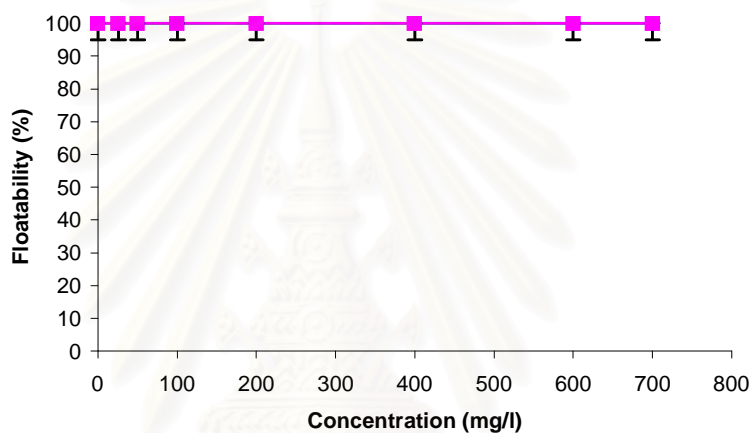
รูปที่ 4.4 แสดงร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS ด้วยวิธีโฟลเทชันโดยใช้เวตติงต์เอเจนต์ 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า กลีอรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม (CaLS) มีผลทำให้ร้อยละการลอยตัวของ ABS ลดลง แต่ไม่มีผลต่อการลอยตัวของ PS จึงสามารถกล่าวได้ว่า ABS แยกออกจาก PS ได้ ค่าการร้อยละการลอยตัวของ PS เท่ากับ 97.6 (ร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 79.1) และร้อยละการลอยตัวของ ABS เท่ากับ 26.4 (ร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 96.4) เมื่อใช้กลีอรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกลีอคาร์บอซิด เมทิลเซลลูโลสแคลเซียม ไม่ส่งผลต่อการลอยของ PS และ ABS

การเติมเวตติงต์เอเจนต์ มีผลให้ค่าแรงตึงผิวของสารละลายลดต่ำลง โดยที่ค่าแรงตึงผิวน้ำประพามีค่าเท่ากับ 71.8 มิลลินิวตันต่อเมตร เปลี่ยนเป็นค่าแรงตึงผิวต่ำสุดที่ 57.3 มิลลินิวตันต่อเมตร เมื่อเติมกลีอรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม 400 มิลลิกรัมต่อลิตร, 64.8 มิลลินิวตันต่อเมตร เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 69 มิลลินิวตันต่อเมตร เมื่อเติมกลีอคาร์บอซิด เมทิลเซลลูโลสแคลเซียม 600 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถึงอย่างไรก็ตาม แรงตึงผิวของสารละลายยังมากกว่าแรงตึงผิวของพลาสติก (ดังในตารางที่ 2.4) ซึ่งหมายความว่าความการจมตัวของ ABS ไม่ได้เป็นผลจากการลดแรงตึงผิว ทั้งนี้ถ้าเป็นผลมาจากการลดลงของแรงตึงผิว ร้อยละการลอยตัวของ ABS ในสารละลาย พอลิไวนิล แอลกอฮอล์และ กลีอคาร์บอซิดเมทิลเซลลูโลสแคลเซียมน่าจะมีการลดลง ร้อยละการลอยตัวของ ABS ในสารละลายกลีอรีโนซัลโฟเนตแคลเซียม มีค่าลดลง เนื่องจากเป็นเพราะกลีอรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำ และมีหมู่ฟังก์ชัน S=O และ O-H จึงมีความเป็นขั้วสูง (ดังแสดงในรูปที่ 2.4) โมเลกุลที่ไม่มีขั้วของ กลีอรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม เกาะพื้นผิวของพลาสติกด้วยแรงทางฟิสิกส์และหันด้านที่มีขั้วสู่สารละลาย จึงเป็นผลให้พลาสติกเกิดความชอบน้ำเพิ่มขึ้น (Kurachitpimol, 2003)

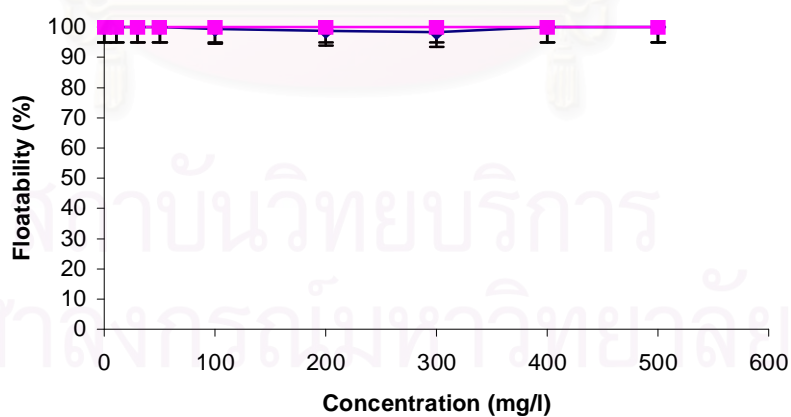
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)



◆ PS    ■ ABS

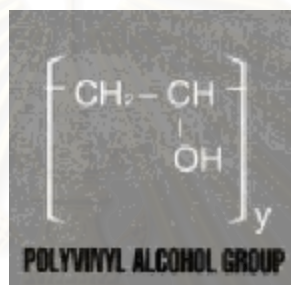
(ค)

รูปที่ 44 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อใช้เวตติงต์เอเจนต์ชนิดต่างๆ ที่ pH 6.8 (ก) เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม (ข) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ค) เกลือคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส แคลเซียม

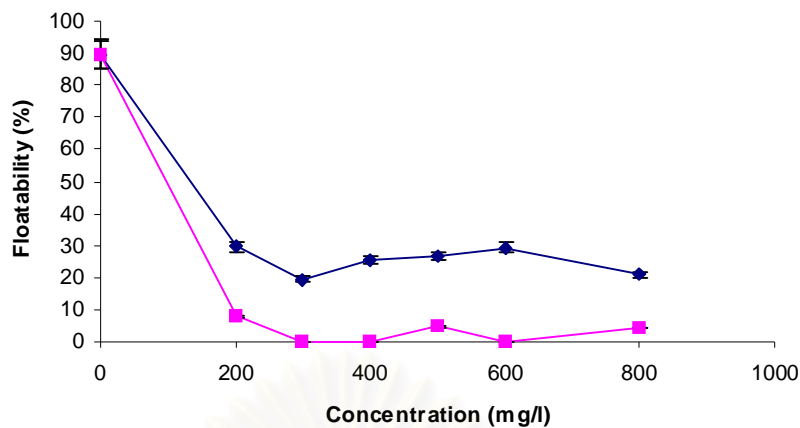


รูปที่ 4.6 แสดงร้อยละการลอยตัวของ PET และ POM ด้วยวิธีโพลเทชันโดยใช้เวตติงต์เอเจนต์ 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) มีผลทำให้ร้อยละการลอยตัวของ POM ลดลง และมีผลต่อการลอยตัวของ PET เล็กน้อย จึงสามารถกล่าวได้ว่า POM แยกออกจาก PET ได้ ค่าร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ PET เท่ากับ 80.0 (ร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 96.4) และของ POM เท่ากับ 2.94 (ร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 83.3) เมื่อใช้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

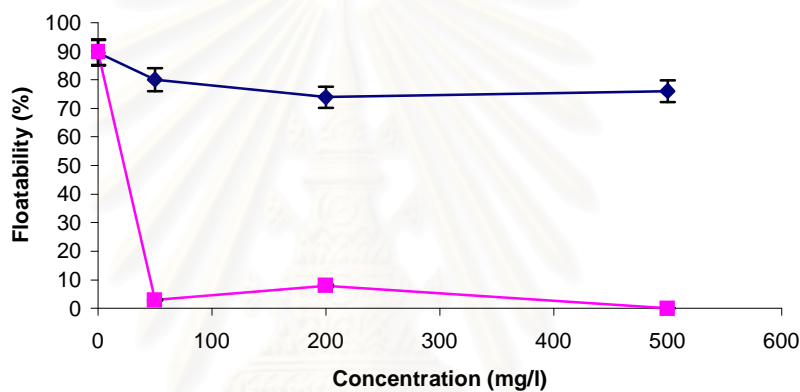
ทั้งนี้เนื่องจาก พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่สามารถละลายน้ำ ในสายโซ่โมเลกุลมีหมู่ -OH ซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว (ทำให้ชอบน้ำ) ส่งผลให้พื้นผิวของพลาสติกเกิดความชอบน้ำมากขึ้น (Dodbiba et al., 2002)



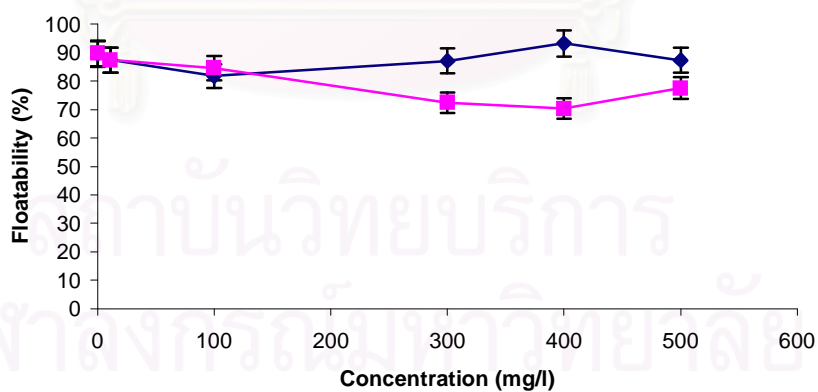
รูปที่ 4.5 โครงสร้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 46 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อใช้เวตติงต์เอเจนต์ชนิดต่างๆ ที่ pH 6.8 (ก) เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม (ข) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ค) เกลือคาร์บอกซิล เมทิลเซลลูโลส แคลเซียม

## 4.2.2 สารลดแรงตึงผิว

รูปที่ 47 แสดงร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุบวก (CTAB) ชนิดที่มีประจุลบ (SDS) และชนิดที่ไม่มีประจุ (Tween80) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า เมื่อเติม CTAB ในช่วง 0 ถึง  $2.67 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน ร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS ลดลงแต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CTAB ร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS กลับเพิ่มขึ้น เมื่อเติม SDS ร้อยละการลอยตัวของพลาสติกทั้ง 2 ชนิดจะลดลง หากเติม Tween80 ร้อยละการลอยตัวของ PS จะลดลงจาก 96.7 เป็น 81.1 ในขณะที่ร้อยละการลอยตัวของ ABS ก่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับผลของสารลดแรงตึงผิวทั้งสามชนิดพบว่า CTAB ที่ความเข้มข้น  $2.67 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน จะให้ค่าร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ PS คือ 85.1 (ความบริสุทธิ์เท่ากับ 91.3) และค่าร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ ABS คือ 82 (ความบริสุทธิ์เท่ากับ 85.9)

รูปที่ 48 แสดงร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM พบว่าสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิดต่างก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกพลาสติก และเมื่อลองเปรียบเทียบค่าร้อยละการลอยตัวสูงสุดและร้อยละความบริสุทธิ์สูงสุดกับปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ พบว่า CTAB ให้ร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ PET คือ 97.1 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 90.6) และร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ POM คือ 9.88 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.9) ที่ความเข้มข้นที่  $3.33 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน เมื่อเติม SDS ร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ PET คือ 93.1 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 91.8) และค่าร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ POM คือ 8.18 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 93.1) ที่ความเข้มข้นที่  $1.67 \times 10^2$  ส่วนในล้านส่วน และหากเติม Tween80 ร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ PET คือ 93.0 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 91.6) และค่าร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ POM คือ 8.31 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 93.1) ที่ความเข้มข้นที่  $6.67 \times 10^3$  ส่วนในล้านส่วน ซึ่งค่าร้อยละการลอยตัวและร้อยละความบริสุทธิ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันมาก แต่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้แตกต่างกัน โดย CTAB จะใช้ปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสารลดแรงตึงผิวอื่นๆ

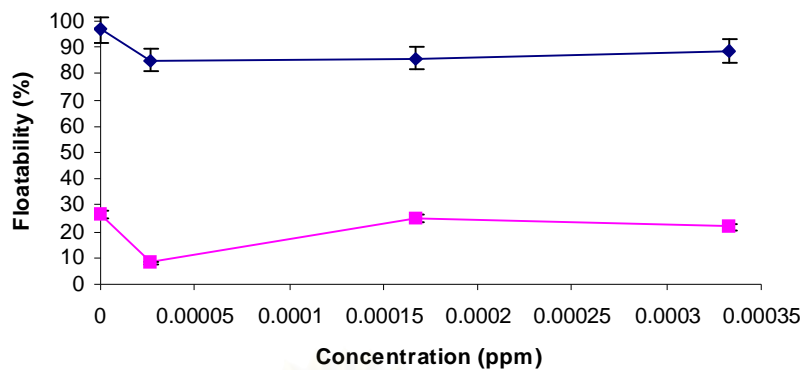
จากการแยก PS และ ABS โดยใช้ เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม 400 มิลลิกรัมต่อลิตร การแยก PET และ POM โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้น ร้อยละความบริสุทธิ์และร้อยละการลอยตัวของพลาสติกที่แยกได้ยังไม่สูงมากนัก เนื่องจากเวดติงต์เอเจนต์ที่ใช้เป็นชนิดมาโครโมเลกุล (Macromolecule) ที่มีขั้ว จึงทำให้เกิดการผลึกกันเมื่อเข้าใกล้กันดังนั้นจึงเกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุล หากเติมสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของเวดติงต์เอเจนต์ ก็จะสามารถแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างและส่งผลดีต่อการคัดแยกพลาสติก (Shen และคณะ., 1999)

สารลดแรงตึงผิวทั้งสามชนิดประกอบด้วย ชนิดที่มีประจุบวก (CTAB) ชนิดที่ไม่มีประจุ (Tween80) และชนิดที่มีประจุลบ (SDS) จากการทดลองพบว่า ชนิดที่ไม่มีประจุแทบจะไม่มีผลต่อ

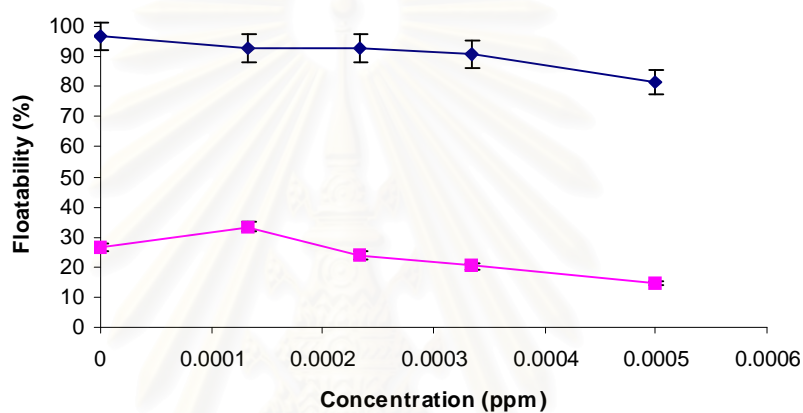
ร้อยละการลอยตัวเพราะแม้จะเพิ่มความเข้มข้นมากกว่าชนิดอื่นๆ ถึง 10 เท่า ซึ่งแรงตึงผิวของสารละลายควรจะลดลงมากกว่าชนิดอื่นๆ แต่ร้อยละการลอยตัวกลับไม่แตกต่างกับกรณีไม่เติมสารลดแรงตึงผิวเลย แสดงว่าการลดลงของร้อยละการลอยตัวของสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ จะไม่ได้เป็นผลมากจากการลดของแรงตึงผิวในสารละลาย โดยที่ชนิดประจุลบเมื่อแทรกตัวระหว่างโมเลกุลของเวตติงเอเจนต์ที่มีประจุลบ ทำให้พื้นที่ของไฮโดรคาร์บอนลดลงแต่จะเพิ่มส่วนพื้นที่ของประจุมากขึ้น ส่วนชนิดประจุบวก ประจุบวกจะจับประจุลบของเวตติงเอเจนต์ ซึ่งทำให้มีพื้นที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น จึงร้อยละการลอยตัวลดลง



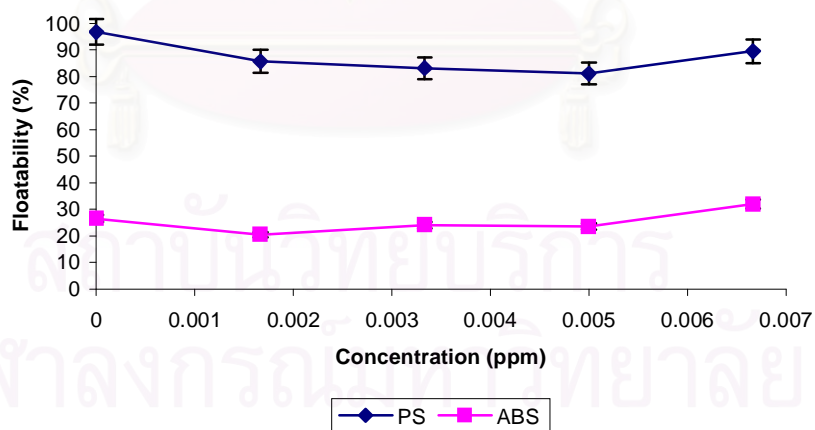
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



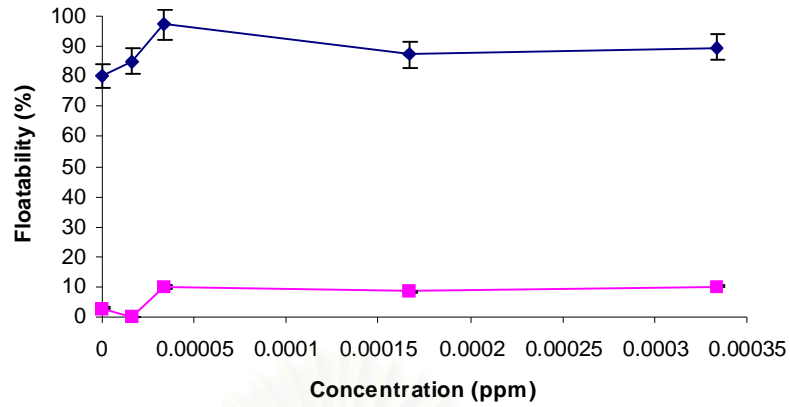
(ข)



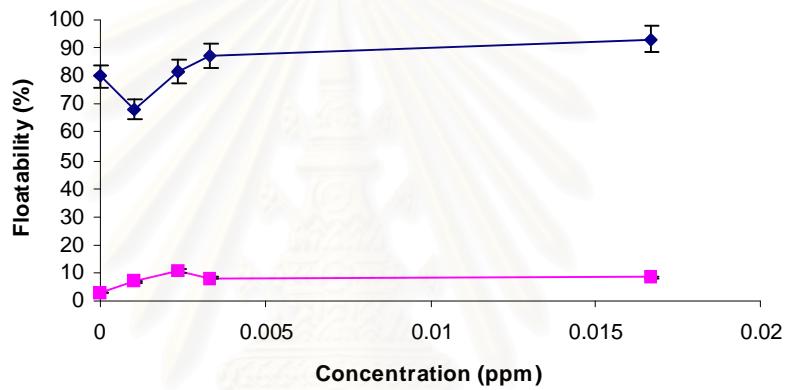
(ค)

รูปที่ 4.7 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติม เกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียม 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ ที่ pH 6.8 (ก) ชนิดข้าววก (CTAB) (ข) ชนิดข้าวลบ (SDS) (ค) ชนิดไม่มีข้าว (Tween80)

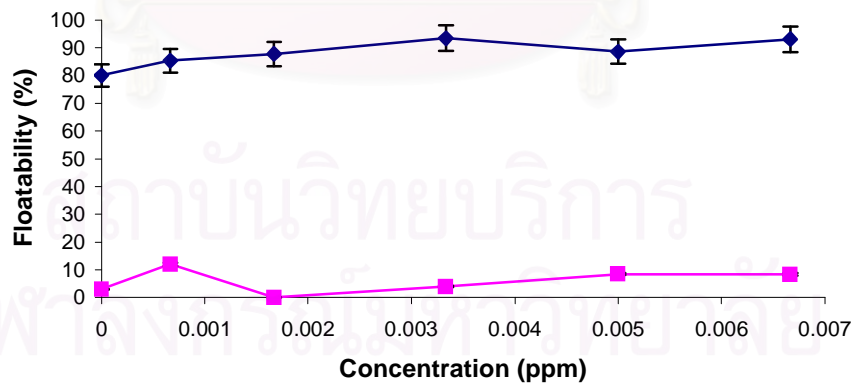




(ก)



(ข)



(ค)

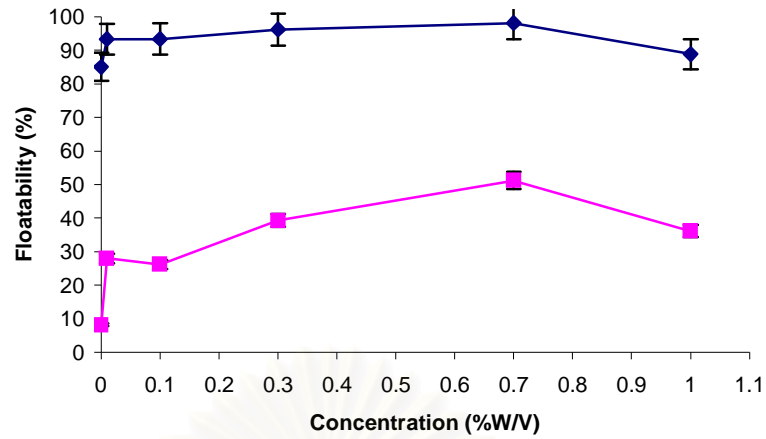
รูปที่ 48 ร้อยละการลอยตัวของ PET และ POM เมื่อเติม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ ที่ pH 6.8 (ก) ชนิดข้าวบวก (CTAB) (ข) ชนิดข้าวลบ (SDS) (ค) ชนิดไม่มีขั้ว (Tween80)

### 4.2.3 อิเล็กโทรไลต์

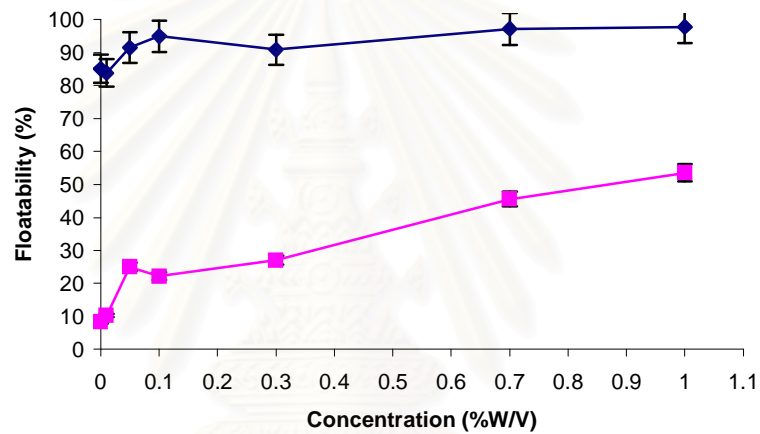
ผลของอิเล็กโทรไลต์ร้อยละการลอยตัวของ **PS** และ **ABS** แสดงในรูป 4.9 และร้อยละการลอยตัวของ **PET** และ **POM** แสดงในรูป 4.10 จากรูป 4.9 พบว่า ร้อยละการลอยตัวของ **PS** และ **ABS** ต่างมีค่ามากขึ้น เมื่อเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไปในสารละลายที่ใช้ในการคัดแยก ซึ่งแสดงเป็นนัยว่าการเติมอิเล็กโทรไลต์ไม่ว่าจะเป็น แมกนีเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์และอลูมิเนียมซัลเฟต ในระดับความเข้มข้นต่างๆ ไม่ช่วยในการคัดแยก **PS** ออกจาก **ABS** อย่างสมบูรณ์ การไม่เติมอิเล็กโทรไลต์ในการคัดแยก **PS** ออกจาก **ABS** แสดงผลการคัดแยก **PS** ออกจาก **ABS** ได้สูงกว่ากรณีที่เติมอิเล็กโทรไลต์ เนื่องมาจากอิเล็กโทรไลต์แตกตัวเป็นไอออน ในขณะที่เดียวกันประจุลบที่จับของเกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียมก็ไปจับกับไอออนประจุบวก ในขณะที่ส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำของเกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียมก็จะจับกับฟองอากาศ จึงทำให้พลาสติกลอยตัวขึ้นไป

จากรูป 4.10 พบว่าเมื่อเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในสารละลายที่ใช้ในการคัดแยก **PET** และ **POM** มีผลให้ร้อยละการลอยตัวของ **PET** และ **POM** ลดลงเล็กน้อย และมีผลให้ร้อยละการลอยตัวของ **POM** เพิ่มขึ้นเล็กน้อย นั่นก็ส่งผลให้การคัดแยก **PET** และ **POM** ไม่สมบูรณ์ และมีผลการคัดแยกต่ำกว่ากรณีไม่เติมแมกนีเซียมคลอไรด์ หากเติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงในสารละลายที่ใช้คัดแยก พบว่าแนวโน้มร้อยละการลอยตัวของ **PET** และ **POM** ต่างมีลักษณะทิศทางเดียวกัน ในกรณีเติมอลูมิเนียมซัลเฟตมีผลต่ำกว่ากรณีไม่เติมอลูมิเนียมซัลเฟต เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย จากความเป็นกรด-ด่างในช่วง 6.8 เมื่อยังไม่มี การเติมอลูมิเนียมซัลเฟต หากเติมแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโดยปริมาตร มีผลให้ร้อยละการลอยตัวของ **PET** ลดลงเหลือ 93.3 แต่ไม่ปรากฏการลอยตัวของ **POM** (ร้อยละการลอยตัวของ **POM** เท่ากับ 0) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเพราะไอออนบวกจะเข้าไปจับกับประจุลบบนผิวพลาสติก **PET** แต่ที่ผิวของ **POM** มีประจุเป็นบวก (Shen et al., 2002)

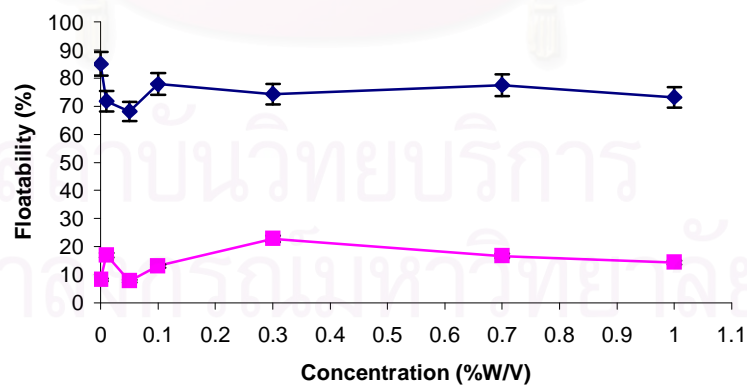
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



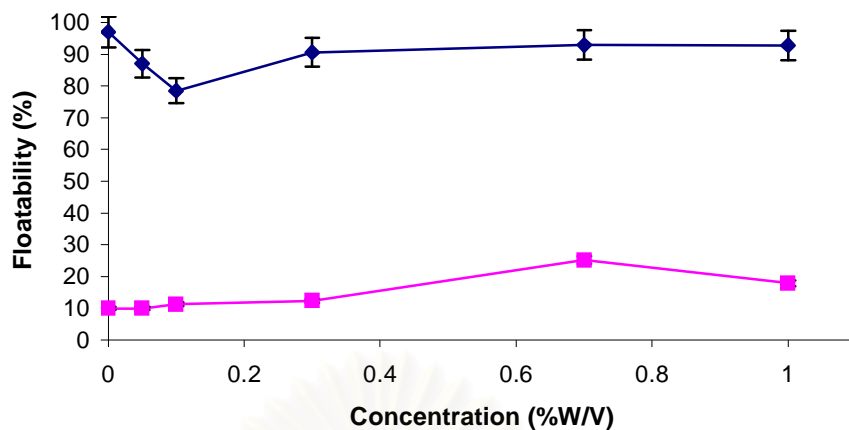
(ข)



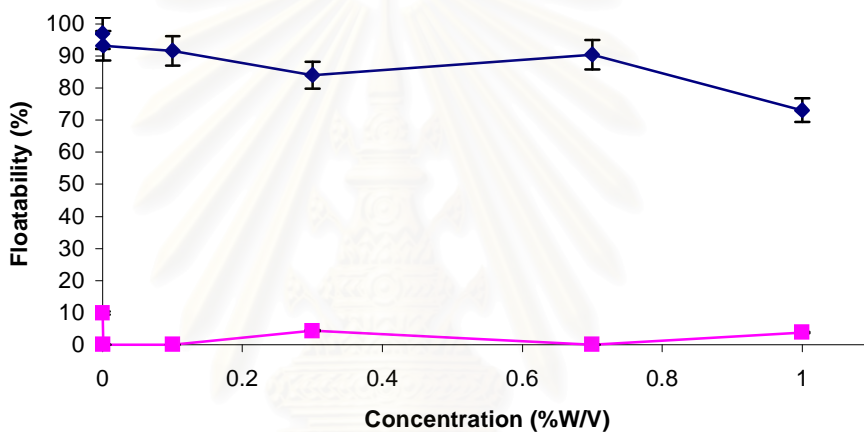
(ค)

—◆— PS —■— ABS

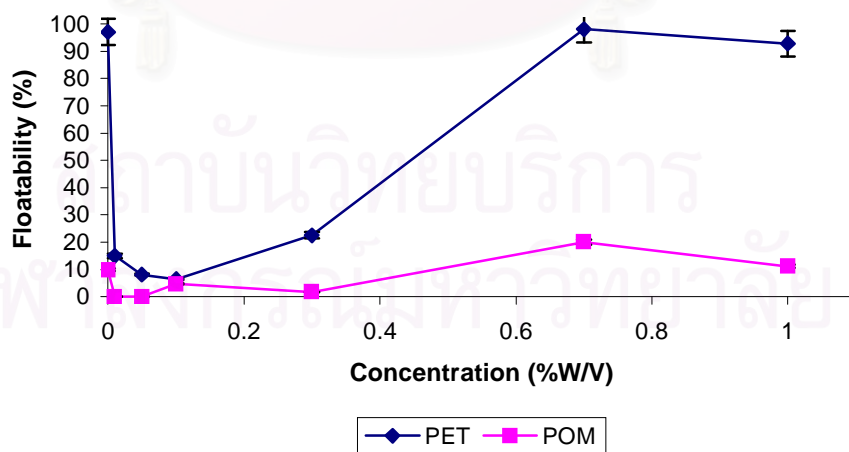
รูปที่ 49 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติม CaLS 400mg/l, CTAB  $2.67 \times 10^5$  ppm และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ที่ pH 6.8 (ก)  $MgCl_2$  (ข)  $MgSO_4$  (ค)  $Al_2(SO_4)_3$



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 410 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติม PVA 50mg/l, CTAB  $3.33 \times 10^5$  ppm และเติมสารอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ที่ pH 6.8 (ก)  $MgCl_2$  (ข)  $MgSO_4$  (ค)  $Al_2(SO_4)_3$

จากการทดลองข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PS และ ABS คือ CaLS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $2.67 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วนและไม่มีการเติมสารอิเล็กโทรไลต์ โดยสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PS 85.1 และร้อยละความบริสุทธิ์ 91.3 และร้อยละการลอยตัว ABS 8.2 และร้อยละความบริสุทธิ์ 85.9 และสภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PET และ POM คือ พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $3.33 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วนและเติมสารอิเล็กโทรไลต์  $MgSO_4$  0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PET 93.3 ร้อยละความบริสุทธิ์ 100 และร้อยละการลอยตัว POM 0 และร้อยละความบริสุทธิ์ 92.8 จึงนำสภาวะนี้ไปศึกษาต่อในตัวอย่างอื่นต่อไป

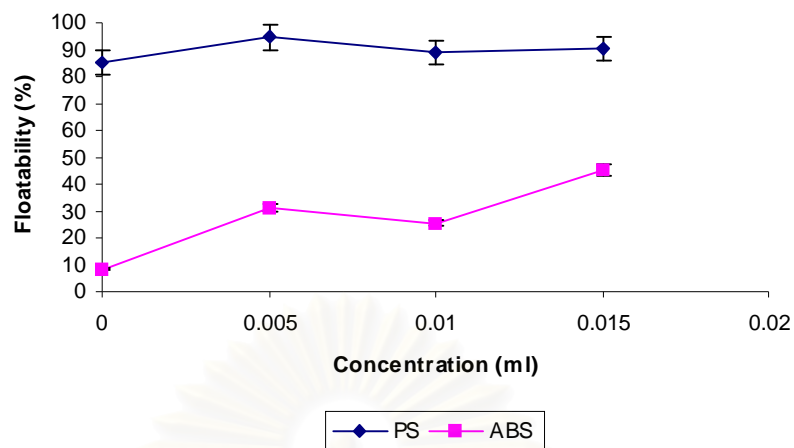
#### 4.24 โพรเตอร์

จากรูปที่ 4.11 แสดงร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS เมื่อเติม MBC ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS ต่างเพิ่มขึ้น เมื่อเติม MBC ซึ่งแสดงว่าประสิทธิภาพการคัดแยก PS ออกจาก ABS นั้นลดลง จึงไม่เหมาะที่จะเติม MBC ในการคัดแยก PS ออกจาก ABS

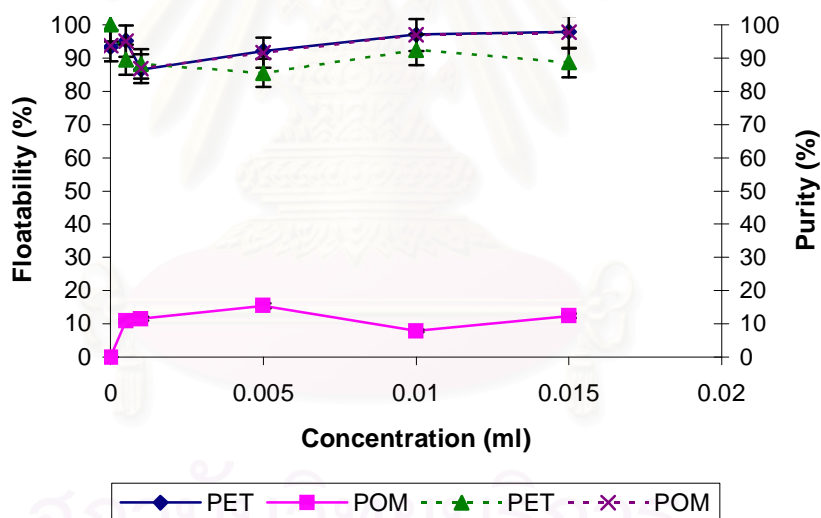
รูปที่ 4.12 แสดงร้อยละการลอยตัวของ PET และ POM เมื่อเติม MBC ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า เมื่อ MBC ปริมาตร 0.01 มิลลิตร PET สามารถลอยแยกออกจาก POM ได้ดีขึ้นโดยพบว่า มีผลให้ร้อยละการลอยตัวของ PET สูงขึ้นจาก 93.3 (100) เป็น 98.1 (96.5) โดยที่ค่าในวงเล็บหมายถึง ร้อยละความบริสุทธิ์ ซึ่งค่าความบริสุทธิ์ลดลงประมาณร้อยละ 8 ขณะที่ร้อยละการลอยตัวของ POM ลดลงร้อยละ 3.7 แต่ร้อยละความบริสุทธิ์สูงขึ้นประมาณร้อยละ 4 เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากกรณีไม่เติม MBC

จากการทดลองข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PS และ ABS คือ CaLS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $2.67 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วนและไม่มีการเติมสารอิเล็กโทรไลต์และ MBC โดยสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PS 85.1 และร้อยละความบริสุทธิ์ 91.3 และร้อยละการลอยตัว ABS 8.2 และร้อยละความบริสุทธิ์ 85.9 และสภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PET และ POM คือ พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $3.33 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน สารอิเล็กโทรไลต์  $MgSO_4$  0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรและ MBC 0.01 มิลลิตร โดยสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PET 98.1 ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5 และร้อยละการลอยตัว POM 3.7 และร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5 จึงนำสภาวะนี้ไปศึกษาต่อในตัวอย่างอื่นต่อไป





รูปที่ 411 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสาร CaLS 400mg/l, CTAB  $2.67 \times 10^5$  ppm ที่ pH 6.8 และเติม MIBC



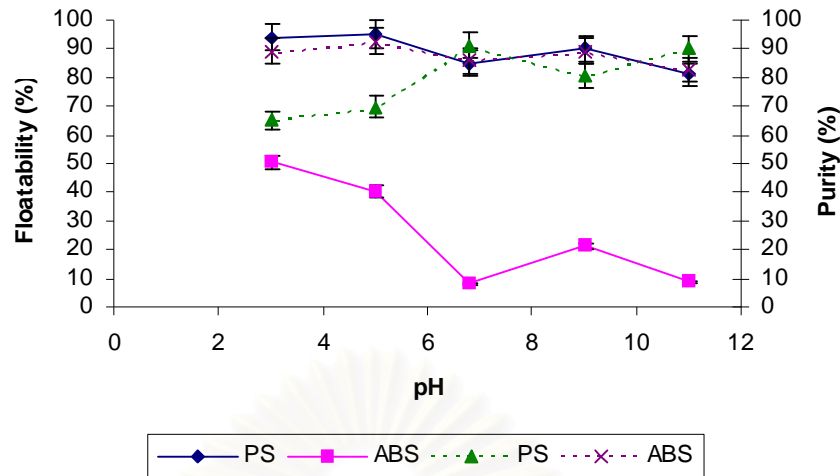
รูปที่ 412 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติมสาร PVA 50mg/l, CTAB  $3.33 \times 10^5$  ppm  $MgSO_4$  0.01 %w/v ที่ pH 6.8 และเติม MIBC

## 4.2.5 ความเป็นกรด-ด่าง

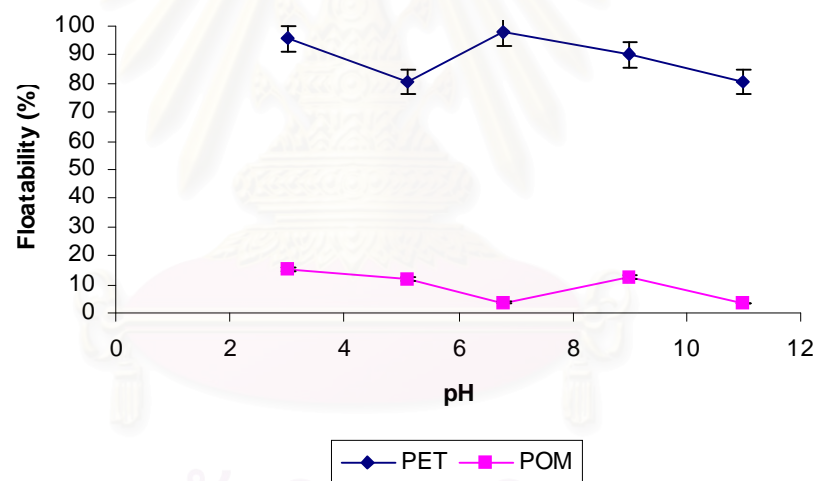
รูปที่ 413 และ 414 แสดงร้อยละการลอยตัวของ PS ABS และ PET POM เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่า ที่ความเป็นกรด-ด่างกลาง ( $\approx 6.8$ ) แสดงผลการคัดแยก PS และ ABS และการคัดแยก PET และ POM ได้ผลสูงสุดเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากค่าความเป็นกรด-ด่างระดับอื่นๆ คือ

จากผลการทดลอง พบว่าที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.8 ร้อยละการลอยตัวของ PS คือ 85.1 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 91.3) และค่าร้อยละการลอยตัวของ ABS คือ 8.21 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 85.9) ในขณะที่ร้อยละการลอยตัวของ PET คือ 98.1 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5) และร้อยละการลอยตัวของ POM คือ 3.7 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5) ที่เป็นเช่นนี้เพราะโครงสร้างของ ABS ชอบทำตัวเป็นตัวรับโปรตอน ในขณะที่หมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของซัลโฟเนตของ CaLS และของ CTAB จะทำหน้าที่เป็นตัวให้โปรตอน จึงทำให้ร้อยละการลอยตัวของ ABS ลดลง เมื่อความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง หากมีความเป็นกรด ซึ่งมี  $H^+$  มากขึ้นทำให้เกิดการแข่งขันกับเกลือรีโนซัลโฟเนต แคลเซียมในการจับ ABS ฉะนั้น จึงทำให้ร้อยละการลอยตัวของ ABS สูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ภาวะความเป็นกรด (R.D. Pasoe., 2003) ในขณะที่โครงสร้างของ PS ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่แสดงไฟฟ้าเป็นลบเลย จึงไม่มีตัวรับโปรตอน ฉะนั้น จึงไม่มีผลต่อการการลอยตัวของ PS ซึ่งลักษณะนี้ก็เกิดขึ้นในการคัดแยก PET และ POM เช่นกัน

การทดลองข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PS และ ABS คือ CaLS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $2.67 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน และไม่มีการเติมสารอิเล็กโทรไลต์ โพรเตอร์และปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PS 85.1 และร้อยละความบริสุทธิ์ 91.3 และร้อยละการลอยตัวของ ABS 8.2 และร้อยละความบริสุทธิ์ 85.9 และสภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PET และ POM คือ พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $3.33 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน สารอิเล็กโทรไลต์  $MgSO_4$  0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร MIBC 0.01 มิลลิกรัม และไม่มีการปรับความเป็นกรด-ด่าง โดยสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PET 98.1 ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5 และร้อยละการลอยตัวของ POM 3.7 และร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5 จึงนำสภาวะนี้ไปศึกษาต่อในตัวแปรอื่นต่อไป



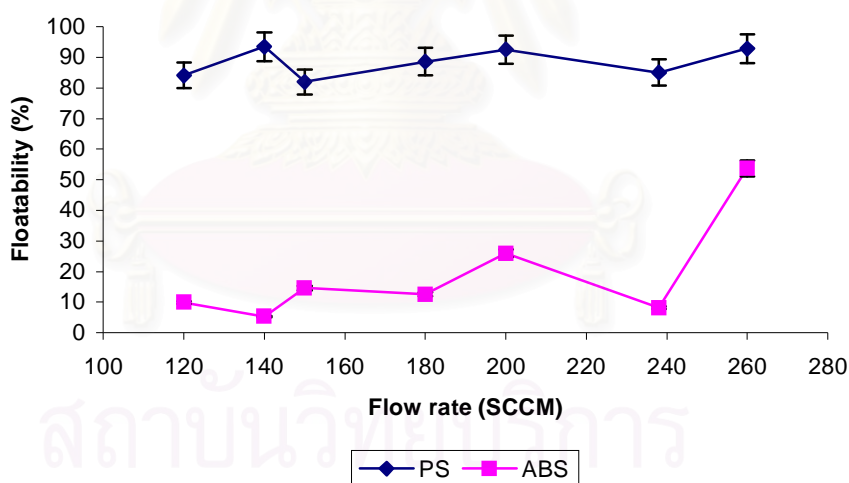
รูปที่ 413 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสาร CaLS 400mg/l, CTAB  $2.67 \times 10^5$  ppm และปรับความเป็นกรด-ด่าง



รูปที่ 414 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติมสาร PVA 50mg/l, CTAB  $3.33 \times 10^5$  ppm  $MgSO_4$  0.01 %w/v MIBC 0.01 ml และปรับความเป็นกรด-ด่าง

#### 4.2.6 อัตราการไหลของอากาศ

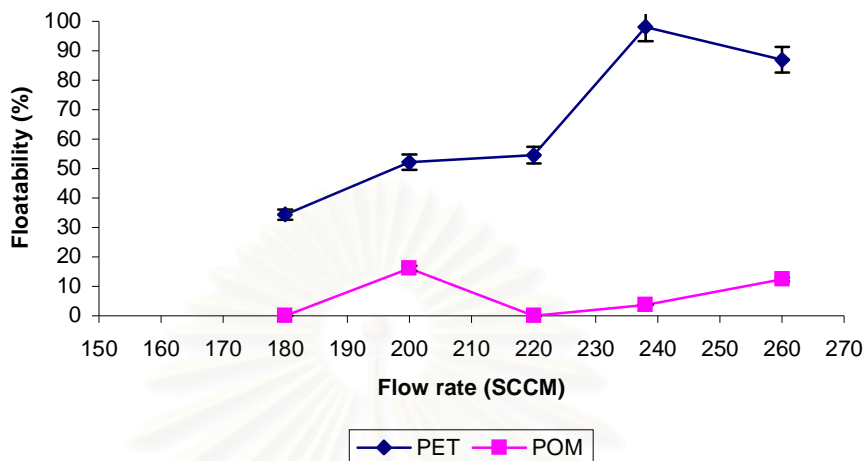
จากรูปที่ 415 และ 416 แสดงร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS และร้อยละการลอยตัวของ PET และ POM ตามลำดับ เมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศต่างๆ กรณีการคัดแยก PS ออกจาก ABS พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจาก 120 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เป็น 140 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ร้อยละการลอยตัวของ PS เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 85.1 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 91.3) เป็น 93.5 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 94.8) ขณะที่ร้อยละการลอยตัวของ ABS ลดลงจาก 82 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 85.9) เป็น 5.29 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 93.3) หากเพิ่มอัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นไปมีผลทำให้ร้อยละการลอยตัวของ ABS สูงขึ้นแต่ไม่มีผลต่อร้อยละการลอยตัวของ PS ซึ่งแสดงเป็นนัยได้ว่า อัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นไปส่งผลให้การคัดแยก PS ออกจาก ABS ต่ำลงที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศมากขึ้นจึงมีฟองอากาศมากขึ้นในคอลัมน์ที่ใช้ในการคัดแยก ฉะนั้น ABS ที่จมตัวอยู่บริเวณส่วนล่างของคอลัมน์ ได้สัมผัสกับอากาศมากขึ้นทำให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของรีโนซัลโฟเนตที่เกาะอยู่บนผิวของ ABS มีโอกาสจับกับอากาศเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก ABS เพิ่มสูง (Jaition et al., 2005)



รูปที่ 415 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสาร CaLS 400mg/l, CTAB  $2.67 \times 10^5$  ppm pH 6.8 และปรับอัตราการไหลของอากาศ

กรณีการคัดแยก PET ออกจาก POM พบว่า ร้อยละการลอยตัวของ PET สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจาก 180 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เป็น 260 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ในขณะที่ร้อยละการลอยตัวของ POM สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การคัดแยก PET ออกจาก POM ได้ผลดีเมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศที่

238 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที โดยค่าร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ PET คือ 98.1 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5) และค่าร้อยละการลอยตัว สูงสุดของ POM คือ 3.7 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5)



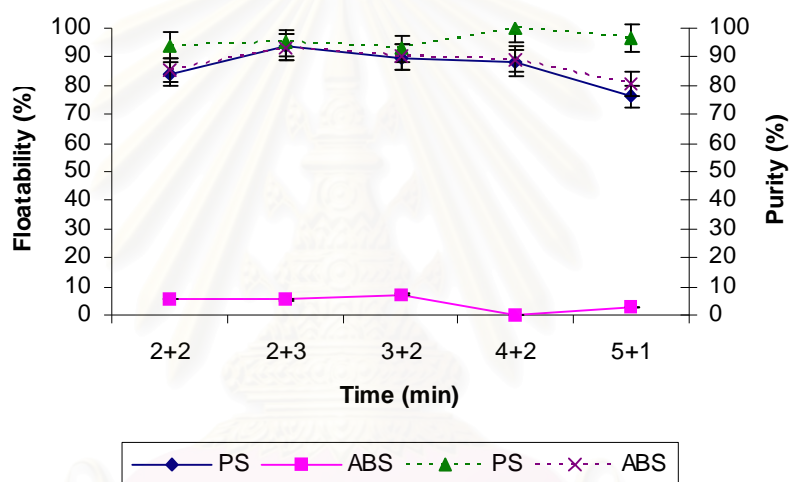
รูปที่ 416 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติมสาร PVA 50 mg/l, CTAB  $3.33 \times 10^5$  ppm  $MgSO_4$  0.01 %w/v MIBC 0.01 ml pH 6.8 และปรับอัตราการไหลของอากาศ

การทดลองข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PS และ ABS คือ CaLS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $2.67 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วนและปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 140 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที โดยไม่มีการเติมสารอเล็กโทรไลต์ โพรเตอร์และปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PS 93.5 และร้อยละความบริสุทธิ์ 94.8 และร้อยละการลอยตัว ABS 5.29 และร้อยละความบริสุทธิ์ 93.3 และสภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PET และ POM คือ โพลีไวนิล แอลกอฮอล์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $3.33 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน สารอเล็กโทรไลต์  $MgSO_4$  0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร MIBC 0.01 มิลลิตรและปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 238 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ซึ่งไม่มีการปรับความเป็นกรด-ด่างโดยสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PET 98.1 ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5 และร้อยละการลอยตัว POM 3.7 และร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5 จึงนำสภาวะนี้ไปศึกษาต่อในตัวแปรอื่นต่อไป



## 4.2.7 เวลาในการคัดแยก

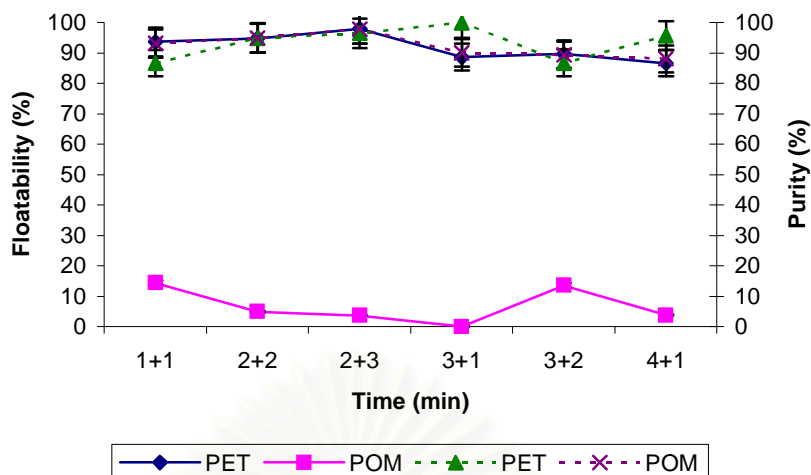
รูปที่ 417 และ 418 แสดงร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS และร้อยละการลอยตัวของ PET และ POM ตามลำดับ เมื่อใช้เวลาในการคัดแยกต่างๆ กัน ในงานวิจัยนี้ เวลาในการคัดแยก หมายถึง ผลรวมของเวลาที่ใช้ในการผสมขยะพลาสติกในถังปั่นพลาสติกกับเวลาที่ขยะพลาสติก อยู่ในคอลัมน์ พบว่าร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS ลดลงเมื่อใช้เวลารวมนานหรือสั้นเกินไป ถ้าคูเวลารวมคือ 5 นาที พบว่าจะให้ผลการคัดแยกดีกว่าเวลา 4 และ 6 นาที จุดสังเกตที่สำคัญคือ ถ้าเวลาผสมนานเกินไปตั้งแต่ 2 นาทีขึ้นไป ร้อยละการลอยตัวของ PS และ ABS จะลดลงเป็น เพราะว่ารโนซัลโฟเนต จะเคลือบบนพื้นผิวพลาสติกได้มากขึ้น



รูปที่ 417 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PS และ ABS เมื่อเติมสาร CaLS 400mg/l, CTAB  $2.67 \times 10^5$  ppm pH 6.8 Flow rate 140 และปรับเวลา

จากการทดลองจะพบว่าเวลาที่เหมาะสมในการคัดแยกพลาสติก PS และ ABS คือเวลา (2+3) นาที โดยจะให้ค่าร้อยละการลอยตัวของ PS คือ 93.5 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 94.8) และค่าร้อยละการลอยตัวของ ABS คือ 5.29 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 93.3)

จากรูปที่ 417 พบว่า เมื่อใช้เวลาผสมที่เท่ากันและเวลาที่อยู่ในระบบต่างกัน (กรณีของ 2+1, 2+2 และ 2+3) ร้อยละการลอยตัวของ PET จะเพิ่มสูงขึ้นและร้อยละการลอยตัวของ POM จะลดลง ในกรณีใช้เวลาผสมต่างกันและเวลาที่อยู่ในระบบเท่ากัน (1+1 และ 3+1) ร้อยละการลอยตัวของ POM จะค่อยๆ ลดลงกับเวลาที่เพิ่มขึ้น และกรณีที่ใช้เวลาเท่ากัน (2+2 และ 3+1 หรือ 2+3, 3+2, 4+1) จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของเวลาจะทำให้ร้อยละการลอยตัว PET ลดลง



รูปที่ 418 ร้อยละการลอยตัวของพลาสติก PET และ POM เมื่อเติมสาร PVA 50mg/l, CTAB  $3.33 \times 10^5$  ppm  $MgSO_4$  0.01 %w/v MIBC 0.01 ml pH 6.8 Flow rate 238 SCCM และปรับเวลา

จากผลการทดลองพบว่า เวลาที่เหมาะสมในการคัดแยก PET และ POM คือเวลา (2+3) นาที ให้ค่าร้อยละการลอยตัวสูงสุดของ PET คือ 98.1 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5) และค่าร้อยละการลอยตัวของ POM คือ 3.7 (ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5)

การทดลองข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PS และ ABS คือ CaLS 400 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $2.67 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน อัตราการไหลของอากาศที่ 140 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีและเวลา (2+3) นาที โดยไม่มีการเติมสารอิเล็กโทรไลต์ MIBC และปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PS 93.5 และร้อยละความบริสุทธิ์ 94.8 และร้อยละการลอยตัว ABS 5.29 และร้อยละความบริสุทธิ์ 93.3 และสภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PET และ POM คือ พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิว CTAB  $3.33 \times 10^5$  ส่วนในล้านส่วน สารอิเล็กโทรไลต์  $MgSO_4$  0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร MIBC 0.01 มิลลิลิตรและปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 238 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ซึ่งไม่มีการปรับความเป็นกรด-ด่างโดยสามารถคัดแยกร้อยละการลอยตัวของ PET 98.1 ร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5 และร้อยละการลอยตัว POM 3.7 และร้อยละความบริสุทธิ์ 96.5

### 4.3 ค่ามุมสัมผัส

โดยปกติแล้วตามธรรมชาติพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ จึงมีผลสะท้อนสู่ค่ามุมสัมผัสของพลาสติกในน้ำ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ามุมสัมผัสของพลาสติกในน้ำ

| พลาสติก | ค่ามุมสัมผัส (องศา) |                   |
|---------|---------------------|-------------------|
|         | งานวิจัยชิ้นนี้     | งานวิจัยชิ้นอื่น  |
| PS      | 88                  | 86.3 <sup>ก</sup> |
| ABS     | 87                  | 83.7 <sup>ก</sup> |
| PET     | 78                  | 76.5 <sup>ข</sup> |
| POM     | 73.9                | 71.2 <sup>ข</sup> |
| PVC     | 86                  | 84.6 <sup>ก</sup> |

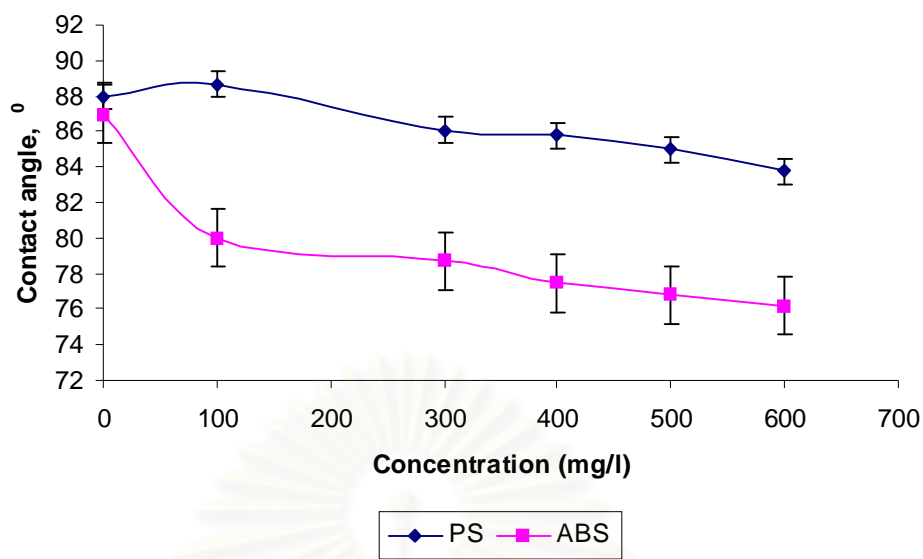
<sup>ก</sup> จาก Fraunholz N., 1997 โดย Axisymmetric drop shape analysis technique

<sup>ข</sup> จาก Dodbiba N., et al., 2002 โดย Axisymmetric drop shape analysis technique

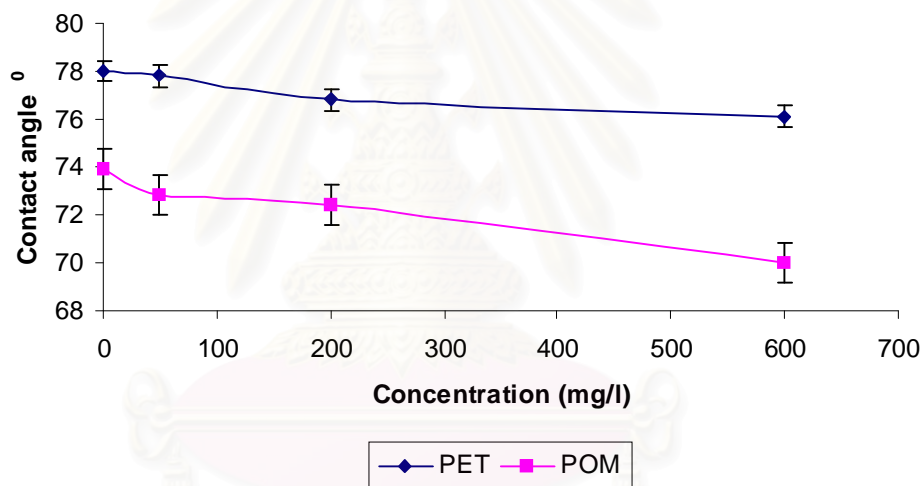
เมื่อเติม เวตติงส์เอเจนต์ในสารละลาย พบว่าค่ามุมสัมผัสของเกลีอริโนซัลโฟเนต แคลเซียม และพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ ต่างก็ทำให้พลาสติกเกิดความเปียกมากขึ้นหรือพลาสติกที่มีความไม่ชอบน้ำกลายเป็นพลาสติกที่มีความชอบน้ำมากขึ้น ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งแสดงการลดลงของค่ามุมสัมผัสของ พลาสติก PS และ ABS พลาสติก PET และ POM แสดงว่าพลาสติกเหล่านี้เปียกน้ำมากขึ้นหรือมีความชอบน้ำมากขึ้น

- กรณีของ PS และ ABS ที่ความเข้มข้นของเกลีอริโนซัลโฟเนต แคลเซียมที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ามุมสัมผัสของ PS เท่ากับ 85.5 องศา และ ABS เท่ากับ 77.5 องศา ผลต่างคือ 8 องศา

- กรณีของ PET และ POM ที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ามุมสัมผัสของ PET เท่ากับ 77.8 องศา และ POM เท่ากับ 72.8 องศา ผลต่างคือ 5 องศา



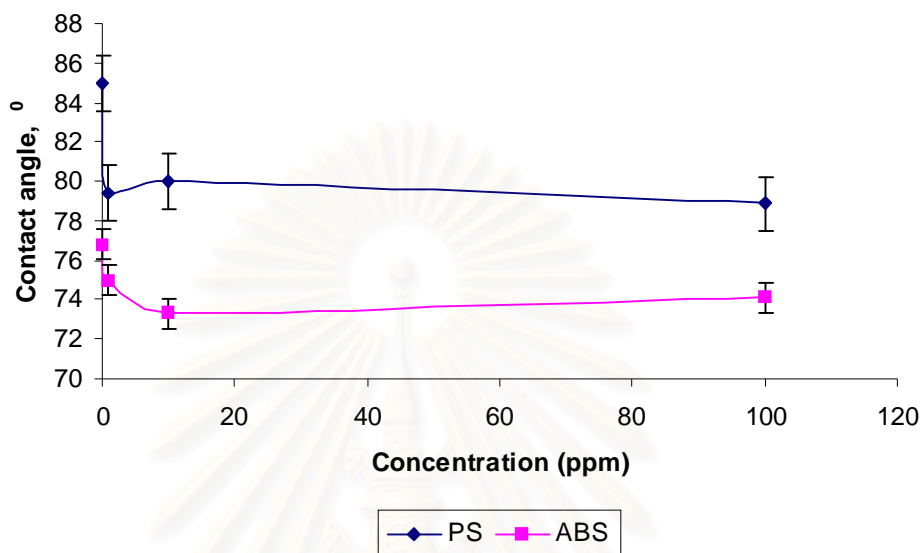
(ก)



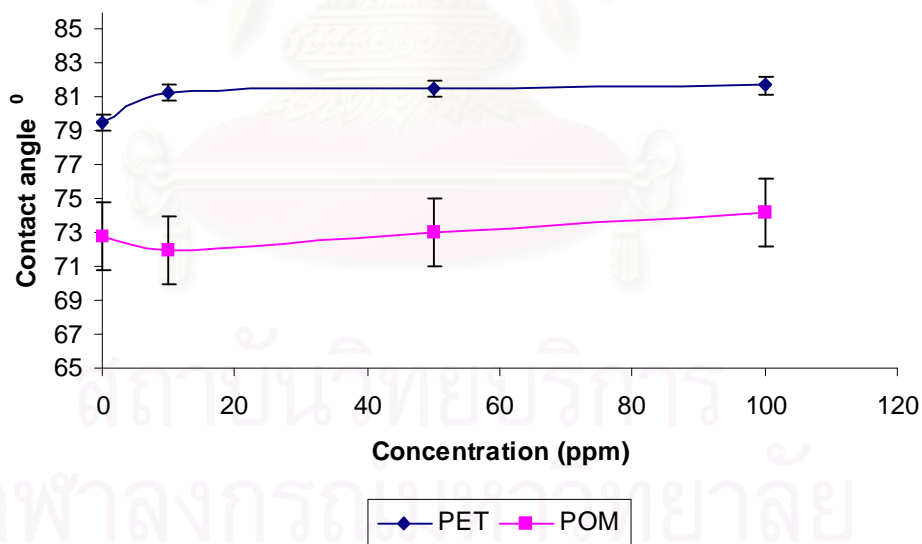
(ข)

รูปที่ 419 ค่ามุมสัมผัสของพลาสติกแต่ละชนิด เมื่อเติมเวตติงต่อเจนต์ที่เปลี่ยนแปลง  
ความเข้มข้น (ก) พลาสติก PS และ ABS เติม CaLS (ข) พลาสติก PET และ POM เติม PVA

เมื่อมีการเติมสารลดแรงตึงผิว ในระดับความเข้มข้นต่ำ ทำให้พลาสติกเกิดความชอบน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นมีผลให้พลาสติกกลับมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น ดังรูปที่ 4.20 ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองในตอนที่ 4.22



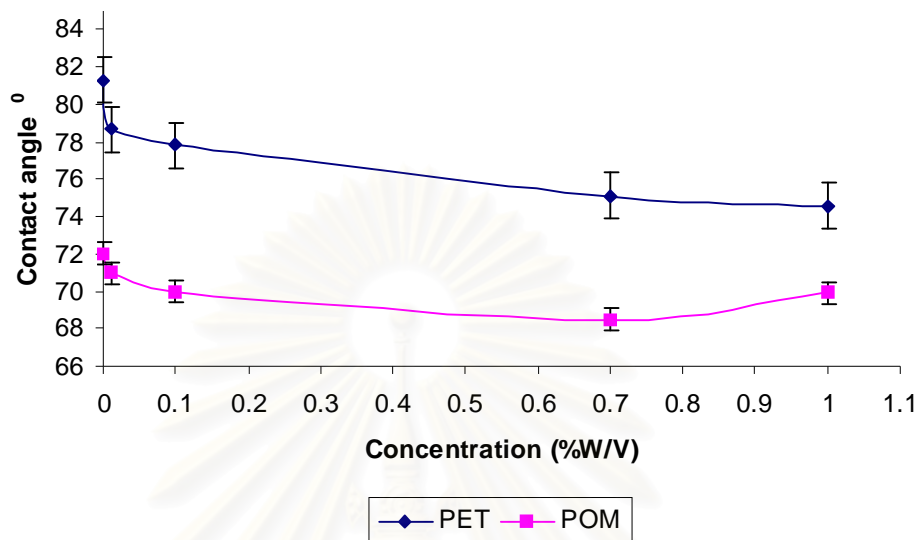
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.20 ค่ามุมสัมผัสพลาสติกต่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (ก) พลาสติก PS และ ABS เติม CaLS 400 mg/l และ CTAB (ข) พลาสติก PET และ POM เติม PVA 50 mg/l และ CTAB

เมื่อมีการเติมอิเล็กโทรไลต์ทำให้พลาสติกเกิดความชอบน้ำมากขึ้น โดยมีค่ามุมสัมผัสลดลง ดังรูปที่ 4.21 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 4.23



รูปที่ 4.21 ค่ามุมสัมผัสพลาสติกต่อความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ ของพลาสติก PET และ POM เติม PVA 50mg/l CTAB  $3.33 \times 10^5$  ppm และ  $MgSO_4$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.2 เปรียบเทียบงานวิจัยอื่นกับงานวิจัยนี้ที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด

| พลาสติก        | เวตติงต์เอเจนต์<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | สารลดแรงตึงผิว<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | อิเล็กโทร<br>ไลต์ | โฟร<br>เตอร์ | ความเป็น<br>กรด-ด่าง | อัตราการไหลของ<br>อากาศ (SCCM) | เวลารวม<br>(min) | ร้อยละการ<br>ลอยตัว       | ร้อยละความ<br>บริสุทธิ์  | งานวิจัย                  |
|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------|----------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| PS และ<br>ABS  | CaLS (400)                            | CTAB<br>$3.33 \times 10^{-5}$ ppm    | -                 | -            | 6.8                  | 140                            | 5                | PS = 93.5<br>ABS = 94.7   | PS = 94.8<br>ABS = 93.3  | งานวิจัยนี้               |
| PS และ<br>ABS  | -                                     | 15-S-7<br>(57.14)                    | -                 | MIBC         | 9.2                  | -                              | 15               | PS = 91.4<br>ABS = 11.2   | PS = 50.7<br>ABS = 56.6  | Shen et al.<br>(2002)     |
| PS และ<br>ABS  | Methyl Cellulose<br>(57.14)           | -                                    | -                 | MIBC         | 9.2                  | -                              | 15               | PS = 11.4<br>ABS = 96.4   | PS = 76.0<br>ABS = 52.1  | Shen, H., et<br>al (2002) |
| PET และ<br>POM | PVA (50)                              | CTAB<br>$2.67 \times 10^{-5}$ ppm    | MgSO <sub>4</sub> | MIBC         | 6.8                  | 238                            | 5                | PET = 98.05<br>POM = 96.3 | PET = 96.5<br>POM = 97.9 | งานวิจัยนี้               |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

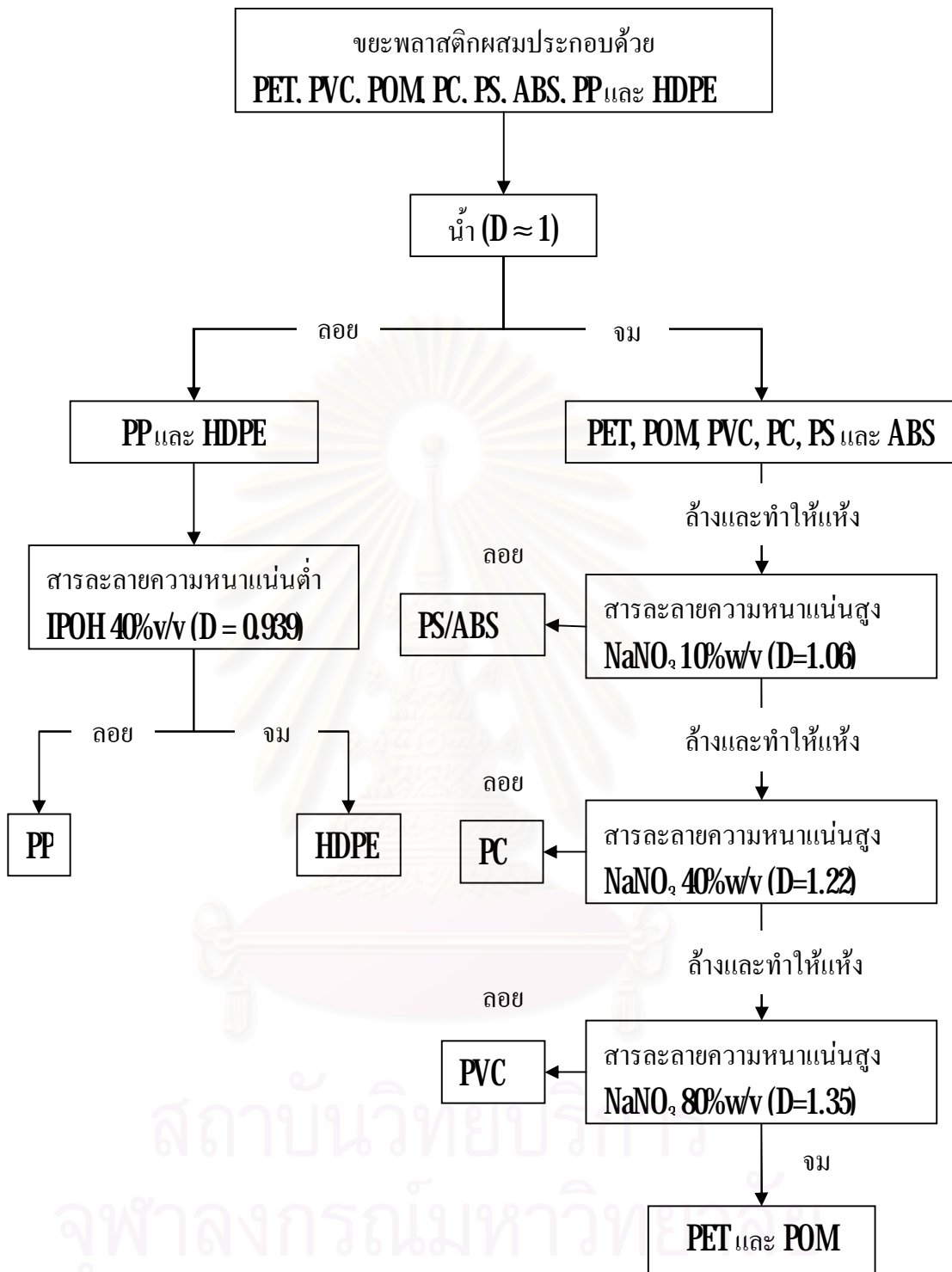
### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โดยธรรมชาติ พลาสติกทั้ง 8 ชนิด PET POM PVC PC PS ABS PP และ HDPE มีลักษณะที่แตกต่างกัน อาทิ ความหนาแน่น ลักษณะโครงสร้างพลาสติก ค่าแรงดึงผิว เป็นต้น ตามที่ได้กล่าวมาใน บทที่ 2 แต่มีลักษณะที่สำคัญที่เหมือนกันคือความไม่ชอบน้ำ พลาสติก PP HDPE PC และ PVC สามารถถูกคัดแยกออกจากพลาสติกผสมด้วยวิธีลอยจม (ความหนาแน่น) ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เนื่องจากผลต่างของความหนาแน่นของพลาสติก และจากการทดลองก็มีความเป็นไปได้ที่จะคัดแยกพลาสติกผสมที่ไม่สามารถคัดแยกด้วยวิธีโน้มถ่วงด้วยวิธีโฟลเทชัน ดังต่อไปนี้

- ๑. ภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PS และ ABS คือ 400 mg/l CaLS, CTAB  $2.67 \times 10^5$  ppm, อัตราการไหลของอากาศ 140 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และเวลาทั้งหมด 5 นาที ดังแสดงในรูปที่ 5.2
- ๑. ภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยก PET และ POM คือ 50 mg/l PVA, CTAB  $3.33 \times 10^5$  ppm, แมกนีเซียมซัลเฟต 0.01% w/v, โพรเตอร์ MIBC 0.01 ml, อัตราการไหลของอากาศ 238 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีและเวลาที่ใช้ทั้งหมด 5 นาที ดังแสดงในรูปที่ 5.3

สามารถสรุปกระบวนการทั้งหมดได้ว่า การคัดแยกพลาสติกด้วยกระบวนการ โฟลเทชัน จำเป็นต้องปรับปรุงผิวพลาสติกด้วยสารเคมีเพื่อให้เกิดความแตกต่างของค่ามุมสัมผัสของพลาสติก ทั้งคู่ ทั้งนี้เนื่องจากค่ามุมสัมผัสจะบ่งบอกถึงความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำของพลาสติกนั้นๆ และเมื่อเพิ่มความแตกต่างของค่ามุมสัมผัสมากขึ้น จะทำให้พลาสติกเกิดการแยกได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้นเช่นกัน ส่วนอัตราการไหลของอากาศและเวลาในการคัดแยกต่างก็มีผลต่อการคัดแยกพลาสติก ขึ้นอยู่กับชนิดพลาสติกที่ต้องการคัดแยก



รูปที่ 5.1 ผลการคัดแยกพลาสติกด้วยวิธีลอยจม



## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการแยกพลาสติกชนิดเดียวกันแต่มีสีต่างกันเพราะโดยทั่วไปพลาสติกชนิดเดียวกันที่ใช้ในชีวิตประจำวัน มีหลากหลายสี ในการนำกลับมาใช้ใหม่จำเป็นต้องแยกพลาสติกออกเป็นแต่ละสีเพราะการที่มีสีต่างๆ ผสมในพลาสติกจะเป็นการลดราคาของพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่
2. ศึกษาหนทางที่จะใช้สารเคมีในกระบวนการโพลีเทชันให้น้อยลง เพื่อลดปริมาณของเสียที่จะทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม
3. ศึกษาการคัดแยกพลาสติกมากกว่า 2 ชนิดผสมกันด้วยวิธีการโพลีเทชัน เพราะลดขั้นตอนและปริมาณสารเคมีในการคัดแยกพลาสติก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2547[ออนไลน์]. แหล่งที่มา :

<http://www.pcd.go.th/count/mgtdl.cfm?FileName=report47.pdf> [22 มกราคม 2549]

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. บทที่ 3 การเพิ่มการละลาย[ออนไลน์]. แหล่งที่มา :

<http://pharm.kku.ac.th/thaiv/depart/techno/basicpharm/downloads/Lesson3.pdf>

[22 มกราคม 2549]

คณะอนุกรรมการเทคนิคคณะที่ 2 2539. โครงการฉลากเขียว.ข้อกำหนดฉลากเขียว[ออนไลน์].

แหล่งที่มา : [www.tei.or.th/thaigpn/pdf%20doc/TGL\\_01\\_96.pdf](http://www.tei.or.th/thaigpn/pdf%20doc/TGL_01_96.pdf) [22 มกราคม 2549]

ชวลีกร ชุกกลิ่น. การขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชัน ของน้ำเสียโดยอินดิซแอร์โฟลเทชัน. ปริญญา  
มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2548

มูลนิธิธำนันทมหิดล. พลาสติกกรีไซเคิล[ออนไลน์]. แหล่งที่มา :

<http://kanchanapisek.or.th/kp1/articles/index.th.html> [22 มกราคม 2549]

สมศักดิ์ วรรณกมลชัย. 2546. การนำ “ขยะพลาสติก” กลับมาใช้ใหม่ (Recycle of Waste Plastic Materials) วารสาร โลกพลังงาน ปีที่ 5 ฉบับที่ 19 เมษายน-มิถุนายน 2546

สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกประเทศไทย. รายงานสถิติราคาเม็ดพลาสติกทรายเดือน [ออนไลน์]

แหล่งที่มา : <http://www.tpia.org/stat/graphindex.asp> [22 มกราคม 2549]

### ภาษาอังกฤษ

Advanced Packaging & Interconnect Alliance. Wet and Dry cleaning - fundamentals and applications in WL CSP[online]. Available from: [http://www.apialliance.com/pdf/Archive\\_semiwest\\_04/TI\\_Bojikov.pdf](http://www.apialliance.com/pdf/Archive_semiwest_04/TI_Bojikov.pdf) [2006, Mar 22].

American Plastics Council. Resin Identification Codes - Plastic Recycling[online].

Available from: [http://americanplasticscouncil.org/benefits/about\\_plastics/resin\\_codes/resin.html](http://americanplasticscouncil.org/benefits/about_plastics/resin_codes/resin.html) [2006, Mar 22].

Bangkok Metropolitan Administration. 2002. Bangkok State of the Environment 2001 [online].

Available from: [www.mcap.unep.org/reports/soe/bangkok\\_profile.pdf](http://www.mcap.unep.org/reports/soe/bangkok_profile.pdf) [2006, Mar 22]



- Bimal P.S., Wetting mechanism in the flotation separation of plastics. Filtration & Separation (July/August 1998) : 525-527.
- Dodbiba G., Haruki N., Shibayama A., Miyazaki T., Fujita T., Combination of sink-float separation and flotation technique for purification of shredded PET-bottle from PE or PP flakes. Int. J. Miner. Process. 65 (2002) : 11 - 29.
- Marques G.A., J.A.A. Tenório Use of froth flotation to separate PVC/PET mixtures. Waste Management. 20 (2000) : 265-269.
- Napatrunachitpimol. Mixed Plastics separation by combination of sink-float method and selective flotation technique. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2546.
- Pascoe R.D. The use of selective depressants for the separation of ABS and HIPS by froth flotation. Minerals Engineering 18 (2005) : 233-237.
- Pascoe R.D., O'Connell B. Development of a method for separation of PVC and PET using flame treatment and flotation. Minerals Engineering 16 (2003) page 1205-1212.
- Rosa da J. Jailton, Rubio Jorge. The FF (flocculation-flotation) process. Minerals Engineering 18 (2005) : 701-707.
- Shen H., Forssberg E., Pugh R.J. A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics. Resources, Conservation and Recycling 25 (1999) : 85-109.
- Shen H., Forssberg E., Pugh R.J. Floatability, Selective and flotation separation of plastics by using a surfactant Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 196 (2002) : 63-70.
- Shen H., Forssberg E., Pugh R.J. Selective flotation separation of plastics by chemical conditioning with methyl cellulose. Resources, Conservation and Recycling 35 (2002) : 229-241.
- The Pollution Control Department (PCD) of Thailand's Ministry of Natural Resources and Environment (MoNRE). 2003. Thailand environment monitor 2003[online]. Available from: [www.worldbank.or.th/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/EASTASIAPACIFICEXT/THAILANDEXTN/0,contentMDK:20206649-menuPK:333323-pagePK:141137-piPK:217854-theSitePK:333296,00.html](http://www.worldbank.or.th/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/EASTASIAPACIFICEXT/THAILANDEXTN/0,contentMDK:20206649-menuPK:333323-pagePK:141137-piPK:217854-theSitePK:333296,00.html) [2006, Mar 22].
- University of Pittsburgh. Froth Flotation [online]. Available from: [www.engr.pitt.edu/Chemical/undergrad/lab\\_manuals/flotation.pdf](http://www.engr.pitt.edu/Chemical/undergrad/lab_manuals/flotation.pdf) [2006, Mar 22].



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

การคำนวณพลาสติกที่ได้รับการคัดแยก

ก-1 สูตรการคำนวณร้อยละการลอยตัว(%Floatability)

$$\% \text{Floatability (Type 1)} = \frac{\text{Weight of float plastic type 1}}{\text{Total weight of plastic type 1}} \times 100$$

ก-2 สูตรการคำนวณร้อยละความบริสุทธิ์ (Purity)

$$\% \text{Purity of float} = \frac{\text{Weight of float plastic}}{\text{Total weight of float plastic}} \times 100$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 แสดงตารางความหนาแน่นสารละลายความหนาแน่นต่ำ (LMS)

| ความเข้มข้นของสารละลาย (%V/V) | ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> ) |                |                     |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------|---------------------|
|                               | เมทานอล                          | เอทิลแอลกอฮอล์ | ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ |
| 10                            | 0.986                            | 0.985          | 0.986               |
| 20                            | 0.972                            | 0.971          | 0.963               |
| 30                            | 0.958                            | 0.959          | 0.952               |
| 40                            | 0.944                            | 0.945          | 0.932               |
| 50                            | 0.939                            | 0.930          | 0.927               |
| 60                            | 0.929                            | 0.921          | -                   |
| 70                            | -                                | 0.901          | -                   |
| 80                            | -                                | 0.872          | -                   |
| 90                            | -                                | 0.851          | -                   |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค

ตาราง ค - 1 แสดงค่าความเข้มข้นวิกฤตของสารลดแรงตึงผิว ที่มีประจุบวก (CTAB) ที่มีประจุลบ (SDS) และที่ไม่มีประจุ (Tween80)

|                              | CTAB    | Tween80  | SDS    |
|------------------------------|---------|----------|--------|
| Surface tension<br>(Dyne/cm) | 36      | 46       | 30     |
| CMC (M)                      | 0.00092 | 0.000012 | 0.0085 |



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ง

ตาราง ง-1 แสดงค่าแรงตึงผิวของสารละลายเมื่อเติม เวตติงต์เอเจนต์ชนิดต่างๆ

แรงตึงผิวน้ำที่  $25^{\circ}\text{C} = 71.76\text{mN/m}$

| เวตติงต์เอเจนต์ | 50    | 100   | 200   | 300   | 400   | 500   | 600   |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PVA             | 65.71 | 66.71 | 66.01 | 64.82 | 66.51 | 65.61 | 65.32 |
| CaLS            | -     | 57.94 | 59.83 | 60.23 | 57.39 | 58.78 | 58.68 |
| CMCCa           | -     | 69.60 | 69.30 | 69.20 | 69.40 | 69.10 | 69.01 |

ตาราง ง-2 แสดงค่าแรงตึงผิวของสารละลายเมื่อเติม สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

| สารลดแรงตึงผิว(ppm) | 0     | 1     | 10    | 50    | 100   |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CaLS 400mg/l        | 57.39 | 55.74 | 55.49 | 55.39 | 53.95 |
| PVA 50mg/l          | 65.71 | 0.00  | 61.68 | 61.63 | 60.58 |

ตาราง ง-3 แสดงค่าแรงตึงผิวของสารละลายเมื่อเติม อิเล็กโทรไลต์

|            | (%w/v)            | 0.01  | 0.1   | 0.3   | 0.7   | 1     |
|------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PVA 50mg/l | MgSO <sub>2</sub> | 59.73 | 58.53 | 56.54 | 56.24 | 55.64 |

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธงชัย เถกิงศักดิ์กุล เกิดวันที่ **10** พฤศจิกายน พ.ศ. **2521** จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร) และทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องทดลอง ที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร) ก่อนเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. **2546**



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย