

บทที่ 2

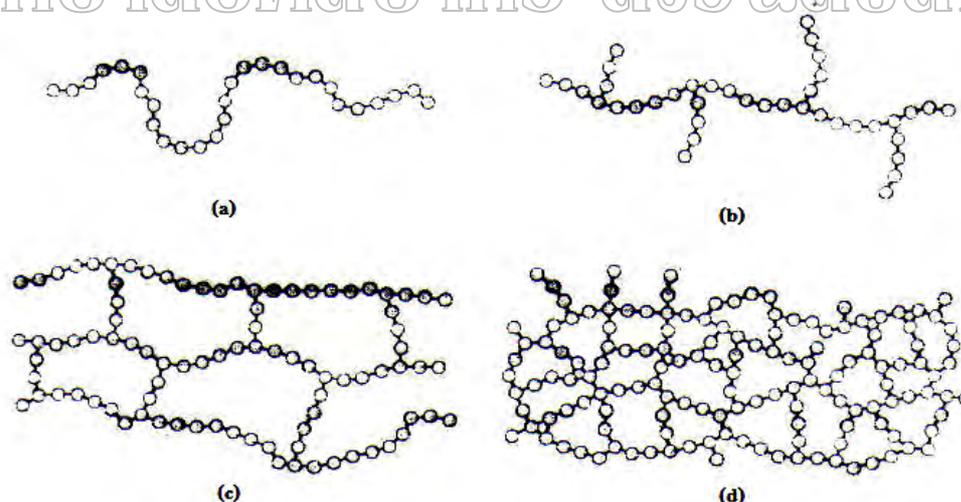
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพอลิเมอร์

2.1.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์[6] คือวัสดุที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบโดยมีหน่วยซ้ำๆกัน (repeating unit) ประกอบกันขึ้นเป็นเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว โดยส่วนใหญ่แล้วสายโซ่หลักจะประกอบด้วย (carbon backbone) โดยมีโครงสร้างแขนง (side group) ที่ต่อออกจากสายโซ่หลักเป็นธาตุหรือหมู่ฟังก์ชันอื่น ซึ่งโครงสร้างจะมีหลายลักษณะ คือ branched polymer chain ที่พบใน thermoplastic polymer หรือเป็น loosely cross-linking polymer chain ที่พบใน elastomer หรือ มีโครงสร้างเป็นร่างแห cross-linking หรือ network polymer chain ที่พบใน thermosetting polymer ดังแสดงในรูปที่

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ (a) linear polymer chain (b) branched polymer chain (c) loosely cross-linking polymer chain ที่พบใน elastomer (d) cross-linking หรือ network polymer chain ที่พบใน thermosetting polymers[7]

พอลิเมอร์อาจแบ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ(biopolymer)[8] เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น โปรีติน แป้ง เซลลูโลส ยางธรรมชาติ[9] และพอลิเมอร์สังเคราะห์ (synthetic polymer)[10] เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาเคมี โดยใช้สารเริ่มต้นหรือมอนอเมอร์ ส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว คือสารประกอบที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอน เช่น เอทิลีน โพรพิลีน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน จะได้พอลิเมอร์ ที่มีมวลโมเลกุลมาก และมีโครงสร้างแข็งแรง เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน เป็นต้น ซึ่งพอลิเมอร์เหล่านี้เรียกว่า เม็ดพลาสติก ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เรียกว่า ปิโตรเคมี เพื่อใช้ประโยชน์ในการผลิตวัสดุต่าง ๆ เช่น พลาสติก ไนลอน คาร์บอนและลูไซต์ วัสดุต่างๆ ที่เป็นพลาสติก ซึ่งพอลิเมอร์สังเคราะห์ในยุคแรกๆ ได้จากพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น เซลลูโลส (เซลลูโลสในกระดาษ) เรยอน (เซลลูโลสอะซิเตต) แต่ในปัจจุบันจะได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันเป็นจำนวนมาก เช่น พลาสติกต่างๆ ภาชนะใส่อาหาร ท่อสายยาง ฟิล์มถ่ายรูป ของเล่นเด็ก และอีกมากมาย

พอลิเมอร์ที่สามารถยืดออกได้มาที่อุณหภูมิห้อง[8] นำไปใช้เป็นอีลาสโตเมอร์ (elastomer) เช่นยางธรรมชาติ นอกจากยางธรรมชาติแล้วยังมีอีลาสโตเมอร์สังเคราะห์อื่นๆ เช่น ยางไนไตรล์ (nitrile rubber) ยางบิวไทล์ (butyl rubber) เป็นต้น

พอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (fibre) นำมาใช้ทำเสื้อผ้า โดยเส้นใยสังเคราะห์ที่สำคัญ คือ ไนลอน และพอลิเอสเทอร์ใช้แทนเส้นใยที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติได้ดี เช่น ผ้าไหม และขนสัตว์

นอกจากคำว่าพอลิเมอร์แล้ว วัสดุในทางอุตสาหกรรมที่ไม่จัดอยู่ในประเภทอีลาสโตเมอร์และเส้นใย ซึ่งได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เรียกว่า พลาสติก เรซินพลาสติกในทางการค้าบางชนิดอาจจะประกอบด้วยพอลิเมอร์มากกว่า 2 ชนิด นอกจากนี้ยังมีการใส่สารเติมแต่ง (additive) และสารตัวเติม (filler) ต่างๆ เพื่อให้สมบัติบางประการดีขึ้น เช่น ความสามารถในการขึ้นรูป ทนต่อความร้อน หรือสิ่งแวดลอม และมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นจะมีพฤติกรรมเชิงกลที่แตกต่างกัน ตามความเป็นผลึก การเชื่อมข้ามพันธะ ค่า T_g และ T_m ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สมบัติของพอลิเมอร์แต่ละชนิดทำให้สามารถนำพอลิเมอร์ไปใช้งานได้แตกต่างกันออกไปเป็น อีลาสโตเมอร์ หรือพลาสติก หรือ เส้นใย ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงการใช้งานของพอลิเมอร์ที่สำคัญ โดยพอลิเมอร์บางชนิดสามารถนำมาใช้งานได้มากกว่า 1 ประเภท

ตารางที่ 2.1 แสดงการนำพอลิเมอร์มาใช้งาน[8]

Elastomers	Plastics	Fibres
Polyisoprene	Polyethylene	
Polyisobutylene	Polytetrafluoroethylene	
	Poly(methyl methacrylate)	
	Phenol-formaldehyde	
	Urea-formaldehyde	
	Melamine-formaldehyde	
	<-----Polystyrene----->	
	<-----Poly(vinyl chloride)----->	
	<-----Polyurethane----->	
	<-----Polysiloxane----->	
	<-----Polyamide----->	
	<-----Polyester----->	
	<-----Cellulosics----->	
	<-----Polypropylene----->	
		Polyacrylonitrile

2.1.2 ชนิดของพลาสติก[11]

พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ที่มีพฤติกรรมเชิงกลอยู่ในช่วงกว้างระหว่างอีลาสโตเมอร์กับเส้นใย ดังนั้นจึงมีสมบัติเป็นแบบ ยืดหยุ่นไปจนถึงแข็ง โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งพลาสติกออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ

เทอร์โมเซตติงพลาสติก (thermosetting plastic) เป็นพลาสติกชนิดที่จะแข็งตัวคงรูปอยู่ได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นนั้นจะอาศัยความร้อนและความกดดัน ภายหลังปฏิกิริยาเคมีสิ้นสุดลงพลาสติกก็จะแข็งตัว และไม่สามารถเปลี่ยนรูปโดยไม่เปลี่ยนคุณสมบัติพลาสติกได้กล่าวคือ เมื่อพลาสติกได้รับความร้อนมากๆ จะสลายตัวทางความร้อนเสียรูปไป ไม่สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้

เทอร์มอพลาสติก พลาสติก (thermoplastic plastic) เป็นพลาสติกที่แข็งตัวโดยไม่อาศัยปฏิกิริยาทางเคมี แต่อาศัยคุณสมบัติทางกายภาพ เมื่อทำพลาสติกชนิดนี้ให้ร้อนขึ้นแล้วเทลงในเบ้าหรือแบบ พลาสติกก็จะเปลี่ยนรูปร่างไปตามแบบนั้น เมื่อพลาสติกเย็นตัวลง ก็จะแข็งตัวคงรูปอยู่ได้ และเมื่อเป็นรูปคงตัวแล้วแล้ว ก็สามารถที่จะหลอมและเปลี่ยนรูปเป็นอย่างอื่นได้อีก เพราะคุณสมบัติทางเคมีของพลาสติกยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

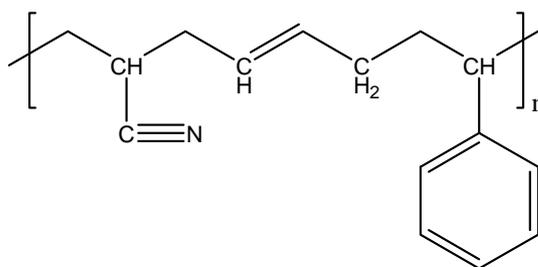
2.2 การแก้ปัญหาขยะพลาสติก

เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการในการใช้งานที่หลากหลาย จึงมีการนำพลาสติกมาใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากช่วงอายุการใช้งานของพลาสติกนั้นเป็นช่วงเวลาที่สั้น จึงก่อให้เกิดปัญหาทางด้านการจัดการขยะพลาสติกที่ใช้งานแล้วในสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ซึ่งการรีไซเคิลด้วยวิธีทางกล เป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาขยะพลาสติก โดยการนำพลาสติกเหล่านั้นมาหลอมขึ้นรูปใหม่[2] ซึ่งก่อนที่จะนำขยะพลาสติกเหล่านั้นมาทำการหลอมขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้นั้น ขยะพลาสติกจะต้องผ่านกระบวนการแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันก่อน เนื่องจากการปนเปื้อนของพลาสติกจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการหลอมขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ ทำให้มีสมบัติเชิงกลต่ำกว่าที่ควร ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานต่อไป[3]

การแยกพลาสติกออกจากกัน โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น เป็นวิธีที่สะดวก และค่าใช้จ่ายน้อย แต่การแยกด้วยวิธีนี้จะเกิดปัญหาเมื่อพลาสติกสองชนิดมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันมากๆ จะทำให้ไม่สามารถแยกพลาสติก 2 ชนิดนี้ออกจากกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเนื่องจากพลาสติก HIPS ซึ่งมีความหนาแน่น 1.056 g/cm^3 และ ABS ซึ่งมีความหนาแน่น 1.076 g/cm^3 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน จึงแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ออกจากกันโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นได้แต่มีประสิทธิภาพในการแยกไม่ดี มีการปนเปื้อนสูงของพลาสติกต่างชนิดกันสูง ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมในการแยกพลาสติก ABS และ HIPS ออกจากกัน

2.3 พลาสติก Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)[5]

2.3.1 สูตรโครงสร้างของ ABS



รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างของ ABS

ABS ถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1940 ซึ่ง ABS มีความเหนียวที่ดีขึ้นจากการเพิ่มกลุ่ม styrene เข้าไปแต่ยังคงมีข้อจำกัดของการใช้งาน จึงมีการเติมยางคือกลุ่มของ butadiene เป็นมอนอเมอร์ ชนิดที่ 3 ที่เป็นส่วนประกอบใน copolymer จึงมีผลทำให้ ABS กลายเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา สูตรโครงสร้างของ ABS แสดงดังรูปที่ 2.2

ABS[12] คือ copolymer ซึ่งประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ 3 ชนิดถือเป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง (ชื่อทางการค้า : Novodur, Terluran, Tybrene) โดยมี Styrene และ Acrylonitrile เกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็น linear copolymer ของ SAN ซึ่งจะมีสมบัติทนทานต่อตัวทำละลาย มีค่า tensile strength ที่ดี และมีความทนทานต่อการกระแทก (impact resistant) ได้ดีกว่า polystyrene อย่างเดียว

ABS[5] จะได้จากการทำปฏิกิริยา emulsion, suspension หรือ bulk polymerization ระหว่าง SAN กับ ยาง ซึ่งยางนี้จะเป็นได้ทั้ง poly(1,3-butadiene) หรือ SBR ยาง nitrile (NBR) และ copolymer ของ 1,3 butadiene กับ acrylonitrile จะเกิดเป็น ABS ที่มีความแข็งแรง (strength) ความแข็งแกร่ง (rigidity) และความเหนียว (toughness)

2.3.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของ ABS

เป็นพอลิเมอร์มีความบริสุทธิ์สูงสามารถสลายตัวยาก มีค่าอุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 240 - 250°C ความหนาแน่นประมาณ 1.03-1.08 g/cm³ นอกจากนี้แล้วการสังเคราะห์สามารถควบคุมมวลโมเลกุลได้ง่าย ไม่ดูดความชื้น มีความหนาแน่นของประจุต่ำ มีปริมาณของ

มอนอเมอร์จากกระบวนการ polymerization ตกค้างอยู่น้อย มีปริมาณธาตุองค์ประกอบที่แน่นอน และไม่มีสารที่เป็นพิษเป็นองค์ประกอบ ABS มีความทนทานทั้งต่อสารเคมีและการกัดกร่อนแบบ stress-cracking ในสารละลาย inorganic salt alkali mineral acids (ยกเว้นใน strong oxidizing acids) แร่ธาตุบางชนิด น้ำมันพืชและไขมันสัตว์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าของสมบัติต่างของ ABS ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2.3.3 การนำไปใช้งานของ ABS

เนื่องจาก ABS เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติที่ดี ทนทานต่อความร้อน มีค่าความเหนียว และค่าความแข็งแรงสูง ง่ายต่อการขึ้นรูป และมีคุณภาพของพื้นผิวภายนอกชิ้นงานที่ดี จึงส่งผลให้ ABS มีการนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ เครื่องใช้ภายในบ้าน อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ หมวกกันน็อก อุปกรณ์ตัดหญ้า กระจาเดินทาง ท่อและข้อต่อต่างๆ โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของ ABS แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของพลาสติก ABS

ABS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย จึงมีการผลิต ABS หลายเกรด เพื่อให้เหมาะกับคุณสมบัติที่ต้องการ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น

Automotive เป็นส่วนประกอบภายในของรถยนต์ซึ่งนิยมใช้กันเป็นอย่างมาก เนื่องจาก ABS เมื่อได้รับแรงเค้นแล้วโครงสร้างยังคงเสถียรอยู่ และไม่เปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

Electrical and electronics โรงงานที่ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีความต้องการพอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติของพื้นผิวในการทนทานต่อรอยขีดข่วน และทนทานต่อการเสียดสี รวมทั้งง่ายต่อการออกแบบเชิงวิศวกรรม

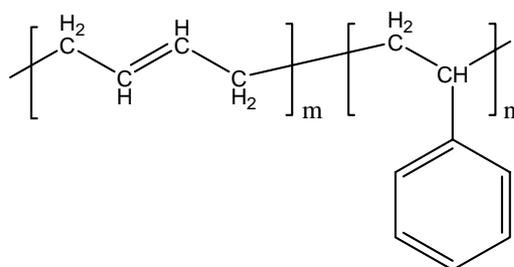
Office equipment ABS เป็นพอลิเมอร์ซึ่งสามารถนำมาออกแบบได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสวยงามเหมาะแก่การผลิตเป็นอุปกรณ์ในบ้านและเครื่องใช้สำนักงาน โดยสามารถดัดแปลงรูปแบบและหลายสีสันทันได้หลากหลาย

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล เชิงความร้อน และเชิงกระบวนการขึ้นรูปของ ABS[13]

Properties	Metric	English	Test Method
Physical Properties			
density	1.03-1.08 g/cc	64.2-67.1 lb/ft ³	D792
Mechanical Properties			
tensile strength	30-52 MPa	4,300-7,500 psi	D638
tensile modulus	2.07-2.76 GPa	300-400 kpsi	D638
elongation at yield	2.3-3.5 %	2.3-3.5 %	D638
flexural modulus	2.20-3.03 GPa	320-440 kpsi	D790
notched Izod at room temperature	134-320 J/m	2.5-6.0 ft-lb/in	D256
hardness	105-112 Rockwell R	105-112	D785
Thermal Properties			
deflection temperature at 264 psi	93-104 °C	220 °F	D648
deflection temperature at 66 psi	102-107 °C	215-225 °F	D648
Vicat softening point	94-107 °C	201-225 °F	D1525
UL temperature index	60 °C	140 °F	UL746B
UL flammability code rating	HB	HB	UL94
linear coefficient thermal expansion	7.0-8.8 x 10 ⁻⁵ mm/mm/°C	3.9-4.8 x 10 ⁻⁵ in/in/°F	D696
Processing Properties			
melt temperature	250 °C	482 °F	injection molding
mold temperature	60 °C	140 °F	injection molding
injection velocity	200 mm/sec	7.87 in/sec	
injection pressure	55 MPa	7980 psi	

2.4 พลาสติก High Impact polystyrene (HIPS)

2.4.1 สูตรโครงสร้างของ HIPS



รูปที่ 2.4 แสดงสูตร โครงสร้างของ HIPS

HIPS [5] เป็นผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยา polymerization ระหว่าง polystyrene และยาง (โดยทั่วไปเป็น poly(1,3 butadiene)) ซึ่งจะทำให้ได้พอลิเมอร์ซึ่งมีสมบัติการทนการกระแทกได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับ PS และ แข็งแรงทนทานกับ ABS ในการนำไปทำผลิตภัณฑ์ราคาถูก [12]

สูตร โครงสร้างของ HIPS แสดงดังรูปที่ 2.4

2.4.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของ HIPS

HIPS เป็นพอลิเมอร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติการทนทานต่อแรงกระแทกของ polystyrene (PS) จึงมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับ ABS [5] เช่น มีค่าอุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 240-250°C ความหนาแน่นประมาณ 1.03-1.08 g/cm³ แต่สมบัติทางเคมีจะดีกว่าเช่น การทนทานต่อน้ำมันเนื่องจากไม่มี acrylonitrile ในโครงสร้าง ซึ่งค่าของสมบัติต่างของ HIPS แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล เชิงความร้อน และเชิงกระบวนการขึ้นรูปของ HIPS[13]

Properties	Metric	English	Test Method
Physical Properties			
density	1.03-1.08 g/cc	64.2-67.1 lb/ft ³	D792
Mechanical Properties			
tensile strength	16.0-41.3 MPa	2,325-6,000 psi	D638
tensile modulus	1.653-2.549 GPa	240-370 kpsi	D638
elongation at break	1.0-1.5 %	1.0-1.5 %	D638
flexural modulus	1.791-2.687 GPa	260-390 kpsi	D790
notched Izod at room temperature	48.1-219 J/m	0.9-4.1 ft-lb/in	D256
hardness	L50-L82	L50-L82	D785
	M63-M88	M63-M88	
Thermal Properties			
deflection temperature at 264 psi	69-96 °C	156-205 °F	D648
deflection temperature 66 psi	73-85 °C	163-185 °F	D648
Vicat softening point	93-104 °C	199-220 °F	D1525
UL temperature index	50 °C	122 °F	UL746B
UL flammability code rating	NA	NA	UL94
linear coefficient thermal expansion	3.4-10.1 x 10 ⁻⁵ mm/mm/°C	1.9-5.6 x 10 ⁻⁵ in/in/°F	D696
Processing Properties			
glass-transition temperature	93-105 °C	199-221 °F	
melt temperature	250 °C	482 °F	injection molding
mold temperature	60 °C	140 °F	injection molding

2.4.3 การนำไปใช้งานของ HIPS [5]

เนื่องจาก HIPS เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติที่ดี ทนทานต่อความร้อน มีค่าความเหนียว และค่าความแข็งแรงสูง ง่ายต่อการขึ้นรูป และมีคุณภาพของพื้นผิวภายนอกชิ้นงานที่ดี ราคาถูกกว่า ABS แต่สมบัติการใช้งานคล้ายคลึงกัน จึงส่งผลให้ HIPS มีการนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง

เช่น โทรศัพท คอมพิวเตอร์ เครื่องใช้ภายในบ้าน อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของ HIPS แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของพลาสติก HIPS

HIPS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย จึงมีการผลิต HIPS หลายเกรด เพื่อให้เหมาะกับคุณสมบัติที่ต้องการ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น

Automotive เป็นส่วนประกอบภายในของรถยนต์ซึ่งนิยมใช้กันเป็นอย่างมาก

เนื่องจาก HIPS สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดี เพราะมี butadiene เป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง

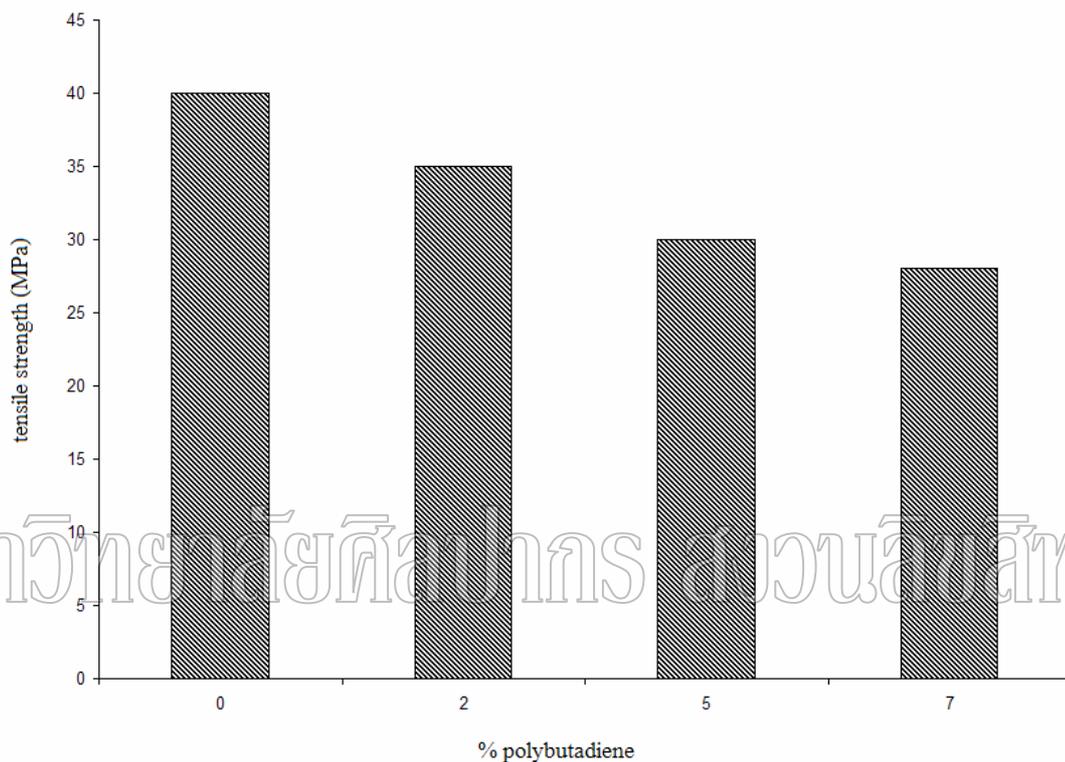
Electrical and electronics โรงงานที่ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ มีความต้องการพอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติของพื้นผิวในการทนทานต่อรอยขีดข่วน และทนทานต่อการเสียดสี รวมทั้งง่ายต่อการออกแบบเชิงวิศวกรรม

Office equipment HIPS เป็นพอลิเมอร์ซึ่งสามารถนำมาออกแบบได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบสวยงามเหมาะแก่การผลิตเป็นอุปกรณ์ในบ้านและเครื่องใช้สำนักงาน โดยสามารถดัดแปลงรูปแบบและหลายสีสันทันได้หลากหลาย ซึ่งสามารถเคลือบพื้นผิวของพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้า

2.5 การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่

วิธีการหนึ่งในการจัดการปัญหานี้ คือ การนำพลาสติกเหล่านั้นมารีไซเคิล ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี โดย วิธีที่ 1 คือ การนำมา regenerate กลับเป็นสารตั้งต้นทางเคมีใหม่ เช่น ทำให้เป็นมอนอเมอร์หรือสารตั้งต้นทางเคมีที่สำคัญๆ วิธีที่ 2 คือ การนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการทำ incineration และ วิธีที่ 3 คือ การนำพลาสติกเหล่านั้นมาให้ความร้อนเพื่อหลอมขึ้นรูปใหม่ โดยก่อนที่จะนำขยะพลาสติกเหล่านั้นมาทำการรีไซเคิล จะต้องผ่านกระบวนการแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันก่อน เนื่องจากการปนเปื้อนของพลาสติกจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรีไซเคิล ทำให้มีสมบัติเชิงกลต่ำกว่าที่ควร ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ดังนั้นกระบวนการแยกชนิดของพลาสติกจึงเป็นส่วนสำคัญ เพื่อให้ได้พลาสติกที่บริสุทธิ์ ไม่ให้มีสิ่งปนเปื้อน ดังนั้น เมื่อนำกลับมาหลอมใช้ใหม่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคุณสมบัติเดิมมากที่สุด[1]



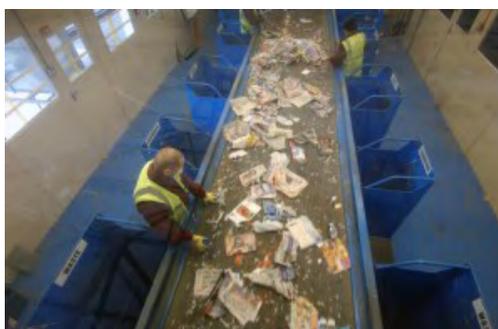
รูปที่ 2.6 แสดงสมบัติความแข็งแรงของ polystyrene เมื่อมีการเจือปนของ polybutadiene ที่ปริมาณต่างๆ [14]

จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเจือปนของ polybutadiene(PB) ใน polystyrene(PS) ที่ปริมาณมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าสมบัติความแข็งแรงของ PS มีค่าลดลง

2.6 กระบวนการแยกพลาสติก[15]

2.6.1 การแยกด้วยมือ

การแยกขยะพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันจะใช้วิธีการแยกได้หลายวิธีแต่ที่นิยมใช้กันมากคือ การแยกด้วยการใช้พนักงานคัดแยกด้วยมือ (Manual sorting) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และการแยกโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของพลาสติก (Density-based Sorting) โดยใช้ในการแยกดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการแยกพลาสติกด้วยการใช้พนักงานคัดแยกด้วยมือ (Manual sorting)[16]

สำหรับการแยกด้วยการใช้พนักงานคัดแยกด้วยมือนั้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ในการแยกขวด PVC กับ PET ออกจากกัน และจะใช้ในการแยกขยะพลาสติกที่มีสีแตกต่างกันออกจากกันด้วย ทั้งนี้ข้อดีของการแยกขยะพลาสติกด้วยวิธีนี้คือ จะใช้เงินลงทุนที่ต่ำ ส่วนข้อเสียคือ ต้องอาศัยความชำนาญของคนแยก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการปนเปื้อนสูง ส่งผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์ จึงไม่เหมาะสมที่จะแยกพลาสติกที่ไม่ทราบชนิด หรือไม่ระบุสัญลักษณ์ชนิดของพลาสติกไว้ โดยสัญลักษณ์ของการแยกพลาสติกแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงสัญลักษณ์เพื่อใช้ในการแยกขยะพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกัน

2.6.2 การแยกด้วยความหนาแน่น[15]

หลักการในการแยกโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของพลาสติก ก็จะนำพลาสติกใส่ลงในตัวกลาง (โดยทั่วไปจะเป็น น้ำ หรือน้ำเกลือ) พลาสติกที่มีความหนาแน่นมากกว่าตัวกลางก็จะจมลง และพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าตัวกลางจะลอยที่ผิวของตัวกลางโดยถึงแยกแสดงดังรูปที่ 2.9 ข้อดีของวิธีการนี้คือ มีความสะดวกและค่าใช้จ่ายน้อยเหมาะกับการแยกพลาสติกที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ในกรณีที่พลาสติกมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันมาก การใช้วิธีนี้โดยตรงจะไม่สามารถแยกพลาสติกออกจากกันได้ จำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นเข้ามาช่วย เพื่อให้พลาสติกนั้นแยกชนิดกัน และเกิดการจมหรือลอยในตัวกลาง

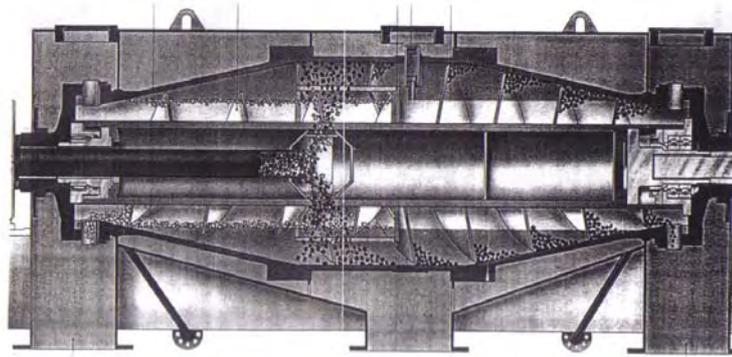


มหาวิทยาลัยศิลปากร สอนลิขสิทธิ์

รูปที่ 2.9 แสดงถึงแยกขยะพลาสติกโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของพลาสติก[17]

2.6.3 การใช้เทคนิคการปั่นเหวี่ยงช่วยให้เกิดการแยก[15]

เทคนิคนี้จะใช้ hydrocyclone ในการปั่นเหวี่ยงพลาสติกให้แยกออกจากกันด้วยอัตราเร่งสูงกว่าแรงโน้มถ่วงโลก 1,000-1,500 เท่า ซึ่งจะสามารถแยกพลาสติกที่มีความหนาแน่นต่างกันได้ถึง 0.005 g/cm^3 โดยจะสามารถแยกพลาสติกออกจากกันได้บริสุทธิ์มากกว่า 99.5 % โดยลักษณะภายในของตัวเครื่อง hydrocyclone จะแสดงดังรูปที่ 2.10



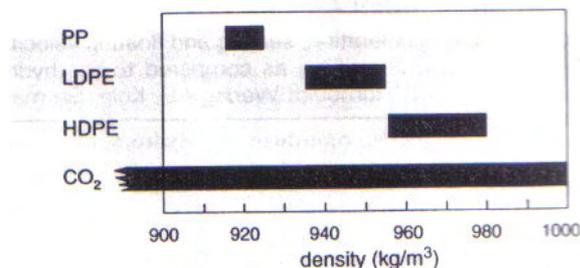
รูปที่ 2.10 แสดงการแยกพลาสติกภายในเครื่อง hydrocyclone[15]

จากรูปที่ 2.10 พลาสติกจะถูกปั่นเหวี่ยงจนปั่นป่วน (turbulent) ซึ่งจะแยกออกจากกันในตัวกลาง 2 ชั้น (สีขาว และ สีเทาในรูป) โดยพลาสติกสีดำจะมีความหนาแน่นมากกว่าพลาสติกสีขาว จะเกิดการจมหรือลอยแยกชั้นกัน และจะถูกเกลียวหนอนพัดดันคัดแยกไปคนละทางกัน โดยข้อเสียของวิธีนี้คือต้องทำในถังบรรจุที่มีขนาดใหญ่ ใช้แรงเหวี่ยงสูง แยกพลาสติกในปริมาณที่ละมายนั่น ต้นทุนจึงสูง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.6.4 การใช้ near-critical และ super-critical fluid ในการแยกพลาสติก[15]

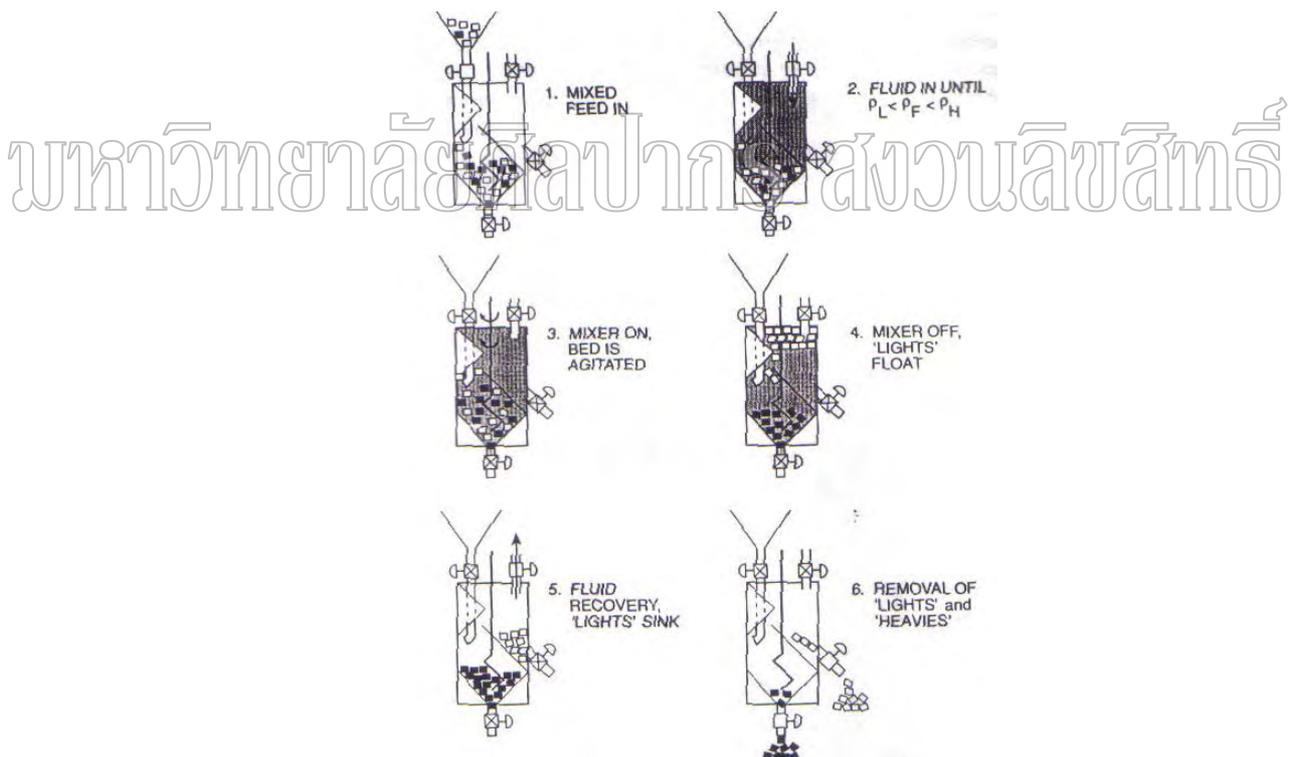
วิธีการนี้ คือ การอัดความดันให้ก๊าซ CO_2 กลายเป็นของเหลวตัวกลางในการแยกพลาสติกออกจากกัน ซึ่งการอัดความดันที่แตกต่างกันจะทำให้ความหนาแน่นของของเหลว CO_2 มีค่าต่างกัน จึงทำให้สามารถที่จะแยกพลาสติกได้ในช่วงความหนาแน่นที่หลากหลาย โดยวิธีนี้จะสามารถแยกพลาสติกที่ระดับความแตกต่างของความหนาแน่นได้ถึง 0.001 g/cm^3 ซึ่งความหนาแน่นของตัวกลาง CO_2 ที่สามารถทำได้เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงความหนาแน่นของ CO_2 เปรียบเทียบกับพลาสติก[15]

ในส่วนของขั้นตอนในการแยกจะแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 2.12 คือในขั้นแรกจะใส่พลาสติกที่ผ่านการบด ลงในภาชนะปิดทนแรงดัน จากนั้นในขั้นที่ 2 จะอัดก๊าซ CO_2 ลงในภาชนะปิดนี้ และทำการอัดความดันเพื่อปรับให้ความหนาแน่นของของเหลว CO_2 มีค่าอยู่ระหว่างพลาสติก 2 ชนิดที่ต้องการทำการแยก ในขั้นที่ 3 จะทำการกวนให้พลาสติก 2 ชนิดกระจายตัวแยกออกจากกัน ขั้นที่ 4 จะปล่อยให้พลาสติกลอยแยกออกจากกันโดยพลาสติกที่มีความหนาแน่นมากกว่าของเหลว CO_2 จะจมลง และพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลว CO_2 จะลอยขึ้น จากนั้นในขั้นที่ 5 จะทำการลดความดันลง และปล่อยก๊าซ CO_2 ออกจากระบบ ซึ่งพลาสติกชนิดที่ลอยจะตกลงบนแท่นที่รองรับดังรูปในขั้นที่ 5 เพื่อรอกำรนำเอาออกจากระบบคนละทางกับพลาสติกที่จม ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.12 ในขั้นที่ 6

ข้อดีอีกประการหนึ่งคือความหนืดตัวกลางจะคงที่ ทำให้สามารถแยกพลาสติกได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ต้องใช้อุปกรณ์อัดความดัน และราคาสูง



รูปที่ 2.12 แสดงแผนภาพลำดับการแยกด้วย CO_2 fluid [15]

2.6.5 การใช้เทคนิค froth flotation

2.6.5.1 หลักการของเทคนิค froth flotation

วิธีการนี้เริ่มแรกจะใช้ในกระบวนการแยกแร่โลหะ จากนั้นในช่วงศตวรรษที่ 1970s บริษัท Mitsui Mining & Smelting จึงได้มีการปรับนำมาใช้ในกระบวนการแยกพลาสติก โดยใช้ในการแยกพลาสติก PP ออกจาก PE

การนำเทคนิคนี้มาใช้ในการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ออกจากกัน ได้มีการทดลองเริ่มแรกขนาดเล็กๆ ใช้สำหรับแยกพลาสติกผสมน้ำหนัก 600 ปอนด์ ที่ห้องปฏิบัติการของ Argonne เพื่อใช้ในการแยกพลาสติก HIPS ออกจากพลาสติก ABS เพื่อให้ได้พลาสติก ABS ที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยพลาสติก ABS ที่ได้จากการแยกจะมีความบริสุทธิ์สูงกว่า 99% ซึ่งคุณสมบัติที่ได้นั้นตรงกับความต้องการของตลาดพลาสติกรีไซเคิล[18]

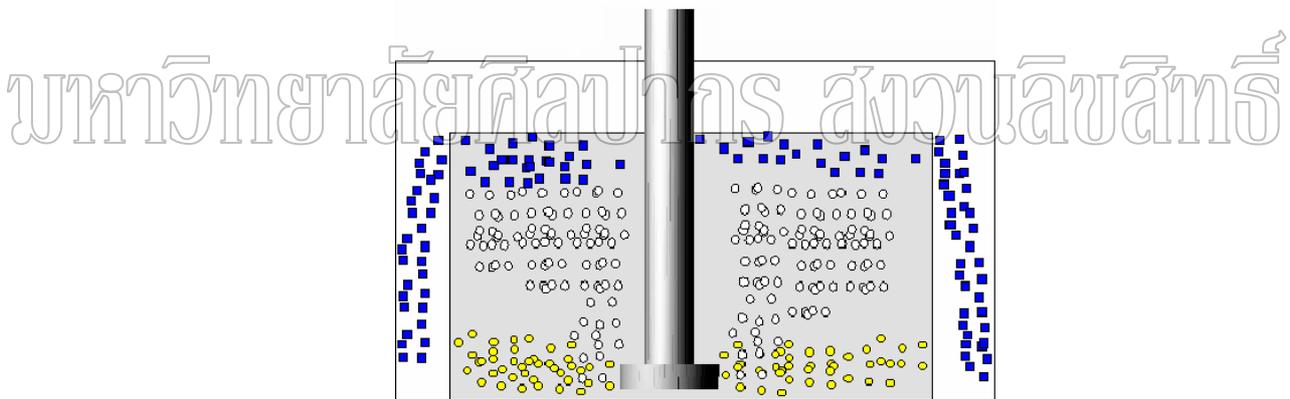
froth flotation เป็นกระบวนการแยกพลาสติกที่ต้องการออกจากขยะพลาสติกที่ผสมกันหลายชนิด และให้ความบริสุทธิ์สูง เทคนิคนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการแยกพลาสติก ABS, HIPS และ PP จากพลาสติกชนิดอื่นๆ โดยไม่ใช่สารเคมีที่เป็นอันตรายในระหว่างกระบวนการบดและการแยกโลหะออกมา ดังนั้น กระบวนการนี้จึงได้ถูกปรับให้สามารถแยกพลาสติกชนิดที่ต้องการออกจากอุปกรณ์เก่าๆ เศษที่ได้จากเครื่องบด ชิ้นส่วนรถยนต์ เศษพลาสติกจากอุตสาหกรรม และอุปกรณ์ไฟฟ้า พลาสติกที่แยกออกมาจะถูกนำมหลอมกับพลาสติกใหม่ และสามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ เช่น คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สำนักงาน ชิ้นส่วนรถยนต์ โทรศัพท์ และเครื่องใช้ภายในบ้าน

การแยกพลาสติกให้มีความบริสุทธิ์สูงเป็นสิ่งที่ทำหาย วิธีการแยกหลายๆ วิธีจะอาศัยความหนาแน่นที่แตกต่างกันของวัสดุเป็นหลักในการแยก แต่เนื่องจาก ABS และ HIPS มีความหนาแน่นเท่า ๆ กัน ไม่สามารถแยกออกจากกันให้มีความบริสุทธิ์สูง หรือจำเป็นต้องอาศัยตัวทำละลายอินทรีย์เป็นปริมาณมาก ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่อไป

2.6.5.2 หลักการและการนำเทคนิค froth flotation มาใช้ในการแยกพลาสติกที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน

หลักการของกระบวนการ froth flotation[4] จะอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างอนุภาคและตัวกลางของกระบวนการ กล่าวคือ พลาสติกสองชนิดที่มีความหนาแน่นที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่มีคุณสมบัติการเปียกผิวในตัวกลางที่แตกต่างกัน เมื่อผสมอยู่ในตัวกลางที่กำหนดให้มีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่างความหนาแน่นของพลาสติกทั้งสอง สามารถทำให้เกิดการแยกของพลาสติกทั้งสองได้ โดยการลดความหนาแน่นของพลาสติกชนิดใดชนิดหนึ่ง

จากการผ่านฟองก๊าซขนาดเล็กให้เข้าไปติดกับผิวของพลาสติกเพียงชนิดเดียว เนื่องจากการมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่าของฟองก๊าซที่เกาะกลุ่มอยู่ที่ผิวพลาสติกนั้นจะทำให้เม็ดพลาสติกลอยตัวอยู่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงกว่าได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดย พลาสติกสีน้ำเงินและสีเหลืองจะมีความหนาแน่นเท่ากันและมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลวตัวกลางที่มีสาร depressant ละลายอยู่ ซึ่งพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ จะมีสมบัติการเปียกผิวด้วย depressant ชนิดนี้ที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อปล่อยฟองอากาศเข้าไป ฟองอากาศจะไปเกาะที่ผิวของพลาสติกสีน้ำเงิน ซึ่งจะไม่ถูกเปียกผิวด้วยของเหลวตัวกลางหรือ depressant ไม่สามารถเข้าไปล้อมพลาสติกสีน้ำเงินได้เนื่องจากสมบัติความเป็นขั้วที่แตกต่างกันระหว่างพลาสติกสีน้ำเงินและ depressant ทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของพลาสติกสีน้ำเงินนี้ลดลง และมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของตัวกลาง จึงทำให้พลาสติกสีน้ำเงินลอยอยู่ที่ผิวของตัวกลางได้ ในขณะที่พลาสติกสีเหลืองจะถูกเปียกผิวอย่างสมบูรณ์ด้วยของเหลวตัวกลาง ทำให้ฟองอากาศไม่สามารถไปเกาะที่ผิวได้ และเนื่องจากพลาสติกสีเหลืองมีความหนาแน่นมากกว่าตัวกลางจึงจมลงในของเหลวตัวกลาง



รูปที่ 2.13 แสดงการแยกพลาสติกด้วยวิธี froth flotation[19]

ระบบ flotation ประกอบด้วย 3 ภูมิภาค ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งหลักการของ flotation technology คือการทำให้ผิวหน้าของวัสดุมีความเป็น hydrophilic เพิ่มขึ้นเพื่อให้อนุภาคของพลาสติกชนิดใดชนิดหนึ่งไม่สามารถติดกับฟองก๊าซ แต่พลาสติกอีกชนิดหนึ่งคงความเป็น hydrophobic ซึ่งสามารถเกาะติดกับฟองก๊าซ หลังจากนั้นกลุ่มฟองก๊าซจะลอยตัวขึ้นมาสู่ผิวหน้าของของเหลวบริเวณส่วนบนของเครื่อง flotation ซึ่ง froth ที่ได้จะถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ ส่วนอนุภาคที่เหลือจะถูกนำออกภายหลังด้วยวิธีที่เหมาะสม

เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่เป็นพวก hydrophobic จึงจำเป็นต้องการใช้ selective wetting ขององค์ประกอบอย่างน้อย 1 ชนิดเพื่อใช้ในการแยก นอกจากนี้พลาสติกยังเป็นของแข็งที่มี surface energy ต่ำ ดังนั้นการทำให้เปียกด้วยน้ำจึงสามารถทำได้โดยการเติม reagent ที่เหมาะสมลงไป reagent ที่เหมาะสมดังกล่าวต้องประกอบด้วยโมเลกุลที่สามารถดูดซับบนพื้นผิวของพลาสติกได้ดีพอๆ กันกับทำให้ผิวของพลาสติกเป็น hydrophilic

กระบวนการ froth flotation นี้สามารถนำไปใช้งานกับขยะพลาสติกที่ได้จากเครื่องบดดั้งเดิมในโรงงาน โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ พลาสติกจะถูกป้อนผ่านเข้าไปในเครื่องบดตัด (granulator) จากนั้นจึงเป็นกระบวนการแยกที่ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ซึ่งในสองขั้นแรกนั้น ABS และ HIPS ซึ่งมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันจะถูกแยกออกจากพลาสติกอื่นๆ ในถังแยกแบบอาศัยความถ่วงจำเพาะ (gravity separation tanks) ในขั้นที่ 3 คือ froth flotation ผิวของอนุภาค ABS และ HIPS ที่มีความหนาแน่นเท่าๆ กัน จะถูกปรับสภาพด้วยการนำพลาสติกทั้งสองชนิดไปใส่ในของเหลวผสม (มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) ที่มีสมบัติทางเคมีที่แน่นอน เพื่อที่อนุภาคของ HIPS จะลอยตัวและแยกออกมาจากอนุภาคของ ABS ที่จมตัว จากนั้นจึงนำพลาสติกที่ได้จากการแยกไปทำการล้างและทำให้แห้งต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.7 แรงตึงผิว

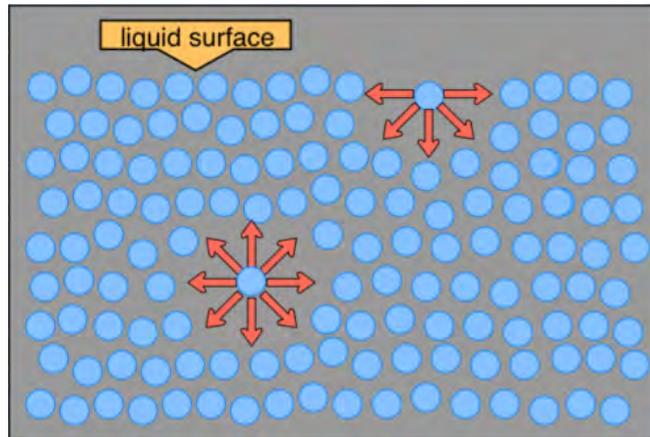
2.7.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงตึงผิว

แรงตึงผิว (surface tension force)[20] คือ แรงที่พยายามยึดผิวของของเหลวไว้ ซึ่งในของไหลทุกชนิดจะมีคุณสมบัติของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล 2 ชนิด[21] คือ

1) แรงยึดติด (cohesion force) คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของไหลชนิดเดียวกันแรงนี้สามารถรับความเค้นดึง (tensile stress) ได้เล็กน้อย

2) แรงเกาะติด (adhesion force) คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของไหลกับสารชนิดอื่น เช่น น้ำกับแก้ว ปรอทกับแก้ว เป็นต้น

แรงตึงผิว คือ แรงที่เกิดขึ้นบริเวณที่ผิวของของไหลสัมผัสกับของไหลอื่นหรือกับผิวของแข็งโดยมีพลังงานเพียงพอต่อการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งมีขนาดสัมพันธ์กับแรงยึดติดและแรงเกาะติดทำให้เกิดเป็นลักษณะคล้ายๆ กับแผ่นบางๆ ที่สามารถต้านแรงดึงได้เล็กน้อย

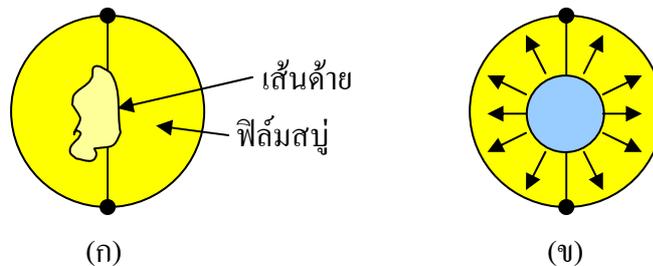


รูปที่ 2.14 แสดงแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เกิดขึ้นในของเหลว[22]

จากรูปที่ 2.14 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวภายในของเหลวจะมีความสมดุล แต่เมื่อพิจารณาที่ผิวของของเหลวจะเห็นว่า มีแต่แรงดึงดูดจากด้านล่างและด้านข้างของโมเลกุลเท่านั้นจึงทำให้เกิดแรงตึงผิวขึ้น

แรงตึงผิวจะมีทิศขนานผิวของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบของวัตถุที่สัมผัสของเหลว

[20] แสดงดังรูปที่ 2.15

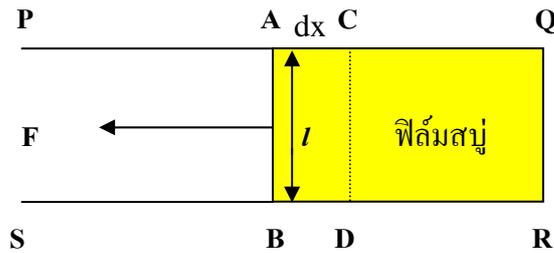


รูปที่ 2.15 แสดงผลของแรงตึงผิวในการดึงเส้นด้าย[20]

ในรูปแสดงให้เห็นว่า ถ้านำลวดเล็กๆ มาขดเป็นวงกลมแล้วนำด้ายซึ่งทำเป็นวงกลมดั่งรูป มาผูกไว้ เมื่อจุ่มลงในน้ำสบู่แล้วยกขึ้นมาจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.15 (ก) คือผิวของสบู่จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ล้อมรอบด้วยด้ายและลวด 2 ส่วน และส่วนที่ล้อมรอบด้วยด้ายอย่างเดียวอยู่ตรงกลาง เมื่อเอาเข็มแทงตรงกลางส่วนที่สามนี้ วงของด้ายจะเป็นดังรูปที่ 2.15 (ข) เหมือนกับว่าด้ายถูกดึงออกด้วยแรงที่ตั้งฉากกับด้านในทุกทิศทาง ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อฟองสบู่ยังไม่ขาด แรงลัพธ์ที่

กระทำต่อด้วยทุกจุดมีค่าเป็นศูนย์ คือด้านนอกเท่ากับด้านใน แต่เมื่อเราทำให้ผิวด้านในขาด แรงดึงผิวด้านในหมดไป เหลือแต่ด้านนอกจึงดึงค้ำออกมาเป็นรูปวงกลม ดังรูปที่ 2.15 (ข)

เมื่อเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ความตึงผิว (γ) คืออัตราส่วนระหว่างแรงดึงผิวของของเหลว กับความยาวของเส้นผิวของของเหลวที่ขาด[23]



รูปที่ 2.16 แสดงแนวคิดในการคำนวณแรงตึงผิว[23]

จากรูปที่ 2.16 PQRS เป็นโครงลวดที่มีลวด AB ปิดอยู่อีกด้านหนึ่ง ในตอนแรกเส้นลวด AB อยู่ติดกับลวด QR หลังจากแช่โครงลวดนี้ลงในน้ำสบู่ แล้วดึงลวด AB ไปทางซ้าย ด้วยแรง F ก็จะทำให้เกิดฟิล์มสบู่ในบริเวณ AQRB

ขณะหนึ่งให้ลวด AB อยู่ที่ตำแหน่ง CD และแรง F ยังคงดึงลวด AB ต่อไปจนตำแหน่งที่แสดงในรูป ถ้าให้ความยาวของลวด AB เป็น l และระยะระหว่าง CD กับ AB เป็น dx ถ้าความตึงผิว γ เป็นค่าคงตัวของสารแปรผันมีหน่วยเป็น แรงต่อระยะทาง ดังนั้นถ้าให้ W เป็นงานที่ใช้ในการเพิ่มพื้นผิว จะได้สมการที่ 2.1

$$W = \gamma l dx = \gamma dA \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

เมื่อ $dA = l dx$ แสดงให้เห็นว่าค่า ตึงผิวสามารถมีหน่วยเป็น พลังงานต่อพื้นที่ได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณา $W = \gamma l dx$ จะเห็นว่า W จะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดึง (F) กับระยะทาง ดังนั้นจะได้สมการที่ 2.2

$$F dx = \gamma l dx \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

$$\gamma = F/l \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

หากกรณีวงแหวนที่จุ่มลงในน้ำสบู่ ต้องแทน L ด้วยสองเท่าของเส้นรอบวง

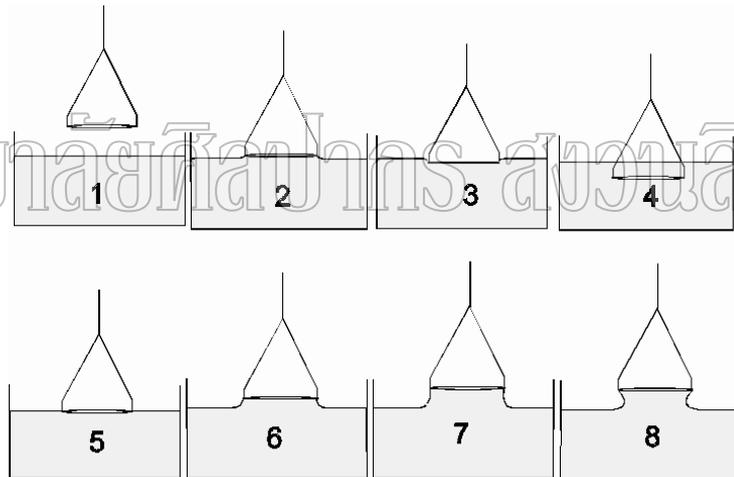
$$\gamma = F / 2l$$

สมการที่ 2.4

เมื่อ γ คือ ความตึงผิว F คือ แรงตึงผิว l คือ ความยาวที่ถูกแรงตึงผิวกระทำ 1 ผิว

2.7.2 การวัดแรงตึงผิวของของเหลวโดยใช้ du Nouy tensiometer[24]

ในการวัดแรงตึงผิวนั้นมีด้วยกันหลายวิธี แต่ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือการใช้เครื่อง du Nouy tensiometer วัดแรงตึงผิวของของเหลว โดยตัวเครื่องจะมีวงแหวน platinum-iridium ring ติดเข้ากับคานที่ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างสมดุลของแรง วงแหวนจะถูกลงบนผิวของของเหลวและดึงขึ้นพร้อมกับวัดค่าแรงตึง ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.17

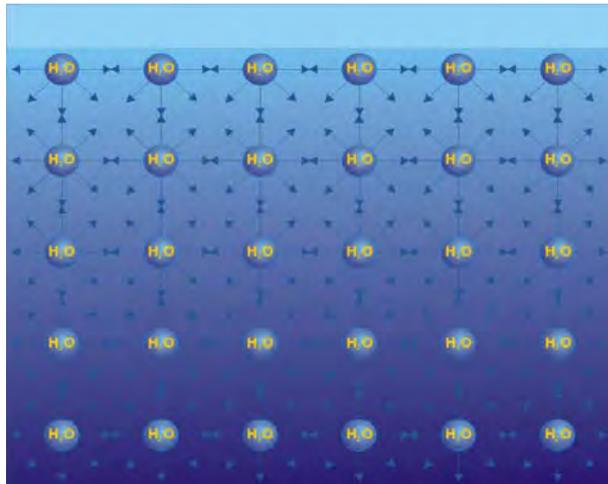


รูปที่ 2.17 แสดงการวางและดึงวงแหวนที่ผิวของเหลวในการวัดค่าแรงตึงผิวด้วยเครื่อง du Nouy tensiometer[25]

โดยจะดึงวงแหวนขึ้นมาจนรอยเชื่อมระหว่างวงแหวนและผิวของเหลวขาดออกจากกัน ซึ่งค่าแรงตึงที่เครื่องวัดได้ค่านั้นคือแรงตึงผิวของของเหลว

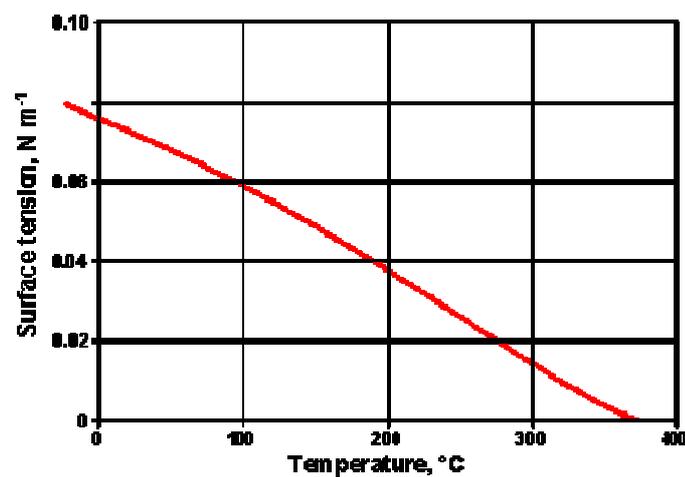
2.7.3 แรงตึงผิวของน้ำ[26]

น้ำจะมีแรงตึงผิวที่สูงกว่าของเหลวโดยทั่วไป (72.75 mJ/m^2 ที่ 20°C) เนื่องจากผลของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำแสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดแรงตึงผิว[27]

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์
ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งกระทบทำให้ค่าแรงตึงผิวของน้ำลดลง[28] แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อค่าแรงตึงผิวของน้ำ[26]

นอกจากการเพิ่มอุณหภูมิแล้ว สารลดแรงตึงผิวจะทำให้แรงตึงผิวของน้ำลดลง เนื่องจากโมเลกุลของสารเหล่านี้จะไปวางตัวที่ผิวของน้ำและมีการดึงดูดโมเลกุลของน้ำแข่งขันกับ

การดึงคูดของโมเลกุลของจากด้านล่างของผิวน้ำทำให้ แรงดึงคูดที่ผิวโดยรวมมีค่าลดลง ค่าแรงดึงผิวของน้ำจึงมีค่าน้อยลง

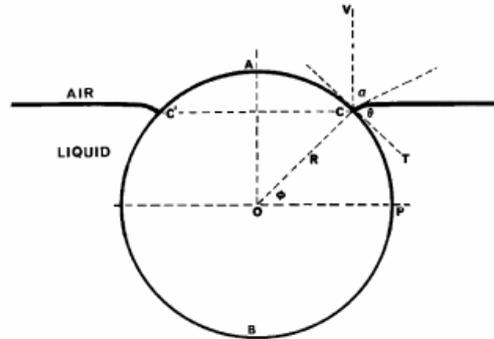
2.7.1 พลังงานผิวน้ำหรือแรงดึงผิวของพลาสติก[2]

พื้นผิวพลาสติกหลายๆ ชนิดในสภาวะปกติจะแสดงค่าพลังงานผิวน้ำที่แตกต่างกัน ผิวน้ำเหล่านี้จะเปียกน้ำได้ก็ต่อเมื่อระดับค่าพลังงานผิวน้ำนั้นสูงกว่าค่าพลังงานผิวน้ำ ของน้ำ ดังนั้นถ้าหากต้องการให้น้ำเปียกบนพื้นผิวได้ พื้นผิวนั้นก็ควรจะมีค่าพลังงานผิวน้ำสูงกว่า 72 mN/m ของน้ำค่าพลังงานผิวน้ำโดยปกติของพลาสติกบางชนิดแสดงไว้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าพลังงานผิวน้ำของพลาสติก[5]

Plastic Resin	TPE	Surface Energy (mN/m)
PP	-	29
-	TPV (Sarlink 3160)	32
-	Olefinic (Engage 8400)	34
-	S-TPE (G2705)	37
HIPS	-	35-37
PS	-	38
PMMA	-	40
-	COPE	41
PC	-	42
ABS	-	43
-	TPU	43
-	COPA	43
PA6,6	-	46

2.7.5 flotation และ critical contact สำหรับการเปียก[3]



รูปที่ 2.20 แสดงพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยที่ลอยตัวด้วยแรงตึงผิว[3]

ได้มีการอธิบาย Buoyancy เกี่ยวกับการเปียกของอนุภาคสำหรับการลอยตัวในเทอมของ contact angle และผลการวิเคราะห์นี้ได้นำไปประยุกต์ใช้กับการลอยตัวของแร่ ในปี 1969 Mutchler และคณะ ได้โยนการลอยและจมไปสัมพันธ์กับค่า γ_c แม้ว่าการวิเคราะห์จะมีไว้สำหรับเส้นใยชั้นเดี่ยว แต่การวิเคราะห์สามารถทำได้ง่ายและได้ผลดี สามารถนำไปใช้กับพื้นที่หน้าตัดหลายชนิด เส้นใยจะให้หน้าตัดที่เป็นวงกลมซึ่งมีความสมมาตรและสะดวกต่อการพิจารณา จากรูปที่ 2.20 จะแสดงถึงหน้าตัดของอนุภาคทรงกระบอกเล็กที่อยู่ในสมดุลระหว่างผิวรอยต่อของของเหลวและอากาศ สมมติให้อนุภาคนี้มีความหนาแน่นมากกว่าความหนาแน่นของของเหลว และให้ความหนาแน่นของอากาศมีค่าน้อยมาก ความหนาของอนุภาค (เส้นผ่านศูนย์กลาง) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบความยาวของอนุภาค θ คือ contact angle มุม α คือ ความเอียงของผิวรอยต่อระหว่างของเหลวและอากาศเทียบกับระนาบแนวตั้ง มุม φ คือ มุมจาก OP ทวนเข็มนาฬิกา (ค่าเป็น+) และตามเข็มนาฬิกา (ค่าเป็น-) จะได้ดังสมการที่ 2.5

$$\alpha + \theta = 180^\circ - \varphi \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

เนื่องจากอนุภาคเส้นใยนี้หนักรกว่าของเหลว ดังนั้นหากนำไปวางในของเหลวจะทำให้อนุภาคจมลงไป แต่ถ้ามีแรงช่วยพยุงขึ้น ซึ่งคือ แรงตึงผิวของของเหลว (γ_{LV}) จะทำให้อนุภาคลอยอยู่ได้ ถ้าค่า contact angle และ γ_{LV} มีค่าเพียงพอ แรงพยุงขึ้นนี้จะมีความสมดุลกับแรงที่ทำให้จม นั่นคือ เมื่อ φ มีค่าแน่นอนโดยแรงที่ดันอนุภาคที่ความยาวหนึ่ง (1 cm) ขึ้นไปในแนวตั้ง จะถูกวัดใน

หน่วย dynes โดยแรงพยางที่ดันอนุภาคที่ความยาวหนึ่ง (1 cm) ขึ้นไปในแนวตั้งคือ F_u แสดงดังสมการที่ 2.6

$$F_u = 2\gamma_{LV} \cos \alpha \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

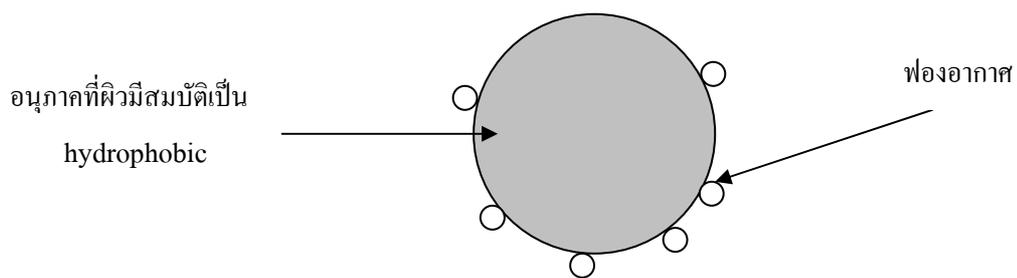
แรงลัพธ์ในการจม (หน่วยเป็น Dynes) คือ F_s แสดงดังสมการที่ 2.7

$$F_s = g[\rho_p \times \text{area AC'C} + (\rho_p - \rho_L) \text{area BC'C}] \quad \text{สมการที่ 2.7}$$

เมื่อ g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก พื้นที่ที่วัดมีหน่วยเป็น cm^2 ตัวแปร ρ_p และ ρ_L คือ ความหนาแน่นของอนุภาคและของเหลวตามลำดับ

ถ้า $\theta = 0$ และ $\rho_p > \rho_L$ อนุภาคจะไม่สามารถลอยได้ ค่า γ_{LV} ที่ทำให้อนุภาคเริ่มจมคือค่า γ_C หรือเมื่อ γ_{LV} มากกว่า γ_C จะสามารถทำให้อนุภาคลอยได้ ดังนั้นทำให้สามารถแยกอนุภาคออกจากกันด้วยค่า γ_C ที่แตกต่างกัน ความสามารถในการควบคุม gamma flotation เป็นสิ่งที่น่าพิจารณาเนื่องจากช่วงของ contact angle ของน้ำที่เป็นไปได้ Shafrin และ Zisman (1963) ได้ประมาณว่าเขตจำกัดบนของ contact angle ของน้ำบนผิวที่มีพลังงานต่ำคือ 156 องศา

นอกจากแรงพยาง (F_u) ที่ดันอนุภาคขึ้นในแนวตั้งแล้ว การปล่อยฟองอากาศเข้าไปในระบบ froth flotation จะทำให้ฟองอากาศนั้นเข้าไปที่ผิวอนุภาคที่เป็น hydrophobic ดังรูป



รูปที่ 2.21 แสดงการเกาะของฟองอากาศที่ผิวของอนุภาคที่เป็น hydrophobic

ซึ่งจะทำให้ความหนาแน่นของอนุภาคที่ถูกเกาะติดด้วยฟองอากาศน้อยกว่าความหนาแน่นของอนุภาคจริง ความหนาแน่นโดยรวมของอนุภาคที่เกาะด้วยฟองอากาศนี้มีค่าเท่ากับ ρ_{pb} ดังแสดงในสมการที่ 2.8

$$\rho_{pb} = \frac{1.59\Phi\rho_p d_{pe}}{1.59\Phi d_{pe} + 4Kd_b} \quad \text{สมการที่ 2.8}$$

- เมื่อ ρ_{pb} คือ ความหนาแน่นโดยรวมของอนุภาคที่ถูกเกาะติดด้วยฟองอากาศ
 Φ คือ particle shape parameter
 d_{pe} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเมื่อเป็นทรงกลม
 K_{db} คือ ค่าคงที่การเกาะติดของฟองอากาศบนผิว
 d_b คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ

2.8 depressant[5]

depressant จะทำหน้าที่ช่วยในการแยกวัสดุ 2 ชนิดออกจากกัน โดยที่วัสดุ 2 ชนิดนี้มีความสามารถในการลอยตัวไม่แตกต่างกัน (ความหนาแน่นใกล้เคียงกัน) ในกระบวนการแยกนั้น depressant จะเข้าไปเพิ่มความสามารถในการเปียกของอนุภาคเพียงหนึ่งชนิด depressant ทำให้จมลงในตัวกลาง เราสามารถแบ่ง depressant ได้ 2 ประเภท คือ depressant ชนิดอินทรีย์และ depressant ชนิดอนินทรีย์ โดย depressant ชนิดอินทรีย์จะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ ปกติจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10,000 depressant ที่พบในธรรมชาติจะเป็นพวก polysaccharides ในขณะที่ depressant แบบสังเคราะห์ ได้แก่ พวก polyglycol ether และ polyphenol

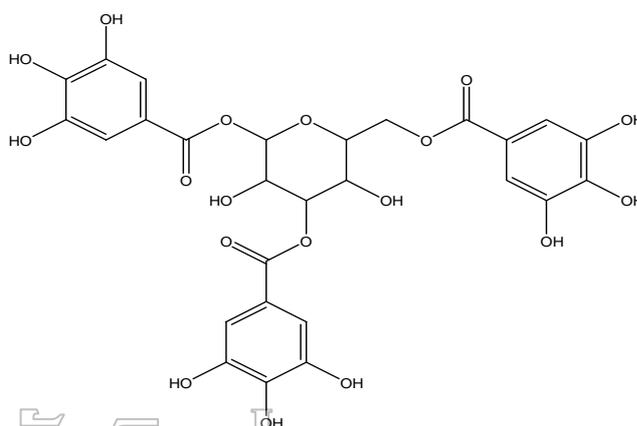
depressant โมเลกุลใหญ่นิยมนำมาใช้เพื่อยับยั้งการลอยตัวของวัสดุที่เป็น hydrophilic โดยธรรมชาติ โพลีเมอร์ที่นำมาใช้เป็น depressant โดยทั่วไปมีลักษณะเป็น polydisperse ทำให้ได้ของผสมของโมเลกุลโพลีเมอร์ที่มีความยาวของสายโซ่แตกต่างกันในการทำหน้าที่เป็น flotation agent สันนิษฐานว่า สายโซ่ที่ยาวกว่านั้นจะค่อยๆ เข้าไปแทนที่สายโซ่ที่สั้นกว่าบนผิวหน้าของของแข็ง เมื่อมีความเข้มข้นของ depressant สูง ทำให้จำนวนของสายโซ่โมเลกุลยาวมีจำนวนเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นค่าหนึ่งสายโซ่โมเลกุลยาวจะชอบอยู่บนผิวหน้าของของแข็ง ในขณะที่สายโซ่สั้นๆ จะอยู่ในสารละลาย อาจกล่าวได้ว่า ความเข้มข้นของ depressant มีบทบาทในกระบวนการลอยตัวอย่างมีนัยสำคัญ

2.9 กรดแทนนิก (tannic acid)[5]

tannic acid เป็น depressant จำพวก polyphenol ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของ gallic acid ดังตัวอย่างในรูป 2.21 โดยจะแสดงให้เห็นเพียง 3 โมเลกุลแต่โดยปกติแล้วจะประกอบไปด้วย 8 โมเลกุลของ gallic acid เมื่อ tannic acid ถูก hydrolyte แล้วจะได้เป็นหน่วยของ gallic หรือ ellagic

acid สำหรับ tannic acid เป็นสารที่ไม่มีกลิ่น มีรสชาติรุนแรงมาก tannic acid บริสุทธิ์จะมีสีเหลืองอ่อนและมีลักษณะเป็นผงอัสฐาน มีคุณสมบัติในการต้านทานแบคทีเรีย และเอนไซม์ นิยมนำ tannic acid มาใช้งานในอุตสาหกรรมไวน์เพื่อทำให้ไวน์ใสขึ้น tannic acid จะพบใน ต้นชา พืชพวกเบอร์รี่ และจะพบมากในไม้โอ๊ก

2.9.1 สูตรโครงสร้างของ tannic acid



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 2.22 แสดงสูตร โครงสร้างของ tannic acid

2.9.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของ tannic acid

ตาราง 2.5 แสดงสมบัติของ tannic acid[5]

Property	Value
molecular formula	$C_{76}H_{52}O_{46}$
molecular weight	1701.22
melting point	218 ° C
flash point	198 ° C
water solubility	250 g/L (20 ° C)

2.9.3 การนำไปใช้งานโดยทั่วไปของ tannic acid

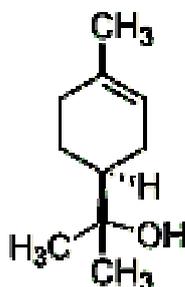
เนื่องจาก tannic acid มีคุณสมบัติด้านแบคทีเรียและเอนไซม์ต่างๆ โดยจะไปทำงานบริเวณส่วนที่เป็นต่อมต่างๆ เช่น ลิ้น ภายในปาก และในระบบย่อยอาหาร จึงสามารถนำ tannic acid ไปประยุกต์ใช้ในการช่วยลดอาการท้องเสีย หรือลดอาการอักเสบได้ อย่างไรก็ตาม tannic acid ไม่ควรจะนำมาใช้อย่างต่อเนื่องหรือใช้ปริมาณมากเนื่องจากจะทำให้การดูดซึมธาตุเหล็กหรือแร่ธาตุอื่นๆ ลดลง จากการศึกษาของ Afsana และคณะ ในหัวข้อเรื่อง การลดผลของ tannic acid ในการลดการดูดซึมของธาตุเหล็กแต่ไม่ลดธาตุ สังกะสี ทองแดงและแมงกานีสในหนูทดลอง ซึ่งตีพิมพ์ในวารสาร Biotechnology and Biochemistry (มีนาคม 2004) นอกจากนี้แล้ว ยังนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการฟอกหนังและยังนำไปทำให้ไวน์ใสขึ้นโดย tannic acid จะไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนในไวน์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำทำให้สามารถกรองแยกออกมาได้

2.10 frother [5]

frother เป็น surface-active reagent ที่จะช่วยให้เกิด froth ของฟองอากาศบนผิวของของเหลวและทำให้ froth ที่เกิดขึ้นนั้นมีความเสถียร ซึ่ง frother ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ pine oil

ลักษณะ โดยทั่วไปของ pine oil จะเป็นของเหลว ใส ไม่มีสี และมีกลิ่นเฉพาะตัว

2.10.1 สูตรโครงสร้างของ pine oil



รูปที่ 2.23 แสดงสูตร โครงสร้างของ pine oil

2.10.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของ pine oil

ตารางที่ 2.6 แสดงสมบัติของ Pine oil[5]

Property	Value
formula structure	$C_{11}H_{16}$
boiling point	155 °C
melting point	-55 °C
flash point	36 °C
self ignition temperature	233 °C
explosion limit	< 0.8% และ > 6%
vapour pressure at 20 °C	4 mmHg
density	0.856 g/cm ³
vapour density	4.84 g/l
soluble	organic solvent
molecular weight	136

2.10.3 การนำไปใช้งานของ pine oil

ใช้เป็นส่วนประกอบในขี้ผึ้งหรือครีม ใช้เป็นสารละลายในการทำขี้ผึ้ง ใช้ในการสังเคราะห์การบูร ทำรองเท้า เตอบ และใช้เป็นสารขัดเงาของเฟอร์นิเจอร์ ใช้เป็นสารละลายของแลคเกอร์ สี การผลิตยา

2.11 การออกแบบใบกวน[29]

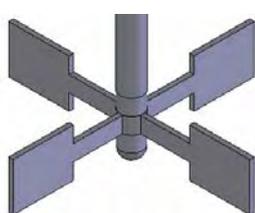
ใบกวนที่ใช้ในระบบการผสมมีหลายลักษณะ โดยในแต่ละลักษณะจะมีทั้งข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันออกไปตามรูปแบบของการใช้งาน เช่น

- **flat blade turbine** จะเหมาะสมในการใช้งานที่ต้องการประสิทธิภาพสูง หรือในการกรณีที่ใช้งานที่เกิดแรง shear มากๆ เช่น ใช้ในการทำให้การกระจายตัวของแข็งในของเหลว

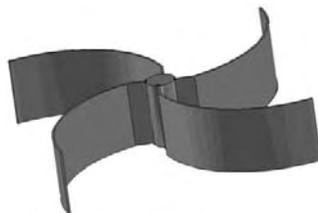
- **curved blade turbine** มีลักษณะคล้ายกับ flat blade turbine แต่ตัวใบกวนจะมีลักษณะเป็นใบกวนที่โค้ง จะเหมาะสมในการใช้งานที่ต้องการให้เกิดความเร็วในการไหลที่ผนังของถังกวนสูง เช่น การใช้งานในด้านการส่งถ่ายความร้อน

- **disc turbines** มีลักษณะคล้ายกับ flat blade turbine แต่แกนของใบกวนที่เชื่อมต่อระหว่างใบกวนกับเพลามีลักษณะเป็นแผ่นจานกลมโดยรอบเหมาะสมสำหรับการกระจายฟองอากาศ และการผสมที่มี power number ต่ำๆ

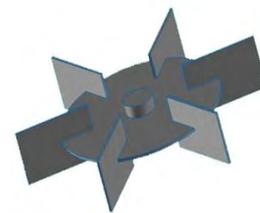
โดยใบกวนลักษณะต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น แสดงดังรูปที่ 2.24



(ก)



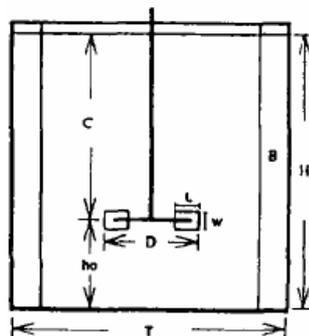
(ข)



(ค)

รูปที่ 2.24 รูปแบบของใบกวนชนิดต่างๆ โดย (ก) flat blade turbine (ข) curved blade turbine (ค) disc turbine

ในการคำนวณขนาดของใบกวนเพื่อเพิ่มการกระจายตัวของฟองอากาศและป้องกันการเกาะกลุ่มกันของเม็ดพลาสติก จะสามารถคำนวณได้จากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวน โดยอัตราส่วนของขนาดใบกวนแสดงได้ดังรูปที่ 2.23 ซึ่งในคำนวณขนาดใบกวนทั้ง 2 ชนิดจะมีข้อแตกต่างกันเล็กน้อยคือ ในกรณีของใบกวนจะมีขนาดความยาวตลอดใบกวน(D) ประมาณ 0.25-0.8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางถัง(T) และในกรณีที่เป็นก้านจะมีขนาดความยาวตลอดใบกวน(D) อยู่ในช่วง 0.25-0.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางถัง(T)



รูปที่ 2.25 แสดงส่วนประกอบของถังและใบกวนเพื่อใช้ในการคำนวณขนาดใบกวน ชนิด ใบพาย และ กิ่งหิ้น[29]

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Bimal P. Singh (Regional Research Laboratory, Bhubaneswar –

751013, India.) เรื่อง Wetting Mechanism in the Flotation Separation of Plastics[3] จุดประสงค์

ของการทดลองคือ ลดความเป็น hydrophobic โดยทำ surfactant adsorption ทำให้พลาสติก 2 ชนิด

มี surface energy ที่แตกต่างกันจึงสามารถแยกออกจากกันได้ จากงานวิจัยนี้จะได้ว่าสามารถแยก

พลาสติก 2 ชนิดที่ผสมกันอยู่ได้โดยใช้ wetting agent ที่เหมาะสมและปรับแต่งสถานะในการ

ทดลองเพื่อที่จะนำไปสู่การทำ flotation separation ที่มีการเลือกสรร ระหว่างการทดลองที่ใช้

depressant 2 ตัว พบว่า sodium lignin sulfonate สามารถเป็นตัว depressant ที่ดี สำหรับกับ PVC

และ sorbitan monolaurate ที่ดีสำหรับ POM ดังนั้นการควบคุมการค่าแรงตึงผิววิกฤตของ

สารพลาสติกตัวใดตัวหนึ่งจะทำให้มี surface energy ที่ต่างกันทำให้ส่งผลถึงการเกิดการเลือกสรร

ในการแยก

จากงานวิจัยของ Gisela Ablas Marques, Jorge Alberto Soares Teno rio เรื่อง Use of

froth flotation to separate PVC/PET mixtures[30] เป็นการศึกษาเพื่อศึกษาการแยก PVC ออกจาก

PET ด้วย wetting agent และหาสภาวะการแยกที่เหมาะสม เช่น ความเข้มข้นของ reagent, pH เวลา

และขนาดของอนุภาคพลาสติก จากการทดลองจะพบว่าสามารถทำการแยก PVC ออกจาก PET

ด้วยวิธี flotation โดยมี calcium lignin sulfonate ทำหน้าที่เป็น surfactant และมี MIBC เป็น frothing

agent โดยปัจจัยที่มีผลต่อการแยกได้แก่ reagent ค่า pH ของสารละลาย เวลาที่ใช้ในการทดลอง

และขนาดของอนุภาคพลาสติก ซึ่งเวลาที่ดียิ่งที่สุดที่ทำให้ surfactant ปรับผิวของ PET ได้ดีคือ 1

ชั่วโมง ส่วนเวลา 10 นาที และ 30 นาที จะไม่เพียงพอต่อการกอด PET ให้อยู่ในน้ำ ทำให้ความ

บริสุทธิ์ของ PET ที่ได้มีค่าน้อย

จากงานวิจัยของ Huiting Shen, E. Forsberg, R.J. Pugh เรื่อง Selective flotation separation of plastics by chemical conditioning with methyl cellulose[31] เป็นการวิจัยศึกษากลไกของการแยกพลาสติกที่มีความเลือกสรร เมื่อปรับสภาวะด้วยสารเคมีและหาวิธีการแยกพลาสติกด้วยกระบวนการ flotation ที่มีประสิทธิภาพ จากการทดลองพบว่าสามารถแยกพลาสติกด้วย methyl cellulose (MC) ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ซึ่งกลุ่มแรกคือ POM และ PVC จะถูกกดที่ความเข้มข้นของ MC ต่ำๆ กลุ่มถัดมาคือ PET, PMMA และ PC จะมีการลอยตัวปานกลาง ส่วนกลุ่มสุดท้ายคือ ABS และ PS จะมีการลอยตัวสูง ซึ่งการกดของ MC บนพลาสติกเป็นผลมาจากการดูดซับบนผิวหน้าของพลาสติก โดยที่โมเลกุล MC ที่ดูดซับบนผิวหน้าของพลาสติกจะมีการจัดเรียงตัวโดยหันส่วนที่มีขั้วเข้าไปหาน้ำ ทำให้ผิวของพลาสติกเป็น hydrophilic ซึ่งแรงดูดซับระหว่างโมเลกุลของ MC และผิวหน้าของพลาสติกจะเป็นแรง Van-der-waals

จากงานวิจัยของ A.V. Nguyen , J. Nalaskowski , J.D. Miller เรื่อง A study of bubble-particle interaction using atomic force microscopy[32] ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการวัดแรง interaction ระหว่างผิวของของแข็งกับฟองอากาศซึ่งเป็นปัจจัยหลักของกระบวนการ froth flotation โดยแรง interaction ดังกล่าวจะถูกวัดด้วยวิธี atomic force microscopy (AFM) โดยจะทำการวัด hydrodynamic interaction forces ระหว่าง solid-sphere ที่ถูกติดอยู่บน คานของเครื่อง AFM และฟองอากาศ ซึ่งจะพบว่าจะเกิดแรงดึงดูดที่แข็งแรงในกรณีที่เป็น hydrophobic solid sphere และจะเกิดแรงผลักกันระหว่างฟองกับ solid sphere ในกรณีที่เป็น hydrophilic solid sphere

จากงานวิจัยของ Harvey Alter เรื่อง The recovery of plastics from waste with reference to froth flotation[3] ได้กล่าวถึง ปัญหาขยะพลาสติกที่สะสมเป็นปริมาณมาก ซึ่งทั้งปริมาณและชนิดของขยะจะถูกทราบได้เมื่อทำการนำกลับมาใหม่ (recovery) เช่น การทำ froth flotation แต่พลาสติกบางชนิดก็ไม่เหมาะสมที่จะนำกลับมาใหม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและความคุ้มค่าด้วย โดยปริมาณของพลาสติกที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกนั้น โดยถ้าไม่มีความรู้ในการแยกพลาสติกนี้แล้ว ก็จะไม่สามารถทำให้สำเร็จได้ หรือไม่ถูกเลือกใช้ในทางเศรษฐศาสตร์ โดยพลาสติกที่ถูกเลือกมาแยกโดย froth flotation เพื่อแยกให้ได้พลาสติกแต่ละชนิด จะใช้หลักการ gamma flotation ซึ่งการ จมหรือลอย ของพลาสติกจะขึ้นอยู่กับค่า Zisman critical surface tension for wetting (γ_c) ของวัสดุ และ แรงตึงผิวระหว่างของเหลวที่เป็นตัวกลางกับอากาศ γ_{LG} ในอ่าง flotation ซึ่งผู้วิจัยอื่นได้รายงานการจมหรือลอย โดยใช้พอลิเมอร์ที่ละลายน้ำ และสมบัติการดูดซับของพอลิเมอร์เหล่านี้ลงบนผิวของพลาสติก หรือเป็นผลจาก surfactant ที่ดูดซับ ซึ่งความสำเร็จของการทำ froth flotation คือการใช้ในการแยกขยะของแข็งเทศบาล ซึ่งบางกรณีที่มีการทดลองก่อนหน้านี้ไม่ได้มีการรายงานผลจะถูกนำมาสรุปในที่นี้ด้วย

จากงานวิจัยของ R.D. Pascoe และ B. O.Connell เรื่อง Development of a method for separation of PVC and PET using flame treatment and flotation[33] ในงานวิจัยนี้จะใช้เปลวไฟในการปรับสภาพผิวของพลาสติกเพื่อให้สามารถเข้ามาเคลือบล้อมที่ผิวของพลาสติกนั้นได้โดยการทำให้ผิวนั้นมีสมบัติเป็น hydrophilic ซึ่งจะส่งผลทำให้สามารถแยกพลาสติกนั้นออกจากพลาสติกอื่นได้ด้วยกระบวนการ froth flotation ซึ่งในการวิจัยนี้จะทำการแยกพลาสติก PVC และ PET ออกจากกัน ซึ่งพบว่าพลาสติก PVC จะให้ผลการเปลี่ยนจากการปรับปรุงผิวด้วยเปลวไฟได้น้อยกว่า PET ดังนั้นผลสุดท้ายของการแยกพลาสติก 2 ชนิดนี้ด้วยกระบวนการ froth flotation จะพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วพลาสติก PVC จะลอยในสารละลายตัวกลาง ส่วน PET โดยมากจะจมในสารละลายตัวกลาง

จากงานวิจัยของ R.D. Pascoe เรื่อง The use of selective depressants for the separation of ABS and HIPS by froth flotation[1] ในการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการนำพลาสติกผสมระหว่าง ABS และ HIPS กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะทำการแยกออกจากกันได้ยาก เนื่องจากพลาสติกทั้ง 2 ชนิด จะมีคุณสมบัติเชิงกลคล้ายกันมาก รวมทั้งมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันมากด้วย ซึ่ง froth flotation จะใช้หลักการ selective wetting ช่วยในการแยก โดยเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่มีความเป็นไปได้สูงในการแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ออกจากกัน โดยใช้ acetic acid, methanol และ quebracho เป็น wetting agent ซึ่งทั้งหมดจะถูกแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ ที่สถานะ ที่ใช้แยกพลาสติกที่มีขนาดเท่ากัน โดยการใช้ quebracho ที่ pH 11 จะมีแนวโน้มที่ดีสำหรับพลาสติกหลายขนาด