



66165

รายงานการวิจัย

สมบัติทางกลของพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิด

ความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต

**The Mechanical Properties on Plastic Recycled of
High Density Polyethylene (HDPE) and Polyethylene
Terephthalate (PET) blends**

เดช เหมือนขาว

Dech Maunkhaw

ยงยุทธ ดุลยกุล

Yongyuth Dunyaikul

668.41

๗ 831

2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2556

สมบัติทางกลของพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต

เดช เหมือนขาว¹ และ ยงยุทธ ดุลยกุล²

บทคัดย่อ

ขยะพลาสติกจำนวนมากที่ใช้แล้วถูกทิ้ง มีความจำเป็นที่ต้องค้นหาขั้นตอนทางเลือก สำหรับการรีไซเคิลหรือนำมาผลิตใช้ใหม่ เนื่องจากขยะเหล่านั้นไม่ย่อยสลาย ถ้าใช้กระบวนการทางเคมีจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ทางออกที่เป็นไปได้ คือ การรีไซเคิลโดยใช้เทคนิคทางความร้อนและทางกล โดยการผสมในอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต ดังนี้ 50:50 40:60 30:70 และ 20:80 และหาค่าสมบัติทางกลโดยทำการทดสอบความแข็งแรงอัด ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ เพื่อใช้สำหรับงานด้านวิศวกรรม

คำสำคัญ : การอัดรีด โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต

^{1,2}คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ. สงขลา 90000

The Mechanical Properties on Plastic Recycled of High Density Polyethylene (HDPE) and Polyethylene Terephthalate (PET) blends

Dech Maunkhaw¹, and Yongyuth Dulyakul²

ABSTRACT

The large amount of plastic waste disposable presently produced makes imperative the search for alternative procedures for recycling of these materials, since they are not biodegradable. As chemical processing is most often costly and sometimes aggressive to the environment, a possible solution is the recycling of such material by thermo-mechanical techniques. The HDPE and PET volume fractions, in weight, considered follow the ratio 50:50 40:60 30:70 and 20:80, respectively, were to studied of mechanical properties, Physical properties and its use for engineering applications.

Keywords: Extrusion, High Density Polyethylene (HDPE), Polyethylene Terephthalate (PET)

^{1,2} Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkla 90000

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2556 (งบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์) และได้รับความเอื้อเฟื้อจากบุคคลต่าง ๆ ในการให้คำแนะนำ คำปรึกษาข้อมูลต่าง ๆ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำงาน และผู้ที่มีส่วนสนับสนุนในการวิจัยในครั้งนี้ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีและที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	24
3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองและวิธีการทดลอง	24
3.2 การผสมเม็ดพลาสติกระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต	11
3.3 การหลอมขึ้นพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีด	27
3.4 การศึกษาเพื่อหาค่าสมบัติทางกล	28
3.5 วิเคราะห์และสรุปผล	29
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	30
4.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงกดอัด	16
4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่น	31
4.3 ความสามารถในการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร	33

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	34
5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	34
5.2 สรุปผลการทดลอง	34
5.3 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	38

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต	27
3.2	การออกแบบการทดลองกระบวนการให้ความร้อนและอุณหภูมิที่ใช้	27
4.1	แสดงค่าความแข็งแรงกดอัด	30
4.2	แสดงค่าความหนาแน่น	32
4.3	แสดงรูปร่างของเศษตัดของวัสดุผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต	33

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบพื้นฐานในการศึกษาวัสดุศาสตร์และวัสดุวิศวกรรม	7
2.2	เครื่องฉีดพลาสติก	8
2.3	เครื่องอัดรีด (Extruder) ซึ่งแสดงให้เห็นการทำงานของส่วนต่าง ๆ ตั้งแต่ เม็ดพลาสติกเข้าไปจาก Hopper จนออกมาเป็นวัสดุสำเร็จรูป	9
2.4	กรรมวิธีการอัดของแบบที่มีผงพลาสติกที่จะอัดลงในแบบ และพลาสติกที่ เป็นส่วนเกินถูกดันออก	10
2.5	กรรมวิธีการ Transfer Molding a) เป็นพลาสติกที่ใส่ลงในแบบก่อนอัดด้วย ตัวอัด Plunger b) อัดพลาสติกเข้าไปในแบบที่ยังว่างอยู่ c) หลังพลาสติกถูก อัดแล้วตัวอัดถูกดึงขึ้น ชิ้นงานพลาสติกจะถูกดันดันออก	10
2.6	กรรมวิธีการผลิตโดยการเป่า a) แสดงท่อพลาสติกถูกใส่เข้าไปในแบบ b) แบบปิดเข้าด้วยกันและตอนปลายของท่อพลาสติกจะถูกหนีบเข้าด้วยกัน ด้วยแบบ c) อากาศจะถูกอัดเข้าไปในแบบ ทำให้ท่อพลาสติกขยายตัวเต็ม d) ชิ้นงานที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตโดยการเป่า	11
2.7	กรรมวิธีการ Thermoforming	12
2.8	กรรมวิธีการรีดให้เป็นแผ่น	13
2.9	กรรมวิธีการ Reaction Injection Molding	14
2.10	สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต	15
2.11	สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง	15
2.12	สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีไวนิลคลอไรด์	16
2.13	สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ	16
2.14	สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีโพรพิลีน	17
2.15	สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีสไตรีน	18
2.16	สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ	18
2.17	กระบวนการอัดรีดพลาสติกและเม็ดพลาสติก	20
2.18	กรรมวิธีผสมพลาสติก	23

รูปที่		หน้า
3.1	ขยะพลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการวิจัย	24
3.2	พลาสติกที่ผ่านกระบวนการย่อยและการล้าง	25
3.3	พลาสติกที่ผ่านการสกัดแห้ง	25
3.4	การหลอมขึ้นรูปพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีด	26
3.5	ช่วงการให้ความร้อนของเครื่องอัดรีด	27
3.6	เครื่องทดสอบความแข็งแรงอัด	28
3.7	ชุดหาความหนาแน่นและขึ้นทดสอบพลาสติกสำหรับการตรวจสอบหาค่า ความหนาแน่น	29
4.1	กราฟเปรียบเทียบค่าความความแข็งแรงอัด	31
4.2	กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบความหนาแน่น	33

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญ

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านวัสดุอย่างต่อเนื่อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพของวัสดุให้ดียิ่งขึ้น และนำวัสดุมาประยุกต์ใช้ประโยชน์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในด้านต่างๆ โดยทำเป็นเครื่องมือ เครื่องใช้ เครื่องจักร ยานยนต์ ยานอวกาศที่อยู่อาศัยและสิ่งก่อสร้างเป็นต้น การพัฒนาค้นคว้าวัสดุใหม่ ๆ การปรับปรุงสมบัติหรือกระบวนการผลิตที่มีขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยถือว่าวัสดุเป็นรากฐานแห่งความเจริญ ความสามารถในการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรกล เพื่อใช้เองและพึ่งตนเองตลอดจนเพื่อสามารถแข่งขันกับตลาดโลกนั้นได้เป็นสิ่งจำเป็น การพัฒนาทรัพยากรบุคคล วัสดุคืบและ เทคโนโลยีด้านต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การผลิตในภาคอุตสาหกรรมหลายประเภทของประเทศไทยซึ่งในปัจจุบันต้องนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศในอัตราที่สูงมากและมีหลายประเภทที่ต้องนำเข้าโดยเฉพาะวัตถุดิบในอุตสาหกรรมพลาสติก พลาสติกเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการดำรงชีวิตเพื่อความทันสมัยและความสะดวกสบาย เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ความหนาแน่นต่ำ ทนทาน และมีความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุที่ถูกนำมาทำเป็นภาชนะ หรือของใช้แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งเนื่องจากมีราคาถูก ขยะประเภทพลาสติกจึงถูกทิ้งในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อสภาพแวดล้อมและก่อให้เกิดมลภาวะเนื่องจากไม่ย่อยสลายหรือย่อยสลายได้ยากส่วนใหญ่มักจะถูกนำไปฝังกลบรวมกับขยะทั่วไป ขยะประเภทพลาสติกจะใช้พื้นที่ในการฝังกลบมากกว่าขยะประเภทเศษอาหารประมาณ 3 เท่า [1] และยังก่อให้เกิดปัญหาติดตามมาอย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นมลพิษทางอากาศ อันมาจากก๊าซและสารพิษบางประเภทในบรรยากาศ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้อยู่อาศัยใกล้เคียงและน้ำชะล้างขยะ อาจปนเปื้อนในระบบน้ำผิวดินและใต้ดินได้ และปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือปัญหาทรัพยากรธรรมชาติที่ลดน้อยลง กล่าวคือในขณะนี้ประเทศไทยกำลังพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม จึงทำให้เกิดความต้องการใช้วัตถุดิบต่าง ๆ ในปริมาณสูง จึงทำให้มีการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศในปริมาณมาก

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกกรีซเกิดผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทอร์พทาเลต ตามปริมาณของขยะที่มีปริมาณการทิ้ง [2] โดยนำมาทำการทดลอง เพื่อเป็นฐานความรู้ในการพัฒนาทางด้านวัสดุ และเพื่อการผลิตเพื่อใช้ในงานวิศวกรรมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกกรีซเกิดผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทอร์พทาเลต

2.2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทอร์พทาเลต

3. ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของโครงการวิจัยนี้จะศึกษาการการผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทอร์พทาเลต ศึกษาสมบัติทางกล ความสามารถในการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร

4. ประโยชน์ที่ว่าจะได้รับ

4.1 ลดปริมาณของขยะโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทอร์พทาเลต

4.2 เพื่อเป็นฐานความรู้ในการพัฒนาทางด้านวัสดุ และเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรม

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกกรีซเคล็ดผสมระหว่าง โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทอร์พทาเลต ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยมีทฤษฎีและหลักการดังนี้

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธันขกร เมืองนาโพธิ์ [3] ได้ศึกษาและเสนอวิธีการนำเศษหลังคาโปร่งแสงมาใช้ใหม่ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักได้แก่ การบดเศษหลังคาโปร่งแสง การขึ้นรูปเศษหลังคาโปร่งแสง และการทดสอบชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ ในการศึกษาการบดเศษตัดที่ได้รับจากโรงงาน ได้ทำการบดด้วยเครื่องบดชนิดลูกกลิ้งสั่นสะเทือน (Vibrations Ball Mill) เพื่อนำผงอนุภาคที่ได้ขึ้นมาทำเป็นสารเติมเนื้อในพอลิเมอร์และหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูป โดยใช้อัตราส่วนตั้งแต่ 0 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นได้ทำการหาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องผสมปนกัน (Mixing) ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงกล โดยทำการเปรียบเทียบกับชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่ได้เติมอนุภาค พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงอนุภาคมากขึ้น ชิ้นงานที่ได้จะมีความแข็ง (Flexural Strength) มีค่าลดลง แต่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Tensile Modulus) สูงขึ้น และการปรับความเร็วรอบที่เหมาะสมในการผสมอยู่ที่ 600 รอบต่อนาที ซึ่งจะทำให้การกระจายตัวของอนุภาคที่ดีที่สุด โดยใช้ใบพัดชนิด 2 ใบ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว และถึงผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 5 นิ้ว

พนมกร ขวาของ และคณะ [4] ได้ศึกษาการแยกกากพลาสติกโดยวิธีการลอยตัว (Flotation Separation) เพื่อใช้ในการแยกพลาสติกผสมระหว่างพีวีซีและพีอีทีที่มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันให้พลาสติกทั้งสองแยกออกจากกัน โดยวิธีการลอยตัวในการศึกษาจะทำการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดของพลาสติกโดยการลอยในน้ำกลั่น มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแยกพลาสติกทั้งสอง พบว่ารูปร่างของพลาสติกที่เหมาะสมเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 6×6 ตารางมิลลิเมตร ศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อการลอยตัวโดยการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารลดความตึงผิว 9 ชนิด การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสมดุล (Hydrophilic Lipophile Balance : HLB) ของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ซึ่งสัมพันธ์กับค่ามุมสัมผัส การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศ และความเร็วของการกวน ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น ค่ามุมสัมผัสจะลดลง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าความ

เข้มข้นมากกว่ามากกว่า จะใช้ความเข้มข้นน้อยกว่าที่มุมสัมผัสเดียวกัน และสารลดแรงตึงผิวที่สามารถทำให้เกิดการแยกได้ความบริสุทธิ์ของพีอีที่ 100 เปอร์เซ็นต์ คือ ซาโพนิน ที่ความเข้มข้น 100 ppm โดยสภาวะที่เกิดการแยกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ คือ ที่อัตราการไหลของอากาศ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ความเร็วของการกววน 120 รอบต่อนาที

เอกลักษณ์ อินทรพานิชย์ และคณะ [5] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิล ได้แก่ ถุงน้ำเกลือ ขวดน้ำดื่มและถังน้ำดื่มรีไซเคิล โดยทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 จะเป็นชิ้นงานที่ทำจากขวดน้ำดื่มรีไซเคิล ผสมกับถุงน้ำเกลือรีไซเคิลและแบบที่ 2 จะเป็นชิ้นงานที่ทำจากถังน้ำดื่มรีไซเคิลกับถุงน้ำเกลือรีไซเคิล โดยแต่ละแบบจะมีส่วนผสมของถุงน้ำเกลือรีไซเคิล 0, 20, 40, 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นงานตัวอย่างที่ผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ นี้จะถูกนำไปเก็บไว้ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน 3 สถานะ คือ การอบให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส การอบให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส พร้อมกับการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต การแช่ในตัวทำละลายอะซิโตน 99.98 เปอร์เซ็นต์ และจะทำการสุ่มชิ้นงานตัวอย่างมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เมื่อครบกำหนดระยะเวลา 72 ชั่วโมง 1 เดือน 3 เดือน 5 เดือน 8 เดือน และ 12 เดือน

เดช เหมือนขาว และคณะ [6] ศึกษากระบวนการอัดรีดขยะพลาสติกเพื่อนำพลาสติกกลับมาใช้ผลิตใหม่ และหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดรีด การออกแบบการทดลองกำหนดอุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คือ 190 210 และ 230 °C ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและ ค่าความหนาแน่น การวิจัยครั้งนี้พบว่า ตัวแปรต่าง ๆ ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และอุณหภูมิอัดรีด เท่ากับ 210 °C ให้ผลจำนวนของข้อบกพร่องน้อยกว่า

นิลุบล เพื่อกบัวขาว [7] ศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่น สูง ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่ (r-HDPE) ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โดยทำการศึกษา อิทธิพลของ ปริมาณ ขนาดอนุภาค และการปรับปรุงพื้นผิว CaCO_3 ด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยา 4 ชนิด ได้แก่กรดสเตียริก (SA) สารควบคู่ปฏิกิริยาไซเลน (AMPTEs และ GPTMS) และ มาเลอิกแอน ไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (MA-g-HDPE) รวมทั้งอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูในการผสมด้วยเครื่องหลอมอัดรีด จากการทดลอง พบว่า การปรับปรุงพื้นผิว CaCO_3 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของ r-HDPE/ CaCO_3 คอมโพสิตมากกว่าตัวแปรอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีผสมด้วย CaCO_3 ที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิว โดยพบว่า เมื่อผสม CaCO_3 ขนาด 2 ไมครอน ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วย AMPTEs, MA-g-HDPE, GPTMS และ SA ใน ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของ CaCO_3 ลงใน r-HDPE ปริมาณร้อยละ 10 พบว่า r-

HDPE/CaCO₃ คอมโพลิต มีค่าการทนต่อแรงกระแทก เท่ากับ 12.03 11.96 11.10 และ 13.23 kJ/m² ตามลำดับ จากผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยาช่วยให้บริเวณผิวสัมผัส ของ r-HDPE/CaCO₃ คอมโพลิต เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง ส่งผลให้ด้านทานต่อการแตกหัก มากขึ้น ทั้งนี้ยืนยันได้จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยสรุปผลงาน วิจัยนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงสมบัติของ HDPE โดยมี CaCO₃ เป็นสารเติมแต่งเพื่อนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เผ่าพงศ์ นิจันท์พันธ์ศรี และคณะ [8] ศึกษาสมบัติเชิงกลในด้านการต้านทานแรงดึง การทนต่อแรงกระแทก การต้านทานต่อการโก่งงอและความแข็งแรงของผิวของวัสดุผสม โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานกับผงซีลีอไมล์ยางพาราที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงความละเอียด 18 และ 40 ช่องต่อตารางนิ้ว ที่สัดส่วน 70:30 60:40 50:50 โดยเปรียบเทียบระหว่างการผสมที่ไม่ใช้สารประสานและใช้สารประสานในอัตราส่วนร้อยละ 1 ถึง 2 พบว่าอัตราส่วนผสมของผสมโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 40 และสารประสานที่อัตราส่วนร้อยละ 2 ในอัตราส่วนผสม 70:30 มีแนวโน้มที่จะทำให้วัสดุทั้งในด้านการทนต่อแรงดึง ยึด การทนต่อแรงกระแทกและการต้านทานการโก่งงอ และในอัตราส่วนผสมที่ 50: 50 จะให้ค่าความแข็งแรงที่ผิวของวัสดุผสมสูงที่สุด

Ji-Zhao Liang [9] ศึกษาพฤติกรรมกลไกการแตกหักและหลอมละลายไหลของวัสดุโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนาแน่นของการละลายสำหรับพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

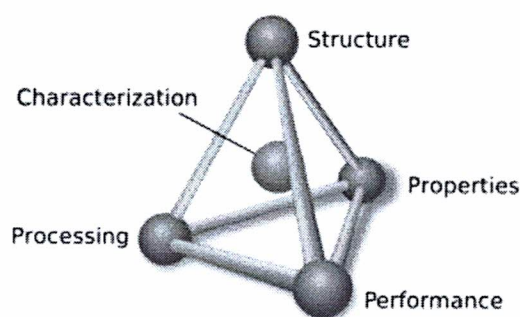
Firas Awaja [10] ทำการการรีไซเคิลพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนเทอร์พทาเลด จากวัสดุที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว

Kamacho and Karlsson [11] จากการนำขวดพลาสติกโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง มาขึ้นรูปใหม่ด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูดแบบสกรูเดี่ยว โดยผสมโพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเพื่อใช้เป็นสารช่วยในการขึ้นรูป พบว่าพลาสติกมีสีน้ำตาลเหลืองเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบการขึ้นรูปที่เป็นเช่นนี้เพราะแอนติออกซิแดนส์ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระบนสายโซ่โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ความแตกต่างของสีขึ้นงานหลังจากการขึ้นรูปไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากแอนติออกซิแดนส์ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดบนสายโซ่ พลาสติกโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเสื่อมสภาพลง สมบัติด้านดัชนีการหลอมไหล การทนแรงกระแทก และการยึดตัวลดลง 30.6 เปอร์เซ็นต์ 34.6 เปอร์เซ็นต์ และ 27.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับการขึ้นรูปขึ้นงานในรอบการขึ้นรูปต่าง ๆ ไม่มีผลต่อขั้วโมดูลัสความแข็งเทนไซล์ อุณหภูมิหลอมตัวและความเป็นผลึกของขึ้นงาน

Payakapo [12] ได้ศึกษาการนำของเสียประเภทพลาสติกมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีต มวลเบาชนิดรับน้ำหนัก พลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยได้มาจากกระบวนการรีไซเคิลแก้ว โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการแทนที่คอนกรีตด้วยฉลากพลาสติกร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยปริมาตรของคอนกรีต และใช้โฟมผสมร้อยละ 18 ถึง 57 โดยปริมาตรของส่วนผสมคอนกรีต การแปรเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.30 0.35 และ 0.40 นำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาซึ่งหล่อให้มีขนาด 5×5×5 เซนติเมตร มาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำหลังจากทำการบ่มเป็นเวลา 7 14 และ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำของเสียประเภทพลาสติกมาใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยปริมาณฉลากพลาสติกที่ใส่เข้าไปนั้นมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าค่ามาตรฐาน พบว่าเมื่อมีการแทนที่ของเสียประเภทพลาสติกลงในตัวอย่างร้อยละ 20 โดยปริมาตร และทำการบ่มเป็นเวลา 28 วัน ผลการทดสอบพบว่ามีความแข็งแรงอัดและความหนาแน่นเท่ากับ 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 1900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

2. ทฤษฎีและที่เกี่ยวข้อง

องค์ประกอบพื้นฐานในการศึกษาทางด้านวัสดุไม่ว่าจะเป็น วัสดุศาสตร์หรือวัสดุวิศวกรรม ประกอบด้วย โครงสร้างพื้นฐาน (Structure) ลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ (Characterization) คุณสมบัติของวัสดุ (Properties) กระบวนการผลิต (Processing) และสมรรถนะของวัสดุ (Performance) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 ซึ่งกลไกการพัฒนาวัสดุใหม่ในปัจจุบัน ยังเป็นกลไกในลักษณะเส้นตรง ซึ่งแนวทางในการพัฒนาวัสดุในรูปแบบใหม่จะมีขั้นตอนการพัฒนาที่ทับซ้อนกัน และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานในการศึกษาวัสดุศาสตร์และวัสดุวิศวกรรม [13]

2.1 ความหมายและประเภทของพลาสติก

พลาสติก หมายถึง สารผสมระหว่างโพลิเมอร์และสารเติมแต่ง เช่น สี สารพลาสติกไซเซอร์ สารเพิ่มเสถียรภาพและฟิลเลอร์ ที่ถูกนำมาใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโดยการขึ้นรูปให้มีรูปทรงต่างๆ เช่น ถัง งานและชิ้นเป็นต้น หากแปลตามรากศัพท์คำว่า โพลิเมอร์ (Polymer) มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ คำว่า Poly แปลว่ามาก และคำว่า Mer แปลว่าหน่วย โพลิเมอร์จึงแปลว่า สารที่มีโมเลกุลประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กันต่อกันเป็นสายยาว ๆ ซึ่งหมายถึงวัสดุประเภทพลาสติก ยาง เส้นใยและกาว พลาสติกสามารถแบ่งออกตามลักษณะการยึดเกาะตัวของโครงสร้างโมเลกุลได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ชนิด คือ พลาสติกประเภทค้ำรูปหรือเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และพลาสติกประเภทคงรูปหรือเทอร์โมเซตติง (Thermosettings)

2.1.1 พลาสติกประเภทค้ำรูปหรือเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า พลาสติกอ่อน เป็นชนิดที่ถูกความร้อนแล้วจะหลอมตัว กลายเป็นของเหลวได้ พลาสติกชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นสายยาว ทำให้ทนต่อแรงดึงได้สูง เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก หลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว เปรียบเสมือนน้ำนำไปทำน้ำแข็ง เมื่อถูกความร้อนก็จะละลายกลายเป็นน้ำอีกและน้ำนี้ก็สามารถนำกลับไปทำน้ำแข็งได้อีกไม่มีที่สิ้นสุด โครงสร้างของพลาสติกประเภทนี้จะประกอบด้วยโมเลกุลเดี่ยวเกาะตัวแบบต่อแขนยาวออกเป็นเส้นด้ายหรือเบบลูกโซ่ (Filament or Chain)

2.1.2 พลาสติกประเภทคงรูปหรือเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Plastic) หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า พลาสติกแข็ง คือพลาสติกที่มีรูปทรงถาวรซึ่งผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อน (Heat) หรือแรงอัด (Pressure) ขึ้นรูปแต่เมื่อเย็นตัวลงจะไม่สามารถทำให้อ่อนตัวโดยใช้ความร้อนหรือนำไปหลอมละลายขึ้นรูปใหม่ได้อีก เปรียบเสมือนไข่เมื่อนำไปต้มสุกแล้วจะทำให้เหลวเหมือนเดิมอีกไม่ได้ในประเทศอังกฤษเรียกพลาสติกชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า ดูโรพลาสติก (Duroplastics) โครงสร้างของพลาสติกแบบคงรูปจะมีการเกาะตัวของโมเลกุลเป็นแบบตาข่าย หรือร่างแห (Net) เวลาได้รับความร้อนจะไม่ยึดหรือหดตัวแต่จะเกิด Covalent Bond ยึดระหว่างโมเลกุลขึ้น เช่น Phenol Formaldehyde หรือที่เรียกว่า Bakelite ยางดิบหากผ่านกรรมวิธี Vulcanization ก็เป็นพลาสติกประเภทคงรูปอย่างหนึ่ง เทอร์โมเซตติงเป็นพลาสติกที่ถูกความร้อนแล้วไม่อ่อนตัว

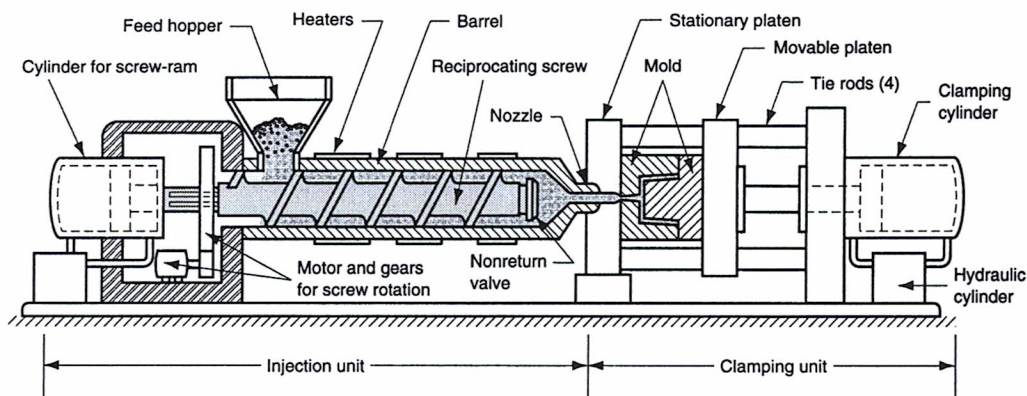
2.2 กรรมวิธีการผลิตขึ้นงานพลาสติก

กรรมวิธีการผลิตขึ้นงานพลาสติก เป็นกรรมวิธีการผลิตให้ออกมาเป็นแผ่น เป็นแท่ง หรือให้มีรูปร่างต่าง ๆ จากเม็ดพลาสติกซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้กรรมวิธีการอัดฉีดเข้าไปในแบบหรือผลิตออกมาเป็นท่อ การจะใช้กรรมวิธีการใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก หากเป็น

เทอร์โมพลาสติกจะใช้วิธีทำให้ร้อนจนอ่อนตัวลงหรือหลอมเหลวแล้วจึงอัดฉีดเข้าไปในแบบให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ กันก่อนที่จะเย็นตัวลง ถ้าหากเป็นเทอร์โมเซตติงพลาสติกจะใช้กรรมวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายแล้วนำเข้าไปในแบบเป็นรูปร่างตามที่ต้องการก่อนที่กรรมวิธีการโพลีเมอไรเซชันจะสิ้นสุดลงและขั้นสุดท้ายของการเกิดโพลีเมอไรเซชัน กรรมวิธีการผลิตที่สำคัญในการผลิตชิ้นงานพลาสติกมีดังนี้

2.2.1 กรรมวิธีการฉีดเข้าไปในแบบ

กรรมวิธีการฉีดเข้าไปในแบบ (Injection Molding) วิธีการนี้นับว่าเป็นวิธีการที่สำคัญที่สุดที่ใช้ผลิตวัสดุสำเร็จรูปของวัสดุเทอร์โมพลาสติก เครื่องที่ทันสมัยใช้ Reciprocating Screw เป็นตัวพาพลาสติกที่หลอมเหลวแล้วฉีดเข้าไปในแบบดังรูปที่ 2.2



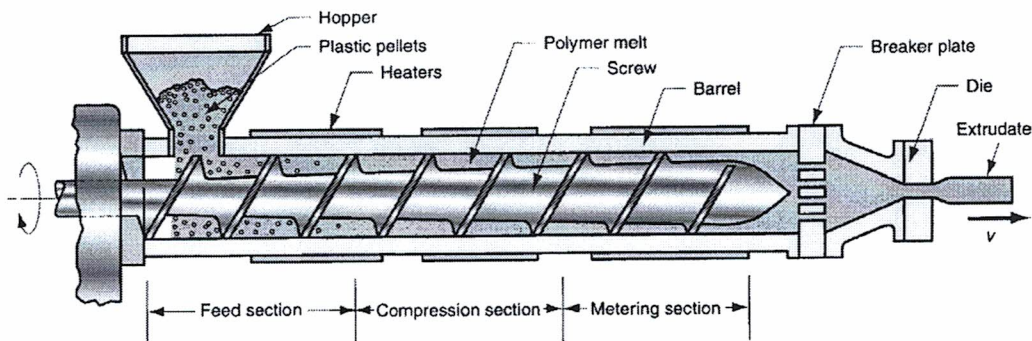
รูปที่ 2.2 เครื่องฉีดพลาสติก [14]

ในกรรมวิธีการผลิตด้วยการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแบบนี้ เม็ดพลาสติกจะถูกส่งลงมาจากถังใส่ (Hopper) เข้าไปยังกระบอกฉีดซึ่งมีสกรูหมุนไปรอบ ๆ พร้อมกันนั้น เม็ดพลาสติกจะถูกทำให้ร้อนจนหลอมเหลว เมื่อพลาสติกเหลวที่ปลายสกรูมีมากพอสกรูจะหยุดหมุน แต่จะทำหน้าที่เป็นตัวอัดฉีดจากช่องออกเข้าสู่แบบ ในช่วงเวลาสั้นและให้ความดันคงที่จนพลาสติกแข็งตัวสกรูจะถอยออกมาแบบที่ใช้จะมีน้ำหล่อเย็นเข้าไปหล่อเย็นเพื่อให้พลาสติกแข็งตัวเร็ว ขั้นสุดท้ายแบบจะเปิดออกพลาสติกจะหลุดออกมาจากแบบด้วยการใช้อากาศ หรือสปริงดันออกมา แล้วแบบก็จะประกอบเข้าไปใหม่พร้อมที่จะอัดฉีดต่อไป

2.2.2 กรรมวิธีการอัดรีด (Extrusion)

เป็นกรรมวิธีการผลิตที่สำคัญอีกวิธีหนึ่งสำหรับใช้กับเทอร์โมพลาสติกกรรมวิธีการนี้โดยมากใช้ผลิตเป็นท่อ แท่ง ฟิล์มและแผ่นพลาสติกหรือผลิตเป็นรูปร่างแบบอย่างอื่น เครื่องอัด

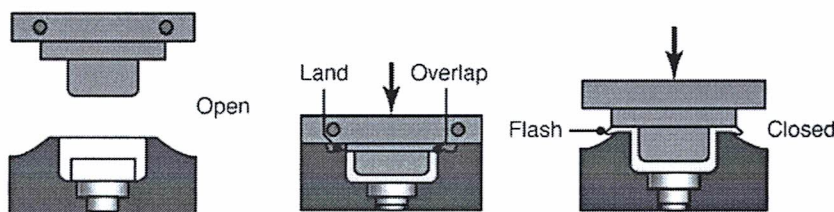
รีดอาจใช้ทำวัตถุที่เป็นพลาสติกผสมให้ออกมามีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น ทำเม็ดและใช้กับพวกพลาสติกที่ใช้แล้ว ในกรรมวิธีการอัดรีดพลาสติก เม็ดพลาสติกจะถูกส่งเข้าไปให้ความร้อน แล้วพลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกบังคับให้ออกไปทางท่อเปิด หรือ Die ตามรูปร่างที่ต้องการด้วยสกรูหมุน พลาสติกที่ออกมาแล้วจะทำให้เย็นต่ำกว่าอุณหภูมิแก้ว (Glass Transition Temperature : T_g) เพื่อให้แน่ใจว่ารูปร่างจะคงที่ การทำให้พลาสติกเย็นลงโดยใช้วิธีลมเป่าหรือใช้ระบบน้ำเย็นหล่อก็ได้



รูปที่ 2.3 เครื่องอัดรีด (Extruder) ซึ่งแสดงให้เห็นการทำงานของส่วนต่าง ๆ ตั้งแต่เม็ดพลาสติกเข้าไปจาก Hopper จนออกมาเป็นวัสดุสำเร็จรูป [14]

2.2.3 กรรมวิธีการอัดเข้ากับแบบ

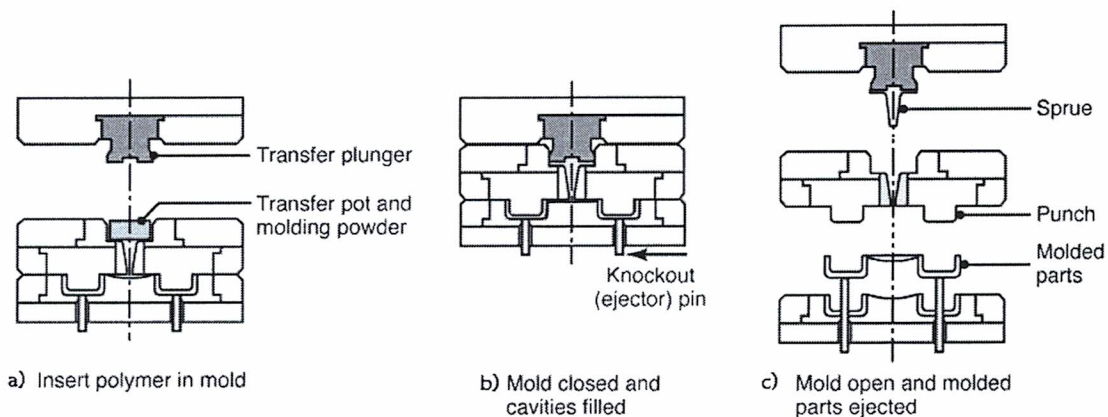
กรรมวิธีการอัดเข้ากับแบบ (Compression Molding) ซึ่งโดยทั่วไปตัวแบบเองจะมีการทำให้ร้อนก่อนแล้วใช้เม็ดพลาสติกใส่ลงไปในแบบ เมื่อแบบเข้าประกอปกันความร้อนและความดันจะรักษาให้คงที่จนกว่าพลาสติกจะเต็มแบบและทำให้แข็งตัว กรรมวิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับวัสดุเทอร์โมเซตติงพลาสติก เพราะการทำให้แข็งตัวสำหรับวัสดุเทอร์โมเซตติงพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับเวลาของการเกิดปฏิกิริยาและมักจะใช้เวลาานกว่ากรรมวิธีการแบบฉีด



รูปที่ 2.4 กรรมวิธีการอัดของแบบที่มีผงพลาสติกที่จะอัดลงในแบบ และพลาสติกที่เป็นส่วนเกินถูกดันออก [15]

2.2.4 กรรมวิธีการ Transfer Molding

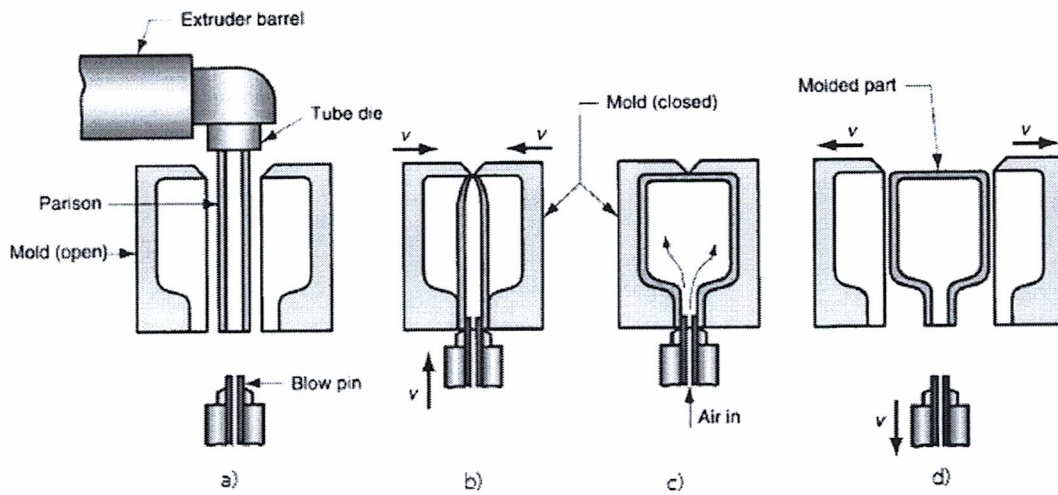
กรรมวิธีการ Transfer Molding เป็นกรรมวิธีการที่ใช้กับพลาสติกที่เป็นเทอร์โมเซตติงพลาสติกโดยเอาวัสดุที่จะขึ้นรูปใส่ในกระบอกรัด วัสดุนั้นจะให้ความร้อนให้ร้อนจนเหลวแล้ววัสดุนั้นจะถูกอัดเข้าไปในแบบ วิธีการได้ดัดแปลงมาจาก Compression Molding ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กรรมวิธีการ Transfer Molding a) เป็นพลาสติกที่ใส่ลงในแบบก่อนอัดด้วยตัวอัด Plunger b) อัดพลาสติกเข้าในแบบที่ยังว่างอยู่ c) หลังพลาสติกถูกอัดแล้วตัวอัดถูกดึงขึ้น ชิ้นงานพลาสติกจะถูกดันดันออก [15]

2.2.5 กรรมวิธีการขึ้นรูปโดยการเป่า

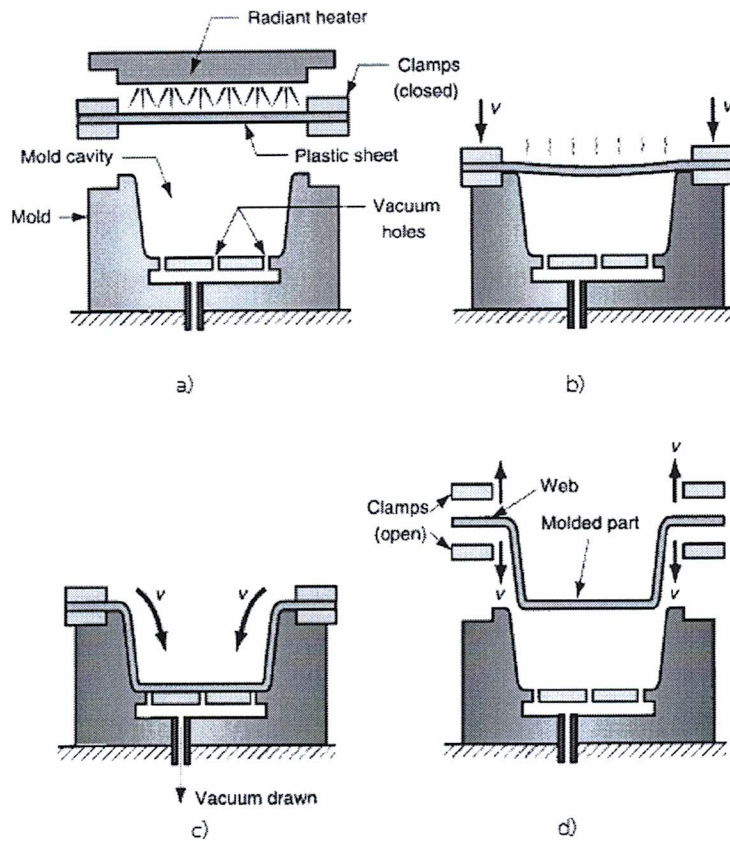
กรรมวิธีการขึ้นรูปโดยการเป่า (Blow Molding) กรรมวิธีการนี้ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่กลวง โดยการเป่าโพลิเมอร์ที่ร้อนด้วยลมให้โพลิเมอร์เข้าไปติดกันแบบที่เป็น 2 ชั้น ประกอบกัน โดยให้โพลิเมอร์ที่เป็นหลอด (Tube or Parison) ทำให้อุ่นแล้วดันลงมาจากด้านบนของแบบ แล้วใช้อากาศอัดเข้าไป โพลิเมอร์จะกลายเป็นรูปร่างต่าง ๆ กันตามแบบที่ใช้และได้ความหนาที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ วิธีการนี้ใช้ในการผลิตขวดพลาสติก หรือภาชนะบรรจุอื่น ๆ ซึ่งสามารถทำได้รวดเร็วและใช้กับเทอร์โมพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กรรมวิธีการผลิตโดยการเป่า a) แสดงท่อพลาสติกถูกใส่เข้าไปในแบบ b) แบบปิดเข้าด้วยกันและตอนปลายของท่อพลาสติกจะถูกหนีบเข้าด้วยกันด้วยแบบ c) อากาศจะถูกอัดเข้าไปในแบบ ทำให้ท่อพลาสติกขยายตัวเต็ม d) ชิ้นงานที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตโดยการเป่า [14]

2.2.6 กรรมวิธีการ Thermoforming

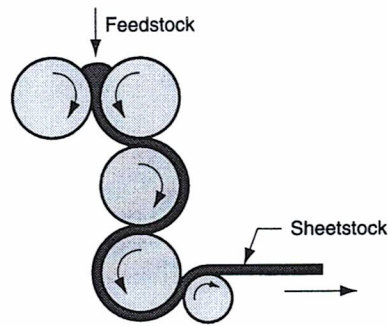
กรรมวิธีการ Thermoforming เป็นกรรมวิธีการที่ใช้โพลีเมอร์แผ่นหรือฟิล์มบาง ๆ ผลิตเป็นรูปร่างต่าง ๆ วิธีการนี้แผ่นโพลีเมอร์จะถูกความร้อนจนอ่อนตัวลงและห้อยลงมาจนสัมผัสกับแบบด้วยระบบสุญญากาศ ทำให้แผ่นโพลีเมอร์ออกมาเป็นรูปร่างตามแบบที่ใช้ บางครั้งอาจใช้แบบที่เป็นโลหะ 2 ชิ้นประกบกันก็ได้ กรรมวิธีการนี้เหมาะที่จะนำไปใช้กับการผลิตที่มีจำนวนไม่มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กรรมวิธีการ Thermoforming [14]

2.2.7 กรรมวิธีการรีดให้เป็นแผ่น

กรรมวิธีการรีดให้เป็นแผ่น (Calendering) เป็นกรรมวิธีการที่ใช้เทอร์โมพลาสติกทำให้เป็นแผ่นหรือเป็นฟิล์ม โดยใช้พลาสติกผ่านเข้าไประหว่างลูกกลิ้งที่ให้ความร้อน (Heated Rolls) และต่อเนื่องกัน ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งคู่สุดท้ายจะบอกความหนาของแผ่นพลาสติกนั้น กรรมวิธีการนี้อาจนำมาใช้เป็นวิธีผสมวัสดุให้เข้ากันได้ โดยทั่วไปยางแผ่นก็ใช้กรรมวิธีการนี้ทำเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8



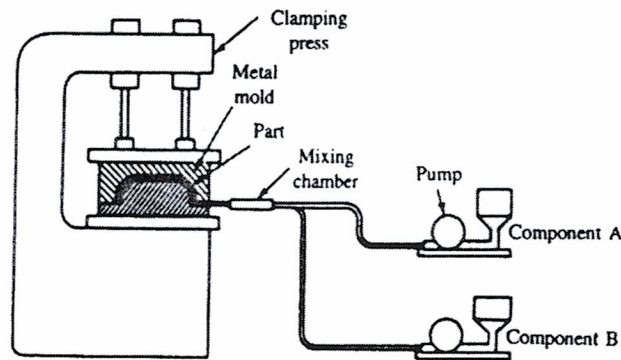
รูปที่ 2.8 กรรมวิธีการรีดให้เป็นแผ่น [14]

2.2.8 กรรมวิธีการหล่อ

กรรมวิธีการหล่อ (Casting) เป็นการขึ้นรูปของที่ตันหรือกลวง โดยใช้พลาสติกที่หลอมเหลวหรือจากเรซินที่ผสมตัวแข็งแล้วด้วยการเทลงไปในแบบแล้วปล่อยให้แข็งตัว สำหรับแบบควรจะต้องให้ข้างบนปิด กรรมวิธีการนี้ใช้กันมากในการหล่อยูรีเทนและ Silicone Elastomers ให้เป็นแผ่นหรือเหมาะที่จะให้ทำเครื่องร้อนแร่ หรือใช้สร้างอุปกรณ์ที่อยู่กับที่ด้วยสาร Epoxy หรือ Polyester Resins

2.2.9 กรรมวิธีการ Reaction Injection Molding

กรรมวิธีการ Reaction Injection Molding : RIM เป็นกรรมวิธีป้อนโพลิเมอร์ที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเข้าไปใน Mixing Chamber ก่อน ให้ผสมกันแล้วให้ออกไปสู่แบบหล่อที่ความดันปกติ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดการขยายตัวเต็มแบบหล่อ ถ้ามีความร้อนเกิดขึ้นจะช่วยทำให้โพลิเมอร์แข็งตัวเร็วขึ้น และอาจใช้ Filler ผสมเข้าไปเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้นก็ได้ กรรมวิธีการนี้ใช้หล่ออุปกรณ์รถยนต์ต่าง ๆ วัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อเป็นโพลียูรีเทนโฟม ดังรูปที่ 2.9



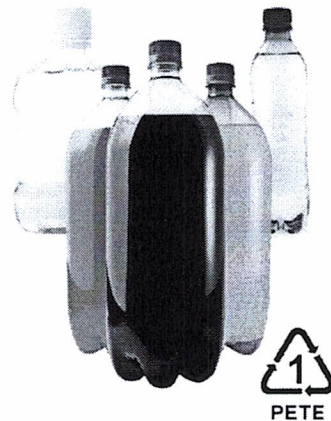
รูปที่ 2.9 กรรมวิธีการ Reaction Injection Molding [16]

2.3 การนำพลาสติกกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิล

2.3.1 สัญลักษณ์แสดงตามรหัสพลาสติก

พลาสติกที่ถูกนำมาใช้ในปริมาณมากในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดที่สามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลได้ จึงมีการใช้สัญลักษณ์ตัวเลขเพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งประเภทของพลาสติก ตัวเลขทั้ง 7 ตัวจะอยู่ในสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรสามตัววิ่งตามกันและมักพบบริเวณก้นของภาชนะพลาสติก

1) โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly Ethylene Terephthalate : PET) สามารถทนแรงกระแทก ไม่เปราะ สามารถทำให้ใสมากมองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืชและเครื่องสำอาง นอกจากนี้ขวดโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลม โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตสามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลได้ โดยนิยมนำมาผลิตเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม และเส้นใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน หรือเส้นใยสำหรับเล่นสกี



รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต

2) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก ไม่แตกง่าย ส่วนใหญ่ทำให้มีสีใส สวยงาม ยกเว้นขวดที่ใช้บรรจุน้ำดื่ม ซึ่งจะขุ่นกว่าขวดโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ราคาถูกขึ้นรูปได้ง่าย ทนสารเคมีจึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพูสระผม แป้งเด็ก และถุงหูหิ้ว นอกจากนี้ภาชนะที่ทำจาก โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของกลิ่นได้ดี จึงใช้เป็นขวดนมเพื่อยืดอายุของนมให้นานขึ้น โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง สามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลเพื่อผลิตขวดต่างๆ เช่น ขวดใส่น้ำยาซักผ้า แท่งไม้เทียมเพื่อใช้ทำราวหรือม้านั่งในสวน



รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง

3) โพลีไวนิลคลอไรด์ (Poly Vinyl Chloride : PVC) เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อ เช่น ท่อน้ำประปา แต่สามารถทำให้นิ่มโดยใช้สารพลาสติกไซเซอร์ ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ ขวดใส่แชมพูสระผม โพลีไวนิลคลอไรด์เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลาย สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมาก เช่น ประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม โพลีไวนิลคลอไรด์สามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลเพื่อผลิตท่อประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจรและเฟอร์นิเจอร์ หรือม้านั่งพลาสติก



รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีไวนิลคลอไรด์

4) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) เป็นพลาสติกที่นิ่ม สามารถยืดตัวได้มาก มีความใส นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปังและถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำสามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลได้ โดยใช้ผลิตเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้ว หรือถังขยะ



รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

5) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) เป็นพลาสติกที่แข็งแรง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อนและน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น ถ้วย ชาม จาน ถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น โพลีโพรพิลีนสามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลได้ โดยนิยมผลิตเป็นกล่องเบตเตอร์รยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชนและกรวยสำหรับน้ำมัน



รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลีโพรพิลีน

6) โพลีสไตรีน (Polystyrene : PS) เป็นพลาสติกที่แข็งใส แต่เปราะและแตกง่าย ราคาถูก นิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง สำลี หรือของแห้ง เช่น หมูแผ่น หมูหยองและคุกกี้ เนื่องจากโพลีสไตรีนเปราะและแตกง่าย จึงไม่นิยมนำพลาสติกประเภทนี้มาเป็นขวดสำหรับบรรจุน้ำดื่มหรือแชมพูสระผม เนื่องจากอาจฉีกแตกได้ มีการนำพลาสติกประเภทนี้มาใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟมสำหรับบรรจุอาหาร โฟมจะมีน้ำหนักที่เบาเนื่องจากประกอบด้วยโพลีสไตรีน ประมาณ 2-5% เท่านั้น ส่วนที่เหลือเป็นอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง โพลีสไตรีน สามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลได้ โดยนิยมผลิตเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวีดีโอ ไม้บรรทัด หรือของใช้อื่นๆ



รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์โพลิสไตรีน

7) พลาสติกอื่นๆ ที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก หรือไม่ทราบว่าเป็นพลาสติกชนิดใด ปัจจุบันเรามีพลาสติกหลายชนิดให้เลือกใช้ พลาสติกที่ใช้ในครัวเรือนส่วนใหญ่สามารถนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลได้ การมีสัญลักษณ์ตัวเลขทำให้สามารถแยกพลาสติกออกเป็นชนิดต่างๆ เพื่อนำกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลได้ง่ายขึ้น สำหรับพลาสติกในกลุ่มที่ 7 เป็นพลาสติกชนิดอื่นที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก นอกจากมีตัวเลขระบุแล้ว ควรใส่สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษระบุชนิดของพลาสติกนั้นๆ ไว้ เพื่อสะดวกในการแยกและนำกลับมารีไซเคิล เช่น โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate : PC)



รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์และผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ

2.3.2 การรีไซเคิลพลาสติก

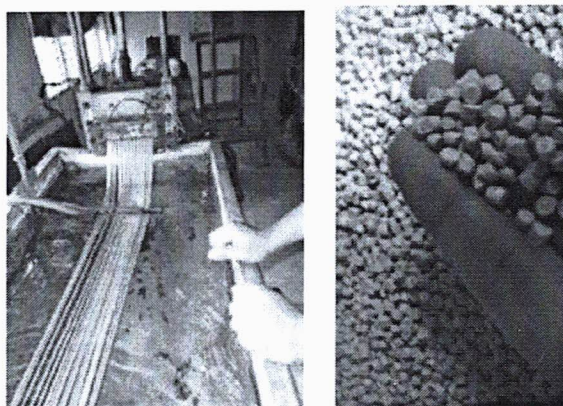
พลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเพราะใช้ทดแทนทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ไม้และเหล็กได้เป็นอย่างดีและมีราคาถูก น้ำหนักเบาสามารถผลิตให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้จากการเลือกชนิดของวัตถุดิบ ปฏิกริยาเคมี กรรมวิธีการผลิตและกรรมวิธีการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังสามารถปรุงแต่งสมบัติได้ง่ายโดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้าและทันสมัย ในปัจจุบันทำให้มีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบและสีสันทันให้เลือกใช้อย่างมากมาย ด้วยสมบัติที่โดดเด่นหลายด้านทำให้พลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็วและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเพราะนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกแล้วยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย การพัฒนาทางเทคโนโลยีในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทำให้การรีไซเคิลพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก คือ การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ (Primary Recycling) การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (Secondary Recycling) การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ (Tertiary Recycling) และการรีไซเคิลแบบจตุภูมิ (Quaternary Recycling)

1) การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ เป็นการนำขวดหรือเศษพลาสติกที่เป็นประเภทเดียวกันและไม่มีสิ่งปนเปื้อน ที่เกิดในกรรมวิธีการผลิตหรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำภายในโรงงาน โดยสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมดหรือเติมผสมกับเม็ดใหม่ที่อัตราส่วนต่างๆ

2) การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิหรือกรรมวิธีการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอมและขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง การรีไซเคิลแบบทุติยภูมินี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายเทคนิค คือ

ก. การรีไซเคิลเชิงกล (Mechanical Recycling) เป็นเทคนิคที่ง่ายและนิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน โดยการเก็บพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาคัดแยกตามประเภทและสีมาล้างทำความสะอาดก่อนนำมาบดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และหลอมเป็นเม็ดพลาสติกเกรดสองหรือเม็ดพลาสติกรีไซเคิลเพื่อนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือนำมาผสมกับเม็ดใหม่เพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการก่อนนำไปผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูป โดยคุณภาพของเม็ดพลาสติก รีไซเคิลนี้จะเป็นตัวกำหนดการนำไปใช้งานและปริมาณการผสมที่ต้องการ ปัญหาในกรรมวิธีการรีไซเคิลพลาสติกคือหลังจากผ่านกรรมวิธีการรีไซเคิลในแต่ละครั้งพลาสติกจะมีคุณภาพต่ำลง

ปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่โมเลกุลทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีราคาถูกลงเรื่อย ๆ จนบางครั้งไม่คุ้มต่อการลงทุน สาเหตุที่สำคัญเนื่องมาจากมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก ฉลากเล็ก ๆ หรือเศษกาวทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเข้มขึ้นหรือ มีความใสลดลง นอกจากนี้ ความชื้นในพลาสติกและความร้อนที่ใช้ในการหลอมพลาสติกยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวหรือเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ใช้ทำพลาสติก ทำให้เม็ดพลาสติก รีไซเคิลมีสีเหลืองและมีสมบัติเชิงกลลดลงด้วย ตัวอย่างการรีไซเคิลพลาสติกซึ่งพลาสติกจะถูกหลอมและถูกอัดรีดผ่านคายน (Die) เพื่อให้เป็นเส้นและให้เย็นตัวโดยผ่านอ่างน้ำ และให้ลอดผ่านเหล็กกดเพื่อให้พลาสติกที่ผ่านการอัดเป็นเส้นลดอุณหภูมิลงและเกิดการแข็งตัว พร้อมทั้งจะเข้าเครื่องตัดเม็ดพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 7.16



รูปที่ 2.17 กระบวนการอัดรีดพลาสติกและเม็ดพลาสติก

ข. การปรับปรุงโดยวิธีทางเคมี (Chemical Modification) เนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีข้อจำกัดในด้านสมบัติ การขึ้นรูปและการใช้งาน ดังนั้นการปรับปรุงโดยวิธีการทางเคมีจะช่วยลดข้อจำกัดดังกล่าวหรือทำให้เม็ดรีไซเคิลมีลักษณะใกล้เคียงกับเม็ดใหม่ได้ การปรับปรุงนี้สามารถใช้ได้กับทั้งพลาสติกชนิดเดียวหรือพลาสติกผสม ถ้าเป็นพลาสติกชนิดเดียวก็จะใช้การเติมสารเคมีหรือใช้วิธีการผ่านด้วยรังสี แต่ถ้าเป็นพลาสติกผสมมักใช้สารช่วยในการผสมให้เข้ากันที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า Compatibilizer

ค. การหลอมอัดรีดร่วมและการฉีดร่วม (Co-Extrusion and Co-Injection Molding) เป็นอีกเทคนิคหนึ่งของการรีไซเคิลแบบทฤษฎีซึ่งเหมาะสำหรับใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตได้จากกรรมวิธีการนี้จะมีลักษณะ โครงสร้าง

เป็นชั้น ๆ เหมือนแซนดวิช โดยที่ผิวหน้าเป็นชั้นที่ผลิตจากพลาสติกใหม่ซึ่งมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ป้องกันการขีดข่วนได้ดีและมีสีสน้ำใส ส่วนชั้นกลางเป็นชั้นของพลาสติกรีไซเคิล

3) การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ การรีไซเคิลแบบตติยภูมิแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางเคมีและทางความร้อน

ก. การรีไซเคิลทางเคมี (Chemical Recycling) เป็นกรรมวิธีการที่ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของโพลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออก (Depolymerisation) ได้โมโนเมอร์ (Monomer) หรือโอลิโกเมอร์ (Oligomer) เป็นผลิตภัณฑ์เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นและตกผลึกได้เป็นสารตั้งต้นที่มีคุณภาพสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตได้ใหม่

ข. การรีไซเคิลทางความร้อน (Thermolysis) โครงสร้างเกิดการแตกหรือขาดได้โดยใช้ความร้อน เรียกว่า Thermolysis แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) แบบใช้ออกซิเจน (Gasification) และการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

- Pyrolysis เป็นกรรมวิธีการที่ทำให้สายโซ่โพลิเมอร์เกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบแน่นเป็น ของเหลวที่เรียกว่า น้ำมันดิบสังเคราะห์ (Synthetic Crude Oil) สามารถนำกลับไปใช้ใน โรงกลั่นและส่วนที่ไม่เกิดการควบแน่นจะถูกนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนภายในกรรมวิธีการ

- Gasification เป็นกรรมวิธีการที่ทำให้สายโซ่โพลิเมอร์ เกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบใช้ออกซิเจน กรรมวิธีการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า Pyrolysis ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ Syngas ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง

- Hydrogenation เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงมาจากกรรมวิธีการกลั่นน้ำมันแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสายโซ่โพลิเมอร์จะถูกทำให้แตกหรือขาดออกจากกันด้วยความร้อนและสัมผัสกับไฮโดรเจนที่มากเกินพอที่ความดันสูงกว่า 100 บรรยากาศ จนเกิดปฏิกิริยาแตกตัว (Cracking) และเกิดการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันแก๊สโซลีนหรือดีเซล กรรมวิธีการรีไซเคิลทางความร้อนถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์และคุ้มค่ากว่าการรีไซเคิลทางเคมีเพราะสามารถจัดการขยะที่เป็นพลาสติกผสมที่มีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ไม่ใช่พลาสติกได้ ในขณะที่การรีไซเคิลทางเคมีต้องใช้พลาสติกที่มีความสะอาดค่อนข้างสูงและมีการผสมหรือปนเปื้อนได้เพียงเล็กน้อย ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบสูง อย่างไรก็ตามพลาสติกที่จะนำมารีไซเคิลทางความร้อนก็ควรมีการคัดขนาดหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกบ้าง

4) การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการเผาไหม้ของพลาสติกให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ แม้ว่าทุกวันนี้การรีไซเคิลพลาสติกยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก แต่ก็กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ การนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาผลิตใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลใช้ซ้ำจึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยรักษาความสวยงามและความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติไว้ได้

2.3.3 กระบวนการรีไซเคิลพลาสติก








กระบวนการรีไซเคิลพลาสติกเป็นการนำพลาสติกจำพวก เทอร์โมพลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยนำมาเป็นส่วนผสมกับเม็ดพลาสติกใหม่โดยจะผ่านกระบวนการดังนี้

1) การแยกพลาสติกชนิดต่าง ๆ ออกจากกัน เนื่องจากพลาสติกต่างชนิดกันมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น ความแข็ง ความนิ่ม ความใส เมื่อพลาสติกแต่ละชนิดถูกแยกออกจากกัน แล้วจะถูกบีบให้แบนแล้วมัดรวมกันเป็นก้อน เพื่อแยกส่งไปยังโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

2) พลาสติกแต่ละชนิด จะถูกนำมาบดให้เป็นชิ้นเล็กขนาดประมาณ 1/4 -1/2 นิ้ว และล้างทำความสะอาดในบ่อน้ำขนาดใหญ่ ในขั้นตอนนี้ฝุ่นและสิ่งสกปรกจะถูกกำจัดออกไป หลังจากนั้นชิ้นพลาสติกจะถูกทำให้แห้งโดยการตากแดดหรือใช้อากาศร้อน ป้ายกระดาษหรือฟิล์มที่ติดมากับชิ้นพลาสติกจะถูกเป่าแยกออกมา

3) การแยกกระดาษและแยกส่วนโลหะ การแยกวัสดุสามารถทำได้โดยวิธี Gravimetric ซึ่งอาศัยความแตกต่างของมวลและน้ำหนัก และวิธี Densiometric ซึ่งอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น ซึ่งวิธีหลังจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากความหนาแน่นเป็นค่าเฉพาะของสาร ดังนั้นขนาดของวัสดุจะไม่มีผลต่อการแยกวิธีนี้ อย่างไรก็ตามไม่ควรบดพลาสติกให้มีขนาดเล็กเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียพลาสติกได้ เนื่องจากมวลของพลาสติกใกล้เคียงกับกระดาษ โพลีไวนิลอะซิเตท กระดาษและโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากกระดาษเป็นส่วนประกอบที่มีรูปร่างบางที่สุด จึงมีน้ำหนักเบาสุด ทำให้แยกออกได้ง่าย

4) การผสม คือ การนำวัสดุต่างชนิดมารวมกันและให้เฉลี่ยเข้ากัน โดยการวัสดุเคลื่อนที่คลุกเคล้ากันจนได้สภาพการผสมที่ต้องการ โดยการหมุนใบกวนในถังเปิดหรือปิดจะทำให้สารกระแทกและเสียดสีกัน เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งจะผสมเข้ากันดี ซึ่งจะมีเครื่องผสมแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับชนิด และขนาดของพลาสติก ดังรูปที่ 2.15

กรรมวิธี ของเครื่องผสม	ทำงานไม่ต่อเนื่อง						ต่อเนื่อง
	ตั้งกวน	ตั้งหมุน แกว่ง	ใบผสม	เป่าฟุ้ง กระจาย	นวดผสม	รีดผสม	
Stoff- zustand							
▲ วัตถุดิบ ● สารเติม							
ผง	▲						
●							
เหนียวหนืดมาก	▲						
●							
หนืดน้อย	▲						
●							
เหมาะสำหรับ	PVC-Paste, UP	PS, PE PP, PMMA	PVC แข็ง และอ่อน	PVC แข็ง และอ่อน	PVC	PE, PVC	เทอร์โม พลาสติก ทั้งหมด

รูปที่ 2.18 กรรมวิธีผสมพลาสติก [17]

5) การหลอมขึ้นรูปพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีด (Extruder) ออกมาเป็นเส้น ก่อนตัดให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ บรรจุลงกล่อง เพื่อส่งไปยังโรงงานขึ้นรูปพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หากการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้งหมด ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้จะมีสมบัติทางกายภาพลดลง บางครั้งโรงงานจะนำเม็ดพลาสติกใหม่มาผสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีขึ้น

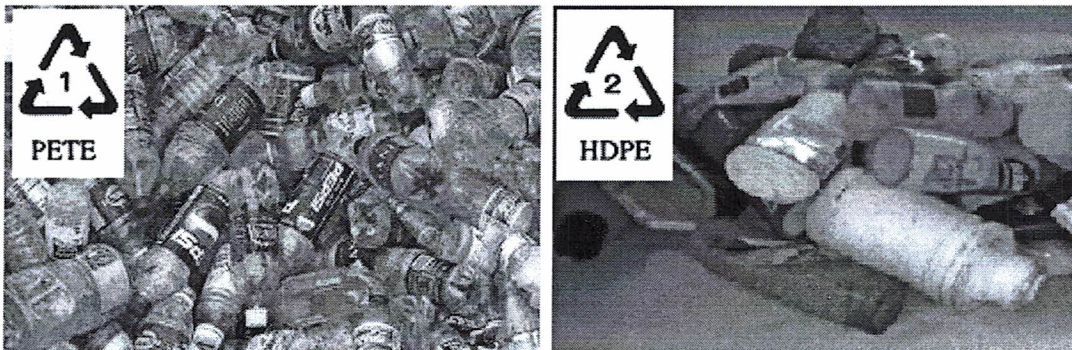
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่าง โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต ในการดำเนินการวิจัยนั้นจะทำการเตรียมงานทดสอบแรงกดอัด ตามมาตรฐาน มาตรฐาน ASTM D695 และทำการทดสอบความสามารถในกาตัดแต่งผิวด้วยเครื่องจักร ดังนั้นจึงได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองและวิธีการทดลอง

ในการศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่าง โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต ในกระบวนการผสมจะใช้กระบวนการวิธีการผสมโดยนำกระบวนการรีไซเคิลด้วยเครื่อง (Mechanical Recycling) ซึ่งจะใช้วัสดุที่พลาสติกชนิด โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต (PET) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



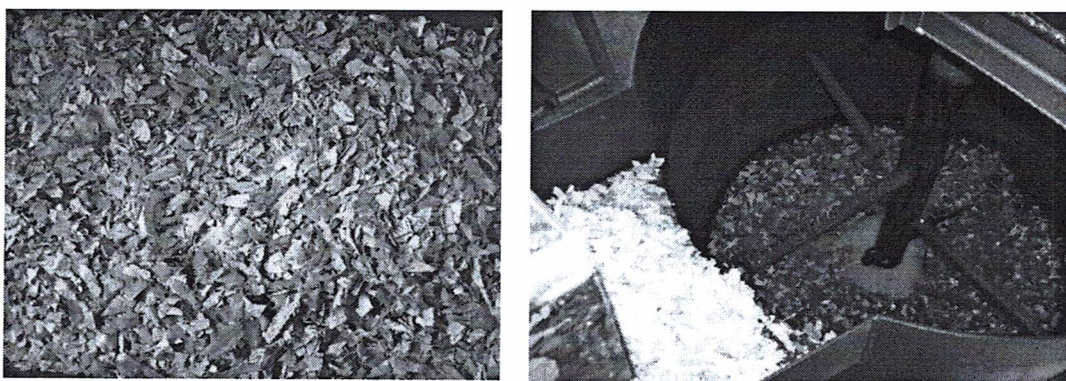
รูปที่ 3.1 ขยะพลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการวิจัย

3.1.1 การแยกพลาสติกชนิดต่าง ๆ ออกจากกัน เนื่องจากพลาสติกต่างชนิดกันมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น ความแข็ง ความนิ่ม ความใส เมื่อพลาสติกแต่ละชนิดถูกแยกออกจากกันแล้วจะถูกบดให้แบนแล้วมัดรวมกันเป็นก้อน

3.1.2 การย่อยพลาสติก หลังจากทำการแยกชิ้นส่วนในขั้นต้น ขวดพลาสติกจะถูกนำมาบดโดยใช้วิธีทางกล ให้ได้ขนาดประมาณ 1/4 -1/2 นิ้ว ในการย่อยจะทำให้ได้พลาสติกที่มีขนาดเล็กแตกต่างกันตามความต้องการ ในบางครั้งมีการแยกพลาสติกหายออกจากพลาสติกละเอียด เพื่อ

เพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสเมื่อทำการผสม ทำให้อบแห้งได้ดี ป้อนเข้าเครื่องได้อย่างสม่ำเสมอ หลอมละลายได้เร็ว เป็นต้น

3.1.3 การล้าง พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต ที่ผ่านการย่อยจะถูกล้างด้วยเครื่องล้างพลาสติก และทำการสลัดแห้งพลาสติก



รูปที่ 3.2 พลาสติกที่ผ่านกระบวนการย่อยและการล้าง

3.14 การสลัดแห้งพลาสติก ซึ่งทำการสลัดแห้งพลาสติกโดยการนำพลาสติกที่ผ่านกระบวนการล้าง มาทำการสลัดน้ำออก



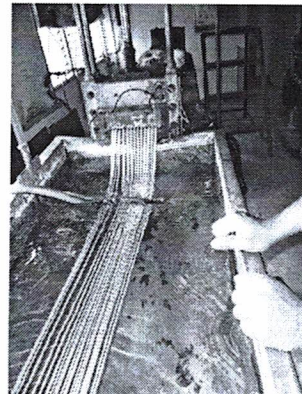
รูปที่ 3.3 พลาสติกที่ผ่านการสลัดแห้ง

3.1.5 กระบวนการอัดรีดพลาสติกรีไซเคิล จะเริ่มที่เครื่องอัดรีดจะถูกปรับอุณหภูมิที่แผนควบคุมให้ได้ค่าของอุณหภูมิที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ และทำการอัดรีดโดยผ่านเกลียวอัด

พลาสติกจะถูกอัดรีดออกมาลงในอ่างน้ำที่เตรียมไว้เพื่อให้เส้นพลาสติกที่ออกมาอุณหภูมิลดลง และเกิดการเย็นตัวก่อนที่จะเข้าไปยังเครื่องตัดเม็ด ดังแสดงในรูปที่ 3.38



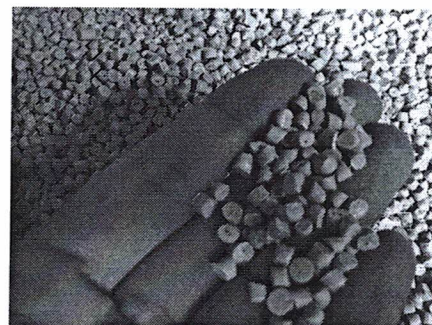
ก) การเติมวัตถุดิบลงในกรวย



ข) ลักษณะของเส้นพลาสติกที่ผ่านอ่างน้ำ



ค) แสดงการดึงเส้นพลาสติกเข้าเครื่องตัดเม็ดและลักษณะเม็ดพลาสติก



รูปที่ 3.4 การหลอมขึ้นพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีด

3.2 การผสมเม็ดพลาสติกระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต

3.2. การผสมเม็ดพลาสติกระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต โดยใช้อัตราส่วนผสม กำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลตเม็ดพลาสติกชนิด (PET) แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต

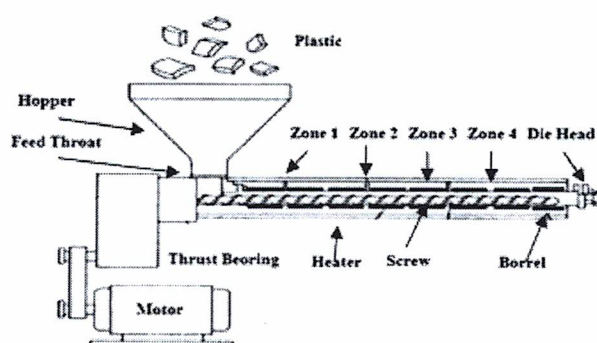
อัตราส่วน	HDPE (kg)	PET (Kg)	น้ำหนักรวม(Kg)
50:50	15	15	30
40:60	12	18	30
30:70	9	21	30
20:80	6	24	30

3.3 การหลอมขึ้นพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีด

การหลอมขึ้นพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีด(Extruder) เป็นกระบวนการอัดรีดพลาสติกกรีไซเคิล โดยกระบวนการให้ความร้อนและอุณหภูมิที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และแบ่งช่วงการให้ความร้อนของเครื่องอัดรีดพลาสติกแบ่งออกเป็น 5 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต ดังนี้ 50:50 40:60 30:70 และ 20:80

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองกระบวนการให้ความร้อนและอุณหภูมิที่ใช้

ช่วงการให้ความร้อน				
Zone 1(°C)	Zone 2(°C)	Zone 3(°C)	Zone 4(°C)	Die Head(°C)
180	200	200	200	190

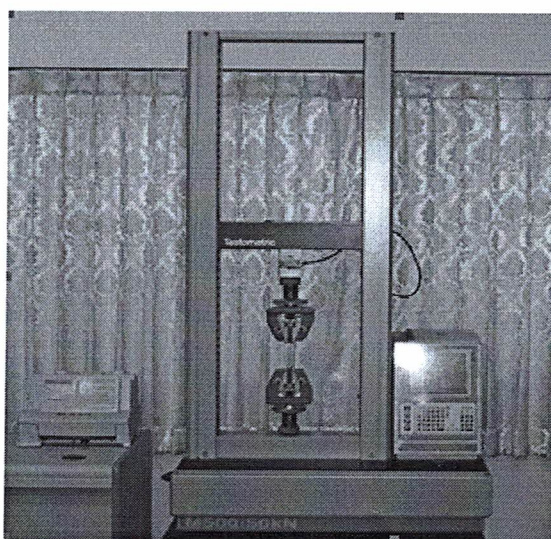


รูปที่ 3.5 ช่วงการให้ความร้อนของเครื่องอัดรีด [6]

3.4 การศึกษาเพื่อหาค่าสมบัติทางกล

การศึกษาเพื่อหาค่าสมบัติทางกล โดยทำการทดสอบความแข็งแรงกดอัด และความสามารถในการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร

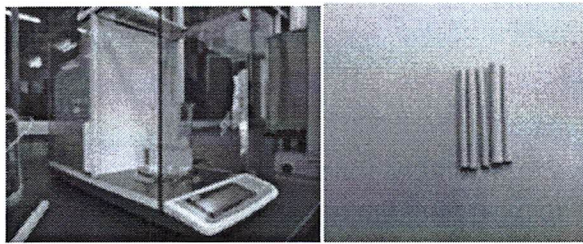
3.4.1 การทดสอบความแข็งแรงกดอัดเป็นการทดสอบการทนต่อแรงกดอัดของชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D695 โดยทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงกดอัดของชิ้นงานกระบวนกรอัดรีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร และสูง 25.4 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ เครื่องหมายการค้า Testometric รุ่น M500-50kN แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความแข็งแรงอัด

3.4.2 ความสามารถในการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร โดยทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการตัดแต่งของชิ้นงานกระบวนกรอัดรีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.00 มิลลิเมตร และสูง 35.00 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วรอบในการตัด (Speed) 1.75 m/s^2

3.4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ การตรวจสอบความหนาแน่น การตรวจสอบหาความหนาแน่น ของเส้นพลาสติกในกระบวนกรให้ความร้อนต่างกันและอุณหภูมิต่างกัน โดยการสุ่มเลือกเส้นพลาสติกแล้วนำมาตัดให้มีขนาดความยาวชิ้นละ 30 มิลลิเมตร และใช้ชูดหาความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D792 เพื่อหาปริมาตรและน้ำหนัก แล้วคำนวณค่าความหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 3.7 ชุดหาความหนาแน่นและชั้นทดสอบพลาสติกสำหรับการตรวจสอบหาค่าความหนาแน่น

3.5 วิเคราะห์และสรุปผล

นำเสนอข้อมูลต่าง ๆ ที่เก็บรวบรวมจากการทดลองรวมถึงรายละเอียดในการทดลองและการวิเคราะห์รวมทั้งสรุปผลในรูปแบบของรายงาน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกกรีซไคเคลผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลตโดยการอัดรีด และการศึกษาเพื่อหาค่าสมบัติทางกล โดยทำการทดสอบความแข็งแรงกดอัด และความสามารถในการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร และทำการหาค่าความหนาแน่นของพลาสติก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

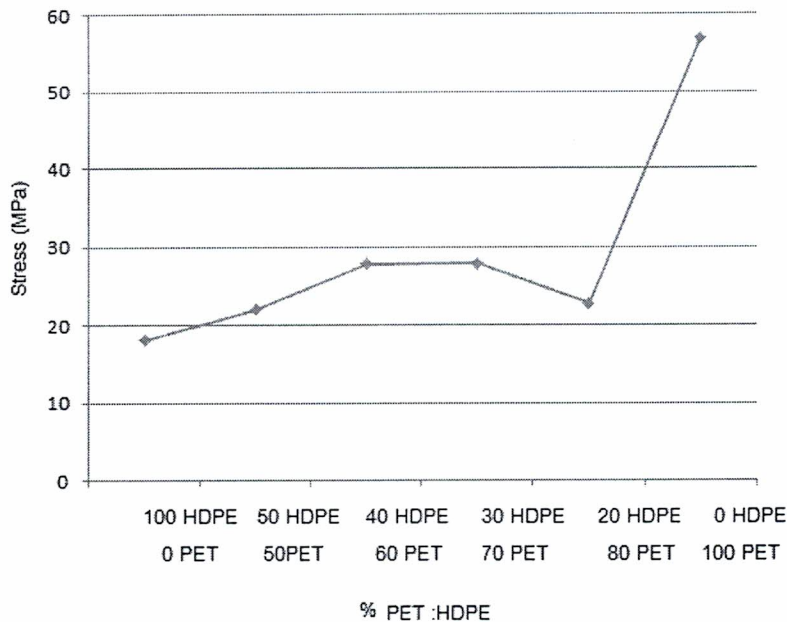
4.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงกดอัด

การศึกษาเพื่อหาค่าสมบัติทางกล การทดสอบความแข็งแรงกดอัดเป็นการทดสอบการทนต่อแรงกดอัดของชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D695 โดยทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงกดอัดของชิ้นงานกระบวนการอัดรีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร และสูง 25.4 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ เครื่องหมายการค้า Testometric รุ่น M500-50kN แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงกดอัด

Composition (wt%)	Composite Strength (MPa)					Average value
	Specimen ID 1	Specimen ID 2	Specimen ID 3	Specimen ID 4	Specimen ID 5	
HDPE	18.22	18.16	17.89	18.00	17.98	18.05
50 : 50 HDPE : PET	23.16	23.00	22.22	21.21	20.86	22.09
40 : 60 HDPE : PET	28.93	28.90	27.50	7.47	27.47	24.05
30 : 70 HDPE : PET	29.22	29.10	28.22	28.10	27.78	28.48
20 : 80 HDPE : PET	23.88	23.66	22.43	21.00	21.44	22.48
PET	58.13	56.20	57.30	55.90	55.83	56.67

ค่าความแข็งแรงอัดพิจารณาการผสมของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต แสดงในรูปที่ 4.1 หมายความว่า ในการผสมจะให้ความแข็งแรงอัดที่ความแข็งแรง ตั้งแต่ 22-28 MPa



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าความความแข็งแรงอัด

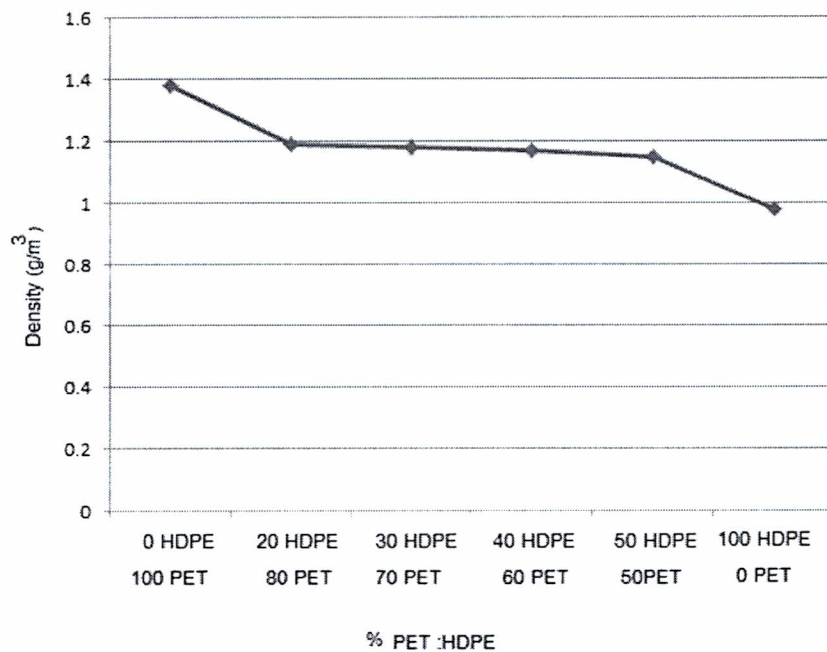
4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ การตรวจสอบความหนาแน่น การตรวจสอบหาความหนาแน่นของเส้นพลาสติกผสมระหว่าง โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตในกระบวนการให้ความร้อนต่างกันและอุณหภูมิต่างกัน โดยการสุ่มเลือกเส้นพลาสติกแล้วนำมาตัดให้มีขนาดความยาวชิ้นละ 30 มิลลิเมตร และใช้ชุดหาความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM D792 เพื่อหาปริมาตรและน้ำหนัก แล้วคำนวณค่าความหนาแน่น ดังแสดงตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่น

Composition (wt%)	Density (g/cm ³)					Average value
	Specimen ID 1	Specimen ID 2	Specimen ID 3	Specimen ID 4	Specimen ID 5	
PET	1.380	1.400	1.360	1.390	1.370	1.380
20 : 80 HDPE : PET	1.200	1.220	1.180	1.210	1.210	1.204
30 : 70 HDPE : PET	1.180	1.200	1.160	1.190	1.190	1.184
40 : 60 HDPE : PET	1.170	1.190	1.150	1.180	1.180	1.174
50 : 50 HDPE : PET	1.160	1.180	1.140	1.170	1.170	1.164
HDPE	0.970	0.990	0.950	0.980	0.980	0.974

จากทดสอบความหนาแน่นของวัสดุผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต ซึ่งให้ค่าความหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.2

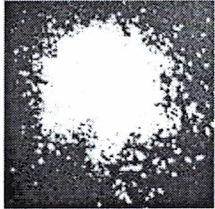

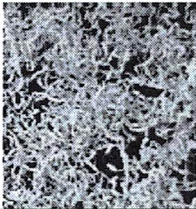
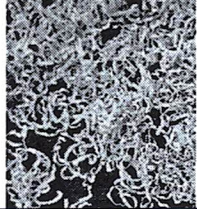


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบความหนาแน่น

4.3 ความสามารถในการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร

ความสามารถในการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร โดยทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการตัดแต่งของชิ้นงานกระบวนการอัดรีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.00 มิลลิเมตร และสูง 35.00 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วรอบในการตัด (Speed) 1.75 m/s^2 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงรูปร่างของเศษตัดของวัสดุผสมระหว่างโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลิเอทิลีนเทรฟทาเลต

Chip shape			
			
20 : 80 HDPE : PET	30 : 70 HDPE : PET	40 : 60 HDPE : PET	50 : 50 HDPE : PET

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่าง โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต สามารถสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่าง โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต

1.2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมระหว่าง โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต

5.2 สรุปผลการทดลอง

5.2.1 ในการรีไซเคิลโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลตให้ความแข็งแรงอัดที่ความแข็งแรงตั้งแต่ 22-28 MPa นอกจากนี้การผสมของโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลตซึ่งจะช่วยให้เกิดการความเหนียวลดลงและให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

5.2.2 ในการรีไซเคิลโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลตเมื่อผสมโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมากขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง

5.2.3 ความสามารถในการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร โดยทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการตัดแต่งของชิ้นงานกระบวนการอัดรีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.00 มิลลิเมตร และสูง 35.00 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วรอบในการตัด (Speed) 1.75 m/s^2 เมื่อ การผสมโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีปริมาณมากขึ้นก็จะส่งต่อความสามารถการตัดแต่งด้วยเครื่องจักร ที่ดีขึ้น

5.2.4 จากการศึกษาสามารถพัฒนาความสัมพันธ์ซึ่งเป็นที่น่าสนใจมากเป็นพิเศษเมื่อเทียบกับไม้ คือการนำไปใช้แทนไม้ เช่น รั้ว แผ่นสำหรับปูพื้นบ้าน และเครื่องใช้ภายในบ้านได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติกกรีซเกิดผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและโพลีเอทิลีนเทอร์พทาเลต มีรายละเอียดดังกล่าวมาข้างต้นแล้ว สามารถสรุปผลการศึกษากระบวนการอัดรีดพลาสติกและข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงพัฒนาให้กระบวนการอัดรีดพลาสติกมีคุณภาพดังนี้

1. ควรทำการศึกษาโดยการเติมสารเติมแต่ง
2. ควรทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้งานทางวิศวกรรม
3. ควรทำการออกแบบและผลิตเพื่อเปรียบเทียบการนำไปใช้แทนไม้ เช่น รั้ว แผ่นสำหรับปูพื้นบ้าน และเครื่องใช้ภายในบ้านได้

บรรณานุกรม

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. 2551. คู่มือแนวทางการลด คัดแยก และใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอย สำหรับอาสาสมัครพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหมู่บ้าน. รุ่งศิลป์การพิมพ์ (1977). กรุงเทพฯ.
- [2] ธนาวดี ลี้จากภัย. 2549. พลาสติกย่อยสลายเพื่อสิ่งแวดล้อม. สำนักพิมพ์ไทยเอฟเฟคท์ สตูดิโอ จำกัด. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.
- [3] ชันยกร เมืองนาโพธิ์. (2544). *วิธีการนำเศษหลังคาโปร่งแสงมาใช้ใหม่*. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. : มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- [4] พนมกร ขวของ และสมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. (2546). *การแยกกากพลาสติกโดยวิธีการลอยตัว*. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [5] เอกลักษณ์ อินทรพานิชย์. (2548). *การศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิล*. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์. : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [6] เดช เหมือนขาว และคณะ. “กระบวนการอัดรีดขยะพลาสติกเพื่อนำพลาสติกกลับมาผลิตใช้ใหม่.” หนังสือประมวลผลการประชุมทางวิชาการ (Proceedings) ประชุมวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ขอนแก่น. 16-19 กุมภาพันธ์ 2555.
- [7] นิลุบล เพือกบัวขาว. (2550). สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.gits.kmutmb.ac.th/thesis/data/4840880076.pdf>
- [8] เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี ประชุม คำพุด และอโณทัย ผลสุวรรณ. (2549). แผ่นไม้รีไซเคิลอัดพลาสติก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.
- [9] Ji-Zhao Liang. 2001. The flow-induced crystallization behavior in capillary extrusion of high density polyethylene melts. *Polymer Testing*. Vol. 20 : 469-473.
- [10] Firas Awaja and Dumitru Pavel. 2005. Recycling of PET. *European Polymer Journal*. September Vol. 41 : 1453-1477.
- [11] Kamacho and Karlsson. (1992). Test to Screen catalysts for reforming heavy oil from waste plastic, *Appl. Catal.B2*. (pp. 153-164).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] Payakapo,P. andPayakapo. (2008). *Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete*. waste.Mangement. 28 : (pp. 1581-1588).
- [13] Askeland , Donald R. The Science and Engineering of Materials. Oxford UK, Chapman N Hall, 1996.
- [14] Groover , Mikell P. Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials Processes and System. 4th Edition, Jhon Wiley & Sons, INC, New York, 2010.
- [15] Kalpakjian, Serope., and Schmid, Steven R. Manufacturing Engineering and Technology. 6th ed. Prentice Hall, Malaysia, 2010.
- [16] Budinski , Kenneth G. and Michael K. Engineering Materials : Properties and selection. 7th ed. Peason Education International, Inc., USA, 2002.

ภาคผนวก
มาตรฐาน ASTM D 792



Designation: D 792 – 08

Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement¹

This standard is issued under the fixed designation D 792; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods describe the determination of the specific gravity (relative density) and density of solid plastics in forms such as sheets, rods, tubes, or molded items.

1.2 Two test methods are described:

1.2.1 *Test Method A*—For testing solid plastics in water, and

1.2.2 *Test Method B*—For testing solid plastics in liquids other than water.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 1—This standard is not equivalent to ISO 1183-1 Method A. This test method provides more guidelines on sample weight and dimension. ISO 1183-1 allows testing at an additional temperature of $27 \pm 2^\circ\text{C}$.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D 891 Test Methods for Specific Gravity, Apparent, of Liquid Industrial Chemicals

D 4968 Guide for Annual Review of Test Methods and Specifications for Plastics

D 6436 Guide for Reporting Properties for Plastics and Thermoplastic Elastomers

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.70 on Analytical Methods (Section D20.70.01).

Current edition approved June 15, 2008. Published July 2008. Originally approved in 1944. Last previous edition approved in 2000 as D 792 - 00.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

E 1 Specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers

E 12 Terminology Relating to Density and Specific Gravity of Solids, Liquids, and Gases³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

IEEE/ASTM SI-10 Practice for Use of the International System of Units (SI) (the Modernized Metric System)

3. Terminology

3.1 *General*—The units, symbols, and abbreviations used in these test methods are in accordance with IEEE/ASTM SI-10.

3.2 *Definitions:*

3.2.1 *specific gravity (relative density)*—the ratio of the mass of a given volume of the impermeable portion of the material at 23°C to the mass of an equal volume of gas-free distilled or de-mineralized water at the same temperature; the form of expression shall be:

$$\text{Specific gravity (relative density) } 23/23^\circ\text{C} \\ (\text{or sp gr } 23/23^\circ\text{C})$$

NOTE 2—This definition is essentially equivalent to the definition for apparent specific gravity and apparent density in Terminology E 12, because the small percentage difference introduced by not correcting for the buoyancy of air is insignificant for most purposes.

3.2.2 *density*—cubic metre of impermeable portion of the material at 23°C . The form of expression shall be:

$$D^{23}, \text{ kg/m}^3 \text{ (Notes 2-4)}$$

NOTE 3—The SI unit of density, as defined in IEEE/ASTM SI-10, is kg/m^3 . To convert density in g/cm^3 to density in kg/m^3 , multiply by 1000.

NOTE 4—To convert specific gravity $23/23^\circ\text{C}$ to density 23°C , kg/m^3 , use the following equation:

$$D^{23}, \text{ kg/m}^3 = \text{sp gr } 23/23^\circ\text{C} \times 997.5$$

Where 997.5 kg/m^3 is the density of water at 23°C .

³ Withdrawn.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.



4. Summary of Test Method

4.1 Determine the mass of a specimen of the solid plastic in air. It is then immersed in a liquid, its apparent mass upon immersion is determined, and its specific gravity (relative density) calculated.

5. Significance and Use

5.1 The specific gravity or density of a solid is a property that is conveniently measured to identify a material, to follow physical changes in a sample, to indicate degree of uniformity among different sampling units or specimens, or to indicate the average density of a large item.

5.2 Changes in density of a single material are due to localized differences in crystallinity, loss of plasticizer, absorption of solvent, or to other causes. It is possible that portions of a sample differ in density because of their differences in crystallinity, thermal history, porosity, and composition (types or proportions of resin, plasticizer, pigment, or filler).

5.3 Density is useful for calculating strength-weight and cost-weight ratios.

6. Sampling

6.1 The sampling units used for the determination of specific gravity (relative density) shall be representative of the quantity of product for which the data are required.

6.1.1 If it is known or suspected that the sample consists of two or more layers or sections having different specific gravities, either complete finished parts or complete cross sections of the parts or shapes shall be used as the specimens, or separate specimens shall be taken and tested from each layer. The specific gravity (relative density) of the total part shall not be obtained by adding the specific gravity of the layers, unless relative percentages of the layers are taken into account.

7. Conditioning

7.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and $50 \pm 5\%$ relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618, unless otherwise specified by the contract or relevant material specifications. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ and $\pm 2\%$ relative humidity.

7.2 *Test Conditions*—Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and $50 \pm 5\%$ relative humidity, unless otherwise specified in this specification or by the contract or relevant material specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ and $\pm 2\%$ relative humidity.

TEST METHOD A FOR TESTING SOLID PLASTICS IN WATER (SPECIMENS 1 TO 50 g)

8. Scope

8.1 This test method involves weighing a one-piece specimen of 1 to 50 g in water, using a sinker with plastics that are lighter than water. This test method is suitable for plastics that are wet by, but otherwise not affected by water.

9. Apparatus

9.1 *Analytical Balance*—A balance with a precision of 0.1 mg or better is required for materials having densities less than 1.00 g/cm^3 and sample weights less than 10 grams. For all other materials and sample weights, a balance with precision of 1 mg or better is acceptable (see Note 5). The balance shall be equipped with a stationary support for the immersion vessel above the balance pan (“pan straddle”).

NOTE 5—The balance shall provide the precision that all materials tested have three significant figures on density. In case that materials with different densities are tested on one single balance, use the balance that provides at least three significant figures for all materials concerned.

NOTE 6—To assure that the balance meets the performance requirements, check on zero point and sensitivity frequently and perform periodic calibration.

9.2 *Sample Holder*, corrosion-resistant (for example, wire, gemholder, etc.).

9.3 *Sinker*—A sinker for use with specimens of plastics that have specific gravities less than 1.00. The sinker shall: (1) be corrosion-resistant; (2) have a specific gravity of not less than 7.0; (3) have smooth surfaces and a regular shape; and (4) be slightly heavier than necessary to sink the specimen. The sinker shall have an opening to facilitate attachment to the specimen and sample holder.

9.4 *Immersion Vessel*—A beaker or other wide-mouthed vessel for holding the water and immersed specimen.

9.5 *Thermometer*—A thermometer readable to 0.1°C or better.

10. Materials

10.1 *Water*—The water shall be substantially air-free and distilled or de-mineralized water.

NOTE 7—Air in water can be removed by boiling and cooling the water, or by shaking the water under vacuum in a heavy-walled vacuum flask. (Warning—Use gloves and shielding.) If the water does not wet the specimen, add a few drops of a wetting agent into the water. If this solution does not wet the specimen, Method B shall be used.

11. Test Specimen

11.1 The test specimen shall be a single piece of material with a size and shape suitable for the testing apparatus, provided that its volume shall be not less than 1 cm^3 and its surface and edges shall be made smooth. The thickness of the specimen shall be at least 1 mm for each 1 g of weight. A specimen weighing 1 to 5 g was found to be convenient, but specimens up to approximately 50 g are also acceptable (see Note 8). Care shall be taken in cutting specimens to avoid changes in density resulting from compressive stresses or frictional heating.

NOTE 8—Specifications for certain plastics require a particular method of specimen preparation and should be consulted if applicable.

11.2 The specimen shall be free from oil, grease, and other foreign matter.

12. Procedure

12.1 Measure and record the water temperature.


D 792 – 08

12.2 Weigh the specimen in air. Weigh to the nearest 0.1 mg for specimens of mass 1 to 10 g and density less than 1.00 g/cm³. Weigh to the nearest 1 mg for other specimens.

12.3 If necessary, attach to the balance a piece of fine wire sufficiently long to reach from the hook above the pan to the support for the immersion vessel. In this case attach the specimen to the wire such that it is suspended about 25 mm above the vessel support.

NOTE 9—If a wire is used, weigh the specimen in air after hanging from the wire. In this case, record the mass of the specimen, a = (mass of specimen + wire, in air) – (mass of wire in air).

12.4 Mount the immersion vessel on the support, and completely immerse the suspended specimen (and sinkers, if used) in water (see 10.1) at a temperature of $23 \pm 2^\circ\text{C}$. The vessel must not touch sample holder or specimen. Remove any bubbles adhering to the specimen, sample holder, or sinker, by rubbing them with a wire. Pay particular attention to holes in the specimen and sinker. If the bubbles are not removed by this method or if bubbles are continuously formed (as from dissolved gases), the use of vacuum is recommended (see Note 10). Determine the mass of the suspended specimen to the required precision (see 12.2) (see Note 11). Record this apparent mass as b (the mass of the specimen, sinker, if used, and the partially immersed wire in liquid). Unless otherwise specified, weigh rapidly in order to minimize absorption of water by the specimen.

NOTE 10—Some specimens may contain absorbed or dissolved gases, or irregularities which tend to trap air bubbles; any of these may affect the density values obtained. In such cases, the immersed specimen may be subjected to vacuum in a separate vessel until evolution of bubbles has substantially ceased before weighing (see Test Method B). It must also be demonstrated that the use of this technique leads to results of the required degree of precision.

NOTE 11—It may be necessary to change the sensitivity adjustment of the balance to overcome the damping effect of the immersed specimen.

12.5 Weigh the sample holder (and sinker, if used) in water with immersion to the same depth as used in the previous step (Notes 12 and 13). Record this weight as w (mass of the sample holder in liquid).

NOTE 12—If a wire is used, it is convenient to mark the level of immersion by means of a shallow notch filed in the wire. The finer the wire, the greater the tolerance is permitted in adjusting the level of immersion between weighings. With wire Awg No. 36 or finer, disregard its degrees of immersion and, if no sinker is used, use the mass of the wire in air as w .

NOTE 13—If the wire is used and is left attached to the balance arm during a series of determinations, determine the mass a with the aid of a

tare on the other arm of the balance or as in Note 9. In such cases, care must be taken that the change of mass of the wire (for example, from visible water) between readings does not exceed the desired precision.

12.6 Repeat the procedure for the required number of specimens. Two specimens per sample are recommended. Determine acceptability of number of replicate test specimens by comparing results with precision data given in Tables 1 and 2. Use additional specimens if desired.

13. Calculation

13.1 Calculate the specific gravity of the plastic as follows:

$$\text{sp gr } 23/23^\circ\text{C} = a/(a + w - b)$$

where:

a = apparent mass of specimen, without wire or sinker, in air,

b = apparent mass of specimen (and of sinker, if used) completely immersed and of the wire partially immersed in liquid, and

w = apparent mass of totally immersed sinker (if used) and of partially immersed wire.

13.2 Calculate the density of the plastic as follows:

$$D^{23^\circ\text{C}}, \text{ kg/m}^3 = \text{sp gr } 23/23^\circ\text{C} \times 997.5$$

13.3 If the temperature of the water is different than 23°C , use the density of water listed in Table 3 directly, or use the following equations to calculate the density of water at testing temperature:

$$M = \Delta D/\Delta t \quad (1)$$

$$D(\text{conversion to } 23^\circ\text{C}), \text{ kg/m}^3 = \text{sp gr } t_a/t_w \times [997.5 + (t_w - 23) \times M] \quad (2)$$

and

$$\text{sp gr } 23/23 = D(\text{conversion to } 23^\circ\text{C})/997.5 \quad (3)$$

where:

M = slope,

ΔD = difference between the lowest and highest temperature tolerance for the standard density of water (D @ $21^\circ\text{C} - D$ @ 25°C),

Δt = difference between the highest and lowest temperature tolerance recommended, ($21^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$),

t_a = temperature of air, and

t_w = temperature of water.

14. Report

14.1 Report the following information:

TABLE 1 Test Method A Specific Gravity Tested in Water

Material	Mean	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
Polypropylene	0.9007	0.00196	0.00297	0.00555	0.00841
Cellulose Acetate Butyrate	1.1973	0.00232	0.00304	0.00657	0.00860
Polyphenylene Sulfide	1.1708	0.00540	0.00738	0.01528	0.02089
Thermoset	1.3136	0.00271	0.00313	0.00767	0.02171
Polyvinyl Chloride	1.3396	0.00243	0.00615	0.00688	0.01947

^A S_r = within laboratory standard deviation for the individual material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_r = [((s_1)^2 + (s_2)^2 \dots + (s_n)^2)/n]^{1/2}$$

^B S_R = between-laboratories reproducibility, expressed as standard deviation: $S_R = [S_r^2 + S_L^2]^{1/2}$ where S_L is the standard deviation of laboratory means.

^C r = within-laboratory critical interval between two test results = $2.8 \times S_r$.

^D R = between-laboratories critical interval between two test results = $2.8 \times S_R$.


TABLE 2 Test Method B Specific Gravity Tested in Liquids Other Than Water

Material	Mean	S_r^A	S_R^B	r^C	R^D
Polypropylene	0.9023	0.00139	0.00239	0.00393	0.00669
LDPE	0.9215	0.00109	0.00195	0.00308	0.00546
HDPE	0.9678	0.00126	0.00189	0.00356	0.00529
Thermoset	1.3130	0.00160	0.00217	0.00453	0.00608

^A S_r = within laboratory standard deviation for the individual material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_r = \left[\frac{(s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2}{n} \right]^{1/2}$$

^B S_R = between-laboratories reproducibility, expressed as standard deviation: $S_R = [S_r^2 + S_L^2]^{1/2}$ where S_L is the standard deviation of laboratory means.

^C r = within-laboratory critical interval between two test results = $2.8 \times S_r$.

^D R = between-laboratories critical interval between two test results = $2.8 \times S_R$.

TABLE 3 Standard Density of Water^A

°C	$\rho = \text{kg m}^{-3}$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
21	997.9948	9731	9513	9294	9073	8852	8630	8406	8182	7957
22	997.7730	7503	7275	7045	6815	6584	6351	6118	5883	5648
23	997.5412	5174	4936	4697	4456	4215	3973	3730	3485	3240
24	997.2994	2747	2499	2250	2000	1749	1497	1244	0990	0735
25	997.0480	0223	9965 ^B	9707 ^B	9447 ^B	9186 ^B	8925 ^B	8663 ^B	8399 ^B	8135 ^B

^A Obtained from *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 78th edition, 1997-1998.

^B The leading figure decreases by 1.

14.1.1 Complete identification of the material or product tested, including method of specimen preparation and conditioning,

14.1.2 Average specific gravity (relative density) for all specimens from a sampling unit corrected to 23.0°C (Table 3) are reported as sp gr 23/23°C = ____, or average density reported as $D^{23C} = \text{___ kg/m}^3$,

NOTE 14—Reporting density in g/cm^3 is also acceptable provided that it is agreed upon by the users.

14.1.3 A measure of the degree of variation of specific gravity or density within the sampling unit such as the standard deviation and number of determinations on a homogeneous material or the averages plus these measures of dispersion on different layers or areas of a nonhomogeneous product,

14.1.4 Report the temperature of the water.

14.1.5 Report the density and specific gravity with three significant figures.

14.1.6 Any evidence of porosity of the material or specimen,

14.1.7 The method of test (that is, Method A of Test Method D 792), and

14.1.8 Date of test.

15. Precision and Bias

15.1 See Section 23.

TEST METHOD B FOR TESTING SOLID PLASTICS IN LIQUIDS OTHER THAN WATER (SPECIMENS 1 TO 50 g)

16. Scope

16.1 Test Method B uses a liquid other than water for testing one-piece specimens, 1 to 50 g, of plastics that are affected by water or are lighter than water.

17. Apparatus

17.1 The apparatus shall include the balance, wire, and immersion vessel of Section 8, and, optionally, the following:

17.2 *Pycnometer with Thermometer*—A 25-mL specific gravity bottle with thermometer, or

17.3 *Pycnometer*—A pycnometer of the Weld type, preferably with a capacity of about 25 mL and an external cap over the stopper.

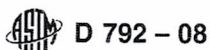
17.4 *Thermometer*—A thermometer having ten divisions per degree Celsius over a temperature range of not less than 5°C or 10°F above and below the standard temperature, and having an ice point for calibration. A thermometer short enough to be handled inside the balance case will be found convenient. ASTM Thermometer 23C (see Specification E 1) and Anschütz-type thermometers have been found satisfactory for this purpose.

17.5 *Constant-Temperature Bath*—An appropriate constant-temperature bath adjusted to maintain a temperature of $23 \pm 0.1^\circ\text{C}$.

18. Materials

18.1 *Immersion Liquid*—The liquid used shall not dissolve, swell, or otherwise affect the specimen, but shall wet it and shall have a specific gravity less than that of the specimen. In addition, the immersion liquid shall be non-hygroscopic, has a low vapor pressure, a low viscosity, and a high flash point, and shall leave little or no waxy or tarry residue on evaporation. A narrow cut distilled from kerosine meets these requirements for many plastics. The specific gravity 23/23°C of the immersion liquid shall be determined shortly before and after each use in this method to a precision of at least 0.1 % relative, unless it has been established experimentally in the particular application that a lesser frequency of determination also provides the desired precision.

NOTE 15—For the determination of the specific gravity of the liquid, the use of a standard plummet of known volume or of Method A, C, or D of Test Methods D 891, using the modifications required to give specific gravity 23/23°C instead of specific gravity 60/60°F, is recommended. One suggested procedure is the following:



If a constant-temperature water bath is not available, determine the mass of the clean, dry pycnometer with thermometer to the nearest 0.1 mg on an analytical balance. Fill the pycnometer with water (10.1) cooler than 23°C. Insert the thermometer-stopper, causing excess water to be expelled through the side arm. Permit the filled bottle to warm in air until the thermometer reads 23.0°C. Remove the drop of water at the tip of the side arm with a bit of filter paper, taking care not to draw any liquid from within the capillary, place the cap over the side arm, wipe the outside carefully, and determine the mass of the filled bottle again to the nearest 0.2 mg. Empty the pycnometer, dry, and fill with immersion liquid. Determine the mass with the liquid in the same manner as was done with the water. Calculate the specific gravity 23/23°C of the liquid, d , as follows:

$$d = (b - e)/(w - e)$$

where:

e = apparent mass of empty pycnometer,

w = apparent mass of pycnometer filled with water at 23.0°C, and

b = apparent mass of pycnometer filled with liquid at 23.0°C.

If a constant-temperature water bath is available, a pycnometer without a thermometer may be used (compare 30.2).

NOTE 16—One standard object which has been found satisfactory for this purpose is the Reimann Thermometer Plummets. These are normally supplied calibrated for measurements at temperatures other than 23/23°C, so that recalibration is not necessary for the purposes of these methods.

19. Test Specimen

19.1 See Section 11.

20. Procedure

20.1 The procedure shall be similar to Section 12, except for the choice of immersion liquid, and the temperature during the immersed weighing (12.3) shall be $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

21. Calculation

21.1 The calculations shall be similar to Section 13, except that d , the specific gravity 23/23°C of the liquid, shall be placed in the numerator: (see 13.1)

$$Sp\ gr\ 23/23^\circ\text{C} = (a \times d)/(a + w - b)$$

22. Report

22.1 See Section 14.

23. Precision and Bias

23.1 Tables 1 and 2 are based on an interlaboratory study⁴ conducted in 1985 in accordance with Practice E 691, involving 5 materials tested with Test Method A by six laboratories or four materials tested with Test Method B by six laboratories. Each test result was based on two individual determinations and each laboratory obtained four test results for each material. (**Warning**—The explanations of r and R are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of these test methods. The data of Tables 1 and 2 should not be applied to acceptance or rejection of materials, as these data apply only to the materials tested in the round robin and are unlikely to be rigorously representative of other lots, formulations, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to the materials and laboratory (or between specific laboratories). The principles of 23.2-23.2.3 would then be valid for such data.)

23.2 Concept of r and R in Tables 1 and 2—If S_r and S_R have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from 4 test results for each material, then:

23.2.1 *Repeatability*—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the r value for that material. The concept r is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

23.2.2 *Reproducibility*—Two test results obtained by different laboratories shall be judged not equivalent if they differ by more than the R value for that material. The concept R is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

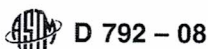
23.2.3 Any judgment in accordance with 23.2.1 or 23.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

23.3 There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

24. Keywords

24.1 density; relative density; specific gravity

⁴ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1133.



D 792 – 08

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D 792 - 00) that may impact the use of this standard. (June 15, 2008)

- | | |
|---|---|
| <p>(1) Deleted references to D 1898, Old Note 1, Note 6, and rearranged the order of Notes.</p> <p>(2) Revised Note 1, ISO Statement.</p> <p>(3) Added Guide D 6436 to Reference Documents.</p> <p>(4) Re-defined specific gravity in by changing “unit volume” to “given volume.” Removed “equal density of.”</p> <p>(5) Changed accuracy requirement for balance and thermometer in 9.1, 9.5, and 12.2.</p> | <p>(6) Clarified definition of ΔD and deleted “-” in equation in 13.3.</p> <p>(7) Changed significant figures from four to three to harmonize with Guide D 6436 in 14.1.5.</p> <p>(8) Added Note 5 and Note 14.</p> <p>(9) Editorial changes, including the removal of permissive languages from the text.</p> |
|---|---|

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

