บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมาคมวิศวกรพลาสติก (SPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPI) แห่งสหรัฐอเมริกา ได้จำกัดความของพลาสติกไว้ดังนี้

"พลาสติก คือ วัสดุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่าง มีน้ำหนักโมเลกุลสูงลักษณะอ่อนตัว ขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อน หรือแรงอัดหรือทั้งสองอย่าง"

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ได้มาจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของสารอินทรีย์ และจากสารประกอบของถ่านหิน น้ำ อากาศ น้ำมันปิโตรเลียม หินปูน เกลือและอื่นๆอีกมาก พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการนำไปใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ วัสดุสำนักงาน บ้านเรือนที่อยู่อาศัย อุปกรณ์โทรทัศน์ วิทยุคอมพิวเตอร์ เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์ในสวน ฯลฯ

จากความจริงทางวิทยาศาสตร์ของวัสดุสังเคราะห์ และเทคนิคใหม่ๆทำให้มีการค้นพบพลาสติกชนิดใหม่ๆเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อยๆพลาสติกที่ถูกผลิตเป็นวัตถุดิบจะอยู่ในรูปของผงแป้งของเหลว เม็ดเล็กๆและกึ่งเหลวแบบแป้งเปียก

พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)
2. เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

พลาสติกทั้งสองประเภทยังมีอีกหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี การยึดเกาะของอะตอมและวัสดุที่ใช้ในการผลิต ในที่นี้ศึกษาในส่วนของเทอร์โมพลาสติก คือ โพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

2.1 คุณสมบัติของพลาสติก

พลาสติกนับว่าเป็นวัสดุที่มีบทบาทและสำคัญมากในยุคปัจจุบันนี้ และเป็นคู่แข่งของเหล็ก ซึ่งนับวันได้ถูกใช้อย่างมากมายจนเหลือน้อยทำให้พลาสติกได้ถูกนำมาใช้แทนอย่างมาก เพราะพลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษดีเด่นกว่าวัสดุอื่นที่ใช้กันมาก่อนอย่างมากมาย เพราะสามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้เกือบทั้งหมดเช่น

- แข็งแรง	- ทนการสึกกร่อน	- ทึบแสง และเบา
- อ่อนนุ่ม	- ทนสารเคมี	- ลอยน้ำได้
- ยืดตัว	- เป็นฉนวนไฟฟ้า	- หล่อลื่นในตัว
- เหนียวทนทาน	- กันน้ำ	- ทำเป็นสีต่าง ๆ ได้
- โปร่งใส	- ไม่ไฟติดง่าย	- ทนความร้อน

พลาสติกมีคุณสมบัติทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า High Molecular Weight คือในหนึ่งโมเลกุลมีจำนวนอะตอมมากกว่าสารชนิดอื่นมากมายจึงทำให้มีคุณสมบัติหลายๆอย่างพร้อมกัน คือ

- คุณสมบัติทางกายภาพมีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ฯลฯ

- คุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้า

- คุณสมบัติทางเคมี ทนกรด ด่าง และสารเคมีอื่น ๆ

2.1.1 ชนิดของโพลิเมอร์ที่ใช้ในการทำการศึกษา

ในการวิจัยได้เลือกโพลิเมอร์ 2 ประเภทคือ

1. โพลิโพรพิลีน(Polypropylene: PP)

2. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE)

2.1.1.1 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) [1]

คุณสมบัติ ทนต่อการแปรรูปด้วยความร้อน คงรูปดี เหนียว ทนต่อแรงดึง แรงกระแทก และการทรงตัวดี ผิวแข็ง ไม่มีแนวโน้มของการสึกกร่อน ความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ ไม่ดูดซึมน้ำ ทนต่อสารเคมีและน้ำมัน จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C มีราคา 30 บาท/กิโลกรัม

สีและลักษณะ เป็นเม็ดและผสมสีโปร่งแสงจนถึงทึบแสง

ตัวอย่างการใช้งาน นิยมใช้ทำถุงร้อน ขวดน้ำ ถ้วยบะหมี่หรือโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป กล่องบรรจุอาหาร และกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น เป็นต้น พลาสติกนี้นำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยผลิตเป็นกล่องแบตเตอรี่รถยนต์ กันชนรถยนต์ และกรวยสำหรับเติมน้ำมัน

2.1.2.2 โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE)

คุณสมบัติ มีความแข็งแรงสูง มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นและมีความเป็นผลึกสูง ทนอุณหภูมิสูง และคงรูป ผิวแข็ง มีค่า Dielectricity ดีมาก ไม่มีรสและกลิ่น ต้มค่าเชื้อได้ มีราคา 120 บาท/กิโลกรัม

สีและลักษณะ ทำเป็นเม็ดสีทึบแสง (สีนม) อาจผสมสีอ่อนโปร่งแสงจนถึงเข้ม

ตัวอย่างการใช้งาน เครื่องใช้ในบ้าน เช่น กระจาด ถัง อ่าง ตะกร้า ของเด็กเล่น ถังขนส่งของเหลว ขวด ชิ้นส่วนใช้กับไฟแรงสูง เครื่องมือแพทย์ ชิ้นส่วนทางเทคนิค

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพลาสติกทั้งสอง [3]

ลักษณะทางกายภาพ	PP (Impact Type)	HDPE
ความถ่วงจำเพาะ	0.91	0.941-0.965
ปริมาตร in^3/lb	30.5	29.2
ทนแรงดึง	4400	3100-5500
ทนแรงอัด	6000	0.8
ทนแรงกระทบ	15	20.0
ทนความร้อน	210 °F	250 °F
ความใส	ทึบ	พอใช้
ทนแสงแดด	พอใช้	พอสมควร
ดูดซึมน้ำ (24 ชม.)	ไม่ดูดซึมน้ำ	0.01
ทนกรดอ่อน	ได้	ได้
ทนกรดแก่	ถูกทำลายอย่างช้าจาก oxidizing acids	ถูกทำลายอย่างช้าจาก oxidizing acids
ทนด่าง	ได้	ได้
ทนสารละลาย	ถูกทำลายโดย hydrocarbon	ได้ถ้าต่ำกว่า 170 °C
อุณหภูมิที่ใช้เวลานานๆ(max)	105°C	120-130 °C
สภาพและกลิ่นเมื่อไหม้ไฟ	เปลวจ้ามีแกนเปลวสีน้ำเงิน	เปลวจ้ามีแกนเปลวสีน้ำเงิน
กลิ่น	คล้ายพาราฟินหรือเทียนไข	คล้ายพาราฟินอ่อน ๆ
ส.ป.ส.การนำความร้อน(λ)	1.38 kJ/mh°C	1.09 kJ/mh°C
ค่าความร้อนจำเพาะ(c)	1.88 kJ/kg°C	1.93 kJ/kg°C
ค่าความหนาแน่นที่ 20°C (ρ)	0.94-0.96g/cm^3	0.91g/cm^3
ระยะเวลาอบแห้ง (ก่อนฉีด)	1-15 ชม.ที่ 65°C	1-15 ชม.ที่ 75°C
อัตราการหดตัว	2.0-4.0%	1.2-2.5% (ถ้าเป็นแบบไหลยาก)
อุณหภูมิขึ้นรูป(°C)	220-280°C	180-200°C

2.2 การฉีดพลาสติก

การฉีดพลาสติกเป็นวิธีที่ใช้ในการผลิตซึ่งเหมาะสมกับพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก งานฉีดประเภทนี้สามารถทำงานผลิตจำนวนมากและทำการผลิตได้กว้างขวาง นอกจากทำการฉีดชิ้นงานต้นแล้วยังสามารถฉีดชิ้นงานที่ภายในโปร่งด้วยวิธีฉีดเป่าได้อีกด้วย

2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

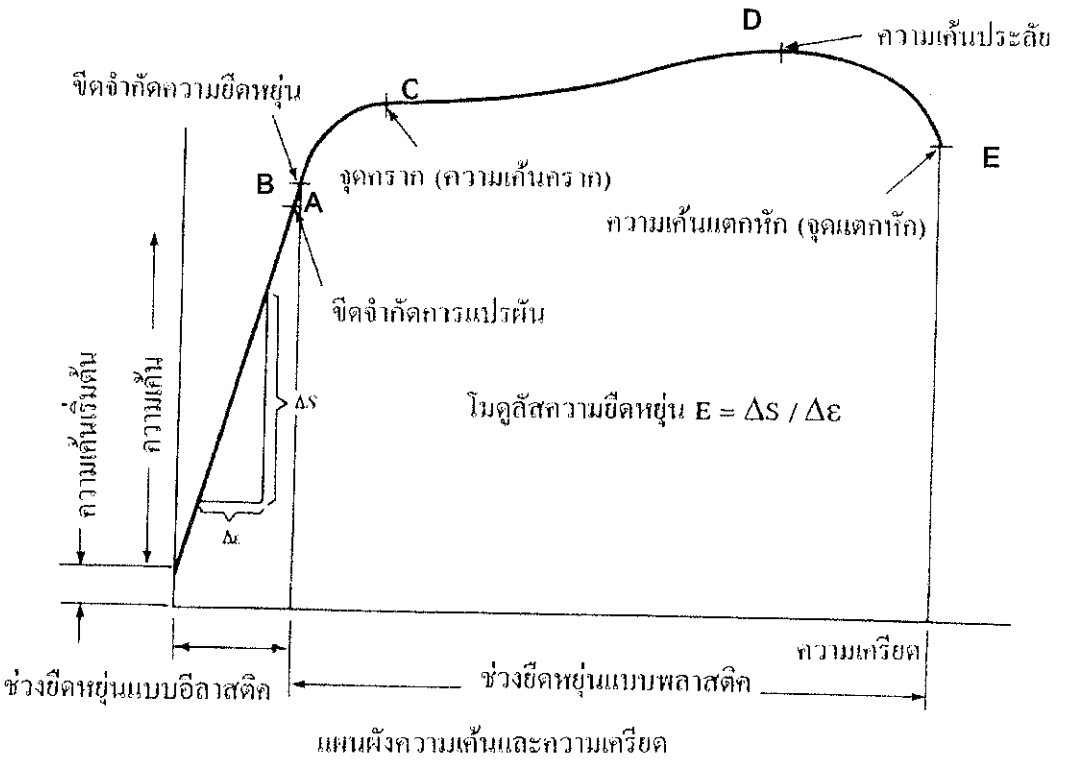
2.2.1.1 หล่อแบบฉีดอัด (Injection moulding) เป็นชนิดที่ดัดแปลงแก้ไขจากกรรมวิธีการผลิตแบบเป่า (Blowing) ซึ่งเม็ดหรือผงพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกจะถูกเทลงปากกรวย (feed hopper) ลงสู่กระบอกสูบที่ทำให้ร้อน พลาสติกที่อ่อนตัวลงจะถูกอัดด้วยลูกสูบให้เข้าไปในแบบที่เย็น ทำให้พลาสติกเย็นลง สามารถคงรูปอยู่ได้เมื่อแกะออกจากแบบ ซึ่งกรรมวิธีการผลิตแบบเป่าจะผลิตชิ้นงานรูปขวดคือชิ้นงานกลวงแต่มีปัญหาเรื่องความหนาของส่วนต่าง ๆ ไม่เท่ากัน กรรมวิธีนี้จะผลิตชิ้นงานรูปขวดที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

2.2.1.2 หัวฉีด มีหน้าที่ในการเชื่อมชุดฉีดกับแม่พิมพ์ในการส่งพลาสติกจากกระบอกสูบหลอมพลาสติกผ่านหัวฉีดเข้าไปยังแม่พิมพ์ การให้ความร้อนในเครื่องฉีดพลาสติกนั้นจะใช้ไฟฟ้าเกือบทั้งหมด ตัวให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า Heater ประกอบด้วยผิวด้านในบุด้วยฉนวนถัดเข้าไปจะมีลวดความร้อนที่พันอยู่รอบฉนวนและที่ผิวนอกจะหุ้มไว้ด้วยแผ่นโลหะ

2.2.1.3 การตั้งอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก ในการฉีดเทอร์โมพลาสติกนั้น เนื่องจากช่วงการหลอมตัวของพลาสติกค่อนข้างจะแคบ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปพลาสติกจะสลายตัว ถ้าต่ำเกินไปพลาสติกจะมีความฝืดมาก ไหลเข้าแบบได้ไม่สะดวก การตั้งอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ของเครื่องจะทำได้โดยการตั้งที่ตัวควบคุมอุณหภูมิของ Heater แต่ละตัวที่หุ้มกระบอกสูบอยู่ สำหรับแม่พิมพ์นั้นก็จำเป็นจะต้องรักษาอุณหภูมิให้พอดีด้วย ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ไม่สามารถเปิดตัวได้เร็ว ทำให้จังหวะการฉีดช้า แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็จะทำให้การเย็นตัวของพลาสติกต้องวิ่งไปเข้าแบบเป็นระยะทางไกล ๆ อาจทำให้พลาสติกเหลวเย็นตัวจนมีความหนืดสูงไม่สามารถวิ่งเข้าแบบท้ายได้เต็มแบบ

2.3 การทดสอบพลาสติกด้วยแรงดึง (Tension Test)

วิธีการทดสอบโดยนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้แล้วมา Plotเป็นเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (stress-strain curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point) ตามรูปที่ 2.1 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้น ๆ มาตรฐานต่าง ๆ ของการทดสอบ เช่น มาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing and Materials), BS (British Standards), JIS (Japanese Industrial Standards) หรือแม้แต่ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้ พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำเอาไว้ด้วย



รูปที่ 2.1 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดพบว่าเมื่อเริ่มดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆชิ้นทดสอบจะค่อยๆยืดออกจนถึงจุดจุดหนึ่ง (จุดA) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้ได้กราฟเส้นตรงตามกฎของฮุค (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุด A นี้ เรียกว่าพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) หรือขีดจำกัดการแปรผันและภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

เมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อย ๆ โค้งออกจากเส้นตรงวัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด ๆ หนึ่ง (จุด B) เรียกว่าขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้น เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิด เช่น พวกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) จะเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น(บางครั้งอาจจะลดลงก็มี) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่า จุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุด ที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

หลังจากจุดครากแล้ว วัสดุจะเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกโดยความเค้นจะค่อย ๆ เพิ่มอย่างช้า ๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด D) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นประลัย (Ultimate Strength) หรือความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปอย่างพลาสติกได้มากๆค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยว่า คำว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุ หรือกำลังวัสดุนั้น โดยทั่วไปจะหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้นี้

ที่จุดสุดท้าย (จุดE) ของกราฟเป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน (Fracture) สำหรับโลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือโลหะเหนียว ค่าความเค้นประลัย (Rupture Strength) นี้จะต่ำกว่าความเค้นสูงสุด เพราะเมื่อเลยจุด D ไป พื้นที่ภาคตัดขวางของตัวอย่างทดสอบลดลง ทำให้พื้นที่จะต้านทานแรงดึงลดลงด้วย ในขณะที่เรายังคงคำนวณค่าของความเค้นจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของวัสดุก่อนที่จะทำการทดสอบแรงดึง ดังนั้นค่าของความเค้นจึง

ลดลง ส่วนโลหะอื่น ๆ เช่น โลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold Work) มาแล้ว มันจะแตกหักที่จุดความเค้นสูงสุด โดยไม่มีการลดขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง ทำนองเดียวกับพวกวัสดุเปราะ (Brittle Materials) เช่น เซรามิค ที่มีการเปลี่ยนรูปอย่างพลาสติกน้อยมากหรือไม่มีเลย ส่วนกรณีของวัสดุที่เป็นพลาสติกจะเกิดแตกหักโดยที่ต้องการความเค้นสูงขึ้น

เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดนี้ นอกจากจะใช้บอกค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield Strength) ความเค้นสูงสุดและความเค้นประลัยแล้ว ยังจะใช้บอกค่าต่าง ๆ ได้อีกดังนี้ คือ

2.3.1 ความเหนียว ค่าที่ใช้วัดจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ การยืดตัว (Percentage Elongation) และการลดพื้นที่ภาคตัดขวาง (Reduction of Area) โดยที่ในทางปฏิบัติเรามักใช้ค่า %El มากกว่า เพราะสะดวกในการวัด ความเหนียวของวัสดุนี้จะเป็นตัวบอกความสามารถในการขึ้นรูปของมัน คือถ้าวัสดุมีความเหนียวดี (%El สูง) ก็สามารถนำไปขึ้นรูป เช่น รีด ตีขึ้นรูป ดึงเป็นลวด ฯลฯ ได้ง่าย แต่ถ้ามีความเหนียวต่ำ (เปราะ , Brittle) ก็จะนำไปขึ้นรูปยากหรือทำไม่ได้ เป็นต้น

2.3.2 Modulus of Elasticity or Stiffness ภายใต้พิกัดสัดส่วนซึ่งวัสดุมีพฤติกรรมเป็นอิลาสติก อัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดจะเท่ากับค่าคงที่ ค่าคงที่นี้เรียกว่า Modulus of elasticity (E) หรือ Young's Modulus หรือ Stiffness มักมีหน่วยเป็น ksi (1 ksi=1000 psi) หรือ kgf/mm2 หรือ GPa (สังเกตว่าเป็นหน่วยเดียวกับหน่วยของความเค้น ถ้าแรงที่มากระทำเป็นแรงเฉือนเราเรียกค่าคงที่นี้ว่า Shear Modulus หรือ Modulus of Rigidity (G)

ค่า E และ G ของวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าเฉลี่ยคงที่ และเป็นตัวบอกความสามารถคงรูป (Stiffness, Rigidity) ของวัสดุ นั่นคือ ถ้า E และ G มีค่าสูง วัสดุจะเปลี่ยนรูปอย่างอิลาสติกได้น้อย แต่ถ้า E และ G ต่ำ มันก็จะเปลี่ยนรูปอย่างอิลาสติกได้มาก ค่า E และ G นี้มีประโยชน์มากสำหรับงานออกแบบวัสดุที่ต้องรับแรงต่าง ๆ ตารางที่ 2.2 จะแสดงตัวอย่างค่า E และ G ของวัสดุต่าง ๆ ไว้

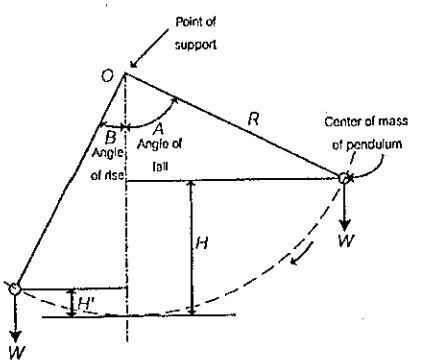
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าคงที่และของวัสดุชนิดต่าง ๆ

วัสดุ	Modulus of elasticity 106 psi	Shear Modulus 106 psi
Aluminum alloy	10.5	4.0
Copper	16.0	6.0
Steel	29.0	11.0
Stainless Steel (18.8)	28.0	9.5
Titanium	17.0	6.5
Tungsten	58.0	22.8

2.4 การทดสอบแรงกระแทก

การทดสอบแรงกระแทกนี้เป็นการทดสอบแบบ Dynamic Test โดยการปล่อยให้ตุ้มน้ำหนักตกลงมากระแทกพลาสติกตัวอย่างที่ทดสอบจนเกิดการเสียหาย การปล่อยให้ตุ้มน้ำหนักตกลงมาเองจะก่อให้เกิดแรงกระแทกซึ่งสามารถคำนวณเป็นพลังงานออกมาได้

พลังงานของการกระแทกเพื่อทำให้พลาสติกเสียหายจะเท่ากับผลต่างของพลังงานที่ได้จากลูกตุ้มก่อนกระแทกและหลังกระแทกแล้ว พลังงานนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของการแกว่งของลูกตุ้มและสามารถคำนวณได้จากน้ำหนัก (2.71J) และมุมที่แขนของลูกตุ้มทำกับแนวดิ่ง มุมที่ลูกตุ้มทำกับแนวดิ่งในตอนแรกก่อนจะปล่อยให้ตก เรียกว่า มุมตก (Angle of Fall) ส่วนมุมที่ลูกตุ้มทำกับแนวดิ่งสูงสุดหลังจากกระแทกเหล็กตัวอย่างแล้ว เรียกว่า มุมเงย (Angle of Rise)



รูปที่ 2.2 การทดสอบแบบ Dynamic Test

พลังงานเริ่มต้น(Initial Energy) $WH = WR(1-\cos A)$ (2.1)

พลังงานหลังกระแทก $WH' = WR(1-\cos A)$ (2.2)

พลังงานที่ถูกใช้ไปในการกระแทกพลาสติกโดยตรง $= W(H-H')$

$= WR(\cos A - \cos B)$ (2.3)

เมื่อ W =น้ำหนักของลูกตุ้ม

H =ความสูงของจุดศูนย์กลางลูกตุ้มในตำแหน่งสูงสุดเมื่อตั้งมุมตก

H' =ความสูงของจุดศูนย์กลางลูกตุ้มในตำแหน่งสูงสุดเมื่อตั้งมุมเงย

A =มุมตกเป็นองศา

B =มุมเงยเป็นองศา

R =รัศมีของลูกตุ้มวัดจากระยะจุดศูนย์กลางจุดหมุนถึงคมมีด

ถ้ามุมตก (มุม A) มีค่าเป็น 90° ก็จะทำให้การคำนวณง่ายขึ้นเพราะ cos 90°=0

หน่วยที่ได้จากการคำนวณมักจะมีหน่วยเป็น ฟุต-ปอนด์(Foot- Pounds) หรือ กิโลกรัม-เมตร (Kilogram-meters) โดยไม่อ้างอิงถึงปริมาตรของชิ้นงาน

2.5 การคำนวณ ค่าตัวแปรต่างๆ [4]

$$\text{Engineering stress } (\sigma) = \frac{F}{A_0} \quad \frac{(Ave.uniaxial\ tensileforce)}{(original\ cross-section\ area)} \tag{2.4}$$

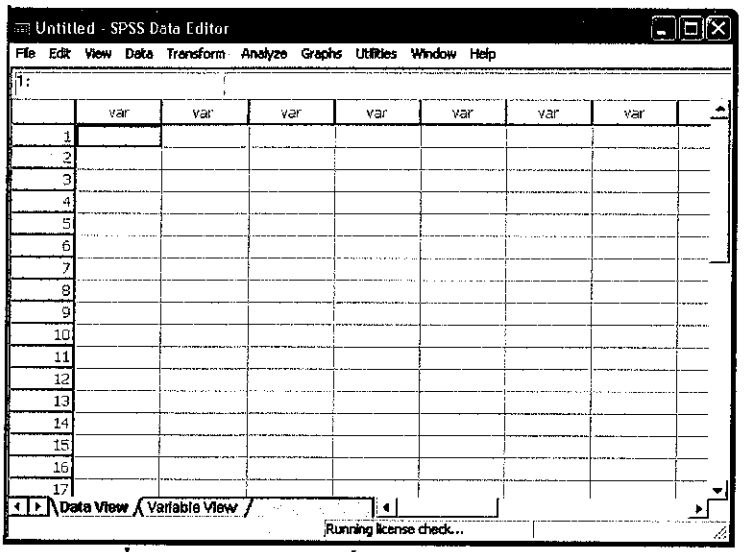
$$\text{Engineering strain } (\varepsilon) = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \tag{2.5}$$

$$\text{\% Elongation (E)} = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\ \% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\ \% \tag{2.6}$$

$$\text{Modulus of Elasticity} = \frac{\sigma(stress)}{\varepsilon(strain)} \tag{2.7}$$

2.6 โปรแกรม SPSS

โปรแกรมSPSS/FW [5] (ย่อมาจาก SPSS for Windows) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและสร้างกราฟ การใช้คำสั่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีคลิกเมาส์ (Mouse) คล้ายกับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินส์โด (Windows) โดยทั่วไป (คำว่า คลิก หรือ คลิกเมาส์ หมายถึง การกดปุ่มเมาส์ข้างซ้าย 1 ครั้งอย่างเร็วแล้วปล่อย) และการใช้สัญลักษณ์ทางกราฟิก (graphic) ก็คล้ายกัน สำหรับโปรแกรม SPSS/PC+ บนระบบปฏิบัติการดอส คำสั่งที่เคยใช้มายังสามารถนำมาใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ได้เช่นกัน



รูปที่ 2.3 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมSPSS/FW

2.6.1 รายการเลือกหลักของโปรแกรมSPSS/FW

รายการเลือกหลัก(Main menu) ประกอบด้วยรายการย่อย 9 รายการ สามารถนำมากล่าวพอสังเขปได้ดังนี้

1. File ใช้สำหรับสร้างแฟ้มใหม่ เปิดแฟ้มเก่า หรืออ่านข้อมูลจากแหล่งอื่น
2. Edit ใช้สำหรับแก้ไขแฟ้มข้อความจากหน้าต่างผลลัพธ์หรือหน้าต่างคำสั่ง
3. Data ใช้ในการจัดการเกี่ยวกับข้อมูล
4. Transform ใช้ในการจัดการเกี่ยวกับตัวแปร
5. Statistics ใช้ในการคำนวณค่าสถิติหรือวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
6. Graphs ใช้ในการสร้างหรือจัดการเกี่ยวกับกราฟหรือแผนภูมิต่างๆ
7. Utilities ใช้ในการจัดการเกี่ยวกับคำสั่งหรือเปลี่ยนแบบตัวอักษร (font)

8. Window ใช้ในการจัดการเกี่ยวกับหน้าต่างของ SPSS

9. Help ใช้ในการขอความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้งานของโปรแกรม SPSS/FW

2.6.2 ความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติ

1) การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติเบื้องต้น เช่น ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าฐานนิยม ค่าแสดงตำแหน่งของข้อมูล การนำเสนอข้อมูลในรูปกราฟ

2) การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติเบื้องต้น ที่ใช้ในการสรุปผลข้อมูลต่อไปนี้ ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ด้วยวิธีของ T-test χ^2-test F- test ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ทั้งแบบทางเดียว แบบหลายทาง การทดสอบแบบจับคู่พหุคูณ การตรวจสอบ และการหาค่าความสัมพันธ์ด้วย χ^2-test, Pearson Correlation, Spearman Rank ฯลฯ การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง (Linear Regression) และการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่ใช่เส้นตรง (Non-Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการหาสมการเส้นตรงหรือเส้นโค้ง สมการเหล่านี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ประเภทคือตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ สมการที่ได้นี้จะแสดงตัวแปรตามว่ามีการผันแปรตามตัวแปรอิสระอย่างไร ซึ่งสมการที่ได้สามารถบอกความเหมาะสมของข้อมูลเชิงสถิติ แต่ไม่สามารถบอกว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นว่ามาจากสมการอะไร

ในการทดลองบางอย่างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ จะอยู่ในรูปแบบที่ง่าย สามารถหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ แต่การทดลองส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน จึงต้องมีการตั้งสมมติฐานว่าลักษณะของความสัมพันธ์ควรอยู่ในสมการแบบไหน แล้วใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยในการทดสอบว่าสมมติฐานที่ตั้งไว้กับข้อมูลที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศรีสัจจา บุญฤทธิ์, สมชาย พัวจินดาเนตร ได้ศึกษาอัตราการไหลและการฉีดขึ้นรูปสำหรับโพลิเมอร์ผสมโพลิโพรพิลีนแลโพลิเอมีด-6 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล และอัตราการฉีดขึ้นรูป ผลการทดลองในขั้นตอนแรกพบว่าควรฉีดขึ้นรูปโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิระหว่าง 225-245 °C อัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณPA-6 จะมีคุณสมบัติเชิงกลสูงกว่า PP คือการทนแรงดึงของ PA-6 และ PP เท่ากับ 47 นิวตัน/ตร.มม.และ 32 นิวตัน/ตร.มม. โมดูลัสของPA-6 และPP เท่ากับ630 นิวตัน/ตร.มม. และ490นิวตัน/ตร.มม. เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ PA-6 และ PP เท่ากับ 25%และ16%ความแข็งเท่ากับ 74 ShoreD และ 68 ShoreD และการทนต่อแรงกระแทกเท่ากับ 5 กิโลจูล/ตร.ม.และ0.8 กิโลจูล/ตร.ม. ตามลำดับและการขึ้นรูปโพลิเมอร์แต่ละชนิดนั้น ค่าตัวแปรที่ฉีดขึ้นรูปจะแตกต่างกัน อุณหภูมิหัวฉีดเหมาะสมที่ทำให้ค่าโมดูลัสสูงสุดสำหรับPA-6และPPคือ245°Cและ230°Cตามลำดับ อัตราเย็นตัวและเวลาที่รักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ที่มีระยะเวลานาน จะมีผลทำให้อัตราการฉีดขึ้นรูปช้าลง

สุมาลี ทิพยกุลและคณะ ได้ศึกษาคุณสมบัติของโพลิเมอร์ผสมระหว่างขยะพลาสติกชนิด PP และ PE พบว่าเมื่อ % PP เพิ่มขึ้น ทำให้ความทนต่อแรงกระแทกลดลง ความเครียดลดลง แต่ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของทุกโพลิเมอร์ผสมมีใกล้เคียงกัน ส่วนอัตราการไหลตัวแปรตามชนิดของพลาสติกชนิดที่มีอยู่มากกว่า

อภินันทนา อุดมศักดิกุล ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง กับโพลิโพรพิลีน โดยมีเอทิลีน โพรพิลีน ไดอีนเทอร์โพลิเมอร์ เป็นตัวทำให้เข้ากัน ในการศึกษาพบว่า การฉีดขึ้นรูปโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่ 210°C คุณสมบัติของโพลิเมอร์ผสมจะแปรไปตามโพลิเมอร์ที่มีปริมาณมากกว่า แต่เปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP (75/25) จะมีค่ามากที่สุดคือ 428.37% เมื่อเติม EPDM เข้าไปจะทำให้อัตราการไหล ความถ่วงจำเพาะ ความทนต่อแรงดึง 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นและความแข็งลดลงแต่จะทำให้ความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น