บทที่ 1
บทนำ

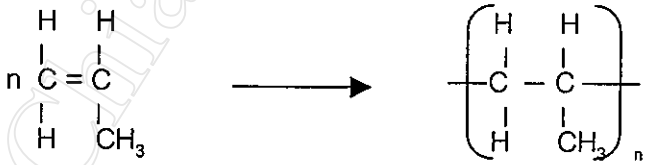
ปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทมากมาย ทั้งนี้เนื่องมาจากพลาสติกมีสมบัติที่ดีหลายประการ อาทิเช่น มีน้ำหนักเบา, เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี, ไม่เกิดการกัดกร่อนง่าย, สามารถตกแต่งให้สวยงามได้ทำให้เกิดความดึงดูดใจแก่ผู้พบเห็น, ราคาไม่แพง, ง่ายต่อการขนส่ง และสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างได้อย่างง่าย ด้วยสมบัติที่ดีเหล่านี้จึงทำให้มีการใช้พลาสติกกันอย่างแพร่หลายทำให้มีขยะประเภทพลาสติกมากขึ้นทุกปี ก่อให้เกิดมีปัญหาตามมาทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพลาสติกใช้เวลาการย่อยสลายที่นานมากจึงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ [1, 2, 3]

พลาสติก คือ สารสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง พลาสติกส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีพลาสติกหลายชนิดที่มีเฉพาะธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนล้วน ๆ ผสมอยู่ แต่พลาสติกส่วนมากยังประกอบด้วยธาตุชนิดอื่น ๆ อีก เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฟลูออรีน ฟอสฟอรัส กำมะถัน เป็นต้น

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้

1.1.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

พอลิพรอพิลีนเตรียมจากมอนอเมอร์พรอพิลีนโดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัว ดังสมการ



พอลิพรอพิลีนผลิตขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1957 โดยแนตตา (Natta) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-แนตตา ที่ประกอบด้วยไทเทเนียมไตรคลอไรด์, $TiCl_3$ กับอะลูมิเนียมไดเอทิลคลอไรด์, $Al(C_2H_5)_2Cl$ ทำการพอลิเมอไรซ์พรอพิลีนที่ 70-80 °C ความดัน 100 บรรยากาศ ได้พอลิพรอพิลีนชนิดไอโซแทกติก (isotactic) ที่มีความเป็นผลึกสูง [1, 3-5]

พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอพลาสติกที่มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.905 จุดหลอมเหลว T_m ประมาณ 176°C สามารถใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูงถึง 140 °C มีค่า T_g ประมาณ

-18°C เป็นพลาสติกที่มีสมบัติดีหลายอย่าง เช่น เหนียวและสามารถทนแรงกระแทกได้สูง สมบัติของพอลิพรอพิลีน แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน [6]

ASTM or UL test	Property	Unmodified resin	Glass reinforced
สมบัติกายภาพ			
D792	Specific gravity	0.905	1.05-1.24
D792	Specific volume (in.³/lb.)	30.8-30.4	24.5
D570	Water absorption, 24 hours, 1/8 inch thick (%)	0.01-0.03	0.01-0.05
สมบัติเชิงกล			
D638	Tensile strength (psi)	5,000	6,000-14,500
D638	Elongation (%)	10-20	2.0-3.6
D638	Tensile modulus (10~5 psi)	1.6	4.5-9.0
D790	Flexural modulus (10~5 psi)	1.7-2.5	3.8-8.5
D256	Impact strength, Izod (ft-lb/in. of notch)	0.5-2.2	1.0-5.0
D785	Hardness, Rockwell R	80-110	110

ปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทอย่างยิ่งในวงการอุตสาหกรรม จากผลของการใช้งานอย่างแพร่หลายจึงทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (recycle) โดยนำมาเติมสารเติมแต่ง เช่น ผสมกับพลาสติกหรือสารชนิดอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมมากขึ้น [1-2, 7-8]

สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเสริมแรง (reinforcing agent) เป็นสารที่ช่วยให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลบางอย่าง เช่น ความทนแรงดึง(tensile strength) สูงขึ้น สารเสริมแรงที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เส้นใยแก้ว เนื่องจากมีราคาถูกและให้ความแข็งแรงสูง [8-10]

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบและปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกและถุงร้อนโดยผสมเส้นใยแก้วเพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลบางอย่างสูงขึ้น

1.1.2 เส้นใยแก้ว (Glass Fiber)

พลาสติกที่เสริมเส้นใยแก้วจะมีข้อดีคือ มีความแข็งแรงมาก น้ำหนักเบา และมีความยืดหยุ่นในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (design flexibility) สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้มากมายตั้งแต่คันเบ็ดตกปลาจนถึงเรือขนาดเล็ก

เส้นใยแก้วมีองค์ประกอบจำพวกออกไซด์หลายชนิด ดังต่อไปนี้

ซิลิกอนออกไซด์	52-56 %
แคลเซียมอกไซด์	16-25 %
อะลูมิเนียมออกไซด์	12-16 %
โบรอนออกไซด์	8-13 %
โซเดียมและโพแทสเซียมออกไซด์	< 1%
แมกนีเซียมออกไซด์	0-6 %

1.1.2.1 ชนิดของเส้นใยแก้ว

(1) อี-กลาส (E-glass: electrical glass) เป็นเส้นใยแก้วพวกบอโรซิลิเกตกลาส (borosilicate glass) มีค่าความทนแรงดึง 3.45 กิกะปาสคาล, มอดุลัส 72.4 กิกะปาสคาล และเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด 4.8 เปอร์เซ็นต์ นิยมใช้เป็นเส้นใยเสริมแรง

(2) เอส-กลาส (S-glass: higher silica glass) เป็นเส้นใยแก้วที่มีความแข็งแรงสูง มีความทนแรงดึง 4.5 กิกะปาสคาล มอดุลัส 85.5 กิกะปาสคาล และ เปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด 5.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมากจะใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการบิน เนื่องจากมีอัตราส่วนของความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง

(3) ซี-กลาส (C-glass: chemical glass) เป็นพวกโซดา-ไลม์บอโรซิลิเกตกลาสมีสมบัติต้านทานสารเคมีและทนต่อการกัดกร่อนได้ดี

1.1.2.2 รูปแบบของเส้นใยแก้ว [11]

(1) เส้นใยสั้น (chopped strand) เส้นใยประเภทนี้จะนิยมใช้กับเทอร์มอพลาสติกในการอัดขึ้นรูปหรือการฉีดขึ้นรูป นำไปทำตัวถังรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า

(2) เส้นใยผง (milled fibers) คือเส้นใยแก้วที่มีความยาวค่อนข้างสั้นตั้งแต่ 0.8-6.4 มิลลิเมตร การใช้งานของเส้นใยประเภทนี้ใช้ได้ทั้งเทอร์มอพลาสติกและเทอร์มอเซต โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูปในกรณีของเทอร์มอพลาสติก และใช้เทคนิคการหล่อ (casting) ในกรณีของเทอร์มอเซต

(3) เส้นใยยาว (continuous roving) คือเส้นใยแก้วที่มีความยาวต่อเนื่อง โดยมีลักษณะเป็นม้วนๆ ในการผลิตชิ้นงานด้วยเส้นใยประเภทนี้มีหลายวิธี เช่น การพัน (filament winding) การพ่นทับ (spray-up) และการทำเป็นแผ่นต่อเนื่อง (continuous-laminating) ประเภทผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใยยาว เช่น การผลิตท่อและถัง

(4) เส้นใยเสริมแรงประเภทเสื่อ (reinforcing mat) หรือ (chopped strand mat) คือ เส้นใยแก้วที่เกิดจากการนำเส้นใยตัดสั้นหรือเส้นใยยาวมาเรียงตัวกันแบบไม่เป็นระเบียบ (random orientation) เส้นใยประเภทนี้จะมีความแข็งแรงและดึงตัวกันในทุกทิศทาง จึงทำให้ชิ้นงานที่ผลิตมีความแข็งแรงทุกทิศทาง นิยมใช้กับเทอร์มอเซทเป็นส่วนใหญ่ โดยใช้เทคนิคการผลิตด้วยมือ (hand lay-up)

(5) เส้นใยสาน (Woven roving) คือ เส้นใยแก้วที่มีสมบัติพิเศษคือ มีลักษณะคล้ายผ้าที่ทอให้มีเส้นใยวิ่งตั้งฉากกัน 90 องศา เส้นใยประเภทนี้สามารถให้ปริมาณของเส้นใยแก้วในพลาสติกค่อนข้างสูงและสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูง เช่น โครงเรือ โครงสร้างเครื่องบิน

เส้นใยแก้วเหล่านี้จะมีน้ำยาอาบผิวหลายชนิด เช่น silane finish หรือ chrome finish เป็นต้น มีสมบัติในการทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยแก้วกับพอลิเมอร์ดีขึ้น

พลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นใย (fibre) และส่วนที่เป็นเมทริกซ์ (matrix) คือพลาสติก โดยเส้นใยอาจมีความยาวต่อเนื่องตลอดความยาวของเมทริกซ์หรือความยาวไม่ต่อเนื่อง และอาจมีส่วนที่สามที่เรียกว่า อินเตอร์เฟส (interphase) โดยจะอยู่รอบ ๆ เส้นใยทำหน้าที่ยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ ความแข็งแรงของวัสดุผสมจะถูกกำหนดโดย

สมบัติของเส้นใย สัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใยในเมทริกซ์ ความยาวและการกระจายตัวของเส้นใย และความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์

1.1.2.3 การกระจายตัวของเส้นใยในเมทริกซ์

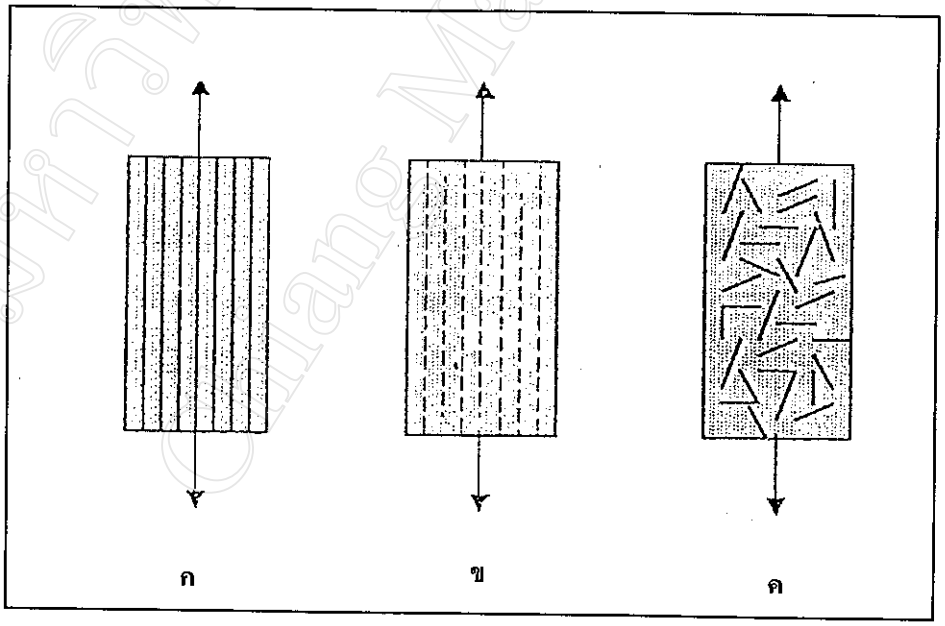
การกระจายตัวหรือการจัดเรียงตัวของเส้นใยในเมทริกซ์อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังต่อไปนี้ คือ

(1) เรียงตัวต่อเนื่องตลอดความยาวของเมทริกซ์ (unidirectional continuous fibres)

(2) เรียงตัวเป็นระเบียบไม่ต่อเนื่อง (aligned discontinuous fibres)

(3) เรียงตัวไม่เป็นระเบียบแบบไม่ต่อเนื่อง (randomly oriented discontinuous fibres)

การจัดเรียงตัว 3 ลักษณะดังกล่าวนี้ แสดงในรูป 1.1 (ก) - (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การจัดเรียงตัวแต่ละลักษณะมีผลต่อสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน กล่าวคือ การเรียงแบบต่อเนื่องตลอดความยาวของเมทริกซ์ จะให้ความแข็งแรงในทิศทางเดียวตามแนวเส้นใย เป็นต้น



รูป 1.1 การเรียงตัวของเส้นใยในพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย

ก. เรียงตัวต่อเนื่องตลอดความยาวของเมทริกซ์

ข. เรียงตัวเป็นระเบียบไม่ต่อเนื่อง

ค. เรียงตัวไม่เป็นระเบียบแบบไม่ต่อเนื่อง

1.1.2.4 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใย [12-14]

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใยที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยลักษณะระหว่างผิวสัมผัส ดังต่อไปนี้

(1) การดูดซับและการเปียก (adsorption and wetting)

เมื่อมีผิวสัมผัสของวัสดุ 2 ชนิด ที่มีผิวหยาบเข้าใกล้กัน จะเกิดแรงยึดเหนี่ยวที่เรียกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) การที่จะให้ผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสองเกิดการดูดซับและการเปียกได้ดี ผิวสัมผัสทั้งสองจะต้องเข้าใกล้ชิดกันมาก โดยการทำให้วัสดุชนิดหนึ่งเป็นของเหลวที่มีความหนืดต่ำ เพื่อทำให้เกิดการแผ่กระจายไปยังอีกผิวหนึ่งได้

(2) การแพร่กระจาย (diffusion)

การยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์สองชนิดอาจเกิดได้จากการแพร่กระจายระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์บนผิวสัมผัสทั้งสอง ความแข็งแรงของการยึดเหนี่ยวนี้ขึ้นอยู่กับสภาพที่ปรับตัวไปมาได้ดี (flexibility) และสภาพเคลื่อนที่ได้ (mobility) ของสายโซ่โมเลกุลในพอลิเมอร์ การแพร่กระจายแบ่งเป็นสองชนิดคือ การแพร่กระจายของโมเลกุลในทิศทางเดียวและในสองทิศทาง

(3) การดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction)

แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดการยึดติดระหว่างผิวสัมผัสที่มีขั้วไฟฟ้าที่ต่างกัน เช่น แรงระหว่างกรดและเบสหรือแรงดึงดูดไอออนิก

(4) พันธะเคมีระหว่างผิวสัมผัส (chemical bonds across the interface)

ส่วนมากจะเกิดในกรณีที่มีการใช้ตัวประสานคู่ควบ (coupling agent) คือพันธะเคมีถูกสร้างขึ้นโดยหมู่ทางเคมีที่มาจากผิวของเส้นใยและเมทริกซ์ ความแข็งแรงของการยึดติดขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใยที่เกิดขึ้นเป็นแบบกรณีนี้

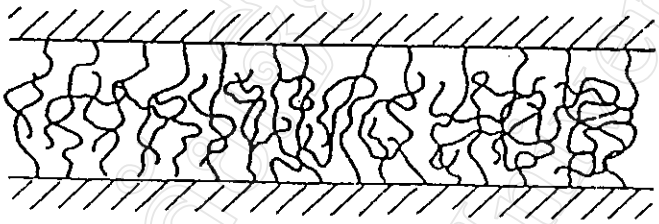
(5) การยึดติดเชิงกล (mechanical adhesion)

เกิดจากการแผ่กระจายของเมทริกซ์บนเส้นใยที่มีผิวเป็นรูพรุน โดยเมทริกซ์จะทำหน้าที่เป็นตัวยึดเหนี่ยวเส้นใยไว้ โดยทั่วไปเส้นใยจะถูกปรับสภาพผิวทำให้ผิวหยาบขึ้น โดยละลายส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) ที่ผิวออกทำให้เมทริกซ์สามารถแผ่กระจายและแทรกตัวไปบนผิวของเส้นใย ซึ่งกลไกนี้ขึ้นกับระดับความหยาบของเส้นใย

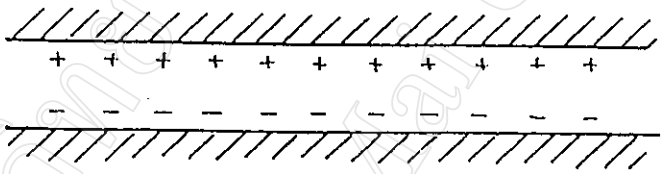
ลักษณะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใยและเมทริกซ์ดังกล่าวข้างต้นนี้ แสดงในรูป 1.2 (ก) – (จ)

ก. การดูดซับและการเปียก (adsorption and wetting)

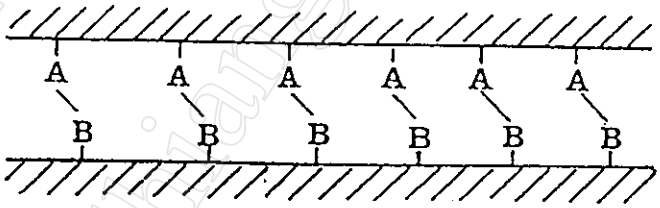
ข. การแพร่กระจาย (diffusion)



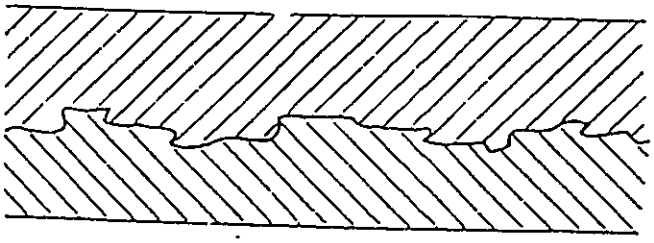
ค. การดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction)



ง. พันธะเคมีระหว่างผิวสัมผัส (chemical bonds across the interface)



จ. การยึดติดเชิงกล (mechanical adhesion)



รูป 1.2 ลักษณะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใยและเมทริกซ์

1.2 การเตรียมชิ้นงาน

ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมชิ้นงานที่มีส่วนผสมต่างๆตามที่กำหนดไว้ของวัสดุที่มาจากถุงร้อนพอลิพรอพิลีน เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน และเส้นใยแก้ว โดยเครื่องผสมชนิดลูกกลิ้งสองตัวแล้วนำแผ่นชิ้นงานที่ได้ไปบดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยใช้เครื่องบดแล้วนำสารที่บดแล้วไปขึ้นรูปแบบฉีดเพื่อให้ได้ชิ้นงานออกมา จากนั้นจะทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน สมบัติเชิงกลที่ทดสอบ คือ ความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว มอดุลัส ความทนแรงโค้งงอ ความแข็ง และความทนแรงกระแทกของชิ้นงาน

1.2.1 กรรมวิธีการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding) [1, 15-16]

การฉีดพลาสติกทำโดยใส่เม็ดพลาสติกเข้าไปในเครื่องฉีด พลาสติกจะผ่านส่วนที่ให้ความร้อนรอบๆกระบอกฉีด (barrel) และหลอมละลาย จากนั้นจะฉีดพลาสติกที่หลอมเข้าไปในแม่พิมพ์ปิดด้วยความดันที่เหมาะสม เครื่องฉีดพลาสติกมีหลายรูปแบบตามลักษณะทิศทางการฉีด

วัตถุดิบอาจเป็นเทอร์มอพลาสติกหรือเทอร์มอเซตก็ได้ แต่ทั่วไปนิยมใช้เทอร์มอพลาสติกมากกว่าเพราะใช้อุณหภูมิในการหลอมไม่มากนัก

ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องฉีด มีดังนี้

1. กรวยเติมวัตถุดิบ (hopper)
2. ชุดฉีด (injection unit)
3. ชุดเปิด-ปิด (clamping unit)
4. ชุดกระทุ้งเอาชิ้นงานออก (ejection unit)

กรวยเติมวัตถุดิบ (hopper) เป็นส่วนป้อนวัตถุดิบ มีทั้งแบบธรรมดาและแบบที่มีระบบอบแห้งในตัว

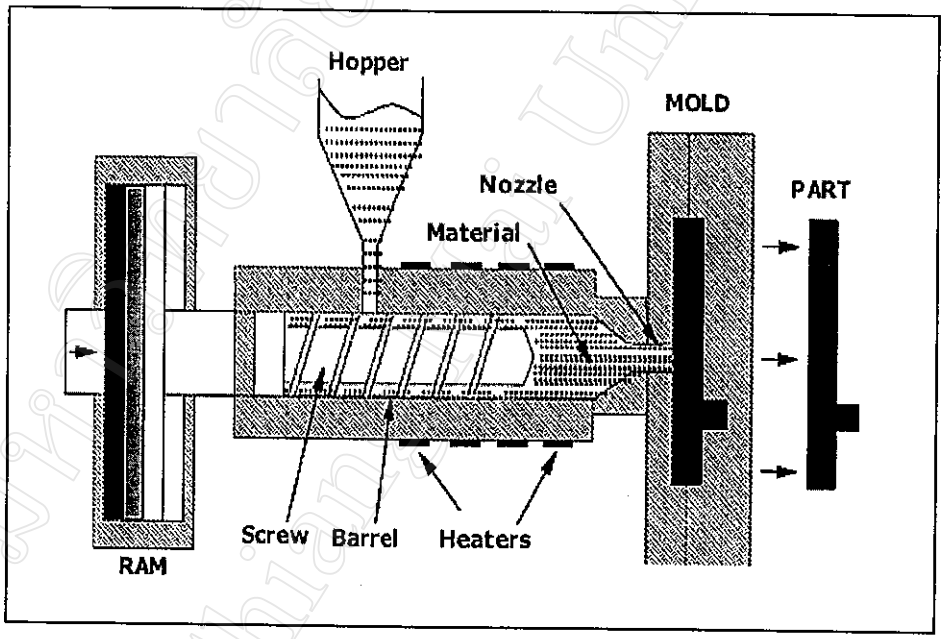
ชุดฉีด (injection unit) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

1. กระบอก และสกรู (barrel & screw)
2. หัวฉีด (nozzle)

ชุดเปิด-ปิด (clamping unit) ทำหน้าที่เคลื่อนที่ปิด-เปิดแม่แบบในจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก แม่แบบโดยปกติจะมีสองฝาประกอบกันโดยด้านที่จะฉีดพลาสติกเข้าจะเป็นด้านอยู่กับที่ และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่ปิด-เปิด ฝาประกบทั้งสองจะประกบอยู่กับแผ่นติดแม่แบบที่ติดมากับเครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วๆไป

หน่วยเปิด-ปิด แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนปิดด้วยแรง (autuated by force) โดยอาศัยไฮดรอลิกทำหน้าที่ปิด และขั้นตอนเปิดด้วยกลไกร่วม แต่การเคลื่อนที่เปิด - ปิด จะใช้แรงขับจากไฮดรอลิกหรือมอเตอร์ไฟฟ้า โดยทั้งสองระบบต้องทำหน้าที่อัดแม่แบบให้ประกบกันแน่น ลักษณะของชุดเปิด-ปิด โดยใช้กระบอกไฮดรอลิกโดยตรง

ลักษณะของเครื่องฉีดแสดงดังรูป 1.3



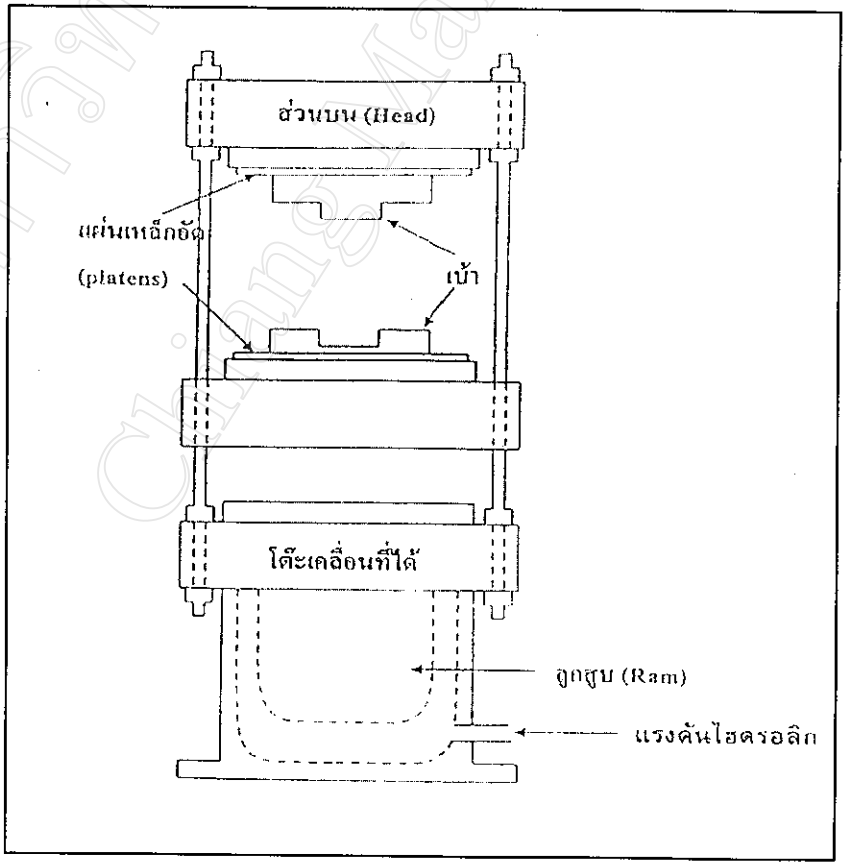
รูป 1.3 ลักษณะของเครื่องฉีด (Injection Molding)

ชุดกระทุ้งเอาชิ้นงานออก (ejection unit) ทำหน้าที่ดันชิ้นงานออกจากแม่แบบ ตัวกระทุ้งจะเป็นชุดไฮดรอลิกที่ประกอบด้วยกระบอกไฮดรอลิก โดยมีแกนยื่นต่อกับตัวกระทุ้งของแม่แบบ เมื่อแม่แบบเปิดออก ตัวกระทุ้งจะดันชิ้นงานออกมาโดยไม่เสียรูป

1.2.2 กรรมวิธีการขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression Molding) [17]

การใช้เครื่องอัดในการแปรรูปพอลิเมอร์เริ่มประมาณต้นศตวรรษที่ 19 โดยนักอุตสาหกรรม ชื่อ Thomas Hancock ใช้ในการอัดเบ้ายาง กระบวนการแปรรูปพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคการอัดจดลิขสิทธิ์ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1870 โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 คน ชื่อ John Wesley Hyatt และ S. Hyatt กระบวนการแปรรูปโดยการอัดประยุกต์ใช้กับพลาสติกเป็นครั้งแรกหลังจาก Bakeland ค้นพบวิธีการสังเคราะห์เรซินฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ในปี ค.ศ. 1908 ปัจจุบันกระบวนการแปรรูปแบบนี้ยังใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะพลาสติกประเภทเทอร์มอเซต

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (platens) จำนวน 2 ชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ อีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ ทำให้สามารถทำการปิด - เปิด เบ้าได้ เนื่องจากเบ้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้ง 2 แผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่นๆ คือ อุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องแสดงดังรูป 1.4



รูป 1.4 ลักษณะของเครื่องอัด

วิธีการขึ้นรูปทำโดยนำวัสดุผสมเข้าไปในเบ้า และให้ความร้อนขณะทำการอัด จากนั้นใช้ระบบหล่อเย็นโดยใช้น้ำไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้า

ความดันที่ใช้ในการอัดเบ้าต้องใช้ให้น้อยที่สุด แต่มากพอที่ทำให้พลาสติกไหลเต็มช่องว่างของเบ้า แต่ไม่สูงจนทำให้พลาสติกรั่วไหลออกจากรอยแยกเบ้า ระดับความดันที่ใช้ขึ้นกับชนิดและความหนาของชิ้นงานที่ทำการแปรรูป

1.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

1.3.1 ความทนแรงดึง (Tensile Strength) [18-22]

ความทนแรงดึงของวัสดุแสดงถึงความต้านทานของวัสดุนั้นต่อการยืด (elongation) หรือการแตกออก (breaking) เมื่อมีแรงดึงวัสดุ

สิ่งที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้คือความเค้นและความเครียด (stress and strain) ของวัสดุโดยมีเทอมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ความเค้น (stress): แรงที่ใช้เพื่อให้เกิดการเสียรูป (deformation) ในหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน เช่น หน่วย N/m^2

สมการที่ใช้คำนวณ

$$\text{stress} = \frac{F}{A}$$

เมื่อ F คือ แรงดึง; A คือ พื้นที่หน้าตัด

ความเครียด (strain): อัตราส่วนของส่วนที่ยืดต่อความยาวเดิมของชิ้นงาน

สมการที่ใช้คำนวณ

$$\text{strain} = \frac{\Delta l}{l_o}$$

เมื่อ Δl คือ ความยาวที่เพิ่มขึ้น; l_o คือ ความยาวเริ่มต้นช่วง gauge length

Elongation: การเพิ่มขึ้นของความยาวของชิ้นงานเมื่อมีแรงดึง (tensile load) ซึ่งแสดงโดยหน่วยของความยาว เช่น mm

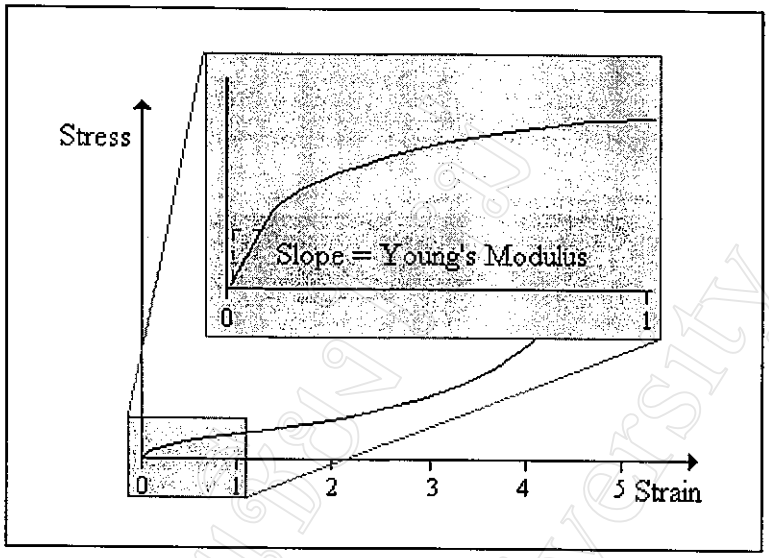
จุดครากตัว (yield point): จุดแรกบนเส้นโค้งความเค้น - ความเครียด ที่ความเครียดเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเค้นไม่เพิ่ม

Percent elongation at break: เปอร์เซ็นต์การยืดขณะที่ชิ้นงานขาด

Tensile strength: ค่าความเค้นดึงมากสุดที่ชิ้นงานสามารถทนได้ระหว่างทดสอบหรืออัตราส่วนของแรงสูงสุดต่อพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นงาน

มอดุลัสของยัง (young's modulus): เป็นอัตราส่วนของความเค้นกับความเครียดที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ความเครียดเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเค้น ค่ามอดุลัส เป็นสิ่งที่วัดความแข็งแกร่งหรือความแข็งตึง (stiffness) ของวัสดุซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการแปรรูปหรือการเปลี่ยน แปลงรูปร่างของวัสดุในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) ขณะรับแรง การหาค่ามอดุลัสจากกราฟความเค้น-ความเครียด หาได้จากการวัดความชัน (slope) ของเส้นสัมผัสเริ่มแรก (initial tangent) ซึ่งเป็นส่วนที่ชันที่สุดของเส้นโค้ง

พฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุส่วนมากขึ้นกับเวลา ดังนั้นต้องคำนึงถึงความเร็วที่ให้ความเค้นด้วย เช่น ถ้าดึงวัสดุอย่างรวดเร็วทันทีทันใดอาจทำให้วัสดุขาดออกได้ แต่ถ้าใช้แรงเท่ากันนั้นดึงช้าๆ อาจทำให้วัสดุนั้นเพียงแต่ยืดออกเท่านั้น ความต้านทานต่อแรงขาดสูงขึ้น รูป 1.5 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น-ความเครียด ที่ใช้ในการหาค่ามอดุลัสของยัง



รูป 1.5 ความเค้น-ความเครียดที่ใช้ในการหาค่ามอดุลัสของยัง

ในทางปฏิบัติมักทดสอบความทนแรงดึงโดยใช้ชิ้นทดสอบแบนที่เป็นรูปดัมเบลล์ (dumb bell) ปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบถูกยึดเข้ากับหัวจับของเครื่องทดสอบ และใช้แรงดึงที่ทราบค่าดึงหัวจับทั้งสองให้เคลื่อนที่ออกจากกัน วัสดุที่ทดสอบมักจะยืดและขาดจากกันตรงบริเวณใจกลางที่แคบของวัสดุ สามารถอ่านค่าแรงดึงและระยะยืดได้จากหน้าปัดบนเครื่อง (crosshead position) หรืออ่านจากกราฟที่ได้จากเครื่องบันทึก

1.3.2 ความแข็ง (Hardness) [3, 20, 24-26]

ความแข็งมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรง (strength) ความต้านทานต่อการขีดข่วน (scratch resistance) และความเปราะ (brittleness) ของวัสดุ

ลักษณะเฉพาะที่ตรงข้ามกับความแข็ง คือ ความอ่อน (softness) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเหนียว (ductility)

มักวัดค่าความแข็งโดยใช้การทดสอบการกด (indentation test) โดยใช้หัวกด (indentor) บางอย่างกดเข้าสู่ชิ้นทดสอบ ถ้ารอยกดไม่ลึกแสดงว่าวัสดุมีความแข็งมาก แต่ถ้ารอยกดลึกแสดงว่าวัสดุมีความแข็งน้อย

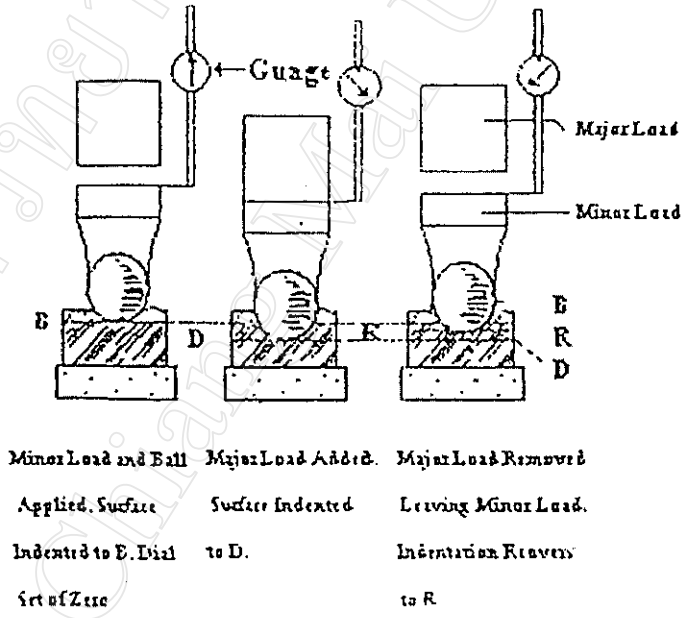
การทดสอบหาค่าความแข็งตามมาตรฐาน ASTM E18 ค่าความแข็งอ่านได้จากค่าความสามารถในการใช้หัวกด กดลงบนชิ้นงานโดยเพิ่มแรงกดจากแรงกดรอง (minor load) มาเป็นแรงกดหลัก (major load) มาประมวลผลรวมกับค่าความลึกที่คืนตัวของพลาสติก หลังจากลดแรงกด

จากแรงกดหลักมาเป็นแรงกดรอง หัวกดที่ใช้จะเป็นลูกกลมเหล็กกล้าตามมาตรฐานมีหลายสเกล ซึ่งใช้หัวกดและแรงกดต่างๆกัน สำหรับพลาสติกมักใช้สเกล M และ R

สเกล M ใช้หัวกดลูกกลมเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ¼ นิ้ว กดด้วยแรงกดเริ่มแรก 10 กิโลกรัม แล้วเพิ่มด้วยแรงกด 100 กิโลกรัม สเกล M เหมาะสำหรับพลาสติกแข็ง

สเกล R ใช้หัวกดลูกกลมเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว กดด้วยแรงกดเริ่มแรก 10 กิโลกรัม แล้วเพิ่มด้วยแรงกด 60 กิโลกรัม สเกล R เหมาะสำหรับพลาสติกอ่อน

วิธีการวัดค่าความแข็งที่ใช้มากที่สุด คือ วิธีร็อคเวลล์ (Rockwell) เพราะสามารถอ่านค่าความแข็งจากเครื่องได้ทันที การวัดค่าความแข็งแบบนี้จะใช้ความลึกของรอยบุ๋มที่เกิดจากการกดของหัวกด การปฏิบัติงานของเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์แสดงได้ดัง รูป 1.6 และความแข็งร็อคเวลล์บางสเกลแสดงในตาราง 1.2



รูป 1.6 การปฏิบัติงานของเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์

ตาราง 1.2 ค่าความแข็งร็อคเวลล์บางสเกล

Rockwell Hardness Scale	Minor Load (Kg)	Major Load (Kg)	Indenter Diameter	
			(in)	(cm)
R	10	60	0.5000+0.0001	1.27000+0.00025
L	10	60	0.2500+0.0001	0.63500+0.00025
M	10	100	0.2500+0.0001	0.63500+0.00025
E	10	60	0.1250+0.0001	0.31750+0.00025
K	10	100	0.1250+0.0001	0.31750+0.00025

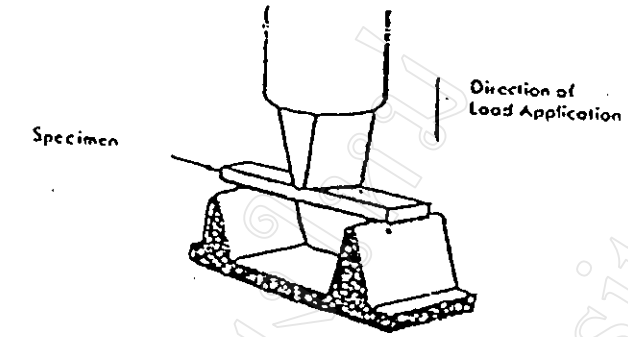
สมการสำหรับคำนวณค่าความแข็งร็อคเวลล์ เป็นดังนี้

$$\text{ค่าความแข็งร็อคเวลล์} = 100 - e/0.002$$

เมื่อ e คือความลึกของรอยบุ๋มของชิ้นงานเมื่อทำการทดสอบ ในหน่วยมิลลิเมตร

1.3.3 ความเค้นการโค้งงอ (Flexural Stress) [3, 21]

สมบัติเกี่ยวกับความทนต่อแรงกดให้เกิดการโค้งงอ ทดสอบได้ตามมาตรฐาน ASTM D790, BS 2782 วิธี 302D และ ISO R178 ปกติใช้ชิ้นงานขนาด 1/8 x 1/2 x 5 นิ้ว อาจมีการใช้แผ่นพลาสติกที่มีความหนาขนาด 1/16 นิ้วก็ได้ วิธีการทดสอบทำโดยวางชิ้นงานบนที่ตั้งสองอันให้แรงกดที่ศูนย์กลางชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วเฉพาะค่าหนึ่ง ความทนแรงโค้งงอหาได้จากค่าของแรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกหักต่อพื้นที่ เช่น หน่วยเป็น psi เป็นต้น การติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนแรงโค้งงอแสดงดังรูป 1.7



รูป 1.7 การติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนแรงโค้งงอ

สำหรับเทอร์มอพลาสติกส่วนมากจะไม่เกิดการแตกหักตามการทดสอบนี้แม้ว่าจะเกิดการโค้งงออย่างมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณความทนแรงโค้งงอได้ตามปกติ มีการคำนวณโดยใช้ค่าความเค้นที่ทำให้เกิดความเครียด 5% แทน นั่นคือ ค่าแรงต่อพื้นที่ที่ทำให้เกิดการยืดพื้นผิวภายนอกออก 5%

1.3.4 **ความทนแรงกระแทก** (Impact Strength) [3, 21]

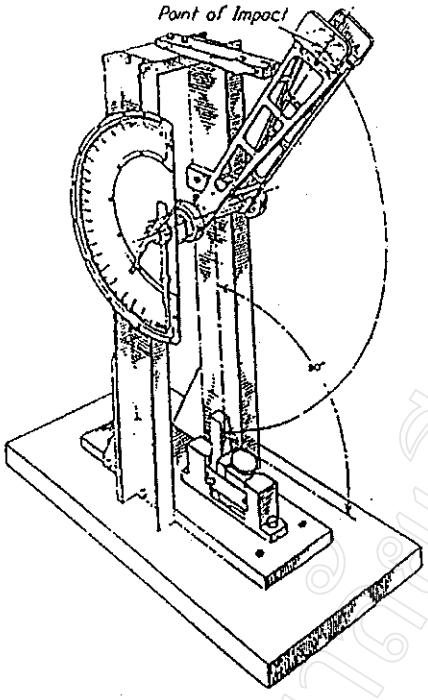
ความทนแรงกระแทกเป็นการวัดความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของวัสดุภายใต้การกระแทก

งานวิจัยนี้ทดสอบแบบอิซอดโดยทดสอบตาม ASTM D256 ชิ้นงานตามปกติใช้ขนาด 0.125 x 0.5 x 2.5 นิ้ว สามารถใช้ความหนาอื่นๆ ได้ (จนถึง 0.5 นิ้ว) มีการทำรอยบาก (notch) ตรงกลาง ยึดชิ้นงานที่ด้านฐานของเครื่องทดสอบให้ตั้งขึ้นและรอยบากหันเข้าหาทิศทางของการกระแทก ปล่อยตุ้มน้ำหนักเหวี่ยงกระแทก

ความลึกของรอยบาก ความคมของรอยบาก และรัศมีความโค้งตรงปลายรอยบากมีผลต่อค่าความทนแรงกระแทก รอยบากที่จัดว่าเป็นรอยบากคม (sharp notch) จะมีรัศมีความโค้งตรงปลายรอยบาก 0.25 มม. ส่วนรอยบากที่อ (blunt notch) มีรัศมีความโค้ง 2 มม.

อุณหภูมิมีผลสำคัญต่อความทนแรงกระแทกของพลาสติก ซึ่งสามารถเปลี่ยนพฤติกรรมจากเหนียวเป็นเปราะได้เมื่อลดอุณหภูมิลง

รูป 1.8 แสดงเครื่องมือการทดสอบความทนแรงกระแทกและการติดตั้งชิ้นงานบนเครื่องมือก่อนทดสอบ



ก ข

รูป 1.8 ก. เครื่องมือการทดสอบความทนแรงกระแทก
ข. การติดตั้งชิ้นงานบนเครื่องมือก่อนทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University