



3.1 วัสดุฐานฟันปลอม (Denture Base Material)

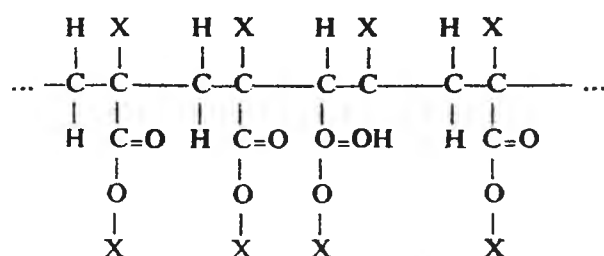
ฐานฟันปลอม คือ ส่วนประกอบของฟันปลอมซึ่งอยู่ติดกับเนื้อเยื่อแต่ไม่รวมถึงตัวฟัน[18] ในอดีตมีการนำวัสดุหลายชนิดมาทำเป็นฐานฟันปลอมแต่มีข้อเสียมากเช่น ยางนึ่ง (Valcanised rubber) มีข้อเสียคือ มีรูพรุน ดูดน้ำลาย เป็นที่อาศัยของแบคทีเรีย มีกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีน้ำหนักมากและมีสีค่อนข้างทึบ มีการขยายและหดตัวมาก สำหรับปัญหาของแบก้าไลต์คือ เปราะมากและยุ่งยากในกระบวนการผลิต ต้องคอยไล่น้ำซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา ส่วนในส่อนดูดน้ำมากทำให้เกิดการพองและอ่อนตัว พอลิสไตรีนก็ไม่นิยมเพราะเปลี่ยนมิติมาก ปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้อะคริลิกเรซิน ได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethylmethacrylate, PMMA)

ลักษณะที่ต้องการทั่วไปของวัสดุที่ใช้ทำฐานฟันปลอมคือจะต้องเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปากและต้องทนต่อสภาวะกรดต่างในช่องปาก ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะแก้ว (glass transition temperature , T_g) ต้องมีค่าสูงพอต่อการยุบตัวและทนต่อการบิดตัวระหว่างอุณหภูมิในช่วง 32-37 °C และอาจสูงถึง 70 °C หากต้องสัมผัสกับของร้อน ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ต้องสูงพอเพื่อรับความรู้สึกร้อน-เย็นได้ นอกจากนี้ยังต้องมีความแข็งแรงสูง ทนต่อการกัดกร่อน มีความทนแรงกระแทก (Impact Strength) ไม่เป็นพิษและระคายเคืองต่อผู้ป่วย ในเชิงพาณิชย์วัสดุนั้น ๆ ต้องมีราคาไม่แพง ขึ้นรูปได้ง่าย และสามารถซ่อมแซมได้ในกรณีเกิดความเสียหายขึ้น

การขึ้นรูปฐานฟันปลอมทำได้โดยใช้แว็กซ์ (Wax) จำลองแบบฐานฟันปลอมของคนไข้เพื่อเป็นชิ้นงานต้นแบบ แล้วนำแบบที่ได้ไปทำแม่แบบปูน โดยนำปูนปาสเตอร์มาหล่อรอบชิ้นงานต้นแบบแล้วนำไปให้ความร้อนโดยการต้มไฉ้แว็กซ์ออก จะได้ช่องว่างในแม่แบบปูนนำผงพอลิเมทิลเมทาคริเลตผสมกับเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ที่เป็นของเหลวจนมีลักษณะคล้ายดินน้ำมันซึ่งเรียกว่าโด (dough) นำโดที่ได้ไปใส่ในแม่แบบปูนที่เตรียมไว้ แล้วนำไปทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเป็นพอลิเมอร์ (Polymerization) เมื่อแกะแม่แบบปูนออกก็จะได้ฐานฟันปลอมที่ทำจากพอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) ออกมา

3.2 พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethylmethacrylate, PMMA) [19]

อะคริลิกเรซินเป็นอนุพันธ์ของเอทิลีน และมีกลุ่มไวนิล (Vinyl group) อยู่ในโครงสร้าง อนุกรมของอะคริลิกเรซินที่เกี่ยวข้องกับงานทางทันตกรรมมีอย่างน้อย 2 อนุกรมคือ อนุกรมที่ได้จากกรดอะคริลิก ($\text{CH}_2 = \text{CHCOOH}$) กับอนุกรมจากกรดเมทาคริลิก ($\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$) สารประกอบของอนุกรมทั้งสองได้จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบรวมตัว แม้สารเหล่านี้จะแข็งและใสแต่ดูน้ำมาก ซึ่งทำให้อ่อนและลดกำลังความแข็งแรงลงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในปาก แต่เอสเทอร์ของกรดเหล่านี้ใสและดูน้ำน้อยมากจึงนำมาใช้ในปากเช่น พอลิเมทาคริเลต ซึ่งมีสูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3.1 เมื่อ X แทนเอสเทอร์ อนุมูลอินทรีย์หรืออินทรีย์ของเอสเทอร์ ซึ่งทำให้เกิดอะคริลิกเรซินชนิดต่าง ๆ มากมาย แต่ที่นิยมใช้ทำประดิษฐ์ฐานฟันปลอมได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethylmethacrylate) คือ X เป็น CH_3



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของพอลิเมทาคริเลต

เมทิลเมทาคริเลตมีลักษณะใส มีจุดหลอมเหลว $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-54.4\text{ }^{\circ}\text{F}$) จุดเดือด $100.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($213\text{ }^{\circ}\text{F}$) ความหนาแน่น 0.945 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ($68\text{ }^{\circ}\text{F}$) และความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาเกิดเป็นพอลิเมอร์ (heat of polymerization) 12.9 กิโลกรัม-แคลอรีต่อโมลและเป็นตัวละลายสารอินทรีย์ได้ดีมาก

เมทิลเมทาคริเลตโมเลกุลเชิงเดี่ยวหรือเรียกว่ามอนอเมอร์ (monomer) สามารถรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่หรือเรียกว่าพอลิเมอร์ (macromolecule of polymer) ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัวซึ่งเกิดจากตัวกระตุ้นซึ่งอาจเป็นความร้อนจากแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือสารอินทรีย์ไปกระตุ้นหรือทำปฏิกิริยากับตัวเริ่มต้นให้ปล่อยอนุมูลอิสระออกมา อนุมูลอิสระนี้ทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนต่อคาร์บอนของเมทิลเมทาคริเลตเชิงเดี่ยวกลายเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลต

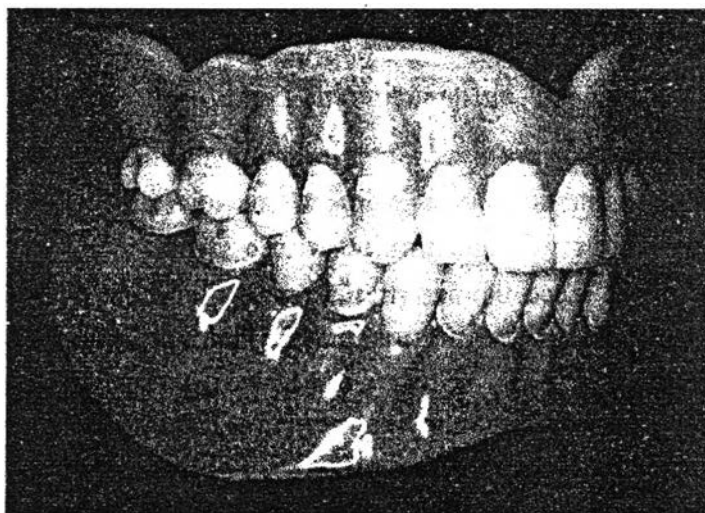
พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีค่ากำลังความแข็งแรงสูงสุดในกลุ่มเดียวกัน อ่อนตัวที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส (257°F) ซึ่งเหมาะสำหรับอัดในเบ้า ถ้าทำให้ร้อนถึง อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส (842°F) พอลิเมทิลเมทาคริเลตจะเกิดการแยกตัวของสายโซ่โมเลกุล (depolymerization) ได้เมทิลเมทาคริเลตเชิงเดี่ยวหรือมอนอเมอร์เดิมอีก

จากความรู้เหล่านี้พอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ถูกนำมาประยุกต์ประดิษฐ์ฐานของฟันปลอม อัดเข้าในเครื่องอัดแบบ (compression mold) ที่ทำด้วยโลหะพบว่าวิธีการนี้ยุ่งยากและค่าใช้จ่าย สูงได้มีผู้คิดดัดแปลงเพื่อให้ทันตแพทย์สามารถประดิษฐ์ได้ด้วยตนเองด้วยวิธีการง่าย ๆ ในห้อง ปฏิบัติการไม่ต้องใช้เครื่องมือยุ่งยากและราคาสูง หลักการนี้คือทำให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตอ่อนตัว ด้วยเมทิลเมทาคริเลตหรือมอนอเมอร์ โดยอาศัยคุณสมบัติเป็นสารละลายของเมทิลเมทาคริเลตซึ่งเป็นของเหลวละลายพอลิเมทิลเมทาคริเลต (dead polymer) ให้นุ่มตัวเสียก่อน แล้วจึงอัดในเบ้า และเมทิลเมทาคริเลตที่เหลือหลังจากละลายพอลิเมทิลเมทาคริเลตเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขึ้นกับอนุมูลอิสระจากเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ได้เป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตเช่นผลทำให้เกิดสายโซ่ ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเช่นเพิ่มขึ้นได้พอลิเมอร์ขนาดใหญ่ยิ่งขึ้นเมื่อรวมกับพอลิเมทิลเมทาคริ เลตเดิม วิธีดังกล่าวเรียกว่าพอลิเมอร์โดของพลาสติกสำหรับฐานฟันปลอม (polymer-dough of plastic mould for denture) ข้อดีของวิธีนี้ทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้นและหดตัวน้อยลง

วิธีผลิตทำได้โดยการผสมเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์กับพอลิเมทิลเมทาคริเลตเข้าด้วยกัน แล้วต้มสารทั้งสองในของเหลวชนิดที่ไม่เกิดพอลิเมอไรเซชัน (non polymerization liquid) และคน ให้ทั่วขณะร้อนได้พอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ที่ยังไม่แตกตัวรวมเป็นเม็ดเล็ก ๆ (beads) เม็ดเล็ก ๆ เหล่านี้เองที่ทันตแพทย์นำไปละลายกับมอนอเมอร์จนถึงขั้นอ่อนนุ่มก่อนอัด ในเบ้า

3.3 กระบวนการผลิตฐานฟันปลอม ชนิดบ่มด้วยความร้อน (heat-curing denture–base acrylic resin)

ทำการเตรียมชิ้นงานเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่บ่มด้วยความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ความร้อนที่ใช้อาจเป็นน้ำร้อนหรือ แสงอัลตราไวโอเลต แต่จะต้องไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส (158°F) เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์จะสะสมอยู่ในเนื้อชิ้นงาน และมีค่ามากกว่าจุดเดือดของเมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ ซึ่งทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในชิ้นงานได้ [19]



รูปที่ 3.2 แสดงฐานของฟันปลอมที่ทำด้วยอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อนที่มีลักษณะสมบูรณ์

3.3.1 องค์ประกอบ ประกอบด้วยส่วนผงและส่วนเหลว ดังนี้

ก. ส่วนผง

- (ก) พอลิเมอร์ ลักษณะเป็นเม็ดละเอียดของพอลิเมทิลเมทาคริเลต ขนาด 50-250 ไมครอน อาจมีโคพอลิเมอร์
- (ข) ตัวเริ่มต้น ได้แก่ เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์
- (ค) รงควัตถุ สีที่خابตามผิวของเม็ดพอลิเมอร์ ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์
- (ง) อื่น ๆ ได้แก่ สีทึบแสง (opacifier) ตัวทำให้นุ่ม (plasticizer) และเส้นใยอินทรีย์ (organic fiber)

ข. ส่วนเหลว

- (ก) มอนอเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลต เป็นของเหลวที่ไม่เสถียร จึงใส่สารหักห้าม เช่น ไฮโดรควิโนน(hydroquinone) 0.006 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และบรรจุในขวดสีน้ำตาล เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เร็วขึ้นขณะเก็บ
- (ข) ผสมเอทิลอะคริเลต (ethyl acrylate) ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต เพื่อให้เป็นโคพอลิเมอร์หรือเป็นโคพอลิเมอร์อื่น
- (ค) สารเชื่อมไขว้ เพื่อให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ 2 เส้นเชื่อมโยงกัน ทำให้มีกำลังความแข็งแรงขึ้น และทนต่อแรงกระแทก เช่น เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต(ethylene glycol dimethacrylate)

3.3.2 สมบัติของฐานฟันปลอมพอลิเมทิลเมทาคริเลต ได้แก่ สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ

ก. สมบัติเชิงกล

- (ก) ความถ่วงจำเพาะ 1.2
- (ข) น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์หนักตั้งแต่ 500 หน่วยขึ้นไป ส่วนของมอนอเมอร์เพียง 100 หน่วย ส่วนพอลิเมอร์หลังบ่มแล้วมีค่าตั้งแต่ 10,000 ขึ้นไป
- (ค) กำลังแรงดึง 8,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (597.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 58.6 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)
- (ง) มอดูลัสยืดหยุ่น 350,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (24,605 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 2,413.3 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)
- (จ) กำลังกระแทกเพียง 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (4.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 0.41 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร) ซึ่งต่ำมากจึงเปราะ
- (ฉ) ความแข็งผิว KHN 18-20 ซึ่งต่ำมาก จึงสึกหรองง่าย

ข. สมบัติทางกายภาพ

- (ก) อัตราขยายตัวเมื่อร้อน 81×10^{-6} / องศาเซลเซียส
- (ข) การนำความร้อนต่ำมาก
- (ค) ละลายน้ำเพียง 0.028 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรใน 24 ชั่วโมง

- (ง) การดูดน้ำ (sorption) โดยเกิดการดูดซับ (adsorption) ที่พื้นผิว และการดูดซึม (absorption) เข้าไปในเนื้อชิ้นงานทำให้น้ำหนักเพิ่มอีก 0.5 เปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักเดิมเมื่อแช่นาน 7 วัน
- (จ) ปริมาตร-การหดตัว เกิด 2 ระยะคือ ระยะแรกเกิดเมื่อผสมส่วนผงกับ ส่วนเหลวจนถึงระยะอ่อนนุ่มก่อนอัดเรียกว่าการหดตัวเชิงปริมาตรของ ระยะอ่อนนุ่ม (volume shrinkage of dough stage) หดตัว 7 เปอร์เซ็นต์ไม่มีผลกับมิติฐานฟันปลอม ระยะสองเกิดหดตัวระหว่างเชิง ปฏิบัติการ (processing) ขณะที่บ่มและทำให้เย็นลงหดตัวประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อมิติของฐานฟันปลอม
- (ฉ) ความหนาแน่นของมอนอเมอร์ 0.94 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และของ พอลิเมทิลเมทาคริเลต 1.19 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่น ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการหดตัวขณะเกิดพอลิ เมอร์ไรเซชัน (polymerization shrinkage)ซึ่งมีค่า 21 เปอร์เซ็นต์
- (ช) ในการเชื่อมฐานฟันปลอมที่แตก กำล้างพื้นที่ระหว่างรอยต่อที่ใช้พอลิเม ทิลเมทาคริเลตเป็นตัวเชื่อมลดลง 25 เปอร์เซ็นต์จากเดิม
- (ฅ) ย้อมด้วยรงควัตถุได้ เช่น ไทเทเนียมออกไซด์แคดเมียม-แดง
- (ฉ) อากาศคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในปาก เกิดจากมอนอเมอร์ที่ตกค้างหลังบ่ม แล้วมีประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ถ้าพอลิเมทิลเมทาคริเลตยิ่งหนา มอนอ เมอร์ที่ตกค้างยิ่งมาก

3.3.3 วิธีจัด

ก. การเตรียมแบบหล่อ

- (ก) ฝังแบบจำลองที่มีกระสวยซี่ฝังกับพื้นติดอยู่ลงในพลาสติกครึ่งล่างด้วย ปูนพลาสติกเมื่อปูนพลาสติกแข็งตัว ทาสารคั่นกลางที่ผิวของปูน พลาสติกทุกส่วน
- (ข) สารคั่นกลางอาจเป็นวาสลีนหรือน้ำสบู่ 15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันไม่ให้ ปูนพลาสติกต่อปูนพลาสติกติดกัน เสร็จแล้วเทปูนพลาสติกหลัง จากใส่พลาสติกครึ่งบน(บางเทคนิคเทปูนพลาสติก 2 ชั้น) โดยปริมาณ องค์ประกอบของสารคั่นกลางแสดงในตารางที่ 3.1
- (ค) เมื่อปูนพลาสติกแข็งตัว ไล่กระสวยซี่ฝังออกด้วยน้ำอุ่น

(ง) ทาสารคั่นกลางเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำจากปูนปลาสเตอร์ซึ่มสัมผัสอะคริลิก และเพื่อไม่ให้อะคริลิกแทรกในเนื้อของปูนปลาสเตอร์ ซึ่งจะแยกออกยากและเสียเวลามาก

ในอดีตใช้แผ่นตะกั่วบาง ๆ (tin foil) แต่ปัจจุบันใช้อัลจิเนตที่ละลายน้ำแทน (water soluble alginate) ทำเป็นสารละลาย

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังทาด้วยสารคั่นกลางนี้บนปูนปลาสเตอร์ได้แคลเซียมอัลจิเนต เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่ไม่ละลายน้ำ

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารคั่นกลาง

องค์ประกอบ	ปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ไซเดียมอัลจิเนต	2.0
ไดไซเดียมฟอสเฟต	0.7
กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก	0.3
กลีเซอริน	4.0
แอลกอฮอล์	7.0
น้ำ	83.0

ข. อัตราส่วนมอนอเมอร์ต่อพอลิเมอร์ หรือส่วนเหลวต่อส่วนผง ใช้ 1:3 โดยปริมาตร หรือ 1:2.5 โดยน้ำหนัก ควรตรวจหรือชั่งให้ได้อัตราส่วนที่กำหนด เพราะถ้า

(ก) ใช้พอลิเมอร์มากเกินไป พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายจะตกค้างเป็นเม็ดเล็ก ๆ ในเนื้อของพอลิเมอร์หลังบ่ม

(ข) ถ้าใช้มอนอเมอร์มากเกินไป พอลิเมอร์ที่ได้จะหดตัวมากขึ้น

ค. การละลายของพอลิเมอร์ ควรใช้ภาชนะที่ทำด้วยแก้วหรือพอร์สเลนที่ปากกว้างและมีฝาปิด เพื่อป้องกันไม่พอลิเมอร์ติดภาชนะ และมอนอเมอร์ระเหยเร็วเกินไป พอลิเมอร์ละลายในมอนอเมอร์ตามขั้นตอน ดังนี้

(ก) ชั้นเป็นเม็ดทราย (wet sand-like stage) เป็นระยะที่พอลิเมอร์เริ่มผสมกับมอนอเมอร์แต่ยังไม่ละลาย ยังเห็นเป็นเม็ดคล้ายทรายอยู่

(ข) เป็นเส้นใย (stringy stage) เป็นระยะที่มอนอเมอร์เริ่มละลายพอลิเมอร์ โดยผิวชั้นนอกของเม็ดพอลิเมอร์ถูกเจาะ แล้วละลายในมอนอเมอร์ ลักษณะเป็นเส้นใยและเหนียว

(ค) ชั้นอ่อนนุ่ม (dough stage) เป็นระยะที่พอลิเมอร์ละลายในมอนอเมอร์กลายเป็นเนื้อเดียว จำนวนมอนอเมอร์เหลือเพียงเล็กน้อย ชั้นนี้มีลักษณะอ่อนนุ่ม เป็นก้อนได้ ไม่ติดภาชนะหรือมือ ไม่มีเส้นใย และแผ่ตามชอกตามมุมได้ เป็นขั้นที่เหมาะสมสำหรับอัดลงแบบหล่อ ไม่เกิดรูพรุน

เวลาดังแต่เริ่มผสมพอลิเมอร์กับมอนอเมอร์จนกระทั่งถึงระยะอ่อนนุ่มนี้ เรียกว่า ระยะเวลาอัด (Dough time)

ระยะเวลาอัดอาจเร็วหรือช้า ย่อมแล้วแต่

1. ขนาดของพอลิเมอร์ ถ้าขนาดเล็กจะละลายได้เร็ว ระยะเวลาอัดก็เร็ว
2. น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์สูง ละลายตัวช้า ระยะเวลาอัดช้า
3. ถ้าใส่สารทำให้นุ่ม ระยะเวลาอัดช้าลง
4. อุณหภูมิสูงจะเร่งให้ระยะเวลาอัดเร็วขึ้น
5. อัตราส่วนของพอลิเมอร์มากกว่าอัตราส่วนปกติ ทำให้ระยะเวลาอัดเร็วขึ้น

ระยะเวลาอัดไม่ต่ำกว่า 5 นาที (ควรดูคำแนะนำบนฉลากและปฏิบัติตามคำแนะนำนั้น ๆ ซึ่งอาจมีระยะเวลาแตกต่างออกไป

(ง) ชั้นคล้ายยาง (Rubber-like stage) เป็นขั้นสุดท้ายที่มีมอนอเมอร์เหลือน้อยที่สุด ลักษณะคล้ายยาง ยืดหยุ่นได้ ไม่สามารถแผ่ออกได้ ไม่เหมาะสำหรับอัด

ง. การอัด (Packing) ต้องการให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตไหลเต็มแบบหล่อด้วยแรงอัด

หลักเกณฑ์ของการอัด

- (ก) พอลิเมอร์จะต้องอยู่ในชั้นอ่อนนุ่ม
- (ข) จะมีปริมาณมากกว่าเบ้าเล็กน้อย
- (ค) แรงอัดจะต้องสูงพอที่จะให้พอลิเมอร์ไหลถึงชอกและมุมเล็ก ๆ ได้ และจะต้องให้พอลิเมอร์นั้นแน่น (สังเกตได้ เนื้อพอลิเมอร์เป็นเงามัน ไม่มีจุดเล็กเป็นแฉกที่ผิวเมื่อแยกแบบพิมพ์ดู

เทคนิคการอัดมี 2 แบบ คือ แบบอัดระหว่างพลาสติกส่วนบนกับล่าง สามารถดูว่าอัดพอลิเมอร์เต็มแบบหล่อหรือไม่ (trial closure technic) กับแบบฉีดตามท่อ (injection technic) ซึ่งไม่สามารถแยกออกมาดูว่าเต็มแบบหล่อหรือไม่ เพียงอัดให้พอลิเมอร์เต็มท่ออัดเท่านั้น ข้อดีของแบบนี้คือไม่มีส่วนเกินของพอลิเมอร์ตามขอบของเดนเจอร์ แต่วิธีการยุ่งยาก

จ. วิธีบ่ม (Curing process) นิยาม การบ่ม (Curing) หมายถึง การเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นวัสดุที่ใช้งานได้ โดยการใช้ความร้อนหรือสารเคมี เรียกว่าตัวบ่ม (Curing agent) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสรีรเคมี (physiochemical change)

หลักการบ่มให้ความร้อนแยกอนุมูลอิสระจากเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ เพื่อทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เฉพาะที่เป็นตัวละลายเท่านั้นให้กลายเป็นพอลิเมอร์ โดยให้เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์แยกตัว ณ.อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (158°F) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพอลิเมอไรซ์เมทิลเมทาคริเลต เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรูพรุน

ความร้อนที่ใช้บ่ม อาจเป็นน้ำร้อน แสงอัลตราไวโอเลต เตอบอบ และอื่น ๆ

วิธีที่สะดวกและประหยัดได้แก่ บ่มในน้ำอุ่น (Water bath) แต่ต้องควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้ถูกต้องมี 2 วิธี

- (ก) บ่มระยะสั้นในน้ำอุ่น 70 องศาเซลเซียส (158°F) ระหว่าง 90 – 120 นาที เพื่อให้เกิดพอลิเมอไรซ์ แล้วเร่งให้น้ำนั้นเดือดอีก 30 นาที เพื่อให้พอลิเมอไรเซชันสมบูรณ์และไล่มอนอเมอร์ที่เหลือออก วิธีนี้เหมาะสำหรับงานเร่งด่วนและฐานรองพื้นปลอมที่มีฐานบาง ๆ
- (ข) บ่มระยะยาวในน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (158°F) ต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 9 ชั่วโมง วิธีนี้เหมาะสำหรับฐานพื้นปลอมที่มีฐานหนา

การบ่มพอลิเมทิลเมทาคริเลต ในอุณหภูมิต่ำ ๆ ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าการบ่มในอุณหภูมิสูง ๆ เพราะปริมาณของมอนอเมอร์มีมากกว่าในอุณหภูมิสูง

ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้บ่มพอลิเมทิลเมทาคริเลตในระยะเริ่มแรกสูงกว่าอุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส (180 °F) ถ้าเกินระดับของอุณหภูมินี้ ความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากความร้อนของน้ำในระดับอุณหภูมินี้รวมกับอุณหภูมิที่ความร้อนคายออกมาระหว่างปฏิกิริยาสูงเกินกว่าจุดเดือดของมอนอเมอร์ซึ่งมีค่า 100.8 องศาเซลเซียส (213.4 °F) ทำให้มอนอเมอร์นั้นเดือดและระเหยเร็วเกินไป อาจเป็นเหตุเกิดรูพรุนได้

อุณหภูมิของน้ำที่ใช้บ่มรวมกับอุณหภูมิที่ความร้อนคายออกระหว่างปฏิกิริยา ทำให้ อุณหภูมิพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นนี้ เรียกว่า อุณหภูมิสิข (peak temperature)

จ. การทำให้แบบพิมพ์ให้เย็น (Cooling) หลังบ่มตามกำหนดเวลา ควรปล่อยให้ แบบพิมพ์เย็นลงอย่างช้า ๆ ในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ แล้วจึงแยกฐานรองพื้นออกจากแบบพิมพ์ ถ้ารีบทำให้เย็นลงรวดเร็ว เช่น จุ่มน้ำเย็นทันที ฐานรองพื้นนั้นจะหดตัวและบิดเบี้ยว เพราะการหดตัวของพลาสติกกับอะคริลิกไม่เท่ากัน

3.3.4 สิ่งบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น (Defects)

อาจมีสิ่งบกพร่องได้หลายอย่าง เช่น

ก. รูพรุน (Porosity) เกิดทั้งที่ผิวและในเนื้อของอะคริลิก

(ก) รูพรุนเฉพาะที่ (Localized porosity) พบที่ผิวเฉพาะแห่ง เกิดจากพอลิเมอร์ไม่ถึงระยะอ่อนนุ่มทุกส่วนแล้วรีบอัด ส่วนที่มีมอนอเมอร์ตกค้างมากจะระเหย ทำให้บริเวณนั้นไม่แน่นเมื่อบ่มจึงเกิดรูพรุน ลักษณะของไม่สม่ำเสมอ แก้โดยเพิ่มพอลิเมอร์แล้วอัดใหม่

(ข) รูพรุนภายในเนื้อ (Internal porosity) พบด้านใกล้ลิ้นหรือเพดานของเดนเจอร์ที่หนา ๆ เกิดจากมอนอเมอร์บริเวณนั้นระบายออกไม่ทัน เมื่อบ่มด้วยอุณหภูมิสูงทันทีที่เริ่มบ่ม เลยกลายเป็นก๊าซอยู่ภายในเนื้อ ลักษณะก้อนกลมโต วิธีแก้ บ่มด้วยความร้อนต่ำและช้า

(ค) รูพรุนเกิดจากการหดตัว (Shrinkage porosity) พบทั้งที่ผิวและเนื้อ เกิดจากแรงอัดไม่พอ หรือปริมาณพอลิเมอร์ไม่เต็มเบ้า หรือยังไม่ถึงระยะอ่อนนุ่ม ทำให้ไม่แน่นหลังพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดหดตัว ยิ่งทำให้ปริมาณพอลิเมอร์น้อยลงอีก จึงเกิดรูพรุน ลักษณะรูพรุนขนาดเล็ก วิธีแก้ เพิ่มปริมาณพอลิเมอร์ให้มากกว่าเบ้า อัดด้วยแรงอัดที่สูงพอทำให้แน่น

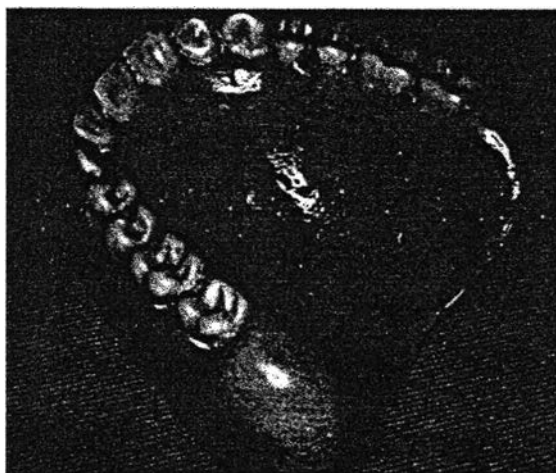
ข. การบิดเบี้ยว (Warpage) ทำให้มิติของฐานพิมพ์เปลี่ยนจากเดิม เกิดจากการคายหน่วยแรงที่ตกค้างภายในเนื้อของอะคริลิกสาเหตุอาจเกิดได้จาก

(ก) การขยายตัวและหดตัวระหว่างพลาสติกกับอะคริลิกไม่เท่ากันขณะบ่ม

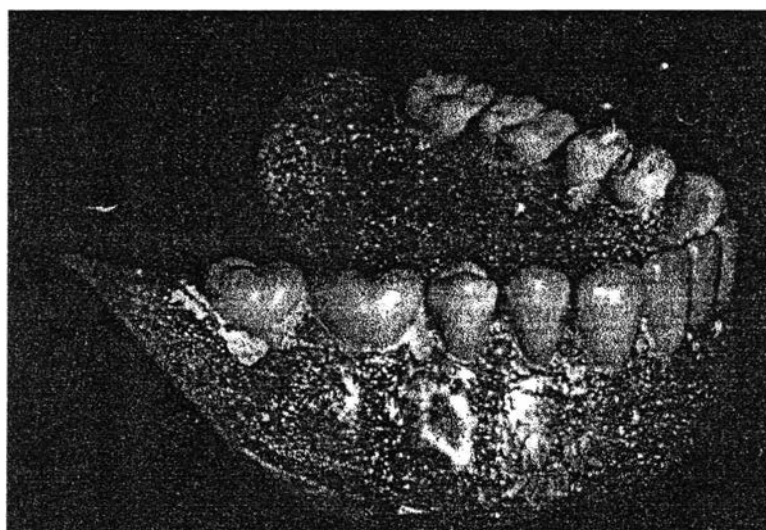
(ข) การหดตัวขณะพอลิเมอร์ไรเซชัน

(ค) แรงที่อัดให้อะคริลิกสู่เบ้ายังตกค้างอยู่ และพยายามคายตัวออก

- (ง) ความหนาของฐานฟันปลอมที่มีความหนาไม่เท่ากัน การขยายตัวไม่เท่ากัน
- ค. รอยร้าว (Crazing) ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของฐานฟันปลอม
- (ก) ความร้อนที่เสียดสีระหว่างขัด
- (ข) การขยายตัวของอะคริลิกกับโลหะหรือฟันพอร์สเลนไม่เท่ากันขณะทำให้เย็น



รูปที่ 3.3 รูปทางด้านเพดานของฐานฟันปลอม



รูปที่ 3.4 แสดงฐานฟันปลอมที่มีรูปทรงทั้งผิว

(ค) สัมผัสกับตัวละลาย เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และเมทิลเมทาคริเลต มอนอเมอร์

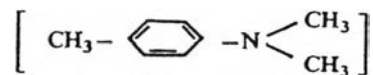
- ง. การแตกหัก (Fractures) มีโอกาสแตกได้ง่าย เพราะโดยธรรมชาติ อะคริลิก เปราะอยู่แล้ว ถ้ามีจุดอ่อนยิ่งแตกง่ายขึ้น โดยเฉพาะตรงรอยบากต่าง ๆ และ ส่วนโค้งมาก ๆ ของฐานเดนเจอร์

3.4 อะคริลิกชนิดบ่มได้เองสำหรับประดิษฐ์ฐานฟันปลอม (Self – curing denture base acrylic resin) [19]

3.4.1 ปฏิริยาเคมี

องค์ประกอบของอะคริลิกชนิดบ่มได้เองเหมือนกับชนิดบ่มด้วยความร้อน เว้นแต่ตัว กระตุ้นไม่เหมือนกัน กล่าวคือ อะคริลิกชนิดบ่มได้เองใช้สารเคมีแทนความร้อน

สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ กลุ่มอะไมน์ เช่น ไดเมทิล-พี-โทลูไดอิน (dimethyl – p-toluidine) โดย สูตรโครงสร้างไดเมทิล-พี-โทลูไดอิน แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สูตรโครงสร้างไดเมทิล-พี-โทลูไดอิน

หรือ p-toluene sulfonic acid ลงในมอนอเมอร์ ปฏิริยาเคมีระหว่างตัวกระตุ้นกับเบนโซ อิลเพอร์ออกไซด์ ได้อนุมูลอิสระ ซึ่งไปทำปฏิกิริยาห่วงโซ่ต่อไป เหมือนกับชนิดบ่มด้วยความร้อน

ส่วนการผสมและอัดของอะคริลิกชนิดบ่มได้เอง เหมือนกับชนิดบ่มด้วยความร้อน แต่บาง เทคนิคเมื่อผสมให้เหลวมากหน่อย แล้วเทหรือป้ายด้วยฟุ้งกันลงในเบ้าโดยไม่อัด หรืออัดในแบบ พิมพ์หรือได้ความกดดัน

3.4.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติ อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับชนิดบ่มได้เอง

- ก. ใช้ตัวกระตุ้นไม่เหมือนกัน
- ข. ระยะเวลาผสมของชนิดบ่มได้เองเร็วกว่าชนิดบ่มด้วยความร้อน
- ค. รูปทรงแบบของชนิดบ่มได้เองมีมากกว่า ถ้าใช้เทคนิคเทลงในแบบหล่อ ไม่ใช้แรงอัด
- ง. ชนิดบ่มได้เองมีมอดูลัสยืดหยุ่นมากกว่า คือ ค้างระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์ เพราะไม่ใช้ความร้อนไล่ส่วนที่เหลือ
- จ. กำลังความแข็งแรงต่ำกว่าชนิดบ่มด้วยความร้อนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์
- ฉ. การเปลี่ยนมิติน้อยกว่าชนิดบ่มด้วยความร้อน
- ช. เปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองแกมน้ำตาลของเทอเทียรีอะไมน์เมื่อใช้นาน ๆ

3.5 กลไกของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization mechanism) [16]

พอลิเมทิลเมทาคริเลต ที่บ่มด้วยความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันนั้น กลไกการเกิดเป็นแบบเรดิคัลเชนพอลิเมอไรเซชัน (Radical chain polymerization)

3.5.1 พอลิเมอไรเซชันชนิดนี้เกิดขึ้น 3 ขั้นตอน คือขั้นเริ่มต้น (initiation) ขั้นแผ่ขยายห่วงโซ่ (propagation) และขั้นสิ้นสุดของปฏิกิริยา (termination)

ขั้นเริ่มต้น เกิดปฏิกิริยา 2 ตอน ตอนแรกเกิดจากตัวกระตุ้น (activator) ทำปฏิกิริยากับตัวเริ่มต้น (I) ทำให้ตัวเริ่มต้นแยกตัวให้ initial fragment radical (R) หรือที่เรียกกันว่าอนุมูลอิสระ (free radical)



อนุมูลอิสระได้แก่ อินทรีย์โมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (unpaired electron)

ตัวอย่าง เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) แยกตัวได้อนุมูลอิสระด้วยความร้อนดังสมการ



ตอนที่สอง อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์โมเลกุลได้เรดิคัลมอนอเมอร์เริ่มต้น (initiated monomer radical) สรุปปฏิกิริยาตอนนี้ ได้ดังนี้



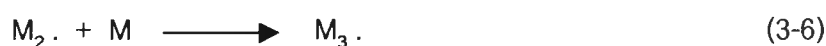
เมื่อ M เป็นมอนอเมอร์โมเลกุล และ $M_1 \cdot$ เป็น initiated monomer radical

ตัวอย่าง อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับไวนิลมอนอเมอร์โมเลกุล



ขั้นแพร่ขยายห่วงโซ่ ประกอบด้วยการรวมของ $M_1 \cdot$ กับมอนอเมอร์ที่เหลือจำนวนมาก อาจเป็นพันเป็นหมื่นเป็นแสนหรือมากกว่า ได้สายโซ่โมเลกุลที่ยาวขึ้นและมีอนุมูลอิสระอยู่ที่ปลายสายโซ่

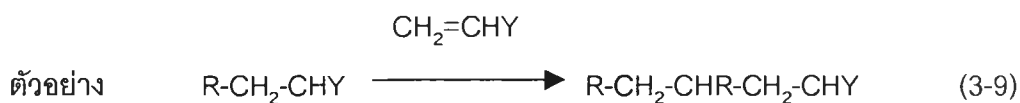
การรวมของมอนอเมอร์แต่ละหน่วยจะได้สายโซ่โมเลกุลใหม่ โครงสร้างเหมือนกับ $M_1 \cdot$ แต่ขนาดโตขึ้น



หรืออาจเขียนสูตรทั่วไป



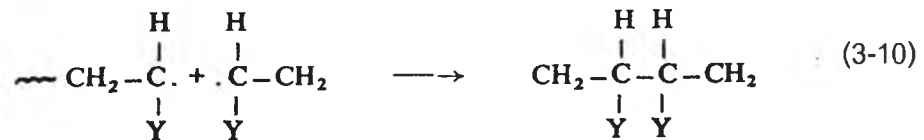
ปฏิกิริยาห่วงโซ่เกิดรวดเร็วมาก



ขั้นสิ้นสุดของปฏิกิริยา ของสายโซ่โมเลกุล 2 แบบ คือ

- แบบจับคู่หรือผสมกัน (coupling or combination) เกิดขึ้นโดยอนุมูลอิสระของสายโซ่โมเลกุล 2 สาย ทำปฏิกิริยากันเป็น 1 สายโซ่โมเลกุล

สูตรทั่วไป

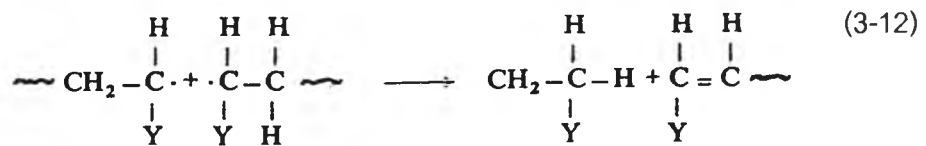


ปฏิกิริยาสิ้นสุดของสายโซ่โมเลกุล ส่วนมากเป็นแบบจับคู่

- แบบ disproportionation เกิดขึ้นโดยอนุมูลอิสระของไฮโดรเจนจากสายโซ่โมเลกุลที่เป็นอนุมูลอิสระย้ายไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของสายโซ่โมเลกุลอีกสายหนึ่ง

จากการรวมลักษณะนี้จะได้พอลิเมอร์โมเลกุล 2 พวก คือ ชนิดอิ่มตัว (saturated polymer molecule) กับชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polymer molecules)

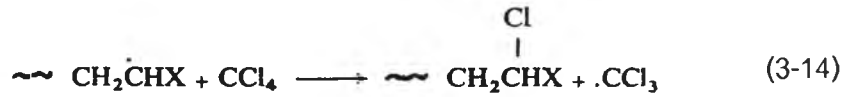
สูตรทั่วไป



นอกจากนั้นยังมีปฏิกิริยาอีกแบบหนึ่งเรียกว่า การย้ายสายโซ่ (chain transfer) ไปทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลที่กำลังแผ่ขยายหยุดโต

ปฏิกิริยาการย้ายสายโซ่โมเลกุล อาจเกิดจาก

1. ย้ายส่วนแอกทีฟเซนเตอร์ของเรดิคัลจากตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง



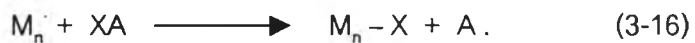
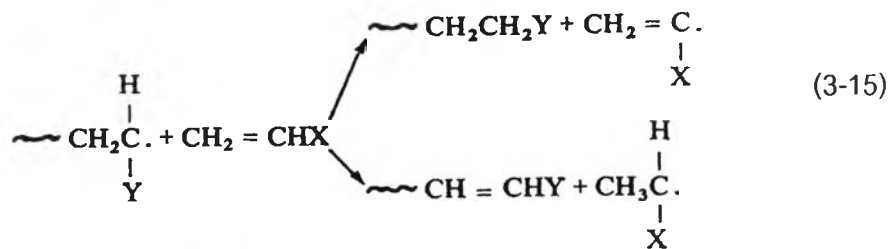
2. ย้ายอะตอมระหว่างสายโซ่ที่มีอนุมูลอิสระกับมอนอเมอร์ซึ่งอาจจะเกิดได้ 2 แบบ คือ

- ได้พอลิเมอร์ที่มีปลายสายโซ่ชนิดอิ่มตัว (saturated polymer chain)
- ได้พอลิเมอร์ที่มีปลายสายโซ่ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polymer chain)

สารที่ทำให้เกิดการย้ายสายโซ่เรียกว่า ตัวกระทำให้เกิดการย้ายสายโซ่ (chain transfer agent) เช่น มอนอเมอร์ตัวเริ่มต้นและสารละลาย

ตัวอย่าง ปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์สายโซ่กับตัวกระทำให้เกิดการย้ายสายโซ่ทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

สูตรทั่วไป



XA อาจเป็นมอนอเมอร์ตัวเริ่มต้น สารละลายหรือสารอื่น ๆ

X เป็นอะตอม(atom) หรือ species transferred

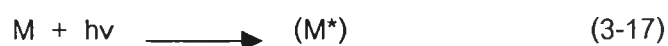
3.5.2 วิธีแยกอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระแยกได้โดยตัวกระตุ้น (activator) มีหลายวิธี เช่น ความร้อน โฟโตเคมีกัล (photochemical) และรีดอกซ์ (redox)

1. วิธีแยกด้วยความร้อน (thermal homolytic dissociation) คือ ใช้ความร้อนแยกอนุมูลอิสระจากตัวริเริ่มแล้วทำปฏิกิริยาขั้นต่อไป นิยมมากในทางอุตสาหกรรม

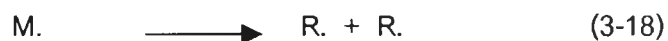
ตัวริเริ่มที่ใช้มีอยู่ไม่กี่ชนิด ได้แก่ สารประกอบที่มีโครงสร้างของ O-O, S-O และ N-O เช่น อะซิลเพอร์ออกไซด์ (acyl peroxides) แอลคิลเพอร์ออกไซด์ (alkyl peroxides) และไฮโดรเพอร์ออกไซด์

2. วิธีโฟโตเคมีกัล (photochemical initiation) ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตแผ่นบนมอนอเมอร์บริสุทธิ์หรือมอนอเมอร์ที่มีคะตะลิสต์ หรือโฟโตเซนซิไทเซอร์ (photosensitizer) มอนอเมอร์นั้นจะแยกอนุมูลอิสระออกมา

ตัวอย่าง โฟโตไลซิส (photolysis) ของมอนอเมอร์บริสุทธิ์บางชนิด ทำให้มอนอเมอร์นั้นอยู่ในสภาวะพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยา (excited state) คือ M.



แล้ว M. แยกเป็นอนุมูลอิสระ



3. วิธีไอออไนซ์ด้วยการแผ่รังสี (ionizing radiation) ใช้กัมมันตภาพรังสีแผ่นมอนอเมอร์ จะได้อนุมูลอิสระออกมาเช่นเดียวกับวิธีโฟโตเคมีกัลแต่สับสนกว่ากัมมันตภาพรังสีได้แก่ อิเล็กตรอน (β -rays) นิวตรอน (α -particles) รังสีเอกซ์ (X-rays)

4. วิธีรีดอกซ์ (redox initiation) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction reactions) สามารถให้แรดดิคัลในอุณหภูมิ 0-50 องศาเซลเซียส (32-122°F) เช่น เฟนตันส์รีเอเจนต์ (Fenton's reagent) เป็นปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์กับเฟอร์รัสไอออน (ferrous ion)

5. วิธีใช้ความร้อน (pure thermal initiation) มีมอนอเมอร์หลายชนิดที่เกิดพอลิเมอร์ได้เองเมื่อถูกกับความร้อนทั้ง ๆ ที่ไม่มีคะตะลิสต์เกิดจากเทอร์มัลไฮโมไลซิส (thermal homolysis) ของสิ่งเจือปนในมอนอเมอร์ ยกเว้นสไตรีนและเมทิลเมทาคริเลตที่เกิดได้เองทั้ง ๆ ที่ไม่มีสิ่งเจือปน

3.6 ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง (Composites Material) [20]

ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง (ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง) เป็นวัสดุที่เกิดจากการผสมกันระหว่างวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทำให้ได้วัสดุใหม่ที่มีคุณสมบัติดีขึ้นกว่าเดิม ในผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งส่วนใหญ่แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นเนื้อเดียวกันเรียกว่าเมตริกซ์ (matrix) อีกส่วนจะแทรกตัวอยู่ในเนื้อเมตริกซ์เรียกว่าส่วนเสริมแรง (reinforcement)

ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพบตามธรรมชาติมากมาย เช่น ไม้ เป็นวัสดุผสมของเซลลูโลส (cellulose) กับลิกนิน (lignin) ใยเซลลูโลสทนต่อแรงดึงและสามารถดัดโค้งได้ ลิกนินซึ่งค้ำกำลังแรงดึงต่ำทำหน้าที่เป็นซีเมนต์จับเส้นเซลลูโลสให้ติดแน่น ดังนั้นไม้มีกำลังแรงดึงสูงกว่าลิกนิน แต่ต่ำกว่าใยเซลลูโลส

ส่วนผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่ผลิตขึ้นมีมากมายเช่นเดียวกัน ตัวอย่างเส้นใยแก้ว (glass fiber) ผสมในพอลิเมอร์ ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่ได้มีความแข็งแรงกว่าพอลิเมอร์ แต่ด้อยกว่าใยแก้ว แผ่นเหล็กกับทองเหลืองเชื่อมติดกันใช้เป็นเทอร์โมสแตท (thermostat) เมื่อถูกความร้อนทองเหลืองซึ่งขยายตัวได้มากกว่าเหล็กดันให้เหล็กโค้ง ขณะเดียวกันเหล็กซึ่งมีกำลังความแข็งแรงสูงกว่าทองเหลืองก็ดันให้ทองเหลืองโค้ง ทำให้โลหะทั้งสองโค้งด้วยกัน

3.6.1 พอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยวัสดุอื่น (Reinforced polymers)

ก. เสริมด้วยเส้นใย ถ้าเส้นใยมีโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ที่เสริมด้วยเส้นใยนั้นจะมีความเหนียวมากขึ้น ไม่เปราะง่าย สามารถเปลี่ยนรูปถาวรได้โดยไม่หัก ถ้าเส้นใยนั้นมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ที่เสริมด้วยเส้นใยที่มีคุณสมบัติดังกล่าว จะมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าพอลิเมอร์ก่อนผสมเพราะเมื่อเกิดแรงมากกระทำบนพอลิเมอร์เสริมด้วยเส้นใย เส้นใยจะช่วยเฉลี่ยหน่วยการยืดหดให้กับพอลิเมอร์

ข. เสริมด้วยวัสดุอัดแทรกเฉื่อย (inert filler) ให้กระจายที่เนื้อของพอลิเมอร์ ทำให้กลสมบัติของพอลิเมอร์นั้นสูงกว่าพอลิเมอร์เดิมและกลสมบัติของพอลิเมอร์ที่เสริมด้วยวัสดุอัดแทรกเฉื่อยนี้จะมีค่าสูงเท่าใดขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุอัดแทรก เช่น

- (ก) ขนาดเล็ก มีพื้นผิวจับกับพอลิเมอร์ได้มากกว่าขนาดใหญ่
- (ข) พื้นผิวขรุขระของวัสดุอัดแทรกจับแน่นกว่าพื้นผิวเรียบหรือรูปทรงกลม
- (ค) คลุกวัสดุอัดแทรกด้วยสารยึดควบคู่ทำหน้าที่ยึดทั้งวัสดุอัดแทรกและพอลิเมอร์ ได้พอลิเมอร์เสริมที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าพอลิเมอร์ก่อนผสมหรือพอลิเมอร์ผสมวัสดุอัดแทรกแต่ไม่ได้ใช้ตัวประสานคู่ควบ (Coupling Agents)

- (ง) ปริมาณของวัสดุอัดแทรกที่ใช้ ถ้ามีปริมาณสูงย่อมมีคุณสมบัติสูงกว่าพอลิเมอร์ที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกต่ำ

3.6.2 การประยุกต์ใช้งานของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลต

ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสามารถนำมาใช้ในทางทันตกรรมคือนำมาใช้เป็นวัสดุทำฐานฟันปลอม เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีขึ้นและสามารถทนต่อสภาวะในช่องปากได้มากกว่า ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของฐานฟันปลอมได้นาน นอกจากนั้นยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ทางการแพทย์เช่นอวัยวะเทียมต่าง ๆ หรือใช้เป็นวัสดุเชื่อมต่อระหว่างกระดูกสะโพก ,กระดูกขาอ่อนหรือกระดูกเทียม เนื่องจากบริเวณดังกล่าวต้องใช้รับน้ำหนักของร่างกายมาก [2] ทั้งนี้จะสามารถช่วยลดความเจ็บป่วยของคนไข้ลงได้



3.7 ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่เสริมด้วยเส้นใยสั้น (Short Fiber composites) [21]

3.7.1 ข้อดีของการเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้น

1. ใช้ปริมาณเส้นใยน้อย ทำให้ราคาถูกลง
2. การขึ้นรูปทำได้สะดวกกว่า และใช้เวลาน้อยกว่าเส้นใยยาว
3. เส้นใยยาวมักมีปัญหาการแตกขาดของเส้นใยขณะขึ้นรูปหรือการฉีดเข้าแบบพิมพ์เนื่องจากเกิดแรงเฉือน

3.7.2 ความยาวของเส้นใย

ความยาวของเส้นใยที่เติมในเนื้อเมตริกซ์มีผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$\sigma_{1\tau} = (\tau l/D) v_f + \sigma_{\tau m} (1-v_f) \quad (3-19)$$

โดย $\sigma_{1\tau}$ = ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง

$\sigma_{\tau m}$ = ความแข็งแรงของเมตริกซ์

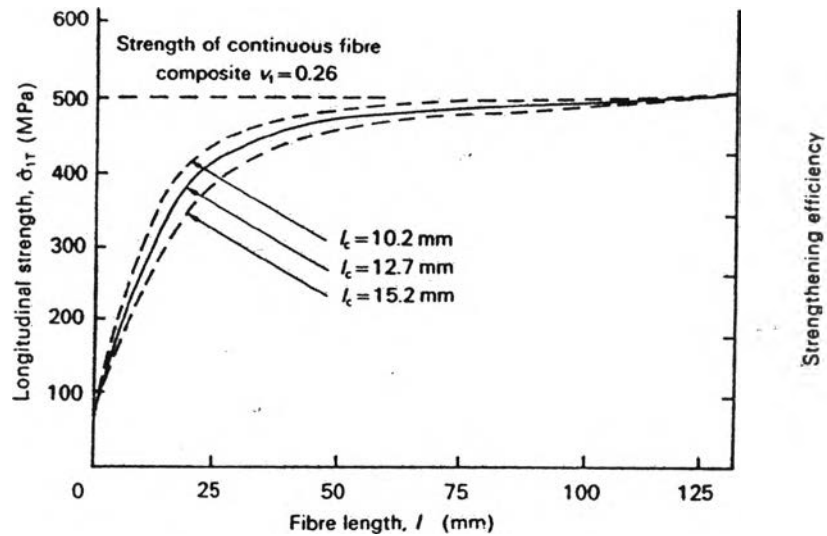
τ = แรงเฉือน

l = ความยาวของเส้นใย

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

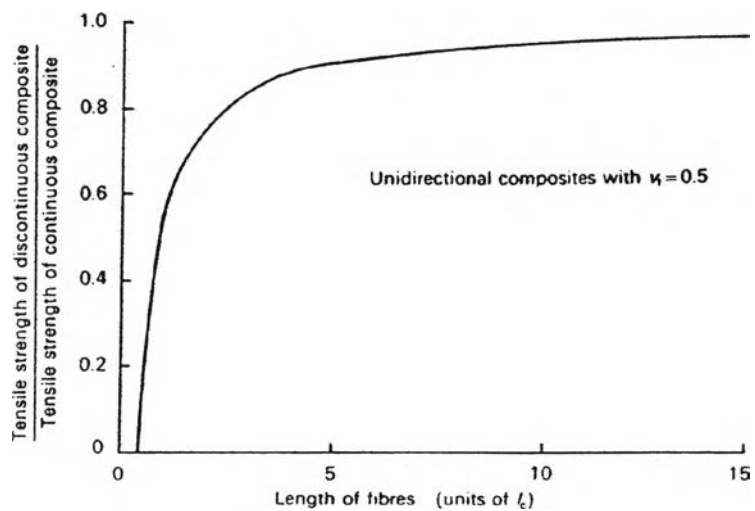
V_f = สัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใย

จากสมการจะเห็นว่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเมตริกซ์ ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย รวมทั้งสัดส่วนของเส้นใยที่เติมลงไป ในเมตริกซ์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อความยาวของเส้นใยถึงจุดจุดหนึ่ง ค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งจะมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นใย
และความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ประกอบต่าง

เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยสั้นและเส้นใยยาวแบบต่อเนื่องกัน เมื่อความยาวของเส้นใย
สั้นถึงจุดจุดหนึ่ง จะทำให้ผลิตภัณฑ์ประกอบต่างมีความแข็งแรงไม่แตกต่างกันจากเส้นใยยาว
แสดงดังในรูปที่ 3.7



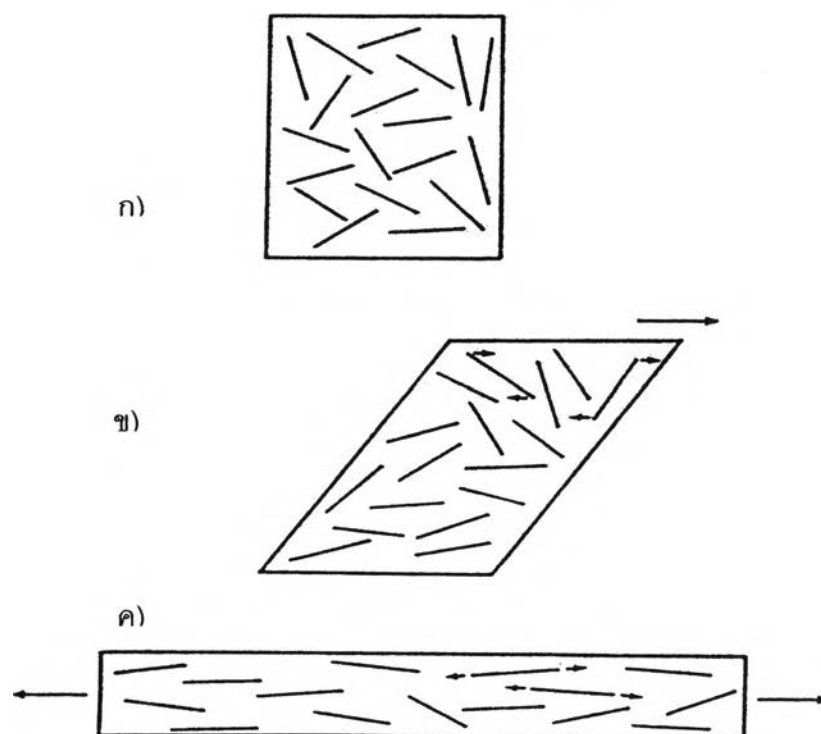
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นใยกับอัตราส่วนของค่าทนแรงดึง
ของเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว

3.7.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย [21]

การจัดเรียงตัวของเส้นใยสั้นนั้น ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและการบรรจุลงในแบบพิมพ์ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะทำนายการจัดเรียงตัวของเส้นใยสั้นได้

รูปแบบการจัดเรียงตัวของเส้นใยนั้นเกิดจากหลายตัวแปร ได้แก่ ลักษณะรูปทรงของเส้นใย การสั่นไหวของเส้นใยในเนื้อเมตริกซ์ รูปแบบของแบบพิมพ์ แต่ส่วนใหญ่มักเกิดจากแรงเฉือนในขณะขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.8 เมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวถูกอัดลงไปในแบบพิมพ์ ทำให้มีการไหลไปได้ทั้งตามแนวยาวและตามแรงเฉือน

แต่อย่างไรก็ตามที่จุดต่างๆภายในชิ้นงานเดียวกันของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ชิ้นหนึ่ง ๆ อาจมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ต่าง ๆ กัน เนื่องจากการไหลของเส้นใยภายในเนื้อเมตริกซ์นั่นเอง



รูปที่ 3.8 รูปแบบการจัดเรียงตัวของเส้นใยระหว่างการไหลในระนาบ 2 มิติ

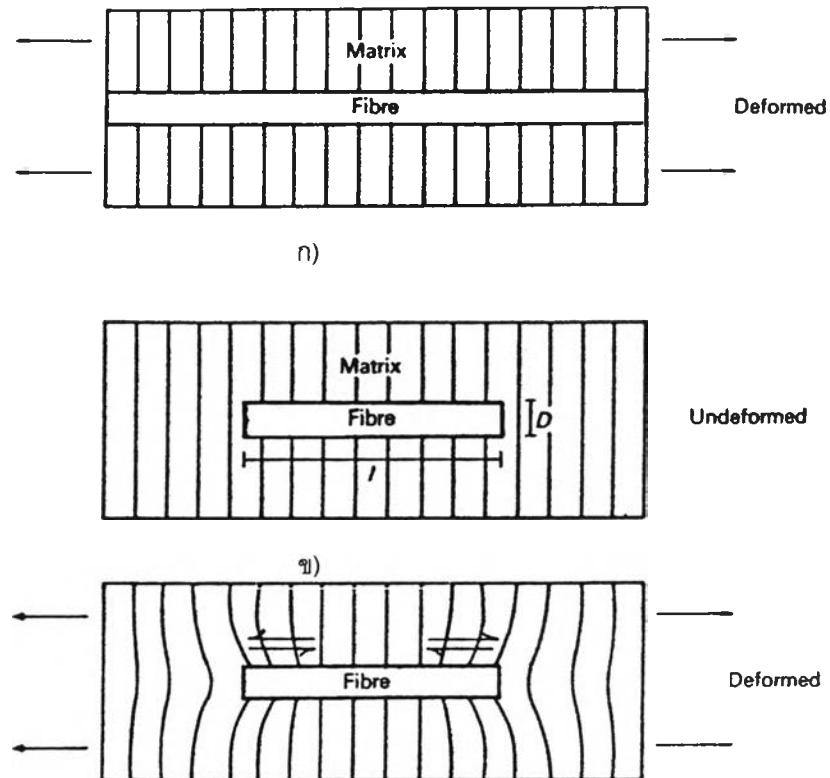
(ก) การกระจายตัวในขณะเริ่มต้น

(ข) เส้นใยหมุนขณะเกิดการไหล (shear flow)

(ค) เมื่อถูกแรงดึงให้ยาวขึ้น

3.7.4 การกระจายของความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ในเส้นใย [21]

ในผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่เสริมแรงด้วยเส้นใย เราอาจพิจารณาค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวของเส้นใยต่อพื้นที่หน้าตัดของเส้นใย (aspect ratio , L/D) เพื่อบ่งบอกความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งในเส้นใยยาวนั้น ค่า L/D จะมีค่าสูงมากกว่าเส้นใยสั้น ทำให้ไม่มีค่าความแตกต่างระหว่างความเค้นและความเครียดของเมตริกซ์ และที่บริเวณปลายของเส้นใย ขณะที่เส้นใยสั้นพบว่าความเครียดของเส้นใยที่จุดปลายของเส้นใย จะมีความเครียดน้อยกว่าความเครียดของเมตริกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 จากความแตกต่างนี้ทำให้เกิดความเค้นเฉือนขึ้นที่ผิวของเส้นใยในทิศทางตามแนวแกนของเส้นใย



รูปที่ 3.9 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเครียดของเส้นใยในเมตริกซ์ที่มีค่ามอดูลัสต่ำ

(ก) เส้นใยยาว

(ข) เส้นใยสั้น

3.8 การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ [21]

เมื่อเมตริกซ์ยึดติดกับส่วนเสริมแรง (ส่วนเสริมแรง) จะสร้างพันธะขึ้นโดยพันธะที่เกิดขึ้นมีได้หลายอย่าง นอกจากนี้ในแต่ละระบบจะมีกลไกการสร้างพันธะมากกว่าหนึ่งในเวลาเดียวกัน เช่นการยึดเกาะเชิงกลกับการยึดเกาะเชิงไฟฟ้าและกลไกการสร้างพันธะอาจจะเปลี่ยนได้โดยขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต เช่น การยึดเกาะเชิงไฟฟ้า ก็จะเปลี่ยนไปตามพันธะขณะเกิดปฏิกิริยา (reaction bonding) ส่วนชนิดของพันธะจะแปรตามระบบโดยระบบจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดเล็ก ๆ น้อย ๆ เช่น การปนเปื้อนที่ผิว (surface) หรือ การเติมตัวกระตุ้น (coupling agents)

กลไกการสร้างพันธะชนิดต่าง ๆ มีดังนี้

การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical bonding)

Interlocking (keying) ของพื้นผิว 2 ชนิดที่แสดงในรูปที่ 3.10(ก) น่าจะเป็นพันธะที่เหมาะสมของการยึดเกาะเชิงกล (mechanical bonding) การหดตัวของ เมตริกซ์ ก็มีผลในการสร้างพันธะด้วย การสร้างพันธะทางกลมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อให้แรงในทางขนานกับพื้นผิวสัมผัส หรือให้แรงเฉือนนั่นเอง ในทางกลับกันเมื่อพื้นผิวสัมผัสถูกแรงดึง แยกออกจากกัน ค่าความแข็งแรงจะลดลง นอกเสียจากว่ามีความหนาแน่นสูงมาก โดยส่วนใหญ่การยึดเกาะเชิงกล มักไม่ค่อยพบโดยบังเอิญ มักพบร่วมกับการยึดเกาะแบบอื่น ๆ

การยึดเกาะเชิงไฟฟ้า (Electrostatic bonding)

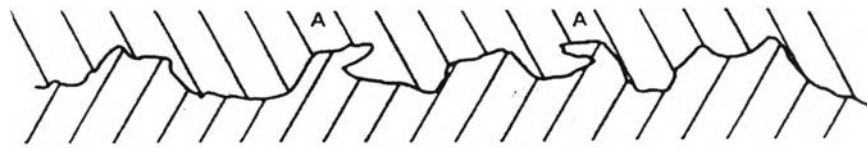
กลไกการเกิดพันธะคือเกิดขึ้นจากเมตริกซ์กับส่วนเสริมแรง โดยพื้นผิวของตัวใดตัวหนึ่งมีประจุบวกและอีกตัวมีประจุลบ ตามรูปที่ 3.10(ข) การดึงดูดของประจุระหว่างสารมีช่วงสั้น ๆ เท่านั้นฉะนั้นทั้งเมตริกซ์และส่วนเสริมแรง จึงควรอยู่ใกล้กันมากและต้องระวังสิ่งปลอมปนและก๊าซด้วยเพราะมันจะไปลดประสิทธิภาพของการสร้างพันธะได้

การยึดเกาะเชิงเคมี (Chemical bonding)

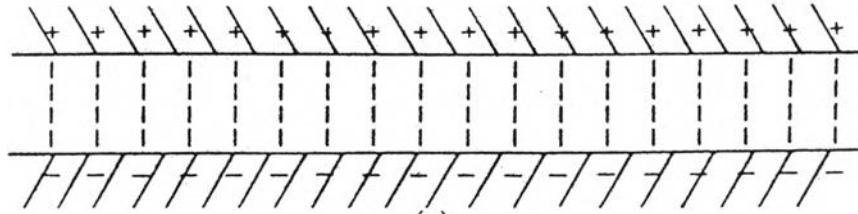
ในส่วนประกอบของ ผลิตภัณฑ์ประกอบต่าง นั้น พันธะเคมี คือ พันธะที่สร้างขึ้นระหว่างกลุ่มบนผิวของส่วนเสริมแรง (เครื่องหมาย x ในรูปที่ 3.10(ค)) กับกลุ่มที่เข้ากันได้ compatible groups (เครื่องหมาย R) ในเมตริกซ์ โดยความแข็งแรง (strength) ของการยึดเกาะเชิงเคมี (chemical bond) นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะต่อหน่วยพื้นที่และชนิดของพันธะ พันธะเคมีมีความสำคัญต่อ coupling agent ยกตัวอย่างเช่นซิลเลน (silanes) ซึ่งเป็น coupling oxide groups บนพื้นผิวแก้วกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ ที่จุดปลาย A ของโมเลกุลซิลเลน (molecule silane) สร้างพันธะไฮโดรเจน ขึ้นระหว่างออกไซด์กลุ่ม (oxide (silanol) groups) บนแก้วและอีกปลาย B ก็ทำปฏิกิริยากับกลุ่ม (compatible groups) ในพอลิเมอร์ (ดังรูปที่ 3.10(ค))

การยึดเกาะโดยการแพร่หรือปฏิกิริยา (Reaction or interdiffusion bonding)

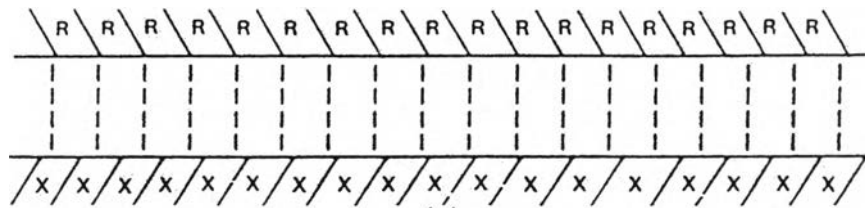
อะตอมหรือโมเลกุลขององค์ประกอบทั้งสองของ ผลิตภัณฑ์ประกอบต่าง จะเกิดการแพร่ผ่าน (interdiffuse) กันที่พื้นผิวสัมผัสเพื่อสร้างปฏิกิริยาหรือเกิดการยึดเกาะโดยการแพร่ (interdiffusion bonding) ขึ้นสำหรับพื้นผิวสัมผัสอย่างเช่นพอลิเมอร์สามารถพิจารณาได้ว่าเป็น intertwinning ของชั้นโมเลกุล มีปัจจัยหลายอย่างที่ควบคุมเกี่ยวกับความแข็งแรง (strength) ของพื้นผิวสัมผัส เช่นระยะห่างระหว่างโมเลกุล (molecule entwined), จำนวนโมเลกุลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวสัมผัส



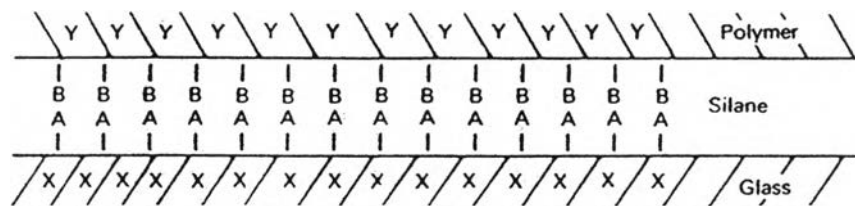
(ก)



(ข)



(ค)



(ค)

รูปที่ 3.10 การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์

ก) การยึดเกาะเชิงกล

ข) การยึดเกาะเชิงไฟฟ้า

ค) การยึดเกาะเชิงเคมี

3.9 เส้นใยพอลิเอสเตอร์ [22]

สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ เส้นใยพอลิเอสเตอร์ (Polyester Fiber) ชนิด พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลท (PET) เตรียมได้จากปฏิกิริยาการเกิดเอสเตอร์ (Esterification) ของกรดเทเรฟทา ลิก (Terephthalic Acid) กับเอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) เอทิลีนเทเรฟทาเลทมอนอเมอร์ ที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันต่อไปเป็นพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลท(Polyethyleneteraphthal ate) มีสถานะเป็นของเหลวไม่คงตัวจะเกิดการสลายตัวด้วยความร้อน ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนให้อยู่ ในสถานะของแข็งโดยเร็วที่สุดหลังจากนั้นจะนำไปปั่นเป็นเส้นใย

3.9.1. คุณสมบัติของเส้นใยพอลิเอสเตอร์

3.9.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

- ก) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ความถ่วงจำเพาะของพอลิเอทิลีนเท เรฟทาเลทมีค่าอยู่ระหว่าง 1.38-1.40 สูงกว่าของไนลอนและอะคริลิก
- ข) ความเหนียวและการยืดตัว (Tenacity and Elongation) แตกต่างกันไปขึ้น อยู่กับอัตราส่วนการดึง พวงเส้นใยยาวจะมีความเหนียวสูงแต่การยืดตัวเมื่อ ขาด (Elongation at break) จะต่ำ ส่วนเส้นใยสั้นจะมีความเหนียวต่ำกว่าแต่ การยืดตัวจะสูงกว่า
- ค) ความยืดหยุ่น(Elasticity) พอลิเอสเตอร์เป็นเส้นใยที่มีความสามารถในการ คืบตัวจากการดึง (Stress), การกด (Compression), การโค้งงอ (Bending) และการเฉือน (Shear) ได้ดีทำให้ผ้าที่ทอจากเส้นใยพอลิเอสเตอร์ไม่ยับง่าย
- ง) ความคงทนต่อการขัดถู (Abrasion Resistance) ความคงทนต่อการขัดถูของ พอลิเอสเตอร์ต่ำกว่าของไนลอนมากแต่สูงกว่าเส้นใยประดิษฐ์ชนิดอื่นหลาย เท่า
- จ) จุดหลอมตัวและจุดอ่อนตัว (Melting point and Softening point) พอลิเอส เทอร์มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 225–260 °C และจุดอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 230–240 °C การที่พอลิเอสเตอร์มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่าเส้นใยชนิด อื่น ทำให้มีความคงทนต่อความร้อน
- ฉ) การเผาไหม้และการติดไฟ (Combustion test and Flammability) เส้นใยพอลิเอสเตอร์เมื่อเข้าใกล้เปลวไฟจะเกิดการหดตัว และหลอมเหลวพอลิเอสเตอร์ ติดไฟยากแต่ถ้าติดไฟจะมีเขม่าและมีกลิ่นของอะโรมาติก(aromatic) ในกรณี ที่ผสมอยู่กับเส้นใยชนิดอื่นที่ติดไฟได้ เมื่อเผาจะติดไฟพร้อมๆ กัน

- ข) ความคงทนต่ออุณหภูมิสูงและต่ำ (Resistance to high and low temperature) จากการที่พอลิเอสเตอร์มีจุดหลอมเหลวสูงทำให้ทราบว่ามี ความคงทนต่อความร้อนได้ดีจากการทดสอบปรากฏว่าเส้นใยพอลิเอสเตอร์ จะสูญเสียความเหนียวไป 15-30% เมื่อให้ความร้อนแก่เส้นใยที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และจะสูญเสียความเหนียวไป 50% เมื่อทำเป็น เวลา 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิเดียวกันในกรณีที่มีไอน้ำอยู่ด้วยจะมีผลแตกต่างกันไป คือ ที่อุณหภูมิ 100°C พอลิเอสเตอร์จะเกิดการสลายตัว (Hydrolysis) ส่วน ในกรณีที่ให้ความเย็นแก่เส้นใยพอลิเอสเตอร์ จะทำให้มีความเหนียวสูงขึ้น เช่น ที่อุณหภูมิ -40°C จะมีความเหนียวสูงขึ้น 6% และการยืดตัวจะลดลง 30% (เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ 20 °C) ที่อุณหภูมิ -100°C ความเหนียว จะเพิ่มขึ้นประมาณ 50% และการยืดตัวจะลดลง 35%
- ข) ความคงทนต่อแสง (Light Fastness) พอลิเอสเตอร์เป็นเส้นใยที่มีความคง ทนต่อแสงดีมากเมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย จากการทดลองเมื่อ ให้เส้นใยพอลิเอสเตอร์รับแสงแดดเป็นเวลา 1000 ชั่วโมง จะยังคงรักษาความ เหนียวไว้ได้ 60-70% พอลิเอสเตอร์จะไวต่อแสงอุลตราไวโอเล็ตที่ 3000- 3300 Å
- ฉ) การดูดซึมน้ำ (Water absorption) เส้นใยพอลิเอสเตอร์มีความสามารถในการ ดูดซึมน้ำต่ำ คือ 0.4 % ถึงแม้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ก็สามารถ ดูดความชื้นได้เพียง 0.6-0.8 % เท่านั้น ซึ่งทำให้พอลิเอสเตอร์แห้งได้อย่าง รวดเร็วและความเหนียวในสภาพที่แห้งและเปียกจะไม่แตกต่างกันมาก

3.9.1.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

ก) ความทนต่อกรด (Resistance to acids)

- กรดอนินทรีย์ (Inorganic acid) พอลิเอสเตอร์มีความคงทนต่อกรด.

อนินทรีย์เจือจางดีมาก เช่น ทนต่อกรดกำมะถัน กรดเกลือ กรดไนตริก และกรดฟอสฟอรัส จากการทดลองพบว่าการแช่เส้นใยพอลิเอสเตอร์ใน กรดอนินทรีย์ ที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 30 % ณ อุณหภูมิห้องจะมีผลต่อ ความเหนียวของพอลิเอสเตอร์น้อยมากหรือแทบไม่มีผลกระทบเลย แต่ ถ้าความเข้มข้นสูงขึ้นและอยู่ที่สภาวะที่อุณหภูมิสูงถึงจุดเดือด พอลิเอส เทอร์จะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว

- กรดอินทรีย์ (Organic acid) พอลิเอสเทอร์จะไวต่อกรดอินทรีย์น้อยกว่ากรดอินทรีย์

ข) ความทนต่อด่าง (Resistance to Alkali) เส้นใยพอลิเอสเทอร์จะมีความทนต่อด่างเพียงพอ โดยเฉพาะด่างที่ใช้ในกระบวนการชักล้าง เนื่องจากการเรียงตัวของโมเลกุลมีความระเบียบสูง

- สารละลายโซดาไฟ (Caustic Soda) ในสารละลายโซดาไฟที่ร้อนจะเกิดการ hydrolysis ที่ผิวของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ทำให้ผิวของเส้นใยไม่เรียบ สูญเสียน้ำหนักและความเหนียวลดลง
- สารละลายโซดาแอส (Soda ash) ในสารละลายโซดาแอสที่เย็นเช่น 10 % โซดาแอส จะไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักและความเหนียวของเส้นใย แต่ถ้าเป็นสารละลายที่ร้อน (95-100 °C) จะทำให้สูญเสียน้ำหนัก 80 % และความเหนียวลดลง 16 %
- สารละลายแอมโมเนีย (Ammonia hydroxide) ในกรณีสารละลายแอมโมเนีย จะแตกต่างไปจากโซดาไฟและโซดาแอส คือ จะไม่สูญเสียน้ำหนักและไม่เกิดการสลายตัว (degradation) ของเส้นใย การลดลงของความเหนียวขึ้นกับ เวลา อุณหภูมิ และความเข้มข้น แต่ปัจจัยที่สำคัญ คือ เวลาและอุณหภูมิ

ค) ความทนต่อสารออกซิแดนท์ (Resistance of oxidants) พอลิเอสเทอร์ที่มีความทนต่อสารออกซิแดนท์ไม่ว่าจะมีความเข้มข้นสูง อุณหภูมิสูงหรือใช้เวลานาน เช่นโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ง) ความทนต่อสารรีดิวซ์ซิง (Resistance to Reducing Agents) พอลิเอสเทอร์มีความทนต่อสารรีดิวซ์ซิงเช่นเดียวกับสารออกซิแดนท์

จ) ความทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์และสารทำให้พองตัว (Resistance to Organic Solvents and Swelling Agents) ผลของพอลิเอสเทอร์ในตัวทำละลายต่างๆ ขึ้นกับอุณหภูมิของตัวทำละลายเป็นสำคัญ เช่นการจุ่มในอะซิโตน เบนซีน คลอโรฟอร์ม ไตรคลอโรเอทิลีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ที่อุณหภูมิห้องจะไม่ทำให้สูญเสียวความเหนียว อย่างไรก็ตาม การจุ่มในเมทิลีนคลอไรด์ หรือคลอโรฟอร์มจะทำให้เกิดการหดตัวและเพิ่มความเหนียวของเส้นใย สารละลายฟีนอลจะทำหน้าที่เป็นตัวทำ

ละลายของพอลิเอสเทอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและอุณหภูมิ เช่น ในการหาความหนืดของพอลิเอสเทอร์ จะใช้ออร์โธ-คลอโรฟีนอลเป็นตัวทำละลาย

- 3.9.1.3 ความคงทนต่อแบคทีเรียและแมลง (Resistance to Bacteria and insects) เส้นใยพอลิเอสเทอร์มีความคงทนต่อแบคทีเรียและเชื้อราเป็นอย่างดี แม้ว่าอาจมีเชื้อราเกิดขึ้น แต่ไม่สามารถทำลายพอลิเอสเทอร์ได้ สำหรับแมลงกินผ้าจะไม่เป็นปัญหาต่อพอลิเอสเทอร์ เพราะว่ามันไม่สามารถย่อยพอลิเอสเทอร์ได้
- 3.9.1.4 คุณสมบัติทางการย้อมสี (dyeing properties) พอลิเอสเทอร์เป็นเส้นใยที่ย้อมติดสีได้ยากเนื่องจากไม่มีกลุ่มเคมีที่ทำปฏิกิริยา (reactive groups) สีที่ใช้ย้อมพอลิเอสเทอร์คือ สี disperse

3.9.2 แนวทางในการดัดแปลงและปรับปรุงเส้นใยพอลิเอสเทอร์ มีดังนี้

3.9.2.1 การดัดแปลงและปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยทำได้ 2 แบบคือ

ก) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายนอก

การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโดยสารเคมีจากการที่เส้นใยมีผิวเรียบทำให้การยึดเกาะไม่แน่นและเกิดขน (pilling) ขึ้น ถ้าหากทำการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยให้มีลักษณะขรุขระจะทำให้ การยึดเกาะของเส้นใยดีขึ้น โดยการใช้สารละลายกรดหรือด่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่างเช่น โซดาไฟ นอกจากนี้จะทำให้การยึดเกาะของเส้นใยดีขึ้นและลดการเกิดขน (pilling) และยังทำให้เส้นใยอ่อนนุ่มต่อการสัมผัส

ข) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน

เพื่อให้ได้เส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่มีโครงสร้างภายในเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งการทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 3 ประการ คือน้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างต้องเป็นเส้นตรง และสภาวะการดึงเส้นใยต้องเหมาะสม หากมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยเหล่านี้ จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลเปลี่ยนไป เช่น ค่าความยาวของโมเลกุลลดลงจะทำให้ความเหนียวลดลง หรืออัตราส่วนการดึงสูงจะทำให้ความแข็งแรงสูงด้วย

3.9.2.2 การดัดแปลงคุณสมบัติทางเคมี

3.9.2.2.1 กราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน(Graft copolymerization)

ก) กราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของอะคริลิกแอซิก(acrylic acid) ลงบนผิวของพอลิเอสเทอร์โดยใช้เบนโซอิกเปอร์ออกไซด์(benzoyl peroxide) หลังจากการทำกราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันแล้ว เส้นใยจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยมีการจัดเรียงตัวที่แน่นขึ้นเพราะเกิดการกราฟต์ขึ้น โดยเริ่มเกิดการกราฟต์ขึ้นที่บริเวณผิวของเส้นใยและเข้าสู่บริเวณแกนกลางหลังจากทำการกราฟต์แล้วเส้นใยจะสามารถดูดซับความชื้นได้มากขึ้น เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลิก(Carboxylic)ซึ่งเป็นหมู่ไฮโดรฟิลิก(Hydrophilic) เข้าไปภายในโครงสร้างของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ จึงทำให้สามารถรับสีย้อมได้มากขึ้นอีกด้วย

ข) กราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันของไอออนิกมอนอเมอร์(Ionic monomer) การทำกราฟต์ ไอออนิกมอนอเมอร์(Graft ionic monomer)ลงบนพอลิเอสเทอร์เพื่อที่จะให้หมู่ไฮโดรฟิลิก(hydrophilic)เกาะติดบนเส้นใยพอลิเอสเทอร์ได้คงทนถาวร

3.10 สมบัติเชิงกล

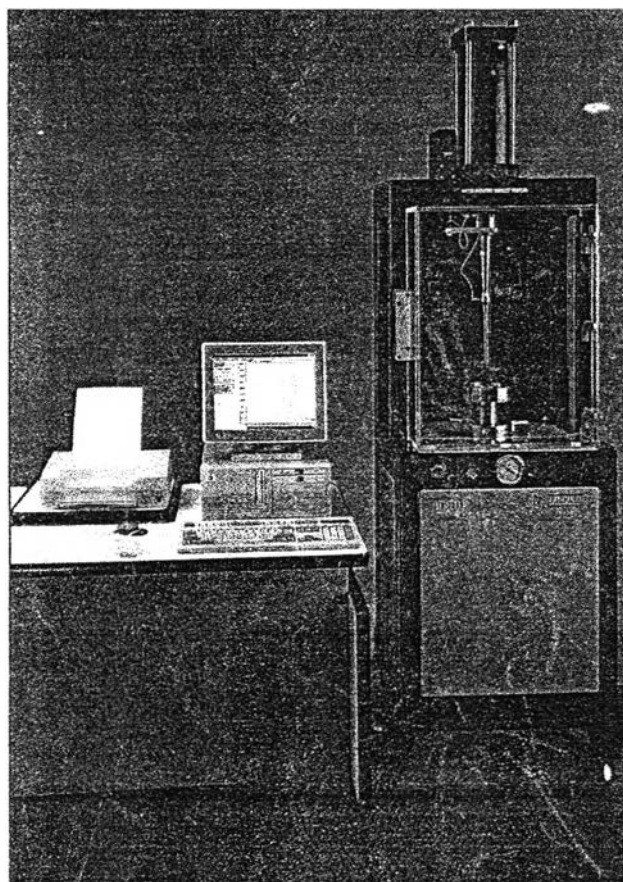
ในทางปฏิบัติ นิยมหาค่าของการเสียรูปและการแผ่ตัวของพอลิเมอร์มากกว่าสมบัติเชิงกลอื่น ซึ่งพอลิเมอร์ใดมีสมบัติเชิงกลเหล่านี้สูงต่ำเพียงใด ขึ้นอยู่กับการเกิดเป็นผลึก การเชื่อมขวาง และค่าของ T_g และ T_m พอลิเมอร์ที่เกิดผลึกได้มาก หรือสามารถเชื่อมขวาง หรือมี T_g สูง เป็นพอลิเมอร์ที่มีกำลังความแข็งแรงสูง แต่ยืดได้น้อย พอลิเมอร์ที่เกิดผลึกได้น้อย หรือการเชื่อมขวางมีได้น้อย หรือมีค่า T_g ต่ำ เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถยืดตัวได้มาก แต่กำลังความแข็งแรงต่ำ

3.10.1 สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Properties)[23]

ฐานพื้นปลอมแน่น ต้องทนต่อสภาวะการกระแทกภายในช่องปาก เนื่องจากการบดเคี้ยวอาหาร ดังนั้นในการวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องหาการทนการกระแทก (Impact Strength) ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริลเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอสเทอร์

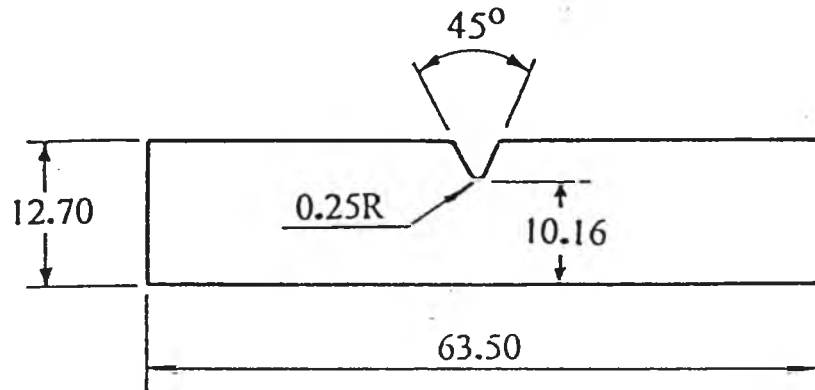
สมบัติความต้านทาน ต่อแรงกระแทก หมายถึง ความสามารถของพลาสติก ที่ดูดซับหรือทนต่อแรงกระแทก การวัดสมบัตินี้ สามารถหาได้หลายวิธี สำหรับในงานวิจัยนี้ เลือกใช้แบบ Izod Impact กำลังกระแทก เป็นพลังงานที่ใช้กระแทกทำให้วัสดุนั้นแตกหรือหัก ด้วยแรงกระแทกเพียงครั้งเดียว

ค่าของกำลังกระแทก หาได้จากระยะกระแทกของลูกตุ้มหรือน้ำหนักที่กระแทกคุณด้วยน้ำหนักลูกตุ้ม หรืออ่านค่าได้โดยตรงจากเครื่องทดสอบ ในงานวิจัยนี้ทำการหาค่ากำลังกระแทก โดยวิธี Izod Impact ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว กล่าวคือ ให้ลูกตุ้มที่ทราบน้ำหนักตกลงมากระทบกับชิ้นงานที่ถูกจับไว้ด้วยปลายข้างหนึ่ง หลังจากนั้นลูกตุ้มจะกระดอนกลับไปไกลเพียงใดขึ้นอยู่กับพลังงานที่ชิ้นงานนั้นดูดซับไว้ขณะกระแทก ในปัจจุบันเครื่องมือดังกล่าวเป็นระบบดิจิทัล สามารถอ่านค่า กำลังกระแทกได้ทันที



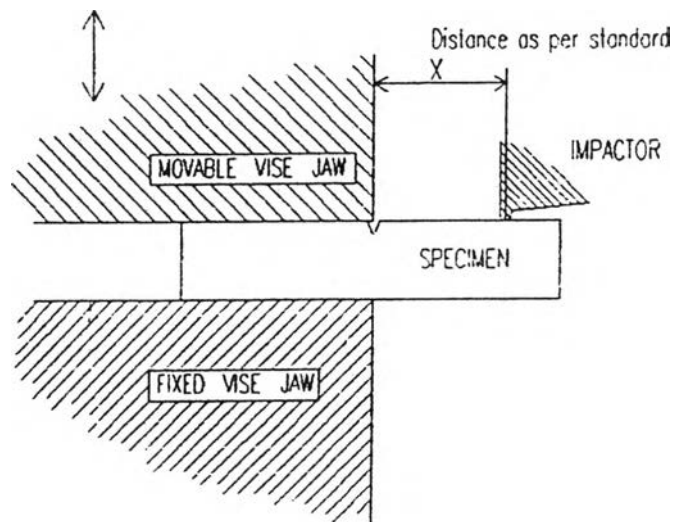
รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องมือที่ใช้วัดค่ากำลังกระแทก

ในการทดสอบค่ากำลังกระแทก จะต้องบากชิ้นงานทำมุม 45 องศาและระยะรอยบาก เป็น 0.25 มิลลิเมตร หรือ 1.00 มิลลิเมตร (ตามมาตรฐาน ASTM D256)



Notch depth = 2.54 mm

รูปที่ 3.12 แสดงขนาดและรอยบากของชิ้นงานที่จะนำไปวัดค่าแรงกระแทก



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะการจับชิ้นงานแบบ Izod

3.10.2 สมบัติความทนความต้านทานการดัดโค้ง (Flexural Properties) [24]

ความต้านทานการดัดโค้งสามารถหาได้จาก เมื่อใช้น้ำหนักกดตรงกลางของวัสดุที่มีรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีปลายทั้งสองวางบนฐานจนหัก น้ำหนักที่ใช้กดนั้น เรียกว่า ความต้านทานการดัดโค้ง

ค่าของหน่วยความต้านทานการดัดโค้ง หาได้จากสูตร

$$S = \frac{3WL}{2bd^2} \quad (3-18)$$

เมื่อ S = หน่วยความต้านทานการดัดโค้ง

W = น้ำหนักสูงสุดเมื่อวัสดุหัก

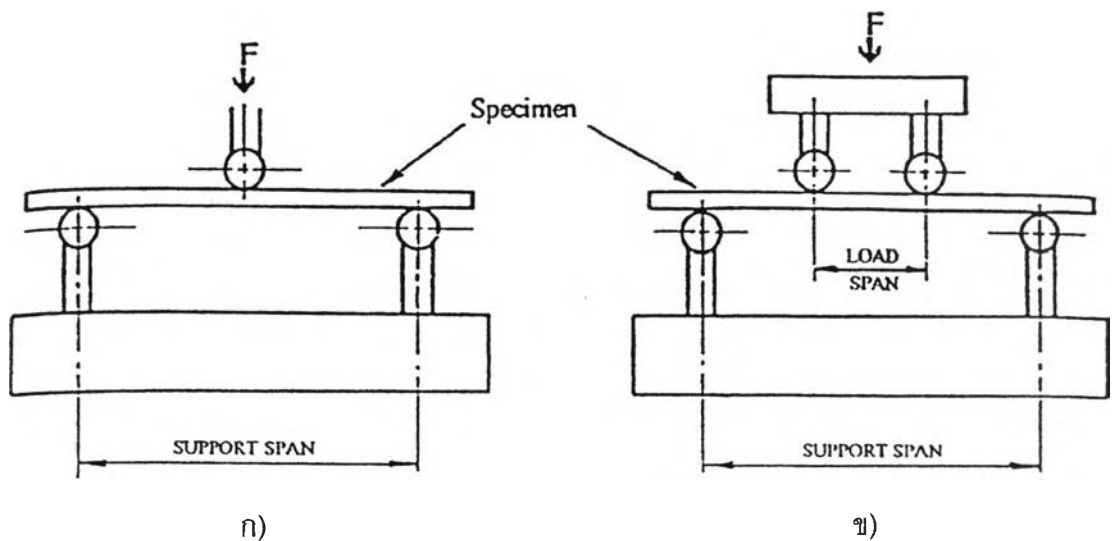
L = ระยะทางระหว่างฐานรองทั้งสองข้าง

b = ความกว้างของคาน

d = ความหนา

หน่วยที่ใช้เป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ เช่น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

การทดสอบค่าความต้านทานการดัดโค้ง สามารถใช้แบบโค้ง 3 จุด และแบบ 4 จุด ซึ่งแบบโค้ง 3 จุด เป็นวิธีทั่วไป

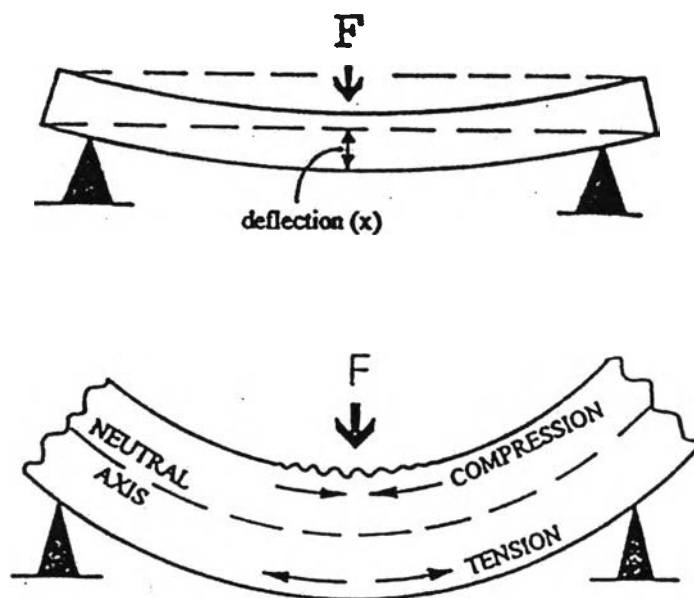


รูปที่ 3.14 การทดสอบค่าความต้านทานการดัดโค้ง

(ก) แบบโค้ง 3 จุด

(ข) แบบโค้ง 4 จุด

พิจารณาที่ผิวด้านนอกของชิ้นงานขณะโค้งตัวจะมีแรงเค้นดึง (tensile stress) ส่วนที่ผิวด้านในจะมีแรงอัด (Compression Stress)



รูปที่ 3.15 แสดงแรงที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานขณะถูกกดตรงกลาง

ส่วนบริเวณตรงกลางชิ้นงานไม่ใช่ทั้งแรงเค้นดึงและแรงเค้นอัด บริเวณนี้เรียกว่า "Neutral Surface" หรือ "Neutral Axis" โดยปกติค่าความต้านทานการดัดโค้งจะสูงกว่าแรงเค้นดึง เนื่องจากรอยรั่วของชิ้นงานทำให้ความแตกต่างของแรงเค้นลดลง หากชิ้นงานเป็นอุดมคติมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ค่าความต้านทานการดัดโค้งกับแรงเค้นดึงจะเท่ากัน และค่า Young's Modulus จะเท่ากับ Flexural Modulus