

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 สารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์

การเติมสารตัวเติม (fillers) หรือสารเสริมแรง (reinforcing fillers) เพื่อช่วยพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์พลาสติกนั้น นับเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยให้พลาสติกมีสมบัติเฉพาะทางที่ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น การเติมอะลูมิเนียม ไตรไฮเดรต (aluminum trihydrate, ATH) เบริลเลียม ออกไซด์ (beryllium oxide) หรือโซเดียม อะลูมิเนียม ไฮดรอกซีคาร์บอเนต (sodium aluminum hydroxycarbonate) จะช่วยเพิ่มสมบัติหน่วงการติดไฟ ส่วนการเติมแก้วหรือคาร์บอนชนิดทรงกลมกลวงสามารถช่วยลดความหนาแน่นจำเพาะทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบาลง ในขณะที่การเติมเซอร์โคเนีย (zirconia) จะไปเพิ่มความหนาแน่นจำเพาะให้กับผลิตภัณฑ์ สำหรับคาร์บอนแบล็ก (carbon black) นั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวกำบังแสง และการเติมผงโลหะสามารถให้ลักษณะความเป็นสื่อไฟฟ้าได้ (Seymour, 1978) นอกจากนี้สารตัวเติมชนิดต่างๆ ดังกล่าวแล้ว พอลิเมอร์ก็สามารถเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ด้วยกันเองได้เช่นเดียวกัน โดยทำการบดพอลิเมอร์ให้มีขนาดเล็กเพื่อความเหมาะสมกับการเป็นสารตัวเติมซึ่งสารตัวเติมพอลิเมอร์นี้สามารถช่วยเพิ่มสมบัติความทนแรงกระแทกได้ ดังนั้นในการผลิตวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์นั้น การเลือกใช้สารตัวเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งาน

2.1.1 ประเภทของสารตัวเติม

สารตัวเติม คือวัสดุของแข็งอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ที่เติมเข้าไปในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล หรือบางชนิดอาจเติมเข้าไปเพื่อลดต้นทุนของพอลิเมอร์ซึ่งมีราคาแพง โดยยังคงสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์ไว้ ซึ่งสามารถแบ่งสารตัวเติมสำหรับพอลิเมอร์ตามลักษณะรูปร่าง ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ (Schwartz, 1984)

(1) สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous filler)

การใช้เส้นใยเป็นสารตัวเติมนั้นได้มีมาเป็นระยะเวลาอันยาวนานแล้วซึ่งมีการนำทั้งเส้นใยอินทรีย์และเส้นใยอนินทรีย์มาใช้เติมหรือเสริมแรงในพอลิเมอร์ โดยเส้นใยอินทรีย์ที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็นเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ปอกระเจา และไนลอนตามลำดับ ซึ่งจะสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความทนแรงกระแทก ความแข็งตึง และความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ส่วนเส้นใยอนินทรีย์ เช่น แอสเบสทอส และเส้นใยแก้วนั้นพบว่ามีนิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการเป็นสารตัวเติมทั้งในเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตซึ่งต้องการสมบัติด้านความทนความร้อนและความแข็งแรง

(2) สารตัวเติมที่มีลักษณะไม่เป็นเส้นใย (nonfibrous filler)

สารตัวเติมลักษณะนี้มีหลายรูปแบบแตกต่างกัน ขึ้นกับขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยและลักษณะรูปร่าง เช่น สารตัวเติมที่เป็นผงหรือเม็ด (particulate filler) และสารตัวเติมที่เป็นเกล็ด (flake filler) เป็นต้น ซึ่งพบว่าทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เช่นเดียวกับสารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ตัวอย่างสารตัวเติมที่เป็นผงหรือเม็ด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ไซนาเคลย์ และทัลก์ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นสารที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต ส่วนผงเขม่าดำหรือคาร์บอน แบล็ก นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวกำบังแสงแล้ว ยังสามารถใช้ในการเสริมแรงให้กับผลิตภัณฑ์ได้ด้วย สำหรับตัวอย่างของสารตัวเติมที่เป็นเกล็ด เช่น เกล็ดอะลูมิเนียม เกล็ดไมกา และเกล็ดตะกั่ว เป็นต้น ซึ่งข้อดีของลักษณะเกล็ดคือจะเกิดการซ้อนกันของเกล็ดแต่ละแผ่นเมื่อเติมลงไปในพอลิเมอร์ ทำให้สามารถช่วยต้านทานการขีดถูให้กับผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้สารตัวเติมที่เป็นเกล็ดของโลหะจะสามารถเพิ่มสมบัติการนำไฟฟ้าและการนำความร้อนได้ด้วย

นอกจากการแบ่งประเภทของสารตัวเติมตามลักษณะรูปร่างแล้ว สารตัวเติมยังสามารถแบ่งได้ตามชนิดและที่มาของวัสดุดังต่อไปนี้ (Seymour, 1978)

(1) แก้ว (glass)

- แก้วชนิดทรงกลมแข็ง (solid spheres)
- แก้วชนิดกลุ่มก้อนกลม (cellular nodules)
- แก้วชนิดทรงกลมกลวง (hollow spheres)
- แก้วชนิดเกล็ด (flakes)
- แก้วชนิดเม็ดเล็ก ๆ (granules)

(2) คาร์บอน (carbon)

- คาร์บอน แบล็ก (carbon black)
 - แซนเนล แบล็ก (channel black)
 - เฟอร์เนส แบล็ก (furnace black)
- คาร์บอนชนิดทรงกลมกลวง (hollow spheres)
- ถ่านโค้กปิโตรเลียม (ground petroleum coke)

- (3) สารตัวเติมเซลลูโลส (cellulose fillers)
 - ผงไม้ (wood flour)
 - ไม้ก๊อก (cork)
 - ผงจากเปลือกพืช (shell flour)
 - เส้นใยเซลลูโลส (cellulose fibers)

- (4) สารคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ (other carbohydrates)
 - เศษผลิตผลจากดิน (ground waste products)
 - แป้ง (starch)

- (5) แคลเซียม คาร์บอเนต (calcium carbonate)
 - ชอล์ก (chalk)
 - ไลม์สโตน (limestone)
 - ตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต (precipitated calcium carbonate)

- (6) ออกไซด์ของโลหะ (metallic oxides)
 - อะลูมินา (alumina)
 - เบริลเลียม ออกไซด์ (beryllium oxide)
 - ไอร์ออน ออกไซด์ (iron oxide)
 - แมกนีเซีย (magnesia)
 - ไททาเนียม ไดออกไซด์ (titanium dioxide)
 - ซิงค์ ออกไซด์ (zinc oxide)
 - เซอร์โคเนีย (zirconia)
 - อะลูมินัม ไตรไฮเดรต (aluminum trihydrate, ATH)
 - แอนติโมนี ออกไซด์ (antimony oxide)

- (7) ผงโลหะ (metallic powders)
- อะลูมิเนียม (aluminium)
 - ทองแดง และทองสัมฤทธิ์ (copper and bronze)
 - ตะกั่ว (lead)
 - เหล็กไร้สนิม (stainless steel)
- (8) พอลิเมอร์
- สารพอลิเมอร์บด (comminuted polymers)
- (9) ผลิตภัณฑ์ซิลิกา
- ผลิตภัณฑ์จากแร่ธาตุ
 - ไดอะตอมเมเชียล เอิร์ท (diatomaceous earth)
 - โนแวกูไลต์ (novaculite)
 - ควอตซ์ (quartz)
 - ทราย (sand)
 - ไตรโพลี (tripoli)
 - ซิลิกาอสัณฐานสังเคราะห์
 - ซิลิกา คอลลอยด์ (fumed colloidal silica)
 - ซิลิกา แอโรเจล (silica aerogel)
 - เพอไลต์ (perlite)
 - เถ้าของรำข้าว (rice hull ash)
- (10) ซิลิเกต (silicates)
- ผลิตภัณฑ์จากแร่ธาตุ
 - แร่ใยหิน (asbestos)
 - ดินขาว(kaolin clay)
 - ไมกา (mica)
 - เนเฟลีน ไชยานิต์ (nepheline syanite)
 - ทัลก์ (talc)
 - วอลลาสโตไนต์ (wollastonite)

- ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์
 - อะลูมิเนียม ซิลิเกต (aluminum silicate)
 - แคลเซียม ซิลิเกต (calcium silicate)

(11) สารประกอบอนินทรีย์อื่น

- แบเรียม เฟอไรต์ (barium ferrite)
- แบเรียม ซัลเฟต (barium sulfate)
- โมลิบดีนัม ไดซัลไฟด์ (molybdenum disulfide)
- ซิลิคอน คาร์ไบด์ (silicon carbide)
- โพแทสเซียม ไททาเนต (potassium titanate)
- โซเดียม อะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต (sodium aluminum hydroxycarbonate)

สารตัวเติมเหล่านี้จะให้ได้ผลดีที่สุดเมื่อมีแรงยึดเกาะระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์ วิธีที่นิยมใช้กันมาเป็นเวลานาน ได้แก่ การเคลือบผิวของสารตัวเติมด้วยสารเติมแต่งที่เรียกว่า "coupling agent" ซึ่งมีส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา 2 ส่วน โดยที่ส่วนหนึ่งสามารถยึดติดกับสารตัวเติม และอีกส่วนหนึ่งสามารถยึดติดกับพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น การใช้ไวนิลไตรคลอโรซิลเลน (vinyltrichlorosilane) เชื่อมระหว่างใยแก้วและเรซินของพอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว เพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดเกาะของใยแก้วกับเรซิน เป็นต้น

2.1.2 สารตัวเติมฝ้าย (cotton Fillers)

นับจากอดีตได้มีการนำวัสดุจากธรรมชาติที่มีส่วนประกอบของเซลลูโลสมาใช้เป็นสารตัวเติม โดยเฉพาะในรูปแบบของสารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นผง (particulate filler) ซึ่งจะนิยมนำมาผสมและขึ้นรูปกับพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต เช่น ฟีนอลิก และอะมีโนเรซิน อย่างไรก็ตามการใช้งานของสารตัวเติมได้ขยายตัวออกไปโดยได้มีการนำไปผสมกับพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกและยางอีกด้วย ซึ่งข้อดีของเซลลูโลสในการใช้ทำสารตัวเติมนั้น ได้แก่ ต้นทุนต่ำ ความหนาแน่นจำเพาะต่ำ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งช่วยให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ส่วนความสามารถในการนำไฟฟ้า ความทนทานต่อสารเคมี และสมบัติทางกายภาพจะขึ้นกับ

ลำดับขั้นของความอิมมัตว (degree of impregnation) ของโครงสร้างเซลลูลาร์ ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของเซลลูโลสชนิดนั้นๆ

เส้นใยฝ้ายเป็นวัสดุธรรมชาติที่มนุษย์รู้จักมาเป็นเวลานาน และมีโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสถึงกว่า 90% ซึ่งในอดีตพบว่าได้มีการนำฝ้ายมาเป็นสารตัวเติมในพลาสติก(Wake, 1971) โดยส่วนมากใช้ในลักษณะของปุ๋ยฝ้าย (flock) ในขณะที่เส้นใยฝ้ายยาวที่ใช้ในการปั่นด้ายจะไม่นิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติมเนื่องจากมีราคาแพงเกินไป นอกจากปุ๋ยฝ้ายแล้วยังมีการใช้ฝ้ายในรูปแบบอื่นๆ อีก เช่น เส้นใยสั้นๆ ของฝ้าย (cotton linter) เศษเส้นใย และเศษผ้าฝ้าย ซึ่งส่วนมากจะได้มาจากขั้นตอนเมอริไซไรซ์ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในในการคัดเลือกวัตถุดิบเหล่านี้คือความสม่ำเสมอ เนื่องจากเศษผ้าฝ้ายมีลักษณะแตกต่างกันตามกระบวนการถักหรือทอซึ่งทำให้เกิดการแปรผันของน้ำหนักในผ้าฝ้ายปริมาณเดียวกัน ทำให้มีผลต่อความไม่สม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เศษผ้าฝ้ายเป็นสารตัวเติมได้ นอกจากนี้การดูแลรักษาเศษเส้นใยหรือผ้าฝ้ายก็เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก เช่น หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับน้ำมันและผงโลหะจากเครื่องจักร พร้อมทั้งเศษสิ่งสกปรกปนเปื้อนต่างๆ ที่จะติดมากับเศษวัสดุเหล่านี้ ซึ่งยากต่อการกำจัดออกภายหลัง สารตัวเติมที่ได้จากเศษผ้าฝ้ายนั้น ต้องนำผ้ามาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมเล็กๆ เช่น ที่ขนาดประมาณ 10 x 15 มิลลิเมตรเป็นต้น สำหรับเศษเส้นใยและด้ายก็จะถูกตัดให้มีขนาดสั้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อความสม่ำเสมอก่อนที่จะนำมาผสมกับพลาสติก อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะทำให้วัสดุเหล่านี้กระจายอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอในเนื้อพลาสติก อีกทั้งยังยากต่อการผสมและการขึ้นรูปอีกด้วย เนื่องจากจะทำให้พลาสติกมีสมบัติการไหลที่ต่ำลงเมื่อมีวัสดุดังกล่าวผสมอยู่ด้วย แต่ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ โดยการปรับปรุงวัสดุที่จะนำมาเป็นสารตัวเติมซึ่งสามารถทำทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางกายภาพ

นอกจากฝ้ายแล้วยังมีเซลลูโลสชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมได้นอกจากฝ้าย จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่กล่าวถึงการใช้เศษวัสดุทางการเกษตรเป็นสารตัวเติม (Saheb และ Jog, 1999) เช่น ชังและเปลือกของข้าวโพด ชี้อ้อย และเปลือกถั่ว เป็นต้น และมีในหลายกรณีที่ใช้พืชที่สามารถเจริญเติบโตได้เร็ว เช่น ป่าน ปอ และข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบของพืชที่ใช้เป็นสารตัวเติมต้องถูกแยกส่วนที่สามารถรับภาระได้ และส่วนที่มีน้ำมันปนอยู่ออกก่อน โดยผลลัพธ์ของสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ได้จะขึ้นกับสมบัติของพืชแต่ละชนิด รวมถึงกระบวนการแปรสภาพวัตถุดิบและกระบวนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วย ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของวัสดุเซลลูโลสบางชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมได้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของวัสดุเซลลูโลส (Wake, 1971)

วัสดุเซลลูโลส	เซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	เพนโตแซน (%)
ชานอ้อย	60.2	21.7	29.1
ฟางข้าว	45.5	10.9	21.5
ลำต้นข้าวโพด	38.4	34.3	27.6
ฝ้าย	94.0	-	-
ลินิน (Flax)	92.0	4.0	2.0
ป่านแฮมพ์ (Hemp)	79.3	5.2	5.5
ปอกระเจา (Jute)	74.9	11.7	18.1
ป่านรามี่ร์ (Ramie)	85.0	1.0	2.0
ปอไซซัล (Sisal)	77.0	6.0	13.0
ต้นสน (Pine)	60.5	26.4	11.0

สำหรับขั้นตอนของการแปรสภาพวัสดุเซลลูโลสเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามที่มาของพืชแต่ละชนิด ซึ่งโดยส่วนมากจะนำมาบดให้มีลักษณะเป็นผงก่อนเพื่อความสะดวกของสารตัวเติม ตัวอย่างวัสดุที่นำมาบดเช่น เปลือกถั่วหรือเปลือกพืชต่างๆ ไม้ก๊อก และเปลือกไม้ต่างๆ เป็นต้น แต่ถ้าในกรณีที่วัสดุมีลักษณะเป็นเส้นใย ก็ควรจะรักษาสภาพความเป็นเส้นใยไว้ เพราะวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงจะมีแนวโน้มของความทนแรงดึงและความทนแรงกระแทกที่ต่ำกว่าเส้นใย นอกจากนี้ผงซึ่งมีพื้นที่ผิวมากกว่าเส้นใยจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าด้วย

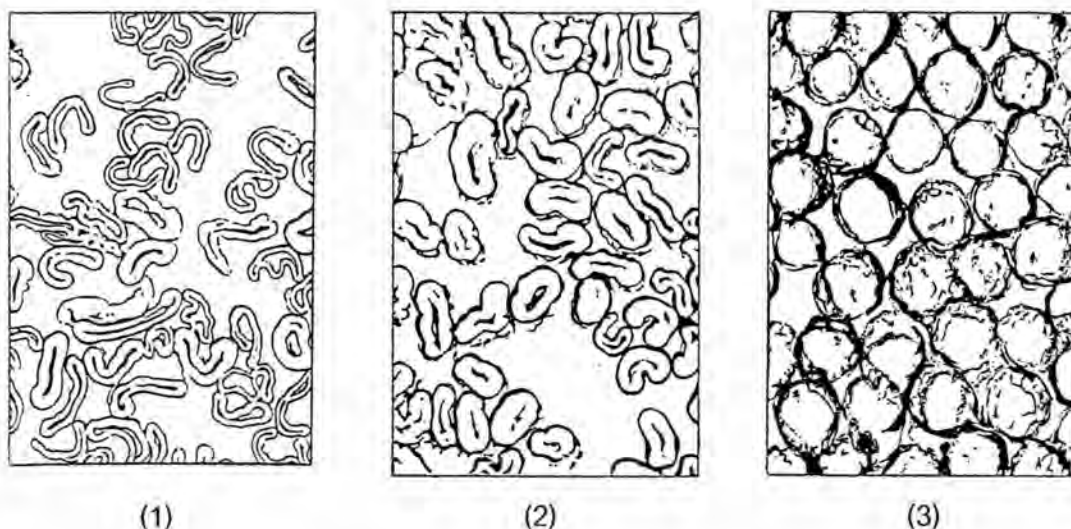
ส่วนฝ้ายนั้นมีข้อดีตรงที่มีส่วนประกอบของเซลลูโลสเกือบ 100% ทำให้มีการเสื่อมสภาพจากสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ น้อย และมีสมบัติทางเคมีและเชิงกลที่ดี เพราะประกอบไปด้วยโครงสร้างของท่อยาวซึ่งมีผนังเซลล์ที่แข็งแรง ทำให้ช่วยเสริมความทนแรงดึงและความทนแรงกระแทกได้เมื่อนำไปเป็นสารตัวเติมในพลาสติก

2.2 ฝ้าย

ฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากฝ้ายรวมสมบัติที่ดีไว้มากมาย เช่น มีความทนทาน ราคาถูก ดูแลรักษาง่าย และสวมใส่สบาย เป็นต้น ทำให้ฝ้ายเหมาะสมต่อการใช้งานทั้งเป็นเครื่องนุ่งห่มและเครื่องใช้ต่างๆ นอกจากนี้ฝ้ายยังสามารถเพาะปลูกได้ง่ายเกือบทั่วทุกแห่งในโลก โดยเฉพาะสหรัฐอเมริกา จีน และรัสเซีย ซึ่งต่างก็เป็นประเทศผู้นำในการผลิตฝ้ายทั้งสิ้น ปกติแล้วฝ้ายเป็นพืชที่ปลูกได้ดีในแถบเมืองร้อน โดยฝ้ายไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 21°C (70°F) ดังนั้นประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจึงสามารถทำการเพาะปลูกฝ้ายได้ผลผลิตดี และมีโรงงานสิ่งทอซึ่งทำกิจการเกี่ยวกับฝ้ายฝ้ายอยู่ในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก โดยในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของโครงสร้างและสมบัติของฝ้าย ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้ (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2542 และ Cook, 1984)

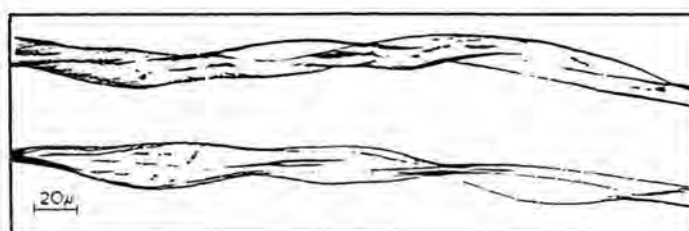
โครงสร้างทางกายภาพ

โดยทั่วไปฝ้ายดิบจะมีสีออกครีมขาว และพบว่าในบางชนิดอาจมีสีเข้มออกครีมน้ำตาลได้ ทั้งนี้ขึ้นกับการเพาะปลูกและสภาพภูมิอากาศ ซึ่งคุณภาพของฝ้ายจะขึ้นกับความยาวและความยาวของเส้นใย ปกติแล้วเส้นใยฝ้ายจะมีความยาวอยู่ในช่วง $\frac{1}{4} - 2\frac{1}{2}$ นิ้ว หรือ 1,000 – 3,000 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ขึ้นกับที่มาของฝ้ายนั้นๆ สำหรับความกว้าง เส้นใยฝ้ายมีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันไปตั้งแต่ 16-20 ไมครอน (Hollen และคณะ, 1979) และรูปร่างภาคตัดขวางของเส้นใยมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นกับการเจริญเติบโตของเส้นใย ซึ่งปกติเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นรูปร่างภาคตัดขวางของเส้นใยคล้ายเมล็ดถั่ว มีช่องตรงกลางเส้นใยที่กลวงเรียกว่า lumen สำหรับเส้นใยที่ยังอ่อนอยู่จะมีลักษณะภาคตัดขวางเป็นรูปตัว U และมีผนังเซลล์ที่บางกว่าในเส้นใยที่โตเต็มที่ โดยเรียกผนังเซลล์ที่เกิดขึ้นก่อนนี้ว่าผนังชั้นแรก (primary cell) ดังรูปที่ 2.1 (1) แต่เมื่อเส้นใยเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ จนโตเต็มที่จะมีผนังเซลล์ที่หนาขึ้นและมีลักษณะภาคตัดขวางค่อนข้างกลมมากขึ้น ทำให้ช่องตรงกลางเส้นใยเล็กและแคบลง ดังรูปที่ 2.1 (2) และ (3) ซึ่งผนังที่หนาขึ้นนี้มาจากการเจริญเติบโตเป็นชั้นๆ จากผนังด้านนอกเข้าสู่ด้านใน โดยเรียกรวมผนังที่หนาขึ้นดังกล่าวว่าผนังชั้นที่สอง (secondary wall) และแต่ละชั้นของผนัง



รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้ายจากกล้องจุลทรรศน์ (1) เส้นใยอ่อน ในสภาพแห้ง (2) เส้นใยโตเต็มที่ ในสภาพแห้ง (3) เส้นใยโตเต็มที่ ในสภาพปกติ (Cook, 1984)

เส้นใยเกิดจากการเจริญเติบโตของสายไซโมเลกุลเซลลูโลส ซึ่งมีการจัดเรียงสายไซโมเลกุลที่บิดเปลี่ยนทิศทางไปตามธรรมชาติ โดยส่วนนี้เองทำให้เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นลักษณะของเส้นใยที่บิดเป็นเกลียว ซึ่งเรียกลักษณะดังกล่าวว่า เกลียวฝ้าย (convolutions) ดังรูปที่ 2.2

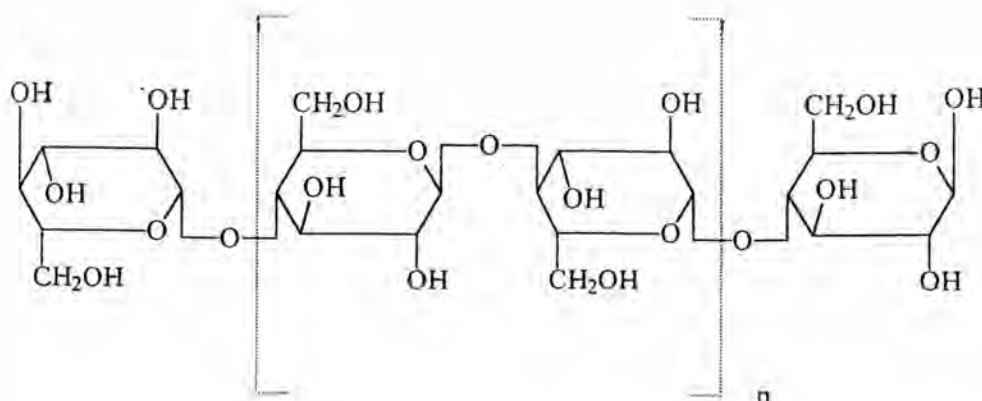


รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายตามยาวของเส้นใยฝ้ายจากกล้องจุลทรรศน์ (Cook, 1984)

โครงสร้างทางเคมี

เส้นใยฝ้ายจัดเป็นเส้นใยธรรมชาติประเภทเซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส 94% และที่เหลืออีก 6% ได้แก่ สารพวกโปรตีน แร่ธาตุ แวกซ์ (wax) กรดอินทรีย์ น้ำตาล และรงสี (pigments) แต่โดยส่วนมากเมื่อนำเส้นใยฝ้ายมาใช้งาน จะต้องนำเส้นใยนั้นผ่านกระบวนการตกแต่งสำเร็จเสียก่อน เช่น กระบวนการกำจัดสิ่งสกปรก (scouring) และกระบวนการฟอกขาว

(bleaching) เป็นต้น ทำให้เส้นใยฝ้ายที่ได้มีเซลลูโลสสูงถึง 99% (Cook, 1984) โดยโครงสร้างเซลลูโลสนั้นมีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งประกอบด้วยธาตุหลักคือ คาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 6.2% และออกซิเจน 49.4 % มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยพื้นฐานซึ่งเรียกว่า “ anhydro-d-glucose “ ($C_6H_{10}O_5$) ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งละหน่วยของกลูโคสประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนกับน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนี้นับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดสมบัติของฝ้าย กล่าวคือหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้ฝ้ายมีสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) และลักษณะการเรียงตัวเป็นสายโซ่โมเลกุลของกลูโคสที่ยาวนั้น มีผลทำให้ฝ้ายมีความแข็งแรงสูง ซึ่งโดยทั่วไปฝ้ายมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10,000 ไปจนถึง 2,000,000 (วีระศักดิ์ อุตมกิจเดชา, 2542)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

สมบัติทางกายภาพ

- (1) รูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์ : เส้นใยฝ้ายมีลักษณะคล้ายหลอดที่แบน มีเกลียวเหมือนการบิดรับบั้น ผิวของเส้นใยฝ้ายปกติจะไม่เรียบ และมีรูปร่างภาคตัดขวางเป็นรูปตัวสี่เหลี่ยมซึ่งมีช่องตรงกลางกลวงเป็นช่องส่งน้ำ
- (2) ความยาว : เส้นใยฝ้ายแต่ละเส้นมีความยาวประมาณ $\frac{1}{4}$ ถึง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่งเส้นใยฝ้ายที่ยาวจะแสดงถึงคุณภาพของเส้นใยที่ดีด้วย
- (3) สี : ฝ้ายดิบโดยปกติมีสีขางออกครีม แต่บางชนิดก็มีสีครีมเข้มไปทางน้ำตาลได้

- (4) ความมันเงา : ฝ้ายปกติมีความมันเงาเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าผ่านกระบวนการเมอร์ซิไรซ์ (mercerization) จะมีความมันเงามากขึ้น
- (5) ความแข็งแรง : เส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงปานกลาง โดยมีความเหนียว (tenacity) ประมาณ 26.5 - 44.1 cN/tex (3.0 - 5.0 g/den) และความทนแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าประมาณ 2,800 - 8,400 kg/cm² (40,000 - 120,000 lb/in²) แต่เมื่อเปียกน้ำเส้นใยฝ้ายจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 10 - 20 % และกระบวนการเมอร์ซิไรซ์สามารถทำให้เส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย
- (6) การยืดตัว : เส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการยืดตัวได้น้อย โดยมีค่าการยืดตัวที่จุดขาด (elongation at break) ประมาณ 5 - 10%
- (7) สมบัติการคืนตัวกลับ : เส้นใยฝ้ายมีสมบัติการคืนตัวกลับ (elastic properties) ภายหลังจากได้รับแรงกระทำ โดยที่การยืดดึงออก 2% เส้นใยฝ้ายมีการคืนตัวกลับ 74% ส่วนที่การยืดดึงออก 5% เส้นใยฝ้ายมีการคืนตัวกลับเพียง 45% เท่านั้น
- (8) ความถ่วงจำเพาะ : ฝ้ายมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.54
- (9) ผลกระทบต่อความชื้น : ฝ้ายมีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดี โดยที่สภาพความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 65% ฝ้ายสามารถดูดซับความชื้นได้ 6 - 8% และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% พบว่า ฝ้ายสามารถดูดซับความชื้นได้สูงถึง 25 - 27%
- (10) ผลกระทบต่อความร้อน : ฝ้ายสามารถทนต่อความร้อนได้ดี โดยสามารถแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ได้ และสามารถอบแห้งที่อุณหภูมิ 71 - 93°C นอกจากนี้ฝ้ายยังสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 204 - 208°C (400 - 425°F) ในระยะเวลาสั้นๆ เช่น การรีดผ้าอาจใช้ที่อุณหภูมินี้ได้ และจะเริ่มไหม้พร้อมกับเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 246°C (475°F) ซึ่งที่อุณหภูมิสูงชันกว่านี้ฝ้ายจะถูกทำลายได้

สมบัติทางเคมี

- (1) ผลกระทบต่อกรด : ฝ้ายสามารถถูกทำลายด้วยกรดแก่ได้ง่าย เช่น กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เป็นต้น โดยจะละลายฝ้ายเป็นยางเหนียว แต่สำหรับสารพวกกรดอ่อนจะไม่สามารถทำลายฝ้ายได้ เช่น กรดอะซิติก และกรดออกซาลิก เป็นต้น ซึ่งถ้าแช่เส้นใยฝ้ายในกรดออกซาลิกจะมีผลให้เส้นใยอ่อนตัวลง
- (2) ผลกระทบต่อด่าง : ฝ้ายมีความทนทานต่อด่างได้ดี สามารถซักล้างในสารละลายที่เป็นด่างแก่ได้โดยเส้นใยไม่เสียหาย นอกจากนั้นด่างที่เป็นสารเคมีหลักในการทำเมอร์ซิไรซ์จะส่งผลให้เส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

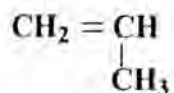
- (3) ผลกระทบต่อตัวทำละลายอินทรีย์ : ฝ้ายมีความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ โดยมีสารอินทรีย์เพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถละลายฝ้ายได้ เช่น สารประกอบคอปเปอร์ คิวปรัมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ (copper complex cuprammonium hydroxide) และ คิวไพรเอทิลีน ไดอะมีน (cupriethylene diamine) เป็นต้น
- (4) ผลกระทบต่อสารซักฟอก : ฝ้ายทนต่อสารฟอกได้ดีมาก แต่สารฟอกที่เป็นตัวออกซิไดส์รุนแรง เช่น โพแทสเซียม เพอร์แมงกาเนต (potassium permanganate) และ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (sodium hypochloride) จะสามารถทำให้ฝ้ายเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ ออกซีเซลลูโลส (oxycellulose) ซึ่งมีผลให้ความแข็งแรงของฝ้ายลดลง ฝ้ายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และขาดง่ายเมื่อเปียก
- (5) ผลกระทบต่อแสงแดด : รังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงแดดจะเปลี่ยนโครงสร้างเซลลูโลสเป็นออกซีเซลลูโลสได้ ซึ่งทำให้เส้นใยฝ้ายที่ถูกแสงแดดมีความแข็งแรงลดลง และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

2.3 พอลิโพรพิลีน

พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถเตรียมจากโพรพิลีนมอนอเมอร์โดยวิธีทั่วๆ ไปเช่นเดียวกับพลาสติกชนิดอื่น ซึ่งการนำโพรพิลีนมาพอลิเมอร์ไรซ์โดยวิธีดั้งเดิมแบบฟรีแรดิคัลหรือแบบอออนิกจะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1953 Natta นักวิจัยชาวอิตาลี ได้ค้นพบตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดหนึ่งจากการศึกษางานวิจัยของ Ziegler โดยงานวิจัยของ Ziegler ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความดันและความร้อนต่างๆ ในการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยานี้สามารถทำให้เกิดโพรพิลีน (C_3H_6) กลายเป็นพอลิโพรพิลีนได้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1954 Natta จึงประสบความสำเร็จในการเตรียมพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว และได้ตั้งชื่อตัวเร่งปฏิกิริยาว่า "Ziegler-Natta" หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1957 จึงได้เริ่มมีการผลิตพอลิโพรพิลีนในเชิงการค้าขึ้นเป็นครั้งแรก ตั้งแต่นั้นพอลิโพรพิลีนได้กลายเป็นพลาสติกที่ได้รับความนิยมและมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางมากชนิดหนึ่ง (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2527)

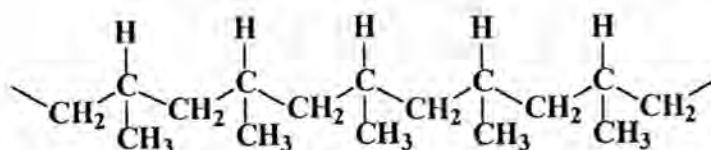
พอลิโพรพิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบแข็งเส้น ปราศจากกิ่งสายโซ่โมเลกุลแยกจากสายโซ่โมเลกุลหลัก เนื่องจากโมเลกุลของโพรพิลีนมีหมู่เมทิล ($-CH_3$) ต่อกับอะตอมของ

คาร์บอนตรงพันธะคู่ ดังรูปที่ 2.4 ดังนั้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจึงสามารถเกิดโครงสร้างของพอลิโพรพิลีนได้ 3 แบบ ดังนี้



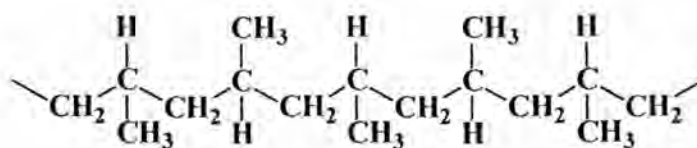
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของโพรพิลีน

- (1) โครงสร้างแบบไอโซแทกติก (isotactic) มีหมู่เมทิลอยู่ข้างเดียวกันตลอดแนวของสายโซ่โมเลกุลอย่างเป็นระเบียบ



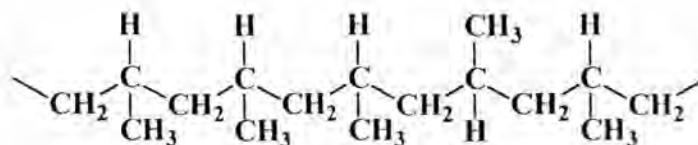
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน

- (2) โครงสร้างแบบซินดิโอแทกติก (syndiotactic) มีหมู่เมทิลอยู่สลับข้างกันตลอดแนวของสายโซ่โมเลกุลอย่างเป็นระเบียบ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของซินดิโอแทกติกพอลิโพรพิลีน

- (3) โครงสร้างแบบอะแทกติก (atactic) มีหมู่เมทิลอยู่ทั้งสองข้างของสายโซ่โมเลกุลอย่างไม่เป็นระเบียบ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของอะแทกติกพอลิโพรพิลีน

การผลิตพอลิโพรพิลีนให้มีโครงสร้างเป็นแบบไอโซแทกติกเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องการ เนื่องจากทำให้ได้พอลิโพรพิลีนที่มีสมบัติเชิงกลดี เช่น ความแข็งแรงและความแข็งแรงแรง (stiffness) สูง จุดอ่อนตัวสูง และทนการละลายได้ดี เป็นต้น ในขณะที่แบบอะแทกติกจะเป็นพอลิเมอร์แบบอสัณฐาน (amorphous) มีลักษณะเหนียวหนืดคล้ายกาวเหมาะสำหรับใช้เป็นสารยึด (adhesion) ซึ่งการผลิตพอลิโพรพิลีนให้ได้แบบไอโซแทกติกนั้นสามารถควบคุมได้จากการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-นัตตา นั่นเอง ตัวอย่างของพอลิโพรพิลีนที่พบในทางการค้า ได้แก่ ไอโซแทกติกโฮโมพอลิเมอร์ (isotactic homopolymer) แรนดอมโคพอลิเมอร์ (random copolymer) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโคพอลิเมอร์กับเอทิลีน (ethylene) หรือบิวทีน (butene-1) และสุดท้ายคือพอลิโพรพิลีนแบบมัลติเฟส บล็อกโคพอลิเมอร์ (multiphase block copolymer) เช่น พอลิโพรพิลีน บล็อกพอลิเอทิลีนโคโพรพิลีน (polypropylene-block-poly(ethylene-co-propylene) (Elias, 1993)

สมบัติ

เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีโครงสร้างแบบเชิงเส้นโดยเฉพาะแบบไอโซแทกติก ทำให้มีความเป็นผลึกสูงซึ่งส่งผลให้พอลิโพรพิลีนมีสมบัติเชิงกลที่ดี เช่น เหนียว แข็งตั้งและมีความความทนแรงดึงสูง นอกจากนี้ยังมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิโอเลฟินส์ (polyolefins) ที่มีโครงสร้างคล้ายกัน โดยมีจุดหลอมเหลวที่ 165°C ในขณะที่พอลิเอทิลีนมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง $105 - 135^{\circ}\text{C}$ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรพิลีนยังคงรักษาความแข็งตั้งและรูปทรงไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 140°C พอลิโพรพิลีนจึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความทนความร้อน เช่น ถุงร้อน เป็นต้น

พอลิโพรพิลีนถือได้ว่าเป็นพลาสติกที่เบาที่สุด มีความหนาแน่นเพียง 0.905 g/cm^3 ซึ่งเป็นข้อดีในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา สมบัติการละลายของพอลิโพรพิลีนคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีน คือ ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายใด ๆ ทั้งสิ้นที่อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C ทำนองเดียวกับกรณีของพอลิเอทิลีน นอกจากนี้พอลิโพรพิลีนสามารถทนกรดและเบสได้เป็นอย่างดี และทนไขมันและน้ำมันได้ดีด้วย อีกทั้งยังเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป

อย่างไรก็ตามพอลิโพรพิลีนยังมีจุดอ่อน คือ จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำ ประมาณ 0°C และมีเสถียรภาพต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดซ์ น้อยกว่าพอลิเอทิลีนเพราะสายโซ่ของพอลิโพรพิลีนมีไฮโดรเจนอะตอมที่เกิดพันธะกับคาร์บอนองศา 3 (tertiary carbon) ซึ่งเป็นจุดที่อ่อนแอต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นก่อนที่จะนำพอลิโพรพิลีนไปใช้งานต้องมีการเติมสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) สารเพิ่มเสถียรภาพต่อแสง UV (UV stabilizer) และสารเพิ่มเสถียรภาพอื่น ๆ

การใช้งาน

- งานฉีดแบบ (injection molding) : ใช้ทำกล่องแบดเทอริ์ ถังน้ำมันในรถยนต์ กันชนรถยนต์ ลังใส่ขวด กระดาษต้นไม้ ของเด็กเล่น ด้ามแปรงสีฟัน ฝาจากพลาสติก เฟอริ์นเจอร์ และเครื่องใช้ทางการแพทย์ เช่น กระบอกฉีดยาใช้ครั้งเดียวทิ้ง เป็นต้น

- งานเป่าถุง (blown film) : ใช้ทำทั้งถุงอาหารร้อนและเย็น โดยลักษณะของถุงจะใส และของบรรจุอาหารแห้ง เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป อีกทั้งของอาหารที่มีไขมันและอายุการเก็บรักษาไม่สูง เช่น คุกกี้ ถั่วทอด นอกจากนี้ยังใช้ทำพลาสติกหุ้มของบุหรี และของใส่เสื้อเท้าอีกด้วย

- งานเป่าแบบ (blow molding) : ใช้ทำผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เช่น ขวด ถัง ลัง ถาด ตระกร้า หรือภาชนะที่ต้องการความทนทานสูง

- งานอัดรีด (extrusion) : ใช้ทำเส้นใยกระสอบสาน แห อวน ผ้าใบปกป้องพืชสวนเนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีความแข็งแรงสูงสามารถรับแรงมาก ๆ ได้ และสามารถขึ้นรูปโดยการอัดรีดเป็นเส้นได้ (เสาวจรณ์ ช่วยจุลจิตร์, 2540)

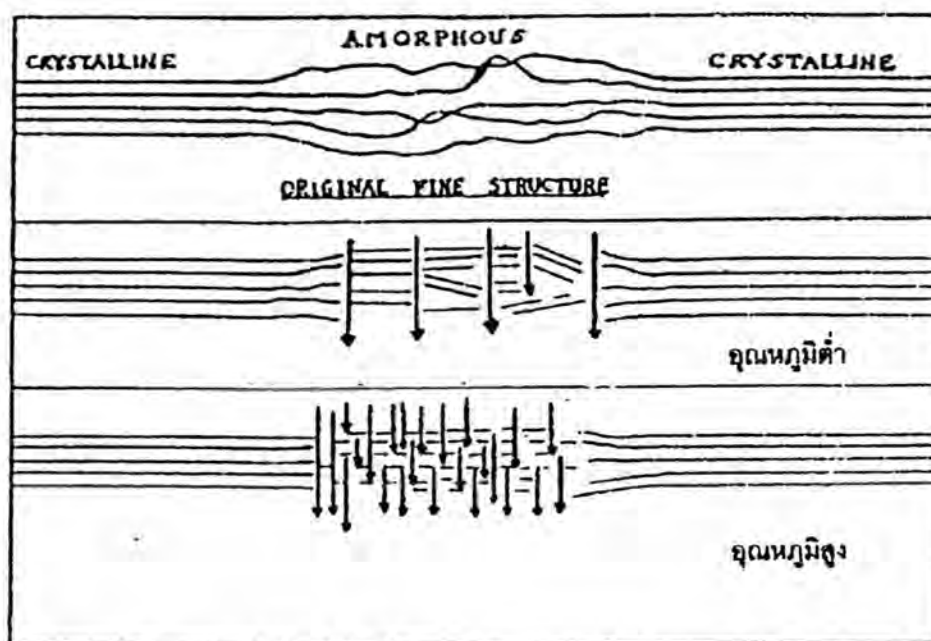
2.4 การไฮโดรไลซิสเส้นใยเซลลูโลส

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis reaction) เป็นปฏิกิริยาที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาบางชนิดหรือใช้สภาวะที่ค่อนข้างรุนแรง เช่น ที่อุณหภูมิและความดันสูง เป็นต้น ซึ่งถ้าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเรียกว่า "ปฏิกิริยาแอซิดไฮโดรไลซิส" (acid hydrolysis) หรือถ้าใช้สารอัลคาไลน์ที่มีฤทธิ์เป็นเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเรียกว่า "ปฏิกิริยาอัลคาไลน์ไฮโดรไลซิส" (alkaline hydrolysis)

ในอดีตได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการใช้วิธีไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจางกับเส้นใยเซลลูโลส เพื่อวิเคราะห์สมบัติด้านสัณฐานวิทยา (morphological properties) โดยผลลัพธ์ที่ได้หลังจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสคือ การเปลี่ยนแปลงสภาพของเส้นใยเซลลูโลสไปเป็นผงคล้ายผงแคลเซียมคาร์บอเนตเมื่อมองด้วยตาเปล่า ซึ่งการใช้วิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดนี้ได้รับริเริ่มโดยงานวิจัยของ Nickerson (1941) ซึ่งได้ทดลองนำเส้นใยเซลลูโลสมาต้มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.45 N และสารละลายกรดเฟอริกคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.6 M ภายใต้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรุนแรงนี้ มีผลให้สายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสแตกออกอย่างรวดเร็ว ที่พันธะ 1,4 ไกลโคสิติก (1,4 glycosidic) ทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงและในที่สุดจะได้เป็นกลูโคส ซึ่งสามารถอธิบายผลลัพธ์ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสนี้ได้โดยอาศัยพื้นฐานของโครงสร้างเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งมี 2 ส่วนคือ โครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous) และโครงสร้างแบบผลึก (crystalline) กล่าวคือในส่วนแรกที่เป็นโครงสร้างแบบอสัณฐานนั้นสามารถถูกทำปฏิกิริยาจากกรดได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ส่วนที่สองซึ่งเป็นโครงสร้างแบบผลึกจะถูกทำปฏิกิริยาจากกรดในอัตราที่ช้ามากๆ ทำให้เมื่อเวลาในการดำเนินปฏิกิริยาผ่านไปจะพบว่าลักษณะอสัณฐานในเส้นใยจะลดลงเรื่อยๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าส่วนอสัณฐานนั้นสามารถละลายได้ในกรด แต่ในส่วนของผลึกจะสามารถต้านทานกรดได้ และเมื่อภายหลังจากปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้วจึงเหลือแต่ส่วนของผลึกซึ่งมีผลให้เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเซลลูโลสที่ได้หลังปฏิกิริยามีลักษณะเป็นผงนั่นเอง

ต่อมา Davidson (1943) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดที่มีต่อการดูดซึมน้ำของผงเซลลูโลส พบว่าภายหลังการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดเสร็จสิ้น การดูดซึมน้ำของผงเซลลูโลสที่ได้จะลดลงอย่างมาก ซึ่งการลดลงอย่างมากของความสามารถในการดูดซึมน้ำนี้สามารถอธิบายได้ว่า เกิดจากการหายไปของลักษณะอสัณฐานซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการดูดซึมน้ำของเส้นใยเซลลูโลสและสอดคล้องกับผลของน้ำหนักเซลลูโลส โดยพบว่าน้ำหนักผงเซลลูโลสที่ได้หลังทำปฏิกิริยาจะน้อยกว่าน้ำหนักของเส้นใยเซลลูโลสก่อนทำปฏิกิริยาเล็กน้อย

งานวิจัยสำคัญอีกโครงการหนึ่ง ซึ่งศึกษาโดย Battista (1950) ได้กล่าวถึง ผลกระทบของ เวลา อุณหภูมิ และ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ 2.5 N และ 5 N ในการทำปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิสกับเส้นใยเซลลูโลสชนิดต่างๆ กัน ในที่นี้ขอยกตัวอย่างเส้นใยเซลลูโลสในงานวิจัยของ Battista ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ มา 4 ชนิดคือ (1) ฝ้ายดิบ (raw cotton) (2) เส้นใยสันของ ฝ้ายที่ผ่านการฟอก (bleached cotton linter) (3) เยื่อจากเส้นใยสันของฝ้าย (cotton linters pulp) และ (4) เยื่อไม้ (wood pulp) ซึ่งในการทดลองจะทำการวัดค่าลำดับขั้นของการ พอลิเมอไรเซชัน (degree of polymerization, DP) ที่เปลี่ยนไปเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปเรื่อยๆ โดยใช้วิธีการวัดความหนืดในสารละลายคิวพราโมเนียม (cuprammonium) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปค่า DP ของเส้นใยเซลลูโลสจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าคงที่ และพบว่าการเพิ่ม อุณหภูมิสูงขึ้นหรือการต้มจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้ดำเนินไปได้เร็วขึ้น ดังจะเห็นได้จากในรูปที่ 2.8 และตารางที่ 2.2 แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินจุดเดือดของน้ำอาจมีผลให้เกิดการเปลี่ยนสีของเซลลูโลสได้ ส่วนความเข้มข้นของกรดนั้นพบว่า ความเข้มข้น 2.5 N และ 5 N มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาใกล้เคียง กัน



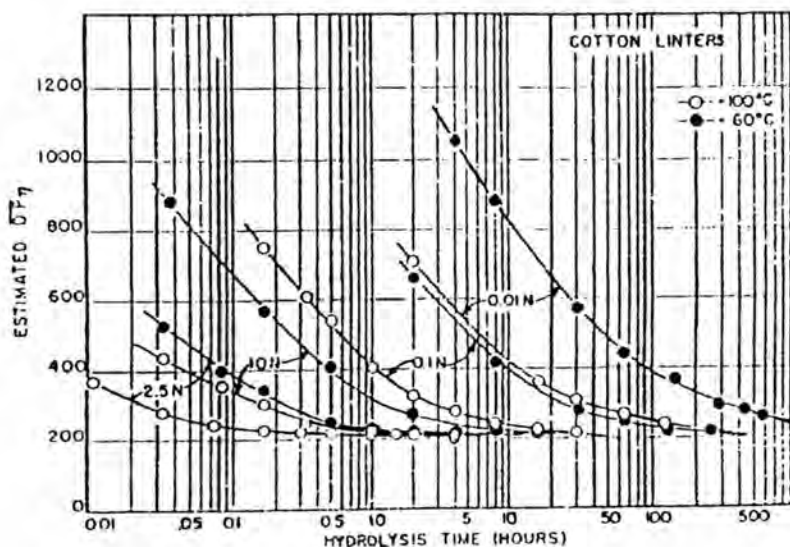
รูปที่ 2.8 แบบจำลองของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดที่อุณหภูมิสูงและต่ำ

ตารางที่ 2.2 ค่า DP ของเส้นใยเซลลูโลสชนิดต่างๆ ระหว่างปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 N (Battista, 1950)

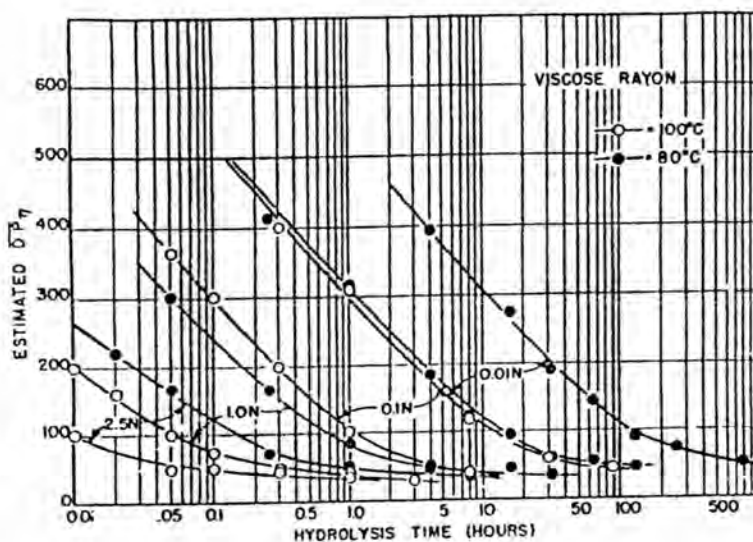
เวลาในการ ทำปฏิกิริยา	Raw Cotton				Bleached Cotton Linters			
	5 °C	18 °C	40 °C	ต้ม	5 °C	18 °C	40 °C	ต้ม
-	3200	3200	3200	3200	1900	1900	1900	1900
15 นาที	2100	1680	1131	240	862	774	651	260
30 นาที	1780	1590	918	"	834	727	580	"
1 ชั่วโมง	1680	1520	728	"	821	707	535	"
2 ชั่วโมง	1620	1440	546	"	823	680	429	"
4 ชั่วโมง	1590	1249	484	"	795	630	385	"
6 ชั่วโมง	1560	1150	450	"	787	610	360	"
8 ชั่วโมง	1485	1065	40	"	784	576	320	"
24 ชั่วโมง	1060	723	"	"	705	479	"	"
เวลาในการ ทำปฏิกิริยา	Cotton Linters Pulp				Wood Pulp			
	5 °C	18 °C	40 °C	ต้ม	5 °C	18 °C	40 °C	ต้ม
-	880	880	880	880	1030	1030	1030	1030
15 นาที	871	771	574	280	1015	946	742	297
30 นาที	865	742	495	"	1002	940	663	"
1 ชั่วโมง	844	725	410	"	990	924	585	"
2 ชั่วโมง	808	700	352	"	970	848	514	"
4 ชั่วโมง	764	670	330	"	940	755	440	"
6 ชั่วโมง	750	652	302	"	930	718	398	"
8 ชั่วโมง	746	605	298	"	912	690	352	"
24 ชั่วโมง	682	476	"	"	858	475	"	"

จากแนวทางการวิจัยของ Battista ทำให้ Nelson และ Tripp (1953) ได้ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกของเส้นใยฝ้ายและเส้นใยเรยอน (rayon) ที่อุณหภูมิ 100°C และ 80°C ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ค่า คือ 0.01 N 0.1 N 1.0 N และ 2.5 N โดยวิเคราะห์ผลจากค่า DP ที่ลดลง เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น พบว่าสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกว่าและความเข้มข้นมากกว่าจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้เร็วกว่า แต่อย่างไรก็ตามทุกสภาวะในการทดลองจะให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันคือ เมื่อสิ้นสุด

ปฏิกิริยา เส้นใยจะเปลี่ยนสภาพเป็นผง และมีค่า DP ที่คงที่และเท่ากัน ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10 โดยจุดคงที่ของค่า DP ที่ลดลงของฝ้ายอยู่ที่ประมาณ 220 และเรยอนอยู่ที่ประมาณ 45



รูปที่ 2.9 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดของเส้นใยฝ้ายที่อุณหภูมิและความเข้มข้นแตกต่างกัน (Nelson และTripp, 1953)



รูปที่ 2.10 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดของเส้นใยเรยอนที่อุณหภูมิและความเข้มข้นแตกต่างกัน (Nelson และTripp, 1953)

2.5 การปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วจะมีองค์ประกอบหลักประเภทเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ดี เป็นผลให้เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) การนำเส้นใยธรรมชาติมาเป็นสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงให้กับพลาสติก ซึ่งโดยปกติแล้วพลาสติกส่วนใหญ่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน และพอลิลิไธรีน เป็นต้น ทำให้พลาสติกมีสมบัติที่ตรงกันข้ามกับเส้นใยธรรมชาติคือ สมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จากลักษณะดังกล่าวทำให้เส้นใยธรรมชาติและพลาสติกไม่สามารถเข้ากันได้ และเนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีหมู่ไฮดรอกซิลมากมายทำให้เกิดแนวโน้มในการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยกันเองและเกิดการจับกลุ่มรวมตัวกัน ซึ่งส่งผลที่ตามมาคือ การกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอในเนื้อพลาสติก ทำให้เกิดเป็นระบบการผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous system) ซึ่งมีผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ได้แยกลง โดยสาเหตุทั้งหมดนั้นเนื่องมาจากการขาดแรงยึดติดระหว่างผิวหน้าของเส้นใยและพลาสติกนั่นเอง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติ เพื่อให้สามารถยึดติดและกระจายตัวในเนื้อพลาสติกได้ดี ซึ่งจะส่งผลถึงสมบัติที่ดีของวัสดุเชิงประกอบด้วย โดยการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาตินั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ กระบวนการทางกายภาพ (physical method) และกระบวนการทางเคมี (chemical method)

2.5.1 กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติทางกายภาพนั้นจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของเส้นใย แต่กระบวนการนี้จะไปเปลี่ยนแปลงสมบัติและโครงสร้างทางพื้นผิวของเส้นใย เพื่อให้ผิวหน้าของเส้นใยสามารถมีสมบัติการยึดติดกับพลาสติกได้ดี โดยเกิดเป็นพันธะเชิงกล (mechanical bonding) หรือพันธะทางประจุไฟฟ้า (electrostatic bonding) กับเนื้อพลาสติก กระบวนการทางกายภาพในการปรับปรุงผิวหน้าเส้นใยธรรมชาตินั้นมีได้หลายวิธี เช่น การยืดดึง (stretching) การรีดด้วยลูกกลิ้งร้อน (calendering) การปรับปรุงด้วยความร้อน (thermotreatment) และการทำเป็นเส้นใยผสม (hybrid yarns) เป็นต้น นอกจากนี้วิธีการต่างๆ ดังกล่าวแล้ว ยังมีวิธีการใช้กระแสไฟฟ้า (electrical discharge) ในการปรับปรุงซึ่งกระบวนการทางกายภาพที่นิยมใช้กันทั่วไปในการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติและปรับปรุงวัสดุอื่นๆ (Bledzki และคณะ, 1996) ดังนั้นในที่นี้จะขอล่าวรายละเอียดเพียงวิธีการดังกล่าวเท่านั้น

การใช้กระแสไฟฟ้าในการปรับปรุง

จากการค้นคว้าพบว่าการปรับปรุงโดยใช้กระแสไฟฟ้า เช่น คอโรนา (corona) และ โคลด์พลาสมา (cold plasma) เป็นแนวทางหนึ่งที่ได้มีการนำมาใช้ในการปรับปรุงผิวหน้าของเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้สำหรับวัสดุเชิงประกอบ โดยการทำคอรอนานั้นจะใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนผิวหน้าของเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ผิวหน้า (surface energy) ของเส้นใย (Belgacem และคณะ, 1994) และในบางกรณีจะสามารถไปเพิ่มหมู่อัลดีไฮด์ คีโตน หรือ เอสเทอร์ให้กับผิวหน้าเส้นใยได้ด้วย ส่วนโคลด์พลาสมาเป็นกระบวนการซึ่งใช้แก๊สที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบในปริมาณเท่าๆกัน แล้วทำปฏิกิริยากับไอออนหรืออิเล็กตรอนบนผิวหน้าของเส้นใย นอกจากนี้บางครั้งขณะเกิดปฏิกิริยาผิวหน้าของเส้นใยสามารถดูดกลืนแสงเหนือม่วง (ultraviolet light) ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงที่ผิวเส้นใย และเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ผิวหน้า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มหมู่ฟังก์ชันต่อปฏิกิริยาได้เช่นเดียวกับการทำคอรอนาด้วย

การใช้กระแสไฟฟ้าในการปรับปรุงผิวหน้านี้นั้น พบว่านิยมใช้กับพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟินส์ เช่น พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน เป็นต้น ซึ่งสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติในการไหลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโอเลฟินส์ซึ่งมีเส้นใยเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงได้

2.5.2 กระบวนการทางเคมี

กระบวนการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติทางเคมีนั้น จุดประสงค์หลักคือ การใช้สารเคมีเพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างผิวหน้า (interfacial bonding) ของเส้นใยและพลาสติก โดยการยึดติดนั้นอาจเกิดจากพันธะเคมี (chemical bonding) หรือพันธะเชิงกลก็ได้ เช่น การเกิดพันธะอันเนื่องมาจากการเกาะเกี่ยวกัน (reaction bonding) ของสายไซโมเลกุลซึ่งอยู่บนผิวหน้าของเส้นใยและพลาสติก กระบวนการทางเคมีในการปรับปรุงสมบัติผิวหน้าของเส้นใยมีได้หลายวิธี เช่น การขจัดไขมัน (dewaxing) การขจัดลิกนิน (delignification) การฟอก (bleaching) และการอะเซทิลเลชัน (acetylation) เป็นต้น (Saheb และ Jog, 1999) ซึ่งวิธีเหล่านี้จะทำให้เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติความชอบน้ำลดลงได้ และสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานผิวหน้าของเส้นใย (surface energy) เพื่อให้เส้นใยสามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อพลาสติก แต่วิธีที่นิยมใช้และง่ายที่สุดวิธีหนึ่งคือ การกราฟเส้นใยด้วยสารเคมี (chemical grafting) หรือการใช้สารเชื่อมประสาน (coupling

agent) ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวรายละเอียดเฉพาะวิธีดังกล่าว เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการกราฟเส้นใยด้วยสารเคมีนี้ในการปรับปรุงฝ้าย

การใช้สารเคมีหรือสารเชื่อมประสานในการปรับปรุง

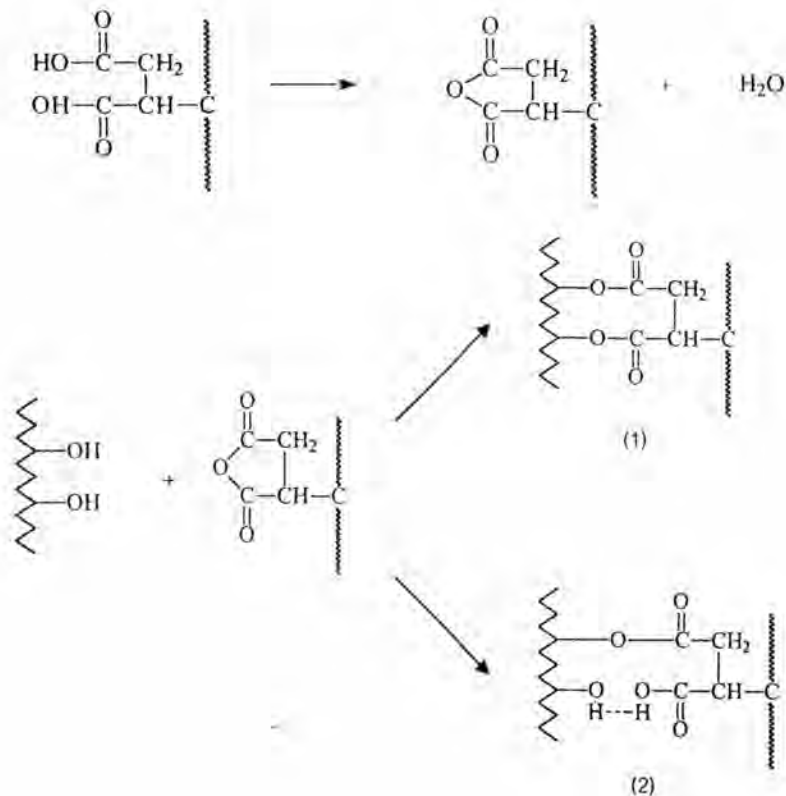
สารเชื่อมประสานนี้เป็นสารเคมีซึ่งมีลักษณะโครงสร้างหลักของโมเลกุลที่ปลายข้างหนึ่งสามารถเข้าทำปฏิกิริยาและสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเซลลูโลสในเส้นใยธรรมชาติ ขณะที่ปลายอีกข้างหนึ่งของโครงสร้างโมเลกุลจะสามารถเกาะเกี่ยวหรือเข้ากันได้ดีกับเนื้อพลาสติก โดยสารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับพลาสติกแต่ชนิดแตกต่างกัน ตัวอย่างของสารเชื่อมประสานที่นิยมนำมาใช้กับเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยเซลลูโลส ได้แก่ สารต่างๆ ดังต่อไปนี้

มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีน

(maleic anhydride grafted polypropylene, MAHPP)

MAHPP เป็นสารที่เกิดจากการนำกรดมาเลอิกมาทำปฏิกิริยากับสายโซ่โพรพิลีนพอลิโพรพิลีน เพื่อให้เกิดเป็นสายโซ่โพรพิลีนพอลิโพรพิลีนที่มีหมู่มาเลอิกเกาะอยู่ โดยปกติแล้วต้องใช้ความร้อนในการกระตุ้นกรดมาเลอิกที่อยู่บนสายโซ่โพรพิลีนพอลิโพรพิลีนกลายเป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา และสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นใยเซลลูโลสเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลกับปลายโพรพิลีนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ซึ่งเกิดการแตกตัวออกระหว่างทำปฏิกิริยาได้ด้วย ดังรูปที่ 2.11

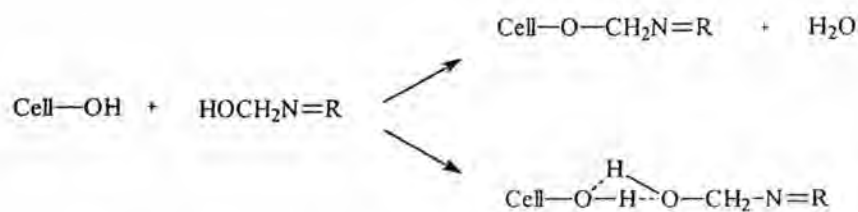
MAHPP เป็นสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมกับพอลิโพรพิลีน เนื่องจากมีสายโซ่โพรพิลีนพอลิโพรพิลีนซึ่งต่ออยู่กับหมู่แอนไฮไดรด์บนเส้นใยเซลลูโลส ทำให้สามารถเกาะเกี่ยวและสามารถเข้ากันกับเมทริกซ์ (matrix) พอลิโพรพิลีนได้ดี นอกจากนี้สายโซ่โพรพิลีนพอลิโพรพิลีนซึ่งเกาะอยู่บนเส้นใยนี้จะสามารถเกิดการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบได้กับสายโซ่โพรพิลีนพอลิโพรพิลีนในเมทริกซ์ทำให้สามารถเกิดผลึกขึ้นได้บางส่วน (segmental crystallization) (Falix และ Gatenholm, 1991 และ Joly และคณะ, 1996) นอกจากนี้ MAHPP แล้วยังมีสารเชื่อมประสานซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์กับสายโซ่โพรพิลีนชนิดอื่นอีก เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิเอทิลีน เป็นต้น



รูปที่ 2.11 ปฏิกริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสกับ MAHPP

สารประกอบเมทิลอล (methylol compounds)

สารประกอบซึ่งมีหมู่เมทิลอลอยู่จะสามารถสร้างพันธะโควาเลนต์และพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นใยเซลลูโลสได้เช่นเดียวกับ MAHPP ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งสารประกอบเมทิลอลนี้จะใช้กับพวกพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต เช่น พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester, UPE) โดยในงานวิจัยที่ผ่านมา (Bledzki และคณะ, 1996) พบว่าเส้นใยเซลลูโลส

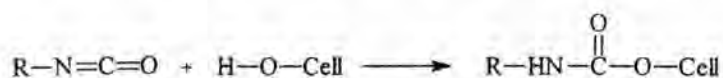


รูปที่ 2.12 ปฏิกริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสกับสารประกอบเมทิลอล

ซึ่งปรับปรุงด้วยเมทิลอลเมลามีน (methylolmelamine) ซึ่งเป็นสารประกอบเมทิลอลชนิดหนึ่ง แล้วนำเส้นใยดังกล่าวมาเป็นสารเสริมแรงให้กับพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัวพบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงจะสามารถลดการดูดซึมน้ำให้กับวัสดุเชิงประกอบได้อย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง และนอกจากนี้ยังเพิ่มความแข็งแรงขณะเปียกให้กับวัสดุเชิงประกอบได้อีกด้วย

สารประกอบไอโซไซยาเนต (isocyanate compounds)

สารประกอบไอโซไซยาเนตสามารถปรับปรุงเส้นใยเซลลูโลสได้ โดยหมู่ไซยาเนตจะสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลสและเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งสารประกอบไอโซไซยาเนตนั้นจะเหมาะกับการปรับปรุงเส้นใยเซลลูโลสเพื่อใช้เสริมแรงสำหรับ พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride, PVC) และพอลิสไตรีน (polystyrene, PS)

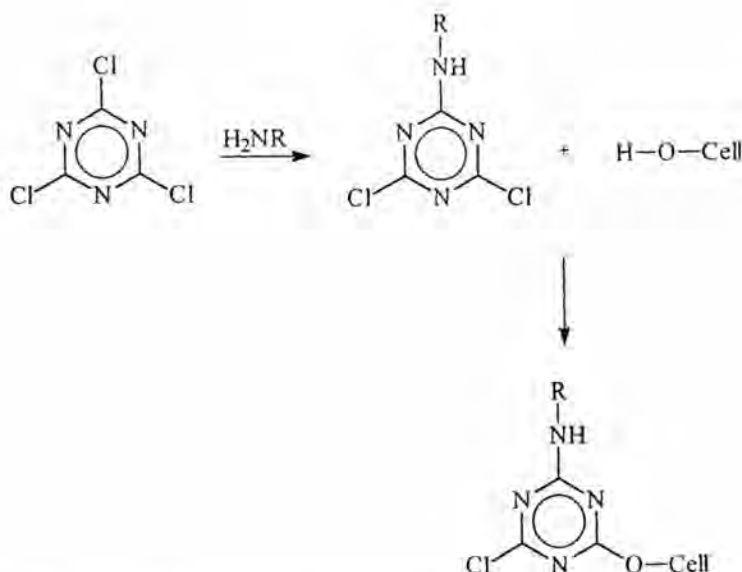


รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสกับสารประกอบไอโซไซยาเนต

ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา (Maldas และคณะ, 1989) พบว่าได้มีการนำใยไม้ (wood fiber) มาปรับปรุงด้วยสาร พอลิเมทิลีน พอลิฟีนิลีน ไอโซไซยาเนต (polymethylene polyphenyl isocyanate, PMPPIC) สำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิสไตรีน ซึ่งพบว่าสารประกอบไอโซไซยาเนตนี้มีความสามารถในการปรับปรุงใยไม้ให้ยึดติดกับเมทริกซ์พอลิสไตรีนได้มีประสิทธิภาพมากกว่าสารปรับปรุงประเภทซิลาน (silane) เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างสารสองชนิด

สารประกอบไตรอะซีน (triazine compounds)

อนุพันธ์ของสารประกอบไตรอะซีนสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นใยเซลลูโลสได้ ดังรูปที่ 2.14 ทำให้เส้นใยมีสมบัติความชอบน้ำลดลง และนอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการบวมตัว (swelling) ของเส้นใยอื่นเนื่องมาจากความชื้นหรือน้ำ โดยสร้างการเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างปลายวงแหวนไตรอะซีนกับเส้นใย (Zadorecki และ Ronnhult, 1986) ซึ่งวงแหวนไตรอะซีนนี้เองจะเป็นตัวขัดขวางการแทรกซึมของน้ำเข้าสู่เส้นใย โดยชนิดของพลาสติกที่ใช้กับสารประกอบไตรอะซีนนี้โดยส่วนมากเป็นพวกเทอร์โมเซต เช่น พอลิเอไมด์ (polyamide) พอลิอิมิด (polyimide) และพอลิยูรีเทน (polyurethane) เป็นต้น

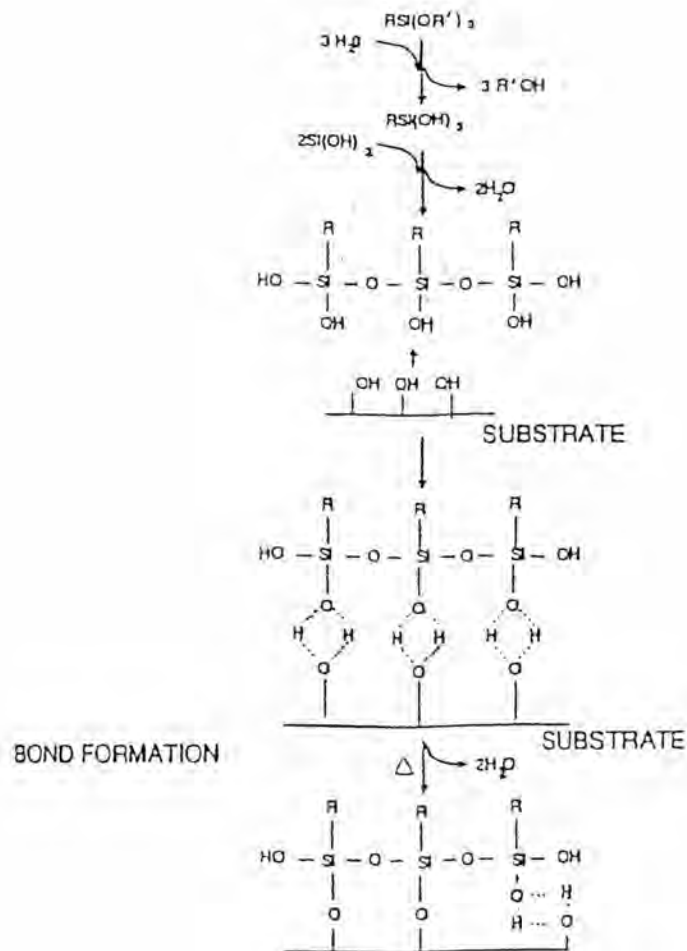


รูปที่ 2.14 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและสารประกอบไตรอะซีน

สารประกอบอินทรีย์ของซิลเลน (organosilane compounds)

โดยปกติแล้วซิลเลนเป็นสารเชื่อมประสานที่นิยมใช้กับสารเสริมแรงหรือสารเติมแต่งอินทรีย์ เช่น เส้นใยแก้ว และสารแร่เติมแต่ง (mineral fillers) เป็นต้น แต่ก็มีซิลเลนบางชนิดที่สามารถนำมาใช้กับเส้นใยธรรมชาติได้ด้วย เช่น แอลคอกซีซิลเลน (alkoxysilane) ซึ่งเป็นสารที่หมู่แอลคอกซีซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นใยเซลลูโลสได้ (Bledzki และคณะ, 1996) และสามารถเกิดการเชื่อมโยงระหว่างผิวหน้าเส้นใยและ

เมทริกซ์ของพลาสติกได้ ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งการเลือกใช้สารประกอบไฮเลนกับพลาสติกชนิดใดนั้น ขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบไฮเลนว่าจะสามารถเข้ากับพลาสติกชนิดนั้นๆ ได้หรือไม่



รูปที่ 2.15 ปฏิกริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและสารประกอบไฮเลน

นอกจากสารเชื่อมประสานต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว จากการค้นคว้าพบว่ามีสารเคมีอีกหลากหลายชนิดที่สามารถนำมาปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งสารเคมีแต่ละชนิดก็มีความเหมาะสมกับเส้นใยธรรมชาติแตกต่างกันด้วย ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติ (Saheb และJog, 1999)

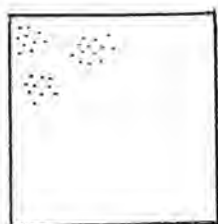
เส้นใยธรรมชาติ	สารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุง
ผงหรือเยื่อไม้	m-phenylene bismaleimide , urea-formaldehyde , acetic anhydride , itaconic anhydride , maleic anhydride , maleic anhydride grafted PP , acrylic acid grafted PP , silane , zirconates , titanates , succinic acid , linoleic acid , stearic acid , abietic acid , oxalic acid , rosin , polyisocyanate
ปอกระเจา	phenol-formaldehyde , malemine-formaldehyde , cardanol-formaldehyde
ปอไชรัล	sodium hydroxide , isocyanate , sodium aliginate , N-substituted mathacrylamide
ใยสับปะรด	p-phenylene diamine
ใยกล้วย	sodium alginate
ใยกามมะพร้าว	sodium alginate , sodium carbonate

2.6 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบเทอร์โมพลาสติก

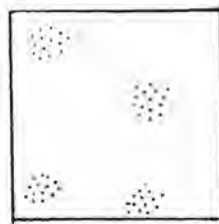
กระบวนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบเทอร์โมพลาสติกนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคืออิทธิพลของตัวแปรในการขึ้นรูปอันเนื่องมาจากเครื่องจักรที่มีผลต่อพลาสติกและสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงที่ใส่ลงไป เช่น ความเร็วรอบต่อนาที ระยะเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ เป็นต้น เนื่องจากคุณสมบัติทางด้านความร้อนของพลาสติกและสารตัวเติมแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ตัวแปรเหล่านี้อาจไปทำลายสมบัติของสารตัวเติมทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นก่อนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบต้องศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ให้แน่ชัดเสียก่อน สำหรับกระบวนการขึ้นรูปที่นิยมใช้กับวัสดุเชิงประกอบเทอร์โมพลาสติกได้แก่ การเป่าลมร้อน (thermoforming) การอัดรีด (calendering) การอัดแบบ (compression molding) และการฉีดแบบ (injection molding) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการวิจัยนี้ แต่ก่อนที่จะถึงกระบวนการขึ้นรูปออกมาเป็นชิ้นงานนั้น ต้องผ่านกระบวนการผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นสารประกอบเม็ดพลาสติกเสียก่อน ซึ่งสามารถอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

2.6.1 การผสมสารประกอบ (Compounding)

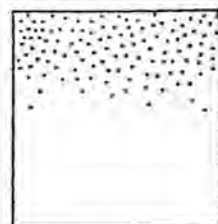
การผสมเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดการกระจายตัวของสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงในเนื้อพลาสติก สมบัติเชิงกลที่ดีของวัสดุเชิงประกอบจะได้มาจากการที่องค์ประกอบแต่ละชนิดสามารถผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี มีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง และสม่ำเสมอ ในเนื้อพลาสติก ดังรูปที่ 2.16 โดยเครื่องจักรที่ใช้สำหรับผสมวัสดุเชิงประกอบจะทำหน้าที่หลอมเหลวพลาสติกและทำการคลุกเคล้าผสมพลาสติกหลอมเหลวกับสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงเพื่อให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเครื่องผสมนั้นมียูหลายชนิดด้วยกัน สามารถแบ่งตามจำนวนเกลียวหนอนอน (screw) ที่ใช้ผสมได้เป็น 3 แบบ คือ เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว (single screw mixer) เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนอนคู่ (twin screw mixer) และเครื่องผสมแบบหลายเกลียวหนอนอน (multi screw mixer) โดยเครื่องผสมที่มีจำนวนเกลียวหนอนอนมากกว่าจะสามารถทำการคลุกเคล้าของผสมให้เข้ากันได้ดีและมีประสิทธิภาพมากกว่า ในที่นี้จะขอกกล่าวให้ทราบเฉพาะเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนอนคู่ เนื่องจากเป็นเครื่องผสมที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้



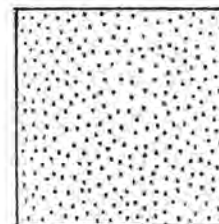
กระจายอย่างไม่ทั่วถึงและไม่สม่ำเสมอ



กระจายอย่างทั่วถึงแต่ไม่สม่ำเสมอ



กระจายอย่างสม่ำเสมอแต่ไม่ทั่วถึง



กระจายอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ

รูปที่ 2.16 แบบจำลองลักษณะการกระจายตัวของสารตัวเติมในเนื้อพลาสติก

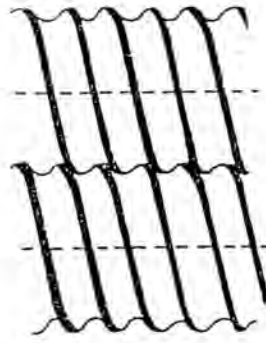
เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่

เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่แตกต่างจากแบบเกลียวหนอนเดี่ยวคือ มีเกลียวหนอน 2 ตัวในกระบอกผสม ซึ่งพื้นเกลียวของเกลียวหนอนจะอยู่ในลักษณะที่ซบกัน เพื่อทำหน้าที่บดผสมของผสม ทั้งนี้สามารถแยกประเภทของเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ตามแบบการหมุนของเกลียวหนอนได้เป็น 2 ประเภท คือ (Morton-Jones, 1989)

(1) เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่หมุนทางเดียวกัน (co-rotating twin screw mixer)

หรือ closely intermeshing co-rotating (CICO)

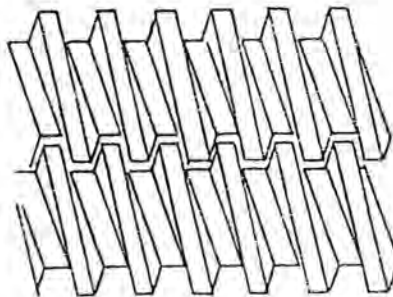
เครื่องผสมชนิดนี้เกลียวหนอนคู่จะทำหน้าที่หมุนและลำเลียงของผสมไปในทิศทางเดียวกัน โดยของผสมจะเคลื่อนกลับเป็นรูปเลข 8 วนไปรอบๆ เกลียวทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ของผสมจะถูกผสมและลำเลียงผ่านเกลียวหนอนไปตามแนวที่ขนานกับแกนของเกลียวหนอน สำหรับการผสมตามแนวขวางจะเกิดขึ้นบริเวณช่องของเกลียวหนอน (channels) ขณะที่เกลียวหนอนหมุนจะเกิดความเร็วเฉือนสูงในการพาชั้นของของผสมไป ก่อให้เกิดกลไกการบดและคลุกเคล้าที่ดี ทำให้ของผสมมีโอกาสกลับมารวมตัวกันใหม่ ทำให้มีการกระจายของสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.17 เกลียวหนอนคู่แบบหมุนทางเดียวกัน

- (2) เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่หมุนสวนทางกัน (counter-rotating twin screw mixer) หรือ closely intermeshing counter-rotating (CICR)

เครื่องผสมชนิดนี้เกลียวหนอนคู่จะทำหน้าที่หมุนและลำเลียงของผสมไปในทิศทางเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ซึ่งเกลียวหนอนทั้งสองนั้นมีลักษณะลึอกันอยู่ ของผสมจึงถูกผสมและลำเลียงจากเกลียวหนอนหนึ่งไปยังอีกเกลียวหนอนหนึ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการผสมจะประกอบด้วยบริเวณที่มีแรงเฉือนอยู่สองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือบริเวณที่มีแรงเฉือนต่ำ เป็นส่วนที่มีการผสมกันในช่องว่างรูปตัว C ซึ่งเกิดจากฟันเกลียวที่ซบกันอยู่ทำให้เกิดช่องว่างปิดขึ้น ซึ่งเวลาในการผสมส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนนี้ ส่วนที่สองคือ บริเวณที่มีแรงเฉือนสูงจะเกิดในช่วงเวลานั้น ๆ ระหว่างรอยแยกของเกลียวหนอน การผสมด้วยเครื่องชนิดนี้ของผสมจะไม่มีกรกลับรวมตัวกันใหม่ภายหลังการกระจายตัวเหมือนแบบเกลียวหนอนคู่หมุนทางเดียวกัน ดังนั้นเพื่อให้มีการผสมที่ดีจึงต้องมีช่วงเวลาการผสมที่ยาวพอเพียง และวัตถุดิบที่นำมาผสมด้วยวิธีนี้ควรมีความหนืดใกล้เคียงกัน



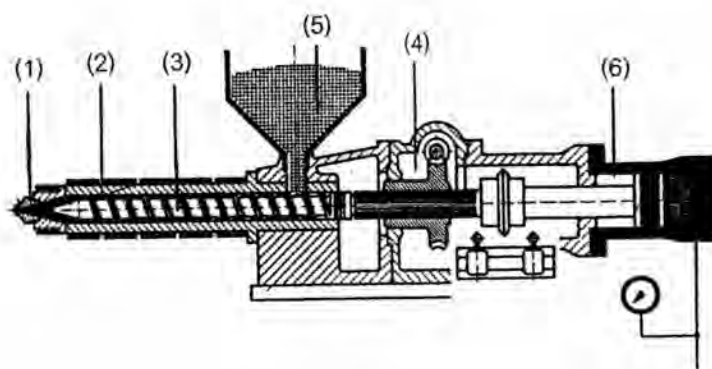
รูปที่ 2.18 เกลียวหนอนคู่แบบหมุนสวนทางกัน

2.6.2 การฉีดพลาสติก (Injection Molding)

การขึ้นรูปเป็นชิ้นงานโดยเทคนิคการฉีดเข้าแม่แบบนั้น สามารถใช้ได้กับพลาสติกที่เป็น เม็ดหรือผง ซึ่งอาจเป็นเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซต หรือ อีลาสโตเมอร์ ทั้งนี้ขึ้นกับส่วนประกอบของเครื่องฉีดที่จะดัดแปลงให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดต่าง ๆ เครื่องฉีดพลาสติกทั้งหลายจะแตกต่างกันในแง่ของรูปแบบเครื่อง วัสดุที่ใช้ผลิต และระบบส่งกำลัง แต่หลักการทำงานและจุดมุ่งหมายในการนำมาใช้งานนั้นคล้ายคลึงกันมาก

ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ (บรรณเลข ศรนิล, 2540)



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

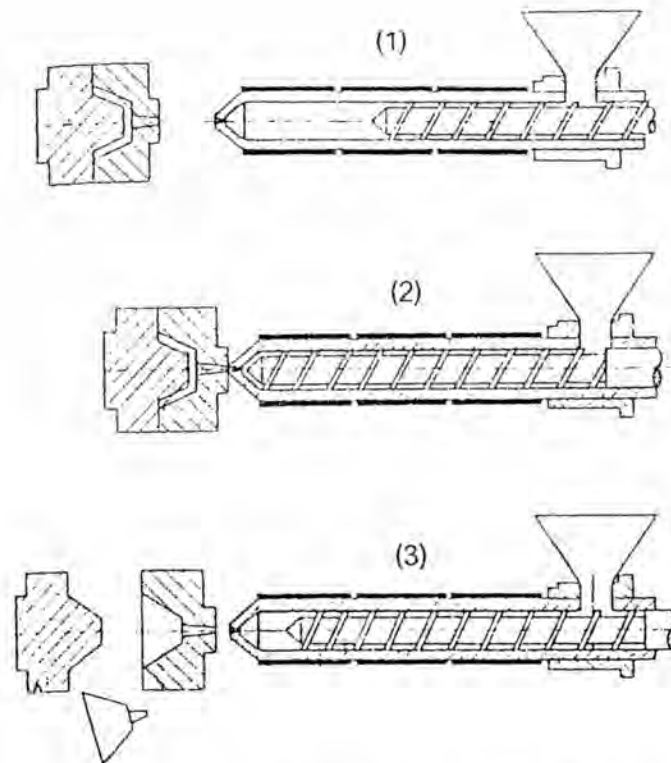
- (1) หัวฉีด (nozzle) - เป็นชิ้นส่วนที่ติดอยู่ข้างหน้าของกระบอกสูบฉีดพลาสติก โดยติดอยู่ด้วยเกลียวหรือแฉลอค มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องฉีดและแม่แบบเพื่อส่งพลาสติกซึ่งหลอมเหลวอยู่ในกระบอกสูบผ่านเข้าไปยังแม่แบบ
- (2) กระบอกสูบ (cylinder) - มีลักษณะเป็นท่อหนาทำด้วยเหล็กที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนและการเกิดสนิม ภายในผิวกระบอกสูบด้านในจะต้องเรียบเพื่อให้มีความฝืดน้อยที่สุด และด้านนอกกระบอกสูบจะมีแผงความร้อน (heater) หุ้มอยู่โดยรอบ ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของพลาสติกที่หลอมเหลวแล้วให้คงที่

- (3) เกลียวหนอน (screw) – เกลียวหนอนซึ่งอยู่ภายในกระบอกสูบจะทำหน้าที่นำพาเม็ดพลาสติกเพื่อให้หลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน และทำหน้าที่เป็นลูกสูบอัดฉีดไปในตัว โดยอัดพลาสติกที่หลอมเหลวแล้วเข้าแม่แบบด้วยความดันสูง
- (4) ระบบมอเตอร์ขับเคลื่อนเกลียวหนอน (drive motors) – การส่งกำลังขับเคลื่อนเกลียวหนอนโดยปกติจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฮดรอลิก สำหรับมอเตอร์ไฮดรอลิกนั้นจะนิยมใช้มากกว่าเนื่องจากสามารถปรับความเร็วรอบของเกลียวหนอนได้ง่ายเพียงการปรับวาล์วเท่านั้น
- (5) กรวยเติมพลาสติก (hopper) – เป็นช่องสำหรับป้อนเม็ดพลาสติกเข้าเครื่องฉีด โดยเครื่องฉีดบางเครื่องจะมีแผงความร้อนติดอยู่ที่กรวยเติมเพื่อควบคุมและไล่ความชื้นให้กับเม็ดพลาสติกก่อนการฉีดด้วย
- (6) กระบอกสูบไฮดรอลิก – กระบอกสูบไฮดรอลิกส่วนท้ายเครื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบส่งกำลังขับเคลื่อน ภายใต้มูลูกสูบไฮดรอลิกทำหน้าที่ขับเคลื่อนเกลียวหนอนตามแนวแกน และด้านล่างจะต่อกับกระบอกสูบไฮดรอลิกอีกอันซึ่งมีหน้าที่ขับเคลื่อนการเข้าออกของหัวฉีด

กระบวนการฉีดพลาสติก

กระบวนการทำงานของเครื่องฉีดสามารถแบ่งเป็น 3 ช่วงด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.20 คือ

- (1) ช่วงแรก พลาสติกซึ่งถูกเติมผ่านทางกรวยเติมจะถูกส่งผ่านมายังลูกสูบเกลียวหนอน และหมุนส่งตามเกลียวหนอนไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบ ซึ่งมีแผงความร้อนควบคุมอยู่ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเหลว
- (2) หลังจากนั้นลูกสูบเกลียวหนอนจะเคลื่อนที่ดันพลาสติกหลอมเหลวผ่านหัวฉีดไปยังแม่แบบซึ่งปิดอยู่
- (3) ขั้นตอนสุดท้าย คือการปล่อยให้พลาสติกหลอมเหลวเย็นและแข็งตัวในแม่แบบซึ่งมีระบบหล่อเย็นอยู่ แล้วทำการเปิดแม่แบบพร้อมทั้งกระทุ้งชิ้นงานออก และถอยลูกสูบเกลียวหนอนเพื่อจะทำการฉีดต่อไป



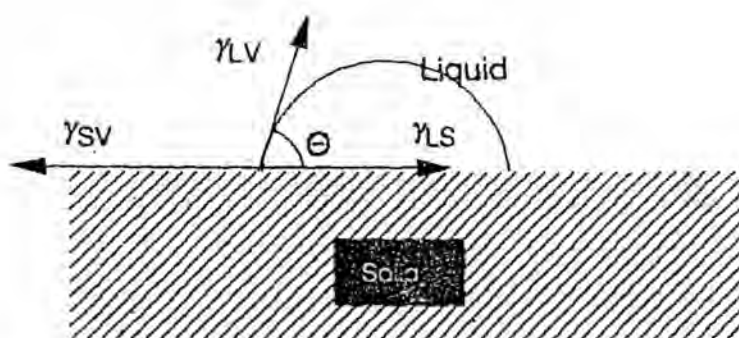
รูปที่ 2.20 กระบวนการฉีดพลาสติก (บรรณเลข ศรนิล, 2540)

2.7 การวิเคราะห์พื้นผิว

ในการตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์นั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน และการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี เป็นต้น นอกจากนี้ การวิเคราะห์พื้นผิวของวัสดุก็เป็นวิธีวิเคราะห์สมบัติที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่าการวิเคราะห์สมบัติด้านอื่น และเนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวของสารตัวเติมฝ้าย ฉะนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์พื้นผิวของฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมี ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ด้วย 2 เทคนิคดังนี้

2.7.1 การวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact Angle Analysis)

การวัดมุมสัมผัสเป็นเทคนิคหนึ่งในการวิเคราะห์พื้นผิวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งใช้ในการวัดความสามารถในการเปียก (wetting) หรือการดูดซึมน้ำของพื้นผิวสิ่งทอ เช่น วิเคราะห์การดูดซึมน้ำที่ผิวหน้าของเส้นใยฝ้าย หรือเส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น โดยค่ามุมสัมผัส (θ) ที่ได้จากวิเคราะห์นี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการเปียกของพื้นผิวของแข็งต่อของเหลวที่หยดลงไป ซึ่งวัดออกมาในลักษณะของมุมภายในหยดของเหลวซึ่งหยดลงบนผิวหน้าของของแข็ง โดยมุมนี้เกิดจากเส้นขอบเขตของหยดของเหลวกระทำกับอากาศที่อยู่ล้อมรอบ (tangent line) ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 มุมภายในของของเหลวบนพื้นผิววัสดุ (Adamson, 1990)

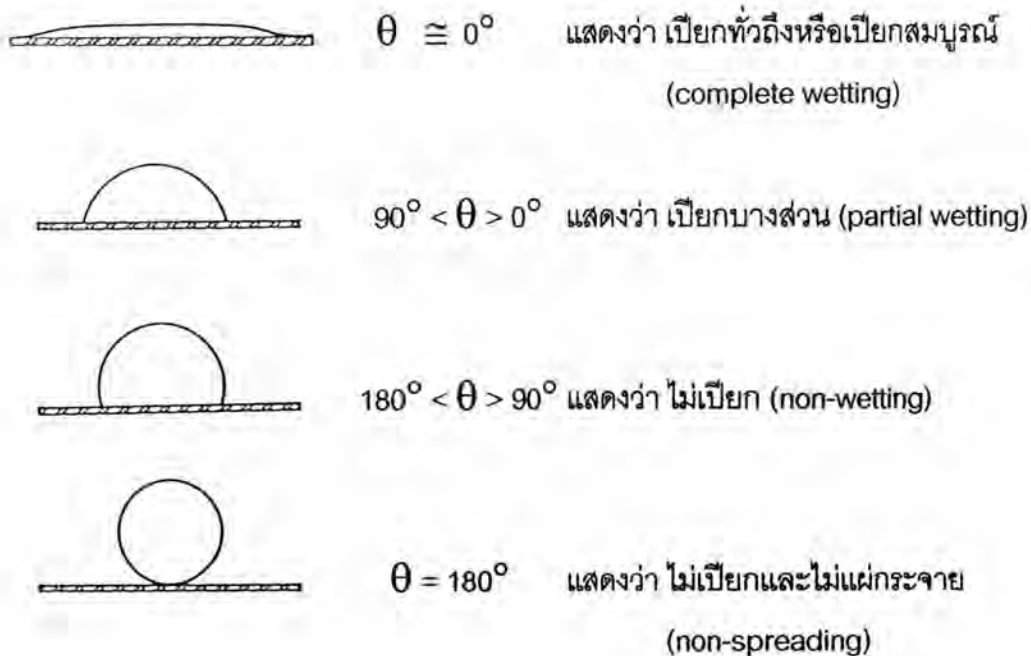
จากรูปที่ 2.21 หยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็งจะก่อให้เกิดมุม θ ซึ่งเกิดจากแรงตึงผิว (surface tension) 3 แรงกระทำกัน ดังนี้

- แรงตึงผิวระหว่างผิวของแข็งกับของเหลว แทนด้วยสัญลักษณ์ γ_{LS}
- แรงตึงผิวระหว่างผิวของแข็งกับอากาศ แทนด้วยสัญลักษณ์ γ_{sv}
- แรงตึงผิวระหว่างผิวของเหลวกับอากาศ แทนด้วยสัญลักษณ์ γ_{LV}

และในปี ค.ศ. 1805 Thomas Young ได้อธิบายสภาวะสมดุลในรูปของผลรวมเวกเตอร์ ดังแสดงในสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$\gamma_{sv} - \gamma_{LS} = \gamma_{LV} \cos\theta \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

จากสมการจะเห็นว่าค่า θ สามารถบอกถึงความสามารถในการเปียกของวัสดุต่อของเหลวนั้น ๆ ที่หยดลงไป โดยถ้าค่า θ มีค่าน้อย หรือ $\gamma_{Ls} + \gamma_{Lv} < \gamma_{sv}$ แสดงว่าสามารถเปียกหรือเข้ากับของเหลวนั้นได้ดี แต่ถ้าค่า θ มีค่ามาก หรือ $\gamma_{Ls} + \gamma_{Lv} > \gamma_{sv}$ แสดงว่าไม่สามารถเปียกหรือเข้ากับของเหลวนั้นไม่ดี โดยมีการแบ่งลำดับความสามารถในการเปียกของวัสดุตามมุมสัมผัส (θ) ที่วัดได้ ดังรูปที่ 2.22



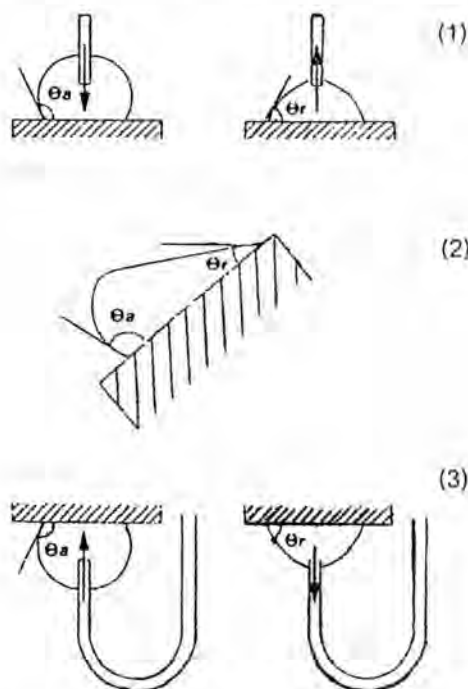
รูปที่ 2.22 ลำดับความสามารถในการเปียกของมุมสัมผัส

วิธีการวัดมุมสัมผัสที่นิยมใช้กันทั่วไปมีอยู่ 3 วิธี (Garbassi และคณะ, 1994) คือ

(1) เทคนิค Sessile Drop

เป็นการใช้ของเหลวที่มีความบริสุทธิ์หยดลงบนพื้นผิวของแข็งที่จะตรวจสอบ โดยใช้ไมโครไซริงค์ (microsyringe) หรือไมโครปิเปต (micropipette) ในการหยดของเหลวให้มีปริมาตรที่แน่นอน ร่วมกับการใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำช่วยในการวัดมุมสัมผัส เครื่องมือที่ใช้ในการวัดนี้เรียกว่า โกนิโอมิเตอร์ (goniometer) การหาค่ามุมสัมผัสสูงสุด (advancing contact angle, θ_a) และค่ามุมสัมผัสต่ำสุด (receding contact angle, θ_r) สามารถหาได้จากการเพิ่มและลดปริมาตรของหยดของเหลวจนกระทั่งหยดของเหลวเริ่มเคลื่อนที่หรือไหลบนพื้นผิวของแข็ง ดังรูปที่

2.23 (1) สิ่งสำคัญที่ต้องระมัดระวังขณะที่ทำการวัดมุมสัมผัส คือการสันสะท้อนและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของหยดของเหลว ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อค่ามุมสัมผัสที่วัดได้



รูปที่ 2.23 เทคนิคการวัดมุมสัมผัสแบบต่างๆ (1) เทคนิค Sessile Drop
(2) เทคนิค Wilhelmy Plate และ(3)เทคนิค Captive Bubble

(2) เทคนิค Wilhelmy Plate

เทคนิคนี้อาศัยหลักการทางพลศาสตร์ (dynamic) โดยทำการวัดมุมสัมผัสขณะที่หยดของเหลวนั้นกำลังเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ส่วนวิธีการหาค่ามุมสัมผัสสูงสุดและต่ำสุด จะใช้การเอียงเพลท (tilting plate) โดยเอียงพื้นผิวหัวโพรบ (probe) จนกระทั่งหยดของเหลวเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.23 (2) ซึ่งค่า Q_u และ Q_d สามารถวัดได้ในครั้งเดียวกัน แต่วิธีการวัดแบบนี้มีข้อเสียคือใช้ระยะเวลาในการวัดแต่ละครั้ง และทำให้บริเวณรอยต่อของผิวสัมผัสมีโอกาสเกิดการรวมตัวของสิ่งเจือปนในบรรยากาศกับชิ้นตัวอย่างทำให้ผลการวัดผิดพลาดได้

(3) เทคนิค Captive Bubble

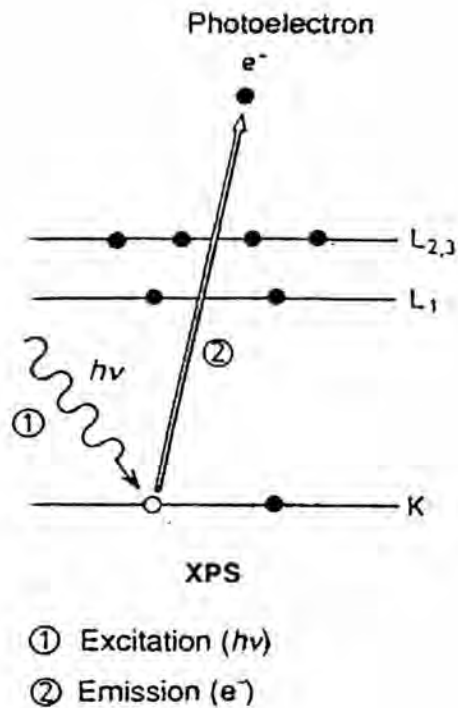
เทคนิคนี้ทำการวัดโดยใช้หลอดรูปตัวยู (U-shaped needle) หยดของเหลวหรือฟองอากาศได้พื้นผิวที่จุ่มอยู่ในของเหลว ในกรณีนี้ของเหลวที่ใช้ในการวัดนั้นจะต้องใช้ของเหลวที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (immiscible) กับของเหลวอีกชนิดที่ใช้ในการทดสอบ เช่น ไฮโดรคาร์บอนเหลว

กับน้ำ เป็นต้น วิธีนี้เหมาะสำหรับของแข็งที่ต้องใช้ในสภาวะที่มีของเหลวล้อมรอบ ส่วนวิธีการหาค่ามุมสัมผัสสูงสุดและต่ำสุดนั้นจะใช้หลักการเดียวกันกับเทคนิค sessile drop คือ การเพิ่มและลดปริมาตรของของเหลวที่หยดบนพื้นผิวตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.23 (3)

2.7.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis, ESCA)

ESCA หรืออีกชื่อหนึ่งที่นิยมเรียกคือ XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) เป็นเทคนิคหนึ่งในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพื้นผิววัสดุ สามารถใช้วิเคราะห์พื้นผิวที่ผ่านการปรับปรุงทางเคมี พื้นผิวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกระแสไฟฟ้า พื้นผิวที่ผ่านการเคลือบ พื้นผิวที่มีสิ่งเจือปน หรือแม้กระทั่งพื้นผิวที่ถูกทำลาย ข้อดีของเทคนิคนี้คือ สามารถใช้ได้กับตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ได้ และสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้ลึกจากผิวหน้าตั้งแต่ในช่วง 10 – 100 อังสตรอม ที่สำคัญคือเทคนิคนี้จะไม่ทำความเสียหายให้แก่ตัวอย่างทดสอบ

หลักการทำงานของ ESCA จะใช้เทคนิคทางสเปกโทรสโกปี (spectroscopy) วิเคราะห์พื้นผิววัสดุโดยการฉายรังสีเอ็กซ์ (X-ray) ไปที่ผิวหน้าวัสดุ จากนั้นโฟตอน (photon) ของรังสีเอ็กซ์ จะเข้าไปกระตุ้นอิเล็กตรอนวงในสุดของอะตอม (core electron) ให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนพลังงานจากโฟตอนไปยังอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นมีพลังงานเพียงพอที่จะหลุดออกมาจากระดับพลังงานที่อยู่ โดยเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) และเรียกพลังงานนี้ว่า พลังงานจลน์ (kinetic energy) ของโฟโตอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 2.24 ซึ่งค่าพลังงานที่ใช้ในการปลดปล่อยอิเล็กตรอนนี้จะเป็นสิ่งบ่งบอกชนิดและปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของพื้นผิววัสดุ โดยแสดงให้เห็นในรูปของสเปกตรัม (spectrum) ซึ่งตำแหน่งของสเปกตรัมที่รายงานผลนั้นเกิดจากการเปลี่ยนค่าพลังงานจลน์ให้อยู่ในรูปของค่าพลังงานการยึดเหนี่ยว (binding energy) ของโฟโตอิเล็กตรอน (Chan, 1994) ธาตุแต่ละชนิดจะมีค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวเป็นค่าเฉพาะตัว เช่น ธาตุคาร์บอน (C) มีค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวที่ 284 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) เป็นต้น สำหรับค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวของธาตุอื่นๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.24 การหลุดออกของโฟโตอิเล็กตรอน

โดยสูตรในการคำนวณค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวได้มาจากความสัมพันธ์ของ Einstein สามารถเขียนได้สมการได้ ดังนี้รูป การหลุดออกของโฟโตอิเล็กตรอน

$$BE = h\nu - KE - \phi_s \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

- เมื่อ
- BE คือ พลังงานการยึดเหนี่ยวของโฟโตอิเล็กตรอน
 - $h\nu$ คือ พลังงานของรังสีเอ็กซ์
(h = ค่าคงที่ของ Plank และ ν = ความถี่ของรังสีเอ็กซ์)
 - KE คือ พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน
 - ϕ_s คือ ฟังก์ชันการทำงาน (work function) ของสเปกโตรมิเตอร์

ตารางที่ 2.4 ค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวในแต่ละระดับพลังงานของธาตุต่าง ๆ (Chan, 1994)

Element	Binding energies (eV)						
	1 S _{1/2}	2 S _{1/2}	2 P _{1/2}	2 P _{3/2}	3 S _{1/2}	3 P _{1/2}	3 P _{3/2}
H	14						
He	25						
Li	55						
Be	111						
B	188			5			
C	284			7			
N	399			9			
O	532	24		7			
F	686	31		9			
Ne	867	45		18			
Na	1072	63		31			
Mg	1305	89		52			
Al		118	74	73			
Si		149	109	99	8		3
P		189	136	135	16		10
S		229	165	164	16		8
Cl		270	202	200	18		7
A		320	247	245	25		12
K		377	297	294	34		18
Ca		438	350	347	44		26
Sc		500	407	402	54		32
Ti		564	461	455	59		34
V		628	520	513	66		38
Cr		695	584	575	74		43
Mn		769	652	641	84		49
Fe		846	723	710	95		56
Co		926	794	779	101		60
Ni		1008	872	855	112		68
Cu		1096	951	931	120		74
Zn		1194	1044	1021	137		87

นอกจากการวิเคราะห์หาชนิดของธาตุแล้ว เทคนิคนี้ยังสามารถหาจำนวนหรือปริมาณอะตอมของธาตุแต่ละชนิดได้อีกด้วย โดยดูจากพื้นที่ใต้กราฟ หรือความสูงของสเปกตรัม (intensity) หรืออาจกล่าวได้ว่าสเปกตรัมที่มีพื้นที่ใต้กราฟ หรือความสูงมากกว่าจะมีจำนวนอะตอมมากกว่า ซึ่งสามารถหาจำนวนอะตอมที่แน่นอนได้ โดยการคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$n = I/S \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

- เมื่อ n คือ จำนวนอะตอมของธาตุต่อ 1 ตารางเซนติเมตรของพื้นที่ผิวตัวอย่าง
 I คือ พื้นที่ใต้กราฟของสเปกตรัม
 S คือ ค่าปัจจัยความไวของอะตอม (atomic sensitivity factor)
 ซึ่งสามารถหาได้จากเครื่องมือและชิ้นงานตัวอย่าง

ข้อควรระวังของเทคนิคนี้คือ นอกจากอิเล็กตรอนวงในสุดที่สามารถจะเกิดสเปกตรัมได้แล้ว อิเล็กตรอนในวงอื่นก็สามารถทำให้เกิดสเปกตรัมได้ด้วย เช่น ปรากฏการณ์ของอิเล็กตรอนวงนอกสุด (valence electron) ที่หลุดออกมาเนื่องจากพลังงานการกระตุ้นของรังสีเอกซ์ (shake up) หรือการเกิดการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดหลุดจากชั้นพลังงานที่อยู่ไปสู่อะดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า (shake off) เป็นต้น แต่ปรากฏการณ์เหล่านี้สามารถสังเกตได้ เนื่องจากสเปกตรัมจะไม่สูง และมีพื้นที่ใต้กราฟน้อย ซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังในการวิเคราะห์ธาตุ