

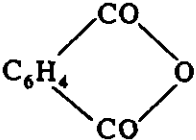
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

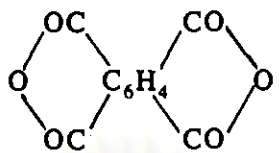
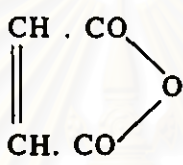
2.1 พอลิเอสเตอร์ (Polyester)

พอลิเอสเตอร์ คือ พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่เอสเตอร์ ($\text{-}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{-O-}$) อยู่ในโครงสร้าง สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation) ระหว่าง พอลิเบสิกแอซิด (polybasic acids) และพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohols) ซึ่งกรดที่ใช้ต้องมีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl groups) อย่างน้อย 2 หมู่ และแอลกอฮอล์ที่ใช้ต้องมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) อย่างน้อย 2 หมู่ เช่นกัน สำหรับตัวอย่างของกรดและแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างกรดที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ [1]

Name	Structure	Functionality
Adipic	$\text{HO}_2\text{C (CH}_2\text{)}_4\text{CO}_2\text{H}$	2
Sebacic	$\text{HO}_2\text{C (CH}_2\text{)}_8\text{CO}_2\text{H}$	2
Phthalic (anhydride)	 ortho	2
Isophthalic	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2\text{H})_2$	meta
Terephthalic	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2\text{H})_2$	para

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Name	Structure	Functionality
Pyromellitic (dianhydride)	 1,2:4,5	4
Benzenetricarboxylic	$C_6H_3(CO_2H)_3$	3
Maleic (anhydride)		2 (as acid)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ [1]

Name	Structure	Functionality
Ethylene glycol	$HO.CH_2.CH_2.OH$	2
Diethylene glycol	$HO.CH_2.CH_2.O.CH_2.CH_2.OH$	2
1,2-Propylene glycol	$HO.CH_2.CHMe.OH$	2
Trimethylene glycol	$HO.CH_2.CH_2.CH_2.OH$	2
1,4 -Butanediol	$HO.CH_2.CH_2.CH_2.CH_2.OH$	2
Neopentyl glycol	$HO.CH_2.CMe_2.CH_2.OH$	2
Trimethylolethane	$CMe(CH_2.OH)_3$	3
Trimethylolpropane	$CEt(CH_2.OH)_3$	3
Hexanetriol	$HO.CH_2CH(CHMe.OH)_2$	3
Glycerol	$HO.CH_2.CH(OH).CH_2.OH$	3
Pentaerythritol	$C(CH_2.OH)_4$	4
Dipentaerythritol	$(HO.CH_2)_3C.CH_2.O.CH_2.C(CH_2.OH)_3$	6
Mannitol	$HO.CH_2(CH.OH)_4CH_2.OH$	6
Sorbitol	$HO.CH_2(CH.OH)_4CH_2.OH$	6

2.1.1 การแบ่งประเภทของพอลิเอสเทอร์

สามารถแบ่งพอลิเอสเทอร์ได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

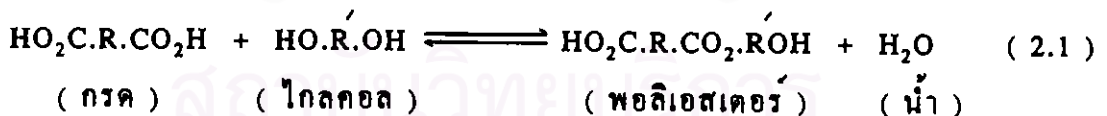
1. พอลิเอสเทอร์แบบเส้นที่ไม่อิ่มตัว (linear unsaturated polyester)
2. พอลิเอสเทอร์แบบเส้นที่อิ่มตัว (linear saturated polyester)
3. พอลิเอสเทอร์แบบร่างแหหรือแบบเชื่อมโยง (network or crosslinked polyester)
4. พอลิคาร์บอเนต (polycarbonate)

สำหรับพอลิเอสเทอร์แบบเส้นที่ไม่อิ่มตัว คือ พอลิเอสเทอร์ที่มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง สามารถเกิดการเชื่อมโยงจนมีโครงสร้างแบบร่างแหได้ ส่วนพอลิเอสเทอร์แบบเส้นที่อิ่มตัว คือ พอลิเอสเทอร์ที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง และพอลิเอสเทอร์ชนิดพอลิคาร์บอเนต คือ พอลิเอสเทอร์ที่มีหมู่ $-O-C(=O)-O-$ อยู่ในโครงสร้าง

2.1.2 ปฏิริยาทางเคมีในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์

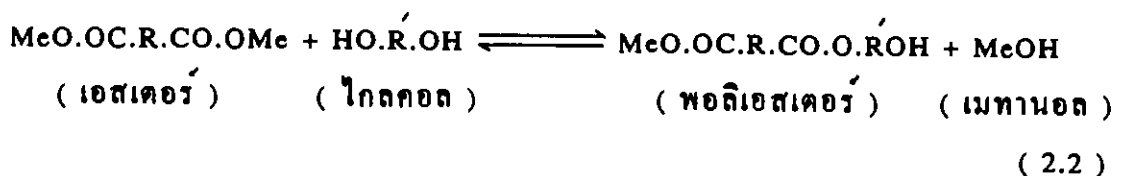
ปฏิริยาทางเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ มีดังนี้

1. ปฏิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (Esterification) ดังสมการ

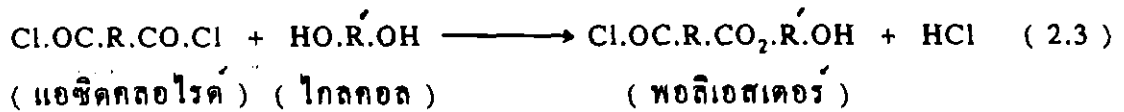


2. ปฏิริยาแลกเปลี่ยนเอสเทอร์ (ester exchange)

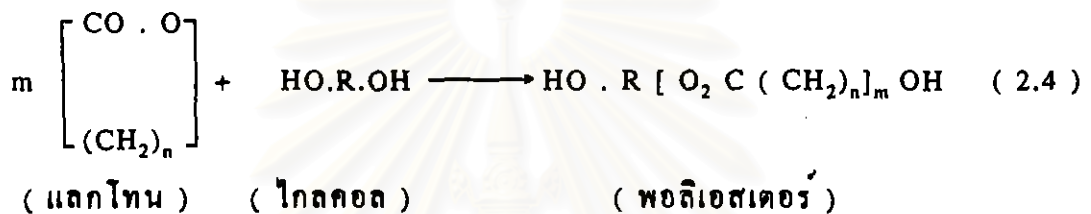
ดังสมการ



3. ปฏิกิริยาระหว่างแอซิดคลอไรด์และไกลคอล ดังสมการ



4. ปฏิกิริยาการเปิดวงแลกโตน ดังสมการ



ปฏิกิริยาในสมการที่ 2.1 และ 2.2 เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ โดยปฏิกิริยาในสมการที่ 2.1 นิยมใช้ในการเตรียมพอลิเอสเตอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งใช้ในงานที่เกี่ยวกับการผลิตพอลิยูรีเทน ส่วนปฏิกิริยาในสมการที่ 2.2 นิยมใช้ในการเตรียมพอลิเอสเตอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยเฉพาะเพท [PET ; Poly (ethylene terephthalate)] ส่วนปฏิกิริยาในสมการที่ 2.3 เกิดได้เร็วมาก แต่ในแง่เศรษฐกิจแล้วถือว่าสิ้นเปลือง เพราะต้องมีการเปลี่ยนกรดให้เป็นแอซิดคลอไรด์ จึงเป็นวิธีที่ไม่นิยม สำหรับปฏิกิริยาในสมการที่ 2.4 เป็นปฏิกิริยาที่ไม่นิยมใช้มากนัก เนื่องจากผลิตพอลิเอสเตอร์ได้น้อยชนิด [1]

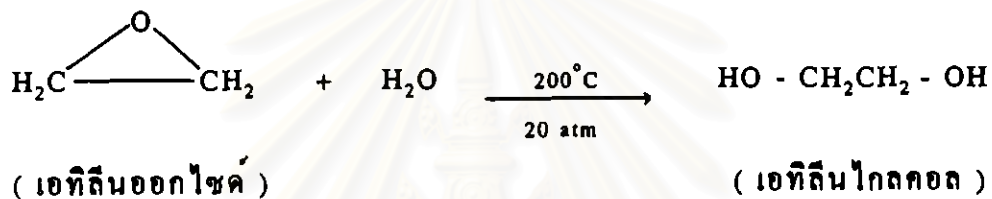
2.2 เพท [PET ; Poly (ethylene terephthalate)]

เพท คือ พอลิเมอร์ที่จัดอยู่ในประเภทพอลิเอสเตอร์แบบเส้นที่อิมตัว มีลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) การสังเคราะห์เพทในครั้งแรกอยู่ในลักษณะของเส้นใย โดย Whinfield และ Dickson [2] พบว่า เพทมีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็กและมีน้ำหนักโมเลกุลพอเหมาะที่จะทำการดึงเพื่อให้ได้เส้นใยที่แข็งแรงและมีความยืดหยุ่น ต่อมาได้มีการนำเพทมาใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากสมบัติเด่นในด้านความใส ความแข็งแรง ความทนแรงกระแทก สามารถ

เก็บแก๊สได้ดี รวมทั้งน้ำหนักเบา จึงนิยมนำไปใช้เป็นขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช เป็นต้น

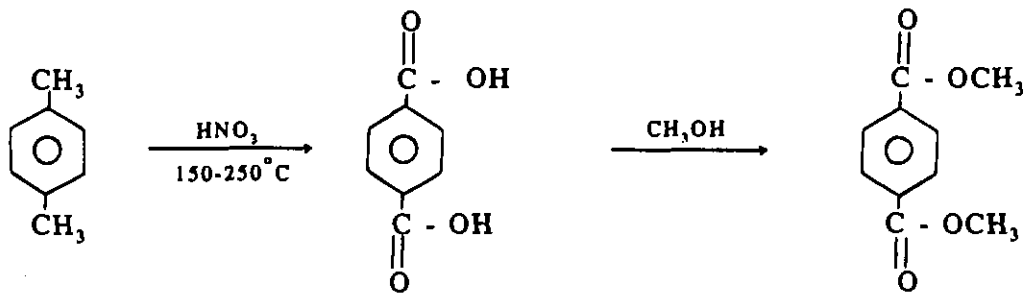
2.2.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เพท

1. เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) เป็นของเหลวไม่มีสี มีจุดเดือด 197°C ซึ่งสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการเพิ่มน้ำให้กับเอทิลีนออกไซด์ ณ อุณหภูมิ 200°C และความดัน 20 บรรยากาศ ดังสมการ



2. ไดเมทิลเทเรฟทาเลต (dimethyl terephthalate ; DMT) ถึงแม้ว่าเพท อาจเตรียมจากการควบแน่นโดยตรง โดยการใช้เอทิลีนไกลคอล และกรดเทเรฟทาลิก (terephthalic acid, $\text{HO}_2\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}_2\text{H}$) แต่ในอุตสาหกรรมนิยมใช้ไดเมทิลเทเรฟทาเลตแทนกรดเทเรฟทาลิกมากกว่า เหตุผลเพราะกรดเทเรฟทาลิก ทำให้บริสุทธิ์ได้ยาก (กรดนี้ระเหิดที่ 300°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงมาก และมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายทั่วไปต่ำ) ตรงกันข้าม ไดเมทิลเทเรฟทาเลตนั้น ทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย โดยการกลั่นแบบลดความดันหรือการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ เหตุผลอีกประการ คือ ไดเมทิลเทเรฟทาเลต สามารถละลายได้ดีในเอทิลีนไกลคอล ทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดได้ดีในระยะแรกเริ่มของปฏิกิริยา

ไดเมทิลเทเรฟทาเลต สังเคราะห์ได้จาก พาราไซลีน (p - xylene) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ด้วยกรดไนตริก ที่อุณหภูมิ $150 - 250^{\circ}\text{C}$ ตามด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน ด้วยเมทานอล ดังนี้



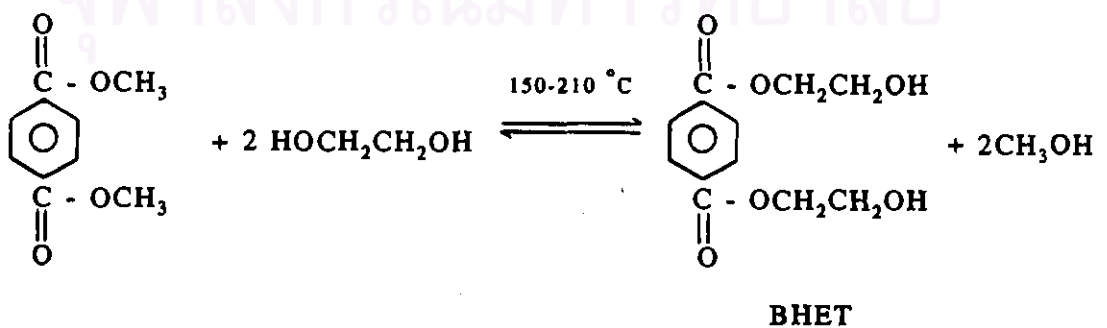
(พาราไซลีน) (กรดเทรเพธาลิก) (ไดเมทิลเทรเพธทาเลต)

ไดเมทิลเทรเพธทาเลตเป็นของแข็งผลึกสีขาว มีจุดหลอมตัวที่ 142 °C [3]

2.2.2 การสังเคราะห์เพท

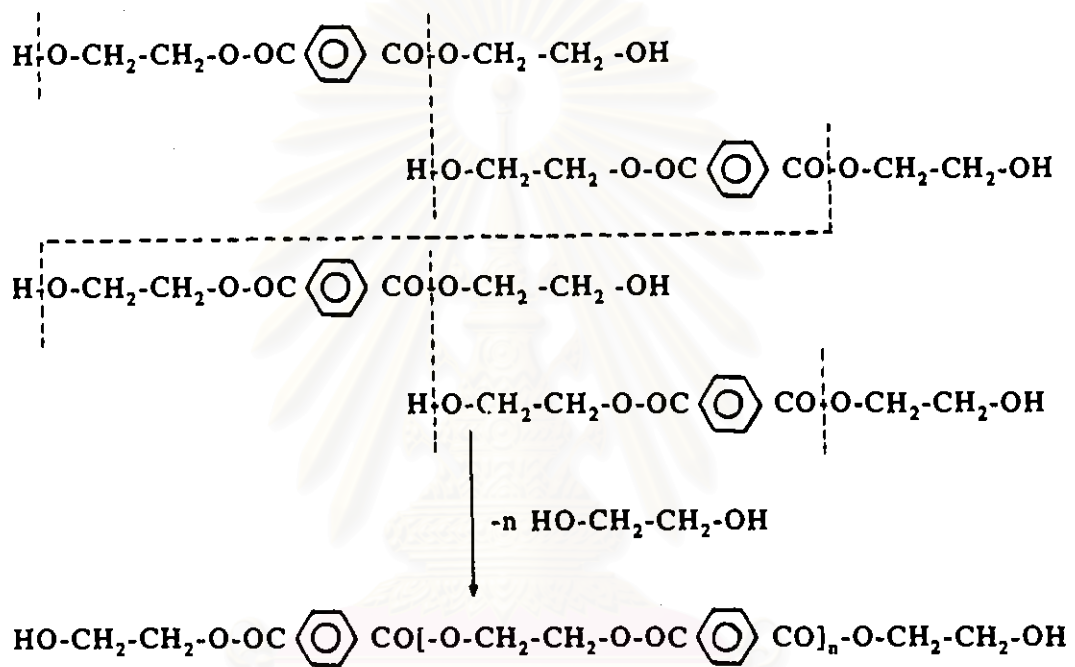
สามารถสังเคราะห์เพทได้จาก ปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชัน ระหว่าง เอทิลีนไกลคอลและกรดเทรเพธาลิก แต่ส่วนใหญ่นิยมปฏิกริยาแลกเปลี่ยนเอสเตอร์ ระหว่างเอทิลีนไกลคอลและไดเมทิลเทรเพธทาเลต เนื่องจากข้อดีดังที่ได้กล่าวข้างต้น การสังเคราะห์เพท สามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือ การเกิดปฏิกริยาแลกเปลี่ยนเอสเตอร์ เริ่มจากการผสม ไดเมทิลเทรเพธทาเลตและเอทิลีนไกลคอล ในอัตราส่วนจำนวนโมล 1 : 2.1- 2.2 ให้ความร้อนกับของผสมดังกล่าว ที่อุณหภูมิ 150 - 210 °C โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาที่เหมาะสม เมื่อปฏิกริยาดำเนินไปเรื่อย ๆ จะเกิดเมทานอลเป็นผลพลอยได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกริยา ส่วนใหญ่จะเป็น BHET [bis(2 -hydroxyethyl) terephthalate] นอกจากนี้ยังอาจเกิดไดเมอร์ (dimer) , ไตรเมอร์ (trimer) และอื่น ๆ รวมเรียกว่า โอลิโกเมอร์ (oligomer) [4] ขั้นตอนนี้แสดงได้ดังสมการ



เนื่องจากปฏิกิริยาข้างต้นเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ จึงต้องมีการกำจัดเมทานอลที่ได้ออกจากปฏิกิริยา และเติมไกลคอลมากเกินไป เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 คือ การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ทำได้โดยการให้ความร้อนกับของผสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ณ อุณหภูมิ 270 - 285 °C เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น แสดงได้ดังสมการ



[3]



เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ จึงต้องมีการกำจัดเอทิลินไกลคอลส่วนเกินออกจากปฏิกิริยา สำหรับขั้นตอนที่ 2 นี้ ต้องมีการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาคู่

ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ใช้สำหรับขั้นตอนทั้งสอง เป็นสารประกอบออกไซด์ (oxide), คาร์บอเนต (carbonate), อัลคอกไซด์ (alkoxide) หรือ อัลคานอยด์ (alkanoate) ของโลหะหรือ โลหะผสมที่เป็นเบสอ่อน หรือ แอมโฟเทอริก (amphoteric) ในอดีตนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงตัวเดียว สำหรับเร่งปฏิกิริยา

ทั้งสองขั้นตอน เช่น คะกั่วออกไซด์ สำหรับปัจจุบันนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผสม คือ ตัวหนึ่งใช้สำหรับเร่งปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอสเทอร์ ส่วนอีกตัวหนึ่งใช้เร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เช่น ใช้สารประกอบของแมกนีเซียม, สังกะสี, ตะกั่ว, แคลเซียม, แคลเซียม หรือโคบอลต์ ร่วมกับสารประกอบของแอนติโมนี, ดีบุก หรือโททานเนียม เป็นต้น [4]

2.2.3 การย่อยสลายเพท

การย่อยสลายขบวนการเพทมีหลายวิธี เช่น ไฮโดรลิซิส (hydrolysis), แอลกอฮอล์ลิซิส (alcoholysis) และไกลโคลิซิส (glycolysis) แต่วิธีที่นิยมและมีประสิทธิภาพ คือ ไกลโคลิซิส ซึ่งอาศัยหลักจากปฏิกิริยาที่ 2.5

จากสมการเห็นได้ว่าเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ ดังนั้นถ้าเติมเอทิลีนไกลคอลให้มากเกินไป ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางซ้ายมากขึ้น ทำให้ได้ BHET เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาย้อนกลับ นั่นคือเกิดการย่อยสลายเพทนั่นเอง

Vaidya และ Nadkarni [5] ได้ศึกษาถึงการย่อยสลายเพทโดยกระบวนการไกลโคลิซิสด้วยโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) ที่มากเกินไป ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเพทต่อโพรพิลีนไกลคอล เท่ากับ 37.5 : 62.5, 50 : 50 และ 62.5 : 37.5 โดยใช้ซิงก์อะซิเตต (zinc acetate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ไกลโคไลซ์โพรดักต์ (glycolyzed products) ที่ได้ ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายโมเลกุล, ไดเมอร์ และไตรเมอร์ นอกจากนี้ ยังพบว่าปฏิกิริยาจะดำเนินไปได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของโพรพิลีนไกลคอล นั่นคืออัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเพทต่อโพรพิลีนไกลคอลที่ใช้ มีค่าเท่ากับ 37.5 : 62.5 แล้ว ไกลโคไลซ์โพรดักต์ที่ได้จะประกอบด้วย BHET เป็นส่วนใหญ่ นั่นคือ เกิดการย่อยสลายได้ดี

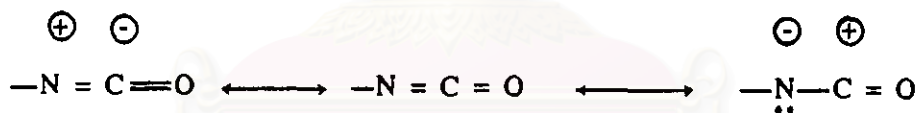
Baliga และ Wong [6] ได้ศึกษาถึงอะซิเตตของโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการย่อยสลายเพท พบว่า ซิงก์อะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุด เพราะเร่งให้เกิดปฏิกิริยามากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ผงสีที่ใส่ผสมอยู่ในขบวนการไม่มีผลต่อปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยวิธีไกลโคลิซิส

2.3 พอลิยูรีเทน (Polyurethane)

พอลิยูรีเทน เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “พอลิคาร์บาเมต” (จากกรดคาร์บาเมิก , R_2NHCO_2H) เป็นอนุพันธ์เอสเทอร์แอมิดของกรดคาร์บอนิก ซึ่งใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น เส้นใย , สารเคลือบผิว , อีลาสโตเมอร์ (elastomer) และโฟมทั้งชนิดแข็งและยืดหยุ่น [7]

สามารถสังเคราะห์พอลิยูรีเทน ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง di- หรือ polyisocyanate และ di- หรือ polyhydric alcohols หรือ สารประกอบอื่นที่มีอะตอมไฮโดรเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล โดยปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาแบบรวมตัว (addition reaction) [8] สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน มีดังนี้

2.3.1 ไอโซไซยาเนต (isocyanate) หมู่ไอโซไซยาเนต เป็นสารที่มีขั้ว และอยู่ในสถานะเรโซแนนซ์ (resonance) ดังโครงสร้าง



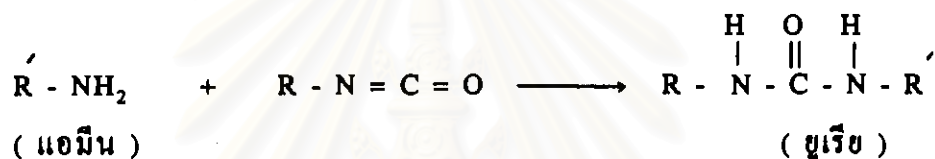
2.3.1.1 การพัฒนาทางเคมีของไอโซไซยาเนต เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1937 โดยได้มีการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนและพอลิยูเรีย ที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบเส้น จากปฏิกิริยาระหว่าง ไดไอโซไซยาเนต (diisocyanate) กับ ไกลคอล และไดเอมีน (diamine) ตามลำดับ ซึ่งมีการนำพอลิยูรีเทนมาใช้งานเป็นโฟม , สารเคลือบผิว , พลาสติก , อีลาสโตเมอร์ อย่างกว้างขวาง ส่วนเส้นใย ได้รับความนิยมน้อยกว่าเส้นใยพอลิแอมิด

ในช่วงทศวรรษที่ 1950 มีการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น จากพอลิเอสเทอร์ และ TDI (toluene diisocyanate) จากนั้นมาการใช้งานของโฟมพอลิยูรีเทนได้เติบโตขึ้นมาก จนเริ่มมีการผลิตไอโซไซยาเนตในทางการค้ามากขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา อังกฤษ และประเทศอื่น ๆ

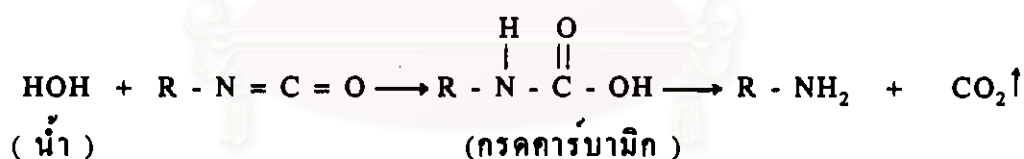
ในช่วงทศวรรษที่ 1960 เริ่มมีการสังเคราะห์ไอโซไซยานेट ที่มีอัตราการผลิตต่ำ จากปฏิกิริยาควบแน่นแอนิลีน (aniline) และฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เรียกว่า Polymeric MDI ซึ่งนำไปใช้ในการผลิตโฟมชนิดแข็งและยืดหยุ่น รวมทั้งผลิตภัณฑ์อื่น ๆ [2]

2.3.1.2 ปฏิกิริยาทางเคมีของไอโซไซยานेट คือ ปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไอโซไซยานेट กับสารประกอบต่าง ๆ ที่มีอะตอมไฮโดรเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล ดังนี้

1. แอมีน เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานेट แล้วจะได้ยูเรีย ดังปฏิกิริยา

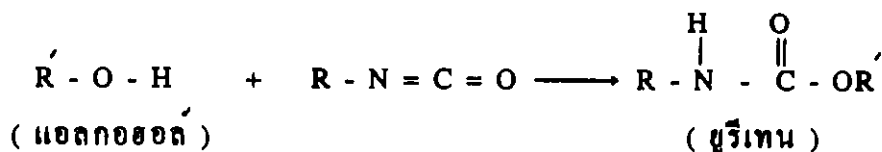


2. น้ำ ผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่ได้ คือ กรดคาร์บามิก ซึ่งไม่เสถียร และจะแตกออกเป็นแอมีนองศาที่ 1 (primary amine) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังปฏิกิริยา

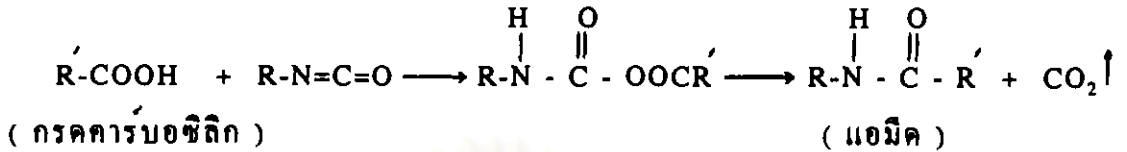


ซึ่งแอมีนองศาที่ 1 ที่ได้ สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยานेटได้เหมือนปฏิกิริยาในข้อ 1

3. แอลกอฮอล์ ได้ยูรีเทนเป็นผลิตภัณฑ์ ดังปฏิกิริยา

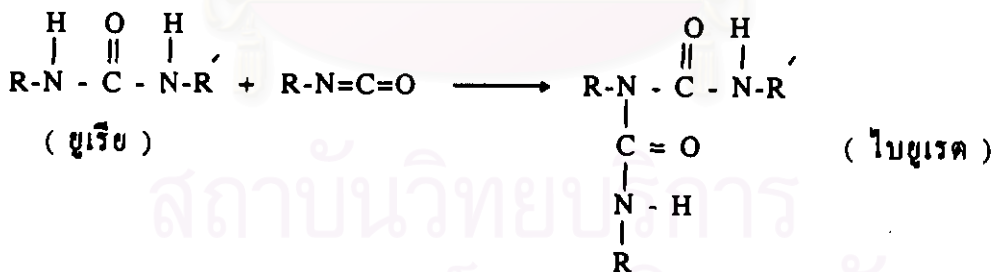
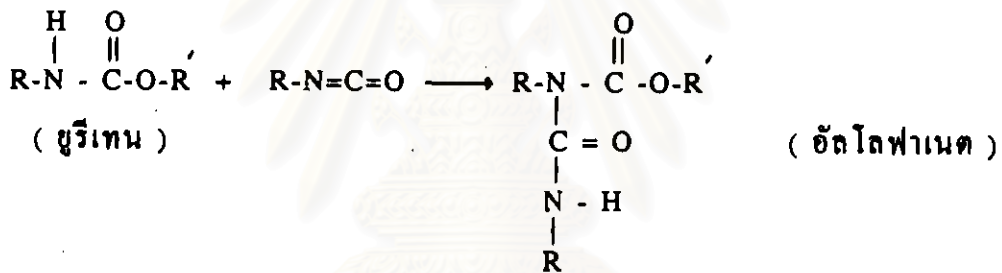


4. กรดคาร์บอซิลิก ผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่ได้ไม่เสถียร ซึ่งจะแตกตัวให้แก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์ และแอมิด ดังปฏิกิริยา

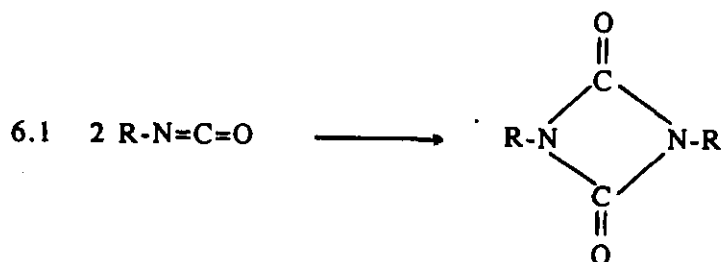


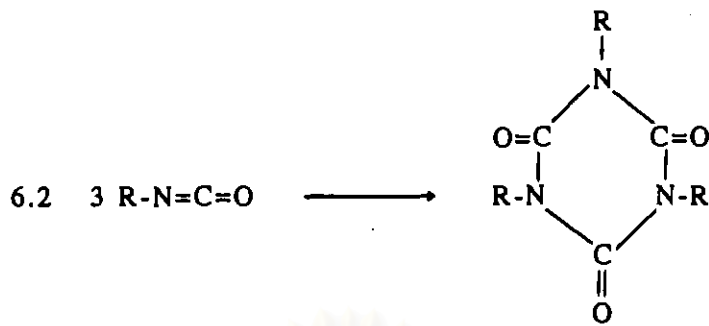
[8]

5. ยูรีเทนและยูเรีย ในกรณีที่มีไอโซไซยานาตมากเกินพอ อาจเกิดปฏิกิริยา
ระหว่างไอโซไซยานาต กับ อะตอมไฮโดรเจนในโครงสร้างของยูรีเทน และยูเรีย
ได้ อัลโลฟานาต (allophanate) และไบยูเรต (biuret) ตามลำดับ ดังปฏิกิริยา



6. ไฮโมพอลิเมอร์เซชันของไอโซไซยานาต อาจเกิดได้ดังนี้





[2]

หมายเหตุ

- * อะตอมไฮโดรเจนในยูรีเทนไม่วงวโค่ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง
- * ปฏิกิริยาในข้อที่ 2 และ 4 มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งแก๊สที่ได้ดังกล่าวจะนำไปใช้ในการผลิตโฟมยูรีเทน

2.3.1.3 ชนิดและการผลิตไอโซไซยานเนตที่ใช้ในการสังเคราะห์ พอลิยูรีเทน การพิจารณาเลือกชนิดของไอโซไซยานเนต สำหรับใช้ในการผลิต พอลิยูรีเทน ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

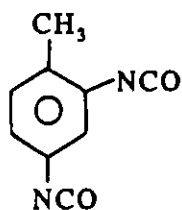
1. ราคา
2. สมบัติของไอโซไซยานเนต ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้

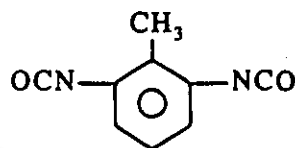
3. ความเป็นพิษ

ไอโซไซยานเนตที่นิยมใช้ในการผลิตสารเคลือบผิวมีเพียงสองชนิด ในขณะที่สารประกอบไฮดรอกซิลที่ใช้มีมากมายหลายชนิด ไอโซไซยานเนตสองชนิดดังกล่าว ได้แก่ toluene diisocyanate (TDI) และ methylene bisphenyl 4,4 - diisocyanate โดย TDI ผลิตได้ง่ายกว่า และราคาถูกกว่า TDI ที่ผลิตขึ้นมา

2 รูปแบบ คือ TDI 80/20 และ TDI 60/40 ซึ่งตัวเลขจะแสดงเปอร์เซ็นต์ของ 2,4 - และ 2,6 - isomers ตามลำดับ ดังสูตรโครงสร้าง



Tolylene 2,4 -diisocyanate



Tolylene 2,6 - diisocyanate

[8]

โดย TDI 80/20 มักนิยมใช้ในสารเคลือบผิวมากกว่า TDI 60/40 สำหรับไอโซไซยานาตที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่าสองหมู่ แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ไอโซไซยานาตที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่าสองหมู่ ซึ่งใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทน [2]

Structure	Average functionality	State of room temperature	Normal state of use	Important uses
Polymeric Types from MDI	2.5-3.2	Liquid	Liquid	Foams
Biuret-modified 1,6-hexamethylene diisocyanate	3	Viscous liquid	Solution	Coatings
Isocyanurate-modified TDI	2-3	Liquid	Liquid-solution	Coatings
Carbodiimide-modified MDI	>2	Liquid	Liquid	Foams
Triphenylmethane triisocyanate	3	Solid	Solution	Coatings

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

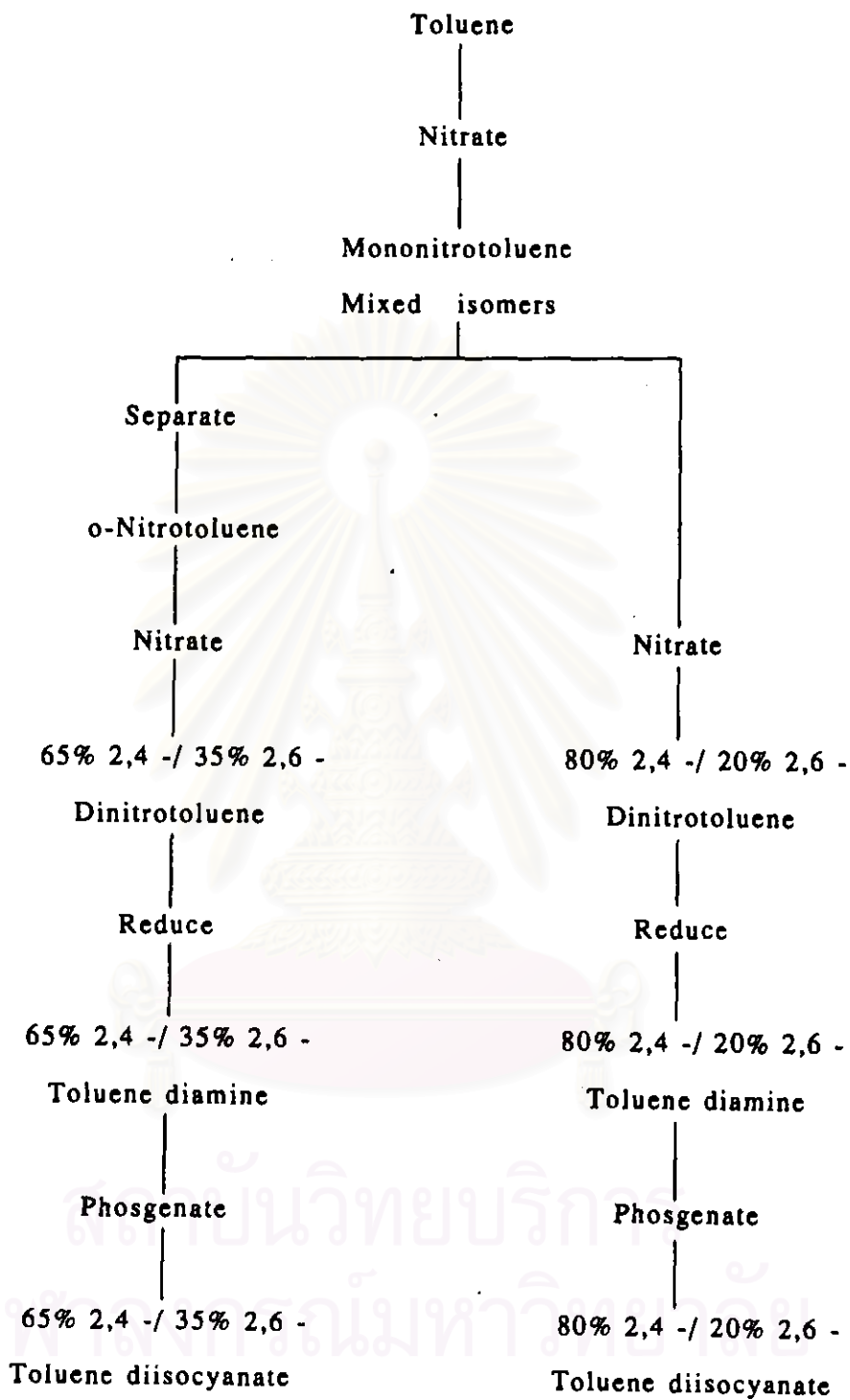
Structure	Average functionality	State of room temperature	Normal state of use	Important uses
TDI adducts	Approx. 3	Solid	Solution	Coatings
Lysine isocyanate adducts	Approx. 3	Solid	Solution	Coatings

วิธีผลิตไอโซไซยานาตที่นิยมใช้ในทางการค้า คือ ปฏิกริยาระหว่างแอมีนองศาที่ 1 และฟอสจีน (phosgene)



โดยแอมีนองศาที่ 1 และฟอสจีน ละลายอยู่ในตัวทำละลาย เช่น โมโน - หรือ ไดคลอโรเบนซีน จากนั้นนำสารละลายทั้งสองมาผสมกัน ที่อุณหภูมิในช่วง - 20 ถึง 60 °C ให้ความร้อนกับของผสมดังกล่าวที่อุณหภูมิในช่วง 150 - 200 °C ปล่อยให้สารเริ่มต้นทำปฏิกริยากันเป็นเวลาหลายชั่วโมง โดยมีการเติมฟอสจีนเพิ่มเมื่อสิ้นสุดปฏิกริยาจึงกลั่นของผสมที่ได้ เพื่อแยก HCl ซึ่งเป็นผลพลอยได้ , ตัวทำละลายและไอโซไซยานาตออกจากกัน [2]

วิธีผลิต TDI ทำได้โดยการนำโทลูอิน (toluene) มาผ่านกระบวนการไนเตรชัน (nitration) เพื่อให้ได้ของผสมระหว่าง 80 % 2,4 -dinitrotoluene และ 20 % 2,6 - dinitrotoluene จากนั้นนำของผสมดังกล่าวมาทำให้เกิดปฏิกริยารีดักชัน (reduction) เพื่อให้ได้ โทลูอินไดแอมีน (toluenediamine) แล้วทำปฏิกริยากับฟอสจีน เพื่อให้ได้ของผสม ระหว่าง 80% 2,4 -toluene diisocyanate และ 20 % 2,6- toluene diisocyanate ถ้าต้องการผลิตของผสมระหว่าง 65% 2,4-toluene diisocyanate และ 35 % 2,6- toluene diisocyanate สารตั้งต้นต้องเป็น o-nitrotoluene ดังกระบวนการผลิต



[2]

2.3.1.4 ความเป็นพิษของ TDI

ไอระเหยและฝุ่นผงของโทลูอินไดไอโซไซยานเตต จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อทางเดินหายใจตอนบนและตอนล่าง แม้จะได้รับไอเหล่านั้นแค่ช่วงเวลาสั้น ๆ ก็ตาม ทำให้ระคายเคืองและหายใจไม่ออก รวมทั้งเกิดอาการ

แสบคอ ไอ หรือเป็นแผลดวงตาในปอด นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการอาเจียรและเจ็บช่องท้อง รวมทั้งทำให้ปอดทำงานผิดปกติ

การสัมผัสกับโทลูอินไดไอโซไซยานเนต บ่อย ๆ หรือนาน ๆ จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำให้ผิวหนังเป็นผื่นแดง บวม เป็นแผล หรือไหม้ และอาจทำให้ผิวหนังไวต่อความรู้สึก (คือ กระตุ้นการรับรู้ของผิวหนัง) ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงที่จะโดนสเปรย์ ไอระเหย หรือของเหลวของสารนี้ ควรสวมเสื้อคลุม หรือผ้ากันเปื้อนพลาสติก ถุงมือยาง และรองเท้ายูนิฟอร์ม รวมทั้งแว่นตากันสารเคมี หรือหน้ากากทุกครั้ง ที่ต้องทำงานกับสารนี้

นอกจากนี้ไอระเหยของโทลูอินไดไอโซไซยานเนต แม้จะมีความเข้มข้นต่ำ ถ้าโดนจะทำให้เกิดน้ำตาไหล แสบตาเล็กน้อย แต่ถ้าโดนสารที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้ปวดและแสบตามาก และถ้าน้ำยาเข้าตา จะทำให้ปวดตาอย่างมาก เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง และทำให้ตาอักเสบเรื้อรังได้ [9]

2.3.1.5 พอลิไอโซไซยานเนต เนื่องจากไอของไอโซไซยานเนต มีความเป็นพิษสูง และทำให้ฟิล์มของสารเคลือบผิว เกิดการขึ้นเหลือง จึงมีความพยายามในการลดอัตราการระเหยลง โดยการสังเคราะห์ให้ไอโซไซยานเนตมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ในรูปของพอลิเมอร์ที่ปลายโมเลกุลมีหมู่ไอโซไซยานเนต ซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่าง อะโรมาติกไดไอโซไซยานเนต (aromatic diisocyanate) ที่มากเกินไป กับพอลิเอสเทอร์ หรือพอลิอีเทอร์ ที่ปลายโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ประมาณ 2,000 - 3,000) [7]

France และ Lister [1] ได้รายงานว่ เมื่อนำเฮกเซนไตรออล (hexane triol) จำนวนหนึ่งโมลทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานเนต จำนวนสามโมล ในเอทิลอะซิเตต (ethyl acetate) ณ อุณหภูมิ 78 °C เป็นเวลาสามชั่วโมงขึ้นไป พบว่าครึ่งหนึ่งของหมู่ไอโซไซยานเนตถูกทำปฏิกิริยา ได้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าไดไอโซไซยานเนตประมาณสามเท่า และประกอบด้วยหมู่ไอโซไซยานเนต ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา จำนวนสามหมู่ต่อหนึ่งโมเลกุล ซึ่งสารดังกล่าวใช้ในการผลิตสารเคลือบผิวโดยใช้ในลักษณะของสารละลาย

2.3.2 พอลิโออล (Polyols)

พอลิโออล ที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน ได้แก่ พอลิเอสเทอร์-พอลิโออล (polyester polyols) และพอลิอีเทอร์พอลิโออล (polyether polyols) ซึ่งพอลิเอสเทอร์พอลิโออลนิยมใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนสำหรับใช้ในการผลิตโฟม, อีลาสโตเมอร์ และสารเคลือบผิว เนื่องจากความแข็งแรงเชิงกลของพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์จากพอลิเอสเทอร์พอลิโออล ดีกว่าพอลิยูรีเทน ที่ได้จากการสังเคราะห์จากพอลิอีเทอร์พอลิโออล

สามารถเตรียมพอลิเอสเทอร์พอลิโออล ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน สำหรับการผลิตสารเคลือบผิว จากปฏิกิริยาระหว่างพอลิไฮดรอกซีแอคไซด์ที่อิ่มตัว หรือ ที่มีวงเบนซีนในโครงสร้าง กับกรดคาร์บอกซิลิก ที่เป็นพอลิฟังก์ชันนัล (polyfunctional carboxylic acids) หรือ แอนไฮไดรด์ (anhydride) โดยใช้พอลิไฮดรอกซีแอคไซด์มากเกินไป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายโมเลกุล นอกจากนี้ ยังเตรียมได้จากการเปิดวงแลกโตน สำหรับตัวอย่างของสารเริ่มต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์พอลิโออล มีดังนี้

Carboxylic acids or anhydrides ; Adipic

Phthalic

Diols;

Ethylene glycol

Diethylene glycol

1,2-Propylene glycol

1,3-Propylene glycol

1,4-Butanediol

2,3-Butanediol

Lactones;

Epsilon caprolactone

Branching agents;

Glycerine

1,2,6-Hexanetriol

Trimethylol propane

Pentaerythritol

จะเห็นได้ว่า พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ไม่นิยมใช้ในการเตรียม พอลิยูรีเทน เนื่องจากพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์จากพอลิเอสเทอร์ จะเกิดการบ่มตัว ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างพอลิเอสเทอร์กับไอโซไซยานเนต ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยา ระหว่างพันธะคู่กับความชื้นในบรรยากาศ เพื่อให้เกิดการบ่มตัวจึงไม่มีความจำเป็น นั่นคือ ไม่นิยมใช้พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนสำหรับ ผลิตภัณฑ์เคลือบผิว

ไกลโคไลซ์ไพโรคักส์ ที่ได้จากการย่อยสลายขวดพลาสติกที่ใส่แล้วสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์พอลิออลได้ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวถือว่ามี ความสำคัญในแง่เศรษฐกิจมาก เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนขยะพลาสติกให้อยู่ในรูปของ ผลิตภัณฑ์ที่มีค่ามากขึ้น

จากการศึกษาของ Vaidya และ Nadkarni [10] พบว่า การไกลโคไลซ์ ขวดพลาสติกในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของขวดพลาสติกต่อเอทิลีนไกลคอลเท่ากับ 37.5 : 62.5 โดยมีซิงกอะซีเตตในปริมาณ 0.5 % ของน้ำหนักขวดพลาสติก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อนำไกลโคไลซ์ไพโรคักส์ ดังกล่าวมาทำปฏิกิริยากับกรดอะดิพิค เพื่อสังเคราะห์ เป็นพอลิเอสเทอร์พอลิออล พอลิเอสเทอร์พอลิออล ที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลว ที่ไหลได้ ณ อุณหภูมิห้อง

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ พอลิเอสเทอร์ คือ ปฏิกิริยาพอลิเอสเตอริฟิเคชัน (polyesterification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ ดังสมการที่ 2.6



จากปฏิกิริยาจะเห็นว่า เกิดน้ำขึ้น จึงต้องมีการกำจัดน้ำออกจาก ปฏิกิริยาตลอดเวลา เพื่อให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางขวาของสมการ นั่นคือ ได้พอลิเอสเทอร์มากขึ้น แต่ถ้าไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป ตัวโคแอซิดเองสามารถ ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้

นอกจากนี้ผลการศึกษาของทั้งสอง ยังพบว่าการใช้ BHET บริสุทธิ์ ทำ ปฏิกิริยาโดยตรงกับโคแอซิด เพื่อให้ได้พอลิเอสเทอร์พอลิออลนั้น อัตราการดำเนิน ไปของปฏิกิริยาจะต่ำกว่าการใช้ไกลโคไลซ์ไพโรคักส์ที่ไม่ได้ทำการแยกส่วนมาทำ ปฏิกิริยาโดยตรงกับโคแอซิด

2.3.3 การใช้งานของพอลิยูรีเทนในอุตสาหกรรมเคลือบผิว

นิยมนำพอลิยูรีเทน ในการผลิตสารเคลือบผิวเนื่องจากสมบัติดังต่อไปนี้

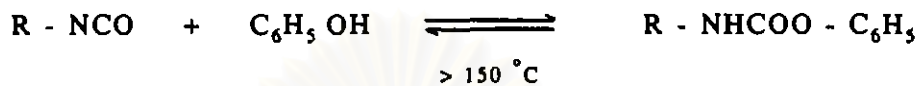
1. พันธะยูรีเทน เกิดไฮโดรลิซิสได้ยาก ดังนั้นสารเคลือบผิวจากพอลิยูรีเทน จึงทนต่อน้ำ และกรดได้ดี อย่างไรก็ตามการทนต่อน้ำ จะไม่เท่ากับสารเคลือบผิวจากอีพอกซีเรซิน ที่ได้ผ่านการอบหรือการบ่มเย็นมาแล้ว
2. ฟิล์มของพอลิยูรีเทน จะทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อตัวทำละลายอะโรมาติก และคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ยังทนต่อน้ำมันด้วย
3. ฟิล์มของพอลิยูรีเทนที่ได้ผ่านการบ่มเต็มที่แล้ว จะมีแรงยึดผิวหน้าดี มีความต้านทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง มีความเหนียว (toughness) และความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศเป็นอย่างดี สมบัติดังกล่าว เนื่องจากการมีหมู่ที่มีขั้วอยู่มากในโซ่พอลิเมอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่อะมิโน ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้กับ ผิววัสดุที่เคลือบ และกับออกซิเจนอะตอมของหมู่คาร์บอนซิลในตัวมันเอง

แต่สารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน ซึ่งมีอะโรมาติกไอโซไซยานต เป็นองค์ประกอบ มักจะเหลืองได้ง่ายเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต และเหลืองง่ายยิ่งขึ้นถ้าโมเลกุลมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งสามารถเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์กับออกซิเจนได้ เชื่อว่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไปออกซิไดซ์หมู่อะโรมาติกให้เป็นสีเหลือง

สารเคลือบผิวจากพอลิยูรีเทน อาจเตรียมขึ้นได้ต่าง ๆ กัน ดังนี้

1. พอลิยูรีเทนชนิด 2 ส่วน (Two-can Urethane Systems)
ได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ ที่มีหมู่ไอโซไซยานตอยู่ที่ปลายโซ่ ($OCN-\text{W}-NCO$) กับพอลิเอสเทอร์ ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายโซ่ ($OH-\text{W}-OH$)
2. พรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอโซไซยานตเสรี เกิดการเชื่อมโยงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอโซไซยานต กับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กัน คือ ไดเมทิลไดเอทานอลแอมีน (dimethyl diethanolamine)
3. พอลิยูรีเทนชนิด 1 ส่วนแบบอบ (One-can Urethane Stoving Systems) พอลิยูรีเทนชนิด 2 ส่วน มีข้อยุ่งยากที่ต้องผสม 2 ส่วน

เข้าด้วยกัน และจะต้องทิ้งของผสมไว้สักระยะหนึ่งก่อนที่จะใช้งานได้ ปัจจุบันนี้สามารถทำให้เป็นชนิด 1 ส่วนได้ โดยปิด (block) หมู่ไอโซไซยาเนตด้วยฟีนอล ซึ่งจะเกิด adduct คือ ฟีนิลยูรีเทน (phenyl urethane) ที่ไม่เสถียร และจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C เกิดเป็นหมู่ไอโซไซยาเนตขึ้นมาใหม่ ดังนี้



หมู่ไอโซไซยาเนตที่เกิดขึ้นนี้ จะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเอสเทอร์ที่ใส่รวมอยู่ด้วย และในขณะเดียวกัน ฟีนอลที่เกิดขึ้นจะระเหยไป ถ้ามีการอบของผสมที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C ในทางปฏิบัติใช้อุณหภูมิ $160 - 180^{\circ}\text{C}$

4. พอลิยูรีเทนชนิด 2 ส่วนแบบบ่มด้วยความชื้น (One-can Moisture-cured Urethane Systems) ประกอบด้วย พรีพอลิเมอร์ ซึ่งมีหมู่ไอโซไซยาเนตเสรี ที่สามารถทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ เกิดเป็นฟิล์มที่มีโครงสร้างแน่นหนา พรีพอลิเมอร์ที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ พอลิอีเทอร์ ซึ่งมีปลายโซ่เป็นหมู่ไอโซไซยาเนต

กลไกของการเกิดปฏิกิริยา ของพอลิยูรีเทนประเภทนี้ คือ น้ำจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนต เกิดเป็นหมู่อะมิโน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาคู่กับหมู่ไอโซไซยาเนตที่มีอยู่ในพรีพอลิเมอร์ เกิดเป็นโมเลกุลที่ใหญ่กว่าเดิม สำหรับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น จะระเหยออกไปพร้อมกับตัวทำละลาย ดังนั้นหากฟิล์มหนาเกินไป จะเกิดเป็นฟอง



พอลิยูรีเทนประเภทนี้ ต้องการความชื้นสัมพัทธ์อย่างน้อย 30% ที่อุณหภูมิ 20°C จึงจะเกิดการบ่มตัวที่รวดเร็วพอเพียง ซึ่งอัตราการบ่มตัวนี้สามารถเร่งได้โดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น 0.5 % ไตรเอทิลแอมีน ลงไปด้วย

2.4 ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin)

ฟีนอลิกเรซิน เป็นเรซินสังเคราะห์ ที่ได้จากปฏิกิริยาควบนั่นระหว่าง ฟีนอล (phenol) กับแอลดีไฮด์ (aldehyde)

ในช่วงทศวรรษที่ 1870 Baeyer พบว่า ฟีนอล และแอลดีไฮด์ ทำปฏิกิริยากันแล้ว ได้เรซิน ซึ่งไม่สามารถเกิดผลึกได้ ค่อมามีการพัฒนาโดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ แต่สารดังกล่าวมีราคาแพงและเตรียมยาก

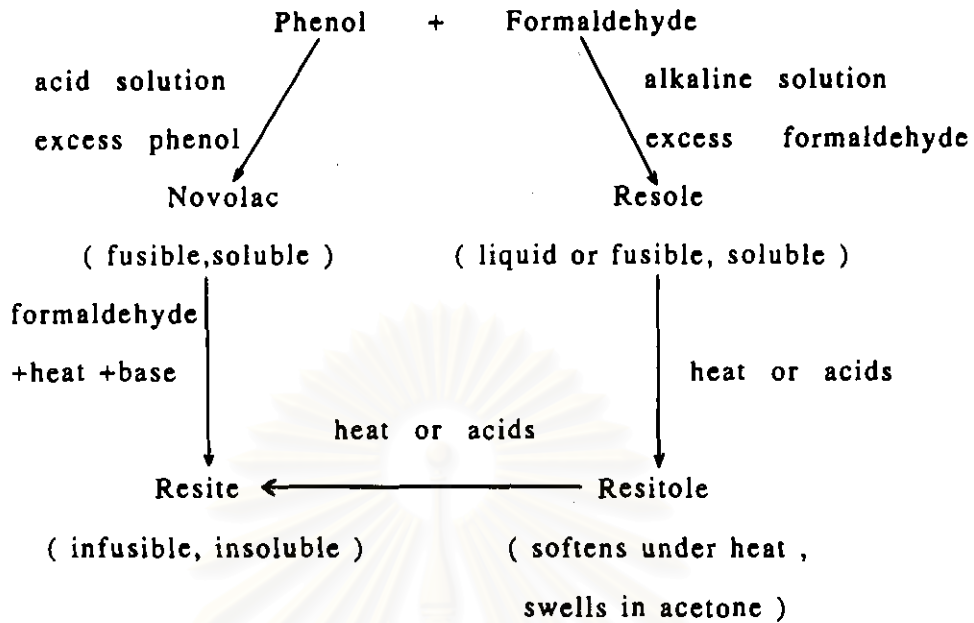
ฟีนอลิกเรซิน ชนิดแรกในทางการค้า เริ่มในปี ค.ศ. 1902 ซึ่งเป็นสารที่ละลายในตัวทำละลายสปิริต (spirit soluble)

ในปี ค.ศ. 1907 Bakeland ได้ผลิตฟีนอลิกเรซินชนิดใหม่ขึ้นมา โดยให้ชื่อว่า Bakelite ซึ่งไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นสารยึดในสารเคลือบผิว จนในปี ค.ศ. 1928 ได้มีการผลิต อัลคิลฟีนอลิกเรซิน (alkyl phenolic resin) หรือที่รู้จักกันในชื่อ 100 % ฟีนอลิกเรซิน และในช่วงทศวรรษที่ 1930 ได้มีการผลิตฟีนอลิกเรซิน ที่ดัดแปลงด้วยแอลกอฮอล์และกรดไขมันต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารยึด

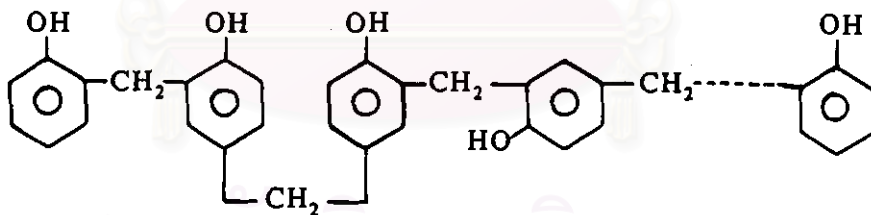
โอวาท, นพพร และชวเดช [12] ได้ทำการสังเคราะห์ฟีนอลิกเรซินชนิดหนึ่ง โดยการนำริซอร์ซินอลมาทำปฏิกิริยากับเบนซัลดีไฮด์ โดยมี 2 -aminopyridine เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับ HDI (hexamethylene diisocyanate) เพื่อให้ได้แล็กเกอร์สำหรับเคลือบผิวไม้ ต่อมา จิตตินันท์ และ จุฑารัตน์ [13] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของแล็กเกอร์ที่ โอวาท และคณะ ได้ศึกษาไว้ โดยใช้ TDI แทน HDI

2.4.1 โนวอลแลคและรีโซล (Novolac and Resole)

pH ของปฏิกิริยา และอัตราส่วนของฟีนอลต่อฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นปัจจัยในการกำหนดว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะเป็นโนวอลแลค หรือรีโซล



ถ้าปฏิกิริยาดำเนินภายใต้ภาวะที่เป็นกรด และมีปริมาณของฟีนอลมากเกินไป ผลึกภัณฑ์ที่ได้ คือโนโวแลค ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติก และละลายได้ในแอลกอฮอล์ และแอสซิโตน โนวอลแลคสามารถเกิดการบ่มตัวต่อไป โดยการให้ความร้อนและใส่ฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับโครงสร้างของโนโวแลค แสดงได้ดังนี้



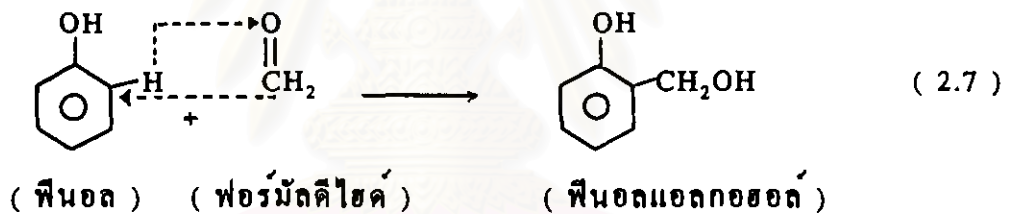
น้ำหนักโมเลกุลสูงสุดประมาณ 1,000 โดยหมู่เบนซีน 10 หมู่ ต่อกัน ด้วยหมู่เมทิลีน โนวอลแลคไม่มีหมู่เมทิลอล (methylol) เหลืออยู่หรือเหลืออยู่น้อยมาก จึงไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ ถ้าไม่เติมฟอร์มัลดีไฮด์

ถ้าปฏิกิริยาดำเนินไปภายใต้ภาวะที่เป็นเบสและมีปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์มากเกินไป ผลึกภัณฑ์เบื้องต้นที่ได้ คือ ริโซล ซึ่งถ้าให้ความร้อนหรือใส่กรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก หรือกรดซัลโฟนิก ริโซลจะเปลี่ยนเป็นริซิทอล (resitole) และริไซด์ (resite) ตามลำดับ ริโซลมีสถานะเป็นของแข็งหรือของเหลว ณ อุณหภูมิห้อง ขึ้นกับฟีนอลและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา ริโซลละลายได้ในแอลกอฮอล์ และแอสซิโตน ริโซลที่มีสถานะเป็นของแข็ง

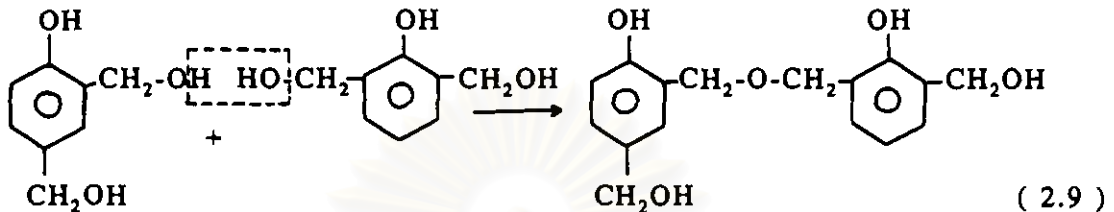
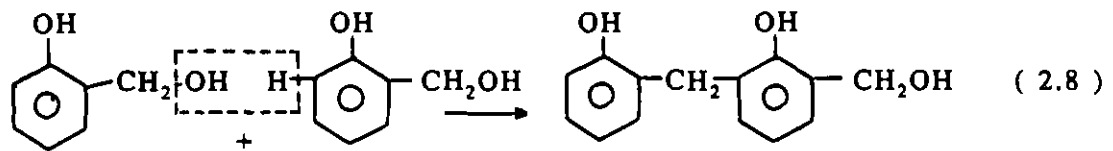
หลอมละลายได้ แต่จะเปลี่ยนเป็นริซิทอล อย่างช้า ๆ ซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่มเมื่อได้รับความร้อน และบวมตัวในแอซีโตน ส่วนริซิดซึ่งผ่านการบ่มตัวเต็มที่แล้วไม่สามารถหลอมเหลวหรืออ่อนนุ่มลงได้ด้วยความร้อน และไม่สามารถละลายในตัวทำละลายใด ๆ

2.4.2 กลไกของการสังเคราะห์ฟีนอลิกเรซิน

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในช่วงแรกของปฏิกิริยา คือ ฟีนอลแอลกอฮอล์ (phenol alcohol) ซึ่งเกิดจากการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนที่วงไวด์ต่อปฏิกิริยาในตำแหน่ง o- และ p- กับหมู่ไฮดรอกซิลของฟีนอล ด้วยหมู่เมทิลอล (-CH₂OH) ปฏิกิริยาดังกล่าวที่เกิดขึ้น คือ อัลคอลลคอนเดนเซชัน (aldol condensation) ดังสมการที่ 2.7



ถ้าตำแหน่ง o- หรือ p- กับหมู่ไฮดรอกซิลของฟีนอล มีหมู่แทนที่ เช่น หมู่เมทิล ในกรณีของ o- หรือ p- cresol พบว่าจำนวนหมู่ฟังก์ชันของสารดังกล่าว คือ สอง แทนที่จะเป็นสามในกรณีของฟีนอลเอง ในกรณีที่สารเริ่มต้นคือ ฟีนอล และปฏิกิริยาดำเนินภายใต้ภาวะที่เหมาะสม โดยมีปริมาณของฟอर्मัลดีไฮด์มากเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในตอนแรก คือ 2,4,6-trimethylolphenol ฟีนอลแอลกอฮอล์ เป็นสารประกอบที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง จึงสามารถทำปฏิกิริยากับ (1) อะตอมไฮโดรเจนที่วงไวด์ต่อปฏิกิริยาของฟีนอล หรือ ฟีนอลแอลกอฮอล์ หรือ (2) ทำปฏิกิริยากับหมู่เมทิลอลของฟีนอลแอลกอฮอล์ อีกโมเลกุลได้ ดังสมการที่ 2.8 และ 2.9



ปฏิกิริยาทั้งสองมีน้ำเกิดขึ้น และเกิดพันธะเมทิลีน (methylene) หรือเมทิลีนอีเทอร์ (methylene ether) เชื่อมระหว่างหมู่อะโรมาติก การเชื่อมโยงดังกล่าว ทำให้ได้ความยาวของโมเลกุลต่าง ๆ กัน และถ้าตำแหน่ง o- และ p- ไม่มีหมู่แทนที่ โครงสร้างของโมเลกุลที่ได้จะเป็นแบบสุ่ม [8]

2.5 แลกเกอร์ (Lacquers)

2.5.1 ความหมายและจุดประสงค์ของการใช้แลกเกอร์

แลกเกอร์ คือ สารละลายที่ได้จากการละลายสารอินทรีย์ในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดฟิล์ม หลังจากตัวทำละลายระเหยไปในระหว่าง และหลังการเคลือบบนวัสดุที่ทำการเคลือบ [14] ซึ่งอัตราการแห้งตัวของแลกเกอร์เร็วมาก จึงต่างจากวาร์นิช (varnish) ที่แม้จะอาศัยหลักการระเหยของตัวทำละลายเช่นเดียวกับแลกเกอร์ แต่อัตราการแห้งตัวช้ากว่าแลกเกอร์มาก บางครั้งอาจใช้เวลาเป็นวัน ในขณะที่แลกเกอร์ใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีหรือไม่กี่ชั่วโมง [15]

มีการใช้แลกเกอร์อย่างกว้างขวาง ในงานตกแต่งวัสดุต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนรถยนต์ และเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น เนื่องจากมีข้อดีคือ แข็งตัวรวดเร็วภายใต้อุณหภูมิห้อง จึงเหมาะกับชิ้นงานที่เสียรูปร่างที่อุณหภูมิสูง เช่น ไม้ และเทอร์โมพลาสติก

จุดประสงค์ของการใช้แลกเกอร์ มี 2 ประการ คือ

1. ป้องกันพื้นผิวจากการทำเสียหาย อันเนื่องมาจากบรรยากาศ หรือการใช้งาน
2. ตกแต่งพื้นผิวเพื่อความสวยงาม เช่น เพื่อให้มีความมันเงา หรือเพื่อ

ให้เกิดสี

ประโยชน์ทั้งสองของแลกเกอร์ สามารถอยู่ในแลกเกอร์หนึ่งชนิดได้ และการใช้แลกเกอร์ต้องคำนึงถึงสมบัติที่ต้องการด้วย [15]

2.5.2 ส่วนประกอบของแลกเกอร์ ได้แก่

2.5.2.1 สารยึด (binder)

สารยึด คือ สิ่งที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสารเคลือบผิวเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้เกิดแรงยึดระหว่างชั้นฟิล์มของสารเคลือบผิว ที่เรียกว่า cohesive forces และทำให้เกิดแรงยึดระหว่างชั้นฟิล์มของสารเคลือบผิวกับพื้นผิวที่ทา ที่เรียกว่า adhesive forces

สารยึด ถือว่าเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญที่สุด เพราะสมบัติของสารเคลือบผิว เช่น การแห้งตัว และสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของฟิล์ม จะขึ้นกับชนิดของสารยึด สารยึดที่นิยมใช้ ได้แก่ เรซินสังเคราะห์ เช่น ไนโตรเซลลูโลส , พอลิยูรีเทน เป็นต้น

จุดประสงค์ของการใส่เรซิน เป็นองค์ประกอบของแลกเกอร์

1. ปรับปรุงการแห้งตัวของฟิล์มให้เร็วขึ้น
2. เป็นตัวทำให้ฟิล์มที่ได้แข็งแรง
3. ปรับปรุงความเงา โดยการเติมเรซิน จะเพิ่มปริมาณของแข็ง (solid content) ของแลกเกอร์ โดยไม่เพิ่มความหนืด ดังนั้นแลกเกอร์ที่ได้จึงมีความเงาเพิ่มขึ้น
4. ปรับปรุง gloss retention ให้เพิ่มขึ้น
5. ปรับปรุงการยึดติดระหว่างชั้นฟิล์มของสารเคลือบผิวกับพื้นผิวที่ทา
6. ปรับปรุงความทนทานต่อสารเคมีต่าง ๆ เช่น น้ำ , ด่าง เป็นต้น
7. ลดต้นทุนการผลิต
8. เพื่อให้ฟิล์มที่ได้มีสมบัติตามต้องการ

การใช้เรซินเพียงชนิดเดียว แลกเกอร์ที่ได้อาจมีสมบัติไม่ดีเท่าที่ควร จึงควรใช้เรซินหลายชนิดผสมกัน จะทำให้ฟิล์มของแลกเกอร์ที่ได้มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมตามต้องการ [16]

2.5.2.2 ตัวทำละลาย (solvent)

หน้าที่ของตัวทำละลาย คือ ละลายสารยึดที่เป็นของแข็ง หรือกึ่งแข็ง ที่อุณหภูมิต่ำ [8]

ปัจจัยในการพิจารณาเลือกใช้ตัวทำละลาย ได้แก่ ความสามารถในการละลายแลกเกอร์ได้ในทุกส่วน , กลิ่น , สี , ความเป็นพิษ , ราคา เป็นต้น [16]

2.5.2.3 สารเติมแต่ง (additive) เช่น พลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) , สารเร่งแห้ง (drier) เป็นต้น

2.5.3 การเกิดฟิล์ม (film formation)

กระบวนการการเกิดฟิล์มคือการเปลี่ยนสภาพจากสารเคลือบผิวในสถานะบรรจุ ไปเป็นฟิล์มที่ยึดติดแน่นกับผิว และทำให้พื้นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้น ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. แอปพลิเคชัน (application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้าหรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบางๆขึ้น การทำอาจใช้แปรงถูกล้าง การพ่น หรือการจุ่มก็ได้

2. ฟิกเซชัน (fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้า และไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ การเกิดเป็นฟิล์มในขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยการระเหยของตัวทำละลาย หรือถ้าสารเคลือบผิวเป็นแบบระบบลาเทกซ์ (latex system) ขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยอาศัยการระเหยของน้ำ เป็นต้น

3. การแห้งตัว (drying) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนฟิกเซชันแล้ว มีความทนทานดีขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้แสง ความร้อนหรืออากาศ เช่น สีน้ำมันทาบ้านจะแห้งตัว โดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เปลี่ยน

สภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มแห้งแข็ง ที่มีความทนทานเพิ่มขึ้น หรือการนำเคลือบ (enamel) ที่ทำจากพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตไปอบ ซึ่งเป็นการแห้งด้วยวิธีหนึ่ง กระบวนการเกิดฟิล์มของสารเคลือบผิวบางชนิดไม่จำเป็นต้องมี 3 ขั้นตอนเสมอไป ตัวอย่างเช่น แลกเกอร์ มีขั้นตอน ฟิกเซชัน และการแห้งตัวรวมกัน โดยอาศัยการระเหยของตัวทำละลายระหว่างการแอฟฟิเคชัน เป็นต้น [11]

2.5.4 กลไกการแห้งตัวของแลกเกอร์

แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

2.5.4.1 การแห้งโดยกรรมวิธีทางกายภาพ (physical drying) คือ กระบวนการแห้งตัวของฟิล์ม ที่เกิดจากการระเหยของส่วนประกอบที่ระเหยได้ เช่น ตัวทำละลาย และโคลูเอนต์ (diluent) ซึ่งการระเหยทำให้โมเลกุลของสารยึดใกล้กันมากขึ้น จนพันธะทุติยภูมิ (secondary force) เริ่มมีบทบาท ซึ่งการเกิดเจลจะเกิดในระยณะนี้ ส่งผลให้ฟิล์มแข็งตัว ฟิล์มที่แห้งด้วยวิธีนี้จะถูกทำลายได้ง่ายด้วยตัวทำละลาย เนื่องจากพันธะเชื่อมโยงของฟิล์มไม่แข็งแรง อัตราการระเหยเร็ว ทำให้การแห้งตัวด้วยวิธีการนี้ กินเวลาเพียง 5 - 15 นาที ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่แห้งด้วยวิธีการนี้ คือ แลกเกอร์ เป็นต้น

2.5.4.2 การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (chemical drying) คือ กระบวนการซึ่งโมเลกุลของสารยึดทำปฏิกิริยาเคมีซึ่งกันและกัน ทำให้โมเลกุลของสารยึดเชื่อมโยงกันด้วยพันธะปฐมภูมิ (primary force) ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง ตัวทำละลายไม่สามารถทำความเสียหายกับชั้นฟิล์มได้

สามารถแบ่งการแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมีได้ 2 แบบ คือ

1. การแห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative drying) เป็นการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จากนั้น โมเลกุลที่จับออกซิเจนไว้ จะทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของสารยึด

หมายเหตุ

- * การแห้งตัวด้วยวิธีนี้ช้ากว่าการแห้งแบบกรรมวิธีทางกายภาพ แต่สามารถเติมสารเร่งแห้ง เพื่อเร่งการแห้งได้
- * สารเร่งแห้งที่นิยมใช้ คือ เกลืออินทรีย์ของตะกั่ว แมงกานีส และโคบอลต์

2. การแห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี (curing) คือ กระบวนการแห้งตัวซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลของสารยึด โดยไม่มีแก๊สออกซิเจนมาเกี่ยวข้อง

หมายเหตุ

- * ถ้าปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิห้อง จะเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่า แล็กเกอร์ชนิดบ่มเย็น (cold curing lacquers)
- * ถ้าปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิ 70 °C ขึ้นไป เรียกว่า แล็กเกอร์ชนิดอบ (stoving ; baking lacquers)

2.5.5 การเตรียมพื้นผิวที่ต้องการเคลือบ

การเตรียมพื้นผิวของชิ้นงานก่อนการเคลือบ คือ การทำให้พื้นผิวมีความเหมาะสมสำหรับการเคลือบ นั่นคือ การกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไปจากพื้นผิว เช่น การกำจัดผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการกัดกร่อนของพื้นผิวโลหะ , กระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนบนพื้นผิว

โดยทั่วไปแล้วการเคลือบผิวที่ไม่สมบูรณ์นั้น เกิดขึ้นจากการเตรียมพื้นผิวไม่ดีพอ เพียงแค่ชั้นบาง ๆ ของไขมัน สามารถทำให้แรงยึดเหนี่ยวของสารเคลือบผิวกับพื้นผิวลดลงได้

การเลือกวิธีที่ใช้ในการเตรียมพื้นผิว ขึ้นอยู่กับ

1. ชนิด , รูปร่าง และขนาดของวัสดุที่ต้องการเคลือบ
2. ชนิดของสิ่งสกปรกบนวัสดุ
3. ค่าใช้จ่ายในการเตรียมพื้นผิว

วิธีที่ใช้ในการเตรียมพื้นผิว มีดังนี้

2.5.5.1 การกำจัดไขมัน (degreasing) คือ การใช้ของไหลที่มีสมบัติในการละลาย หรือ แทนที่ไขมัน และน้ำมัน ซึ่งอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ สามารถแบ่งการกำจัดไขมันได้ 4 แบบ คือ

1. การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยได้ เช่นตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (ที่นิยม ได้แก่ ไวท์สปิริต), ตัวทำละลายคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน (ที่นิยมใช้ ได้แก่ ไตรคลอโรเอทิลีน, เพอร์คลอโรเอทิลีน)

2. การใช้สารละลายของดีเทอร์เจนต์ ซึ่งประกอบด้วย สบู่ หรือ ดีเทอร์เจนต์สังเคราะห์ สารเหล่านี้ทำหน้าที่อิมัลซิฟาย (emulsify) ไขมันให้หลุดออกจากพื้นผิวในลักษณะของหยดเล็ก ๆ ความสามารถในการกำจัดสิ่งสกปรกสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเติมสารพวกอัลคาไลน์ เช่น กอสดิกโซดา (caustic soda) , โซดาแอส (soda ash) และควรใช้สารละลายนี้ที่อุณหภูมิ 80 - 90 °C หลังจากการใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกแล้ว ต้องล้างชิ้นงานด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งตกค้าง วิธีนี้เหมาะสำหรับการเตรียมพื้นผิวโลหะ

3. การใช้สารละลายอิมัลชันของตัวทำละลายไขมัน สารละลายดังกล่าวประกอบด้วยอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) ในปริมาณมาก วิธีนี้เรียกว่า emulsion degreasing

4. การใช้แรงดันจากกระแสน้ำ ใช้ steam jets ในการเป่าสารละลายของอัลคาไลน์ไปบนพื้นผิวที่ต้องการทำความสะอาด วิธีนี้เรียกว่า steam cleaning

2.5.5.2 กรรมวิธีการถั่งสนิม (pickling) เป็นวิธีทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดออกไซด์ออกจากพื้นผิวโลหะ โดยการจุ่มหรือสเปรย์ pickling fluid ไปบนโลหะ pickling fluid ที่นิยมใช้ คือ สารละลายของกรด แต่อาจใช้สารละลายของอัลคาไลน์ในกรณีโลหะเบา และโลหะผสมของโลหะเบา pickling fluid จะเปลี่ยนออกไซด์ให้อยู่ในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้

2.5.5.3 การเตรียมพื้นผิวเชิงกล

1. การใช้แปรงลวด โดยการใช้แรงคน หรือ ใช้เครื่องจักร

2. การขัดหรือการฝน (sanding or grinding) ทำได้โดยการขัดด้วยกระดาษทราย , ตะไบ และอื่น ๆ โดยอาศัยแรงคน หรือเครื่องจักร

3. การเป่าลม (blast cleaning) เป็นวิธีที่อาศัยแรงดันของอากาศในการดันให้อนุภาคเล็กๆที่เป็นตัวกำจัดสิ่งสกปรกพุ่งไปกระทบพื้นผิวที่ต้องการทำความสะอาด เรียกวิธีการนี้ว่า sand blasting วิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่ และมักใช้ในกรณีที่วิธีอื่น ๆ ไม่เหมาะสม

2.5.5.4 การทำทำความสะอาดด้วยเปลวไฟ (flame cleaning) โดยการให้ความร้อนกับพื้นผิวที่ต้องการทำความสะอาดอย่างรวดเร็วโดยใช้เปลวไฟออกซิอะเซทิลีน (oxyacetylene) หรือ ออกซิไฮโดรเจน (oxyhydrogen)

2.5.5.5 กรรมวิธีฟอสเฟตดิง (phosphating) คือ การนำพื้นผิวที่กำจัดไขมันแล้ว มาทำปฏิกิริยากับสารละลายของฟอสเฟตของโลหะ เพื่อทำให้เกิดชั้นของฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ บนพื้นผิวดังกล่าว วิธีการนี้เหมาะกับพื้นผิวที่เป็นเหล็ก

ชั้นของฟอสเฟตที่เกิดจากปฏิกิริยา มีลักษณะที่เป็นรูพรุน คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 0.5 % ของทั้งหมด นั่นคือการกักคร่อนอาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นหลังจากทำฟอสเฟตดิงแล้ว ควรทำการเคลือบผิวชิ้นงานดังกล่าวภายใน 24 ชั่วโมง

ข้อดีของการทำฟอสเฟตดิง คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นของฟอสเฟต กับชั้นของสารเคลือบผิวดีมาก และสามารถยับยั้งการแพร่กระจายของการเกิดสนิมเหล็กได้ชั้นของสารเคลือบผิวที่ถูกทำลายได้

2.5.5.6 กรรมวิธีโครเมตดิง (chromating)

กรรมวิธีในการทำ คือ การจุ่มชิ้นงานลงในอ่างที่มีโครเมตหรือไดโครเมต ใช้ในกรณีที่ชิ้นงานเป็นอะลูมิเนียม , แมกนีเซียม , สังกะสี และโลหะผสมของโลหะเหล่านี้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน และทำให้พื้นผิวที่ได้มีความเหมาะสมในการเคลือบผิวมากกว่าพื้นผิวที่ไม่ได้ทำ

2.5.6 การเคลือบผิว

วิธีที่นิยมในการทาสารเคลือบผิว คือ การใช้แปรงทา การใช้ลูกกลิ้ง การพ่น ซึ่งการใช้แปรงทาเป็นวิธีที่ช้าที่สุด ส่วนวิธีการพ่นเป็นวิธีที่เร็วที่สุด

การเลือกวิธีที่ใช้ในการทา ควรพิจารณาถึง ชนิดของพื้นผิว โดยการใช้ลูกกลิ้งทา เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับพื้นผิวที่กว้าง ส่วนการใช้แปรงทาเหมาะกับงานที่เป็นซอกมุม และการพ่นเหมาะกับพื้นผิวที่กว้าง และใช้ได้กับชิ้นงานรูปแบบต่าง ๆ ทุกรูปแบบ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึง ชนิดของสารเคลือบผิวที่จะทา และความชำนาญของผู้ทาค้วย [17]

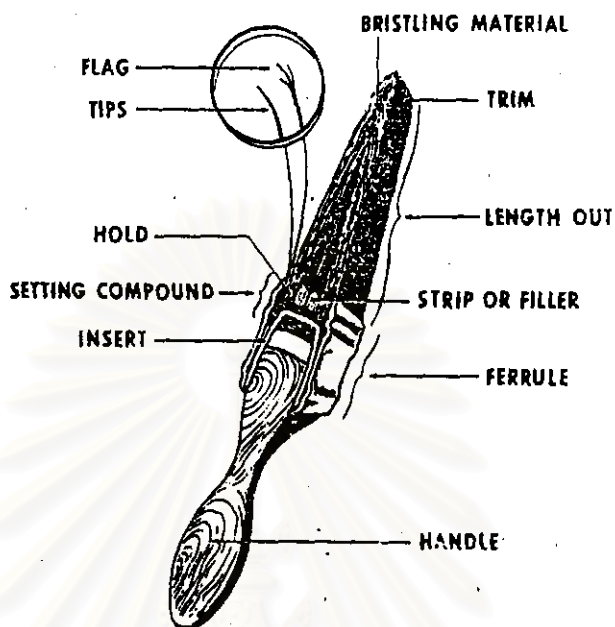
2.5.6.1 การใช้แปรงทา

การทาสีในสมัยก่อน มักใช้ขนสัตว์ในการทา ต่อมาจึงพัฒนาเป็นการใช้แปรง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการใช้แปรงทา คือ รูปร่างของขนแปรง (ซึ่งมักทำมาจากขนสัตว์ หรือสังเคราะห์ขึ้นมา) ความยาวของขนแปรง ธรรมชาติของขนแปรง ซึ่งควรจะแตกออกเป็นเส้นเล็ก ๆ หลาย ๆ เส้น จึงจะดี

ชนิดของแปรง และสารเคลือบผิว เป็นตัวกำหนดความยากง่ายในการทา และแนวโน้มในการเกิดรอยแปรงบนชิ้นสารเคลือบผิว [8]

แปรงที่ทำจากขนหมูจีน เป็นแปรงที่ดีที่สุด เนื่องจากความทนทาน และการคืนตัวกลับดี รวมทั้งมีลักษณะขนที่ปลายแตกออกเป็นกิ่งก้าน เรียกว่า flagging (ดังรูปที่ 2.1) ซึ่งมีข้อดีในการจุ่มสี และเมื่อทาจะได้ชั้นของสารเคลือบผิวที่เรียบ ส่วนขนม้ามักใช้ในการผลิตแปรงที่มีราคาถูก ซึ่งใช้ในการทาได้ไม่ดีนัก สำหรับขนแปรงสังเคราะห์ที่นิยมใช้ คือ ไนลอน ซึ่งใช้แทนขนม้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 แปรงทาสีทั่วไป [17]

เลือกขนาดของแปรงให้เหมาะสมในการใช้งาน ไม่ควรใช้แปรงขนาดเล็กเกินไป หรือใหญ่เกินไป ขนาดของแปรงควรเหมาะสมกับพื้นที่ที่จะทา

ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความยากง่ายในการใช้แปรงทาสี (brushability) ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่างการทา เช่น การใช้ตัวทำละลายที่ระเหยเร็วจะทำให้ความหนืดของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ยากในการทา

อุณหภูมิมีผลต่อความยากง่ายในการทาสี คือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ความหนืดของสารเคลือบผิวลดลง การทาก็ง่ายขึ้น ในขณะที่เดียวกันทำให้ตัวทำละลายระเหยได้เร็วขึ้น ความหนืดของสารเคลือบผิวจึงเพิ่มขึ้น

แรงลมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลต่อความยากง่ายในการทาสีด้วย โดยเมื่อลมแรง ตัวทำละลายระเหยได้มากขึ้น นั่นคือ ภาวะที่อุณหภูมิสูง และลมแรง เป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทาสีด้วยแปรง [8]

การเตรียมแปรงก่อนการใช้งาน

ถ้าเป็นแปรงที่ทำจากขนสังเคราะห์ สามารถนำมาใช้ได้เลย แต่ถ้าเป็นแปรงที่ทำมาจากขนสัตว์ ต้องทำการแช่แปรงในน้ำมันลินซีด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วล้างออกด้วย mineral spirits เพื่อให้ขนแปรงมีความยืดหยุ่น [17]

กระบวนการในการทาสีด้วยแปรง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. brushing out เป็นการนำสารเคลือบผิวออกจากภาชนะบรรจุ เพื่อทาลงบนพื้นผิวที่ต้องการทาและกระจายตัวให้เกิดเป็นฟิล์มขึ้น โดยมีความหนาของชั้นฟิล์มตามต้องการ จากการอาศัยแรงกดของแปรง

2. laying -off เป็นการปิดแปรงเบา ๆ ไปบนพื้นผิวที่ต้องการจะทา โดยในตอนแรกเป็นการทาไปในทิศทางเดียว จากนั้นทาตามขวางกับทิศทางเดิม ขั้นตอนนี้เป็น การลดรอยแปรงบนชั้นของสารเคลือบผิว [8]

2.5.6.2 การใช้ลูกกลิ้งทา

ปัจจัยที่มีผลต่อการทาด้วยวิธีนี้ คือ ชนิดของแผ่นเส้นใยหุ้มลูกกลิ้ง ชนิดของสีที่ใช้ทา และความเรียบของพื้นผิวที่จะใช้ทา สำหรับแผ่นเส้นใยหุ้มลูกกลิ้งที่นิยมใช้ ได้แก่

1. lamps wool มีความทนทานต่อตัวทำละลายดีมาก แต่ไม่นิยมใช้ในสีน้ำ

2. mohair เป็นเส้นใยที่ผลิตมาจากขนแพะพันธุ์แองโกรา มีความทนทานต่อตัวทำละลาย นิยมใช้กับเคลือบสังเคราะห์สำหรับพื้นผิวเรียบ และสามารถใช้กับสีน้ำได้

3. dynel คือ เส้นใยมอดิฟายด์อะคริลิก ซึ่งมีความทนทานต่อน้ำดีมาก จึงเหมาะสำหรับใช้กับสีน้ำ และสีที่มีตัวทำละลายเป็นองค์ประกอบ ยกเว้น สีที่มีตัวทำละลายชนิดรุนแรงเป็นองค์ประกอบ

4. dacron คือ เส้นใยสังเคราะห์ที่นุ่มกว่า dynel เหมาะสำหรับสีลาเท็กซ์

การใช้งาน ให้เทสีลงในถาดประมาณครึ่งหนึ่งของถาด จากนั้นจุ่มลูกกลิ้ง แล้วกลิ้งไปมา อาจใช้ตะแกรงลวด วางพาดกับถาดเพื่อเป็นตัวกระจายสีให้ทั่วลูกกลิ้ง

ควรทาถูกถึงครึ่งแรกบนกระดาษหนังสือพิมพ์ เพื่อกำจัดฟองอากาศออกจากลูกถึงจากนั้นจึงนำไปทาชิ้นงาน โดยไม่ควรทาเร็วจนเกินไป

2.5.6.3 การพ่น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

1. conventional spray วัสดุที่ต้องการพ่น ต้องอยู่ในระบบปิด แลพ่นโดยใช้แรงดันอากาศในการดันให้สีเคลื่อนตัวออกจากปืนสเปรย์ วิธีนี้เป็นวิธีที่ถูกที่สุดและง่าย แต่มีแนวโน้มที่จะเกิดการพ่นมากเกินไป (overspray) เพราะอัตราส่วนของอากาศต่อสีมีค่าสูง

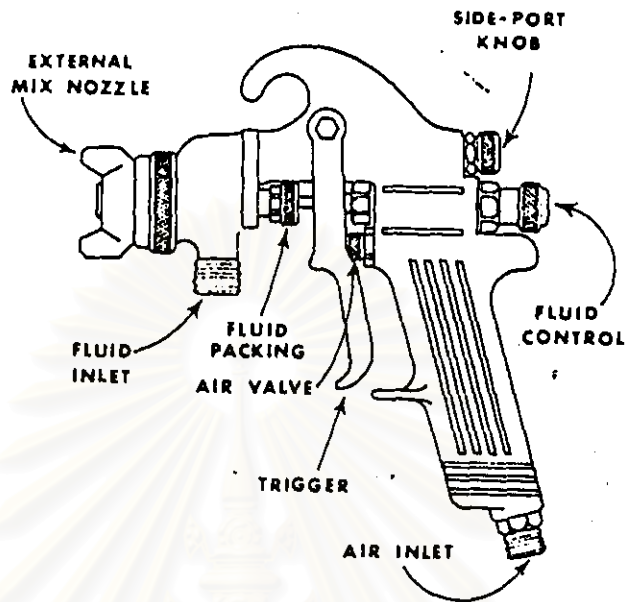
2. airless spray เครื่องมือคล้ายกับ conventional spray แต่ใช้ปั๊มไฮดรอลิกแทนแรงดันอากาศ ในการดันให้สีเคลื่อนตัวออกจากปืนสเปรย์ ดังนั้นจึงไม่เกิดการพ่นมากเกินไป วิธีนี้จะได้พื้นผิวที่เรียบเสมอกัน และสามารถใช้กับสีที่มีความหนืดสูงได้

3. hot spray ต้องให้ความร้อนแก่ถังสีและท่อสี ที่อุณหภูมิ 130 - 180 ° F จึงทำให้ลดปริมาณการใช้ตัวทำละลาย และแรงดันลง นั่นคือ ลดการเกิดการพ่นมากเกินไปด้วย แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถใช้กับสีที่ไวต่อความร้อนได้

ข้อที่ต้องคำนึงถึงในการพ่น คือ

-ควรถือปืนสเปรย์ (รูปที่ 2.2) ห่างจากผิวที่ต้องการพ่นประมาณ 6 -10 นิ้ว ไม่ควรถือห่างจนเกินไป เพราะจะทำให้เกิดเป็นฝุ่น (dusting) เนื่องจากตัวทำละลายระเหยในอากาศก่อนจะถึงผิวที่จะเคลือบ สีที่เคลือบจึงอยู่ในลักษณะที่ค่อนข้างแห้ง

-ความหนืดของสีควรมีค่าต่ำพอที่จะทำให้พ่นออกมาเป็นฝอยได้และควรมีค่าสูงพอที่จะไม่เกิดการไหลเป็นทาง (run) การย้อย (sagging or curtaining) สำหรับแรงดันที่ใช้ และขนาดของรู สำหรับพ่น ก็เป็นส่วนที่ต้องคำนึงถึงด้วย



รูปที่ 2.2 ปืนสเปรย์ [17]

2.5.6.4 การจุ่ม เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว โดยการนำชิ้นงานที่ต้องการจะทา จุ่มลงไปในถังของสารเคลือบผิวที่กวนอยู่ตลอดเวลา จากนั้นจึงยกขึ้น ปล่อยให้แห้ง เพื่อให้การจุ่มมีประสิทธิภาพ ควรออกแบบชิ้นงานให้สารเคลือบผิวสามารถสัมผัสกับพื้นผิวชิ้นงานได้ทุกส่วน และสารเคลือบผิวส่วนเกินสามารถไหลออกมาได้โดยไม่ค้างอยู่ภายในชิ้นงาน [8] แต่วิธีการนี้ไม่สามารถควบคุมความหนาของชั้นของสารเคลือบผิวได้

2.5.7 การทดสอบแลกเกอร์

2.5.7.1 สมบัติในการทาด้วยแปรง (brushing property)

การทดสอบสมบัติในการทาด้วยแปรง ทำได้โดยการใช้แปรงที่มีคุณภาพดี ทาลงบนแผ่นทดสอบที่สะอาด การทาให้ทาขึ้นลง แล้วทาตามขวาง และทาขึ้นลงเบาๆอีก 2 ครั้ง ขณะที่ทาให้สังเกตว่า ตัวอย่างที่ทดสอบทาได้ง่าย ไหลกระจายตัวได้ง่าย และมีข้อบกพร่องอื่น ๆ หรือไม่ เมื่อทาเสร็จแล้ว ทิ้งแผ่นทดสอบไว้ให้แห้ง หลังจากฟิล์มแห้งแล้ว ให้ตรวจสอบรอยทาทับ (lap) รอยแปรง

(brush marks) รอยเส้นเชือก (rosey finish) การเปลี่ยนแปลงความเงา การข้อย และ การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ

หมายเหตุ

* รอยทาบ หมายถึง บริเวณที่ผิวเคลือบใหม่คลุมทับผิวเคลือบเดิมที่อยู่ติดกัน ตามปกติการทาสี จะต้องทำให้รอยต่อของผิวเคลือบหายไป โดยมีได้เกิด รอยทาบ

* รอยแปร่ง หมายถึง ริวในฟิล์มของสีแห้งที่ยังคงเหลืออยู่หลังการทาสี คิวแปร่ง

* รอยเส้นเชือก หมายถึง ผิวที่ยังมีรอยแปร่งอยู่ มีลักษณะคล้ายเส้นเชือก

* การข้อย หมายถึง การที่สารเคลือบผิวไหลลงมาขณะเคลือบ แล้วเกิดการแข็งตัว เป็นผลให้ผิวเคลือบไม่สม่ำเสมอ มีขอบต่างหนา

2.5.7.2 การวัดความเงา

ฟิล์มจะมีความเงามาก หรือ น้อย ขึ้นกับความสามารถของฟิล์ม ในการรับแสงและสะท้อนออกไป ความสามารถดังกล่าวขึ้นอยู่กับ ความเรียบของพื้นผิว และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

ความเงาแบ่งออกได้หลายระดับ ดังนี้

1. เงาเต็มที่ (full gloss , high gloss) หมายถึง ความเงาที่มีค่าสูงกว่า 70 หน่วย เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความเงา ที่มุม 60 องศา พื้นผิวที่มีความเงาเต็มที่ จะเรียบ และมีลักษณะคล้ายกระจกที่สุด ไม่ว่าจะมองที่มุมไหนก็ตาม

2. กึ่งเงา (semi-gloss) หมายถึง ความเงาที่มีค่าอยู่ระหว่าง 30-70 หน่วย เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความเงาที่มุม 60 องศา

3. เงาเปลือกไข่ (eggshell gloss) หมายถึง ความเงาที่มีค่าอยู่ระหว่าง 15-30 หน่วย เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความเงาที่มุม 60 องศา

4. ค้านเปลือกไข่ (eggshell flat) หมายถึง ความเงาที่มีค่าอยู่ระหว่าง 10-15 หน่วย เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความเงาที่มุม 60 องศา

5. คำน (flat , matt) หมายถึง ไม่มีความเงาแม้ว่าจะมองเฉียง ๆ (โดยทั่วไป ค่าความเงามีค่าต่ำกว่า 15 หน่วย เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความเงาที่มุม 85 องศา

การวัดความเงาของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นการวัดเปรียบเทียบกับความเงาของแผ่นทดสอบมาตรฐาน โดยมีการระดมที่ถ้าแสงตกไปกระทบพื้นผิวฟิล์ม โดยทั่วไปนิยมวัดความเงาที่มุม 20 องศา 60 องศา และ 85 องศา

วิธีการวัดด้วยมุม 60 องศา ใช้ได้กับฟิล์มของสารเคลือบผิวทั้งหมด ส่วนวิธีวัดด้วยมุม 20 องศา ใช้ได้กับสีเงามาก และสามารถวัดความแตกต่างของความเงาที่มีค่าสูงได้ดีกว่า สำหรับวิธีวัดด้วยมุม 85 องศา ใช้ได้กับสีเงาอ่อน และสามารถวัดความแตกต่างของความเงาที่มีค่าอ่อนได้ดีกว่า

แผ่นทดสอบที่ใช้ในการวัดความเงา ถ้าเป็นฟิล์มสีให้ใช้แผ่นแก้ว แต่ถ้าเป็นฟิล์มวารนิช ให้ใช้แผ่นแก้วสีดำหรือแผ่นแก้วใสเคลือบด้วยสีดำบนด้านหลัง ขนาดของแผ่นทดสอบอย่างน้อยจะต้องเท่ากับพื้นที่การส่องสว่าง สำหรับแผ่นทดสอบมาตรฐานอาจเป็นแผ่นทดสอบมาตรฐานขั้นต้น (primary standard) หรือแผ่นทดสอบมาตรฐานขั้นทำงาน (working standard) แผ่นทดสอบมาตรฐานขั้นต้น จะต้องเป็นแผ่นแก้วสีดำเป็นเงามาก ส่วนแผ่นทดสอบมาตรฐานขั้นทำงาน อาจเป็นกระเบื้องเซรามิก เคลือบวิเทรียส (vitreous enamel) แผ่นแก้วทึบแสง หรือวัสดุอย่างอื่นที่เงาสม่ำเสมอ แต่จะต้องแบนราบ และได้สอบเทียบกับแผ่นทดสอบมาตรฐานขั้นต้นแล้ว

สำหรับเครื่องมือวัดความเงา ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงสำหรับส่องสว่างลงบนพื้นผิวแผ่นทดสอบและแหล่งรับแสงสำหรับรับแสงสะท้อนจากพื้นผิวแผ่นทดสอบ เครื่องวัดความเงาแต่ละเครื่อง จะมีแผ่นทดสอบมาตรฐานอย่างน้อยสองแผ่นที่มีระดับความเงาแตกต่างกัน

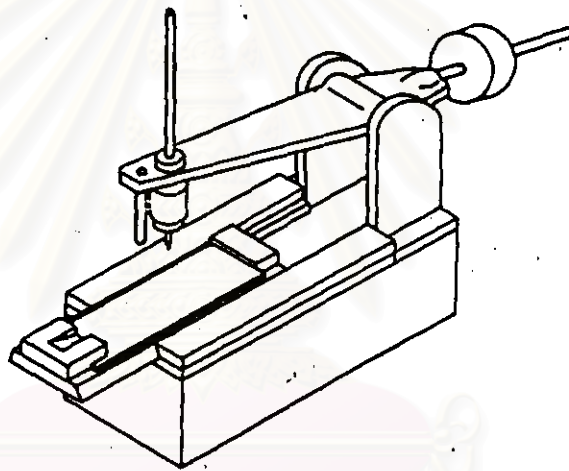
การวัดความเงา ให้สอบเทียบเครื่องมือวัดความเงาเมื่อเริ่มวัดทุกครั้ง และระหว่างการวัดให้สอบเทียบบ่อย ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือสามารถวัดค่าได้คงที่ สำหรับการวัดความเงาบนฟิล์มของแผ่นทดสอบ ให้วัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.5.7.3 ความแข็ง (hardness)

ความแข็ง หมายถึง ความสามารถของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ทนต่อการเกิดรอยจากการกดหรือการขีดขีดด้วยของแข็ง

วิธีหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ใช้กันทั่วไป คือ การทดสอบการขีดขีด (scratch test) ซึ่งก็คือ การหาความต้านทานต่อการแทงทะลุของฟิล์มของสารเคลือบผิว โดยการขีดด้วยเข็ม

การทดสอบการขีดขีด ทำได้โดย การใช้เครื่องมือทดสอบการขีดขีด (Mechanical Scratch Test Apparatus) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นเลื่อนได้ในแนวนอน โดยแรงขับจากมอเตอร์ แผ่นเลื่อนนี้วางไว้ใต้เข็มซึ่งตั้งฉากกับฟิล์ม เข็มยึดติดกับที่จับ เหนือที่จับเข็มขึ้นไปเป็นที่วางน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือทดสอบการขีดขีด

เมื่อจะทำการทดสอบ ก็ทำได้โดยการนำแผ่นทดสอบ ซึ่งเคลือบตัวอย่างทดสอบไว้แล้ว มายึดให้ติดแน่นกับแผ่นเลื่อนได้ของเครื่องมือ โดยให้ด้านยาวของแผ่นทดสอบขนานกับทิศทางของการขีด วางน้ำหนักบนที่วางเหนือเข็ม โดยเริ่มจากน้ำหนักที่น้อยกว่าน้ำหนักที่คาดว่าจะทำให้เกิดการแทงทะลุผิวเคลือบ เปิดสวิตช์มอเตอร์ของเครื่องมือให้แผ่นเลื่อน ปัดถอยให้เข็มขีดบนผิวเคลือบ ทดสอบต่อไปโดยการเพิ่มน้ำหนักให้เหมาะสม จนกระทั่งเข็มแทงทะลุผิวเคลือบถึงแผ่นทดสอบ ทดสอบซ้ำโดยใช้น้ำหนักนี้บนแผ่นทดสอบเดิม และแผ่นทดสอบใหม่

ความแข็งของฟิล์มของตัวอย่างทดสอบ คือ น้ำหนักน้อยที่สุดที่ทำให้เข็มแทงทะลุผิวเคลือบ

วิธีการทดสอบหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิววิธีอื่น ๆ ได้แก่ การทดสอบความแข็งโดยการใช้ดินสอ (pencil hardness test) เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด และสามารถใช้ประโยชน์ได้ดี การทดสอบทำได้โดยการใช้ดินสอที่มีความแข็งต่าง ๆ กัน (ความแข็งของดินสอจะลดลงจากเบอร์ 6H ถึง 4B) กดลงบนฟิล์ม ถ้าปลายดินสอเบอร์ใดแตกในระหว่างที่แทงทะลุผิวฟิล์มไป ก็ถือว่าฟิล์มดังกล่าวมีความแข็งเท่ากับความแข็งของดินสอนั้น เช่น ถ้าฟิล์มมีความแข็งมากจนทำให้ดินสอเบอร์ 6H ซึ่งแข็งที่สุดแตก แสดงว่า ฟิล์มนั้นมีความแข็งมาก คือ เท่ากับดินสอเบอร์ 6H แต่ถ้าดินสอสามารถแทงทะลุผ่านผิวของฟิล์มได้ โดยที่ดินสอไม่แตกเลย แม้กระทั่งดินสอเบอร์ 4B ที่มีความแข็งน้อยที่สุด ก็แสดงว่าฟิล์มนั้นมีผิวเคลือบที่อ่อน (soft coating)

2.5.7.4 ความทนทานต่อตัวทำละลาย (solvent resistance)

การทดสอบหาความทนทานต่อตัวทำละลาย ใช้วิธีเดียวกันกับการทดสอบหาความทนน้ำ กล่าวคือ ทดสอบโดยการนำแผ่นทดสอบไปจุ่มในตัวทำละลายต่าง ๆ ภายในระยะเวลาที่กำหนด แล้วตรวจดูว่า สภาพของฟิล์มเป็นอย่างไร ถ้าฟิล์มมีความทนทานต่อตัวทำละลายได้ดีหลังจากจุ่มแล้ว ฟิล์มจะต้องมีสภาพเดิม ไม่มีข้อบกพร่องใด ๆ เกิดขึ้น [11]