บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารเคลือบผิว (1)

วัตถุประสงค์ของสารเคลือบผิวโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประการด้วยกัน คือ ช่วยป้องกันผิววัสดุจากมลภาวะต่างๆ โดยสารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกเคลือบมีความทนทานต่ออากาศ น้ำ สารเคมีและทนต่อแรงทางเชิงกลได้ดีขึ้น และอีกประการ คือ เพื่อตกแต่งให้แลดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวอาจมาจากสี ความเงาและลวดลายต่างๆ

2.1.1 วิวัฒนาการของสารเคลือบผิว

เทคโนโลยีของสารเคลือบผิวโดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีของสี ได้มีมานานแล้วพร้อมกับยุคประวัติศาสตร์เริ่มต้น เช่น มนุษย์ยุคหินรู้จักการใช้โคลนและดินมาทาผนังถ้ำ อียิปต์โบราณ ทำการตกแต่งฝาผนังด้วยสีที่ผสมกับไข่ขาว พวกโรมันใช้ผงสีผสมกับปลาสเตอร์แล้วนำมาตกแต่งพื้นผิวภายใน กลุ่มชนโบราณฮีบรูห์ได้ใช้สีผสมกับนมเพื่อตกแต่งให้ฝาผนังห้องดูสว่างขึ้น

ในยุคคริสต์ศักราชต้นๆ พวกจิตรกรได้คิดทำสีน้ำมันขึ้นเป็นครั้งแรกจากส่วนผสมของน้ำมันแห้งเร็วและสี ซึ่งต่อมาได้มีการใส่เรซินและสารเร่งแห้งผสมไปในสีน้ำมันด้วย ในปีคริสต์ศักราช 15 ได้มีการรู้จักนำตัวทำละลายมาใช้ในการปรับความหนืดของวาร์นิช

ในปีคริสต์ศักราช 1900 เริ่มมีการใช้กระบวนการอบเพื่อเข้ามาช่วยทำให้สารเคลือบนั้นแห้งเร็วยิ่งขึ้น และต่อมามีการนำแลกเกอร์มาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว โดยที่การแห้งของแลกเกอร์เกิดจากการระเหยของตัวทำละลายซึ่งใช้เวลาน้อยลงมาก คือ ประมาณ 30 นาที เป็นผลให้แลกเกอร์เป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมรถยนต์ เฟอร์นิเจอร์และอื่นๆ

ในปีคริสต์ศักราช 1926 ได้มีการนำฟีนอลิกเรซินและมาลีอิกเรซิน มาทำน้ำมันวาร์นิชทาไม้ ซึ่งแห้งตัวได้ภายในเวลา 4 ชั่วโมง เป็นผลให้การนิยมใช้แลกเกอร์เริ่มลดลง ต่อมาในปี คริสต์ศักราช 1930 ได้มีการผลิตสารเคลือบเชิงการค้าจากอัลคิดเรซิน ซึ่งสารเคลือบชนิดนี้มีข้อดีกว่าแลกเกอร์ คือ เมื่อนำไปพ่นแล้วจะได้ความหนาที่มากกว่า ต่อมาได้มีการนำเอายูเรียเรซินผสมกับอัลคิดเรซินแล้วนำไปอบ จะได้ฟิล์มที่มีความทนทานต่อการขูดขีดกว่าฟิล์มที่ได้จากสารเคลือบที่ผลิตด้วยอัลคิดเรซินเพียงอย่างเดียว ซึ่งสารเคลือบที่ได้จะนำมาใช้ในการเคลือบตู้เย็น รถยนต์และค่อนข้างเป็นที่นิยมกันมาก

ในปัจจุบันแนวโน้มของอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้ตระหนักและให้ความสำคัญกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากสารเคลือบผิวที่นิยมใช้ในอดีตนั้นเป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลาย (Solvent base coating) ซึ่งสารเคลือบผิวดังกล่าวจะเกิดฟิล์มแข็งได้ก็ต่อเมื่อมีการปล่อยทิ้งไว้ในอากาศหรือให้ความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายออกจากสารเคลือบ ตัวทำละลายที่ระเหยออกไปนี้เองที่อันตรายและเป็นพิษต่อร่างกายของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

การบ่มสารเคลือบผิวโดยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับความสนใจและนิยมใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากระบบดังกล่าวไม่ได้อาศัยการระเหยของตัวทำละลายเพื่อทำให้ฟิล์มแข็งตัวแต่อาศัยการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเลต แล้วได้อนุภาคที่มีความว่องไวสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปกับโมโนเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นเกิดเป็นฟิล์มพอลิเมอร์เคลือบอยู่บนพื้นผิวที่ต้องการ จะเห็นได้ว่าเทคนิคการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตดังกล่าวนอกจากจะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยประหยัดพลังงาน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่ระบบเพื่อทำให้เกิดฟิล์ม

2.1.2 ชนิดของสารเคลือบผิวแบ่งตามลักษณะการใช้งาน

1) **สารกันซึม** (sealers) สารกันซึมใช้เคลือบผิวหน้าวัสดุที่มีรูพรุนสูงหรือใช้เคลือบวัสดุที่ปล่อยสารบางประเภทออกมาซึ่งจะมีผลทำให้ฟิล์มของสีเสียหายได้ ตัวอย่างของวัสดุที่มีรูพรุนสูงได้แก่ ใยหิน (asbestos) ปลาสเตอร์ และไม้อัด เป็นต้น สารกันซึมที่ใช้เคลือบผิวหน้าวัสดุที่มีรูพรุนเหล่านี้ส่วนมากทำจากไวนิลอิมัลชัน

2) **สีรองพื้น** (primers) สีรองพื้นเป็นสีที่ใช้เคลือบเป็นชั้นแรกบนพื้นผิวของวัสดุ โดยมีหน้าที่คือ ยึดเกาะกับพื้นผิววัสดุ, เสริมการยึดเกาะระหว่างสีชั้นถัดไปกับพื้นผิววัสดุ, ช่วยป้องกันไม่ให้ความชื้นซึมผ่านผิวไม้และช่วยป้องกันไม่ให้โลหะเกิดการกัดกร่อน ชนิดของสีรองพื้นจะขึ้นกับชนิดของวัสดุ เช่น ไม้ ใยหิน ซีเมนต์และโลหะ โดยส่วนใหญ่สารยึดของสีรองพื้นจะทำมาจากน้ำมันวาร์นิช โพลียูรีเทน ฟีนอลิกเรซิน ไวนิลอีมัลชันและยางคลอริเนเตด และนำมาผสมกับผงสีที่ไม่เป็นพิษ เช่น ทิทาเนียมไดออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต ไมกา ผงอะลูมิเนียมและซิงก์โครเมต

3) **สตอปเปอร์และฟิลเลอร์** (stopper and fillers) สตอปเปอร์ เป็นสารที่ใช้อุดรอยแตกหลุมและรอยเว้าลึกๆ โดยการใช้เกรียงปาดไปบนพื้นผิววัสดุที่ต้องการอุด สตอปเปอร์มีลักษณะเป็นสารที่ข้นและเหนียวและต้องไม่หดตัวเมื่อแห้ง โดยส่วนใหญ่จะทำจากการนำเรซินมาบดผสมกับผงสีด้วยลูกบดหรือลูกกลิ้ง

ฟิลเลอร์ หมายถึง สารที่ใช้อุดรูเล็กๆ โดยการใช้แปรงหรือโดยการพ่น เพื่อให้พื้นผิวที่จะเคลือบเรียบสม่ำเสมอ ฟิลเลอร์จะให้ฟิล์มที่แข็งแรงและสามารถถูหรือขัดออกเพื่อให้ผิวเรียบได้ง่าย องค์ประกอบของฟิลเลอร์จะคล้ายกับสตอปเปอร์แต่ต่างกันตรงที่ฟิลเลอร์จะมีปริมาณของตัวกลางหรือสารยึดมากกว่า และมีผงสีน้อยกว่า

4) **สีชั้นล่าง** (undercoats) สีชั้นล่างเป็นสีที่ใช้เคลือบบนพื้นผิวหลังจากผ่านการรองพื้นหรือการอุดรูแล้ว สมบัติที่สำคัญของสีชนิดนี้ควรมีความสามารถในการปิดบังผิวหน้าดี มีสีเดียวกับสีชั้นสุดท้ายและเข้ากันได้ดีกับสีชั้นอื่นๆ สารยึดที่ใช้ในสีชั้นล่างได้แก่ น้ำมันวาร์นิช ฟีนอลิกเรซิน และอัลคิดเรซิน โดยปริมาณของผงสีปิดบังในสีชั้นล่างจะมากกว่าในฟิลเลอร์ ดังนั้นฟิล์มที่ได้จึงละเอียดและปกปิดพื้นผิวได้ดี

5) **สีทับหน้า** (topcoats or finishing coats) สีทับหน้าเป็นสีที่ใช้สำหรับงานเฉพาะด้าน เช่น อาจใช้ในด้านการเพิ่มความมันเงา ทนต่อมลภาวะสูง ทนต่อเคมีภัณฑ์ น้ำ ตัวทำละลายและทนต่อแรงเชิงกลได้ดี สารยึดในสีทับหน้าได้แก่ อัลคิดเรซิน ยางคลอริเนเตด อีพอกซีเอสเตอร์และไวนิลเรซิน

6) **สารเคลือบผิวสำหรับตกแต่งไม้ภายใน** (coating for interior wood) สีชนิดนี้จะสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 4 ชนิด คือ สารเคลือบผิว (floor finishes) ทำให้พื้นมีความทนทานต่อการขัดสี ทนทานต่อน้ำและทำความสะอาดได้ง่าย สารเคลือบเฟอร์นิเจอร์ (furniture finishes) อาจใช้เป็นสารเคลือบใส ในกรณีที่ต้องการให้เห็นพื้นผิวเดิมของวัสดุที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ หรืออาจใช้เคลือบปิดผิว ในกรณีที่พื้นผิวเดิมไม่มีความสวยงาม สีสำหรับเฟอร์นิเจอร์ไม้ (painting of wooden furniture) ส่วนใหญ่จะทำจากอัลคิดเรซิน เซลลูโลสแลกเกอร์ โพลียูรีเทน สีสำหรับงานไม้ภายใน (paints for interior woodwork) สีประเภทนี้มีจุดประสงค์หลักอยู่ที่ความสวยงามและความสามารถในการทำความสะอาดหลังเคลือบด้วย

7) **สีกันเพรียง** (antifouling paints) สีกันเพรียงหมายถึง สีชั้นนอกที่ใช้ทาเรือระดับแนวน้ำและแนวใต้น้ำ เพื่อป้องกันเพรียงหรือสิ่งที่มีชีวิตอื่นๆ เกาะ สีนี้มีสารที่เป็นพิษต่อเพรียงหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ผสมอยู่ซึ่งสารพิษที่ใช้นี้ต้องไม่เป็นมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม สารยึดที่ใช้ในสีชนิดนี้ได้แก่ อะคริลิกเรซิน ไวนิลเรซิน ยางคลอริเนเตด ผสมกับสารพิษ ซึ่งที่ใช้กันทั่วไปคือ คอปเปอร์ (I) ออกไซด์

8) **สีอิมัลชัน** (emulsion paints) สีอิมัลชัน หมายถึง สีที่มีสิ่งนำสีเป็นอิมัลชันของสารยึดกับน้ำ อาจเรียกว่า สีลาเทกซ์หรือสีน้ำพลาสติกก็ได้ อิมัลชันเป็นระบบที่ประกอบด้วยของเหลว

2 เฟสที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ของเหลวเฟสหนึ่งจะถูกกระจายเป็นหยดเล็กๆ อยู่ในของเหลวอีกเฟสหนึ่ง สารยึดที่สำคัญในสีอิมัลชันมี 3 ชนิดด้วยกัน คือ สไตรีน-บิวตะไดอีนโคพอลิเมอร์ โพลิไวนิล-แอซีเตตทั้งชนิดโฮโมและโคพอลิเมอร์และอะคริลิกพอลิเมอร์ทั้งชนิดโฮโมและโคพอลิเมอร์

9) **สารเคลือบผิวที่ละลายน้ำได้** (water-soluble coating) ตัวทำละลายและสารเจือจางที่ใช้ในสารเคลือบผิวเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ สารอินทรีย์เหล่านี้มักก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ เป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนและสัตว์ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาให้มีการใช้สารเคมีเหล่านี้ให้น้อยลง เช่น การใช้สีอิมัลชันซึ่งมีน้ำเป็นตัวกลาง ซึ่งสารยึดในระบบนี้ต้องเป็นหมู่ที่มีขั้วซึ่งชอบน้ำ เช่น หมู่อีเทอร์ หมู่คาร์บอซิล หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เอไมด์

10) **น้ำยาลอกสี** (paint remover) น้ำยาลอกสี หมายถึง สารที่เมื่อทาบนฟิล์มของสีวาร์นิชหรือแลกเกอร์ที่แห้งแล้วทำให้ฟิล์มอ่อนตัวลง สามารถขจัดออกจากพื้นผิวที่เคลือบได้ง่าย

2.1.3 **ชนิดของเรซินที่ใช้ในสารเคลือบผิว** (1,2)

โดยทั่วไปเรซินที่ใช้ในสารเคลือบผิวจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) **เรซินธรรมชาติ** (natural resins)

เรซินธรรมชาติเป็นของเหลวที่ปลดปล่อยออกมาจากเปลือกไม้หรือต้นไม้หรือสัตว์ ซึ่งต่อมาของเหลวดังกล่าวนี้จะแข็งตัวเป็นก้อนแข็ง มีสมบัติโปร่งแสง การนำเรซินธรรมชาติมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว จะต้องตรวจสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สี ความแข็ง ช่วงหลอมเหลวและอ่อนตัว การละลายในตัวทำละลายและน้ำมัน ค่าความเป็นกรด ค่าสะพอนิฟิเคชั่นและปริมาณเถ้า

เรซินธรรมชาติที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

(1) ชันสน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวาร์นิชและสารยึดเนื่องจากมีสมบัติที่แห้งเร็ว ให้ฟิล์มที่มีความทนทานต่อการขูดขีด ทนน้ำและเคมีภัณฑ์ต่างๆ

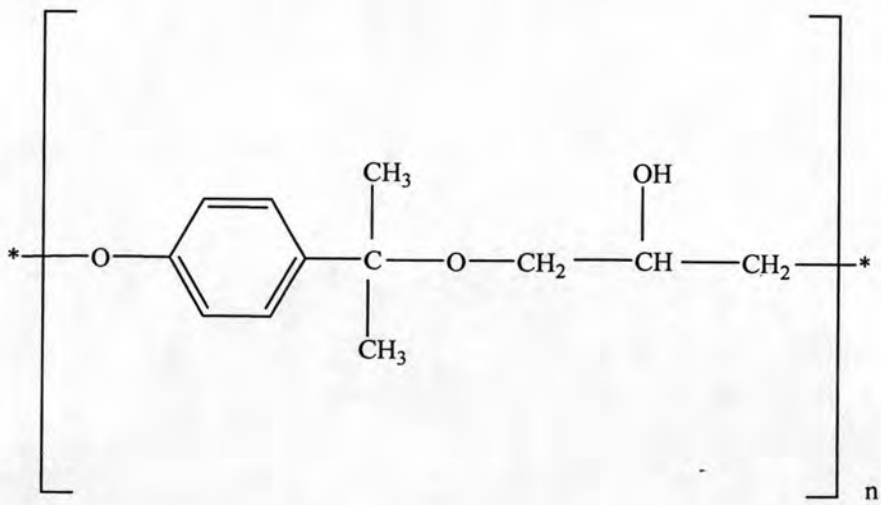
(2) ชันหรือโคแพล เป็นเรซินแข็งที่เกิดอยู่ในพื้นดินเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเก็บขึ้นมาจากพื้นดิน เรซินเหล่านี้จะแข็งและไม่ละลายในน้ำมัน จึงต้องทำกรรมวิธีที่เรียกว่า gum running ก่อนจึงจะใช้ในการทำเป็นวานิชได้

(3) แดมมาร์ เป็นเรซินใหม่ที่มีลักษณะอ่อนนิ่ม มีค่าของกรดต่ำ ไม่ขึ้นเหลืองเมื่อถูกแสงสว่าง ละลายได้ในไฮโดรคาร์บอนและเทอร์เพนไทน์ มักใช้ผสมในไนโตรเซลลูโลสแลกเกอร์

2) **เรซินสังเคราะห์** (synthetic resins)

เรซินสังเคราะห์สามารถเป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติกและพลาสติกเทอร์โมเซต ซึ่งเมื่อนำมาผ่านการบ่ม (curing) แล้วจะจะกลายเป็นพลาสติกเทอร์โมเซต ไม่สามารถเปลี่ยนกลับรูปเดิมได้ นั่นคือ เรซินถูกทำให้แข็งจนไม่สามารถหลอมเหลวใหม่ได้ ถึงแม้จะเพิ่มอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องต่อไป เรซินก็ไม่สามารถอ่อนตัวและกลายเป็นพลาสติกได้อีก การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเนื่องจากพอลิเมอร์ในโครงสร้างของเรซินเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห (cross link) แบบถาวรขึ้น โดยทั่วไปแล้วการบ่มนี้ทำได้โดยอาศัยความร้อนและความดัน แต่เรซินบางกลุ่มก็สามารถบ่มที่อุณหภูมิห้องได้โดยไม่ต้องใช้ความดัน การเกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแหของพลาสติกเทอร์โมเซ็ตนี้ทำให้โมเลกุลเคลื่อนไหวได้น้อยหรือไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ จึงให้สมบัติที่ดีในเรื่องความทนทานต่อการขูดขีดที่อุณหภูมิสูง การไม่ละลายในตัวทำละลาย ความทนทานต่อความร้อน สารเคมี และการคืบตัว เรซินมีอยู่ด้วยกัน 6 กลุ่มหลักๆ ได้แก่ อีพอกซี (epoxies) อัลคิด (alkyds) ฟีนอลิก (phenolics) ยูริเทน (urethane) อะคริลิก (acrylic resin) และอะมิโนเรซิน (amino resins)

1) พอกซี (epoxies) บางทีเรียกว่า อีพอกไซด์เรซิน เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดหรือโพลีไฮดริกฟีนอลและอีพิแฮโลไฮดริน โดยมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีพอกซีเรซินจะมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของอีพอกซีเรซิน

สมบัติของอีพอกซีเรซิน ได้แก่ ทนต่อสารเคมีต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อด่างทั้งหลาย ทั้งนี้เพราะโมเลกุลไม่มีหมู่เอสเตอร์ที่จะถูกสะพอนิฟายได้ มีแต่อีเทอร์และคาร์บอน-คาร์บอนเท่านั้น อีพอกซีเรซินจะยึดเกาะกับผิวหน้าของวัสดุได้ดีเนื่องจากมีหมู่ที่มีขั้วสูง และสมบัติ

เชิงกลของอีพอกซีเรซินก็จัดว่ามีความทนทานต่อการขูดขีด อ่อนตัว ไม่เปราะ ส่วนข้อเสีย ได้แก่ ไม่ละลายในตัวทำละลายที่มีราคาถูก และไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกับเรซินบางชนิด นอกจากนี้เมื่อใช้ฟิล์มจากอีพอกซีเรซินภายนอกเป็นระยะเวลานานจะทำให้ฟิล์มร่วนและความทนน้ำก็ด้อยลงด้วย

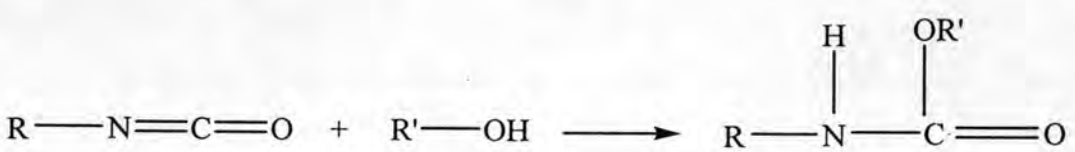
2) อัลคิด (alkyds) เป็นเรซินที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมากที่สุด เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างโพลิไฮดริกแอลกอฮอล์ ซึ่งปกติใช้กลีเซอรอล กับกรดไดหรือโพลิเบสิก ซึ่งโดยทั่วไปใช้ฟทาลิกแอนไฮไดร์ นอกจากนี้มักใช้กรดไขมันหรือน้ำมันมาเอสเตอริฟายร่วมด้วย

สมบัติของอัลคิดเรซิน ได้แก่ มีความเปียกผิวดี กระจายตัวได้ดี มีความคงทน อ่อนตัว ไม่เปราะ รักษาความเงามันของฟิล์มได้ดีและทนทานต่อความร้อนและตัวทำละลายดี

3) ฟีนอลิก (phenolics) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดแรกที่ผลิตขึ้นในทางการค้า โดย เบคเคแลนด์ นักเคมีชาวเบลเยียม โดยปกติแล้ว ฟีนอลเรซิน หมายถึงเรซินที่ได้จากฟีนอลเข้าทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์และเชื่อกันว่า ฟีนอลิกเกิดโดยผ่านทางปฏิกิริยาการควบแน่นได้เป็นเมทิลลอลฟีนอล และหมู่ไฮดรอกซิลของเมทิลลอลฟีนอลอาจทำปฏิกิริยากันเองหรือทำกับหมู่ไฮดรอกซิลของเมทิลลอลฟีนอลอีกหมู่หนึ่งก็ได้ ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ จะเกิดเรื่อยๆ ไปโดยไม่มีขอบเขตจำกัด การสังเคราะห์ฟีนอลิกเรซินทำได้ 2 แบบ คือ ทำในภาวะที่ใช้ฟีนอลมากเกินพอซึ่งจะได้โนโวแลกเรซิน และทำในสภาวะที่ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์มากเกินพอซึ่งจะได้รีโซลเรซิน

สมบัติของฟีนอลิกเรซินในชนิดของโนโวแลกจะมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และหลอมเหลวได้ ส่วนในชนิดของรีโซลจะมีโครงสร้างเป็นรูปตาข่าย ไม่หลอมเหลวและไม่ละลายในตัวทำละลายทั้งหลาย ฟิล์มมีลักษณะแข็ง ทนน้ำและกรดได้ดีแต่เปราะจึงต้องมีการดัดแปรด้วยบิวทานอลหรือแอลกอฮอล์เพื่อให้การเชื่อมโยงในโมเลกุลลดลงเป็นผลให้ความเปราะลดลงและสามารถละลายได้ในสารละลายบางชนิด

4) ยูริเทน (urethane) ปฏิกิริยาการเกิดยูรีเทนค้นพบในปี คริสต์ศักราช 1848 โดย เวิร์ต ยูริเทนสามารถเตรียมได้จากโมโนไอโซไซยาเนตกับสารประกอบซึ่งมีไฮโดรเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง เกิดเป็นเอสเตอร์ของกรดคาร์บอมิกที่ถูกแทนที่ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงภาพการเกิดเอสเตอร์ของกรดคาร์บอมิก

สมบัติของยูริเทน ได้แก่ ทนด่าง กรดและตัวทำละลายอื่นมีแรงยึดผิวหน้าดี ๆ ได้ดี โดยเฉพาะตัวทำละลายอะโรมาติกและคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน ฟิล์มของโพลิยูรีเทนซึ่งได้ผ่านการบ่มเต็มที่แล้วจะมีแรงยึดผิวหน้าได้ดี ทนการขัดสีสูงมีความเหนียวและทนต่อลมฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี

5) อะคริลิก (acrylic resin) คือ พอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากกรดอะคริลิกและอนุพันธ์ของอะคริลิกโดยส่วนมากเรซินแข็งที่ใช้ในการเคลือบผิวเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก จะอยู่ในลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ซึ่งได้มาจากการบดบล๊อกใหญ่ ส่วนมากมักเป็นโฮโมพอลิเมอร์ของเมทาคริเลตเอสเตอร์หรือเป็นโคพอลิเมอร์ของเมทาคริเลตแสดงดังรูปที่ 2.3

$CH_2 = C(CH_3)COOCH_3$ $CH_2 = C(CH_3)COOC_2H_5$

เมทิลเมทาคริเลต เอทิลเมทาคริเลต

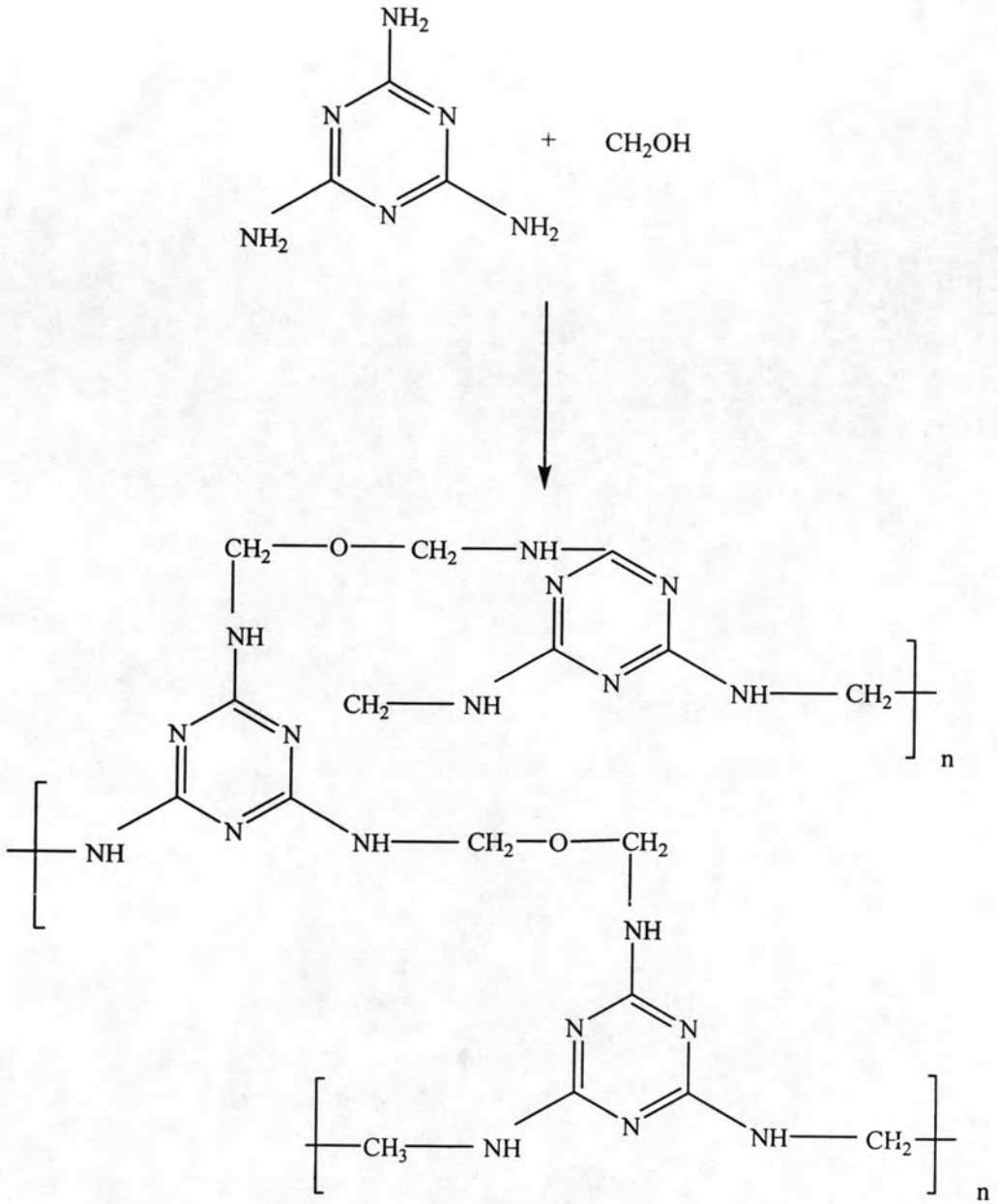
$CH_2 = CHCOOCH_3$

เมทิลอะคริเลต

รูปที่ 2.3 แสดงอนุพันธ์ของอะคริลิกชนิดต่างๆ

สมบัติของอะคริลิกเรซินได้แก่ ความคงทนต่อแสงอัลตราไวโอเลตและต่อการเกิดไฮโดรลิซิส มีความทนทานต่อเคมีภัณฑ์ที่กัดกร่อน ฟิล์มอะคริลิกมีความเงามันสูง เข้ากับผงสีได้ดี นอกจากนี้อะคริลิกเรซินจะยึดผิวหน้าได้ดีอีกด้วย

6) อะมิโนเรซิน (amino resins) จะประกอบด้วย ยูเรียเรซินและเมลามีนเรซิน ในส่วนของยูเรียเรซินจะเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างยูเรียและแอลดีไฮด์ ซึ่งส่วนมากใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ โดยที่การบ่มของยูเรียเรซินจะเกิดระหว่างสายโซ่โดยการที่โมเลกุลของน้ำ หรือโมเลกุลของน้ำกับฟอร์มัลดีไฮด์หลุดออกไปจากพอลิเมอร์เชิงเส้น ในส่วนของเมลามีนเรซินสามารถเตรียมได้โดยการให้เมลามีนทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมลามีนเรซินแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงปฏิกิริยาการเกิดเมลามีนเรซิน

สมบัติของยูเรียจะค่อนข้างเปราะและยึดผิวหน้าไม่ดี โดยมากจึงมักดัดแปรด้วยอัลคิดเรซินหรือใช้ร่วมกับไนโตรเซลลูโลส ส่วนสมบัติของเมลามีนเรซินจะดีกว่าของยูเรียเรซิน ฟิล์มที่ได้มีความทนทานต่อการขูดขีดกว่า ทนน้ำ ทนด่างและตัวทำละลายต่างๆ ได้ดีกว่าและทนความร้อนระยะนานได้ดี

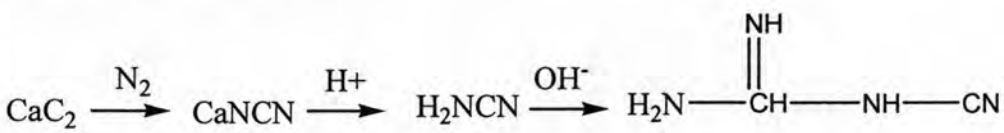
2.2 ความรู้เกี่ยวกับเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (3)

เมลามีน หรือ 1,3,5 triamino – 2,4,6-triazine เตรียมโดยไลบิก (Liebig) แต่ก็เป็นเพียงการเตรียมในห้องปฏิบัติการ จนกระทั่ง ในปี 1935 เฮลเกล (Henkel) จึงได้นำไปผลิตในอุตสาหกรรมเรซินกับฟอร์มัลดีไฮด์ ปัจจุบันเมลามีน/ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินมีปริมาณการใช้งานสูง ใช้ทั้งในรูปแผ่น รูปหล่อ และของเหลวทำเป็นกาว วัสดุเคลือบผิวและอื่นๆ สมบัติคล้ายๆ ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน แต่ราคาแพงกว่า

2.2.1 การเตรียมเมลามีน

โมโนเมอร์ชนิดนี้เตรียมในเชิงพาณิชย์ได้สองวิธีดังนี้

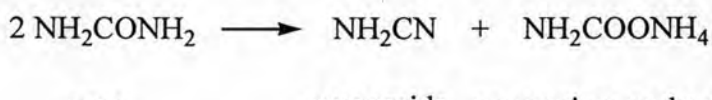
1) วิธีที่ผ่านไดไซแอนไดอะไมด์ (dicyandiamide) โดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) เป็นสารตั้งต้นดังแสดงในรูปที่ 2.5



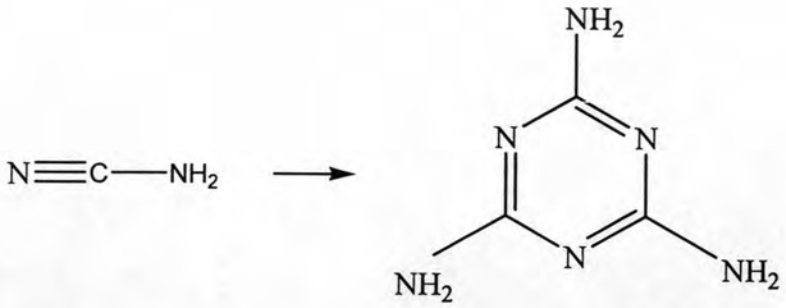
รูปที่ 2.5 แสดงการสังเคราะห์ไอไซแอนไดอะไมด์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเมลามีน

ขั้นแรกใช้อุณหภูมิสูงมาก (1000 องศาเซลเซียส) ได้แคลเซียมไซยานาไมด์แขวนลอยในน้ำ ขั้นที่สองเติมกรดซัลฟูริกเจือจางหรือคาร์บอนไดออกไซด์ได้ไซยานาไมด์ ส่วนขั้นสุดท้ายปรับ pH ให้ได้ pH 9 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และให้ความร้อนที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส ไซยานาไมด์จะเกิดไดเมอไรเซชันได้ไดไซแอนไดอะไมด์ ซึ่งสกัดออกมาได้โดยการตกผลึกของมัน จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรงได้ของผสมซึ่งมีเมลามีนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย

2) วิธีที่ผ่านยูเรีย วิธีนี้เป็นวิธีที่ใหม่กว่า กระบวนการใช้ยูเรียเป็นสารตั้งต้นโดยนำยูเรีย (มีแอมโมเนียอยู่ด้วย) มาให้ความร้อนที่ 250-350 องศาเซลเซียส และความดัน 40-200 บรรยากาศ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.6



urea cyanamide ammonium carbamate

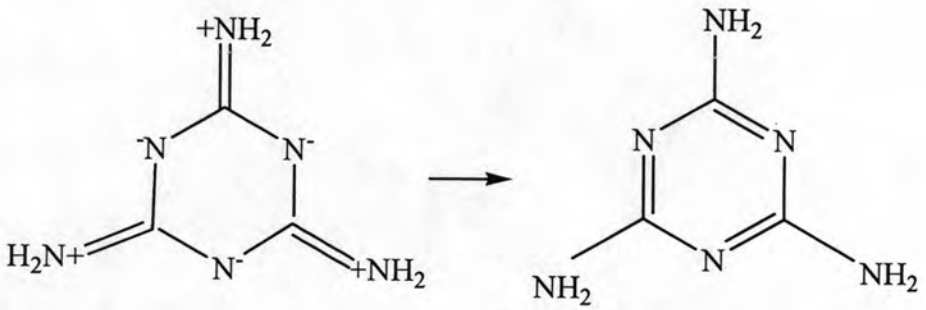


melamine

รูปที่ 2.6 แสดงการเกิดเมลามีนผ่านวิธียูเรีย

แต่ละครั้งที่เตรียมจะใช้ยูเรียไปเพียงร้อยละ 50 ดังนั้นจึงต้องมีการแยกเอาแอมโมเนียคาร์บอเนตออกแล้วเปลี่ยนกลับไปเป็นยูเรียใหม่เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นอีก วิธีนี้แม้จะยุ่งยากกว่าแต่เป็นวิธีที่ถูกกว่า จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันเพิ่มขึ้นตามลำดับ

เมลามีนเป็นผลึกไม่มีสี มีจุดหลอมตัว 354 องศาเซลเซียส วงแหวนของเมลามีนเป็นแบบอะโรเมติก มีโครงสร้างเรโซแนนซ์ได้หลายโครงสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างเรโซแนนซ์ของเมลามีน

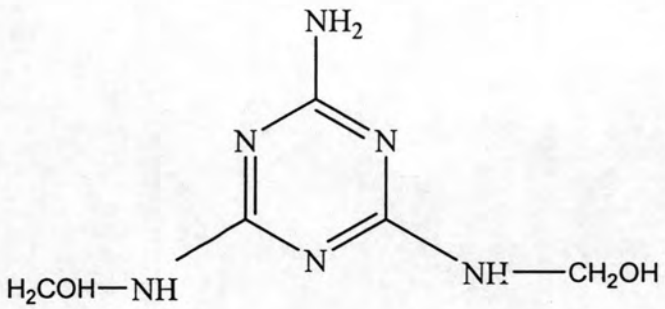
2.2.2 การเตรียมเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน

วิธีการเตรียมฟอร์มัลดีไฮด์สามารถเตรียมได้เช่นเดียวกับกรณีของยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ โพลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นเป็นสองขั้นตอน คือการเตรียมเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และการทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้พอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

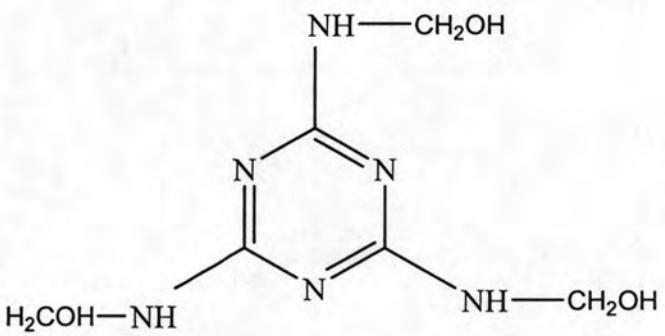
การเตรียมเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ทำฟอร์มาลีนให้เป็นเบสเล็กน้อย (pH 7.5-8.5) โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตแล้วเติมเมลามีนในอัตราส่วนเมลามีนต่อฟอร์มัลดีไฮด์ 1 โมล : 3 โมล นำของผสมที่ได้ไปให้ความร้อนที่ 80

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เมลามีนที่ทำปฏิกิริยาควบแน่นกับฟอร์มัลดีไฮด์**ได้อนุพันธ์ของเมทีลอล ที่มีหมู่เมทีลอลต่อโมเลกุลต่างกันแสดงได้ดังรูปที่** 2.8



dimethylolmelamine

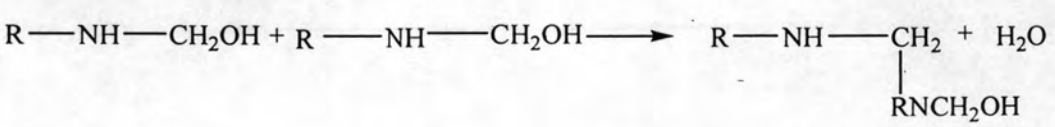


trimethylolmelamine

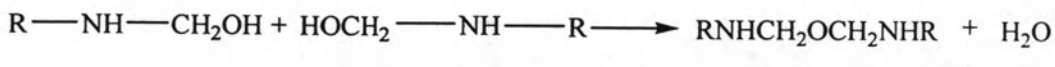
รูปที่ 2.8 แสดงหมู่เมทีลอลชนิดต่างๆที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่นของเมลามีนกับฟอร์มัลดีไฮด์

เมื่อให้ความร้อนต่อไป เมทีลอลเมลามีนเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันและกันได้เรซินในรูปของวุ้น (gel) กลไกการเกิดปฏิกิริยาในขั้นนี้ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันนัก แต่พอสันนิษฐานว่าหมู่เมทีลอลต่างๆ ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน หมู่ไอมิโนและหมู่เมทีลอลอื่นๆ แสดงดังสมการ

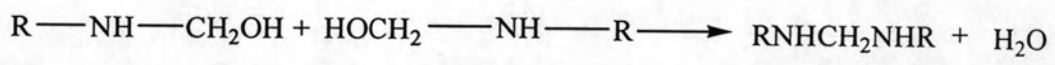
(2.1)



(2.2)



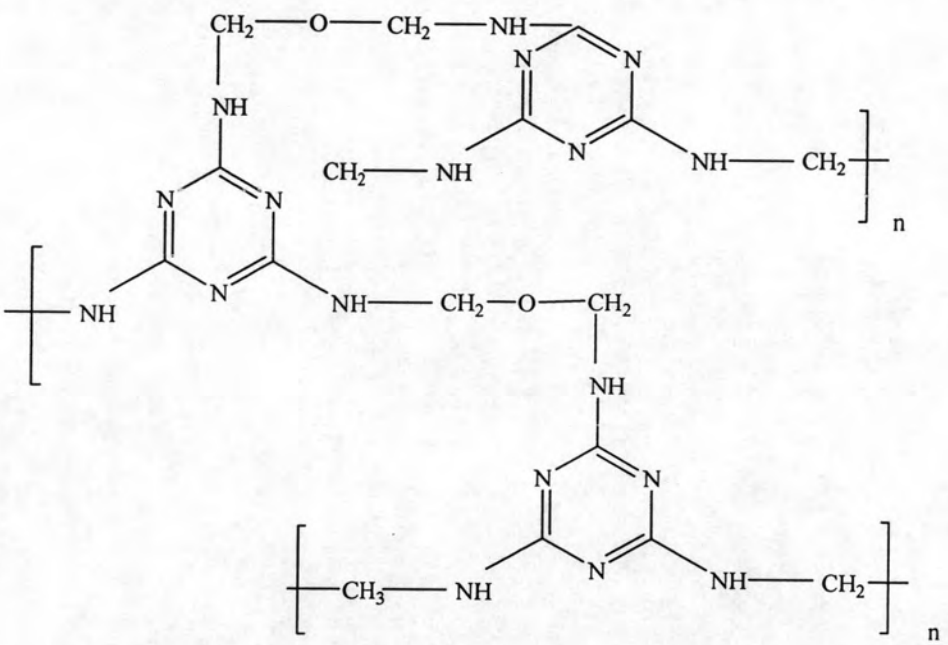
(2.3)



(2.4)

การเตรียมพอลิเมอร์เชื่อมโยงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

การเปลี่ยนเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงทั่วไปใช้ความร้อนโดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งแต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้สารที่มีสมบัติเป็นกรดเป็นตัวเร่งอัตราการเชื่อมโยงจะเกิดเร็วขึ้นได้อุณหภูมิที่ใช้ทั่วไปคือ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งระหว่างเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของเมลามีนเรซิน

2.2.3 สมบัติและการใช้ประโยชน์ของเมลามีนเรซิน

เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินมีสมบัติคล้ายคลึงกับยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินมาก แต่เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซินสามารถทนต่อความร้อนและน้ำได้มากกว่า พอลิเมอร์ที่เติมด้วยเซลลูโลสสามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึง 110 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการสลายโมเลกุล และที่เติมด้วยแร่ (mineral filled) สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส โดยไม่สูญเสียความแข็งแรงเชิงกลมากนัก พอลิเมอร์นี้ยังสามารถย้อมสีได้ง่ายด้วย

พอลิเมอร์ที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้วจะมีลักษณะแข็งมาก ไม่หลอมเหลว ไม่ละลาย การใช้งานในลักษณะหล่อสามารถให้สีได้มากมาย ที่ผิวหน้าแข็งแรงมาก ทนต่อการขีดข่วนดี ความต้านทานสารอินทรีย์ดีมาก ทนต่อกรดแก่ด่างแก่ได้ไม่ค่อยดีแต่ดีกว่ายูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ทนการเกาะของคราบน้ำชา กาแฟ ได้ดีกว่า ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ด้วยเหตุดังกล่าวจึงนิยมใช้เป็นภาชนะพวกถ้วย ชาม จาน ฯลฯ เป็นต้น

2.3 การเกิดฟิล์ม (film formation) (1)

การเปลี่ยนสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุ ไปเป็นฟิล์มที่ยึดติดแน่นกับผิว และทำให้เห็นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้น คือ กระบวนการการเกิดฟิล์ม ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1) แอพพลิเคชั่น (Application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้าหรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบางๆ ขึ้น การทำอาจใช้แปรง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่มก็ได้

2) ฟิกเซชัน (Fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้า และไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นการเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบการเกิดเป็นฟิล์มในขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยการระเหยของตัวทำละลาย หรือถ้าสารเคลือบผิวเป็นแบบระบบลาเทกซ์ (latex system) ขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยอาศัยการระเหยของน้ำ เป็นต้น

3) การบ่ม (Curing) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนฟิกเซชันแล้วมีความทนทานดีขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้แสง ความร้อนหรืออากาศ เช่น สีน้ำมันทาบ้านจะเกิดการบ่ม โดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มแห้งแข็งที่มีความทนทานเพิ่มขึ้น หรือการนำเคลือบ ที่ทำจากพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตไปอบ ก็เป็นการบ่มอีกวิธีหนึ่ง

กระบวนการการเกิดฟิล์มของสารเคลือบผิวบางชนิด ไม่จำเป็นจะต้องมี 3 ขั้นตอนเสมอไป ตัวอย่างเช่น แลกเกอร์ มีขั้นตอนฟิกเซชั้น และการบ่มรวมกัน โดยอาศัยการระเหยของตัวทำละลายระหว่างการแอพพลิเคชัน เป็นต้น

2.4 การแห้งของสารเคลือบผิว

โดยทั่วไป สารเคลือบผิวจะแห้งโดยกรรมวิธีต่างๆ กันได้ 2 แบบคือ

1) แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (Physical Drying) การแห้งด้วยวิธีการนี้เกิดจากการระเหยตัวของตัวทำละลาย กลายเป็นฟิล์มยึดติดกันกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (secondary force) อย่างอ่อนๆ ตัวอย่างของสารเคลือบผิวแห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ ได้แก่ สีที่ทำจากยางคลอริเนเตด (chlorinated rubber) เป็นต้น

2) แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical Drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีการนี้ยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (primary bond) จากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้น ฟิล์มที่ได้จะแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย

การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมีนี้ อาจเกิดโดย

(1) การแห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเคลือบผิวประเภทนี้จะดูดออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออซิเดชัน ทำให้ขนาดอณูของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้น จนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ เช่น สีน้ำมันทาบ้านที่ผลิตจาก อัลคิดเรซิน (alkyd resin) เป็นต้น การแห้งโดยวิธีการนี้ อาจเร่งให้แห้งเร็วขึ้นได้โดยการใส่สารเร่งแห้ง (dryer)

(2) การแห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี สารเคลือบผิวประเภทนี้ ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกัน ก่อนใช้จึงนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมแล้วจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ดังนั้น เมื่อผสมแล้วจึงต้องใช้ให้หมดภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิห้อง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (cold curing coatings) ตัวอย่างเช่น ยูเรียเรซิน (urea resin) โพลิยูรีเทนเรซิน (polyurethane resin) เป็นต้น แต่ถ้าการเกิดปฏิกิริยาต้องใช้อุณหภูมิสูง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (stoving or baking coatings)

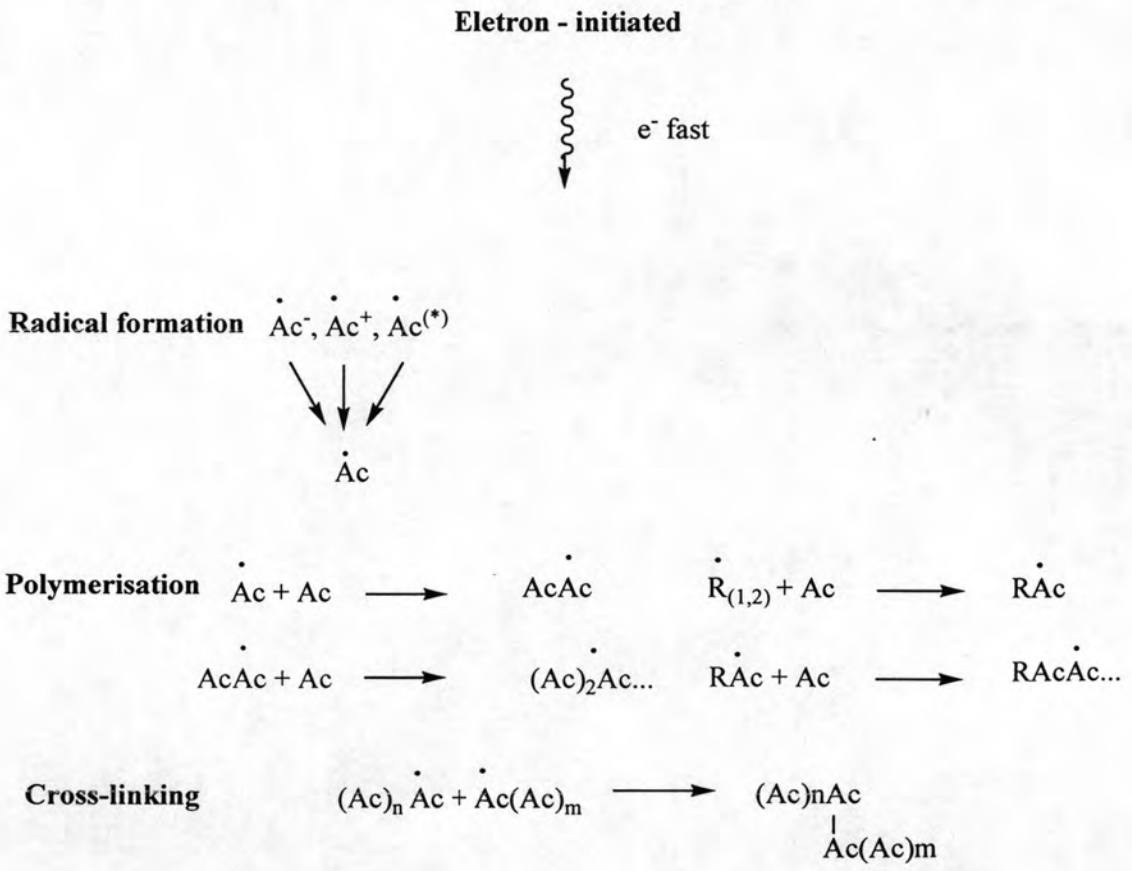
2.5 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี (4,5)

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี คือการทำให้สารเคลือบผิวที่เป็นของเหลวและมีความว่องไวเปลี่ยนสภาพไปเป็นของแข็งด้วยการฉายรังสี เพื่อทำให้สารเคลือบผิวนั้นเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและเกิดการเชื่อมขวางอย่างสมบูรณ์จนได้ฟิล์มที่แห้งแข็ง

กระบวนการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีมี 2 วิธีคือ

2.5.1. การบ่มสารเคลือบผิวด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beams curing)

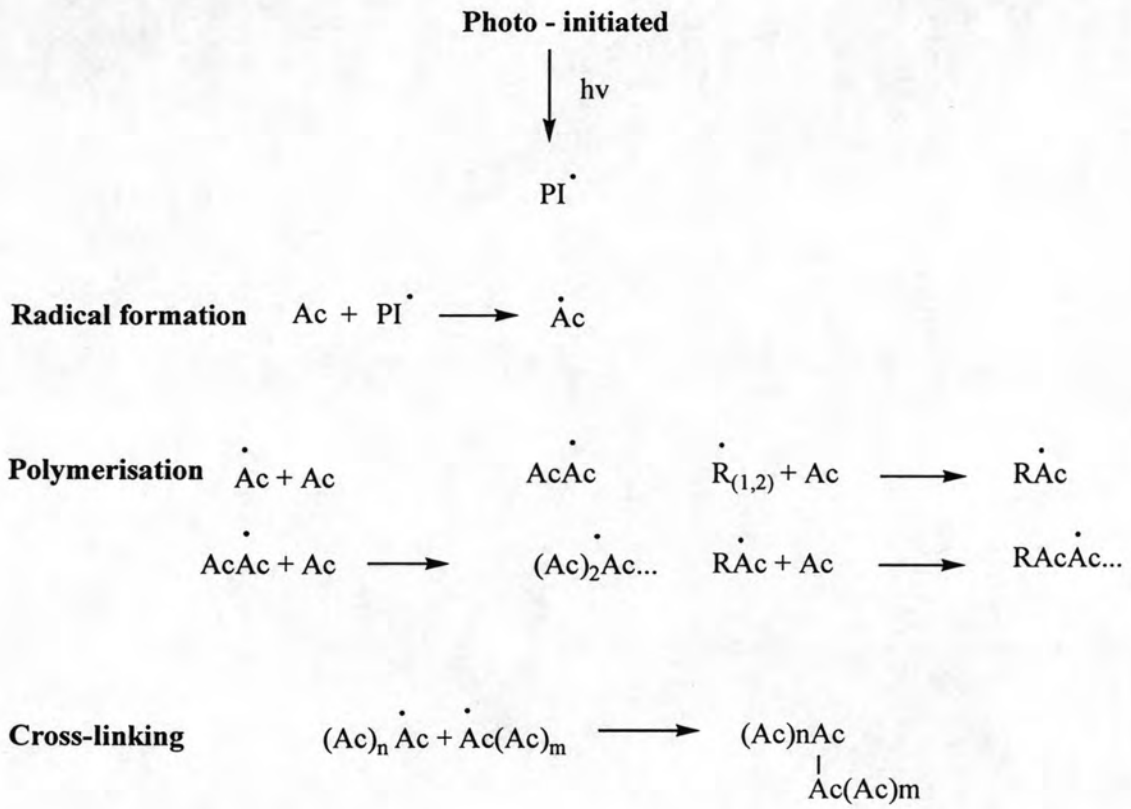
การบ่มสารเคลือบผวด้วยลำแสงอิเล็กตรอน คือ การใช้ลำแสงอิเล็กตรอนกระตุ้นให้มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นเกิดอนุมูลอิสระขึ้น จากนั้นอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจนได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเชื่อมโยงจนเป็นร่างแห ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการบ่มสารเคลือบด้วยการใช้ลำแสงอิเล็กตรอน

2.5.2. การบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet curing)

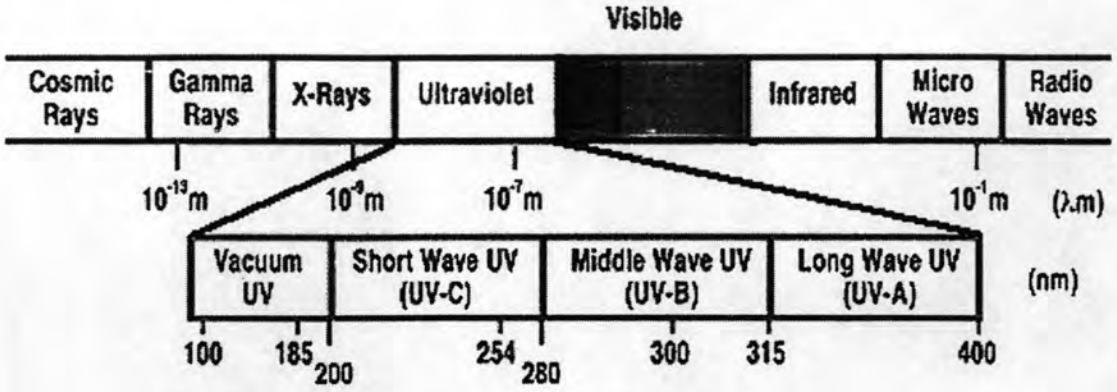
การบ่มสารเคลือบผิวด้วยแสงอัลตราไวโอเลต คือ การฉายรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อทำให้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงแตกตัวให้อนุมูลอิสระหรือประจุบวกเพื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการบ่มสารเคลือบด้วยการใช้รังสีอัลตราไวโอเลตและลำแสงอิเล็กตรอน

2.6 แสงอัลตราไวโอเลต (6,7)

แสงอัลตราไวโอเลต มีช่วงสเปกตรัมอยู่ระหว่างรังสีเอ็กซ์ (X-rays) กับแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light) ซึ่งสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเลตนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 4 สเปกตรัมด้วยกัน ซึ่งได้แก่ vacuum UV, UV C, UV B และ UV A ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเลต

แสงอัลตราไวโอเลตนี้สามารถสร้างได้จากแหล่งพลังงานต่างๆ เช่น หลอดไฟยูวี หลอดแบล็คไลท์ หลอดซันแทน หลอดฆ่าเชื้อ หลอดคาร์บอนอาร์ค การเชื่อมและติดโลหะ เตาหลอม อุปกรณ์ทดสอบ และ อุปกรณ์วิเคราะห์ในห้องทดลองหรือ ในธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์

2.7 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

องค์ประกอบของสูตรสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต โดยทั่วไปประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

1. ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator) ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตแล้วแตกตัวให้อนุมูลอิสระหรือประจุบวก ซึ่งอนุมูลอิสระหรือประจุบวกจะไปทำการเริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอรไรเซชันต่อไป

2. สารเจือจางที่ว่องไว (Reactive diluent) ใช้สำหรับปรับความหนืดของสารเคลือบผิวให้มีค่าตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังเข้าไปมีผลต่อสมบัติของสารเคลือบผิวอีกด้วย

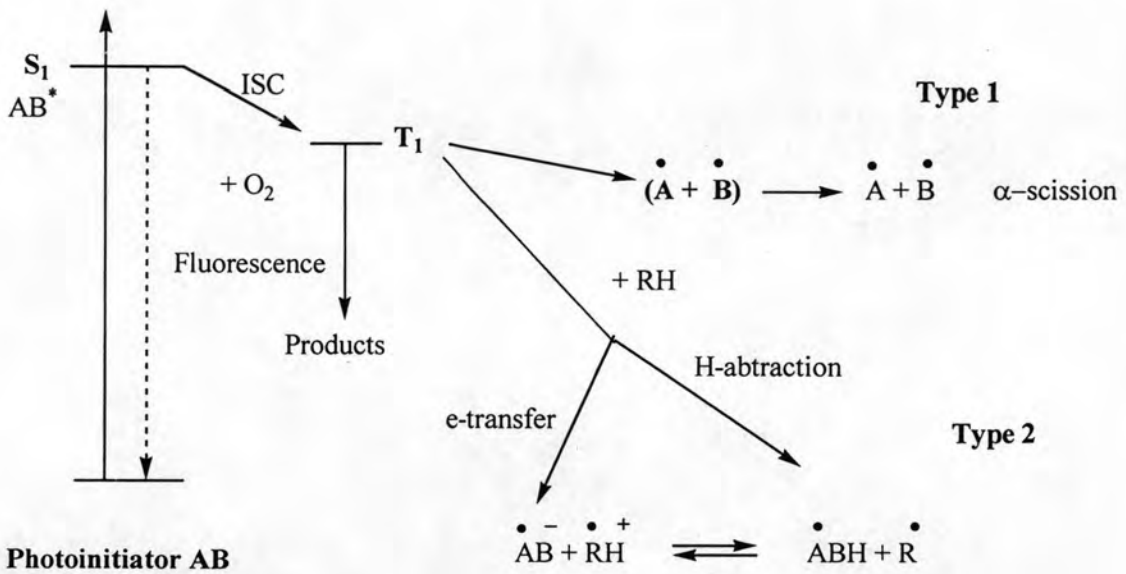
3. โอลิโกเมอร์ (Oligomer) โดยทั่วไปมักเป็นพวกโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (multifunctional monomer) ที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ สายโซ่หลักของโอลิโกเมอร์สามารถมีโครงสร้างเคมีที่หลากหลายอาจเป็น พอลิเอสเทอร์ ยูรีเทน หรือ อิพอกซี ซึ่งโครงสร้างเคมีที่ต่างกันนี้เป็นตัวกำหนดสมบัติพิเศษเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็ง ความทนต่อการขัดสี ความทนต่อสารละลาย ความยืดหยุ่น เป็นต้น

4. สารเติมแต่ง (Additives) เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิวให้เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน

2.8 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator)

2.8.1.ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลอิสระ (free radical photoinitiators)

โอลิโกเมอร์ที่ใช้ในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลอิสระได้แก่ อะคริเลต เมทาคริเลต และเมทาคริเลต/ ไวนิลอีเทอร์ เมื่อโมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลอิสระ (AB) ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต โมเลกุลจะถูกกระตุ้นไปยัง singlet state (s_1) จากนั้นจะเกิด intersystem crossing (ISC) แล้วโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นนั้นจะตกมาอยู่ชั้น triplet state เพื่อให้มีเสถียรมากขึ้น ในระหว่างการเปลี่ยนชั้นนี้สามารถเกิดการปล่อยฟลูออเรสเซน (Fluorescence) หรือเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน ทำให้สูญเสียอนุมูลอิสระได้ จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ชั้น triplet state นี้สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้ 2 วิธี คือ - Norrish type I หรือ α - cleavageและ Norrish type II การแตกตัวให้อนุมูลอิสระของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นกับชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและชนิดของโอลิโกเมอร์



รูปที่ 2.13 แสดงการแตกตัวให้อนุมูลอิสระของตัวริเริ่มปฏิกิริยา

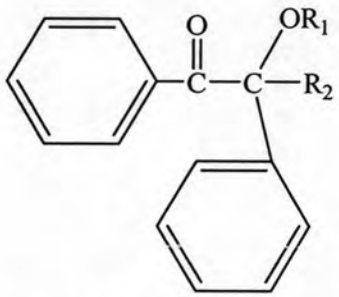
1) Norrish type I

เมื่อตัวริเริ่มปฏิกิริยาได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตก็จะดูดกลืนพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตนั้น แล้วโมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาก็จะถูกกระตุ้นไปที่ชั้น singlet state (s_1) และตกมาอยู่ชั้น triplet state (T_1) เพื่อให้โมเลกุลมีความเสถียรมากขึ้น จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะเกิดการแตกออกของพันธะที่ตำแหน่ง C=O เพื่อเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไว 2 โมเลกุล เรียกการแตกออกของพันธะด้วยวิธีนี้ว่า homolytic decomposition

ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 2.14

Type 1 Photoinitiator

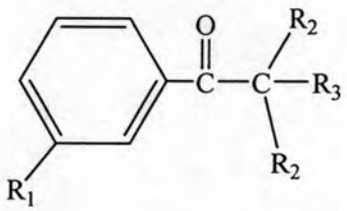
Benzoin ethers



R_1 = H, alkyl

R_2 = H, substituted alkyl

Acetophenones

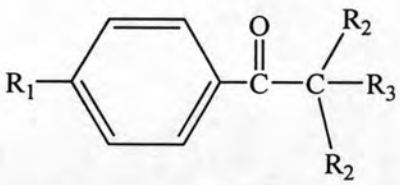


R_1 = H, i-C_3H_7, $HOCH_2CH_2O$

R_2 = CH_3, OCH_3, OC_2H_5

R_3 =H, Ph, OH

Amino alkylphenones

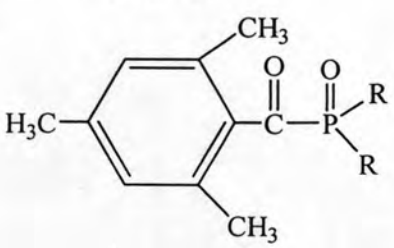


R_1 = H3CS,

R_2 = CH_3, CH_2Ph, C_2H_5

R_3 = , $N(CH_3)_2$

Acylphosphines



R = C_6H_5, OCH_3

รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระแบบ Norrish type I

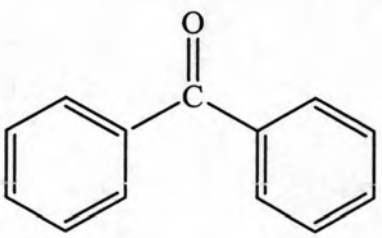
2) Norrish type 2

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตแล้วถูกกระตุ้นไปที่ชั้น singlet state (s_1) และตกกลับมาอยู่ชั้น triplet state (T_1) จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ชั้นนี้ ต้องการสารประกอบที่เรียกว่า synergist เข้ามาทำปฏิกิริยาด้วยเพื่อทำให้โมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยานั้นสามารถเกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ด้วยการเกิด H-abstraction หรือ e-transfer

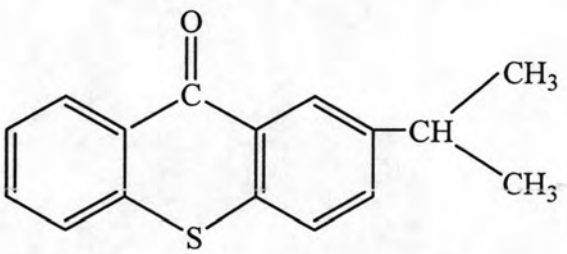
ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวแล้วให้อนุมูลอิสระด้วยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 2.15

Type 2 Photoinotiators

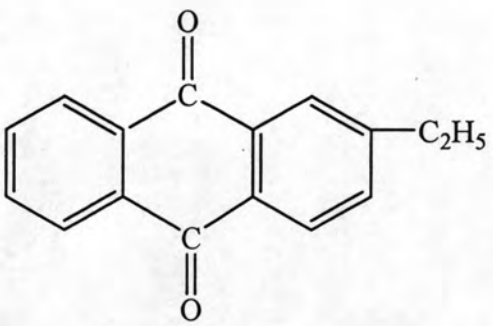
Benzophenone



Thioxanthones



Anthrachinones



รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่เกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระแบบ Norrish type II

2.8.2 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (cationic photoinitiators)

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดนี้จะรับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตแล้วแตกตัวให้ Brönsed acid หรือ Lewis acid เพื่อเกิดปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (initiation) กับมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นแล้วเกิดคาร์โบแคทไอออน ($H - M^+$) ที่มีความว่องไว จากนั้นคาร์โบแคทไอออนนี้จะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ในขั้นขยายตัว (propagation) แล้วสิ้นสุดปฏิกิริยา (termination) ด้วยการเกิด chain transfer ดังแสดงกลไกในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

Initiation

$$H^+X^- + M \longrightarrow H{-}M^+ + X^- \quad (2.5)$$

Propagation

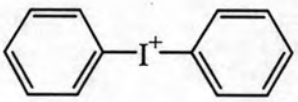
$$H{-}M^+ + nM \longrightarrow H{-}(M)nM^+ \quad (2.6)$$

Termination

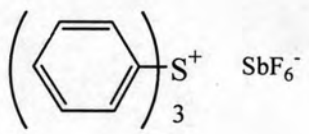
$$H{-}(M)nM^+ + A^- \longrightarrow H{-}(M)nMA \quad (2.7)$$

ตัวอย่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

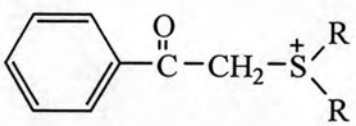
Diaryliodonium Salts



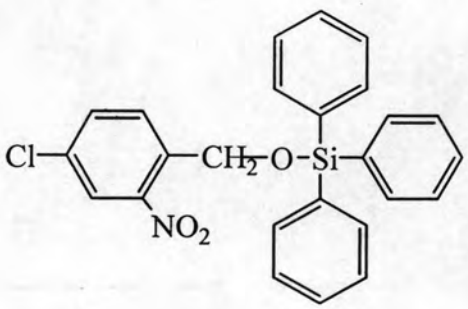
Triarylsulfonium Salts



Dialkylphenacylsulfonium Salts



Silyl Benzyl Ethers

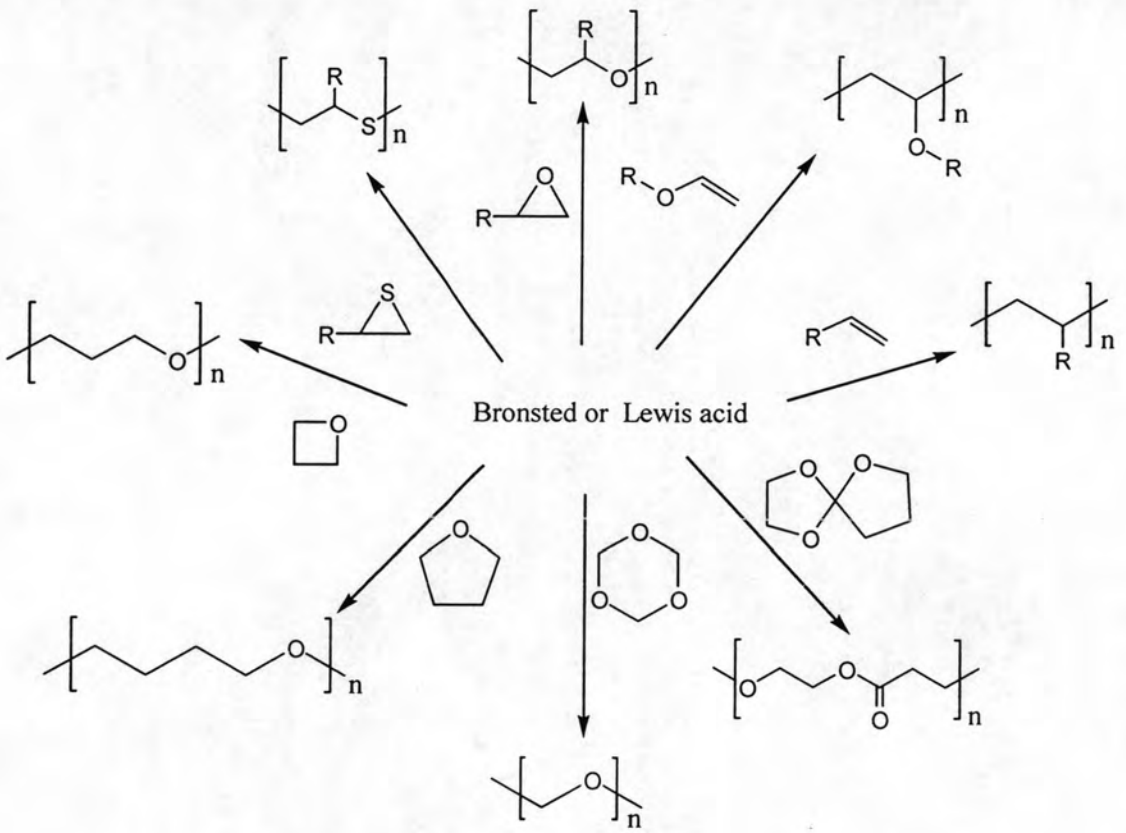


รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก

มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับสารริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวกได้แก่

1) มอนอเมอร์ที่สามารถเปิดวงได้ เช่น อิพอกไซด์ ไซคลิกอีเทอร์ แลคโทน ไซคลิก-ซัลไฟด์ อะซิทัล ไซลอกเซน

2) สารประกอบไวนิล เช่น ไวนิลอีเทอร์



รูปที่ 2.17 แสดงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบประจุบวกของมอนอเมอร์

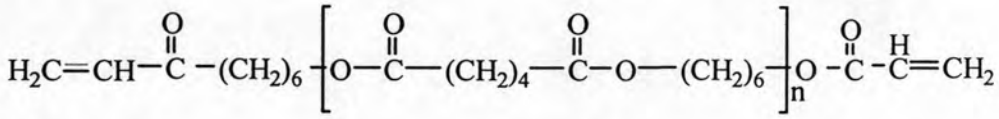
2.9 มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์

มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ที่ใช้ในสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตมักเป็นพวกที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ทำให้สามารถเกิดการเชื่อมโยงจนมีโครงสร้างเป็นร่างแหได้ ตัวอย่างของมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ที่นิยมใช้ในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตรา-ไวโอเลตได้แก่

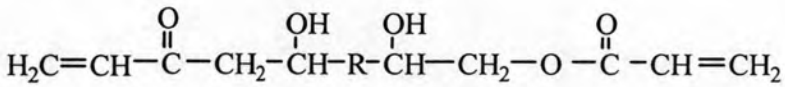
2.9.1 **โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ** (Free Radical System)

1) อะคริเลตและเมทาคริเลต

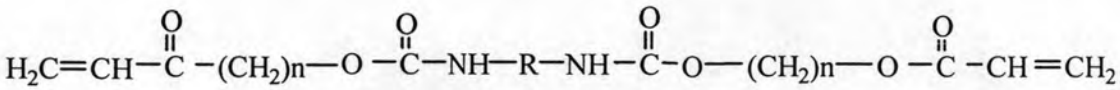
เป็นมอนอเมอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตมากที่สุด เนื่องจากสามารถสังเคราะห์โอลิโกเมอร์จำพวกอะคริเลตนี้ได้จากมอนอเมอร์หลายชนิด เช่น พอลิเอสเทอร์อะคริเลต อิพอกซีอะคริเลต ยูรีเทนอะคริเลต เป็นต้น ดังแสดงสูตรโครงสร้างได้ดังรูปที่ 2.18



Polyester arylates



Epoxy arylates



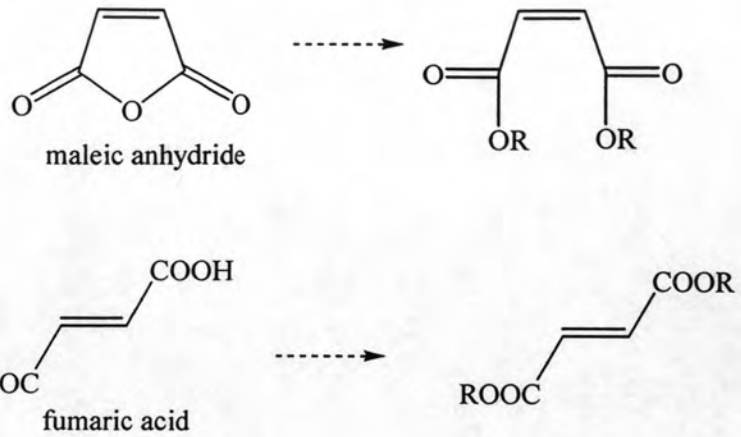
Polyurethane acrylates

รูปที่ 2.18 แสดงสูตรโครงสร้างของสารเคลือบผิวในจำพวกอะคริเลต

มอนอเมอร์ในกลุ่มนี้มีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบอนุมูลอิสระ (free radical polymerization) โดยอะคริเลตมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันมากกว่ามาลิเอต เนื่องจากมาลิเอตมีโครงสร้างที่มีความเกะกะ (sterically hindered) มากกว่าจึงทำให้ปฏิกิริยาในขั้นขยายตัว (propagation polymerisation) เกิดขึ้นได้ช้า

2) สไตรีน / พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว

สไตรีนสามารถใช้เป็นสารเจือจางที่ว่องไว (reactive diluent) สำหรับพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวซึ่งเตรียมได้จากมาลิอิกแอนไฮดรายและกรดฟูมาริกดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวซึ่งเตรียมได้จากมาลิอิกแอนไฮดรายและกรดฟูมาริก

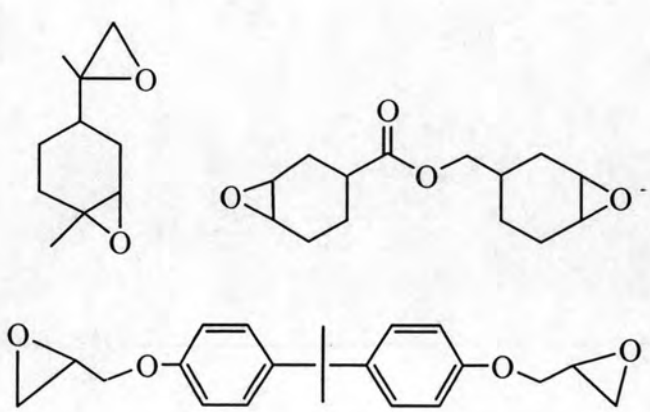
พอลิเมอร์ที่ได้จะเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิสไตรีนพอลิเอสเทอร์และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมไม้

2.9.2 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวก (Cationic System)

1) อิพอกไซด์

สารประกอบอิพอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้โดยการเปิดวง เนื่องจากในวงของสารประกอบอิพอกไซด์มีความไม่เสถียรสามารถเปิดออกได้ง่ายโดย Brönsed acid (เช่น ไฮโดรเจนฟลูออไรด์) หรือ Lewis acid (เช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์ ฟอสฟอรัสเพนตะฟลูออไรด์)

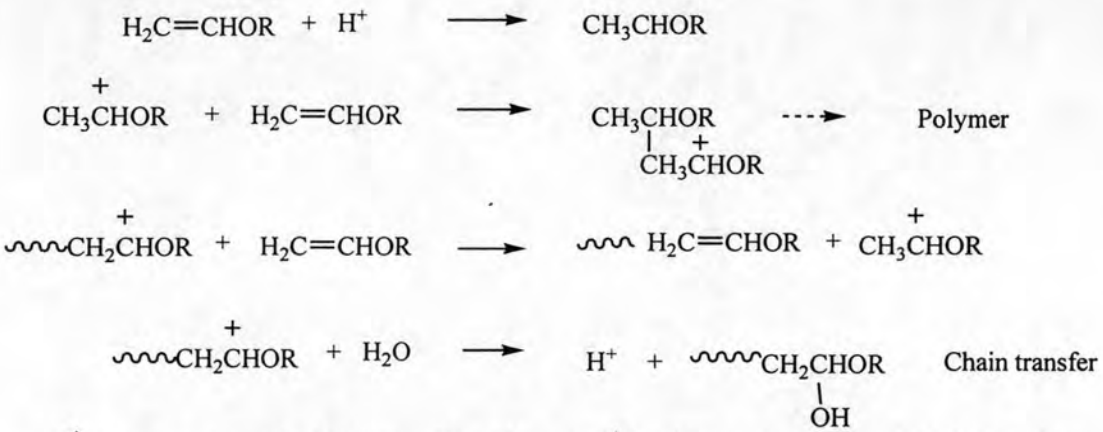
สารประกอบอิพอกไซด์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต ได้แก่ ไซโคอะลิฟลาติกอิพอกไซด์และไกลซิดิลอีเทอร์ ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างของสารประกอบอิพอกไซด์

ไวนิลอีเทอร์

ไวนิลอีเทอร์สามารถเกิดการบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวกได้เช่นเดียวกับสารประกอบอิพอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.21และการใช้ไวนิลอีเทอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ทำให้สามารถเกิดโครงสร้างที่เป็นร่างแหได้ง่าย



รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่มีกลไกแบบประจุบวกของไวนิลอีเทอร์

การเกิด chain transfer มีผลทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงและน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปแล้วไวนิลอีเทอร์สามารถเกิดการบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตโดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวกได้เร็วกว่าสารประกอบอิพอกไซด์

2.9.3 โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสม (hybrid system)

โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสมนี้เช่น โอลิโกเมอร์ของสารประกอบอิพอกไซด์ผสมกับสารเจือจางที่ว่องไวจำพวกอะคริเลต โอลิโกเมอร์ของอะคริเลตผสมกับสารเจือจางที่ว่องไวจำพวกไวนิลอีเทอร์ โอลิโกเมอร์ของไวนิลอีเทอร์ผสมกับสารเจือจางที่ว่องไวจำพวกอะคริเลต เป็นต้น

สารเคลือบผิวในระบบนี้มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันต่างกัน ตัวอย่างของโอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสมนี้ได้แก่ โอลิโกเมอร์ของสารประกอบอิพอกไซด์ผสมกับสารเจือจางที่ว่องไวจำพวกอะคริเลต โดยอะคริเลตมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ ส่วนอิพอกไซด์มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวก ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดผสมนี้ จึงทำให้โอลิโกเมอร์ทั้ง 2 ชนิดสามารถบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตได้

2.10 สารเจือจางที่ว่องไว (reactive diluents) (1)

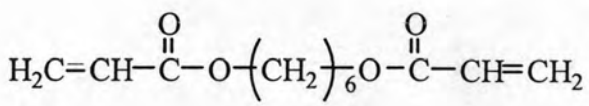
หน้าที่ของสารเจือจางที่ว่องไวในสูตรสารเคลือบที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตมีหลายประการเช่น

1. ช่วยลดความหนืดของโอลิโกเมอร์
2. ช่วยเพิ่มอัตราการแห้งตัวของสารเคลือบผิว
3. ช่วยลดเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบผิว
4. เป็นตัวกำหนดสมบัติของสารเคลือบผิวที่ได้

ตัวอย่างของสารเจือจางที่ว่องไว

1) 1,6 เฮกเซนไดออลไดอะคริเลต (HDDA)

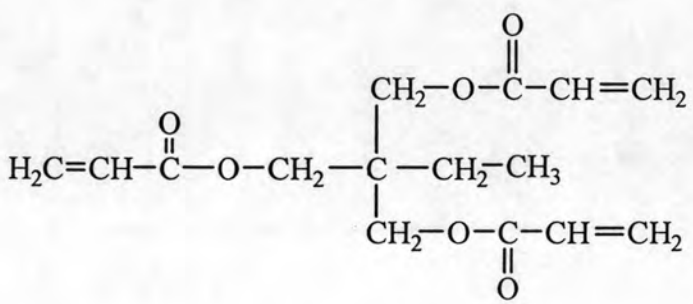
สมบัติของสารเจือจางนี้ได้แก่ ความหนืดต่ำ ทำให้เกิดการบ่มได้เร็วขึ้นเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ สามารถเข้ากับได้กับโอลิโกเมอร์หลายชนิด เช่น พอลิเอสเทอร์ อิพอกซี ยูรีเทน อะคริเลต เป็นต้น และสารเคลือบผิวมีความยืดหยุ่นและการยึดติดที่ดี



รูปที่ 2.22 แสดงโครงสร้างของ 1,6 เฮกเซนไดออลไดอะคริเลต

2) ไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต (TMPTA)

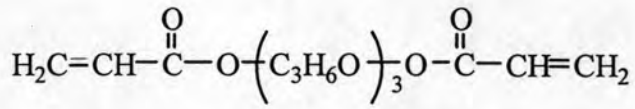
สมบัติของสารเจือจางนี้ได้แก่ ความหนืดต่ำ ทำให้เกิดการบ่มได้เร็วขึ้นเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชัน 3 หมู่ ทำให้สารเคลือบผิวมีความยืดหยุ่น มีความทนทานต่อสารเคมีและการขูดขีดได้ดี



รูปที่ 2.23 แสดงโครงสร้างของไตรเมทิลลอลโพรเพนไตรอะคริเลต

3). **ไตรโพรเพนไกลคอลไดอะคริเลต** (TPGDA)

สมบัติของสารเจือจางนี้ได้แก่ ความหนืดต่ำ มีความสามารถในการละลายดี ทำให้เกิดการบ่มได้เร็วขึ้นเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ มีแรงตึงผิวต่ำทำให้ช่วยให้เกิดการเปียกได้ดี ชิ้นงานที่ได้มีการหดตัวต่ำ



รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างของไตรโพรเพนไกลคอลไดอะคริเลต

2.11 สารเติมแต่ง (additive)

สารเติมแต่งที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวมีหน้าที่เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของสารเคลือบผิวให้เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน ตัวอย่างของสารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่

1) สารลดฟอง (antifoaming agent)
2) สารควบคุมความเงามัน (gloss control agent)
3) สารลดกลิ่น (odoring agent)
4) สารช่วยเพิ่มการขัดถู (abrasion resistance agent)
5) สารช่วยเปียก (wetting agent)

2.12 ข้อดีของการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

1) การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตไม่มีการใช้ตัวทำละลาย ดังนั้นจึงไม่มีการปล่อยตัวทำละลายสู่บรรยากาศ จึงทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2) พื้นที่ของเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต จะใช้น้อยกว่าตู้อบแบบลมร้อนหรือเตาอบแบบแก๊ส ทำให้ประหยัดพื้นที่ในโรงงานอุตสาหกรรม

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตใช้น้อยกว่าสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวทำละลายจึงเป็นการเพิ่มประสิทธภาพในการผลิตอีกทางหนึ่ง

4) ชิ้นงานที่ได้จากสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต สามารถวางซ้อนทับกันได้ อีกทั้งยังสามารถบรรจุลงหีบห่อได้เลย ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวที่ใช้ตัวทำละลายแล้วต้องใช้เวลาเป็นวันหรือเป็นอาทิตย์ ชิ้นงานถึงจะแห้งสนิท

2.13 ความปลอดภัยของรังสีอัลตราไวโอเลต

รังสีอัลตราไวโอเลตที่แผ่ออกมาจากหลอดรังสีอัลตราไวโอเลตมีผลทำให้ผิวแห้งไหม้หรือตาบอดได้ และเมื่อโดนรังสีอัลตราไวโอเลตในระยะเวลาหนึ่ง จะมีผลทำให้ผิวไหม้เกรียม ผิวหนังเหี่ยวย่นก่อนเวลา เกิดความผิดปกติของเม็ดสี และนอกจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่ถูกปลดปล่อยมาจากเครื่องอบแล้วจะพบว่ามีสารโอโซนเกิดขึ้นในระหว่างปฏิกิริยาด้วย ซึ่งสารโอโซนถ้าได้รับเกินปริมาณจะทำให้เกิดการแน่นหน้าอกและเพลียได้ ดังนั้นในระหว่างการใช้งานควรมีสิ่งป้องกันตัวเองจากรังสีอัลตราไวโอเลตและโอโซนด้วย เช่น การสวมเสื้อผ้าให้มิดชิด ใส่แว่นตา ตั้งเครื่องอบในพื้นที่ที่ถ่ายเทอากาศได้สะดวก

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sharmin E. และคณะ (8) ได้สังเคราะห์อะคริลิก-เมลามีนเรซิน ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านสารเคลือบโดยการทำปฏิกิริยาของเมลามีนในตัวทำละลายไดเมททิลซัลฟอกไซด์กับกรดอะคริลิก อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาประมาณ 160 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้จะใช้ในรูปของสารบ่ม (curing agent) จากนั้นจึงนำสารบ่มในอัตราส่วนต่าง ๆ กันมาทำปฏิกิริยาต่อกับอีพอกซีเรซินที่อุณหภูมิประมาณ 125-135 องศาเซลเซียส โดยมีการเติมเตตระบิวทิวแอมโมเนียไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากงานวิจัยพบว่า เมื่อปริมาณของสารบ่ม อะคริลิก-เมลามีนเรซินเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ เช่น ความต้านทานรอยขีดข่วนและความทนทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้น

Laing H. และคณะ (9) ได้ทำการสังเคราะห์โอลิโกเมอร์ของ เมททาคริเลท ฟีโนลิก เมลามีน (methacrylated phenolic melamine)ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานต่อเปลวไฟ (flame retardant) และสามารถบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตได้ โดยการสังเคราะห์เริ่มจาก การทำปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์และเมลามีนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมฟีนอลและกรดซัลฟูริก พร้อมทั้งเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจนถึง 95 องศาเซลเซียส จะได้ฟีนอลเมลามีน นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาต่อกับกลีซีดิวเมททาอะครีเลต (glycidyl methacrylate) ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือ เมททาคริเลท ฟีโนลิก เมลามีน (methacrylated phenolic melamine) นำไปใช้ในงานเคลือบที่ต้านทานต่อเปลวไฟ เช่น ของเล่นเด็ก

Yoshida K. และคณะ (10) ได้สังเคราะห์สารเคลือบเมลามีนที่มีหมู่เมโสจีนิค (mesogenic) อยู่ในโครงสร้าง โดยการทำปฏิกิริยาของเฮกสะเมททอกซีเมททิลเมลามีน (hexakis methoxymethyl melamine) กับลิควิด คริสตัลลีน พอลิเมอร์ (liquid crystalline polymer) โดยมีสารละลายจำพวกโทลูอีนและไฮโดเฮกซานอลเป็นตัวทำละลาย เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการ

เกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่นภายในตัวของเฮกสะเมททอกซี่เมททิลเมลามีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อนำไปทำเป็นฟิล์มเคลือบผิวแล้วจะมีทั้งความยืดหยุ่นและความแข็งของเนื้อฟิล์มสูงมาก

Mori K. และคณะ (11) ได้กล่าวถึงสารเคลือบใส (clear coat) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์หลายชนิดและสารเคลือบใสที่นิยม คือ สารเคลือบอะคริลิก-เมลามีน แต่ปัญหาสำคัญของสารเคลือบในอุตสาหกรรมรถยนต์ คือ การกัดกร่อนของผิวสารเคลือบจากฝนกรด จากงานวิจัยนี้พบว่ากลไกในการกัดกร่อนสารเคลือบรถยนต์จะเริ่มจาก กรดซัลฟูริกในฝนกรดซึมผ่านสารเคลือบผิวและสลายสายโซ่เชื่อมโยงของเมลามีนเรซิน ได้เป็นกรดไซยานูริก ซึ่งกรดชนิดนี้สามารถที่จะละลายออกไปจากผิวสารเคลือบพร้อมกับน้ำได้จึงทำให้เกิดการกัดกร่อนของผิวสารเคลือบผิว Lamer G. และคณะ (12) ได้ศึกษาวิธีการเคลือบในอุตสาหกรรมรถยนต์ที่เพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนโดยการเคลือบผิวรถยนต์ต้องทำด้วยกัน 2 ครั้ง ในครั้งแรกใช้ความร้อน ส่วนครั้งที่สองต้องมีการผ่านการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต จึงจะทำให้สารเคลือบใสทนต่อกรดและรอยเปรอะเปื้อนมากขึ้น

ถึงแม้ว่าสารเคลือบผิวประเภทอะคริลิก-เมลามีนเรซิน จะสามารถใช้ในการเคลือบวัสดุผลิตภัณฑ์ภายนอกตัวอาคารได้ แต่ก็ยังพบว่า เมื่อระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น สารเคลือบผิวจะเสื่อมสภาพได้ Martin J. และคณะ (13) ได้ทำการศึกษาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของสารเคลือบผิวประเภทอะคริลิก-เมลามีนเรซิน พบว่า แสงอัลตราไวโอเลตและความชื้นมีผลอย่างมากต่อการเสื่อมสภาพ เมื่อสารเคลือบผิวอยู่ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ทำให้เกิดเป็นอนุพันธ์ของเอมีนหรือคาร์บอนิลขึ้น แต่ถ้าสารเคลือบอยู่ภายใต้ภาวะที่มีความชื้นสูงจะทำให้เกิดไฮโดรลิซิสขึ้น และยิ่งอยู่ภายใต้ภาวะทั้งสองที่กล่าวมาแล้วเมื่อปริมาณความชื้นมาก การสลายตัวของสารเคลือบผิวก็จะยิ่งมากตามไปด้วย