

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 พอลิเอสเทอร์ (Polyester)

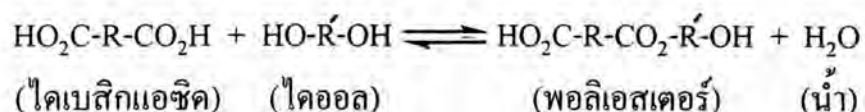
พอลิเอสเทอร์ คือ พอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ (-C-O-) อยู่ในสายโซ่โมเลกุลสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาควบนั่นระหว่างพอลิเบสิกแอซิด (polybasic acids) และพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohols) ซึ่งกรดที่ใช้ต้องมีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl groups) อย่างน้อย 2 หมู่ และแอลกอฮอล์ที่ใช้ต้องมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) อย่างน้อย 2 หมู่เช่นกัน

2.1.1 การแบ่งประเภทของพอลิเอสเทอร์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. พอลิเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัว (saturated polyester) คือ พอลิเอสเทอร์ที่มีโครงสร้างอิ่มตัว ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง เช่น เพท
2. พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester) คือ พอลิเอสเทอร์ที่มีโครงสร้างไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง สามารถเกิดการเชื่อมขวางจนได้โครงสร้างเป็นแบบร่างแห เช่น อลคิเดเรซิน พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

2.1.2 ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์

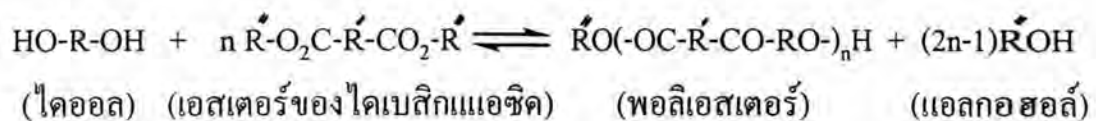
1. ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (Esterification) เป็นปฏิกิริยาควบนั่นโดยตรงระหว่างไดเบสิกแอซิด (dibasic acids) และไดออล (diol) โดยมีกรดแก่หรือเกลือของกรดแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ



ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดง่าย ใช้ได้ดี และนิยมใช้ในการเตรียมพอลิเอสเตอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งใช้ในงานที่เกี่ยวกับการผลิตพอลิยูรีเทน

2. ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอสเตอร์ (Ester interchange)

ปฏิกิริยานี้ใช้เอสเตอร์ของไดเบสิกแอซิดแทนไดเบสิกแอซิด ดังสมการ



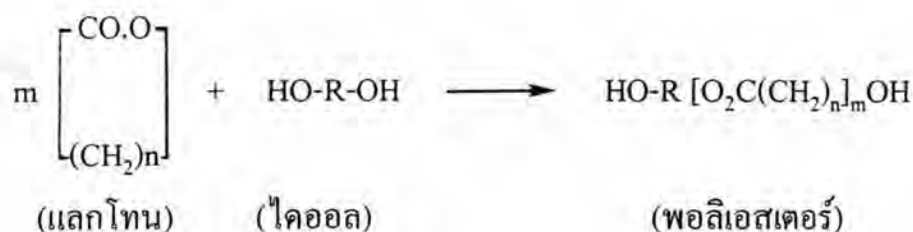
เอสเตอร์ของไดเบสิกแอซิดที่นิยมใช้ได้แก่ เมทิลเอสเตอร์ (methyl ester, R-COOCH₃) การเตรียมพอลิเอสเตอร์วิธีนี้มักใช้ในกรณีที่ไดเบสิกแอซิดละลายในไดออลได้น้อย และนิยมใช้ในการเตรียมพอลิเอสเตอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยเฉพาะเพท

3. ปฏิกิริยาระหว่างแอซิดคลอไรด์และไดออล ดังสมการ



ปฏิกิริยานี้เกิดได้เร็วแต่ว่าสิ้นเปลืองในแง่เศรษฐกิจ เพราะต้องมีการเปลี่ยนกรดให้เป็นแอซิดคลอไรด์ จึงไม่นิยมใช้วิธีนี้

4. ปฏิกิริยาเปิดวงแลกโตน ดังสมการ



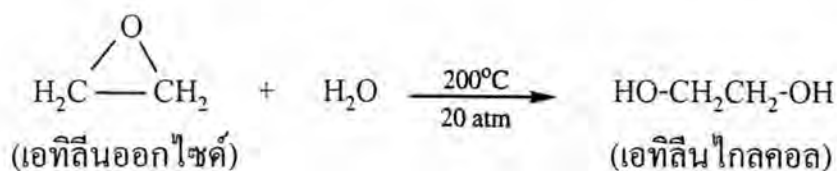
ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาการเตรียมเอสเทอร์ที่ไม่นิยมมากนัก เนื่องจากผลิตพอลิเอสเทอร์ได้น้อยชนิด

2.2 เพท [PET , Poly (ethylene terephthalate)]

เพท เป็นพอลิเมอร์ที่จัดอยู่ในประเภทพอลิเอสเทอร์ชนิดอิมัลชันแบบเส้น (linear saturated polyester) มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) การสังเคราะห์เพทครั้งแรกอยู่ในลักษณะของเส้นใยโดย Whinfield และ Dickson [1] พบว่าเพทมีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็กและมีน้ำหนักโมเลกุลพอเหมาะที่จะทำการดึง เพื่อให้ได้เส้นใยที่แข็งแรงและมีความยืดหยุ่น ต่อมาได้มีการนำเพทมาใช้ในการงานบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากมีสมบัติเด่นในด้านความใส ความแข็งแรง ความทนแรงกระแทก สามารถเก็บรักษาแก๊สได้ดี รวมทั้งมีน้ำหนักเบา จึงนิยมนำไปใช้ทำขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำดื่ม และขวดน้ำมันพืช เป็นต้น

2.2.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เพท

1. เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) เป็นของเหลวไม่มีสี มีจุดเดือด 197°C สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการเพิ่มน้ำให้กับเอทิลีนออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 200°C ความดัน 20 บรรยากาศ ดังสมการ

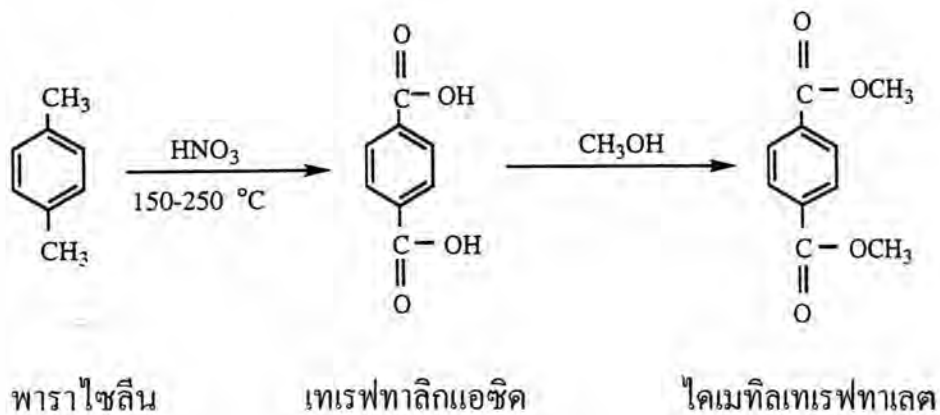


2. ไดเมทิลเทเรฟทาเลต (dimethyl terephthalate ; DMT)

ถึงแม้ว่าเพทอาจเตรียมได้จากปฏิกิริยาควบแน่นโดยตรง ระหว่างเอทิลีนไกลคอลและเทเรฟทาลิกแอซิด (terephthalic acid) แต่ในอุตสาหกรรมนิยมใช้ไดเมทิลเทเรฟทาเลตแทนเทเรฟทาลิกแอซิด เนื่องจากเทเรฟทาลิกแอซิดมีจุดหลอมตัวสูง ทำให้

บริสุทธิ์ได้ยาก และละลายในตัวทำละลายทั่วไปได้น้อย ตรงข้ามกับไดเมทิลเทเรฟทาเลต ซึ่งสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย โดยการกลั่นแบบลดความดันหรือการตกผลึกที่อุณหภูมิ ต่ำ นอกจากนี้ไดเมทิลเทเรฟทาเลตสามารถละลายได้ดีในเอทิลีนไกลคอล ทำให้ปฏิกิริยา พอลิเมอไรเซชันเกิดได้ดีในระยะเริ่มแรกของปฏิกิริยา และผลพลอยได้จากกระบวนการ ควบแน่น คือ เมทานอล (methanol) มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ จึงถูกขจัดออกไปได้ง่ายกว่า

ไดเมทิลเทเรฟทาเลต เป็นผลึกของแข็งสีขาว มีจุดหลอมตัวที่ 142°C [2] สามารถเตรียมได้จากพาราไซลีน (p-xylene) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยกรดไนตริก ที่ อุณหภูมิ $150-250^{\circ}\text{C}$ ตามด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันด้วยเมทานอล ดังสมการ

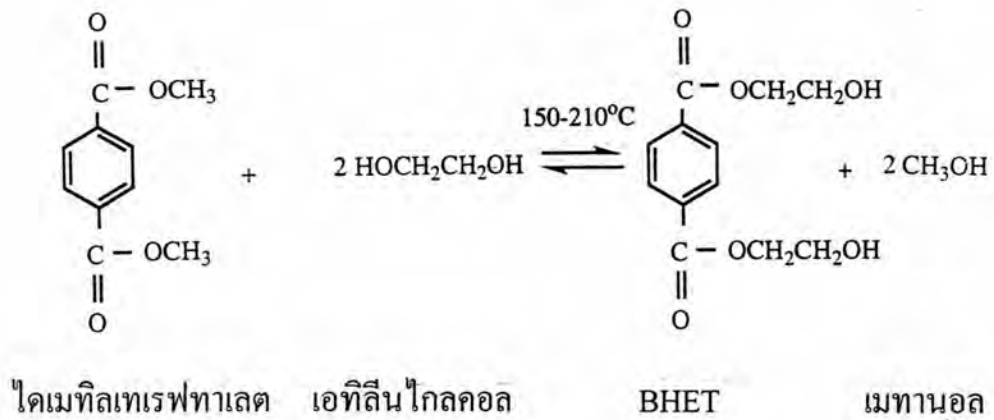


2.2.2 การสังเคราะห์เพท

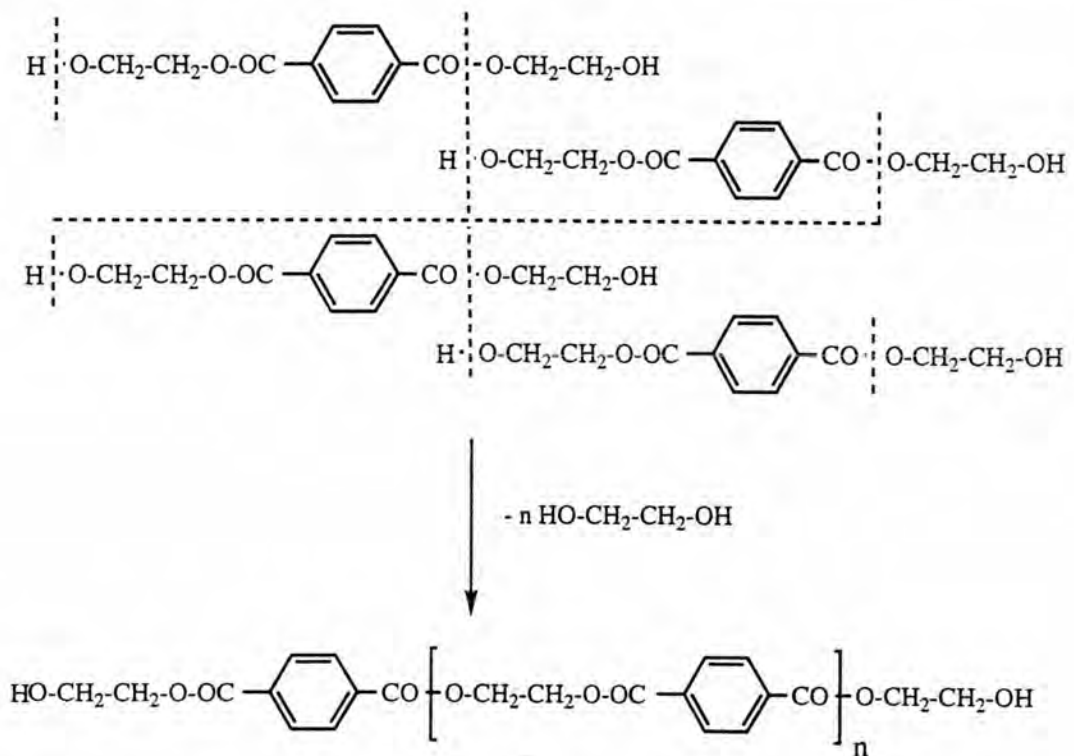
ปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนไกลคอลและไดเมทิลเทเรฟทาเลต เป็นปฏิกิริยา แลกเปลี่ยนเอสเตอร์ ซึ่งเกิดเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือ การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอสเตอร์ โดยเริ่มจากการผสม ไดเมทิลเทเรฟทาเลตกับเอทิลีนไกลคอล ในอัตราส่วนจำนวนโมล 1 : 2.1-2.2 ให้ความ ร้อนกับของผสมดังกล่าวที่อุณหภูมิ $150-210^{\circ}\text{C}$ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ผล พลอยได้จากปฏิกิริยา คือ เมทานอลจะถูกกลั่นออกไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สมดุลของ ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอสเตอร์เลื่อนไปทางขวามือ ผลึกภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ได้จากปฏิกิริยา คือ BHET [bis (2-hydroxyethyl) terephthalate] นอกจากนี้ยังอาจเกิดไดเมอร์ (dimers)

ไตรเมอร์ (trimers) และอื่น ๆ รวมเรียกว่า โอลิโกเมอร์ (oligomers) ขั้นตอนนี้แสดงได้ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 2 คือ การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยการให้ความร้อนกับของผสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ณ อุณหภูมิ 270-285 °C เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังสมการ



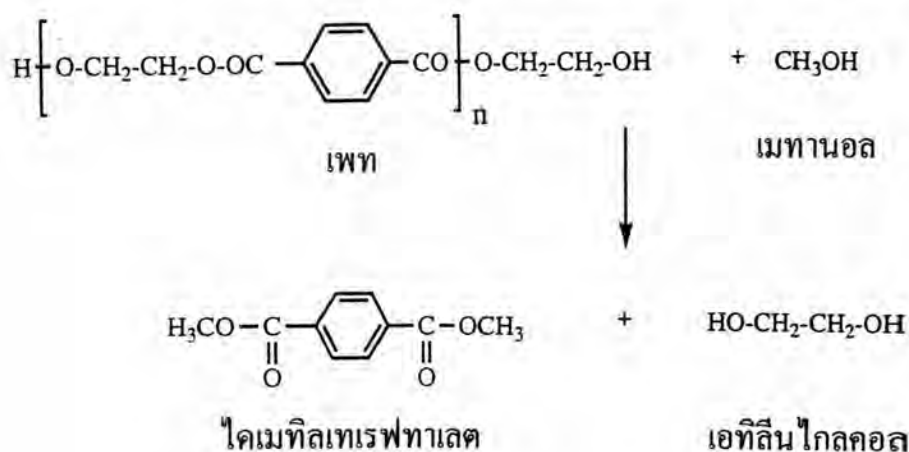
ปฏิกิริยาข้างต้นเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ จึงต้องมีการกำจัดเอทิลีนไกลคอลส่วนเกินออกจากปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดปฏิกิริยา

2.2.3 การย่อยสลายเพท

เพทสามารถถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางเคมีหลายวิธี [3] คือ

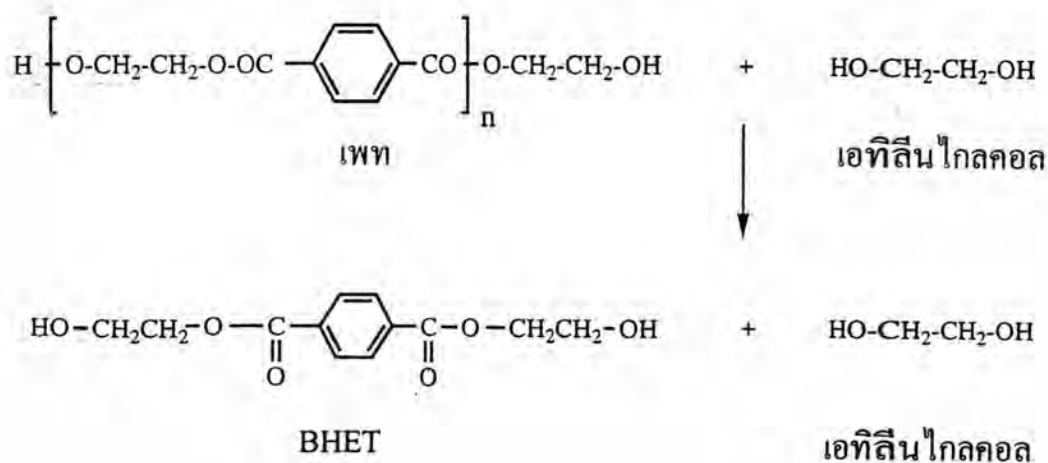
1. เมทาโนลิซิส (Methanolysis)

เป็นการย่อยสลายเพทด้วยเมทานอล ภายใต้ภาวะอุณหภูมิและความดันสูง ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือ ไคเมทิลเทเรฟทาเลต และเอทิลีนไกลคอล ดังสมการ



2. ไกลโคลิซิส (Glycolysis)

เป็นการย่อยสลายเพทด้วยไกลคอลซึ่งไกลคอลที่นิยมใช้คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเพทด้วยเอทิลีนไกลคอลคือ BHET ดังสมการ



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายพอลิเอทิลีนด้วยไกลคอล หรือเรียกว่า พอลิเอทิลีน สามารถนำไปทำปฏิกิริยาต่อกับแอนไฮไดรด์หรือโคเบสิกแอซิดที่ไม่อิ่มตัว เพื่อสังเคราะห์ พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว [4] หรือนำไปทำปฏิกิริยาต่อกับไอโซไซยานาต เพื่อสังเคราะห์พอลิยูรีเทนได้ [5]

3. ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis)

การย่อยสลายพอลิเอทิลีนด้วยกระบวนการไฮโดรลิซิส แบ่งเป็น 3 แบบ คือ การไฮโดรลิซิสด้วยกรด (acid hydrolysis) การไฮโดรลิซิสด้วยด่าง (alkaline hydrolysis) และการไฮโดรลิซิสด้วยน้ำหรือไอน้ำ (neutral hydrolysis) [วิธีนี้กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจาก มีความเกี่ยวข้องเนื่องกับการพัฒนาการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนโดยตรงจากเทรฟทาลิกแอซิดและเอทิลีนไกลคอล] ซึ่งทั้ง 3 แบบจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกันคือ เทรฟทาลิกแอซิด และเอทิลีนไกลคอล

4. อะมิโนลิซิส (Aminolysis)

วิธีนี้พอลิเอทิลีนจะถูกย่อยสลายด้วยสารละลาย primary amine เช่น เอทิลเอมีน เอทานอลเอมีน แต่ที่นิยมใช้กันมาก คือ เมทิลเอมีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอทิลีนไกลคอล และไดเอไมด์ของเทรฟทาลิกแอซิด

5. แอมโมโนลิซิส (Ammonolysis)

เป็นกระบวนการที่ใช้แอนไฮไดรด์แอมโมเนีย (anhydrous ammonia) ในเอทิลีนไกลคอล ในการย่อยสลายพอลิเอทิลีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารประกอบไดเอไมด์ของเทรฟทาลิกแอซิด

6. วิธีอื่น ๆ

นอกเหนือจากวิธีที่กล่าวมาแล้ว การย่อยสลายพอลิเอทิลีนด้วยกระบวนการทางเคมี ได้พัฒนาขึ้นไปอีกในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเพื่อเปลี่ยนพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นขยะพลาสติกให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายพอลิเอทิลีนด้วยเอสเทอร์ของไกลคอล หรือ

คาร์บอกซิลิกแอซิด สามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์อัลคิเดเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมสี ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายพอลิไตรเมทิลอลโพรเพน (trimethylol propane) สามารถนำมาใช้ในการผลิตสีที่มีของแข็งปริมาณสูง [6] นอกจากนี้ พลาสติกไซเซอร่า เช่น ไดออกทิลเทเรฟทาเลต (dioctyl terephthalate , DOT) สามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเตอร์ฟิเคชันของพอลิ 2-เอทิลเฮกซานอล DOT ที่ได้จากการย่อยสลายพอลิไตรเมทิลอลโพรเพน สามารถใช้เป็นพลาสติกไซเซอร่าในพีวีซี (PVC , Polyvinyl chloride) ได้เช่นเดียวกับ ไดออกทิลฟทาเลต (dioctyl phthalate , DOP) และให้ผลิตภัณฑ์พีวีซีที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

วิธีที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนี้ วิธีที่นิยมใช้และมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายพอลิ คือ โกลโคลิซิส เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถย่อยสลายพอลิโดยไม่ต้องใช้ความดันและอุณหภูมิสูง ไม่มีสารที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนในระบบ และให้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปสังเคราะห์สารชนิดอื่นได้

การย่อยสลายพอลิด้วยกระบวนการโกลโคลิซิส อาศัยหลักจากปฏิกิริยา



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ ดังนั้นถ้าเติมเอทิลีนไกลคอลให้มากเกินไป ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางซ้ายมากขึ้น ได้ BHET เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาย้อนกลับ

Baliga และ Wong [7] ได้ศึกษาถึงการใช้อะซิเตตของโลหะ 4 ชนิด เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายพอลิเอทิลีนไกลคอล พบว่า ซิงก์อะซิเตต (zinc acetate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากให้ BHET ออกมามากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าผลที่ได้ที่ใส่ผสมอยู่ในขวดพอลิไม่มีผลต่อปฏิกิริยาย่อยสลาย

Vaidya และ Nadkarni [4] ได้ศึกษาถึงการย่อยสลายเพทโดยกระบวนการไกลโคลิซิสด้วยโพพริลีนไกลคอลที่มากเกินพอ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเพทต่อโพพริลีนไกลคอล เท่ากับ 37.5 : 62.5 , 50 : 50 และ 62.5 : 37.5 โดยใช้ซิงก์อะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ได้จากการย่อยสลายประกอบด้วย BHET ไคเมอร์ และไตรเมอร์ ซึ่งประสิทธิภาพในการย่อยสลายจะมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของโพพริลีนไกลคอลที่ใช้

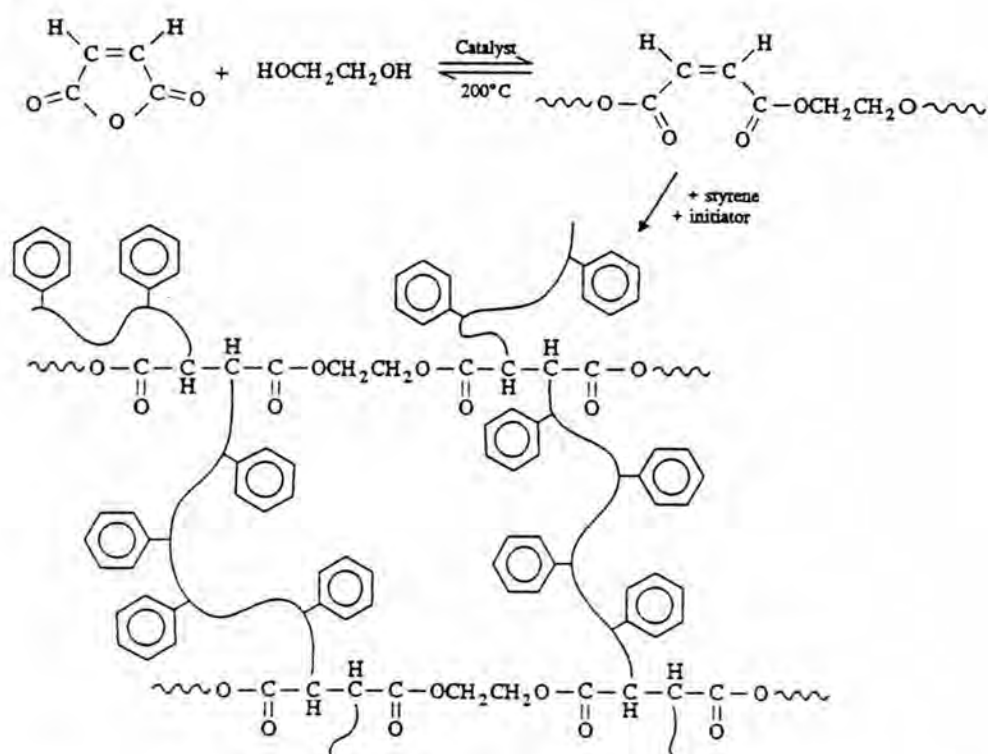
Fujita , Sato และ Murakami [8] ได้นำเศษเพท ทั้งที่เป็นเส้นใย พลาสติก และฟิล์ม มาย่อยสลายด้วยเอทิลีนไกลคอล และพบว่า ถ้าใส่เศษเพทเข้าไปพร้อมกันทั้ง 3 ชนิด จะต้องใช้เวลาในการย่อยสลายและปริมาณของเอทิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายจะมีจุดอ่อนตัว (softening point) ลดลง

2.3 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin , UPR)

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว เป็นของผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว กับมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดพอลิเมอร์เชชันได้ โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเรซินเหลวใสสีเหลืองอ่อน และมี degree of polymerization ต่ำ ประมาณ 8-10 (น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2000)

พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาควบนั่นระหว่างไกลคอลกับกรดผสมระหว่างกรดอิ่มตัวและกรดไม่อิ่มตัว โดยมีน้ำเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา และเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง พอลิเอสเทอร์ที่มีความหนืดสูงจะถูกนำไปละลายในมอนอเมอร์ที่ไม่อิ่มตัว เพื่อให้อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว และเป็นส่วนหนึ่งในการเกิดปฏิกิริยาแข็งตัว หลังจากได้รับความร้อน หรือเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปแล้ว

พอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในมอนอเมอร์ที่ไม่อิ่มตัว พันธะที่ไม่อิ่มตัวบางส่วนของพอลิเอสเตอร์อาจทำปฏิกิริยากับพันธะที่ไม่อิ่มตัวของมอนอเมอร์ สำหรับพันธะที่เหลือจะทำปฏิกิริยากันขณะที่เรซินเกิดการแข็งตัว ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์และโครงสร้างของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว หลังจากเกิดปฏิกิริยาแข็งตัว [9]

2.3.1 องค์ประกอบ

พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ประกอบด้วย

2.3.1.1 พอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดกับ ไกลคอล ซึ่งมีหลายชนิด ดังนี้

ไกลคอล ที่สามารถใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัวมีหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.1 แต่ไกลคอลที่นิยมใช้ คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีน

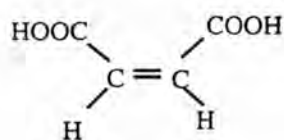
ไกลคอล ไกลคอลแต่ละชนิดจะให้พอลิเอสเทอร์ที่มีสมบัติต่างกัน เอทิลีนไกลคอลจะให้พอลิเอสเทอร์ที่ขุ่นและเกิดเป็นผลึก ส่วนโพรพิลีนไกลคอลให้พอลิเอสเทอร์ที่เกิดผลึกเล็กน้อย และสามารถละลายได้ในมอนอเมอร์

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างไกลคอลที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว [10]

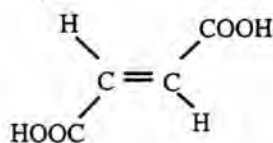
	Formula	Molecular weight
Ethylene glycol	HOCH ₂ CH ₂ OH	62
Propylene glycol	HOC ₃ H ₆ OH	76
Butylene glycol	HOC ₄ H ₈ OH	90
Diethylene glycol	HOCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	106
Dipropylene glycol	HOC ₃ H ₆ OC ₃ H ₆ OH	134
Triethylene glycol	HOCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	150
Isopropylidene bis(p-phenyleneoxypropanol-2)	(CH ₃) ₂ C(C ₆ H ₄ OCH ₂ CHOHCH ₃) ₂	344

กรด ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว นิยมเตรียมจากส่วนผสมของกรดอินทรีย์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ยกเว้นกรณีที่ต้องการให้เรซินมีระดับของการเชื่อมขวางสูงเมื่อแข็งตัว จะใช้กรดไม่อิ่มตัวเท่านั้น และหากมีส่วนผสมของกรดไม่อิ่มตัวในปริมาณต่ำ จะทำให้เรซินเกิดการเชื่อมขวางน้อย มีความยืดหยุ่นมาก มอดุลัสต่ำ ไวต่อความร้อนและสารเคมี เกิดการแข็งตัวได้ช้า

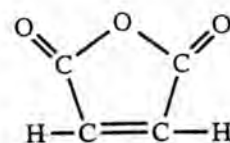
กรดไม่อิ่มตัวที่นิยมใช้คือ มาลิกแอซิดในรูปของมาลิกแอนไฮไดรด์และฟูมาริกแอซิด ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง ดังนี้



มาลิกแอซิด



ฟูมาริกแอซิด

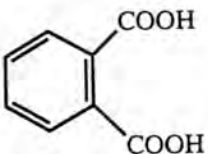
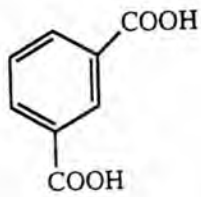
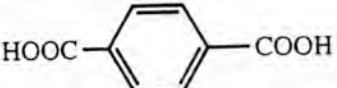
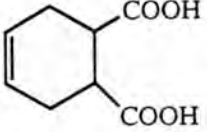
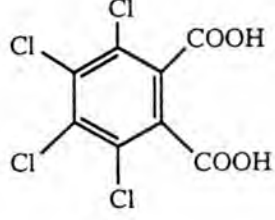


มาลิกแอนไฮไดรด์

กรดไม่อิ่มตัวนี้จะเป็นตัวควบคุมการเกิดปฏิกิริยาของเรซิน ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติด้านความแข็ง อัตราการแข็งตัวของเรซิน ความร้อนที่เกิดขณะเรซินแข็งตัว ความทนทานต่อสารเคมี และสมบัติทางกายภาพ เป็นต้น

กรดอิมตัวที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์เรซินทางการค้า คือ ฟทาลิกแอซิด ซึ่งอยู่ในรูปของฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากหาได้ง่ายกว่าในรูปของกรด สำหรับกรดอิมตัวชนิดอื่นแสดงไว้ในตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างกรดอิมตัวที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว [10]

Formula	Name
	o-Phthalic acid
	Isophthalic acid
	Terephthalic acid
	Tetrahydrophthalic acid
	Tetrachlorophthalic acid

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

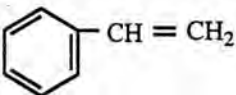
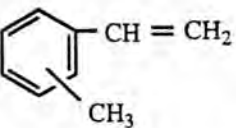
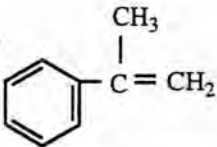
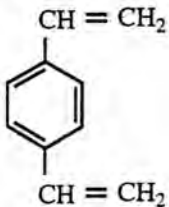
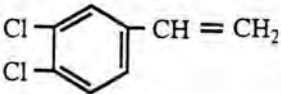
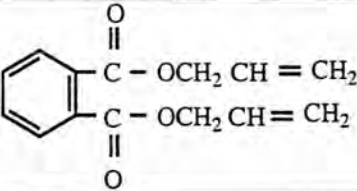
Formula	Name
$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{COOH} \end{array}$	Succinic acid
$\text{HOOC} - (\text{CH}_2)_4 - \text{COOH}$	Adipic acid

2.3.1.2 มอนอเมอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวที่มีความหนืดสูงในช่วงก่อนการแข็งตัว และเมื่อได้รับความร้อนหรือภายหลังจากเติม curing agent ลงไปแล้ว มอนอเมอร์จะทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์ เกิดโครงสร้างแบบร่างแห

มอนอเมอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือสไตรีนมอนอเมอร์ (styrene monomer) เนื่องจากมีราคาถูก มีสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี และสามารถทำปฏิกิริยากับพอลิเอสเทอร์ขณะแข็งตัวได้ดี อัตราส่วนต่าง ๆ ระหว่างสไตรีนมอนอเมอร์และหมู่ไม่อิ่มตัวในโครงสร้างของพอลิเอสเทอร์มีผลต่อสมบัติของเรซินที่ได้ เช่น ความแข็งแรง ความทนต่อสารเคมี และสมบัติทางไฟฟ้า

เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ (methyl methacrylate monomer) จะถูกใช้เมื่อต้องการปรับปรุงสมบัติด้านความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของพอลิเอสเทอร์ ทำให้มีสีคงทน แต่เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์มีสมบัติในการแข็งตัวไม่ดีพอ มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับกรดไม่อิ่มตัวในพอลิเอสเทอร์ต่ำ ทำให้แข็งตัวช้า จึงนิยมใช้มอนอเมอร์นี้ผสมกับสไตรีนมอนอเมอร์ สำหรับมอนอเมอร์ชนิดอื่น ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างมอนอเมอร์ที่ใช้ในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว [10]

Name	Formula	Molecular Weight
Methyl methacrylate	$\text{CH}_2 = \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{O} - \text{CH}_3$	100
Styrene		104
Vinyl toluene		118
α-Methyl styrene		118
Divinyl benzene		130
Dichlorostyrene		170
Diallyl phthalate		246

2.3.1.3 สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor)

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูง ความร้อน แสง หรือตัวแปรอื่น ๆ สามารถทำให้มอนอเมอร์หรือพันธะคู่ในพอลิเอสเทอร์เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลเสรี (free radicals) ส่งผลให้เกิดโครงสร้างที่เป็นเจล (gel) จึงจำเป็น

ต้องใช้สารยับยั้งปฏิกิริยา เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเรซิน ทำให้สามารถเก็บเรซินไว้ได้นานโดยไม่เกิดการแข็งตัว รวมทั้งช่วยปรับเวลาในการแข็งตัวของเรซิน

สารยับยั้งปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกควิโนน (quinone) เช่น เบนโซควิโนน (benzoquinone) ไฮโดรควิโนน (hydroquinone) เป็นต้น

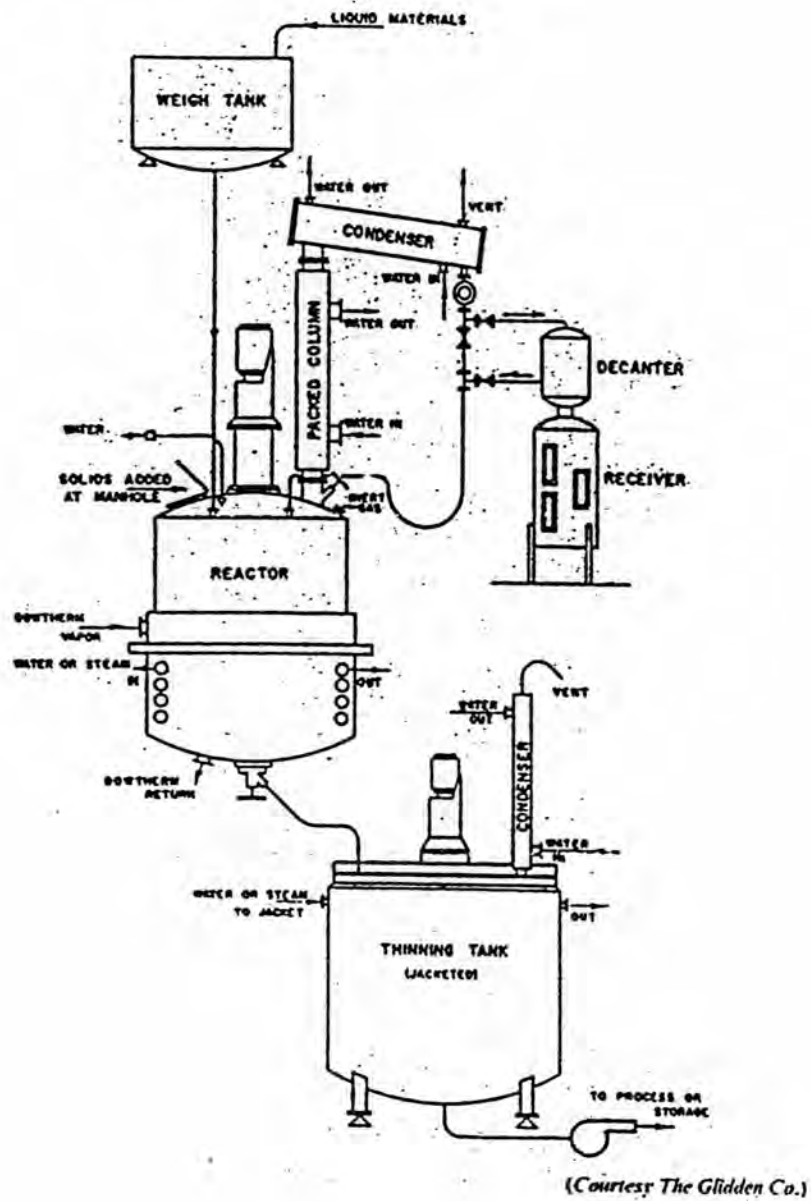
กล่าวโดยสรุป ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่

1. ชนิดและปริมาณของโคเบสิกแอซิดที่ใช้
2. ชนิดของไกลคอลที่ใช้
3. ชนิดและปริมาณของมอนอเมอร์
4. น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์เรซิน
5. สารยับยั้งปฏิกิริยาที่ใช้

2.3.2 กระบวนการผลิต

กระบวนการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวในทางการค้าเริ่มต้นโดยกรดและไกลคอลที่ใช้เป็นสารตั้งต้นถูกเติมลงในถังปฏิกรณ์ (reactor) แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-220°C พร้อมทั้งกวนสารตลอดเวลา ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สไนโตรเจน หรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อันเป็นสาเหตุให้พอลิเอสเทอร์ที่ได้มีสีเข้ม) จะเกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน และมีน้ำเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา พอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จะมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เมื่อได้พอลิเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตามต้องการแล้ว ระบบจะถูกลดอุณหภูมิให้ต่ำลง พร้อมทั้งเติมสารยับยั้งปฏิกิริยาลงไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวที่มีความหนืดสูงมากจะถูกถ่ายลงใน thinning tank ซึ่งเป็นถังที่บรรจุสไตรีนมอนอเมอร์ จากนั้นจึงเติมสารเติมแต่ง (additives) ต่าง ๆ ตามต้องการแล้วนำไปบรรจุถังเพื่อจำหน่ายต่อไป

กระบวนการผลิตพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว [10]

2.3.3 การแข็งตัว

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว สามารถแข็งตัวได้หลายวิธี คือ

1. โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อน
2. โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) หรือตัวทำให้แข็ง (hardener) และตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (accelerator) ที่อุณหภูมิห้อง
3. โดยอาศัยแสงอัลตราไวโอเล็ต
4. โดยอาศัยลำแสงอิเล็กตรอน (electron beam)

วิธีที่ง่าย สะดวก และนิยมใช้กันมาก คือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เรซินจะเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นของแข็ง โดยปกติแล้วตัวเร่งปฏิกิริยานิยมใช้สารพวกเปอร์ออกไซด์ (peroxide) เช่น เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (methyl ethyl ketone peroxide , MEKP) เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) เป็นต้น

ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (accelerator)

เป็นสารที่ช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวทำให้แข็ง ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกเกลือของโลหะ เช่น โคบอลต์ออกโทเอต (cobalt octoate) โคบอลต์แนฟทีเนต (cobalt naphthenate) หรือสารจำพวกเอมีน เช่น ไดเอทิลอะนิลีน (diethyl aniline) ไดเมทิลอะนิลีน (dimethyl aniline) เป็นต้น

ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีความจำเพาะเจาะจงในการใช้ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด เช่น โคบอลต์ออกโทเอต หรือ โคบอลต์แนฟทีเนต ใช้ร่วมกับ MEKP ในขณะที่เอมีนจะใช้ร่วมกับเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ กรณีที่ต้องการให้เรซินแข็งตัวเร็ว

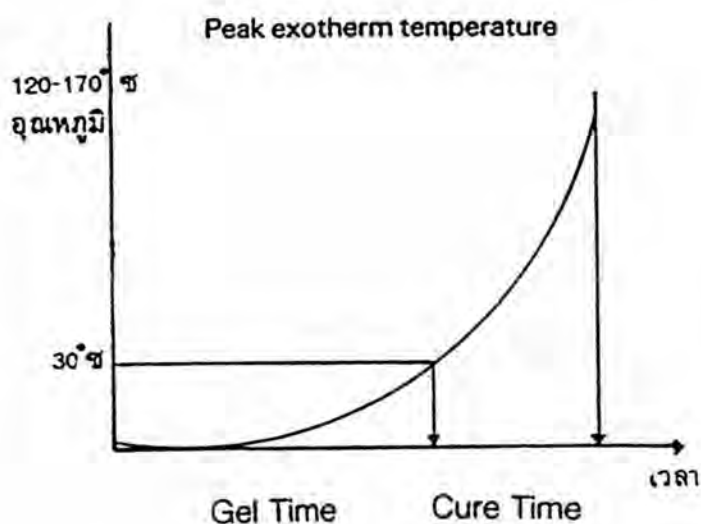
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะที่เรซินแข็งตัว คือ ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างพันธะคู่ในสไตรีนมอนอเมอร์กับพันธะคู่ในพอลิเอสเตอร์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิห้องได้ ต้องใช้ร่วมกันเสมอ

โดยทั่วไปการแข็งตัวของเรซิน แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1 เริ่มตั้งแต่เติม curing agents ลงไปจนเรซินเริ่มแข็งตัวเป็นเจล เรียกเวลาที่ใช้ในช่วงนี้ว่า gel time

ช่วงที่ 2 หลังจากที่เรซินเริ่มแข็งตัวเป็นเจล จนเรซินแข็งตัวเต็มที่ เรียกเวลาที่ใช้ในช่วงนี้ว่า cure time

ปฏิกิริยาการแข็งตัวของเรซินเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ภายหลังจากการเติม curing agents ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาขณะเรซินแข็งตัว [11]

ขณะที่เรซินแข็งตัว ความแข็งของเรซินจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิสูงสุด เรซินจะแข็งตัวถึง 95% จากนั้นเรซินจะค่อย ๆ แข็งตัวต่อไปเรื่อย ๆ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปทำ post cure (เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจากเรซินแข็งตัวไม่เต็มที่) โดยการอบที่อุณหภูมิ 100-120 °C เป็นเวลา 3-6 ชั่วโมง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแข็งตัวของเรซิน ได้แก่

1. อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูง เรซินจะแข็งตัวได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ
2. ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ถ้าใช้ในปริมาณมาก เรซินจะแข็งตัวได้เร็ว
3. ปริมาณของเรซินที่ใช้ ถ้าใช้เรซินปริมาณมากจะแข็งตัวช้า
4. น้ำหรือความชื้น ถ้าปริมาณความชื้นสูง เรซินจะแข็งตัวได้ช้า
5. ปริมาณออกซิเจน ถ้าปริมาณออกซิเจนสูง เรซินจะแข็งตัวได้ช้า เนื่องจากออกซิเจนเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยาการแข็งตัวของเรซิน

2.3.4 การควบคุมคุณภาพ

การควบคุมคุณภาพของพอลิเอสเทอร์เรซิน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การตรวจสอบสมบัติของเรซินเหลว (liquid resin) และการตรวจสอบสมบัติของเรซินแข็ง (cured resin)

การตรวจสอบสมบัติของเรซินเหลว

เป็นการตรวจสอบข้อมูลจำเพาะของเรซินเหลว ได้แก่

1. ความหนืด (viscosity) นิยมวัด 2 ระบบ คือ
 - หน่วยพอยส์ หรือเซนติพอยส์ (Poise หรือ centi Poise) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดคือบรูคฟิลด์วิสโคมิเตอร์ (Brookfield Viscometer) สเกลเป็นตัวเลข ตัวเลขต่ำ หมายถึง

ถึงความหนืดค่า ตัวเลขสูง หมายถึงความหนืดสูง ปกติพอลิเอสเตอร์ความหนืดต่ำจะมีค่าความหนืดประมาณ 2-10 พอยส์ ความหนืดสูงนับตั้งแต่ 20 พอยส์ขึ้นไป

- หน่วยการ์คเนอร์ (Gardner) สเตลที่ใช้วัดเป็นตัวยกษรภาษาอังกฤษ เรียงตามลำดับจาก A- Z₈ โดยที่ A มีค่าความหนืดต่ำสุด และ Z₈ มีค่าความหนืดสูงสุด วิธีวัดวัดเปรียบเทียบกับความหนืดมาตรฐานการ์คเนอร์

ความหนืดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงขนาดของพอลิเมอร์ ค่าความหนืดจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลงและค่าจะต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น ในการวัดความหนืดจะวัดที่อุณหภูมิมาตรฐาน คือ 25 °C

2. สี (color) นิยมวัด 2 ระบบ คือ

- หน่วยฮาเซน (Hazen) นิยมวัดกับพอลิเอสเตอร์เรซินที่มีสีอ่อน สเตลเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0-500 สเตลต่ำ หมายถึง สีอ่อน สเตลสูง หมายถึง สีเข้ม

- หน่วยการ์คเนอร์ นิยมวัดกับพอลิเอสเตอร์ที่มีสีเข้ม สเตลเป็นตัวเลขตั้งแต่ 1-18 สเตลต่ำ หมายถึง สีอ่อน สเตลสูง หมายถึง สีเข้ม

ทั้งสองหน่วยวัดโดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานในแต่ละหน่วย

3. Gel time หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่เค็มตัวเร่งปฏิกิริยาจนเรซินเริ่มแข็งตัว มีลักษณะเป็นวุ้นหรือเป็นเจล มาตรฐานในการวัด gel time ในแต่ละแห่งกำหนดเวลาไม่เหมือนกัน สเตลมีหน่วยเป็นวินาที นาที หรือ ชั่วโมง แล้วแต่จะกำหนด

gel time เป็นค่าบ่งบอกคร่าว ๆ ถึงระยะเวลาในการทำงานสำหรับเรซิน ซึ่งในการทำงานทุกครั้งจะต้องทำให้เสร็จก่อนที่เรซินจะเริ่มแข็งตัว

4. Cure time หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่เรซินเริ่มแข็งตัวเป็นเจลจนแข็งตัว cure time เป็นค่าบ่งบอกถึงช่วงการทำงาน เมื่อผ่านช่วง cure time ไปแล้ว เรซินจะแข็งตัวเต็มที่ สามารถถอดออกจากแม่แบบได้โดยชิ้นงานไม่เสียรูปทรง

การตรวจสอบสมบัติของเรซินแข็ง

เป็นการวัดสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมี และสมบัติทางไฟฟ้า ที่นิยมวัดได้แก่

1. ความทนแรงดึง (tensile strength)
2. ความทนแรงคด (flexural strength)
3. ความแข็ง (hardness)
4. อุณหภูมิที่เสียรูป (heat distortion temperature)
5. การดูดซึมน้ำ (water absorption)
6. ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant)
7. ความทนต่อสารเคมี (chemical resistance)
8. อื่น ๆ แล้วแต่จะกำหนด

สำหรับมาตรฐานที่ใช้ในการวัดค่าเหล่านี้ อาจใช้มาตรฐานอเมริกัน (ASTM) มาตรฐานญี่ปุ่น (JIS) หรือมาตรฐานเยอรมัน (DIN)

2.3.5 การใช้งาน

เนื่องจากพอลิเอสเตอร์เรซินมีสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม คือ มีความแข็ง ความใส ความเงา สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก สามารถใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าและทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี จึงถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางถึง 3 ใน 4 ส่วนของพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติงทั้งหมด

ลักษณะการใช้งานของพอลิเอสเตอร์เรซิน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. การหล่อ (casting) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์พลาสติกหล่อชนิดต่าง ๆ เช่น กระดุม หินอ่อนเทียม แก้วเทียม ฯลฯ
2. การลามิเนต หรือการเคลือบ (laminated) เช่น ผลิตภัณฑ์เคลือบรูปวิทยาศาสตร์ ฯลฯ

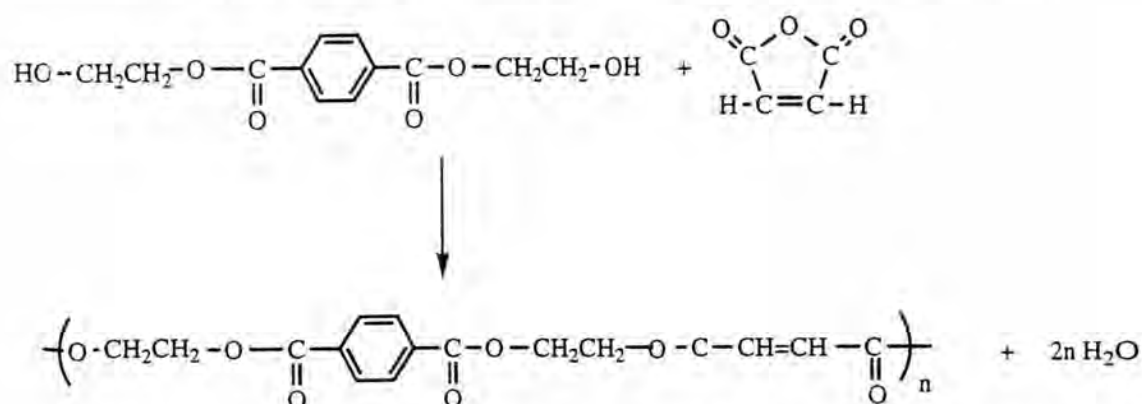
3. การขึ้นรูปแบบ (molding) เช่น ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส หรือเอพอร์ฟี

โดยทั่วไปแล้ว 80% ของปริมาณพอลิเอสเตอร์เรซินทั้งหมด จะใช้งานในด้านผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส หรือเอพอร์ฟี ส่วนที่เหลือใช้ในงานด้านพลาสติกหล่อ การเคลือบรูปวิทยาศาสตร์ และอื่น ๆ

2.4 การสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากขวดเพทที่ใช้แล้ว

การศึกษาถึงการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเพท ได้กระทำกันมานานหลายปีแล้ว โดย Vaidya และ Nadkarni [4,12] ได้นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเพทด้วยโพรพิลีนไกลคอลมาทำปฏิกิริยากับมาลิกแอนไฮไดรด์ และพบว่าพอลิเอสเตอร์ที่สังเคราะห์ได้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกับสไตรีนมอนอเมอร์ และสามารถเกิดการบ่มได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาพeroxide นอกจากนี่ยังพบว่าเรซินที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับเรซินในทางการค้า

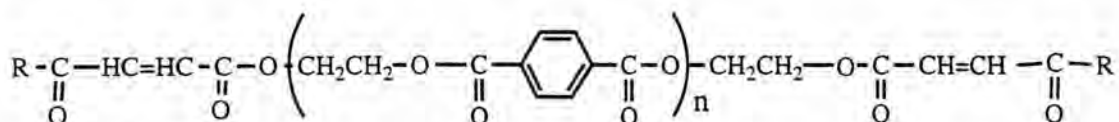
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ แสดงได้ดังสมการ



การทดลองของ DeMaio [13] แสดงให้เห็นว่าพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวที่สังเคราะห์จากเพทให้สมบัติที่เหนือกว่าเรซินที่สังเคราะห์จากไอโซฟทาลิกแอซิด

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของเรซินที่สังเคราะห์จากเพทใหม่ (virgin PET) กับเรซินที่สังเคราะห์จากรีไซเคิลเพท (recycled PET) พบว่าเรซินทั้งสองมีสมบัติใกล้เคียงกัน

การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากเพท อาศัยหลักการเปลี่ยนเพทซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์อิ่มตัวให้เป็นพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว โดยการเพิ่มหมู่ไม่อิ่มตัวเข้าไปในโครงสร้างของเพท ในระหว่างการสังเคราะห์ โมเลกุลของเพทจะถูกตัดออกเป็นโมเลกุลสั้น ๆ ที่ยังประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กันของเทรฟทาลิกเอทิสีน เมื่อทำปฏิกิริยากับมาลิกแอนไฮไดรด์ หน่วยที่ซ้ำ ๆ กันนี้จะเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างด้านที่ไม่อิ่มตัว ดังรูปที่ 2.4



R : สายโซ่พอลิเอสเทอร์ที่ต่อออกไป

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเพทในสายโซ่พอลิเอสเทอร์ [13]

โครงสร้างดังรูปนี้จะเหมือนกับโครงสร้างของโคพอลิเมอร์ที่มีเทอร์โมพลาสติกสายสั้น ๆ ฝังอยู่ภายในเนื้อที่เป็นเทอร์โมเซต ซึ่งส่งผลให้เรซินที่สังเคราะห์ได้มีทั้งความแข็งแรง ความเหนียว และความยืดหยุ่น นอกจากนี้ความแข็งแรงของเรซินยังเป็นผลมาจากองค์ประกอบที่เป็นเทรฟทาลิกเอซิดของเพท มีหมู่คาร์บอนิลอยู่ในตำแหน่งพารา ทำให้โมเลกุลของพอลิเอสเทอร์เป็นเส้นตรงมากกว่าเมื่อหมู่คาร์บอนิลอยู่ในตำแหน่งออร์โธหรือเมทา โมเลกุลที่เป็นเส้นตรงนี้ทำให้เกิด steric hindrance น้อย และสามารถเกิดการเชื่อมขวางได้มาก เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากรีไซเคิลเพท คือ

1. ช่วยลดปริมาณเพทที่ต้องกำจัด
2. สามารถเปลี่ยนเพทที่เป็นขยะพลาสติกให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่า

3. สามารถสังเคราะห์เรซินที่มีเทอร์พทาติกแอซิดอยู่ในโครงสร้างโดยไม่ต้องประสบกับความยุ่งยากในการใช้เทอร์พทาติกแอซิดโดยตรงในการสังเคราะห์เรซิน (เนื่องจากเทอร์พทาติกแอซิดมีจุดหลอมตัวสูง ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง และเทอร์พทาติกแอซิดอาจเกิดการระเหิดในระหว่างการสังเคราะห์)
4. ได้เรซินที่มีสมบัติทั้งความแข็งแรง ความเหนียว และความยืดหยุ่น สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางขึ้น

การสังเคราะห์เรซินจากกรีซไคเลเพทอาจต้องประสบกับปัญหาสิ่งเจือปนปริมาณสูงที่มีอยู่ในเพท ซึ่งอาจทำให้เรซินที่สังเคราะห์ได้ไม่ใส ชุ่น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับสไตรีนมอนอเมอร์ มีสมบัติเชิงกลไม่ดี และเรซินที่สังเคราะห์ได้ในแต่ละครั้งมีสมบัติไม่เหมือนกัน นอกจากนี้ถ้ากรีซไคเลเพทไม่ถูกผ่านกระบวนการไปอยู่ในรูป backbone ของพอลิเอสเตอร์ได้อย่างถูกต้อง จะส่งผลให้เรซินมีสมบัติไม่ดี เช่น ความหนืดไม่แน่นอน สมบัติเชิงกลต่ำ และกลไกการแข็งตัวไม่แน่นอนเมื่อนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตาม ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการเลือกใช้สารตั้งต้นที่เหมาะสม ใช้กระบวนการสังเคราะห์ และกระบวนการควบคุมคุณภาพที่ถูกต้องแน่นอน มีกลไกที่จะแยกสิ่งเจือปนออกจากเพทอย่างมีประสิทธิภาพ ก็จะทำให้เรซินที่สังเคราะห์ได้จากกรีซไคเลเพทมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับเรซินที่สังเคราะห์ได้จากเพทใหม่

2.5 คอนกรีตพอลิเมอร์ และมอร์ต้าพอลิเมอร์ (Polymer concrete and polymer mortar)

2.5.1 ความหมาย

คอนกรีต คือ วัสดุที่ประกอบด้วยมวลรวมหยาบ (coarse aggregates) และมวลรวมละเอียด (fine aggregates) มายึดติดกันด้วยสารยึดเกาะ (binder) ส่วนมอร์ต้า คือ วัสดุที่ประกอบด้วยมวลรวมละเอียดเพียงอย่างเดียวมายึดติดกันด้วยสารยึดเกาะ ซึ่งสารยึดเกาะที่นิยมใช้กันมากคือ ซีเมนต์ เนื่องจากมีราคาถูกและมีการใช้งานมาเป็นเวลานาน ดัง

นั้นเมื่อกล่าวถึงคอนกรีตและมอร์ตาร์ จึงมักจะหมายถึงคอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ใช้ซีเมนต์เป็นสารยึดเกาะ

คอนกรีตพอลิเมอร์ และมอร์ตาร์พอลิเมอร์ เป็นวัสดุเชิงประกอบ (composite material) ชนิดใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนคอนกรีตและมอร์ตาร์แบบดั้งเดิมที่ใช้ซีเมนต์ เนื่องจากการใช้คอนกรีตและมอร์ตาร์แบบดั้งเดิมมีปัญหาหลักที่สำคัญคือ เมื่อซีเมนต์แข็งตัว จะเกิดช่องว่างภายในเนื้อของซีเมนต์ ทำให้น้ำ อากาศและความชื้นสามารถผ่านเข้าไปได้ง่าย นอกจากนี้ความเป็นค่างของซีเมนต์ทำให้คอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ได้ไม่ทนต่อกรด ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการเลือกใช้พอลิเมอร์เป็นสารยึดเกาะแทนซีเมนต์ พอลิเมอร์สามารถเกาะตัวกันแน่นทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อน้อย และพอลิเมอร์ส่วนมากเป็นพวกไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) จึงทนต่อน้ำและสารเคมีต่าง ๆ ได้ดี เมื่อนำพอลิเมอร์มาผสมกับมวลรวมจะได้วัสดุที่เรียกว่า คอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ตาร์พอลิเมอร์ ในบางครั้งการเรียกชื่อคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ตาร์พอลิเมอร์ อาจเรียกตามชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารยึดเกาะ เช่น ถ้าใช้พอลิเอสเทอร์เรซินเป็นสารยึดเกาะจะเรียกว่า คอนกรีตพอลิเอสเทอร์และมอร์ตาร์พอลิเอสเทอร์ เป็นต้น

2.5.2 องค์ประกอบ

คอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ตาร์พอลิเมอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นมวลรวม ทำหน้าที่เป็นฟิลเลอร์ (fillers) และส่วนที่เป็นสารยึดเกาะทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ (matrix)

2.5.2.1 สารยึดเกาะ (binders)

สารยึดเกาะที่ใช้ในการทำคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ตาร์พอลิเมอร์ ส่วนใหญ่เป็นพวกมอนอเมอร์และเรซิน ซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ไวนิลเอสเทอร์ เมทาคริเลต อีพอกซีเรซินและฟิวแรน (furan) [14] มอนอเมอร์และเรซินเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ง่าย และสามารถให้สมบัติตามที่ต้องการ

พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว เป็นเรซินที่นิยมใช้เป็นสารยึดเกาะมากที่สุด เนื่องจากมีราคาไม่แพงมากนัก มีหลายสูตรให้เลือกใช้ ให้คอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์ที่มีสมบัติดี และมีความทนแรงกด (compressive strength) สูง [15,16,17] สารยึดเกาะพวกอีพอกซีเรซินโดยทั่วไปมีราคาแพงกว่า แต่มีข้อได้เปรียบบางอย่าง เช่น สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวที่เปียกได้ดีสำหรับอีพอกซีเรซินสูตรพิเศษ [18,19] อีพอกซีเรซินสามารถใช้ในการหล่อแม่แบบที่ต้องการความแข็งแรง การผสมในสัดส่วนที่ถูกต้องจะให้สมบัติที่ดีที่สุด อีพอกซีเรซินมีการหดตัวต่ำ สามารถหล่อให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการได้ง่าย

ไวนิลเอสเตอร์ สามารถทนต่อการกัดกร่อนของกรด ทนสารละลาย และทนต่อการซีดจางของสีได้ดีกว่าสารยึดเกาะตัวอื่น ๆ ส่วนผิวแรนมีราคาถูกและทนต่อสารเคมีได้ดี [14]

สำหรับมอนอเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ เช่น เมทาคริเลต และสไตรีน สามารถผสมกับมวลรวมได้ง่ายและให้ของผสมที่พร้อมที่จะแข็งตัวเป็นคอนกรีตและมอร์ต้าที่แน่น มีรูพรุนน้อย และใช้สารยึดเกาะในปริมาณต่ำ นอกจากนี้มอนอเมอร์ที่มีความหนืดต่ำสามารถแทรกซึมเข้าไปตามรอยแยกและช่องว่างในอนุภาคของมวลรวมได้ดีด้วย [20]

ข้อพิจารณาที่สำคัญในการเลือกใช้สารยึดเกาะ คือ ต้องมีราคาถูก มีความทนทานภายใต้สภาวะต่าง ๆ ที่ได้รับ สามารถยึดเกาะกับมวลรวมได้ดี สามารถขึ้นรูปและทำให้แข็งตัวได้ง่าย

2.5.2.2 มวลรวม (aggregates)

มวลรวม คือ วัสดุใดก็ตามที่มีมวล มวลรวมที่มีอยู่มากที่สุด ได้แก่ หิน และทรายธรรมชาติ ซึ่งนิยมใช้กันทั่วโลก การแบ่งประเภทของมวลรวมสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภท ตามเกณฑ์ต่อไปนี้

1. แหล่งที่มา สามารถแบ่งมวลรวมได้เป็น 2 ประเภท คือ
 - มวลรวมที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินที่เกิดจากภูเขาไฟ (basalt) แคลไซต์ (calcite) กรวด ทรายแม่น้ำ หินทราย หินบด ซอล์ค แบไรต์ (baryte) ควอทซ์ หินจำพวกผลึกใส (spars)
 - มวลรวมที่เป็นสารสังเคราะห์ ได้แก่ เม็ดแก้ว (glass bead) เส้นใยแก้ว (glass fiber) ใยทอแก้ว (glass fabric) เส้นใยเหล็กและคาร์บอน เป็นต้น

2. แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ มวลรวมบางชนิดมีแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักพวกซิลิกา เช่น ทราย ควอทซ์ ในขณะที่มวลรวมบางชนิดมีแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักพวกแคลเซียม เช่น แคลไซต์ ซอล์ค

3. วิธีการเตรียม มวลรวมอาจเตรียมได้จากหลายวิธี เช่น การเผา การบด การทำให้แตกตะกอน หรืออาจได้จากการเปลี่ยนแปลงของหินเมื่อถูกความร้อน

4. ขนาดอนุภาค การแบ่งประเภทของมวลรวมตามขนาดอนุภาคสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ
 - มวลรวมหยาบ (coarse aggregates) คือ มวลรวมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค มากกว่า 6.35 mm. (1/4 นิ้ว) ได้แก่ กรวด หินบด เป็นต้น
 - มวลรวมละเอียด (fine aggregates) คือ มวลรวมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคน้อยกว่า 6.35 mm. (1/4 นิ้ว) ได้แก่ ทรายแม่น้ำ ขี้เถ้าลอย เป็นต้น

มวลรวมที่นำมาใช้ในการผสมคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์ ต้องมีลักษณะดังนี้ คือ

1. มวลรวมต้องสะอาด ปราศจากสิ่งเจือปนที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงและความเรียบของคอนกรีตและมอร์ต้า
2. มวลรวมต้องมีความแข็งแรง และมีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ

3. มวลรวมต้องแห้งและมีความชื้นอยู่น้อยกว่า 2% เพื่อให้การยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับสารยึดเกาะเกิดขึ้นได้ดี
4. มวลรวมต้องมีราคาไม่แพงมากนัก
5. มวลรวมต้องมีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม เนื่องจากการเลือกขนาดอนุภาคของมวลรวม เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความสามารถทำงานได้ (workability) ของส่วนผสม และมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างที่ได้รับ
6. มวลรวมต้องไม่เกิดปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการกับองค์ประกอบในสารยึดเกาะ

ดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมและการกำหนดสัดส่วนของมวลรวม ต้องทำด้วยความรอบคอบและระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าได้คอนกรีตพอลิเมอร์หรือมอร์ต้าพอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามต้องการ

2.5.2.3 สารเติมแต่ง (additives)

ส่วนผสมของคอนกรีตหรือมอร์ต้า อาจมีการเติมสารเติมแต่งอื่น ๆ ลงไปด้วย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น เช่น การเติมสีลงในสารยึดเกาะ เพื่อให้ได้พื้นผิวที่มีสีสันสวยงาม หรือการเติมพลาสติกไซเซอร์เพื่อให้คอนกรีตและมอร์ต้ามีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงความแข็งแรงของคอนกรีตและมอร์ต้า การเติม silane coupling agent ลงในส่วนผสมจะช่วยเพิ่มพันธะระหว่างพื้นผิวของมวลรวมกับสารยึดเกาะ นอกจากนี้ยังมีการเติมสารอื่น ๆ ลงไปอีก เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

2.5.3 สัดส่วนการผสม

การกำหนดสัดส่วนการผสมระหว่างสารยึดเกาะและมวลรวมในการทำคอนกรีตและมอร์ต้าเพื่อให้ได้คอนกรีตและมอร์ต้าที่มีสมบัติตามต้องการนั้น จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการที่เรียกว่า “การออกแบบส่วนผสม” (mix design) ซึ่งเป็นกระบวนการเลือกใช้องค์ประกอบที่เหมาะสมรวมทั้งกำหนดปริมาณที่ต้องใช้เพื่อให้ได้คอนกรีตและมอร์ต้าที่มีสมบัติ มีความแข็งแรง ความทนทานและคุ้มค่าในแง่เศรษฐกิจ

ค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ตาร์พอลิเมอร์ส่วนใหญ่มาจากราคาของสารยึดเกาะและมวลรวมที่ใช้ และโดยทั่วไปสารยึดเกาะจะมีราคาแพงกว่ามวลรวมหลายเท่า ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมมักใช้สารยึดเกาะในปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถยึดมวลรวมเข้าด้วยกันได้หมด โดยที่ยังคงสมบัติตามต้องการเอาไว้ได้ เทคนิคสำคัญในการลดปริมาณสารยึดเกาะที่ต้องใช้ คือการลดปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวมให้น้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยการเลือกชนิดและขนาดอนุภาคของมวลรวมให้เหมาะสม

มวลรวมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตและมอร์ตาร์ส่วนใหญ่เป็นมวลรวมที่ได้จากธรรมชาติ เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก สัดส่วนของมวลรวมที่ใช้มีตั้งแต่ 30 ถึง 90% โดยน้ำหนัก ส่วนผสมที่มีมวลรวมในปริมาณน้อยจะให้คอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ผิวเรียบกว่า เนื่องจากมีปริมาณสารยึดเกาะมาก แต่ราคาจะสูงโดยไม่จำเป็น สำหรับส่วนผสมที่มีมวลรวมในปริมาณสูงมาก ๆ อาจมีสารยึดเกาะน้อยจนไม่สามารถยึดอนุภาคของมวลรวมเข้าด้วยกันได้หมด ดังนั้นในทางปฏิบัติมักจะใช้มวลรวมปริมาณ 85% โดยน้ำหนัก มวลรวมที่ใช้อาจมีขนาดอนุภาคต่าง ๆ กัน เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่แน่น มีฟองอากาศน้อยและมีความแข็งแรงสูง วิธีการเลือกใช้สัดส่วนของมวลรวมที่มีขนาดต่าง ๆ สามารถทำได้โดยการเลือกขนาดของมวลรวมโดยใช้ตะแกรงร่อน แล้วลองทำการผสมคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ที่สามารถทำงานได้สะดวกที่สุด และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดี คู่มากับการลงทุน

การที่จะได้ส่วนผสมของคอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ให้สมบัติเป็นที่น่าพอใจนั้น นอกจากจะต้องเลือกและกำหนดปริมาณขององค์ประกอบที่ต้องใช้แล้ว ยังต้องทำการทดลองผสมอีกด้วย สมบัติของส่วนผสมที่ได้จะถูกตรวจสอบและการปรับเปลี่ยนสัดส่วนการผสมจะเกิดขึ้นตามด้วยการทดลองผสม จนกระทั่งได้ส่วนผสมที่น่าพอใจ การทดลองผสมในห้องทดลองไม่ได้เป็นข้อบ่งว่าจะได้ส่วนผสมที่ดี ส่วนผสมที่ถูกผสมและนำไปทดลองใช้งานจริงเท่านั้นที่จะรับประกันได้ว่าสมบัติทั้งหมดเป็นที่น่าพอใจในการนำไปใช้งาน

ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้ส่วนผสม

1. ความแข็งแรง ความแข็งแรงเป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของคอนกรีตและมอร์ตาร์ ดังนั้นส่วนผสมที่เลือกใช้จะต้องให้ความแข็งแรงตามที่ต้องการ

2. การควบคุมคุณภาพ ส่วนผสมที่เลือกใช้จะต้องสามารถควบคุมคุณภาพได้ง่าย ทั้งในเรื่องของวัสดุที่ใช้และกระบวนการผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตหรือมอร์ตาร์ที่มีสมบัติใกล้เคียงกันในการผสมแต่ละครั้ง

3. ความทนทาน ส่วนผสมที่เลือกใช้ควรมีความทนทานในระดับหนึ่ง ความทนทานนี้เป็นผลมาจากการเลือกใช้ชนิดของมวลรวมและสารยึดเกาะ ในการใช้งานที่ต้องการความทนทานสูง ๆ หรือต้องทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีควรเลือกใช้สารยึดเกาะที่สามารถทนต่อสารเคมีได้ดี

4. ความสามารถทำงานได้ ส่วนผสมของคอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ยังไม่แข็งตัว ควรจะทำงานได้สะดวก ทั้งในการผสมและการขึ้นรูป ความสามารถทำงานได้ของส่วนผสมขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ขนาดและความชื้นชื้นของส่วนที่ต้องการขึ้นรูปคอนกรีตและมอร์ตาร์ วิธีการทำให้แข็งตัว และแรงยึดเกาะ ซึ่งแรงยึดเกาะนี้เป็นปัจจัยที่ขึ้นกับปริมาณมวลรวมละเอียดในส่วนผสม โดยทั่วไปจำเป็นต้องทำการทดลองผสมหลาย ๆ ครั้ง โดยใช้สัดส่วนระหว่างมวลรวมหยาบกับมวลรวมละเอียดที่ต่าง ๆ กัน เพื่อหาส่วนผสมที่มีการยึดเกาะกันดีเพียงพอ

5. ขนาดอนุภาคใหญ่สุดของมวลรวม สำหรับการขึ้นรูปโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ โดยทั่วไป จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันพบว่า การปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มขนาดอนุภาคของมวลรวมนั้น ขนาดอนุภาคของมวลรวมจะต้องไม่มากกว่า 40 mm. (1.5 นิ้ว)

ดังนั้น การใช้มวลรวมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่มากเกินไปอาจไม่ทำให้เกิดผลดี ขนาดอนุภาคของมวลรวมที่จะเลือกใช้ขึ้นกับชนิดของมวลรวมที่มีอยู่และราคา

6. ขนาดและชนิดของมวลรวม โดยทั่วไปนิยมใช้มวลรวมที่มีอยู่ในท้องถิ่นมากกว่ามวลรวมที่มีคุณภาพดีแต่มาจากแหล่งอื่น เนื่องจากไม่คุ้มค่าในแง่เศรษฐกิจ ลักษณะพื้นผิว รูปร่าง และสมบัติของมวลรวมมีอิทธิพลอย่างมากในการกำหนดสัดส่วนระหว่างมวลรวมและสารยึดเกาะ เพื่อให้มีความสามารถทำงานได้และมีสมบัติตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ข้อมูลเกี่ยวกับมวลรวมที่มีอยู่ ข้อมูลเกี่ยวกับมวลรวมที่จำเป็นต้องใช้ในการกำหนดสัดส่วนการผสมได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ น้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณความชื้น และการดูดซึมความชื้น ขนาดของอนุภาค และความสม่ำเสมอของอนุภาค

7. อัตราส่วนระหว่างมวลรวมกับสารยึดเกาะ การเลือกใช้อัตราส่วนระหว่างมวลรวมกับสารยึดเกาะ อาจอาศัยประสบการณ์ส่วนบุคคล หรือเลือกจากแผนภูมิหรือตารางที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลอง ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้กรณีหลังมากกว่า

2.5.4 แม่แบบและการขึ้นรูป

การขึ้นรูปคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับการขึ้นรูปคอนกรีตและมอร์ต้าแบบดั้งเดิมที่ใช้ซีเมนต์เป็นสารยึดเกาะ แม่แบบที่ใช้ในการขึ้นรูปอาจทำจากไม้ เหล็ก ไฟเบอร์กลาส อลูมิเนียม แก้ว หรือกระดาษก็ได้ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนและขนาดของชิ้นงาน จำนวนที่ผลิตและลักษณะพื้นผิวที่ต้องการ การออกแบบแม่แบบจะต้องคำนึงถึงการหดตัวของสารยึดเกาะเมื่อเกิดการแข็งตัวด้วย นอกจากนี้ ผนังด้านข้างของแม่แบบควรมีที่จับหรือค้ำเพื่อช่วยในการถอดแบบ โครงสร้างของแม่แบบจะต้องแข็งแรงเพื่อไม่ให้ขนาดของชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากแรงที่เกิดจากการขยายแม่แบบ รอยต่อต่าง ๆ จะต้องแน่นเพราะรอยร้าวจะก่อให้เกิดปัญหาในการถอดแบบและอาจทำให้ชิ้นงานเสียหายได้ นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ทำแม่แบบจะต้องไม่

ทำปฏิกิริยากับสารที่ใช้ในการทำความสะอาดสารยึดเกาะ รวมทั้งสารที่ใช้เพื่อช่วยในการถอดแบบ และต้องทนอุณหภูมิได้สูงถึง 100°C ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงที่ส่วนผสมเกิดการแข็งตัวเร็ว

กระบวนการผลิตคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์เริ่มต้นที่การออกแบบส่วนผสม เมื่อได้สูตรการผสมที่น่าพอใจแล้ว องค์ประกอบทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้จะถูกนำมาผสมในเครื่องผสม ซึ่งอาจใช้เครื่องมือผสมคอนกรีตแบบเดิมที่มีอยู่ก็ได้ ส่วนผสมที่ผสมเข้ากันดีแล้วจะถูกเทลงในแม่แบบที่ทาสารช่วยในการถอดแบบ เช่น ซิฟิ่งหรือซิลิโคนเจลเอาไว้แล้ว หลังจากในส่วนผสมถูกเทลงในแม่แบบจนเต็มแล้ว จำเป็นต้องกำจัดฟองอากาศที่อยู่ในส่วนผสมออกไป ซึ่งอาจทำได้โดยการเขย่าแม่แบบ การคนส่วนผสม การให้ความดัน หรือการทำให้เป็นสุญญากาศ จากนั้นจึงปล่อยให้เกิดการแข็งตัวในแม่แบบที่อุณหภูมิห้อง

การแข็งตัวของคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิห้อง เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของสารยึดเกาะ ซึ่งอาจเกิดได้โดยการใช้รังสี ความร้อน หรืออาศัยสารเร่งปฏิกิริยาร่วมกับสารช่วยเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปวิธีหลังนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากทำได้สะดวกและมีราคาถูก สารเร่งปฏิกิริยาและสารช่วยเร่งปฏิกิริยาจะถูกเติมลงไป ในมอนอเมอร์หรือเรซินที่ใช้เป็นสารยึดเกาะ ก่อนที่จะนำไปผสมกับมวลรวม การแข็งตัวอาจจะใช้เวลาเป็นนาทีหรือชั่วโมง ขึ้นกับปริมาณสารยึดเกาะและปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาและสารช่วยเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ผลึกภัณฑ์ที่ได้จะมีความแข็งแรงเต็มที่เมื่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

2.5.5 การใช้งาน

คอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์มีสมบัติเด่นหลายอย่างคือ สามารถลดการสั่นสะเทือน ทนต่อสารเคมี ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวเรียบ และสามารถตกแต่งพื้นผิวได้ง่าย สามารถผลิตให้มีขนาดตามต้องการ มีสมบัติคงที่แม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลง การ

คุณความชื้นต่ำ สามารถรวมตัวกับสารให้สีได้ดี และทนทานต่อการสึกหรอ จากสมบัติเด่นที่กล่าวมาข้างต้นนี้ทำให้คอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ตาร์พอลิเมอร์ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายสาขา

คอนกรีตพอลิเมอร์ถูกใช้มากในการทำหินอ่อนเทียมเพื่อทำเคาน์เตอร์ อย่างล้างจาน ฯลฯ โดยใช้มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต หรือเม็ดแก้ว ในสัดส่วนประมาณ 30% ผสมกับสารยึดเกาะและสารให้สีในระหว่างกระบวนการเพื่อให้มีลักษณะเหมือนหินอ่อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความทนทาน สวยงาม และมีราคาถูกกว่าหินอ่อนแท้มาก นอกจากนี้ใช้ทำหินอ่อนเทียมแล้วบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรกลใช้คอนกรีตพอลิเมอร์ในการผลิตชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ เช่น ส่วนที่เป็นฐานของเครื่องจักรกล เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเหล็กหล่อ ช่วยยืดอายุเครื่องมือตัด (cutting tools) ต่าง ๆ เช่น ดอกสว่าน มีดกลึง ให้ผิวงานหลังการตกแต่งที่ดี และไม่ก่อให้เกิดเสียงดังในขณะตัด

คอนกรีตพอลิเมอร์สามารถทำเป็นอิฐหรือบล็อกปูถนนที่มีความสวยงามทนทาน หรืออาจใช้ทำเป็นชิ้นส่วนของเครื่องมือ เนื่องจากสามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างที่ซับซ้อนได้ง่าย การใช้งานด้านอุตสาหกรรมนิยมใช้คอนกรีตพอลิเมอร์ในการทำร่องทางระบายน้ำทิ้ง เนื่องจากทนต่อสารเคมีได้ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมและมีราคาถูกกว่า นอกจากนี้คอนกรีตพอลิเมอร์สามารถใช้ในการซ่อมแซมความเสียหายของโครงสร้าง เช่น ถนน สะพาน อาคาร เพื่อให้คงสภาพเดิมไว้ ข้อดีของคอนกรีตพอลิเมอร์ คือ มีความแข็งแรงสูงมาก มีความทนทาน และสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวที่เป็นคอนกรีตซีเมนต์ได้ดี การแข็งตัวเกิดได้เร็วมาก ช่วยลดปัญหาความล่าช้าในการซ่อมแซมผิวถนน หรือสะพาน และช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัด

แผ่นปกคลุม (overlays) เป็นแผ่นคอนกรีตพอลิเมอร์ที่มีความหนาประมาณ 6 mm. ถึง 24 mm. ใช้ในการป้องกันพื้นผิวของคอนกรีตซีเมนต์หรือพื้นผิวของวัสดุอื่น ๆ แผ่นปกคลุมที่เสริมเส้นใยจะมีความแข็งแรงสูงมาก [21] ทนต่อการขูดขีดได้ดี น้ำและความชื้นซึมผ่านได้ต่ำ ทนกรด มีน้ำหนักเบา การใช้แผ่นปกคลุมบนผิวถนนหรือสะพานจะ

ช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเส้น ทำให้การเสียหายหรือการแตกของคอนกรีตซีเมนต์เกิดขึ้นน้อย จึงไม่จำเป็นต้องทำการซ่อมแซมบ่อยครั้ง

ถึงบรรจุสารเคมีที่เป็นคอนกรีตซีเมนต์และเหล็กกล้า ท่อต่าง ๆ และท่อระบายน้ำทิ้ง นิยมใช้แผ่นปกคลุมเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี พื้นของโรงงานอุตสาหกรรมหรือที่จอดรถของโรงซ่อมรถ ก็นิยมใช้แผ่นปกคลุมที่ทำจากคอนกรีตพอลิเมอร์ เนื่องจากสามารถทนแรงกระแทกจากเครื่องจักรหนักได้ดี และป้องกันการทำลายผิวหน้าจากน้ำมัน กรด หรือสารเคมีที่กัดกร่อนอื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถทนความร้อนและเก็บเสียงได้ดี การใช้งานอื่น ๆ ได้แก่ ใช้ทำรางสำหรับให้อาหารสัตว์ ใช้ทำร่องทางระบายน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม และใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า นอกจากนี้คอนกรีตพอลิเมอร์เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ หากใช้มวลรวมที่เหมาะสม เช่น ใช้ในงานสายดิน และป้องกันการผุกร่อนแบบ cathodic protection system [22]

มอร์ต้าพอลิเมอร์มีการใช้งานที่กว้างขวางน้อยกว่าคอนกรีตพอลิเมอร์ ส่วนใหญ่มอร์ต้าพอลิเมอร์ถูกใช้ในการซ่อมแซมความเสียหายที่เป็นจุดด้อย ๆ ใช้ในการทำชิ้นส่วนของเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ใช้ในการซ่อมแซมผิวหน้าของถนน สะพาน ทางเดิน ใช้ในการป้องกันผิวหน้าของวัสดุอื่น ๆ เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และซ่อมแซม

2.5.6 การพัฒนาคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์จากขวดเพทที่ใช้แล้ว

ถึงแม้ว่าคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์จะมีสมบัติหลายประการที่เหนือกว่าคอนกรีตซีเมนต์และมอร์ต้าซีเมนต์ แต่กลับไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร เนื่องจากเรซินที่ใช้เป็นสารยึดเกาะมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับราคาของซีเมนต์ ดังนั้นวิธีที่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ คือ การหาแหล่งของเรซินที่มีคุณภาพดีแต่ราคาถูก ผลงานการวิจัยของ Vaidya และ Nadkarni [4] แสดงให้เห็นว่าพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวที่สังเคราะห์ได้จากเศษเพทมีสมบัติเชิงกลเทียบได้กับเรซินที่ผลิตขายในทางการค้า

Rebeiz, Fowler และ Paul [23,24] ได้นำพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวที่สังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของเพท มาใช้ในการขึ้นรูปคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์ แล้วนำขึ้นทดสอบที่ขึ้นรูปได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ และความทนทานต่อสารเคมี พบว่าสมบัติเชิงกลของคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์สามารถเทียบได้กับสมบัติเชิงกลของคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปโดยใช้เรซินบริสุทธิ์ (virgin resin) ภายใต้ภาวะการทดสอบเดียวกัน จึงสามารถนำไปใช้งานได้เหมือนกัน และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของคอนกรีตพอลิเมอร์กับมอร์ต้าพอลิเมอร์ พบว่า คอนกรีตพอลิเมอร์มีสมบัติต่างจากมอร์ต้าพอลิเมอร์ เนื่องจาก คอนกรีตพอลิเมอร์ใช้อัตราส่วนระหว่างมวลรวมต่อเรซินเป็น 9 : 1 ในขณะที่มอร์ต้าพอลิเมอร์ใช้อัตราส่วน 4 : 1 คอนกรีตพอลิเมอร์มีค่ายังส์มอดุลัส (Young's modulus) สูงกว่ามอร์ต้าพอลิเมอร์ แต่มีอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) ต่ำกว่า ส่วนการทดสอบความทนต่อสารเคมี พบว่า ทั้งคอนกรีตพอลิเมอร์และมอร์ต้าพอลิเมอร์สามารถทนต่อสารเคมีได้ดี และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำ