

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

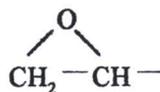
2.1 หลักการและทฤษฎีของอีพอกซีเรซิน

ในปี 1961 มีปริมาณการใช้อีพอกซีเรซิน(Epoxy resin) 50 ล้านปอนด์ ในงานอุตสาหกรรมประมาณ 30 ล้านปอนด์ถูกนำมาใช้ในงานเคลือบ(Coating) และอีกครั้งหนึ่งของปริมาณนี้หรือประมาณ 16 ล้านปอนด์ ถูกใช้ในงานคอนกรีต และ Masonry นอกเหนือจากนี้ยังมีการใช้ อีพอกซีในงานอื่นๆ อีก 2 ล้านปอนด์ และในปี 1966 มีการใช้อีพอกซีในงานอุตสาหกรรม 150 ล้านปอนด์ มีปริมาณ 60 ล้านปอนด์ที่ใช้ในงานเคลือบ และมี 40% ในจำนวนนี้ที่ใช้กับคอนกรีต นอกเหนือจากนี้ ในงานอื่นๆอีก 20 ล้านปอนด์ ดังนั้นในแต่ปีจะมีอีพอกซีที่ใช้กับงานคอนกรีตประมาณ 30% ของอีพอกซีที่ผลิตออกมาทั้งหมด จากสถิติที่กล่าวมาแสดงให้เห็นถึงการแพร่หลายของอีพอกซี แต่ก็ยังมีอุปสรรคสำคัญในการเติบโตของอีพอกซี ก็คือราคาที่ยังสูงอยู่

การพัฒนาการใช้อีพอกซีในยุคแรกๆ ไม่ค่อยจะวราบรื่นนักในระยะแรกเวลา 2-3 ปีแรกที่มีการทำตลาดวัสดุอีพอกซีไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากการที่วัสดุยังไม่ถูกพัฒนาให้มีคุณสมบัติเพียงพอต่อความต้องการใช้ปฏิบัติงานไม่ได้ผล จึงทำให้เกิดความไม่เชื่อมั่นในวัสดุการขายส่งผลให้เป็นไปอย่างช้าๆ จนกระทั่งสามารถพัฒนาให้มีคุณสมบัติที่ดีทำให้เกิดการแพร่หลายมากขึ้น การใช้อีพอกซีจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.1.1 อีพอกซีเรซิน

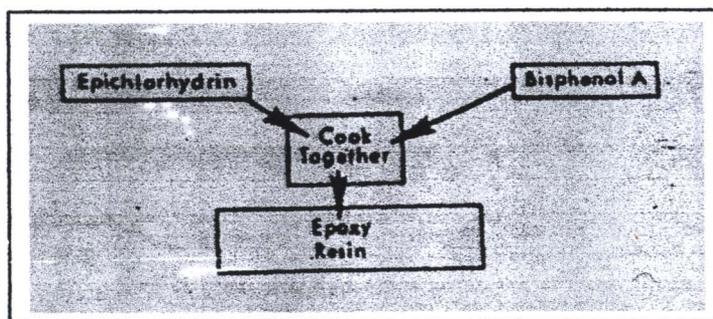
“Epoxy” เป็นกลุ่มของยางสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติอยู่ในช่วงของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ไม่ละลายจนถึงของแข็งที่มีจุดเดือดสูง Epoxy group มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ



ชื่อของกลุ่ม “Epoxy” มาจากภาษากรีกโบราณโดยมาจากคำว่า “epi” ซึ่งมีความหมายว่า “on the outside of” และคำว่า ออกซิเจน ดังนั้นเมื่อรวมกันจึงมีความหมายว่าการแบ่งส่วนของอะตอมออกซิเจนออกจากกันในโครงสร้างโมเลกุล

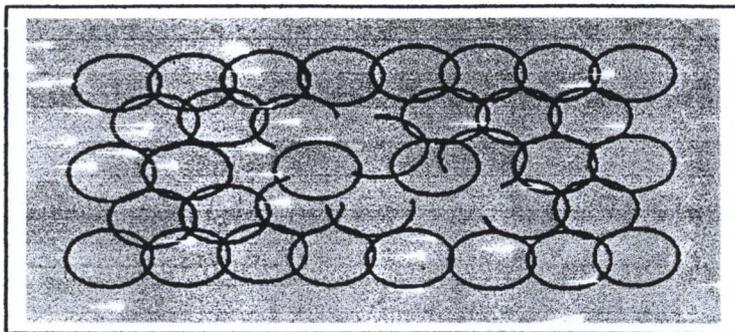
อีพอกซีเรซินเป็นที่รู้จักมานานแล้วที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน ถูกค้นพบโดยพีคาสตัน(P.Castan) ในสวิตเซอร์แลนด์เมื่อปี 1938

รูปแบบของ Epoxy group สามารถผลิตจากส่วนของหมู่เคมี(Chemical group) ได้หลายทางแต่โดยปกติจะสร้างอีพอกซีจากตัวกลางที่ได้จากน้ำมัน ตัวกลางที่วางนี้รู้จักกันใน Epichlorhydrin และ Bisphenol นำมาผสมเข้าด้วยกัน โดยกระบวนการที่ยาวนานสุดท้ายก็จะได้อีพอกซีเรซินโดยอัตราส่วนของ Epichlorhydrin ต่อ Bisphenol ซึ่งเป็นตัวสำคัญในการกำหนดชนิดของเรซินนั้น เช่น อัตราส่วนของ Epichlorhydrin ต่อ Bisphenol สูง อีพอกซีเรซินที่ได้จะมีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลต่ำดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตอีพอกซีเรซิน

อีพอกซีเป็นของเหลวสีอำพัน ความหนืดประมาณน้ำมันเครื่องปกติจะเป็นของเหลวเมื่อจะทำให้มีแรงยึดเกาะและแข็งขึ้นจะต้องเติมน้ำยาแข็ง(Hardener) เพื่อให้ของเหลวกลายเป็นของแข็งซึ่งน้ำยาแข็งนี้จะไปทำปฏิกิริยากับอีพอกซีเรซิน ถ้าทำกันอย่างสมบูรณ์จะทำให้สารอีพอกซีแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ ถ้าการผสมไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดจุดที่อ่อนแอในโมเลกุลดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นการผสมที่ถูกต้องจึงมีผลต่อคุณภาพของอีพอกซี



รูปที่ 2.2 จุดอ่อนแอในโมเลกุลเมื่อทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์

คุณสมบัติที่สำคัญของอีพอกซีเรซิน คือ

1. ความแข็งแรงในการยึดเกาะวัสดุเกือบทุกอย่าง
2. มีการหดตัว(Shrinkage) ที่ต่ำมากในขณะก่อตัว
3. ขนาดคงที่หลังจากบ่มแล้ว
4. มีสมบัติ "Gap filling" ตามธรรมชาติ
5. เป็นเทอร์โมเซตติง(Thermosetting)
6. ความสามารถในการต้านสารเคมี
7. เป็นฉนวน



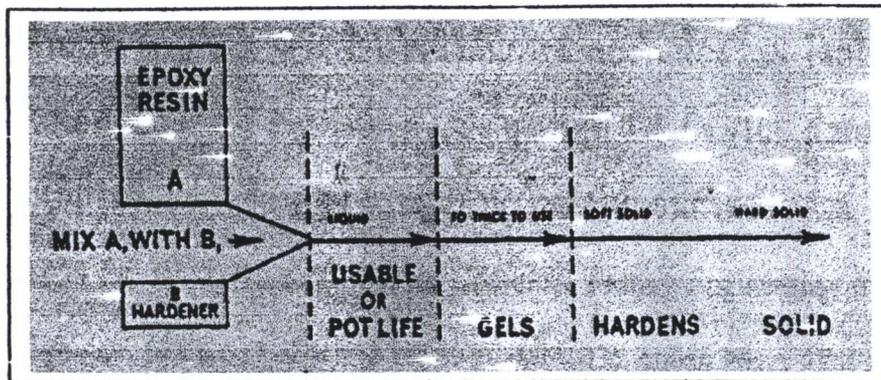
นอกจากนี้ยังมีสมบัติอื่นอีกคือ ด้านทานการฉีก การคืบ และด้านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น

2.1.2 การใช้งานอีพอกซีเรซิน

ตามสูตรอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่างน้ำยาแข็งกับอีพอกซีเรซิน ใช้ตามอัตราส่วนที่ทางผู้ผลิตเป็นผู้กำหนด ให้ผสมกันทีละน้อยจนเข้ากัน โดยใช้เครื่องหมุนใบพายด้วยความเร็วช้าๆ หลังจากการผสมสารเข้าด้วยกัน จะสามารถใช้ได้ตั้งแต่ปฏิกิริยาความร้อนยังไม่กระจายตัวจนถึงความร้อนถูกเร่งให้มีปฏิกิริยา

การคัดแปลงคุณสมบัติของสารประกอบอีพอกซีเรซินมักจะถูกนำมาใช้ในรูประบบอีพอกซีเรซิน(Epoxy resin system) ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก 4 อย่าง





รูปที่ 2.3 การผสมอีพอกซีเพื่อการใช้งาน

1. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน(Exothermic reactions)
2. อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิ
3. เป็นตัวประสานให้เมื่อแรกเริ่มจะอยู่ในสภาพชั้นเหลวต่อไปจะแข็งตัวเป็นมวลที่มีเนื้อแข็ง
4. ใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่เหมาะสม ถ้ามากเกินไปก็มีผลกระทบต่อระบบอีพอกซีเรซิน เช่นกัน

การใช้ระบบอีพอกซีเรซินให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่จะต้องมีข้อกำหนดที่ใช้ควบคุมคุณภาพของอีพอกซี และวิธีการใช้งานโดยที่ข้อกำหนดเหล่านี้จะต้องได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมและครอบคลุมงานต่างๆที่จะใช้อีพอกซีร่วมอยู่ด้วย ข้อกำหนดที่ดีจะต้องใช้ภาษาที่รัดกุมไม่ก่อให้เกิดความเข้าใจผิดในการตีความหมาย

ข้อกำหนดจะประกอบไปด้วย ข้อกำหนดที่เกี่ยวกับวัสดุ ส่วนผสม การผสม การจัดเตรียมผิวหน้าของงานก่อนที่ใช้อีพอกซี อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน ขั้นตอนการทำงานและข้อกำหนดเกี่ยวกับการระวังอุบัติเหตุและสุขภาพ

ระบบอีพอกซีเรซินจะต้องมีการเลือกใช้อย่างรอบคอบ และมีการระบุรายละเอียดในการนำไปใช้งานโดยพิจารณาถึงมาตรฐานการทำงาน และส่วนประกอบ ขนาด ชนิดของที่บรรจุ จะต้องถูกจัดเตรียม และควรจะให้สามารถทำงานร่วมกันระหว่างที่บรรจุ 2 อันในการที่จะได้ส่วนผสมที่เพียงพอตามที่กำหนดไว้และควรจะมีการทำเครื่องหมายแสดงถึงปริมาณ ส่วนประกอบ ทิศทางการผสม ช่วงอุณหภูมิ ชื่อบริษัทผู้ผลิต ตัวเลขบอกรุ่น วันที่บรรจุ ข้อควรระวัง และข้อความอื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ซื้อและผู้ผลิต ถ้าผู้ซื้อต้องการผลการทดสอบที่จะรับรองการปฏิบัติงานวิธีการ และการผสมตัวอย่างควรจะถูก

กำหนดไว้ โรงงานผู้ผลิตควรจะได้มีการทำข้อกำหนด และมีการทดสอบวัสดุเพื่อเป็นการรับรองแก่ผู้ซื้อ

2.1.3 กฎเกณฑ์ที่ควรจะยึดถือในการทำงานเกี่ยวกับอีพอกซีเรซิน

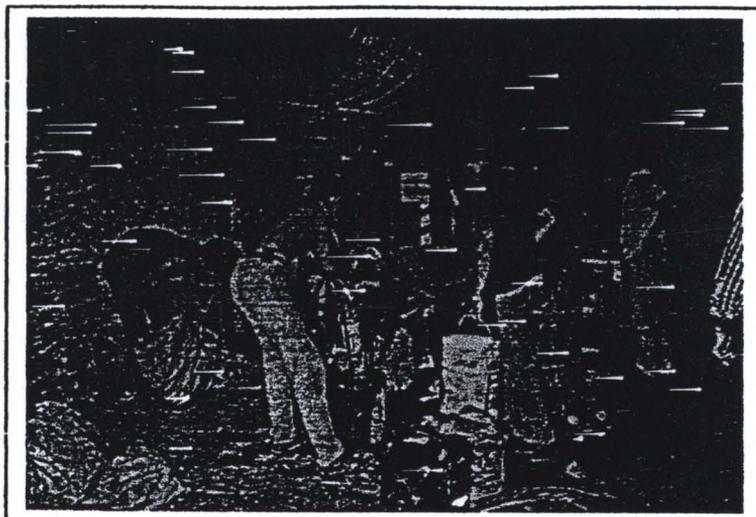
1. เลือกอีพอกซีที่มีเวลาการทำงานนาน(Long pot life) มีสภาพความเป็นของเหลวสูงและมีความชื้นสม่ำเสมอ
2. เก็บผลิตภัณฑ์อีพอกซีในที่ร่ม มีลักษณะที่ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต
3. การผสมระบบอีพอกซีเรซินต้องมีการวัดปริมาณส่วนผสมอย่างละเอียดตามข้อกำหนดเลือกใช้เรซินที่เคยใช้ได้ผลมาก่อน
4. เครื่องมือที่ใช้ต้องสะอาด
5. เมื่ออากาศเย็นพึงระลึกเสมอว่าอีพอกซีจะมีความเหนียวมากขึ้นทำให้ค่า Penetration ลดลง
6. ทำการทดสอบเรซินใหม่ก่อนที่จะนำไปใช้งาน
7. ใช้คนงานที่มีความชำนาญดีแล้ว

2.1.4 สภาพอุณหภูมิการทำงานของอีพอกซีเรซิน

ขณะที่สารประกอบอีพอกซีเรซินบ่มตัว จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนและแข็งตัว หลังจากเกิดความร้อน(Thermosetting) อุณหภูมิของอีพอกซีเรซินขณะใช้งานอุณหภูมิของผิวงาน และอุณหภูมิของบริเวณที่ทำงานขณะการบ่ม จะมีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการบ่มตัว อีพอกซีเรซินที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมักจะใช้ในช่วงอุณหภูมิ 21.1 - 37.8°C

2.1.5 การเตรียมอีพอกซีเรซินสำหรับการใช้งาน

การเตรียมอีพอกซีเรซิน จะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของโรงงานผู้ผลิต วัสดุต่างๆจะต้องอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการผสม นอกจากนี้เครื่องมือซึ่งถูกทิ้งให้ได้รับความชื้นและความเย็นตลอดคืนในที่เก็บ เมื่อนำมาใช้งานจะผสมได้ไม่ดีเนื่องจากจะเกิดความหนืดมากขึ้น และระยะเวลาการแข็งตัวจะนานกว่าปกติ ถ้างานที่ทำอยู่ในที่ร่มจะต้องมีการระบายอากาศที่ดีพอ



รูปที่ 2.4 แสดงการผสมอิพอกซีด้วยใบพัด

การผสมให้สัดส่วนเข้ากันได้ดี โดยตลอดเป็นสิ่งสำคัญมาก ไม่ควรทำการผสมจนเกินปริมาณที่จะใช้ได้หมดก่อนที่ส่วนผสมอิพอกซีจะเริ่มจับตัว ซึ่งเวลาดังกล่าวจะกำหนดโดยโรงงานที่ผลิต(ปกติ Pot life ของอิพอกซีจะมีค่าประมาณ 30 นาที) กรณีที่ส่วนผสมของอิพอกซีในการปิดทับหน้าหรือเป็นตัวยึดเหนี่ยวกับวัสดุอื่น ไม่ควรทำการผสมมากๆ จะทำให้ปฏิกิริยาคายความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการแข็งตัวเร็วกว่าปกติ กรณีที่การผสมองค์ประกอบอิพอกซีระหว่างเรซิน(Part A) และน้ำยาแข็ง(Part B) มีสีตัดกัน ช่วยให้การกำหนดเวลาการผสม โดยผสมจนกว่าได้สีที่กลมกลืนเป็นสีเดียวกันตลอด ถ้าหากส่วนผสมมีสีที่ไม่ตัดกันมาก

2.1.6 การแข็งตัวของสารประกอบอิพอกซีเรซิน

ทันทีที่ส่วนผสมของเรซินและน้ำยาแข็ง(Hardener) ผสมเข้าด้วยกันปฏิกิริยาการแข็งตัวจะเริ่มขึ้น และในระหว่างการแข็งตัวความร้อนจะเกิดขึ้นด้วย และเกิดขึ้นในถังผสมมากกว่าในการฉีด เพื่อกันไม่ให้เกิดการแข็งตัวในถังผสมก่อนที่จะต้องการใช้งาน ควรจะมีวิธีการผสมและการใช้งานที่ประสานกันอย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าส่วนผสมนั้นจำกัดอยู่ในภาชนะที่บรรจุความร้อนไม่สามารถกระจายออกได้ และเมื่อความร้อนเพิ่มจะเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น การใช้ภาชนะดินๆ เช่น ถังเปด จะแก้ไขได้

การเปลี่ยนแปลงอัตราการแข็งตัว ทันทีที่ราดส่วนผสมของอิพอกซีแล้ว ส่วนผสมของอิพอกซีจะได้รับความร้อนจากพื้นผิวนั้น ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิของผิวจะต้อง

ได้รับการตรวจสอบก่อน ถ้าหากอุณหภูมิมีน้อยกว่า 21°C การแข็งตัวจะเกิดขึ้นช้า ดังนั้น หากต้องการใช้แข็งตัวเร็ว พื้นผิวจะต้องมีความร้อนพอเหมาะ

วิธีการเร่งอัตราการแข็งตัวสามารถทำได้โดย

1. ใช้สารเร่งการแข็งตัว(ถ้ามี)
2. ใช้เครื่องมือทำความร้อนแบบอินฟราเรด(Infrared)
3. ใช้เต็นท์ผ้าใบและเครื่องทำความร้อน
4. ใช้เปลวไฟผ่านความร้อนด้วยผิวโลหะ(การใช้วิธีนี้ควรระวังเรื่อง สถานที่และวิธีการ)
5. การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือเครื่องทำความร้อนอื่นๆเพื่อช่วยในการแข็งตัวของสารประกอบอีพอกซีเรซิน

การลดอัตราการแข็งตัว อาจทำได้โดย

1. การลดอุณหภูมิของระบบการผสม
2. กระจายส่วนผสมออกเป็นแผ่นบางๆ

ถ้าอัตราการแข็งตัวช้ากว่าที่คิดไว้ และความร้อนในการผสมเพิ่มขึ้น จะรักษาอุณหภูมิของระบบการผสมได้โดยวิธีตามข้อ 2 อย่างไรก็ตาม จะใช้ไม่ได้ผลเมื่ออีพอกซีเรซินเริ่มแข็งตัวแล้ว

2.1.7 การใช้ที่ปลอดภัยของอีพอกซีเรซิน

การใช้สารอีพอกซีที่ปลอดภัย จะทำได้โดย

1. ทำงานในที่บริเวณอากาศถ่ายเทดีและเช่นเดียวกับสารเคมี โดยทั่วไป จะต้องเก็บรักษาให้อยู่ต่ำกว่าระดับสายตา
2. เตรียมอุปกรณ์ที่สามารถจะใช้งานได้เมื่อต้องการ เช่น ชุดถุงมือ รองเท้า สำหรับถุงมือพลาสติกหรือถุงมือยางจะสามารถนำมาใช้ได้ดี เนื่องจากทำความสะอาดได้ หากใช้ถุงมือฝ้ายไม่ควรนำมาใช้อีก เพราะอาจมีการเปื้อนอีพอกซีเรซิน
3. ระวังความสะอาดและป้องกันร่างกายของตนเอง จำเป็นต้องใช้แว่นตา(Goggle) เมื่อเวลาใช้ผสมอีพอกซีเรซินหรือกรดต่างๆ ต้อง

หลีกเลี่ยงนิสัยต่างๆ เช่น การเกาหน้า หรือการปรับแว่น และจะรับประทานอาหารหรือสูบบุหรี่ก็ต่อเมื่อได้ชำระร่างกายเรียบร้อยแล้ว หากสวมถุงมือเป็นอีพอกซีต้องระวังไม่จับถูกบิดประตุ เพราะอาจเป็นอันตรายต่อผู้เป็คประตุที่ไม่ได้สวมถุงมือได้

ในกรณีที่มีการสัมผัสโดยตรงกับอีพอกซีเรซิน จะมีแนวปฏิบัติดังนี้ คือ

1. เสื้อผ้า ให้เปลี่ยนเสื้อผ้าใหม่ทันที ไม่ควรใช้ชุดที่เป็อนแล้ว ซึ่งยังซักออกไม่หมด
2. ทางร่างกาย ให้อาบน้ำทันทีด้วยน้ำและสบู่ เพื่อกำจัดอีพอกซีออกให้หมด
3. ทางตา ให้ล้างออกด้วยน้ำหลายๆครั้งแล้วให้แพทย์ตรวจอีกครั้งหนึ่ง
4. อื่นๆ ให้ใช้สบู่และน้ำเหมือนสารละลายที่ใช้ชะล้างได้ ส่วนตัวทำละลาย(Solvent) หลายชนิดจะทำให้สารอีพอกซีเจือจางเท่านั้น ซึ่งสามารถซึมเข้าในร่างกายได้และ ทำให้ผิวหนังแห้งก่อให้เกิดอันตรายได้ง่าย

การให้ความรู้ในเรื่องการใช้สารประกอบอีพอกซีแก่คนงานเป็นสิ่งสำคัญมากและเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องให้คนงานและผู้เกี่ยวข้อง รวมทั้งเครื่องมือต่างๆ สะอาดอยู่เสมอ หากใช้สารประกอบอีพอกซีอย่างถูกต้องก็จะช่วยลดอันตรายที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะไม่เป็นอันตรายเลยถ้ามีวิธีการที่ถูกต้องสมบูรณ์

2.2 หลักการและทฤษฎีของสารเติม

2.2.1 สารเติม

สารเติม คืออนุภาคของแข็งที่ไม่เพิ่มความแข็งแรงทางกลให้กับเมตริกซ์โพลีเมอร์ โดยปกติสารเติมที่มีราคาถูกจะเรียกเป็น สารเพิ่มเนื้อ(Extender fillers) ส่วนวัสดุประเภทเส้นใยที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงทางกลได้เรียกว่า สารเสริมแรง โดยที่การเสริมแรงในพลาสติกนิยมเรียกว่า คอมโพสิท สำหรับสารเติมประเภทเส้นใยในกระบวนการหลอมเหลวที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย เรียกว่า สารเติมเสริมแรง หรือ แร่ธาตุเสริมแรง นอกจากผลที่มีต่อสมบัติความแข็งแรงแล้วสารเติมและ

เส้นใยหลายชนิดมีส่วนช่วยทำให้สมบัติเฉพาะอื่น ๆ คิซึนเรียกสารปรับแต่งชนิดนี้ว่า สารเติมเฉพาะหน้าที่หรือสารเติมชนิดพิเศษ

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1900(พ.ศ.2443) ผงคาร์บอนจัดเป็นสารเติมเสริมแรงในยาง นอกจากนี้มีการนำแคลเซียมคาร์บอเนต ดินเหนียว แร่หินทนไฟ และสารเติมอื่นๆ ไปใช้ในพีวีซีชนิดปรับสภาพพลาสติก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 และต่อมาได้มีการพัฒนามาใช้ในพลาสติกอื่นๆ

ในปีค.ศ. 1908 แบคเคล้นได้ใช้ผงไม้เสริมแรงเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง ความทนทานต่อแรงกระแทก และเสถียรภาพในด้านขนาดของฟีนอลิก ต่อมามีการใช้กระดาษ ย้อม และเศษผ้าตัด เพื่อทำให้เกิดความทนทานต่อแรงกระแทกและการเสริมแรงสูงขึ้น โดยนำมาใช้กับยูเรียเรซินและเมลามีน

ในปีค.ศ. 1940 ได้นำเศษผ้าแก้วชนิดดัก มาใช้เสริมแรงโพลีเอสเตอร์ชนิดไม่ อิ่มตัวเพื่อทำให้เกิดความทนทานต่อแรงกระแทกคิซึน แต่ค่าใช้จ่ายในกระบวนการ ก่อนข้างสูงต่อมาได้มีการปรับปรุงกระบวนการ โดยพัฒนาเป็นการปั่นเส้นใยแบบอัตโนมัติ และใช้เส้นใยแก้วตัดชนิดสั้นในสารประกอบอัดแบบโดยมวล และสารประกอบอัดแบบ แผ่นรีท ต่อมาได้ใช้เป็นสารเสริมแรงกับอีพอกซีเรซิน

ในปีค.ศ. 1954 ไฟเบอร์ฟิลใช้เส้นใยแก้วตัดชนิดสั้นเติมลงในโพลีสไตรีน ในลอน และเทอร์โมพลาสติกอื่นๆ

ในส่วนของทฤษฎีทางด้านคอมโพสิท ได้รับการพัฒนารั้งแรกในด้านวัสดุ ศาสตร์และวิศวกรรมเครื่องกล และได้้นำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้กับพลาสติกทำให้เกิด พื้นฐานความเข้าใจในเรื่องของโครงสร้างและกระบวนการ ได้คิซึน

2.2.2 ลักษณะทั่วไปของสารเติมและสารเสริมแรง

วัสดุประเภทพลาสติกที่นำมาใช้แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดโดยสารเติมได้แตกต่างกัน กล่าวคือ

1. พลาสติกเพื่อการอุปโภค(Commodity plastics) ได้แก่ การใช้แป้ง ทาลคัมเป็นสารเติมในโพลีโพรพิลีน และการใช้แร่หินทนไฟเป็น สารเติมผสมลงในโพลีเมอร์ร่วมระหว่างโพลีไวนิลคลอไรด์ และไวนิลเอซีเตท เป็นต้น

2. พลาสติกทางวิศวกรรม(Engineering plastics) ได้แก่ การใช้เส้นใยแก้วผสมกับโพลีคาร์บอเนต หรือ การใช้เศษผ้าผสมกับฟีนอลิก เป็นต้น
3. พลาสติกชนิดพิเศษ(Specialty plastics) ได้แก่ การเติมกราไฟท์ลงในอีพอกซีพริเพอริกซ์ เป็นต้น

ส่วนสารเติมที่ใช้แบ่งออกเป็น

1. สารเติมเพิ่มเนื้อ(Extender filler) จัดเป็นสารเติมที่มีอนุภาคละเอียด ใช้เติมเป็นสารหลักในพลาสติกเพื่อลดค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นสารประกอบ เช่น การใช้ผงไม้ในการอัดแบบสารประกอบประเภทฟีนอลิก หรือ โนโวแลค เป็นต้น
2. สารเติมตามหน้าที่(Functional filler) จัดเป็นสารเติมที่มีราคาถูก ช่วยส่งเสริม หรือสนับสนุนสมบัติตามหน้าที่ตั้งแต่หนึ่งหน้าที่ขึ้นไป ได้แก่ สารเติมแข็งทาลคัม หรือ ไม้ก้าในโพลีโพรพิลีน และ สารเติมวอลลาสโตไนท์ในไนลอน เป็นต้น
3. สารเติมเสริมแรง(Reinforcing filler) จัดเป็นสารปรับแต่งที่แตกต่างไปจากสารเติมเพิ่มเนื้อและสารเติมตามหน้าที่ ในเรื่องของขนาดอนุภาค(มีขนาดใหญ่กว่า) วัตถุประสงค์ช่วยเพิ่มสมบัติของโพลิเมอร์ ตั้งแต่ 1 สมบัติขึ้นไป(โดยขึ้นอยู่กับราคา) และราคา(ราคาจะแพงกว่าตัวโพลิเมอร์หลักที่ใช้) เช่น เส้นใยกราไฟท์ในพริเพอริกซ์อีพอกซี และเส้นใยเหล็กไรสนิม และเส้นใยไบรอนในพริเพอริกซ์ อีพอกซี เป็นต้น

ลักษณะของสารเติมและสารเสริมแรงในอุดมคติพบว่า ไม่มีสารเติมใดสารเติมหนึ่งที่จะใช้ได้ทุกความต้องการ และไม่มีสารเติมใดที่จะใช้ได้ทุกงาน แม้ว่าเส้นใยแก้วจะนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางก็ตาม ในทางอุดมคติพบว่า สารเติมและสารเสริมแรงควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ราคาถูก
2. ความถ่วงจำเพาะต่ำ
3. มีเสถียรภาพทางความร้อน
4. หาได้ง่าย

5. สามารถจัดการและร่วมผสมได้ดี
6. มีความเป็นกลางในทางเคมี
7. การดูดซับความชื้นต่ำ
8. ทำให้เข้ากันได้ง่ายโดยใช้สารช่วยประสานโพลีเมอร์
9. ช่วยในกระบวนการได้ดี

พบว่าผงถ่าน จัดเป็นสารเติมที่สามารถทำได้หลายหน้าที่ ได้แก่ ใช้เป็นสารให้สี สารป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ สารป้องกันการเกิดออกซิเดชันทางความร้อน สารเสริมแรง สารป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต และสารช่วยในการนำไฟฟ้า เป็นต้น อย่างไรก็ตามจะลดความสามารถทางกระบวนการของโพลีเมอร์และเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานนั้นเปราะ

2.2.3 ทฤษฎีและสมบัติทั่วไป

2.2.3.1 รูปทรงเรขาคณิตของการอัดตัว(Packing geometry)

บ่งบอกปริมาณสารเติมหรือเส้นใยที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของโพลีเมอร์ และผลที่จะเกิดขึ้นต่อสมบัติต่างๆ ตัวอย่างเช่น การอัดตัวแบบลูกบาศก์ในทรงกลมมีได้ถึง 52%โดยปริมาตร การอัดตัวแบบสุ่มมี 60-64%โดยปริมาตร การอัดตัวแบบหกเหลี่ยม หรือศูนย์กลางมี 74%โดยปริมาตร และแบบผสมระหว่างทรงกลมเล็กและทรงกลมใหญ่มีสูงถึง 85% โดยปริมาตร เส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวแบบสุ่มมีได้ 52 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร การอัดตัวแบบลูกบาศก์ขนานเป็น 79%โดยปริมาตร การอัดตัวแบบสุ่มขนานเป็น 85 %โดยปริมาตร และการอัดตัวแบบหกเหลี่ยมขนานเป็น 91%โดยปริมาตร สำหรับไฟเบอร์ชนิดสั้น การจัดเรียงตัวแบบสุ่มจะมีการอัดตัวเป็นสัดส่วนกลับกับอัตราส่วน L/D ของส่วนผสมระหว่างอนุภาคและเส้นใยชนิดสั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดสัมพัทธ์และอัตราส่วน L/D การคำนวณเหล่านี้ขึ้นอยู่กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และยืนยันได้ด้วยการทดลอง

2.2.3.2 กระบวนการ(Processing)

กระบวนการของโพลีเมอร์หลอมเหลวที่มีสารเติมและสารเสริมแรงจะทำให้ได้ยากกว่าโพลีเมอร์หลอมเหลวบริสุทธิ์ การทำให้สารเติมและเส้นใยเต็มไปด้วยโพลีเมอร์หลอมเหลวและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทำได้ยาก เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความมีขี้้ว และพลังงานพื้นผิว แต่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยการใช้สารคู่ควบระหว่างผิว โดยที่การผสมเป็นฟังก์ชันกับความหนืด ความเฉือน และเวลา ทั้งนี้ความหนืดของหลอมเหลวขึ้นอยู่กับปริมาณที่เพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาค อัตราส่วน L/D อุณหภูมิ อัตราความเฉือน และเวลาการตีกร่อนของเครื่องจักรเป็นผลมาจากความแข็งแรงอนุภาครวมกับความหนืดของหลอมเหลว และอาจจะลดลงได้ด้วยการใช้สารคู่ควบ การไหลที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยระหว่างกระบวนการขึ้นอยู่กับอัตราส่วน L/D อัตราความเฉือน และ ความปั่นป่วนจัดเป็นการหาปริมาณของสมบัติที่เปลี่ยนไปตามทิศทางของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.2.3.3 แบบจำลองทางกล(Mechanical models)

นักวิศวกรรมทางฟิสิกส์ได้นำแบบจำลองทางกลมาใช้ในการวิเคราะห์สมบัติคอมโพสิตในทางคณิตศาสตร์ เมื่อเส้นใยที่ขนานกันมีความยาวอยู่เต็มสารตัวอย่าง โดยที่สมบัติตามแนวแกนเป็นสัดส่วนโดยปริมาตรกับโพลีเมอร์ และเส้นใย เส้นใยชนิดสั้นที่ขนานกัน มีปัญหาในเรื่องของการถ่ายโอนความเค้นระหว่างโพลีเมอร์กับเส้นใย สนามแรงจากสารเติมและอนุภาคเส้นใยสามารถขยายไปยังเมตริกซ์ของโพลีเมอร์ ทั้งนี้ความเข้มของความเค้น และสนามแรงขึ้นอยู่กับรูปร่างของอนุภาค เช่น เป็นทรงกลม เป็นมุมและขอบแหลม และปลายสุดของเส้นใยเสริมด้วยแรงเค้น ในทางปฏิบัติส่วนมากอาจจะเอียงลาดหรือ ขวางทางอยู่ในเส้นใยทำให้เกิดความซับซ้อนมากขึ้น การเสริมแรงด้วยผ้าถักทำให้เกิดความซับซ้อนระหว่างเส้นใยได้ดีพอๆ กับระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์

2.2.3.4 สารคู่ควบ(Coupling agent)

ใช้เพื่อปรับปรุงการถ่ายโอนความเค้นข้ามผิวระหว่างโพลีเมอร์กับสารเติมหรือเส้นใย

2.2.3.5 มอดูลัสความแข็งแรง(Modulus of rigidity)

สารเติมจะเพิ่มความแข็งแรงอย่างมาก และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เส้นใยในทิศทางตามแนวแกน เนื่องจากสารเติมและเส้นใยส่วนมากเป็นวัสดุประเภทอนินทรีย์ที่มีความแข็งแรงสูง โมเลกุลของโพลีเมอร์ที่ต่ออยู่กับสารเติมและเส้นใยจะสูญเสียส่วนของการเคลื่อนที่ ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านการหมุน โดยใช้สนามแรงจากสารเติมและเส้นใยที่เข้าไปยังเมตริกซ์ของโพลีเมอร์วิเคราะห์หามอดูลัสของเมตริกซ์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนแนววิเคราะห์อื่น ๆ มีพื้นฐานมากจากทฤษฎีรีโอโลยี และด้วยแบบจำลองต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการนำเสนอในทางคณิตศาสตร์และรูปภาพแตกต่างกันออกไป การศึกษาโดยอ้อมโดยการทดลองจะอยู่ระหว่างทฤษฎีที่แตกต่างเหล่านี้และอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีที่ใกล้เคียงพฤติกรรมจริง

2.2.3.6 ความแข็งแรง(Strength)

ความแข็งแรงทำได้ยากมากถ้าจะวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีแบบจำลอง เนื่องจากในทางคณิตศาสตร์มีความเสี่ยงมากกว่าจึงจำเป็นต้องใช้สมมติฐานแบบง่ายแต่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนออกจากความเป็นจริง ในทางปฏิบัติจุดแรกของการคำนวณสามารถเริ่มด้วยสัดส่วนโดยปริมาตรของโพลีเมอร์และเส้นใยการถ่ายโอนความเค้นระหว่างทั้งสองไม่ดี แต่ปรับปรุงได้โดยใช้สารคู่ควบ นักวิเคราะห์บางคนคำนวณสนามแรงจากเส้นใยที่อยู่ในโพลีเมอร์ ความเข้มของความเค้นถูกสมมติอยู่ที่ปลายสุดของเส้นใยตรงขอบ และมุมของอนุภาคและอยู่รอบแกนของ

อนุภาคทรงกลม ด้วยเหตุนี้จึงไม่ต้องสงสัยเลยว่าเส้นใยที่ยาวทำให้เกิดความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น การใช้เส้นใยสั้นในกระบวนการหลอมเหลวยังคงทำให้ความแข็งแรงเพิ่ม ส่วนการปรับปรุงให้ดีขึ้นอยู่กับโพลิเมอร์ สารคู่ควบ และอัตราส่วนระหว่าง L/D(ภายหลังกระบวนการ) การแตกหักของความยาวเส้นใยในระหว่างกระบวนการ และทิศทางการจัดเรียงตัวของการไหล เป็นต้น อนุภาคโดยทั่วไป ความแข็งแรงจะลดลงขึ้นอยู่กับความเข้มของความเค้น สารคู่ควบ และรูปร่างทรงกลม

2.2.3.7 ความทนทานต่อแรงกระแทก(Impact strength)

จัดเป็นสถานะที่รวมความเป็นวิสโคอิลาสติก และกลศาสตร์การแตกหักไว้ด้วยกัน การใช้แบบจำลองและคณิตศาสตร์มาใช้จึงค่อนข้างเสี่ยง ไม่ต้องสงสัยเลยว่าเส้นใยยาวจะเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกได้มาก เส้นใยสั้นอาจจะช่วยเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโพลิเมอร์ อัตราส่วน L/D สารคู่ควบและอื่นๆ อีกมากมาย ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในช่วงที่สถานะอ่อนที่สุดจนถึงการปรับปรุงได้ดีที่สุดแต่ในบางครั้งอาจเปราะเลยก็ได้ อนุภาคโดยทั่วไปจะลดความทนทานต่อแรงกระแทก การใช้สารคู่ควบ และอื่นๆ อาจช่วยลดการสูญเสีย และบางชนิดอาจเพิ่มแรงกระแทกได้ด้วย

2.2.3.8 ความทนทานต่อการคืบ(Creep resistance)

โดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารเติมโดยเฉพาะสารเสริมแรง การอธิบายในทางทฤษฎีใกล้เคียงกับความเป็นวิสโคอิลาสติก และมอดูลัส ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในทางปฏิบัติสิ่งนี้ทำให้พลาสติกมีลักษณะการใช้งานเข้าใกล้โลหะและเซรามิก แต่ยังคงต้องการการออกแบบที่สมบูรณ์ต่อไป

2.2.3.9 ความเสถียรภาพในเรื่องขนาด(Dimensional stability)

เป็นปัจจัยหนึ่งกับการขยายตัวทางความร้อนและการหดตัว สารเติมทางอนินทรีย์ และเส้นใยเกิดการขยายตัว และหดตัวน้อยกว่าโพลีเมอร์อินทรีย์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง การเติมสารเหล่านี้ลงในพลาสติกจะช่วยปรับปรุงเสถียรภาพในเรื่องขนาดของพลาสติก โดยเป็นสัดส่วนอย่างง่าย ๆ กับปริมาณของสารเติม และโพลีเมอร์ ทั้งนี้เนื่องจากทั้งสารเติมและเส้นใยแต่ละชนิดมีผลน้อย และแตกต่างกัน ทฤษฎีในทางคณิตศาสตร์จะยุ่งยากมากขึ้นทำให้ผลที่ได้เป็นแบบเลขยกกำลัง โดยเกี่ยวข้องกับอัตราส่วน L/D จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยแมสซาชูเซตส์ โกลเวลล์ แสดงให้เห็นว่าความสามารถของสารเติมประเภทอนินทรีย์ และเส้นใยจำกัดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลโพลีเมอร์ ซึ่งอธิบายได้จากการเสริมแรงให้มีความแข็งแรง และการลดลงของสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ด้วยเหตุนี้การเสริมแรงด้วยเส้นใยจึงมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการปรับปรุงคุณสมบัติทั้งสอง ทำให้ต้องมีการปรับปรุงการออกแบบวิศวกรรม โดยเฉพาะเมื่อใช้โลหะและเซรามิค

2.2.3.10 อุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อน (Heat distortion or deflection

temperature, HDT or deflection temperature under load, DTUL)

อุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อนของโพลีเมอร์มาตรฐานเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเติมสารเติมและสารเสริมแรง อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว และอุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อน ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของอะตอม 5 ส่วน ในสายโซ่โพลีเมอร์ โดยที่สารเติมและเส้นใยมีผลน้อยมากต่อการเคลื่อนที่จากการทดสอบหลายวิธี พบว่าทิศทางการวางกับแกนของเส้นใยให้ผลน้อยที่สุดเมื่อใช้สารปรับแต่ง ในขณะที่พลาสติกประเภทผลึก แสดงการเพิ่มของอุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อน เมื่อเติมสารเสริมแรงประเภทเส้นใย ซึ่งโดยปกติประมาณ 100°C อธิบายได้ว่า

1. เส้นใยทั้งหมดไปอยู่ในวัฏภาคอสังฐานทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้น จึงมีผลทำให้ขยายได้มากขึ้น
2. การเติมเส้นใยทำให้เส้นกราฟระหว่างมอดูลัสที่แข็งแกร่งกับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งมีผลทำให้พลาสติกที่อยู่ต่ำกว่ามอดูลัสวิกฤตของ อุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อนสูงขึ้นมาเล็กน้อย ทั้งนี้ในทางปฏิบัติ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของลูกค้า และการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมของ ลักษณะผลิตภัณฑ์สุดท้ายอย่างระมัดระวัง

2.2.3.11 การบวม(Swelling)

การบวมได้ในน้ำและตัวทำละลายสามารถลดลงโดยเติมสารเติมและสาร เสริมแรง โดยเฉพาะเมื่อใช้เส้นใย เนื่องจากสารทั้งสองจำกัดการเคลื่อนที่ของ โมเลกุล และการขยายตัวโดยปริมาตรที่ต้องการทำให้มีพื้นที่สำหรับการดูดกลืน โมเลกุลของของเหลว จึงช่วยปรับปรุงในเรื่องความต้านทานต่อสารเคมี

2.2.3.12 ค่าใช้จ่าย(Cost)

ค่าใช้จ่ายของสารเติมเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาเป็นอย่างมากในเรื่องของการ เลือกใช้ประโยชน์สารเติมที่มีค่าใช้จ่ายต่ำจะลดค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำหนักของ วัสดุได้เด่นชัด เนื่องจากสารเติมส่วนมาก มีความหนาแน่นสูง ผลประโยชน์ ในเรื่องค่าใช้จ่ายต่อหน่วยปริมาตรจึงน้อยกว่าและอาจทำให้เกิดผลเสียได้ ยิ่งไป กว่านั้นสารเติมต้องการขั้นตอนการผสมพิเศษ และทำให้กระบวนการทำได้ยาก มาก ทั้งสองสิ่งนี้ทำให้ค่าใช้จ่ายในตอนสุดท้ายเพิ่มขึ้น ถ้าสารเติมไปลดสมบัติ ต่างๆ ลง นักออกแบบจะต้องทำผลิตภัณฑ์ให้หนาขึ้น ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายสูงไป ด้วย หรือนักทำสารประกอบจะต้องยอมรับราคาที่ต่ำสำหรับโพลิเมอร์ที่มีสารเติม ในบางครั้งโพลิเมอร์มีไม่พอเพียง การใช้สารเติมจึงช่วยลดช่องว่างนี้ลง โดยทั่วไปสารเติมควรจะมีการปรับปรุงสมบัติทางเทคนิคให้ดีขึ้น และถ้าสามารถ ปรับปรุงในเรื่องของเศรษฐศาสตร์ได้ก็เป็นโบนัสขั้นที่สอง ทั้งนี้สารเติมและเส้น

โดยเฉพาะ สามารถจัดเตรียมเพื่อให้เหมาะกับหน้าที่เฉพาะที่ต้องการ โดยอาจมีการใช้ปริมาณมากหรือน้อยได้ตามความเหมาะสม

2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายประยุทธ์ สมนานรัตนเสถียร, นายนักรบ เรืองงาน และนายณัฐพงศ์ สมพงษ์ (พ.ศ. 2542) จากปัญหารอยแตกร้าวในคอนกรีตจำเป็นต้องทำการซ่อมแซมเพื่อยับยั้งการขยายตัวของรอยร้าวซึ่งจะทำให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างนั้น อีพอกซีเรซิน(Epoxy resin) เป็นวัสดุประสานชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการซ่อมแซมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องด้วยคุณสมบัติของอีพอกซีที่มีความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการยึดเกาะวัสดุต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื้อหาในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเบื้องต้นของอีพอกซี ขั้นตอนวิธีการใช้อีพอกซีในงานซ่อมแซมคอนกรีตทั่วไป อันได้แก่ การใช้อีพอกซีฮาร์ดเนอร์ในการอุดรอยร้าว การใช้อีพอกซีเป็นตัวประสานโดยอัดความดัน

อีกส่วนของวิทยานิพนธ์จะเป็นการสำรวจความแพร่หลายของการใช้อีพอกซีในปัจจุบัน ซึ่งจากการสำรวจพบว่ากว่า 80% ของวิศวกรที่ทำการสำรวจเคยใช้อีพอกซีมาก่อน แสดงให้เห็นว่าอีพอกซีได้ถูกนำมาใช้ในงานซ่อมแซมคอนกรีต และในงานอื่นๆ อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ได้ทำการสอบถามความคิดเห็นของผู้ที่เคยใช้อีพอกซีต่อความพอใจในคุณสมบัติ ราคา แนวโน้มการนำอีพอกซีไปใช้งาน และข้อเสนอต่างๆ ที่เกี่ยวกับอีพอกซี พบว่าคุณสมบัติของอีพอกซีเป็นที่พึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีแต่ราคาค่อนข้างสูง โดยมีความเห็นว่าจะมีแนวโน้มในการนำอีพอกซีมาใช้งานมากขึ้นในอนาคต

นางสาวดวงสุภา ธีรอนันต์(พ.ศ.2539) เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของโพลีโพรพิลีนโคโพลีเมอร์ที่ถูกเติมด้วยสารก่อตัวคริสไตน์ โดยโพลีโพรพิลีนโคโพลีเมอร์ที่ใช้ ในการศึกษาครั้งนี้คือ แรนคัมโคโพลีเมอร์ และบล็อกโคโพลีเมอร์ และเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ 3 ประเภท อันได้แก่ ประเภท Mineral, Organic base ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของซอบิทอล(Sorbital) และ Organic Metallic ในอัตราผสมตั้งแต่ 0.13-0.31% และได้วิเคราะห์ทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DSC ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาของความเป็นผลึกของโพลีโพรพิลีนโคโพลีเมอร์ทั้งสองประเภทเพิ่มขึ้น จากการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ ความต้านทานแรงกระแทก ความต้านทานแรงดึง ความแข็ง อุณหภูมิการบิดเบี่ยวด้วยความร้อน ความทนต่อการบิด และโมดูลัสของการบิด มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน และประเภทของสารก่อตัวคริสตัลไลน์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สำหรับแรนคัมโคโพลีเมอร์ คือ Organic base ที่อัตราผสม 0.25% และบล็อกโคโพลีเมอร์ คือ Organic Metallic ที่อัตราผสม 0.15%