

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีทางด้านคอนกรีตก็มีการพัฒนาขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ส่วนหนึ่งของการพัฒนาของคอนกรีตได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมาตลอด เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุเปราะที่มีคุณสมบัติด้อยทางด้านกำลังรับแรงดึง การพัฒนาของคอนกรีตจึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาำลังรับแรงดึงของคอนกรีตและความเหนียวของคอนกรีต โดยพัฒนาคุณสมบัติดังกล่าวได้มีการวิจัยคอนกรีตเสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete) ซึ่งจะใช้เศษวัสดุชิ้นเล็กๆ ผสมลงไปในคอนกรีต เพื่อให้เศษวัสดุเหล่านี้เพิ่มความเหนียวแก่คอนกรีต ในงานวิจัยหลายงาน แสดงว่าการเสริมเส้นใยในคอนกรีตไม่เพียงแต่ทำให้คอนกรีตมีความเหนียวเพิ่มขึ้นและกำลังรับแรงดึงดีขึ้นเท่านั้น หากแต่ยังทำให้คุณสมบัติด้านอื่นๆ ของคอนกรีตดีขึ้นด้วย

หากเรานำพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นของเหลวและแข็งตัวเมื่อเติมสารเร่งปฏิกิริยา มีสภาพทนต่อการแปรรูปด้วยความร้อน ทนต่อแรงดึง แรงกระแทก ผิวแข็ง และไม่มีแนวโน้มของการสึกกร่อน มาผสมในคอนกรีต จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลของคอนกรีต อันจะได้เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าและทำการทดลองต่อไป

1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการดำรงชีวิตของมนุษย์เราจะพบว่าพลาสติกเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษที่โดดเด่นกว่าวัสดุอื่น ๆ และสามารถนำไปใช้ทดแทนวัสดุอื่น ๆ ได้มากมาย โดยเฉพาะคุณสมบัติในด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ทนต่อกรด ต่างและสารเคมี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา ไม่แตกหักง่ายและมีราคาที่ไม่สูงจนเกินไปเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สินค้าที่ผลิตจากพลาสติกถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน เทเรพทาเลท (Polyethylene terephthalate) หรือ พีอีที (PET) ได้รับความนิยมนอย่าง

มากในการนำมาผลิตเป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เรียกว่า ขวดเพท เช่นขวดบรรจุน้ำดื่ม น้ำแร่ น้ำมันพืช เครื่องดื่มซอฟต์ดริงก์ (Carbonated soft Drink Containers) ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ขวด PET ที่บรรจุเครื่องดื่มขนาด 2 ลิตรจะมีน้ำหนักเบากว่าขวดแก้วถึง 24% นอกจากนี้ยังนำมาผลิตเป็นฟิล์มสำหรับบรรจุกลุ่มอาหาร เส้นใยสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีปริมาณการผลิตและการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ในขณะนี้ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจอย่างมากต่อขยะที่เป็นของแข็ง (Solid Waste) นักสิ่งแวดล้อมเริ่มรณรงค์ให้รักษาสภาพแวดล้อม โดยหวังให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบ โดยเฉพาะสหรัฐอเมริกาและประเทศในแถบยุโรปที่มีการใช้พลาสติกมาก รวมถึงภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติก ดังนั้นอุตสาหกรรมพลาสติกทั่วโลกจึงพยายามนำพลาสติกที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่ หรือนำไปแปรสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ที่เรียกว่า รีไซเคิล (Recycle) ปัจจุบันนำพลาสติก รีไซเคิลมาใช้เริ่มแพร่หลายอย่างกว้างขวาง

ปี 1992 Rebeiz K.S. และคณะ (9) ได้ศึกษาการนำขวดเครื่องดื่มที่ทำจากพลาสติก PET กลับมาใช้ใหม่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นพวกพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัว สามารถนำเรซินมาผสมกับสารอนินทรีย์ เพื่อทำเป็น Polymer concrete (PC) และ Polymer merlar (PM) PC และ PM เป็นวัสดุวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง ซึ่งการนำ PET กลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดค่าใช้จ่าย ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และประหยัดพลังงานด้วย

การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete) มักมุ่งเน้นไปที่กำลังรับแรงดึงและกำลังรับแรงดัด เนื่องจากเป็นคุณลักษณะเด่นที่แตกต่างจากคอนกรีตปกติ (Plain Concrete) ซึ่งจากผลการศึกษาการใช้คอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete) ในงานทางของมหาวิทยาลัยลงจี้ ประเทศจีน (7) แสดงว่ากำลังของคอนกรีตผสมเส้นใย (Fiber Reinforced Concrete) ขึ้นอยู่กับ ปริมาณของเส้นใย การใช้สารผสมเพิ่ม และอายุของคอนกรีต

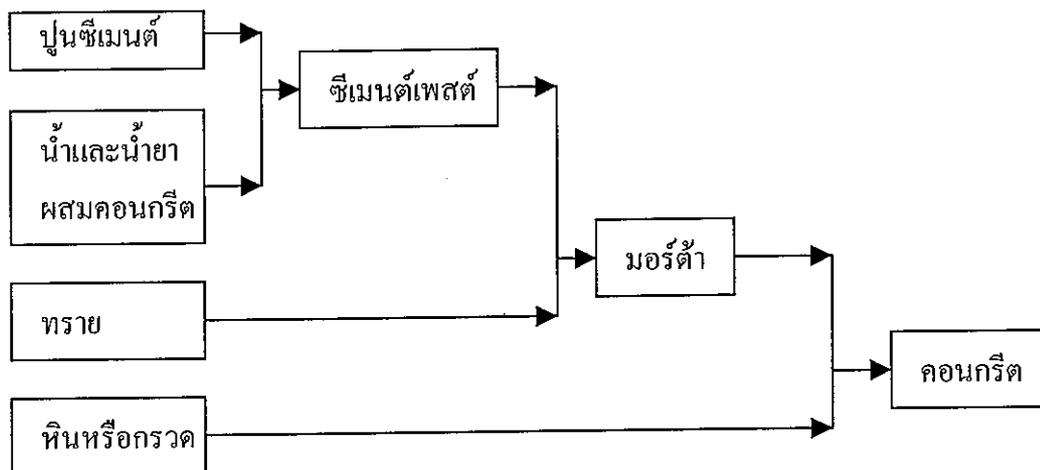
นอกจากด้านกำลังรับแรงดึงและกำลังรับแรงดัดแล้ว เส้นใยยังมีผลต่อคุณสมบัติด้านอื่นๆ อีกด้วย เช่น ส่งผลให้ค่าการยุบตัวลดลง ความเหนียวเพิ่มขึ้นมาก ส่วนกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (Untrauer. R. E. และ Works. R. E. 1965 (8)) กำลังด้านพลศาสตร์ (Dynamic Strength) เพิ่มขึ้นประมาณ 5-10 เท่า กำลังด้านความล้า (Fatigue Strength) ขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใย ส่วนความสามารถในการนำความร้อนนั้น ผลการทดลองของ Battelle Memorial Institute (8) แสดงให้เห็นว่า ความสามารถ

ในการนำความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการของ The United States Steel Corp. (8) แสดงว่าคอนกรีตผสมเส้นใย(Fiber Reinforced Concrete)มีสมบัติในการต้านทานแรงกัศกร่อนได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ 27% และส่งผลให้ความเสียหายที่ผิวคอนกรีตดีขึ้นด้วย

1.2 หลักการ ทฤษฎี และแนวความคิด

1.2.1 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาเป็นเวลาช้านาน เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วนคือ วัสดุประสานอันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสม อันได้แก่ ทราย หินหรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการหลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตคอนกรีต

1.3 หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสม

1.3.1 ซีเมนต์เพสต์

หน้าที่ของซีเมนต์เพสต์

1. เสริมช่องว่างระหว่างมวล
2. หล่อลื่นคอนกรีตลักษณะเทหล่อ
3. ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับ

1. คุณภาพของปูนซีเมนต์
2. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์
3. ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชัน

1.3.2 มวลรวม

หน้าที่ของมวลรวม

1. เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์
2. ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

คุณสมบัติของมวลรวมที่สำคัญ

1. มีความแข็งแรง
2. การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ
3. คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี

1.3.3 น้ำ

หน้าที่หลักของน้ำสำหรับงานคอนกรีต มี 3 ประการ คือ

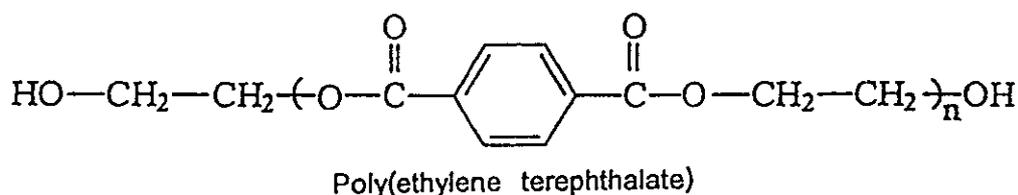
1. ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ
2. ใช้ผสมทำคอนกรีต
3. ใช้บ่มคอนกรีต

หน้าที่หลักของน้ำในฐานะที่ใช้ผสมทำคอนกรีตยังแบ่งได้อีก 3 ประการ

1. ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์
2. ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้
3. เคลือบหินทราย ให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

1.4 พอลิเอธิลีน เทเรพธาลเอท (Poly Ethylene Terephthalate)

PET เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีหมู่เอสเทอร์ และมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่เล็กน้อย โดยอาศัยที่หมู่สุดท้ายของสายโซ่โมเลกุลภายในโมเลกุล ซึ่งสามารถเขียนได้ ดังนี้



รูปที่ 1.2 สายโซ่โมเลกุลของพอลิเอธิลีน เทเรพธาลเอท (PET)

PET เป็นพลาสติกที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้งานครั้งแรกนานแล้ว คือ ตั้งแต่ ค.ศ. 1941 โดยบริษัท Colico Printers แห่งประเทศอังกฤษ โดยทำออกมาในรูปแบบเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งเรียกว่า พอลิเอสเทอร์ (Polyester) ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ สามารถนำไปทอเป็นผ้าร่วมกับฝ้ายจากธรรมชาติ และตัดเย็บเสื้อผ้าที่ดีกว่าเดิม เช่น ชักแล้วรีดง่าย หรือไม่ต้องรีด ไม่ยับง่ายหรือเปื้อนง่าย เป็นต้น

ต่อมา PET ถูกนำมาใช้งานในรูปแบบของการผลิตแผ่นฟิล์ม เทปบันทึกเสียงและวีดีโอ จนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 1966 บริษัท โกดัก จึงได้นำมาพัฒนาการนำ PET มาใช้งานขึ้นเป็นรูปขวดด้วยวิธีฉีดขึ้นรูปและการอัดรีด ทำให้ได้ขวดพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาเพียงหนึ่งในสิบของขวดแก้ว และมีความเหนียวแข็งแรงทนทานต่อการนำมาบรรจุน้ำอัดลม ซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผสมอยู่ได้อย่างปลอดภัยโดยไม่แตกร้าวหรือระเบิด

นอกจากนี้ สมบัติทางเคมีที่ปลอดภัย คือ ไม่ละลายออกมาปะปนอยู่ในอาหารหรือเครื่องดื่มที่บรรจุอยู่ และยังมีคุณสมบัติที่เป็นคุณสมบัติที่เด่นพิเศษอีกประการหนึ่งด้วย ดังนั้นการผลิตขวด PET เพื่ออุตสาหกรรมเครื่องดื่มจึงเจริญเติบโตขึ้นมาจากจำนวน 200 ล้านหน่วยในปี ค.ศ. 1977 เป็น 5,000 ล้านหน่วยในปี ค.ศ. 1985

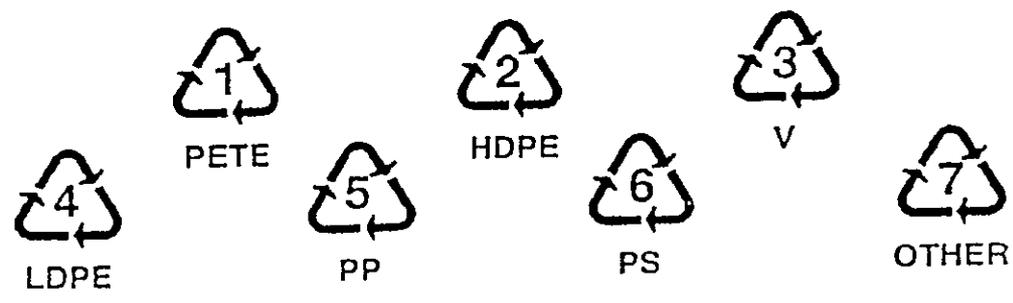
1.4.1 กระบวนการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของ PET

พอลิเมอร์ไรเซชันของ PET เป็นกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization) จะประกอบด้วยขั้นตอนปฏิกิริยาต่อไปนี้ คือ ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) และ พรีพอลิเมอร์ไรเซชัน (Prepolymerization) และขั้นตอนพอลิเมอร์ไรเซชันขั้นสุดท้าย (Finishing polymerization step) ในขั้นตอน ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) จะนำไดเมทิล เทเรพทาเลท (Dimethyl terephthalate , DMT) หรือ กรดเทเรพทาติก (Terephthalic acid , TPA) มาผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโดยมี บิสไฮดรอกซีเอทิล เทเรพทาเลท (Bishydroxyethyl terephthalate) ผสมกับ เกลืออะซิเตตของโลหะ (Metal acetate) ในตัวทำละลาย ซิมเมทรี เตตระคลอโร อีเทน โซลูชัน (Symmetry tetrachloro ethane solution) ($C_2H_2Cl_4$) ที่มี ไพริดีน (Pyridine) ผสมอยู่ จากนั้น DMT หรือ TPA และตัวเร่งปฏิกิริยาจะผสมกับ เอทิล ไกลคอล (Ethyl glycol , EG) โดย DMT และตัวเร่งปฏิกิริยาจะผสมกับ EG ในอัตราส่วน 1.70 – 2.0 : 1.0 โดยโมล แต่ถ้าเป็น TPA และตัวเร่งปฏิกิริยาจะผสมกับ EG ในอัตราส่วน 1.30 – 1.50 : 1.0 โดยโมล ซึ่งจะมีการเพิ่มอุณหภูมิ 160 – 180 °C เป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมง จากปฏิกิริยาข้างต้นถ้าใช้ DMT เป็นสารตั้งต้นจะเกิดเมธานอลเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง แต่ถ้าเป็น TPA จะให้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ซึ่งน้ำหรือเมธานอลนี้จะถูกแยกออกไป จากนั้นจะมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) หรือสารเพิ่มความเสถียร (Sabilizer) ขั้นตอนนี้จะมีการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันบางส่วนได้สาร เรียกว่า พรีพอลิเมอร์ (Prepolymer) พรีพอลิเมอร์จะถูกกรองและถ่ายเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (Reactor) เข้าสู่ขั้น พรีพอลิคอนเดนเซชัน (Prepolycondensation) ต่อไปโดยขั้นตอน พรีพอลิคอนเดนเซชัน Prepolycondensation จะทำภายใต้ สูญญากาศ (15 – 25 torr) และมีอุณหภูมิ 280 – 300 °C

เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene glycol) บางส่วนที่มากเกินไปจะถูกดูดออกไป ในขณะที่พรีพอลิเมอร์จะมีระดับพอลิเมอร์ไรเซชัน (Degree of polymerrization) ประมาณ 30 พรีพอลิเมอร์จะถูกพอลิเมอร์ไรซ์ภายในถังปฏิกรณ์นี้ประมาณ 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดระยะเวลาแล้วจะถูกถ่ายเข้าสู่ขั้นตอนพอลิเมอร์ไรเซชันขั้นสุดท้าย ภายใต้ สูญญากาศ (0.5 – 1.0 torr) ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงเรซินซึ่งจะต้องล้างและทำให้แห้งภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน โดยมีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ซึ่งจะอยู่ในช่วงระหว่าง 235 – 255 °C ขึ้นอยู่กับปริมาณ ไดเอทิลีน ไกลคอล (Diethylene glycol) ที่เหลือ โดยทั่วไปแล้วค่าความชื้นจะต้องน้อยกว่าร้อยละ 0.005 ถ้ากระบวนการมีความชื้นสูงจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของ PET ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลลดลง ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของ

PET ที่ได้ พงระชินที่ทำให้แห้งแล้วสามารถนำไปอัดรีด (extrusion) เป็นเส้น หรือ ทำเป็นแผ่นฟิล์มได้

ปัจจุบันนำพลาสติกรีไซเคิลมาใช้เริ่มแพร่หลายอย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงมีการนำรหัสมาใช้บนบรรจุภัณฑ์พลาสติกเพื่อความสะดวกในการแยกพลาสติกชนิดต่าง ๆ ออกจากกันดังแสดงในรูป



รูปที่ 1.3 แสดงสัญลักษณ์บนบรรจุภัณฑ์พลาสติกเพื่อแสดงชนิดของพลาสติกที่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

1.5 การนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่นั้นสามารถจำแนกออกเป็นวิธีใหญ่ ๆ ดังนี้

1.5.1 การรีไซเคิลขั้นปฐมภูมิ (Primary recycling)

การรีไซเคิลขั้นปฐมภูมิ เป็นการนำเอาผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่อีก โดยทำเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ ซึ่งยังคงมีคุณสมบัติเหมือนกับพลาสติกตั้งต้น ดังเช่นการผลิตขวดน้ำดื่มจาก PET ที่ได้จากการรีโพลีเมอร์ไรเซชัน ซึ่งให้มอนอเมอร์ที่ได้จากการย่อยสลาย PET ที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการเมทาโนไลซิส ซึ่งจะได้มอนอเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์เทียบเท่ากับมอนอเมอร์ ตั้งต้นเดิม ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเหมือนเดิม และสามารถนำผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ไปใช้บรรจุอาหารได้อีกด้วย

1.5.2 การรีไซเคิลขั้นทุติยภูมิ (Secondary recycling)

การรีไซเคิลขั้นทุติยภูมิเป็นการนำเอาพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ โดยจะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีน้อยกว่าเดิม ดังเช่นบางประเทศ มีการใช้พลาสติกรีไซเคิลในกระบวนการโคเอ็กซ์ทรูชัน (co-extrusion) ซึ่งใช้พลาสติกชั้นนอกและชั้นในของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกใหม่ที่ไม่เคยผ่านการขึ้นรูปมาก่อน ส่วนชั้นกลางซึ่งเป็นชั้นที่ไม่ได้สัมผัสกับสิ่งของที่ต้องการบรรจุจะทำจากพลาสติกรีไซเคิล นับว่าเป็นการเพิ่มคุณค่าของพลาสติกรีไซเคิลวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ

1.5.3 การรีไซเคิลขั้นตติยภูมิ (Tertiary recycling)

การรีไซเคิลขั้นตติยภูมิเป็นการนำผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วมาผ่านกระบวนการทางเคมีซึ่งสามารถแยกองค์ประกอบของพลาสติกกลับไปเป็นมอนอเมอร์หรือสารเคมีตั้งต้นได้ (Back to Basic Chemicals) ดังเช่นพลาสติก PET สามารถนำทางทำให้เกิดการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาเคมี (Depolymerization) ได้เป็นสารเคมีที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นกลับมา คือ กรดเทรพธาลิก และเอทิลีน ไกลคอล สารเคมีที่ได้นี้สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับ รีพอลิเมอร์ไรเซชัน (Repolymerization) ให้เป็น PET ได้อีก ส่วนพลาสติกประเภท HDPE, PP และ PVC สามารถทำให้อยู่ในรูปสารเคมีตั้งต้นได้โดยการให้ความร้อนแก่พลาสติกในสภาวะบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน พลาสติกจะย่อยสลายให้สารโมเลกุลเล็กลง โดยทั่วไปโมเลกุลของพอลิเมอร์จะแตกตัวโดยความร้อนและให้สารเคมีออกมาต่างกัน ข้อเสียของวิธีนี้ต้องให้ความร้อนในการเผาไหม้ตลอดเวลาและจะต้องแยกขยะมูลฝอยอื่นก่อนนำมาเผา ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง

1.5.4 การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยการเผา (Quaternary recycling)

การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยการเผาเป็นการรีไซเคิลโดยการนำพลาสติกไปเผาแปรรูปเป็นพลังงานความร้อน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไอน้ำ การนำขยะพลาสติกมาเข้ากระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องแยกออกจากขยะอื่น ๆ สามารถเผารวมกันได้เลย

1.6 ชนิดของพอลิเอสเทอร์

พอลิเอสเทอร์สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ คือ

1.6.1 พอลิเอสเทอร์โซ่ตรง (Linear Polyesters) คือ พอลิเมอร์ที่ยึดต่อกันตามสูตรเคมี ซึ่งมีหน่วยซ้ำกันต่อเป็นเส้นตรงคล้ายเส้นด้าย สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1.) พอลิอัลคิลีนเทเรพทาเลท (Polyalkylene terephthalate) เช่น พอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลท (Polyethylene terephthalate , PET)
- 2.) เทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเทอร์อื่นๆ (Other thermoplastic Polyester)
- 3.) พอลิเอสเทอร์โซ่ตรงแบบไม่อิ่มตัว (Linear unsaturated polyester)

1.6.2 พอลิเอสเทอร์โครงข่าย (Network polyester) คือ พอลิเมอร์ที่ยึดต่อเชื่อมโยงกันเองภายในโมเลกุลของตัวเองหรือเชื่อมโยงกับโมเลกุลอื่นมีลักษณะเป็นกิ่งสาขา สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1.) พอลิเอสเทอร์โครงข่ายแบบอิ่มตัว (Saturated Network polyester)
- 2.) พอลิเอสเทอร์โครงข่ายแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Network polyester)

โดยพอลิเอสเทอร์ที่ใช้ในโครงงานวิจัยนั้นเป็น

พอลิเอสเทอร์โครงข่ายแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Network polyester)

พอลิเอสเทอร์โครงข่ายแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Network polyester) เกิดจากการนำพอลิเอสเทอร์โซ่ตรงแบบไม่อิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาทำปฏิกิริยากับโคพอลิเมอร์เซชันกับไวนิลโมโนเมอร์ ซึ่งพอลิเอสเทอร์โซ่ตรงแบบไม่อิ่มตัว (Linear unsaturated polyester) มักเตรียมจากไดออลอิ่มตัว (Saturated diol) กับไดเอซิดที่ไม่อิ่มตัวหรืออาจจะใช้แอนไฮไดรด์แบบไม่อิ่มตัวก็ได้ โดยหลักการแล้วจะใช้ไดออลแบบอิ่มตัวและไดเอซิดที่อิ่มตัวก็ได้แต่มีราคาแพง โดยที่คุณสมบัติของโครงข่ายแบบไม่อิ่มตัวจากกระบวนการรีไซเคิล พียูที มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงคุณสมบัติของโครงข่ายแบบไม่อิ่มตัวจากกระบวนการรีไซเคิล พียูที

คุณสมบัติ	ปริมาณ
1. HV. (mg of KOH / g)	400 – 500
2. AV. (mg of KOH / g)	8.617
3. AV. Of Resin (mg of KOH / g)	50 – 80
4. Mn	1019
5. Mw	1673
6. Mp	1459
7. Viscosity (Centi point)	6151

หมายเหตุ

1. HV. = Hydroxyl Value (ไฮดรอกซิล แวลู) มีหน่วยเป็น (mg of KOH / g)
2. AV. = Acid Value (แอซิด แวลู) มีหน่วยเป็น (mg of KOH / g)
3. AV. Of Resin = Acid Value Of Resin (แอซิด แวลู ออฟ เรซิน) มีหน่วยเป็น (mg of KOH / g)
4. Mn = น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยโมล โมเลกุล (ค่าที่ได้จากกราฟ)
5. Mw = น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก โมเลกุล (ค่าที่ได้จากกราฟ)
6. Mp = น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ตำแหน่งสูงสุด (ค่าที่ได้จากกราฟ)
7. Viscosity (ความหนืด) มีหน่วยเป็น เซนติพอยท์ (Centi point)

1.7 การรีไซเคิล PET ด้วยกระบวนการทางเคมี

กระบวนการรีไซเคิล PET ด้วยวิธีทางเคมีเริ่มต้น ใกล้เคียงกับกระบวนการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์โพลีเมอร์ โดยมีหลักฐานที่สามารถยืนยันได้ จากการเริ่มจดสิทธิบัตรเมื่อปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมาซึ่งสามารถแบ่งวิธีการย่อยสลาย PET ที่ใช้แล้วด้วยวิธีทางเคมี ตามกระบวนการปฏิบัติที่เกิดขึ้นจริงได้ดังนี้

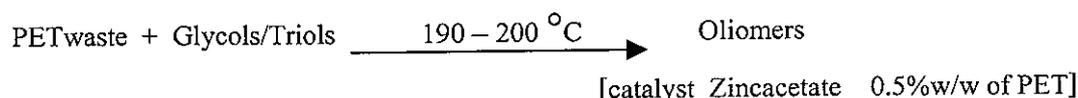
- 1.) กระบวนการย่อยสลาย PET ที่ใช้แล้วด้วยวิธีเมทาโนไลซิส (Methanolysis)
- 2.) กระบวนการย่อยสลาย PET ที่ใช้แล้วด้วยวิธีไกลโคไลซิส (Glycolysis)
- 3.) กระบวนการย่อยสลาย PET ที่ใช้แล้วด้วยวิธีไฮโดไลซิส (Hydrolysis)
- 4.) กระบวนการย่อยสลาย PET ที่ใช้แล้วด้วยวิธีอะมิโนไลซิส (Aminolysis)
- 5.) กระบวนการย่อยสลาย PET ที่ใช้แล้วด้วยวิธีแอมโมโนไลซิส (Ammonolysis)
- 6.) กระบวนการย่อยสลาย PET ที่ใช้แล้วแบ่งตามประเภทการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

ซึ่งที่ใช้ในโรงงานคอนกรีต+ PET ใช้กระบวนการย่อยสลายโพลีเมอร์ โดยใช้ไกลคอลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและให้ความร้อน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะได้ บิสไฮดรอกซิลเอธิลีนเทรเพธาเลท โอลิโกเมอร์และเอธิลีนไกลคอล โดยที่โอลิโกเมอร์ที่ได้ นั้น เป็นพอลิเมอร์ประเภทสารอินทรีย์ที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นในรูปของพลาสติกเทอร์โมเซต(Thermosets)ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่เกิดจาก Pre-Product ที่ยังไม่ยึดติดกันเป็นโครงสร้างแบบตาข่ายมีลักษณะเป็นของเหลว(Liquid) ความยาวของสายโซ่โมเลกุลจะขึ้นอยู่กับสถานะของการเกิดปฏิกิริยา โดยโคพอลิเมอร์เชนซ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบเติม (Addition Polymerization) ตัวริเริ่มที่นิยมใช้ เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ หรือ เมทิล เอทิลดีโตนเปอร์

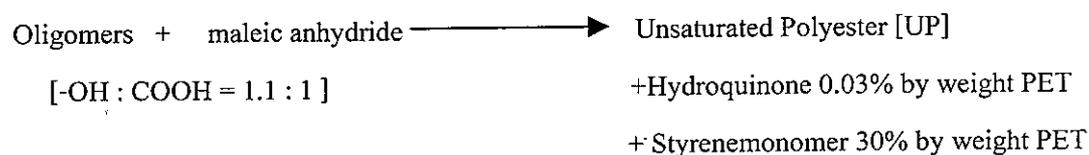
ออกไซด์ (Methyl Ethyl Ketone Peroxide , MEKP) และมักจะเติมตัวเร่ง (Accelerator) เพื่อให้เปอร์ออกไซด์แตกตัวได้ดีขึ้น เมื่อต้องการพอลิเมอร์เชนซ์ ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อไม่ต้องการให้ความร้อนในปฏิกิริยา ตัวเร่งที่นิยมใช้ได้แก่ เกลือของโลหะต่างๆ เช่น โคบอลต์ เนพทาเนท (Cobalt Naphthenate) เพื่อให้ได้โครงสร้างพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือร่างแห (Cross-Linked or Network Shape) เป็นโครงสร้างที่มีความหนาแน่นสูงมีความแข็งแรงทนความร้อนได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุณหภูมิต่ำจะมีสภาพหยุ่นตัวคล้ายเหล็กกล้า เมื่อถูกความร้อนจะทำให้เหนียวยืดหยุ่นได้แต่ถ้าได้รับความร้อนมากเกินไป ผลิตภัณฑ์นี้จะสลายตัวแล้วจะได้อะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปจากเดิมในสภาพแข็งไม่สามารถละลายในสารละลายได้ จึงขึ้นรูปใช้งานได้เพียงครั้งเดียว นิยมนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสและผลิตภัณฑ์พลาสติกหล่อ ผลิตภัณฑ์ไม้อัด เคลือบผิวพลาสติก (กรอบรูปวิทยาศาสตร์) เป็นต้น

ขั้นตอนการผลิตพอลิเอสเทอร์โครงข่ายแบบไม่อิ่มตัวจากพอลิเอธิลีนเทเรพทาเลท
ขบวนการรีไซเคิลสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (Depolymerization) :



ขั้นตอนที่ 2 พอลิเอสเทอร์ฟิเคชัน (Poly esterification) :



หมายเหตุ :

ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) มีคุณสมบัติเป็นของผสม เดิมลงใน [UP] เพื่อช่วยยับยั้งไม่ให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Cross-Linked) มากเกินไปซึ่งจะมีผลทำให้ [UP] ที่ได้แข็งตัวเร็วเกินไป

สไตรีนโมโนเมอร์ (Styrenemonomer) เป็นสาร โมโนเมอร์เติมลงใน [UP] เพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Cross-Linked) เป็นโคพอลิเมอร์ (Co - polymer) ได้ดีขึ้น

1.8 พอลิเมอร์คอนกรีต (Polymer Concrete)

พอลิเมอร์(Polymer) คือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เกิดจาก Monomer จำนวนมากมาเชื่อม โยงติดกัน ด้วยปฏิกิริยาเคมี ที่เรียกว่า พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

การจำแนก พอลิเมอร์ (Polymer) สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้ คือ

1.) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) เป็นพอลิเมอร์ (Polymer) ที่มีสายโซ่ต่อกันยาวเป็นเส้นตรง และขนานกัน อาจเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกความร้อน แต่สามารถเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปเดิมได้

2.) เทอร์โมเซต (Thermosetes) เป็นพอลิเมอร์ (Polymer) ที่มีสายโซ่ที่จัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบและพอลิเมอร์ (Polymer) ประเภทนี้เปลี่ยนรูปกลับมาอย่างเดิมได้เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ

ข้อดีของพอลิเมอร์(Polymer)ที่สำคัญคือ มีแรงต้านทานการดึงและการอัด สูงกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่อย่างไรก็ตาม Polymer จะมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) ต่ำ และมีค่า ครีป Creep สูงรวมทั้งอาจสลายตัว โดยแสงอุลตราไวโอเล็ต , สารเคมี หรือพวกจุลินทรีย์ บางทีสารละลายอินทรีย์ อาจก่อให้เกิดการแตกร้าว ข้อเสียเปรียบต่างๆเหล่านี้สามารถหมดไปได้ โดยการเลือกใช้ พอลิเมอร์(Polymer) ที่ถูกต้องเหมาะสม หรือใส่วัสดุอื่นๆลงไป เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ ของ พอลิเมอร์ (Polymer)

ในปัจจุบันได้มีการพยายามที่จะใช้ พอลิเมอร์ (Polymer) กับงานคอนกรีตโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1) พอลิเมอร์อิมพรีเนทคอนกรีต (Polymer Impregnated Concrete , PIC)
- 2) พอลิเมอร์คอนกรีต (Polymer Concrete , PC)
- 3) พอลิเมอร์พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Polymer Portland Cement Concrete, PPCC)

แต่ที่ใช้ใน โครงการงานวิจัยนี้จัดพอลิเมอร์ (Polymer) กับงานคอนกรีตอยู่ในประเภทที่ 3 คือพอลิเมอร์พอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต Polymer Portland Cement Concrete(PPCC)

พอลิเมอร์พอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

(Polymer Portland Cement Concrete (PPCC))

ซึ่งเกิดจากการผสมคอนกรีตสด กับ Polymer ที่อยู่ในรูปของเหลว หรือ มอนอเมอร์ (Monomer) ที่สามารถ พอลิเมอไรซ์ (Polymerized) ณ หน่วยงานที่ก่อสร้างได้ โดยทั่วไป จะใช้ รับบอร์ อะคริลิก (Rubber Acrylies) และ ไวนิล อะซิเตต (Vinylacetate) ร่วมกันและผสมกับตัวจัดฟองอากาศ เพื่อให้เกิดปริมาณฟองอากาศน้อยที่สุด คุณสมบัติของ PPCC จะดีมากขึ้นเมื่อทำการบ่มขึ้นเป็นเวลาอย่างน้อย 1-3 วัน จากนั้นต้องบ่มแห้งต่อ

ข้อดีของ PPCC เมื่อเทียบกับคอนกรีตทั่วไป คือ คอนกรีตประเภทนี้มีความทนทานสูง และมีการเกาะยึดกันดี การต้านทานแรงกระแทกดีขึ้น แต่ที่ข้อด้อยคือ ครีป (Creep) จะมากกว่าปกติ

1.9 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ (Mechanical Properties of Materials)

คุณสมบัติทางกลของวัสดุ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมาก สำหรับงานในด้านวิศวกรรม คือเป็นข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบโดยทั่วไปจะเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกล และการศึกษาถึงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำ เพราะคุณสมบัติทางกลจะแสดงถึงผลของความเค้นหรือความเครียด หรือทั้งความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัสดุในการตอบสนองแรงที่มากกระทำจะมีลักษณะใดก็ตาม สำหรับในการศึกษานี้จะทำการศึกษาถึงคุณสมบัติดังต่อไปนี้

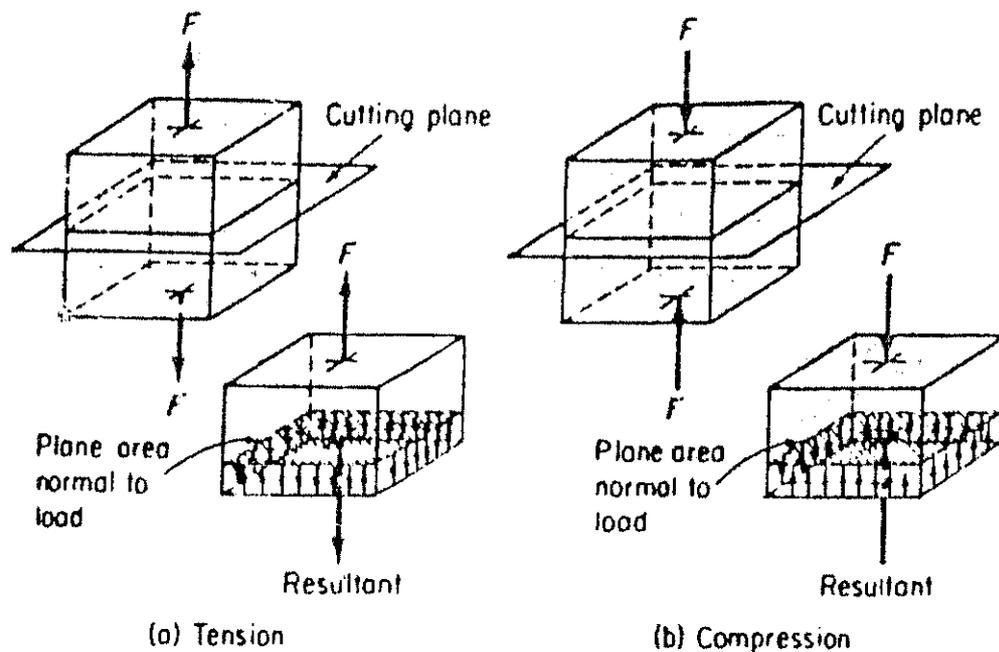
1.) ความแข็งแรง (Strength)

หมายถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ที่พิจารณาจากความสามารถในการต้านแรงที่มากกระทำซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดขึ้นตามลักษณะของแรงที่มากกระทำด้วย ในการระบุความแข็งแรงของวัสดุนั้นจะต้องบอกถึงเงื่อนไขที่ทำการทดสอบด้วย เพราะว่าความแข็งแรงจะแตกต่างกันเนื่องจากสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. ลักษณะของแรงภายนอกที่มากกระทำ
2. อัตราเร็วของแรงที่มากกระทำ
3. อุณหภูมิที่ทำการทดสอบขณะนั้น

2.) ความเค้นและความเครียด (Stress and Strain)

ความเค้น คือ แรงต้านทานภายในของวัสดุที่พยายามต้านทานแรงภายนอกที่มากกระทำ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของวัสดุนั้น แรงต้านทานภายในจะกระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่รับแรงนั้น และหน่วยของความเค้นนั้นคิดได้จากอัตราส่วนของแรงที่กระทำภายนอกต่อหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของวัสดุนั้น นั่นคือ จะมีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร และปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นต้น ลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นภายในวัสดุนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะแรงภายนอกที่มากกระทำ เช่น วัสดุได้รับแรงดึงก็จะเกิดความเค้นดึง วัสดุได้รับแรงอัดก็จะเกิดความเค้นอัด ดังรูป



รูปที่ 1.4

a) วัสดุภายใต้แรงดึง

b) วัสดุภายใต้แรงอัด

3.) ความเครียด

เมื่อวัสดุได้รับแรงภายนอกมากระทำ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางที่แรงมากระทำ เช่น เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงดึงก็จะยืดออก (Elongation) และเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัดก็จะหดเข้า (Contraction)

ในทางวิศวกรรมนิยมนิยามส่วนยืดยอดหรือหด เป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการยืดหรือหดต่อความยาวเดิมของวัสดุก่อนถูกแรงกระทำ และเรียกอัตราส่วนนี้ว่า “ความเครียด”

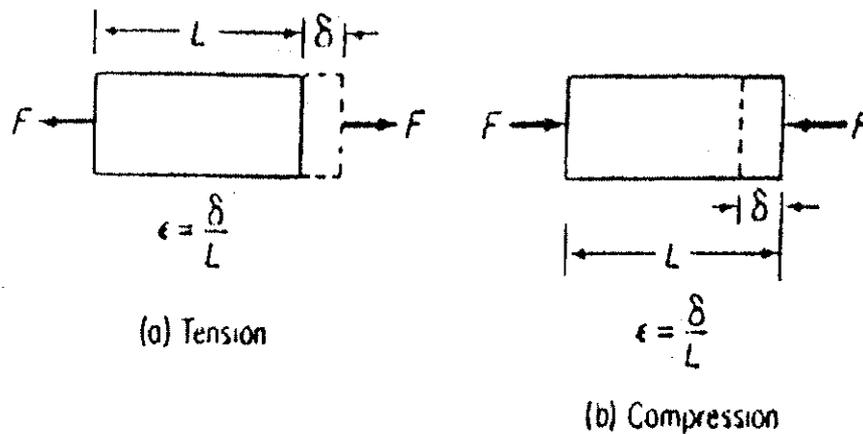
$$\text{ดังนั้น } e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$\text{เมื่อ } e = \text{ความเครียด}$$

L_0 = ความยาวเดิม หรือ ความยาวพิกัดของวัสดุ

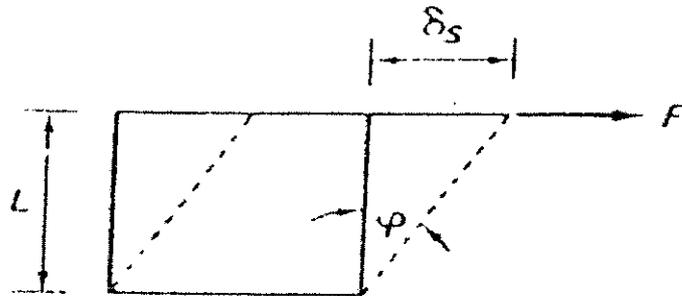
L = ความยาวใหม่ ภายหลังจากที่ได้รับแรงภายนอกมากระทำ

สำหรับหน่วยของความเครียดนั้นไม่นิยามระบุหรือกำกับ เพราะมีหน่วยเป็นความยาวต่อความยาว ซึ่งตัดกันเอง และนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 1.5 ความเครียดของวัสดุภายใต้แรงดึงและแรงอัด

กรณีที่วัสดุได้รับแรงเฉือน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างที่แตกต่างจากวัสดุที่ได้รับแรงดึงหรือแรงอัด ก็จะไม่เกิดการยืดออกหรือหดเข้า แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูป เหมือนเอียงเป็นมุม ดังรูป



รูปที่ 1.6 ความเครียดเฉือน

จากรูป
$$\frac{\delta_s}{L} = \tan \alpha \approx \alpha$$

เนื่องจากมุมเฉือนนั้นมีขนาดเล็กมาก และมีหน่วยเป็นเรเดียน

ดังนั้น
$$\alpha = \frac{\delta_s}{L}$$

4.) ความยืดหยุ่น (Elasticity)

หมายถึงคุณสมบัติของวัสดุที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ภายใต้แรงที่มากระทำ โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร คือถ้าเอาแรงที่มากระทำออก วัสดุก็จะคืนรูปเดิมได้เอง เหมือนกับคุณสมบัติของสปริง

โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

เป็นค่าคงที่ของความเค้นที่เป็นสัดส่วนกัน โดยตรงกับความเครียดในช่วงพิสัยความ เป็นสัดส่วน (proportional limit)

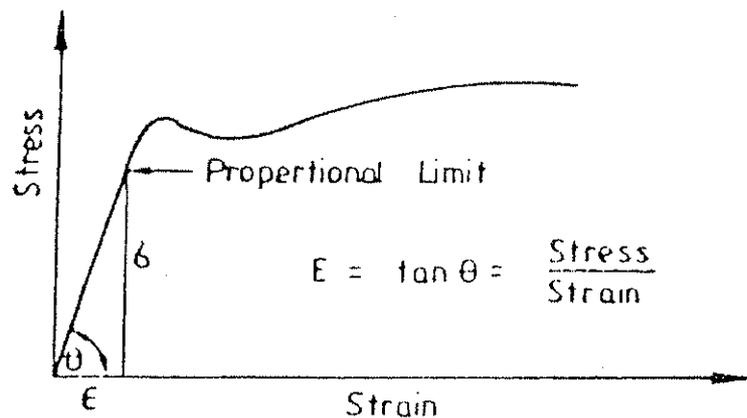
นั่นคือ stress strain

ดังนั้น
$$\text{stress} = E \cdot \text{strain} \quad \text{เมื่อ } E \text{ เป็นค่าคงที่}$$

$$E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}$$

ค่าคงที่ E เรียกว่า โมดูลัสของความยืดหยุ่น ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่แสดงคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ และจะมีค่าที่แตกต่างกันตามลักษณะของแรงที่มากระทำ คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นภายใต้แรงเฉือน โมดูลัสของความยืดหยุ่นภายใต้แรงอัด และโมดูลัสของความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่า ยังส์โมดูลัส (Young's Modulus)

ถ้าพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด โมดูลัสของความยืดหยุ่นจะหมายถึง ความลาด (slope) ของเส้นตรงในช่วงพิกัดความเป็นสัดส่วน ดังรูป



รูปที่ 1.7 โมดูลัสของความยืดหยุ่น

5.) ความแข็งแกร่ง (stiffness)

เป็นคุณสมบัติทางกลชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการออกแบบ เพราะเป็นคุณสมบัติของวัสดุที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานการแปรรูป หรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงพิกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) ขณะรับแรง

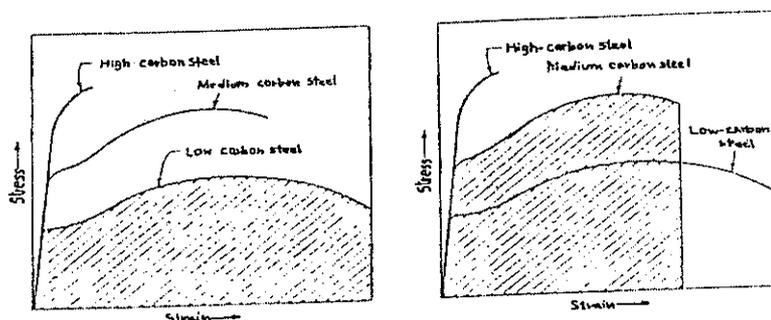
ความแข็งแกร่งของวัสดุนั้น จะขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น คือ วัสดุใดมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นสูง วัสดุนั้นก็จะมีความแข็งแกร่งสูงด้วย ตรงกันข้าม ถ้าวัสดุมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นน้อย วัสดุนั้นก็จะมีความแข็งแกร่งน้อยด้วยเช่นกัน ความแข็งแกร่งและความแข็งแรง มีความหมายที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติที่ไม่สัมพันธ์กันด้วยคือ ความแข็งแกร่งจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากกรรมวิธีอบ ชุบ ปริมาณคาร์บอนที่ผสม และปริมาณส่วนผสมอื่น แต่ความแข็งแรงจะถูกเปลี่ยนแปลงได้โดยองค์ประกอบต่างๆ ที่กล่าวมา เช่น ความแข็งแกร่งของเหล็กกล้าต่างๆ ชนิดกัน จะมีค่าเท่ากัน

โดยไม่ต้องคำนึงถึงว่า ปริมาณคาร์บอนที่ผสมปริมาณส่วนผสมอื่น และกรรมวิธีอบชุบจะต่างกันก็ตาม แต่คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงจะเปลี่ยนแปลงไปมาก

6.) โมดูลัสความเหนียวแน่น (Modulus of Toughness)

หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการเก็บสะสมพลังงานต่อหน่วยปริมาตร ตั้งแต่เริ่มต้นได้รับแรงจนกระทั่งเกิดการแตกหัก และความเหนียวแน่นยังสัมพันธ์กับความแข็งแรงต่อการกระแทก (impact strength) คือวัสดุที่มีความเหนียวแน่นสูงก็จะมีความแข็งแรงต่อการกระแทกสูง และวัสดุที่มีความเหนียวแน่นต่ำก็จะมีความแข็งแรงต่อการกระแทกต่ำ สำหรับการทดสอบการกระแทกจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

เมื่ออ้างอิงถึงกราฟความเค้น - ความเครียดแล้ว ความเหนียวแน่นของวัสดุคือ พื้นที่ภายใต้กราฟทั้งหมด ตลอดช่วงจนถึงจุดแตกหัก ดังรูป



รูป 1.8 ความเหนียวแน่นในความสัมพันธ์กับกราฟความเค้น - ความเครียด

จากรูปจะเห็นได้ว่า วัสดุที่มีความเหนียวแน่นสูง จะต้องเป็นวัสดุที่มีทั้งพิสัยความยืดหยุ่นและความเหนียวสูง โลหะที่มีความเหนียวแน่นมากจะยืดตัวได้มากเมื่อถูกแรงกระทำ นั่นคือ โลหะนี้สามารถถูกขึ้นรูปให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่ายกว่าโลหะที่มีความเหนียวแน่นน้อย

1.10 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาผลของการใช้พอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

1.11 ขอบข่ายการทำโครงการ

ศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ผสมพอลิเอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัวในส่วนต่างๆ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการทดสอบความสามารถรับกำลังดึงและกำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการผสมในแต่ละครั้ง

1.12 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพ ราคาถูก เนื้อแน่น ทำงานง่าย ให้ความสามารถในการรับ กำลังดึง และความสามารถรับกำลังอัดสูงขึ้น

1.13 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

กิจกรรม	พ.ศ. 2544						พ.ศ. 2545		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ค้นหา รวบรวมข้อมูล และติดต่อซื้อวัสดุ	██████████								
2. ตรวจสอบความพร้อมของห้องปฏิบัติการ				██████████					
3. เตรียมวัสดุในการผสมคอนกรีต				████████████████████					
4. ดำเนินงานวิจัย							██████████		
5. ศึกษาผลการทดลองคอนกรีตผสมพอลิ-เอสเตอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว							██████████		
6. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง								██████████	
7. จัดทำรายงานวิจัย						████████████████████			

1.14 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ

- ค่าวัสดุก่อสร้าง 2,000 บาท
- ค่าวัสดุสำนักงาน 500 บาท
- ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์ 500 บาท

รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ : ค่าใช้จ่ายแล้วเสร็จ

1.15 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก