

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวมและพอลิเอสเทอร์เรซิน

มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่ใช้ในการทดสอบมีคุณสมบัติพื้นฐานแสดงตามตารางที่ 4.1 พอลิเอสเทอร์พอลิเมอร์เรซินมีคุณสมบัติพื้นฐานแสดงตามตารางที่ 4.2 พอลิเมอร์เรซินเมื่อผสมตัวเริ่มปฏิกิริยา (ปริมาณตัวเริ่มปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์ของเรซินโดยน้ำหนัก) จะก่อตัวในเวลา 20 ± 2 นาที ระยะเวลาก่อตัวของพอลิเมอร์เรซินจะเพิ่มขึ้นเมื่อผสมพอลิเมอร์เรซินกับมวลรวม

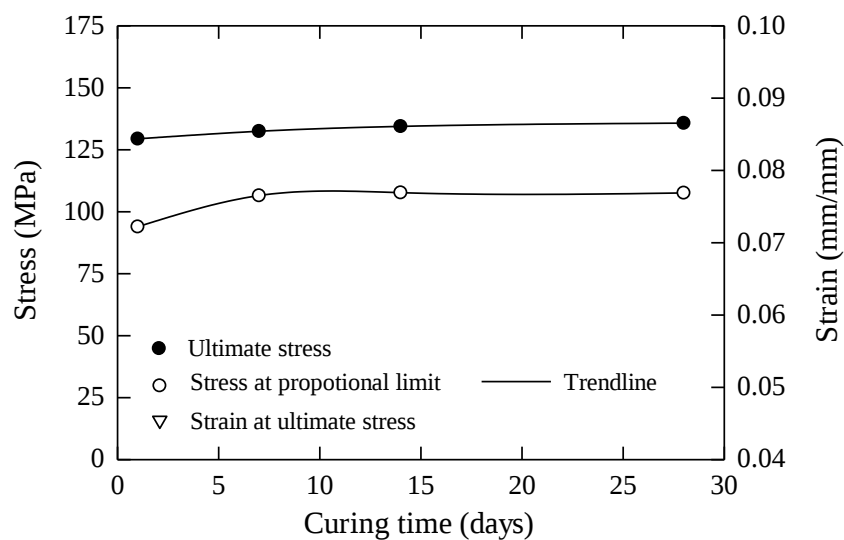
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของมวลรวม

Description	Aggregate type	
	Fine (< 5 mm)	Coarse (< 10 mm)
Specific gravity	2.65	2.70
Bulk unit weight (kg/m^3)	1,670	1,560
Ratio of abrasion (%)	-	20.7

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติพื้นฐานของพอลิเมอร์เรซิน (ผลทดสอบจากบริษัท เจ เอ็น ทรานสอส (ประเทศไทย))

Description	Values
Liquid properties	
- Viscosity (poise)	4.0
Solid properties	
- Compressive strength (MPa)	137.3
- Modulus of Elasticity (GPa)	4.0
- Flexural strength (MPa) and Modulus of elasticity (GPa)	117.7, 3.4

การพัฒนากำลังอัดตามอายุบ่มของพอลิเมอร์เรซินแข็งแสดงดังรูปที่ 4.1 เมื่ออายุบ่มที่เพิ่มขึ้นกำลังอัดประลัยและกำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นของพอลิเมอร์เรซินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าเริ่มคงที่เมื่ออายุบ่ม 7 วัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Vipulanandan and Paul (1993) โดยมีกำลังอัดประลัยที่ 7 วัน เท่ากับ 132.5 เมกะปาสกาล นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าหน่วยแรงที่พิกัดยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและเริ่มคงที่โดยมีค่าเท่ากับ 106.5 เมกะปาสกาลเมื่ออายุบ่ม 7 วันเช่นกัน ค่าพิกัดยืดหยุ่นมีค่าใกล้เคียงกันที่อายุบ่มต่าง ๆ ความเครียดที่กำลังอัดประลัยซึ่งแสดงถึงความแกร่งของพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามอายุบ่มหรืออาจกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์คอนกรีตมีความแกร่งเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของพอลิเมอร์เรซินแข็งที่อายุบ่ม 28 วันจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 4.1 การพัฒนากำลังอัดตามอายุบ่มของพอลิเมอร์เรซินแข็ง

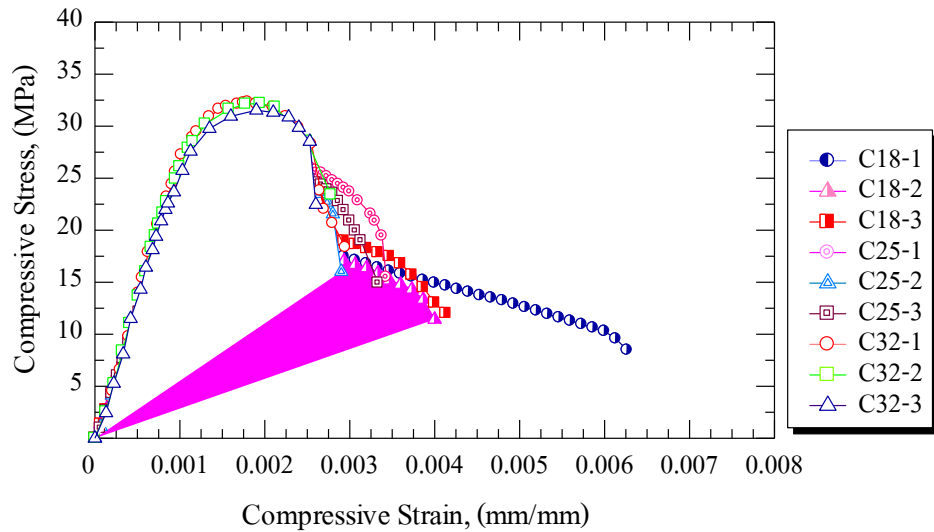
4.2 กำลังอัดและพฤติกรรมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต (ตัวอย่างอ้างอิง)

4.2.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของคอนกรีต

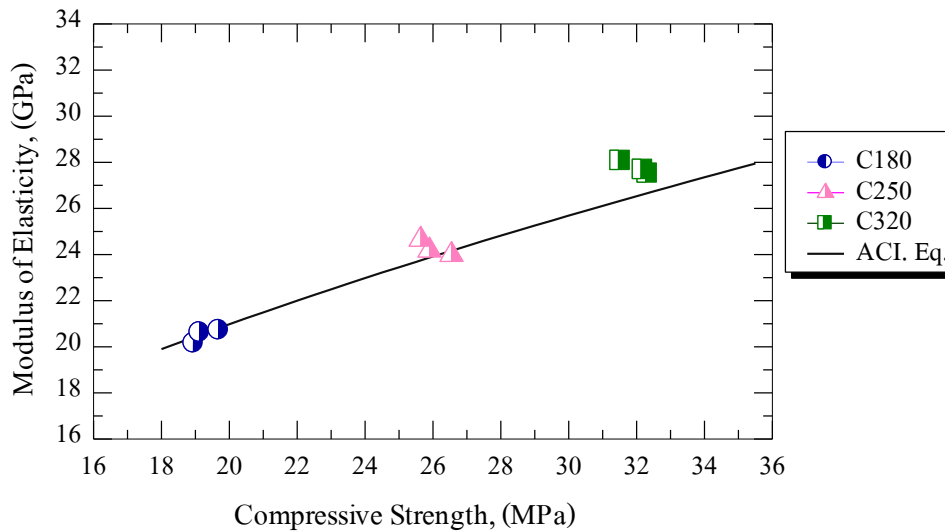
จากผลของการทดสอบแรงกดอัดแท่งคอนกรีตทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C39 - 96 และ ASTM C469 - 94 โดยคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยเป็นคอนกรีตผสมเสร็จ ของ บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด (CPAC) กำลังรับแรงกดอัดออกแบบ 18 25 และ 32 เมกะ ปาสกาล ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3 ค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดเฉลี่ย 19.26 26.03 และ 32.02 เมกะปาสกาล และมีค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 20.50 24.28 และ 27.75 กิกะปาสกาล ตามลำดับ โดยที่กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดและค่าความเครียดกดอัด ดังแสดง ในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

ตัวอย่าง	No.	กำลังรับแรงกดอัดสูงสุด, f'_c (MPa)	โมดูลัสยืดหยุ่น, E_c (GPa)
C18	1	18.95	20.15
	2	19.13	20.62
	3	19.69	20.72
	เฉลี่ย	<u>19.26</u>	<u>20.50</u>
C25	1	26.55	23.99
	2	25.90	24.18
	3	25.64	24.65
	เฉลี่ย	<u>26.03</u>	<u>24.28</u>
C32	1	32.33	27.51
	2	32.19	27.67
	3	31.53	28.06
	เฉลี่ย	<u>32.02</u>	<u>27.75</u>



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและค่าความเครียดของคอนกรีต



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของคอนกรีต

เมื่อนำค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุดและโมดูลัสยืดหยุ่นที่คำนวณได้ จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ดังกล่าวที่คำนวณได้จากสมการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ACI ($E_c = 0.043w_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$) พบว่าความสัมพันธ์ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.3

ในส่วนของลักษณะการวิบัติ พบว่าคอนกรีตเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงกดอัดและแรงเฉือนร่วมกันโดยรอยแตกร้าวของตัวอย่างคอนกรีตทั้ง 3 กลุ่มทำมุม $50^\circ - 60^\circ$ กับแนวแกนของตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งสาเหตุมาจากว่าคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกันจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในเนื้อของวัสดุ รวมทั้งแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ส่วนของผิวสัมผัสระหว่างห้วกดและตัวอย่างทดสอบเนื่องจากการขยายตัวทางด้านข้าง ซึ่งผลของทั้ง 2 สาเหตุดังกล่าวนี้จะทำให้สถานะของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในวัสดุเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 4.4 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีต

4.3 พฤติกรรมทั่วไปของพอลิเมอร์คอนกรีตภายใต้การรับแรงอัดและแรงดัด

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงอัดทั่วไปของตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีตสามารถสรุปได้ตามแผนภาพดังรูปที่ 4.5 โดยสามารถแบ่งพฤติกรรมออกได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงยืดหยุ่นเส้นตรง (linear elastic) ช่วงแข็งขึ้นด้วยความเครียด (strain hardening) และช่วงอ่อนลงจากการแตกหักเฉพาะจุด (localization softening) พฤติกรรมการรับแรงอัดของพอลิเมอร์คอนกรีตคล้ายกับผลการทดสอบวัสดุเปราะ (brittle material) โดยทั่วไป แต่มีความเครียดเกิดขึ้นมากกว่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตปกติ ช่วงเส้นตรง คือ ช่วงพฤติกรรมที่หน่วยแรงเพิ่มขึ้นแล้ววัสดุเกิดการเสียรูปแต่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ทันทีหากลดหน่วยแรงลง พฤติกรรมช่วงนี้โครงสร้างอนุภาคภายในวัสดุยังคงเหมือนเดิม ช่วงแข็งขึ้นด้วยความเครียด คือ ช่วงพฤติกรรมที่วัสดุรับหน่วยแรงมากกว่าหน่วยแรงที่พิกัดยืดหยุ่น วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติกซึ่งเมื่อหน่วยแรงลดลงความเครียดหรือการเสียรูปนั้นยังคงอยู่ การทดสอบพอลิเมอร์คอนกรีตจะมีช่วงแข็งขึ้นด้วยความเครียดปรากฏในผลการทดสอบส่วนใหญ่แต่จะมีลักษณะแตกต่างกันตามสัดส่วนผสมของวัสดุ ขณะเกิดพฤติกรรมนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุ สำหรับในพอลิเมอร์คอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุผสมจะเกิดการวิบัติเฉพาะจุดภายใต้ตัวอย่างทดสอบแต่ตัวอย่างยังคงสามารถรับแรงได้อยู่จนถึงจุดที่หน่วยแรงสูงสุด การวิบัติเฉพาะจุดภายใต้ตัวอย่างทดสอบนี้จะพัฒนาไปเป็นระนาบการวิบัติ (failure plane) ต่อไปหลังจากจุดหน่วยแรงสูงสุด ซึ่งหน่วยแรงจะลดลงอย่างชัดเจน เรียกว่า ช่วงอ่อนลงจากการแตกหักเฉพาะจุด กำลังของตัวอย่างที่ยังคงรับได้หลังจุดสูงสุดของหน่วยแรง (residual strength) เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างรอยแตกของตัวอย่างตามแนวระนาบการวิบัติ พฤติกรรมของพอลิเมอร์คอนกรีตภายใต้แรงดัดอธิบายได้โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำที่กลางคาน (P) และการเสียรูปที่กึ่งกลางคาน (Δ) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ลักษณะผลทดสอบโดยทั่วไปคล้ายความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียด สำหรับวัสดุเปราะกราฟจะไม่มีช่วงอ่อนลง ซึ่งแตกต่างจากวัสดุเหนียวซึ่งจะมีช่วงอ่อนลงด้วยความเครียดหลังจากจุดแรงกระทำสูงสุด คุณสมบัติทางกลของตัวอย่างพอลิเมอร์

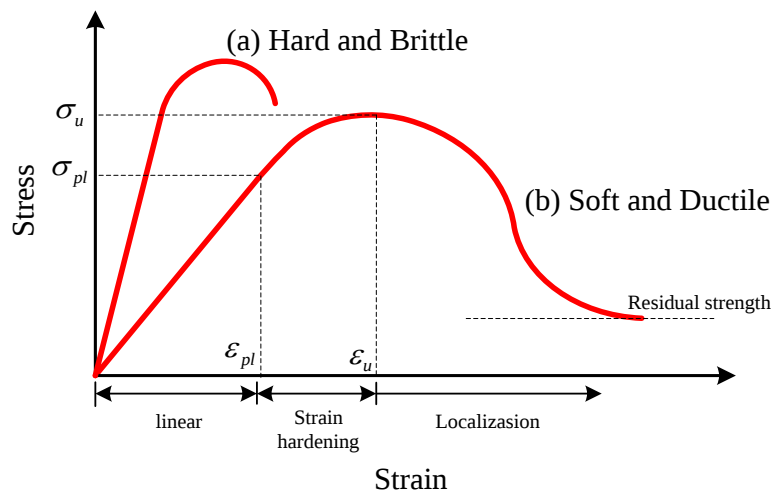
คอนกรีตที่ส่วนผสมต่าง ๆ แสดงได้ในภาคผนวก ก ลักษณะการวิบัติของพอลิเมอร์คอนกรีตภายใต้แรงอัดและแรงดัดแตกต่างกันตามส่วนผสม ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1 การวิบัติของพอลิเอสเตอร์พอลิเมอร์คอนกรีตภายใต้แรงอัด

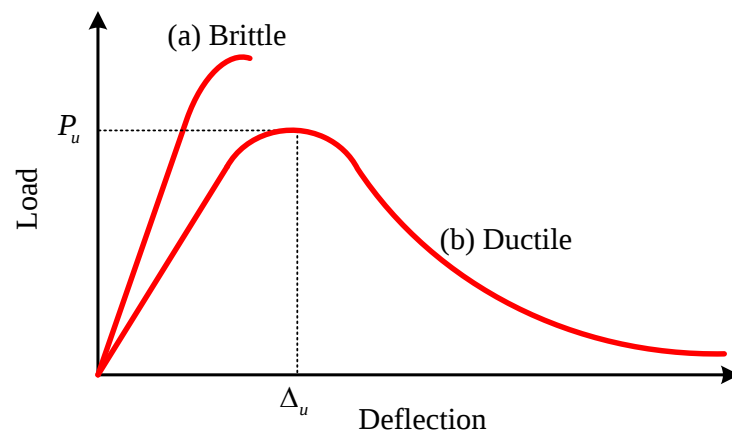
การวิบัติของตัวอย่างพอลิเอสเตอร์พอลิเมอร์คอนกรีตที่พบภายใต้การทดสอบการรับแรงมี 2 แบบ คือ การวิบัติแบบการเฉือน (shear failure) และการวิบัติแบบผสม (combination shear and splitting failure) ลักษณะการวิบัติแต่ละแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 ก่อนตัวอย่างภายใต้แรงอัดจะขยายตัวด้านข้าง ในขณะที่คอนกรีตด้านบนและล่างติดกับแท่นเครื่องทดสอบ ก่อนตัวอย่างบริเวณใกล้หัวกดจะไม่สามารถขยายตัวได้เนื่องจากความฝืดของหัวกดจึงทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนอย่างมากที่บริเวณมุมของก้อนตัวอย่างขณะกด การวิบัติจึงเกิดเป็นแรงแยกและขยายตัวขึ้นเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น จากการสังเกตผลการทดสอบพอลิเมอร์คอนกรีตก่อนตัวอย่างที่สมบูรณ์เรียบและมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงมากกว่า 2 เท่าจะวิบัติแบบการเฉือนซึ่งจะให้กำลังค่อนข้างสูง การวิบัติแบบผ่าซีกและแบบผสมจะเกิดกับก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมไม่เหมาะสมเนื้อพอลิเมอร์กับมวลรวมไม่เป็นเนื้อเดียวกันและจะให้กำลังลดลงต่ำกว่าการวิบัติแบบเฉือน

4.3.2 การวิบัติของพอลิเอสเตอร์พอลิเมอร์คอนกรีตภายใต้แรงดัด

การวิบัติของตัวอย่างแบบคานรับแรงดัดแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ แบบวัสดุเปราะ และแบบวัสดุเหนียว พฤติกรรมแบบวัสดุเปราะวัสดุจะมีลักษณะของความสัมพันธ์ของแรงกระทำและการทรุดตัวที่กึ่งกลางคานคล้ายกับการทดสอบปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต ตัวอย่างทดสอบจะแตกหักทันทีหลังจากน้ำหนักบรรทุกมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเล็กน้อย พฤติกรรมแบบวัสดุเหนียววัสดุจะแสดงพฤติกรรมแบบอ่อนลงด้วยความเครียดอย่างชัดเจนซึ่งจะแตกหักหลังจากเสียรูปมาก พฤติกรรมแบบเหนียวจะพบในตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีตผสมเส้นใย การวิบัติของคานคานตัวอย่างทดสอบมีลักษณะเหมือนกันทั้งหมดคือแตกร้าวที่กึ่งกลางคานดังแสดงในรูปที่ 4.7c



รูปที่ 4.5 พฤติกรรมทั่วไปภายใต้แรงอัดของพอลิเมอร์คอนกรีต



รูปที่ 4.6 พฤติกรรมทั่วไปภายใต้แรงคดแบบคานของพอลิเมอร์คอนกรีต



(a) การวิบัติแบบเฉือน



(b) การวิบัติแบบผสม

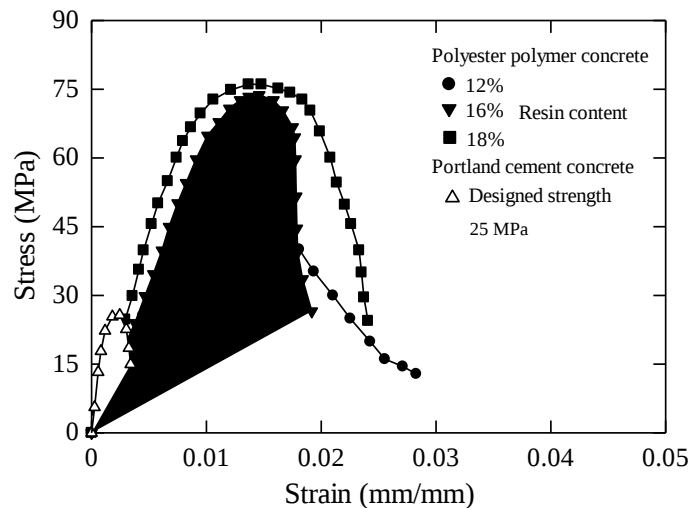


(c) การวิบัติของตัวอย่างภายใต้แรงคด

รูปที่ 4.7 การวิบัติของตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีตแบบต่าง ๆ

4.3.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านกำลังและพฤติกรรมการรับแรงอัดของพอลิเมอร์คอนกรีตและปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

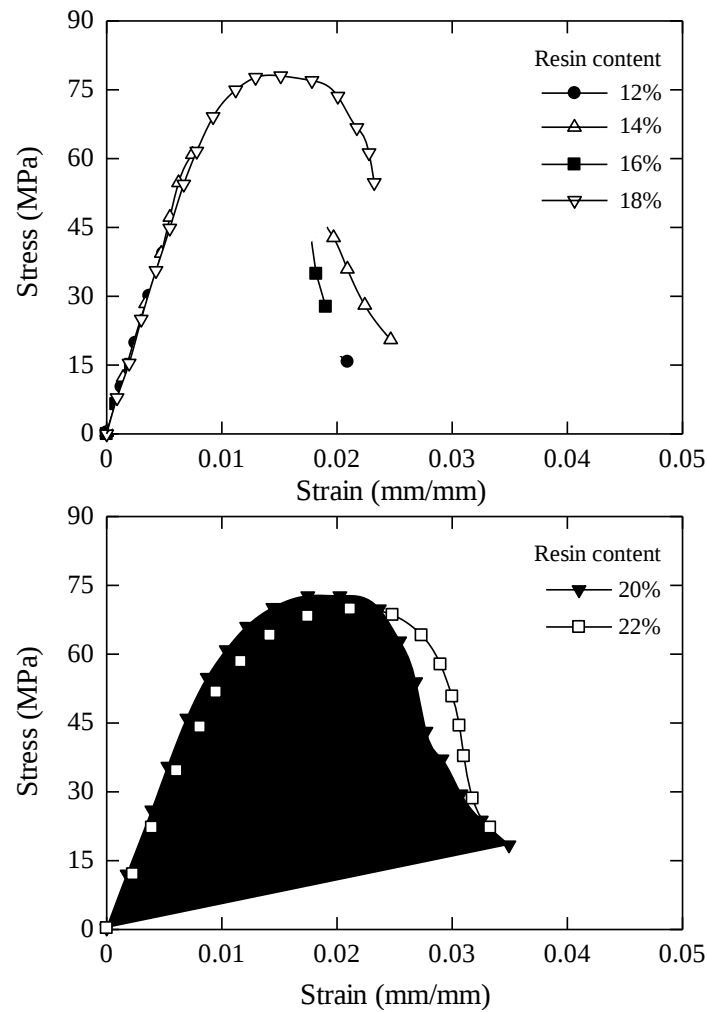
เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียดของพอลิเมอร์คอนกรีตที่อายุบ่ม 7 วัน และปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตที่อายุบ่ม 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า พอลิเมอร์คอนกรีตที่ระยะบ่มเวลาบ่ม 7 วัน มีกำลังอัดและความเครียดที่จุดวิบัติสูงกว่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตที่อายุบ่ม 28 วัน ประมาณ 2.5-3 เท่า และประมาณ 6-7 เท่า ตามลำดับ แต่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตปกติประมาณ 2.3-3.4 เท่า จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์คอนกรีตมีความสามารถในการดูดซับพลังงานก่อนการวิบัติมากกว่าคอนกรีตปกติสูงมาก ดังจะเห็นได้จากค่าโมดูลัสความเหนียว (Modulus of toughness) ที่สูงกว่าคอนกรีตปกติมาก ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญอีกข้อหนึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้าง



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับแรงอัดของพอลิเมอร์คอนกรีตและ
ปอร์แลนด์ซีเมนต์คอนกรีต

4.4 ผลของปริมาณเรซิน

เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณเรซินต่าง ๆ และควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ให้เหมือนกันสำหรับแต่ละปริมาณเรซินความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียดของพอลิเมอร์คอนกรีตที่สัดส่วนปริมาณเรซินต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.9 ความแกร่งของพอลิเมอร์คอนกรีตสังเกตได้จากความชันของกราฟ จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าความแกร่งมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับพอลิเมอร์คอนกรีตที่สัดส่วนปริมาณเรซินระหว่าง 12 ถึง 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มปริมาณเรซินขึ้นมากกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ค่าความแกร่งจะลดลงดังสังเกตได้จากความชันที่ลดลงของกราฟที่ปริมาณเรซิน 20 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ค่าหน่วยแรงอัดสูงสุดจะเกิดที่ความเครียดระหว่าง 1.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์สำหรับปริมาณเรซินระหว่าง 12 ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ โดยความเครียดที่กำลังอัดสูงสุดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเรซิน ความเครียดที่กำลังอัดสูงสุดสำหรับปริมาณเรซินสูงกว่า 18 เปอร์เซ็นต์พบว่ามีความมากกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มปริมาณเรซินจะส่งผลต่อการเสียรูปของตัวอย่างทดสอบอย่างชัดเจน ปริมาณเรซินสูงจะเกิดการเสียรูปมากเพราะโดยปกติแล้วพอลิเอสเตอร์พอลิเมอร์จะมีการยืดตัว (elongation) ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุมวลรวมแล้วมีค่าสูงกว่ามาก เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุประสานแล้วนั้นค่าการยืดหรือการเสียรูปโดยรวมจึงถูกควบคุมโดยปริมาณเรซินเป็นหลัก



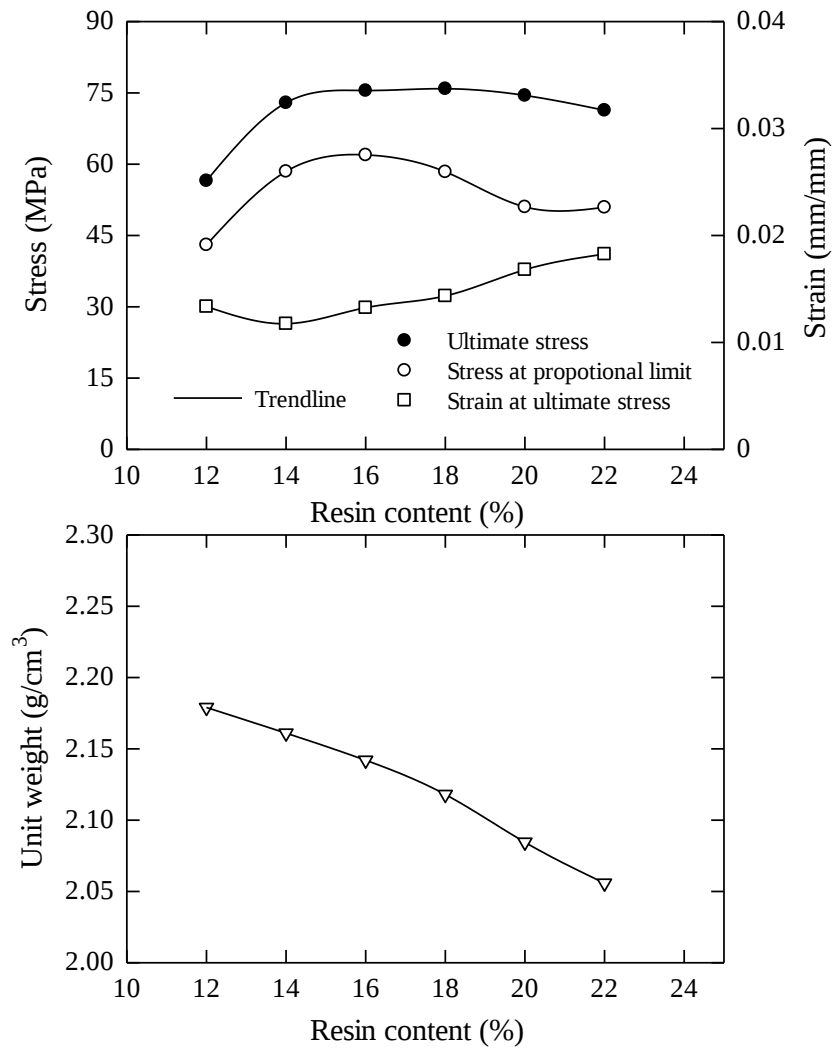
รูปที่ 4.9 พฤติกรรมการรับแรงอัดที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ

ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่น ความเครียดที่กำลังอัดประลัย และหน่วยน้ำหนักที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.10 กำลังอัดประลัยและกำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเรซินจนถึงจุดสูงสุดที่ปริมาณเรซินประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ หลังจากจุดสูงสุดกำลังอัดประลัยและกำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นลดลงอย่างชัดเจนตามปริมาณเรซินที่เพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อปริมาณเรซินมากขึ้นพอลิเมอร์เรซินซึ่งเป็นวัสดุประสานมีมากขึ้นทำให้ความหนาของชั้นพอลิเมอร์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมมีความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกพอลิเมอร์เรซินจึงเสียรูปมากขึ้นแต่อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีความเหนียวมากดังนั้นกำลังอัดจึงเพิ่มขึ้นในช่วงแรก แต่เมื่อปริมาณเรซินมากเกินไปจนจุดเหมาะสมการวิบัติของตัวอย่างจึงเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างมวลรวมกับพอลิเมอร์แทนการวิบัติที่วัสดุประสานจึงทำให้กำลังลดลง ค่ากำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นมีค่า 75 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังอัดประลัยที่ปริมาณเรซินน้อยกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อ

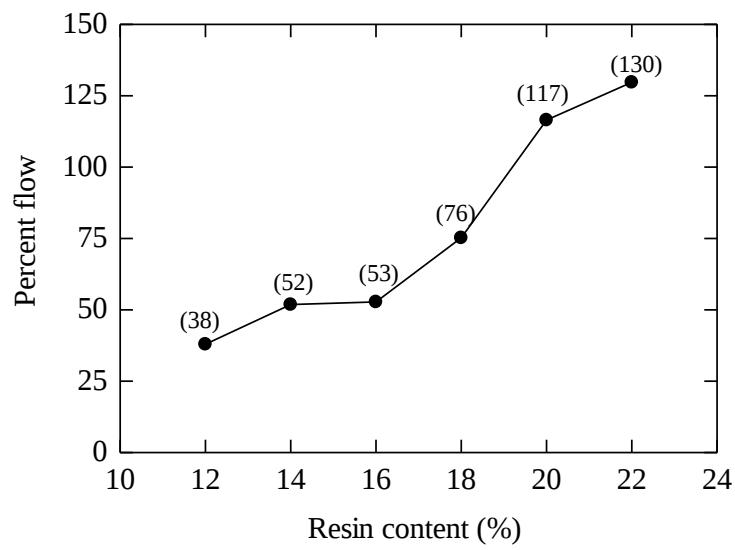
ปริมาณเรซินมากขึ้นกำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นมีค่าลดลงเหลือ 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังอัดประลัย การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดคงอธิบายข้างต้นสัมพันธ์กับหน่วยน้ำหนักเชิงปริมาตรที่ลดลงเมื่อปริมาณเรซินเพิ่มขึ้นด้วย เพราะหน่วยน้ำหนักของพอลิเมอร์เรซินต่ำกว่ามวลรวม เมื่อสัดส่วนปริมาณเรซินเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตจึงลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่ปริมาณเรซิน 12 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าลดลงเหลือ 2.06 ที่ปริมาณเรซิน 22 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในมิติของความสามารถในการเทได้ของพอลิเมอร์คอนกรีตที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ ผลของปริมาณเรซินต่อเปอร์เซ็นต์การไหลของพอลิเมอร์คอนกรีตแสดงดังรูปที่ 4.11 ที่ปริมาณเรซินต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ การไหลมีค่าต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นส่วนผสมที่พอลิเมอร์คอนกรีตที่มีความหนืดสูงจึงยากแก่การเทเข้าแบบ ดังนั้น การเลือกส่วนผสมที่ปริมาณเรซินสูงจะเป็นการเหมาะสมมากกว่าที่ปริมาณเรซินต่ำ เมื่อพิจารณาในมิติของกำลังอัดและความสามารถในการเทได้ร่วมกันปริมาณเรซินเหมาะสมสำหรับพอลิเมอร์คอนกรีตที่ไม่ผสมมวลรวมหยาบและสามารถทำงานได้ในการหล่อเข้าแบบในโรงงาน คือ ปริมาณเรซินเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตรวมหรือที่อัตราส่วนพอลิเมอร์เรซินต่อทรายเท่ากับ 1 : 4.6 โดยน้ำหนักซึ่งจะให้ค่ากำลังอัดประลัยเท่ากับ 75.9 เมกะปาสกาลและมีการไหลเท่ากับ 76 เปอร์เซ็นต์

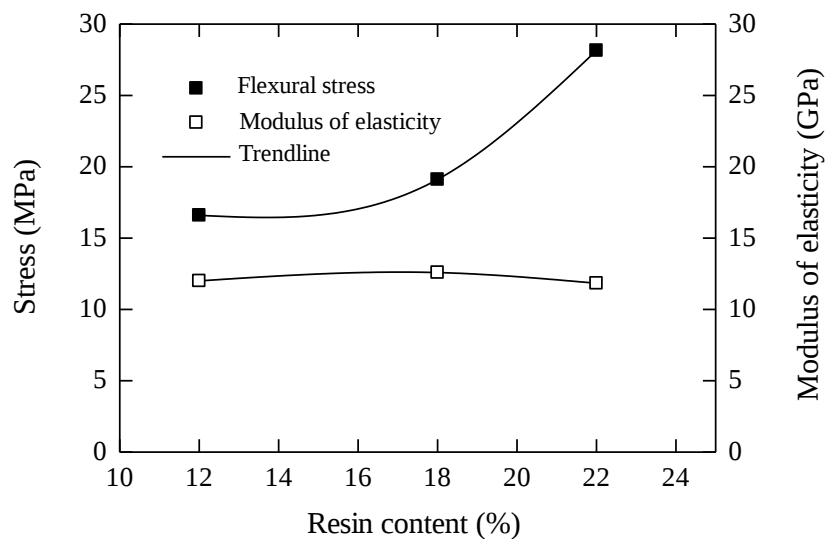
จากผลการทดสอบการรับแรงดัดของตัวอย่างทดสอบแบบคานากำลังรับแรงดัดและโมดูลัสยืดหยุ่นแสดงดังรูปที่ 4.12 เมื่อปริมาณเรซินมากโมดูลัสยืดหยุ่นจะต่ำเพราะพอลิเมอร์เรซินเป็นวัสดุเหนียว เมื่อเพิ่มปริมาณเรซินในส่วนผสมมากขึ้นความเครียดของวัสดุเมื่อรับหน่วยแรงเท่าเดิมย่อมมีค่าสูงขึ้นตาม ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้โมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าต่ำเมื่อปริมาณเรซินสูงขึ้น ความเป็นวัสดุอ่อนแต่เหนียว (soft – ductile) ของพอลิเมอร์เรซินจึงส่งผลให้กำลังรับแรงดัดสูงขึ้น ซึ่งแนวโน้มเมื่อปริมาณเรซินสูงขึ้น (มวลรวมน้อยลง) พฤติกรรมการรับแรงดัดของวัสดุผสมพอลิเมอร์คอนกรีตจะมีค่าเข้าใกล้พอลิเมอร์เรซินแข็งมากขึ้น กำลังคดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเรซินแต่อย่างไรก็ตามยังคงมีค่าต่ำเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงดัดของพอลิเมอร์เรซิน ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นแสดงจุดเหมาะสมที่ปริมาณเรซินระหว่าง 16 ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าสูงกว่าโมดูลัสยืดหยุ่นของ พอลิเมอร์เรซินประมาณ 3.6 เท่า จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณเรซินที่จุดเหมาะสม (18 เปอร์เซ็นต์) มีค่าโมดูลัสการยืดหยุ่นสูงสุดเช่นกัน แต่อย่างไรก็ดีถ้าต้องการค่ากำลังดัดที่สูงขึ้นจะต้องเพิ่มปริมาณเรซินขึ้นด้วย



รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณเรซินต่อค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัย กำลังอัดที่จุดคราก ความเครียดที่ กำลังอัดประลัยและหน่วยน้ำหนัก



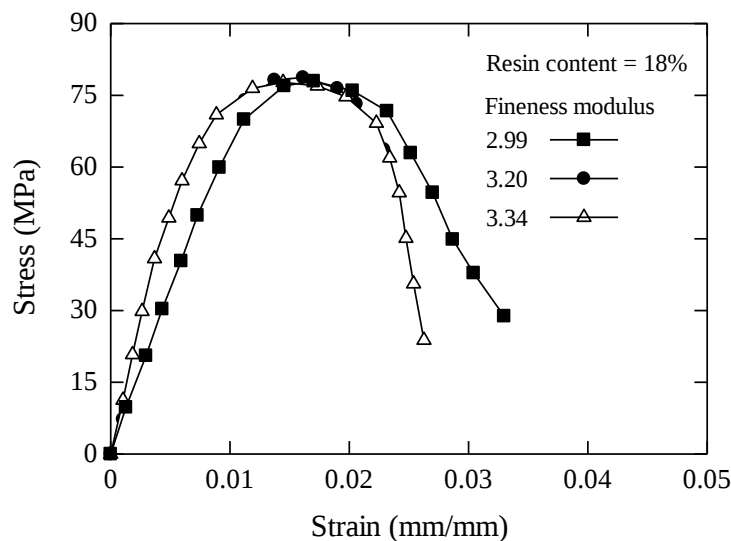
รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณเรซินต่อเปอร์เซ็นต์การไหลของพอลิเมอร์ผสมทราย



รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณเรซินต่อค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดประลัยและโมดูลัสยืดหยุ่นของการดัด

4.5 ผลของขนาดกะมวรวมละเอียด

ผลของขนาดกะมวรวมละเอียดแสดงผ่านค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมที่แตกต่างกันจำนวน 3 ค่า ดังแสดงในรูปที่ 4.13 สำหรับปริมาณเรซินคงที่เท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของปริมาณเรซินรวม พอลิเมอร์คอนกรีตที่มีโมดูลัสความละเอียดสูง (มวลรวมมีขนาดกะมวรวมใหญ่กว่า) จะมีกราฟหน่วยแรงและความเครียดที่มีความชันสูงกว่าที่ปริมาณเรซินเดียวกันซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุที่สูงกว่าด้วย โมดูลัสความละเอียดไม่ส่งผลต่อกำลังอัดสูงสุดและความเครียดที่ กำลังอัดสูงสุดแต่ส่งผลต่อความแข็งแรงเล็กน้อย พอลิเมอร์คอนกรีตที่ใช้ทรายหยาบจะมีความแข็งแรงสูงกว่าทรายละเอียด



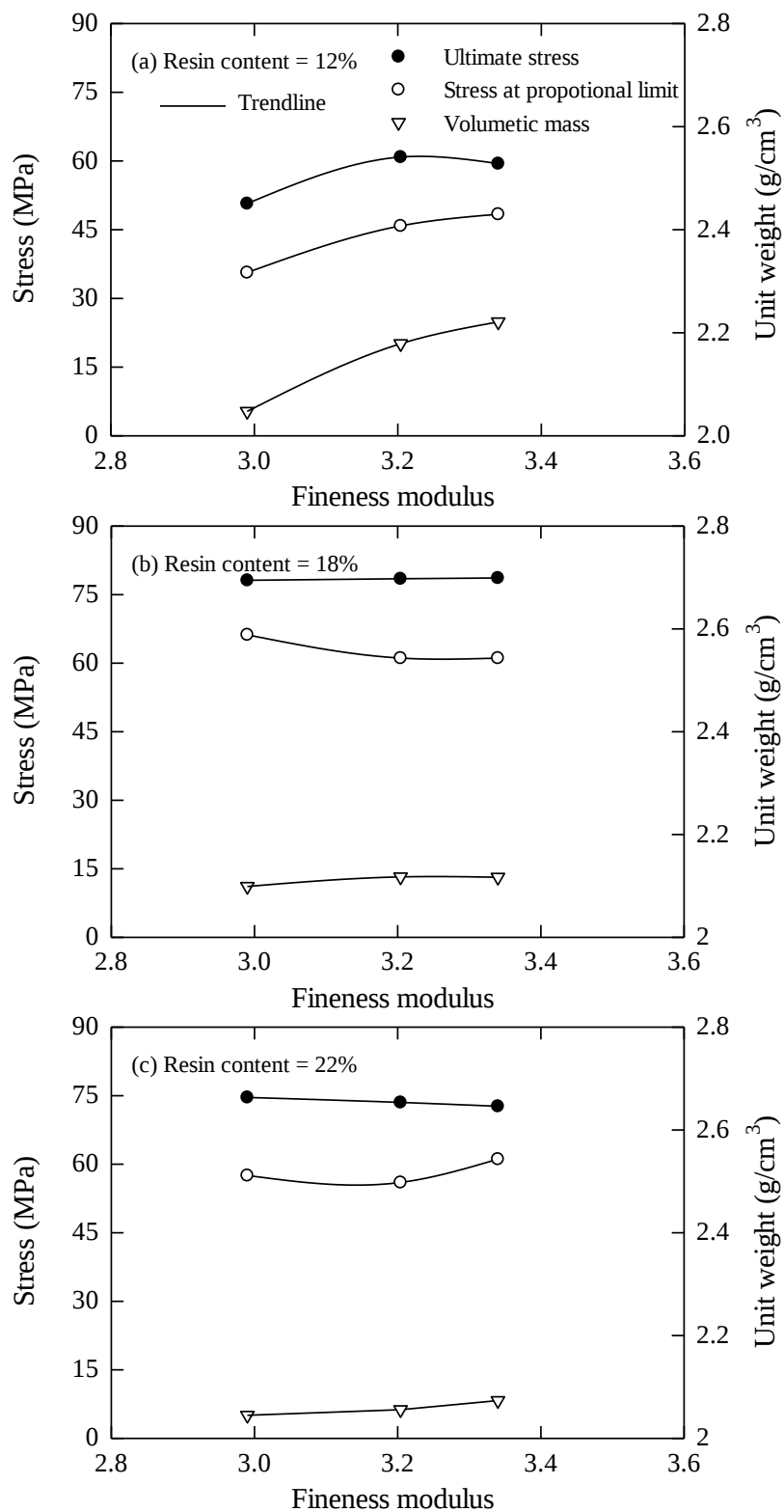
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของพอลิเมอร์คอนกรีตภายใต้การรับแรงอัดที่โมดูลัสความละเอียดของมวลรวมต่าง ๆ

ผลของขนาดกะมวรวมละเอียดที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ ต่อค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัย กำลังรับแรงอัดที่พิกัดยืดหยุ่น และหน่วยน้ำหนักแสดงดังรูปที่ 4.14 สำหรับปริมาณเรซิน 12 18 และ 22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณเรซิน 12 เปอร์เซ็นต์ (มวลรวมมากพอลิเมอร์เรซินน้อย) (ดูรูปที่ 4.14a) โมดูลัสความละเอียดมีผลต่อกำลังอัดและหน่วยน้ำหนักมาก กำลังอัดประลัยและกำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามโมดูลัสความละเอียด แต่จะเริ่มคงที่เมื่อโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.20 ที่ปริมาณเรซินเท่ากับ 18 และ 22 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาณมวลรวมน้อยลงปริมาณเรซินเพิ่มมากขึ้น) (ดูรูป 4.14b และ 4.14c) โมดูลัสความละเอียดไม่มีผลต่อกำลังอัดเมื่อเทียบกับปริมาณเรซินเท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งโมดูลัสความละเอียดที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อหน่วยน้ำหนักมากนักเมื่อเทียบกับ

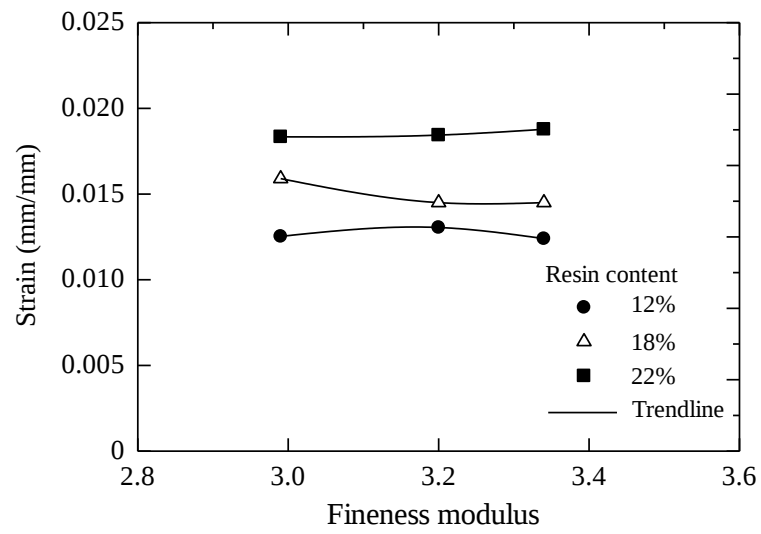
ปริมาณเรซินที่ 12 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีตที่มีโมดูลัสความเค้นสูงจะมีหน่วยน้ำหนักสูง เพราะมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าและมีพื้นที่ผิว (specific surface) ต่ำกว่าที่น้ำหนักรวมเท่ากันจึงส่งผลให้ความสามารถในการเทได้ของพอลิเมอร์คอนกรีตดีกว่าด้วย (พื้นที่ผิวมวลรวมมาก ความหนืดของพอลิเมอร์คอนกรีตจะสูง) ดังนั้นเมื่อเทพอลิเมอร์คอนกรีตลงแบบหล่อจะมีความหนาแน่นสูงและมีหน่วยน้ำหนักสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม วัฏจักรของปริมาณเรซินต่อหน่วยน้ำหนักจะมีน้อยลงเมื่อปริมาณเรซินเพิ่มสูงขึ้น

ผลของโมดูลัสความเค้นต่อความเครียดที่กำลังอัดประลัย (ความแรงของตัวอย่างทดสอบ) ของพอลิเมอร์คอนกรีตที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.15 จากผลทดสอบจะเห็นว่าโมดูลัสความเค้นไม่มีผลต่อความเครียดที่กำลังอัดประลัยสำหรับทุกปริมาณเรซินมากนัก เมื่อพิจารณาที่โมดูลัสความเค้นเดียวกันปริมาณเรซินสูงขึ้นความเครียดที่กำลังอัดประลัยสูงขึ้นเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4 โดยความเครียดที่กำลังอัดประลัยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.25 ถึง 1.90 เปอร์เซ็นต์

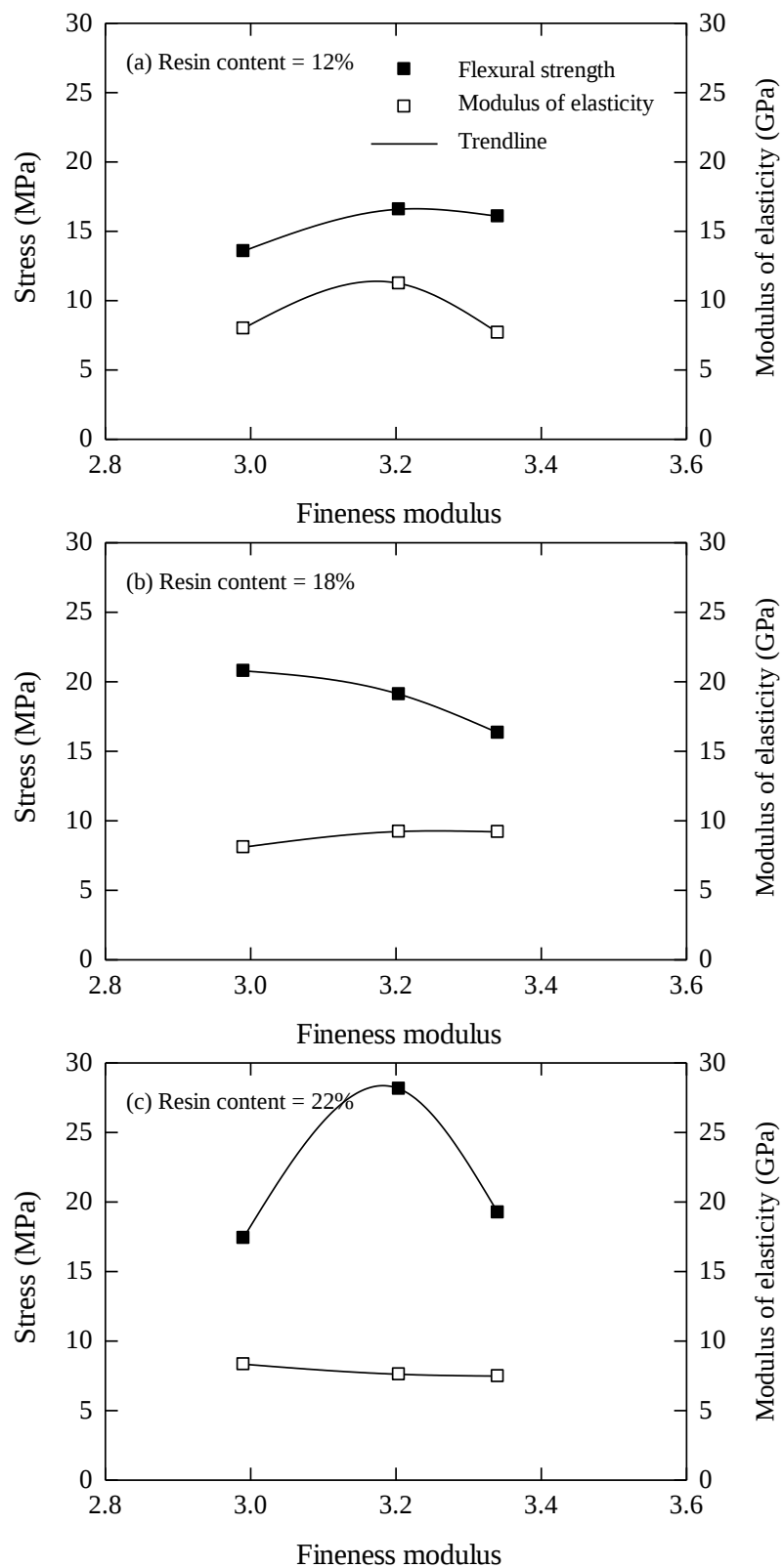
ผลของโมดูลัสความเค้นต่อกำลังค้ำของพอลิเมอร์คอนกรีตแสดงดังรูปที่ 4.16 สำหรับปริมาณเรซิน 12 18 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าโมดูลัสความเค้นมีผลต่อกำลังค้ำค่อนข้างมาก ค่ากำลังค้ำจะแปรผกผันกับโมดูลัสความเค้น (โมดูลัสความเค้นเพิ่มกำลังรับแรงค้ำมีแนวโน้มลดลง) ตัวอย่างเช่นที่ปริมาณเรซินเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ กำลังค้ำลดลงตามโมดูลัสความเค้นที่เพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 4.16b) แต่อย่างไรก็ดีที่แต่ละปริมาณเรซินผลทดสอบแสดงจุดเหมาะสมที่โมดูลัสความเค้นเท่ากับ 3.20 โมดูลัสยืดหยุ่นของการค้ำมีผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนโมดูลัสความเค้นของมวลรวมน้อยมากดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่สำหรับทุกปริมาณเรซิน



รูปที่ 4.14 ผลของโมดูลัสความละเอียดต่อค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัย กำลังอัดที่พิสัยยืดหยุ่นและหน่วยน้ำหนักที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ



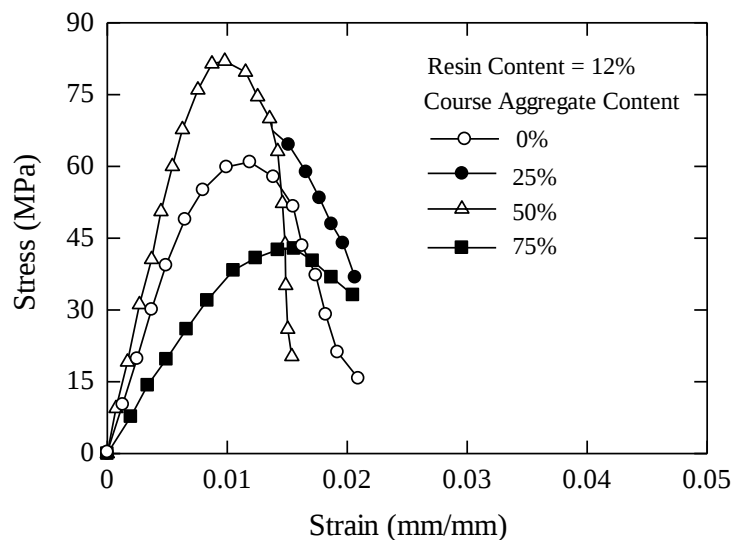
รูปที่ 4.15 ผลของโมดูลัสความละเอียดต่อค่าเฉลี่ยของความเครียดที่กำลังอัดประลัยสำหรับพอลิเมอร์คอนกรีตที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 ผลของโมดูลัสความละเอียดต่อค่าแรงก้ำกั้งดัดและโมดูลัสยืดหยุ่นที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ

4.6 ผลของปริมาณมวลรวมหยาบ

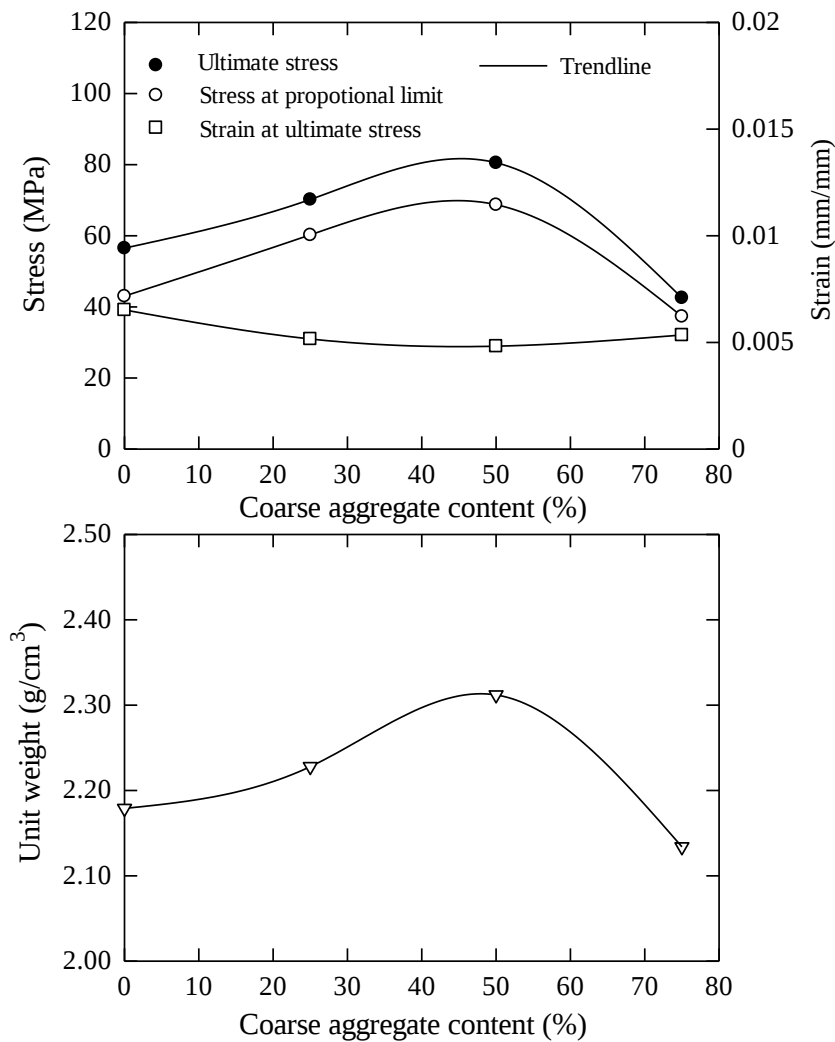
มวลรวมหยาบส่งผลต่อพฤติกรรมหน่วยแรงและความเครียดของพอลิเมอร์คอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4.17 เมื่อใช้ปริมาณเรซินคงที่เท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตรวม และใช้มวลรวมหยาบแทนที่มวลรวมละเอียดระหว่าง 0 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด กำลังอัดและความแข็งแรงของพอลิเมอร์คอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมวลรวมหยาบที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต (ปริญญญาและชัย, 2552) โดยจุดเหมาะสมคือปริมาณมวลรวมหยาบ 50 เปอร์เซ็นต์ของมวลทั้งหมดจะทำให้กำลังอัดเท่ากับ 80.6 เมกะปาสกาล เมื่อปริมาณมวลรวมหยาบเกินจุดเหมาะสม (มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมทั้งหมด) ความชันของกราฟหน่วยแรงและความเครียดลดลงอย่างชัดเจนซึ่งแสดงถึงกำลังอัดและความแข็งแรงที่ลดลง



รูปที่ 4.17 พฤติกรรมการรับแรงอัดสำหรับพอลิเมอร์คอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบที่สัดส่วนต่าง ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นและหน่วยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตที่ปริมาณมวลรวมหยาบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.18 กำลังอัดประลัย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นและหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามปริมาณมวลรวมหยาบจนถึงที่ปริมาณมวลรวมหยาบเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด เมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมหยาบอัตราส่วนระหว่างกำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นต่อกำลังอัดประลัยจะลดลงเนื่องจากสัดส่วนของวัสดุเปราะ (มวลรวมหยาบ) ในวัสดุผสม (พอลิเมอร์คอนกรีต) มีมากขึ้น วัสดุจึงวิบัติคล้ายวัสดุเปราะ หน่วยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับกำลังอัดประลัยของพอลิเมอร์คอนกรีตโดยที่

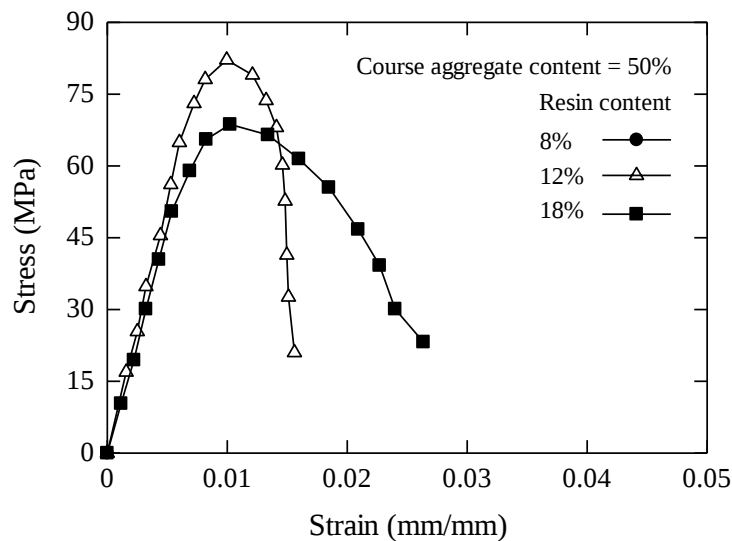
หน่วยน้ำหนักมากจะทำให้กำลังอัดสูงและหน่วยน้ำหนักน้อยจะทำให้กำลังอัดประลัยต่ำกว่า ที่เป็นเช่นนี้ เพราะปริมาณมวลรวมหยาบส่งผลต่อการเทเข้าแบบอย่างมาก ที่ปริมาณเรซินคงที่เท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด ปริมาณมวลรวมหยาบเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมทั้งหมด พอลิเมอร์คอนกรีตจะมีความหนาแน่นมากที่สุดและมีกำลังอัดสูงสุดด้วยซึ่งเท่ากับ 2.31 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและ 80.6 เมกะปาสกาล ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณมวลรวมหยาบต่อกำลังรับแรงอัดประลัย กำลังรับแรงอัดที่จุดครากและหน่วยน้ำหนัก

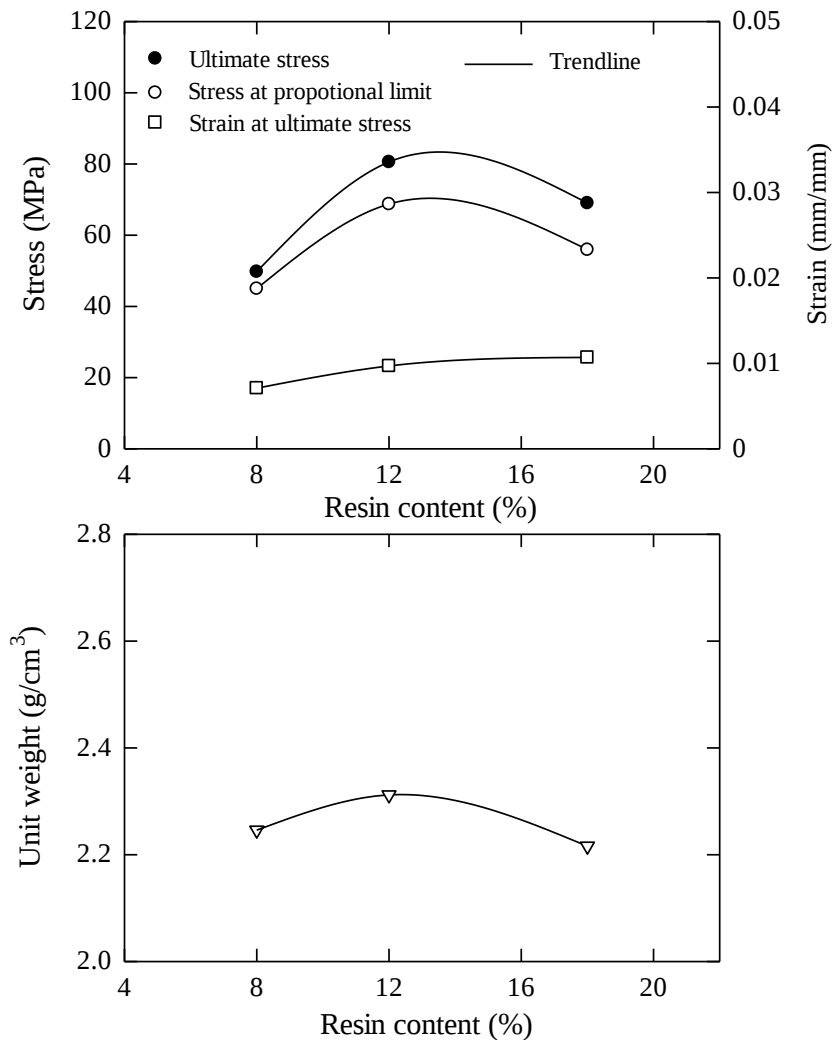
เมื่อพิจารณาปริมาณมวลรวมหยาบคงที่เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด ปริมาณเรซินที่เปลี่ยนแปลงยังส่งผลต่อพฤติกรรมหน่วยแรงและความเครียดที่แตกต่างกันดัง

แสดงในรูปที่ 4.19 ปริมาณเรซินลดลงส่งผลให้การยึดประสานระหว่างมวลรวมลดลง กำลังอัดและความแข็งแรงของพอลิเมอร์คอนกรีตจึงลดต่ำลงด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณเรซินสูงตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีตไม่ได้มีกำลังอัดสูงสุด แต่จุดเหมาะสมของกำลังอัดและความแข็งแรงยังขึ้นอยู่กับความแน่นของพอลิเมอร์คอนกรีตด้วย ดังจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณเรซิน 12 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังอัดประลัยและความแข็งแรงสูงสุด



รูปที่ 4.19 พฤติกรรมการรับแรงอัดของพอลิเมอร์คอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบคงที่เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมละเอียดและมีปริมาณเรซินต่าง ๆ

ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่น ความเครียดที่กำลังอัดประลัย และหน่วยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตที่มีปริมาณมวลรวมหยาบคงที่เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมทั้งหมดและปริมาณเรซินต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.20 กำลังอัดประลัย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่น และหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามปริมาณเรซินจนถึงจุดเหมาะสมระหว่าง 12 ถึง 14 เปอร์เซ็นต์หลังจากนั้นมีค่าลดลง ความสัมพันธ์ดังกล่าวคล้ายกับรูปแบบของพอลิเมอร์คอนกรีตที่ไม่ผสมมวลรวมหยาบตามที่ได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 4.4 และ 4.5 อัตราส่วนกำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นต่อกำลังอัดประลัยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งแสดงถึงวัสดุมีพฤติกรรมเป็นแบบแข็งขึ้นตามความเครียดที่กว้างขึ้นโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.31 กรัมนต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่ตำแหน่งปริมาณเรซินเหมาะสมซึ่งสอดคล้องกับในกรณีที่ไม่ผสมมวลรวมหยาบ (ดูรูปที่ 4.10) หน่วยน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกำลังอัด กล่าวคือกำลังอัดสูงหน่วยน้ำหนักมาก ปริมาณเรซินไม่ส่งผลต่อความเครียดที่กำลังอัดสูงสุดมากนักโดยความเครียดที่กำลังอัดประลัยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตามปริมาณเรซินโดยมีค่าระหว่าง 0.8 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์

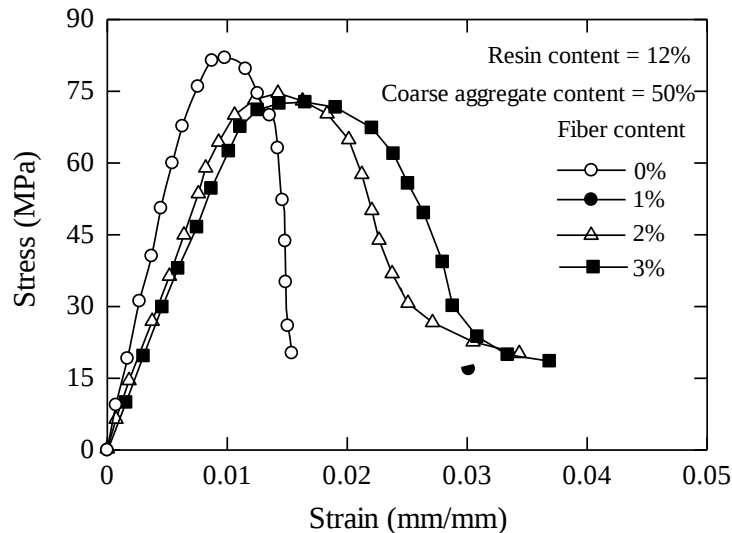


รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณเรซินต่อกำลังอัดประลัย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่น ความเครียดที่กำลังอัดประลัยและหน่วยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตที่ปริมาณมวลรวมหายบคงที่เท่ากับ 50 เปอร์เซนต์ของมวลรวมทั้งหมด

4.7 ผลของปริมาณเส้นใย

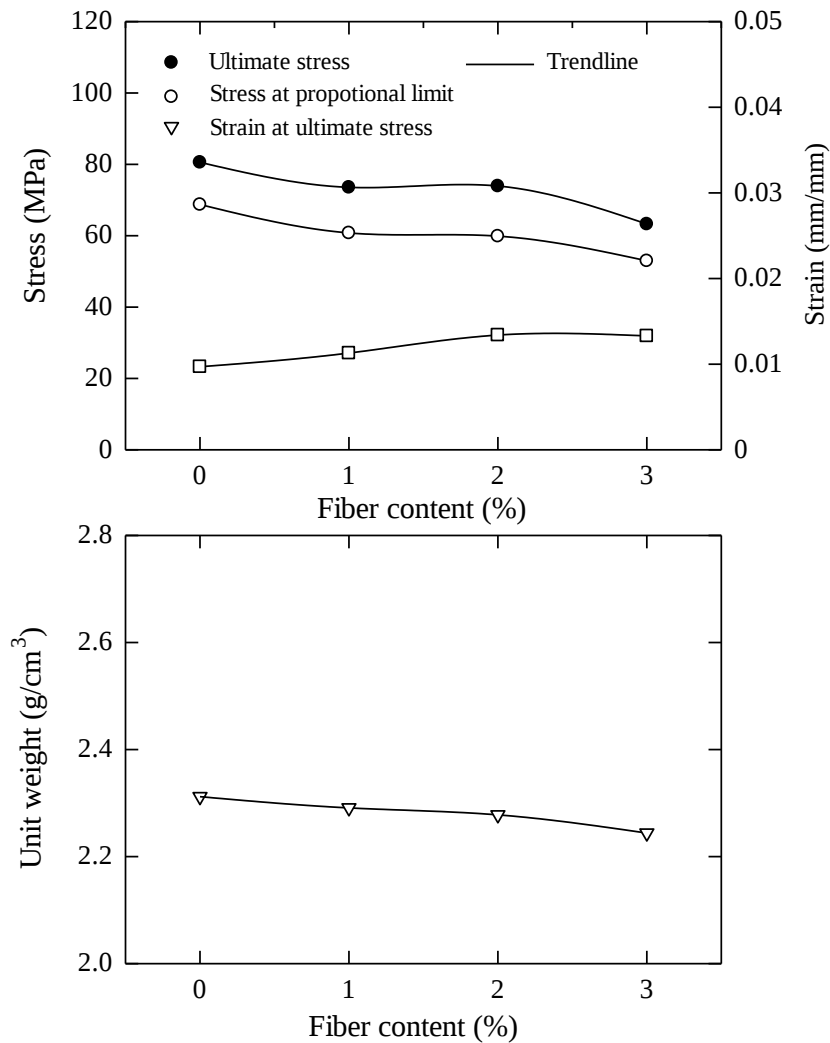
เมื่อเพิ่มเส้นใยแก้วลงในส่วนผสมของพอลิเมอร์คอนกรีตส่งผลต่อพฤติกรรมหน่วยแรงและความเครียดดังแสดงในรูปที่ 4.21 ความแรงของวัสดุมีค่าลดลงเมื่อผสมเส้นใยแต่วัสดุจะมีพฤติกรรมที่เหนียวขึ้นและวัสดุสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าเดิม (โมดูลัสความแข็งแรงสูงขึ้น) จากผลการทดสอบปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อกำลังอัดเล็กน้อยโดยกำลังอัดของพอลิเมอร์คอนกรีตผสมเส้นใยมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 2 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักพอลิเมอร์คอนกรีตรวม

อย่างไรก็ตามกำลังอัดเฉลี่ยของพอลิเมอร์คอนกรีตผสมเส้นใยจะลดลงจากเดิม (ซึ่งไม่ผสมเส้นใย) ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.21 พฤติกรรมการรับแรงอัดของพอลิเมอร์คอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบคงที่เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมละเอียดและมีปริมาณเส้นใยต่าง ๆ

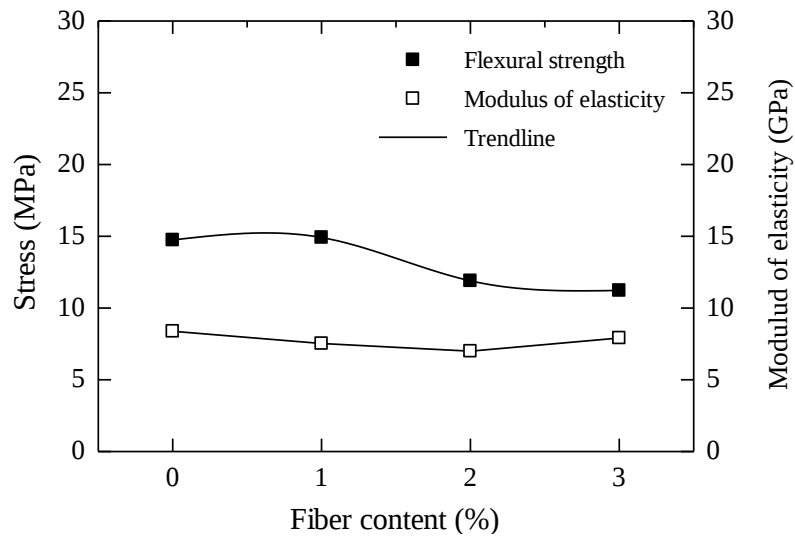
ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดเฉลี่ย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่น ความเครียดที่กำลังอัดเฉลี่ย และหน่วยน้ำหนัก ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณเส้นใยต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.22 กำลังอัดเฉลี่ย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่นและหน่วยน้ำหนักลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น กำลังของพอลิเมอร์คอนกรีตขึ้นอยู่กับความสามารถในการเทเข้าแบบและความแน่นของการบดอัดแต่ละชั้น พอลิเมอร์คอนกรีตที่ผสมเส้นใยที่ปริมาณเรซินเท่าเดิมจะมีความสามารถในการเทได้ลดลงเพราะเส้นใยแก้วมีพื้นที่ผิวมากคล้ายกับมวลรวมละเอียดเมื่อผสมกับเรซินซึ่งมีความหนืดสูงกว่าน้ำถึง 400 เท่า จึงเทเข้าแบบได้ไม่แน่นเท่าเดิมซึ่งส่งผลให้กำลังอัดและหน่วยน้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตามผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ (Sett and Vipulanandan, 2002) ที่ผ่านมาซึ่งชี้ให้เห็นว่ากำลังรับแรงอัดของพอลิเมอร์คอนกรีตผสมเส้นใยอาจเพิ่มขึ้นหรืออาจลดลงตามชนิดของเส้นใยและกระบวนการเตรียมตัวอย่างที่อาจต้องใช้วิธีที่แตกต่างกัน เส้นใยที่นำมาใช้ในการทดสอบนี้มีความยาวค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งความยาวของเส้นใยนี้ส่งผลต่อความสามารถในการเทเข้าแบบ และความแน่นของตัวอย่างอย่างมากดังจะเห็นได้จากเมื่อปริมาณเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้นหน่วยน้ำหนักของพอลิเมอร์เรซินกลับลดลงอย่างชัดเจน



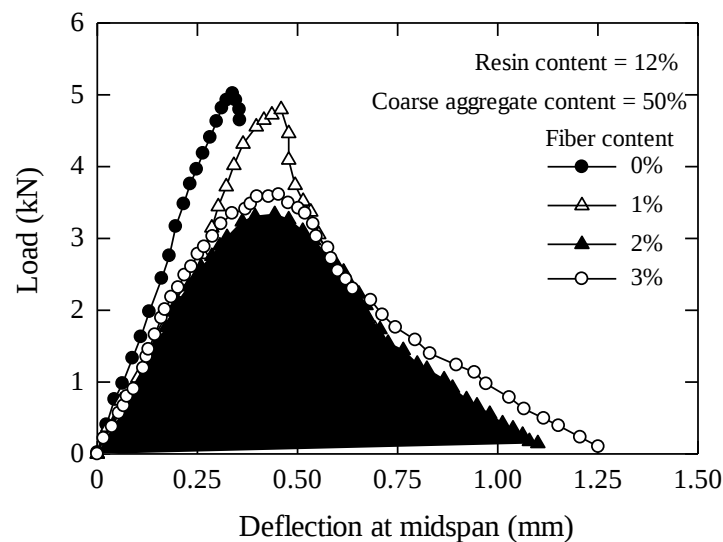
รูปที่ 4.22 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัย กำลังอัดที่พิกัดยืดหยุ่น ความเครียดที่ กำลังอัดประลัยและหน่วยน้ำหนักของพอลิเมอร์คอนกรีตที่ปริมาณมวลรวมหยาบคงที่เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมทั้งหมด

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการดัดแบบคานค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของพอลิเมอร์คอนกรีตผสมเส้นใยก็ลดลงตามปริมาณเส้นใยเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 4.23 แต่โมดูลัสยืดหยุ่นของการดัดมีค่าค่อนข้างคงที่แม้จะเพิ่มปริมาณเส้นใย อย่างไรก็ตามการเพิ่มเส้นใยในพอลิเมอร์คอนกรีตยังคงมีประโยชน์เมื่อต้องการพอลิเมอร์คอนกรีตที่มีความเหนียวเพิ่มขึ้น (โมดูลัสความแข็งแรงสูง) หรือมีกำลังคงค้างหลังจากจุดสูงสุด ซึ่งเหมาะกับโครงสร้างสำหรับต้านทานแรงกระแทกหรือสั่นสะเทือน ดังแสดงได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการเสียรูปที่ตำแหน่งกลางคานของการทดสอบการรับแรงดัดแบบคานในรูปที่ 4.24 จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์คอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใยมีพฤติกรรมแบบวัสดุเปราะอย่างชัดเจนโดยไม่สามารถรับน้ำหนัก

บรรทุกได้หลังจากน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ซึ่งต่างกับตัวอย่างพอลิเมอร์คอนกรีตที่ผสมเส้นใยใช้อย่างชัดเจนพอลิเมอร์คอนกรีตที่ผสมเส้นใยมีกำลังค้ำในช่วงการอ่อนลงจนมีการเสียรูปที่กึ่งกลางคานมากกว่า 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังค้ำและโมดูลัสยืดหยุ่นที่ปริมาณเรซินต่าง ๆ



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการเสียรูปที่กึ่งกลางคานของการทดสอบการรับแรงค้ำแบบคานที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ