


อิทธิพลของเถ้าเใยปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบที่มีต่อกำลังและพฤติกรรม
การรับโมเมนต์ดัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว


นายสุวิทย์ เหล่ายัง ค.อ.บ. (วิศวกรรมโยธา)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....
(ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....
(ผศ.ดร.ชูชัย สุจิรวกุล)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


.....
(ดร.ประวิณ ชมปรีดา)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของเถ้าเใยปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบที่มีต่อกำลังและพฤติกรรม การรับโมเมนต์ดัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายสุวิทย์ เหล่ายัง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชูชัย สุจิวรกุล
หลักสูตร	ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	ครุศาสตรโยธา
คณะ	ครุศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี
พ.ศ.	2550

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของเถ้าเใยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบที่มีต่อกำลังและพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว โดยนำเถ้าเใยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบมาอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่อง Los Angeles Machine เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนอนุภาคข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 2.52 และ 3.72 ตามลำดับ เถ้าเใยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบถูกนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก การศึกษาประกอบด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ค่ากำลังดัดเทียบเท่า กำลังอัดและการดูดซึมน้ำทำการทดสอบที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน กำลังอัดของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน ASTM C 190-95 ส่วนกำลังดัดเทียบเท่าและการดูดซึมน้ำของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วทดสอบตามมาตรฐาน BS EN 1170-5:1998 จากผลการศึกษาพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าเใยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ มีผลกระทบต่อกำลังและพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว โดยเถ้าแกลบให้กำลังและพฤติกรรมดัดดีกว่าเถ้าเใยปาล์มน้ำมัน และดีกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้แทนที่ด้วยเถ้าเใยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ นอกจากนี้ยังพบว่า อายุการบ่มในน้ำมีผลต่อกำลังและพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าเใยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบและตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้แทนที่ด้วยเถ้าเใยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ โดยสามารถสังเกตเห็นได้ว่าค่า LOP และค่า MOR สูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่า MOR ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มคงที่หลังอายุ 28 วัน สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าเใยปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมพบว่าอยู่ที่ร้อยละ 10 และการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบที่เหมาะสมพบว่าอยู่ที่ร้อยละ 10-30 ในการวิจัย

ครั้งนี้แนะนำให้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ
แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าเถ้ากลบในอัตราร้อยละ 20

คำสำคัญ: กำลังค้ำเค้น / คอนกรีตเสริมใยแก้ว / วัสดุแผ่นบาง / GRC/ เส้นใยแก้ว

Thesis Title	The Influence of Oil Palm Fiber Ash and Rice Husk Ash to the Strength and Behaviour in Receiving Shear and Bending Moment of Thin Sheet Made of Glass Fiber Reinforced Concrete
Thesis Credits	6
Candidate	Mr. Suwit Laoyoung
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chuchai Sujivorakul
Program	Master of Science in Industrial Education
Field of Study	Civil Engineering
Department	Civil Technology Education
Faculty	Industrial Science of Education and Technology
B.E.	2550

Abstract

This thesis was to study the influence of oil palm fiber ash and rice husk ash to the strength and behaviour in receiving shear and bending moment of thin sheet made of glass fiber reinforced concrete. The oil palm fiber and the rice husk ashes were baked by baker at the temperature of 105-110 °C. After that they had been ground by Los Angeles Machine for 12 hours, until particles was left on the standard sieve No. 325 at percentages of 2.52 and 3.72 respectively. Oil palm fiber and rice husk ashes were used to replace the Portland cement type I in the ratio of 0%, 10%, 20%, 30% and 40% by weight. The study consisted of physical and mechanical properties as follows: Equivalent bending strength, compressive strength and water absorption. They were tested at the age of 7, 28, 56 and 180 days. The Mortar compressive strength of cement was tested following ASTM C 190-95 standard, while the equivalent bending strength and water absorption were tested following BS EN 1170-5:1998. From results, it was found that the replacement of Portland cement by the oil palm fiber and rice husk ashes had an effect on strength and behaviour in receiving shear and bending moment of thin sheet made of glass fiber reinforced concrete. The rice husk ash had a better strength and behaviour than the oil palm fiber ash. This rice husk ash cement was even better than the control sampling which had no oil palm fiber and the rice husk ashes. Furthermore, it was found that the curing age in water had an effect to strength and behaviour in receiving shear and bending moment of all 3 types of thin sheet made of glass fiber reinforced concrete, the oil palm

fiber ash, the rice husk ash and the control sampling which had no oil palm fiber and rice husk ashes. It was observed that the values of LOP and MOR was greater as the curing age was longer. However, the value of MOR of the control sampling seemed to be constant after curing age of 28 days. For the suitable ratio for replacement of the Portland cement by oil palm fiber ash was found at 10% while it was 10%-30% for the rice husk ash. This research recommended that the ratio for the replacement of the Portland cement by the oil palm fiber and the rice husk ashes was 10% and 20% respectively.

Keywords: Equivalent Bending Strength / Glass Fiber Reinforced Concrete / Thin Sheet Material /
Glass Fiber

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับการอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ที่ให้ความกรุณาทั้งด้านความรู้ คำแนะนำตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ผศ.ดร.ชูชัย สุจิวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษางานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ดร.ประวีณ ชมปรีดา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวคิดที่เป็นประโยชน์และมีคุณค่ายิ่งต่องานวิจัย ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และคำปรึกษาที่จำเป็นต่อการวิจัย ขอขอบพระคุณ บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้างจำกัด บริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด สุราษฎร์ธานี บริษัท GRC (Thailand) ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนวัสดุในการทำวิจัยและทำตัวอย่างวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ สมาชิกในครอบครัวและเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจ ขอขอบคุณพิเศษสำหรับ Mr. Jeffry Maxfield Lam Po-Lui ที่ให้ความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือมาโดยตลอด ความดีและประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งปวงให้แก่บุคคลเหล่านี้ตลอดจนคณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
รายการตาราง	ญ
รายการรูปประกอบ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 อักษรย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 วัสดุพอลิซิลาน	5
2.2 เถ้าแกลบ	7
2.3 เถ้าใบปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fiber Ash)	8
2.4 ทรายแก้ว (Glass Sand) จังหวัดระยอง	9
2.5 เส้นใยแก้ว (Glass Fibers)	10
2.6 สารลดปริมาณน้ำอย่างมาก (Superplasticizer)	11
2.7 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. วิธีการวิจัย	20
3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	20
3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบกำลังคัต	21
3.3 อัตราส่วนผสมและขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังคัต	23
3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังคัต	24
3.5 ขั้นตอนการทดสอบแรงคัต	28
3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นตัวอย่างทดสอบแรงคัต	30
3.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบกำลังคัต	30
3.8 อัตราส่วนผสมและขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแรงคัตของมอร์ตาร์	30
3.9 การทดสอบกำลังคัต	31
4. ผลการวิจัย	32
4.1 การทดสอบกำลังคัตของมอร์ตาร์	32
4.2 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตเสริมใยแก้ว	37
4.3 การทดสอบกำลังรับแรงคัตของคอนกรีตเสริมใยแก้ว	39
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการวิจัย	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

- ก. ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบในอัตราร้อยละ 0 10 20 30
และ 40 โดยน้ำหนัก ทดสอบที่อายุ 7 28 และ 56 วัน 72
- ข. ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังคัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว
ของเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ
0 10 20 30 และ 40 79
ทำการทดสอบที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน
- ค. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเปรียบเทียบกับระยะโก่งตัวของแผ่นบาง
ที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบที่แทนที่ปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ อัตราร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักทำการทดสอบที่อายุ
7 28 56 และ 180 วัน 116

ประวัติผู้วิจัย

135

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การจำแนกชั้นของวัสดุพอลิโพรพิลีนตามมาตรฐาน ASTM C618-99	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของเส้นใยโพรพิลีน อ.บ้านลาด จ.เพชรบุรี	8
2.3 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของเส้นใยโพรพิลีน จากบริษัท ทักษิณโพรพิลีน (2521) จำกัดสุราษฎร์ธานี	9
2.4 ส่วนประกอบทางเคมี ของทรายแก้ว จังหวัดระยอง	10
2.5 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของเส้นใยแก้ว	11
2.6 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties) ของเส้นใยแก้ว	11
3.1 แสดงอัตราส่วนผสมของตัวอย่างทดสอบกำลังรับกำลังดัด	23
3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์	31
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการวิจัย	32
4.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว ของเส้นใยโพรพิลีนและเส้นใยโพรพิลีนในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน	37
4.3 แสดงผลการทดสอบความเครียด (Strain) ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และความเครียด ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยโพรพิลีน และ เส้นใยโพรพิลีนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุต่างๆ	46
4.4 ผลการทดสอบกำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดสูงสุด (MOR) ที่อายุต่างๆ	49
4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบ กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์กับกำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยโพรพิลีน และเส้นใยโพรพิลีนที่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุต่างๆ	59
4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบ กำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยโพรพิลีน และเส้นใยโพรพิลีนที่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับกำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน	63
ก.1 ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเส้นใยโพรพิลีนที่อายุ 7 วัน	73
ก.2 ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเส้นใยโพรพิลีนที่อายุ 28 วัน	74
ก.3 ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเส้นใยโพรพิลีนที่อายุ 56 วัน	75

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.4 ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบที่อายุ 7 วัน	76
ก.5 ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบที่อายุ 28 วัน	77
ก.6 ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้ากลบที่อายุ 56 วัน	78
ข.1 ผลการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วแทนที่ซีเมนต์ ที่อายุ 7 วัน	80
ข.2 ผลการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วแทนที่ซีเมนต์ ที่อายุ 28 วัน	89
ข.3 ผลการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วแทนที่ซีเมนต์ ที่อายุ 56 วัน	98
ข.4 ผลการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วแทนที่ซีเมนต์ ที่อายุ 180 วัน	107

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 แสดงการผลิตทรายแก้ว	9
2.2 การทดสอบการดัดแบบสี่จุด (Four – Points Bending Test)	13
2.3 แสดงตำแหน่งของแรงที่เกิดขึ้นบนเส้นโค้งที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการโก่งตัว	14
3.1 เครื่อง Spray มอเตอร์ และเส้นใยแก้ว	22
3.2 Spray Gun	22
3.3 เครื่องทดสอบกำลังดัด	22
3.4 เครื่อง Los Angeles Machine	22
3.5 ชุดวัดการเคลื่อนที่ LVDT	22
3.6 Dial Gauge and Proving Ring	23
3.7 ชุดวัด Strain Gauge แบบ Analogue	23
3.8 การเคลือบแบบหล่อด้วยน้ำมัน	24
3.9 แบบหล่อที่พร้อมหล่อตัวอย่าง	24
3.10 การตรวจสอบปริมาณเส้นใยแก้ว	25
3.11 การ Spray มอเตอร์และเส้นใยแก้ว	26
3.12 การแต่งผิวหน้าให้เรียบ	26
3.13 การบ่มตัวอย่างในอากาศ	27
3.14 เตรียมตัวอย่างหลังจากบ่มพอหมาดๆ	27
3.15 แสดงการตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังดัด ตามแนวยาว (B) และแนวขวาง (T)	27
3.16 แสดงการตัดแผ่นตัวอย่างทดสอบ	28
3.17 แผ่นตัวอย่างทดสอบที่ตัดเรียบร้อยแล้ว	28
3.18 การประกอบชุดเครื่องมือทดสอบกำลังดัด	29
3.19 การติดตั้งแผ่นตัวอย่าง, LVDT	29
3.20 การวัดของแผ่นตัวอย่าง	29
4.1 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าใยปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน	33

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.2 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน	34
4.3 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน	35
4.4 เปรียบเทียบการพัฒนากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ อายุ 7 28 และ 56 วัน	36
4.5 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ซีเมนต์ ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40	37
4.6 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน	38
4.7 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของ แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน	39
4.8 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน	40
4.9 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของ แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน	41
4.10 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน	42
4.11 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน	43
4.12 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน	43
4.13 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 180 วัน	44
4.14 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 180 วัน	45

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.15 เปรียบเทียบค่าความเครียด (Strain) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่จุดขีดจำกัด (LOP) ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน	47
4.16 เปรียบเทียบค่าความเครียด (Strain) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ อายุ 7 28 56 และ 180วัน	48
4.17 เปรียบเทียบกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 7 วัน	50
4.18 เปรียบเทียบกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 7 วัน	50
4.19 เปรียบเทียบกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 28 วัน	51
4.20 เปรียบเทียบกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 28 วัน	52
4.21 เปรียบเทียบกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 56วัน	53
4.22 เปรียบเทียบกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 56 วัน	54
4.23 เปรียบเทียบกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 180วัน	55
4.24 เปรียบเทียบกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 180 วัน	56
4.25 เปรียบเทียบการพัฒนาการกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 7 28 56และ180วัน	57
4.26 เปรียบเทียบการพัฒนาการกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ40 ที่อายุ 7 28 56และ180 วัน	58

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.27 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์บอร์ตากับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันและเส้นใยกลบ ในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน	60
4.28 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์บอร์ตากับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันและเส้นใยกลบ ในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน	61
4.29 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์บอร์ตากับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันและเส้นใยกลบ ในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน	61
4.30 เปรียบเทียบการพัฒนา กำลังอัดของซีเมนต์บอร์ตากับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน	62
4.31 เปรียบเทียบการพัฒนา กำลังอัดของซีเมนต์บอร์ตากับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน	62
4.32 เปรียบเทียบ กำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน	64
4.33 เปรียบเทียบกำลังดัดกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 กับค่ากำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน	65
4.34 เปรียบเทียบ กำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน	65
4.35 เปรียบเทียบ กำลังดัดกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเส้นใยกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 กับค่ากำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน	66

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
ก.27 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเปรียบเทียบกับระยะโค้งตัว ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วผสมเถ้าแกลบ อัตราร้อยละ 40 ที่อายุ 56 วัน	130
ก.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุ 56 วัน	130
ก.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 180 วัน	131
ก.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 180 วัน	131
ก.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 180 วัน	132
ก.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 180 วัน	132
ก. 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 180 วัน	133
ก.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 180 วัน	133
ก. 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 180 วัน	134
ก.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคัดเทียบเท่า กับระยะโค้งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 180 วัน	134

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การผลิตคอนกรีตในปัจจุบันได้มีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โดยมีการพัฒนาวัสดุผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในด้านต่างๆของคอนกรีตให้ดีขึ้น นอกจากนั้นมีการพัฒนาทั้งในด้านการออกแบบ วิธีการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างจำเป็นต้องมีคุณภาพ มีปริมาณเพียงพอในการผลิตในระบบอุตสาหกรรม อีกทั้งสามารถใช้งานได้ดีทุกสภาพการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นคอนกรีตสดหรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาในเรื่องของวัสดุผสมเพิ่มในงานคอนกรีต โดยวัสดุที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นสารผสมแบบแร่ธาตุกลุ่มสารปอซโซลานตัวอย่างเช่น ขี้เถ้าลอย (Fly Ash) ขี้ตะกรันจากเตาถลุง (Blast Furnace Slag) ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) สารปอซโซลานคือสารที่มีสารซิลิกาหรือสารอลูมินาเป็นองค์ประกอบ โดยวัสดุดังกล่าวไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานแต่เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้องแล้วผลของปฏิกิริยาที่ได้อาจมีคุณสมบัติเชื่อมประสานเช่นเดียวกับซีเมนต์ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอนุภาพให้มีขนาดเล็กลงเพื่อประโยชน์ในด้านวิทยาศาสตร์และทางด้านวิศวกรรม จึงเกิดทางเลือกใหม่ๆในการเลือกใช้วัสดุเพื่อที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้างมากขึ้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้เลือกเถ้าแกลบจากโรงเผาอิฐในจังหวัดเพชรบุรี และเถ้าไยปลาค้างคาวจากบริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จังหวัดสุราษฎร์ธานี มาบดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 จำนวน 95% มาผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนเพื่อทำผลิตภัณฑ์คอนกรีตเสริมใยแก้ว (Glass fiber reinforced concrete) GRC

คอนกรีตเสริมใยแก้ว (Glass fiber reinforced concrete) GRC เป็นส่วนผสมระหว่าง ซีเมนต์ ทรายละเอียด น้ำ สารเพิ่มประสิทธิภาพ และใยแก้วชนิดพิเศษ มีวิธีการผลิตหลายแบบ เช่น ระบบพ่น หรือระบบเทหล่อในที่ หล่อเปื่อยหล่อแห้ง ระบบหล่อสำเร็จจากโรงงานผลิตภัณฑ์ GRC สามารถผลิตหรือขึ้นรูปให้มีขนาดที่บางและเล็กได้เพียง 6 มิลลิเมตร หรือ 1 ส่วน 4 นิ้ว จึงทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ มีน้ำหนักเบามากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากคอนกรีตแบบเดิมๆ คอนกรีตเสริมใยแก้ว (GRC) เป็นเทคโนโลยีการก่อสร้างที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในปัจจุบัน เป็นหนึ่งในวัสดุก่อสร้างที่มีความทนทานและแข็งแรงที่สุด เหมาะกับการใช้ในงานด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม [1]

เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เป็นผลผลิตที่ได้จากการเผาแกลบ ที่สามารถพบได้โดยทั่วไปตามแหล่งผลิตที่สำคัญๆ ได้แก่ โรงไฟฟ้าที่ใช้พลังความร้อนจากการเผาแกลบ โรงสีไฟ เตาเผาอิฐ และตามครัวเรือนที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบยังมีไม่มาก

นัก ดังนั้นจึงถือว่าแกลบเป็นวัสดุที่มีมูลค่าต่ำ อีกทั้งยังก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศแก่บริเวณใกล้เคียง และชุมชนรอบข้างผลสืบเนื่องจากการฟุ้งกระจายปลิวไปตามลมของอนุภาคเล็กๆของแกลบทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ หากนำแกลบมาพัฒนาเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ในการทำผลิตภัณฑ์ซีเมนต์เสริมเส้นใยแก้ว จะทำให้เกิดประโยชน์หลายด้านด้วยกันได้แก่ ลดมลภาวะที่เกิดจากแกลบ ลดต้นทุนในการก่อสร้างลงทรัพยากรธรรมชาติถูกทำลายน้อยลงเนื่องจากในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้หินปูนซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักสำคัญที่ได้จากการระเบิดภูเขาทำให้เกิดมลภาวะจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นอีกทั้งขบวนการผลิตปูนซีเมนต์ต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก เป็นผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน จากการวิจัยพบว่าขบวนการในการผลิตปูนซีเมนต์ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกมากถึงปีละ 13.5 ล้านตันหรือประมาณ 7%ของปริมาณก๊าซทั้งหมด และประการที่สำคัญที่สุดอีกประการหนึ่งในการนำแกลบมาเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำผลิตภัณฑ์ซีเมนต์เสริมใยแก้วคือการเพิ่มมูลค่าของข้าวเปลือกให้สูงขึ้นส่งผลให้เกษตรกรมีรายเพิ่มขึ้น มีฐานะความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นส่งผลให้เศรษฐกิจโดยรวมของประเทศชาติดีขึ้นตามไปด้วย

เถ้าใยปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fiber Ash) เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากการเผาใยปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงของโรงงานปาล์มน้ำมันในการคั้นผลปาล์มดิบเพื่อสกัดน้ำมันปาล์ม โรงงานปาล์มน้ำมันมีกระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน ได้แก่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร กระบี่ นครศรีธรรมราช ในจังหวัดสุราษฎร์ธานีเองมีโรงงานปาล์มน้ำมันอยู่หลายโรงดังนั้นในแต่ละวันจึงมีปริมาณเถ้าใยปาล์มเป็นจำนวนมาก เถ้าใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกันได้ประมาณร้อยละ 37.98 จำแนกตามมาตรฐาน ASTM C618 จัดอยู่ในสารปอซโซลานประเภท C หากนำเถ้าใยปาล์มน้ำมันมาพัฒนาเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำผลิตภัณฑ์ซีเมนต์เสริมใยแก้วจะทำให้ลดต้นทุน รักษาธรรมชาติให้คงอยู่ ลดปริมาณการระเบิดหินลง และที่สำคัญเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรที่ปลูกปาล์มน้ำมัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากำลังและพฤติกรรมกรรับโมเมนต์ดัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว (GRC) ที่ผสมเถ้าใยปาล์มน้ำมันบดละเอียดและผสมแกลบบดละเอียด
2. เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่ส่งผลกระทบบต่อแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วได้แก่ชนิดของปอซโซลาน ปริมาณการแทนที่และระยะเวลาในการบ่มในน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของคอนกรีตเสริมใยแก้ว (GRC) โดยอัตราส่วนผสมซีเมนต์: เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียด 100: 0 90: 10 80: 20 70: 30 60: 40 โดยน้ำหนัก
2. ทำการทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของคอนกรีตเสริมใยแก้ว (GRC) โดยอัตราส่วนผสมซีเมนต์: เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียด 100: 0 90: 10 80: 20 70: 30 60: 40 โดยน้ำหนัก
3. อัตราส่วนซีเมนต์ + เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียด: ทราเยกซ์ของ 1:1 โดยน้ำหนัก
4. อัตราส่วนซีเมนต์ + เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียด: ทราเยกซ์ของ 1:1 โดยน้ำหนัก
5. ทำการทดสอบโดยการดัดแบบสี่จุด (Four-Point Bending Test)
6. หาพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัด ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน
7. หากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน
8. หากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน
9. ใช้เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันจากบริษัททักษิณปาล์ม (2521) จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี
10. ใช้เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันจากเตาเผาอิฐ ต.ท่าเสา อ.บ้านลาด จ.เพชรบุรี
11. ใช้เส้นใยแก้วจากประเทศ CZECH REPUBLIC (E.U.)
12. ใช้สารลดปริมาณน้ำอย่างมาก (Super Plasticizer) ของ Sika
13. วัสดุซีเมนต์แผ่นบางผสมใยแก้วในอัตราส่วน 5% โดยน้ำหนัก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงอิทธิพลของเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีต่อกำลัง และพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว
2. ได้อัตราส่วนซีเมนต์ผสมเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันที่เหมาะสม
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุซีเมนต์เสริมใยแก้วให้สามารถรับกำลังได้มากขึ้น

1.5 อักษรย่อ และสัญลักษณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

อักษรย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงถึงวัสดุ และวิธีการทดสอบทั้งหมดที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

OPFA	หมายถึง	เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมัน
RHA	หมายถึง	เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมัน
GRC	หมายถึง	วัสดุแผ่นบางคอนกรีตเสริมใยแก้ว
MPa	หมายถึง	เมกะปาสกาล
Control	หมายถึง	มอร์ตาร์หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วที่

OP10	หมายถึง	ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เพียงอย่างเดียวเป็น มอร์ตาร์ หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย แก้วของเก้าอี้พลาสติกน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ ร้อยละ 10
OP20	หมายถึง	มอร์ตาร์ หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย แก้วของเก้าอี้พลาสติกน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ ร้อยละ 20
OP30	หมายถึง	มอร์ตาร์ หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย แก้วของเก้าอี้พลาสติกน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ ร้อยละ 30
OP40	หมายถึง	มอร์ตาร์ หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย แก้วของเก้าอี้พลาสติกน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ ร้อยละ 40
RHA10	หมายถึง	มอร์ตาร์ หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย แก้วของเก้าอี้พลาสติกแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ ร้อยละ 10
RHA20	หมายถึง	มอร์ตาร์ หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย แก้วของเก้าอี้พลาสติกแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ ร้อยละ 20
RHA30	หมายถึง	มอร์ตาร์ หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย แก้วของเก้าอี้พลาสติกแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ ร้อยละ 30
RHA40	หมายถึง	มอร์ตาร์ หรือแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย แก้วของเก้าอี้พลาสติกแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ ร้อยละ 40
LOP	หมายถึง	หน่วยแรงดัดที่ขีดจำกัด LOP
MOR	หมายถึง	หน่วยแรงดัดสูงสุด

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) ตามคำจำกัดความของ ASTM C 618 [2] หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกา (Siliceous) หรือซิลิกา และอลูมินา (Siliceous and Aluminous) เป็นองค์ประกอบหลักโดยทั่วไปแล้ววัสดุปอซโซลานมีคุณสมบัติของวัสดุประสานได้ดีคล้ายกับปูนซีเมนต์ เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่า “ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)” โดยทั่วไปวัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ในปัจจุบันแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือวัสดุปอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolan) ซึ่งเกิดจากกระบวนการธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ และดินขาว (Metakaolin) เป็นต้น ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ วัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolan) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม เช่น ซิลิกาฟุ้ง เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ และตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น [3]

มาตรฐาน ASTM C 618 – 99 [2] ได้จำแนกวัสดุปอซโซลานเป็น 3 กลุ่มดังนี้

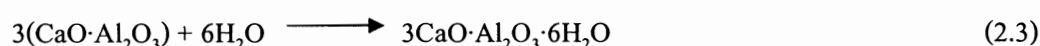
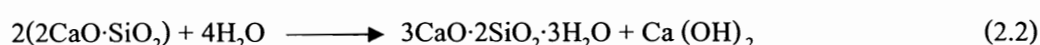
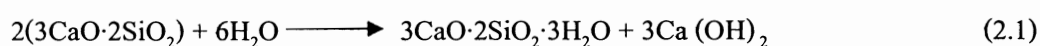
- 1) Class N ได้แก่ สารปอซโซลาน ที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Pozzolan) คือวัสดุที่ได้จากการระเบิดของภูเขาไฟ (Volcanic tuff) และหินพูน (Pumice) เป็นต้น
- 2) Class F ได้แก่ สารประกอบปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolan) คือวัสดุที่ได้จากกระบวนการทางความร้อน โดยการเผาวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ดินเหนียว หินเชล ขี้เถ้าแกลบ เป็นต้น
- 3) Class C ได้แก่ สารปอซโซลานสังเคราะห์ที่ได้จากการผ่านกระบวนการทางความร้อน เช่นเดียวกับ Class F แต่มีข้อกำหนดคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกันดังนี้

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชั้นของวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618-99 [2]

คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties)	ชั้นของวัสดุปอซโซลาน		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (max %)	70	70	70
SO ₃ (max %)	4	5	5
MgO (max %)	5	5	5
Na ₂ O (max %)	1.5	1.5	1.5
Loss of Ignition (max %)	10	12	6
Moisture Content (max %)	3	3	3
Pozzolanic Index (mix %)	75	75	75
Water Requirement (max %)	115	105	105

2.1.1 ปฏิกริยาปอซโซลาน

เมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) และมีผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (3CaO·2SiO₂·3H₂O หรือ C-S-H) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca (OH)) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (3CaO·Al₂O₃·6H₂O หรือ C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (2.1) ถึง (2.3)



ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) ที่เกิดจากสมการที่ (2.1) และ (2.2) เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาร่วมกับซิลิกอนออกไซด์ (Si O₂) และอลูมินาไตรออกไซด์ (Al₂O₃) ในวัสดุปอซโซลาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัสดุปอซโซลาน คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนียมไฮเดรต (C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (2.4) และ (2.5)



ค่า x, y และ z ในสมการที่ (2.4) เป็นค่าที่แปรไปตามชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนียมไฮเดรต (C-A-H) ซึ่งทั้ง (C-S-H) และ (C-A-H) ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานนี้ทำ

ให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น และลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ลง ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นขึ้น โดยปฏิกิริยาปอซโซลานนี้จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่ออายุประมาณ 7 วัน [4] และทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ แม้ว่าคอนกรีตมีอายุมากกว่า 3 ปีครั้งก็ตาม [5]

2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของสารปอซโซลาน

สารปอซโซลาน เมื่อถูกนำมาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการทำคอนกรีตนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งจะเป็นส่วนผสมที่ทำให้คอนกรีตที่ได้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปซึ่งพอที่จะสรุปข้อดีและข้อเสียของสารปอซโซลานที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตได้ดังนี้

ข้อดี

- 1) เมื่อใช้ทำคอนกรีตความต้านทานต่อการกัดกร่อน เนื่องจากสารเคมีต่างๆ ได้ดีกว่า
- 2) ปูนซีเมนต์ปอซโซลานเมื่อใช้ทำโครงสร้างได้นำให้ผลที่เป็นที่น่าพอใจ
- 3) การทดแทนบางส่วน of ปูนซีเมนต์ในคอนกรีตโดยใช้วัสดุปอซโซลานจะลดความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตดังนั้นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานจึงเหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตหนา
- 4) ทำให้คอนกรีตมีความทึบน้ำสูง

ข้อเสีย

ผลกระทบในทางตรงกันข้าม เกี่ยวกับคุณภาพของคอนกรีตเกิดขึ้นเมื่อใช้สารปอซโซลานที่เสื่อมคุณภาพ หรือใช้สารปอซโซลานในสัดส่วนที่มากเกินไป ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

- 1) ลดอัตราการก่อตัว และพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต
- 2) การหดตัว (Drying Shrinkage) เพิ่มขึ้น

2.2 เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash)

ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของเถ้าแกลบ ได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO ส่วนประกอบทางเคมี เหล่านี้มีความแตกต่างในเชิงปริมาณตามแหล่งที่มาของเถ้าแกลบ ส่วนใหญ่ผลรวมของออกไซด์หลักร้อยละโดยน้ำหนักอยู่ในปริมาณ 88-95 สารประกอบเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) แล้วเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งคือปฏิกิริยาปอซโซลานจึงเกิดแนวคิดที่ว่าเถ้าแกลบสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานซีเมนต์ และคอนกรีตได้ ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ของเตาเผาไหม้ที่ ต. ท่าเสา อ.บ้านลาด จ.เพชรบุรี ลักษณะเถ้าแกลบเป็นสีเทา

อมเจียวนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Loss-Angles Machine โดยมีอนุภาคข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 3.72 ซึ่งได้องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมี และกายภาพของเถ้าแกลบเตาเผาอิฐ อ.บ้านลาด จ.เพชรบุรี

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	93.1
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	0.3
ไออนออกไซด์ (Fe_2O_3)	0.4
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.7
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.5
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	2.4
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.2
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	0.2
ฟอสฟอรัสออกไซด์ (P_2O_5)	0.5
LOI	3.03

2.3 เถ้าใบปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fiber Ash)

จากการศึกษา จักผล กลั่นมันคง และคณะ [6] พบว่ามอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดทำให้มีความต้องการปริมาณน้ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อใช้เถ้าใบปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดมากจนมีขนาดอนุภาคข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 6.2 ซึ่งมีความจำเพาะเท่ากับ 2.44 และมีความละเอียดโดยใช้วิธี Blaine Fineness เท่ากับ 5605 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม พบว่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ลดลงมากจนใกล้เคียง หรือน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่พูนมาก แต่เมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการบดเถ้าใบปาล์มน้ำมัน ให้มีความละเอียดมากขึ้น ทำให้เถ้าใบปาล์มน้ำมันมีความพูนลดลงเป็นผลให้ความต้องการปริมาณน้ำของมอร์ตาร์ลดลงด้วย นอกจากนั้นยังพบว่าเถ้าใบปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีหลักคือ SiO_2 ซึ่งมีค่าสูงสุดถึงร้อยละ 59.011 ขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำหนักทั้งหมด ซึ่งถือได้ว่ามีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีได้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้มีการนำเถ้าใบปาล์มน้ำมันจากบริษัททักษิณปาล์ม(2521) จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานีมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตเสริมใยแก้วซึ่งองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ ดังตารางที่ 2.3แสดงองค์ประกอบทางเคมี และกายภาพของเถ้าใบปาล์มน้ำมันจากบริษัททักษิณปาล์ม(2521) จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมี และภาพของเถ้าเียงปาล์มน้ำมันจากบริษัททักษิณปาล์ม(2521)
จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	59.0
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	1.1
ไออนออกไซด์ (Fe_2O_3)	7.4
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	11.0
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	3.5
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	5.0
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.0
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	2.5
ฟอสฟอรัสออกไซด์ (P_2O_5)	5.4
LOI	10.1

2.4 ททรายแก้ว(Glass sand) จังหวัดระยอง



รูปที่ 2.1 แสดงการผลิตทรายแก้ว

ทรายแก้ว (Glass sand) หรือทรายขาว พบได้ทั่วไปของพื้นที่จังหวัดระยอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ เกาะเสม็ด แหล่งท่องเที่ยว อันลือชื่อของจังหวัดระยอง กล่าวได้ว่าหาดทรายแก้วที่ขาวสะอาด เม็ดทรายละเอียดยิบ มองเห็นเป็นสีขาวยาวไกลนั้น คือจุดดึงดูด นักท่องเที่ยวกลุ่มแล้วกลุ่มเล่าให้มาสัมผัสกับทรายเนียนนุ่ม

ลักษณะทางธรณีวิทยา ทรายแก้ว (Glass sand) คือทรายบริสุทธิ์ที่มีซิลิกา (SiO_2) มากกว่า 95 % มีเหล็ก (Fe_2O_3) และสารอื่น ๆ เจือปนเล็กน้อย แหล่งแร่ทรายแก้วได้จากการผุพังของหินทรายในยุคโบราณ แล้วถูกกระแสน้ำพัดพามาสะสม ตัวอยู่ในแหล่งที่เกิด ซึ่งพบมากบริเวณเกาะเสม็ดของจังหวัดระยอง และ ในเนื้อที่ใกล้ทะเลโดยทั่วไปของจังหวัด ทรายแก้วมีความ ลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร ดินชั้นล่างเป็นดินสีดำปนทราย ลักษณะของทรายมีสีเทาอมชมพู เม็ดทรายมีขนาดเล็กเป็นเหลี่ยมและ เหลี่ยมมน [7]

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทางเคมี ของทรายแก้ว จังหวัดระยอง

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
SiO_2	99.41
Al_2O_3	0.21
Fe_2O_3	0.07
CaO	0.07
MgO	0.68

2.5 เส้นใยแก้ว (Glass Fibers)

เส้นใยแก้ว มีความหมาย ที่แปลตรงตัว เส้นใยแก้วถูกนำไปใช้เป็นวัสดุช่วยเสริมแรงให้กับพลาสติกเรซิน และขึ้นรูป เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อ่างอาบน้ำ เรือ ชิ้นส่วนเครื่องบินเล็ก ถึงน้ำขนาดใหญ่ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตเสริมใยแก้ว(Glass Reinforced Concrete, GRC) เป็นต้น นอกจากสมบัติความแข็งแรง ทนแรงดึง ได้สูงมากแล้ว เส้นใยแก้วยังมีสมบัติด้าน การเป็นวัสดุก่อสร้าง เส้นใยแก้วมีขนาดและความยาวหลากหลายขนาด เส้นใยอาจยาวเหมือนเส้นด้าย ยาวมากไปจนถึงเส้นใยที่สั้นมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เส้นใยแก้วผลิตจากส่วนประกอบ ของทรายแก้ว หินปูน หินฟืนม้า เติมกรดบอริกและสารเติมแต่งอื่นๆ ถูกหลอมเหลวภายใน เตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงมากถึง 1370 องศาเซลเซียส ซึ่งหากมีการควบคุมคุณภาพส่วนผสม เป็นอย่างดี ให้มีความบริสุทธิ์ ก็ไม่จำเป็นต้องทำให้เป็นลูกแก้ว เพื่อคัดเลือกลูกแก้วที่ดี มาหลอมเป็นน้ำแก้วใหม่อีกครั้ง หลังจากนั้น จะเข้าสู่กระบวนการรีดเป็นเส้นใยยาว โดยเส้นใยถูกดึงออกจากหัวรีด และถูกม้วนเก็บด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วของใยแก้ว ที่ถูก

อัดออกจากหัวรีด ซึ่งเท่ากับเป็นการยืดคั้งในขณะที่เส้นใยยังอ่อนตัว ได้เส้นใยขนาด เล็กกลงก่อนการ แข็งตัว [8]

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของเส้นใยแก้ว

Properties	Value 1,800 GSM	Method
Tensile Strength (MPa)	80	ASTM D 5083
Impact Strength (KJ / m ²)	54	ASTM D256
Modulus of Elasticity (MPa)	6481	ASTM D 5083
Flexural Strength (MPa)	294	ASTM D 790
Specific Gravity at 23 °C	1.08	ASTM D 792
Thermal Conductivity (watt / m K)	0.029	ASTM C 177
Water Absorption in 24 hrs. / 23 °C (%)	0.17	ASTM D 570

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties) ของเส้นใยแก้ว

Properties	Result	Method
Acid Base Testing - Sulfuric Acid 30% - Nitric Acid 10% - Hydrochloric Acid 10% - Sodium Hydroxide 10%	ไม่เปลี่ยนแปลง / 24 hrs. ไม่เปลี่ยนแปลง / 24 hrs. ไม่เปลี่ยนแปลง / 24 hrs. ไม่เปลี่ยนแปลง / 24 hrs.	ASTM D 1308

2.6 สารลดปริมาณน้ำอย่างมาก (Superplasticizer)

การใช้งาน Sika® ViscoCrete® 20HE เหมาะเป็นพิเศษเป็นอย่างยิ่งกับคอนกรีตที่ต้องการ การพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นอย่างรวดเร็วมีคุณสมบัติ การลดน้ำอย่างมีประสิทธิภาพผลดีเยี่ยม และให้คุณสมบัติการไหลตัวเป็นอย่างดี [9]

2.7 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ทฤษฎีเกี่ยวกับคุณสมบัติที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ การทดสอบความต้านทานแรงอัดและการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์เสริมเส้นใย

2.7.1 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ เพื่อหาค่าการรับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ซึ่งการรับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์เป็นสิ่งที่แสดงถึงความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ ถ้ารับกำลังได้สูงแสดงว่าปูนซีเมนต์นั้นมีคุณภาพดี ซึ่งโดยทั่วไปคอนกรีตจะทำหน้าที่รับกำลังอัดเป็นส่วนใหญ่ ฉะนั้นความแข็งแรงของปูนซีเมนต์จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาให้รับกำลังได้ตามที่ออกแบบไว้ การทดสอบการรับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์นี้ใช้ขนาดมอร์ตาร์ตัวอย่างขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร โดยค่ากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C109/M-99 Standard Test Method of Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars [10] สามารถหาความเค้นอัดประลัยได้จากสมการที่ 2.1

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

โดยที่ σ คือ กำลังอัดประลัย (MPa)

F คือ แรงอัดประลัย (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (mm^2)

2.7.2 การโค้งตัวและความเค้นดัด

ค่าที่ได้จากการทดสอบวัสดุแผ่นบางที่ทำจากวัสดุคอนกรีตเสริมใยแก้วจากการทดสอบการดัดแบบ 4 จุด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ตามมาตรฐาน BS EN 1170-5:1998 “Precast Concrete products Test method for glass-fibre reinforced Cement Part 5 Measuring bending strength, ‘Complete bending test’ method [11] โดยค่าการโค้งตัวและกำลังดัดขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเลขาคณิตของตัวอย่าง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าการโค้งตัวและความเค้นที่เกิดขึ้น และยังส่งผลต่อเส้นใยบริเวณผิวล่างของชั้นตัวอย่างอีกด้วย ซึ่งสามารถหาค่าความเค้นดัดได้จากสมการที่ 2.2 และ 2.3 ส่วนหน่วยการยึดตัวที่เกิดขึ้นจากกำลังดัดสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 ทั้งนี้จะทำการคำนวณหาค่าจากหน้าตัดโดยไม่พิจารณาถึงการแตกร้าวที่เกิดขึ้น (Uncracked Section)

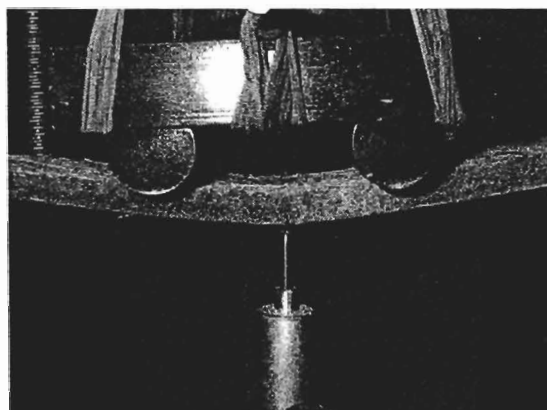
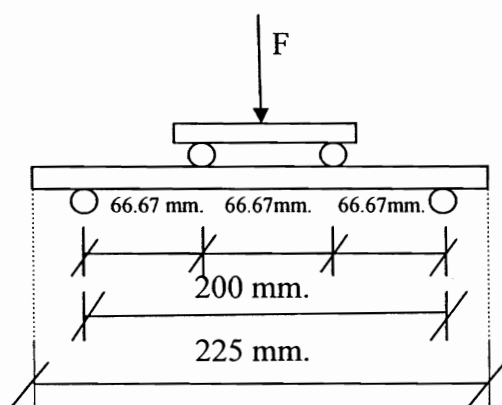
$$\sigma_{LOP} = \frac{F_{LOP} \times L}{b \times d^2} \quad (2.2)$$

$$\sigma_{MOR} = \frac{F_{MOR} \times L}{b \times d^2} \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_{LOP} = \frac{108}{23} \times \frac{\Delta_{LOP} \times d}{L^2} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_{MOP} = \frac{108}{23} \times \frac{\Delta_{MOP} \times d}{L^2} \quad (2.5)$$

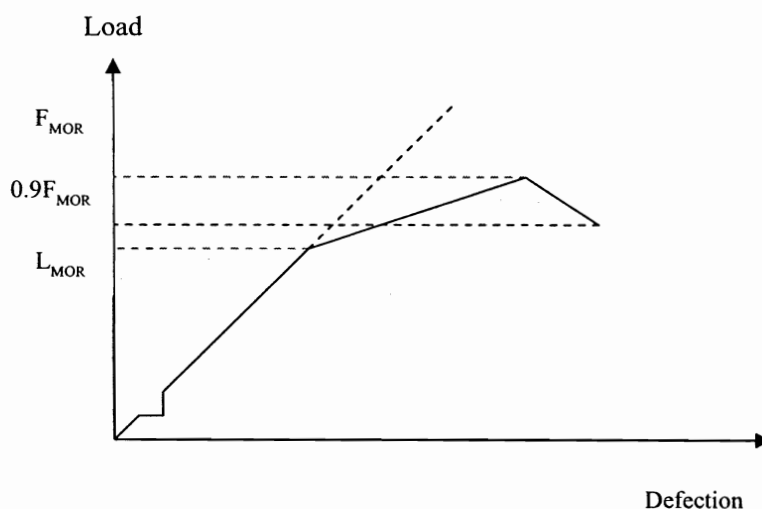
- เมื่อ σ_{MOR} คือ ความเค้นคดที่จุดวิบัติ (MPa)
 σ_{LOP} คือ ความเค้นคดที่ขีดจำกัดสัดส่วนวิบัติ (MPa)
 ε_{MOR} คือ ความเครียดที่จุดวิบัติ
 ε_{LOP} คือ ความเครียดที่ขีดจำกัดสัดส่วนวิบัติ
 F_{MOR} คือ แรงที่จุดวิบัติ (N)
 F_{LOP} คือ แรงที่ขีดจำกัดสัดส่วนวิบัติ (N)
 L คือ ความยาวของแผ่นตัวอย่าง (mm)
 b คือ ความกว้างของแผ่นตัวอย่าง (mm)
 d คือ ความหนาของแผ่นตัวอย่าง (mm)



รูปที่ 2.2 การทดสอบการคดแบบสี่จุด (Four – Points Bending Test)

2.7.3 พฤติกรรมการคัดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว

ค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบการคัดแบบ 4 จุดจะได้ค่าที่เป็นแรง (N) และค่าการโก่ง (mm) ตัวของวัสดุทดสอบโดยค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่างทดสอบและวัสดุที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบ ซึ่งตำแหน่งของกำลังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งของแรงที่เกิดขึ้นบนเส้นโค้งที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการโก่งตัว

2.7.4 ค่าการดูดซึมน้ำ

การคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ของตัวอย่างทดสอบโดยการเปรียบเทียบน้ำหนักจากวัสดุของตัวอย่างเปียกกับน้ำหนักของตัวอย่างที่อบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 105-110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยสามารถหาค่าการดูดซึมน้ำได้จากสมการสมการที่ 2.6

$$W = \frac{mw - md}{md} \times 100 \quad (2.6)$$

เมื่อ W คือ ค่าการดูดซึมน้ำ (%)

mw คือ มวลของตัวอย่างทดสอบเปียก (g)

md คือ มวลของตัวอย่างทดสอบหลังอบแห้ง (g)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและรวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการศึกษาเรื่องผลกระทบของเถาเถาและเถาปลาล์มน้ำมันต่อปูนซีเมนต์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วีรชาติ ตั้งจิรภัทร [12] ศึกษา เถาปลาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปลาล์มน้ำมันที่ใช้กากของผลปลาล์มน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้เป็นวัสดุผสมโพลีเมอร์ในมอร์ตาร์ นำเถาปลาล์มน้ำมันมาปรับปรุงคุณภาพโดยการบด จนอนุภาคมีปริมาณข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 15-20 (ละเอียดปานกลาง) และไม่เกินร้อยละ 5 (ละเอียดมาก) รวมกับเถาปลาล์มน้ำมันที่ไม่ได้บดเป็น 3 ขนาด แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่อัตราร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยนำหั่นวัสดุประสานเพื่อหล่อมอร์ตาร์ จากนั้นแบ่งมอร์ตาร์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มแรกบดในน้ำประปา และกลุ่มที่ 2 แช่ในสารละลายแมกนีเซียม ซัลเฟต ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยนำหั่นทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ทั้ง 2 กลุ่มที่อายุ 7 28 60 90 180 270 และ 360 วัน นอกจากนี้ยังทดสอบการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ขนาด $2.5 \times 2.5 \times 28.5$ ซม. ที่ผสมเถาปลาล์มน้ำมันและเถาเถาเถาเปลี่ยนไม้ เมื่อแช่ในสารละลายแมกนีเซียม ซัลเฟตความเข้มข้นเดียวกัน ผลการวิจัยพบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถาปลาล์มน้ำมันก่อนบด เมื่อบดในน้ำประปามีกำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทุกอายุการทดสอบ และมีค่าลดลงมากเมื่อการแทนที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเถาปลาล์มน้ำมันก่อนบดไม่เหมาะสมนำมาเป็นวัสดุผสมโพลีเมอร์ ส่วนเถาปลาล์มน้ำมันที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการบดพบว่า มอร์ตาร์มีกำลังอัดเพิ่มขึ้น จากมอร์ตาร์ที่ผสมเถาปลาล์มน้ำมันก่อนบดมาก โดยการแทนที่เถาปลาล์มน้ำมัน ขนาดละเอียดปานกลาง และขนาดละเอียดมากในอัตราร้อยละ 10 และ 20 โดยนำหั่นวัสดุประสานตามลำดับ สามารถให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 90 วัน ในระดับเดียวกัน มอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 และ 99 ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ส่วนผสมเดียวกัน เมื่อแช่ในสารละลายแมกนีเซียม ซัลเฟต ความเข้มข้นร้อยละ 5 พบว่ามีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 180 วัน หลังจากนั้นที่อายุ 360 วัน กำลังอัดของมอร์ตาร์จากส่วนผสมมีค่าลดลง ส่วนการขยายตัวของมอร์ตาร์ เนื่องจากสารละลายแมกนีเซียม ซัลเฟต พบว่าแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถาปลาล์มน้ำมัน และเถาเถาเปลี่ยนไม้ขนาดละเอียดปานกลาง ขนาดละเอียดมากทุกอัตราการแทนที่ มีการขยายตัวที่อายุ 364 วัน ต่ำกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 โดยการแทนที่ร้อยละ 30 ด้วยเถาปลาล์มน้ำมัน และร้อยละ 20 ด้วยเถาเถาเปลี่ยนไม้มีการขยายตัวต่ำสุด และมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อการแทนที่สูงขึ้น

จักพล กลั่นมันคง และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาลักษณะของเถาปลาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมโพลีเมอร์ ซึ่งใช้ตัวอย่างเถาปลาล์มน้ำมัน 3 ตัวอย่าง คือ เถาปลาล์มน้ำมันที่ไม่บด เถาปลาล์มน้ำมันที่

บดละเอียดจนมีขนาดอนุภาคข้างบนกระดาดมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 28.4 โดยน้ำหนัก และเติมปาล์มน้ำมันที่บดละเอียด จนมีขนาดอนุภาคข้างบนกระดาดมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 6.2 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำโดยการร่อนเติมปาล์มน้ำมันผ่านกระดาดมาตรฐานเบอร์ 325 โดยวิธีร่อนผ่านน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C430 และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีและกำลังอัดของมอร์ตาร์ โดยเปรียบเทียบกับการใช้เติมปาล์มน้ำมันที่ไม่บด ผลการศึกษาพบว่าเติมปาล์มน้ำมันที่ถูกบดละเอียดมีศักยภาพที่จะพัฒนาเพื่อใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ ส่วนเติมปาล์มน้ำมันมีศักยภาพพอ โดยพิจารณาจากกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ที่อายุ 7 และ 28 วัน ซึ่งพบว่าที่ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณการแทนที่ที่เหมาะสม โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเติมปาล์มน้ำมันที่มีขนาดอนุภาคข้างบนกระดาดเบอร์ 325 ร้อยละ 6.2 โดยน้ำหนัก จะมีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเติมปาล์มน้ำมันที่มีขนาดอนุภาคข้างบนกระดาดเบอร์ 325 ร้อยละ 28.4 โดยน้ำหนัก

เขาวัว หนูทอง [13] ได้ทำการศึกษาพบว่าองค์ประกอบหลักทางเคมีของเถ้าแกลบและปูนสูกมีซิลิกอนไดออกไซด์ และแคลเซียมไดออกไซด์ ร้อยละ 95.5 และ 97.93 ตามลำดับ และความละเอียดของเถ้าแกลบและปูนสูกมีค่า 53,698 และ 3,085 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 10 มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนร้อยละ 27 และ 39 ขณะที่การแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนร้อยละ 21 และ 36 ที่อายุ 28 และ 90 วันตามลำดับ สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 ผสมกับปูนสูกร้อยละ 5 ทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าที่สูงที่สุด โดยสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนถึงร้อยละ 44 ที่อายุ 90 วัน อย่างไรก็ตาม สำหรับการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 30 , 40 และ 50 ผสมกับปูนสูกร้อยละ 7.5 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนร้อยละ 20 15 และ 10 ที่อายุ 90 วัน สำหรับทุกๆ กรณี การแทนที่ด้วยเถ้าแกลบทำให้ความเข้มข้นเหลวปกติ ระยะเวลาการก่อตัว กำลังรับแรงดึง การต้านทานสารเคมี การขยายตัวและการหดตัวเมื่อแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นและการคายน้ำมีค่าลดลง การใส่ปูนสูกร้อยละ 2.5-10 ในส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าแกลบ ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

กฤษณ์ จารุทะวัย [14] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยของเส้นใยปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและเถ้าลอยจากโรงงานน้ำตาล มาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการผสมมอร์ตาร์ พบว่า เถ้าลอยทั้งสองชนิดนี้ไม่สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานตามข้อกำหนดใน ASTM C 18 และเมื่อนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่า กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลง ส่วนของความต้องการน้ำและระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ธรรมดา

ซึ่งในงานวิจัยนี้ เถ้าลอยเส้นใยปาล์มสามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผสมมอร์ตาร์ได้ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยใช้สัดส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1 ต่อ 2.75 และปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.485 ต่อ 1 ซึ่งได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ประมาณร้อยละ 85 เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ธรรมดา ส่วนมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยชานอ้อยให้ค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ประมาณร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ธรรมดา ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะของเถ้าลอยเส้นใยปาล์มและเถ้าชานอ้อย พบว่า มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ศราวิน ปัญจะผลินกุล [15] ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต และซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมเส้นใยซึ่งประกอบด้วย ศึกษาเกี่ยวกับกำลังอัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยในช่วงปริมาตรร้อยละ 0.05-0.25 ศึกษาเกี่ยวกับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมเส้นใยในช่วงปริมาตรร้อยละ 2.00 และศึกษาเกี่ยวกับกำลังดัดของซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมเส้นใยในช่วงปริมาตรร้อยละ 2.00 พบว่าลดลงในช่วงร้อยละ 4-5 ผลการทดลองกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใส่เส้นใยในปริมาตรร้อยละ 2.00 พบว่าลดลงในช่วงร้อยละ 40 ส่วนการทดสอบกำลังดัด พบว่าการใช้เส้นใยมีผลต่อค่ากำลังดัดที่รอยแตกเร็ว ในขณะที่ค่าพลังงานความเครียดที่คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟนั้นเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เส้นใยพืช และเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้เส้นใยสังเคราะห์จากโพลิ โพรพิลีน

สุทธิศักดิ์ คงมาก และคณะ [16] ได้วิจัยศึกษาคุณสมบัติการรับแรงอัด แรงดึง แรงดัด ความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมใยแก้ว จากอัตราส่วนผสมร้อยละ 5 10 15 และ 20 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่อายุการบ่ม 1 7 14 28 และ 56 วัน นำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา ผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตผสมใยแก้วมีค่ากำลังอัดลดลงเมื่อผสมปริมาณใยแก้วในปริมาณมากขึ้น กำลังดึงเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 10 ของน้ำหนักของปูนซีเมนต์ กำลังดัดเพิ่มขึ้นเมื่อผสมใยแก้วมากขึ้น และความหนาแน่นลดลงเมื่อผสมใยแก้วเพิ่มขึ้นโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการนำไปใช้งานคอนกรีตที่ต้องการให้รับแรงดึง แรงดัด และให้น้ำหนักเบา แต่รับแรงอัดได้น้อยลง

ทวี มุลแก้ว [17] ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตและซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมเส้นใยซึ่งประกอบด้วย ศึกษาเกี่ยวกับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมเส้นใยในช่วงปริมาตรร้อยละ 0.10-2.00 และศึกษาเกี่ยวกับกำลังดัดของซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมเส้นใยในช่วงปริมาตรร้อยละ 2.00 จากผลการทดลองกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใส่เส้นใยไม่มีผลต่อค่ากำลังดัดที่รอยแตกเร็วแรก ในขณะที่ค่าพลังงานความเครียดจนกระทั่งวิบัติเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 เมื่อใช้เส้นใยขนสัตว์ และเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 11 เมื่อใช้เส้นใยสังเคราะห์จากโพลิโพรพิลีน

อนุชา บุญเกิด [18] ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการรับแรงดัดของวัสดุแผ่นบางเสริมเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยโพลีเอทิลีน จากผลการศึกษาพบว่าซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมเส้นใยโพลีเอทิลีนนั้นให้ค่ากำลัง และพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดได้ดีกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมเส้นใยป่านศรนารายณ์ การเพิ่มปริมาณการใช้เส้นใยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์มีแนวโน้มต่อการเพิ่มค่ากำลัง และการรับโมเมนต์ดัด นอกจากนี้พบว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่เสริมด้วยเส้นใยชนิดต่างๆ มีค่าลดลงเมื่อปริมาณการใช้เส้นใยมากขึ้น และซีเมนต์มอร์ตาร์ที่เสริมเส้นใยโพลีเอทิลีนจะให้ค่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ตาร์เสริมด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์

Joo – Hwa Tay [19] ได้ศึกษาถึงการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีต พบว่าที่อัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน 90:10 โดยน้ำหนักจะให้ค่ากำลังที่สูงใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว

Hussin and Awal [20] ได้ศึกษาการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน 70:30 โดยน้ำหนัก พบว่ามอร์ตาร์และคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติด้านการกักกร่อนจากซัลเฟตสูงกว่ามอร์ตาร์และคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว และยังให้กำลังอัดที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราการแทนที่อื่นๆ

Awal and Hussin [21] ได้ศึกษาคอนกรีตที่บ่มในน้ำทะเลโดยใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน พบว่าเมื่อคอนกรีตที่บ่มในน้ำประปา 28 วัน จากนั้น บ่มในน้ำทะเลเป็นเวลา 2 ปี พบว่าคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 30 โดยน้ำหนักจะมีการพัฒนากำลังอัดเท่ากับ 61.90 เมกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว โดยมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 60.75 เมกะปาสคาล และยังพบว่าคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 30 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 7.50 เมกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว โดยมีค่ากำลังรับแรงดัดเท่ากับ 6.90 เมกะปาสคาล

Manolis และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีโพรพิลีน ภายใต้แรงพลศาสตร์ (Dynamic Load) ตัวอย่างทดสอบแบ่งออกเป็นสองกลุ่มๆ ละสามชุดคือ ชุดแรกไม่ใส่เส้นใย ชุดที่สองใส่เส้นใยปริมาตรร้อยละ 0.10 และชุดที่สามใส่เส้นใยร้อยละ 0.50 กลุ่มที่แรกทดสอบบนฐานรองรับพื้นดินเหนียว (On-grade Circular Slab) กลุ่มที่สองทดสอบบนแบบฐานรองรับอย่างง่าย (Simply Supported) การทดสอบนี้ได้ศึกษาผลอิทธิพลของปริมาณเส้นใยที่ใส่ต่อความต้านทานแรงกระแทกและความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของคอนกรีต จากผลการทดสอบพบว่า การใส่เส้นใยผสมในคอนกรีต สามารถต้านทานแรงกระแทกของแผ่นพื้นได้เป็นอย่างดีโดยปราศจาก

ผลกระทบต่อความถี่ธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้ เช่น ฐานรองเครื่องจักร ทางเท้า หรืองานอื่นๆ ที่ต้องการได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามการหาค่าความถี่ธรรมชาติยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ ด้วยที่ต้องนำไปตรวจสอบก่อนนำไปใช้งาน

Gopalaratnam และ Gettu [23] ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของค่าดูดซับพลังงานจากการคืบของคอนกรีตเสริมเส้นใย ในการศึกษาได้แบ่งออกเป็นสองส่วน โดยเริ่มแรกเป็นการสรุปวิธีการทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ และจากผลงานของผู้เชี่ยวชาญทั้งในอเมริกาเหนือ ยุโรป และญี่ปุ่น ในส่วนที่สองเป็นการพิจารณาถึงข้อดี และข้อเสียของการทดสอบแต่ละวิธี สิ่งที่ใช้เป็นข้อในการพิจารณาคือ พื้นฐานความถูกต้อง ปัญหาที่เกิดจากขั้นตอนการทดลอง และศักยภาพของการปฏิบัติงานที่เหมาะสม รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดสอบที่ศึกษาได้แก่

1. การทดสอบแบบแรงดัดสี่จุด (Four Point Bending)
2. การทดสอบแบบกดสามจุดบางอย่างกำหนดทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามมาตรฐานของ RILEM หรือที่นิยมเรียกว่าการทดสอบแบบ CMOD
3. การทดสอบแบบ Equivalent Post-Cracking Strength

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่ากำลังดัดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์และค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้ากลบในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (ซีเมนต์ และปอชโซลาน) ต่อทรายเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมตามตารางที่ 3.1

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทรายข้างของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ผลิตขึ้นโดยมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2514/2517 ประเภทที่ 1 และมาตรฐาน ASTM (150-71 type 1)

3.1.2 เถ้าไยปาล์มน้ำมัน

เป็นเถ้าไยปาล์มน้ำมันที่ได้จากการเผาไหม้ของปาล์มน้ำมัน จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มของบริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด อำเภอมะนัง จังหวัดสุราษฎร์ธานี นำเถ้าไยปาล์มที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่อง Los Angeles Machine แสดงในรูปที่ 3.4 ในการบดแต่ละครั้ง ใส่เถ้าไยปาล์มน้ำมันครั้งละ 7.5 กิโลกรัม ใช้ลูกเหล็กขัดสีขนาดน้ำหนัก 390 กรัมจำนวน 18 ลูก ใช้เวลาในการบดนาน 12 ชั่วโมง จนมีความละเอียดข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 2.52

3.1.3 เถ้ากลบ

เป็นเถ้ากลบที่ได้จากการเผาเถ้าเพื่อเป็นพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการทำอิฐดินเผา โดยนำมาจากโรงงานทำอิฐดินเผา อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี นำเถ้ากลบที่ได้มาอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่อง Los Angeles Machine รูปที่ 3.4 ในการบดแต่ละครั้งใส่เถ้ากลบครั้งละ 7.5 กิโลกรัม ใช้ลูกเหล็กขัดสีขนาดน้ำหนัก 390 กรัมจำนวน 18 ลูก ใช้เวลาในการบดนาน 12 ชั่วโมง จนมีความละเอียดข้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 3.72

3.1.4 ทราย

ใช้ทรายแก้ว จากจังหวัดระยอง

3.1.5 สาร Super plasticizer

ใช้สารลดปริมาณน้ำอย่างมาก Super plasticizer ของบริษัทซิก้า sika รุ่น ViscoCrete -20HE

3.1.6 น้ำ

น้ำที่ใช้ ใช้น้ำสะอาด

3.1.7 ไยแก้ว

เป็นใยแก้วนำเข้าจากประเทศ CZECH REPUBLIC (E.U.) ยี่ห้อ Cem – FIL Fibers

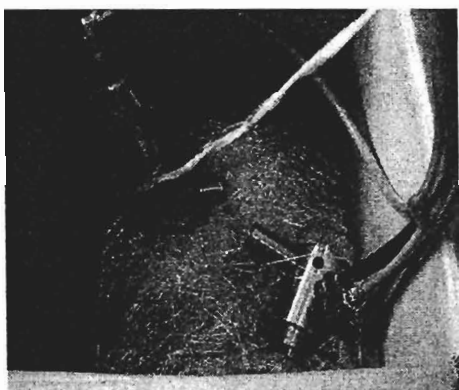
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัด

เครื่องมือและอุปกรณ์หลักๆ ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

1. เครื่องผสมมอร์ตาร์
2. เครื่อง Spray มอร์ตาร์ และเส้นใยแก้วแสดงในรูปที่ 3.1
3. Spray Gun แสดงในรูปที่ 3.2
4. เครื่องทดสอบกำลังอัดแสดงในรูปที่ 3.3
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. เวอร์เนีย
7. เครื่อง Los Angeles Machine แสดงในรูปที่ 3.4
8. ชุดวัดการเคลื่อนที่ Linear Variable Differential Transformer (LVDT) แสดงในรูปที่ 3.5
9. Dial Gauge and Proving Ring แสดงในรูปที่ 3.6
10. ชุดวัด Strain Gauge แบบ Analogue แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.1 เครื่อง Spray มอร์ตาร์ และเส้นใยแก้ว



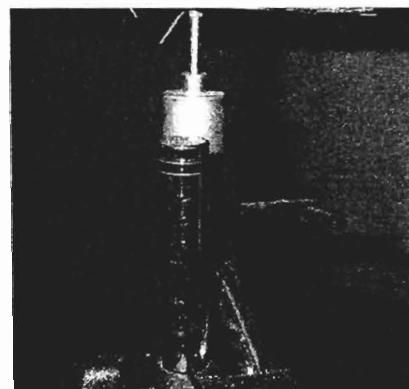
รูปที่ 3.2 Spray Gun



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบกำลังคัต



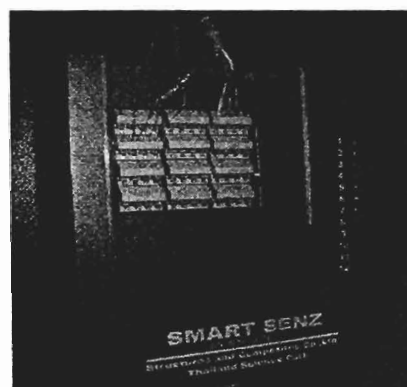
รูปที่ 3.4 เครื่อง Los Angeles Machine



รูปที่ 3.5 ชุดวัดการเคลื่อนที่ LVDT



รูปที่ 3.6 Dial Gauge and Proving Ring



รูปที่ 3.7 ชุดวัด Strain Gauge แบบ Analogue

3.3 อัตราส่วนผสมและขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัด

3.3.1 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดเท่าใช้ตัวอย่างขนาด 1.00 x 5.00 x 22.50 เซนติเมตร โดยเป็นแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วที่ผสมเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบในปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (0% 10% 20% 30% และ 40%) โดยใช้ตัวอย่างละ 8 ชิ้นต่อวัสดุผสมต่ออายุตัวอย่าง ซึ่งจะใช้ตัวอย่างทั้งสิ้น 216 ตัวอย่าง

3.3.2 อัตราส่วนผสม ที่ใช้ในการทำแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วที่ผสมเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบ ในปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (0% 10% 20% 30% และ 40%) ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมของตัวอย่างทดสอบกำลังรับกำลังอัด

Sample	Cement	RHA (บด)	OPFA (บด)	Super plasticizer	Sand	W/B	Glass Fiber
Control	1	0	0	0.15%	1	0.40	5.33%
OP10	0.90	-	0.10	0.50%	1	0.40	5.33%
OP20	0.80	-	0.20	0.70%	1	0.40	5.33%
OP30	0.70	-	0.30	0.825%	1	0.40	5.33%
OP40	0.60	-	0.40	1.00%	1	0.40	5.33%
RHA10	0.90	0.10	-	0.50%	1	0.40	5.33%
RHA20	0.80	0.20	-	0.75%	1	0.40	5.33%
RHA30	0.70	0.30	-	1.00%	1	0.40	5.33%
RHA40	0.60	0.40	-	1.25%	1	0.40	5.33%

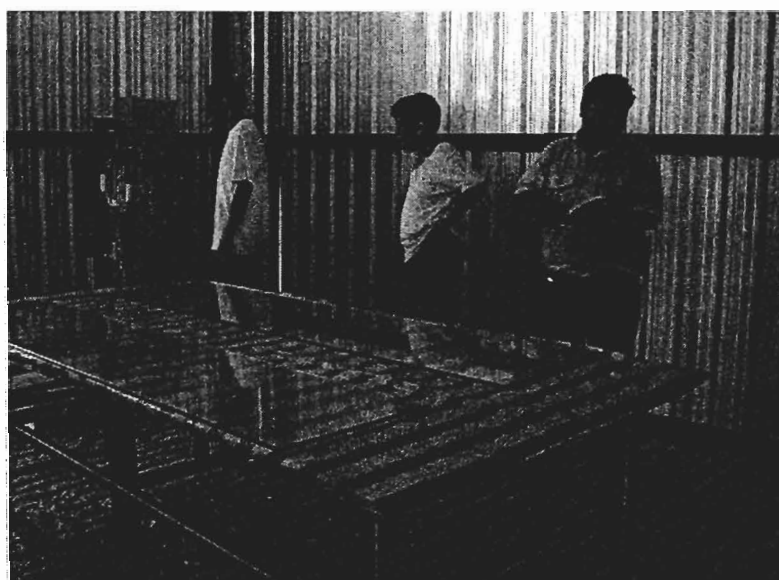
3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังคัต

ในการเตรียมตัวอย่างการทดสอบจะแบ่งการเตรียมตัวอย่างออกเป็นขั้นตอนต่างๆตามลำดับต่อไปนี้

3.4.1 การเตรียมแบบหล่อ แบบหล่อขึ้นตัวอย่างทดสอบกำลังคัต ใช้กระจกใสหนา 10 มิลลิเมตร ทำเคลือบด้วยน้ำมันทาแบบหล่อให้ทั่วเพื่อให้ง่ายในการถอดแบบ



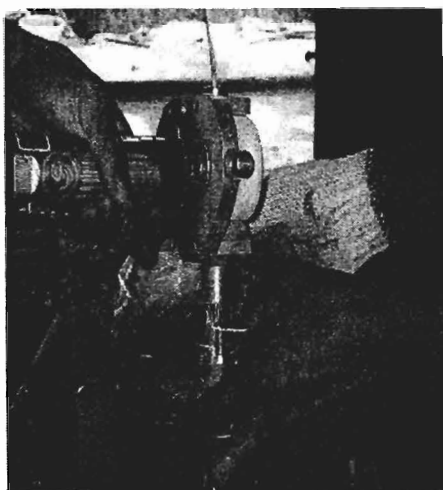
รูปที่ 3.8 การเคลือบแบบหล่อด้วยน้ำมัน



รูปที่ 3.9 แบบหล่อที่พร้อมหล่อตัวอย่าง

3.4.2 การเตรียมมอร์ตาร์ เริ่มจากการชั่งน้ำหนักวัสดุที่ใช้ทำมอร์ตาร์ซึ่งประกอบด้วยวัสดุประสาน (ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และเถ้าแกลบหรือเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมัน) ทรายแก้ว น้ำสะอาด สารลดปริมาณน้ำอย่างมากตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เมื่อเตรียมวัสดุผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำน้ำสะอาดที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อผสมจากนั้นเดินเครื่องผสมโดยให้ใบพายหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำที่ 300 รอบต่อนาที ใส่วัสดุประสานลงในหม้อผสมจนหมด ในช่วงนี้ใช้เวลาอีก 1 นาที จากนั้นเพิ่มความเร็วรอบที่ระดับความเร็วของใบพายที่ 500 รอบต่อนาที ผสมจนกระทั่งได้ซีเมนต์เพสต์ที่มีเนื้อสม่ำเสมอซึ่งใช้เวลาอีก 1 นาที ขั้นตอนต่อไป นำทรายแก้วที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อผสมโดยขณะที่ใส่ทรายแก้วเรียบร้อยแล้ว จะเพิ่มความเร็วรอบของใบพายที่ระดับความเร็วของใบพายที่ 500 รอบต่อนาที ในช่วงนี้ขณะทำการผสมให้เติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมาก และใช้เวลาผสมอีก 3 นาทีจนกระทั่งส่วนผสมของมอร์ตาร์มีเนื้อสม่ำเสมอ

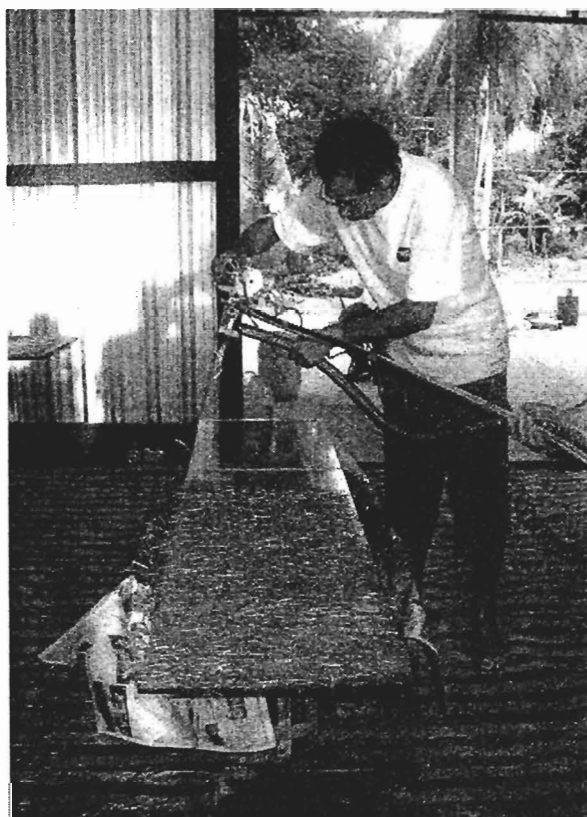
3.4.3 การทดสอบหาปริมาณของใยแก้ว และมอร์ตาร์ให้ได้ตามอัตราส่วนผสม โดยแรงดันลมของ Spray gun ที่หัวจ่ายใยแก้วที่แรงดันลม 0.4 MPa และปรับตั้งแรงดันลมของ Spray gun ทางด้านหัวจ่ายมอร์ตาร์ ที่แรงดันลม 0.5 MPa ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณใยแก้ว 5% ของมอร์ตาร์ และได้ปริมาณมอร์ตาร์ตามอัตราส่วนผสม



รูปที่ 3.10 การตรวจสอบปริมาณเส้นใยแก้ว

3.4.4 การ Spray แผ่นตัวอย่าง ซีเมนต์ ไฟเบอร์ เมื่อปรับตั้งแรงดันลมที่หัวจ่ายใยแก้ว และที่หัวจ่ายมอร์ตาร์เรียบร้อยแล้ว จากนั้น Spray ใยแก้วและมอร์ตาร์ ลงบนแบบหล่อที่เตรียมไว้ โดยระยะห่างของ Spray gun สูงจากผิวของแบบหล่อ 50 เซนติเมตร Spray ตามแนวยาวและขวางสลับกันเป็นชั้นๆ

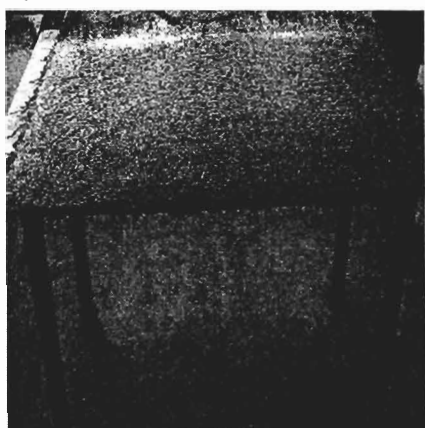
จนกระทั่งได้ความหนาของแผ่นตัวอย่างซีเมนต์ไฟเบอร์ จากนั้นตกแต่งผิวหน้าให้เรียบ และตรวจวัดความหนา



รูปที่ 3.11 การ Spray มอร์ตาร์และเส้นใยแก้ว



รูปที่ 3.12 การแต่งผิวหน้าให้เรียบ

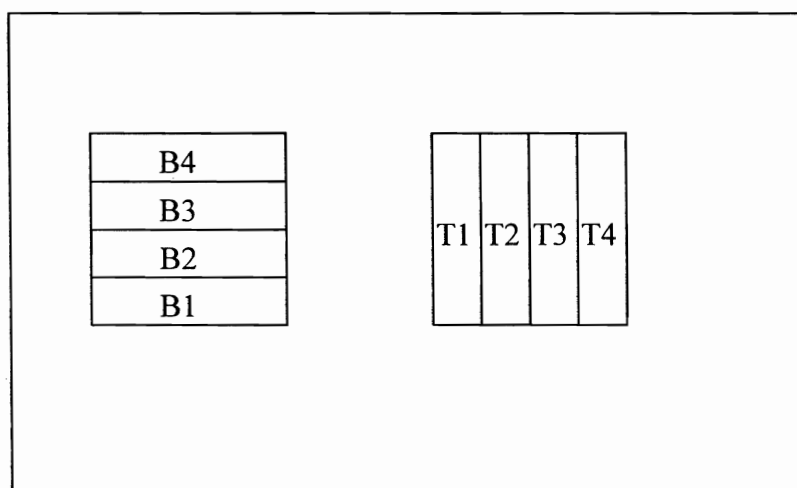


รูปที่ 3.13 การบ่มตัวอย่างในอากาศ



รูปที่ 3.14 เตรียมตัวอย่างหลังจากบ่มพอลิเมอร์

3.4.5 การตัดแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์เพื่อทำขึ้นทดสอบกำลังคดแบบสี่จุด (Four-Point Bending Test)
ตามมาตรฐาน BS EN 1170-5:1998 การตัดแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์เพื่อทำขึ้นทดสอบกำลังคด จะตัดตามแนวยาว (B) และแนวขวาง (T) ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.15 แสดงการตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังคด ตามแนวยาว (B) และแนวขวาง (T)



รูปที่ 3.16 แสดงการตัดแผ่นตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.17 แผ่นตัวอย่างทดสอบที่ตัดเรียบร้อยแล้ว

3.5 ขั้นตอนการทดสอบแรงดัด

1. วัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และชั่งน้ำหนักของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของตัวอย่างทดสอบให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
2. ติดตั้งชุดเครื่องมือซึ่งประกอบด้วยแสดงในรูปที่ 3.18
 - 2.1 ชุด LVDT
 - 2.2 ชุด Dial Gauge and Proving Ring
 - 2.3 ชุดกล่องวัด Strain Gauge แบบ Analogue
 - 2.4 เครื่องคอมพิวเตอร์
3. ปรับตำแหน่งของฐานรองรับแผ่นตัวอย่างทดสอบ โดยให้ระยะห่างของฐานรองรับห่างกัน 20 เซนติเมตร
4. นำแผ่นตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ แล้วจัดให้ฐานรองรับแผ่นตัวอย่างทดสอบอยู่ในแนวศูนย์กลาง และสมดุลบนแท่นกดตัวอย่างของเครื่องทดสอบ โดยแบ่งตัวอย่าง B_1, B_2 และ T_1, T_2 วางหงายด้านผิวหน้าขึ้นสัมผัสหัวกด ส่วนตัวอย่าง B_3, B_4 และ T_3, T_4 วางผิวหน้าคว่ำลงให้ด้านหลังสัมผัสหัวกด
5. เดินเครื่องทดสอบให้แรงกดสม่ำเสมอ กดแผ่นตัวอย่างในอัตราการเดินเครื่องที่ความเร็ว 0.8 มิลลิเมตรต่อวินาที
6. ขณะเดินเครื่องบันทึกข้อมูลแรงและการโก่งตัวในแนวตั้งด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่อเข้ากับชุดกล่องวัด Strain Gauge แบบ Analogue หยุดเครื่องเมื่อแผ่นตัวอย่างวิบัติ และค่าการโก่งตัวที่ 2,500 Micro strains แสดงในรูปที่ 3.20
7. กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
 - 7.1 ค่ากำลังดัดในช่วงพิกัดยืดหยุ่น (Limit of Proportionality) กำหนดได้จากสมการ 2.2

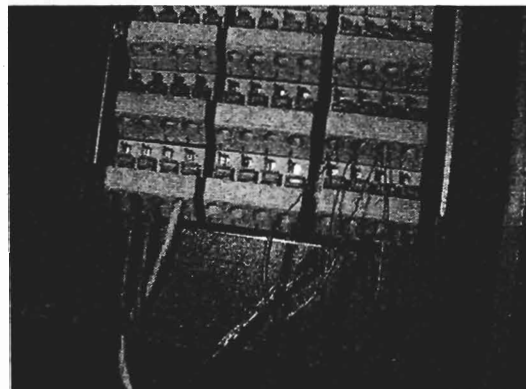
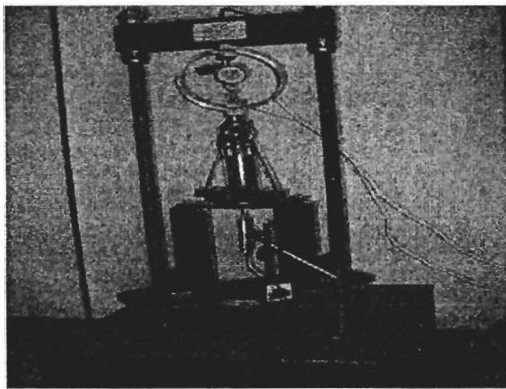
7.2 ค่ากำลังคัตสูงสุด (Modulus of Rupture) คำนวณได้จากสมการ 2.3

7.3 ค่าความเครียดในช่วงพิกัดยืดหยุ่น (Strain at Limit of proportionally) คำนวณได้จากสมการ 2.4

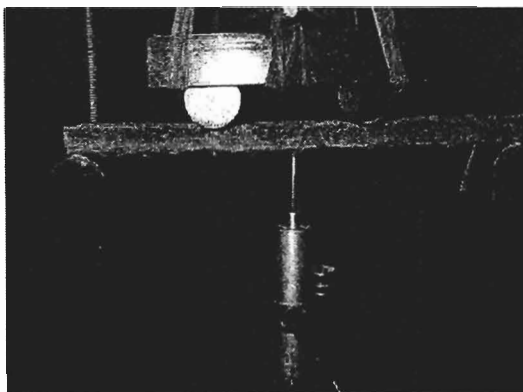
7.4 ค่าความเครียดที่จุดสูงสุด (Deformation at failure) คำนวณได้จากสมการ 2.5

8. วิเคราะห์ผล และเปรียบเทียบผล

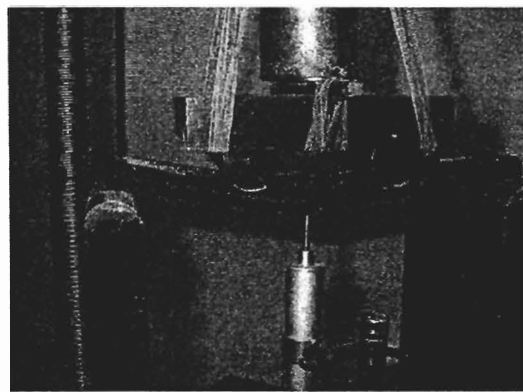
ในรูปที่ 3.18 - 3.20 ขั้นตอนการทดสอบแรงคัตของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว



รูปที่ 3.18 การประกอบชุดเครื่องมือทดสอบกำลังคัต



รูปที่ 3.19 การติดตั้งแผ่นตัวอย่าง, LVDT



รูปที่ 3.20 การวิบัติของแผ่นตัวอย่าง

3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นตัวอย่างทดสอบแรงดัด

ทำการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นตัวอย่างทดสอบแรงดัด เพื่อหาอัตราการดูดซึมน้ำของแผ่นตัวอย่างทดสอบแรงดัด ตัวอย่างที่มีเนื้อใยปาล์มน้ำมัน และเนื้อใยกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. นำแผ่นตัวอย่างที่จะทดสอบไปวัดขนาด
2. แช่แผ่นตัวอย่างทดสอบในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมแผ่นทดสอบจมมิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. หลังจากแช่น้ำแผ่นตัวอย่างทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นำแผ่นตัวอย่างทดสอบขึ้นจากน้ำ ซับน้ำที่เกาะที่ผิวของแผ่นตัวอย่างให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จะได้ค่า M_w
4. นำแผ่นตัวอย่างทดสอบที่ชั่งน้ำหนักเปียกเรียบร้อยแล้ว ไปอบในตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยอบแผ่นตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. หลังจากอบแผ่นตัวอย่างทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแผ่นตัวอย่างออกจากตู้อบทำการชั่งน้ำหนักจะได้ค่า M_d

การคำนวณ

คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมโดยใช้สมการ 2.6

3.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัด

เครื่องมือและอุปกรณ์หลักๆ ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

1. เครื่องผสมมอร์ตาร์
2. เครื่องทดสอบกำลังอัด
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เวอร์เนีย
5. แบบหล่อมอร์ตาร์

3.8 อัตราส่วนผสมและขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดอัดของมอร์ตาร์

3.8.1 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดตัวอย่างขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ตัวอย่างทั้งหมด 81 ตัวอย่าง

3.8.2 อัตราส่วนผสม ที่ใช้ในการหลอมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าไพลัมน้ำมันและเถ้ากลบ ในปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (0% 10% 20% 30% และ 40%) ตามตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์

Sample	Cement	RHA (บด)	OPFA (บด)	Super plasticizer	Sand	W/B
Control	1	0	0	0.15%	1	0.40
OP10	0.90	-	0.10	0.50%	1	0.40
OP20	0.80	-	0.20	0.70%	1	0.40
OP30	0.70	-	0.30	0.825%	1	0.40
OP40	0.60	-	0.40	1.00%	1	0.40
RHA10	0.90	0.10	-	0.50%	1	0.40
RHA20	0.80	0.20	-	0.75%	1	0.40
RHA30	0.70	0.30	-	1.00%	1	0.40
RHA40	0.60	0.40	-	1.25%	1	0.40

3.9 การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ใช้แท่งลูกบาศก์ขนาด 50×50×50 มิลลิเมตร ส่วนผสมของมอร์ตาร์มีอัตราส่วนผสม ซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนักปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมีค่า W/C เท่ากับ 0.40 และสารลดปริมน้ำอย่างมาก เท่ากับ 0.50% เทียบน้ำหนักของปูนซีเมนต์ วิธีการผสมมอร์ตาร์ ทำตามมาตรฐาน ASTM C 305-99 [26] Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency วิธีการหล่อ การบ่ม วิธีการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 109/C109M-99 [10] Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar การทดสอบแรงอัดใช้เครื่องทดสอบแรงอัด Compact 300 KN คำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัด โดยใช้สมการ 2.1

บทที่ 4 ผลของการวิจัย

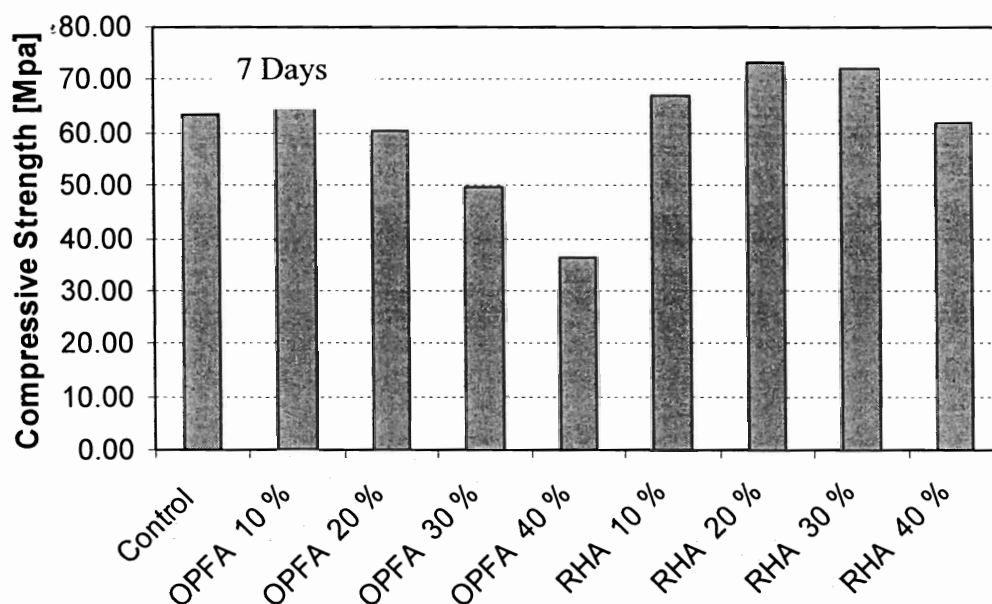
ผลการวิจัยสามารถแยกออกเป็นสามส่วนตามผลของการทดสอบคือ การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ การทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเสริมใยแก้ว และการทดสอบการคืบของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว

4.1 การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบแทนที่มอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (ซีเมนต์ และ ปอชโซลาน) ต่อทรายเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก โดยใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร โดยทำการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุต่างๆ

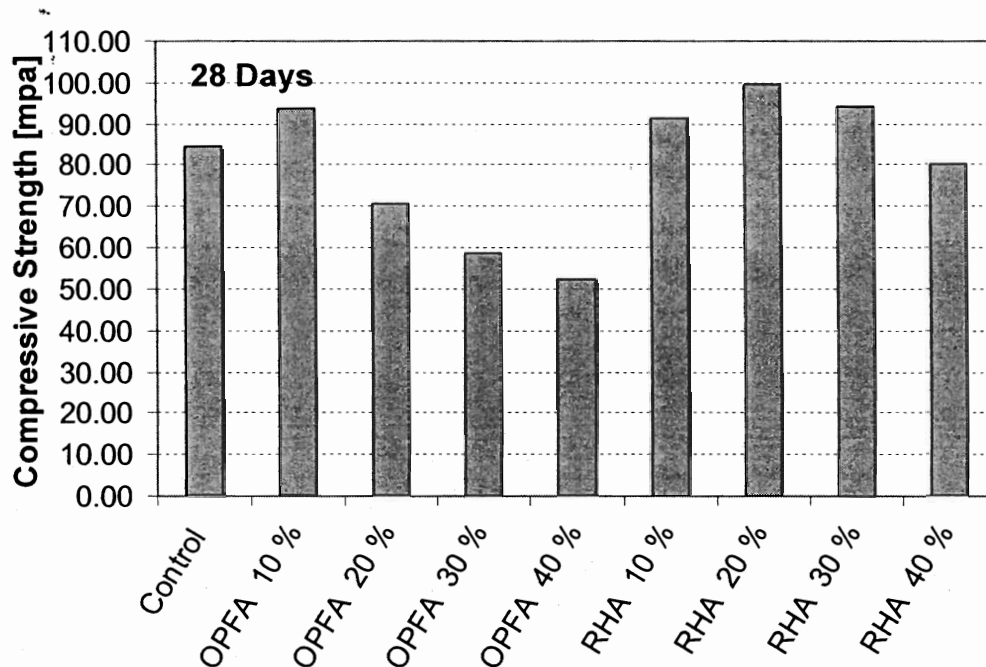
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการวิจัย

Sample ID	Compressive Strength [MPa]		
	7 days	28 days	56 days
Control	63	84	97
OP10	64	93	101
OP20	60	70	88
OP30	49	58	69
OP40	36	52	56
RHA10	66	91	99
RHA20	73	99	111
RHA30	71	94	103
RHA40	61	80	90



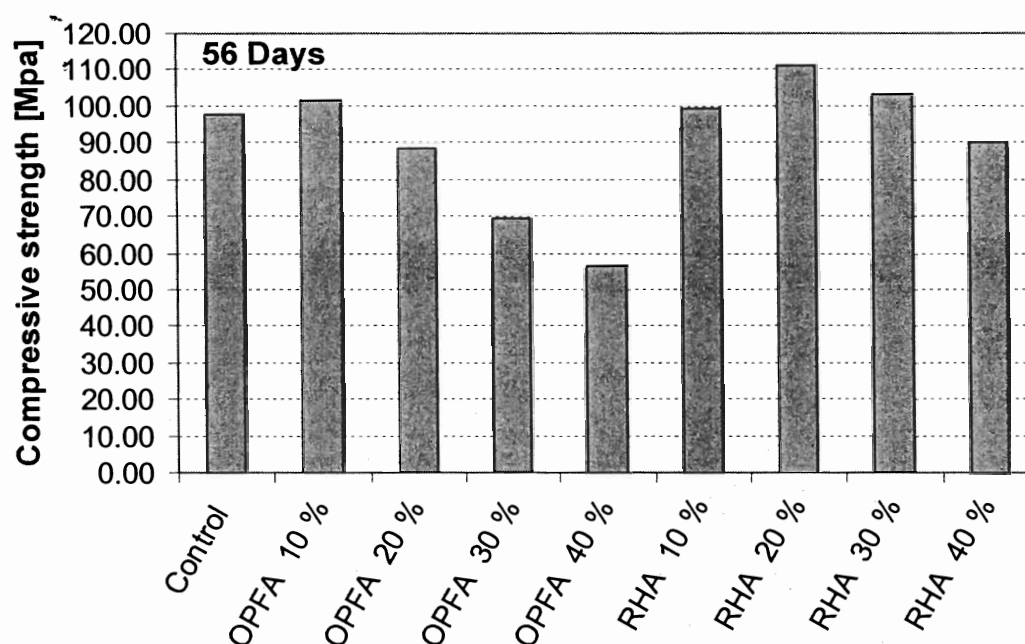
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน

จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัด 64 60 49 และ 36 MPa ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่อใช้เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละที่สูงขึ้นจะทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดกับซีเมนต์มอร์ตาร์ของชุดควบคุมพบว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัด ต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนของชุดควบคุม ยกเว้นมอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัด สูงกว่ากำลังอัดของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย ในส่วนของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักมีค่ากำลังอัด 66 73 และ 71 MPa ตามลำดับมีค่ากำลังอัด สูงกว่าของซีเมนต์มอร์ตาร์ชุดควบคุม สำหรับมอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักมีค่ากำลังรับแรงอัด 61 MPa ซึ่งมีค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย ที่อายุ 7 วันอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังอัดสูงสุดคือการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ 73 MPa



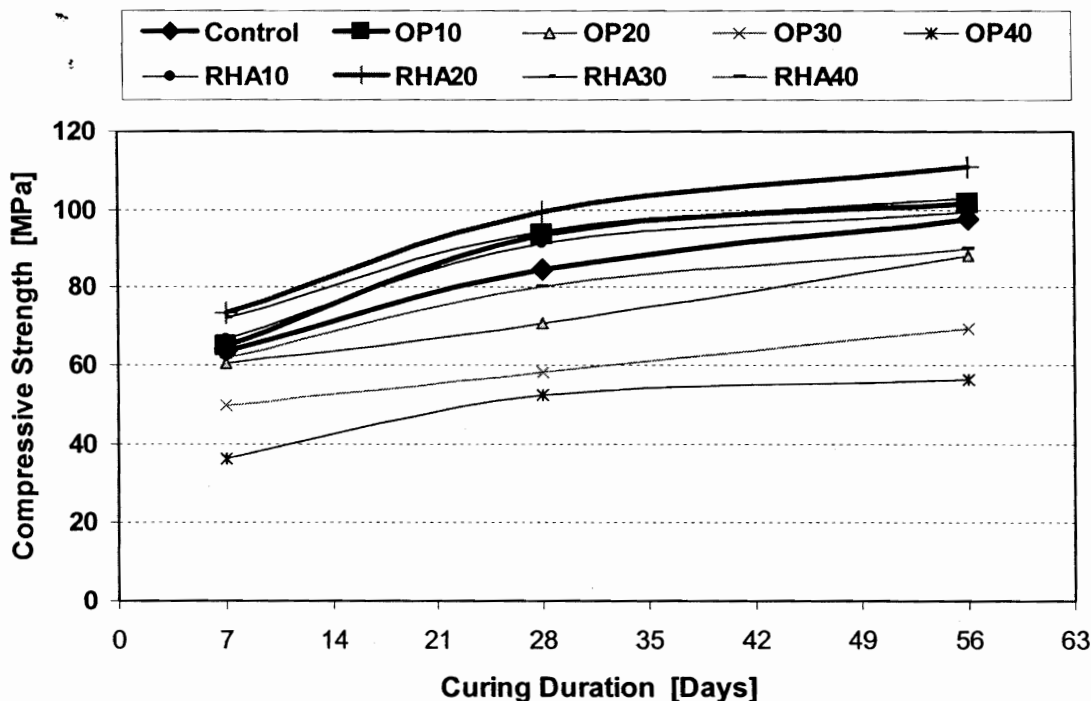
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน

จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัด 70 58 และ 52 MPa มีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่ส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนที่มีค่า 84 MPa ส่วนมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 มีค่า 93 MPa ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน ในส่วนของมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัด 91 99 และ 94 MPa สูงกว่ามอร์ตาร์ที่ส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน สำหรับมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 40 มีค่ากำลังรับแรงอัด 80 MPa ซึ่ง มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนเพียงเล็กน้อย อัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบที่ร้อยละ 20 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด 99 MPa สูงกว่าค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนถึงร้อยละ 17.74



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ ที่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าไพลัมน้ำมัน และเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน

จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมเถ้าไพลัม น้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัด 88 69 และ 56 MPa ซึ่งต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนที่มีค่ากำลังอัด 97 MPa ส่วน ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมเถ้าไพลัมน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 มีค่า 101 MPa ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่า ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ควบคุมที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ล้วนเพียงเล็กน้อย ในส่วนของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัด 99 111 และ 103 MPa สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ ส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน สำหรับมอร์ตาร์ผสมเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดย น้ำหนัก มีค่ากำลังอัด 90 MPa ซึ่ง มีค่ากำลังอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ล้วนเพียงเล็กน้อย อัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักให้ค่า กำลังอัดสูงสุดมีค่า 111 MPa สูงกว่าค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนถึงร้อยละ 14 และสูงกว่าของส่วนผสมเถ้าไพลัมน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักถึงร้อย ละ 9.62



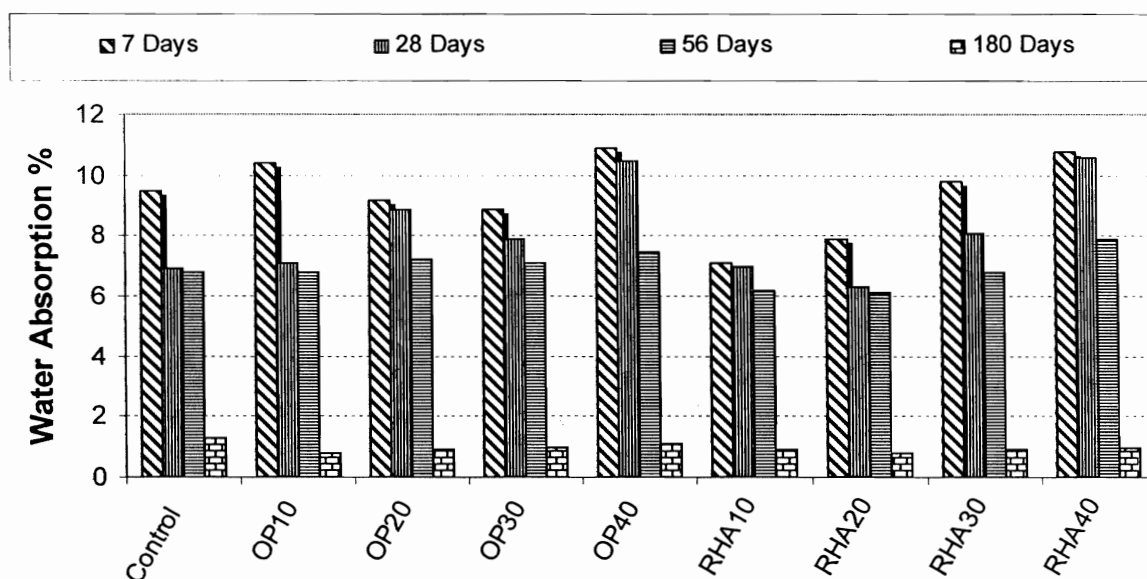
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการพัฒนากำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ อายุ 7 28 และ 56 วัน

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก และมอร์ตาร์ควบคุมที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน มีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดสูงขึ้นในอายุการบ่มน้ำระหว่าง 7 ถึง 28 วัน การพัฒนากำลังอัดโดยเทียบจากกำลังอัดที่อายุ 7 วัน โดยเลือกกำลังอัดสูงสุดเป็นตัวแทนพบว่า มอร์ตาร์ควบคุมที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนกำลังอัดที่ 28 วันพัฒนาขึ้นจาก 7 วันร้อยละ 32.91 ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันร้อยละ 10 กำลังอัดที่ 28 วันพัฒนาขึ้นจาก 7 วันร้อยละ 44.35 ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้ากลบร้อยละ 20 กำลังอัดที่ 28 วันพัฒนาขึ้นจาก 7 วันร้อยละ 35.36 หลังอายุของตัวอย่างบ่มน้ำผ่าน 28 วันไปแล้ว การพัฒนากำลังอัดยังคงเพิ่มสูงขึ้นแต่จะพัฒนาต่ำกว่าในช่วงต้นกล่าวคือที่อายุการบ่มน้ำที่ 56 วันมอร์ตาร์ควบคุมที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนกำลังอัดที่ 56 วันพัฒนาขึ้นจาก 28 วันร้อยละ 15.15 ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันร้อยละ 10 กำลังอัดที่ 56 วันพัฒนาขึ้นจาก 28 วันร้อยละ 8.25 ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้ากลบร้อยละ 20 กำลังอัดที่ 56 วันพัฒนาขึ้นจาก 28 วันร้อยละ 12.09

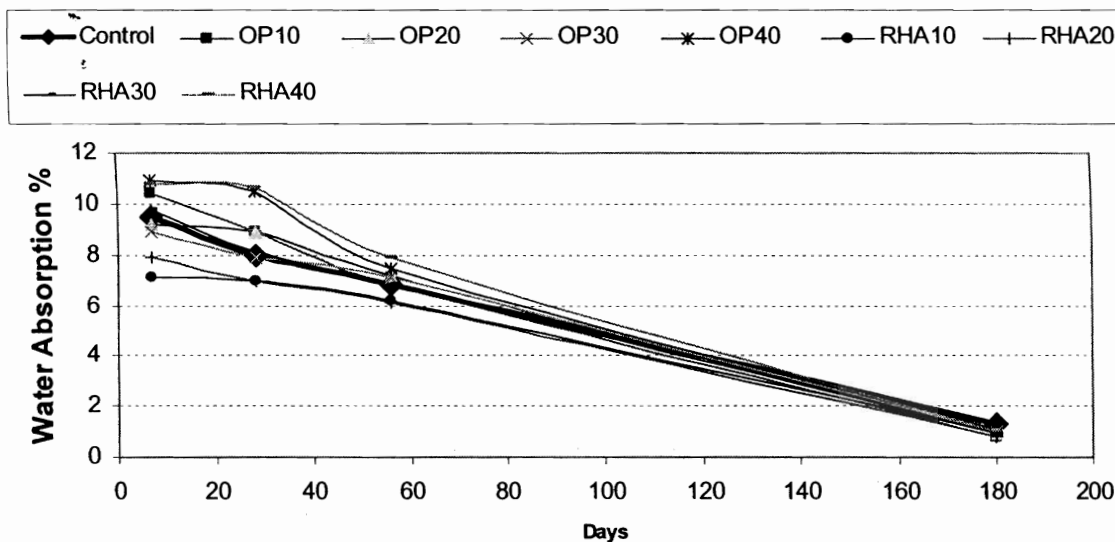
4.2 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตเสริมใยแก้ว

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเจ้าป่าล้ม น้ำมันและเจ้าเกลบในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน

Sample ID	Water Absorption [%]			
	7 days	28 days	56 days	180 days
Control	9.5	6.9	6.8	1.3
OP10	10.4	7.1	6.8	0.8
OP20	9.2	8.9	7.2	0.9
OP30	8.9	7.9	7.1	1.0
OP40	10.9	10.5	7.5	1.1
RHA10	7.1	7.0	6.2	0.9
RHA20	7.9	6.3	6.1	0.8
RHA30	9.8	8.1	6.8	0.9
RHA40	10.8	10.6	7.9	1.0



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ซีเมนต์ด้วยเจ้าป่าล้มน้ำมันและเจ้าเกลบในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน

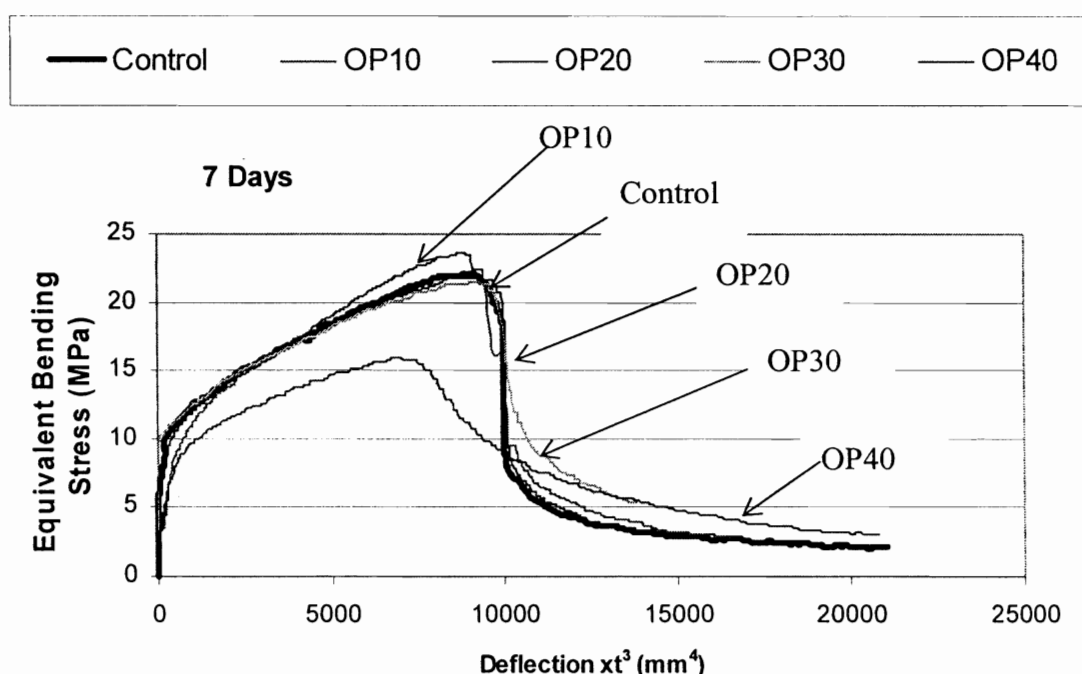
จากตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำและร้อยละอัตรา การแทนที่ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบ ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว พบว่า

1. ที่อายุ 7 วันค่าการดูดซึมของแผ่นคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีค่าร้อยละ 9.5 แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้า กลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วันมีค่าการดูดซึม ร้อยละ 10.4 9.2 8.9 10.9 7.1 7.9 9.8 และ 10.8 ตามลำดับ
2. ที่อายุ 28 วันค่าการดูดซึมของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีค่าร้อยละ 6.9 แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้า กลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วันมีค่าการดูด ซึมร้อยละ 7.1 8.9 7.9 10.5 7.0 6.3 8.1 และ 10.6 ตามลำดับ
3. ที่อายุ 56 วันค่าการดูดซึมของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีค่าร้อยละ 6.8 แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้า กลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วันมีค่าการดูด ซึมร้อยละ 6.8 7.2 7.17 5.2 6.2 6.1 6.8 และ 7.9 ตามลำดับ
4. ที่อายุ 180 วัน ค่าการดูดซึมของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนมีค่าร้อยละ 1.3 แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้า กลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 180 วันมีค่าการดูด ซึมร้อยละ 0.8 0.9 1.0 1.1 0.9 0.8 0.9 และ 1.0 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนเมื่ออายุการบ่มน้ำเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันสมบูรณ์ขึ้น สำหรับแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมัน และใยกล้วยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 เมื่ออายุการบ่มน้ำมากขึ้น สารประกอบซิลิกา อลูมินา และเหล็กในใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วย ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดเป็นวัสดุเชื่อมประสาน(C-S-H) มากขึ้น การเกิดปฏิกิริยาปอซโซ ลานของวัสดุปอซโซลานที่ความละเอียดสูงๆจะเป็นการลดช่องว่างของซีเมนต์เจลและลดความพรุนทำให้การซึมผ่านของน้ำต่ำ เช่นเดียวกับ Rayment [26]

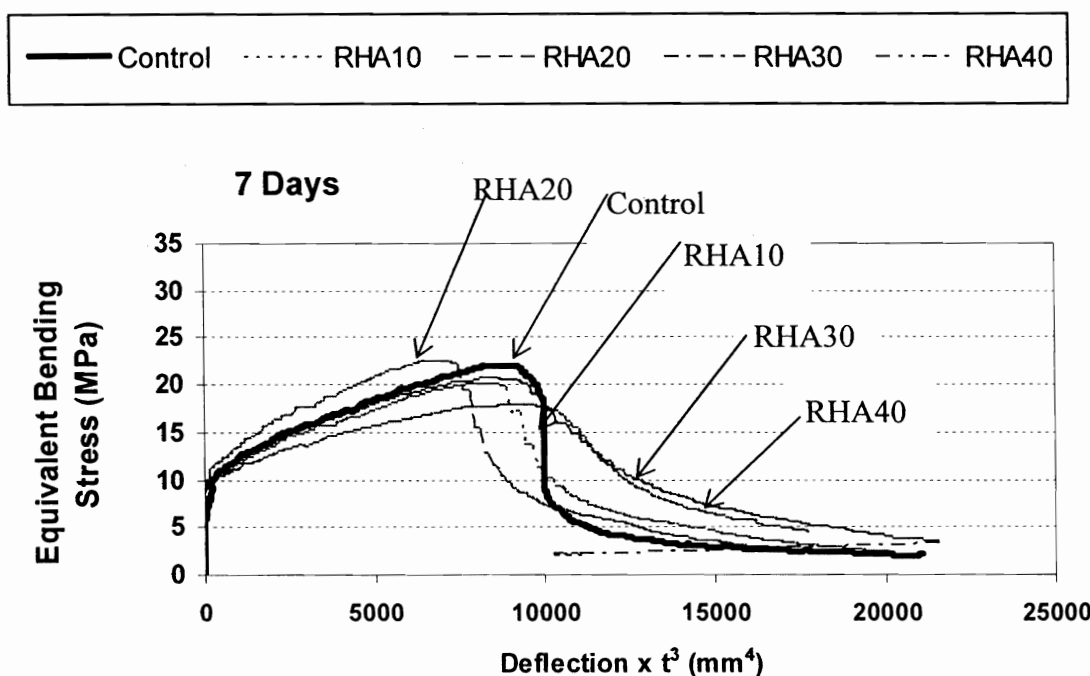
4.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเสริมใยแก้ว

4.3.1 พฤติกรรมการดัดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมัน และใยกล้วยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (ซีเมนต์ และปอซโซลาน) ต่อทรายเท่ากับ 1:1 โดยใช้แผ่นตัวอย่างคอนกรีตเสริมใยแก้วขนาด 50x225 และมีความหนาระหว่าง 8-12 มิลลิเมตรโดยทำการทดสอบพฤติกรรมการดัดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมัน และใยกล้วยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบหา พฤติกรรมการดัดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมัน และใยกล้วยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุต่างๆ



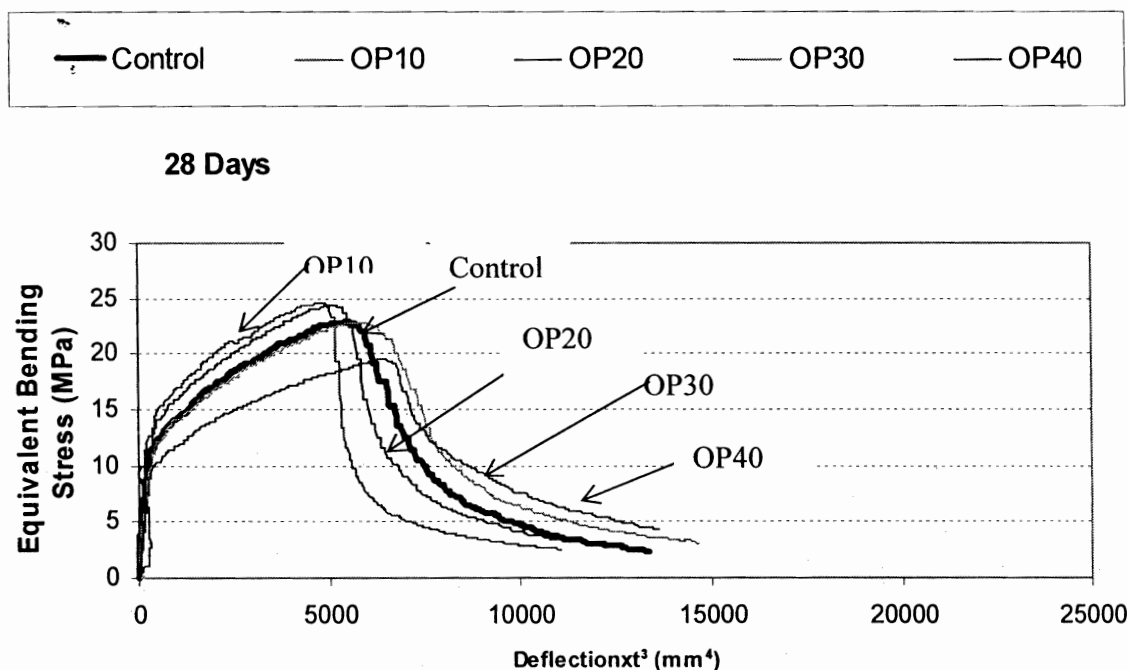
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยกล้วยในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน

รูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่บ่มน้ำอายุ 7 วันของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของไส้ใยปาล์มน้ำมันที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่ามีค่าการ โกงตัวใกล้เคียงกัน มีเพียงแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของไส้ใยปาล์มน้ำมันที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 เท่านั้นที่มีค่าการ โกงตัวน้อยกว่า แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนเพียงเล็กน้อย



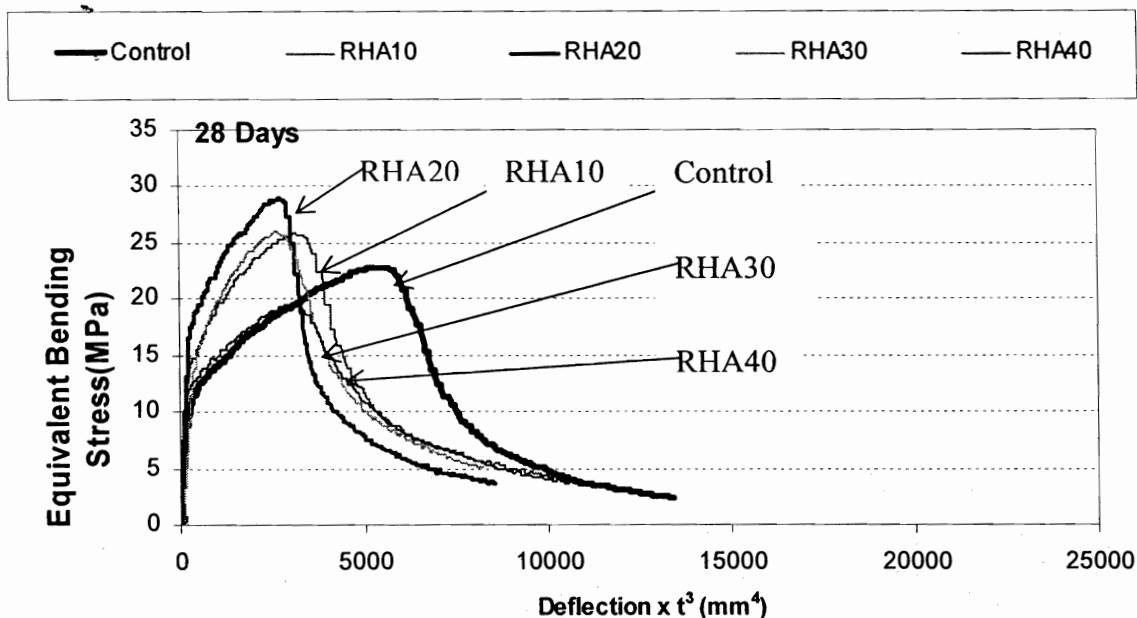
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของไส้ใยกลบในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน

รูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่บ่มน้ำอายุ 7 วันของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของไส้ใยกลบที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่ามีค่าการ โกงตัวใกล้เคียงกัน มีเพียงแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของไส้ใยกลบที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 เท่านั้นที่มีค่าการ โกงตัวน้อยกว่า แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของ แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเสาใยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน

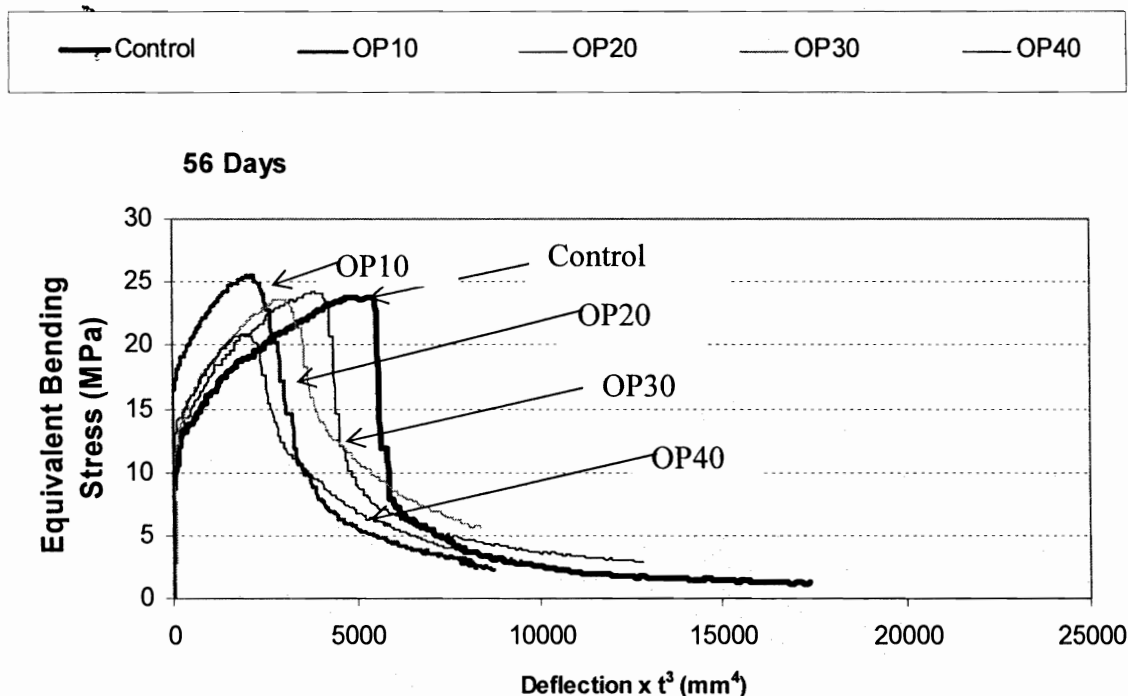
รูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่บ่มน้ำอายุ 28 วัน ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเสาใยปาล์มน้ำมันที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเสาใยปาล์มน้ำมันที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 มีค่าการโก่งตัวน้อยกว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีเพียงแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเสาใยปาล์มน้ำมันที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 และ 40 ที่มีค่าการโก่งตัวใกล้เคียง แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน



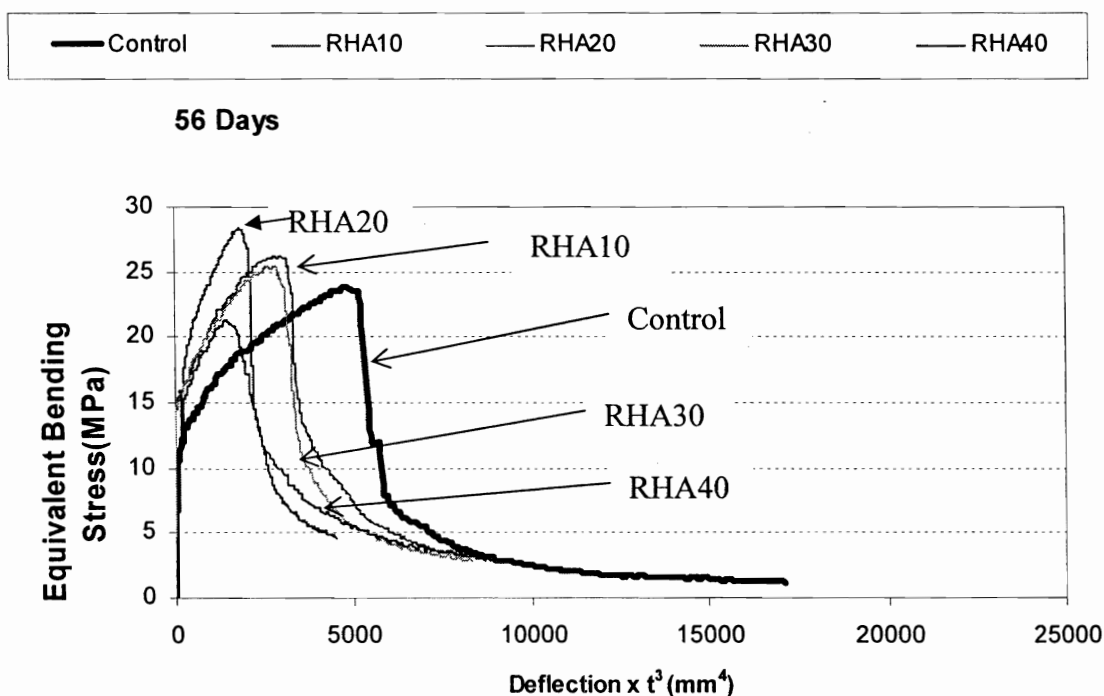
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่บ่มน้ำอายุ 28 วัน ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 มีค่าการโก่งตัวน้อยกว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่บ่มน้ำอายุ 56 วัน ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 เมื่ออายุการบ่มน้ำมากขึ้นมีการพัฒนากำลังเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเกิดจาก สารประกอบซิลิกา อลูมินาในเส้นใยปาล์มน้ำมัน ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดเป็นวัสดุเชื่อมประสาน (C-S-H) มากขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนากำลังสูงขึ้นในทางกลับกันทำให้ค่าการโก่งตัวลดน้อยลงและให้ค่าการโก่งตัวน้อยกว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน

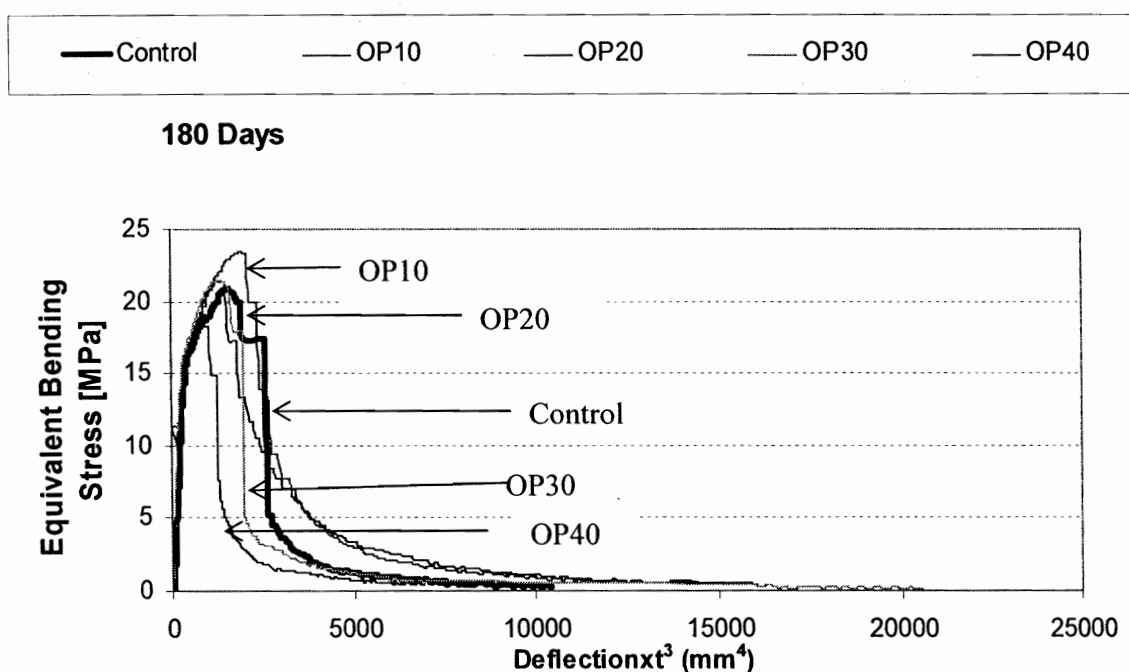


รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถาวัลย์ปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถาวัลย์กลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน

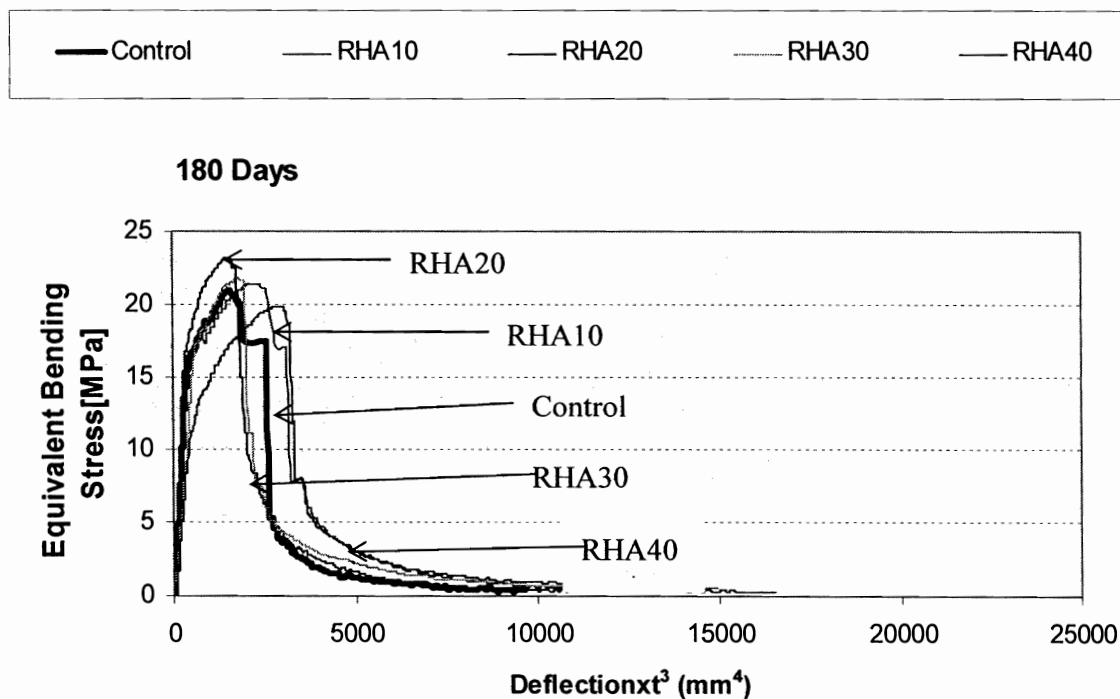
จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่บ่มน้ำอายุ 56 วัน ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าอี้เหล็กที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าอี้เหล็กที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 เมื่ออายุการบ่มน้ำมากขึ้นมีการพัฒนากำลังเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเกิดจากสารประกอบซิลิกา อลูมินาในเถ้าไยปาล์มน้ำมัน ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดเป็นวัสดุเชื่อมประสาน (C-S-H) มากขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนากำลังสูงขึ้นในทางกลับกันทำให้ค่าการโก่งตัวลดน้อยลงและให้ค่าการโก่งตัวน้อยกว่าแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าอี้เหล็กในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 180 วัน

จากรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่บ่มน้ำอายุ 180 วันของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าอี้เหล็กที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่ามีค่าการโก่งตัวใกล้เคียงกัน มีเพียงแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าอี้เหล็กที่แทนที่ปูนซีเมนต์ล้วน

แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 เท่านั้นที่มีค่าการโก่งตัวน้อยกว่า แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่า Deflection ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และค่า Deflection ที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าแถบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 180 วัน

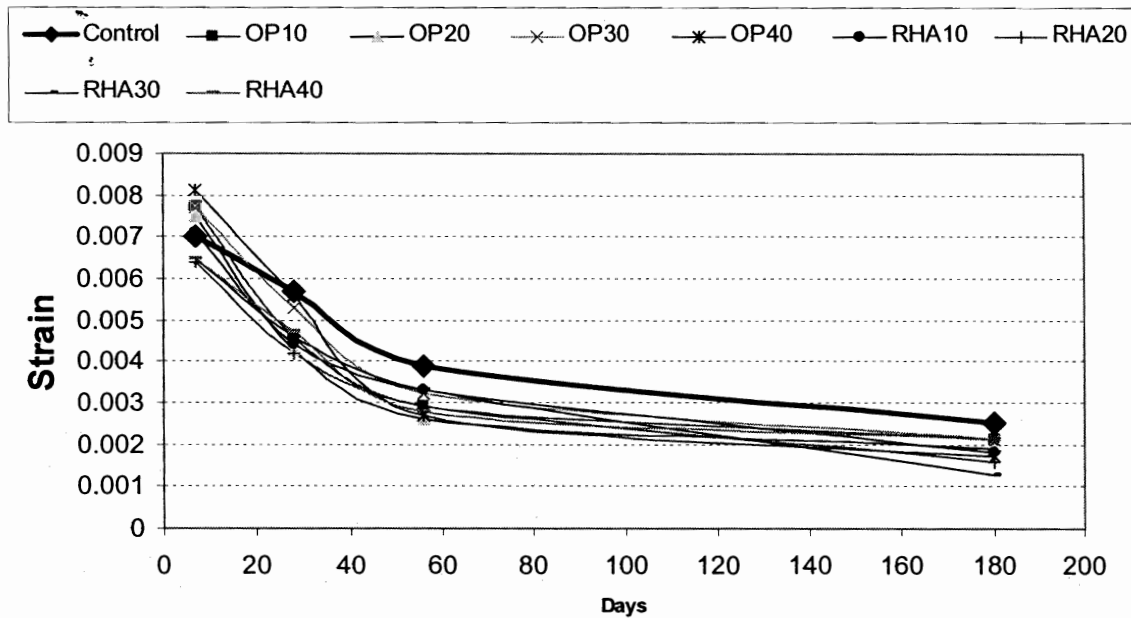
รูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่บ่มน้ำอายุ 180 วันของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าแถบที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 พบว่ามีค่าการโก่งตัวใกล้เคียงกัน มีเพียงแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าแถบที่ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 เท่านั้นที่มีค่าการโก่งตัวมากกว่า แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนเพียงเล็กน้อย

4.3.2 ค่าความเครียด (Strain) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าใยปาล์มน้ำมัน และเก้าแถบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (ซีเมนต์ และปอชโซลาน) ต่อทรายเท่ากับ 1:1 โดยใช้แผ่นตัวอย่างคอนกรีตเสริมใยแก้ว ขนาด 50x225 และมีความหนาระหว่าง 8-12 มิลลิเมตร โดยทำการทดสอบหาค่าความเครียดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าใยปาล์มน้ำมัน และเก้าแถบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 7

28 56 และ 180 วัน ตามมาตรฐาน BS EN 1170-5:1998 ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความเครียดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเด้าโยปาล์มน้ำมัน และเด้าเกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุต่างๆ

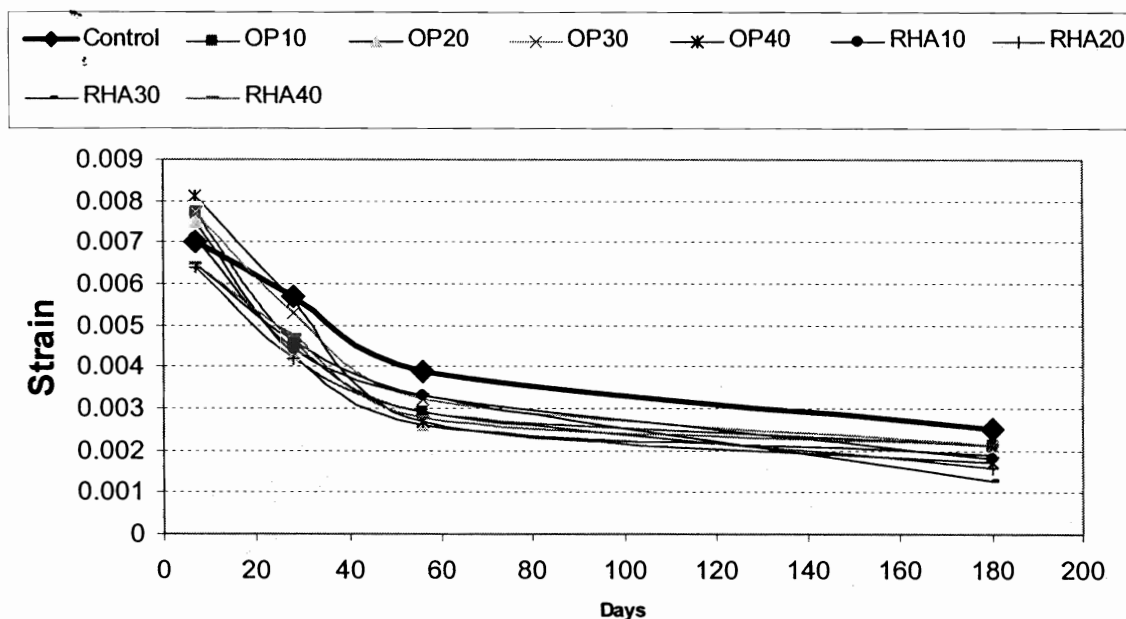
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความเครียด (Strain) ที่จุดขีดจำกัด (LOP) และความเครียดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเด้าโยปาล์มน้ำมัน และเด้าเกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุต่างๆ

Sample ID	Strain (LOP)				Strain (MOR)			
	7 days	28 days	56 days	180 days	7 days	28 days	56 days	180 days
Control	0.0010	0.0006	0.0005	0.0004	0.0070	0.0057	0.0039	0.0025
OP10	0.0009	0.0006	0.0005	0.0004	0.0077	0.0046	0.0029	0.0021
OP20	0.0008	0.0005	0.0004	0.0002	0.0075	0.0043	0.0026	0.0019
OP30	0.0012	0.0006	0.0006	0.0001	0.0077	0.0053	0.0032	0.0021
OP40	0.0012	0.0007	0.0005	0.0002	0.0081	0.0056	0.0027	0.0017
RHA10	0.0011	0.0008	0.0004	0.0002	0.0071	0.0044	0.0033	0.0018
RHA20	0.0009	0.0008	0.0003	0.0002	0.0064	0.0042	0.0029	0.0013
RHA30	0.0009	0.0006	0.0004	0.0002	0.0065	0.0046	0.0033	0.0016
RHA40	0.0008	0.0005	0.0005	0.0002	0.0065	0.0047	0.0028	0.0021



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าความเครียด (Strain) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่จุดขีดจำกัด (LOP) ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าความเครียดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่จุด LOP ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน ความเครียดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์ม น้ำมัน และเถ้ากลบ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ค่าความเครียดลดลงมากเนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 7-56 วัน ทำให้แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วมีการพัฒนากำลังสูงขึ้นในทางกลับกันค่าการโก่งตัวจะลดลงมากจึงทำให้ค่าความเครียดลดลงมากซึ่งจะเห็นว่าเส้นกราฟมีความลาดชันมาก หลังจาก 56 วัน ถึง 180 วัน การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นค่อนข้างสมบูรณ์มีการพัฒนากำลังเพียงเล็กน้อยค่าการโก่งตัวน้อย จึงทำให้ค่าความเครียดลดลงเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าความเครียด (Strain) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ อายุ 7 28 56 และ 180 วัน

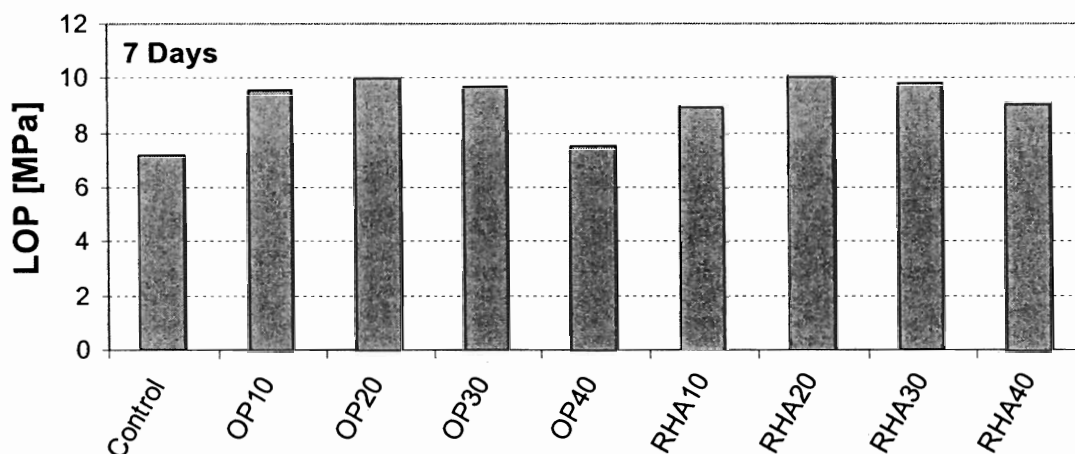
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าความเครียดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่จุด MOR ที่ อายุ 7 28 และ 56 วัน ความเครียดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ความเครียดลดลงมากเนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 7-56 วัน ทำให้แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วมีการพัฒนากำลังสูงขึ้นในทางกลับกันค่าการโก่งตัวจะลดลงอย่างมากจึงทำให้ค่าความเครียดลดลงมากซึ่งจะเห็นว่าเส้นกราฟมีความลาดชันมาก หลังจาก 56 วันถึง 180 วัน การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นค่อนข้างสมบูรณ์มีการพัฒนากำลังเพียงเล็กน้อยค่าการโก่งตัวน้อย จึงทำให้ค่าความเครียดลดลงเพียงเล็กน้อย

4.3.3 กำลังคดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังคดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (ซีเมนต์ และปอชโซลาน) ต่อทรายเท่ากับ 1:1 โดยใช้แผ่นตัวอย่างคอนกรีตเสริมใยแก้ว ขนาด 50x225 และมีความหนา 8-12 มิลลิเมตร โดยทำการทดสอบพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน ตามมาตรฐาน BS EN 1170-5:1998 ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบหา กำลังคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุต่างๆ

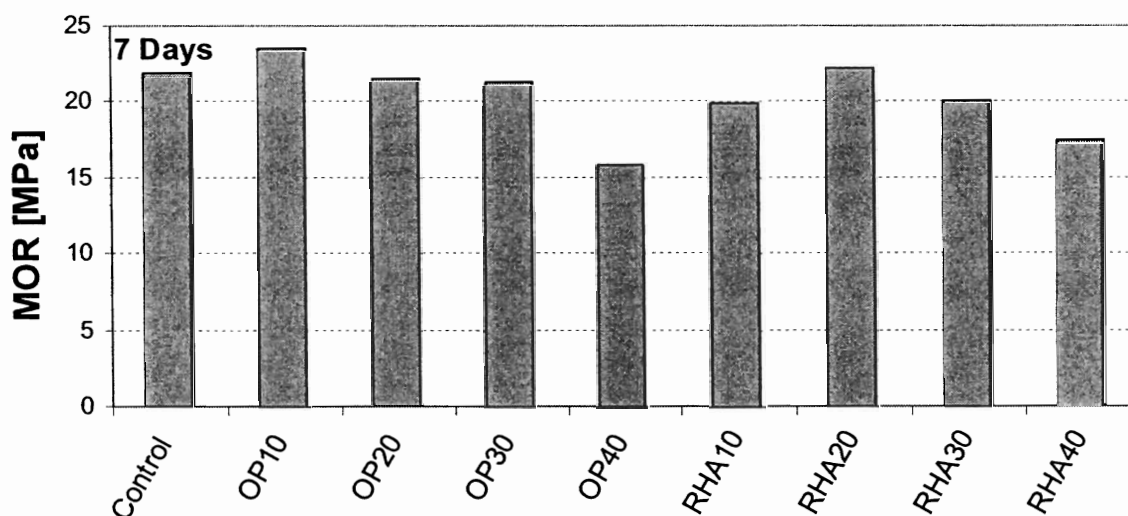
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังค้ำที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังค้ำสูงสุด (MOR) ที่อายุต่างๆ

Sample ID	Limit of Proportionality (LOP)				Modulus of Rupture (MOR)			
	[MPa]				[MPa]			
	7 days	28 days	56 days	180 days	7 days	28 days	56 days	180 days
Control	7.19	13.92	14.33	14.29	22.02	22.67	23.69	20.65
OP10	9.57	15.89	18.37	17.21	23.56	24.52	25.39	23.49
OP20	10.04	15.50	17.39	15.87	21.50	24.03	24.50	21.49
OP30	9.69	14.87	15.99	15.11	21.25	23.13	23.70	21.33
OP40	7.53	13.00	15.66	12.46	15.86	19.30	20.78	17.98
RHA10	9.00	17.24	18.38	16.51	19.94	25.77	25.91	21.14
RHA20	10.11	18.70	21.09	17.84	22.33	27.49	28.07	23.21
RHA30	9.82	16.76	19.09	17.05	20.30	25.64	26.25	21.34
RHA40	9.12	12.32	15.11	14.45	17.38	19.17	21.10	19.91

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า ค่า LOP ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน ที่อายุ 7 วัน มีค่า LOP 7.19 MPa แผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมัน แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน มีค่า LOP 9.57 10.04 9.69 และ 7.53 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสูงกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน สำหรับ เถ้าแกลบ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน มีค่า LOP 9.00 10.11 9.82 และ 9.12 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสูงกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน



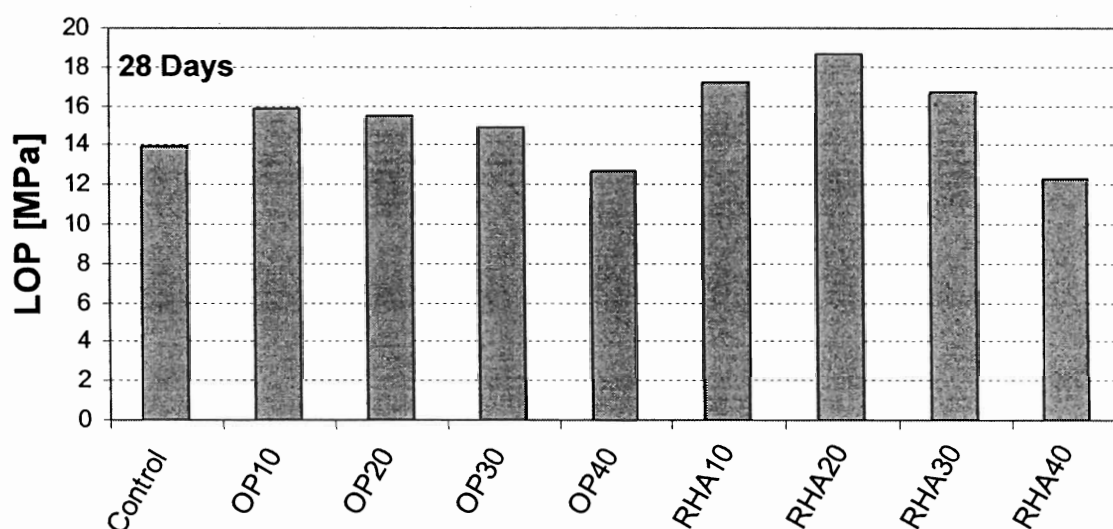
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบกำลังค้ำค้ำที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของ
 เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าเถ้ากลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบกำลังค้ำค้ำที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้ว
 ของเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าเถ้ากลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.18 ค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus Of Rupture) ของแผ่นบางที่ทำจาก
 คอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนที่อายุ 7 วันมีค่า MOR
 22.02 MPa แผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมัน แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ต

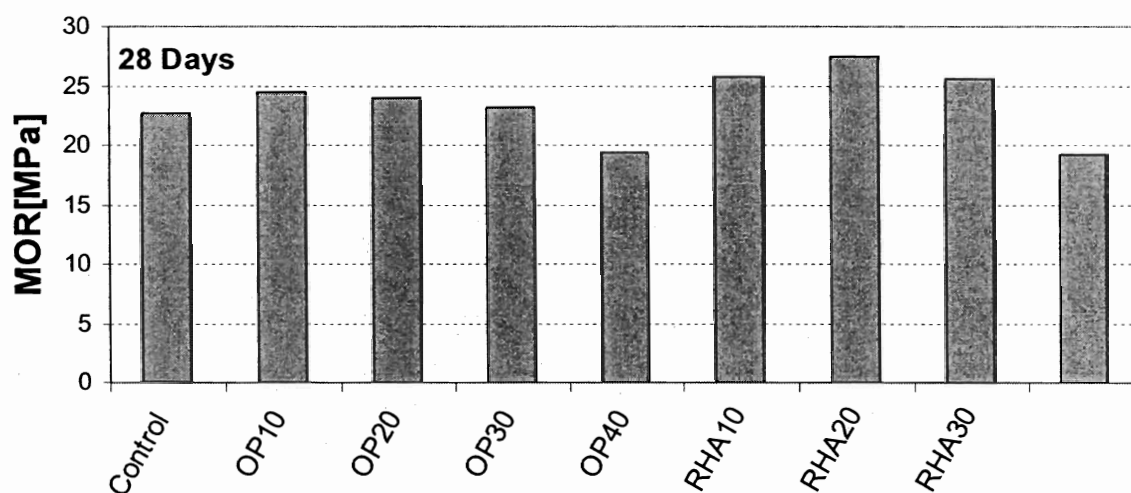
แลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน ค่าMOR 23.56 21.50 21.25 และ 15.86 MPa ตามลำดับ มีเพียงแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 เท่านั้นที่มีค่าMOR 23.56 MPa ที่ให้ค่าMORสูงกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม สำหรับ เถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วันมีค่าMOR 19.94 22.33 20.30 และ 17.38 MPa ตามลำดับมีเพียงแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้ากลบ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 20 เท่านั้นที่มีค่าMOR 22.33 MPa ที่ให้ค่าMORสูงกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบกำลังคดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน

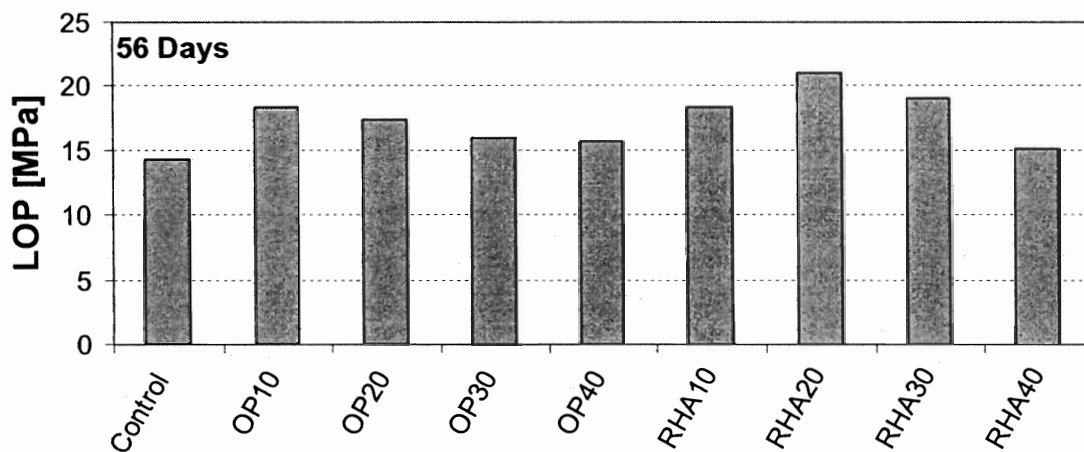
จากตารางที่ 4.4 และรูป 4.19 จะเห็นได้ว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีค่าLOP 13.92 MPa แผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน แทนที่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 20 และ 30 ที่อายุ 28 วันมีค่าLOP 15.89 15.50 และ 14.87 MPa ตามลำดับ มีค่าLOPสูงกว่าค่าLOP ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีเพียงแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 40 มีค่าLOP 13.00 MPa ซึ่งต่ำกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม สำหรับเถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วันมีค่าLOP 17.24 18.70 16.76 และ 12.32 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าLOPสูงกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีต

เสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีเพียงที่แทนที่ด้วยเถ้ากลบในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้นที่มีค่า LOP 12.32 MPa ต่ำกว่าของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย



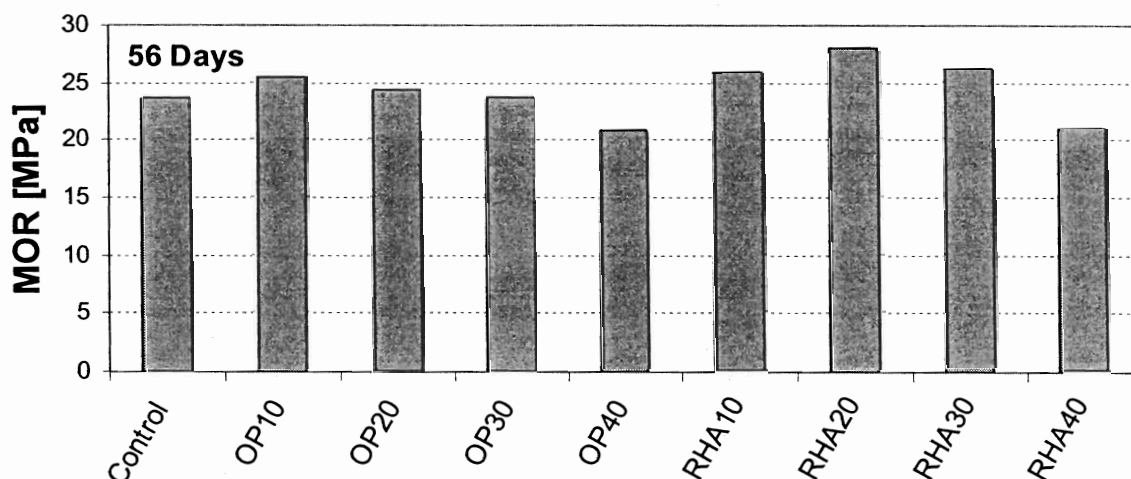
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน

จากตารางที่ 4.4 และรูป 4.20 สำหรับค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมที่อายุ 28 วันมีค่ากำลังดัดเทียบเท่า 22.67 MPa แผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 ที่อายุ 28 วันมีค่า MOR 24.52 24.03 และ 23.13 MPa ตามลำดับมีค่า MOR สูงกว่าค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม มีเพียงที่แทนที่ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้นที่มีค่า MOR 19.30 MPa ต่ำกว่าของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย สำหรับเถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 มีค่า MOR 25.77 27.49 และ 25.64 MPa ตามลำดับ มีค่า MOR สูงกว่าค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีเพียงที่แทนที่ด้วยเถ้ากลบในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้นที่มีค่า MOR 19.17 MPa ต่ำกว่าของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย



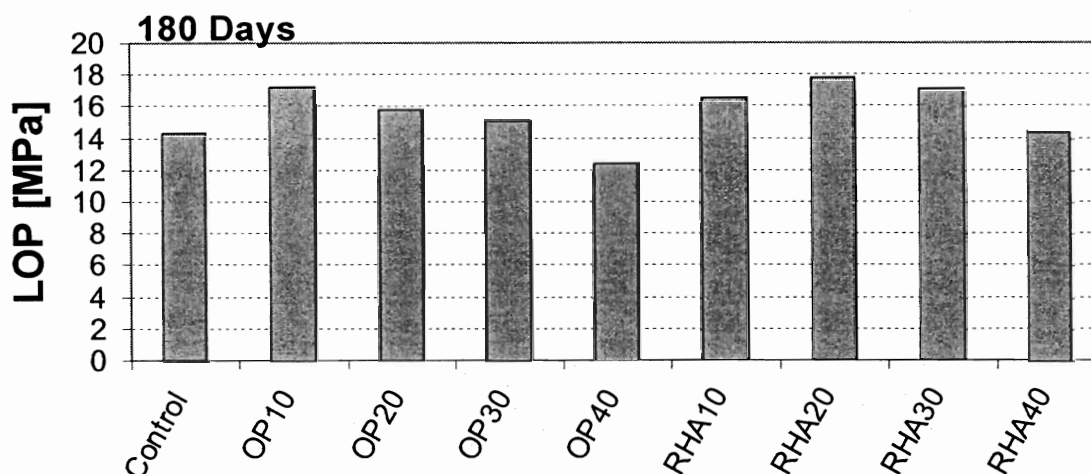
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบกำลังคดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของ
 เถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน

จากตารางที่ 4.4 และรูป 4.21 จะเห็นได้ว่าค่า LOP ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ที่อายุ 56 วัน มีค่า LOP 14.33 MPa แผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าเถ้าปาล์ม น้ำมัน ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน มีค่า LOP 18.37 17.39 15.99 และ 15.66 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า LOP สูงกว่าค่า LOP ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม สำหรับแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าแกลบ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 มีค่า LOP 18.38 21.09 19.09 และ 15.11 MPa ตามลำดับ มีค่า LOP สูงกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม



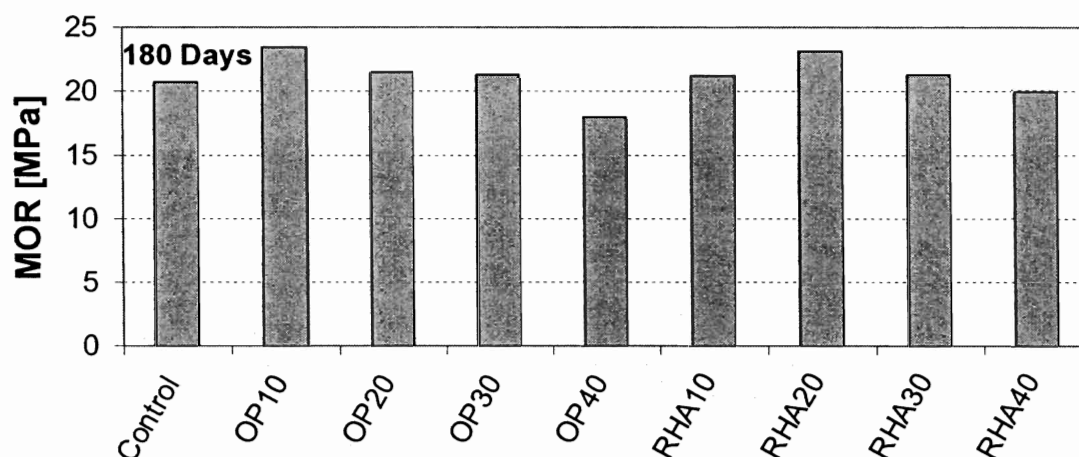
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน

จากตารางที่ 4.4 และรูป 4.22 สำหรับค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมที่อายุ 56 วันมีค่า MOR 23.69 MPa ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 มีค่า MOR 25.39 24.30 และ 23.70 MPa ตามลำดับ มีค่า MOR สูงกว่าค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม มีเพียงที่แทนที่ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้นที่มีค่า MOR 20.78 MPa ซึ่งต่ำกว่าของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย สำหรับเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 มีค่า MOR 25.91 28.07 และ 26.25 MPa ตามลำดับ มีค่า MOR สูงกว่าค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม มีเพียงที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้นที่มีค่า MOR 21.10 MPa ต่ำกว่าของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย



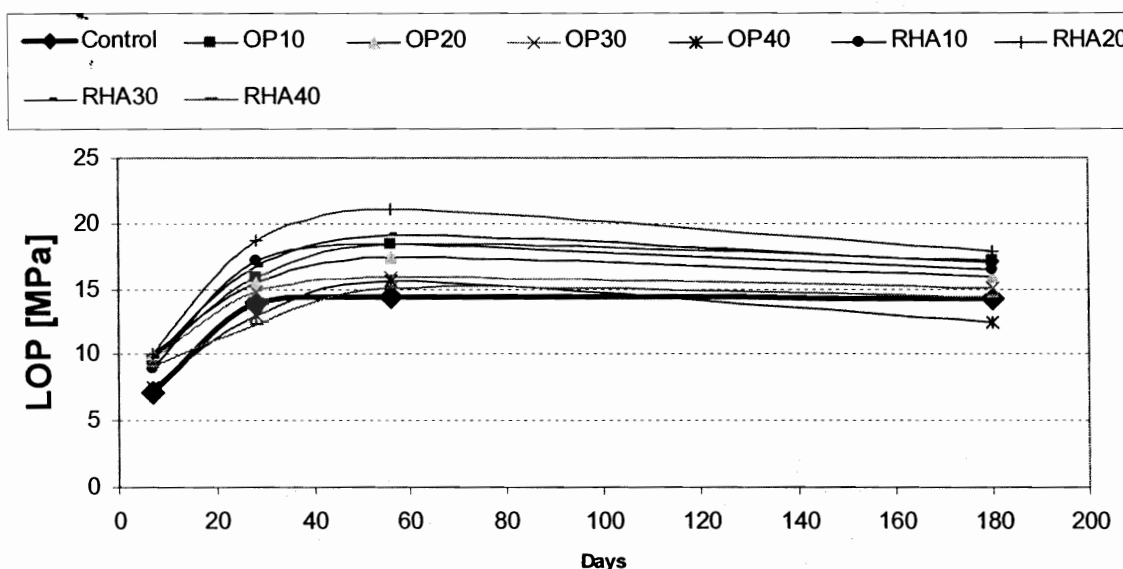
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของถั่ว
ใยปาล์มน้ำมันและถั่วเกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 180 วัน

จากตารางที่ 4.4 และรูป 4.23 จะเห็นได้ว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมี
ส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีค่า LOP 14.29 MPa แผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว
ของถั่วใยปาล์มน้ำมัน แทนที่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 20 และ 30 ที่อายุ 180 วันมีค่า LOP
17.21 15.87 และ 15.11 MPa ตามลำดับ มีค่า LOP สูงกว่าค่า LOP ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริม
ใยแก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน มีเพียงแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีต
เสริมใยแก้วของถั่วใยปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 40 มีค่า LOP
12.46 MPa ซึ่งต่ำกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม สำหรับถั่วเกลบ
แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 180 วันมีค่า LOP 16.51
17.84 17.04 และ 14.45 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า LOP สูงกว่าแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใย
แก้วของชุดควบคุม ซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 180 วัน

จากตารางที่ 4.4 และรูป 4.24 สำหรับค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมที่อายุ 180 วันมีค่า MOR 20.65 MPa แผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมัน แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 มีค่า MOR 23.49 21.49 และ 21.33 MPa ตามลำดับ มีค่า MOR สูงกว่าค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม มีเพียงที่แทนที่ด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้นที่มีค่า MOR 17.98 MPa ซึ่งต่ำกว่าของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย สำหรับเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 มีค่า MOR 21.14 23.21 และ 21.34 MPa ตามลำดับ มีค่า MOR สูงกว่าค่า MOR ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของชุดควบคุม มีเพียงที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้นที่มีค่า 19.91 MPa ต่ำกว่าของชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย

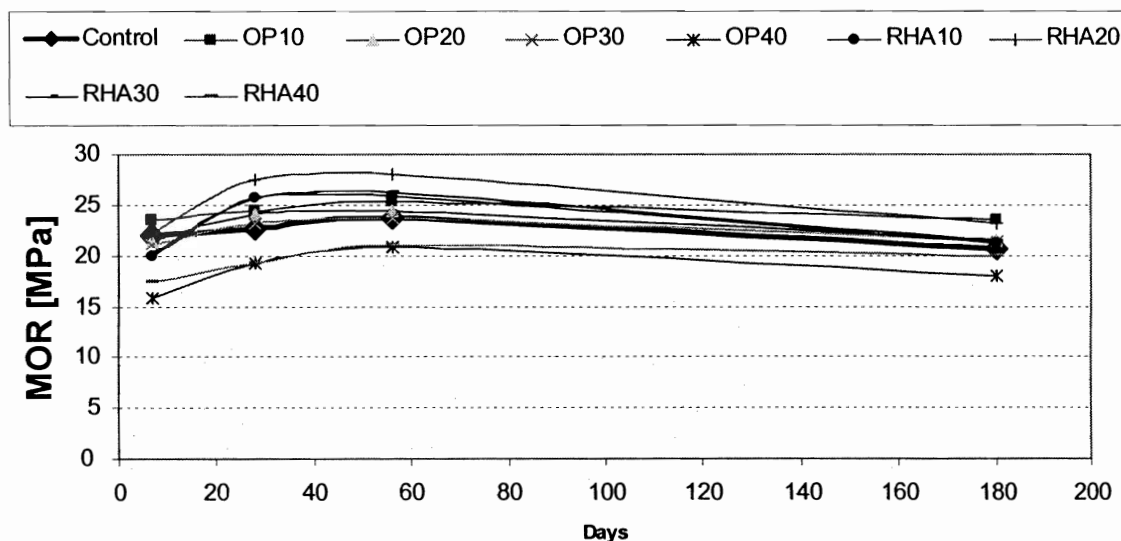


รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบการพัฒนากำลังอัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันและใยแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่ LOP กับระยะเวลาการบ่มน้ำพบว่า

1. ค่า LOP ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุการบ่มน้ำระหว่าง 7-28 วัน ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยใยปาล์มน้ำมันและใยแกลบ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ค่า LOP เพิ่มขึ้น จนถึงแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน จะสังเกตได้ว่าเส้นกราฟมีความลาดชันมากซึ่งแสดงว่าในช่วงต้นการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจึงทำให้การพัฒนากำลังสูงตามไปด้วย
2. ค่า LOP ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุการบ่มน้ำระหว่าง 28-56 วัน ค่า LOP ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนมีการพัฒนากำลังค่อนข้างต่ำ ในทางกลับกันค่า LOP ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยใยปาล์มน้ำมันและใยแกลบ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักมีการพัฒนากำลังเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเกิดจาก สารประกอบซิลิกา อลูมินาในใยปาล์มน้ำมันและใยแกลบ ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดเป็นวัสดุเชื่อมประสาน(C-S-H) มากขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนากำลังสูงขึ้น
3. ค่า LOP ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุการบ่มน้ำระหว่าง 56-180 วัน ค่า LOP ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและ ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยใยปาล์มน้ำมันและใยแกลบ ในอัตราส่วน

ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักมีแนวโน้มค่า LOP ลดลงผลสืบเนื่องจากเมื่อบ่มในน้ำเป็นระยะเวลานานๆทำให้ใยแก้วเสื่อมคุณภาพจึงทำให้กำลังตก



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบการพัฒนาากำลังค้ำที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังค้ำที่ LOP กับระยะเวลาการบ่มน้ำพบว่า

1. ค่า MOR ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุการบ่มน้ำระหว่าง 7-28 วัน ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 ค่า LOP เพิ่มขึ้น รวมถึงแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วน จะสังเกตได้ว่าเส้นกราฟมีความลาดชันมากซึ่งแสดงว่าในช่วงต้นการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจึงทำให้การพัฒนากำลังสูงตามไปด้วย

2. ค่า MOR ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุการบ่มน้ำระหว่าง 28-56 วัน ค่า MOR ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนมีการพัฒนา กำลังค่อนข้างต่ำ ในทางกลับกันค่า MOR ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักมีการพัฒนา กำลังเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจาก สารประกอบซิลิกา อลูมินาในเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบ ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดเป็นวัสดุเชื่อมประสาน(C-S-H) มากขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนา กำลังสูงขึ้น

3. ค่า MOR ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุการบ่มน้ำระหว่าง 56-180 วัน ค่า MOR ของ แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของชุดควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ล้วนและ ของ แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบ ใน อัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักมีแนวโน้มค่า MOR ลดลงผลสืบเนื่องจากเมื่อบ่มใน น้ำเป็นระยะเวลานานๆทำให้ใยแก้วเสื่อมคุณภาพจึงทำให้กำลังตก

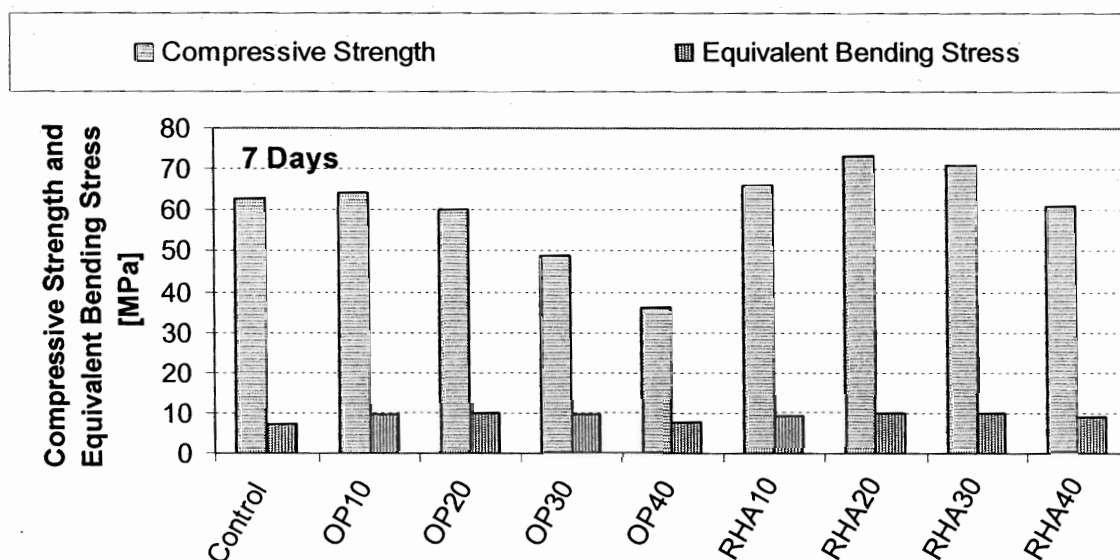
4.3.4 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้ากลบแทนที่มอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (ซีเมนต์ และปอชโซลาน) ต่อทรายเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก โดยใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ทรงลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร โดยทำการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน กับกำลังคดที่จุด จัดจำกัด (LOP) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (ซีเมนต์ และปอชโซลาน) ต่อทรายเท่ากับ 1:1 โดยใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร คอนกรีตเสริมใยแก้ว ขนาด 50x225 และมีความหนาแน่นระหว่าง 8-12 มิลลิเมตร โดยทำการทดสอบ พฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน ตามมาตรฐาน BS EN 1170-5:1998 ตารางที่ 4.5แสดงผลการ เปรียบเทียบ กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์กับกำลังคดที่จุดจัดจำกัด (LOP) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใย แก้วของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุต่างๆ

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบ กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์กับกำลังคดที่จุดจัดจำกัด (LOP) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ที่อายุต่างๆ

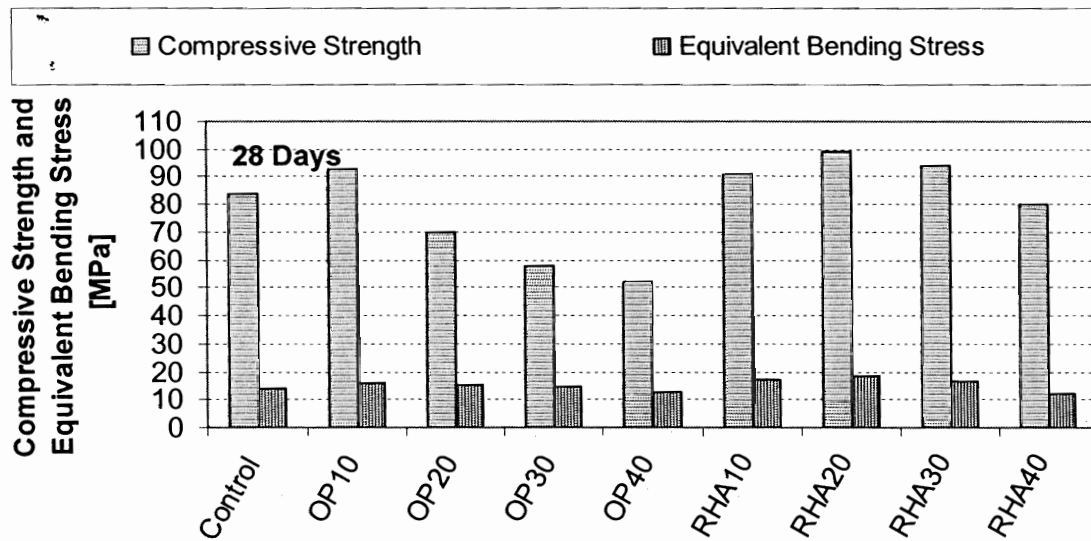
	7 days		28 days		56 days	
ตัวอย่าง	กำลังอัด	กำลังคด	กำลังอัด	กำลังคด	กำลังอัด	กำลังคด
Control	63	7.19	84	13.92	97	14.33
OP10	64	9.57	93	15.89	101	18.37
OP20	60	10.04	70	15.5	88	17.39
OP30	49	9.69	58	14.87	69	15.99
OP40	36	7.53	52	13	56	15.66
RHA10	66	9	91	17.24	99	18.38

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

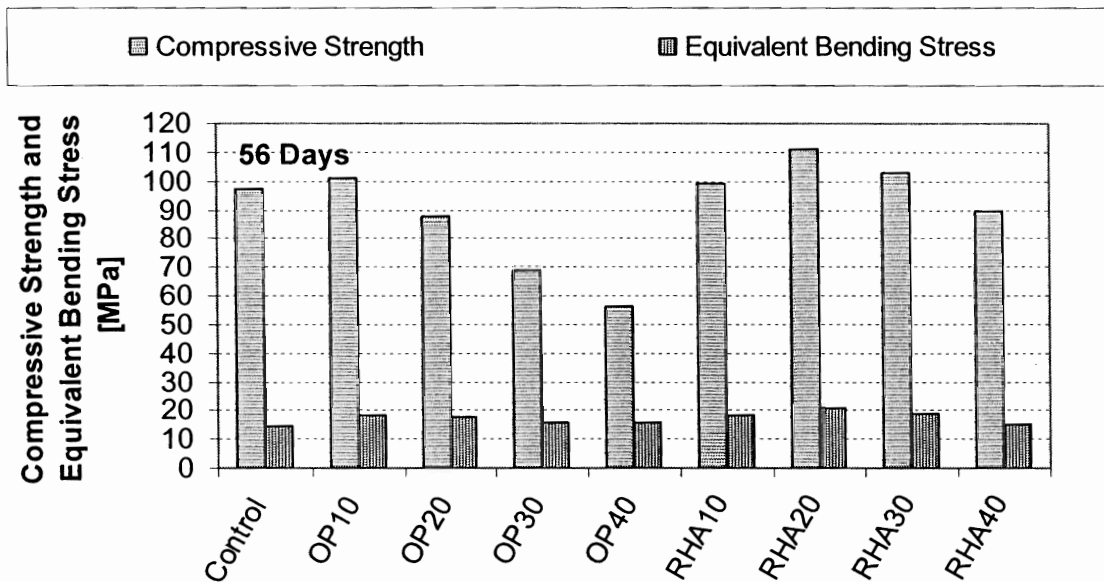
	7 days		28 days		56 days	
ตัวอย่าง	กำลังอัด	กำลังดัด	กำลังอัด	กำลังดัด	กำลังอัด	กำลังดัด
RHA20	73	10.11	99	18.7	111	21.09
RHA30	71	9.82	94	16.76	103	19.09
RHA40	61	9.12	80	12.32	90	15.11



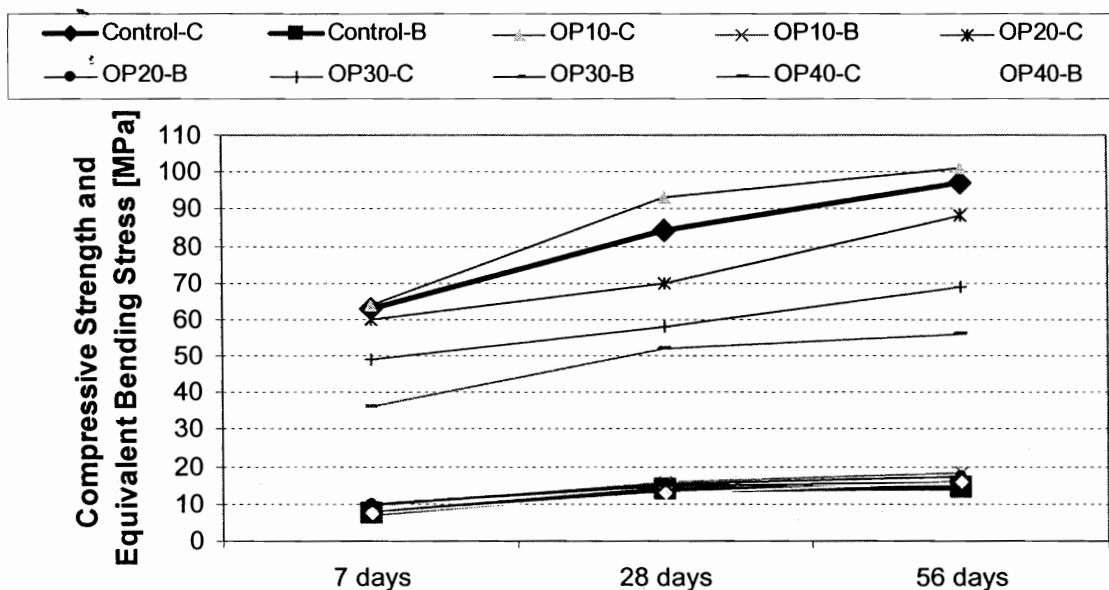
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเด้าไฮปาล์มน้ำมันและเด้าเกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 วัน



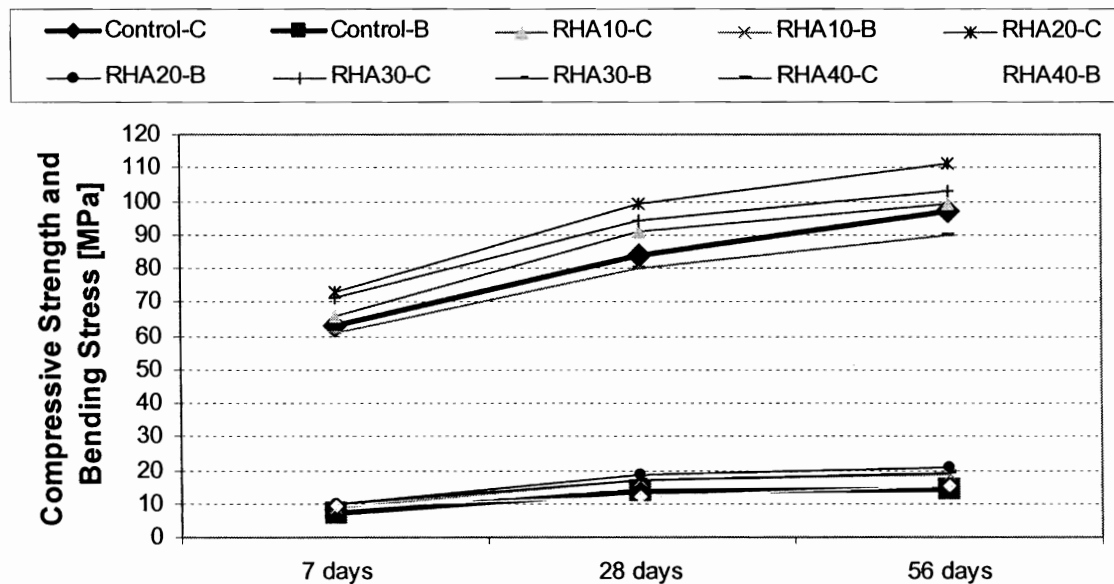
รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วของเถ้าเถ้าปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 56 วัน



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบการพัฒนาความแข็งแรงของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน



รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบการพัฒนาความแข็งแรงของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเส้นใยกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.27-4.31 แสดงการเปรียบเทียบการรับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์กับกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเด้าใยปาล์มน้ำมันและเด้าเกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน จะเห็นได้ว่าเมื่ออายุการบ่มน้ำมันมากขึ้น ทำให้กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์พัฒนาสูงขึ้นส่งผลให้กำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเด้าใยปาล์มน้ำมันและเด้าเกลบในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 พัฒนาสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์สูงขึ้นมีผลทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยแก้วกับมอร์ตาร์ดีขึ้นจึงทำให้การรับกำลังดัดที่ขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วสูงขึ้น

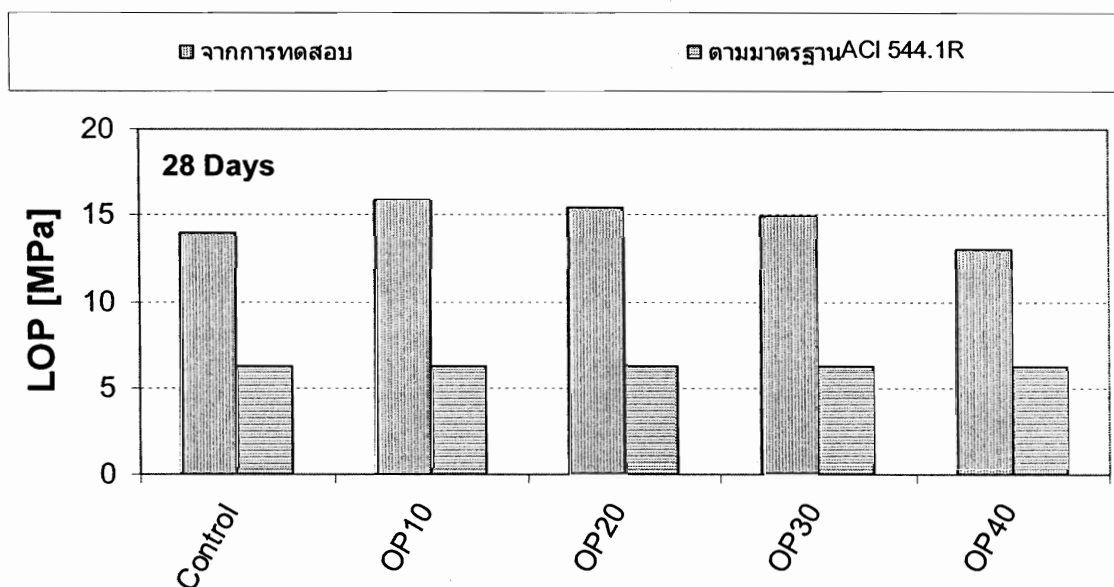
4.3.5 เปรียบเทียบกำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเด้าใยปาล์มน้ำมัน และเด้าเกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมวัสดุเชื่อมประสาน (ซีเมนต์ และปอชโซลาน) ต่อทรายเท่ากับ 1:1 คอนกรีตเสริมใยแก้ว ขนาด 50x225 และมีความหนาแน่นระหว่าง 8-12 มิลลิเมตรโดยทำการทดสอบพฤติกรรมการคดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเด้าใยปาล์มน้ำมัน และเด้าเกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 28 ตามมาตรฐาน BS EN 1170-5:1998 กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R [27] ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบ กำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเด้าใยปาล์มน้ำมัน และเด้าเกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบ กำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วของเด้าใยปาล์มน้ำมัน และเด้าเกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) และกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน

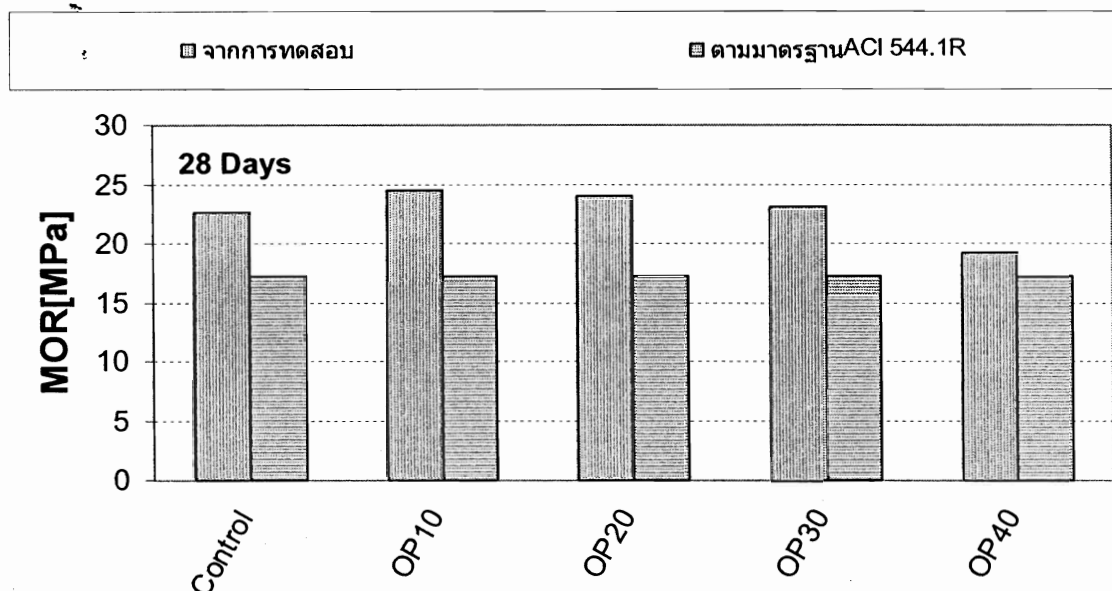
ตัวอย่าง	LOP [MPa]		MOR[MPa]	
	จากการทดสอบ	ตามมาตรฐาน ACI 544 .1R	จากการทดสอบ	ตามมาตรฐาน ACI 544 .1R
Control	13.92	6.22-10.36	22.67	17.27-27.64
OP10	15.89	6.22-10.36	24.52	17.27-27.64
OP20	15.5	6.22-10.36	24.03	17.27-27.64
OP30	14.87	6.22-10.36	23.13	17.27-27.64

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

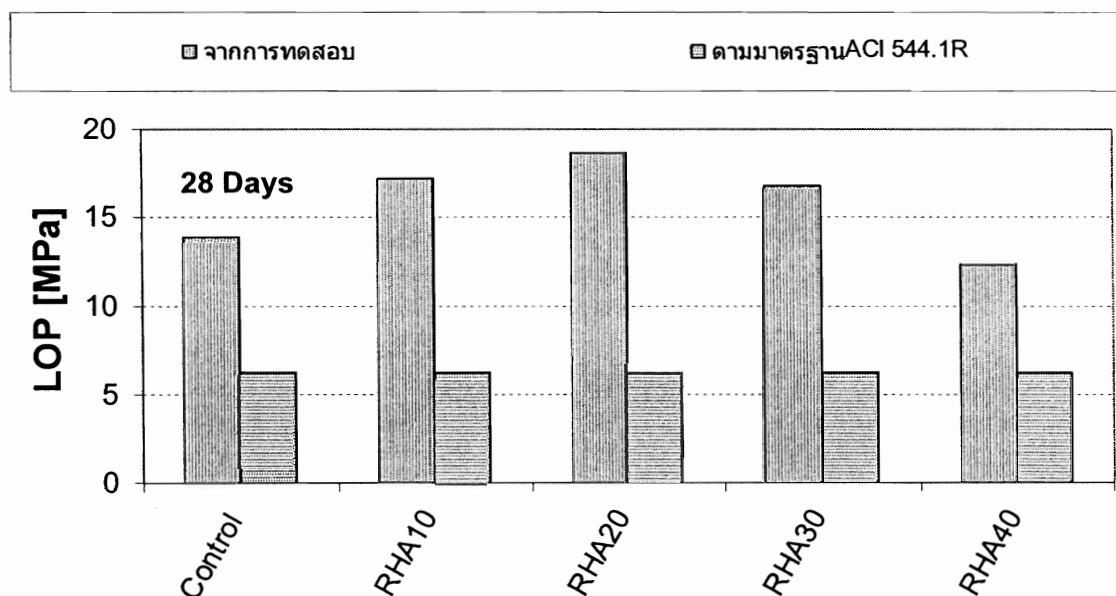
ตัวอย่าง	LOP [MPa]		MOR[MPa]	
	จากการทดสอบ	ตามมาตรฐาน ACI 544 .1R	จากการทดสอบ	ตามมาตรฐาน ACI 544 .1R
OP40	13	6.22-10.36	19.3	17.27-27.64
RHA10	17.24	6.22-10.36	25.77	17.27-27.64
RHA20	18.7	6.22-10.36	27.49	17.27-27.64
RHA30	16.76	6.22-10.36	25.64	17.27-27.64
RHA40	12.32	6.22-10.36	19.17	17.27-27.64



รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบ กำลังคดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของ
 เถ้าเฌปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 กับค่ากำลังคดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ที่
 ยอมรับให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบกำลังดัดกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 กับกำลังดัดที่จุดสูงสุด (MOR) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบ กำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของใยแก้วในอัตราร้อยละ 10 20 30 และ 40 กับค่ากำลังดัดที่จุดขีดจำกัด (LOP) ที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 544.1R ที่อายุ 28 วัน

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของเถาใยปาล์มน้ำมันและเถาเกลบที่มีอิทธิพลต่อกำล้างและพฤติกรรมการรับโมเมนต์คดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาใยปาล์มน้ำมันและเถาเกลบ มีผลกระทบต่อกำล้างและพฤติกรรมการรับโมเมนต์คดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว โดยเถาเกลบให้กำล้างและพฤติกรรมคดกว่าเถาใยปาล์มน้ำมัน และคดกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้แทนที่ด้วยเถาใยปาล์มน้ำมันและเถาเกลบ

2. อายุการบ่มในน้ำมีผลต่อกำล้างและพฤติกรรมการรับโมเมนต์คดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาใยปาล์มน้ำมันและเถาเกลบและตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้แทนที่ด้วยเถาใยปาล์มน้ำมันและเถาเกลบ โดยสามารถสังเกตเห็นได้ว่าค่าLOPและค่าMORสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าMOR ของตัวอย่างควบคุมมีแนวโน้มคงที่หลังอายุ 28 วัน

3. ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วมีแนวโน้มลดลง เมื่ออายุการบ่มน้ำมากขึ้นและเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาใยปาล์มน้ำมันและเถาเกลบค่าการดูดซึมน้ำลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้แผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วมีเนื้อแน่นขึ้นมีความทึบน้ำ คาดว่าส่งผลให้กำล้างของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วดีขึ้น

4. ค่าความเครียดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วที่ตำแหน่ง LOP และ MOR มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการบ่มมากขึ้นแสดงว่าอัตราการพัฒนากำล้างอัดสูงขึ้นผลทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้นและทำให้กราฟมีค่า Slope เพิ่มมากขึ้น

5. สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาใยปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมพบว่าอยู่ที่ร้อยละ 10 และการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาเกลบที่เหมาะสมพบว่าอยู่ที่ร้อยละ 10-30 ในการวิจัยครั้งนี้แนะนำให้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาใยปาล์มน้ำมันที่ร้อยละ 10 และแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาเกลบที่ร้อยละ 20

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของเถาใยปาล์มน้ำมันและเถาเกลบที่มีต่อกำล้างและพฤติกรรมการรับโมเมนต์คดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วที่อายุ 7 28 56 และ 180 วันในอนาคตควรทำการศึกษาที่อายุมากขึ้น

2. การทดสอบแรงดึง
3. ทดสอบแรงเฉือนในแนวระนาบและทดสอบแรงเฉือนในแนวตั้งฉาก
4. การบ่มในน้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้นเช่นที่ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารอ้างอิง

1. [Online], Available: <http://www.grc-thailand.com/TH/997B49EA-3543-42C5-A40B-84DE198F71D7.html>.
2. American Society for Testing and Material, 1999, "ASTM C618-99: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in concrete", **In Annual Book of ASTM Standard**, Vol.4.02, pp.1034-1037.
3. Lea, F.M., 1970, **The Chemistry of Cement of Cement and Concrete**, Edward Arnold Publishers, pp.361, 414-423.
4. Fraay, A.L.A., Bijin, J.M. and Haan, Y.M.D., 1989, "The Reaction of Fly Ash in Concrete A Critical Examination", **Cement and Research**, Vol.19, pp.235-246.
5. Davis, R.E., 1970, "Use of Pozzolan in Concrete", **Journal of The America concrete Institute**, Vol.46, pp. 377-384.
6. จักพล กลั่นมันคง และคณะ, 2543, "การศึกษาศักยภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 59.
7. [Online], Available: <http://kanchanapisek.or.th/kp8/ray/ray709.html>.
8. [Online], Available: <http://www.northfiberglass.com/>.
9. [Online], Available: <http://www.sika.co.th/sika/Route/thsearchprd>.
10. American Society for Testing and Material, 2001, "ASTM C109/C109M-99 : Standard Test Method for Compressive Strength for Hydraulic Cement Mortars", **In Annual Book of ASTM Standard**, Vol. 04.01, pp. 83-88.

11. BS EN 1170-5:1998, "Precast Concrete products Test method for glass-fibre reinforced Cement Part 5 Measuring bending strength," Complete bending test' method.
12. วีระชาติ ตั้งจิรภัทร, 2546, การศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันและการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, บทคัดย่อ.
13. เซาว์วัช หนูทอง, 2544, คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าแกลบและปูนสุก, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, บทคัดย่อ.
14. กฤษณ์ จารุทะวัย, 2545, การใช้เถ้าลอยเส้นปาล์มและเถ้าลอยขาน้อยที่ซีเมนต์บางส่วน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 49.
15. สรวิน ปัญจะพลินกุล, 2548, การศึกษาวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยธรรมชาติจากพืช, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
16. สุทธิศักดิ์ คงมาก, 2538, คอนกรีตผสมใยแก้ว, บทความทางวิชาการ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 6-16.
17. ทวี มูลแก้ว, 2547, การพัฒนาวัสดุซีเมนต์เสริมเส้นใยโดยใช้เส้นใยธรรมชาติจากขนสัตว์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
18. อนุชา บุญเกิด, 2549, การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัดของวัสดุแผ่นบางเสริมเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยโพลีเอทีลีน, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, บทคัดย่อ.

19. Joo-Hwa Tay, 1990, "Ash from Oil- Palm Waste as Concrete Material", **Journal of Materials in Civil Engineering**, Vol. 2, No. 2, May, pp. 94-105.
20. Hussin, M.W. and Awal, A.S.M.A., 1998, "Influence of Palm Oil Fuel Ash on Sulfate Resistance of Mortar and Concrete," **Proceeding of the Sixth CANMET/ ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and natural Pozzolans in Concrete**, May, Bangkok, Thailand, pp. 417-429.
21. Awal, A.S.M.A. and Hussin, M.W., 1999, "Concrete in Marine Environment: Influence of Palm Oil Fuel Ash on Strength and Durability," **Proceeding of the Sixth Cycle ; Civil and Environmental Engineering Conference New Frontiers and Challenges**, Vol. 3 (part I), 8-12 November, Bangkok, Thailand, pp. (III~49)-(III~55).
22. Manolis, G.D., Gareis, P.J., Tsonos, A.D., and Neal, J.A., 1997, "Dynamic Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete", **Cement and Concrete Composites**, Vol. 19, pp. 341-349.
23. Gopalaratnam, V.s. and Gutte, R., 1995, "On the Characterization of Flexural Toughness in Fiber Reinforced Concrete", **Cement and Concrete Composites**, Vol. 17, pp. 239-254
24. Rayment, P.L., 1982, "The Effect of Pulverized-Fuel Ash on the C/S Molar Ratio and Alkali Content of Calcium Silicate Hydrates in Cement", **Cement and Concrete Research**, Vol. 12, pp. 133-140
25. Hansen, T.C., 1990, "Long-Term Strength of High Fly Ash Concretes", **Cement and Concrete Research**, Vol. 20, pp. 193-196.
26. American Society for Testing and Material, 2001, "**ASTM C305 : Standard practice for Mechanic Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency**", In Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, pp. 220-222
27. The American Concrete Institue, 2000, ACI Manual of Concrete Practice 2000 Part 5 Masonry, **Precast Concrete and Special Processes**, Printed in The United States of America.

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์บอร์ตาร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าใบ
ปาล์มน้ำมันและเถ้ากลบในอัตราร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก
ทดสอบที่อายุ 7 28 และ 56 วัน

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้วของเก้าอี้ปาล์มน้ำมัน
และเก้าอี้แลกเปลี่ยนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 0 10 20 30 และ 40
ทำการทดสอบที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วแทนที่ซีเมนต์ ที่อายุ 7 วัน

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
A B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.3	225	200	0.67	384.90	6.48	680.64
A B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.7	225	200	0.76	356.75	6.53	794.87
A B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.0	225	200	0.74	275.39	5.49	691.60
A B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.1	225	200	0.71	344.23	5.57	608.67
A T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	13.8	225	200	0.46	162.73	4.55	1193.86
A T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	14.2	225	200	0.77	140.82	4.42	1301.83
A T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	13.0	225	200	0.71	98.58	3.02	804.25
A T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.5	225	200	1.26	244.09	3.29	744.79
B B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.2	225	200	0.69	208.10	5.98	691.60
B B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.9	225	200	0.85	314.50	4.54	910.65
B B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.8	225	200	0.88	306.68	5.41	724.45
B B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.3	225	200	0.69	366.14	5.17	880.92
B T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.8	225	200	0.29	366.14	5.17	880.92
B T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.5	225	200	0.81	287.90	7.68	649.35
B T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.5	225	200	0.46	258.17	6.26	538.26
B T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.8	225	200	0.66	244.09	7.74	558.60
C B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.8	223	200	0.68	377.09	5.78	818.34
C B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.4	223	200	0.17	330.15	5.06	638.40
C B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.6	223	200	0.71	352.06	5.21	716.63
C B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.0	223	200	0.17	319.20	4.82	627.44
C T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.2	223	200	0.44	294.16	6.06	655.61
C T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.5	223	200	0.35	287.90	6.02	722.89
C T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.8	223	200	1.15	373.96	4.88	758.88
C T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.5	223	200	0.85	314.50	6.54	733.84

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control
D = OP30
G = RHA20

B = OP10
E = OP40
H = RHA30

C = OP20
F = RHA10
I = RHA40

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
A B1*	0.000872	0.001077	12.057	7.194	0.008596	0.007011	21.322	22.022
A B2**	0.001025		10.424		0.008969		23.227	
A B3*	0.000938		9.104		0.007089		22.863	
A B4**	0.000908		11.175		0.007258		19.760	
A T1*	0.000731		3.418		0.007371		25.076	
A T2**	0.001260		2.793		0.007368		25.825	
A T3*	0.001063		2.333		0.004609		19.036	
A T4**	0.001815		6.249		0.004828		19.067	
B B1*	0.000890	0.000859	6.636	9.568	0.007862	0.007726	22.054	23.555
B B2**	0.001165		8.884		0.006342		25.723	
B B3*	0.001196		8.810		0.007494		20.812	
B B4**	0.000978		9.680		0.007465		23.291	
B T1*	0.000361		12.556		0.006555		30.210	
B T2**	0.000980		10.445		0.009466		23.559	
B T3*	0.000557		9.367		0.007716		19.529	
B T4**	0.000745		10.166		0.008904		23.265	
C B1*	0.000925	0.000754	10.833	10.044	0.008007	0.007473	23.509	21.496
C B2**	0.000223		10.162		0.006772		19.649	
C B3*	0.000949		10.466		0.007095		21.303	
C B4**	0.000215		10.552		0.006224		20.742	
C T1*	0.000568		9.380		0.007968		20.906	
C T2**	0.000464		8.708		0.008127		21.864	
C T3*	0.001564		10.743		0.006760		21.801	
C T4**	0.001126		9.512		0.008829		22.196	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ๗.๑ (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
A B1*	1.021	0.983	1.028	298.48	276.52	7.94	9.45
A B2**				256.48	237.20	8.13	
A B3*				298.60	277.60	7.56	
A B4**				295.52	273.78	7.94	
A T1*				237.66	203.52	16.77	
A T2**				313.96	289.16	8.58	
A T3*				283.90	260.24	9.09	
A T4**				280.24	255.68	9.61	
B B1*	1.051	1.062	0.875	241.90	217.04	11.45	10.44
B B2**				253.18	228.58	10.76	
B B3*				259.94	234.56	10.82	
B B4**				256.12	230.66	11.04	
B T1*				273.74	250.66	9.21	
B T2**				279.76	253.76	10.25	
B T3*				274.40	249.50	9.98	
B T4**				289.08	262.70	10.04	
C B1*	1.018	0.969	1.109	291.20	265.76	9.57	8.99
C B2**				302.76	260.76	16.11	
C B3*				278.14	256.50	8.44	
C B4**				283.62	279.56	1.45	
C T1*				277.48	256.66	8.11	
C T2**				292.14	268.82	8.67	
C T3*				295.98	270.20	9.54	
C T4**				307.42	279.44	10.01	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
D B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.0	225	200	0.72	233.14	6.67	638.83
D B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.0	225	200	0.85	292.60	6.88	672.82
D B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.2	225	200	1.09	301.99	5.76	685.34
D B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.2	225	200	0.59	297.29	5.26	650.91
D T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.5	225	200	0.72	341.10	6.11	710.37
D T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.3	225	200	0.72	341.20	4.85	747.92
D T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.5	225	200	1.34	416.21	4.98	821.46
D T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.3	225	200	0.85	416.21	4.98	821.46
E B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.5	225	200	0.75	267.95	5.35	516.35
E B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.9	225	200	0.73	287.90	7.05	553.90
E B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.0	225	200	0.77	287.90	5.26	591.45
E B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.0	226	200	1.18	245.65	4.28	553.90
E T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.3	225	200	0.97	231.57	5.92	494.44
E T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.1	223	200	0.95	233.14	4.96	464.71
E T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.3	225	200	1.13	237.83	6.92	535.13
E T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.5	224	200	0.97	228.45	8.12	544.51
F B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.0	223	200	0.83	359.88	5.18	713.50
F B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.1	226	200	0.95	339.54	4.01	685.34
F B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.4	226	200	0.96	306.68	4.25	762.01
F B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.4	226	200	0.65	328.58	4.55	746.36
F T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.2	224	200	0.60	316.07	5.52	791.74
F T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.9	224	200	0.71	322.73	6.09	707.24
F T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.0	224	200	0.88	344.23	5.38	735.41
F T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	12.3	224	200	0.91	342.67	4.63	758.88

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
D B1*	0.000913	0.001158	7.707	9.686	0.008613	0.007717	21.118	21.247
D B2**	0.001077		9.673		0.008884		22.242	
D B3*	0.001407		9.630		0.007573		21.854	
D B4**	0.000761		9.480		0.006916		20.756	
D T1*	0.000954		10.317		0.008249		21.486	
D T2**	0.001020		9.021		0.007003		19.774	
D T3*	0.001930		10.655		0.007308		21.029	
D T4**	0.001205		11.004		0.007191		21.719	
E B1*	0.000994	0.001241	8.104	7.530	0.007223	0.008121	15.617	15.861
E B2**	0.001001		8.132		0.009849		15.646	
E B3*	0.001065		7.997		0.007410		16.429	
E B4**	0.001631		6.824		0.006029		15.386	
E T1*	0.001263		7.254		0.007853		15.489	
E T2**	0.001215		7.569		0.006463		15.087	
E T3*	0.001471		7.450		0.009180		16.763	
E T4**	0.001285		6.910		0.010962		16.469	
F B1*	0.001148	0.001137	9.997	9.004	0.007297	0.007060	19.819	19.941
F B2**	0.001324		9.276		0.005696		18.724	
F B3*	0.001372		7.978		0.006187		19.823	
F B4**	0.000929		8.548		0.006623		19.416	
F T1*	0.000843		8.494		0.007906		21.278	
F T2**	0.000973		9.116		0.008507		19.977	
F T3*	0.001217		9.562		0.007579		20.428	
F T4**	0.001290		9.060		0.006685		20.064	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
D B1*	0.977	1.025	0.999	286.96	258.68	10.93	8.90
D B2**				269.98	246.70	9.44	
D B3*				274.84	251.86	9.12	
D B4**				281.58	259.00	8.72	
D T1*				307.02	287.60	6.75	
D T2**				305.70	283.80	7.72	
D T3*				290.26	266.90	8.75	
D T4**				293.94	267.82	9.75	
E B1*	1.012	1.022	1.033	220.16	193.94	13.52	10.92
E B2**				259.00	232.60	11.35	
E B3*				249.20	221.02	12.75	
E B4**				257.76	236.30	9.08	
E T1*				266.96	245.58	8.71	
E T2**				279.48	254.88	9.65	
E T3*				269.34	244.12	10.33	
E T4**				250.08	223.32	11.98	
F B1*	1.051	1.042	1.039	303.96	280.60	8.33	7.09
F B2**				300.36	279.44	7.49	
F B3*				281.56	263.24	6.96	
F B4**				301.60	281.62	7.09	
F T1*				283.86	266.98	6.32	
F T2**				251.48	235.54	6.77	
F T3*				265.64	249.18	6.61	
F T4**				280.28	261.58	7.15	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
G B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.6	224	200	0.91	231.57	6.15	519.48
G B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.6	224	200	0.81	233.14	5.89	530.43
G B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.3	224	200	0.59	244.09	4.98	585.20
G B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.5	224	200	0.67	251.92	5.49	480.36
G T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.6	224	200	0.93	222.19	5.96	533.56
G T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.8	224	200	0.69	242.53	5.96	538.26
G T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.8	224.5	200	0.69	248.79	4.56	513.22
G T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.8	224.5	200	0.88	245.66	5.99	546.08
H B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.1	223	200	0.89	255.05	5.75	530.43
H B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.4	223	200	1.01	226.88	6.37	461.58
H B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.9	223	200	0.84	239.40	7.30	516.35
H B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.1	223	200	1.13	236.27	4.69	499.14
H T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.9	224	200	0.09	239.39	4.97	496.00
H T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	9.6	224	200	1.23	236.27	5.46	458.46
H T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	8.8	224	200	0.59	186.20	5.30	352.06
H T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.6	224	200	0.43	322.33	5.01	732.28
I B1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.0	225	200	0.76	233.14	5.19	406.82
I B2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.0	225	200	0.74	291.03	6.35	546.08
I B3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.6	225	200	0.51	342.67	5.56	635.40
I B4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.3	225	200	0.84	327.02	4.31	585.20
I T1*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.9	225	200	0.44	242.53	5.40	519.48
I T2**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	10.7	225	200	0.75	244.09	3.02	411.51
I T3*	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.0	225	200	0.79	308.24	5.25	566.42
I T4**	14 Sep 07	21 Sep 07	7	50.0	11.0	225	200	0.46	201.85	5.30	511.66

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
G B1*	0.001007	0.000865	10.051	10.110	0.006931	0.006428	22.547	22.327
G B2**	0.000896		10.119		0.006638		23.022	
G B3*	0.000700		9.203		0.006021		22.064	
G B4**	0.000733		11.165		0.006123		21.290	
G T1*	0.001029		9.644		0.006717		23.158	
G T2**	0.000779		10.101		0.006857		22.418	
G T3*	0.000779		10.362		0.005246		21.375	
G T4**	0.000994		10.232		0.006891		22.744	
H B1*	0.001036	0.000880	10.001	9.816	0.006818	0.006515	20.799	20.304
H B2**	0.001094		10.271		0.007029		20.895	
H B3*	0.000958		9.770		0.008484		21.073	
H B4**	0.001315		9.265		0.005561		19.572	
H T1*	0.000100		9.770		0.005776		20.243	
H T2**	0.001360		10.255		0.006153		19.898	
H T3*	0.000598		9.618		0.005475		18.185	
H T4**	0.000575		9.582		0.006822		21.768	
I B1*	0.000876	0.000831	9.326	9.117	0.006093	0.006488	16.273	17.381
I B2**	0.000938		9.621		0.008200		18.052	
I B3*	0.000682		10.186		0.007571		18.888	
I B4**	0.001094		10.244		0.005717		18.332	
I T1*	0.000553		8.165		0.006910		17.489	
I T2**	0.000925		8.528		0.003793		14.377	
I T3*	0.001001		10.190		0.006779		18.725	
I T4**	0.000583		6.673		0.006844		16.914	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
G B1*	1.009	0.986	1.007	254.36	232.84	9.24	7.94
G B2**				263.64	242.52	8.71	
G B3*				266.08	246.50	7.94	
G B4**				262.34	244.36	7.36	
G T1*				237.98	221.90	7.25	
G T2**				282.56	264.46	6.84	
G T3*				278.81	258.78	7.74	
G T4**				274.22	252.92	8.42	
H B1*	0.973	0.922	1.035	244.98	221.22	10.74	9.78
H B2**				240.52	218.76	9.95	
H B3*				236.38	214.92	9.99	
H B4**				238.78	217.68	9.69	
H T1*				258.14	236.52	9.14	
H T2**				241.50	220.62	9.46	
H T3*				231.54	210.96	9.76	
H T4**				280.28	255.94	9.51	
I B1*	0.944	1.157	0.966	253.66	230.56	10.02	10.81
I B2**				268.12	243.86	9.95	
I B3*				271.74	246.98	10.03	
I B4**				228.44	202.68	12.71	
I T1*				275.74	246.38	11.92	
I T2**				258.74	233.00	11.05	
I T3*				281.86	255.30	10.40	
I T4**				280.20	253.70	10.45	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วแทนที่ซีเมนต์ ที่อายุ 28 วัน

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
A B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	11.6	225	200	0.65	424.03	4.80	768.27
A B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.4	225	200	0.55	245.66	4.78	458.46
A B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.7	225	200	0.59	316.07	5.89	549.21
A B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.6	225	200	0.64	245.66	4.75	458.46
A T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	52.2	12.6	225	200	0.40	552.34	5.90	1120.32
A T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.2	11.0	225	200	0.39	478.79	4.18	700.98
A T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	52.0	11.6	225	200	0.39	593.02	3.12	849.63
A T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.5	10.6	225	200	0.40	541.38	2.52	644.65
B B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.0	225	200	0.70	316.07	5.23	525.73
B B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.1	225	200	0.46	334.84	5.24	552.34
B B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.9	225	200	0.54	375.53	2.43	447.50
B B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.7	225	200	0.53	311.37	4.37	460.02
B T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.2	225	200	0.56	331.72	3.52	564.85
B T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.0	225	200	0.43	392.74	4.09	632.14
B T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.0	225	200	0.52	389.61	4.09	632.14
B T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	11.0	225	200	0.43	467.84	3.92	704.11
C B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	11.0	223	200	0.48	469.41	3.89	738.54
C B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.8	223	200	0.43	322.33	4.28	658.74
C B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	11.0	223	200	0.40	381.79	5.30	636.83
C B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.0	223	200	0.54	389.61	1.86	578.94
C T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.0	223	200	0.43	397.43	3.51	633.70
C T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	9.8	223	200	0.39	392.74	2.48	535.13
C T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.0	223	200	0.41	472.54	3.32	639.96
C T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.0	223	200	0.36	452.20	3.71	694.72

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
A B1*	0.000869	0.000615	12.358	13.917	0.006536	0.005672	22.390	22.671
A B2**	0.000596		10.903		0.005275		20.347	
A B3*	0.000659		13.173		0.006707		22.890	
A B4**	0.000708		10.453		0.005353		19.508	
A T1*	0.000581		13.330		0.008727		27.037	
A T2**	0.000494		15.457		0.005398		22.630	
A T3*	0.000521		16.950		0.004249		24.285	
A T4**	0.000489		18.712		0.003136		22.281	
B B1*	0.000726	0.000566	15.302	15.887	0.005526	0.004574	25.453	24.521
B B2**	0.000482		15.857		0.005598		26.157	
B B3*	0.000554		18.592		0.002539		22.155	
B B4**	0.000531		16.132		0.004463		23.834	
B T1*	0.000594		15.369		0.003802		26.171	
B T2**	0.000495		15.402		0.004801		24.790	
B T3*	0.000599		15.279		0.004801		24.790	
B T4**	0.000545		15.163		0.005062		22.820	
C B1*	0.000608	0.000512	15.518	15.503	0.005023	0.004338	24.415	24.030
C B2**	0.000535		11.054		0.005426		22.591	
C B3*	0.000507		12.621		0.006844		21.052	
C B4**	0.000622		15.584		0.002183		23.158	
C T1*	0.000495		15.897		0.004120		25.348	
C T2**	0.000440		16.357		0.002853		22.288	
C T3*	0.000472		18.902		0.003897		25.598	
C T4**	0.000415		18.088		0.004355		27.789	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
A B1*	1.130	1.143	1.136	289.28	266.30	8.63	6.95
A B2**				253.86	234.42	8.29	
A B3*				259.60	241.40	7.54	
A B4**				269.80	252.40	6.89	
A T1*				343.48	331.64	3.57	
A T2**				295.96	277.50	6.65	
A T3*				333.88	313.66	6.45	
A T4**				305.24	283.64	7.62	
B B1*	1.010	1.070	0.952	289.84	269.68	7.48	7.05
B B2**				283.72	266.36	6.52	
B B3*				290.26	272.58	6.49	
B B4**				292.56	275.22	6.30	
B T1*				272.88	257.28	6.06	
B T2**				277.92	259.78	6.98	
B T3*				294.16	272.44	7.97	
B T4**				285.68	263.12	8.57	
C B1*	1.108	1.017	0.994	269.68	246.68	9.32	9.23
C B2**				272.16	250.68	8.57	
C B3*				272.14	250.94	8.45	
C B4**				278.30	256.18	8.63	
C T1*				279.64	256.98	8.82	
C T2**				294.06	269.68	9.04	
C T3*				305.16	276.96	10.18	
C T4**				308.42	278.26	10.84	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
D B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	11.1	225	200	0.47	449.07	5.08	793.30
D B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.6	225	200	0.42	394.30	3.86	594.58
D B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.6	225	200	0.73	492.88	3.81	726.02
D B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	12.0	225	200	0.72	478.80	4.49	804.25
D T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	12.0	225	200	0.36	478.80	2.23	647.78
D T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	12.3	225	200	0.53	485.06	3.91	796.43
D T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	11.1	225	200	0.33	461.59	4.63	664.99
D T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.0	225	200	0.42	460.02	4.29	732.28
E B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	8.0	225	200	0.59	148.65	5.32	269.13
E B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	9.2	225	200	1.03	320.76	4.26	510.09
E B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	12.2	225	200	0.33	386.48	4.48	521.04
E B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	10.9	225	200	0.44	395.87	4.91	571.11
E T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	11.1	225	200	0.76	392.74	5.12	603.97
E T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	11.8	225	200	0.39	403.69	4.68	638.40
E T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	11.0	225	200	0.39	391.17	4.42	577.37
E T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	50.0	9.0	225	200	0.87	373.96	3.26	466.28
F B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	11.1	225	200	1.13	510.09	3.95	801.12
F B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.0	225	200	0.62	486.62	3.79	707.24
F B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.8	225	200	0.81	477.23	3.05	644.65
F B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.2	225	200	0.96	478.80	4.55	833.98
F T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.1	225	200	0.53	398.99	3.12	586.76
F T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.3	225	200	0.64	336.41	4.39	510.09
F T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.2	225	200	0.56	383.35	4.11	557.03
F T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	11.0	225	200	0.47	398.99	3.18	558.60

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
D B1*	0.000601	0.000644	14.579	14.872	0.006619	0.005293	25.754	23.130
D B2**	0.000513		14.037		0.004803		21.167	
D B3*	0.000892		17.546		0.004741		25.846	
D B4**	0.000995		13.300		0.006325		22.340	
D T1*	0.000498		13.300		0.003141		17.994	
D T2**	0.000751		12.825		0.005646		21.057	
D T3*	0.000422		14.985		0.006033		21.589	
D T4**	0.000484		18.401		0.005036		29.291	
E B1*	0.000544	0.000693	9.291	13.003	0.004996	0.005571	16.821	19.299
E B2**	0.001092		15.159		0.004601		24.106	
E B3*	0.000464		10.386		0.006416		14.003	
E B4**	0.000553		13.328		0.006283		19.228	
E T1*	0.000968		12.866		0.006642		19.786	
E T2**	0.000530		11.597		0.006483		18.340	
E T3*	0.000494		12.931		0.005708		19.087	
E T4**	0.000902		18.467		0.003444		23.026	
F B1*	0.001445	0.000829	16.235	17.238	0.005147	0.004401	25.498	25.766
F B2**	0.000714		19.083		0.004449		27.735	
F B3*	0.000915		19.487		0.003509		26.323	
F B4**	0.001128		18.047		0.005448		31.435	
F T1*	0.000553		19.104		0.003315		28.095	
F T2**	0.000686		15.253		0.004793		23.128	
F T3*	0.000594		17.761		0.004439		25.808	
F T4**	0.000596		12.931		0.004106		18.104	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
D B1*	0.946	0.786	1.186	247.24	224.48	10.14	7.91
D B2**				247.78	236.24	4.88	
D B3*				251.24	231.72	8.42	
D B4**				262.96	242.38	8.49	
D T1*				293.30	273.32	7.31	
DT2**				285.08	265.62	7.33	
D T3*				295.94	274.40	7.85	
D T4**				270.18	248.26	8.83	
E B1*	1.082	0.940	0.711	262.86	231.90	13.35	10.47
E B2**				254.96	230.98	10.38	
E B3*				265.96	242.74	9.57	
E B4**				260.24	232.08	12.13	
E T1*				271.28	250.38	8.35	
E T2**				265.04	242.40	9.34	
E T3*				263.48	237.48	10.95	
E T4**				261.60	238.54	9.67	
F B1*	0.857	1.307	0.876	228.00	210.54	8.29	7.07
F B2**				251.52	235.18	6.95	
F B3*				266.26	249.96	6.52	
F B4**				262.30	245.44	6.87	
F T1*				264.70	245.32	7.90	
F T2**				282.28	264.00	6.92	
F T3*				286.36	268.66	6.59	
F T4**				281.02	263.78	6.54	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	I					
G B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.3	225	200	0.83	345.80	3.89	474.10
G B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.8	225	200	0.44	378.66	4.47	575.81
G B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.0	225	200	0.72	364.57	4.11	553.90
G B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.7	225	200	0.72	358.31	4.16	547.64
G T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.2	225	200	0.84	328.59	3.74	422.47
G T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.2	225	200	1.12	400.56	4.63	600.84
G T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.4	225	200	0.97	405.26	3.57	599.28
G T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.1	225	200	0.83	397.43	4.74	622.75
H B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.5	225	200	0.67	316.07	4.89	468.84
H B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.4	225	200	0.53	311.37	4.67	433.42
H B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.0	225	200	0.59	323.89	4.94	486.62
H B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.5	225	200	0.68	312.94	4.87	452.20
H T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.0	225	200	0.31	319.20	3.86	503.83
H T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.2	225	200	1.07	308.24	4.44	441.24
H T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	8.8	225	200	0.49	306.68	4.74	502.27
H T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.4	225	200	0.73	405.26	3.86	718.20
I B1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.1	225	200	0.29	308.24	3.77	469.41
I B2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.2	225	200	0.59	356.75	3.12	488.18
I B3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	11.0	225	200	0.38	347.36	4.96	657.17
I B4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	9.2	225	200	0.42	286.34	4.41	411.51
I T1*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.0	225	200	0.35	291.03	2.95	450.63
I T2**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.0	225	200	0.62	311.37	4.22	481.93
I T3*	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	10.8	225	200	0.33	381.79	3.37	564.85
I T4**	14 Sep 07	12 Oct 07	28	51.0	11.0	225	200	0.50	378.66	4.19	647.78

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control
D = OP30
G = RHA20

B = OP10
E = OP40
H = RHA30

C = OP20
F = RHA10
I = RHA40

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
G B1*	0.000794	0.000826	19.685	18.701	0.003790	0.004325	26.988	27.488
G B2**	0.000446		19.175		0.004618		29.159	
G B3*	0.000747		17.650		0.004342		26.817	
G B4**	0.000722		18.564		0.004249		28.374	
G T1*	0.000794		19.164		0.003600		24.639	
G T2**	0.001187		18.559		0.005000		27.838	
G T3*	0.001051		17.986		0.003939		26.597	
G T4**	0.000870		18.821		0.005064		29.491	
H B1*	0.000656	0.000633	17.156	16.759	0.004879	0.004634	25.448	25.635
H B2**	0.000513		17.305		0.004605		24.089	
H B3*	0.000612		15.681		0.005219		23.559	
H B4**	0.000666		16.986		0.004859		24.544	
H T1*	0.000321		15.454		0.004078		24.393	
H T2**	0.001011		17.977		0.004274		25.734	
H T3*	0.000497		15.530		0.004897		25.435	
H T4**	0.000791		17.986		0.004259		31.875	
I B1*	0.000337	0.000515	11.850	12.319	0.004470	0.004684	18.046	19.171
I B2**	0.000693		13.447		0.003736		18.401	
I B3*	0.000482		11.258		0.006405		21.299	
I B4**	0.000445		13.267		0.004763		19.066	
I T1*	0.000403		11.413		0.003463		17.672	
I T2**	0.000714		12.211		0.004954		18.899	
I T3*	0.000411		12.836		0.004273		18.991	
I T4**	0.000634		12.272		0.005411		20.994	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
G B1*	0.975	0.894	0.935	246.28	233.80	5.34	6.30
G B2**				247.62	233.62	5.99	
G B3*				261.86	245.16	6.81	
G B4**				244.12	226.46	7.80	
G T1*				286.74	270.18	6.13	
G T2**				262.62	247.50	6.11	
G T3*				264.20	249.84	5.75	
G T4**				273.52	256.98	6.44	
H B1*	1.100	0.865	1.008	245.50	224.76	9.23	8.05
H B2**				262.52	240.88	8.98	
H B3*				244.40	225.66	8.30	
H B4**				245.58	225.98	8.67	
H T1*				253.64	236.12	7.42	
H T2**				244.50	228.64	6.94	
H T3*				223.60	208.14	7.43	
H T4**				278.68	259.48	7.40	
I B1*	0.997	0.919	1.050	276.92	248.06	11.63	10.62
I B2**				271.32	242.76	11.76	
I B3*				273.46	226.20	20.89	
I B4**				271.98	251.84	8.00	
I T1*				257.72	238.18	8.20	
I T2**				270.76	250.60	8.04	
I T3*				262.84	243.34	8.01	
I T4**				260.14	239.90	8.44	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบกำลังค้ำของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วแทนที่ซีเมนต์ ที่อายุ 56 วัน

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F _{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F _{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
A B1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	11.5	225	200	0.50	336.41	3.06	879.36
A B2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.1	225	200	0.43	402.13	2.52	549.21
A B3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	11.8	225	200	0.35	494.44	3.78	869.97
A B4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	11.5	225	200	0.41	475.67	3.87	815.21
A T1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.8	225	200	0.28	486.62	2.88	841.81
A T2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	11.0	225	200	0.44	463.15	2.50	658.74
A T3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	11.0	225	200	0.44	475.67	2.56	671.25
A T4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.8	225	200	0.26	394.30	3.32	607.10
B B1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	9.0	224	200	0.49	395.87	3.07	589.89
B B2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	8.3	224	200	0.51	320.76	2.99	469.41
B B3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	8.6	224	200	0.30	366.14	2.89	505.40
B B4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	8.9	224	200	0.40	398.99	1.66	494.44
B T1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	8.2	224	200	0.66	295.73	3.46	402.13
B T2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	8.1	224	200	0.39	289.47	2.91	403.69
B T3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	8.2	224	200	0.65	292.60	2.12	375.53
B T4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	9.2	224	200	0.29	342.67	4.08	497.57
C B1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	9.8	224	200	0.29	403.69	2.34	589.89
C B2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	10.4	224	200	0.23	400.56	2.99	719.76
C B3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	9.1	224	200	0.54	402.13	1.71	483.49
C B4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	10.2	224	200	0.32	403.69	2.34	589.89
C T1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	9.7	224	200	0.66	456.89	2.77	635.27
C T2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	9.7	224	200	0.41	403.69	2.79	602.41
C T3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	9.7	224	200	0.34	402.13	1.24	485.06
C T4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.0	8.9	224	200	0.32	373.96	2.17	474.10

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 :
1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
A B1*	0.000663	0.000496	10.074	14.329	0.004131	0.003997	26.334	23.693
A B2**	0.000500		15.612		0.002988		21.322	
A B3*	0.000476		14.063		0.005236		24.745	
A B4**	0.000543		14.245		0.005225		24.413	
A T1*	0.000348		16.523		0.003651		28.583	
A T2**	0.000558		15.159		0.003228		21.561	
A T3*	0.000558		15.569		0.003306		21.970	
A T4**	0.000324		13.388		0.004209		20.613	
B B1*	0.000508	0.000452	19.549	18.371	0.003244	0.002919	29.130	25.385
B B2**	0.000488		18.624		0.002913		27.256	
B B3*	0.000297		19.802		0.002918		27.334	
B B4**	0.000410		20.148		0.001734		24.969	
B T1*	0.000624		17.593		0.003331		23.922	
B T2**	0.000364		17.648		0.002767		24.611	
B T3*	0.000614		17.406		0.002041		22.340	
B T4**	0.000307		16.194		0.004406		23.515	
C B1*	0.000327	0.000431	16.813	17.392	0.002692	0.002623	24.569	24.300
C B2**	0.000276		14.814		0.003650		26.618	
C B3*	0.000566		19.424		0.001827		23.354	
C B4**	0.000376		15.521		0.002802		22.679	
C T1*	0.000738		19.424		0.003154		27.007	
C T2**	0.000458		17.162		0.003177		25.610	
C T3*	0.000380		17.096		0.001412		20.621	
C T4**	0.000328		18.884		0.002267		23.941	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
A B1*	0.958	1.199	1.117	271.20	248.90	8.96	6.80
A B2**				277.84	257.68	7.82	
A B3*				287.90	270.84	6.30	
A B4**				275.14	259.40	6.07	
A T1*				350.54	331.84	5.64	
A T2**				360.00	339.68	5.98	
A T3*				341.48	320.16	6.66	
A T4**				321.26	300.28	6.99	
B B1*	0.868	0.961	1.081	283.44	260.42	8.84	6.75
B B2**				301.60	279.92	7.75	
B B3*				283.82	265.94	6.72	
B B4**				291.88	273.36	6.77	
B T1*				303.98	286.52	6.09	
B T2**				295.66	278.86	6.02	
B T3*				284.74	269.32	5.73	
B T4**				264.80	249.64	6.07	
C B1*	1.000	0.961	0.972	278.22	262.50	5.99	7.17
C B2**				282.66	266.62	6.02	
C B3*				271.48	254.68	6.60	
C B4**				277.84	258.48	7.49	
C T1*				300.56	274.28	9.58	
C T2**				296.70	274.90	7.93	
C T3*				286.96	267.96	7.09	
C T4**				290.54	272.34	6.68	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F _{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F _{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
D B1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.3	225	200	0.49	389.61	3.46	654.04
D B2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.6	225	200	0.59	439.68	2.46	663.43
D B3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.1	225	200	0.42	442.81	2.18	567.98
D B4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.3	225	200	0.56	438.11	2.46	622.75
D T1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.9	225	200	0.46	411.51	3.48	785.48
D T2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.8	225	200	0.35	444.37	3.01	719.76
D T3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.3	225	200	0.66	483.49	1.87	613.36
D T4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.4	225	200	0.56	477.23	2.03	627.44
E B1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.1	225	200	0.43	364.57	2.81	497.57
E B2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.6	225	200	0.43	380.22	2.94	475.67
E B3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.7	225	200	0.34	347.36	2.31	594.58
E B4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.1	225	200	0.52	323.89	1.95	377.43
E T1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.0	225	200	0.42	319.20	2.71	413.08
E T2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.2	225	200	0.43	339.54	2.33	470.97
E T3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.7	225	200	0.54	427.16	1.87	541.38
E T4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.8	225	200	0.54	431.86	2.31	553.90
F B1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.2	225	200	0.44	292.60	4.68	413.08
F B2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.4	225	200	0.26	275.39	3.45	408.39
F B3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.4	225	200	0.42	397.43	2.06	463.15
F B4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.2	225	200	0.35	399.00	3.91	585.20
F T1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.4	225	200	0.50	370.83	3.79	567.98
F T2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.5	225	200	0.52	403.69	3.58	578.94
F T3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.3	225	200	0.44	369.27	1.74	491.31
F T4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.5	225	200	0.44	406.82	2.41	597.71

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
D B1*	0.000582	0.000615	14.544	15.990	0.004184	0.003227	24.416	23.699
D B2**	0.000721		15.498		0.003061		23.384	
D B3*	0.000489		17.191		0.002585		22.051	
D B4**	0.000665		16.355		0.002974		23.248	
D T1*	0.000578		13.717		0.004453		26.183	
D T2**	0.000436		15.088		0.003816		24.439	
D T3*	0.000783		18.049		0.002261		22.897	
D T4**	0.000671		17.474		0.002478		22.974	
E B1*	0.000500	0.000506	14.154	15.660	0.003332	0.002725	19.317	20.780
E B2**	0.000476		16.339		0.003313		20.441	
E B3*	0.000419		12.016		0.002902		20.567	
E B4**	0.000545		15.490		0.002083		18.051	
E T1*	0.000436		15.607		0.002863		20.197	
E T2**	0.000456		15.887		0.002516		22.037	
E T3*	0.000604		17.980		0.002129		22.788	
E T4**	0.000610		17.809		0.002658		22.841	
F B1*	0.000416	0.000432	17.234	18.380	0.004505	0.003335	24.330	25.908
F B2**	0.000252		15.457		0.003402		22.922	
F B3*	0.000455		17.813		0.002273		20.759	
F B4**	0.000371		18.670		0.004223		27.382	
F T1*	0.000542		16.621		0.004182		25.458	
F T2**	0.000569		17.715		0.003992		25.405	
F T3*	0.000421		21.229		0.001695		28.245	
F T4**	0.000431		22.300		0.002405		32.764	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
D B1*	1.036	1.035	0.996	257.74	240.26	7.28	7.05
D B2**				263.38	247.24	6.53	
D B3*				266.42	249.94	6.59	
D B4**				250.06	235.00	6.41	
D T1*				260.12	242.78	7.14	
DT2**				268.50	250.94	7.00	
D T3*				267.88	249.54	7.35	
D T4**				258.80	239.34	8.13	
E B1*	1.121	0.958	1.036	256.52	240.98	6.45	7.50
E B2**				254.22	237.26	7.15	
E B3*				277.28	257.24	7.79	
E B4**				244.24	221.78	10.13	
E T1*				262.34	246.82	6.29	
E T2**				260.84	244.76	6.57	
E T3*				261.28	244.54	6.85	
E T4**				263.26	242.08	8.75	
F B1*	1.173	0.923	0.896	264.68	247.44	6.97	6.23
F B2**				285.64	269.22	6.10	
F B3*				294.32	278.76	5.58	
F B4**				286.46	272.10	5.28	
F T1*				276.18	260.24	6.13	
F T2**				274.16	258.40	6.10	
F T3*				280.56	263.10	6.64	
F T4**				296.28	276.72	7.07	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F _{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F _{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
GB1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	51.0	8.1	225	200	0.33	367.70	3.09	470.97
GB2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	51.0	8.4	225	200	0.40	344.23	3.01	510.09
GB3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	51.0	8.5	225	200	0.25	372.40	1.88	466.28
GB4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	51.0	8.3	225	200	0.51	383.35	2.26	460.02
GT1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	51.0	7.8	225	200	0.16	303.55	3.28	381.79
GT2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	51.0	8.0	225	200	0.22	375.53	3.48	481.93
GT3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	51.0	8.0	225	200	0.22	364.57	4.34	527.30
GT4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	51.0	7.5	225	200	0.44	295.73	3.83	431.86
HB1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.3	225	200	0.46	309.81	2.17	403.69
HB2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.3	225	200	0.40	320.76	1.83	395.87
HB3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.3	225	200	0.43	398.99	4.37	624.31
HB4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.1	225	200	0.46	391.17	3.13	553.90
HT1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.5	225	200	0.30	397.43	3.01	608.67
HT2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.8	225	200	0.34	392.74	4.35	553.90
HT3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.8	225	200	0.43	384.91	2.83	491.31
HT4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.6	225	200	0.67	416.21	3.68	538.26
IB1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.8	225	200	0.55	330.15	2.68	516.35
IB2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.4	225	200	0.44	345.80	2.64	460.02
IB3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.6	225	200	0.51	312.94	3.23	541.38
IB4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.2	225	200	0.56	316.06	1.96	430.29
IT1*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	9.5	225	200	0.22	327.02	2.64	492.88
IT2**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	8.0	225	200	0.51	242.53	2.82	323.89
IT3*	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.3	225	200	0.55	450.63	1.17	521.04
IT4**	14 Sep 07	9 Nov 07	56	50.5	10.6	225	200	0.42	491.31	2.71	635.27

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
G B1*	0.000308	0.000295	21.978	21.085	0.002938	0.002963	28.150	28.069
G B2**	0.000387		19.132		0.002968		28.350	
G B3*	0.000245		20.213		0.001876		25.309	
G B4**	0.000488		21.822		0.002202		26.187	
G T1*	0.000144		19.566		0.003003		24.609	
G T2**	0.000203		23.010		0.003268		29.530	
G T3*	0.000203		22.339		0.004076		32.310	
G T4**	0.000380		20.617		0.003372		30.108	
H B1*	0.000440	0.000442	17.811	19.091	0.002114	0.003313	23.208	26.254
H B2**	0.000383		18.440		0.001783		22.758	
H B3*	0.000461		18.270		0.004771		28.587	
H B4**	0.000482		18.708		0.003344		26.490	
H T1*	0.000328		17.440		0.003357		26.710	
H T2**	0.000345		20.085		0.004494		28.327	
H T3*	0.000436		19.685		0.002924		25.126	
H T4**	0.000664		22.287		0.003715		28.823	
I B1*	0.000621	0.000516	13.614	15.106	0.003083	0.002767	21.293	21.103
I B2**	0.000477		15.499		0.002913		20.619	
I B3*	0.000564		13.448		0.003640		23.265	
I B4**	0.000594		14.789		0.002117		20.134	
I T1*	0.000241		14.350		0.002944		21.629	
I T2**	0.000470		15.008		0.002648		20.043	
I T3*	0.000653		16.822		0.001415		19.451	
I T4**	0.000513		17.317		0.003372		22.392	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
G B1*	1.079	0.954	0.980	246.28	233.80	5.34	6.06
G B2**				247.62	233.62	5.99	
G B3*				261.86	245.16	6.81	
G B4**				244.12	230.46	5.93	
G T1*				286.74	270.18	6.13	
G T2**				262.62	247.50	6.11	
G T3*				264.20	249.84	5.75	
G T4**				273.52	256.98	6.44	
H B1*	1.079	0.907	1.052	260.04	244.44	6.38	6.83
H B2**				256.92	240.64	6.77	
H B3*				260.90	242.76	7.47	
H B4**				253.44	232.44	9.03	
H T1*				265.58	249.70	6.36	
H T2**				224.76	209.52	7.27	
H T3*				271.40	257.06	5.58	
H T4**				285.70	270.04	5.80	
I B1*	0.979	0.968	1.093	257.60	237.48	8.47	7.91
I B2**				255.20	237.24	7.57	
I B3*				260.90	244.28	6.80	
I B4**				257.08	241.92	6.27	
I T1*				254.44	231.20	10.05	
I T2**				249.88	235.48	6.12	
I T3*				254.80	230.84	10.38	
I T4**				223.30	207.42	7.66	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบกำลังดัดของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วแทนที่ซีเมนต์ ที่อายุ 180 วัน

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
A B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.2	225	200	0.25	276.95	2.59	505.39
A B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.5	225	200	0.32	325.46	1.66	408.38
A B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.4	225	200	0.31	316.06	2.18	424.03
A B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.8	225	200	0.44	366.14	3.04	497.57
A T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	13.2	225	200	0.43	613.36	1.52	938.82
A T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	13.0	225	200	0.34	608.67	1.95	938.82
A T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	13.0	225	200	0.30	611.79	1.63	891.88
A T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	13.0	225	200	0.32	603.97	1.04	779.22
B B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.5	225	200	0.24	370.73	1.71	463.15
B B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.5	225	200	0.33	389.61	2.55	591.45
B B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.5	225	200	0.21	384.91	1.99	567.98
B B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.6	225	200	0.23	394.30	1.51	506.96
B T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.5	225	200	0.43	369.27	1.64	499.14
B T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.7	225	200	0.48	395.87	1.98	574.24
B T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	225	200	0.30	458.46	1.62	608.67
B T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	225	200	0.40	456.89	1.49	577.37
C B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	223	200	0.17	283.21	1.60	355.19
C B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	8.5	223	200	0.18	309.81	1.78	384.91
C B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.2	223	200	0.15	400.56	1.75	583.63
C B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	223	200	0.09	306.68	1.74	414.64
C T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	223	200	0.26	323.89	1.81	408.39
C T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	223	200	0.17	272.25	1.14	369.27
C T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	8.7	223	200	0.16	303.55	2.39	402.13
C T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	223	200	0.27	328.59	2.19	513.22

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
A B1*	0.000265	0.000442	13.088	14.292	0.002797	0.002495	23.884	20.654
A B2**	0.000350		14.425		0.001851		18.100	
A B3*	0.000336		14.308		0.002406		19.196	
A B4**	0.000497		15.249		0.003497		20.723	
A T1*	0.000654		14.081		0.002355		21.552	
A T2**	0.000509		14.406		0.002976		22.221	
A T3*	0.000449		14.480		0.002488		21.110	
A T4**	0.000479		14.295		0.001587		18.443	
B B1*	0.000263	0.000365	16.431	17.210	0.001907	0.002051	20.527	23.487
B B2**	0.000361		17.268		0.002844		26.214	
B B3*	0.000230		17.060		0.002219		25.174	
B B4**	0.000254		17.114		0.001702		22.003	
B T1*	0.000471		16.367		0.001829		22.123	
B T2**	0.000536		16.829		0.002255		24.412	
B T3*	0.000346		18.338		0.001902		24.347	
B T4**	0.000461		18.276		0.001749		23.095	
C B1*	0.000176	0.000186	13.986	15.865	0.001690	0.001883	17.540	21.488
C B2**	0.000176		17.152		0.001776		21.310	
C B3*	0.000159		18.930		0.001890		27.582	
C B4**	0.000093		15.145		0.001838		20.476	
C T1*	0.000270		15.995		0.001912		20.167	
C T2**	0.000176		13.444		0.001204		18.236	
C T3*	0.000160		16.042		0.002441		21.251	
C T4**	0.000280		16.227		0.002314		25.344	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
A B1*	1.017	1.049	1.110	244.78	241.18	1.49	1.25
A B2**				249.48	246.24	1.32	
A B3*				247.96	244.60	1.37	
A B4**				256.44	252.96	1.38	
A T1*				353.90	349.12	1.37	
A T2**				339.16	335.36	1.13	
A T3*				337.94	334.42	1.05	
A T4**				338.32	335.38	0.88	
B B1*	1.001	0.978	0.948	253.74	251.88	0.74	0.82
B B2**				255.42	253.52	0.75	
B B3*				250.82	248.90	0.77	
B B4**				264.12	262.18	0.74	
B T1*				257.16	254.18	1.17	
B T2**				271.54	269.36	0.81	
B T3*				272.46	270.00	0.91	
B T4**				251.76	250.12	0.66	
C B1*	0.978	0.950	1.080	280.70	277.66	1.09	0.99
C B2**				247.56	245.12	1.00	
C B3*				301.96	299.28	0.90	
C B4**				235.00	232.50	1.08	
C T1*				293.88	290.88	1.03	
C T2**				304.54	302.02	0.83	
C T3*				284.82	281.56	1.16	
C T4**				288.82	286.50	0.81	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
D B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	225	200	0.23	275.39	3.19	470.97
D B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	225	200	0.18	303.55	1.68	384.91
D B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.3	225	200	0.15	369.27	1.71	494.44
D B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.5	225	200	0.10	383.35	2.29	549.21
D T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.3	225	200	0.11	287.90	1.34	370.83
D T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	8.9	225	200	0.10	226.88	1.74	325.46
D T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	225	200	0.03	319.19	1.85	469.40
D T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.5	225	200	0.03	398.99	1.49	550.77
E B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	225	200	0.13	434.98	1.74	624.31
E B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	225	200	0.13	301.98	1.51	417.77
E B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	225	200	0.16	433.42	1.27	586.76
E B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	226	200	0.26	292.59	1.28	366.14
E T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	225	200	0.07	319.19	1.76	546.07
E T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	223	200	0.22	408.39	1.12	566.42
E T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	225	200	0.11	301.98	1.18	549.21
E T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	224	200	0.19	397.43	0.98	528.87
F B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	223	200	0.12	461.58	1.37	600.84
F B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	226	200	0.21	466.27	0.58	535.13
F B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	226	200	0.18	522.61	1.26	636.83
F B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	226	200	0.10	514.78	1.32	638.39
F T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	224	200	0.14	489.75	1.63	660.30
F T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	224	200	0.16	461.59	1.39	608.67
F T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	224	200	0.11	436.55	1.93	596.15
F T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	224	200	0.11	455.94	1.84	589.89

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
D B1*	0.000239	0.000122	13.600	15.110	0.003370	0.002058	23.258	21.331
D B2**	0.000187		14.990		0.001775		19.008	
D B3*	0.000161		17.078		0.001867		22.867	
D B4**	0.000109		16.991		0.002554		24.342	
D T1*	0.000118		13.315		0.001463		17.150	
D T2**	0.000103		11.457		0.001818		16.435	
D T3*	0.000031		15.762		0.001955		23.180	
D T4**	0.000033		17.684		0.001662		24.411	
E B1*	0.000165	0.000196	14.380	12.458	0.002247	0.001709	20.638	17.976
E B2**	0.000150		12.079		0.001773		16.711	
E B3*	0.000203		14.328		0.001640		19.397	
E B4**	0.000300		11.704		0.001503		14.646	
E T1*	0.000089		10.552		0.002273		18.052	
E T2**	0.000279		13.500		0.001446		18.725	
E T3*	0.000139		9.983		0.001524		18.156	
E T4**	0.000241		13.138		0.001265		17.483	
F B1*	0.000152	0.000176	15.259	16.514	0.001769	0.001772	19.862	21.137
F B2**	0.000266		15.414		0.000749		17.690	
F B3*	0.000228		17.276		0.001627		21.052	
F B4**	0.000127		17.018		0.001705		21.104	
F T1*	0.000177		16.190		0.002105		21.828	
F T2**	0.000203		15.259		0.001795		20.121	
F T3*	0.000127		17.462		0.002266		23.846	
F T4**	0.000127		18.238		0.002160		23.596	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
D B1*	0.907	0.987	1.064	235.62	232.90	1.17	1.03
D B2**				235.38	233.52	0.80	
D B3*				260.62	258.30	0.90	
D B4**				227.52	225.36	0.96	
D T1*				235.24	232.84	1.03	
D T2**				238.56	236.00	1.08	
D T3*				216.98	214.40	1.20	
D T4**				237.90	235.36	1.08	
E B1*	1.014	1.000	1.277	241.60	238.90	1.13	1.05
E B2**				248.04	245.36	1.09	
E B3*				244.22	241.84	0.98	
E B4**				249.12	246.60	1.02	
E T1*				237.84	235.45	1.02	
E T2**				217.40	215.12	1.06	
E T3*				248.98	246.28	1.10	
E T4**				263.70	261.04	1.02	
F B1*	1.121	1.045	1.055	288.80	286.08	0.95	0.90
F B2**				288.82	286.38	0.85	
F B3*				289.20	286.36	0.99	
F B4**				284.44	281.08	1.20	
F T1*				297.46	295.00	0.83	
F T2**				291.42	289.12	0.80	
F T3*				280.36	278.27	0.75	
F T4**				284.20	281.93	0.81	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Sample	Date		Age of Sample (Days)	Dimension (mm)			Span length, L (mm)	Δ_{LOP} (mm)	F_{LOP} (N)	Δ_{MOR} (mm)	F_{MOR} (N)
	Casting	Testing		b	d	l					
G B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	224	200	0.27	353.62	1.27	434.89
G B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	224	200	0.29	352.06	1.66	452.19
G B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	7.5	224	200	0.37	261.30	2.59	384.91
G B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	224	200	0.15	325.46	1.79	447.50
G T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	224	200	0.23	372.39	1.07	480.36
G T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	224	200	0.11	377.09	1.49	483.49
G T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	8.0	224.5	200	0.07	386.48	1.08	438.11
G T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	224.5	200	0.05	386.48	1.74	535.13
H B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	223	200	0.16	298.86	1.30	381.79
H B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	8.5	223	200	0.20	303.55	1.40	394.30
H B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	223	200	0.18	327.02	0.91	389.61
H B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.2	223	200	0.19	389.61	0.94	458.46
H T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	224	200	0.21	389.61	1.18	477.23
H T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	224	200	0.18	331.72	1.29	474.10
H T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	8.5	224	200	0.22	309.80	1.09	383.35
H T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	224	200	0.21	528.87	1.43	635.27
I B1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.5	225	200	0.22	325.46	1.95	460.02
I B2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	225	200	0.11	364.57	1.16	460.02
I B3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	225	200	0.11	388.04	1.87	539.81
I B4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	225	200	0.13	363.00	1.93	456.89
I T1*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	9.0	225	200	0.15	270.69	1.49	334.84
I T2**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	11.0	225	200	0.15	403.69	1.66	536.69
I T3*	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	225	200	0.17	341.10	2.47	547.64
I T4**	14 Sep 07	12 Mar 08	180	50.0	10.0	225	200	0.28	405.26	1.64	610.23

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Sample	ϵ_{LOP}		σ_{LOP} (MPa)		ϵ_{MOR}		σ_{MOR} (MPa)	
	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.	Individual	Avg.
G B1*	0.000280	0.000196	17.463	17.840	0.001342	0.001641	21.476	23.205
G B2**	0.000301		17.386		0.001754		22.330	
G B3*	0.000320		18.581		0.002280		27.371	
G B4**	0.000156		16.072		0.001891		22.099	
G T1*	0.000265		14.896		0.001256		19.214	
G T2**	0.000127		15.084		0.001749		19.340	
G T3*	0.000065		24.155		0.001014		27.382	
G T4**	0.000052		19.085		0.001838		26.426	
H B1*	0.000166	0.000204	14.759	17.050	0.001373	0.001283	18.854	21.341
H B2**	0.000196		16.806		0.001397		21.830	
H B3*	0.000187		16.149		0.000961		19.240	
H B4**	0.000201		18.413		0.001015		21.666	
H T1*	0.000242		15.584		0.001385		19.089	
H T2**	0.000187		16.381		0.001363		23.412	
H T3*	0.000215		17.152		0.001088		21.224	
H T4**	0.000242		21.155		0.001679		25.411	
I B1*	0.000241	0.000189	14.425	14.452	0.002175	0.002067	20.389	19.906
I B2**	0.000127		14.583		0.001362		18.401	
I B3*	0.000127		15.522		0.002195		21.592	
I B4**	0.000150		14.520		0.002266		18.276	
I T1*	0.000156		13.367		0.001574		16.535	
I T2**	0.000190		13.345		0.002144		17.742	
I T3*	0.000196		13.644		0.002900		21.906	
I T4**	0.000323		16.210		0.001925		24.409	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

G = RHA20

H = RHA30

I = RHA40

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

Sample	Stress Relationships			Weight (g)		w (%)	Avg. w (%)
	$\frac{T1+T2+T3+T4}{B1+B2+B3+B4}$	$\frac{T1+T3}{T2+T4}$	$\frac{B1+B3}{B2+B4}$	M_w	M_d		
G B1*	0.990	1.018	1.099	254.70	253.12	0.62	0.85
G B2**				245.48	244.23	0.51	
G B3*				209.38	207.62	0.85	
G B4**				235.12	233.70	0.61	
G T1*				275.64	273.70	0.71	
G T2**				273.22	270.78	0.90	
G T3*				246.58	243.50	1.26	
G T4**				267.12	263.62	1.33	
H B1*	1.092	0.826	0.876	243.20	242.66	0.22	0.88
H B2**				245.92	243.56	0.97	
H B3*				248.56	241.14	3.08	
H B4**				255.07	254.70	0.15	
H T1*				278.48	275.38	1.13	
H T2**				258.48	256.88	0.62	
H T3*				231.24	230.04	0.52	
H T4**				275.28	274.36	0.34	
I B1*	1.025	0.912	1.145	257.28	254.30	1.17	0.93
I B2**				259.82	257.08	1.07	
I B3*				259.74	257.24	0.97	
I B4**				251.04	248.96	0.84	
I T1*				229.84	227.50	1.03	
I T2**				276.16	274.44	0.63	
I T3*				262.12	259.78	0.90	
I T4**				271.86	269.70	0.80	

* Mold face contacts with major span rollers

** Machine face contact with major span rollers

All samples were failed inside central third span

Tested in accordance with BS EN 1170-5 : 1998

A = control

B = OP10

C = OP20

D = OP30

E = OP40

F = RHA10

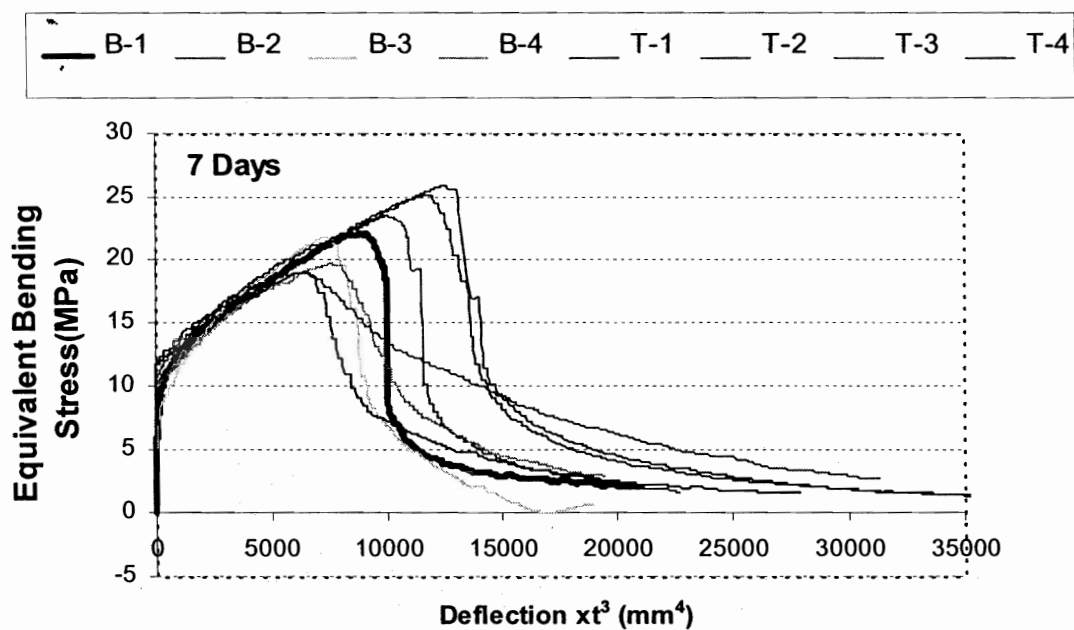
G = RHA20

H = RHA30

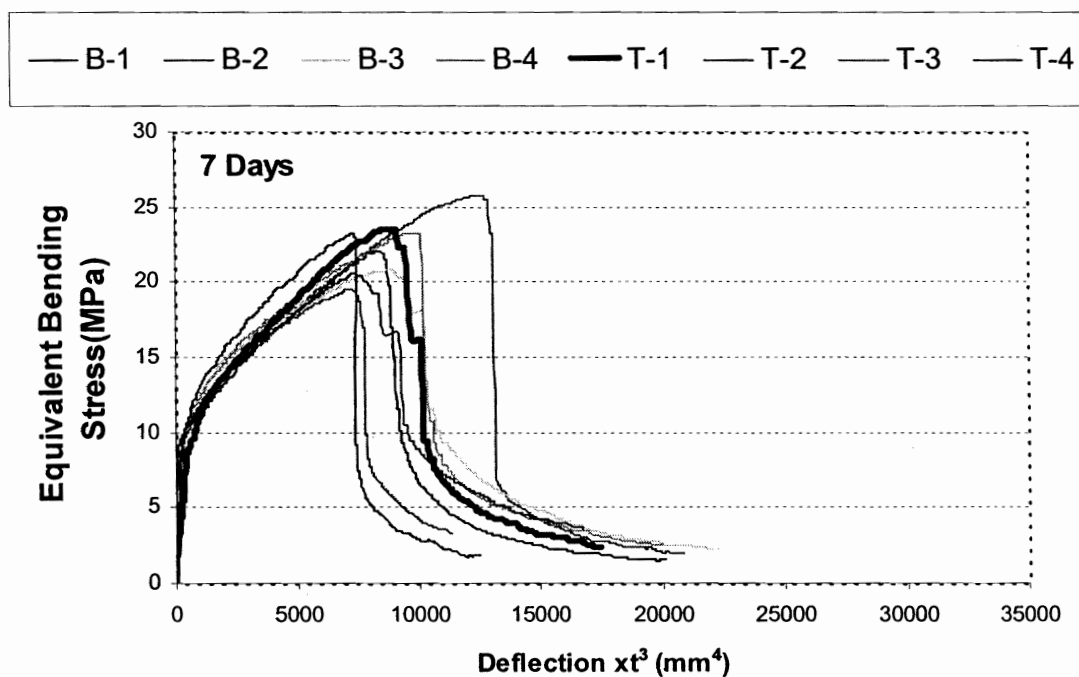
I = RHA40

ภาคผนวก ก.

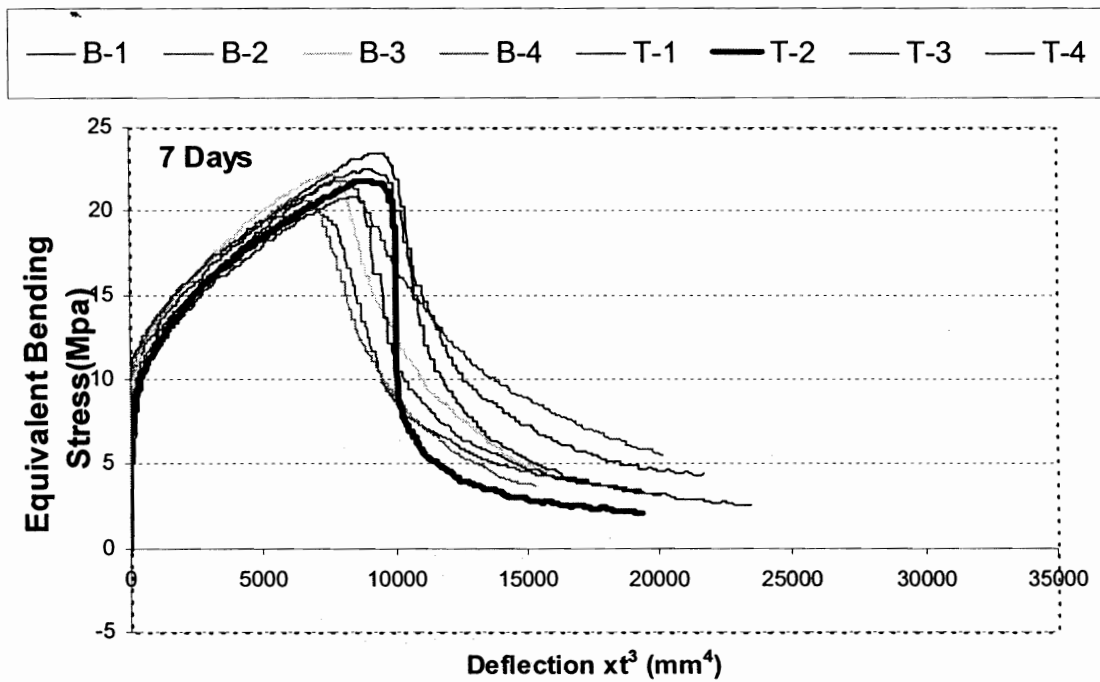
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค้ำยันเทียบกับระยะ โกงตัวของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีต
เสริมใยแก้วของเสาใยปาล์มน้ำมันและเสาเกลบที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
อัตราร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยนำนักทำการทดสอบที่อายุ 7 28 56 และ 180 วัน



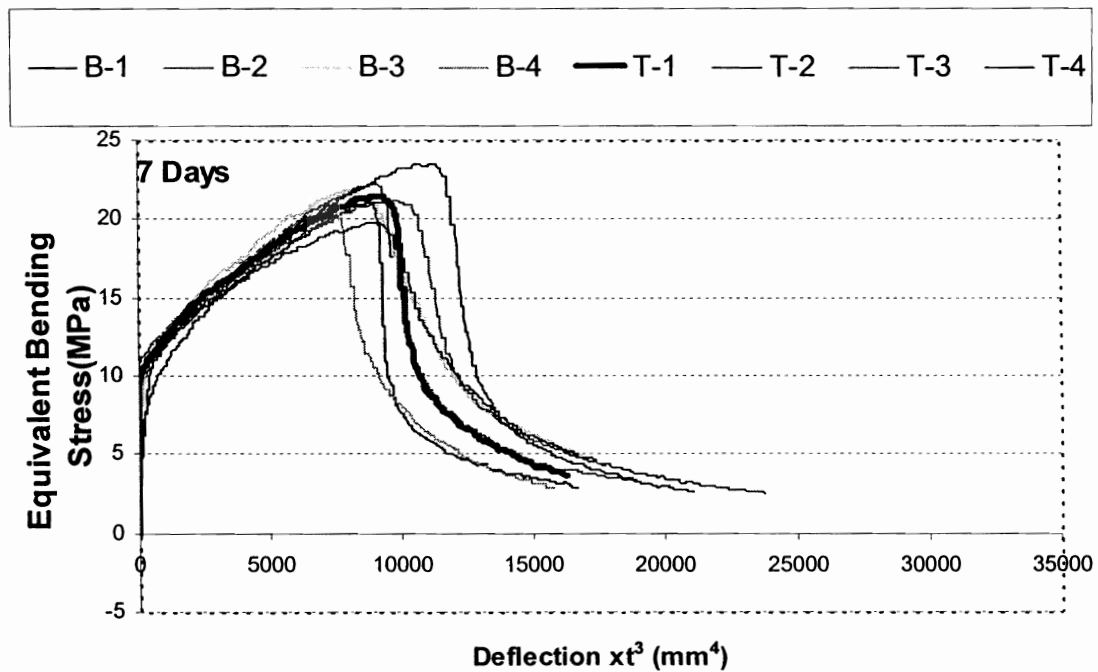
รูปที่ ค.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะโก่งตัว ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุ 7 วัน



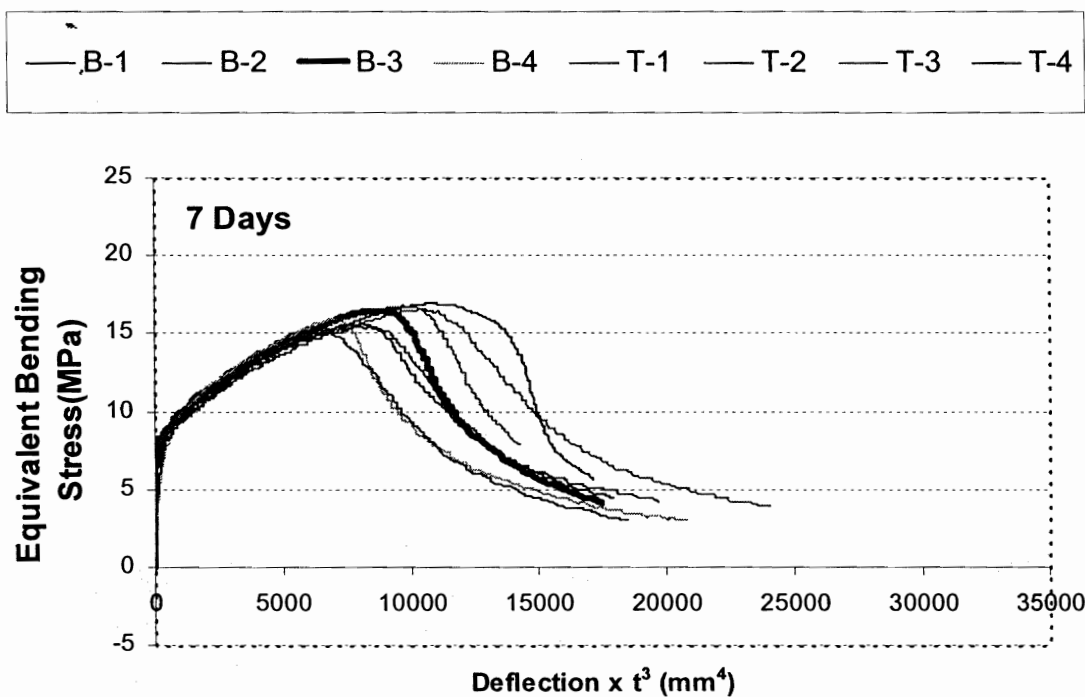
รูปที่ ค.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะโก่งตัว ของคอนกรีตเสริมใยแก้ว ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 7 วัน



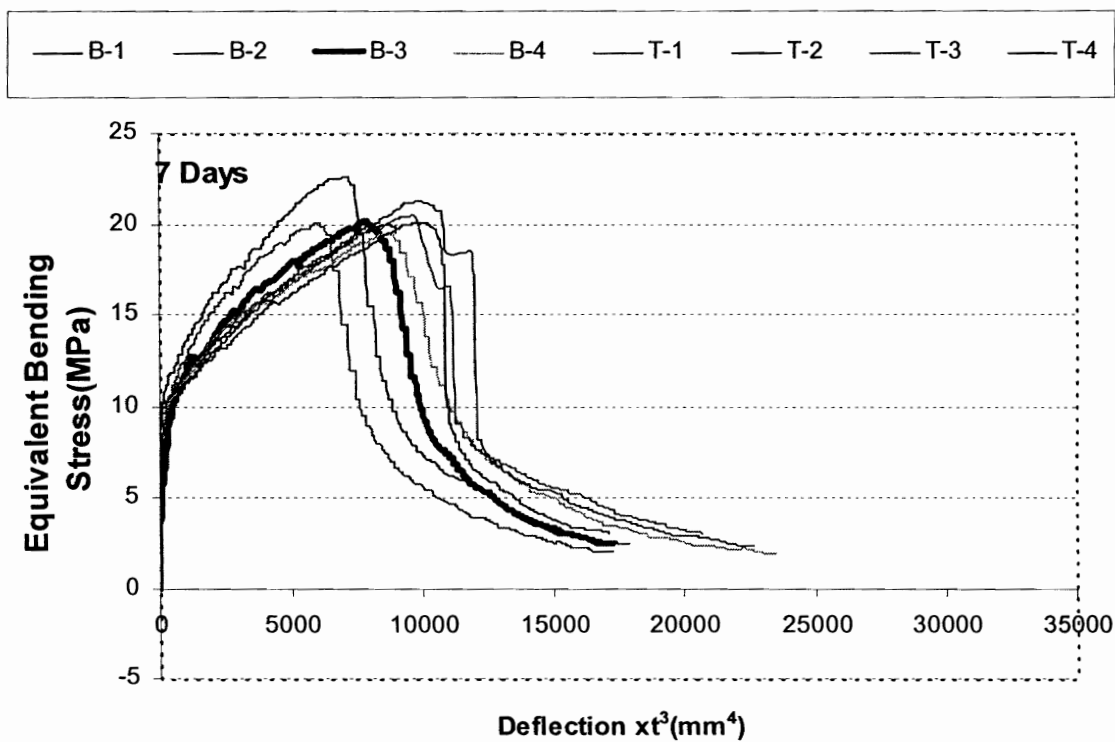
รูปที่ ๓.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับ กระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมใยแก้ว ผสมเถ้าปลาลม น้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 7 วัน



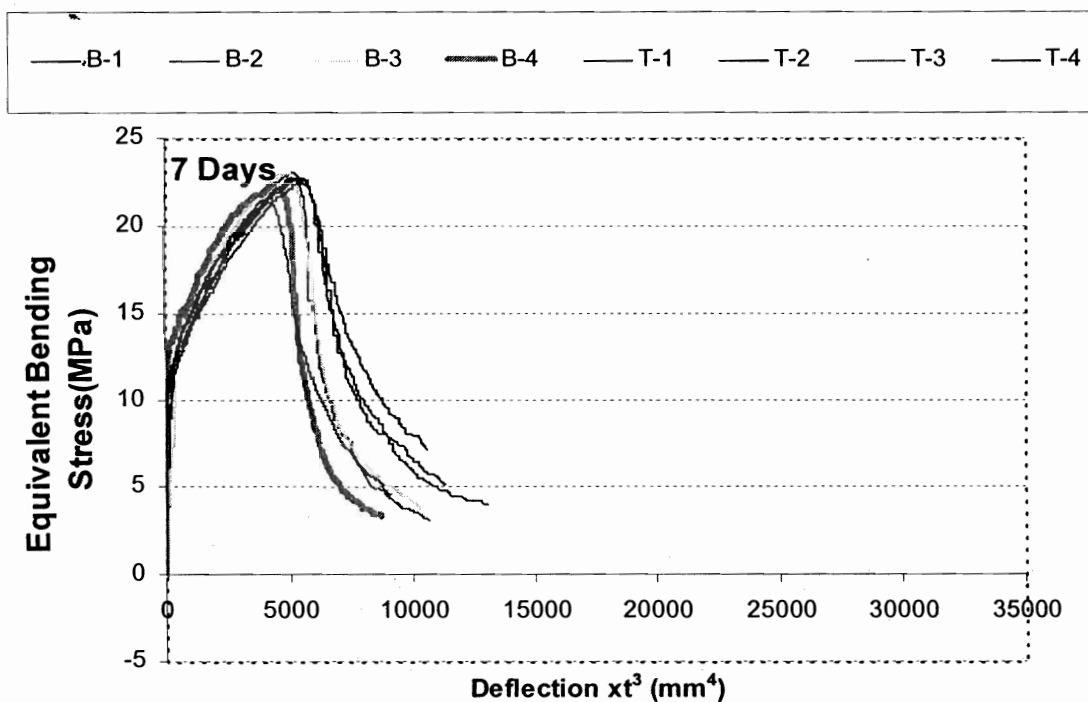
รูปที่ ๓.๔ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับ กระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมใยแก้ว ผสมเถ้าปลาลม น้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 7 วัน



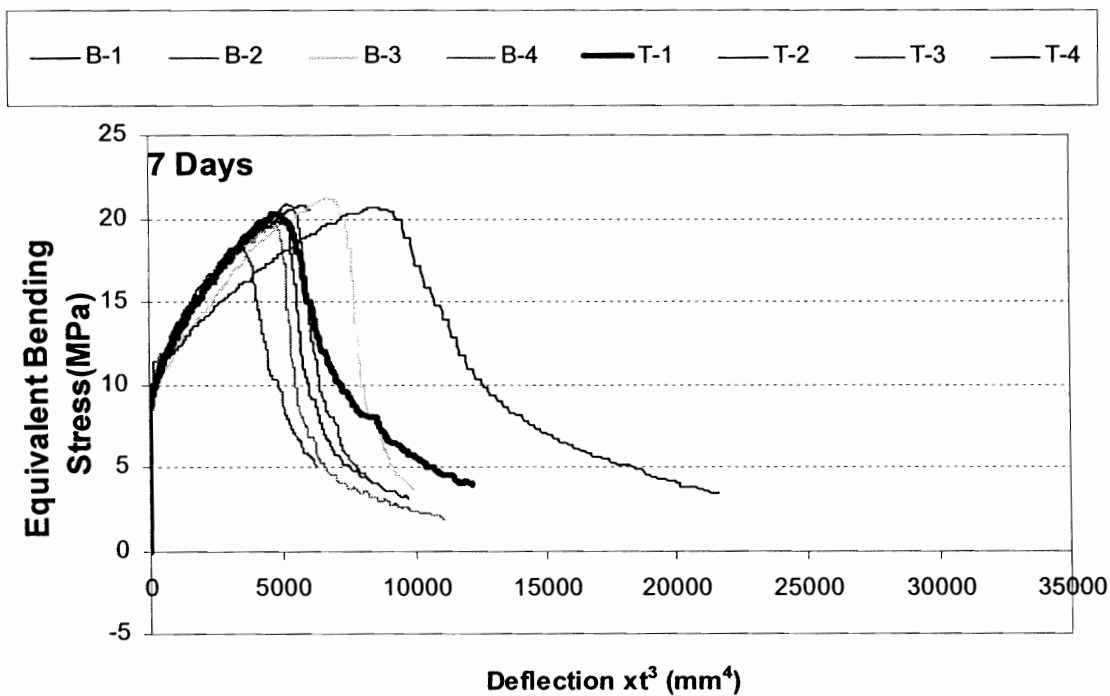
รูปที่ ๑.๕ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับกับระยะ โกงตัวของคอนกรีตเสริมใยแก้วผสมเถ้าปลาน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 7 วัน



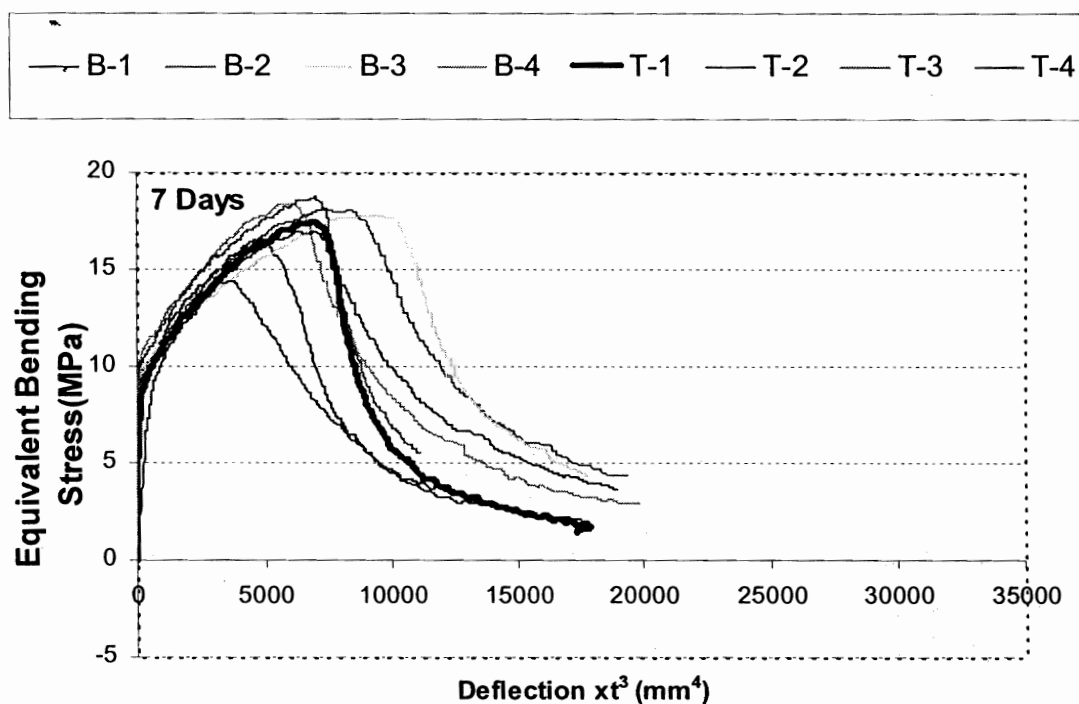
รูปที่ ๑.๖ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับกับระยะ โกงตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 7 วัน



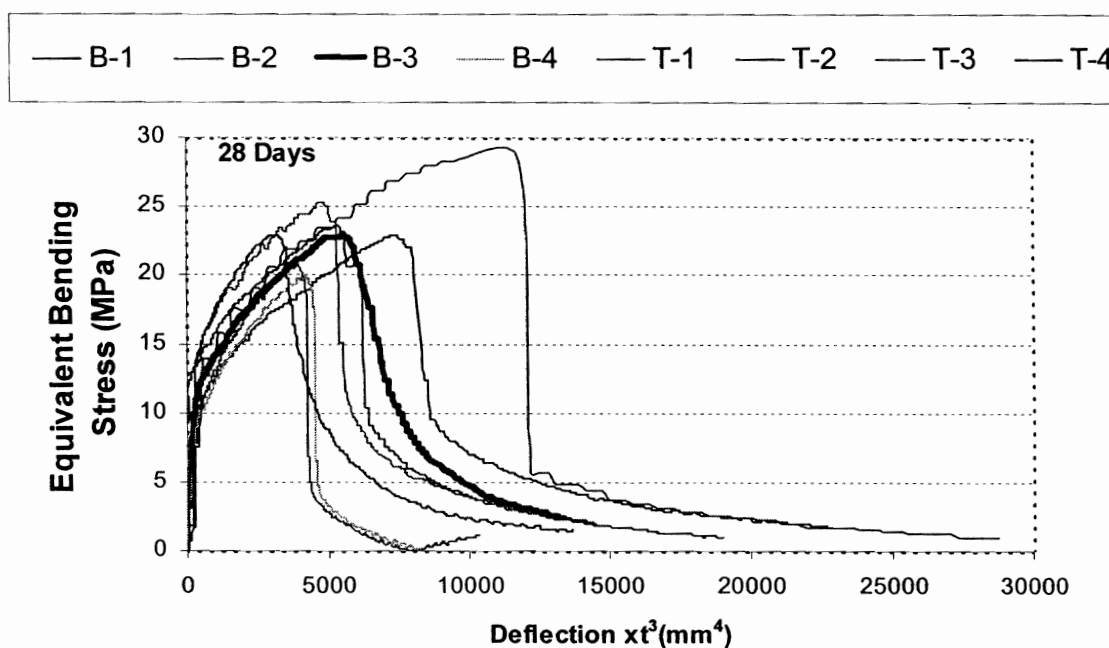
รูปที่ ค.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับค่า กับระยะโก่งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใย แก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 7 วัน



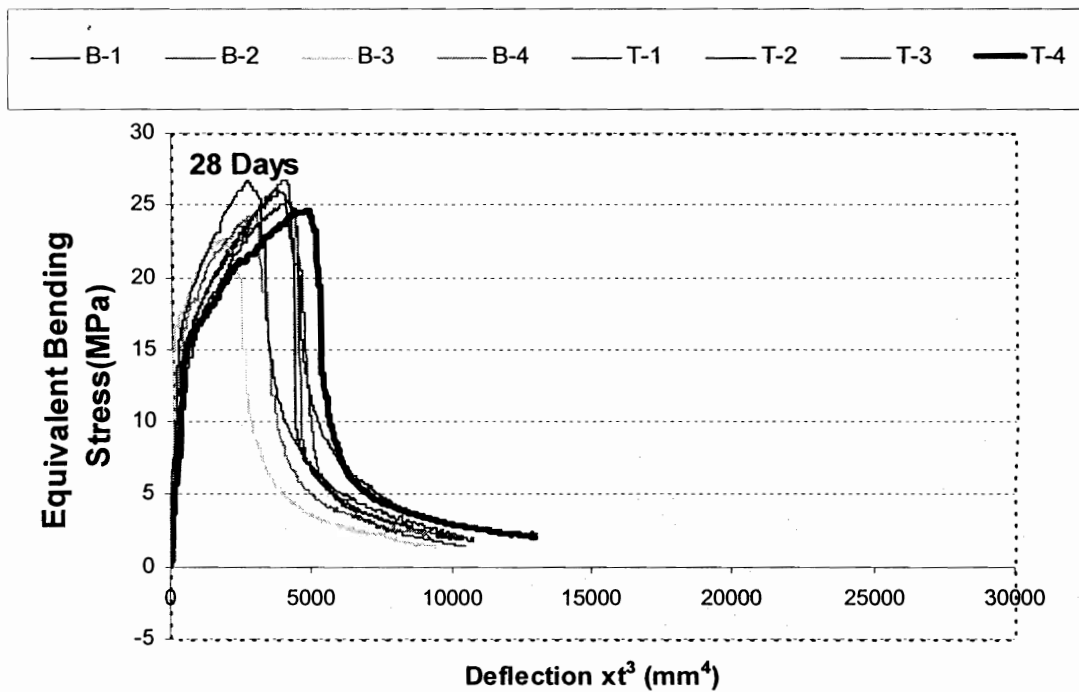
รูปที่ ค.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับค่า กับระยะโก่งตัว ของคอนกรีตเสริม เส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 7 วัน



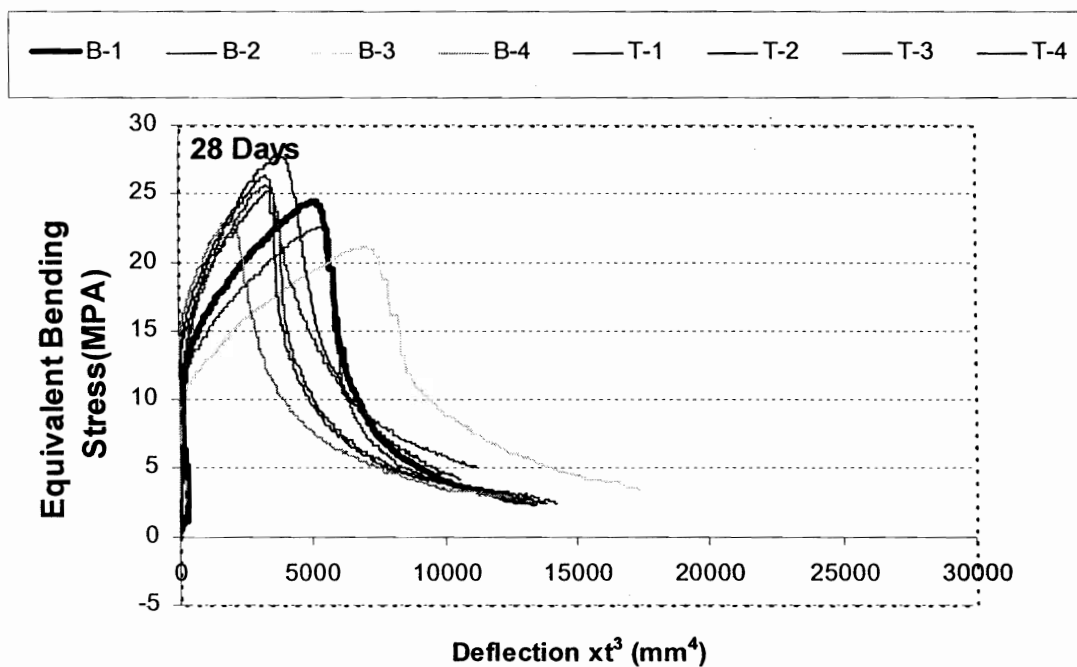
รูปที่ ค.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับ ภาระโย่งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใย แก้วผสมเส้นใยแก้วอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 7 วัน



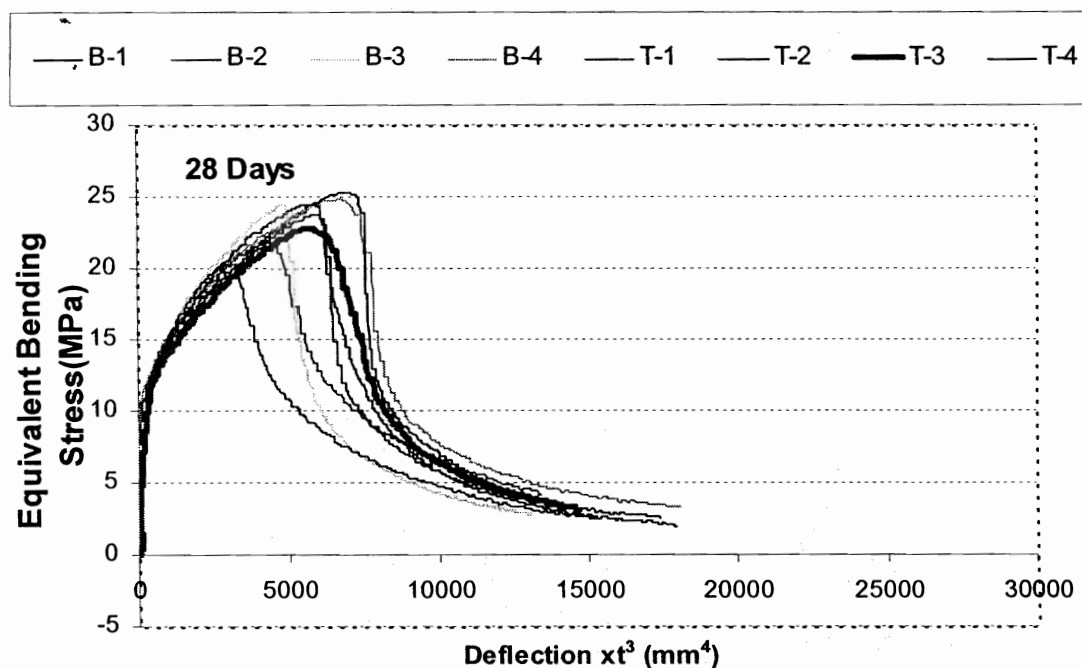
รูปที่ ค.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับ ภาระโย่งตัว ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุ 28 วัน



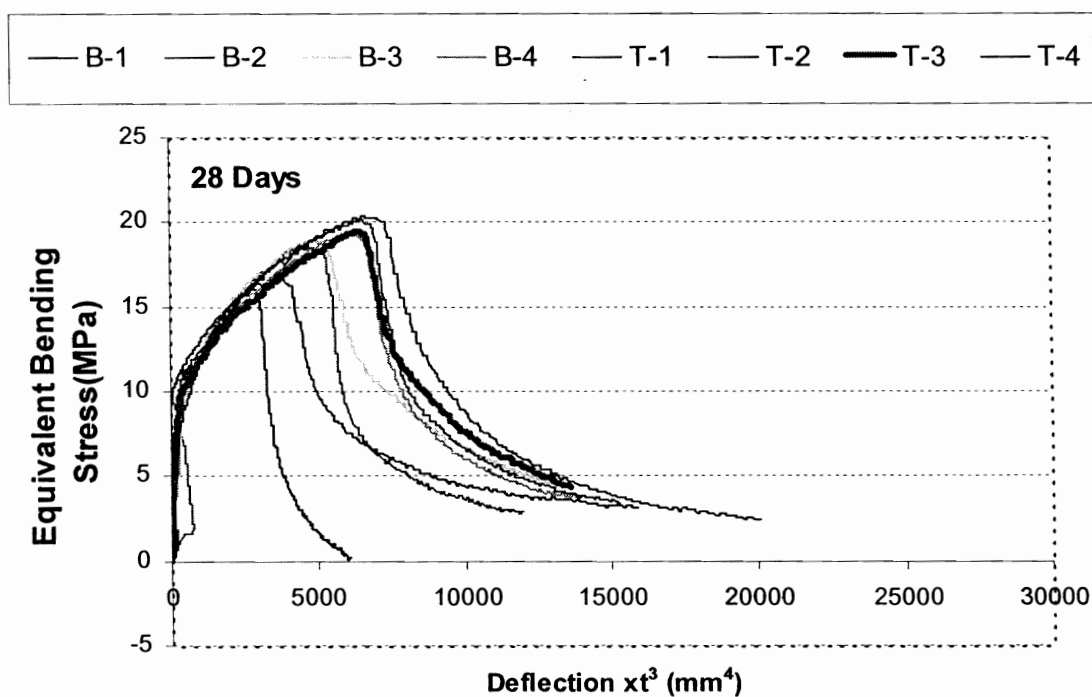
รูปที่ ค.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะ โกงตัว ของคอนกรีตเสริมใยแก้วผสมเถ้าปลาลมน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 28 วัน



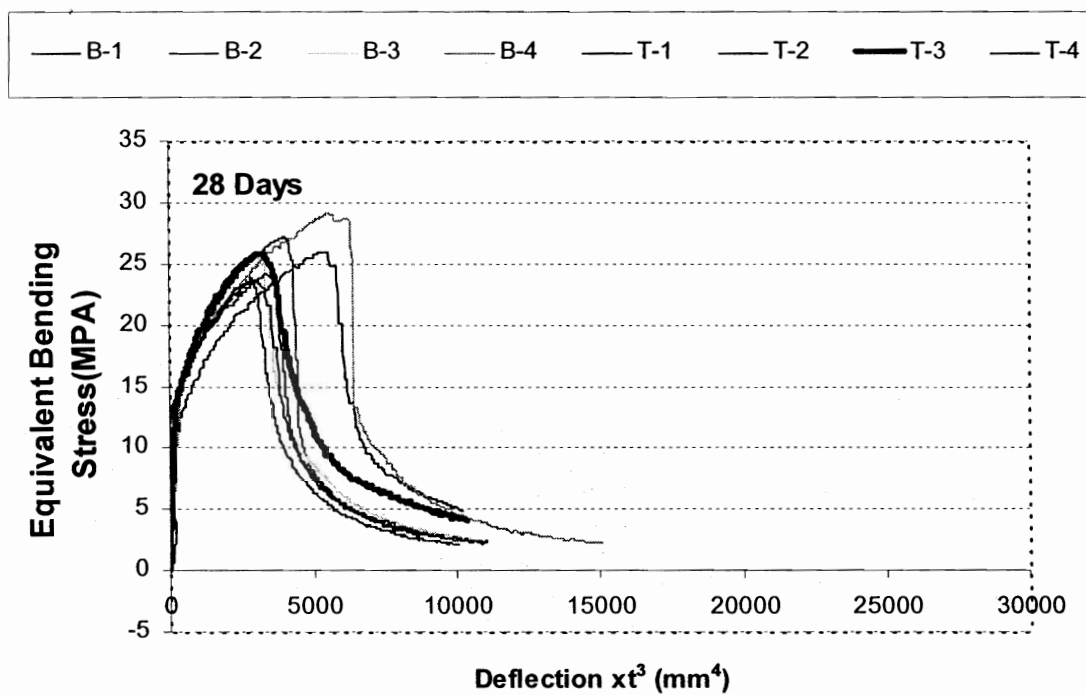
รูปที่ ค.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะ โกงตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปลาลมน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 28 วัน



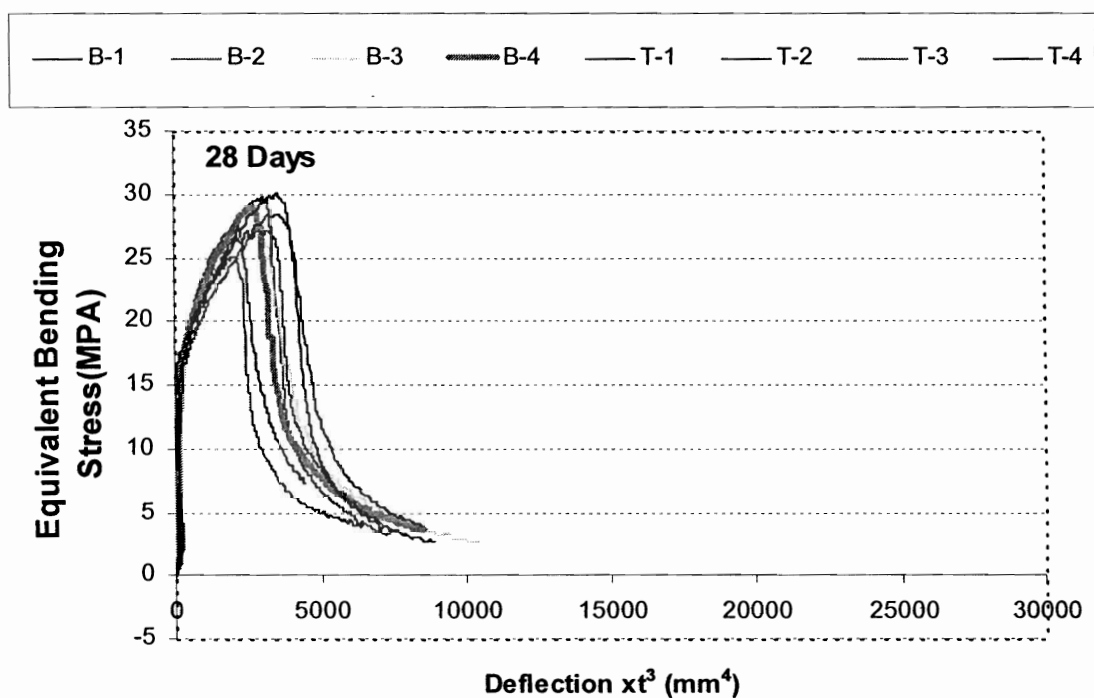
รูปที่ ค.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับ ภาระโย่งตัวของคอนกรีตเสริม
เส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 28 วัน



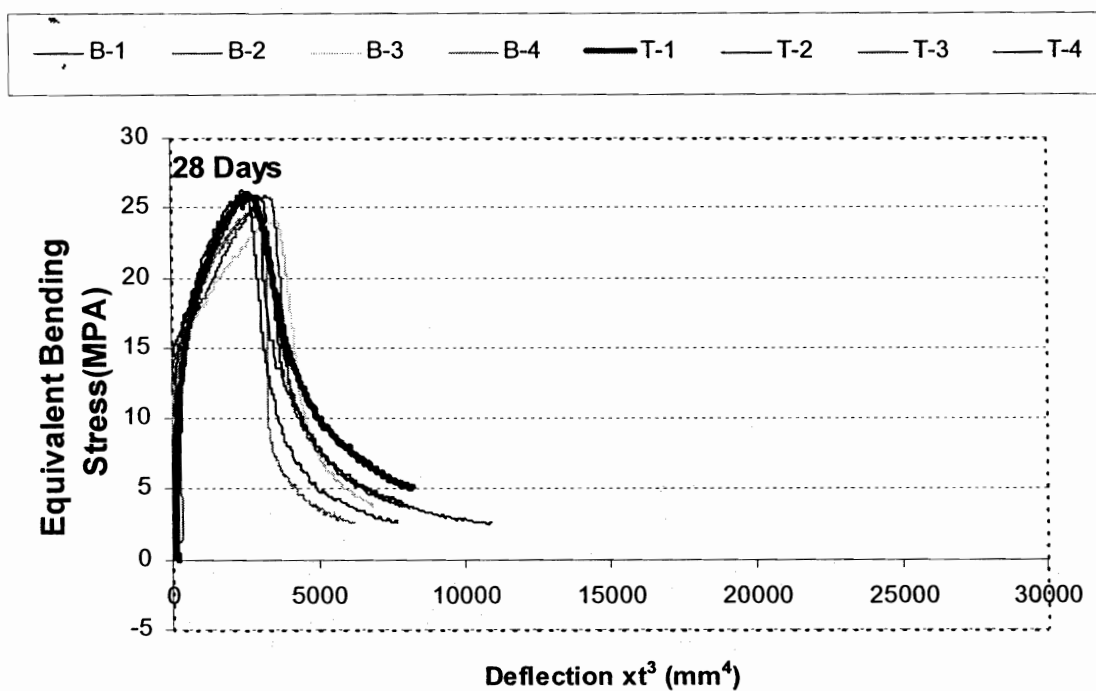
รูปที่ ค.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับ ภาระโย่งตัวของคอนกรีตเสริม
เส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 28 วัน



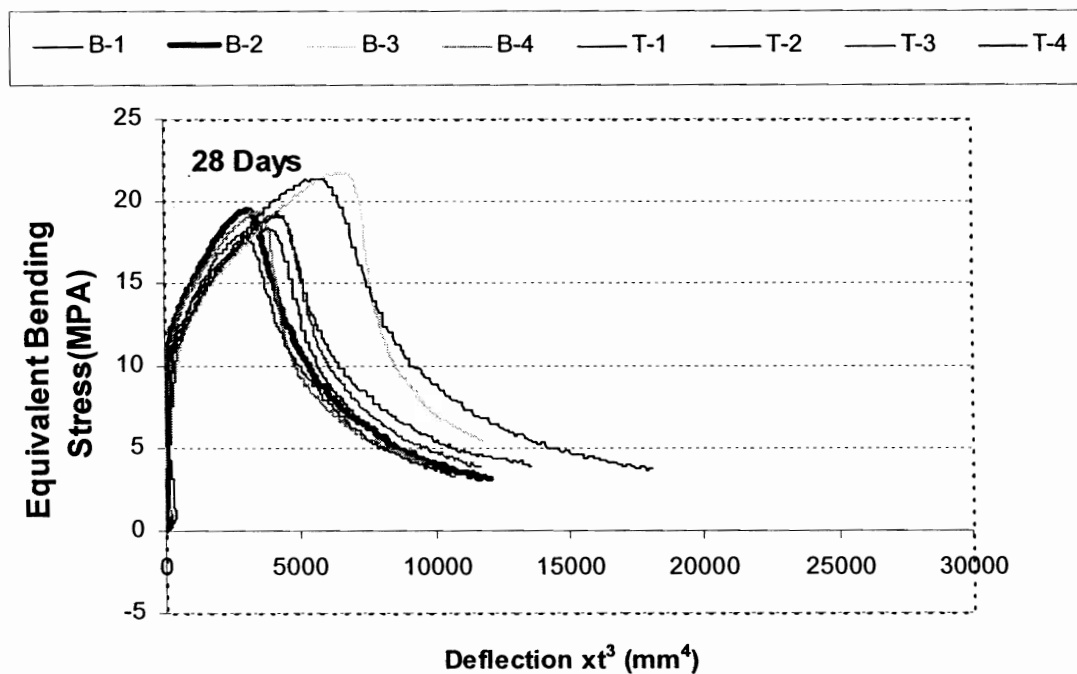
รูปที่ ค.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับ ภาระขึงตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 28 วัน



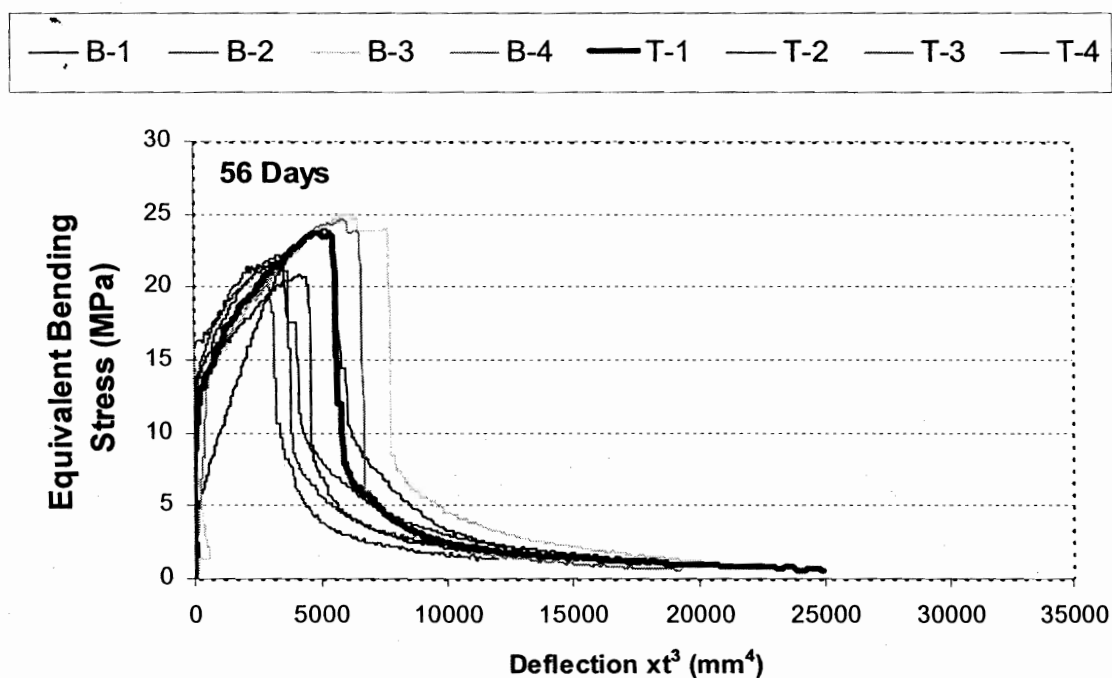
รูปที่ ค.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับ ภาระขึงตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 28 วัน



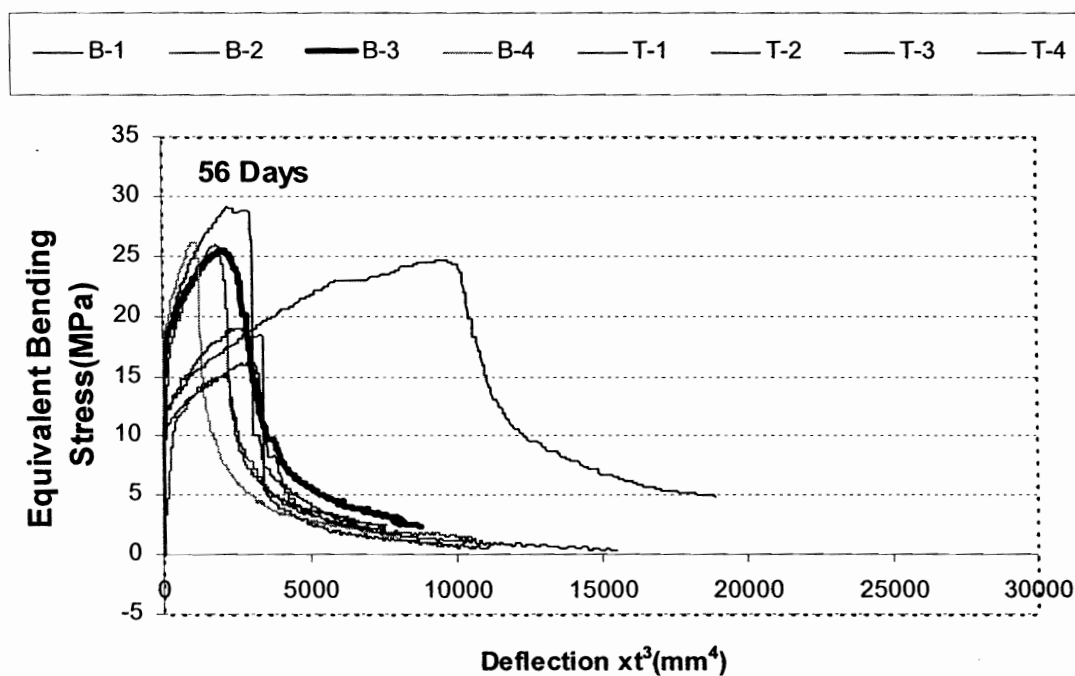
รูปที่ ค.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคดเทียบกับ ระยะโก่งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 28 วัน



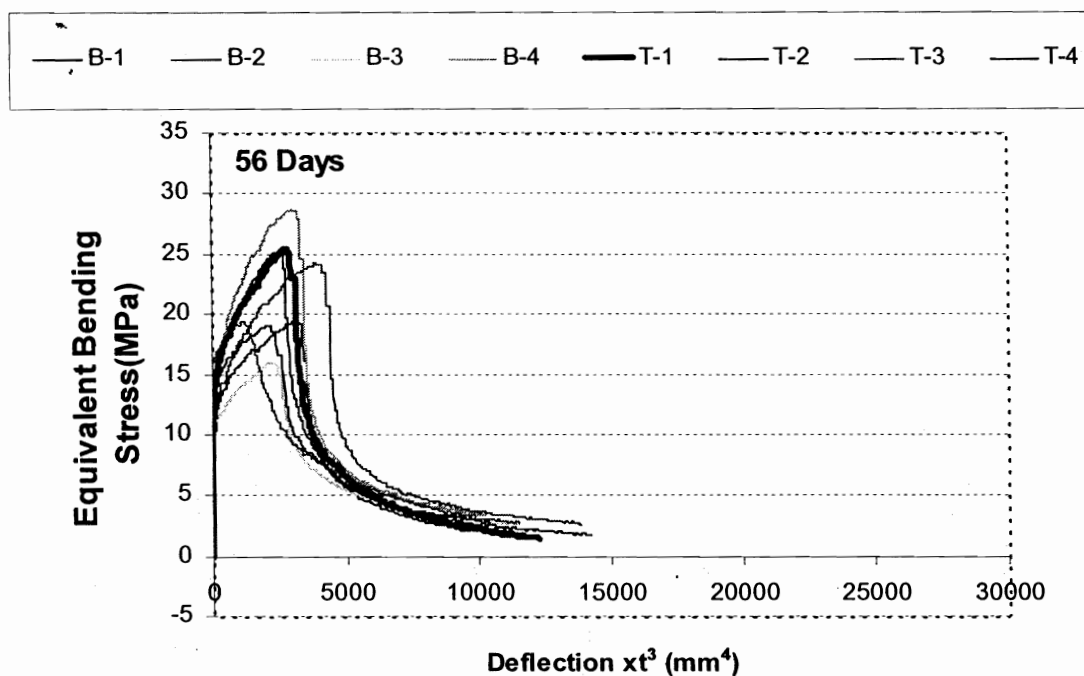
รูปที่ ค.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังคดเทียบกับ ระยะโก่งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 28 วัน



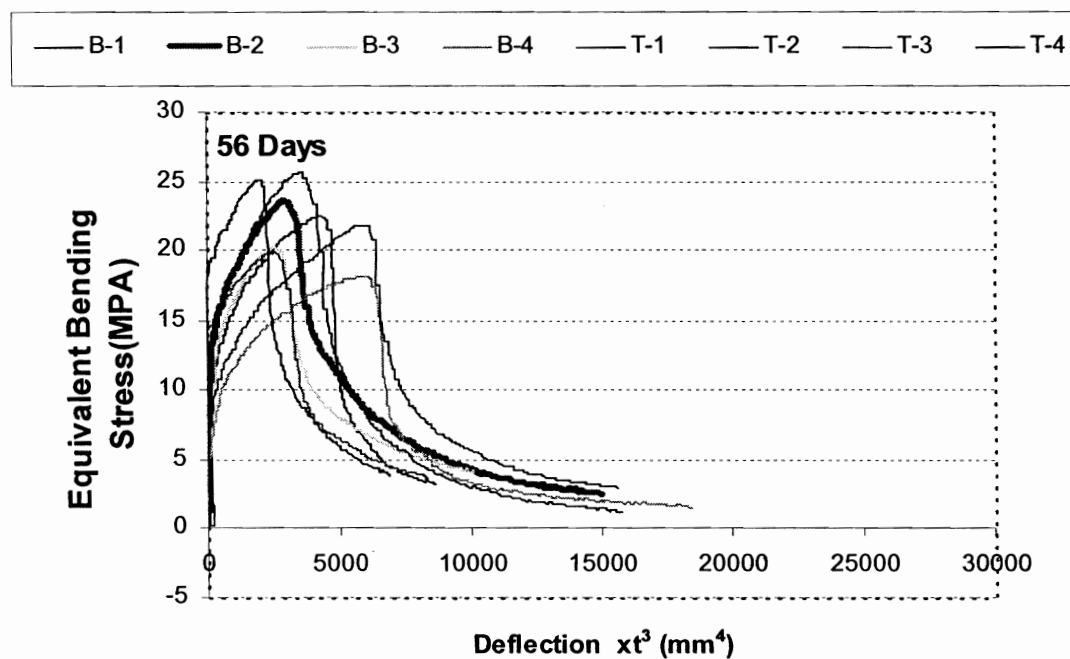
รูปที่ ค.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับ ค่าระยะ โกงตัว ของแผ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว ที่อายุ 56 วัน



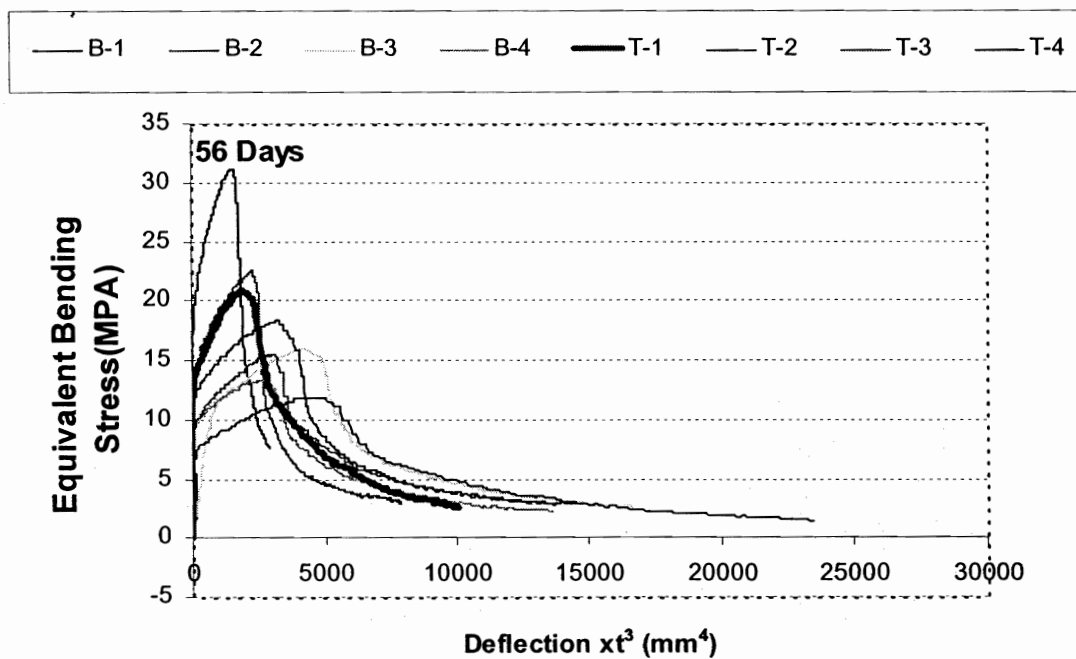
รูปที่ ค.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับ ค่าระยะ โกงตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปลาลำน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 56 วัน



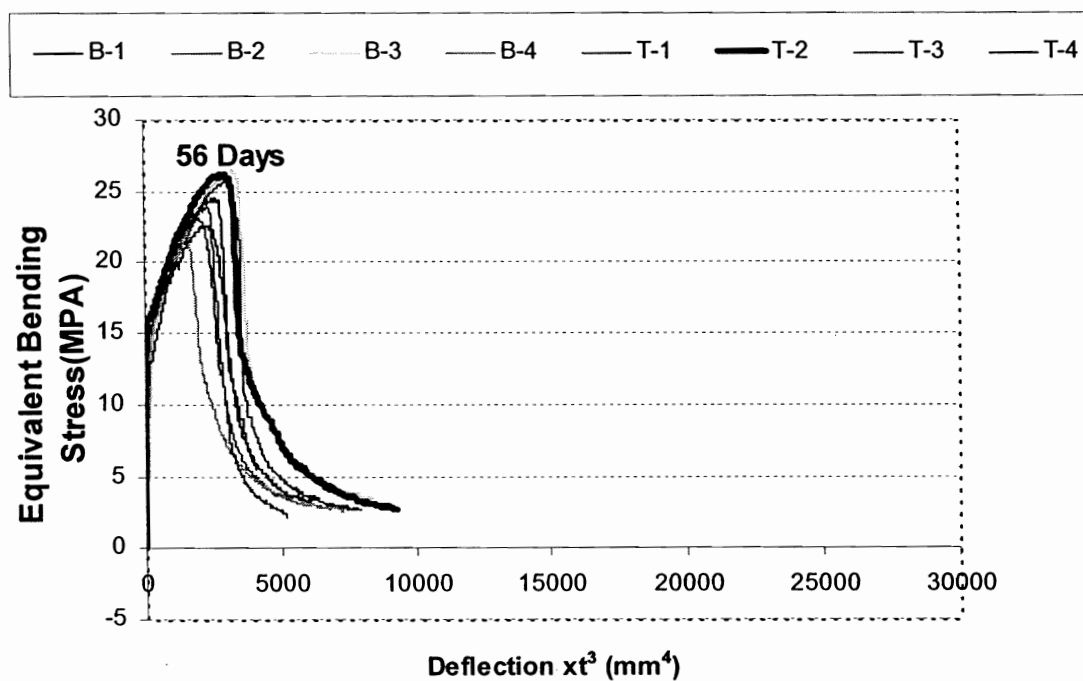
รูปที่ ค.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคดเทียบกับระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 56 วัน



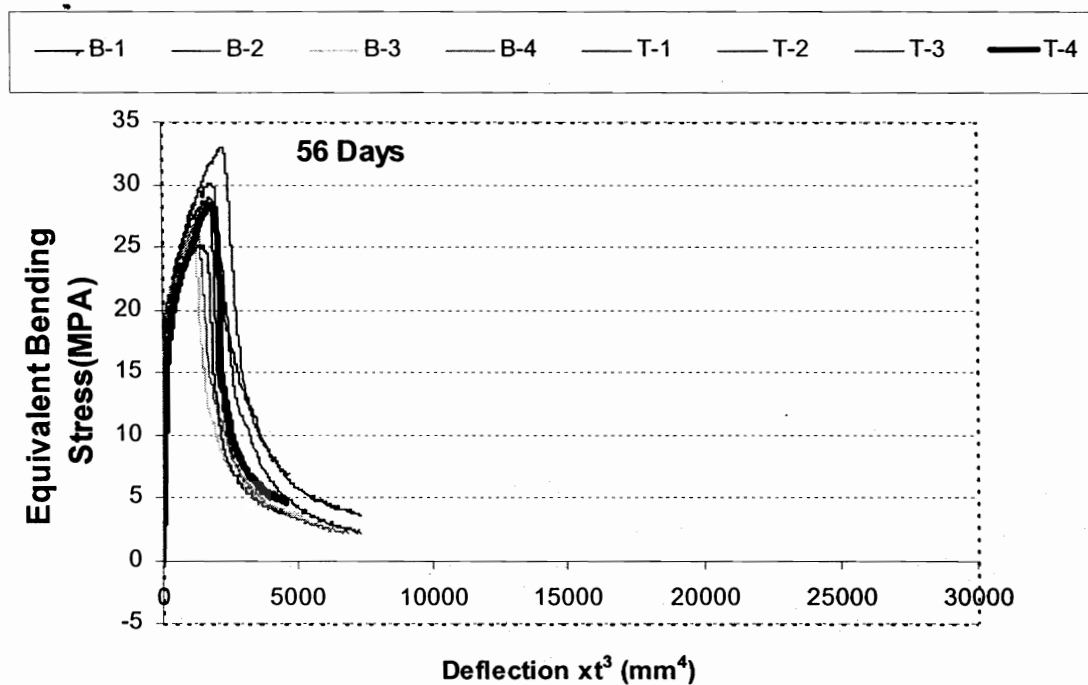
รูปที่ ค.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังคดเทียบกับระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 56 วัน



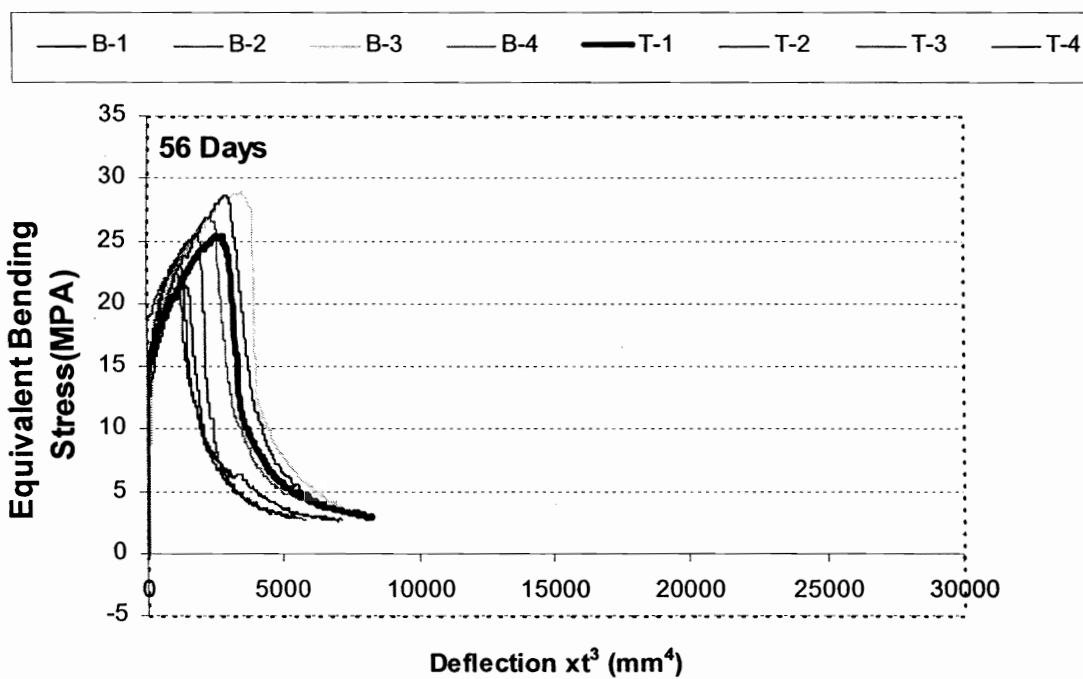
รูปที่ ค.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 56 วัน



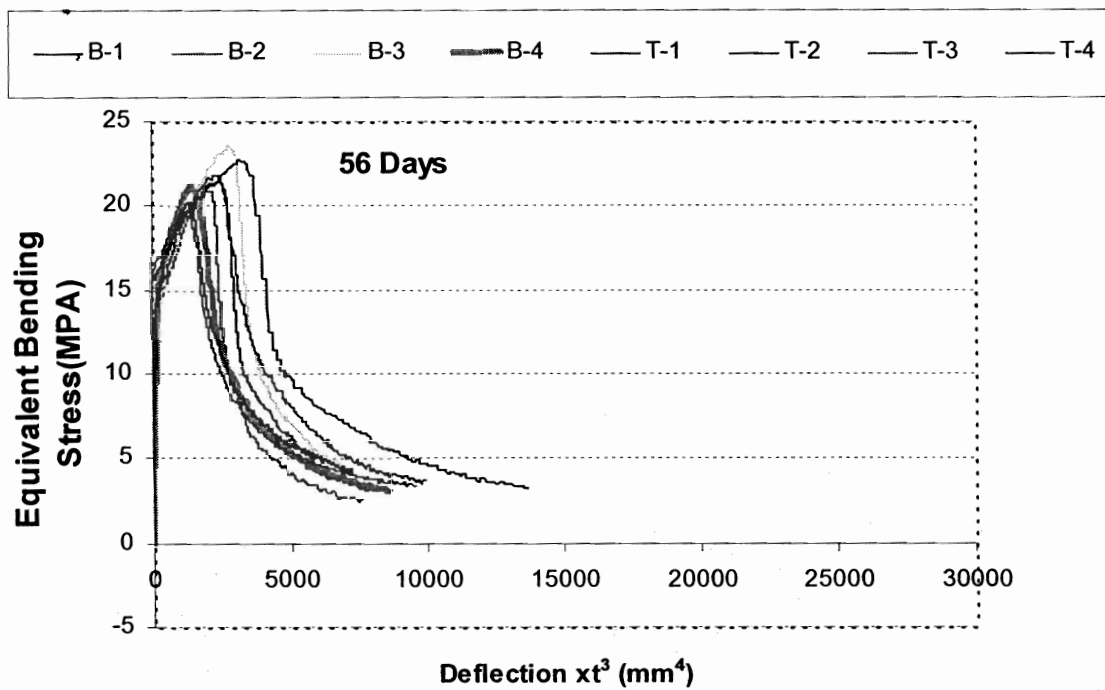
รูปที่ ค.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับระยะ โก่งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 56 วัน



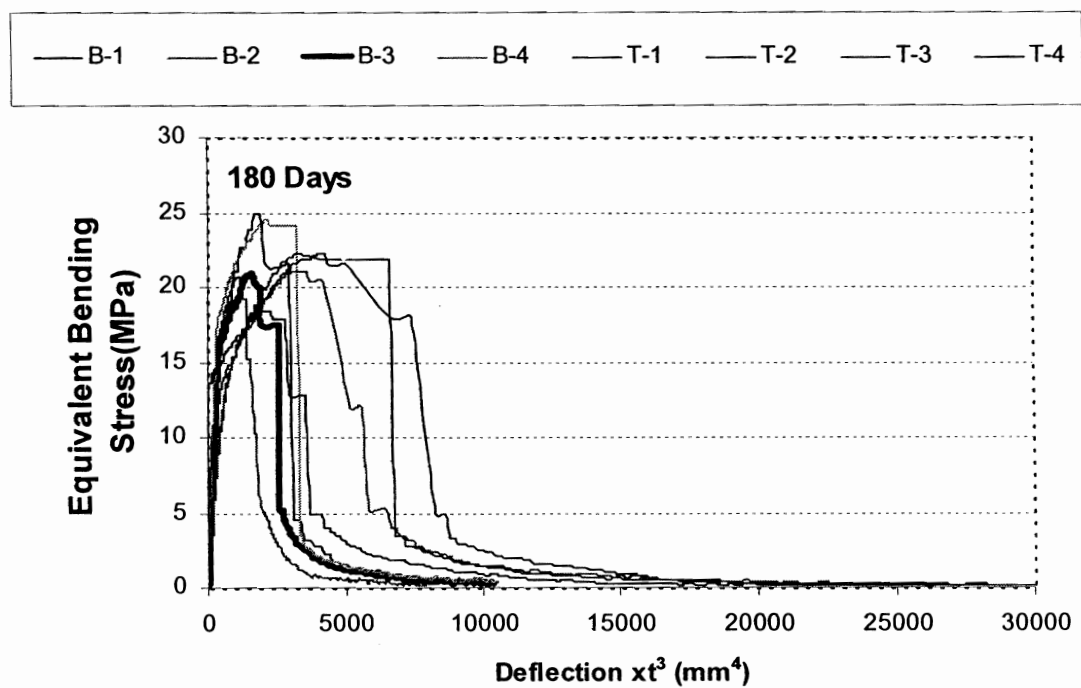
รูปที่ ค.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับระยะ โกงตัว ของคอนกรีตเสริม
เส้นใยแก้วผสมเส้นใยกลบอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 56 วัน



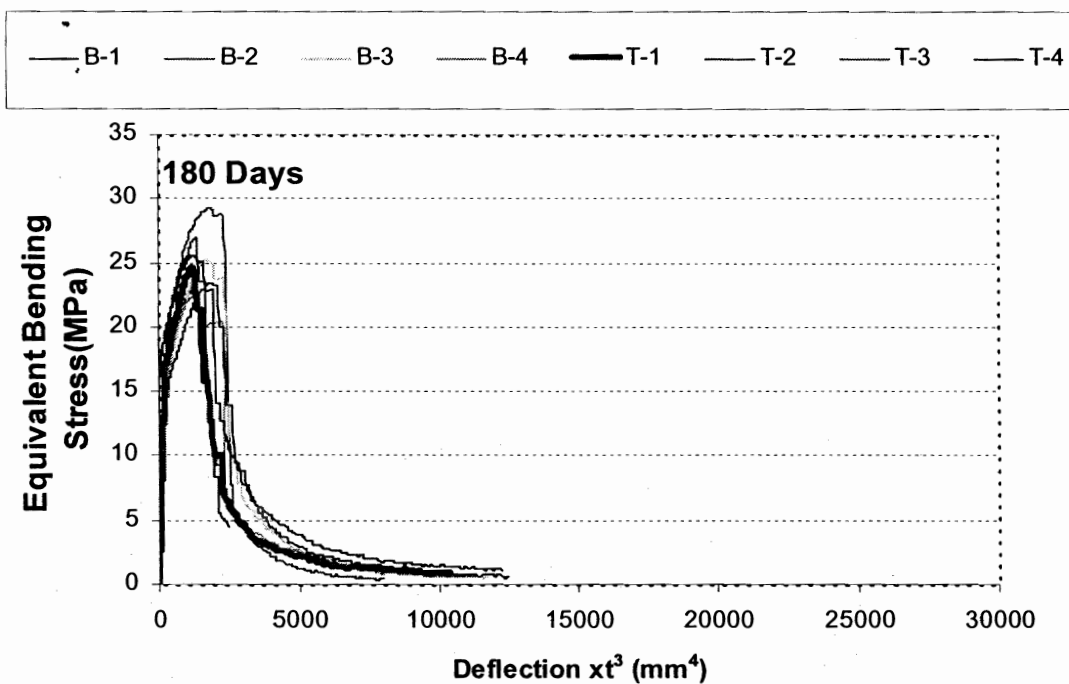
รูปที่ ค.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับ ระยะ โกงตัว ของคอนกรีตเสริม
เส้นใยแก้วผสมเส้นใยกลบอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 56 วัน



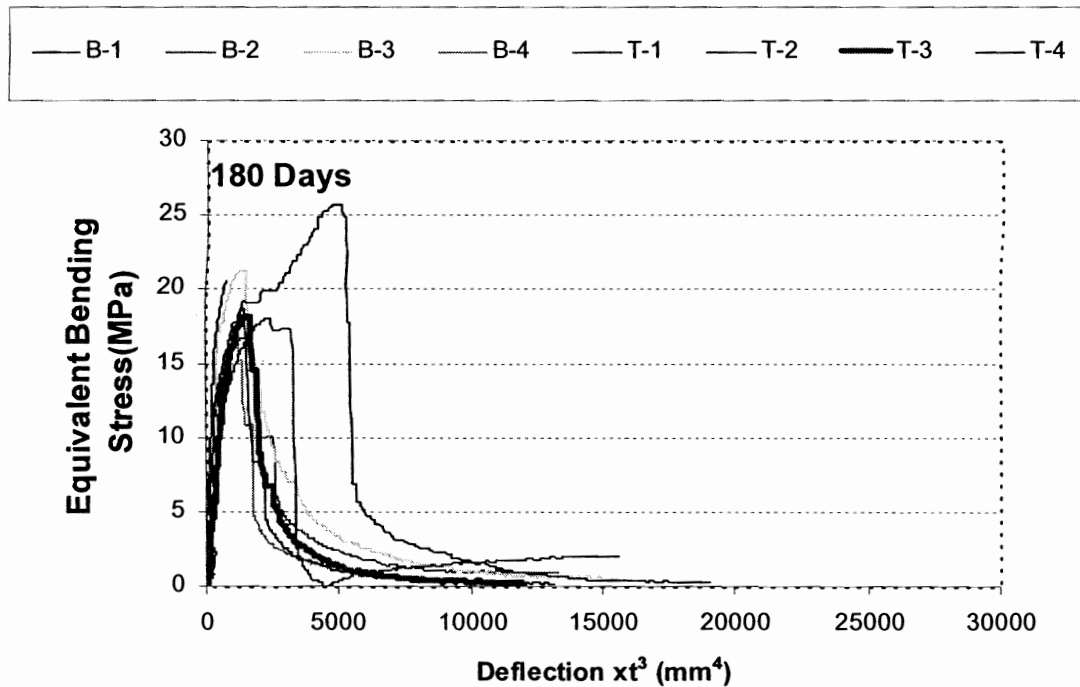
รูปที่ ค.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับ ระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริม
เส้นใยแก้วผสมเส้นใยคาร์บอนอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 56 วัน



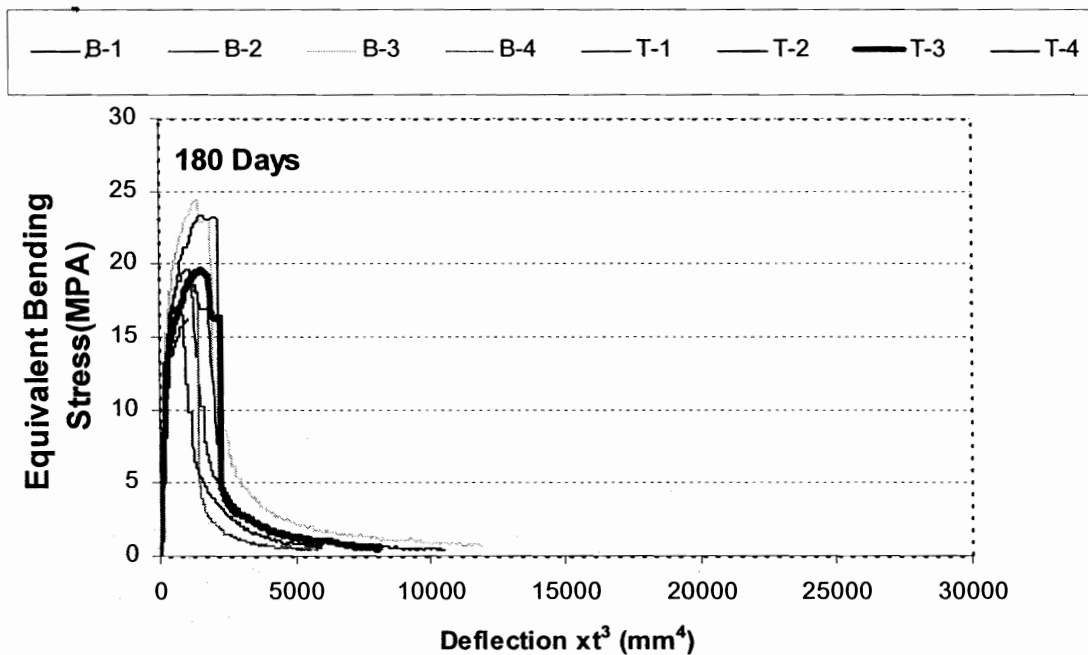
รูปที่ ค.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังดัดเทียบกับ ระยะโก่งตัวของแผ่นคอนกรีตเสริม
ใยแก้ว ที่อายุ 180 วัน



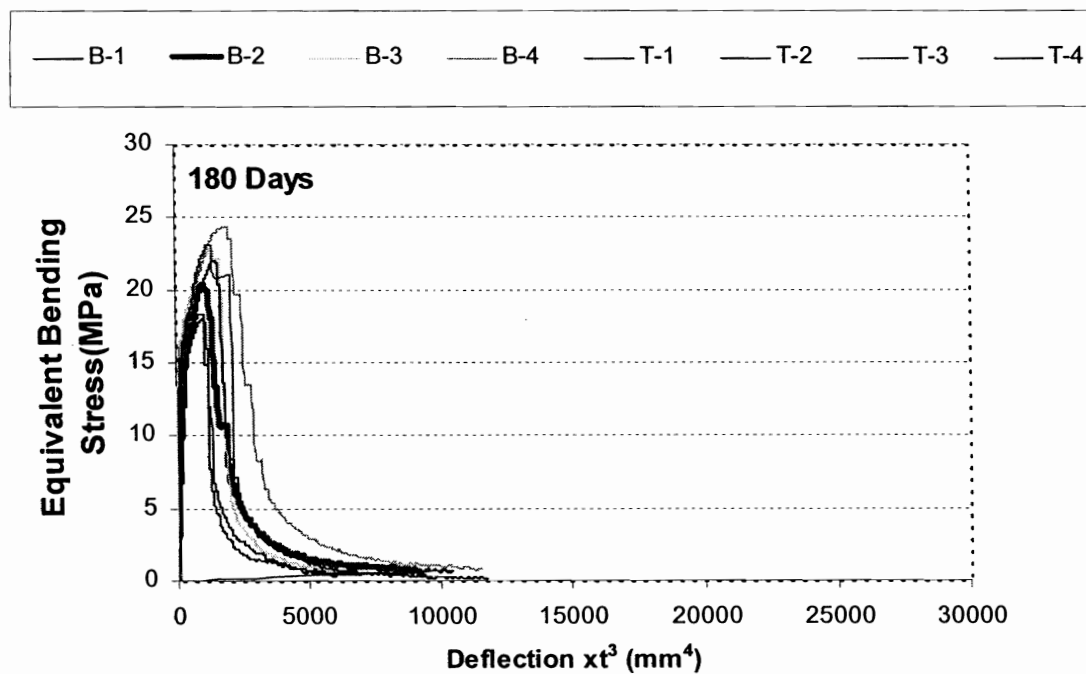
รูปที่ ค.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับค่า กับระยะ โกงตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใย แก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 180 วัน



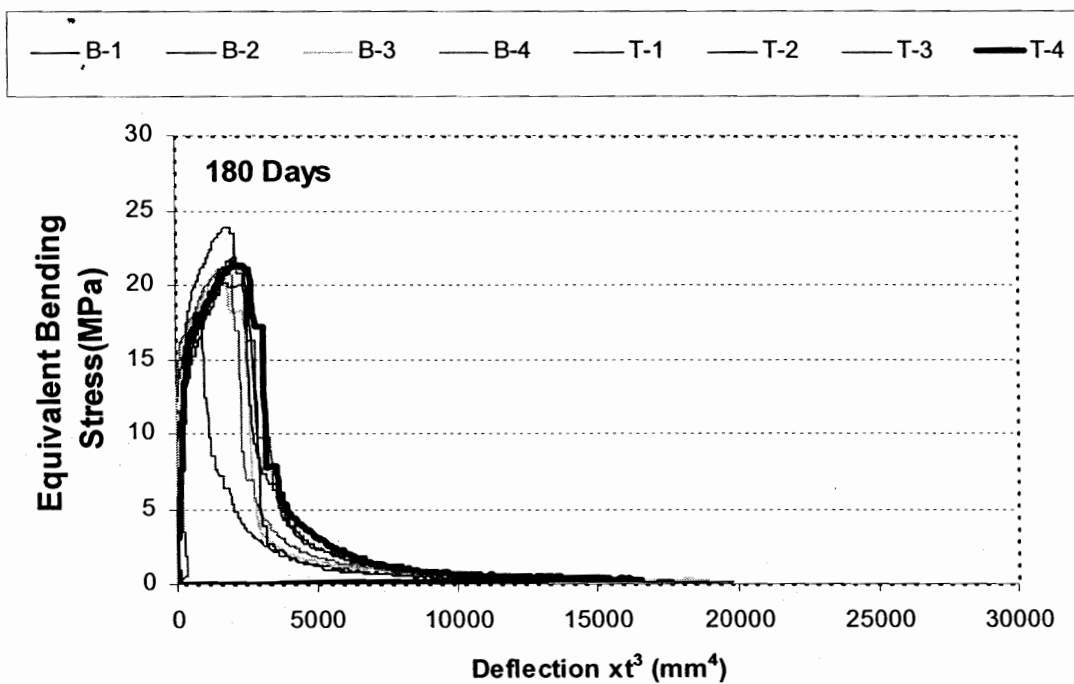
รูปที่ ค.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับค่า กับระยะ โกงตัว ของคอนกรีตเสริม เส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 180 วัน



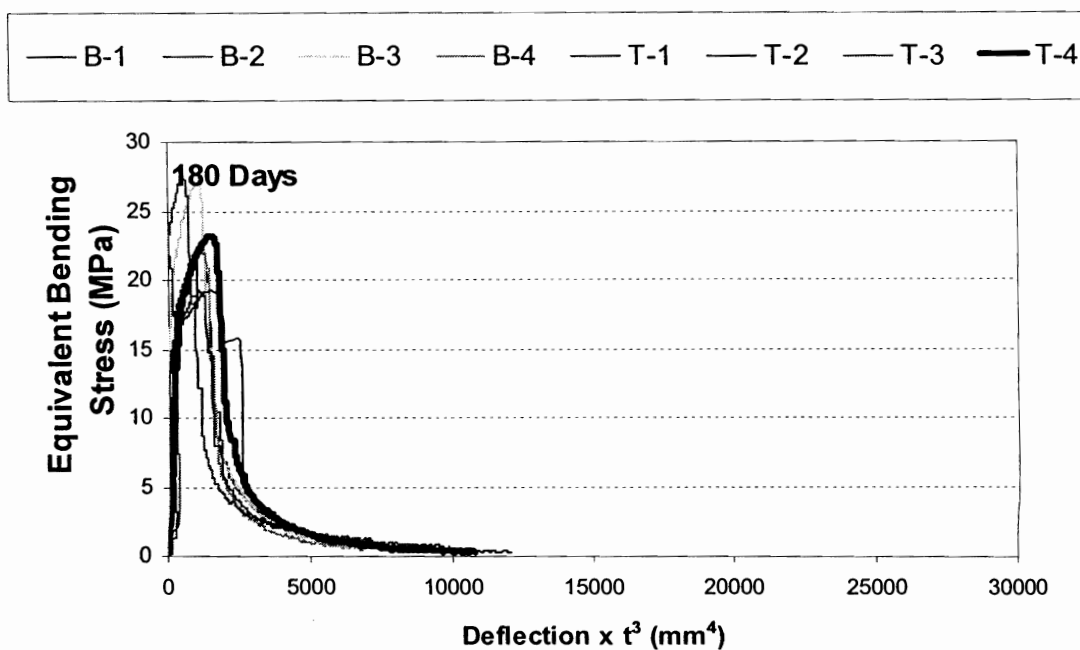
รูปที่ ค.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะโก่งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 180 วัน



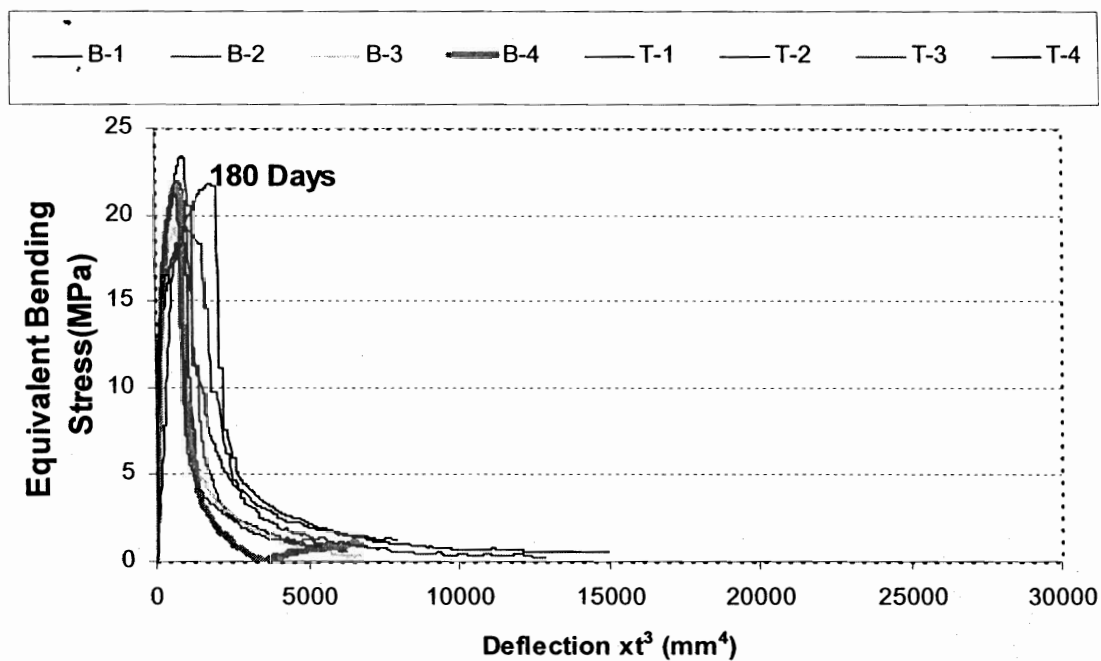
รูปที่ ค.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะโก่งตัว ของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเถ้าปาล์มน้ำมันอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 180 วัน



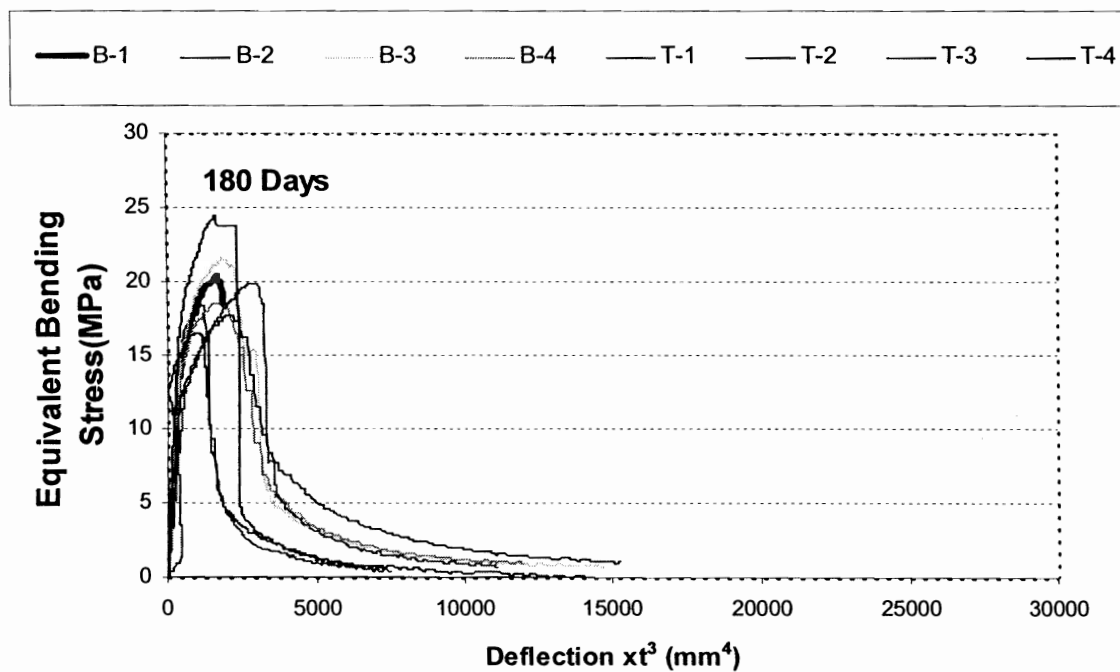
รูปที่ ค.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเส้นใยกลบอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 180 วัน



รูปที่ ค.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเส้นใยกลบอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 180 วัน



รูปที่ ค.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับ กระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเส้นใยกลบอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 180 วัน



รูปที่ ค.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดเทียบกับ กระยะโก่งตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วผสมเส้นใยกลบอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 180 วัน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นายสุวิทย์ เหล่ายัง

วัน-เดือน-ปีเกิด

12 กรกฎาคม 2505

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

มัธยมศึกษาปีที่ 3

โรงเรียนไชยาวิทยา พ.ศ.2522

ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี

พ.ศ. 2527

ระดับประกาศนียบัตรวิชาครูมัธยม

วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา

อุตสาหกรรม

วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ.2528

ระดับปริญญาตรี

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเพชรบุรี

พ.ศ. 2532

ระดับปริญญาโท

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ.2550

ประวัติการทำงาน

อาจารย์ 1 ระดับ 4 วิทยาลัยเทคนิคตรัง

พ.ศ. 2528 – 2535

ครู(คศ.2) วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี

พ.ศ. 2535 - ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2551

ข้าพเจ้า นายสุวิทย์ เหล่ายัง รหัสประจำตัว 49490214 เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี อยู่บ้านเลขที่ 23/148 หมู่ 2 ถนนกาญจนาภิเษก ตำบลบางกุ่ม อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี รหัสไปรษณีย์ 84000 ขอโอนลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รศ.ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ ตำแหน่งคณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่องอิทธิพลของเถ้าเฝือกปาล์มน้ำมันและเถ้าแกลบที่มีต่อกำลังและพฤติกรรมการรับโมเมนต์ดัดของแผ่นบางที่ทำจากคอนกรีตเสริมใยแก้ว ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ผศ.ดร. ชูชัย สุจิวรกุล ตามมาตรา 14 แห่ง พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่
4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน
5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญา ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปี นับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าวรวมถึงการจัดสรร

ผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้น โดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ.....ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นายสุวิทย์ เหล่ายัง)

ลงชื่อ.....ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(รศ.ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ)

ลงชื่อ.....พยาน
(ผศ.ดร.ชูชัย สุจิวรรกุล)

ลงชื่อ.....พยาน
(นางกิ่งแก้ว ผลตระกูล)