

การศึกษาสมบัติของแผ่นคอนกรีตที่เสริมแรงด้วย

เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

A STUDY OF CONCRETE FLAT SHEET PROPERTIES WHICH REINFORCED
BY GRP WASTE



จเร เขมกรรม
CHARE KHEMAKAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-617-7

ชพ.....

ชทะเบียน.....34728.....

ม, เดือน, ปี 29 S.A. 2542

วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY OF CONCRETE FLAT SHEET PROPERTIES WHICH REINFORCED
BY GRP WASTE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1999

ISBN 974-622-617-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาสมบัติของแผ่นคอนกรีตที่เสริมแรงด้วยเศษ
ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

นักศึกษา

นายจเร เขมกรรม

รหัสประจำตัว

39065108

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เคมีประยุกต์

พ.ศ.

2542

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.เมธิญชัย ไชยสิทธิ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ ในการนำเศษพลาสติกจากผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยใช้เป็นวัสดุผสมในกระบวนการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส ปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตโดยการผสมน้ำยาประสานคอนกรีต ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตทุก ๆ 1 เดือน เป็นเวลา 3 เดือน โดยการทดสอบจะอ้างอิงมาตรฐาน ASTM C 39-96, ASTM C 496-96, ASTM C 947-96 และ ASTM C 948-94

จากผลการทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมพบว่า เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดโตกว่า 4.75 มิลลิเมตร และใช้เป็นส่วนผสมในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้สมบัติในการเสริมแรงในคอนกรีตสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของการกำจัดกากของเสีย และความสะดวกในการใช้งานพบว่าสามารถที่จะเลือกใช้เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ไม่ได้คัดขนาดได้ แต่เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตรไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในคอนกรีต เมื่อทำการศึกษาปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตโดยการผสมน้ำยาประสานคอนกรีต สมบัติเชิงกลของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต และเมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้งานในระยะยาวพบว่า มีสมบัติเชิงกลที่ดีต่อการนำไปใช้งานในระยะยาวตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ 3 เดือน

Thesis Title	A Study of Concrete Flat Sheet Properties which Reinforced by GRP Waste
Student	Mr. Chare Khemakam
Student ID.	39065108
Degree	Master of Science
Programme	Applied Chemistry
Year	1999
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Pachernchai Chaivasith
Thesis Co-advisor	Assoc.Prof.Dr. Aree Wichianchai

ABSTRACT

The objective of this study was to find the possibility of using glass fiber reinforced plastic (GRP) waste to reinforce in glass fiber reinforced concrete (GRC) flat sheet manufacturing process. Bonding agent was added to improve the mechanical properties of GRC. These properties were then tested every month for 3 months. The testing methods were ASTM C 39-96, ASTM C 496-96, ASTM C 947-96 and ASTM C 948-94

It was found that the particle size which are greater than 4.75 millimeters and 2 percent of the weight of matrix gave the strongest reinforced property. When considered to either waste disposal or convenience, non sieved GRP can be used. But the particle size which are less than 4.75 millimeters were not suitable to be used as an aggregate in concrete. After using bonding agent to improve the mechanical properties, the mechanical properties were increased approximately 50 percent. The results of study of long term property for 3 months showed satisfaction mechanical properties.

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ศักดิ์ดา ไตรศักดิ์ ผศ.ดร. นิพนธ์ วงษ์วิเศษสิริกุล และผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัทฟรีเมียร์ โปรดักส์ จำกัด ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อวัสดุที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ

ขอกราบขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งขอขอบพระคุณ คุณสมบัติ เนตรสว่าง คุณมนิตย์ บุปผาชาติ คุณชัยยา อ่ำบุญ และคุณจ่ออ่อน ทุมอารมณ์ เจ้าหน้าที่วิศวกรรมโยธา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เคารพรักยิ่ง และขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อนสนิท มิตรสหายทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจอย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จเร เขมกรรรม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	7
2.2.1 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	7
2.2.2 กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	14
2.2.3 การจัดการขยะพลาสติก.....	18
2.2 คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	21
2.2.1 ส่วนประกอบของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	21
2.2.2 กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	31
2.2.3 การประยุกต์ใช้งานของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	35
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	35
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	35
3.2.1 ขั้นตอนเตรียมการ.....	36
3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	36
3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล.....	44
3.2.4 ขั้นตอนการสรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	44
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	45
4.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น.....	45
4.1.1 การทดสอบหาความชันเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า.....	45
4.1.2 การทดสอบหาการดูดซึมน้ำของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	46
4.2 ผลการทดสอบหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม.....	47
4.3 ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต.....	49
4.3.1 ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	49
4.3.2 ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	50
4.3.3 ความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	51
4.3.4 ความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	52
4.3.5 การดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	53
4.3.6 ความพรุนเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	54
4.3.7 การส่งผ่านความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส และแผ่นยิปซัม	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	57
5.2 สรุปต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	58
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	64
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	102
ภาคผนวก ค คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	108
ภาคผนวก ง รายชื่อและจำนวนโรงงานประเภท 32(2) เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2539.....	110
ภาคผนวก จ รูปภาพประกอบการทดลอง.....	115
ประวัติผู้เขียน.....	119

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงสถิติสะสมจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมประเภท 32(2) เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2539.....	2
1.2 แสดงปริมาณ และมูลค่าการส่งออกและการนำเข้าผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	2
1.3 แสดงปริมาณการบริโภค และการผลิตพลาสติกโลก.....	3
2.1 แสดงชนิดของขยะของแข็งที่ใช้เป็นมวลผสมในคอนกรีต.....	20
2.2 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	23
2.3 แสดงส่วนประกอบของใยแก้วประเภทต่าง ๆ.....	26
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดของคอนกรีต.....	28
2.5 แสดงการประยุกต์ใช้งานของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	32
5.1 แสดงสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	58
5.2 แสดงต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	59
ก.1 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของ GRP ที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร.....	64
ก.2 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของ GRP ที่ไม่ได้คัดขนาด.....	64
ก.3 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของ GRP ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร.....	64
ก.4 แสดงอัตราการกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ต้า.....	65
ก.5 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร.....	65
ก.6 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่ไม่ได้คัดขนาด.....	65
ก.7 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร.....	66
ก.8 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	67
ก.9 แสดงความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	68
ก.10 แสดงความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	69
ก.11 แสดงความหนาแน่นของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	70
ก.12 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.13 แสดงความพรุนของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	71
ก.14 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	72
ก.15 แสดงความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	73
ก.16 แสดงความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	74
ก.17 แสดงความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	75
ก.18 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	75
ก.19 แสดงความพรุนของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	76
ก. 20 แสดงการส่งผ่านความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส และแผ่นยิปซัม.....	77
ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย ของคอนกรีตที่วัสดุผสมมีขนาด และปริมาณต่าง ๆ กัน.....	102
ข. 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w	102
ข.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w	103
ข.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w.....	103
ข.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w.....	104
ข.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w	104
ข.7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w.....	105
ข.8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2 และ 6% w/w	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2 และ 6% w/w	106
ข.10 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความพรุนเฉลี่ย ของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2 และ 6% w/w	106
ข.11 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ย ของแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส และแผ่นยิปซัม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	107
ค.1 แสดงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	108
ค.2 แสดงคุณสมบัติของสารผสมเพิ่ม (น้ำยาประสานคอนกรีต : VIBOND EX)	108
ค.3 แสดงสัดส่วนขนาดผลของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส.....	109
ง.1 แสดงรายชื่อ และจำนวนโรงงานประเภท 32(2) เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2539.....	110



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงใยแก้วชนิดเส้นยาว (Roving).....	9
2.2 แสดงใยแก้วชนิดเส้นสั้น (Chopped Strand).....	10
2.3 แสดงใยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น (Chopped Strand Mat).....	10
2.4 แสดงใยแก้วชนิดผืนเส้นยาว (Continuous Strand Mat).....	11
2.5 แสดงใยแก้วชนิดผืนเส้นใยละเอียด (Surfacing Mat).....	11
2.6 แสดงใยแก้วชนิดผืนทอ (Fabrics).....	12
2.7 แสดงใยแก้วชนิดผืนทอเส้นยาว (Woven Roving).....	12
2.8 แสดงการผลิตแบบเหวี่ยง (Centrifuge Casting).....	16
2.9 แสดงการผลิตแบบดึงรีดแนวยาว (Continuous Pultrusion).....	17
2.10 แสดงการผลิตแบบแผ่น (Continuous Lamination).....	17
2.11 แสดงการลดปริมาณของเสียในโรงงาน.....	18
2.12 แสดงผลการป่นที่มีต่อกำลังของคอนกรีต.....	24
2.13 แสดงการเสริมแรงของใยแก้วในคอนกรีต.....	27
2.14 แสดงลักษณะการทำงานของพอลิเมอร์ในคอนกรีต.....	30
2.15 แสดงการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสโดยวิธีการพ่น.....	31
2.16 แสดงผนังอาคารขึ้นทรีลพลาซ่า.....	34
2.17 แสดงผนังกันทางด่วน.....	34
3.1 แสดงขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสม.....	38
3.2 แสดงขั้นตอนการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีต.....	39
3.3 แสดงขั้นตอนการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส.....	40
3.4 แสดงชุดการทดลองหาการส่งผ่านความร้อน.....	43
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ต้า.....	46
4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ GRP ขนาดต่าง ๆ.....	46
4.3 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่ไม่ได้ัดขนาด.....	48
4.5 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเศษ GRP ที่มีขนาดโตกว่า 4.5 มิลลิเมตร.....	48
4.6 แสดงความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	49
4.7 แสดงความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	50
4.8 แสดงความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	51
4.9 แสดงความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	52
4.10 แสดงการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	53
4.11 แสดงความพรุนเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต.....	54
4.12 แสดงการส่งผ่านความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส และแผ่นยิปซัม.....	55
ก.1 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 1 เดือน.....	79
ก.2 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 2 เดือน.....	81
ก.3 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 3 เดือน.....	83
ก.4 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 1 เดือน.....	85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.5 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 2 เดือน.....	87
ก.6 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีตอายุการบ่ม 3 เดือน.....	89
ก.7 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 1 เดือน.....	91
ก.8 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีตอายุการบ่ม 2 เดือน.....	93
ก.9 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีตอายุการบ่ม 3 เดือน.....	95
ก.10 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 1 เดือน.....	97
ก.11 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 2 เดือน.....	99
ก.12 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 3 เดือน.....	101
จ.1 แสดงผลผลิตกัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในงานวิจัย.....	115
จ.2 แสดงสารผสมเพิ่ม (น้ำยาประสานคอนกรีต : VIBOND EX) ที่ใช้ในงานวิจัย.....	115
จ.3 แสดงแท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง.....	116
จ.4 แสดงแผ่นคอนกรีตสำหรับทดสอบความต้านทานแรงดัด ความหนาแน่น ความพรุน การดูดซึมน้ำ และการส่งผ่านความร้อน.....	116
จ.5 แสดงชุดการทดลองการส่งผ่านความร้อนของตัวอย่างคอนกรีต.....	117
จ.6 แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด.....	117
จ.7 แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง.....	118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วทั้งรูปแบบและปริมาณการผลิต เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์พลาสติกจึงเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้น และได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษหลายอย่าง เช่น ทนต่อการผุกร่อน น้ำหนักเบา เป็นต้น แต่พลาสติกก็ยังขาดคุณสมบัติด้านความแข็งแรงในการใช้งาน พลาสติกเสริมแรง (Reinforced Plastic) หรือผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส (Glass Fiber Reinforced Plastic : GRP) จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงให้กับพลาสติก โดยการใช้วัสดุเส้นใยที่มีความแข็งแรงและเหนียว ซึ่งมีอยู่หลายชนิดตามลักษณะการใช้งาน เช่น โยหิน โยแก้ว เป็นต้น แต่ชนิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดก็คือ โยแก้ว (Fiber Glass) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสม คือ น้ำหนักเบา ทนต่อการผุกร่อน สามารถรับน้ำหนัก รับแรงกระแทก และขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท ทั้งยังเป็นฉนวนไฟฟ้าและฉนวนความร้อนที่ดีอีกด้วย

อุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส เป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากต้นทุนในการผลิตต่ำ ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถทำเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนได้ ทำรายได้รวมปีละกว่า 650 ล้านบาท โดยในระยะแรกนิยมผลิตเป็นเรือเร็ว อ่างอาบน้ำ เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น และที่กำลังได้รับความสนใจในขณะนี้คือ ถังน้ำพิกัดและถังส้วมไฟเบอร์กลาส จากข้อมูลรายการขึ้นทะเบียนโรงงานตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 พบว่าจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือรองเท้าน้ำจากใยแก้วเมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2539 มีจำนวนทั้งสิ้น 38 โรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูง จึงได้รับความนิยมในการใช้อย่างแพร่หลาย สำหรับประเทศไทยมีอัตราการบริโภคผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสโดยเฉลี่ย 90 กรัมต่อคน และการบริโภคมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นปีละ 15 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณความต้องการในการบริโภคที่มีเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นสูงตามไปด้วย ของเสียส่วนใหญ่เกิดมาจากการกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ในแต่ละปีจะมีของเสียที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการผลิตทั่วโลกถึง 4.3 ล้านตัน และของเสียที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพจากการใช้งานมีปริมาณมากกว่า 3 ล้านตัน [1]

ตารางที่ 1.1 แสดงสถิติสะสมจำนวนโรงงานอุตสาหกรรม ประเภท 32(2) เมื่อสิ้นสุดปี พ.ศ. 2539

ปี พ.ศ.	จำนวนโรงงาน (โรง)	เงินทุน (ล้านบาท)	คนงาน (คน)
2530	1	-	5
2531	2	1	30
2532	2	1	30
2533	4	57	108
2534	4	57	108
2535	6	59	303
2536	18	363	761
2537	23	474	1,013
2538	30	563	1,133
2539	38	802	1,659

ที่มา : กองควบคุมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม [2]

หมายเหตุ : โรงงานประเภท 32(2) คือ โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีใช้เครื่อง
แต่งกายหรือรองเท้าจากใยแก้ว

ตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณ และมูลค่าการส่งออกและการนำเข้าผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

ปี พ.ศ.	การส่งออก		การนำเข้า	
	ปริมาณ (kg)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (kg)	มูลค่า (ล้านบาท)
2534	385	25,671,692	5,884	589,268,389
2535	762	41,164,679	1,770	703,268,330
2536	1,809	44,825,980	8,192	661,001,199
2537	788	52,251,240	12,488	828,640,069
2538	1,317	117,109,494	11,774	1,047,688,987

ที่มา : กรมศุลกากร [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัทฟรีโดเนีย กรุ๊ป ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ศึกษาแนวโน้มของอุตสาหกรรมพลาสติกโลก โดยการศึกษาจะแยกทำเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นปริมาณการบริโภค และปริมาณการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 1.3 จากตารางจะเห็นว่าปริมาณการใช้พลาสติกในปี ค.ศ.1997 มีความต้องการใช้ถึง 119 ล้านเมตริกตัน ในด้านปริมาณการผลิตในปี ค.ศ.1997 มีผลผลิตรวม 124 ล้านเมตริกตัน

ตารางที่ 1.3 แสดงปริมาณการบริโภค และการผลิตพลาสติกโลก

ชนิด	ปริมาณรวม (ล้านเมตริกตัน)		
	ปี ค.ศ.1982	ปี ค.ศ.1992	ปี ค.ศ.1997
1. การบริโภคพลาสติกของโลก	61.256	98.094	118.600
- ยอดส่งออกสุทธิ	2.274	5.517	5.450
2. การผลิตพลาสติกของโลก	63.530	103.611	124.050
- โพลีเอทิลีน (PE)	18.273	31.529	37.950
- โพลีโพรพิลีน (PP)	5.428	13.869	17.850
- โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)	11.463	17.794	21.270
- โพลิสไตรีน (PS)	5.520	9.055	10.635
- เทอร์โมพลาสติกอื่น ๆ	8.881	14.251	17.060
- เทอร์โมเซตติงพลาสติก	13.965	17.113	19.285

ที่มา : ดาวรักษ์ ดิษยนันท์ [4]

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าใยแก้วเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทนต่อการผุกร่อน รับน้ำหนักและแรงกระแทกได้ดี จึงทำให้มีการใช้ใยแก้วในการเสริมแรงอย่างกว้างขวาง ไม่เพียงแต่จะใช้เสริมแรงในพลาสติกเท่านั้น แต่ยังมีการใช้เสริมแรงในคอนกรีตอีกด้วย ซึ่งเรียกว่า คอนกรีตเสริมใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Concrete : GRC) คอนกรีตที่เสริมแรงด้วยใยแก้วจะมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตที่เสริมแรงด้วยเหล็ก สามารถนำไปใช้ในงานชลประทาน ถนน ท่อระบายน้ำ กระถางต้นไม้ ลวดลายตกแต่งภายในและภายนอกได้ นอกจากนี้คอนกรีตเสริมใยแก้วยังสามารถทนไฟได้ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ดูดซับเสียงและรับแรงกระแทกได้มาก การนำใยแก้วมาใช้เสริมแรงในคอนกรีตได้มีศึกษาและพัฒนากันอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการเสริมแรงดีขึ้น และสามารถนำไปใช้งานในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นมักจะทำในรูปของการกองทิ้งหรือการฝังกลบ ทำให้เกิดการสูญเสียของพื้นที่ใช้สอย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ยาก นอกจากนี้ยังพบการกำจัดในรูปของการเผา ถ้าเป็นการเผาทั้งกลางแจ้งหรือเผาในเตาเผาที่มีระบบการควบคุมที่ไม่ดีพอ อาจจะทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้ เช่น การเผาพลาสติกประเภทพีวีซี (PVC) จะได้ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะได้เป็นกรดไฮโดรคลอริก การเผาโฟมที่มีคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) เป็นองค์ประกอบจะได้ก๊าซพิษ เช่น คลอรีน ฟลูออรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ และฟอสฟีน [5]

ด้วยเหตุผลและหลักการดังกล่าวข้างต้นนี้ จึงเป็นแนวทางสำคัญในการนำไปสู่การศึกษาการนำเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่เกิดจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในคอนกรีต ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในหลักการนำของเสียจากอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ นอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณของเสีย และค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียแล้ว ยังช่วยรักษาสภาพแวดล้อมอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสกลับมาใช้ใหม่
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานในระยะยาว
- 1.2.4 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ขนาดของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีด้วยกัน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร ไม่คัดขนาด และขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร

1.3.2 การหาส่วนผสมที่เหมาะสมของคอนกรีต ทำโดยการผสมปูนซีเมนต์ตราช้างทราย น้ำ และเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสในอัตราส่วนระหว่าง 0-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทดสอบและเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากความความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)

1.3.3 การปรับปรุงสมบัติของคอนกรีต จะทำการปรับปรุงโดยใช้น้ำยาประสานคอนกรีต

1.3.4 การผลิตและทดสอบแผ่นคอนกรีตซึ่งมีขนาด 25x25x1 เซนติเมตร จะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 947-96 และ ASTM C 948-94

1.3.6 การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรม ทำโดยการพิจารณาสมบัติของคอนกรีตที่ได้ และต้นทุนที่ใช้ในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bentur, A. [6] ได้ทำการศึกษาความแตกต่างของส่วนผสมในปูนซีเมนต์ ที่มีผลต่อสมบัติของซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาส โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผสมด้วยซีเถ้าลอย (Fly Ash) อัตราส่วนผสมของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.35 และบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากการศึกษาโดยใช้เครื่องสแกนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope : SEM) พบว่ามีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นกับใยแก้ว ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาสเปราะ ส่วนซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาสที่ขึ้นผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าลอย จะมีความแข็งแรง (Strength) มากกว่า เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ใยแก้วจะถูกขัดขวางโดยซีเถ้าลอยที่ผสมอยู่ในปูนซีเมนต์

Cao, Y.K. [7] ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้ซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาส เป็นวัสดุก่อสร้างที่รับน้ำหนักได้ (Load Bearing Member) โดยใช้ซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาสที่ผลิตจากใยแก้วชนิดทนด่างได้ (AR-Glass Fiber) และปูนซีเมนต์ชนิดด่างต่ำ (Low Alkalinity) การบ่มตัวอย่างจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกจะบ่มโดยการแช่ไว้ในน้ำเป็นเวลา 1 เดือน แล้วจึงนำออกมาบ่มต่อในอากาศ ส่วนกลุ่มที่ 2 บ่มในสภาวะเร่ง (Accelerated Aging) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบพบว่าความสามารถในการรับแรงดัด (Bending Load) ของตัวอย่างที่บ่มไว้ 5 ปี (ทั้งในน้ำและอากาศ) มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับในช่วง 1 เดือนแรก จึงกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากใยแก้วชนิดทนด่างกับปูนซีเมนต์ชนิดด่างต่ำ สามารถที่จะใช้เป็นวัสดุก่อสร้างที่รับน้ำหนักได้

Daniel, J. I. และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาสมบัติในการนำไปใช้งานในระยะยาวของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส โดยใช้ตัวอย่างที่ทำจากใยแก้วชนิดทนด่างได้ และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I ทำการแช่ตัวอย่างไว้ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส และเก็บไว้ในอากาศเป็นเวลา 10 ปี พบว่าตัวอย่างคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสที่แช่ไว้ในน้ำ จะมีการสูญเสียความแข็งแรงเร็วกว่าตัวอย่างที่เก็บไว้ในอากาศ

Fyles, K. และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาส่วนผสมของใยแก้วชนิดที่ทนต่างได้ ที่มีผลต่อการเสริมแรงในซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาส โดยการทดลองผสมสารชนิดต่าง ๆ ร่วมกับไซโคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) ได้แก่ ลิเทียมออกไซด์ (Li_2O) โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) สตรอนเทียมออกไซด์ (SrO) แบเรียมออกไซด์ (BaO) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) นิกเกิลออกไซด์ (NiO) แมงกานีสออกไซด์ (MnO) เหล็กออกไซด์ (FeO) ซีลีเนียมออกไซด์ (CeO_2) โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ตะกั่วออกไซด์ (PbO) สังกะสีออกไซด์ (SnO_2) และแลนทาเนียมออกไซด์ (La_2O_3) จากการศึกษาพบว่าสารเหล่านี้ไม่ได้ช่วยเพิ่มความคงทนให้กับซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาส และถ้าใช้สารเหล่านี้แทนไซโคเนียมออกไซด์จะทำให้คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสมีความคงทนลดลง

Jaras, A. C. และคณะ [10] ได้ศึกษาโครงสร้างขนาดเล็ก (Microstructure) ของซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาส ตัวอย่างของซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาสที่ใช้ศึกษาผลิตมาจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดธรรมดา และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดแข็งตัวเร็ว ใยแก้วที่ใช้เป็นชนิดธรรมดา และชนิดที่ทนต่างจากการศึกษาทางไมโครสโคป (Microscope) พบว่าโครงสร้างของเมทริกซ์มีการเปลี่ยนแปลง โดยที่ช่องว่างของเมทริกซ์ และมัดของใยแก้วจะถูกแทรกด้วยผลึกของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และเกิดเป็นพันธะขึ้น ส่วนการกัดกร่อนที่ผิวของไฟเบอร์กลาสก็เกิดขึ้นด้วยเช่นกันขึ้นอยู่กับชนิดของใยแก้ว และสภาวะที่เก็บตัวอย่าง ตัวอย่างที่ผลิตจากใยแก้วชนิดธรรมดา จะเกิดการกัดกร่อนเร็วกว่าตัวอย่างที่ผลิตจากใยแก้วชนิดที่ทนต่างได้

Shah, S. P. และคณะ [11] ได้ศึกษาสมบัติในการนำไปใช้งานในระยะยาวของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส โดยศึกษาการสูญเสียความแข็งแรง (Strength) และความอ่อนตัว (Ductility) หลังจากที่ใช้ตัวอย่างที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I กับ ใยแก้วชนิดทนต่างได้ และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I กับ ใยแก้วชนิดธรรมดา (E-Glass Fiber) ในสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 52 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าการสูญเสียความแข็งแรง เนื่องจากการเสื่อมสภาพของใยแก้วในคอนกรีตที่มีสภาพความเป็นด่างสูง ($pH \geq 12.5$)

Yang, R. [12] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของใยแก้วชนิดทนต่างได้ ที่ใช้ในปูนซีเมนต์ชนิดต่างด้า และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดธรรมดา ใยแก้วที่ใช้มีความยาว 44 มิลลิเมตร และใช้ในปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 2 : 1 และอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.32 หลังจากตีบ่มแผ่นซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาสในอากาศเป็นเวลา 28 วัน แล้วทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่ามีการกัดกร่อน (Corrosion) ของใยแก้วในปูนซีเมนต์ชนิดต่างด้า น้อยกว่าในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดธรรมดา เนื่องจากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีน้อยกว่า ดังนั้นความคงทน (Durability) ของซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาสที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ชนิดต่างด้า จะสูงกว่าที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส (Glass Fiber Reinforced Plastic : GRP)

ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเป็นพลาสติกเสริมแรงที่ได้ปรับปรุงขึ้น โดยการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติทั้งเหนียวและแข็งแรงมาเสริมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพลาสติก วัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาเสริมแรงให้กับพลาสติก คือ โยแก้ว ซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่มแต่เหนียว ทนการผุกร่อน และทนความร้อน ส่วนพลาสติกที่ใช้เป็นเนื้อเป็นชนิดที่มีความแข็งแรงสูง ที่นิยมใช้กันคือ พลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting) ได้แก่ พอลิเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin) ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลว เมื่อผสมกับตัวทำปฏิกิริยา (Catalyst) จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า พอลิเมอไรเซชัน (Polymerisation) แล้วเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง และไม่สามารถคืนรูปได้อีก ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นโดยใช้วิธีการดังกล่าวนี้จะเรียกว่า ผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงด้วยโยแก้ว ซึ่งเรียกง่าย ๆ ว่า ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส [13]

2.2.1 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส (Constituent Material of GRP)

ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทหนึ่ง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเทอร์โมเซตติงพลาสติก ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้

2.2.1.1 พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin)

เกิดจากการรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ (Condensation Polymerization) ของสารประกอบประเภทไกลคอล (Glycol) และไดเบสิกแอซิด (Dibasic Acid) สามารถแบ่งชนิดของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวตามลักษณะการใช้งาน ได้เป็น 7 ประเภท คือ [14]

1) ประเภทใช้งานทั่วไป (General Purpose)

เรซินชนิดนี้เตรียมได้จากเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ของพาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic Anhydride) กับโพรพิลีนไกลคอล (Propylene Glycol) การใช้งานของเรซินชนิดนี้มีอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการผลิตถาด (Tray) ถังน้ำ (Water Tank) และ เรือ (Boat) เป็นต้น

2) ประเภทหดตัวต่ำ (Low Shrinkage)

เนื่องจากความแตกต่างของการหดตัวระหว่างเรซินและไฟเบอร์กลาส จะทำให้เกิดรอยยุบตัว (Sink Mark) ที่ผิวของแบบ การใช้เรซินชนิดนี้จะสามารถช่วยลดปัญหานี้ได้ ทำให้ไม่ต้องขัดผิวให้เรียบก่อนที่จะทาสี

3) ประเภทดัดโค้งได้ (Flexible)

การใช้ไดเบสิกแอซิดชนิดโซ่ตรง เช่น อะดิพิกแอซิด (Adipic Acid) หรือซีเบสิกแอซิด (Sebacic Acid) แทนพาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic Anhydride) จะทำให้พอลีเอสเตอร์เรซินที่ได้มีความอ่อนตัวและโค้งงอได้มากกว่าชนิดใช้งานทั่วไป การใช้ไดเอทิลีน (Diethylene) หรือไดโพรพิลีนไกลคอล (Dipropylene Glycol) แทนโพรพิลีนไกลคอล จะทำให้การโค้งงอดีขึ้นและทำให้การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำได้ง่ายขึ้น เรซินชนิดนี้นิยมใช้ในการผลิตเฟรมิเจอร์และกรอบรูป (Picture Frame)

4) ประเภทยืดหยุ่นได้ (Resilient)

เรซินชนิดนี้ถูกจัดอยู่ระหว่างชนิดใช้งานทั่วไปและดัดโค้งได้ การผลิตเรซินชนิดนี้จะใช้ไอโซพาทาลิกแอซิด (Isophthalic Acid) แทนพาทาลิกแอนไฮไดรด์ เรซินชนิดนี้มักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความเหนียวสูง เช่น ลูกโบว์ลิ่ง (Bowling Ball) หมวกนิรภัย (Safety Helmet) เป็นต้น

5) ประเภททนต่อสารเคมี (Chemical Resistance)

ความต้านทานต่อต่างของพอลีเอสเตอร์เรซินนับได้ว่ามีความสำคัญ โครงข่ายของเอสเทอร์ (Ester Linkage) จะขึ้นอยู่กับการไฮโดรไลซ์ (Hydrolyze) ในสภาวะต่าง ดังนั้นเรซินชนิดนี้จึงประกอบด้วยบิสไกลคอล (Bis-Glycol) หรือ ไฮโดรจีเนเตดไบฟีนอลเอ (Hydrogenated Biphenol A) ซึ่งจะมีโครงข่ายเอสเทอร์มากกว่าเรซินชนิดใช้งานทั่วไป เรซินชนิดนี้จะใช้ในการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตสารเคมี (Chemical Processing Equipment) เช่น ตู้ควัน (Fume Hood) หลอดทำปฏิกิริยา (Reaction Vessels) แทงค์ (Tank) และท่อ (Pipe) เป็นต้น

6) ประเภททนไฟ (Fire Resistance)

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่เสริมแรง หรือเคลือบด้วยพอลีเอสเตอร์ธรรมดาสามารถติดไฟได้ ความต้านทานการติดไฟจะดีขึ้น ถ้าใช้ฮาโลจีเนเตดไดเบสิกแอซิด (Halogenated Dibasic Acid) เช่น เตตระคลอโรพาทาลิก (Tetrachlorophthalic) หรือ คลอเรนดิก (Chlorendic) แทนพาทาลิกแอนไฮไดรด์ นอกจากนี้การต้านทานการติดไฟสามารถทำได้โดยการเติมสารหน่วงการติดไฟ (Flame Retarder Additive) เช่น ฟอสเฟตเอสเทอร์ (Phosphate Ester) และแอนติโมนีออกไซด์ (Antimony Oxide) เรซินชนิดนี้มักใช้ในการผลิตตู้ควัน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electrical Equipment) และ แผ่นผนังก่อสร้าง (Building Panel)

7) ปรเภททนต่อแสงแดด (Weather Resistance)

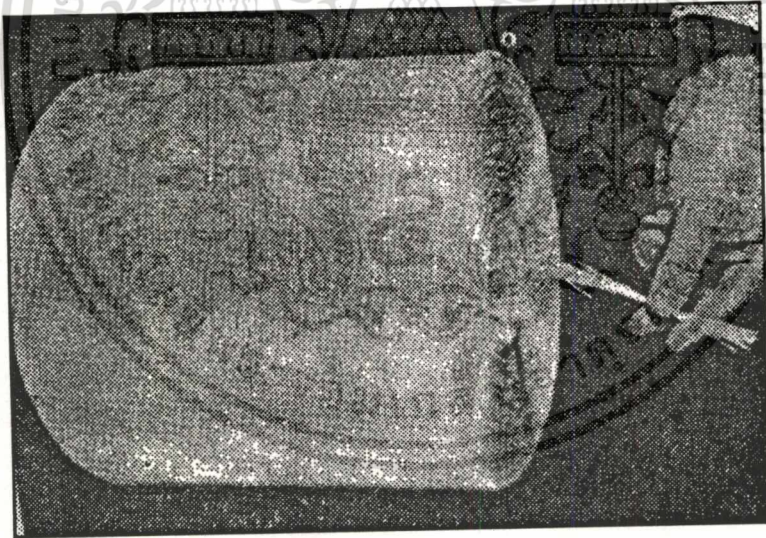
เรซินชนิดนี้ผลิตเพื่อต้านทานต่อแสงแดด โดยการทำให้เกิดเป็นสารประกอบกับตัวดูดซึม (Absorber) ที่สามารถดูดซึมแสงยูวี (Ultraviolet Light) ได้ เรซินชนิดนี้นิยมใช้ในการทำเจลโค้ทแผ่นตกแต่งภายนอกอาคาร (Outdoor Structural Panel) และ ช่องรับแสงสว่าง (Skylight)

2.2.1.2 โยแก้ว (Fiber Glass)

โยแก้วเป็นวัสดุเสริมแรงที่จัดอยู่ในประเภทวัสดุสังเคราะห์ มีส่วนผสมของซิลิกา (Silica) เป็นหลัก ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงมากที่สุด โยแก้วที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสมีด้วยกันหลายรูปแบบ สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของงาน ได้แก่

1) โยแก้วชนิดเส้นยาว (Roving)

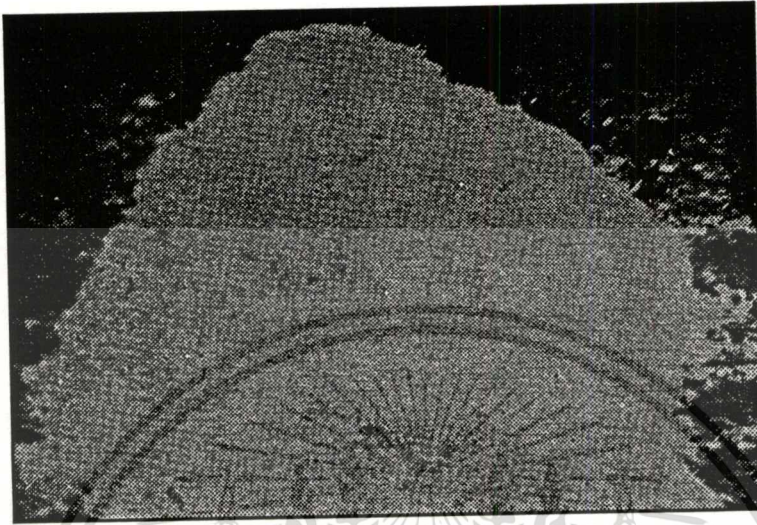
มีลักษณะคล้ายเส้นด้ายม้วนเป็นหลอด เหมาะสำหรับวิธีการผลิตแบบใช้เครื่องพ่น (Spray Up) แบบพันท่อ (Filament Winding) และแบบดึงแนวยาว (Pultrusion) ให้ความแข็งแรงในด้านการรับแรงดึงและแรงบิดสูง



รูปที่ 2.1 แสดงโยแก้วชนิดเส้นยาว (Roving)

2) โยแก้วชนิดเส้นสั้น (Chopped Strand)

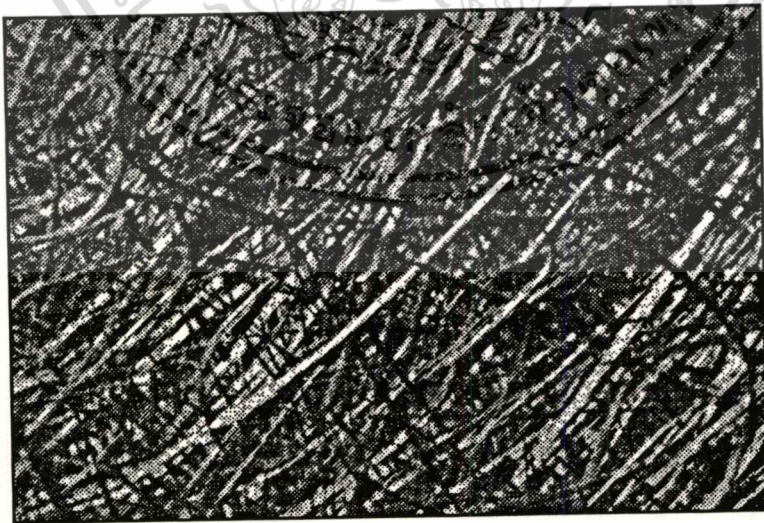
ใช้กับกรรมวิธีการผลิตแบบอัดเหลว (Premix Molding) คือใช้โยแก้วชนิดเส้นสั้น ผสมกับโพลีเอสเตอร์เรซินก่อน แล้วจึงเทลงในแม่แบบ ขนาดเส้นมาตรฐานยาว 3 และ 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.2 แสดงโยแก้วชนิดเส้นสั้น (Chopped Strand)

3) โยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น (Chopped Strand Mat)

เป็นโยแก้วที่นิยมใช้ในงานทั่วไป มีความหนาแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน เช่น ผืนเบอร์ 300, 450 และ 600 (ตัวเลขของเบอร์ คือ น้ำหนักเป็นกรัมต่อตารางเมตร)

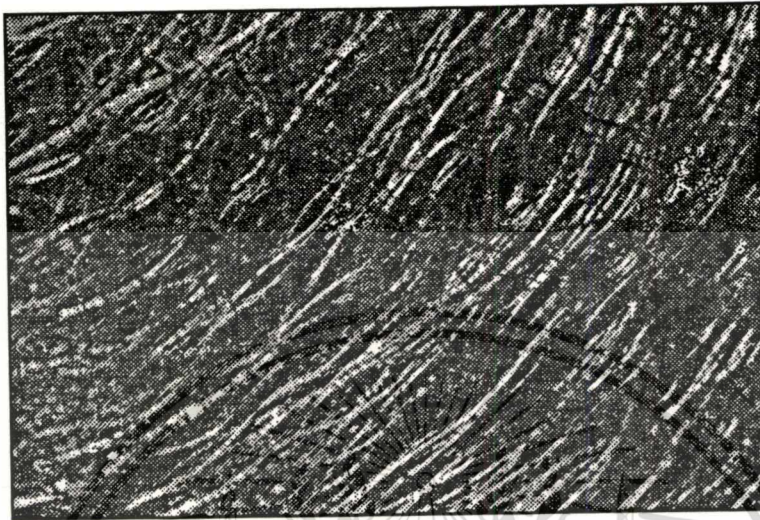


รูปที่ 2.3 แสดงโยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น (Chopped Strands Mat)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) โยแก้วชนิดผืนเส้นยาว (Continuous Strand Mat)

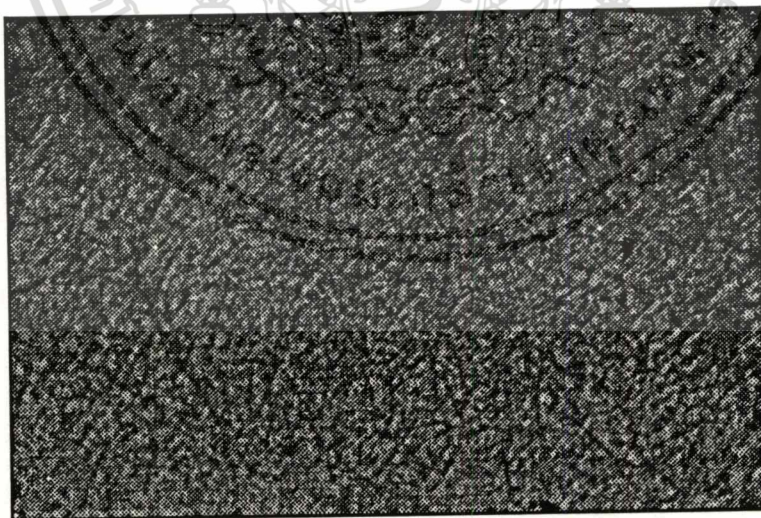
โยแก้วชนิดนี้ช่วยเสริมให้ชิ้นงานแข็งแรงกว่าชนิดผืนสั้น เพราะเส้นโยแก้วยาวตลอดเป็นเส้นเดียวกัน



รูปที่ 2.4 แสดงโยแก้วชนิดผืนเส้นยาว (Continuous Strand Mat)

5) โยแก้วชนิดผืนเส้นโยละเอียด (Surfacing Mat)

ใช้สำหรับเสริมผิวหน้าด้านเจลโค้ทให้ดูเรียบ และแข็งแรงยิ่งขึ้น



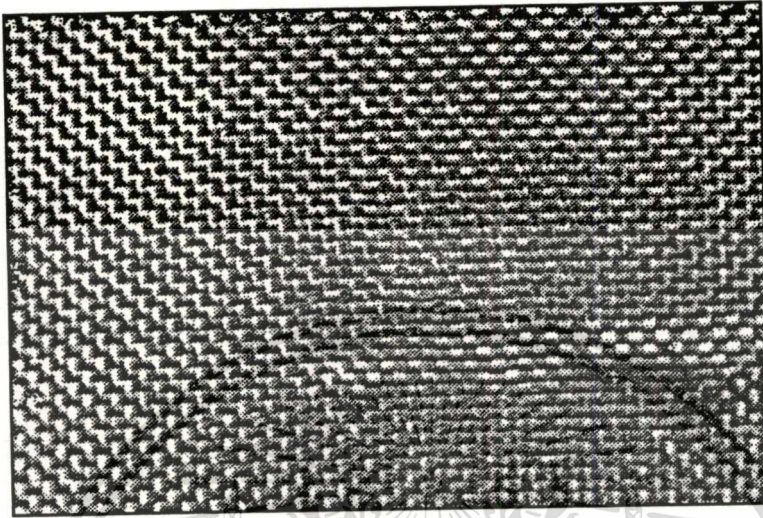
รูปที่ 2.5 แสดงโยแก้วชนิดผืนเส้นโยละเอียด (Surfacing Mat)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) โยแก้วชนิดผืนทอ (Fabrics)

ใช้กับชิ้นงานขนาดเล็กแต่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษ มีชื่อเรียกง่าย ๆ ว่า โยแก้ว

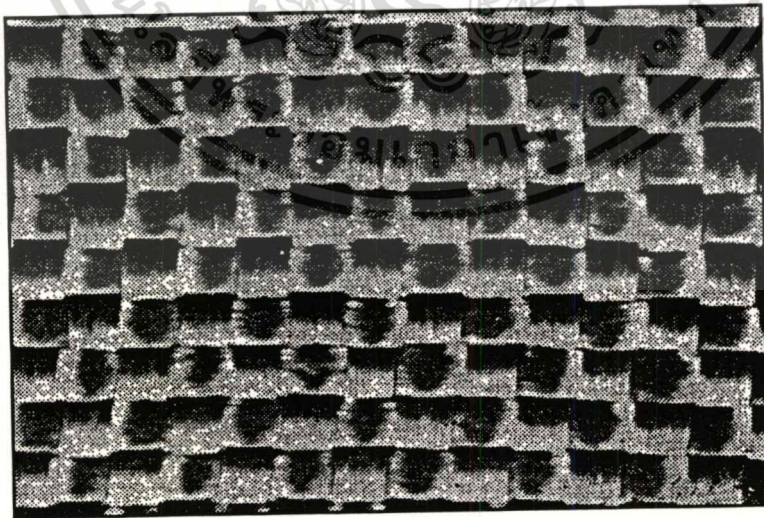
สานเล็ก



รูปที่ 2.6 แสดงโยแก้วชนิดผืนทอ (Fabrics)

7) โยแก้วชนิดผืนทอเส้นยาว (Woven Roving)

ใช้กับชิ้นงานขนาดใหญ่ที่ต้องการความแข็งแรงมาก ๆ เช่น เรือ โดยใช้สลับกับโยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น มีชื่อเรียกง่าย ๆ ทั่วไปว่า โยแก้วสานใหญ่



รูปที่ 2.7 แสดงโยแก้วชนิดผืนทอเส้นยาว (Woven Roving)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 ตัวทำปฏิกิริยาหรือตัวทำให้แข็ง (Catalyst or Hardener)

ใช้ในการทำให้พลาสติกเหลวเป็นพลาสติกแข็ง โดยเฉพาะพอลิเอสเตอร์เรซินจะต้องมีตัวที่ทำให้เกิดอนุมูล (Radical) แล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลเป็นร่างแห จนกลายเป็นสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง

2.2.1.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator or Promotor)

เป็นสารที่ใช้เร่งปฏิกิริยาในการแข็งตัวของพลาสติก ทำให้พลาสติกเหลวแข็งตัวเร็วขึ้น

2.2.1.5 เจลโค้ท (Gel Coat)

เป็นพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดที่ผสมผงเบทา (Thixotropic Agent) ทำให้มีลักษณะเหนียว ใช้พ่นหรือทาลงบนแม่แบบ ทำให้ผิวของชิ้นงานมีความเรียบมัน อีกทั้งยังปกปิดไม่ให้เห็นรอยของใยแก้วและฟองอากาศที่ไล่ออกมาหมด นอกจากนี้ยังสามารถผสมสีเข้าไปในเนื้อของเจลโค้ทได้อีก เพื่อให้ชิ้นงานมีสีตามต้องการ

2.2.1.6 ผงสี (Pigment)

ใช้ผสมเข้ากับเนื้อเรซิน หรือเจลโค้ท เพื่อให้ชิ้นงานมีสีตามต้องการ ผงสีมีส่วนสำคัญต่อการแข็งตัวของพอลิเอสเตอร์เรซิน

2.2.1.7 สารตัวเติม (Filler)

เติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานให้ดีขึ้น เช่น ความแข็ง ความยืดหยุ่น การทนต่อความร้อน หรืออาจเติมลงไปเพื่อเพิ่มเนื้อของเรซินให้มากขึ้นเป็นการลดต้นทุน สารตัวเติมที่ใช้มีด้วยกันหลายชนิด เช่น ทดคัม แคลเซียมคาร์บอเนต ททราย เป็นต้น

2.2.1.8 สารอื่น ๆ

สารเหล่านี้ไม่ได้เป็นสารที่ใส่ลงไปในเนื้อของพอลิเอสเตอร์เรซิน แต่เป็นสารที่ช่วยในการทำงาน เช่น

- ◆ สารช่วยในการถอดแบบ ช่วยให้อถอดชิ้นงานออกจากแบบง่ายขึ้น เช่น สารฟิวเอ ซี้ผึ้ง
- ◆ สารกันไหล ใช้สำหรับป้องกันการไหลของพอลิเอสเตอร์เรซิน
- ◆ ตัวทำละลาย เป็นสารที่ใช้สำหรับล้างเครื่องมือต่าง ๆ

2.2.2 กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส (Fabrication of GFRP)

กรรมวิธีการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสมีหลายวิธี ดังนี้

2.2.2.1 แบบใช้มือทำ (Hand Lay-Up)

เป็นกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายลงทุนน้อยเหมาะสำหรับกิจการขนาดเล็ก โยแก้วที่ใช้เป็นชนิด ฝืน เครื่องมือที่ใช้อาจเป็นแปรงหรือลูกกลิ้ง หรือทั้งสองอย่าง

2.2.2.2 แบบใช้เครื่องพ่น (Spray-Up)

กรรมวิธีการผลิตเหมือนกับใช้มือทำ แตกต่างกันตรงที่กรรมวิธีการผลิตแบบนี้โยแก้วที่ใช้จะเป็นชนิดเส้นยาว ตัดเป็นท่อนสั้น ๆ พ่นไปพร้อมกับพอลิเอสเทอร์เรซิน แรงอัดจากเครื่องพ่นจะทำให้เส้นโยกับพอลิเอสเทอร์เรซินเกาะผิวหน้าอย่างสนิท กรรมวิธีแบบนี้ใช้กับการผลิตชิ้นงานที่มีจำนวนมาก

2.2.2.3 แบบใช้แม่แบบอัด (Matched Molding)

กรรมวิธีการผลิตแบบใช้แม่แบบอัด แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1) แบบใช้แม่แบบอัดร้อน (Hot Press Molding)

เป็นกรรมวิธีการผลิตชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ต้องการความแข็งแรงสูง ต้องใช้แรงอัดสูง และใช้ความร้อนประกอบการผลิต แม่แบบเป็นโลหะที่มีผิวเรียบมัน (Chromium Plated) หรืออีพอกซี ผสมโลหะก็ได้

2) แบบใช้แม่แบบอัดเย็น (Cold Press Molding)

เป็นกรรมวิธีการผลิตสำหรับชิ้นงานขนาดเล็ก ลงทุนต่ำ เครื่องกดใช้แบบเกลียวอัด แม่แบบเป็นไฟเบอร์กลาส

2.2.2.4 แบบอัดเหลว (Premix Molding)

กรรมวิธีการผลิตเหมือนกับแบบใช้แม่แบบอัด แต่จะใช้โยแก้วชนิดเส้นสั้น (Chopped Strand) ผสมกับพอลิเอสเทอร์เรซิน แล้วเทใส่แม่แบบในปริมาณที่พอดี กดแม่แบบให้ความร้อน กรรมวิธีการผลิตแบบนี้จะผลิตชิ้นงานได้รวดเร็ว เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานที่ต้องผลิตปริมาณมาก ๆ

2.2.2.5 แบบฉีด (Injection Molding)

กรรมวิธีการผลิตชนิดนี้ เป็นชนิดที่กำลังได้รับการพัฒนานำมาใช้ผลิตในปัจจุบัน การลงทุนเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ไม่สูงนัก สามารถฝังชิ้นส่วนที่เป็นไม้ โลหะ หรือโฟมแข็งไว้ในชิ้นงานได้ กรรมวิธีการผลิตชนิดนี้ใช้ลมอัดต่ำประมาณไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น (Chopped Strand Mat) เหมาะที่สุดสำหรับการใช้งาน แต่น้ำยาประสานของผืนโยแก้วควรเป็นชนิดละลายในพอลิเอสเตอร์เรซินง่าย (Low Soluble Binder) และเรซินที่ใช้ควรเป็นชนิดใส (Low Viscosity) หากใช้ชนิดธรรมดาควรเติมโมโนสไตรีนลงไปแต่ไม่ควรเกิน 10 เปอร์เซ็นต์

2.2.2.6 แบบถุงอัดอากาศ (Pressure Bag Molding)

คล้ายกับวิธีแบบใช้มือทาและแบบใช้เครื่องพ่น คือ จะวางแผ่นโยแก้วหรือฟืนเส้นโยแก้วพร้อมกับพอลิเอสเตอร์เรซินลงบนแม่แบบ วางถุงยางทับลงไป กดแผ่นยึด (Platen) ตอนบนลงห่างจากแม่แบบพอสมควร อัดอากาศเข้าไปในถุงยาง ถุงยางจะขยายตัวอัดโยแก้วผสมพอลิเอสเตอร์เรซินให้แนบสนิทกับแม่แบบตอล่าง ทั้งไว้จนแข็งตัวจึงปล่อยอากาศออกจากถุง ถอดชิ้นงานออก กรรมวิธีแบบนี้ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะพิเศษเท่านั้น

2.2.2.7 แบบถุงสุญญากาศ (Vacuum Bag Molding)

จะตรงข้ามกับถุงอัดอากาศ คือ แม่แบบเป็นแบบตัวผู้ แทนที่จะอัดอากาศเข้าไปในถุงยาง กลับดูดอากาศออกทำให้เกิดระบบสุญญากาศภายใน ถุงยางจะรัดตัวลงตามส่วนโค้งเว้าของแม่แบบ กดโยแก้วผสมพอลิเอสเตอร์เรซินให้แนบกับแม่แบบ กรรมวิธีการผลิตแบบนี้ใช้ผลิตชิ้นงานเฉพาะอย่างเท่านั้น

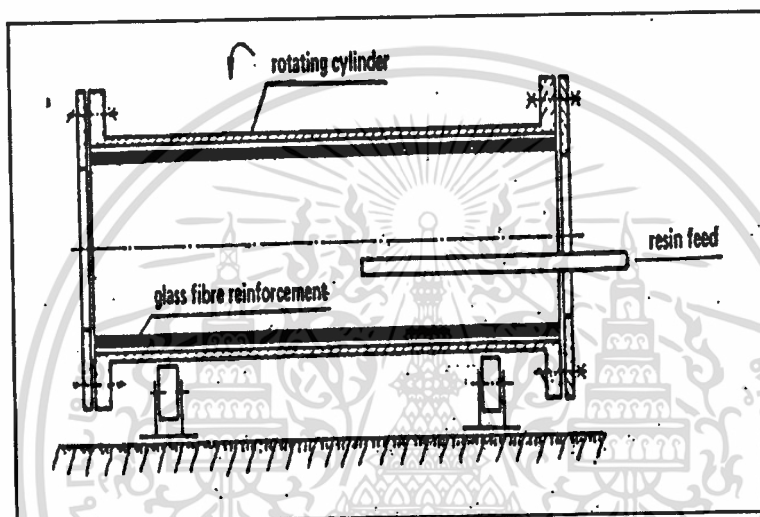
2.2.2.8 แบบพันท่อ (Filament Winding)

เป็นกรรมวิธีการผลิตที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่กลวงภายใน เช่น ท่อ หรือชิ้นงานรูปขวด ชิ้นงานที่ผลิตต้องการใช้งานที่รับแรงอัดสูงมาก เช่น ท่อส่งของเหลวที่มีแรงอัดสูง ชิ้นส่วนของจรวด (Rocket หรือ Missile) กรรมวิธีการผลิตแบบพันท่อแบ่งออกได้ 3 ระบบ คือ

- ◆ ระบบพันแกนนอน (Axial Winding)
- ◆ ระบบเพนทรี (Planetary Winding)
- ◆ ระบบทัมเบลอร์ (Tumbler System)

2.2.2.9 แบบหล่อเหวี่ยง (Centrifuge Casting)

การผลิตชนิดนี้เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีรูปทรงกระบอก เช่น ท่อ หรือถังไซโล แม่แบบจะเป็นโลหะแบ่งเป็นสองชั้น แม่แบบวางตั้งอยู่บนลูกกลิ้งที่จะหมุนให้แม่แบบหมุนไปรอบ ๆ ในอัตราเร็วตามที่กำหนด โยแก้วที่ใช้มีลักษณะเป็นผืนขด (Coiled Glassfiber Mat or Fabric) พอลิเอสเตอร์เรซินจะถูกส่งไปที่หัวฉีดที่ยื่นเข้าออกภายในแม่แบบได้ เมื่อพอลิเอสเตอร์เรซินถูกฉีดไปที่ผืนโยแก้วที่วางภายในแม่แบบและแม่แบบหมุนไปรอบ ๆ จะเกิดแรงเหวี่ยงทำให้ชิ้นงานมีความหนาเท่ากันและผิวหน้าเรียบทั้งสองด้าน เมื่อชิ้นงานแข็งตัวจะมีการหัดตัวเกิดขึ้น ชิ้นงานจะล่อนออกจากแม่แบบเองโดยง่าย



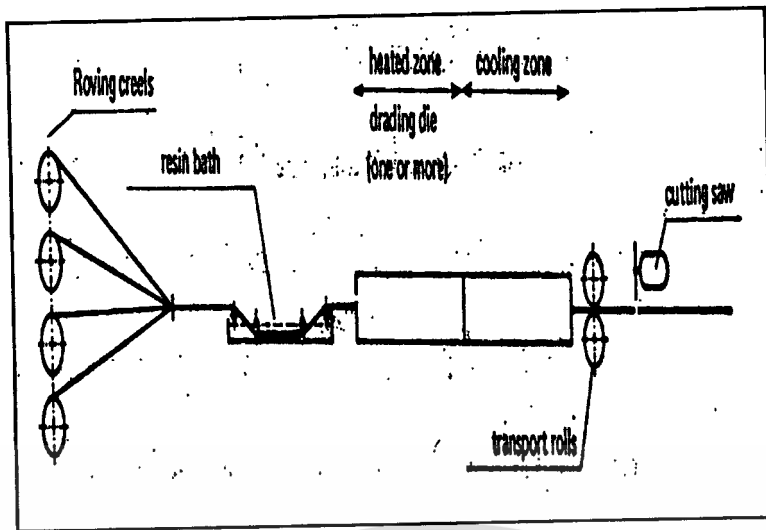
รูปที่ 2.8 แสดงการผลิตแบบเหวี่ยง (Centrifuge Casting)

2.2.2.10 แบบการผลิตระบบอุตสาหกรรม (Continuous Molding Process)

กรรมวิธีการผลิตแบบนี้ใช้สำหรับการผลิตที่มีปริมาณสูง (Mass Product) ลงทุนในเรื่องเครื่องจักรและอุปกรณ์สูง กรรมวิธีการผลิตแบบการผลิตระบบอุตสาหกรรมแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) ชนิดดึงรีดแนวยาว (Continuous Pultrusion)

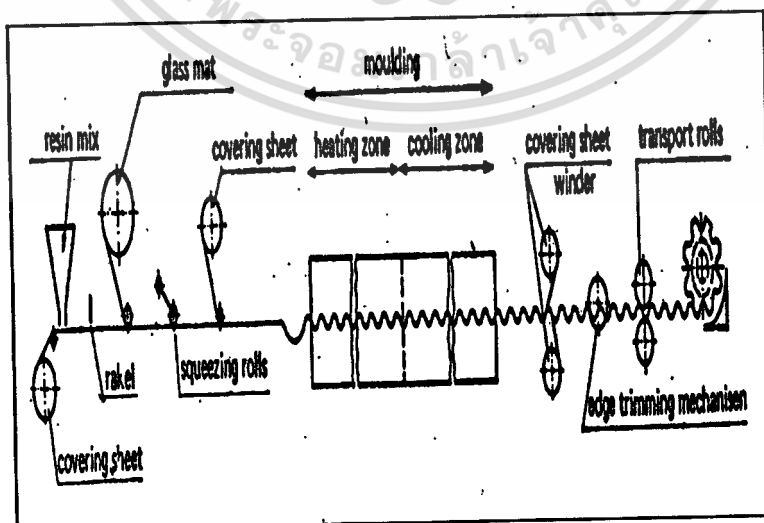
กรรมวิธีการผลิตชนิดนี้ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีความยาวและมีหน้าตัดขนาดเล็ก เช่น ท่อ กลวง ท่อตันยาว ชิ้นงานรูปตัวยู รูปตัวแอล และรูปตัดอื่น ๆ ขั้นตอนการผลิตนี้เริ่มจากเส้นโยแก้ว (Roving) หลาย ๆ เส้นจะถูกดึงมารวมกันให้ผ่านถาดบรรจุพอลิเอสเตอร์เรซิน แล้ววิ่งผ่านเข้าไปในแม่แบบรูปหน้าตัด (Die) ซึ่งร้อน วิ่งเข้าตู้อบความร้อนเพื่อให้แข็งตัว จากนั้นวิ่งเข้าตู้อบความเย็นให้ชิ้นงานเย็นลง ขั้นสุดท้ายจะวิ่งผ่านเครื่องตัดเพื่อให้ได้ขนาดความยาวที่ต้องการ



รูปที่ 2.9 แสดงการผลิตแบบดึงรีดแนวยาว (Continuous Pultrusion)

2) ชนิดผลิตแผ่น (Continuous Lamination)

กรรมวิธีการผลิตชนิดแผ่นใช้สำหรับผลิตชิ้นงานที่เป็นแผ่นเรียบ หรือแผ่นลอน ใช้ทำหลังคา และวัสดุสำหรับก่อสร้างอื่น ๆ ขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการทาพอลิเอสเทอร์ซินลงบนแผ่นรอง (Covering Sheet) แผ่นรองจะวิ่งต่อไปประกบกับผืนใยแก้ว แล้ววิ่งผ่านเข้าเครื่องรีด (Squeezing Roll) จากนั้นจะมีแผ่นปิดทับ (Covering Sheet) ปิดทับบนผืนใยแก้ว ผ่านต่อไปเข้าตู้อบความร้อนให้ชิ้นงานแข็งตัว ผ่านต่อไปเข้าตู้อบความเย็น แผ่นปิดทับและแผ่นรองจะถูกดึงขึ้นแยกออกจากชิ้นงาน จากนั้นจึงผ่านเครื่องตัดริม และม้วนเก็บ ชิ้นงานที่ผลิตโดยกรรมวิธีการผลิตชนิดผลิตแผ่นจะมีความเรียบทั้งสองด้าน

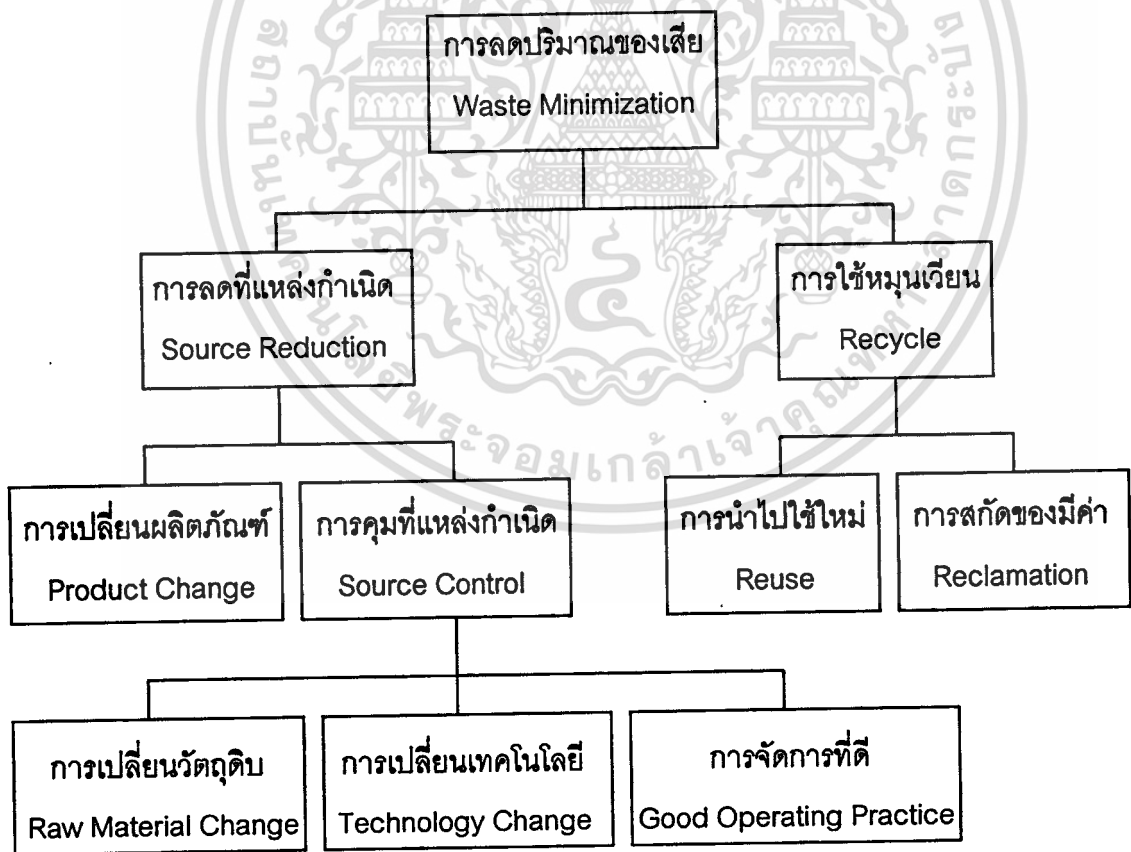


รูปที่ 2.10 แสดงการผลิตแบบแผ่น (Continuous Lamination)

2.2.3 การจัดการขยะพลาสติก (Management of Plastic Waste)

ของเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นของเหลว ของแข็ง ก๊าซ หรือของเสียอันตราย นับวันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีการจัดการของเสียภายในโรงงานที่ดี การจัดการของเสียอาจทำได้ 3 วิธี คือ

- ◆ การกำจัดของเสียที่จุดสุดท้ายของกระบวนการ (End of Pipe Treatment) ซึ่งมักจะได้ของเสียที่มีปริมาณมาก และยากต่อการบำบัดและกำจัด ต้องใช้งบประมาณสูง
- ◆ การกำจัดของเสียที่จุดกำเนิด (Source Treatment) ได้แก่ การหาจุดกำเนิดของของเสีย และกำจัดหรือนำบำบัดของเสียที่จุดกำเนิด ซึ่งจะได้ของเสียน้อยและง่ายต่อการกำจัดหรือนำบำบัด
- ◆ การลดปริมาณของเสีย (Waste Minimization) โดยรวมหลักการหลายวิธีเข้าด้วยกัน เพื่อลดปริมาณของเสียลงให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ การลดปริมาณของเสียสามารถทำได้หลายวิธีดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 แสดงการลดปริมาณของเสียภายในโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหามลภาวะจากพลาสติก นับได้ว่าเป็นปัญหาที่มีการกล่าวถึงกันอยู่เสมอในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณขยะพลาสติก หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกวัน พบว่าขยะของแข็ง (Solid Waste) ซึ่งมีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของขยะทั้งหมดจะเป็นพลาสติก 25 เปอร์เซ็นต์ [15] แนวทางแก้ไขปัญหามลพิษจากพลาสติก สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

2.2.3.1 การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling)

การนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เป็นมาตรการแก้ไขปัญหามลพิษที่เหมาะสมที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งนอกจากจะเป็นการแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังได้รับประโยชน์จากกากของเสียอีกด้วย [16]

Yen .T.F. [17] กล่าวว่า การนำกลับมาใช้ใหม่สามารถนำมาใช้ได้ 4 ความหมาย คือ

- ◆ การนำกลับมาใช้ใหม่ โดยไม่มีการเปลี่ยนรูปร่างและคงวัสดุเดิมไว้
- ◆ การนำกลับมาใช้ใหม่ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แต่เปลี่ยนวัตถุประสงค์ใหม่
- ◆ การนำกลับมาใช้ใหม่ โดยเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ ผลผลิตที่ได้ยังคงรูปแบบเดิม
- ◆ การนำกลับมาใช้ใหม่ โดยเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ ผลผลิตที่ได้เปลี่ยนรูปแบบใหม่

2.2.3.2 การกำจัดทิ้ง (Disposal)

การกำจัดทิ้งนับได้ว่าเป็นกระบวนการขั้นสุดท้ายของการจัดการของเสีย และจะนำมาใช้เมื่อของเสีย (Waste) ที่เกิดขึ้นไม่สามารถนำไปใช้ได้ใหม่ในกระบวนการอื่น ๆ สำหรับการกำจัดของเสียประเภทผลิตภัณฑ์พลาสติก สามารถทำได้โดย

◆ การเทกอง (Open Dump) วิธีนี้สามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเผาหรือฝังกลบ แต่ก็มีข้อเสียคือ ทำให้ขาดความสวยงาม เป็นที่น่ารังเกียจแก่ผู้ที่พบเห็น และยังทำให้เสียพื้นที่ใช้สอย

◆ การฝังกลบ (Sanitary Landfill) เป็นการนำกากของเสียมาฝัง และกลบด้วยดิน มักมีปัญหาในเรื่องต้องใช้ที่ดินเป็นจำนวนมากในการฝังกลบ ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก ต้องจัดหาที่สำหรับฝังกลบใหม่อยู่บ่อยครั้ง

◆ การเผาในเตาเผา (Incineration) สามารถลดปริมาณขยะลงได้ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิการเผาไหม้ในเตาเผาอยู่ในช่วง 850-1,200 องศาเซลเซียส แต่การกำจัดของเสียด้วยวิธีการเผาก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หากระบบที่ใช้ไม่ดีพอ เนื่องจากในกระบวนการเผาไหม้จะเกิดก๊าซที่ปะปนด้วยโลหะหนัก และไดออกซิน นอกจากนี้เถ้าซึ่งจะนำไปฝังดินอาจก่อมลพิษให้กับแหล่งน้ำอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำเอาขยะของแข็งมาใช้เป็นมวลผสมในคอนกรีต เป็นแนวทางหนึ่งในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ตัวอย่างเช่น การใช้ขี้เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Material) ในคอนกรีต หรือการใช้ขี้เถ้าโลหะ (Blast Furnace Slag) เป็นมวลผสมและใช้เป็นวัสดุผสมในซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของขยะของแข็งที่ใช้เป็นมวลผสมในคอนกรีต

วัสดุ	อุตสาหกรรม	ส่วนประกอบ	ปริมาณต่อปี (10 ⁶ tons)
สินแร่	เหมืองแร่และการสกัดแร่	- หินธรรมชาติ	2000
ขี้เถ้าโลหะ	เหล็กและเหล็กกล้า	- ซิลิเกต - อลูมิโนซิลิเกต	30
ผงโลหะ	ผลิตโลหะ	- ซิลิเกต - อลูมิโนซิลิเกต - แก้ว	30
ขี้เถ้าลอย	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	- แก้วซิลิกา	50
ของเสียชุมชน	ของเสียจากกิจการและบ้านเรือน	- กระดาษ - แก้ว - พลาสติก - โลหะ	200
ยาง	เศษยาง	- ยางสังเคราะห์	5
ของเสียจากเตาเผา	บ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม	- ภาชนะแก้ว - ภาชนะโลหะ - แก้วซิลิกา	5
เศษวัสดุก่อสร้าง	ซากปรักหักพัง	- อิฐ - คอนกรีต - วัสดุเสริมเหล็ก	25

ที่มา : Mindess, S และ คณะ : 1981 [18]

การนำขยะของแข็งมาใช้เป็นมวลผสมในคอนกรีตนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ด้วย ได้แก่

◆ ความคุ้มทุน (Economy) เช่น ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง, การออกแบบ, การแยกขยะ และคุณภาพของคอนกรีตที่จะได้

◆ ความเข้ากันได้กับวัสดุชนิดอื่น ๆ เนื่องจากวัสดุบางชนิดจะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ในคอนกรีต หรืออาจไปรบกวนการก่อตัวของซีเมนต์ เช่น ของเสียจากการทำเหมืองแร่ (Mine Tailing) ซึ่งประกอบด้วยตะกั่ว และสังกะสีในปริมาณที่สูง ธาตุเหล่านี้จะไปรบกวนการก่อตัวของซีเมนต์

◆ คุณสมบัติของคอนกรีต วัสดุบางชนิดมีคุณสมบัติในการให้ความแข็งแรง และความคงทนน้อยกว่าวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตธรรมดา ดังนั้นการนำไปใช้จึงต้องคำนึงถึงการรับแรงของคอนกรีตที่จะนำไปใช้ด้วย

2.3 คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส (Glass Fiber Reinforced Concrete : GRC)

คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสเป็นวิวัฒนาการใหม่ล่าสุดของการนำใยแก้วมาใช้งาน ซึ่งได้เริ่มศึกษากันมานานแล้วแต่ประสบกับปัญหาที่สำคัญ คือ การกัดกร่อนของใยแก้ว จากความเป็นด่างของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในปี ค.ศ.1960 จึงได้มีการทดลองใช้ปูนซีเมนต์ชนิดที่มีความเป็นด่างต่ำ ซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนของใยแก้วน้อยมาก แต่การใช้ปูนซีเมนต์ชนิดที่มีความเป็นด่างต่ำ ไม่สามารถให้ผลในเชิงพาณิชย์ได้ และผลในทางคุณสมบัติก็ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ ในปี ค.ศ. 1967 ได้มีการศึกษาปรับปรุงคุณภาพของใยแก้ว โดยการใช้ไซโคเนียม (Zirconium) ผสมลงในใยแก้ว ซึ่งจะทำให้ใยแก้วทนต่อสภาพความเป็นด่างของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ จากความสำเร็จอันนี้เอง จึงทำให้มีการนำใยแก้วชนิดที่ทนด่างในซีเมนต์ได้มาใช้ในเชิงพาณิชย์กันอย่างกว้างขวาง

2.3.1 ส่วนประกอบของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส (Constituent of GFRC)

วัสดุที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ (Cement) วัสดุผสม (Aggregate) น้ำ ไฟเบอร์กลาส และสารผสมเพิ่ม (Admixture) [19]

2.3.1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ที่จะกล่าวต่อไปนี้จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้กันโดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส ตามมาตรฐาน ASTM C150 สามารถแบ่งปูนซีเมนต์ตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 5 ประเภท คือ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement)

สำหรับใช้ในงานคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว

2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement)

สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อน และทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต ตอม่อสะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียว

3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High Early Strength Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ ให้กำลังรับแรงสูงในระยะแรกเร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง ผลิตโดยการเปลี่ยนสัดส่วนผสม หรือโดยการเติมสารอื่น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็ว หรือรีบแบบเร็ว เช่น เสาค้ำคอนกรีต ถนน เป็นต้น นอกจากนี้ยังเหมาะกับการทำคอนกรีตในอากาศหนาว ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร

4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำที่สุด อัตราการเกิดกำลังของคอนกรีตเป็นไปอย่างช้า ๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหนา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะก่อตัวและแข็งตัว

5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตสูง (Sulfate Resistant Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่น ๆ สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่ที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างฟ้า ตราปลาฉลาม

ส่วนประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้แก่ ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) และเตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่น ๆ อีกที่ได้หลังจากการเผา เช่น MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O และ Na_2O ซึ่งปะปนอยู่เป็นจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักของปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

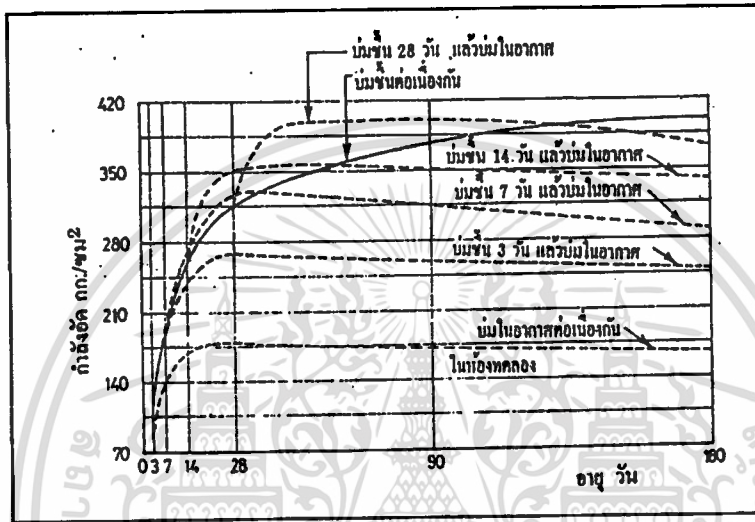
เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบในปูนซีเมนต์กับน้ำขึ้น เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) สารประกอบ C_3S และ C_2S ที่อยู่ในปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} : \text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ หรือ $\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O} : \text{CH}$) ดังสมการทางเคมีต่อไปนี้



สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตทำให้ซีเมนต์เฟสท์เกิดเป็นวุ้น (Gel) และมีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน มีความเหนียวคล้ายกาว ก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะกับวัสดุผสม ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้ซีเมนต์เฟสท์มีคุณสมบัติเป็นต่าง ช่วยป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริม แคลเซียมไฮดรอกไซด์นี้อาจทำปฏิกิริยาต่อไปอีกกับวัสดุที่มีธาตุซิลิกาและอลูมินาผสมอยู่ เช่น วัสดุปอชโซลาน สารประกอบไตรแคลเซียมอลูมิเนตจะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีทันใด ซึ่งอาจทำให้เกิดการก่อตัวผิดปกติ (False Set) แต่ในผงซีเมนต์มีปริมาณผสมอยู่ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันช้าลงเช่นเดียวกับเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ที่จะทำปฏิกิริยาอย่างช้า ๆ

ความร้อนที่ได้จากการที่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำเรียกว่า "Heat of Hydration" วัดเป็นแคลอรีต่อกรัมของปูนซีเมนต์ สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจะให้ความร้อนประมาณ 85-100 แคลอรีต่อกรัม ความร้อนที่เกิดขึ้นบางส่วนจะหนีผ่านเนื้อคอนกรีตออกมา แต่บางส่วนจะอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูง คอนกรีตอาจเสียความแข็งแรงได้ ความร้อนนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงต่าง ๆ ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งเป็นผลให้เนื้อคอนกรีตแตกร้าว การทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำระเหยออกจากเฟสท์หมดแล้ว การบ่มซึ่งเป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีตจึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ [20]

การบ่มคอนกรีต (Curing) เป็นการควบคุม และป้องกันมิให้น้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ระบายออกจากคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อ และแข็งตัวแล้วเร็วเกินไป มิฉะนั้นคอนกรีตจะเกิดการหดตัวเร็วทำให้เกิดแรงดึงที่ผิวที่กำลังจะแห้ง เป็นเหตุให้เกิดรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต ดังนั้นหลังจากที่เทคอนกรีตและทิ้งไว้จนผิวหน้าคอนกรีตหมาดแข็งปราศจากรอยแล้ว จะต้องทำการบ่มทันทีด้วยวิธีที่ถูกต้องโดยปกคลุมผิวไม่ให้ถูกแดดหรือลมร้อน และควรบ่มขึ้นให้ต่อเนื่องกันประมาณ 7-14 วัน เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังที่ต้องการ



รูปที่ 2.12 แสดงผลการบ่มที่มีต่อกำลังของคอนกรีต

2.3.1.2 วัสดุผสม (Aggregate)

เป็นวัสดุเฉื่อย (Inert Materials) ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เฟสท์ ได้แก่ หิน ทราย กรวด ซึ่งเป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมีปริมาตร 70-80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณส่วนผสม มีคุณสมบัติเป็นตัวแทรกประสาน โดยจะกระจายตัวอยู่ทั่วซีเมนต์เฟสท์ ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน รวมทั้งยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีตด้วย สามารถจำแนกประเภทของวัสดุผสมตามขนาด ได้เป็น วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) และวัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate)

1) วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate)

เป็นวัสดุผสมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร หรือสามารถร่อนผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ขนาดของวัสดุผสมละเอียดที่จะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นบาง (Thin Sheet) จะใช้ทรายละเอียด ส่วนการผลิตผลิตภัณฑ์ช็อตกรีต (Shotcrete) จะใช้ทรายที่มีความหยาบมากกว่า ขนาดโตสุดของวัสดุผสมละเอียดต้องมีขนาดไม่เกิน 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate)

เป็นวัสดุที่มีขนาดโตตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตร หรือไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 วัสดุผสมหยาบที่มีอยู่ในธรรมชาติอาจเป็นชนิดน้ำหนักเบา (Lightweight) ชนิดน้ำหนักธรรมดา (Normal Weight) หรือ ชนิดน้ำหนักสูง (Heavy Weight) คอนกรีตที่ใช้งานเกี่ยวกับโครงสร้างที่ทำมาจากวัสดุผสมหยาบชนิดน้ำหนักเบาจะมีน้ำหนักประมาณ 1,440-1,760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตที่ไม่ได้ใช้งานเกี่ยวกับโครงสร้างที่ทำมาจากวัสดุผสมหยาบชนิดน้ำหนักเบา เช่น วัสดุกันเสียง (Noise Barrier) จะมีน้ำหนักประมาณ 320 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตที่ทำจากวัสดุผสมหยาบชนิดน้ำหนักธรรมดาจะมีน้ำหนักประมาณ 2,240 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับมวลผสมหยาบชนิดน้ำหนักสูงมีการใช้งานค่อนข้างจำกัด

2.3.1.3 โยแก้ว (Fiber Glass)

โยแก้วที่ใช้กันโดยทั่วไปมีความยาวตั้งแต่ 38-50 มิลลิเมตร หรือตามความเหมาะสมและใช้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มตามประเภทของแก้ว คือ

1) กลุ่ม E-Glass (Electric Glass)

เป็นแก้วชนิดแรกที่เกิดขึ้นมา เพื่อทำเป็นเส้นใยต่อเนื่องกัน โยแก้วชนิดนี้เป็นโยแก้วที่ใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติกเสริมแรงต่าง ๆ

2) กลุ่ม A-Glass (Alkali Glass)

เป็นแก้วชนิดโซดาโลมที่ทำกระจกหน้าต่าง และขวดแก้ว แก้วชนิดนี้มีส่วนผสมของต่างสูง ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในขอบเขตจำกัด

3) กลุ่ม C-Glass (Chemical Glass)

เป็นแก้วที่พัฒนาขึ้นเพื่อต้องการใช้กับงานที่ต้องทนกรดสูงกว่าที่ E-Glass จะทนได้ โดยมักจะเป็นเส้นใยผืน

4) กลุ่ม S or T-Glass (High Strength)

เป็นแก้วที่ผลิตขึ้นมาให้ทนต่อการต้านแรงดึงได้สูง โดยมีแรงดึงและความยืดหยุ่นสูงกว่า E และ C-Glass 33 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โยแก้วชนิดนี้มักใช้กับโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูง

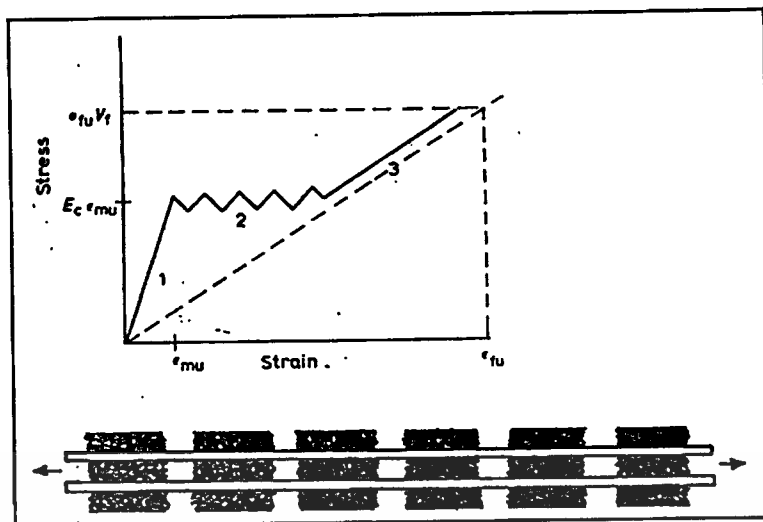
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของใยแก้วประเภทต่าง ๆ

ส่วนประกอบ	ชนิดของใยแก้ว			
	A-Glass	C-Glass	E-Glass	T- Glass
ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2)	72.0	64.6	54.3	64.2
อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	0.6	4.1	15.2	24.8
เฟอร์รัสออกไซด์ (Fe_2O_3)	-	-	-	0.21
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	10.0	13.2	17.2	0.01
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	2.5	3.3	4.7	10.27
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	14.2	7.7	0.6	0.27
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	-	1.7	-	-
โบรอนออกไซด์ (B_2O_3)	-	4.7	8.0	0.01
แบเรียมออกไซด์ (BaO)	-	0.9	-	0.2
อื่น ๆ	0.7	-	-	-

ที่มา : จิตรลดา ปานะวิภาต [21]

เมื่อเปรียบเทียบบทบาทของใยแก้วในการเสริมแรงในผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส และ ซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาส พบว่ามีบทบาทบางอย่างที่แตกต่างกัน คือ ในผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ใยแก้วจะมีความแข็งตึง (Stiffness) มากกว่าเมทริกซ์ (Matrix) แต่เมทริกซ์จะมีความเครียดต่อการแตกหัก (Failure Strain) เท่ากับใยแก้ว ดังนั้นเมื่อคอมโพสิต (Composite) ได้รับแรงเค้น (Stress) ใยแก้วและเมทริกซ์จะมีความเค้นเท่ากัน ความเค้นในใยแก้วจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าในเมทริกซ์ และใยแก้วจะทำหน้าที่รับน้ำหนักส่วนใหญ่ไว้ ส่วนในซีเมนต์เสริมไฟเบอร์กลาส ความแข็งตึงของใยแก้วจะมีประมาณ 3 เท่าของเมทริกซ์เท่านั้น ความเครียดต่อการแตกหักของซีเมนต์เมทริกซ์ (Cement Matrix) จะเป็นสัดส่วนกับใยแก้ว พฤติกรรมของความเค้นความเครียด (Stress Strain) สามารถแบ่งเป็น 3 ช่วงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 แสดงการเสริมแรงของใยแก้วในคอนกรีต

ช่วงแรก เมทริกซ์และใยแก้วทำหน้าที่เป็นคอมโพสิตยืดหยุ่น (Elastic Composite) ร่วมกัน คือ จะไม่เกิดการเปลี่ยนรูป หรือสามารถกลับมีขนาดเท่าเดิมทุกประการทันทีที่แรงที่กระทำต่อวัสดุนั้นถูกนำออกไป ซึ่งเกิดขึ้นภายใต้ความเค้นหนึ่ง ๆ ความแข็งตึงและการกระจายตัวของความเค้นจะเป็นไปตามกฎของของผสม (Law of Mixture) การเกิดรอยแตกขั้นเริ่มแรกของไฟเบอร์จะช่วยยับยั้งไม่ให้ความเค้นของการแตกหักของเมทริกซ์ลดต่ำลง และช่วยเพิ่มความแข็งแรงเฉลี่ย (Average Strength) ของเมทริกซ์ เมื่อเมทริกซ์เกิดรอยแตก (Crack) น้ำหนักบรรทุก (Loading) ทั้งหมดตรงที่เกิดรอยแตกจะถูกส่งผ่านไปยังใยแก้ว และถูกส่งกลับจากใยแก้วไปยังเมทริกซ์โดยอาศัยแรงเฉือน (Shear Force) ระหว่างผิวของไฟเบอร์และซีเมนต์ และในซีเมนต์เอง ทำให้ความเค้น และความเครียดในเมทริกซ์สูงขึ้น จนถึงระดับที่แตกหักได้ รอยแตกใหม่ก็จะเกิดขึ้น

ช่วงที่สอง การแตกหักนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งรอยแตกเล็กๆ (Fine Cracking) ที่เกิดขึ้นถูกขัดขวางโดยความแข็งแรงของเมทริกซ์ (Matrix Strength) ความแข็งแรงของพันธะ (Bond Strength) และปริมาณของไฟเบอร์ (Fiber Concentration) จะเห็นได้ว่าในช่วงนี้ค่าโมดูลัสเกือบจะเป็นศูนย์ ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปของกราฟความเค้นความเครียด (Stress Strain Curve)

ช่วงที่สาม เมื่อมีรอยแตกเล็กๆเกิดขึ้นสมบูรณ์ น้ำหนักบรรทุกที่ให้เพิ่มเข้าไป จะทำให้รอยแตกปริออก และมีการถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกไปยังใยแก้วอย่างเต็มที่

ดังนั้นหน้าที่สำคัญของใยแก้วในซีเมนต์เมทริกซ์ คือ การยับยั้ง (Suppress) การถ่ายทอด (Propagation) ของรอยแตกขนาดเล็ก (Micro Crack) ซึ่งมักพบในซีเมนต์เมทริกซ์ จึงทำให้คอมโพสิตที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้

2.3.1.4 น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญยิ่งในการผลิตคอนกรีต เพราะนอกจากจะมีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด ตลอดจนความทนทานของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว น้ำอาจมีผลกระทบต่อสีผิวของคอนกรีต และเหล็กเสริมในคอนกรีต หากแบ่งประเภทของน้ำตามสภาพการใช้งานจะแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) น้ำสำหรับผสมคอนกรีต (Mixing Water)

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ppm ปราศจากกรด ต่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ถือว่ามีความปลอดภัยสำหรับคอนกรีต

ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของ คอนกรีตที่ 28 วัน (kg/cm ²)	อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก)	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

หมายเหตุ : ค่าที่ได้จากตารางนี้ สำหรับตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุผสม และซีเมนต์ คอนกรีตจะมีความแข็งแรง ทนทาน มีรูโพรงหรือแน่นทึบขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใส่ลงไป ถ้าใส่น้ำมากเกินไปคุณภาพของคอนกรีตก็จะเลวลง เนื่องจากน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีกับซีเมนต์ระเหยออกไปเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ทำให้เกิดเป็นช่องว่างในเนื้อคอนกรีต กำลังความแข็งแรงจึงน้อยลง

2) น้ำสำหรับบ่มคอนกรีต (Water for Curing Concrete)

น้ำที่มีสารเจือปน เช่น ผุ่น น้ำมัน หรือเกลือ ผสมอยู่พอสมควร อาจใช้ในการบ่มคอนกรีตได้โดยไม่ทำให้เกิดรอยเปื้อนหรือสีบนผิวคอนกรีตมากนัก น้ำที่มีกรดหรือสารอินทรีย์ปนเปื้อน จะต้องได้รับการตรวจสอบก่อนนำไปใช้ ต้องระวังสารอินทรีย์จำพวกกรดแทนนิก (Tannic Acid) เกลือของแร่เหล็ก เพราะอาจก่อให้เกิดรอยเปื้อนบนผิวคอนกรีต

3) น้ำสำหรับล้างวัสดุผสม (Washing Water)

การใช้น้ำที่มีสารเจือปน เช่น ผุ่น เกลือ และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ล้างวัสดุผสมให้สะอาด ก่อนที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีตนั้น สารเจือปนเหล่านี้จะไปเคลือบอยู่บนผิวของวัสดุผสม และอาจเป็นสาเหตุให้เนื้อคอนกรีตผุกร่อน คอนกรีตแข็งตัวช้าหรือกำลังลดลง ฉะนั้นจึงควรเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างวัสดุผสมบ่อย ๆ

2.3.1.5 สารผสมเพิ่ม (Admixture)

หมายถึงสารอื่น ๆ นอกเหนือจากปูนซีเมนต์ ใยแก้ว และน้ำ ที่เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีต ไม่ว่าจะก่อนหรือในขณะกำลังผสม เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น สารผสมเพิ่มมีมากมายหลายชนิด อาจจำแนกสารผสมเพิ่มหลัก ๆ ออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) สารผสมเพิ่มแบบแร่ธาตุ (Mineral Admixture)

ตามมาตรฐาน ASTM C 618 เป็นวัสดุผงละเอียดใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว อาจเรียกสารผสมเพิ่มนี้ว่า วัสดุผสมเพิ่ม เนื่องจากใช้ช่วยปรับส่วนขนาดผลของวัสดุผสมให้ดีขึ้น และยังช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงได้บางส่วน สารผสมเพิ่มนี้อาจทำหรือไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับซีเมนต์เฟสท์ ได้แก่ วัสดุแร่ธาตุเฉื่อย วัสดุปอซโซลาน ซิลิกาฟูม

2) สารเพิ่มฟองอากาศ (Air Entraining Admixture)

ตามมาตรฐาน ASTM C 260 เป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำ ช่วยเพิ่มปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ได้แก่ สารกระจายกักฟองอากาศ

3) สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture)

ตามมาตรฐาน ASTM C 494 เป็นสารประกอบเคมีที่ละลายน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตสด ได้แก่ สารลดปริมาณน้ำ สารหน่วงการก่อตัว สารเร่งการก่อตัว สารลดปริมาณน้ำและเร่งหรือหน่วงการก่อตัว สารลดปริมาณน้ำในอัตราสูงและหน่วงการก่อตัว

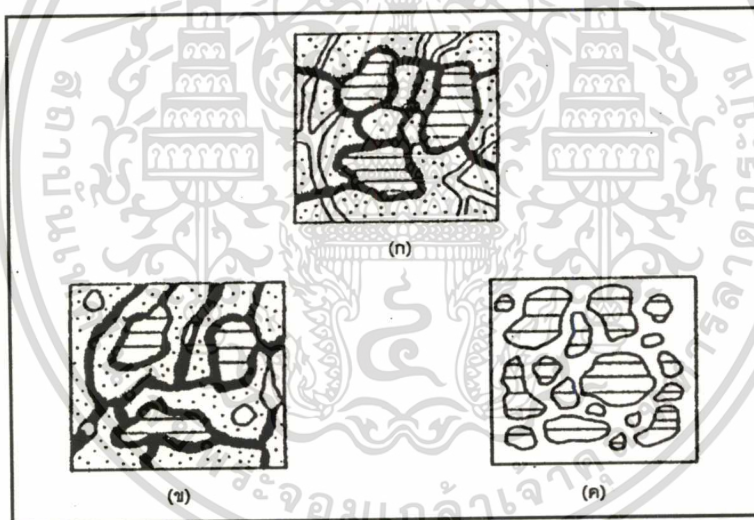
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สารผสมเพิ่มอื่น ๆ (Miscellaneous Admixture)

เป็นสารผสมเพิ่มที่ยังไม่จัดอยู่ในมาตรฐาน ASTM ได้แก่ สารเพิ่มการยึดเหนี่ยว (Bonding Agent) สารลดการกัดกร่อน (Corrosion Agent) สารเพิ่มการขยายตัว (Expanding Agent) สารกันซึม (Waterproofing Agent) ฯลฯ

สารเพิ่มการยึดเหนี่ยวที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็นสารพอลิเมอร์ มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความคงทนในคอนกรีต โดย Kukacka [22] กล่าวว่าพอลิเมอร์ที่จะนำมาใช้ในคอนกรีตจะต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ◆ สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่สภาวะทั่วไป (Ambient)
- ◆ สามารถเคลือบปูนซีเมนต์ และวัสดุผสม
- ◆ สามารถเกิดพันธะที่แข็งแรงระหว่างปูนซีเมนต์และวัสดุผสม
- ◆ โครงข่ายพอลิเมอร์จะต้องเข้ายึดตามรอยแตกเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะการทำงานของพอลิเมอร์ในคอนกรีต

- (ก) พอลิเมอร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีต (Polymer-Portland Cement-Concrete)
- (ข) พอลิเมอร์อิมพรีกเนตคอนกรีต (Polymer Impregnated Concrete)
- (ค) พอลิเมอร์คอนกรีต (Polymer Concrete)

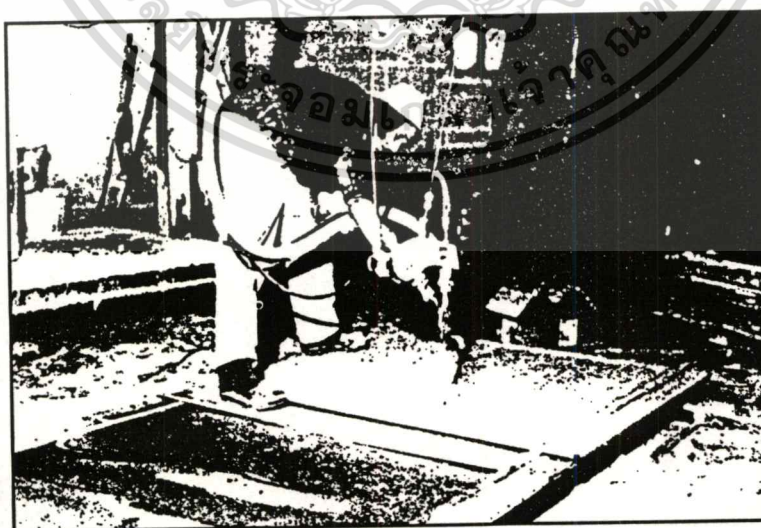
ตัวอย่างสารเพิ่มการยึดเกาะ ได้แก่ สารอคริลิก (Acrylic) โดยสารอคริลิกจะเป็นสารพอลิเมอร์ และโคพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของเอสเทอร์ของอคริลิก และกรดเมทาไครลิก (Methacrylic acid) ปริมาณการใช้จะอยู่ในช่วง 10-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [23] การทำคอนกรีตผสมพอลิเมอร์ (Polymer Cement Concrete : PCC) นี้จะคล้ายกับการทำคอนกรีตและมอร์ต้าทั่วไป แต่ต่างกันที่การบ่ม โดยที่วันแรกของการทำคอนกรีตชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุคลุมผิวของคอนกรีตเพื่อรักษาความชื้น เนื่องจากจะมีแผ่นฟิล์มเกิดขึ้นที่ผิวของคอนกรีต ซึ่งจะทำหน้าที่รักษาความชื้นให้เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์อยู่แล้ว การบ่มคอนกรีตชนิดนี้จะบ่มในอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

2.3.2 กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส (Fabrication of GRC)

กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส มี 2 วิธี คือ การผลิตแบบพ่น (Spraying) และการผลิตแบบหล่อ (Premixing) [24]

2.3.2.1 การผลิตแบบพ่น (Spraying)

ทำโดยการพ่นซีเมนต์ หินทราย และใยแก้ว ซึ่งอยู่ในสภาพของเหลวลงไปในแบบหล่อ (Mould) รอกจนแข็งตัว จึงถอดออกจากแบบ นำไปบ่มจนได้ความแข็งแรงเต็มที่ กรรมวิธีการผลิตนี้มักใช้ในการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่ เช่น แผ่นผนังสำเร็จรูป แผ่นกันแดด แผ่นหลังคา แบบหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ถังเก็บน้ำ ผนังเขื่อน และชิ้นส่วนของอาคารสำเร็จรูป



รูปที่ 2.15 แสดงการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสโดยวิธีการพ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 การผลิตแบบหล่อ (Premixing)

ทำโดยการผสมซีเมนต์ หินทราย และใยแก้วให้เข้ากันก่อน แล้วจึงเติมน้ำจนได้สัดส่วนตามที่ต้องการ ก่อนที่จะนำไปหล่อลงในแบบหล่อ ในกระบวนการผลิตแบบนี้ ซีเมนต์ ใยแก้ว (ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และน้ำจะถูกผสมเข้าด้วยกัน กรรมวิธีการผลิตนี้เหมาะสำหรับชิ้นงานขนาดเล็ก เช่น ท่อระบายน้ำ รางน้ำ ปอดักขยะ กระถางต้นไม้ และงานลายบัวตอกแต่งลวดลายต่าง ๆ

2.3.3 การประยุกต์ใช้งานของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส (Application of GRC)

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความทนต่อแรงดัด และแรงดึงสูง สามารถผลิตเป็นชิ้นงานได้หนาตั้งแต่ 6 มิลลิเมตร ขึ้นไป ในขณะที่คอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไปต้องการเนื้อคอนกรีตหุ้มอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร ทำให้คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบให้รับแรงได้เท่ากัน สามารถขึ้นรูปได้อย่างอิสระ ทนไฟ ดูดซับเสียงและรับแรงกระแทกได้มาก [25] จึงทำให้มีการผลิตได้มีการขยายตัวและถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง การผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสในช่วงแรก ๆ จะผลิตเป็นแผ่นบาง แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบการผลิตที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น งานอาคารและงานก่อสร้างทั่วไป ทำแผงกันแดด หลังคา ผนัง ไม้แบบ งานตกแต่งภายนอกและภายใน งานชลประทานและอุตสาหกรรม ทำถังเก็บน้ำ ท่อส่งน้ำ และระบบกักน้ำเสีย งานระบบป้องกันภัยและห้องทำความเย็น ระบบป้องกันเสียง งานด้านการเกษตร งานประดับตกแต่ง และสาธารณูปโภคอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงการประยุกต์ใช้งานของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

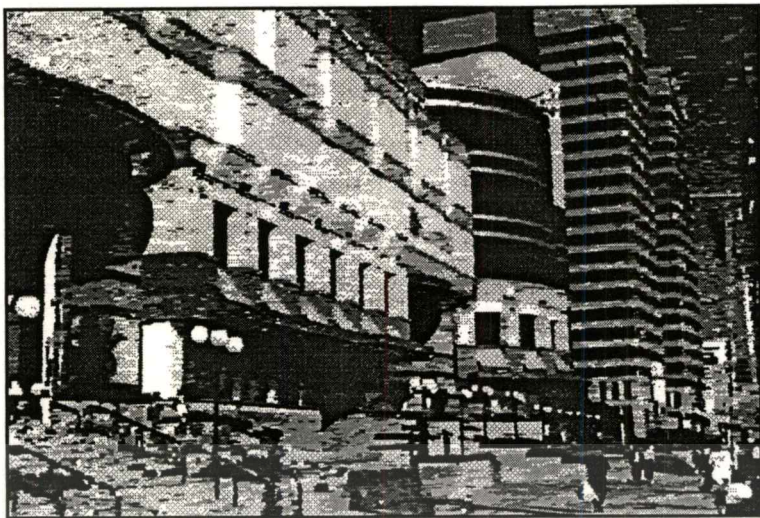
ลักษณะการใช้งาน	ตัวอย่าง
ด้านการเกษตร	- เรือนกระจก - คลองส่งน้ำ - บ่อน้ำ
งานก่อสร้างขนาดเล็ก	- คอกสัตว์ - โรงรถ - ตู้โทรศัพท์ - ร้านขนาดเล็ก

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

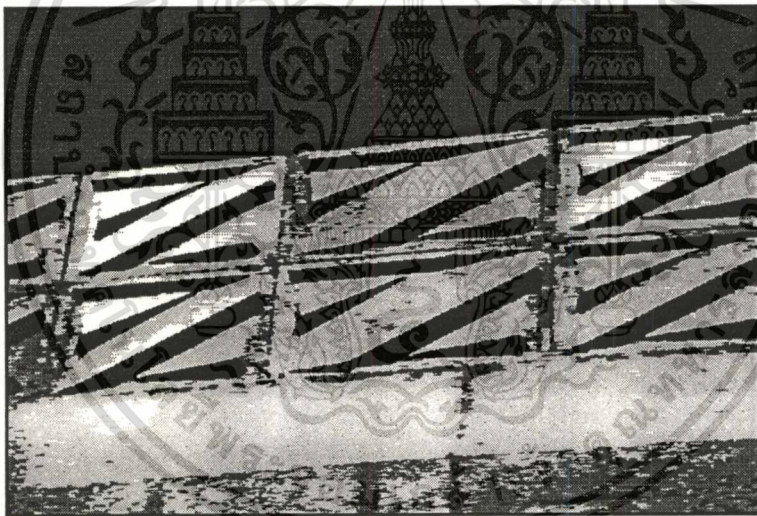
ลักษณะการใช้งาน	ตัวอย่าง
งานก่อสร้างทั่วไป	- หลังคา - ช่องรับแสงสว่าง - พื้นกันกระแทก
ภาชนะบรรจุ	- แทงค์เก็บของ - จุกปิดภาชนะ - กล่องบรรจุของ
ระบบป้องกันไฟ	- ประตูกันไฟ - ฉนวนป้องกันไฟ - แผ่นฉนวนเคลือบซิลิเกต
การประมง	- ทุ่นลอยน้ำ - แพ - เรือขนาดเล็ก
ใช้แทนโยหิน	- แผ่นบาง ๆ - กระเบื้องมุงหลังคา - ท่อ
ใช้แทนโลหะ	- ตุ้ควัน - ชันบันได
ส่วนประกอบของถนน	- สัญลัษณ์ - แผ่นกันเสียง - ที่พักผู้โดยสาร

ที่มา : Daniel, J.I. ;1988. [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงผนังอาคารเซ็นทรัลพลาซ่า



รูปที่ 2.17 แสดงผนังกันทางด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 สารเคมีที่ใช้

- 3.1.1.1 ปูนซีเมนต์ตราช้าง
- 3.1.1.2 ททราย
- 3.1.1.3 น้ำยาประสานคอนกรีต
- 3.1.1.4 น้ำประปา
- 3.1.1.5 เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้

- 3.1.2.1 เครื่องชั่ง
- 3.1.2.2 เตาอบ
- 3.1.2.3 ตะแกรงร่อนมาตรฐาน
- 3.1.2.4 เครื่องผสมคอนกรีต
- 3.1.2.5 แบบหล่อคอนกรีต
- 3.1.2.6 เครื่องทดสอบความชื้นเหลว
- 3.1.2.7 เครื่องทดสอบกำลังคอนกรีต

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเศษไฟเบอร์กลาสกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในคอนกรีต มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ชั้นเตรียมการ

3.2.1.1 ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

เป็นการศึกษา และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส เช่น สมบัติทางกายภาพ กระบวนการผลิต ปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิต การกำจัดและการนำกลับมาใช้ใหม่

3.2.1.2 ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับคอนกรีต

เป็นการศึกษา และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีต เช่น การผสมคอนกรีต การเทคอนกรีต การบ่มคอนกรีต การทดสอบคอนกรีต และการปรับปรุงคุณภาพคอนกรีต เป็นต้น

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตเสริมผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส มีขั้นตอนดังนี้

3.2.2.1 การทดสอบเบื้องต้น

เป็นการทดสอบสมบัติของวัสดุ และส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งอาจจะมีผลต่อสมบัติของคอนกรีต ได้แก่

1) การทดสอบหาความชื้นเหลว (Consistency) ของซีเมนต์มอร์ต้า

เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า การหาความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า จะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 230-90 [27] โดยการเตรียมซีเมนต์มอร์ต้ามาตรฐานจากซีเมนต์ 1 ส่วนและทรายมาตรฐาน 2.75 ส่วนโดยน้ำหนัก ผสมซีเมนต์มอร์ต้าส่วนหนึ่งให้พอดีที่จะบรรจุลงในแบบ ด้วยอัตราส่วนของน้ำต้ำที่สุด หาค่าการกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ต้าโดยใช้โต๊ะควบคุมการไหล (Flow Table) ค่าการกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ต้าสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{การกระจายตัว (\%)} = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100$$

เมื่อ

D_1 = ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ต้าที่กระจายตัวออก, เซนติเมตร

D_0 = เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นฐานของแบบ, เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในแต่ละครั้งที่ทดลองใหม่ เพื่อให้ได้ค่าที่เพียงพอสำหรับนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบ ระหว่างค่าการกระจายตัวกับอัตราส่วนของน้ำ แล้วจึงใช้กราฟเป็นตัวหาค่าที่เหมาะสมต่อไป โดยปกติค่าการกระจายตัวที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 105-115 เปอร์เซ็นต์

2) การทดสอบหาการดูดซึมน้ำของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมให้มีความชื้นเหลวคง เนื่องจากโครงสร้างในแต่ละก้อนของวัสดุผสม ประกอบด้วยเนื้อของแข็งและช่องว่าง (Void) หรือ รูพรุน (Pore) ซึ่งบางส่วนอยู่ในเนื้อวัสดุและบางส่วนอยู่ที่ผิววัสดุ ช่องว่างเหล่านี้จะดูดความชื้นในอากาศเข้าไปเก็บไว้ การทดสอบหาการดูดซึมน้ำของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ทำโดยการนำตัวอย่างเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ทั้งที่คัดขนาด (ขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร) และไม่คัดขนาด นำไปแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง ทำให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้ง โดยการเช็ดหรือซับด้วยผ้าที่ดูดซึมน้ำได้ดีหรือทำอย่างคร่าว ๆ โดยผึ่งลมให้แห้ง [28] น้ำหนักที่ได้จะเป็นน้ำหนักที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง แล้วทำให้แห้งสนิทโดยการให้ความร้อน แล้วจึงชั่งน้ำหนักที่อบแห้ง น้ำหนักที่หายไปจากการได้รับความร้อน จะแสดงถึงปริมาณการดูดซึมน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{การดูดซึม (\%)} = \frac{SSD - D}{D} \times 100$$

เมื่อ

SSD = น้ำหนักที่อิ่มตัวผิวแห้ง, กรัม

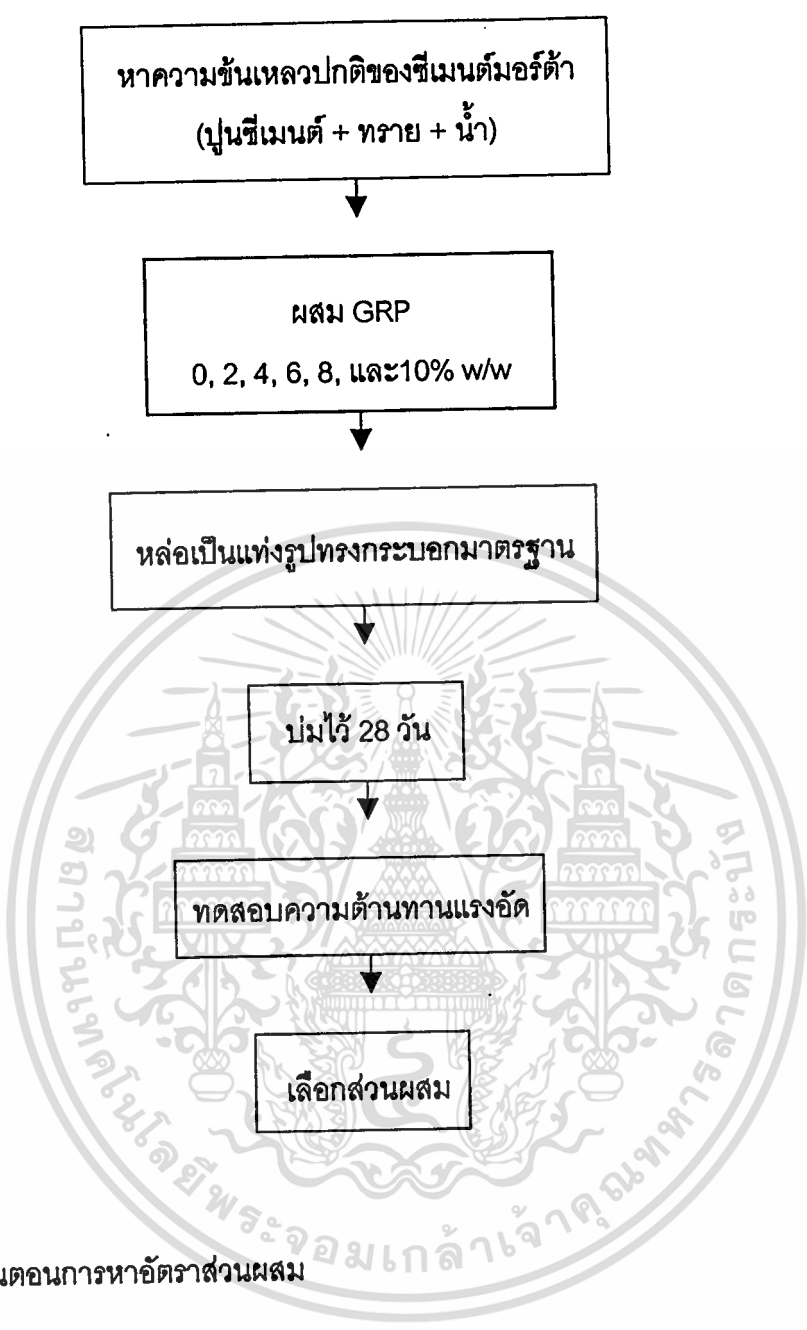
D = น้ำหนักที่อบแห้ง, กรัม

3.2.2.2 การหาอัตราส่วนผสม

การหาอัตราส่วนผสม จะทำโดยการผสมปูนซีเมนต์ตราช้าง ทราาย น้ำ และเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ทั้งที่คัดขนาด และไม่คัดขนาด ในอัตราส่วนผสม 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 % โดยน้ำหนัก ส่วนผสม หล่อเป็นแท่งรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บ่มไว้ในน้ำเป็นเวลา 28 วัน เมื่อครบกำหนดก็จะทำการทดสอบความต้านทานแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C 39-96 [29] เลือกส่วนผสมที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน และใช้เป็นส่วนผสมหลักที่จะนำไปศึกษาปรับปรุงคุณภาพ และผลิตเป็นแผ่นคอนกรีตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

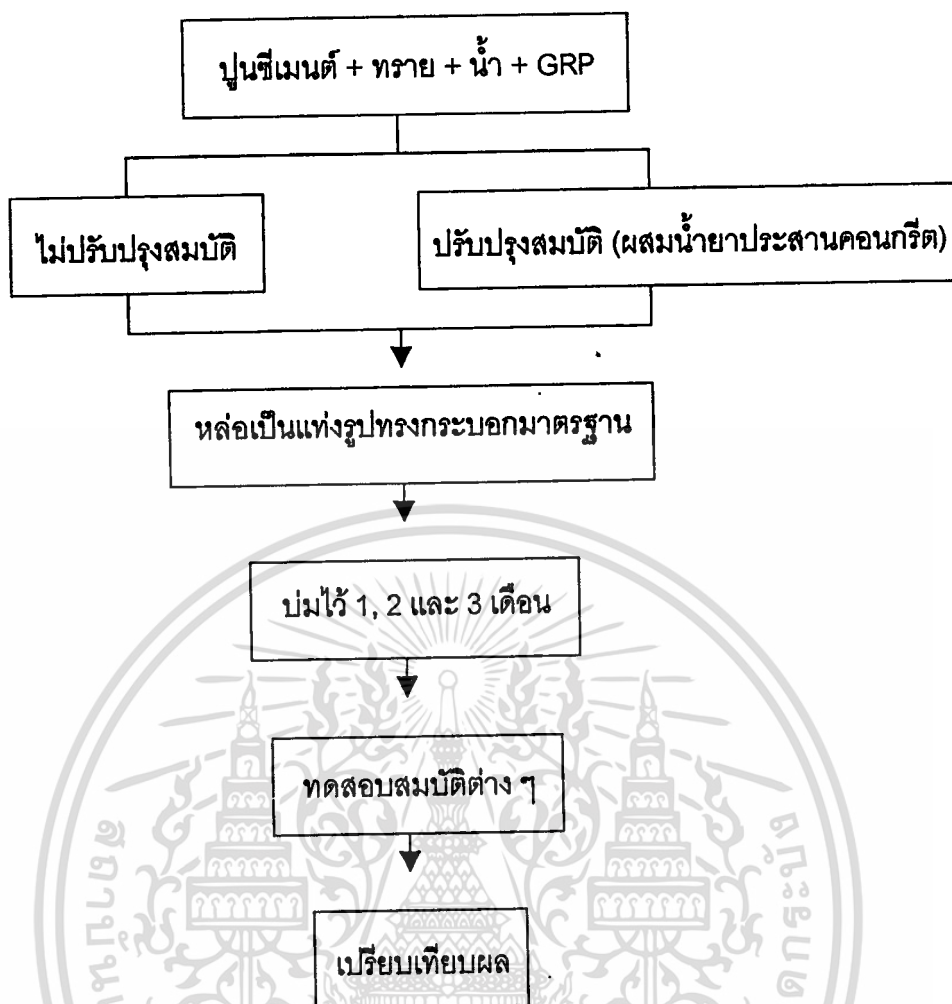
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสม

3.2.2.3 การปรับปรุงสมบัติของคอนกรีต

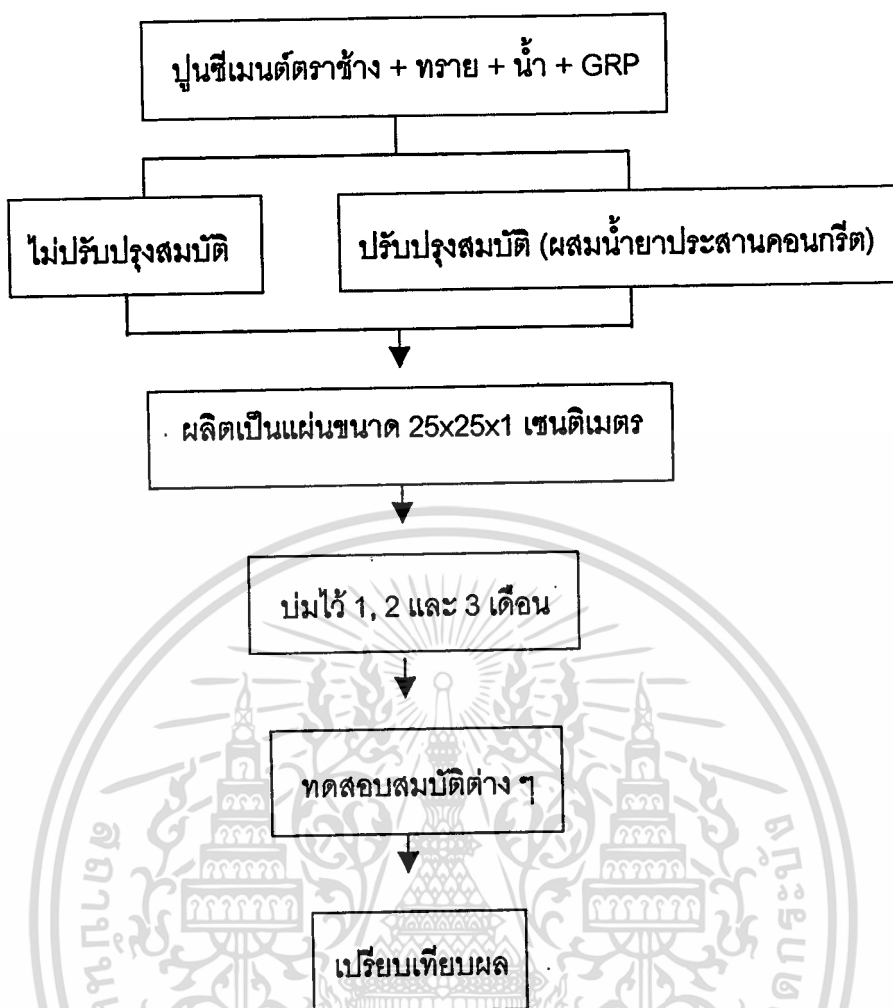
การปรับปรุงสมบัติของคอนกรีต ทำโดยการผสมปูนซีเมนต์ตราช้าง ททราย เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส น้ำ และน้ำยาประสานคอนกรีต โดยเลือกใช้ส่วนผสมที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองตามข้อ 3.2.2.2 ปริมาณของน้ำยาประสานคอนกรีตที่ใช้จะใช้ตามปริมาณที่ระบุเอาไว้ หล่อเป็นแท่งรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บ่มไว้ในอากาศเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 เดือน เมื่อครบกำหนดก็จะทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ASTM C 39-96 และ ASTM C 496-96 [30] เปรียบเทียบผลที่ได้กับคอนกรีตที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีต

3.2.2.4 การผลิตแผ่นคอนกรีต

การผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส ทำโดยการผสมปูนซีเมนต์ตราช้าง ทราย เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส น้ำ และสารผสมเพิ่ม หล่อเป็นแผ่นขนาด 25x25x1 เซนติเมตร บ่มไว้ในอากาศเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 เดือน เมื่อครบกำหนดก็จะทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ASTM C 948-94 [31] และ ASTM C 947-96 [32] เปรียบเทียบผลที่ได้กับแผ่นคอนกรีตที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

3.2.2.5 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต

การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต จะทำการทดสอบทุก ๆ 1 เดือนเป็นเวลา 3 เดือน เปรียบเทียบผลระหว่างคอนกรีตที่ปรับปรุงสมบัติ และคอนกรีตที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต มีดังนี้

1) การทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive strength)

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความต้านทานแรงอัด จะเป็นแท่งมาตรฐานรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบมาตรฐานด้วยเครื่องทดสอบ จนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก น้ำหนักกดหรืออัดสูงสุดที่ได้เมื่อนำหารด้วยเนื้อที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่รับแรง จะเป็นค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตนั้น ซึ่งหาได้จากสมการ

$$F_c = \frac{P}{A}$$

เมื่อ

F_c = กำลังอัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง, กิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง, ตารางเซนติเมตร

2) การทดสอบความต้านทานแรงดึง

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความต้านทานแรงดึง เป็นแท่งมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบมาตรฐานซึ่งวางอยู่ในแนวนอนด้วยเครื่องทดสอบจนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก ความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตคำนวณได้จากสมการ

$$T = \frac{2P}{\pi DL}$$

เมื่อ

T = กำลังต้านทานแรงดึงของแท่งตัวอย่าง, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P = แรงกระทำสูงสุดของแท่งตัวอย่าง, กิโลกรัม

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง, เซนติเมตร

L = ความยาวเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง, เซนติเมตร

3) การทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength)

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง จะมีขนาด 5x25x1 เซนติเมตร ก่อนทำการทดสอบจะแช่ตัวอย่างไว้ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทดสอบทันทีที่นำขึ้นจากน้ำ โดยวางบนเครื่องรองรับให้แรงกระทำสองจุดตรงตามตำแหน่ง เพิ่มแรงกดในอัตราคงที่จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างหัก บันทึกแรงกดเมื่อหักและวัดความหนาเฉลี่ยที่บริเวณรอยหัก คำนวณหาค่าความต้านทานแรงดัดโค้งจากสมการ

$$MOR = \frac{P_{max} L}{bd^2}$$

เมื่อ

MOR = โมดูลัสของการแตกร้าว (Modulus of rupture), แมกกะพาสกาล

P_{max} = แรงสูงสุดที่สามารถรับได้ของตัวอย่าง, นิวตัน

L = ความยาวของหมอนรองหลัก (Major support span), มิลลิเมตร

b = ความกว้างของตัวอย่าง (Width of specimen), มิลลิเมตร

d^2 = ความหนาของตัวอย่าง (Depth of specimen), มิลลิเมตร

4) การทดสอบความหนาแน่น (Density) การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และความพรุน (Porosity)

ตัวอย่างที่ใช้ทำการทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความพรุน จะมีขนาด 25x25x1 เซนติเมตร การทดสอบจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

◆ การแช่น้ำ และทำให้ผิวหน้าอิ่มตัว (Immersed Mass and Saturated Surface)

แช่ตัวอย่างไว้ในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักของตัวอย่างจนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการชั่ง 2 ครั้งในการแช่น้ำติดต่อกันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่ชั่งได้มากกว่า กำหนดให้ค่าของน้ำหนักที่ชั่งได้เป็น A

◆ การทำให้แห้งหลังจากการแช่น้ำ (Dry Mass after Immersion)

นำตัวอย่างที่แช่น้ำและทำให้ผิวหน้าอิ่มตัวแล้ว มาทำให้ผิวหน้าแห้งอย่างรวดเร็วโดยการซับด้วยผ้าเช็ดตัว ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทันที กำหนดให้ค่าของน้ำหนักที่ชั่งได้เป็น B

◆ การทำให้แห้งด้วยเตาอบ (Oven-Dry Mass)

นำตัวอย่างที่ทำให้ผิวหน้าแห้งแล้วไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างจนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการชั่ง 2 ครั้งในการแช่น้ำติดต่อกันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีน้ำหนักลดลงไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักต่ำสุดที่ชั่งได้ กำหนดให้ค่าของน้ำหนักที่ชั่งได้เป็น C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความพรุน สามารถคำนวณได้จากสมการต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{C}{(B-A)}$$

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{(B-C)}{C} \times 100$$

$$\text{ความพรุน (\%)} = \frac{(B-C)}{(B-A)} \times 100$$

เมื่อ

A = น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ (Immersed mass), กรัม

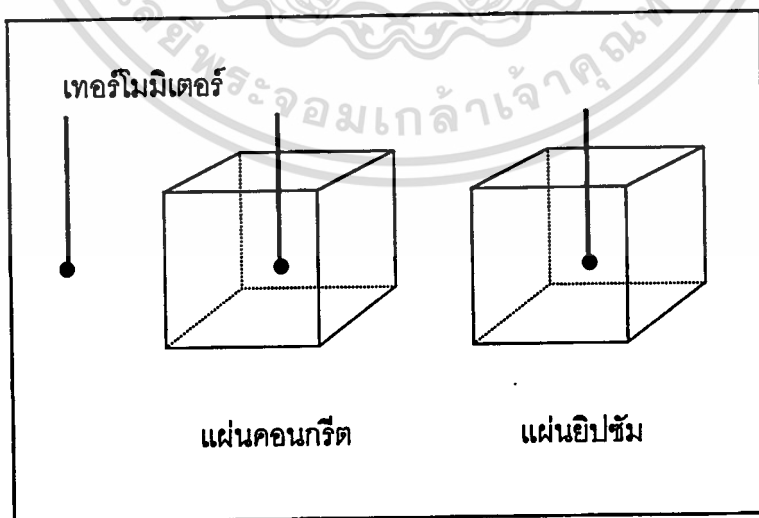
B = น้ำหนักที่ชั่งภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-surface-dry mass), กรัม

C = น้ำหนักที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งแล้ว (Oven-dry mass), กรัม

5. การทดสอบการส่งผ่านความร้อน (Thermal Transmission)

การทดสอบการส่งผ่านความร้อน ทำโดยการนำตัวอย่างแผ่นคอนกรีตมาประกอบเป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยม เชื่อมรอยต่อด้วยซิลิโคนเพื่อป้องกันการรั่ว เจาะรูที่ด้านบนเพื่อใส่เทอร์โมมิเตอร์ นำกล่องตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วไปวางไว้กลางแดด วัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทั้งภายนอก และภายในกล่องตัวอย่าง เปรียบเทียบกับกล่องที่ทำจากแผ่นยิปซัม ที่ศึกษาในสภาวะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.4



รูปที่ 3.4 แสดงชุดการทดลองหาการส่งผ่านความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

3.2.3.1 การวิเคราะห์เพื่อเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม จะพิจารณาจากความชื้นเหลวของส่วนผสม ลักษณะของคอนกรีตที่ได้หลังจากที่แห้งแล้ว กำลังต้านทานแรงอัด และความคุ้มค่าในการนำไปใช้งาน

3.2.3.2 การวิเคราะห์ผลการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีต จะวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ทำการปรับปรุง และไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพ

3.2.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นคอนกรีต จะวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ ASTM ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

3.2.3.4 การวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรม จะทำโดยการพิจารณาสมบัติเชิงกล และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตแผ่นคอนกรีต

3.2.4 ขั้นตอนการสรุปผลและข้อเสนอแนะ

การสรุปผลจะสรุปผลตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในตอนต้น โดยสรุปตามประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

3.2.4.1 สรุปผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ โดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

3.2.4.2 สรุปผลถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานในระยะยาว โดยดูจากผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลา 3 เดือน

3.2.4.3 สรุปผลถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง โดยดูจากสมบัติต่าง ๆ รวมถึงความคุ้มค่าในการนำไปใช้งาน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การศึกษาสมบัติของแผ่นคอนกรีตที่เสริมแรงด้วยเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ตามขั้นตอนการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผลที่ได้จากการศึกษา มีดังนี้

4.1 ผลการทดสอบเบื้องต้น

เป็นผลการทดสอบสมบัติของวัสดุ และส่วนผสมของคอนกรีตบางประการ ซึ่งอาจจะมีผลต่อสมบัติของคอนกรีต ดังนี้

4.1.1 การทดสอบหาความชันเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า

เป็นการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับความชันเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า โดยการเตรียมซีเมนต์มอร์ต้ามาตรฐานจากซีเมนต์ 1 ส่วน และทรายมาตรฐาน 2.75 ส่วนโดยน้ำหนัก ผสมซีเมนต์มอร์ต้าส่วนหนึ่งให้พอดีที่จะบรรจุลงในแบบด้วยอัตราส่วนผสมของน้ำต้ำที่สุด เปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในแต่ละครั้งที่ทดลองใหม่ หาค่าการกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ต้าโดยใช้โต๊ะควบคุมการไหล (Flow Table) และคำนวณหาค่าการกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ต้าจากสมการ

$$\text{การกระจายตัว (\%)} = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100$$

เมื่อ

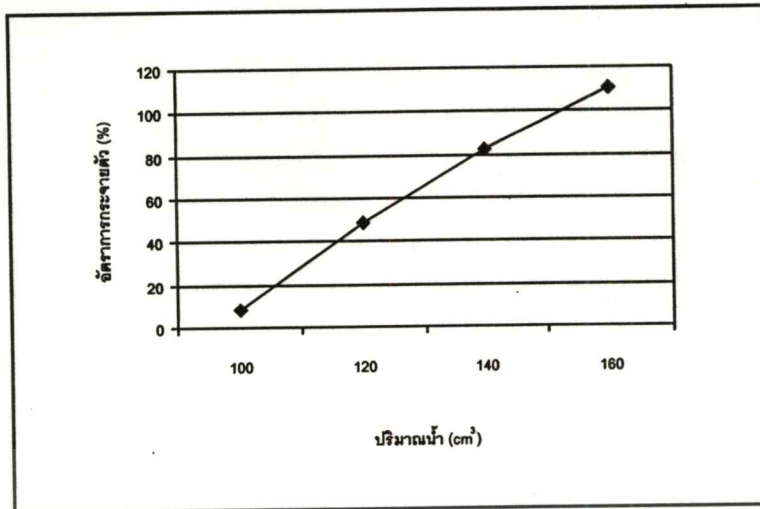
D_1 = ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ต้าที่กระจายตัวออก, เซนติเมตร

D_0 = เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นฐานของแบบ, เซนติเมตร

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบหาความชันเหลวของซีเมนต์มอร์ต้ามาเขียนกราฟ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ผสมลงไป 160 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะให้ค่าการกระจายตัวเท่ากับ 110 เปอร์เซนต์ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่พอดีที่จะทำให้ได้ความชันเหลวที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เมื่อคิดเทียบเป็นอัตราส่วนของน้ำต้อปูนซีเมนต์จะเท่ากับ 0.21 ดังนั้นในการทำวิจัยในขั้นต่อไปจะใช้อัตราส่วนของทรายต้อปูนซีเมนต์เท่ากับ 2.75 : 1 และอัตราส่วนของน้ำต้อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.21 เพื่อให้คอนกรีตที่ได้มีความชันเหลวที่เหมาะสม และคงที่ตลอดการทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

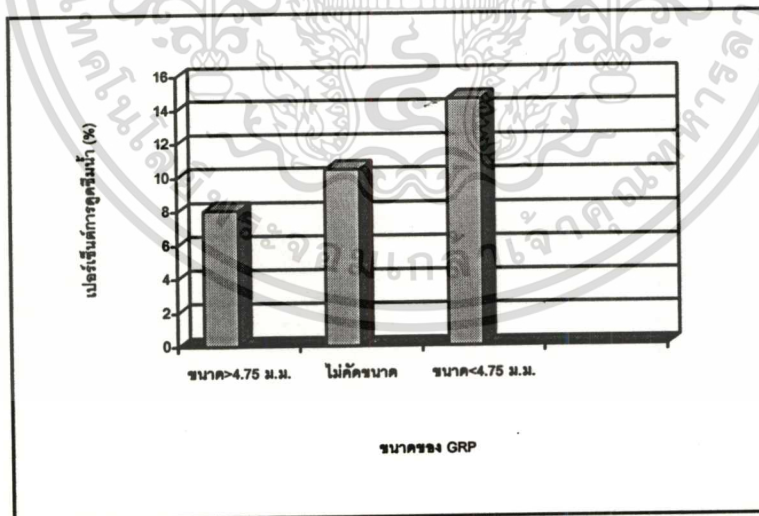
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ต้า

4.1.2 การทดสอบหาการดูดซึมน้ำของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

เป็นการหาปริมาณน้ำที่เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสสามารถดูดซึมเอาไว้ได้ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตให้มีความชื้นเพียงพอที่ตลอดการวิจัย จากการแช่เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสไว้ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และชั่งน้ำหนักในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2

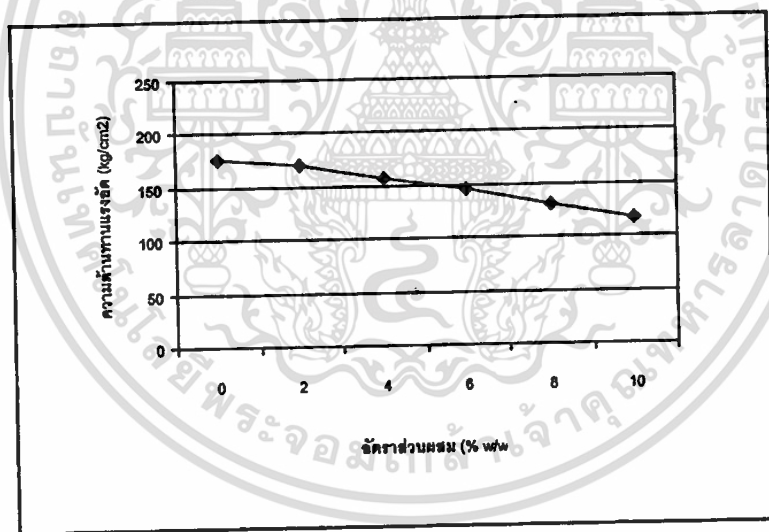


รูปที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ GRP

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดเล็ก จะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากกว่าเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดใหญ่ นั่นคือ เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร จะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 14.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ไม่ได้คัดขนาดมีค่าเท่ากับ 10.44 เปอร์เซ็นต์ และต่ำที่สุดคือ เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 8.04 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการนำเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเหล่านี้ไปใช้วัสดุผสมในคอนกรีต จะมีการเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในคอนกรีตอีก 14.60, 10.44 และ 8.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

เป็นการทดสอบเพื่อหาขนาด และปริมาณของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่เหมาะสมที่จะใช้เสริมแรงในคอนกรีต โดยเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาณของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในช่วงระหว่าง 0 -10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ผลที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

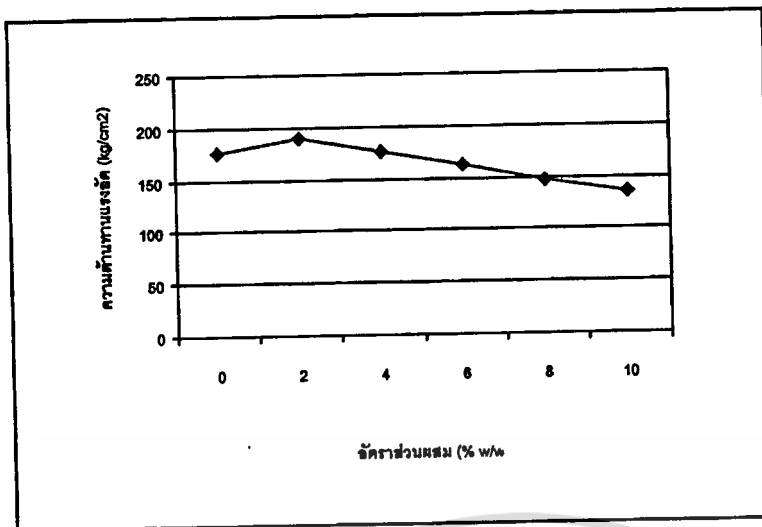


รูปที่ 4.3 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.3 พบว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส จะมีค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 177.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะลดลงเป็น 170.33 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และลดลงเรื่อย ๆ ตามปริมาณที่ใส่ลงไป สรุปได้ว่าเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เสริมแรงในคอนกรีต

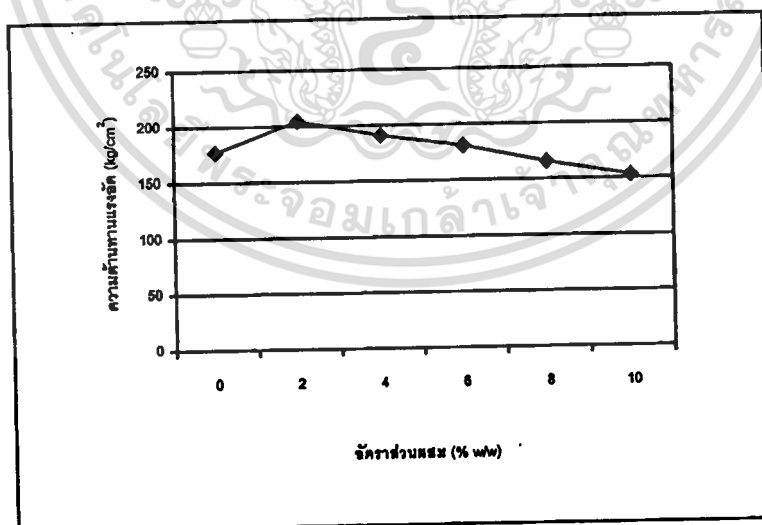
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่ไม่คัดขนาด

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมคอนกรีตที่ได้จะมีความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 189.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งยังสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ใส่เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส แต่ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจะลดลงเรื่อย ๆ ตามปริมาณที่ใช้ผสม ดังนั้นปริมาณไฟเบอร์กลาสที่เหมาะสมที่จะใช้ผสมในคอนกรีต คือ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม



รูปที่ 4.5 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร

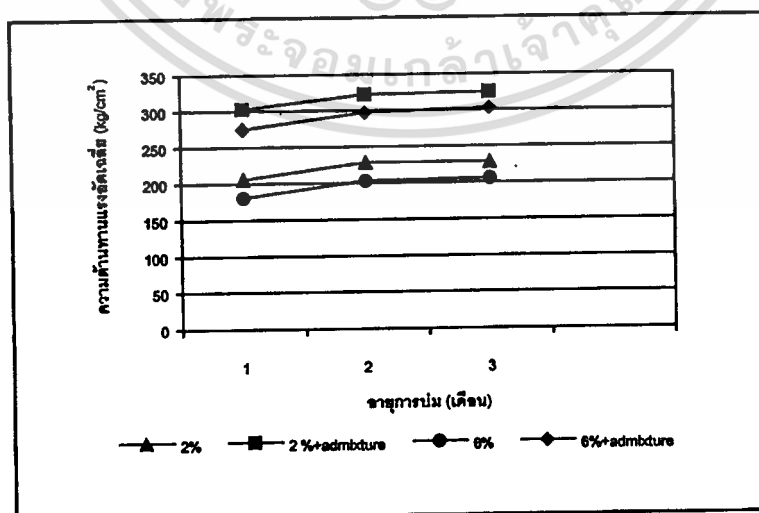
จากรูปที่ 4.5 พบว่าผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมคอนกรีตที่ได้จะมีความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 204.76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่ลดลงเรื่อย ๆ ตามปริมาณที่ใช้ผสม ทั้งนี้เนื่องจากเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้ผสมมีพอลิเอสเทอร์เรซินเคลือบอยู่ที่ผิวด้านนอก ทำให้การยึดเกาะกับปูนซีเมนต์ และทรายมีน้อยลง ดังนั้นปริมาณของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่เหมาะสมที่จะใช้ผสมในคอนกรีต คือ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม

เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Excel โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Testing k Sample Mean By Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของแต่ละกลุ่มอัตราส่วนผสม มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างน้อย 2 กลุ่มอัตราส่วนผสม ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของแต่ละกลุ่มขนาดมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างน้อย 2 กลุ่มขนาด และมีผลกระทบร่วมระหว่างกลุ่มขนาด และกลุ่มอัตราส่วนผสมต่อค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3 ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีต

การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย การทดสอบความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงดัด ความหนาแน่น อัตราการดูดซึมน้ำ ความพรุน และการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีต ผลการทดสอบที่ได้มีดังนี้

4.3.1 ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

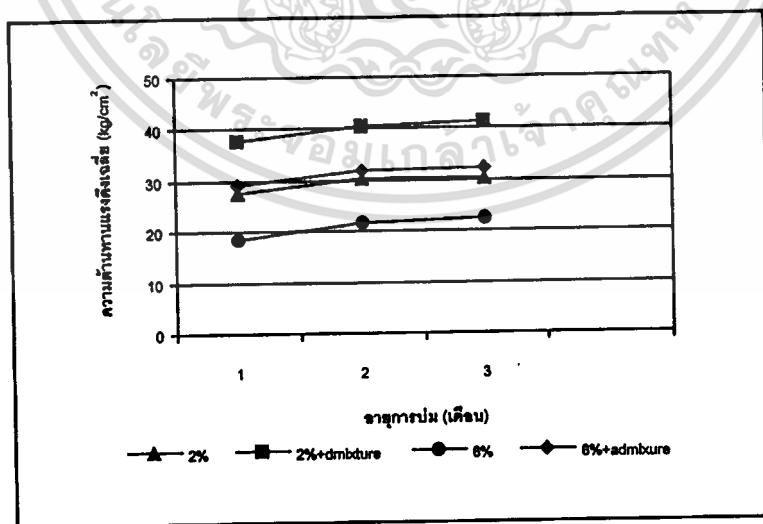


รูปที่ 4.6 แสดงความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 พบว่าคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต จะมีความต้านทานแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต สามารถเรียงลำดับความสามารถในการต้านทานแรงอัดจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม และผสมน้ำยาประสานคอนกรีต > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม และผสมน้ำยาประสานคอนกรีต > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทั้ง 4 อัตราส่วนผสม จะเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงการบ่มเดือนที่ 2 และจะเริ่มคงที่ในเดือนที่ 3

เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Excel โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Testing k Sample Mean By Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมของแต่ละกลุ่มอายุการบ่ม มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างน้อย 2 กลุ่มอายุการบ่ม ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของกลุ่มที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างกลุ่มอายุการบ่ม และกลุ่มชนิดตัวอย่าง (ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต) ต่อค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.2 ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

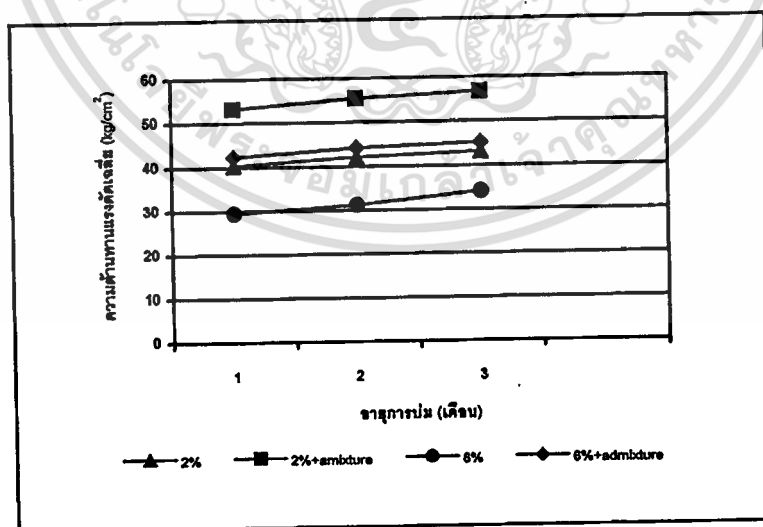


รูปที่ 4.7 แสดงความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

จากรูปที่ 4.7 พบว่าคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต จะมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต สามารถเรียงลำดับความสามารถในการต้านทานแรงดึงจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม และผสมน้ำยาประสานคอนกรีต > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม และผสมน้ำยาประสานคอนกรีต > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตทั้ง 4 อัตราส่วนผสม จะเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงการบ่มเดือนที่ 2 และจะเริ่มคงที่ในเดือนที่ 3

เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Excel โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Testing k Sample Mean By Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมของแต่ละกลุ่มอายุการบ่ม มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างน้อย 2 กลุ่มอายุการบ่ม ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตของกลุ่มที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างกลุ่มอายุการบ่ม และกลุ่มชนิดตัวอย่าง ต่อค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.3 ความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

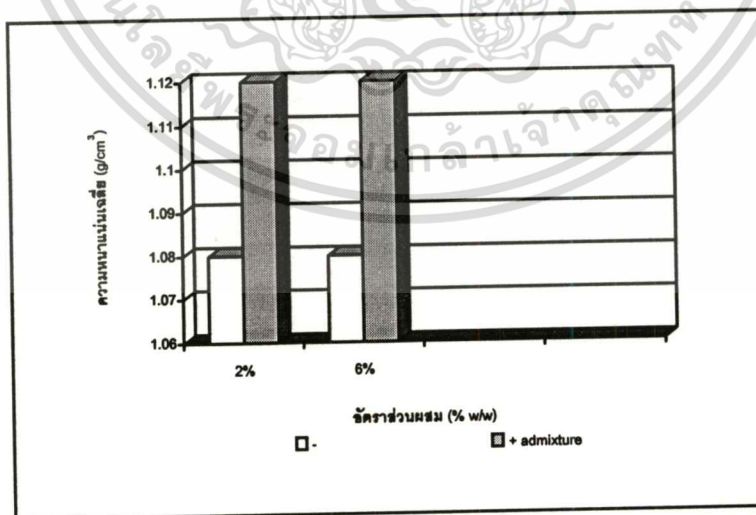


รูปที่ 4.8 แสดงความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

จากรูปที่ 4.8 พบว่าคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต จะมีความต้านทานแรงดัดสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต สามารถเรียงลำดับความสามารถในการต้านทานแรงดัดจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม และผสมน้ำยาประสานคอนกรีต > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม และผสมน้ำยาประสานคอนกรีต > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม > อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตทั้ง 4 อัตราส่วนผสม จะเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็วในช่วงการบ่มเดือนที่ 2 และจะเริ่มคงที่ในเดือนที่ 3

เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Excel โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Testing k Sample Mean By Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมของแต่ละกลุ่มอายุการบ่ม มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างน้อย 2 กลุ่มอายุการบ่ม ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตของกลุ่มที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีผลกระทบร่วมระหว่างกลุ่มอายุการบ่ม และกลุ่มชนิดตัวอย่าง ต่อค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.4 ความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส



รูปที่ 4.9 แสดงความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 พบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตทั้ง 2 อัตราส่วนผสมมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ คอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 1.08 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 1.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อผสมน้ำยาประสานคอนกรีตความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น โดยที่คอนกรีต อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม เมื่อผสมน้ำยาประสานคอนกรีต ความหนาแน่นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.12 และ 1.12 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Excel โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Testing k Sample Mean By Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของคอนกรีตอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมและไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างอัตราส่วนผสม และชนิดตัวอย่าง ต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของคอนกรีตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.5 การดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

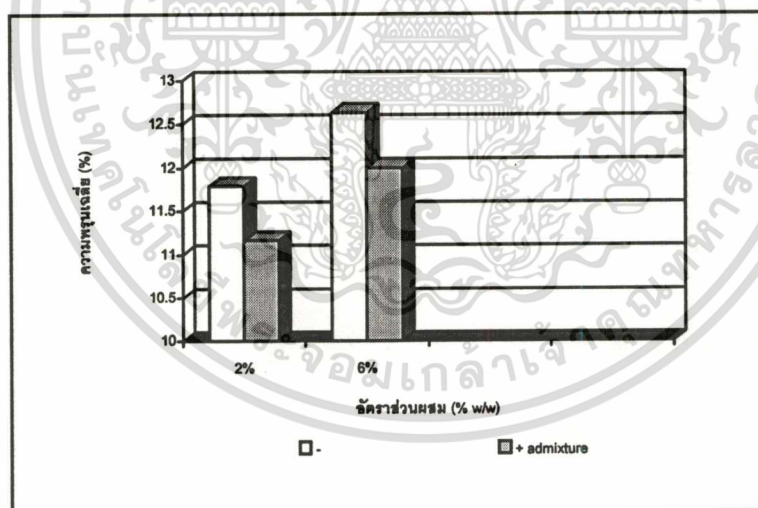


รูปที่ 4.10 แสดงการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

จากรูปที่ 4.10 พบว่าอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้ผสม นั่นคือ คอนกรีตอัตราส่วนผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม จะมีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 10.79 และ 11.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อผสมน้ำยาประสานคอนกรีตอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตจะลดลง โดยที่อัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตอัตราส่วนผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสมจะลดลงเป็น 9.99 และ 10.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Excel โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Testing k Sample Mean By Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของคอนกรีตอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่ผสมและไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างอัตราส่วนผสม และชนิดตัวอย่าง ต่อค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.6 ความพรุนเฉลี่ยของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

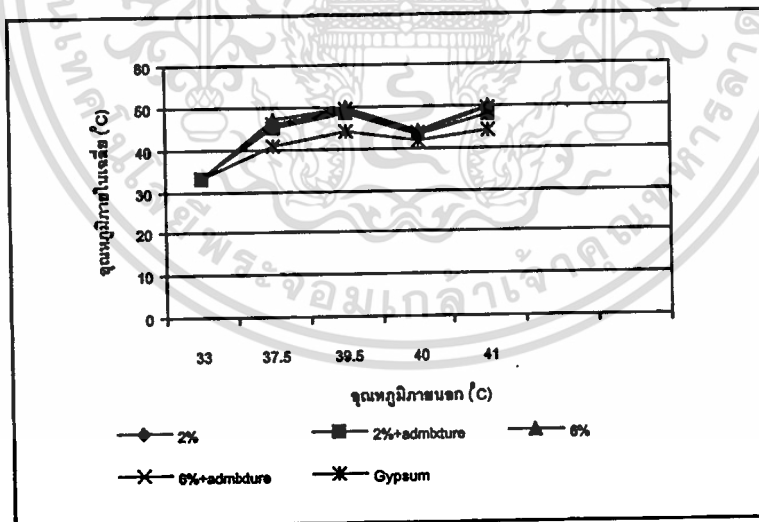


รูปที่ 4.11 แสดงความพรุนเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

จากรูปที่ 4.11 พบว่าคอนกรีตอัตราส่วนผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักส่วนผสม จะมีความพรุนน้อยกว่าคอนกรีตอัตราส่วนผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม และคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีตจะมีความพรุนน้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต นั่นคือ คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม มีความพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 11.79 และ 12.63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อผสมน้ำยาประสานคอนกรีตความพรุนเฉลี่ยของคอนกรีตจะลดลง โดยที่คอนกรีตอัตราส่วนผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม จะมีความพรุนเฉลี่ยลดลงเป็น 11.16 และ 12.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Excel โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Testing k Sample Mean By Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความพรุนของคอนกรีตอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าเฉลี่ยความพรุนของคอนกรีตที่ผสมและไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างอัตราส่วนผสม และชนิดตัวอย่าง ต่อค่าเฉลี่ยความพรุนของคอนกรีตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.7 การส่งผ่านความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส และแผ่นยิปซัม



รูปที่ 4.12 แสดงการส่งผ่านความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส และแผ่นยิปซัม

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่ออุณหภูมิภายนอกกล่องทดลองเพิ่มขึ้น กล่องทดลองที่ทำจากคอนกรีตอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ภายในกล่องสูงกว่ากล่องทดลองที่ทำจากคอนกรีตส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกล่องทดลองที่ทำจากแผ่นยิปซัมพบว่า อุณหภูมิภายในกล่องทดลองของคอนกรีตอัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ยังคงมีอุณหภูมิสูงกว่าแผ่นยิปซัม นั่นคือความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นยิปซัมดีกว่าแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Excel โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Testing k Sample Mean By Two-Way Analysis of Variance : ANOVA) สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีตแต่ละกลุ่มอุณหภูมิ มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าเฉลี่ยการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีตของแต่ละกลุ่มชนิดตัวอย่าง มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีผลกระทบร่วมระหว่างกลุ่มอุณหภูมิ และกลุ่มชนิดตัวอย่างต่อค่าเฉลี่ยการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตที่เสริมแรงด้วยเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส โดยศึกษาหาอัตราส่วนผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่เหมาะสมทั้งปริมาณ และขนาด ปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตโดยการใช้ น้ำยาประสานคอนกรีต และเปรียบเทียบสมบัติของคอนกรีตที่ผสม และไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต ที่ระยะเวลาการบ่มต่าง ๆ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

จากการศึกษาหาอัตราส่วนผสมของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส เมื่อพิจารณาในแง่ของการเสริมแรงในคอนกรีต พบว่าเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้ ได้แก่ เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาในแง่ของการลดปริมาณของเสีย และความสะดวกในการใช้งาน อาจจะใช้เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ไม่ได้คัดขนาดได้ แต่เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุผสมในคอนกรีต ส่วนปริมาณที่จะใช้ผสมในคอนกรีตขึ้นอยู่กับความต้องการในการรับแรงของคอนกรีต ซึ่งจะอยู่ในช่วง 2-6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ถ้าใช้เศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเป็นส่วนผสมในคอนกรีตในปริมาณมากกว่านี้ จะทำให้สมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ได้ต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

เมื่อปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตโดยผสมน้ำยาประสานคอนกรีต พบว่าจะทำให้สมบัติเชิงกลของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของคอนกรีตที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ และเมื่อทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสตลอดระยะเวลา 3 เดือน พบว่ามีสมบัติเชิงกลที่ดีต่อการนำไปใช้งานตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบ สมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสที่ได้จากการวิจัยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงสมบัติต่าง ๆของผลิตภัณฑ์คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

คุณสมบัติ	*อัตราส่วนผสม GRP		**อัตราส่วนผสม GRP	
	2 % w/w	6 % w/w	2 % w/w	6 %w/w
การดูดซึมน้ำ (%)	10.79	11.67	9.99	10.68
ความพรุน (%)	11.79	12.63	11.16	12.00
ความหนาแน่น (g/cm ³)	1.08	1.08	1.12	1.12
ความต้านทานแรงอัด (N/mm ²)	20.23	17.56	29.60	26.78
ความต้านทานแรงดึง (N/mm ²)	2.96	2.10	3.68	2.84
ความต้านทานแรงดัด (N/mm ²)	3.96	2.89	5.21	4.15

หมายเหตุ : *คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต
**คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

5.2 สรุปต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

การคิดต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะคิดเฉพาะค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตเท่านั้น และคิดในราคาที่ใช้จริงในขณะนั้น ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส 1 แผ่น (ขนาด 25x25x1 เซนติเมตร = 625 ลูกบาศก์เซนติเมตร) มีดังนี้

อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักส่วนผสม

- ปูนซีเมนต์ = 0.41 กิโลกรัม
- ทราย = 1.15 กิโลกรัม
- น้ำ = 0.34 กิโลกรัม
- น้ำยาประสานคอนกรีต = 0.04 กิโลกรัม

อัตราส่วนผสมเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส 6 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักส่วนผสม

- ปูนซีเมนต์ = 0.33 กิโลกรัม
- ทราย = 0.91 กิโลกรัม
- น้ำ = 0.09 กิโลกรัม
- น้ำยาประสานคอนกรีต = 0.03 กิโลกรัม

หมายเหตุ : อัตราส่วนผสมของทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 2.75:1 และอัตราส่วนผสมของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส

วัตถุดิบ	ราคา/หน่วย (บาท)	ราคา/แผ่น (บาท)	
		อัตราส่วนผสม GRP 2% w/w	อัตราส่วนผสม GRP 6% w/w
ปูนซีเมนต์ทรายข้าง (50 กก./ถุง)	105	0.12	0.10
ทราย (คิว)	300	2.41	1.91
น้ำประปา (หน่วย)	5	0.17	0.14
น้ำยาประสานคอนกรีต (3 กก./แกลลอน)	525	7.00	5.25
รวม		9.70	7.40

จากราคาต้นทุนการผลิตดังที่แสดงในตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าต้นทุนการผลิตต่อแผ่นค่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำยาประสานคอนกรีตมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงอาจจะไม่ต้องให้น้ำยาประสานคอนกรีตก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานว่าต้องการการรับแรงมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อีกทางหนึ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณทรายที่ใช้เป็นส่วนผสมในงานวิจัยนี้ มีปริมาณค่อนข้างมากกว่าที่ใช้ผลิตคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสทั่วไป การศึกษาในขั้นต่อไปอาจจะลดปริมาณทรายที่ใช้ลง ซึ่งอาจจะช่วยให้สมบัติเชิงกลของคอนกรีตดีขึ้น
2. การศึกษาการใช้งานในระยะยาวของงานวิจัยนี้ค่อนข้างสั้น คือ 3 เดือน ในการศึกษาต่อไปน่าจะเพิ่มระยะเวลาการเก็บตัวอย่างให้นานกว่านี้ เพื่อจะได้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณรงค์ บุญเสนอ. ความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ประเภทพลาสติกโฟเบอร์กลาสมา
ใช้ทดแทนมวลหายาบในการผลิตกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์
มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย,
มหาวิทยาลัยมหิดล. 2539
- [2] กองควบคุมโรงงาน. การขึ้นทะเบียนโรงงานตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535. กรม
โรงงานอุตสาหกรรม, 2540.
- [3] กรมศุลกากร. สถิติการนำเข้าและส่งออก. ปี 2534-2538.
- [4] ดาวรักษ์ ดิษยนันท์. ภาวะพลาสติกโลก. วารสารพลาสติก.ปีที่10 ฉบับที่ 4 ม.ค. 2537.
- [5] รังสรรค์ ปิ่นทอง และสาวิตรี นิษานนท์. ประโยชน์และโทษของพลาสติก. กองจัดการสาร
อันตราย และ กากของเสีย, กรมควบคุมมลพิษ, 2536.
- [6] Bentur, A. Aging Process of Glass Fiber Reinforced Cements with Different
Cementitious Cements. Building Research Station Technon, Israel Institute of
Technology, Haifa, Israel.
- [7] Cao, Y. K. and Lu, H. Glass Fiber Reinforced Cement for Load Bearing Members.
Research Instituted of Building Materials, Beijing, China
- [8] Daniel, J. I. and Schultz, D. M. Long-Term Strength Durability of Glass Fiber Reinforced
Concrete. Construction Technology Laboratories, Portland Cement Association,
USA, April, 1985, 48 pp.
- [9] Fyles, K. Litherland, K. L. and Proctor, B. A. The Effect of Glass Fibre Composites on
The Strength Retention of GRC. Concrete and Cement Research, Vol.14, 1984.
- [10] Jaras, A. C. and Litherland, K. L. Microstructure Features in Glass Fibre Reinforced
Cement Composite. Glass Technology, Vol. 9, 1968.
- [11] Shah, S. P.; Diniel, J. I. and Ludiraja, D. Toughness of Glass Fiber Reinforced
Concrete Panels Subjected to Accelerated Aging. PCI journal, September-October,
1987, pp. 82-99.
- [12] Yang, R. Mechanical Characteristics of AR-Glass Fiber Reinforced Low Alkalinity
Sulphoaluminate Cement Composite. Beijing, China.
- [13] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. โฟเบอร์กลาส. กรุงเทพฯ : นิมิตรนราการพิมพ์, 2523.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] George, L. Hand Book of Composites. New York. Van Nastrand Reinhold Company Inc. 1982.
- [15] เกียรติศักดิ์ คุณา. การกำจัดพลาสติกและการนำพลาสติกมาใช้ใหม่. วารสารพลาสติก, ปีที่ 9 ฉบับที่ 3, พ.ย. 2535.
- [16] รังสรรค์ ปิ่นทอง. การใช้ประโยชน์ของเสียอุตสาหกรรม. การประชุมวิชาการระดับชาติ สวสท '36, กรมควบคุมมลพิษ, 2536.
- [17] Yen, T. F. Recycle and Disposal of Solid Wastes. New York, Ann Arbor Science Publishers, Inc, 1975.
- [18] Mindess, S.; Young, J. F. Concrete. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1981..
- [19] Baraguru, P. N. and Shah, S. P. Fiber-Reinforced Cement Composites. McGraw-Hill, Inc., New York, 1992
- [20] วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 8, 2539.
- [21] จิตรลดา ปานะวิภัต. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุ และผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้แล้วมาทำเป็นวัสดุเพื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล. 2539
- [22] Kukacka, L. E. Polymer in Concrete. The Construction Press, Hornby, UK, 1976.
- [23] Maslow, P. Plastics, Motars, Sealants and Caulking Compound. ed. R. B. Seymour. ACS Symposium Series 113, Washington, D.C., 1979.
- [24] Ferry, R. Glass Fibre Reinforced Cement. Journal of Ferrocement : Vol. 8, No. 4, October, 1978.
- [25] พิภพ สุนทรสมัย. วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2530
- [26] Daniel, J. I. Glass Fiber Reinforced Concrete. Construction Technology Laboratories, Inc., Illinois, 1988.
- [27] American Society for Testing and Material. Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement (ASTM C 230-90). Easton, MD, U.S.A.
- [28] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [29] American Society for Testing and Material. **Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM C 39-96)**. Easton, MD, U.S.A.
- [30] American Society for Testing and Material. **Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM C 496-96)**. Easton, MD, U.S.A.
- [31] American Society for Testing and Material. **Standard Test Method for Dry and Wet Bulk Density, Water Absorption and Apparent Porosity of Thin Section of Glass-Fiber Reinforced Concrete (ASTM C 948-81, Reapproved 1994)**. Easton, MD, U.S.A.
- [32] American Society for Testing and Material. **Standard Test Method for Flexural Properties of Thin-Section Glass-Fiber-Reinforced Concrete (Used Simple Beam with Third-Point Loading, ASTM C 947-89, Reapproved 1996)**. Easton, MD, U.S.A.
- [33] รณชัย กล้าโนจิต. **ทำเนียบวัสดุก่อสร้าง**. พิมพ์บริษัท เอเชียเพรส จำกัด, กรุงเทพฯ, 2530.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของ GRP ที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนอบที่ 110 °C (g)	น้ำหนักหลังอบที่ 110 °C (g)	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
1	50.03	42.87	14.31
2	50.03	42.65	14.75
3	50.02	42.64	14.75
เฉลี่ย			14.60

ตารางที่ ก.2 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของ GRP ที่ไม่ได้คัดขนาด

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนอบที่ 110 °C (g)	น้ำหนักหลังอบที่ 110 °C (g)	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
1	50.03	44.85	10.35
2	50.05	44.70	10.68
3	50.04	44.88	10.31
เฉลี่ย			10.44

ตารางที่ ก.3 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของ GRP ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก่อนอบที่ 110 °C (g)	น้ำหนักหลังอบที่ 110 °C (g)	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)
1	50.03	46.11	7.83
2	50.04	45.92	8.23
3	50.03	45.99	8.07
เฉลี่ย			8.04

ตารางที่ ก.4 แสดงอัตราการกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ต้า

ตัวอย่างที่	ปูนซีเมนต์ (g)	น้ำ (cm ³)	D ₀ (cm)	D ₁ (cm)	การกระจายตัว (%)
1	200	100	10	10.8	8.80
2	200	120	10	14.8	48.30
3	200	140	10	18.2	82.80
4	200	160	10	21.0	110.80

ตารางที่ ก.5 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร

อัตรา ส่วนผสม (% w/w)	แรงกดจริง (kg)			ความต้านทานแรงอัด (kg/cm ²)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
0	31,560	31,500	30,780	178.60	178.26	174.19	177.01
2	30,360	30,000	29,940	171.81	169.77	169.43	170.33
4	27,140	27,780	27,920	153.59	157.21	158.00	156.26
6	25,310	25,730	26,270	143.23	145.61	148.67	145.83
8	23,700	22,920	22,740	134.12	129.71	128.69	130.84
10	20,580	21,060	20,940	116.46	119.18	118.50	118.04

ตารางที่ ก.6 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่ไม่ได้คัดขนาด

อัตรา ส่วนผสม (% w/w)	แรงกดจริง (kg)			ความต้านทานแรงอัด (kg/cm ²)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
0	31,560	31,500	30,780	178.60	178.26	174.19	177.01
2	33,230	33,470	33,590	188.05	189.41	190.09	189.18
4	30,980	31,010	31,190	175.32	175.49	176.51	175.77
6	29,020	28,360	28,540	164.23	160.49	161.51	162.07
8	26,480	25,760	26,120	149.85	145.78	147.82	147.81
10	24,240	24,000	23,880	137.18	135.82	135.14	136.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม GRP ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร

อัตรา ส่วนผสม (% w/w)	แรงกดจริง (kg)			ความต้านทานแรงอัด (kg/cm ²)			
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	เฉลี่ย
0	31,560	31,500	30,780	178.60	178.26	174.19	177.01
2	35,650	36,590	36,310	201.75	207.07	205.48	204.76
4	33,590	33,710	34,010	190.09	190.77	192.47	191.11
6	31,820	31,880	32,150	180.07	180.41	181.94	180.80
8	29,150	29,530	29,000	164.96	167.11	164.11	165.39
10	27,360	26,930	26,810	154.83	152.40	151.72	152.98



ตารางที่ ก.8 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	อายุการป่ม (เดือน)	ตัวอย่างที่	แรงกดจริง (kg)	ความต้านทานแรงอัด (kg/cm ²)
2		1	36,450	206.28
	1	2	36,070	204.13
		3	36,910	208.88
	เฉลี่ย			206.43
		1	39,190	221.80
	2	2	40,130	227.12
		3	40,850	231.21
	เฉลี่ย			226.71
		1	40,450	228.91
	3	2	40,070	226.76
		3	40,910	231.52
	เฉลี่ย			229.06
6		1	31,740	179.62
	1	2	31,440	177.92
		3	31,840	180.19
	เฉลี่ย			179.24
		1	35,740	202.26
	2	2	35,440	200.56
		3	35,840	202.82
	เฉลี่ย			201.88
		1	36,410	206.05
	3	2	36,200	204.86
		3	36,350	205.71
	เฉลี่ย			205.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 แสดงความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	อายุการบ่ม (เดือน)	ตัวอย่างที่	แรงกดจริง (kg)	ความต้านทานแรงดึง (kg/cm ²)
2		1	19,729	27.92
	1	2	19,402	27.46
		3	19,257	27.25
	เฉลี่ย			27.54
		1	21,408	30.30
	2	2	21,428	30.32
		3	21,371	30.24
	เฉลี่ย			30.28
		1	21,452	30.36
	3	2	21,170	29.96
		3	21,910	31.01
	เฉลี่ย			30.44
6		1	13,180	18.65
	1	2	13,100	18.54
		3	13,013	18.41
	เฉลี่ย			18.53
		1	15,486	21.91
	2	2	15,530	21.98
		3	14,504	20.52
	เฉลี่ย			21.47
		1	15,828	22.40
	3	2	15,980	22.61
		3	15,455	21.87
	เฉลี่ย			22.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 แสดงความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	อายุการบ่ม (เดือน)	ตัวอย่างที่	แรงกดจริง (N)	ความต้านทานแรงดัด (N/mm ²)
2		1	128.3	3.98
	1	2	133.8	3.93
		3	150.2	3.98
	เฉลี่ย			3.96
		1	135.9	4.10
	2	2	134.8	4.14
		3	135.6	4.16
	เฉลี่ย			4.13
		1	141.2	4.21
	3	2	150.8	4.27
		3	127.8	4.23
	เฉลี่ย			4.23
6		1	84.5	2.97
	1	2	97.7	2.81
		3	81.8	2.90
	เฉลี่ย			2.89
		1	91.4	3.03
	2	2	93.7	3.08
		3	91.6	3.09
	เฉลี่ย			3.06
		1	101.2	3.35
	3	2	89.5	3.33
		3	99.6	3.38
	เฉลี่ย			3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 แสดงความหนาแน่นของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)			ความหนาแน่น (g/cm ³)
		ชั่งในน้ำ	อิมตัวผิวแห้ง	หลังอบแห้ง	
2	1	25.51	153.37	138.22	1.08
	2	25.21	150.33	135.75	1.08
	3	25.22	150.50	135.96	1.08
	เฉลี่ย				1.08
6	1	23.91	137.31	123.03	1.08
	2	24.22	140.35	125.70	1.08
	3	24.82	146.41	130.97	1.07
	เฉลี่ย				1.08

ตารางที่ ก.12 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)			การดูดซึมน้ำ (%)
		ชั่งในน้ำ	อิมตัวผิวแห้ง	หลังอบแห้ง	
2	1	25.51	153.37	138.22	10.96
	2	25.21	150.33	135.75	10.74
	3	25.22	150.50	135.96	10.69
	เฉลี่ย				10.79
6	1	23.91	137.31	123.03	11.60
	2	24.22	140.35	125.70	11.65
	3	24.82	146.41	130.97	11.78
	เฉลี่ย				11.67

ตารางที่ ก.13. แสดงความพรุนของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)			ความพรุน (%)
		ซังในน้ำ	อิมตัวผิวแห้ง	หลังอบแห้ง	
2 %	1	25.51	153.37	138.22	11.84
	2	25.21	150.33	135.75	11.95
	3	25.22	150.50	135.96	11.60
	เฉลี่ย				11.79
6 %	1	23.91	137.31	123.03	12.59
	2	24.22	140.35	125.70	12.61
	3	24.82	146.41	130.97	12.69
	เฉลี่ย				12.63



ตารางที่ ก.14 แสดงความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	อายุการบ่ม (เดือน)	ตัวอย่างที่	แรงกดจริง (kg)	ความต้านทานแรงอัด (kg/cm ²)
2		1	53,320	301.75
	1	2	53,690	303.84
		3	53,160	300.84
	เฉลี่ย			302.14
		1	56,670	320.71
	2	2	56,720	320.99
		3	57,020	322.69
	เฉลี่ย			321.46
		1	57,380	324.73
	3	2	57,130	323.31
		3	57,610	326.03
	เฉลี่ย			324.69
6		1	48,570	274.87
	1	2	48,060	271.98
		3	48,250	273.06
	เฉลี่ย			273.30
		1	52,270	295.81
	2	2	52,690	298.18
		3	52,940	299.60
	เฉลี่ย			297.86
		1	53,380	302.09
	3	2	53,520	302.88
		3	53,060	300.28
	เฉลี่ย			301.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 แสดงความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	อายุการบ่ม (เดือน)	ตัวอย่างที่	แรงกดจริง (kg)	ความต้านทานแรงดึง (kg/cm ²)
2		1	26,840	37.99
	1	2	26,418	37.39
		3	26,486	37.48
	เฉลี่ย			37.62
		1	28,966	40.99
	2	2	28,348	40.12
		3	28,504	40.34
	เฉลี่ย			40.48
		1	29,428	41.65
	3	2	28,840	40.82
		3	28,972	41.00
	เฉลี่ย			41.15
6		1	20,488	28.99
	1	2	20,740	29.35
		3	20,369	28.83
	เฉลี่ย			29.05
		1	22,608	32.00
	2	2	22,284	31.54
		3	22,317	31.58
	เฉลี่ย			31.70
		1	22,940	32.46
	3	2	22,810	32.28
		3	22,750	32.20
	เฉลี่ย			32.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 แสดงความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	อายุการบ่ม (เดือน)	ตัวอย่างที่	แรงกดจริง (N)	ความต้านทานแรงดัด (N/mm ²)
2		1	182.4	5.18
	1	2	108.2	5.23
		3	162.9	5.23
	เฉลี่ย			5.21
		1	160.1	5.42
	2	2	168.7	5.43
		3	153.3	5.44
	เฉลี่ย			5.43
		1	172.0	5.57
	3	2	191.0	5.57
		3	161.4	5.56
	เฉลี่ย			5.56
6		1	128.3	4.19
	1	2	128.1	4.14
		3	129.9	4.14
	เฉลี่ย			4.15
		1	137.7	4.34
	2	2	127.9	4.34
		3	120.7	4.32
	เฉลี่ย			4.33
		1	118.2	4.43
	3	2	125.8	4.44
		3	125.7	4.41
	เฉลี่ย			4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.17 แสดงความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)			ความหนาแน่น (g/cm ³)
		ชั่งในน้ำ	อิมตัวผิวแห้ง	หลังอบแห้ง	
2	1	25.12	138.39	125.82	1.11
	2	24.33	130.40	118.48	1.12
	3	23.72	124.29	113.07	1.12
	เฉลี่ย				1.12
6	1	23.15	118.50	107.06	1.12
	2	22.99	116.98	105.92	1.13
	3	23.04	117.29	105.74	1.12
	เฉลี่ย				1.12

ตารางที่ ก.18 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)			การดูดซึมน้ำ (%)
		ชั่งในน้ำ	อิมตัวผิวแห้ง	หลังอบแห้ง	
2	1	25.12	138.39	125.82	9.99
	2	24.33	130.40	118.48	10.06
	3	23.72	124.29	113.07	9.92
	เฉลี่ย				9.99
6	1	23.15	118.50	107.06	10.68
	2	22.99	116.98	105.92	10.44
	3	23.04	117.29	105.74	10.92
	เฉลี่ย				10.68

ตารางที่ ก.19 แสดงความพรุนของคอนกรีตที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

อัตราส่วนผสม (% w/w)	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (g)			ความพรุน (%)
		ชั่งในน้ำ	อิมตัวผิวแห้ง	หลังอบแห้ง	
2 %	1	25.12	138.39	125.82	11.09
	2	24.33	130.40	118.48	11.23
	3	23.72	124.29	113.07	11.15
	เฉลี่ย				11.16
6 %	1	23.15	118.50	107.06	11.99
	2	22.99	116.98	105.92	11.76
	3	23.04	117.29	105.74	12.25
	เฉลี่ย				12.00

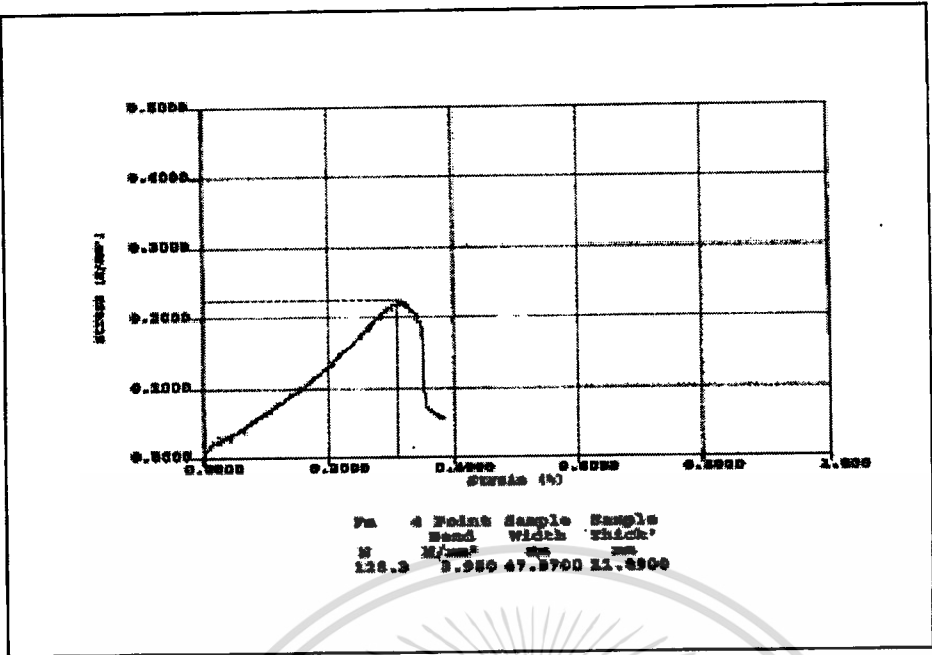


ตารางที่ ก.20 แสดงการส่งผ่านความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส และแผ่นยิปซัม

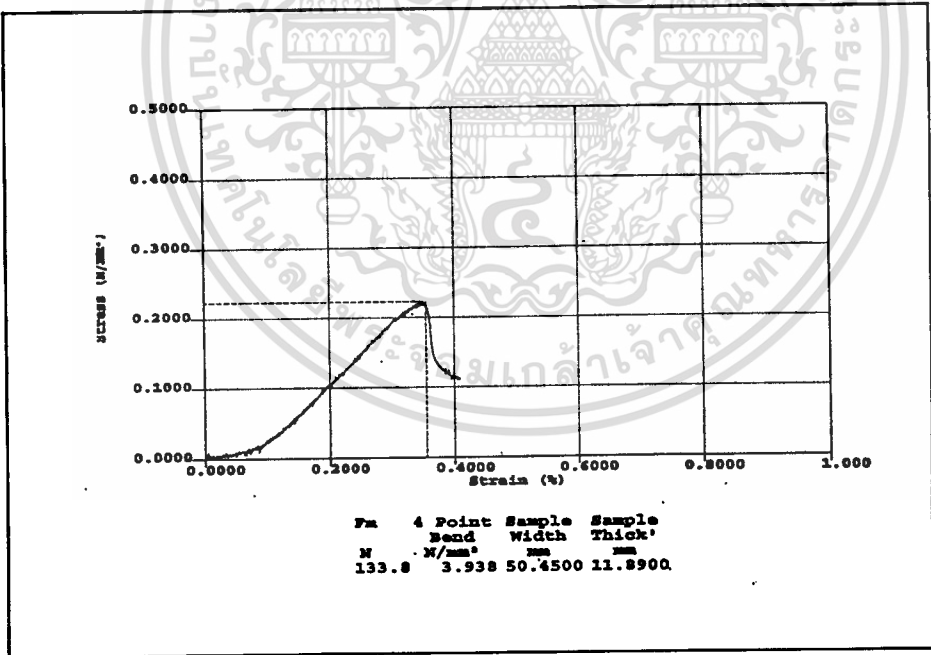
อุณหภูมิ ภายนอก (°C)	ตัวอย่างที่	อุณหภูมิภายในเฉลี่ย (°C)				
		แผ่นยิปซัม (ตราช้าง)	อัตราส่วนผสม GRP			
			*2%	*6%	**2%	**6%
33.0	1	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
	2	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
	3	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
	เฉลี่ย	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
40.0	1	42.5	43.5	44.0	43.0	43.5
	2	42.0	43.0	44.5	43.0	43.0
	3	42.0	43.0	44.5	43.0	43.0
	เฉลี่ย	42.16	43.16	44.33	43.0	43.16
41.0	1	44.5	48.5	50.0	48.0	49.5
	2	44.0	48.5	50.0	48.5	49.0
	3	44.0	48.0	50.0	48.0	49.0
	เฉลี่ย	44.16	48.33	50.0	48.16	49.16
39.5	1	44.0	49.0	50.5	48.5	49.5
	2	44.0	49.0	50.0	48.5	49.5
	3	44.0	49.0	50.0	48.5	49.5
	เฉลี่ย	44.0	49.0	50.16	48.5	49.5
37.5	1	41.0	45.5	47.5	45.0	46.0
	2	41.0	45.0	47.5	45.0	46.0
	3	41.0	45.0	47.0	45.0	46.0
	เฉลี่ย	41.0	45.16	47.16	45.0	46.0

หมายเหตุ : * คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

** คอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาสที่ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต

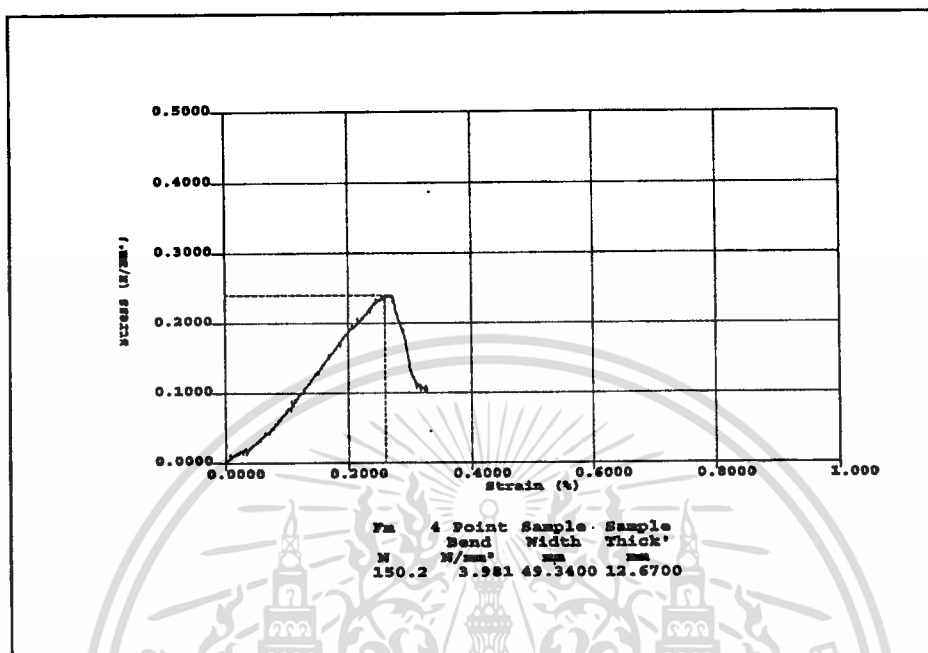


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



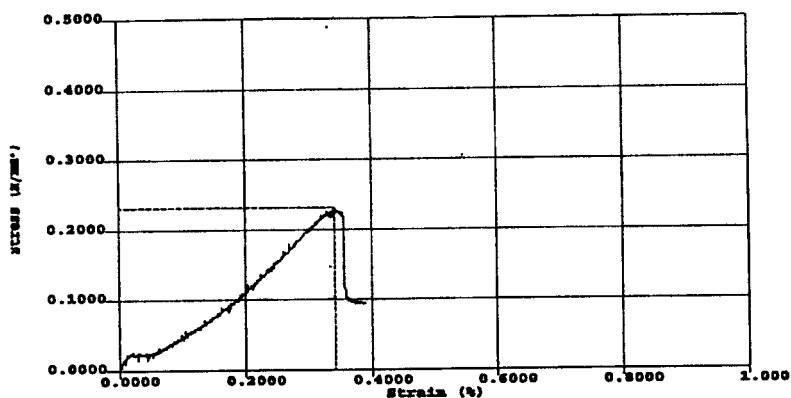
(ค)

รูปที่ ก.1 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ไม่ได้ผสม
น้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 1 เดือน

(ก) ตัวอย่างที่ 1

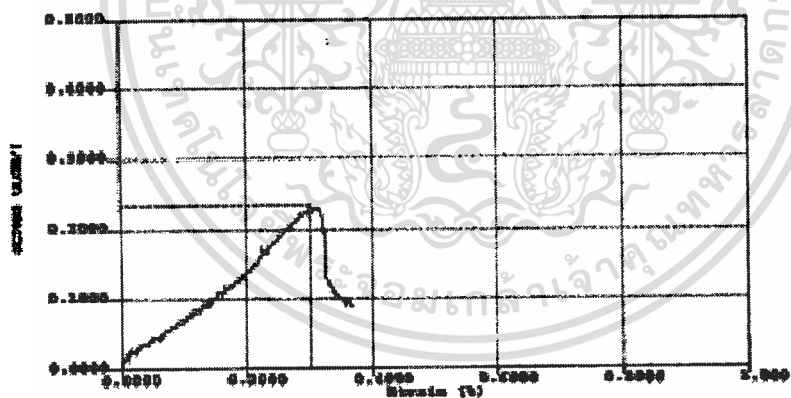
(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3



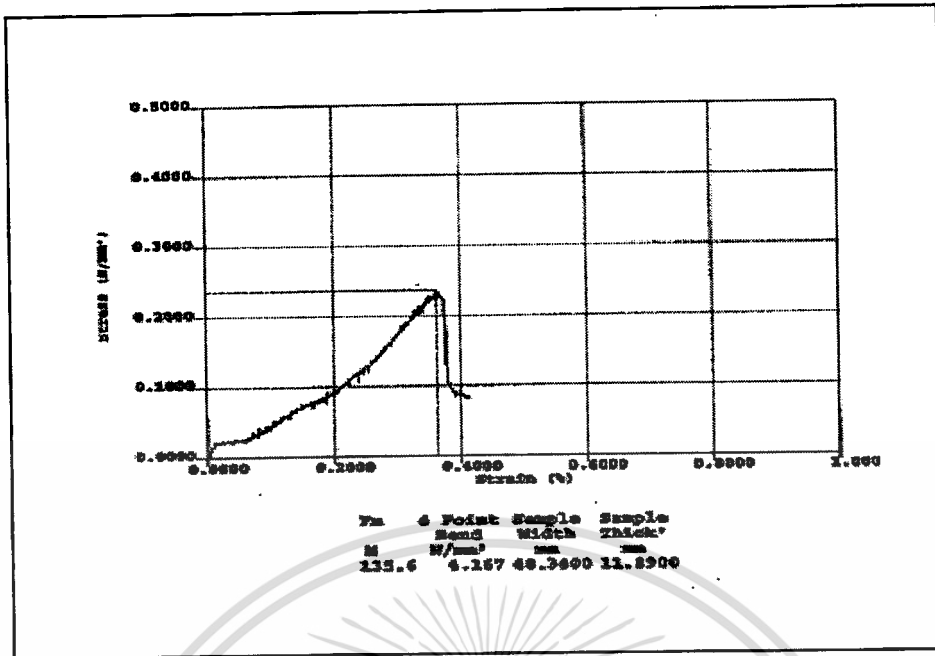
PM 4 Point Sample Sample
 Band Width Thick'
 M N/mm² mm mm
 135.9 4.105 49.3400 11.8700

(n)



PM 4 Point Sample Sample
 Band Width Thick'
 M N/mm² mm mm
 134.8 4.143 49.3100 11.7800

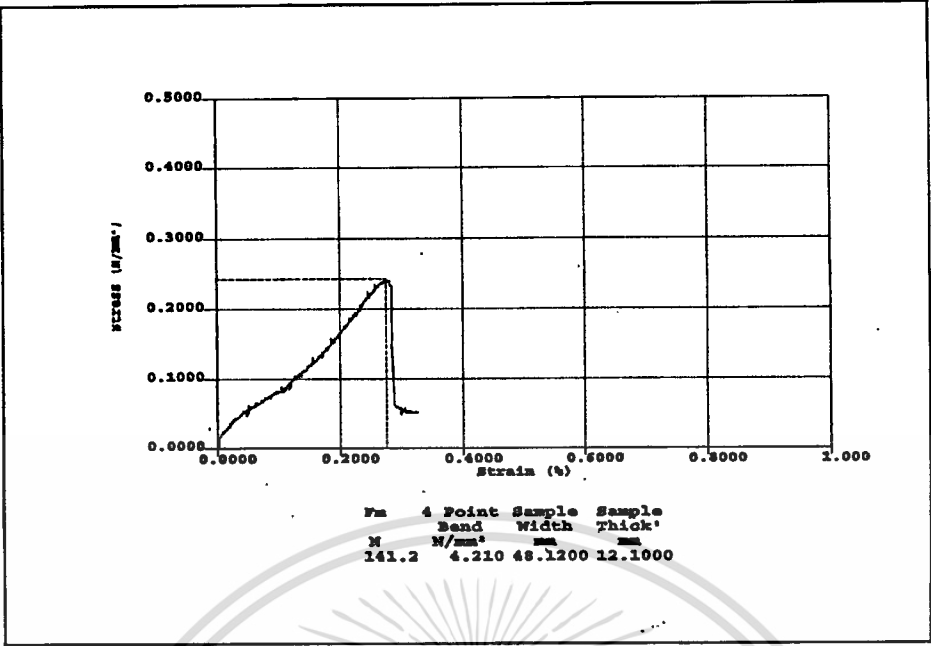
(n)



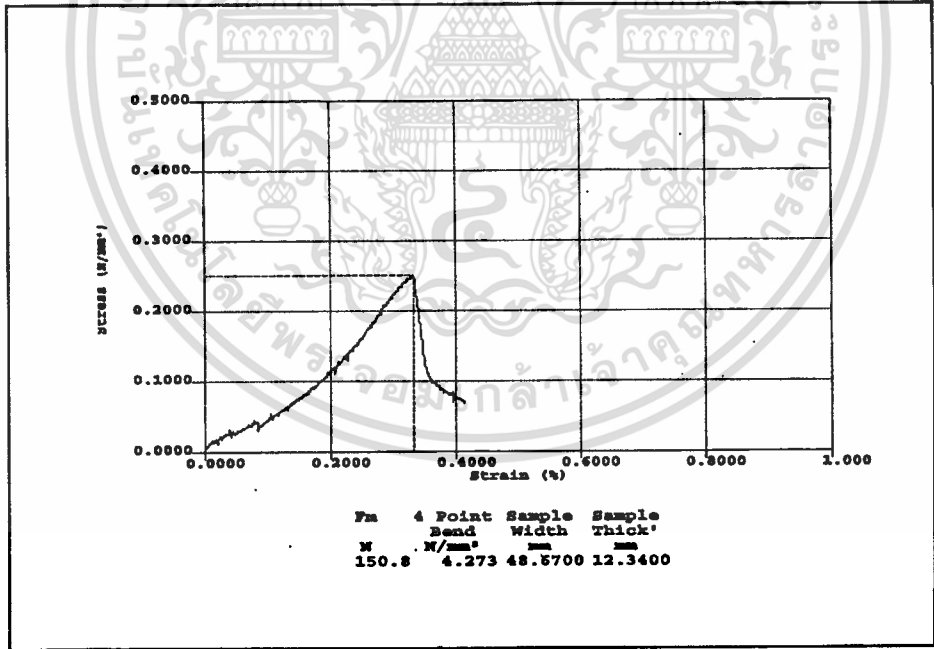
(ค)

รูปที่ ก.2 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ไม่ได้ผสม
น้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 2 เดือน

- (ก) ตัวอย่างที่ 1
- (ข) ตัวอย่างที่ 2
- (ค) ตัวอย่างที่ 3

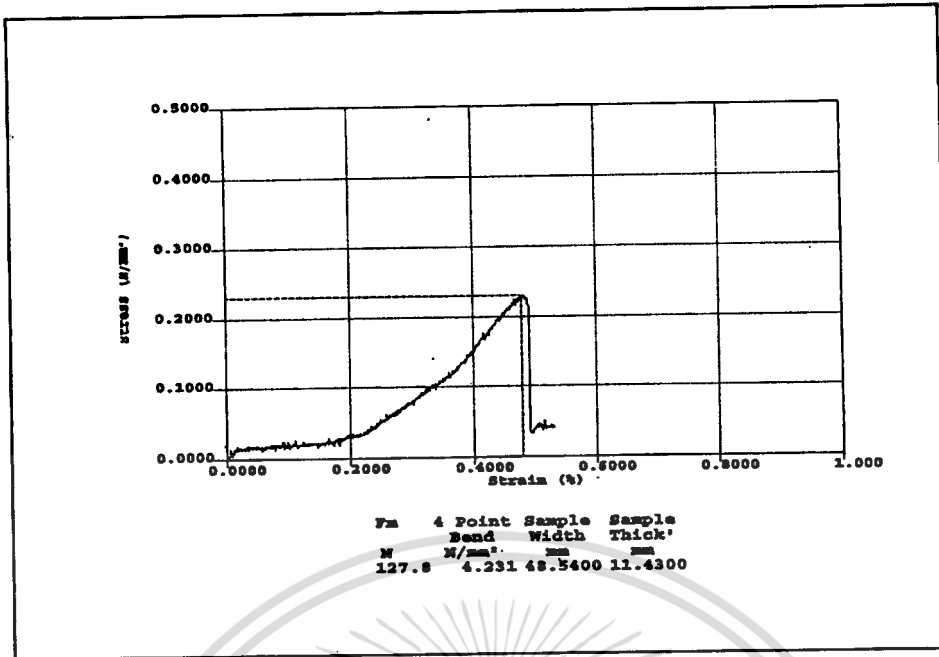


(n)



(T)

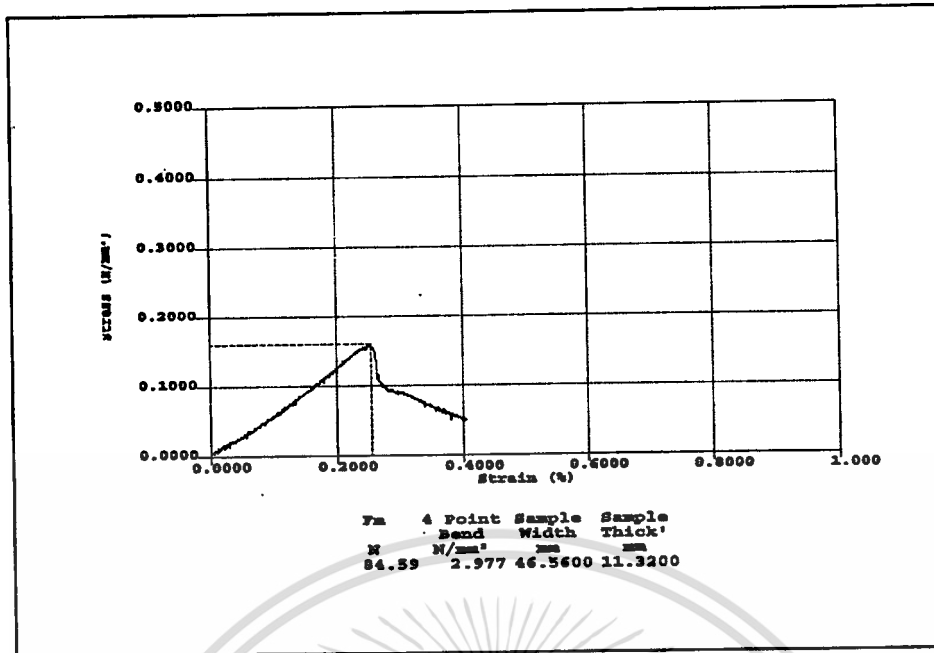
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



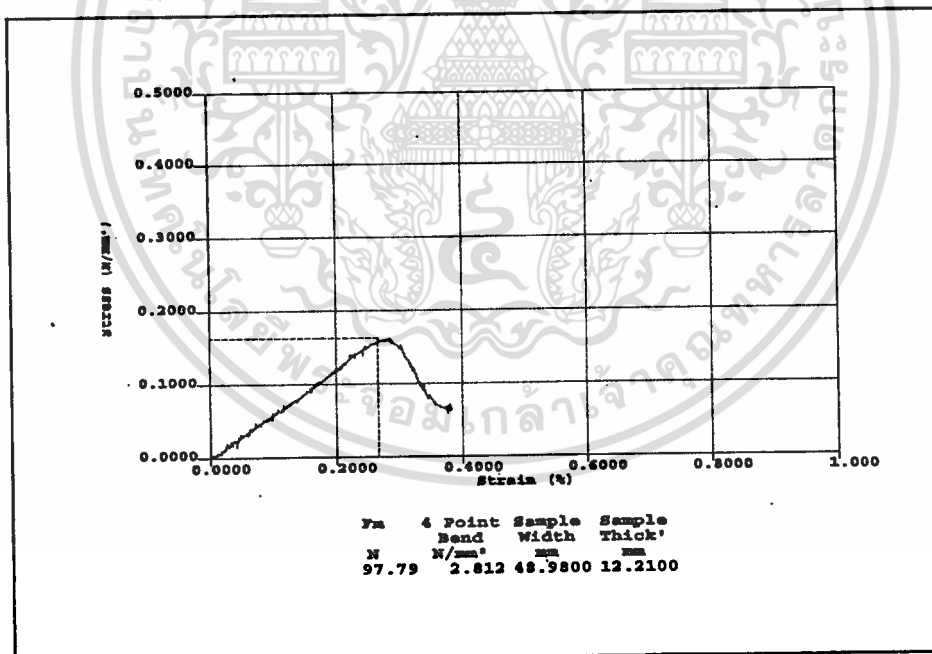
(ค)

รูปที่ ก.3 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ไม่ได้ผสม
น้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 3 เดือน

- (ก) ตัวอย่างที่ 1
- (ข) ตัวอย่างที่ 2
- (ค) ตัวอย่างที่ 3

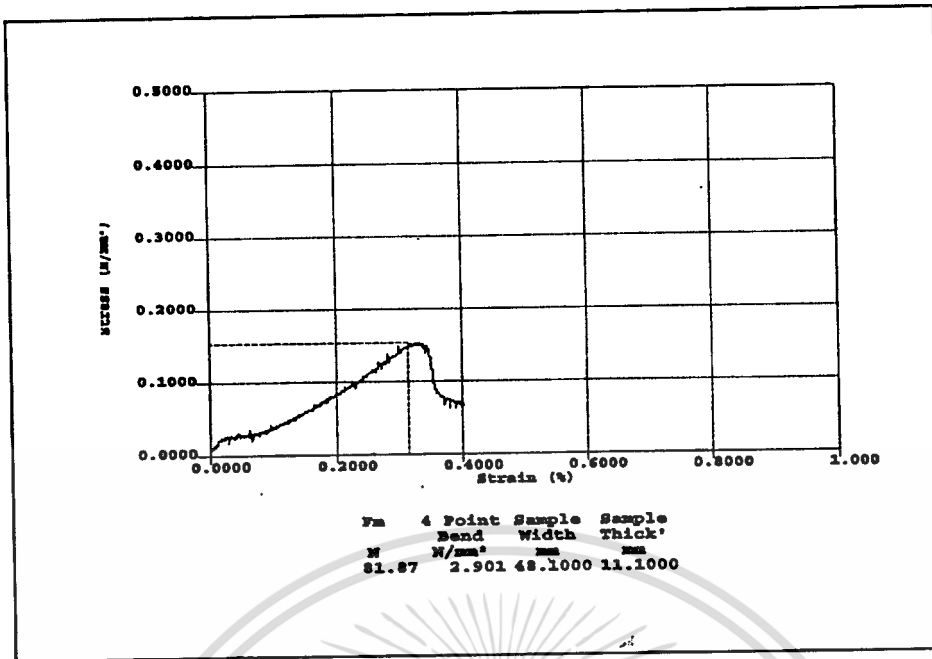


(n)



(๗)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



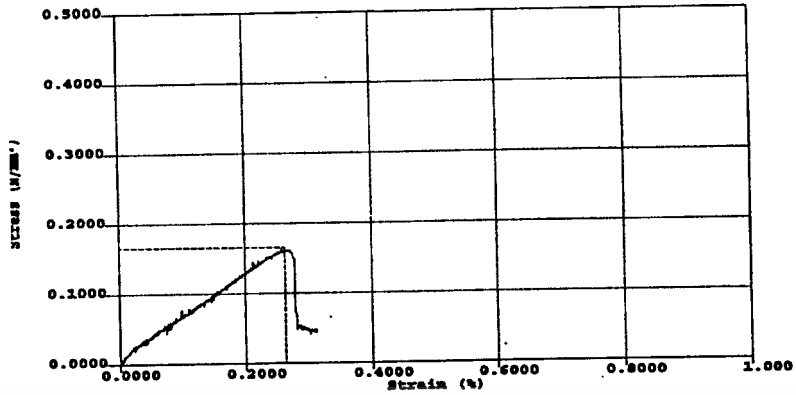
(ค)

รูปที่ ก.4 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ไม่ได้ผสม
น้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 1 เดือน

(ก) ตัวอย่างที่ 1

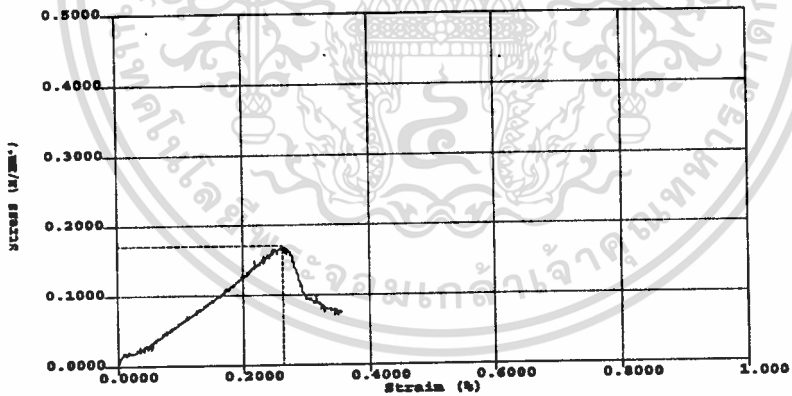
(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3



Pm 4 Point Sample Sample
 Bend Width Thick'
 N N/mm² mm mm
 91.46 3.039 48.2100 11.4500

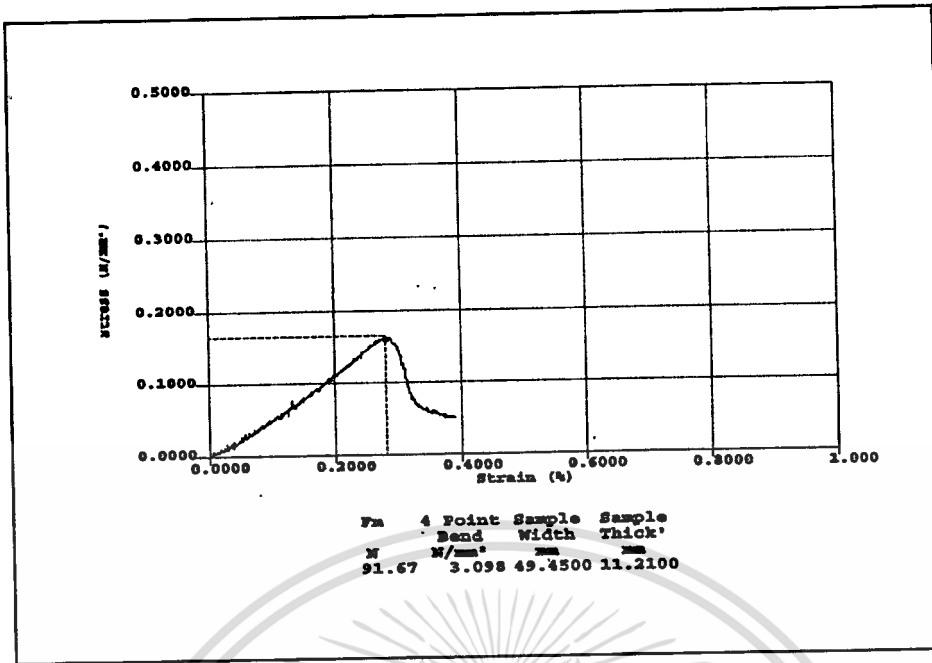
(ก)



Pm 4 Point Sample Sample
 Bend Width Thick'
 N N/mm² mm mm
 93.72 3.085 47.0100 11.6500

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



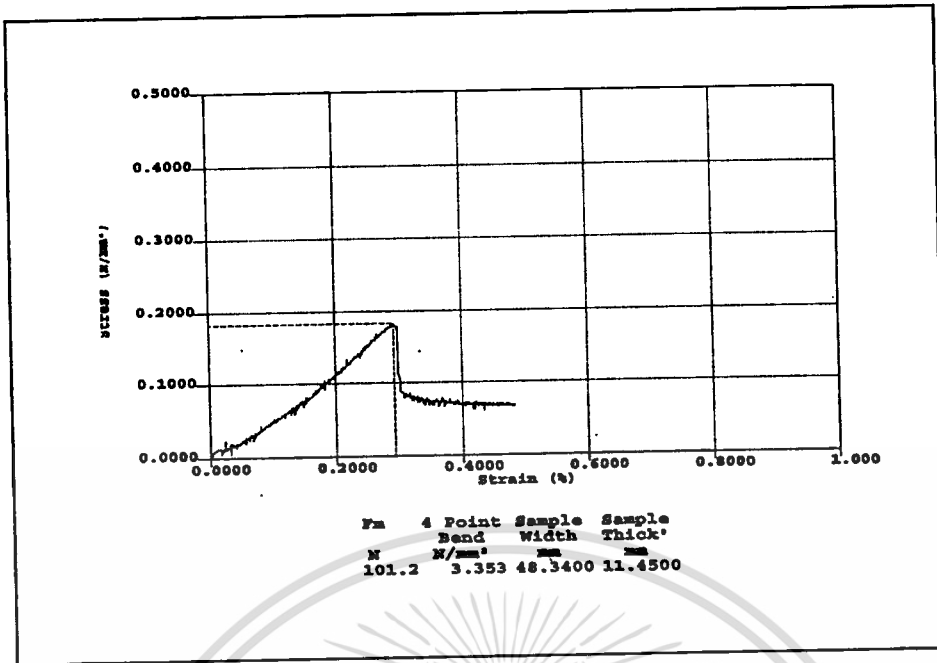
(ค)

รูปที่ ก.5 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ไม่ได้ผสม
น้ำยาประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 2 เดือน

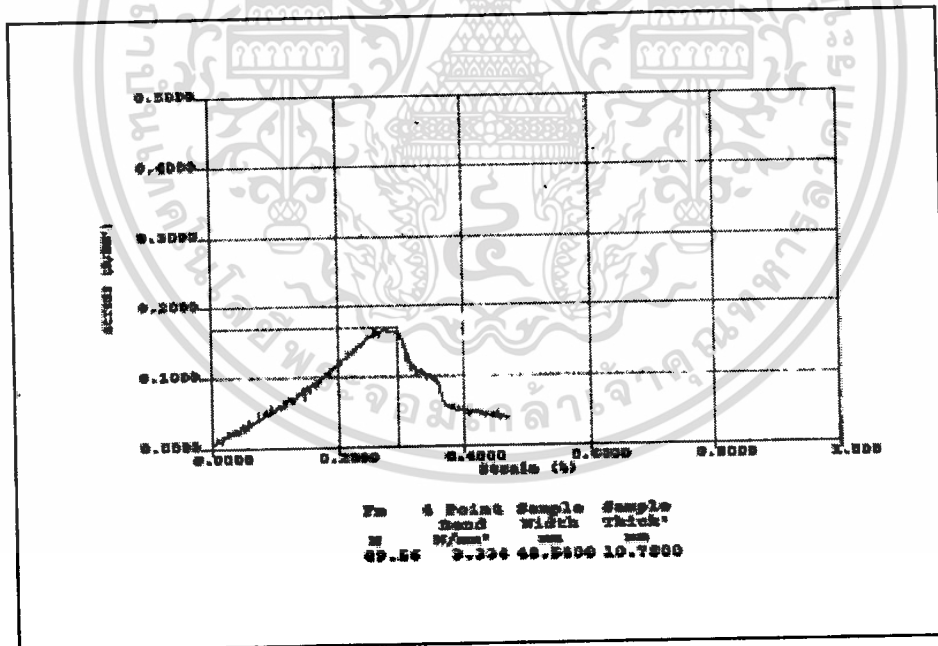
(ก) ตัวอย่างที่ 1

(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3

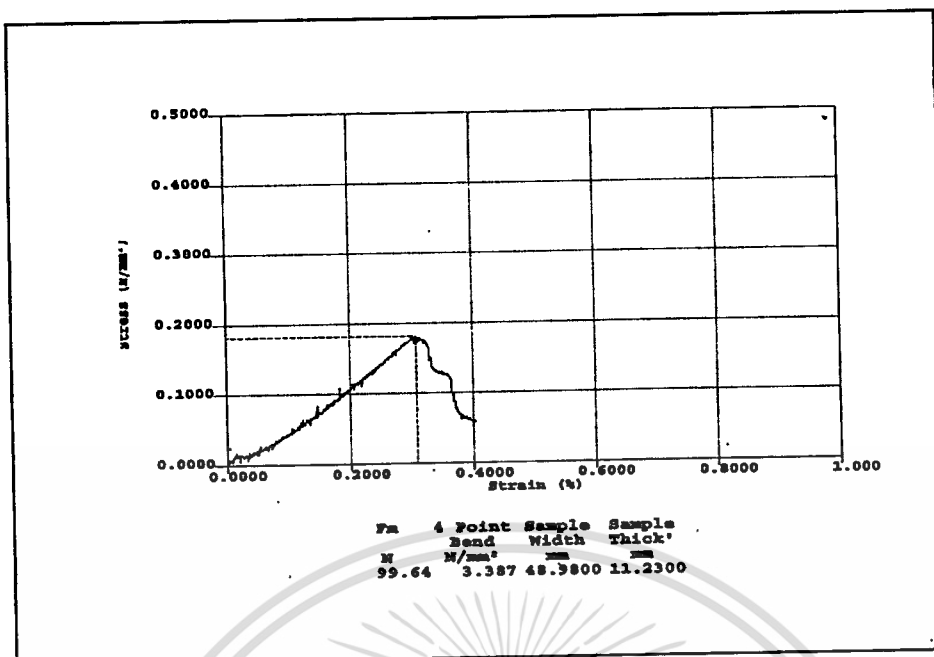


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



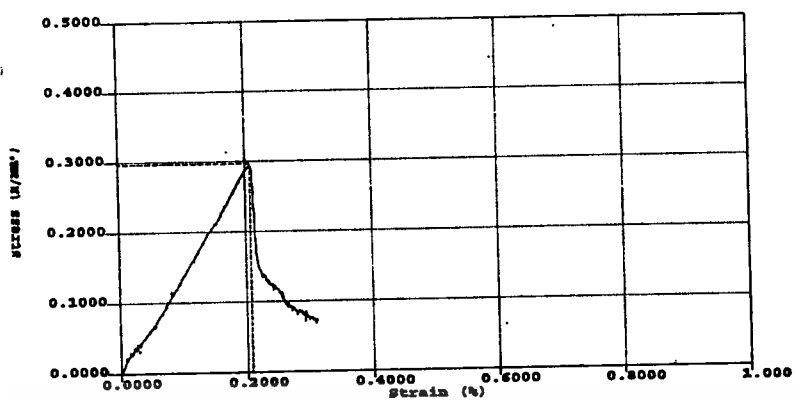
(ค)

รูปที่ ก.6 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ไม่ได้ผสม
น้ำยาประสานคอนกรีต อายุการปอม 3 เดือน

(ก) ตัวอย่างที่ 1

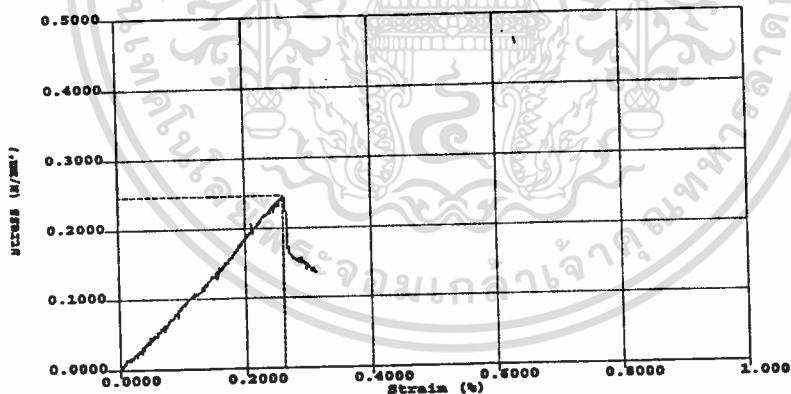
(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3



Fm 4 Point Sample Sample
 Bend Width Thick'
 N N/mm² mm mm
 182.4 5.185 51.2300 12.0100

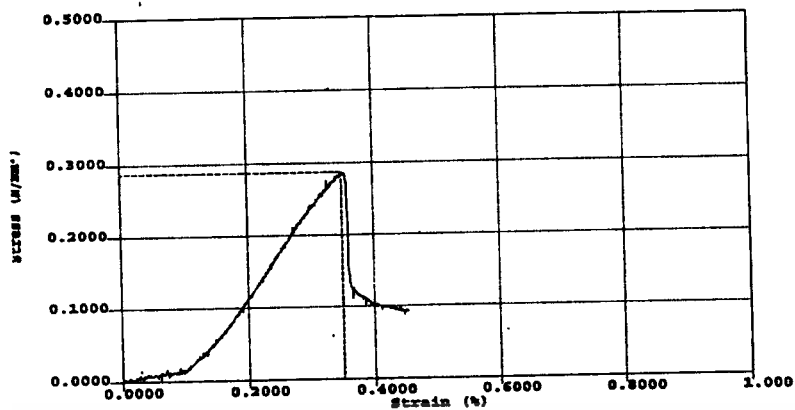
(ก)



Fm 4 Point Sample Sample
 Bend Width Thick'
 N N/mm² mm mm
 108.2 5.239 44.3400 9.89000

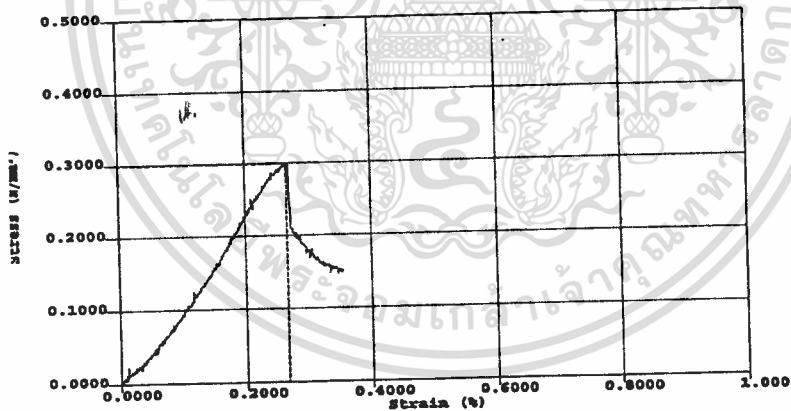
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fm 4 Point Sample Sample
 Band Width Thick'
 N N/mm² mm mm
 160.1 5.427 50.1200 11.1200

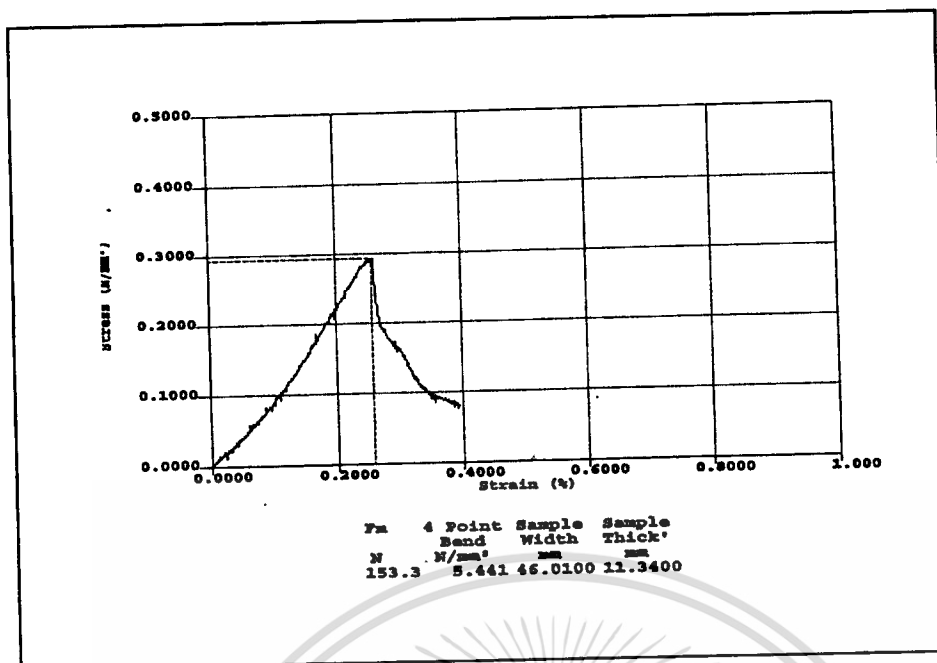
(ก)



Fm 4 Point Sample Sample
 Band Width Thick'
 N N/mm² mm mm
 168.7 5.433 48.7800 11.5600

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



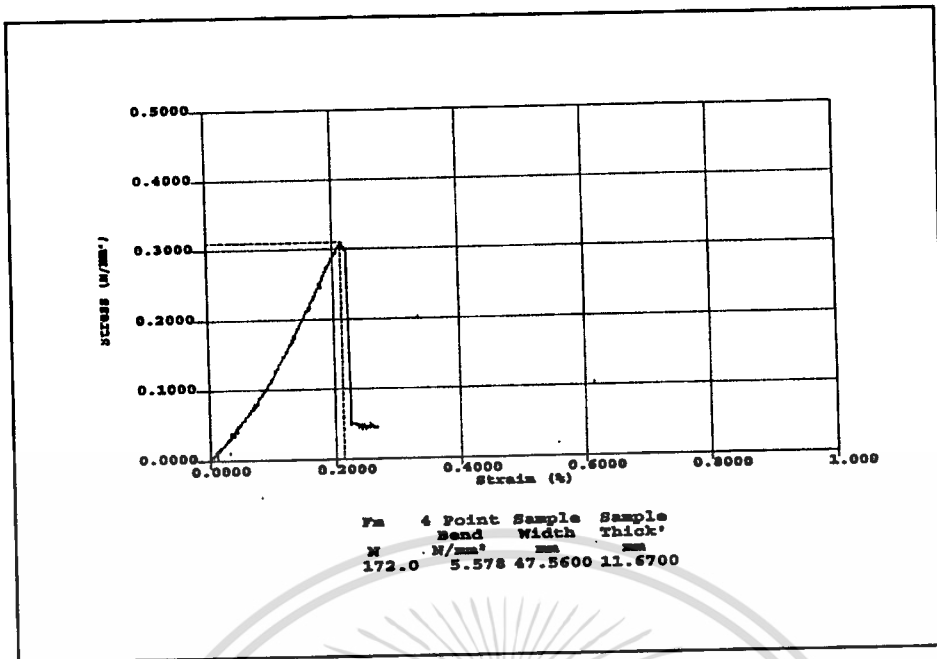
(ค)

รูปที่ ก.8 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2 % w/w ที่ผสมน้ำยา
 ประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 2 เดือน

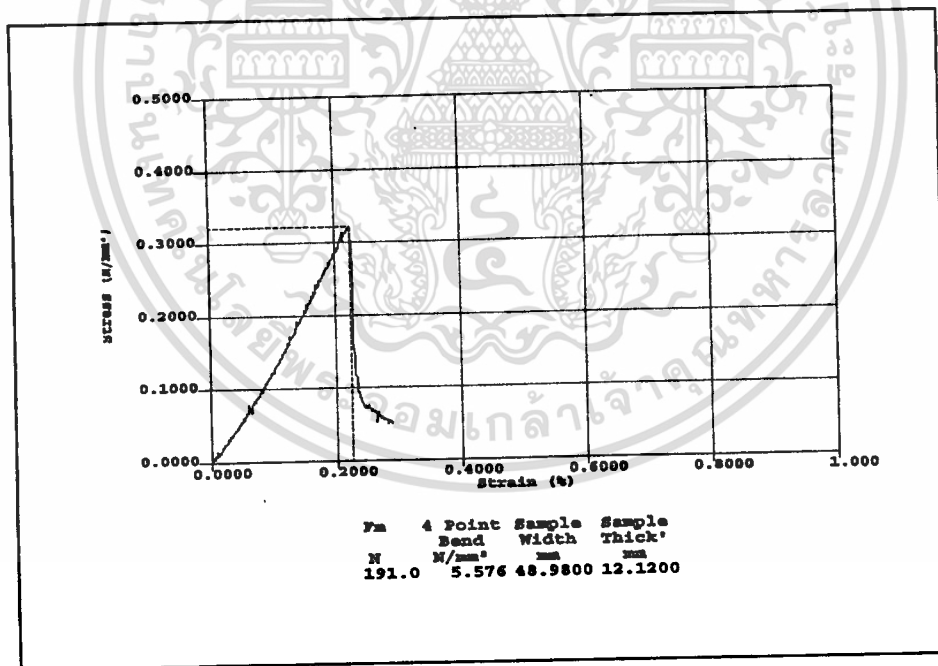
(ก) ตัวอย่างที่ 1

(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3

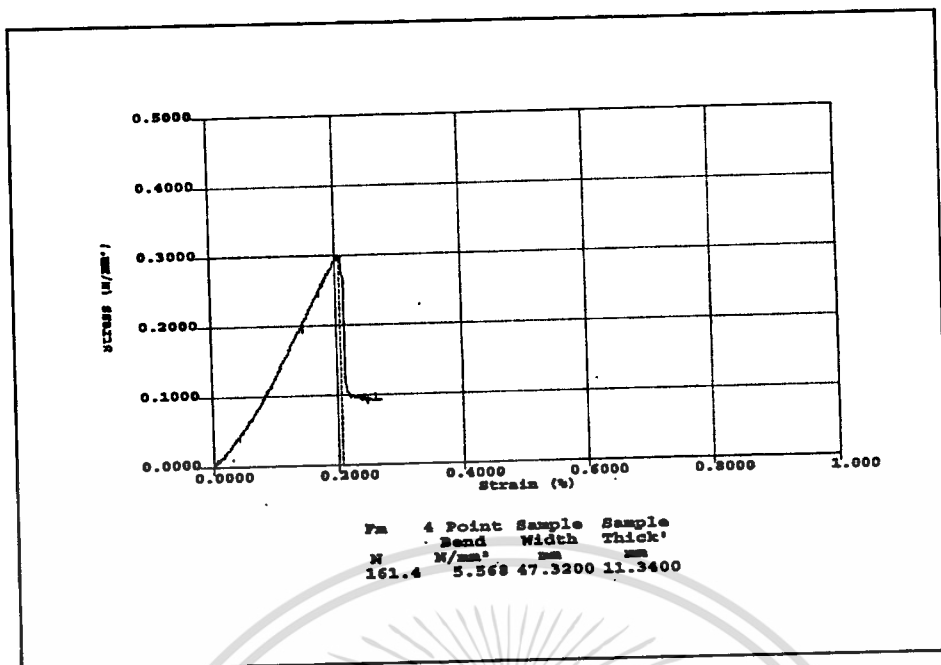


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



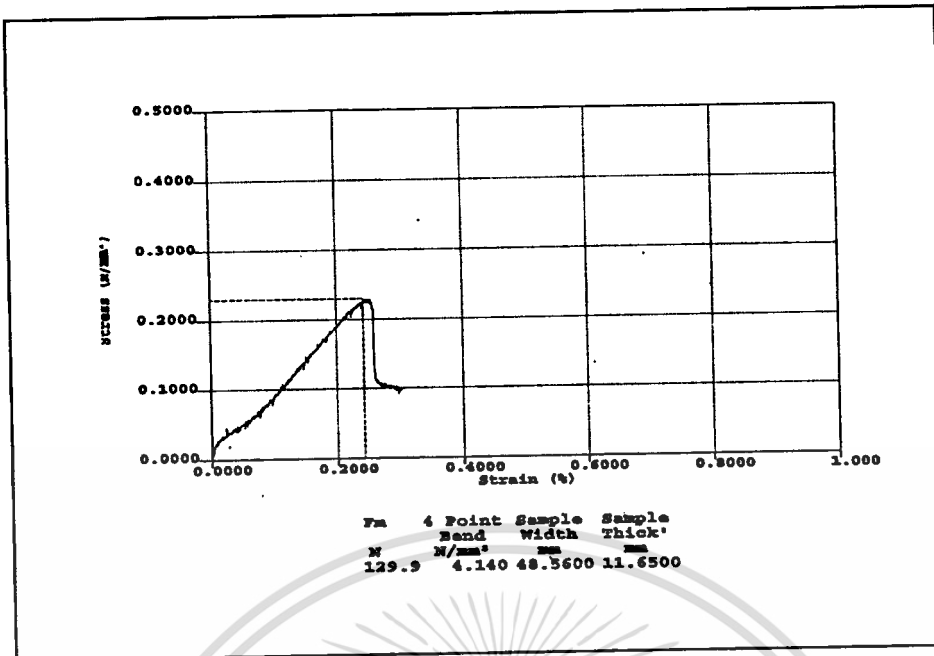
(ค)

รูปที่ ก.9 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 2% w/w ที่ผสมน้ำยา
ประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 3 เดือน

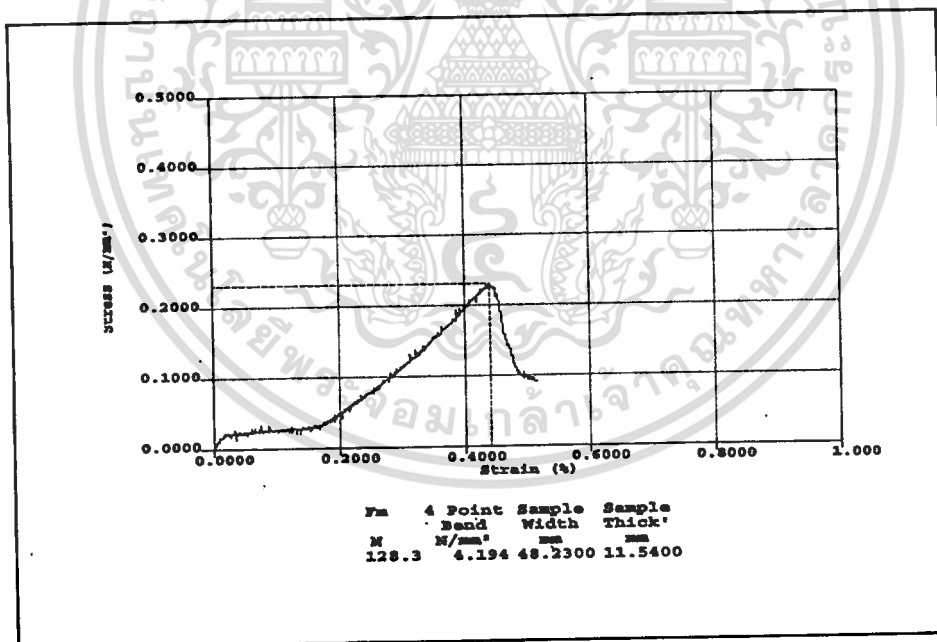
(ก) ตัวอย่างที่ 1

(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3

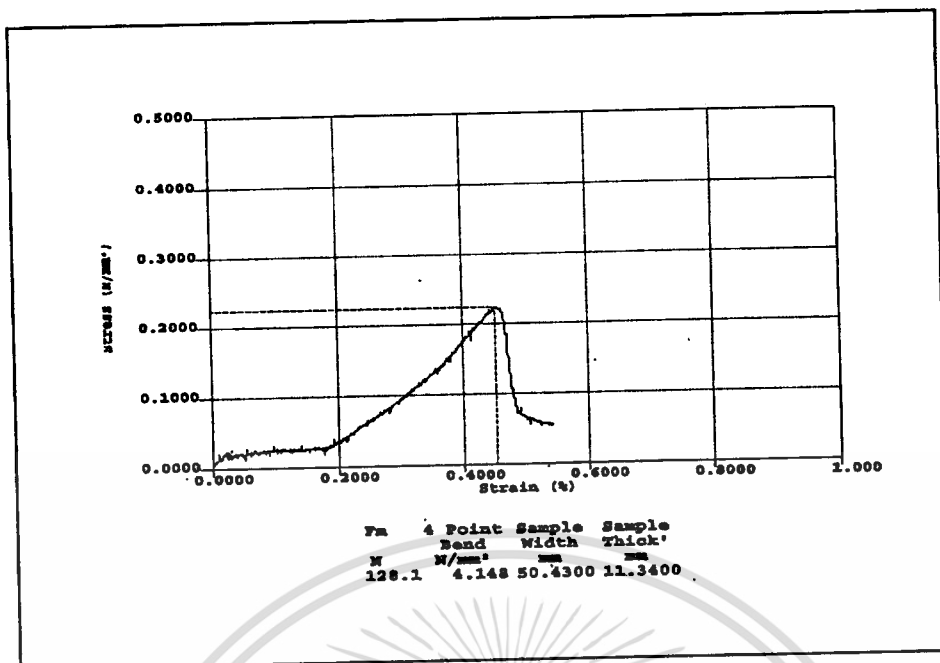


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 , ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



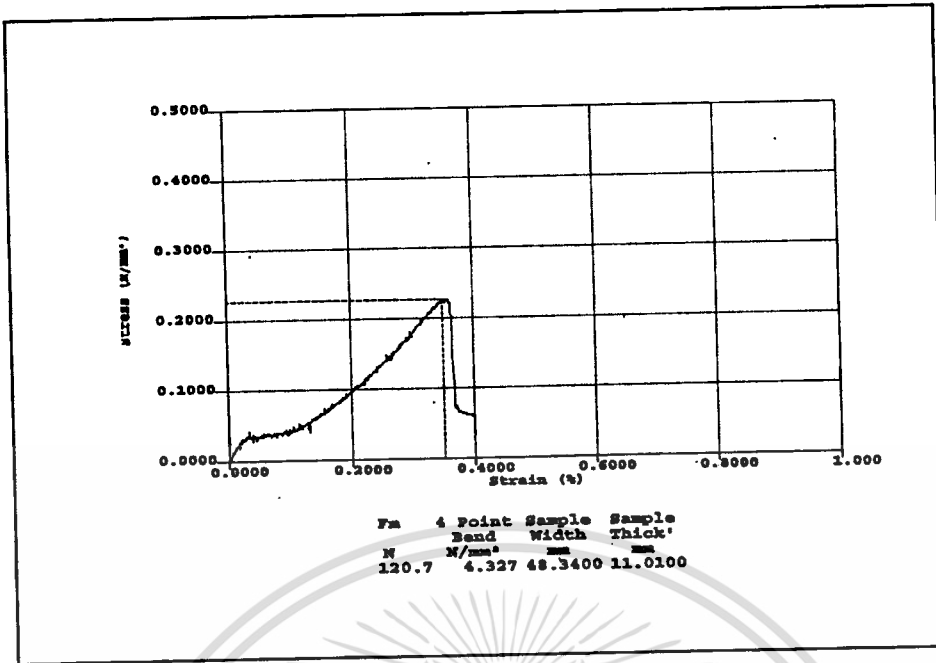
(ค)

รูปที่ ก.10 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ผสมน้ำยา
ประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 1 เดือน

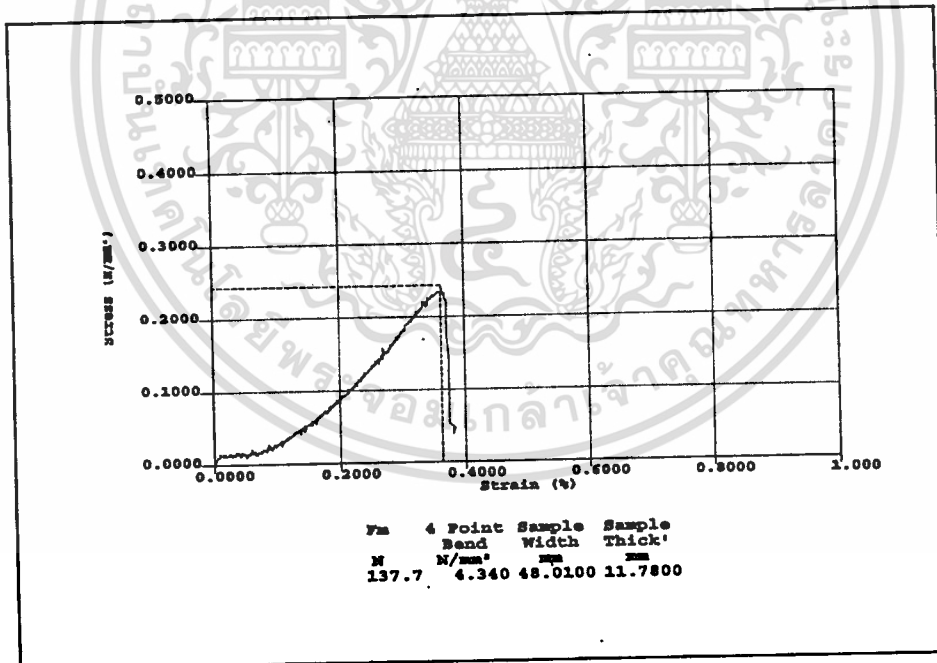
(ก) ตัวอย่างที่ 1

(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3

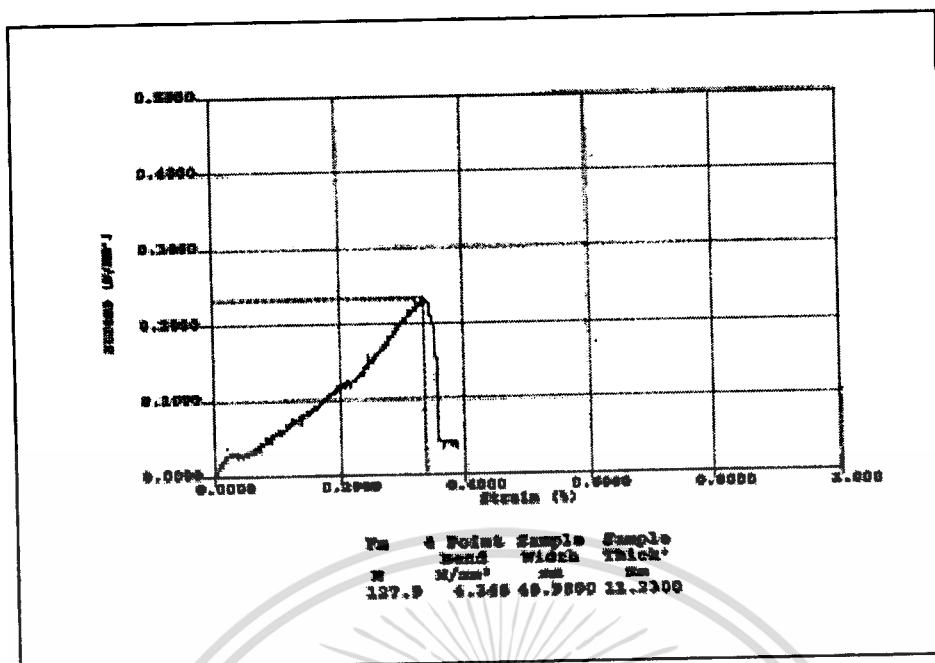


(n)



(๑)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



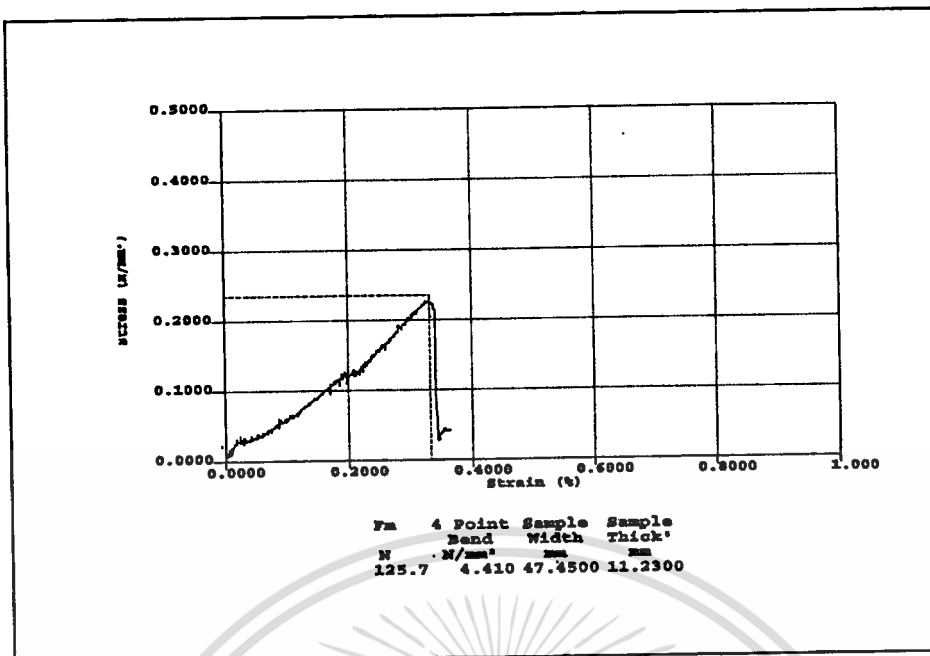
(ค)

รูปที่ ก.11 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ผสมน้ำยา
ประสานคอนกรีต อายุการปม 2 เดือน

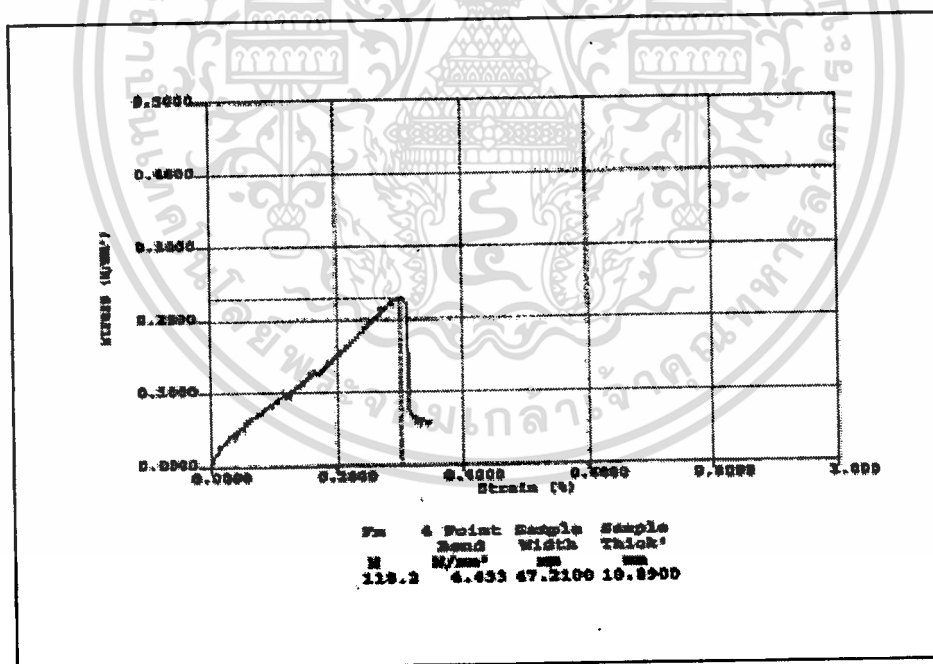
(ก) ตัวอย่างที่ 1

(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3

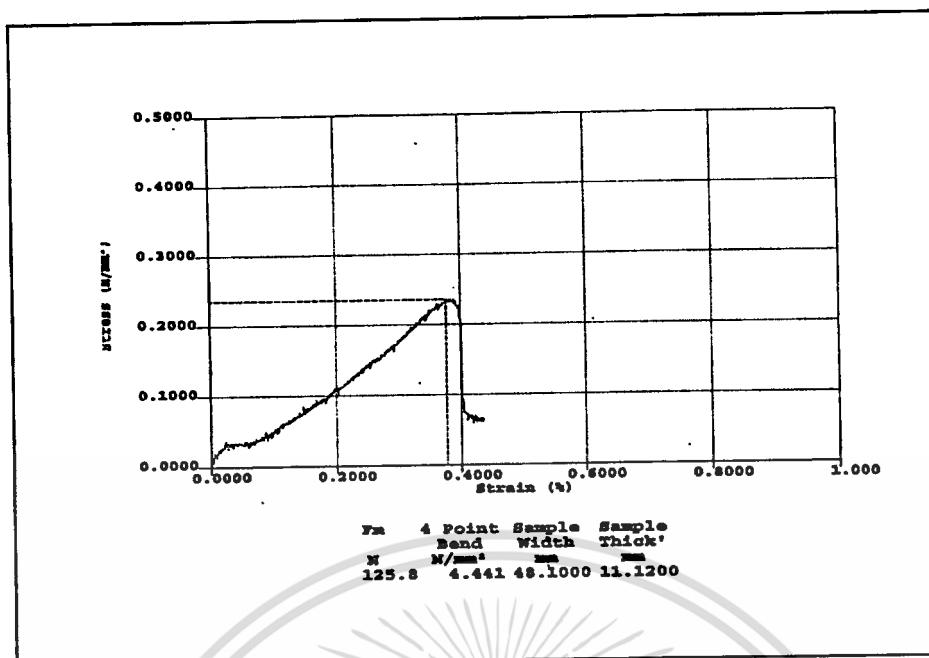


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ ก.12 แสดงกราฟความเค้นความเครียดของคอนกรีตอัตราส่วนผสม GRP 6% w/w ที่ผสมน้ำยา
ประสานคอนกรีต อายุการบ่ม 3 เดือน

(ก) ตัวอย่างที่ 1

(ข) ตัวอย่างที่ 2

(ค) ตัวอย่างที่ 3

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีต
ที่วัสดุผสมมีขนาดและปริมาณต่าง ๆ กัน

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	17235.83544	5	3447.167087	905.988491	8.70826E-37	2.47716514
Columns	7548.253781	2	3774.126891	991.9204494	3.29409E-32	3.25944427
Interaction	1524.94153	10	152.494153	40.07869187	1.62790E-16	2.106055774
Within	136.9752667	36	3.804868519			
Total	26446.00601	53				

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีต
อัตราส่วนผสม GRP 2% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	1820.2644	2	910.1322	140.1367598	4.79017E-09	3.885290312
Columns	40924.69769	1	40924.69769	6301.342298	1.06463E-17	4.747221283
Interaction	0.845911111	2	0.422955556	0.065124189	0.937279925	3.885290312
Within	77.9352	12	6.4946			
Total	42823.7432	17				

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีต
อัตราส่วนผสม GRP 6% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	2640.655033	2	1320.327517	738.2386473	2.74558E-13	3.885290312
Columns	40970.48542	1	40970.48542	22907.94924	4.64745E-21	4.747221283
Interaction	4.186544445	2	2.093272222	1.170417517	0.343273941	3.885290312
Within	21.4618	12	1.788483333			
Total	43636.7888	17				

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของคอนกรีต
อัตราส่วนผสม GRP 2% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	1759230.974	2	879615.4872	1.003904173	0.39524495	3.885290312
Columns	917940.2348	1	917940.2348	1.047644165	0.32624195	4.747221283
Interaction	1752345.254	2	876172.6271	0.999974841	0.396578009	3.885290312
Within	10514336.06	12	876194.6714			
Total	14943852.52	17				

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของคอนกรีต
อัตราส่วนผสม GRP 6% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	41.24467778	2	20.62233889	124.7863986	9.32249E-09	3.885290312
Columns	473.7042	1	473.7042	2866.398494	1.18651E-15	4.747221283
Interaction	0.191233333	2	0.095616667	0.578579353	0.575592063	3.885290312
Within	1.983133333	12	0.165261111			
Total	517.1232444	17				

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของคอนกรีต
อัตราส่วนผสม GRP 2% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	0.299911111	2	0.149955556	245.3818182	1.84886E-10	3.885290312
Columns	7.514272222	1	7.514272222	12296.08182	1.93838E-19	4.747221283
Interaction	0.004844444	2	0.002422222	3.963636364	0.047687031	3.885290312
Within	0.007333333	12	6.11111E-04			
Total	7.826361111	17				

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดัดเฉื่อยของคอนกรีต
อัตราส่วนผสม GRP 6% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	0.3999	2	0.19995	129	7.70735E-09	3.885290312
Columns	6.492005556	1	6.492005556	4188.390681	1.22799E-16	4.747221283
Interaction	0.036744444	2	0.018372222	11.85304659	0.001440899	3.885290312
Within	0.0186	12	0.00155			
Total	6.94725	17				

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีต อัตรา
ส่วนผสม GRP 2 และ 6% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	8.33333E-06	1	8.33333E-06	0.333333333	0.579584	5.317644991
Columns	0.005208333	1	0.005208333	208.3333333	5.19101E-07	5.317644991
Interaction	7.50000E-05	1	7.50000E-05	3	0.121502916	5.317644991
Within	2.00000E-04	8	2.50000E-05			
Total	0.005491667	11				

ตารางที่ ข.9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีต อัตราส่วน
ผสม GRP 2 และ 6% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	1.848675	1	1.848675	80.5815474	1.88873E-05	5.317644991
Columns	2.439008333	1	2.439008333	106.3134762	6.75092E-06	5.317644991
Interaction	0.027075	1	0.027075	1.18016709	0.308967943	5.317644991
Within	0.183533333	8	0.022941667			
Total	4.498291667	11				

ตารางที่ ข.10 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความพรุนเฉลี่ยของคอนกรีต อัตราส่วน
ผสม GRP 2 และ 6% w/w

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	2.108408333	1	2.108408333	84.44893191	1.58937E-05	5.317644991
Columns	1.209675	1	1.209675	48.45160214	1.17152E-04	5.317644991
Interaction	7.50000E-05	1	7.50000E-05	0.003004005	0.957634837	5.317644991
Within	0.199733333	8	0.024966667			
Total	3.517891667	11				

ตารางที่ ข.11 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ยของแผ่นคอนกรีตเสริมไฟเบอร์กลาส และแผ่นอิปซั่ม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	2319.986667	4	579.9966667	15818.09091	7.07890E-77	2.557179357
Columns	143.62	4	35.905	979.2272727	8.36800E-47	2.557179357
Interaction	63.14666667	16	3.946666667	107.6363636	5.07034E-33	1.85031368
Within	1.833333333	50	0.036666667			
Total	2528.586667	74				



ภาคผนวก ค

คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ ค.1 แสดงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

คุณสมบัติ	เสริมกำลังด้วยใยแก้ว		
	30 %	50 %	65 %
	ชนิดผืนธรรมดา		ชนิดผืนถัก
ความต้านทานแรงดึง (kg/cm^2)	1,200	1,900	5,200
การยืดตัว (%)	2.0	1.6	1.9
ความต้านทานแรงดัด (kg/cm^2)	2,000	2,900	6,000
โมดูลัส (kg/cm^2)	70,000	80,000	280,000
ความต้านทานแรงกระแทก (kgcm/cm^2)	57	85	130
ความต้านทานแรงอัด (kg/cm^2)	2,300	2,900	2,400

ที่มา : พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์ [13]

ตารางที่ ค.2 แสดงคุณสมบัติของสารผสมเพิ่ม (น้ำยาเชื่อมประสาน : VIBOND EX)

ลักษณะของ VIBOND EX	คุณสมบัติของ VIBOND EX
- เป็นสารอคริลิกโพลิเมอร์ (Acrylic Polymer)	- เพิ่มความทนทานต่อสารเคมี กรด ด่าง คลอไรด์ ซัลไฟด์ ซัลเฟต และแสงยูวี
- เป็นของเหลวคล้ายนม	- เพิ่มกำลังต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)
- ปริมาณเนื้อ 46 ± 2 %	- เพิ่มกำลังรับแรงกด (Compressive Strength)
- ความเป็นกรดต่าง 9.5-10	- เพิ่มกำลังการหักโค้ง, งอ (Flexural Strength)
- ความถ่วงจำเพาะ 1.059	- เพิ่มกำลังการยึดเกาะ (Shear Bond Adhesion)

ที่มา : รณชัย กล้าโนจิต [33]

ตารางที่ ค.3 แสดงสัดส่วนขนาดผลของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

ขนาดตะแกรง	น้ำหนัก GRP ที่ค้างบนตะแกรง (g)			เปอร์เซ็นต์ GRP ที่ค้างบนตะแกรง (%)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
เบอร์ 4 (4.75 mm.)	280	283	278	55.88	55.60	55.26	55.58
เบอร์ 8 (2.36 mm.)	79	75	76	15.76	15.00	15.20	15.32
เบอร์ 16 (1.18 mm)	50	51	53	9.98	10.20	10.53	10.23
เบอร์ 30 (600 μ m)	41	43	42	8.18	8.60	8.34	8.37
เบอร์ 50 (297 μ m)	34	32	35	6.78	6.40	6.95	6.71
เบอร์ 100 (150 μ m)	17	16	19	3.39	3.20	3.77	3.45

ขนาดโตสุดของเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 4.75 มิลลิเมตร เมื่อขนาดโตสุดของวัสดุผสมหาได้จากการวิเคราะห์โดยการร่อนวัสดุผสมผ่านตะแกรงมาตรฐาน เมื่อมีวัสดุผสมค้างอยู่บนตะแกรงขนาดใหญ่ใดเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ขนาดโตสุดของวัสดุก็คือ ขนาดของตะแกรงที่หยาบกว่าถัดไป

ภาคผนวก ง

รายชื่อ และจำนวนโรงงานประเภท 32(2) เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2539

ตารางที่ ง.1 แสดงรายชื่อและจำนวนโรงงานประเภท 32(2) เมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2539

ผู้ประกอบการ (บริษัท)	สถานที่ตั้ง (จังหวัด)	ประเภทผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิต (ต่อปี)
ฟรีเมียร์ โพรดักส์	ปราจีนบุรี	ถังบำบัดน้ำเสีย	12,000 หน่วย
ฟรีเมียร์ โพรดักส์	ปราจีนบุรี	ถังบำบัดน้ำเสีย ขนาดใหญ่	300 ชุด
ฟรีเมียร์ โพรดักส์	กรุงเทพฯ	ผลิตภัณฑ์ถังบรรจุน้ำ ถังบำบัดสิ่งปฏิกูล ผลิตภัณฑ์ GRC ผลิตภัณฑ์ ROKWOOD หลังคาเหล็กกริด ชั้นลอน SANKO	20,000 ชิ้น 2,500 เมตริกตัน 1,000 เมตริกตัน 500 เมตริกตัน 200,000 ตร.ม.
กะรัต สุขภัณฑ์	สระบุรี	ถังบำบัดน้ำปฏิกูล ถังใส่น้ำ ถาดรองอาบนํ้า อ่างอาบนํ้า	600 หน่วย 300 หน่วย 300 หน่วย 300 หน่วย
กะรัต สุขภัณฑ์	ปราจีนบุรี	ถังน้ำ ถังบำบัดน้ำเสีย	2,000 หน่วย 4,000 หน่วย
กะรัต สุขภัณฑ์	ลำปาง	ถังบรรจุน้ำ ถังบำบัดน้ำเสีย	15,000 ชิ้น 15,000 ชิ้น
กะรัต สุขภัณฑ์	ขอนแก่น	ถังบำบัดน้ำปฏิกูล ถังใส่น้ำ ถาดรองอาบนํ้า อ่างอาบนํ้า	10,000 ชิ้น 10,000 ชิ้น 300 ชิ้น 300 ชิ้น

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ผู้ประกอบการ (บริษัท)	สถานที่ตั้ง	ประเภทผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิต (ต่อปี)
มาทคอม ไฟเบอร์	สมุทรสาคร	คอนเทนเนอร์	1,500 ชิ้น
		ชิงค์	5,000 ชิ้น
		ห้องน้ำพร้อมอ่าง และผนังสองด้าน	1,200 ชิ้น
		ห้องน้ำสำเร็จรูป	3,000 ชิ้น
		ห้องเย็นตั้งพื้น	200 ชิ้น
		ห้องเย็นเคลื่อนที่	200 ชิ้น
		อ่างฝึกบัว	400 ชิ้น
		เก้าอี้สนาม	500 ชิ้น
		เตียงขอบสระ	500 ชิ้น
		อ่างอาบน้ำ	8,000 ชิ้น
		เรือใบ	50 ชิ้น
แกรนิติก อินเตอร์ เนชั่นแนล	สมุทรปราการ	หินอ่อนเทียม	3.5 เมตริกตัน
		ไฟเบอร์กลาส	9.0 เมตริกตัน
อาควาบาร์	ปทุมธานี	ถังสุขภัณฑ์	3,000 ชิ้น
		อ่างอาบน้ำ	3,000 ชิ้น
เจ.ไอ.	ปทุมธานี	ต้นแบบงาน	200 ชิ้น
		ปฏิมากรรม	
		หินอ่อนเทียม	300 ชิ้น
		หินเทียม	1,000 ชิ้น
		ไฟเบอร์กลาส	1,000 ชิ้น
เอ็ม.เอส. ไทยมาร์ท	ปทุมธานี	ถังน้ำ	120 ชิ้น
		สปอยเลอร์	1,000 ชิ้น
		หลังคาปีกฉัท	600 ชิ้น
โรยล บางกอก ไฟเบอร์	สมุทรปราการ	ถังน้ำ	5,000 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ผู้ประกอบการ (บริษัท)	สถานที่ตั้ง	ประเภทผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิต (ต่อปี)
เอเชียกังนัม	ฉะเชิงเทรา	แผ่นทอ้ายเส้นใย แก้วกรองอลูมิเนียม	698,000 ตร.ม.
		แผ่นทอ้ายเส้นใย แก้วเสริมคอนกรีต	789,000 ตร.ม.
		แผ่นทอ้ายเส้นใย แก้วเสริมหินเจีย	828,000 ตร.ม.
พลาสติกคอน เคีย โลท์	ฉะเชิงเทรา	ถังใยแก้ว	6,000 ชิ้น
		ท่อใยแก้ว	12,000 ชิ้น
บี.เค.เค. คูลิ่ง แอนด์ เอ็นจิเนีย	ชลบุรี	ถังเก็บน้ำไฟเบอร์ กลาส	600 หน่วย
		ห่อฉนวนไฟเบอร์กลาส	600 ชุด
ไทย ยูโร พลาสติก อินดัสเตรียล	ปราจีนบุรี	ถังน้ำ	2,000 หน่วย
		ถังบำบัดน้ำเสีย	4,000 หน่วย
เจ.พี.เค. คอมโพสิส	อุดรธานี	ถังบรรจุน้ำ	6,000 ชิ้น
		ถังบรรจุน้ำเสีย	1,200 ชิ้น
		ถังบำบัดน้ำเสีย	1,200 ชิ้น
		วงกบ /บานประตู	700 ชุด
		หมวกกันน็อค	1,200 ชิ้น
		อ่างล้างขาม	480 ชิ้น
		อ่างล้างหน้า	480 ชิ้น
		อ่างอาบน้ำ	600 ชิ้น
		แบบหล่อปูน	1,000 ชุด
ไทยโยชิโนกะ	เลย	Spare Parts of Sanitary	120,000,000 ชิ้น
สยามไฟเบอร์พลาท์	สมุทรสาคร	เรือกรรเชียง	200 หน่วย
		แท่งค้ำบรรจุน้ำ	600 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ผู้ประกอบการ (บริษัท)	สถานที่ตั้ง	ประเภทผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิต (ต่อปี)
ไฟเบอร์เทค	สมุทรปราการ	ดัดน้ำไฟเบอร์กลาส ท่อไฟเบอร์กลาส หลังคาไฟเบอร์กลาส	200 หน่วย - -
เอ.ที.พี. อินดัสตรี	กรุงเทพฯ	กันชนรถยนต์ อุปกรณ์รถยนต์	4,000 ชิ้น 2,000 ชิ้น
อัลฟาไฟเบอร์	สมุทรปราการ	หลังคาไฟเบอร์	1,440 หน่วย
เอส.ที.วี. คราฟท์	สมุทรปราการ	อุปกรณ์ไฟเบอร์กลาส	3,600 ชิ้น
วัฒนาไฟเบอร์	สมุทรสาคร	กล่อง ท่อนเลียงกึ่ง คอมไฟ	2,400 หน่วย 2,400 หน่วย 12,000 หน่วย
สยามซานิทารี แวร์ อินดัสตรี	สระบุรี	อ่างอาบน้ำอะคริลิค	24,000 ชิ้น
พรีเมียร์ บาวาเรีย โลง	กรุงเทพฯ	กระเบื้องอาบน้ำ อ่างอาบน้ำ	300 ชิ้น 1,300 ชิ้น
อินซู ไฟเบอร์	สมุทรสาคร	ฉนวนใยแก้ว	570 เมตริกตัน
พวงดี คอนสตรัคชั่น กรุป	ปทุมธานี	ถัง อ่างอาบน้ำ	300 ชิ้น 3,600 ชิ้น
เดคคอน ไฟเบอร์กลาส อินดัสตรี ยล	สระบุรี	ดัดน้ำ ถังบำบัด ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เรือ	600 หน่วย 600 หน่วย 1,200 ชิ้น 100 หน่วย
ไฮเทค ไฟเบอร์ อินดัสตรี	ปทุมธานี	ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ กลาส	-
เอนเทค โพรดักส์	สมุทรสาคร	ถังบรรจุน้ำ ถังบำบัดน้ำเสีย	1,000 หน่วย 3,000 หน่วย
อัลฟาไฟเบอร์	สมุทรปราการ	หลังคาไฟเบอร์	1,440 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

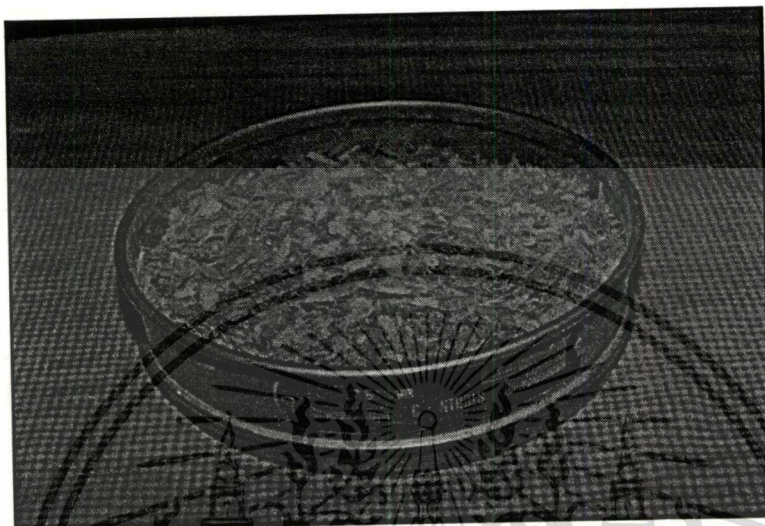
ผู้ประกอบการ (บริษัท)	สถานที่ตั้ง	ประเภทผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิต (ต่อปี)
เอส.ดี. เทคโนโลยี	ชลบุรี	กระเบื้องลอนคู่ใส ถึงน้ำ ประตูกวบกบ เก้าอี้	3,500 ชุด 200 ชิ้น 120 ชุด 120 ชุด
ศิริศิลป์ เอฟ.อาร์. พี.	อุดรธานี	ถังน้ำไฟเบอร์ ถังบำบัดน้ำเสีย หลังคาไฟเบอร์ อุปกรณ์ดับเพลิง เครื่องเรือน เครื่องใช้ พลาสติก	500 ถัง 200 ถัง 150 หน่วย 200 ชิ้น 250 ชิ้น
อาร์.เอ็ม. โปรดักต์	สมุทรสาคร	ถังบำบัดน้ำเสีย ถังเก็บน้ำ	300 หน่วย 200 หน่วย
ศิลป์สยาม โปรดักส์	สมุทรปราการ	โครงหลังคาไฟเบอร์ กลาส	40 หน่วย
เซค (ประเทศไทย)	สมุทรปราการ	ผลิตภัณฑ์ ไฟเบอร์กลาส	240 ชิ้น

ที่มา : กองควบคุมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม [2]

หมายเหตุ : โรงงานประเภท 32(2) คือโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีไฟเครื่อง
แต่งกาย หรือรองเท้าจากใยแก้ว

ภาคผนวก จ

รูปภาพประกอบการทดลอง

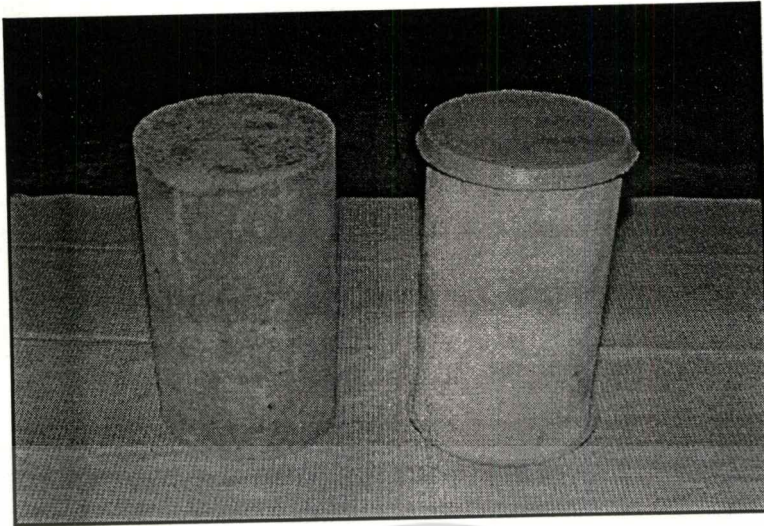


รูปที่ จ.1 แสดงเศษผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ จ.2 แสดงสารผสมเพิ่ม (น้ำยาประสานคอนกรีต : VIBOND EX) ที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

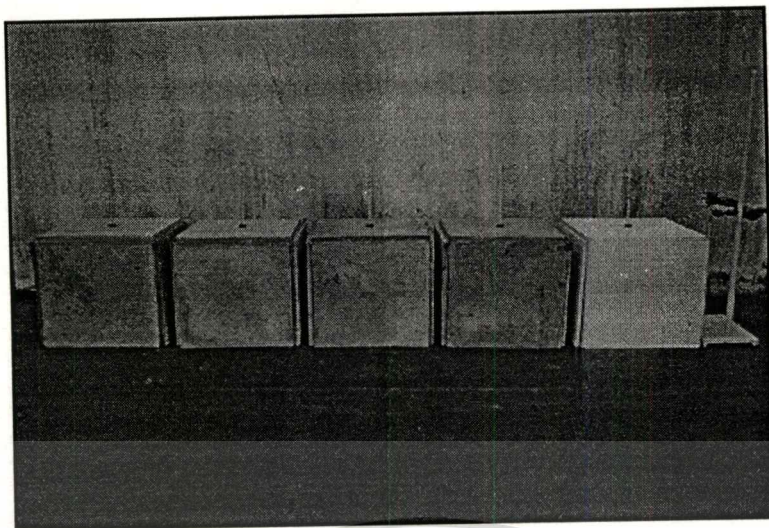


รูปที่ ๑.๓ แสดงแท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง

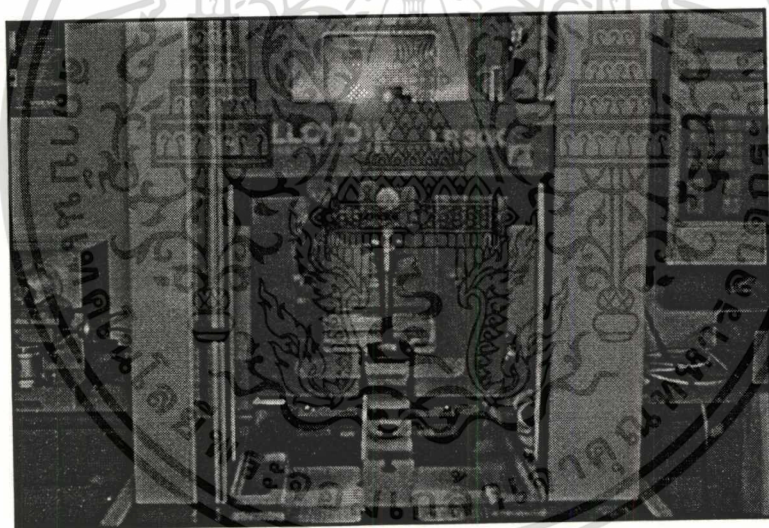


รูปที่ ๑.๔ แสดงแผ่นคอนกรีตสำหรับทดสอบความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น ความพรุน การดูดซึมน้ำ และการส่งผ่านความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

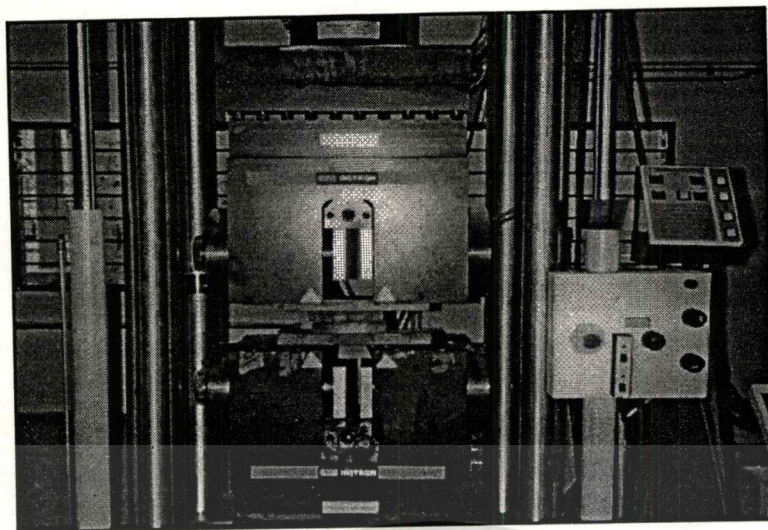


รูปที่ ๑.๕ แสดงชุดทดลองการส่งผ่านความร้อนของคอนกรีต



รูปที่ ๑.๖ แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.๗ แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดึง



ประวัติผู้เขียน

นายจเร เขมกรรม เกิดเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี จากสถาบันราชภัฏจันทรเกษม ปีการศึกษา 2538 และในปี พ.ศ. 2539 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้