

การศึกษาคอนสับดีวัสดุซีเมนต์โพลีเอสเตอร์ในห้วงปฏิบัติการ



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Laboratory Investigation of Geosynthetic Cement Composite Properties

Mr. Tripop Ramdit



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติวัสดุซีเมนต์โพลีเอสเตอร์ใน ห้องปฏิบัติการ
โดย	นายไตรภพ รามดิษฐ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชชา จองวิวัฒน์สกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชชา จองวิวัฒน์สกุล)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ธิดารัตน์ จิระวัฒนาสกุล)

ไตรภพ รามดิษฐ์ : การศึกษาคุณสมบัติวัสดุซีเมนต์ใยสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Investigation of Geosynthetic Cement Composite Properties) อ.ที่
 ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. พิชชา จงจวิวัฒนสกุล, 228 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติกายภาพและเชิงกลของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Geosynthetic Cement Composite, GCC) ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดสอบ 3 ผลลัพธ์ คือ 1. GCC ชนิดเย็บด้วยมือ 2. GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร และ 3. GCC ชนิดเสริมเส้นใยในชั้นซีเมนต์ โดยดำเนินการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัว กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ค่ามวลต่อพื้นที่ ความหนาของแผ่น GCC ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกดทะลุ และการซึมผ่านของน้ำ มีตัวแปรศึกษา คือ อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ที่ 0.5 กับ 1 และระยะเวลาการบ่มของแผ่น GCC ที่ 1 3 7 และ 28 วัน โดยมีวิธีการบ่ม 3 แบบคือ 1. บ่มอากาศ 2. บ่มแบบห่อพลาสติก 3. บ่มแบบแช่น้ำ จากการทดสอบพบว่า ระยะเวลาการก่อตัวของ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร และ GCC ชนิดเสริมเส้นใยมีค่าน้อยกว่า GCC ชนิดเย็บด้วยมือ กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ที่ 0.5 ให้กำลังรับแรงที่มากกว่า และวิธีการบ่มแบบแช่น้ำทำให้กำลังรับแรงดึง แรงดัด และแรงกดทะลุ ของชั้นซีเมนต์เพสต์ในแผ่น GCC มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่บ่ม แต่กำลังรับแรงสูงสุดจะมีค่าใกล้เคียงกันแม้ระยะเวลาการบ่มจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าเส้นใยที่ใช้ยึดติดกับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอหลุดออกเมื่อบ่มตัวอย่างเป็นระยะเวลา 28 วัน เมื่อพัฒนารูปแบบการเย็บเป็นเย็บด้วยเครื่องจักรและเสริมเส้นใย พบว่า GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรมีค่ามวลต่อหน่วยน้ำหนักและค่าความหนาน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ GCC ชนิดอื่น ในขณะที่ค่ามวลต่อหน่วยน้ำหนักและค่าความหนาของชนิดเสริมเส้นใยจะมีค่าใกล้เคียงกับชนิดเย็บมือ นอกจากนี้พบว่าคุณสมบัติเชิงกลจะขึ้นอยู่กับทิศทางการรับแรงของ GCC โดย GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรสามารถรับแรงดึงได้มากที่สุด และ GCC ชนิดเสริมเส้นใยสามารถรับแรงดัดและแรงกดทะลุได้มากที่สุด แต่ GCC ชนิดเย็บมือและชนิดเสริมเส้นใย เมื่อเวลาการบ่มเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เส้นใยที่ยึดติดกับชั้นซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์เกิดการเสื่อมและหลุดออก เนื่องจากแช่น้ำนานเกินไป นอกจากนี้ทดสอบการซึมผ่านน้ำทั้ง 3 ชนิด พบว่าน้ำไม่ซึม

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5770180821 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: GEOSYNTHETIC / CEMENT / COMPOSITE / GEOTEXTILES / PHYSICAL PROPERTIES / MECHANICAL PROPERTIES

TRIPOP RAMDIT: Laboratory Investigation of Geosynthetic Cement Composite Properties. ADVISOR: ASST. PROF. PITCHA JONGVIVATSAKUL, Ph.D., 228 pp.

The purpose of this research is to investigate the physical and mechanical properties of geosynthetic cement composite (GCC). There are three types of product which are hand-sewn GCC, machine-sewn GCC and fiber reinforced GCC. The tests consist of setting time, compressive strength of cement paste, mass per unit area of GCC, nominal thickness, bending, tensile, puncher and water impermeability. The parameters are the ratio of water to weight of GCC (0.5 and 1) and curing time (1, 3, 7 and 28 days). There are three methods of curing, which are air, wrap and water curing. Test results show that setting times of machine-sewn GCC and fiber reinforced GCC are less than hand-sewn GCC. Compressive strength of all types of GCC is adjacent. With the decrease in the ratio of water to weight of GCC, load carrying capacity becomes higher. By using water curing, bending, tensile and puncher strength of cement paste increases with the increase in curing period. However, the peak load is constant. It is observed that the fibers adhering with hand-sewn GCC deteriorate when curing time is increased. Machine-sewn GCC gives the lowest mass per unit weight and nominal thickness. The mass per unit weight and nominal thickness of fiber reinforced GCC are close to hand-sewn GCC. For machine-sewn GCC and fiber reinforced GCC, loading direction affects the capacity. Among three types of GCC, machine-sewn GCC resists the highest tensile strength, while fiber reinforced GCC shows the highest bending and puncher strength. Nevertheless, for hand-sewn GCC and fiber reinforced GCC, the strength decreases when curing period is longer. It is because the deboning occurs. In addition, water impermeability tests show that the water was not permeable through all types of GCC.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจาก บริษัท สยามวิจัยและนวัตกรรม จำกัด สนับสนุนวัสดุเส้นใยจากบริษัท EPC จำกัด และการสนับสนุน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชชา จองวิวัฒน์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุน อีกทั้งให้คำแนะนำในการทำการทดลอง การเขียนบทความ การเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเป็นที่ปรึกษาเมื่อเกิดปัญหา ครูผู้ดูแลแลปทดสอบ นายสมพงษ์ และนายอดิสร รวมทั้งนิสิตต่างชาติแลปธรณี และนิสิตปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมธรณี ที่ช่วยเหลือในการทำการทดลอง



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ	ฅ
สารบัญตาราง.....	ภ
บทที่ 1.....	1
บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3. ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 แนวทางการดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2.....	4
ทฤษฎีและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง	4
2.1แผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics).....	4
2.1.1ความหมายของแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics)	4
2.1.2 ประเภทและประโยชน์ของแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics) [1]	4
2.1.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics).....	8
2.2 แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles).....	8
2.2.1 ความหมายของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles).....	8
2.2.2 ประเภทของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles).....	9

2.2.3. ลักษณะของเส้นใยและขั้นตอนในการผลิตแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles).....	11
2.2.4. ประโยชน์ของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles).....	11
2.2.5. งานวิจัยในอดีตของแผ่นใยสังเคราะห์	12
2.2.5.1 พฤติกรรมของโครงสร้างวัสดุเสริมดินโดยใช้แผ่นใยและตาข่ายเสริมแรง เป็นวัสดุเสริม.....	12
2.2.5.2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกลศาสตร์และเชิงกลของแผ่น เส้นใยสังเคราะห์ประเภทประสานเส้นใย	14
2.3 ปูนซีเมนต์ [13].....	18
2.3.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์.....	19
2.3.2 ประเภทของปูนซีเมนต์.....	20
2.3.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์.....	21
2.3.4. การก่อตัวและการแข็งตัว.....	21
2.3.5. คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์.....	22
2.3.6. งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปูนซีเมนต์	23
2.3.6.1. ประสิทธิภาพของคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์คอมโพสิตเสริมแผ่นผ้า [14] ..	23
2.3.6.2. คุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยสังเคราะห์ [15]	25
2.4. การบ่ม (Curing) [13]	28
2.4.1. กรรมวิธีการบ่มซีเมนต์.....	28
2.5 แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์(Geosynthetics clay liner) [17].....	29
2.5.1. ความหมายของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์(Geosynthetics clay liner).....	29
2.5.2. ประเภทของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์.....	29
2.5.3. คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties).....	31
2.5.4. คุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ (Hydraulic Property).....	31
2.5.5. คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)	32

2.5.6. การนำแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์มาประยุกต์การใช้.....	34
2.5.7 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์.....	34
2.5.7.1 วัสดุดินเหนียวสังเคราะห์ (Geosynthetic Clay Liners) [18].....	34
2.5.7.2 การศึกษาความทนทานของการเสริมไฟเบอร์ (fiber) และเส้นใย (yarn) ในแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ [19].....	37
2.6 แผ่นผ้าคอนกรีต (Concrete Cloth) [20]	39
2.6.1 การติดตั้งแผ่น GCCM.....	40
2.6.2.การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล.....	41
2.6.3การประยุกต์ใช้งานแผ่นGeosynthetic Cementitious Composites Mat	41
บทที่ 3.....	44
ระเบียบวิธีวิจัย	44
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา (Parameters).....	44
3.2 คุณสมบัติองค์ประกอบของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (GCC)	45
3.2.1. แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non - Woven Geotextiles).....	45
3.2.2. แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven Geotextiles).....	46
3.2.3. เส้นใย (Fiber).....	51
3.2.4. ปูนซีเมนต์	52
3.2.4.1. ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1	52
3.2.4.2. ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2	52
3.2.5. ผลิตภัณฑ์วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์	52
3.2.5.1.วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประเภทเย็บด้วยมือ (Old Product).....	53
3.2.5.2.วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประเภทเย็บด้วยเครื่องจักร (New product)...	53
3.2.5.3.วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประเภทเสริมไฟเบอร์ (New Product add fiber).....	53

3.3 การเตรียมตัวอย่าง	54
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์	54
3.3.2. การเตรียมตัวอย่างแผ่นคอมโพสิตซีเมนต์ใยสังเคราะห์.....	54
3.4 การทดสอบ (Testing).....	58
3.4.1. การทดสอบหาปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Real Water test)..	58
3.4.2. การหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกโดยเติมไวแคต	59
3.4.3. การทดสอบหาค่ากำลังของซีเมนต์เพสต์.....	59
3.4.4. การทดสอบความหนาของแผ่นตัวอย่าง (Nominal Thickness).....	60
3.4.5. การทดสอบหาค่ามวลต่อพื้นที่.....	60
3.4.6. การทดสอบความต้านทานแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์	61
3.4.7. การทดสอบความต้านทานแรงดัด	63
3.4.8. การทดสอบแรงทะลุ (Puncture Test)	65
3.4.9. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (Water Impermeability)	67
บทที่ 4.....	69
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล.....	69
4.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์	69
4.1.1. วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product).....	69
4.1.2. วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product).....	70
4.1.3. วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมไฟเบอร์ (New Product add fiber).....	71
4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์	72
4.2.1. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Mass per unit area test) และหาความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Nominal Thickness) ..	72
4.2.1.1. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใย สังเคราะห์ชนิดเย็บมือ (Old Product) วิธีการบ่มแบบทิ้งไว้ในอากาศ	73

4.2.1.2. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์โย สังเคราะห์ชนิดเย็บมือ (Old Product) วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ	74
4.2.1.3. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์โย สังเคราะห์ชนิดเย็บมือ (Old Product) วิธีการบ่มแบบท่อพลาสติก	76
4.2.1.4. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์โย สังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New product) วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ ...	77
4.2.1.5. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์โย สังเคราะห์ชนิดเสริมไฟเบอร์ (New product add fiber) วิธีการบ่มแบบ แช่น้ำ.....	78
4.2.1.6. การเปรียบเทียบค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่และค่าความหนาของวัสดุผสม ซีเมนต์โยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด.....	79
4.2.2. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (Water impermeability test).....	81
4.2.2.1. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์ชนิดเย็บ ด้วยมือ (Old Product)	81
4.2.2.2. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์ชนิดเย็บ ด้วยเครื่องจักร (New Product)	82
4.2.2.3. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์ชนิดเสริม เส้นใยไฟเบอร์ (New Product add fiber).....	82
4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของปูนซีเมนต์	83
4.3.1 ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1	84
4.3.2 ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2	85
4.4 ความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์	87
4.4.1. ความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product).....	87
4.4.1.1. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการบ่มอากาศ.....	87

4.4.1.2. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการห่อพลาสติก.....	89
4.4.1.3. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการแช่น้ำ.....	91
4.4.1.4. พฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	93
4.4.1.5. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ.....	95
4.4.1.5.1 การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศ.....	95
4.4.1.5.2 การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด วิธีการบ่มแบบห่อพลาสติก.....	100
4.4.1.5.3 การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ.....	103
4.4.2. ความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product).....	107
4.4.2.1. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ.....	107
4.4.2.2. พฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร.....	110
4.4.2.3. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด.....	112
4.4.3. ความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมเส้นใย (New product add fiber).....	116
4.4.3.1. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ.....	116
4.4.3.2. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด.....	118
4.4.4. การเปรียบเทียบความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด.....	121
4.5 ความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์.....	125
4.5.1. ความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product).....	125

4.5.1.1. การทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยวิธีการบ่มอากาศ.....	125
4.5.1.2. การทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยวิธีการห่อพลาสติก.....	127
4.5.1.3. การทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยวิธีการแช่น้ำ.....	129
4.5.1.4. พฤติกรรมการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ.....	131
4.5.1.5. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง วิธีการบ่มอากาศ.....	134
4.5.1.6. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง วิธีการบ่มแบบห่อพลาสติก .	140
4.5.1.7. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ.....	143
4.5.2. การทดสอบความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product).....	148
4.5.2.1. การทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ.....	148
4.5.2.2. พฤติกรรมการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร	151
4.5.2.3. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ.....	154
4.5.3. การทดสอบความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมเส้นใย (New Product add fiber).....	158
4.5.3.1. การทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ.....	158
4.5.3.2. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง	160
4.5.4. การเปรียบเทียบความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด.....	164
4.6 ความต้านทานแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์.....	169
4.6.1. ความต้านทานการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product).....	169
4.6.1.1. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุด้วยวิธีการบ่มอากาศ.....	169
4.6.1.2. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุด้วยวิธีการห่อพลาสติก.....	171

4.6.1.3. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะเลลู่ด้วยวิธีการแช่น้ำ	173
4.6.1.4. พฤติกรรมการรับแรงกดทะเลลู่ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ	175
4.6.1.5. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานรับแรงกดทะเลลู่ วิธีการบ่มอากาศ.....	177
4.6.1.6. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงกดทะเลลู่ วิธีการบ่มแบบห่อ พลาสติก.....	181
4.6.1.7.การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงกดทะเลลู่ วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ.....	185
4.6.2. ความต้านทานการรับแรงกดทะเลลู่ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วย เครื่องจักร (New Product)	190
4.6.2.1. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะเลลู่ด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ	190
4.6.2.2. พฤติกรรมการรับแรงกดทะเลลู่ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บ ด้วยเครื่องจักร.....	192
4.6.2.3. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงกดทะเลลู่ วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ ...	194
4.6.3. ความต้านทานการรับแรงกดทะเลลู่ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมด้วย เส้นใยไฟเบอร์ (New Product add fiber)	197
4.6.3.1. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะเลลู่ด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ	197
4.6.3.2. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงกดทะเลลู่ วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ ...	198
4.6.4. การเปรียบเทียบความต้านทานการรับแรงกดทะเลลู่ของวัสดุผสมซีเมนต์ใย สังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด	200
4.7 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทั้งกายภาพและเชิงกลของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิดเปรียบกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาดและงานวิจัยในอดีต	204
บทที่ 5.....	208
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	208
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	208
5.2ข้อเสนอแนะ	209

ผ

หน้า

รายการอ้างอิง.....210

ภาคผนวก.....213

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....228



สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่ 2.1 Geotextiles [2].....	5
รูปที่ 2.2 Geogrids [3].....	5
รูปที่ 2.3 Geonets [4]	6
รูปที่ 2.4 Geomembranes [5]	6
รูปที่ 2.5 Geosynthetics clay liner [6].....	7
รูปที่ 2.6 Geopipes [7]	7
รูปที่ 2.7 Woven Geotextiles [8].....	9
รูปที่ 2.8 แนวถัก warp และ weft [9].....	10
รูปที่ 2.9 Nonwoven Geotextiles [10]	11
รูปที่ 2.10 ลักษณะของแบบจำลอง [11]	13
รูปที่ 2.11 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ภายใต้แรงกระทำมวลต่อพื้นที่ [12].....	16
รูปที่ 2.12 การทดสอบเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ภายใต้แรงกระทำระหว่างมวลต่อพื้นที่ของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ [12].....	16
รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงความพรุนภายใต้แรงกระทำของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์กับมวลต่อพื้นที่ [12].....	16
รูปที่ 2.14 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์กับมวลต่อพื้นที่ [12]	17
รูปที่ 2.15 การทดสอบแรงเฉาะทะลุกับมวลต่อพื้นที่ [12].....	17
รูปที่ 2.16 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน [13].....	21
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการทดสอบความต้านทานการรับแรงดัด [14].....	24
รูปที่ 2.18 ค่าการรับแรงดัดสูงสุด [14].....	24
รูปที่ 2.19 ค่ามอดูลัสแตกหัก [14].....	24
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการทดสอบความต้านทานแรงดึง [14]	25

รูปที่ 2.21 ความเค้นการรับแรงดึง [14].....	25
รูปที่ 2.22 การเปรียบเทียบทั้ง 3 การทดสอบ [15].....	28
รูปที่ 2.23 หน้าตัดขวางของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์แต่ละประเภท [17]	30
รูปที่ 2.24 ค่าศาสตร์ของแผ่น GCL ที่ของเหลวแตกต่างกัน [17].....	32
รูปที่ 2.25 พฤติกรรมแรงดึงของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์โดยใช้มาตรฐาน ASTM D6768 [17]	33
รูปที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำโดยใช้แรงดันข้าง [18].....	35
รูปที่ 2.27 การเจาะเย็บแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Needle Punched) โดยใช้ไฟเบอร์เจาะทะลุ ดินเหนียวกับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) [19].....	37
รูปที่ 2.28 ยึดติดไปกับแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Stitch Bonded) ระหว่างแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) [19].....	38
รูปที่ 2.29 กล่องแรงเฉือน (Large Shear Boxes) [19]	38
รูปที่ 2.30 การย่อยสลายของพอลิโพรไฟลีน [19].....	39
รูปที่ 2.31 หน้าตัดของแผ่นผ้าคอนกรีต [20].....	40
รูปที่ 2.32 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นผ้าคอนกรีต [20].....	40
รูปที่ 2.33 การทดสอบความต้านทานการรับแรงดึงของแผ่น GCCM [20]	41
รูปที่ 2.34 ลักษณะคูน้ำที่มีการเชื่อมต่อโดยใช้ซีเมนต์ปิดรอยต่อ [20]	42
รูปที่ 2.35 ลักษณะคูน้ำที่มีการเชื่อมต่อโดยใช้การซ้อนทับของแผ่น GCCM[20].....	42
รูปที่ 2.36 การติดตั้งแผ่น GCCM ในงานเสริมเสถียรภาพของดิน [20].....	43
รูปที่ 2.37 เมื่อติดตั้งแผ่น GCCM เสร็จในงานเสริมเสถียรภาพของดิน [20].....	43
รูปที่ 3.1 แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non – Geotextiles).....	45
รูปที่ 3.2 แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven Geotextiles)	46
รูปที่ 3.3 การทดสอบความต้านทานแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ.....	48
รูปที่ 3.4การทดสอบแรงดึงทิศทางตามขวาง (Width direction01).....	48
รูปที่ 3.5 การทดสอบแรงดึงทิศทางตามขวาง (Width direction02).....	48

รูปที่ 3.6 การทดสอบแรงดึงทิศทางตามยาว (Length direction01).....	49
รูปที่ 3.7 การทดสอบแรงดึงทิศทางตามยาว (Length direction02).....	49
รูปที่ 3.8 เส้นใย Barchip รุ่น Macro 24	51
รูปที่ 3.9 การผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับเส้นใยไฟเบอร์.....	51
รูปที่ 3.10 แนวตามยาวและตามขวางของแผ่น GCC (New Product)	53
รูปที่ 3.11 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์.....	59
รูปที่ 3.12 ลูกบาศก์ซีเมนต์	59
รูปที่ 3.13 ทรงกระบอก เหล็กน้ำหนัก 500 กรัมและฐานรอง	60
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ในการทดสอบหาค่ามวลต่อพื้นที่.....	61
รูปที่ 3.15 แบบจำลองการทดสอบแรงดึง	62
รูปที่ 3.16 การทดสอบแรงดึง	62
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ในการทดสอบความต้านทานแรงดึง	63
รูปที่ 3.18แบบจำลองแรงดัด	63
รูปที่ 3.19 ฐานรับรอง	64
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์สำหรับการทดสอบแรงดัด	65
รูปที่ 3.21 ลูกสูบกดตามมาตรฐาน [30]	65
รูปที่ 3.22 เครื่องกดสามแกน (Triaxial).....	66
รูปที่ 3.23 ฐานรับรองตัวอย่างทดสอบ [30]	66
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ในการทดสอบแรงทะลุ.....	67
รูปที่ 3.25 ถาดขังน้ำ.....	67
รูปที่ 3.26 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์	68
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอัตราส่วนของน้ำที่พรมกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ	69

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอัตราส่วนของน้ำที่พรมกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร.....	70
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอัตราส่วนของน้ำที่พรมกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมไฟเบอร์.....	71
รูปที่ 4.4 ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่และระยะเวลาการบ่มแบบบ่มอากาศ.....	73
รูปที่ 4.5 ค่าความหนาของแผ่น GCC กับ ระยะเวลาการบ่มแบบบ่มอากาศ.....	74
รูปที่ 4.6 ค่ามวลต่อพื้นที่และระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ.....	74
รูปที่ 4.7 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ.....	75
รูปที่ 4.8 ค่ามวลต่อพื้นที่และระยะเวลาการบ่มแบบห่อพลาสติก.....	76
รูปที่ 4.9 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบห่อพลาสติก.....	76
รูปที่ 4.10 ค่ามวลต่อพื้นที่และระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ (NP).....	77
รูปที่ 4.11 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ (NP).....	77
รูปที่ 4.12 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ (NPF).....	78
รูปที่ 4.13 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ (NPF).....	79
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ทั้งแผ่น GCC3 ชนิด.....	79
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าความหนาของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด.....	80
รูปที่ 4.16 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ของ w/c = 0.39 และ w/c = 0.45.....	84
รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลาการบ่ม.....	85
รูปที่ 4.18 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ของ W/C = 0.3.....	86
รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลาการบ่ม.....	86
รูปที่ 4.20 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)..	87
รูปที่ 4.21 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)..	88
รูปที่ 4.22 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)..	89
รูปที่ 4.23 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มห่อพลาสติก).....	90

รูปที่ 4.24 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มห่อพลาสติก)..... 90

รูปที่ 4.25 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)..... 91

รูปที่ 4.26 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)..... 92

รูปที่ 4.27 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)... 93

รูปที่ 4.28 พฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์ 94

รูปที่ 4.29 การเลือกของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ 94

รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ 95

รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ..... 96

รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ..... 96

รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ..... 97

รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ..... 97

รูปที่ 4.35 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ..... 99

รูปที่ 4.36 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ..... 99

รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ 100

รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ..... 100

รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ..... 101

รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	101
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	102
รูปที่ 4.42 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	102
รูปที่ 4.43 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	103
รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า w/w_{GCC} $= 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ	103
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า W/W_{GCC} $= 1$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	104
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	105
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	105
รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	105
รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	106
รูปที่ 4.50 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ.....	106
รูปที่ 4.51 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ	107
รูปที่ 4.52 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีบ่มแช่ น้ำ).....	108
รูปที่ 4.53 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่ม แช่น้ำ).....	109
รูปที่ 4.54 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่ม แช่น้ำ).....	109

รูปที่ 4.55 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	110
รูปที่ 4.56 พฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์	111
รูปที่ 4.57 การเลือกของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องมือ.....	112
รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร ทิศทางตามขวาง(Width direction).....	113
รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร ทิศทางตามยาว (Length direction)	113
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร	114
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วันของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร	114
รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร	114
รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วันของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร	115
รูปที่ 4.64 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture)ของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องมือ	115
รูปที่ 4.65 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร	116
รูปที่ 4.66 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	117
รูปที่ 4.67 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	117
รูปที่ 4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ ทิศทางตามขวาง(Width direction).....	118
รูปที่ 4.69 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ ทิศทางตามยาว (Length direction)	118

รูปที่ 4.70 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเสริมด้วยไฟเบอร์	119
รูปที่ 4.71 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน ของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร	119
รูปที่ 4.72 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์	120
รูปที่ 4.73 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์.....	120
รูปที่ 4.74 ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน	121
รูปที่ 4.75 ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน	122
รูปที่ 4.76 ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน	122
รูปที่ 4.77 ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน.....	123
รูปที่ 4.78 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด.....	123
รูปที่ 4.79 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด.....	124
รูปที่ 4.80 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)	125
รูปที่ 4.81 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)	126
รูปที่ 4.82 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)	127
รูปที่ 4.83 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มห่อ พลาสติก).....	128
รูปที่ 4.84 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มห่อ พลาสติก).....	129
รูปที่ 4.85 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)..	130
รูปที่ 4.86 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)..	130
รูปที่ 4.87 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)	131
รูปที่ 4.88 พฤติกรรมการรับแรงดึงแบบที่ 1	132
รูปที่ 4.89 พฤติกรรมการรับแรงดึงแบบที่ 2	133
รูปที่ 4.90 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยมือ รูปแบบที่ 1	133

รูปที่ 4.91 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ รูปแบบที่ 2	134
รูปที่ 4.92 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$	135
รูปที่ 4.93 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$	135
รูปที่ 4.94 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน	136
รูปที่ 4.95 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน	136
รูปที่ 4.96 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน	136
รูปที่ 4.97 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มอากาศ	138
รูปที่ 4.98 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่มวิธีบ่มแบบบ่มอากาศ	139
รูปที่ 4.99 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$	140
รูปที่ 4.100 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$	140
รูปที่ 4.101 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน ...	141
รูปที่ 4.102 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน ...	141
รูปที่ 4.103 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ...	141
รูปที่ 4.104 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มแบบห่อพลาสติก	142
รูปที่ 4.105 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่มวิธีบ่มแบบห่อพลาสติก	143
รูปที่ 4.106 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$	144
รูปที่ 4.107 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 1$	144
รูปที่ 4.108 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน ...	145

รูปที่ 4.109 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน ...	145
รูปที่ 4.110 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ...	145
รูปที่ 4.111 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน ...	146
รูปที่ 4.112 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ	146
รูปที่ 4.113 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่มวิธีบ่มแบบแช่น้ำ	147
รูปที่ 4.114 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	149
รูปที่ 4.115 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	149
รูปที่ 4.116 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีบ่มแช่น้ำ)	150
รูปที่ 4.117 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	151
รูปที่ 4.118 พฤติกรรมการรับแรงดึงแบบที่ 1	152
รูปที่ 4.119 พฤติกรรมการรับแรงดึงแบบที่ 2	152
รูปที่ 4.120 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร รูปแบบที่ 1	153
รูปที่ 4.121 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร รูปแบบที่ 2	153
รูปที่ 4.122 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 3 7 และ 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	154
รูปที่ 4.123 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน ...	155
รูปที่ 4.124 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน ...	155
รูปที่ 4.125 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ...	156
รูปที่ 4.126 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน ...	156
รูปที่ 4.127 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ	157

รูปที่ 4.128 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่มวิธีบ่มแบบแช่น้ำ.....	158
รูปที่ 4.129 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	159
รูปที่ 4.130 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	160
รูปที่ 4.131 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ทั้ง 2 ทิศทาง ตามขวางและตามยาวที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	161
รูปที่ 4.132 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ...	161
รูปที่ 4.133 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน .	162
รูปที่ 4.134 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ ชนิดเสริมเส้นใย.....	162
รูปที่ 4.135 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่ม วิธีบ่มแบบแช่น้ำ.....	163
รูปที่ 4.136 ระยะการบ่มที่ 1 วัน.....	164
รูปที่ 4.137 ระยะการบ่มที่ 3 วัน.....	164
รูปที่ 4.138 ระยะการบ่มที่ 7 วัน.....	165
รูปที่ 4.139 ระยะการบ่มที่ 28 วัน.....	166
รูปที่ 4.140 ความต้านทานแรงดึงของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด	166
รูปที่ 4.141 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรกต่อแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ในช่วงหลัง.....	167
รูปที่ 4.142 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีบ่มอากาศ).....	169
รูปที่ 4.143 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มอากาศ).....	170
รูปที่ 4.144 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มอากาศ).....	171

รูปที่ 4.145 ผลทดสอบแรงกดทะเล่ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่ม ห่อพลาสติก).....	172
รูปที่ 4.146 ผลทดสอบแรงกดทะเล่ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่ม ห่อพลาสติก).....	172
รูปที่ 4.147 ผลทดสอบแรงกดทะเล่ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีบ่มแ่ น้ำ).....	173
รูปที่ 4.148 ผลทดสอบแรงกดทะเล่ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่ม แ่ น้ำ).....	174
รูปที่ 4.149 ผลทดสอบแรงกดทะเล่ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่ม แ่ น้ำ).....	175
รูปที่ 4.150 พฤติกรรมการรับแรงกดทะเล่.....	176
รูปที่ 4.151 การเลือกจุดแ่ GCC ชนิดเย็บมือ.....	176
รูปที่ 4.152 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยัดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า W/W_{GCC} = 0.5.....	177
รูปที่ 4.153 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยัดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า W/W_{GCC} = 1.....	177
รูปที่ 4.154 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยัดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน... 178	
รูปที่ 4.155 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยัดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน... 178	
รูปที่ 4.156 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยัดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน... 179	
รูปที่ 4.157 ค่าความต้านทานแรงกดทะเล่สูงสุดของวิธีการบ่มอากาศ.....	180
รูปที่ 4.158 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะเล่.....	181
รูปที่ 4.159 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยัดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า W/W_{GCC} = 0.5.....	181
รูปที่ 4.160 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยัดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า W/W_{GCC} = 1.....	182
รูปที่ 4.161 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยัดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน... 182	

รูปที่ 4.162 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน ...	183
รูปที่ 4.163 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ...	183
รูปที่ 4.164 ค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดของวิธีการบ่มแบบห่อพลาสติก	184
รูปที่ 4.165 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะลุ	185
รูปที่ 4.166 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า W/W_{GCC} = 0.5.....	185
รูปที่ 4.167 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า w/w_{GCC} = 1.....	186
รูปที่ 4.168 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน ...	186
รูปที่ 4.169 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน ...	187
รูปที่ 4.170 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ...	187
รูปที่ 4.171 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน ..	187
รูปที่ 4.172 ค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดของวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ	189
รูปที่ 4.173 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะลุ	189
รูปที่ 4.174 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน	190
รูปที่ 4.175 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน	191
รูปที่ 4.176 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน	191
รูปที่ 4.177 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน	191
รูปที่ 4.178 พฤติกรรมการรับแรงกดทะลุรูปแบบที่ 1	192
รูปที่ 4.179 พฤติกรรมการรับแรงกดทะลุรูปแบบที่ 2	193
รูปที่ 4.180 การเลือกจุดแผ่น GCC รูปแบบที่ 1 ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร	193
รูปที่ 4.181 การเลือกจุดแผ่น GCC รูปแบบที่ 2 ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร	194
รูปที่ 4.182 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า w/w_{GCC} = 0.5.....	195
รูปที่ 4.183 ค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุด	196

รูปที่ 4.184 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะเล	196
รูปที่ 4.185 ผลทดสอบแรงกดทะเล GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใย ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน	197
รูปที่ 4.186 ผลทดสอบแรงกดทะเล GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใย ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน	197
รูปที่ 4.187 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$	198
รูปที่ 4.188 ค่าความต้านทานแรงกดทะเลสูงสุด	199
รูปที่ 4.189 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะเล	200
รูปที่ 4.190 ระยะการบ่มที่ 1 วัน	201
รูปที่ 4.191 ระยะการบ่มที่ 3 วัน	201
รูปที่ 4.192 ระยะการบ่มที่ 7 วัน	202
รูปที่ 4.193 ระยะการบ่มที่ 28 วัน	202
รูปที่ 4.194 ความต้านทานแรงกดทะเลสูงสุดทั้ง 3 ชนิด	203
รูปที่ 4.195 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรกต่อแรงกดทะเลของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ ในช่วงหลัง	203

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกลศาสตร์ และเชิงกลของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ [12].....	14
ตารางที่ 2.2 การทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ [12].....	15
ตารางที่ 2.3 ค่าออกไซด์ต่างๆทางเคมี [13].....	18
ตารางที่ 2.4 สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ [13].....	19
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของตัวอย่างการทดสอบ [14].....	23
ตารางที่ 2.6 ความแตกต่างของผ้าในแต่ละตัวอย่าง [14].....	23
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด [15].....	26
ตารางที่ 2.8 ค่าการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ [15].....	26
ตารางที่ 2.9 ค่าความต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์ [15].....	27
ตารางที่ 2.10 ค่าความต้านทานแรงดัดของมอร์ตาร์ [15].....	27
ตารางที่ 2.11 ระยะเวลาในการบ่มตามมาตรฐาน [16].....	29
ตารางที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Geosynthetic Clay Liners) กับ ชั้นกันซึมดินเหนียวอัด (Compacted Clay liners) [18].....	36
ตารางที่ 3.1 คำน้้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่และความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน	45
ตารางที่ 3.2 สรุปผลการทดสอบแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานแบบที่ 2.....	46
ตารางที่ 3.3 คำน้้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่และความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน.....	47
ตารางที่ 3.4 สรุปผลการทดสอบแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอแบบที่ 1.....	50
ตารางที่ 3.5 สรุปผลการทดสอบแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอแบบที่ 2.....	51
ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของไฟเบอร์ Macro 24[25].....	52
ตารางที่ 3.7 จำนวนตัวอย่างของซีเมนต์พิเศษในแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด	54
ตารางที่ 3.8 จำนวนตัวอย่างของการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์พิเศษในแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด	55
ตารางที่ 3.9 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแผ่น GCCชนิดเย็บด้วยมือ	56

ตารางที่ 3.10 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแผ่น GCCชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรและเสริมเส้นใย	57
ตารางที่ 4.1 ค่าจุดอิมิตัวของแผ่น GCC ทั้ง 3 ประเภท	71
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และความหนาของ GCC ทั้ง 3 ชนิด	72
ตารางที่ 4.3 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยมือ	81
ตารางที่ 4.4 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product)	82
ตารางที่ 4.5 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของแผ่น GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์ (New Product add fiber)	82
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ทั้ง 3 ชนิด.....	83
ตารางที่ 4.7 ผลการหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c).....	84
ตารางที่ 4.8 ผลการหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c).....	85
ตารางที่ 4.9 ค่าโมดูลัสแตกหัก (MOR) และโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของแผ่น GCC.....	98
ตารางที่ 4.10 ค่าการรับแรงดึงของทั้ง 3 ชนิดของแผ่น GCC	137
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCCชนิดเย็บมือ(วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศ).....	139
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCCชนิดเย็บมือ(วิธีการบ่มแบบท่อพลาสติก).....	142
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCCชนิดเย็บมือ(วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ)	147
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร(วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ).....	157
ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCC ชนิดเสริมเส้นใย(วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ).....	163
ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มอากาศ).....	179

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มห่อพลาสติก).....	183
ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	188
ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	195
ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเสริมเส้นใย (วิธีการบ่มแช่น้ำ).....	199
ตารางที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติกายภาพทั้ง 3 ชนิด กับ ผลิตภัณฑ์ท้องตลาดและงานวิจัยในอดีต.....	205
ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลทั้ง 3 ชนิด กับ ผลิตภัณฑ์ท้องตลาดและงานวิจัยในอดีต.....	206



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา

ปัจจุบันได้มีการนำซีเมนต์มาประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างต่างๆ เช่น การนำวัสดุซีเมนต์มาใช้แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) มีชื่อเรียกว่า วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Geosynthetic Cement Composite, GCC) ซึ่งได้ปรับปรุงมาจากแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Geosynthetic Clay Liner, GCL) โดยแผ่น GCL จะประกอบไปด้วยแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ ทั้งด้านบนและด้านล่าง ส่วนชั้นตรงกลางของแผ่น GCL เป็นดินเหนียว [1] ซึ่งแผ่น GCL สามารถใช้ป้องกันการซึมผ่านของน้ำและมักจะใช้ในงานปู่อัดฝังกลบขยะ บ่อน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ ต่อมาได้มีการพัฒนาวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ขึ้นมา โดยเปลี่ยนชั้นดินเหนียวเป็นชั้นซีเมนต์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพวัสดุในเรื่องของการรับแรงที่กระทำต่อแผ่นให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ส่วนประกอบของ GCC ประกอบไปด้วย ชั้นที่ 1 คือแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทประสาน (Non-woven geotextiles) ชั้นที่ 2 เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชั้นที่ 3 คือแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทถักทอ (Woven geotextiles) ซึ่งแผ่น GCC นี้สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพของดิน เป็นแผ่นปูรองรับคุระบายน้ำหรือบ่อฝังกลบ

อย่างไรก็ตาม วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ยังไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากยังขาดผลการศึกษาศมบัติทางวิศวกรรม และงานวิจัยก็ยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาคูณสมบัติกายภาพและเชิงกลของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณน้ำที่ใช้และระยะเวลาการบ่ม ซึ่งจะมีการทดสอบคุณสมบัติ คือ ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ การทดสอบหาความหนาของแผ่นวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกดทะลุ และ การซึมผ่านของน้ำ จากผลการทดสอบทำให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการพรมน้ำต่อน้ำหนักวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ ระยะเวลาการบ่ม และวิธีการบ่ม ที่มีต่อคุณสมบัติกายภาพและเชิงกลของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์
2. เพื่อพัฒนาวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ ให้มีคุณสมบัติทางเชิงกลดีขึ้น

1.3. ขอบเขตงานวิจัย

1. วัสดุที่นำมาใช้คือ ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 และปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2 แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) ซึ่งจะมีชนิดของใยสังเคราะห์เป็นพอลิโพรไพลีน (Polypropylene)
2. วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประกอบไปด้วยแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Nonwoven Geotextiles) และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven Geotextiles) และมีผงซีเมนต์อยู่ตรงกลาง โดยใช้เครื่องเย็บที่เป็นเข็มแทงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานลงไปถึงชั้นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอเข้าด้วยกัน
3. งานวิจัยนี้จะเป็นการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการ ไม่มีการทดสอบในภาคสนาม
4. การพัฒนาแผ่น GCC ในเรื่องของคุณสมบัติด้านกายภาพและเชิงกลมีการทดสอบดังนี้
 1. การหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกโดยเข็มไวแคต
 หลังซีเมนต์แข็งตัว
 2. การทดสอบหาความหนาของแผ่น GCC
 3. การทดสอบหาค่ามวลต่อพื้นที่
 4. การทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์
 5. การทดสอบความต้านทานแรงดึง
 6. การทดสอบความต้านทานแรงดัด
 7. การทดสอบแรงเฉือนทะลุ
 8. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ
5. งานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาผลของความคืบกับความล้าของแผ่น GCC

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์เป็นขึ้นต้นแบบเพื่อนำไปใช้งานภาคสนามได้

1.5 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

แนวทางการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎี รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและมาตรฐานในการทดสอบ
2. ออกแบบการทดสอบและเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแผ่น Geosynthetic Cement Composite (GCC)
3. ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลในห้องปฏิบัติการ
4. ออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ 1.GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร 2.GCC ชนิดใส่เส้นใย
5. ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ในห้องปฏิบัติการ
6. วิเคราะห์ผล
7. สรุปผลงานวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

การเลือกใช้วัสดุแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetic) จะมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์(GCC) เนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับแผ่นใยสังเคราะห์ ปูนซีเมนต์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

2.1 แผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics)

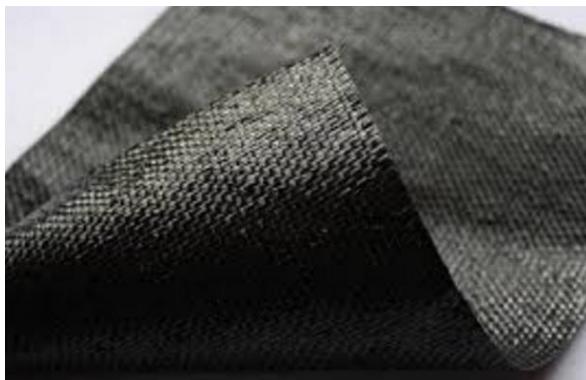
2.1.1 ความหมายของแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics)

แผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetic) วัสดุที่ทำมาจากวัสดุประเภทพอลิเมอร์(Polymeric Material) เพื่อนำมาใช้ในงานดิน หิน และงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค รวมทั้งนำมาใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างดิน เช่น เชื้อนดิน กำแพงกันดิน เป็นต้น หรืออาจใช้ในงานระบบระบายน้ำ งานกรองวัสดุ งานแยกชั้นวัสดุ งานป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเลหรือริมฝั่งแม่น้ำ[1]

2.1.2 ประเภทและประโยชน์ของแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics) [1]

แผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetic) สามารถจำแนกออกเป็น 7 ประเภท ตามลักษณะของรูปร่าง วิธีการผลิตและประโยชน์ในการนำไปใช้ มีดังนี้

1. แผ่นเส้นใยเคราะห์ (Geotextiles) จะมีลักษณะเป็นแผ่นที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fiber) ซึ่งเส้นใยจะมีความคงทนกว่าเส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย เป็นต้น หรือเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นสูงและมีความสม่ำเสมอ สามารถผลิตเป็นแผ่นโดยมีการถักทอเหมือนผ้า (woven geotextiles) หรือชนิดที่ไม่ใช่เทคนิคการถักทอปกติแต่ใช้การประสานเส้นใย (nonwoven geotextiles) เช่น การใช้ความร้อน เป็นต้น คุณสมบัติของ geotextiles คือ การแยกวัสดุ (separation) การเสริมแรง หรือ การเสริมความคงตัว (reinforcement) การกรองวัสดุ (filtration) การระบายน้ำ (drainage) และการป้องกันการกัดกร่อน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Geotextiles [2]

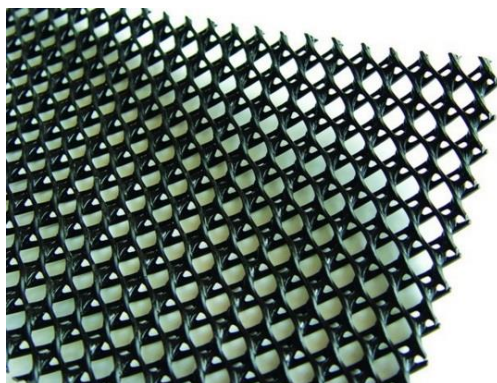
2. ตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrids) ลักษณะเป็นแผ่นที่มีการผลิตจากการประสานเส้นวัสดุจำพวก Polymer ให้เป็นแผ่นตารางขนาดต่างๆ โดยช่องว่างบนแผ่นมีขนาดใหญ่และเส้นวัสดุที่นำมาประสานนั้นจะมีขนาดที่ใหญ่กว่าเส้นใยของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) ซึ่งการประสานเส้นวัสดุอาจทำได้โดยการถักทอหรือใช้เทคนิควิธีอื่นๆ คุณสมบัติหลักของตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrids) คือ การเสริมแรง หรือเสริมความคงตัว (reinforcement) เกือบทั้งหมด การยึดตัวจะมีระยะที่ต่ำกว่าแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) และสามารถผลิตให้มีการรับแรงดึงได้สูงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Geogrids [3]

3. ตะแกรงเนทระบายน้ำ (Geonets หรือ Geospace) จะมีลักษณะทั่วไปเป็นแผ่นตาข่ายที่ผลิตจากวัสดุ polyethylene เกือบทั้งหมดโดยแผ่นจะมีช่องว่างที่สามารถกำหนดได้จากการผลิตตามความต้องการในการใช้ประโยชน์ใช้ในงานด้านการระบายน้ำโดยเฉพาะ ซึ่งการใช้งานจะต้องมีแผ่น Geotextiles ประกบทั้งข้างบนและข้างล่าง เพื่อใช้ในการกรอง

วัสดุที่จะเข้าไปอุดต้นช่องระบายน้ำใน Geonets งานที่ใช้ Geonets เช่น การระบายน้ำ หลังกำแพง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Geonets [4]

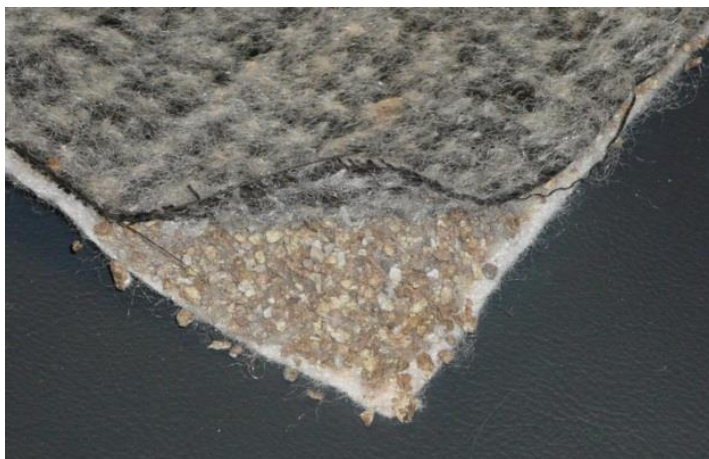
4. แผ่นจีโอเมมเมรน (Geomembranes) เป็นแผ่นวัสดุที่ผลิตมาจาก polyethylene หรือพลาสติกหรือยาง ที่มีการซึมผ่านของน้ำที่ต่ำมาก มีคุณสมบัติในด้านการควบคุมน้ำเสีย ไม่ให้ไหลผ่านมาปะปนกับน้ำดีหรือป้องกันการไหลเข้าออกของน้ำ และใช้เป็นวัสดุวางระหว่างดินมวลดิน และ โครงสร้างต่างๆ เพื่อลดการกัดกร่อนดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Geomembranes [5]

5. แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์(Geosynthetic clay liner) หรือแผ่นGLCL เป็นแผ่นของการประกบชั้นบางๆ ของเบนโทไนท์(Bentonite) ด้วยแผ่นใยสังเคราะห์(Geotextile) หรือแผ่นจีโอเมมเมรน (Geomembranes) ทั้งข้างบนและข้างล่างซึ่งมีเบนโทไนท์ (Bentonite) อยู่กึ่งกลาง และอัดให้เป็นแผ่นเดียวกัน คุณสมบัติส่วนใหญ่ในด้านการ

ป้องกันการซึมผ่านของน้ำมีลักษณะของการใกล้เคียงกับแผ่นจีโอเมมเบรน (Geomembranes) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Geosynthetics clay liner [6]

6. ท่อจีโอไพพ์ (Geopipes) ลักษณะจะเป็นท่อที่ผลิตจากวัสดุประเภท polymeric materials ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง และมีการโค้งงอได้มากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิต ท่อจีโอไพพ์ (Geopipes)ใช้ในการเป็นท่อระบายน้ำ เช่น การระบายน้ำใต้ดินหลัง กำแพงดิน เป็นต้น ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 Geopipes [7]

7. Geocomposites คือ การนำ geosynthetics มากกว่า 1ชนิด มาใช้งานร่วมกันเพื่อเพิ่ม ประโยชน์ใช้สอยในงานต่างๆ ให้มากขึ้น

2.1.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics)

วัสดุที่ใช้ในการผลิต Geosynthetics คือ synthetic polymers materials สามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิด แต่ในส่วนใหญ่จะนำมาใช้เพียง 5 ชนิด ได้แก่

1. Polyethylene (PE) ซึ่งวัสดุชนิดนี้เมื่อนำมาผลิตในลักษณะเป็นแผ่นจะมีความคงทนสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ระหว่าง pH 2-13 และต่อต้านปฏิกิริยา Oxidation ได้ดี และมีความคงทนต่อแสงแดด UV เนื่องจากมีการผสม Carbon ลงในวัสดุประมาณ 2%
2. Polyamide (PA) หรือ Nylon ได้แก่ nylon 6 และ nylon 66 ปกติไม่ใช่ผลิต geotextile แต่ใช้เป็นวัสดุผลิต Geosynthetics หลายชนิด
3. Polyester (PES or PET) ใช้ผลิต Geotextiles ประมาณ 14% ถึง 35% ของปริมาณ Geotextiles ที่ใช้ในปัจจุบัน โดยวัสดุชนิดนี้สามารถทน pH ได้สูงกว่า 9
4. Polypropylene (PP) เป็นวัสดุที่มีการพัฒนามาจาก Polyethylene โดยคุณสมบัติสามารถทน pH ได้ระหว่าง 3-13 Geotextiles ส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุชนิดนี้ ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 65% ถึง 85% ของปริมาณที่ใช้ปัจจุบัน
5. Polyvinyl Chloride (PVC) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในวงการอุตสาหกรรมการผลิตท่อ นำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิต Geosynthetics บางประเภทหรือใช้เป็นวัสดุเคลือบเสริมให้เกิดความคงทนหรือใช้ฉาบผิวหน้าของ Geosynthetics ด้วย

นอกจากวัสดุทั้ง 5 ชนิดแล้วยังมีวัสดุบางชนิดใน Synthetic Polymers ที่ใช้ในการผลิต Geosynthetics โดยมีการใช้งานน้อย เช่น Chlorinated polyethylene (CPE), polystyrene (PS), chlorosulphonated polyethylene (CSPE) เป็นต้น ซึ่งวัสดุพวกนี้จะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวจึงทำให้ต้องผลิตมาใช้งานที่ต้องการคุณสมบัติเฉพาะตัว

2.2 แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles)

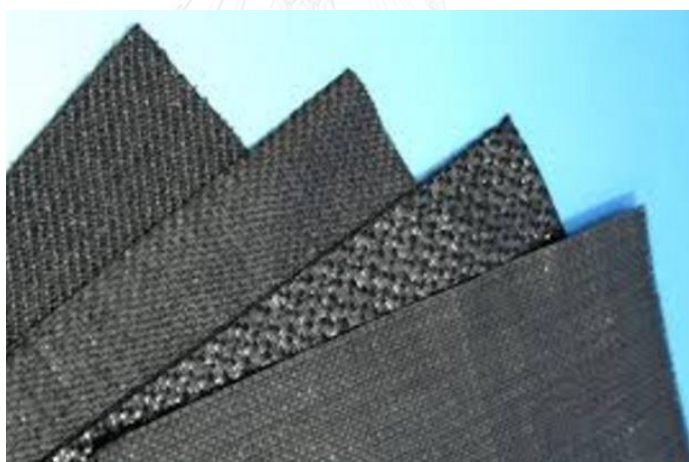
2.2.1 ความหมายของแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles)

แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) เป็นวัสดุประเภทหนึ่งในแผ่นใยสังเคราะห์ (Geosynthetics) ซึ่งถูกนำมาใช้งานเพิ่มสูงขึ้น การใช้ประโยชน์ในเบื้องต้นเป็นวัสดุกรอง (Filter) เพื่อป้องกันมวลดินไม่ให้หลุดออกไปตามน้ำที่มีการไหลผ่านของน้ำหรือไม่ให้มวลดินหลุดออกจากกัน ทำให้เริ่มนำแผ่น Geotextiles นั้นมาใช้ในเรื่องของงานเสริมถนน การแยกชั้นดินในถนน ทำให้ Geotextiles นั้นรู้จักได้อย่างกว้างขวาง

2.2.2 ประเภทของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles)

แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) นั้นสามารถแบ่งออกตามลักษณะของการประสานเส้นใยและคุณสมบัติได้ออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทถักทอ (Woven Geotextiles) เป็นประเภทแรกที่เกิดขึ้น โดยได้มีการพัฒนาเทคนิคมาจากการทอผ้า แต่เมื่อเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทอผ้า那就是เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic polymers) ทำให้การทอของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextile) นั้นต้องเปลี่ยนไปเป็น ส่วนประกอบที่อยู่ในแผ่นเส้นใยสังเคราะห์นั้น มี 2 ส่วน คือ เส้นใยตามแนวยาวของแผ่นนั้นเรียกว่า Warp และเส้นใยตามแนวขวางของแผ่นนั้นเรียกว่า Weft เส้นใยที่ใช้ในการทอประสานนั้นจะมีความหนาประมาณ 1 ถึง 2 มิลลิเมตร ทำให้เกิดช่องว่างมาก ทำให้มีการซึมผ่านของน้ำสูง ซึ่งจะมีผลทำให้วัสดุอนุภาคขนาดเล็ก จำพวกดินเหนียว ทราย ผ่านไปได้ โดยทั่วไปนั้นในการทอประสานของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ ในแนว warp direction จะมีค่าสูงกว่า weft direction ดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 Woven Geotextiles [8]



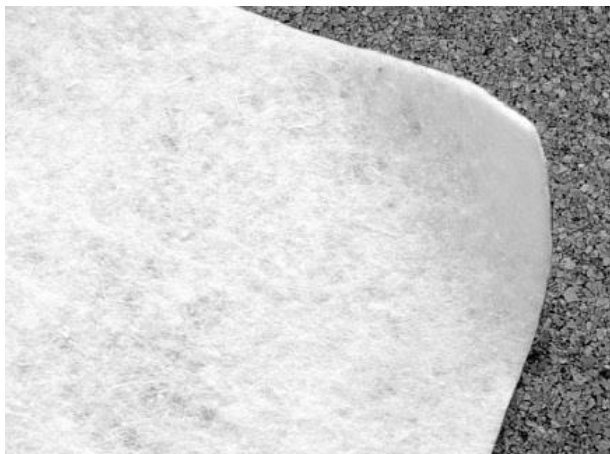
รูปที่ 2.8 แนวถัก warp และ weft [9]

2. แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทประสาน (Nonwoven Geotextiles) เป็นการประสานเส้นใยสังเคราะห์(Synthetic polymers) ด้วยพันธะต่างๆ ดังรูปที่ 2.9 ตามกรรมวิธีดังนี้

- Heat และ thermal Bonding วิธีนี้จะเป็นการใช้อุณหภูมิเพื่อให้เส้นใยละลายและประสานเข้าด้วยกันเป็นแผ่น การผลิตจะมีความหนา 0.5 – 1.00 มิลลิเมตร การรับแรงดึงของแผ่นจะใกล้เคียงกันทุกทิศทาง และสามารถเลือกค่าการซึมผ่านของน้ำในช่วงกว้างกว่า Woven Geotextiles

- Mechanical Bonding or Needle Punched วิธีนี้จะเป็นการใช้เข็มหมุดที่มีการออกแบบไว้สำหรับการตอก หรือ ถักร้อยเส้นใยให้มีการประสานกันเป็นแผ่น สามารถผลิตให้เป็นแผ่นที่มีความหนาอยู่ที่ระหว่าง 0.5 – 5 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถกำหนดคุณสมบัติได้แน่นอนกว่าวิธีอื่นๆ และสามารถรับแรงอัดและกำหนดช่วงของค่า Permeability ได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ รวมทั้งการรับแรงดึงจะรับได้สูงใกล้เคียงกันทุกทิศทาง

- Chemical Bonding วิธีนี้จะเป็นการประสานเส้นใยด้วยสารเคมี เช่น Acrylic Resin เป็นต้น แต่วิธีนี้จะไม่ค่อยนิยมใช้ในการผลิต Geotextiles เนื่องจากมีการควบคุมคุณสมบัติให้ตรงตามความต้องการได้ยากกว่าวิธีอื่น



รูปที่ 2.9 Nonwoven Geotextiles [10]

2.2.3. ลักษณะของเส้นใยและขั้นตอนในการผลิตแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles)

เส้นใยในการผลิตแผ่น Woven Geotextiles จะมีอยู่ 5 ลักษณะคือ

1. Monofilament คือ เส้นใยที่ประกอบด้วยเส้นใยเต็มเส้น
2. Multifilament คือ นำเส้นใยเส้นเล็กๆ หลายเส้นมาประสานกันเป็นเส้นเดียว
3. Staple yarn คือ เส้นใยที่ประกอบไปด้วยเส้นใยเล็กๆที่มาพันกัน
4. Silt – Film Monofilament คือ เส้นใยที่แบ่งออกมาจากเส้นใหญ่โดยการตัดเฉือนที่มีความต่อเนื่อง
5. Silt – Film Multifilament คือ เส้นใยที่มาจาก Silt – Film Monofilament นำมารวมกันเป็นเส้นใหญ่

2.2.4. ประโยชน์ของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles)

1. การแยกชั้นดิน (Separation) เป็นการแยกชั้นของดินให้อยู่ในชั้นนั้นโดยจะไม่มีการปะปนกัน ทำให้ไม่เปลืองวัสดุในการก่อสร้าง และยังช่วยในเรื่องของการทรุดตัวของชั้นดินให้มีความใกล้เคียงกันทั้งชั้น
2. การระบายน้ำ (Drainage) ช่วยในการระบายน้ำออกจากมวลดินและทำให้ลดน้ำในดินและลดแรงดันน้ำ
3. การกรอง (Filtration) เป็นตัวกรองวัสดุเมื่อเวลาที่น้ำไหลผ่านอาจพัดผ่านอนุภาคเล็กๆของดินออกจากมวลดิน ซึ่งมีประโยชน์ในเรื่องของการกัดเซาะของน้ำโดยเฉพาะพื้นที่ชายฝั่ง

4. การเสริมแรง (Reinforcement) เสริมแรงในดินเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของมวลดินและเพิ่มความเสถียรภาพของดิน
5. การป้องกัน (Protection) เพื่อป้องกันให้ใช้งานในระยะเวลาที่ยาวขึ้นและเพิ่มอายุของการใช้งานโครงสร้างของดิน

2.2.5. งานวิจัยในอดีตของแผ่นใยสังเคราะห์

2.2.5.1 พฤติกรรมของโครงสร้างวัสดุเสริมดินโดยใช้แผ่นใยและตาข่ายเสริมแรงเป็นวัสดุเสริม

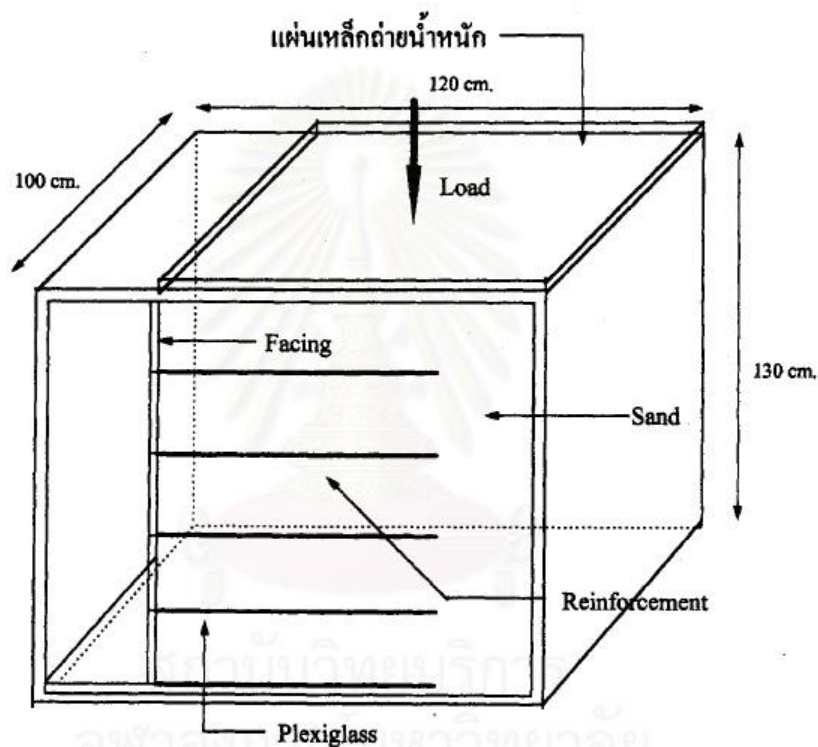
ธนบัตร เอื้อวรกุลชัย [11] ศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเสริมของโครงสร้างดินที่นำมาใช้เสริมรับแรงดันด้านข้างของโครงสร้างดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนที่ได้กระทำต่อโครงสร้างดิน โดยใช้วิธีการจำลองโครงสร้างดินและใช้แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) และตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) เป็นวัสดุเสริมแรงในโครงสร้างดินรับแรงด้านข้างโดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ข้อดังนี้

1. ศึกษาพฤติกรรมแบบจำลองของโครงสร้างดิน เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือนที่กระทำต่อดิน
2. ศึกษาความแตกต่างของพฤติกรรมโครงสร้างดินเมื่อใช้วัสดุเสริมที่แตกต่างกัน และมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่คาดว่าจะจะเป็นผลกระทบต่อความสามารถของการรับน้ำหนักในโครงสร้างดิน เช่น ชนิดของวัสดุเสริม จำนวนชั้นของวัสดุเสริม ความยาวของวัสดุเสริม

โดยการจำลองแบบโครงสร้างดินนั้นจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. เตรียมข้อมูลและตัวแปรที่มีผลต่อโครงสร้างดิน เช่น ชนิดของวัสดุเสริม จำนวนชั้นของวัสดุเสริมแรง ความยาวของวัสดุเสริม การยัดวัสดุเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังต้องจัดเตรียมอุปกรณ์และออกแบบแบบจำลองซึ่งจะประกอบไปด้วย แผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก แม่แรง โดยใช้แรงกระทำต่อโครงสร้าง มีโครงเหล็กและเครื่องวัดการเคลื่อนตัว (Dial Gauge) ทั้งในทิศทางในแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้วัสดุเสริมใช้ 2 ชนิดคือ 1. แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) 2. ตาข่าย (Geogrid)
2. ทดสอบขั้นตอนพื้นฐานต่าง ๆ ของทรายนั่นคือ การหาขนาดของเม็ดทรายที่ใช้ในงานวิจัย การหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทราย การหาค่ากำลังหาแรงเฉือนของทราย การหาความเสียดทานระหว่างทรายกับวัสดุเสริม

3. การทดสอบกับแบบจำลองของโครงสร้างดินดังรูปที่ 2.10 ที่มีวัสดุเสริมเพื่อศึกษาพฤติกรรมที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างดินซึ่งจะมีเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อความสามารถของวัสดุเสริมนั้นคือ ชนิดของวัสดุเสริม จำนวนชั้นของวัสดุเสริมแรง ความยาวของวัสดุเสริม การยึดวัสดุเข้าด้วยกัน และการคำนวณผลการทดลองต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 2.10 ลักษณะของแบบจำลอง [11]

จากการทดสอบกับแบบจำลองโครงสร้างที่มีการเสริมวัสดุแผ่นเส้นใยเคราะห์ พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนความยาวของวัสดุเสริมทำให้อัตราการเคลื่อนตัวทางข้างมีค่าลดลง แต่ค่า Vertical Spacing มีค่ามากขึ้น อัตราการเคลื่อนตัวทางข้างจะมีน้ำหนักบรรทุกทุกค่าหนึ่ง เมื่อใช้ตาข่าย (Geogrid) จะมีค่าการเคลื่อนตัวที่น้อยกว่า แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) โดยใช้ความยาวของวัสดุเสริมที่เท่ากัน และเมื่อมีค่าน้ำหนักบรรทุกทุกค่าหนึ่งโดยที่มีค่า Vertical spacing และความยาวของวัสดุเสริมเท่ากัน ค่าการทรุดตัวและค่าการเคลื่อนตัวทางด้านนั้นแผ่นตาข่าย (Geogrid) จะมีค่าน้อยกว่าแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) การยึดตัววัสดุเสริมให้ติดกับแผงดินนั้นจะมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินคือ เมื่อดินมีการเคลื่อนตัว แผงกันดินถูกยึดติดกับวัสดุเสริมซึ่งจะทำให้เกิดแรงดึงภายในวัสดุเสริมจะเป็นแรงต้านไม่ให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างดิน ชนิดของวัสดุเสริมซึ่งมีค่า Vertical Spacing และความยาวเดียวกันซึ่งจะไม่มีผลต่อการ Failure Surface ระยะห่างของแนวตั้ง

ของการเสริมวัสดุเสริม (Vertical Spacing) เป็นตัวแปรสำคัญตัวแปรหนึ่งเมื่อค่า Vertical Spacing มีค่าน้อยจะทำให้วัสดุเสริมสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น การเปลี่ยนความยาวของวัสดุเสริมจะทำให้การรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในโครงสร้างวัสดุเสริมดินนั้น คือ การเพิ่มความยาววัสดุเสริม และการลดระยะห่างของแนวตั้งของการเสริมวัสดุเสริม (Vertical Spacing) จะทำให้เพิ่มเสถียรภาพในการรับน้ำหนักบรรทุก

2.2.5.2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกลศาสตร์และเชิงกลของแผ่นเส้นใย

สังเคราะห์ประเภทประสานเส้นใย

ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกลศาสตร์ และเชิงกลของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles)[12] ซึ่งจะมีผลการทดสอบของทั้ง 3 คุณสมบัติโดยใช้วัสดุ 2 ประเภทคือ 1. โพลีเอสเตอร์ (Polyester) 2. พอลิโพรไพลีน (Polypropylene) แสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกลศาสตร์ และเชิงกลของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ [12]

Properties	Symbol	Unit	Geotextiles					
			Polyester (PES)			Polypropylene (PP)		
Physical								
Mass per unit area	μ_A	[g/m ²]	250	400	600	250	400	600
Thickness under load 2 kPa	t_{GTX}	[mm]	2.5	3.5	4.0	2.6	3.7	4.9
Apparent Opening Size	O_{90}	[mm]	0.11	0.81	0.89	0.11	0.10	0.81
Hydraulic								
Velocity flow index (normal to the plane geotextiles)	v	[m/s]	2.2×10^{-2}	1.8×10^{-2}	1.9×10^{-2}	2.3×10^{-2}	1.9×10^{-2}	1.1×10^{-2}
Transmissivity flow (gradient, i = 0.1 under load 2 kPa)								
– Machine direction (normal)	Θ_{md}	[m ² /s]	2.2×10^{-3}	3.3×10^{-6}	4.4×10^{-3}	8.2×10^{-3}	1.2×10^{-2}	8.4×10^{-3}
– Machine direction (cross)	Θ_{cmd}	[m ² /s]	1.2×10^{-3}	3.2×10^{-6}	9.1×10^{-3}	1.5×10^{-2}	1.8×10^{-2}	9.5×10^{-3}
Mechanical								
Tensile strength								
– Machine direction (cross)	T_{cmd}	[kN/m]	10	18	26	9	16	18
– Machine direction (normal)	T_{mc}	[kN/m]	15	28	42	13	22	13
Static puncture by means CBR method	F_p	[kN]	2	3.5	4.8	1.7	3.0	2.8
Dynamic puncture	F_d	[mm]	9	3	2.9	15	5	3

ตารางที่ 2.2 การทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ [12]

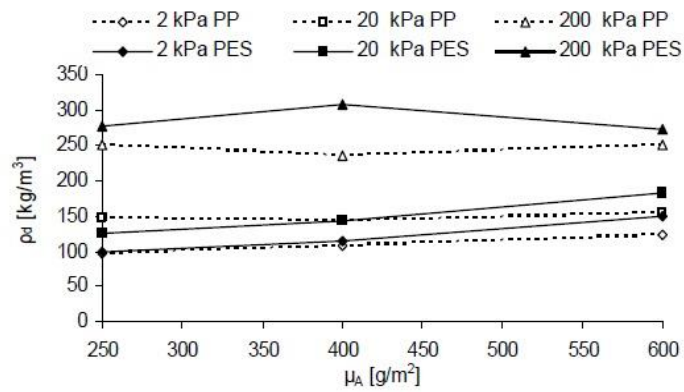
Properties	Norms
Physical Mass per unit area Thickness under load 2 [kPa] Apparent Opening Size	PN-EN ISO 9864 PN-EN ISO 9863 PN-EN ISO 12956
Hydraulic Velocity flow index (normal to the plane geotextiles) Transmissivity flow	PN-EN ISO 11058 PN-EN ISO 12958
Mechanical Tensile strength Static puncture by means CBR method, Dynamic puncture	PN-EN ISO 10319 PN-EN ISO 12236 PN-EN ISO 13433

การเปลี่ยนความหนาแน่นรวม (The Bulk Density) สำหรับการทดสอบจะใช้แรงกระทำ 3 แรงนั้นคือ 20 และ 200 kPa โดยการทดสอบความหนาแน่นรวมขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานแรงกระทำของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ที่ทำมาจากพอลิโพรไพลีน (Polypropylene) โดยการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ภายใต้แรงกระทำมวลต่อพื้นที่ดังรูปที่ 2.11 การทดสอบเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ภายใต้แรงกระทำระหว่างมวลต่อพื้นที่ของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ดังรูปที่ 2.12 และการเปลี่ยนแปลงความพรุนภายใต้แรงกระทำของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์กับมวลต่อพื้นที่ดังรูปที่ 2.13 โดยค่าความหนาแน่นรวมสามารถคำนวณได้ดังนี้

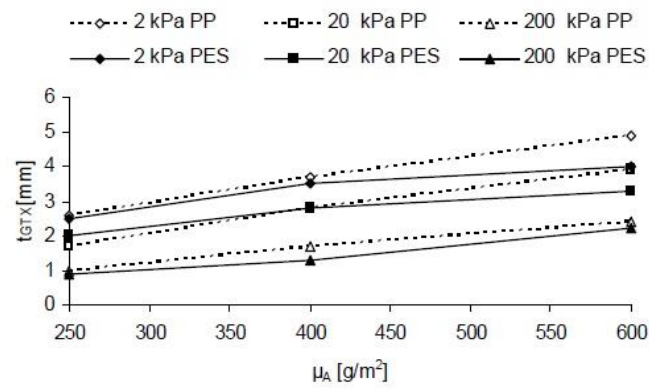
$$\rho_d = \frac{\mu_A}{t_{GTX}} \text{ kg/m}^3 \quad (2.1)$$

เมื่อ μ_A คือ มวลต่อพื้นที่ (g/m^2)

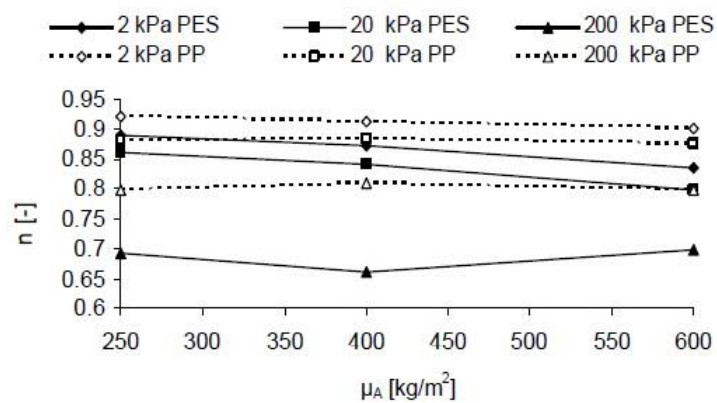
t_{GTX} คือ ค่าความหนาแน่นถูกแรงกระทำ (mm)



รูปที่ 2.11 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ภายใต้แรงกระทำมวลต่อพื้นที่ [12]

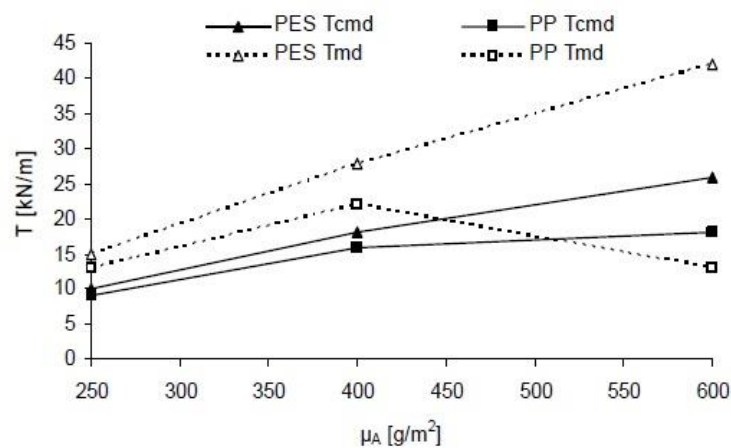


รูปที่ 2.12 การทดสอบเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ภายใต้แรงกระทำระหว่างมวลต่อพื้นที่ของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ [12]

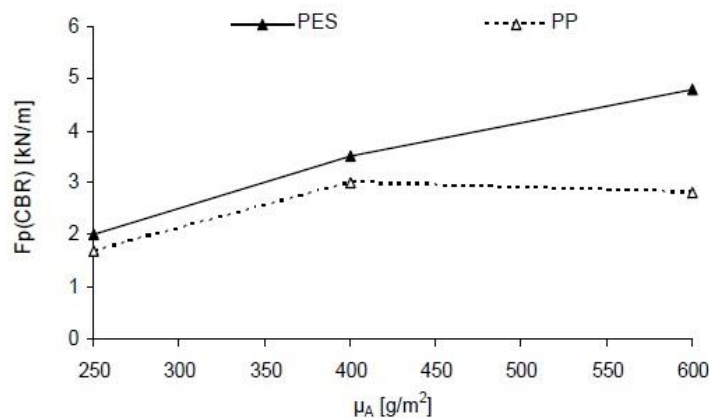


รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงความพรุนภายใต้แรงกระทำของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์กับมวลต่อพื้นที่ [12]

ผลจากการทดสอบความต้านทานแรงดึงโดยมีเปรียบเทียบ 2 ทิศทางคือตามยาวและตามขวาง (T_{md} machine direction and T_{cmd} cross machine direction) และชนิดของวัสดุ 2 ประเภทคือ 1. โพลีเอสเตอร์ (Polyester) 2. โพลีโพรไพลีน (Polypropylene) โดยมีการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์กับมวลต่อพื้นที่ดังรูปที่ 2.14 และการทดสอบแรงเจาะทะลุกับมวลต่อพื้นที่ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์กับมวลต่อพื้นที่ [12]



รูปที่ 2.15 การทดสอบแรงเจาะทะลุกับมวลต่อพื้นที่ [12]

จากการทดสอบพบว่าเมื่อค่ามวลต่อพื้นที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นรวมและค่าแรงเจาะทะลุเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่ามวลต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความพรุน ช่องว่างในแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ ความเร็วในการไหลของของเหลว ลดลง

2.3 ปูนซีเมนต์ [13]

ซีเมนต์ (cement) หมายถึง วัสดุประสานที่มีการยึดวัสดุเล็กๆไปด้วยกันที่เรียกว่า ซีเมนต์ แต่ความหมายของซีเมนต์ในด้านของงานด้านวิศวกรรมโยธาและด้านโครงสร้างหมายถึง วัสดุที่เป็นผงที่มีความละเอียดมีสีเทาหรือเทาเข้มเมื่อผสมน้ำจะสามารถเป็นวัสดุประสานยึดวัสดุต่างๆ เช่น อิฐ หินทราย เข้าด้วยกัน ซึ่งปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์จะมีส่วนประกอบด้วยส่วนหลักดังนี้

1. Calcareous Material ได้แก่ หินปูน (Limes stone) และดินสอพอง (Chalk)
2. Argillaceous Material ได้แก่ ซิลิกา อลูมินา ซึ่งอยู่ในรูปของดินดำหรือดินเหนียว (Clay) และหินดินดาน (Shale)
3. Iron Oxide Material ได้แก่ แร่เหล็ก (Iron Ore) หรือ ศิลาแลง (Laterite)

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์จะประกอบไปด้วยตัวออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ได้แก่

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 รวมกันโดยมีน้ำหนักประมาณ 90% ของน้ำหนักซีเมนต์
- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 และยิบซั่ม

ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์จะแสดงค่าในตาราง 2.3 และสารประกอบที่สำคัญของซีเมนต์ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ค่าออกไซด์ต่างๆทางเคมี [13]

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0.5-0.6
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1-5.5
Na ₂ O + K ₂ O	0.5-1.3
TiO ₂	0.1-0.4
P ₂ O ₅	0.1-0.2

ตารางที่ 2.4 สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ [13]

ชื่อสารประกอบ	องค์ประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต (thicalcium Silicate)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียม ซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียม อะลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราแคลเซียม อะลูมิโน เฟอร์ไรท์ (Trtracalcium Aluminoferrite)	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

2.3.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

1. ความละเอียด (Fineness) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาปูนซีเมนต์กับน้ำ ถ้าปูนซีเมนต์มีความละเอียดมากจะทำให้เกิดกำลังได้เร็วเพียง 7 วันก็สามารถรับกำลังได้เต็มที่
2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เป็นคุณสมบัติ ซึ่งมีประโยชน์ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed Design)
3. ความอยู่ตัว (Soundness) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพในการหาความสามารถในการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์
4. เวลาการก่อตัว (Setting Time) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของปูนซีเมนต์เนื่องจากเวลามีความจำเป็นในเรื่องของสภาพแวดล้อมที่นานพอที่จะทำการเทแต่งผิว
2. กำลัง (Strength) เป็นคุณสมบัติในการรับกำลังอัด (Compressive Strength) ซึ่งมีการทดสอบกำลังอัดด้วยลูกบาศก์ของมอร์ตาร์ ส่วนการทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) จะหล่อมอร์ตาร์เป็นรูป 2 หัว เพื่อจับยึด
3. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยากับน้ำ (Heat of Hydration) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เมื่อเกิดความร้อนจากปฏิกิริยานั้นมาก

อาจทำให้ปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วเกิดความเสียหายได้ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมความร้อน

4. การทดสอบความชื้นเหลว (Consistency Test) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ ซึ่งความชื้นเหลวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับส่วนผสมกับน้ำ ให้นำไปในการเท หรือ ตักแต่งผิว ถ้าหากมีความชื้นเหลวน้อยอาจทำให้ปูนซีเมนต์ไม่สามารถเทได้ แต่ถ้ามีความชื้นเหลวมากทำให้ปูนซีเมนต์สามารถรับกำลังได้น้อยลง

2.3.2 ประเภทของปูนซีเมนต์

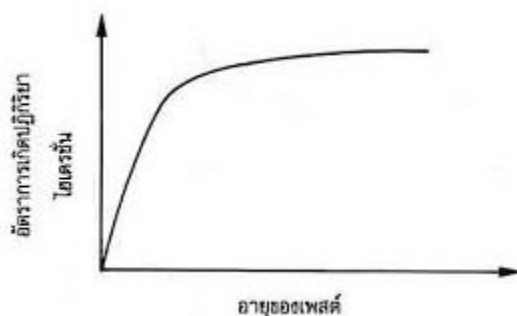
มาตรฐานของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท

1. ประเภทที่ 1 (Normal Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา ซึ่งปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 นี้เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างคอนกรีตทั่วไป ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติเพิ่มเติม อาทิเช่น คาน เสา พื้น เป็นต้น แต่ไม่เหมาะสมกับงานที่เนื้อปูนซีเมนต์ไปสัมผัสกับเกลือซัลเฟต
2. ประเภทที่ 2 (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ซึ่งมีการดัดแปลงให้เนื้อปูนซีเมนต์สามารถสัมผัสกับเกลือซัลเฟตได้ปานกลางแต่จะเกิดความร้อนระดับปานกลางในช่วงหล่อ เหมาะสำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น เขื่อน
3. ประเภทที่ 3 (High – Early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังตัวเองได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ซึ่งหลังจากเทแล้วสามารถใช้งานได้ภายใน 3 – 7 วัน ซึ่งปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่เร่งด่วน เช่น คอนกรีตรับแรงอัดเสาเข็ม เป็นต้น แต่ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดนี้ไม่เหมาะสมกับโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เพราะความร้อนที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำให้เกิดความร้อนสูงมากอาจก่อให้เกิดรอยร้าวในโครงสร้างได้
4. ประเภทที่ 4 (Low – Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ซึ่งปูนประเภทนี้เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำให้เกิดความร้อนที่ต่ำและความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งจะส่งผลที่ทำให้ปูนซีเมนต์นั้นขยายตัวน้อยลง ลดการแตกร้าว เหมาะสำหรับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่
5. ประเภทที่ 5 (Mixed Cement) เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ซึ่งปูนประเภทนี้จะมี ความต้านทานต่อเกลือซัลเฟตได้สูง ความร้อนในปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมีมากกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานก่อสร้างในบริเวณที่สัมผัสความเค็ม

2.3.3 ปฏิกริยาไฮเดรชันของซีเมนต์

อัตราการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันนั้นมีปัจจัยหลายอย่างและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชัน ดังนั้นปัจจัยที่มีต่อผลปฏิกริยาไฮเดรชันนั้นจะมีผลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวเหมือนกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกริยาไฮเดรชัน ได้แก่

1. อายุของเพสต์ อัตราการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันจะอยู่ในช่วงแรกๆ จนกระทั่งปฏิกริยาไฮเดรชันจะค่อยๆ ลดลงจนสิ้นสุดปฏิกริยา ดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 อัตราการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชัน [13]

2. องค์ประกอบของซีเมนต์ ความแตกต่างของสารประกอบที่เกิดจากปฏิกริยาไฮเดรชัน
3. ความละเอียดของซีเมนต์ ถ้าซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูงมากจะทำให้พื้นที่ผิวของเม็ดซีเมนต์สามารถสัมผัสน้ำได้มากซึ่งจะทำให้ผลปฏิกริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดเร็ว โดยเฉพาะการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันในช่วงแรก
4. อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์นั้นจะไม่มีผลกระทบต่อปฏิกริยาในช่วงแรก แต่ปฏิกริยาในช่วงหลังที่มีการลดลงถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ลดลง จะทำให้อัตราปฏิกริยาไฮเดรชันโดยเฉลี่ยและตึกริเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันจะลดลง
5. อุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันยังมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นอุณหภูมิก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยมีข้อแม้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นจะต้องไม่ก่อให้เกิดการแห้งตัวของซีเมนต์

2.3.4. การก่อตัวและการแข็งตัว

เมื่อซีเมนต์ผสมเข้ากับน้ำจะเรียกว่า “ซีเมนต์เพสต์” (Cement Paste) ซึ่งจะมีลักษณะ สีเทา ตามสีของปูนซีเมนต์ นุ่ม และ เหลว ถ้าปล่อยให้ซีเมนต์เพสต์ไว้ในระยะเวลาหนึ่งนั้นซีเมนต์เพสต์จะสูญเสียความไม่คืนตัวและยังมีสถานะที่ไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ การเปลี่ยนสภาวะเช่นนี้เรียกว่า “การก่อตัว” ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวในระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์นั้นเรียกว่า “ระยะเวลา

ก่อดัวของปูนซีเมนต์” ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ระยะเวลา คือ การก่อดัวระยะเริ่มต้น (Initial Setting Time) และ การก่อดัวระยะปลาย (Final Setting Time)

การก่อดัวระยะเริ่มต้น คือ ระยะจากการผสมซีเมนต์กับน้ำจนกระทั่งซีเมนต์มีการเริ่มก่อดัวสามารถรับน้ำหนักของเข็มมาตรฐานไวแคตได้โดยที่เข็มนั้นยังไม่จมลงไปเกิน 2.5 เซนติเมตรในเวลา 30 นาที

การก่อดัวระยะปลาย คือ ระยะเวลาที่ซีเมนต์ผสมกับน้ำจนซีเมนต์เพสต์เริ่มก่อดัวที่จะสามารถรับกำลังได้

จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 – 5 จะต้องมีเวลาการก่อดัวระยะต้นไม่น้อยกว่า 45 นาที และไม่เกิน 8 ชั่วโมง สำหรับการก่อดัวในระยะปลายนั้นสามารถวัดได้จากเข็มไวแคต ระยะเวลาการก่อดัวของซีเมนต์เพสต์มีหลายปัจจัย เช่น ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ความละเอียด ความชื้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสม เป็นต้น โดยทั่วไปนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้การก่อดัวเร็วขึ้น เพราะฉะนั้นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิ และปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมนั้นก็จะมีปัจจัยในระยะเวลาการก่อดัวและการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์

2.3.5. คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์

1. กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ (Compressive Strength)

การรับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของซีเมนต์เป็นอย่างดี ค่ากำลังอัดนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของปริมาณน้ำ อายุการบ่ม วิธีการบ่ม ตลอดจนรูปร่างและขนาดของแท่งทดสอบ กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์โดยทั่วไป ถ้าใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่เหมาะสมจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์นั้นมีค่าสูงอยู่แล้ว ยกเว้นถ้าต้องการเพิ่มกำลังรับแรงอัดโดยใส่สารผสมเพิ่มลงไปในซีเมนต์เพสต์

2. กำลังดึงของซีเมนต์เพสต์ (Tensile Strength)

โดยทั่วไปซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วจะมีคุณสมบัติเปราะ ความต้านทานในการรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าน้อยมาก การเพิ่มกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์โดยการเสริมเส้นใย (Fiber) ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมด้วยเส้นใยเมื่อถูกแรงกระทำจะทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นจากนั้นจะมีการถ่ายแรงกระทำไปยังที่เส้นใยผ่านผิวที่สัมผัสกับซีเมนต์เพสต์ เมื่อเส้นใยรับแรงจะทำให้การแตกร้าวนั้นหยุดหรือไม่ขยายตัว แต่กำลังรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับ ชนิด ความยาว ขนาด และการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่เหมาะสม

3. กำลังดัดของซีเมนต์เพสต์ (Flexural Strength)

กำลังรับแรงดัดของซีเมนต์เพสต์จะมีค่าต่ำ เมื่อได้รับแรงดัดเนื่องจากเกิดแรงดึงบริเวณใต้ซันตัวอย่างทดสอบแรงดัดโดยการทดสอบแรงดัดเป็นประเภท 3 จุด (3Points Bending Test) เนื่องจาก

ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วมีคุณสมบัติที่เปราะทำให้การรับแรงดัดบริเวณด้านล่างของชิ้นตัวอย่างทดสอบเป็นแรงดึงซึ่งทำให้ซีเมนต์เพสต์รับแรงได้น้อยทำให้เกิดการแตกร้าว การเพิ่มกำลังรับแรงดัดให้กับซีเมนต์เพสต์ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดของซีเมนต์เพิ่มขึ้น แต่ก็ขึ้นอยู่กับ ชนิด ขนาด ความยาว การจัดเรียงตัว แรงยึดเหนี่ยวของผิวสัมผัสของเส้นใย

2.3.6. งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปูนซีเมนต์

2.3.6.1. ประสิทธิภาพของคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์คอมโพสิตเสริมแผ่นผ้า [14]

ตัวอย่างการทดสอบ จะประกอบไปด้วยแผ่นผ้าผสมกับปูนซีเมนต์ โดยใช้วัสดุผ้าที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.5 และความแตกต่างของแผ่นที่ใช้ในการออกแบบดังตารางที่ 2.

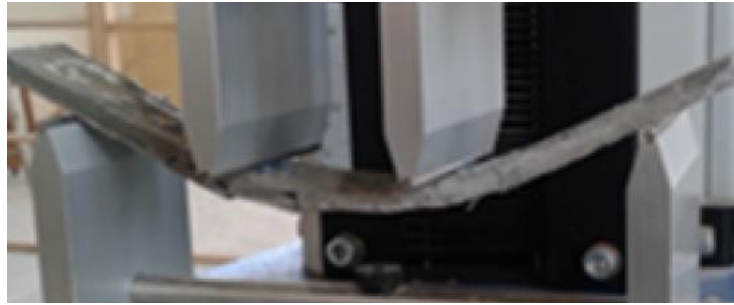
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของตัวอย่างการทดสอบ [14]

Fabric code	Design	Fabric weight g/m ²	Weft count tex	Warp count tex	Fabric thickness (mm)	Ends /cm	Picks/cm	Fabric tensile strength (N)	Elongation to fracture (%)
1/1		64	300	300	0.38	1	1	68	14.64
2/2		110	2	2	0.38	2	2	129	17
3/3		180	2	2	0.38	3	3	170.6	18.37

ตารางที่ 2.6 ความแตกต่างของผ้าในแต่ละตัวอย่าง [14]

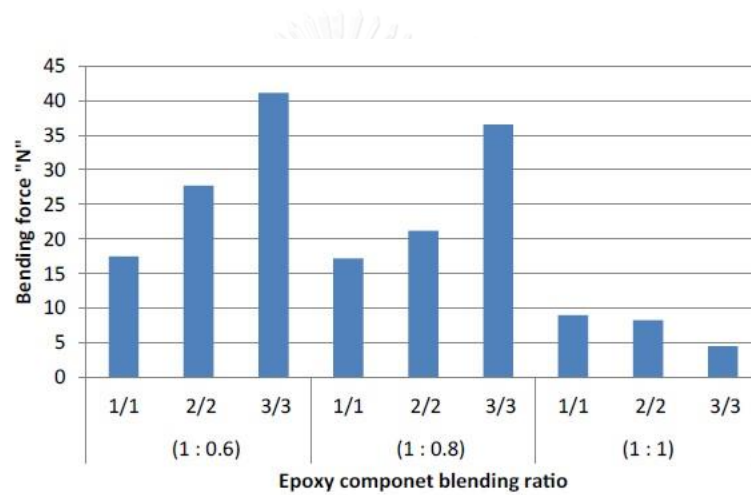
Sample number	Fabric code	Epoxy component blending ratio	Fabric weight gm/m ²	Percentage of fabric in the sample(α_1) %	Percentage of polymer in the sample(α_2)%	Percentage of cement in the sample(α_3)%
1	1/1	1:0.6	623.22	0.640	5.094	94.266
2	2/2	1:0.6	726.88	1.100	5.587	93.313
3	3/3	1:0.6	838.67	1.800	5.916	92.284
4	1/1	1:0.8	762.876	0.640	6.378	92.982
5	2/2	1:0.8	850.87	1.100	6.728	92.172
6	3/3	1:0.8	953.14	1.800	6.969	91.231
7	1/1	1:1	506.667	0.640	4.021	95.339
8	2/2	1:1	657.53	1.100	4.949	93.951
9	3/3	1:1	776	1.800	5.339	92.861

โดยมีการทดสอบ ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) มีขนาดของตัวอย่างคือ ความยาว 200 mm ความกว้าง 35 mm และความหนา 5mm โดยจะใช้มาตรฐาน ASTM D3039 และความต้านทานแรงดัด (Flexure Strength) มีขนาดตัวอย่างเท่ากับการทดสอบความต้านทานการรับแรงดึง โดยจะใช้มาตรฐานการทดสอบคือ ASTM C348-80จากการทดสอบความต้านทานแรงดัดมีการรับแรงดัด 4 จุด (Four points bending) ดังรูปที่ 2.17การเตรียมตัวอย่างจะใช้วิธี Hand lay up และบ่มตัวอย่างการทดสอบในอุณหภูมิห้องตามมาตรฐานเป็นเวลา 1 สัปดาห์

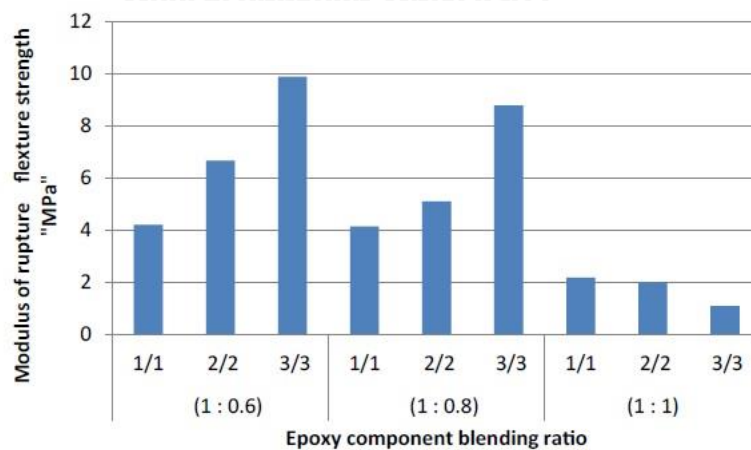


รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการทดสอบความต้านทานการรับแรงดัด [14]

จากการทดสอบสามารถหาค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุด (Bending force) ดังรูปที่ 2.18 และ มอดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture) ดังรูปที่ 2.19

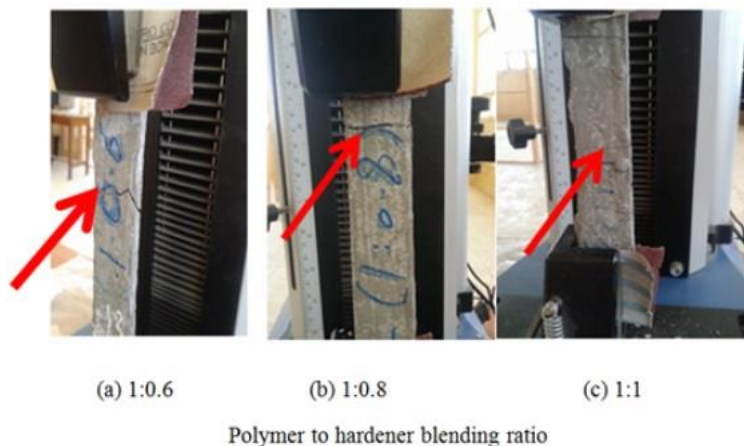


รูปที่ 2.18 ค่าการรับแรงดัดสูงสุด [14]

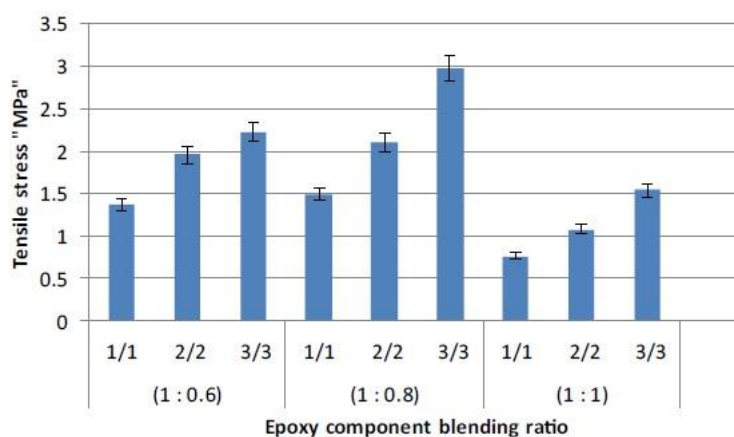


รูปที่ 2.19 ค่ามอดูลัสแตกหัก [14]

จากการทดสอบความต้านทานรับแรงดึง ดังรูปที่ 2.20 สามารถหาความเค้นการรับแรงดึง (Tensile Stress) ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการทดสอบความต้านทานแรงดึง [14]



รูปที่ 2.21 ความเค้นการรับแรงดึง [14]

จากการทดสอบทั้ง 2 การทดสอบนั้น พบว่าการเสริมแผ่นผ้าที่ผสมกับปูนซีเมนต์ทำให้คุณสมบัติของการรับแรงดึงและการรับแรงดัดดีขึ้น โดยการออกแบบแผ่นผ้าจะแนะนำให้ใช้อัตราส่วน Epoxy component blending ratio เท่ากับ 1 : 0.8 ถ้าต้องการเพิ่มระยะโค้งของการรับแรงดัดให้สูงขึ้น จะมีอัตราส่วน Pultured jute fabric ratio เป็นตัวกำหนด

2.3.6.2. คุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยสังเคราะห์ [15]

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์เสริมเส้นใยสังเคราะห์ โดยจะมีเส้นใย 3 ชนิด คือ 1. Glass 2. Nylon และ 3. Polypropylene เส้นใยทั้งหมดจะถูกตัดให้มีขนาดความยาวที่ 0.5 1 และ 1.5 นิ้ว และมีสัดส่วน 0.25 – 2 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และน้ำหนักเส้นใย คุณสมบัติของเส้นใยไฟเบอร์ทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด [15]

Name of fiber	Tensile strength (psi)	Young's modulus ($\times 10^3$ psi)	Ultimate elongation (%)	Specific gravity
Polypropylene	80-110	0.5	25	0.9
Nylon	110-120	0.6	16.20	1.1
A. glass	150-550	10.0	1.5-3.5	2.5

งานวิจัยจะทดสอบ 3 การทดสอบ คือ การรับแรงอัด (compressive strength) ใช้มาตรฐาน ASTM C 109 การรับแรงดึง (Tensile strength) ใช้มาตรฐาน ASTM C190 และ การรับแรงดัด (Flexural strength) ใช้มาตรฐาน ASTM C20

การเตรียมตัวอย่าง จะใช้สัดส่วน ปูนซีเมนต์ต่อทรายที่ 1:1.5 เสมอ หลังจากผสมปูนซีเมนต์กับทรายเสร็จ จะใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.5 โดยในการทดสอบการรับแรงอัดจะใช้แบบหล่อที่มีขนาด 2 นิ้ว ส่วนตัวอย่างการรับแรงดึงและแรงดัดจะใช้ขนาด 12 x 12 x 0.5 นิ้ว โดยจะบ่มเป็นเวลา 28 วัน

จากการทดสอบทั้ง 3 ชนิดจะสามารถหาค่ากำลังการรับแรงอัด ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานแรงดัด ได้ดังตารางที่ 2.8 – 2.10

ตารางที่ 2.8 ค่าการรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ [15]

Fiber length inch	Fiber content %	Compressive strength (psi)							
		polypropylene	Nylon	A glass					
-	0	4480			1	0.5	5600	6384	2688
					1	1	7056	6272	3163
					2	2	7280	7056	3248
	0.5	3920	5600	1792	1.5	0.5	4144	6272	4032
0.5	1	4592	5712	2240		1	6384	7056	4144
	2	6720	7056	2352		2	7846	7840	4928

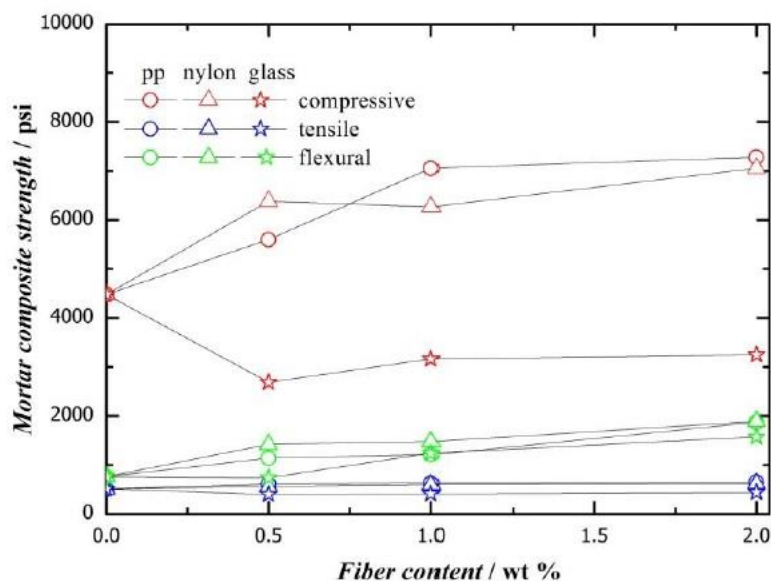
ตารางที่ 2.9 ค่าความต้านทานแรงดึงของมอร์ตาร์ [15]

Fiber length inch	Fiber content %	Tensile strength (psi)		
		polypropylene	nylon	A glass
-	0	510		
0.5	0.5	500	580	400
	1	560	590	420
	2	620	620	430
1	0.5	610	560	400
	1	630	600	410
	2	650	620	440
1.5	0.5	495	570	480
	1	600	600	490
	2	620	620	500

ตารางที่ 2.10 ค่าความต้านทานแรงดัดของมอร์ตาร์ [15]

Fiber length inch	Fiber content %	Flexural strength		
		polypropylene	nylon	A glass
-	0	760		
0.5	0.5	999	1190	853
	1	1490	1610	1610
	2	1580	1672	1425
1	0.5	1140	1420	736
	1	1210	1480	1240
	2	1870	1890	1572
1.5	0.5	1150	1370	864
	1	1440	1790	1580
	2	1890	1904	1611

จากการทดสอบทั้ง 3 สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การเปรียบเทียบทั้ง 3 การทดสอบ [15]

จากการเปรียบเทียบในคุณสมบัติเชิงกลของความแตกต่างเส้นใยที่อยู่ในมอร์ตาร์ จะเห็นได้ว่า สัดส่วนของปริมาณในการใส่เส้นใยและความยาวเส้นใยมีความสำคัญ เพราะมีส่วนในเรื่องของคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและคุณสมบัติความยืดหยุ่นของแต่ละชนิด

2.4. การบ่ม (Curing) [13]

การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งปฏิกิริยานี้ต้องการน้ำเพียงพอในการทำการปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นจะมีการสูญเสียน้ำในระหว่างการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ซีเมนต์เพสต์อาจสูญเสียน้ำจากการระเหยหรือการดูดซับน้ำของแผ่น Geotextiles ซึ่งหากมีการสูญเสียน้ำจนทำให้ความชื้นของซีเมนต์เพสต์นั้นลดลงต่ำกว่าร้อยละ 80 จะทำให้เกิดการแห้งตัว (Self - Desiccation) ดังนั้นจึงต้องมีการบ่มเพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันและการพัฒนากำลังของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างเต็มที่ หน้าที่สำคัญของการบ่ม คือ ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากซีเมนต์เพสต์และรักษาระดับของอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมและเพื่อให้ได้ซีเมนต์เพสต์ที่มีกำลังและคงทนและป้องกันการแตกร้าว

2.4.1. กรรมวิธีการบ่มซีเมนต์

หลักการทั่วไปของการบ่มเพื่อป้องกันไม่ให้ซีเมนต์เพสต์สูญเสียความชื้นมากเกินไป ไม่ว่าจะด้วยความร้อนหรือลม เพื่อไม่ให้ซีเมนต์เพสต์ร้อนหรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีจะมีผลต่อซีเมนต์เพสต์ และไม่ถูกชะล้างโดยน้ำฝน สำหรับการบ่มเปียก ในกรณีทั่วไปซีเมนต์เพสต์ต้องได้รับการป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นจากแสงแดดและลมจนกระทั่งซีเมนต์เพสต์มีการแข็งตัว

หลังจากเริ่มมีการแข็งตัว ผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์นั้นอาจมีส่วนสัมผัสกับอากาศยังต้องการความชื้นอยู่ สามารถทำได้โดยการทาวาสตุจุ่มน้ำ กระจกอบเปียกน้ำ ผ้าเปียกน้ำ หรือ ฉีดน้ำให้ชุ่ม เป็นต้น

จาก ACI 308 ได้จำกัดความเรื่องการบ่ม เพื่ออธิบายกระบวนการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ ได้มีการพัฒนาคุณสมบัติในด้านความแข็งที่อายุต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างต่อเนื่องของซีเมนต์ที่มีน้ำและความร้อนที่เพียงพอที่อายุต่าง ๆ อัตราในการพัฒนากำลังจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยได้แนะนำระยะเวลาการบ่มสำหรับปูนซีเมนต์แต่ละประเภทดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ระยะเวลาในการบ่มตามมาตรฐาน [16]

ประเภทของปูนซีเมนต์	ระยะเวลาที่ใช้บ่ม (วัน)
ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	7
ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 2	10
ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1	3
ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 4 หรือ 5	14
ซีเมนต์ผสมหรือใช้วัสดุประสานในคอนกรีต	ดูรายละเอียดในหัวข้อ 2.9ACI 308

2.5 แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์(Geosynthetics clay liner) [17]

2.5.1. ความหมายของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์(Geosynthetics clay liner)

แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์(Geosynthetics clay liner) หรือเรียกว่าแผ่น GCL เป็นวัสดุที่ประกอบไปด้วย แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทการถักทอ (Nonwoven Geotextiles)แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทประสานเส้นใย (Woven Geotextiles) และ เบนโทไนท์ (Bentonite) อยู่กึ่งกลางระหว่างแผ่นNonwoven Geotextiles และแผ่นWoven Geotextiles และโรงงานก็ได้มีการเย็บทั้งแผ่น Nonwoven และ แผ่น Woven เข้าด้วยกันโดยใช้ด้ายซึ่งนิยมทำเป็นฐานรองบ่อน้ำ รองบ่อเก็บขยะ เป็นต้น

2.5.2. ประเภทของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์

แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์จะมี 2 ประเภทหลักคือ

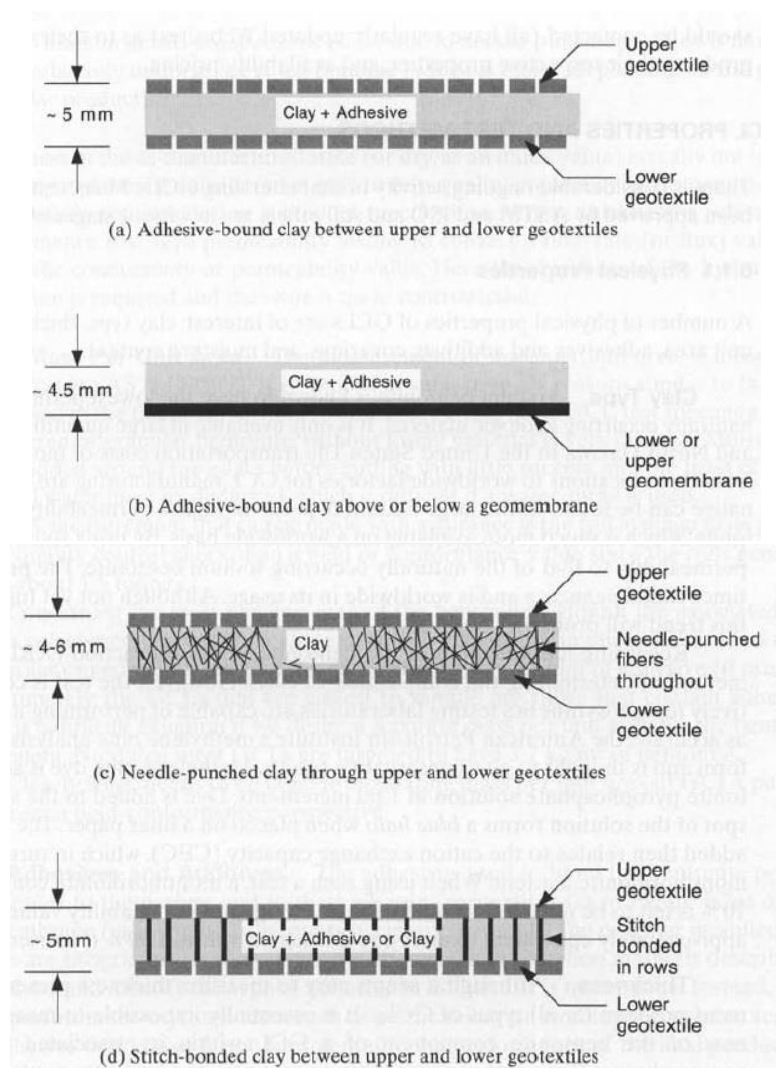
1. ประเภทไม่เสริมกำลัง (Non-reinforce GCL)

เป็นแผ่นที่ประกอบด้วยแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทต่าง ๆ โดยจะมีเบนโทไนท์และสารเชื่อมติด (Adhesive) ติดกับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์อีกแผ่นดังรูปที่ 2.23(a) และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์

ที่มีเบนโทไนต์อยู่และมีแผ่นจีโอเมมเบรนอยู่ข้างหลังจะทำให้การซึมผ่านของน้ำมากกว่าเบนโทไนต์ดังรูปที่ 2.23(b)

2. ประเภทเสริมกำลัง (Reinforce GCL)

เป็นวิธีการใช้เข็มเย็บผ่านทะลุจากแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ด้านบนทะลุผ่านเบนโทไนต์และเย็บติดกับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ด้านล่างโดยใช้ไฟเบอร์ (Fiber) ดังรูป 2.23(c) และอีกหนึ่งวิธีคือการเย็บติด (Stitch Bond) ระหว่างแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้งด้านบนและด้านล่างดังรูป 2.23(d)



รูปที่ 2.23 หน้าตัดขวางของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์แต่ละประเภท [17]

2.5.3. คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

1. ความหนา (Thickness)

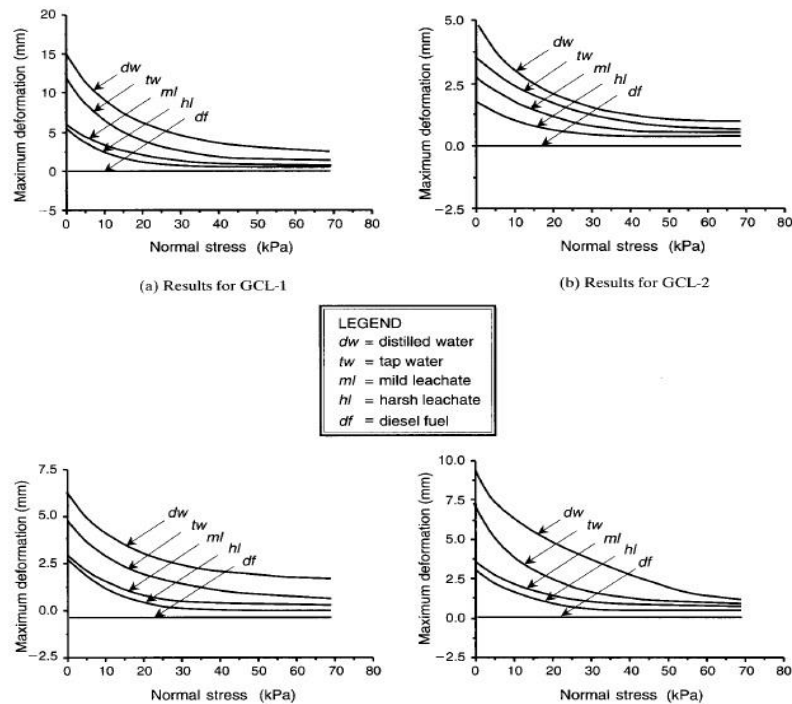
หลักการวัดความหนาของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ซึ่งเป็นวัสดุผสม (ซึ่งทำให้ผลของการวัดความหนาของแผ่นดินสังเคราะห์เป็นผลมาจากวัสดุที่มาารวมกัน) สิ่งที่มีอิทธิพลต่อความหนาของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ได้แก่ (1) ความหนาของชั้นเบนโทไนด์ (2) การเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ภายใต้แรงกด (3) การเปลี่ยนแปลงตัวอย่างระหว่างการเย็บขึ้นรูปของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์

2. มวลต่อพื้นที่ (Mass Per Unit Area)

การวัดมวลต่อพื้นที่ของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์จะใช้ตามมาตรฐาน ASTM D 5993 การวัดมวลต่อพื้นที่ได้มีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องทดสอบชิ้นตัวอย่างหลายชิ้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย แต่ผลของค่ามวลต่อพื้นที่อาจจะขึ้นอยู่กับการผลิตและการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.5.4. คุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ (Hydraulic Property)

เบนโทไนด์ที่ประกอบอยู่ในแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์มีการซึมผ่านของน้ำที่ต่ำแต่การซึมผ่านของของเหลวในแต่ละที่จะมีลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบในสภาวะการใช้งานของแผ่น GCL จึงมีการทดสอบการซึมผ่านของของเหลวที่แตกต่างกัน จึงมีการทดสอบซึมผ่านที่แตกต่างกันโดยมีหน่วยแรงตั้งฉากซึ่งมีอยู่ 5 ชนิด คือ 1. น้ำกลั่น (Distilled water) 2. น้ำประปา (Tap water) 3. น้ำชะขยะระดับอ่อน (Mild Landfill Leachate) 4. น้ำชะขยะระดับรุนแรง (Harsh Landfill Leachate) 5. น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel) ดังรูปที่ 2.24

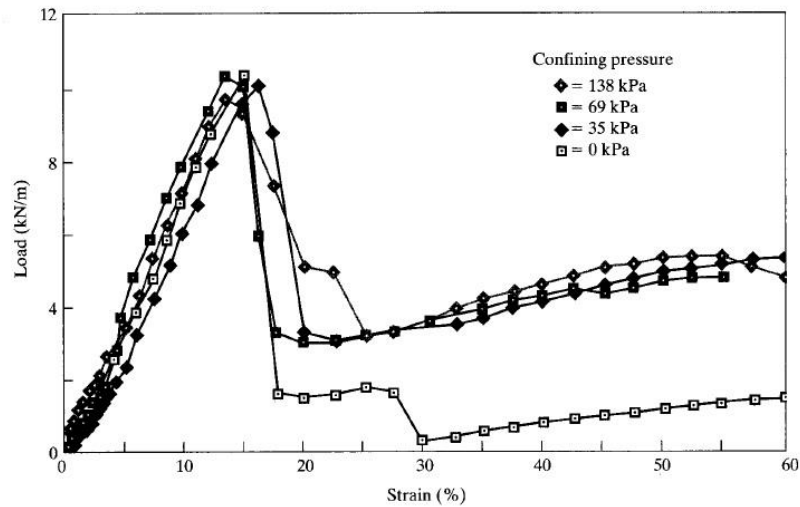


รูปที่ 2.24 ค่าชลศาสตร์ของแผ่น GCL ที่ของเหลวตกต่างกัน [17]

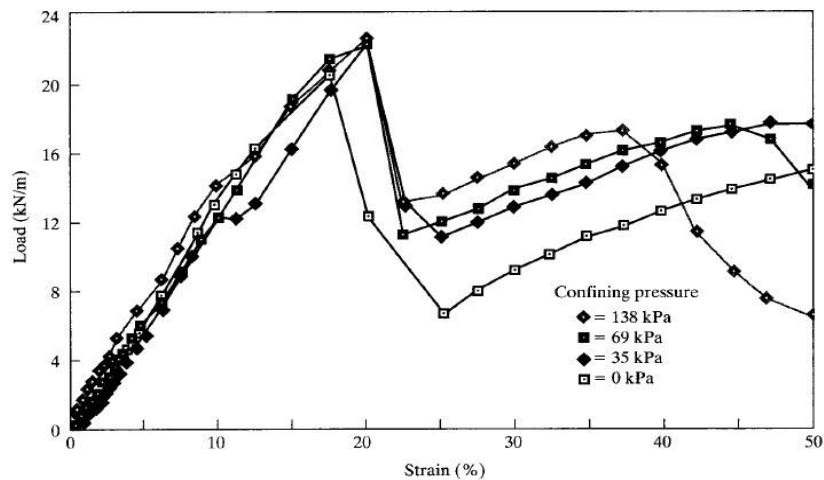
2.5.5. คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

1. กำลังต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 6768 แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์สามารถคำนวณพฤติกรรมแรงดึงโดยมีการทดสอบแรงดึงซึ่งไม่มีน้ำผสมมี 2 ตัวอย่างคือ 1. GCL A ประกอบด้วยเบนโทไนต์อยู่กึ่งกลางมีการเย็บทะลุ (Needle – Punched) โดยมีแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทถักทอ (Woven Geotextiles) กับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์แบบคอมโพสิต 2. GCL B ประกอบไปด้วย แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ประเภทประสาน (Non – Woven geotextiles) กับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven geotextiles) โดยตัวอย่างการทดสอบทั้งสองทำมาจากโพลิโพรไพลีน (Polypropylene) ดังรูปที่ 2.25



(a) Load-extension behavior of GCL-A



(b) Load-extension behavior of GCL-B

รูปที่ 2.25 พฤติกรรมแรงดึงของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์โดยใช้มาตรฐาน ASTM D6768 [17]

2. กำลังแรงเฉือนภายใน (Internal Shear Strength)

โดยทั่วไปแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Geosynthetic clay liner) จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เสริมแรง (Reinforced) และ ไม่เสริมแรง (Unreinforced) ซึ่งประเภทของเสริมแรง (Reinforced) นั้นจะมีเส้นใยเย็บเข้าด้วยกันโดยใช้กระบวนการเย็บจากการผลิต ซึ่งจะเชื่อมระหว่างแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) ด้านบน กับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ด้านล่างเข้าด้วยกัน ทำให้กำลังรับแรงเฉือนมีอิทธิพลอย่างมากกับแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ ในสภาพแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ อัดตัวด้วยน้ำกำลังรับแรงเฉือนภายในแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์มีผลกระทบจากระดับการอัดตัวของ เบนโทไนต์ แรงที่กระทำบนแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ ชนิดและจำนวนของเส้นใยที่อยู่ในแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์

3. กำลังแรงเฉือนของรอยต่อ (Interface Shear Strength)

นอกจากกำลังแรงเฉือนภายใน (Internal Shear Strength) คนออกแบบจะต้องพิจารณาเรื่องของรอยต่อระหว่างแผ่นซึ่งในการออกแบบนั้นจะต้องมีการระบุแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Geosynthetic clay liner) ในแต่ละประเภทว่าเหมาะสมกับสถานที่หรือสิ่งแวดล้อมแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญต่อการใช้วัสดุในการออกแบบกำลังแรงดึง และ กำลังแรงเฉือน และความหนาของแผ่นที่เหมาะสมแต่ละในสถานที่

2.5.6. การนำแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์มาประยุกต์การใช้

การออกแบบแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Geosynthetic clay liner) ปัจจัยที่สำคัญในการนำแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ไปประยุกต์ใช้กับงานที่เหมาะสมในแต่ละประเภท ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนคุณสมบัติของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ให้เข้ากับงานที่ใช้ ได้แก่

1. การฝังกลบ (Landfill)

การใช้แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ ในการยับยั้งน้ำที่อยู่ใต้น้ำไม่ให้ซึมผ่าน หรือน้ำที่อยู่ในพื้นที่แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ ไม่ให้เข้าหรือออกไปปะปนกับดินและใช้ในการไม่ให้ก๊าซหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบไปทำลายสิ่งแวดล้อมซึ่งกำลังที่ใช้ในการออกแบบฝังกลบนั้นอยู่ที่ 10 KN/m^2 และ 50 KN/m^2 ความหนาของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์อยู่ที่ $7 - 10 \text{ mm}$ และค่าลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradients) ที่ต่ำกว่า 50

2. คลอง (Canals)

การใช้แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์สามารถลดการซึมของน้ำในคลอง ซึ่งกำลังที่ใช้ในการออกแบบนั้นอยู่ที่ 50 KN/m^2 และค่าลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradients) สูงกว่า 100

3. การป้องกันสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection)

การประยุกต์ใช้ค่าลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradients) ในการป้องกันของที่มีอันตรายหล่นใส่ประชาชน หรือ ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ในบริเวณเสี่ยงต่อการพื้นที่ที่มีความลาดชันกำลังที่ใช้ในการออกแบบ 50 KN/m^2

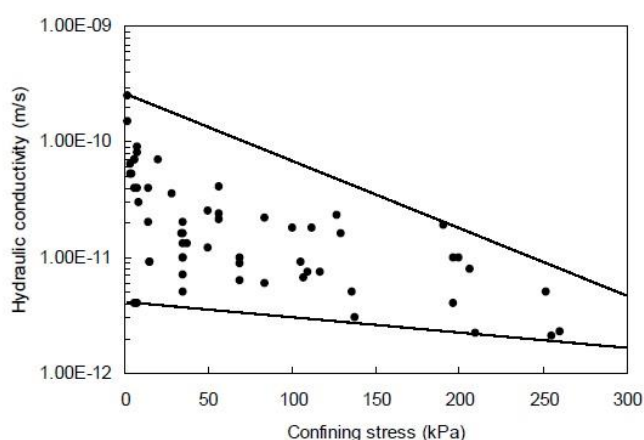
2.5.7 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์

2.5.7.1 วัสดุดินเหนียวสังเคราะห์ (Geosynthetic Clay Liners) [18]

แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแผ่น GCL มีการใช้อย่างแพร่หลายโดยใช้แทนที่ชั้นดินเหนียวอัด (Compacted Clay Line) ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวใช้ในการก่อสร้างกันซึม ถ้ามีการบดอัดที่เหมาะสมจะสามารถป้องกันการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความหนาที่เหมาะสมของชั้นกันซึมดินเหนียวอัดอยู่ระหว่าง 60 ถึง 120 เซนติเมตร ข้อเสียของชั้น

กันซึมดินเหนียวบดอัดคือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในเรื่องของค่าแรงและค่าเครื่องจักรในการก่อสร้างจึงเปลี่ยนมาใช้เป็นแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์โดยมีหน้าที่คล้ายกับชั้นดินเหนียวบดอัด กล่าวคือเป็นชั้นกันซึมในการฝังกลบขยะ ทำเป็นสถานที่กักเก็บน้ำหรือคลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาในเรื่องของสภาพการใช้งานของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์

ศักยภาพของการซึมผ่านขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยนั้นคือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในเบนโทไนต์ ประเภทของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ที่ประกอบอยู่ในแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์และแรงต้านทานด้านข้างดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำโดยใช้แรงต้านข้าง [18]

จากการทดสอบทำให้รู้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์มีค่าต่ำสามารถรักษาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในระยะยาว แต่มีประเด็นในเรื่องของอายุการใช้งานของแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ ในเรื่องของสารเคมีที่เกิดขึ้นตอนที่ใช้งาน การสูญเสียเบนโทไนท์จากการก่อสร้างต่างๆ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบขยะ ซึ่งการเลือกใช้วัสดุประกอบและออกแบบแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ให้เหมาะสมกับการใช้งานเป็นเรื่องที่สำคัญจึงมีการเปรียบเทียบแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์กับชั้นดินเหนียวบดอัด ดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Geosynthetic Clay Liners) กับ ชั้น
กันซึมดินเหนียวอัด (Compacted Clay liners) [18]

Category	Criterion for evaluation	Equivalency of GCL to CCL			
		GCL probably superior	GCL probably equivalent	GCL probably inferior	Site or product dependent
Construction issues	Ease of placement	X			
	Material availability	X			
	Puncture resistance			X	
	Quality assurance	X			
	Speed of construction	X			X
	Subgrade condition	X			
	Water requirements				X
	Weather constraints				
Contaminant transport issues	Attenuation capacity			X ^a	X
	Gas permeability				X
	Solute flux and breakthrough time	X ^b		X	
Hydraulic issues	Compatibility	X ^b		X	
	Consolidation water	X			
	Steady flux of water		X		
	Water breakthrough time				
Physical/mechanical issues	Bearing capacity				X
	Erosion				X
	Freeze-thaw	X			
	Settlement-total		X		
	Settlement-differential	X			
	Slope stability				X
	Wet-dry	X			

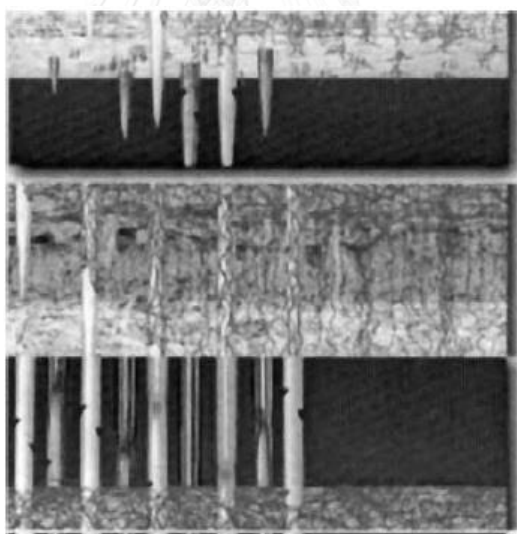
^a Based only on total exchange capacity, TEC.

^b Only for GCLs with a geomembrane.

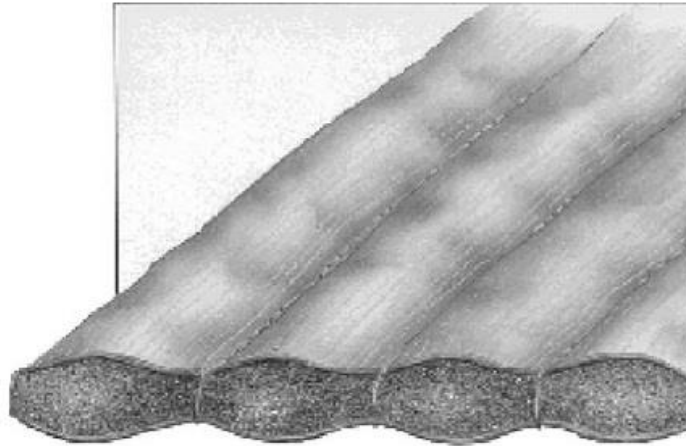
2.5.7.2 การศึกษาความทนทานของการเสริมไฟเบอร์ (fiber) และเส้นใย (yarn) ในแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ [19]

งานวิจัยนี้ได้อธิบายกลไกการย่อยสลายของเส้นใยประเภทพอลิโพรไพลีน (Polypropylene) ที่เย็บติดอยู่ในแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์และกลไกการย่อยสลายของพอลิเมอร์ (Polymer) อิทธิพลที่มีผลต่อโครงสร้างวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์ที่ผสมโมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเรียกว่า โพลีเมอริก (Polymeric) ภายใต้สิ่งแวดล้อมในสถานะใช้งานจะต้องมีการคำนวณการย่อยสลายของวัสดุ นอกจากนี้ความสำคัญของสารต้านออกซิเดชัน (Autoxidation) ที่อยู่ในเรซิน (Resin)

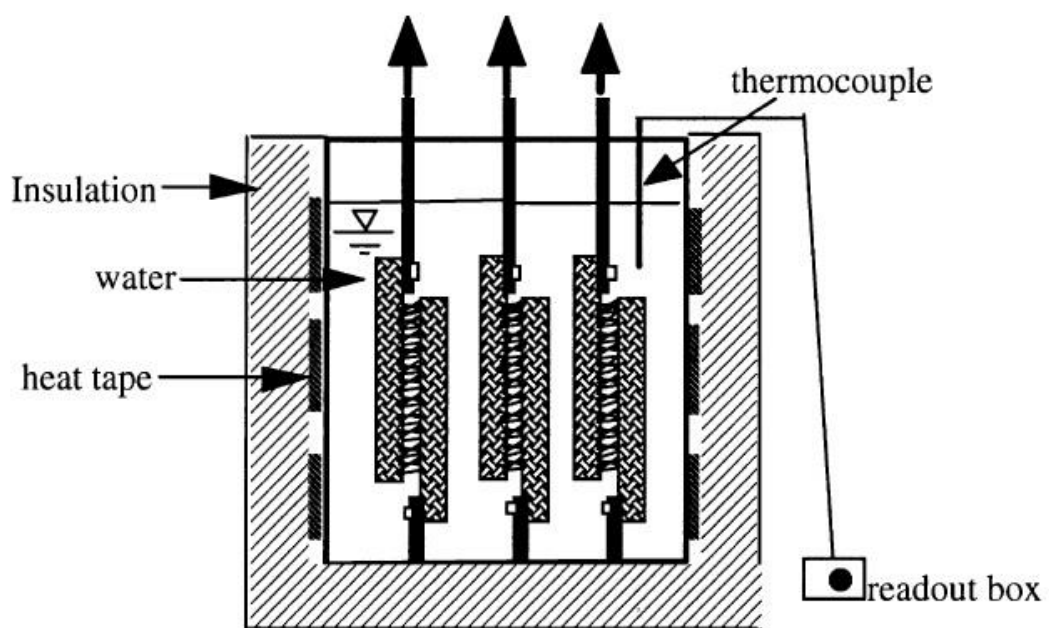
การนำแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ไปใช้งานในเรื่องของการฝังกลบขยะ นอกจากนี้ยังมีในเรื่องของการขนส่ง การเสริมเสถียรภาพของดิน แผ่นดินเหนียวสังเคราะห์เสริมเส้นใยที่ผลิตใช้งานกันในปัจจุบันนั้นมี 2 ชนิด คือ 1.แบบเจาะเย็บติดกับแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Needle Punch) 2.แบบยึดติดกับแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Stitch Bonded) ดังรูปที่ 2.27 และรูปที่ 2.28 โดยทั้ง 2 ชนิดนี้มีการศึกษาในเรื่องของกำลังเสริมเส้นใยภายใน (The Internal Strength of Reinforcement) โดยใช้กล่องแรงเฉือนทดสอบ (Large Shear Box) ดังรูปที่ 2.29 โดยจะใช้อัตราแรงเฉือนเป็นตัวออกแบบ



รูปที่ 2.27 การเจาะเย็บแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Needle Punched) โดยใช้ไฟเบอร์เจาะทะลุดินเหนียวกับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) [19]



รูปที่ 2.28 ยึดติดไปกับแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (Stitch Bonded) ระหว่างแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) [19]

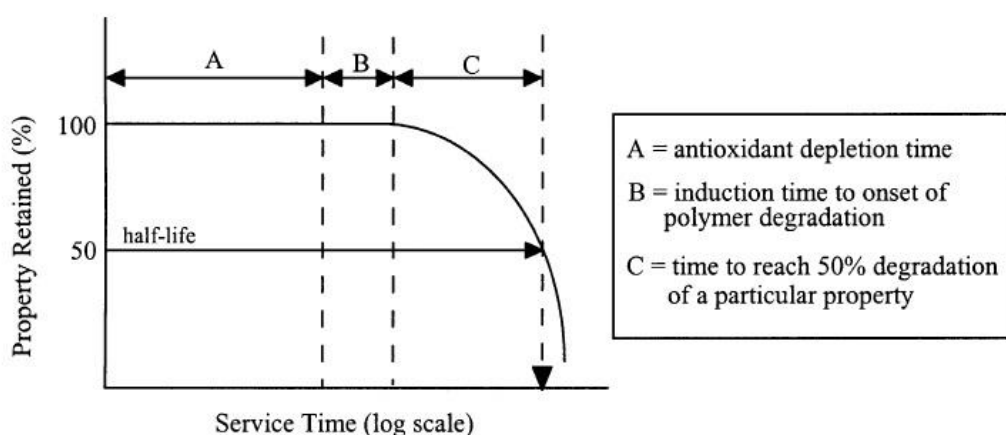


รูปที่ 2.29 กล่องแรงเฉือน (Large Shear Boxes) [19]

มีตัวแปรมากมายที่มีผลต่อแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์เมื่อนำไปใช้งาน ซึ่งความต้านทานของเส้นใยไฟเบอร์ก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ ถ้าใช้โพลิเมอร์ (Polymer) ที่ผสมโมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ที่เรียกว่าโพลิเมอริก (Polymeric) จะมีการเสื่อมสภาพเนื่องจากแรงเฉือนก่อนเวลาอายุการใช้งาน ประเภทของโพลิเมอร์ (Polymer) ที่ใช้ในการเสริมแรงในแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์คือ พอลิโพรไพลีน (Polypropylene) ยกเว้นยุโรปจะใช้เส้นใยชนิดโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ซึ่งโพลิเมอร์

(Polymer) ทั้ง 2 ชนิดนั้นเป็นพอลิเมอร์ในตระกูลของโพลีโอเลฟิน (Polyolefin) ซึ่งไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้ต้องมีการป้องกันพอลิเมอร์

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์อาจทำให้เส้นใยเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยให้สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidation) ในเส้นใยไฟเบอร์โดยจะมีหน้าที่ป้องกันการย่อยสลายของเส้นใยไฟเบอร์และป้องกันการปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการใช้งานจะแสดงดังรูปที่ 2.30 โดยการส่งสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ยืดเวลาการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้



รูปที่ 2.30 การย่อยสลายของพอลิโพรไฟลีน [19]

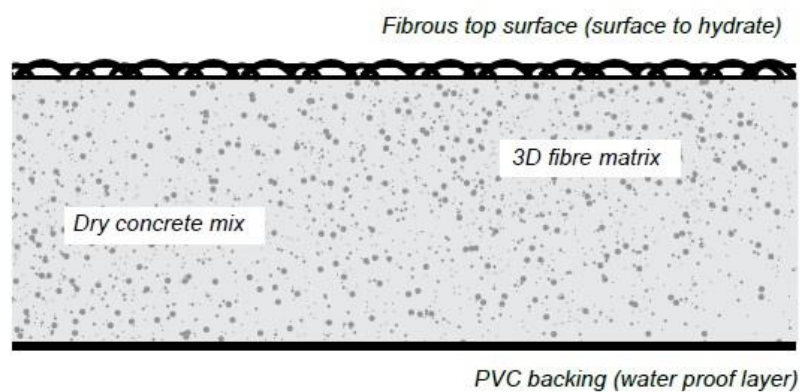
2.6 แผ่นผ้าคอนกรีต (Concrete Cloth) [20]

แผ่นผ้าคอนกรีตเป็นวัสดุที่ประกอบด้วย 3 ชั้น คือ 1. ชั้นเส้นใยสังเคราะห์ 2. ชั้นคอนกรีตแห้ง (Dry Concrete) 3. ชั้นกันซึมทำมาจากวัสดุชนิด PVC แสดงดังรูปที่ 2.31 สามารถเรียกแผ่นผ้าคอนกรีตอีกชื่อหนึ่งว่าแผ่น Geosynthetic Cementitious Composites Mat หรือ แผ่น GCCM ซึ่งมีความยืดหยุ่น เมื่อมีการพรมน้ำจะทำให้คอนกรีตภายในแผ่น GCCM เกิดการแข็งตัวและมีความสามารถในการรับน้ำหนัก ทนไฟ และแผ่น GCCM ยังช่วยในการก่อสร้างโดยไม่จำเป็นต้องนำวัสดุมาผสมแค่พรมน้ำซึ่งจะมีความหนา 3 ค่าคือ 5 มิลลิเมตร 8 มิลลิเมตร 13 มิลลิเมตรโดยจะมีการทดสอบแผ่น GCCM ในคุณสมบัติกายภาพและเชิงกลดังรูปที่ 2.32

2.6.1 การติดตั้งแผ่น GCCM

ก่อนแข็งตัวของแผ่น GCCM มีดังนี้

1. เมื่อมีการผสมน้ำกับแผ่น GCCM แผ่น GCCM จะเริ่มมีกำลังรับแรงเนื่องจากซีเมนต์เริ่มมีการแข็งตัวและสามารถรับกำลังได้ร้อยละ 80 โดยที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของแผ่น GCCM
2. อัตราส่วนของน้ำหนักของแผ่น GCCM ต่อน้ำหนักของน้ำคือ 1:2
3. การใช้งานของแผ่น GCCM เมื่อมีการพรมน้ำในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เวลาการใช้งานของแผ่น GCCM ลดลง
4. แผ่น GCCM สามารถใช้น้ำเพื่อให้ซีเมนต์ที่อยู่ภายในแข็งตัวได้ทั้งน้ำเค็มและไม่เค็ม



รูปที่ 2.31 หน้าตัดของแผ่นผ้าคอนกรีต [20]

CC Physical Properties*				
CC	Thickness (mm)	Batch Roll Size (sqm)	Bulk Roll Size (sqm)	Roll Width (m)
CC5	5	10	200	1.0
CC8	8	5	125	1.1
CC13	13	N/A	80	1.1
CC	Mass (unset) (kg/m ²)	Density (unset) (kg/m ³)	Density (set) (kg/m ³)	
CC5	7	1500	+30-35%	
CC8	12	1500	+30-35%	
CC13	19	1500	+30-35%	

รูปที่ 2.32 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นผ้าคอนกรีต [20]

2.6.2. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจะประกอบไปด้วย การทดสอบแรงอัด การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงดิ่ง และการทดสอบแรงเฉือนทะลุ ดังนี้

1. การทดสอบแรงอัด

การทดสอบแรงอัดจะใช้มาตรฐาน ASTM C109 โดยมีระยะเวลาการบ่ม 10 วันซึ่งมีค่า 40MPa

2. การทดสอบความต้านทานการรับแรงดัด

การทดสอบความต้านทานการรับแรงดัด จะใช้มาตรฐาน BS EN 12467 : 2004 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบคือ CC8 และ CC13 เท่านั้น ซึ่งมีระยะเวลาการบ่ม 10 วัน มีค่า MOR (Modulus of Rupture) เท่ากับ 3.4 และ MOE (Modulus of Elasticity) เท่ากับ 180

3. การทดสอบความต้านทานการรับแรงดิ่ง

การทดสอบความต้านทานการรับแรงดิ่ง จะมีการทดสอบ 2 ทิศทาง คือ ทิศทางตามยาว (Length direction) และทิศทางตามขวาง (Width direction) โดยจะแสดงดังรูปที่ 2.33

Tensile data (Initial crack)

	Length direction (kN/m)	Width direction (kN/m)
CC5	6.7	3.8
CC8	8.6	6.6
CC13	19.5	12.8

รูปที่ 2.33 การทดสอบความต้านทานการรับแรงดิ่งของแผ่น GCCM [20]

4. การทดสอบแรงเฉือนทะลุ

การทดสอบแรงเฉือนทะลุจะใช้มาตรฐาน EN ISO 12236 : 2007 ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบคือ CC8 และ CC13 เท่านั้น ซึ่งมีระยะเวลาการบ่ม 10 วัน จะมีค่าแรงเฉือนทะลุสูงสุด 2.69kN และระยะกดสูงสุด 38 mm

2.6.3 การประยุกต์ใช้งานแผ่น Geosynthetic Cementitious Composites Mat

1. คู่น้ำ

แผ่น GCCM มีความทึบน้ำสูงและมีส่วนผสมของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วสามารถคงรูปในลักษณะตามที่ติดตั้งไว้และสามารถทำน้ำหนักรรทุกได้เล็กน้อย สามารถติดตั้งได้ง่ายและมีราคาต่ำ ดังรูป 2.34 และ 2.35



รูปที่ 2.34 ลักษณะคูน้ำที่มีการเชื่อมต่อโดยใช้ซีเมนต์ปิดรอยต่อ [20]



รูปที่ 2.35 ลักษณะคูน้ำที่มีการเชื่อมต่อโดยใช้การซ้อนทับของแผ่น GCCM[20]

2. เสริมเสถียรภาพของดิน

เนื่องจากแผ่น GCCM มีความยืดหยุ่นและมีซีเมนต์เป็นส่วนผสม เมื่อเวลาแข็งตัวจะทำให้โครงสร้างของดินในบริเวณที่มีการติดตั้งแผ่น GCCM นั้นคงตัวและป้องกันการพังทลายของดิน สามารถติดตั้งได้ง่ายและมีราคาต่ำ ดังรูป 2.36 และ 2.37



รูปที่ 2.36 การติดตั้งแผ่น GCCM ในงานเสริมเสถียรภาพของดิน [20]



รูปที่ 2.37 เมื่อติดตั้งแผ่น GCCM เสร็จในงานเสริมเสถียรภาพของดิน [20]

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (GCC) รูปแบบการเย็บของแผ่น GCC และขั้นตอนในการทดสอบผลิตภัณฑ์ขึ้นตัวอย่าง ซึ่งต้องทำการทดสอบตามมาตรฐาน โดยมีมาตรฐานที่นำมาใช้อยู่ 3 มาตรฐานคือ American Society for Testing and Materials (ASTM) British Standard (BS) และ International Organization for Standardization (ISO)

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติของแผ่น GCC ทั้งหมด 8 ประเภทได้แก่

1. การทดสอบหาความหนาของแผ่น GCC (Nominal Thickness)
2. การทดสอบหาค่ามวลต่อพื้นที่ (Mass per Unit Area Test)
3. การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Test)
4. การทดสอบความต้านทานแรงดัด (Bending Test)
5. การทดสอบแรงเฉือนทะลุ (Puncture Test)
6. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (Water Impermeability)

โดยจะนำเอาผลจากการทดสอบมาวิเคราะห์เพื่อออกแบบและพัฒนาคุณสมบัติของแผ่น GCC

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา (Parameters)

การศึกษาคุณสมบัติวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา (Parameters) ดังนี้

1. ปริมาณการพรมน้ำที่ใช้โดยมีอัตราส่วนน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ซึ่งจะใช้เป็น 0.5 และ 1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกำลังซีเมนต์ที่อยู่ในวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์
2. การบ่มของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ โดยแบ่งการบ่มเป็น 3 ประเภท คือ 1. การบ่มแบบทิ้งไว้ในอากาศ 2. การบ่มน้ำ 3. ห่อพลาสติก
3. ศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรและเสริมเส้นใย

3.2 คุณสมบัติองค์ประกอบของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (GCC)

วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์(GCC) จะประกอบไปด้วยวัสดุดังนี้

3.2.1. แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non - Woven Geotextiles)

แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน ทำมาจากโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ความร้อนประสาน ลักษณะคล้ายผ้าสักหลาดรีดเรียบ และมีน้ำหนักเบา ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งในแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานทำหน้าที่เป็นตัวช่วยน้ำให้กับซีเมนต์ซึ่งจะเป็นชั้นแรกของแผ่น GCC



รูปที่ 3.1 แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non - Geotextiles)

คุณสมบัติของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non - Woven Geotextiles)

โดยจะมีการทดสอบทั้งคุณสมบัติกายภาพและเชิงกลดังนี้

1. คุณสมบัติกายภาพ

1.1 การทดสอบน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่และความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Mass per unit area and Nominal thickness)

ในการทดสอบจะใช้มาตรฐาน น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ (Mass per unit area) ASTM D5993 [21]และ ความหนา (Nominal thickness) ASTM D5199[22]โดยจะมีค่าแสดงดังตารางที่ 3.1 ตารางที่ 3.1 ค่าน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่และความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน

ประเภท	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
ความกว้าง (mm)	461	460
ความยาว (mm)	501	501
น้ำหนัก (g)	64.41	
น้ำหนักต่อพื้นที่ (g/100cm ²)	2.79	
ความหนา (mm)	3.87	

2. คุณสมบัติเชิงกล

2.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test) แบบที่ 1

การทดสอบรับแรงดึงจะใช้มาตรฐาน ASTM D 4595[23]จากการทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานพบว่าแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานนั้นไม่สามารถรับแรงดึงได้เนื่องจากเครื่องมือในห้องปฏิบัติการไม่รองรับ

2.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test) แบบที่ 2

การทดสอบรับแรงดึงจะใช้มาตรฐาน ASTM D 4632[24]จากการทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอโดยส่งตัวอย่างทดสอบที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีความหนา 3.66 mm และ ความกว้าง 50mmดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุปผลการทดสอบแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานแบบที่ 2

ความเค้นสูงสุด (MPa)	% การยืดตัว
1.00	118.62

3.2.2. แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven Geotextiles)

แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ ผลิตมาจากวัสดุโพลีโพลีลีน ดังรูปที่ 3.2 โดยทำมาเป็นแผ่นฟิล์มของโพลีโพลีลีนและนำมาถักทอมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง ทำหน้าที่เป็นตัวรับแรงดึงและแผ่นแรงเสียดทานให้กับแผ่น GCC โดยจะติดตั้งอยู่ชั้นล่างสุดของแผ่น GCC



รูปที่ 3.2 แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven Geotextiles)

คุณสมบัติของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Woven Geotextiles)

โดยจะมีการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและเชิงกลดังนี้

1. คุณสมบัติทางกายภาพ

1.1 การทดสอบน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่และความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Mass per unit area and Nominal thickness)

ในการทดสอบจะใช้มาตรฐาน น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ (Mass per unit area) ASTM D5993 [21] และ ความหนา (Nominal thickness) ASTM D5199 [22] โดยจะมีค่าแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่และความหนาของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน

ประเภท	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
ความกว้าง (mm)	262	264
ความยาว (mm)	357	359
น้ำหนัก (g)	15.81	
น้ำหนักต่อพื้นที่ (g/100cm ²)	1.68	
ความหนา (mm)	0.48	

2. คุณสมบัติเชิงกล

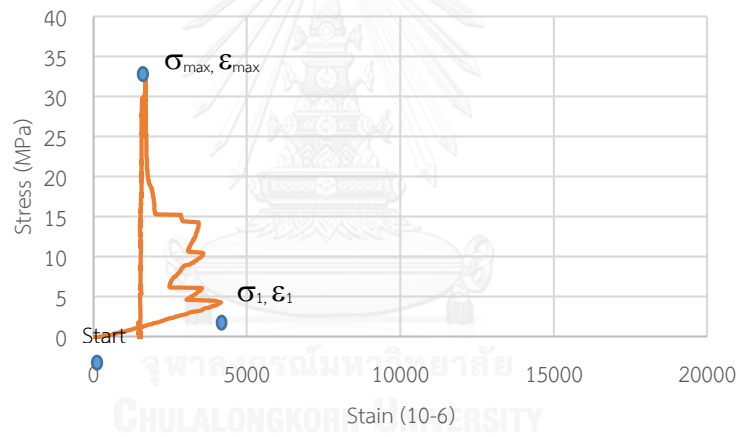
การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลมีแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เป็นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอที่ใช้ในแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ (Old Product) และ แบบที่ 2 เป็นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอที่ใช้ในแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

2.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test) แบบที่ 1

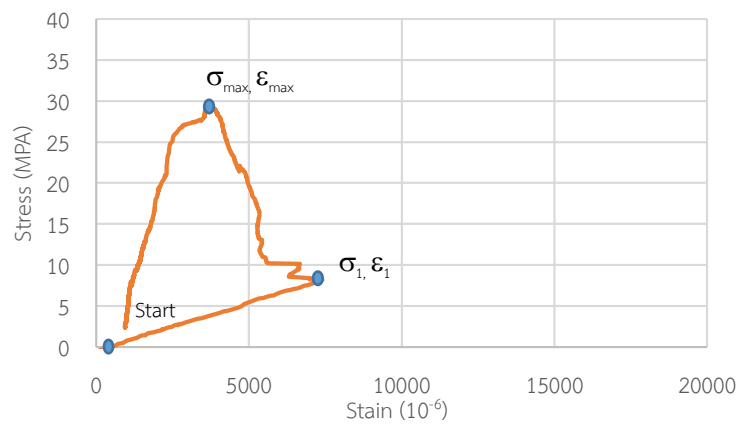
การทดสอบรับแรงดึงจะใช้มาตรฐาน ASTM D 4595 [23]จากการทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอโดยใช้ขนาดตัวอย่าง ความกว้าง 4cm และ ความยาว 20cm มีการทดสอบความต้านทานแรงดึงดังรูปที่ 3.3ผลการทดสอบแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven Geotextiles) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1.ทิศทางตามขวาง(Width direction) ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ 2.ทิศทางตามความยาว (Length direction) ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ



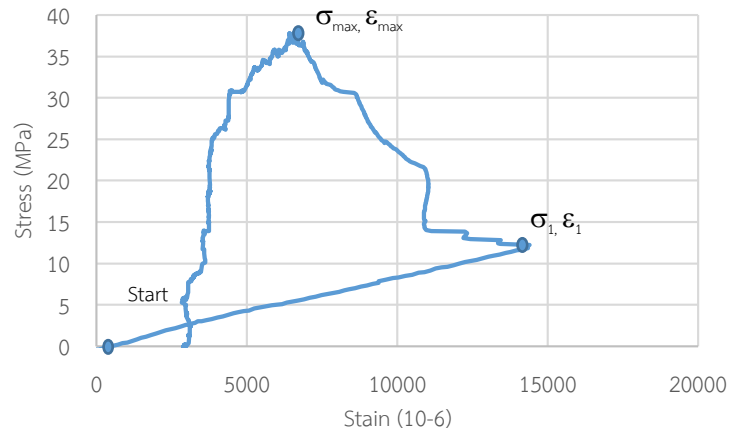
รูปที่ 3.3 การทดสอบความต้านทานแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ



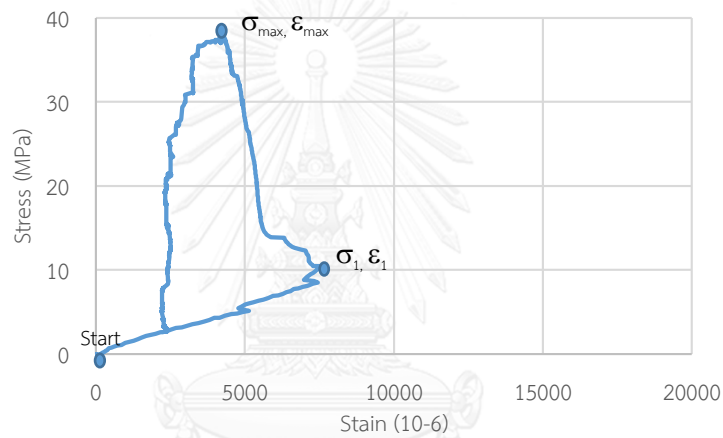
รูปที่ 3.4 การทดสอบแรงดึงทิศทางตามขวาง (Width direction01)



รูปที่ 3.5 การทดสอบแรงดึงทิศทางตามขวาง (Width direction02)



รูปที่ 3.6 การทดสอบแรงดึงทิศทางตามยาว (Length direction01)



รูปที่ 3.7 การทดสอบแรงดึงทิศทางตามยาว (Length direction02)

จะเห็นว่า การทดสอบแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ เมื่อรับแรงดึงกราฟช่วงแรกจะเป็นเส้นตรงจากนั้นเริ่มมีการตีกลับเนื่องจากเส้นใยสังเคราะห์บางเส้นเริ่มมีการฉีกขาดต่อเนื่องจนแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ขาด

จากการทดสอบทั้ง 2 ทิศทางจะเห็นว่าแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทิศทางยาวสามารถรับแรงได้มากกว่าทิศทางตามขวาง โดยความแตกต่างระหว่างความเค้นและความเครียดที่จุดสูงสุดและที่จุดแผ่นเส้นใยสังเคราะห์จะเริ่มขาดดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปผลการทดสอบแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอแบบที่ 1

ตัวอย่าง	ความเค้น 1 (MPa)	ความเครียด 1 (10^{-6})	โมดูลัส ยืดหยุ่น (MPa)	ความเค้น สูงสุด (MPa)	ความเครียด สูงสุด (10^{-6})	สมการ เส้นตรง
Width direction 1	4.30	4151.64	1112.023	32.88	1697.72	$y = 0.0009x$
Width direction 2	8.20	7413.06	1187.59	29.31	3643.57	$y = 0.0011x$
Avg	<u>6.25</u>	<u>5782.35</u>	<u>1150</u>	<u>31.10</u>	<u>2670.64</u>	$y = 0.001x$
Length direction 1	12.22	14398.27	822.63	37.80	6412.78	$y = 0.0008x$
Length direction 2	10.43	7578.17	1153.91	38.80	4233.10	$y = 0.0011x$
Avg	<u>11.32</u>	<u>10988.22</u>	<u>988.27</u>	<u>38.30</u>	<u>5322.94</u>	$y = 0.0095x$

หมายเหตุ โมดูลัสยืดหยุ่น เฉพาะช่วงกราฟเส้นตรงเท่านั้น

2.3 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile test) แบบที่ 2

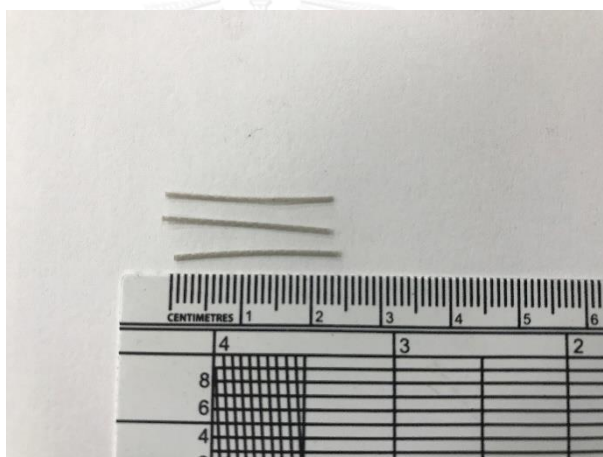
การทดสอบรับแรงดึงจะใช้มาตรฐาน ASTM D 4632[24]จากการทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอโดยส่งตัวอย่างทดสอบที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีความหนา 0.45 mm และ ความกว้าง 50mm ผลการทดสอบแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven Geotextiles) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1.ทิศทางการขวาง(Width direction) 2.ทิศทางการตามยาว (Length direction) ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สรุปผลการทดสอบแรงดึงแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอแบบที่ 2

ทิศทาง	ความเค้นสูงสุด (MPa)	% การยืดตัว
Width direction	72.05	45.98
Length direction	71.70	32.66

3.2.3. เส้นใย (Fiber)

เส้นใยที่ใช้กับวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์จะต้องมีคุณสมบัติที่มีการกระจายที่ดี ตอนผสมปูนซีเมนต์กับเส้นใย (Dry mix) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้เส้นใยประเภทเส้นใยสังเคราะห์ ยี่ห้อ Barchip รุ่น Macro 24[25]โดยมีลักษณะดังรูป 3.8 และคุณสมบัติดังตารางที่ 3.6เมื่อนำเส้นใย Barchip ผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 1 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะเห็นว่ามีการกระจายตัวดี ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 เส้นใย Barchip รุ่น Macro 24



รูปที่ 3.9 การผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับเส้นใยไฟเบอร์

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของไฟเบอร์ Macro 24[25]

ลักษณะเฉพาะ	คุณสมบัติวัสดุ
ส่วนผสม (Base Resin)	ผสมระหว่างโพลีเอทิลีนกับพอลิโพรพิลีน
ความยาว	24 mm
ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)	550 MPa
พื้นผิว	ผิวขรุขระ
จำนวนไฟเบอร์ต่อกิโลกรัม	208000
ความถ่วงจำเพาะ	0.9 - 0.92
มอดูลัสความยืดหยุ่น	8.2 GPa
จุดหลอมเหลว	150°C -165°C

3.2.4. ปูนซีเมนต์

วัสดุผสมซีเมนต์ไยสังเคราะห์ (GCC) ใช้ปูนซีเมนต์ 2 ชนิด ดังนี้

3.2.4.1. ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ซึ่งหลังจากเทแล้วสามารถใช้งานได้ภายใน 3 – 7 วัน ซึ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่เร่งด่วน

3.2.4.2. ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2

ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2 เป็นปูนซีเมนต์ประเภทใช้งานทั่วไป มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะในกระบวนการผลิตที่ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนและยังคงมีคุณภาพความแข็งแรงตามมาตรฐาน

3.2.5. ผลิตภัณฑ์วัสดุผสมซีเมนต์ไยสังเคราะห์

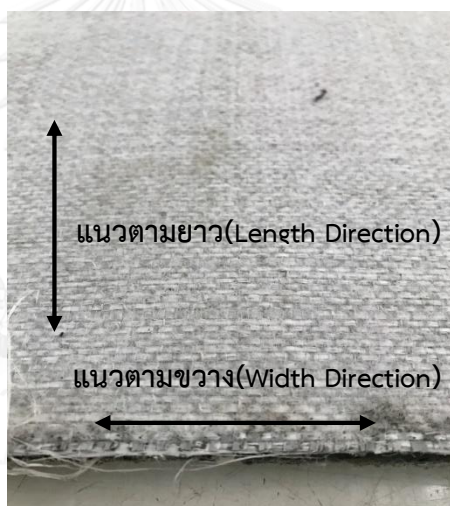
วัสดุผสมซีเมนต์ไยสังเคราะห์ มีขั้นตอนในการผลิตคือ นำผงปูนซีเมนต์เทลลงบนแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ จากนั้นปรับระดับของชั้นปูนซีเมนต์ให้สม่ำเสมอ แล้วทำการเย็บระหว่างแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non-Woven geotextiles) กับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven geotextiles) โดยใช้เข็มในการแทงเส้นใยของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน บางส่วนลงไปยึดกับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ ผลิตภัณฑ์ GCC ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

3.2.5.1. วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประเภทเย็บด้วยมือ (Old Product)

วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประกอบไปด้วย แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non-Woven Geotextiles) แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven geotextiles) และปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 โดย GCC ชนิดนี้มีระยะเย็บที่ห่างกัน และมีความไม่สม่ำเสมอของชั้นปูนซีเมนต์

3.2.5.2. วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประเภทเย็บด้วยเครื่องจักร (New product)

วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประเภทนี้จะประกอบไปด้วย แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non-Woven Geotextiles) แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven geotextiles) และปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2 ที่เย็บด้วยเครื่องจักร ซึ่งสามารถควบคุมรอยเย็บได้แม่นยำ ทำให้ชั้นปูนซีเมนต์มีความสม่ำเสมอ แต่จากผลของการเย็บด้วยเครื่องจักรจะทำให้ทิศทางตามยาวและตามขวางของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แนวตามยาวและตามขวางของแผ่น GCC (New Product)

3.2.5.3. วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประเภทเสริมไฟเบอร์ (New Product add fiber)

วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ประเภทนี้จะประกอบไปด้วย แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non-Woven Geotextiles) แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven geotextiles) ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2 และไฟเบอร์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ คุณสมบัติในเรื่องการผลิตจะเหมือนกับแผ่น GCC ชนิดไมใส่ไฟเบอร์ (New Product) แต่มีความแตกต่าง คือความสม่ำเสมอของปูนซีเมนต์ที่อยู่ในแผ่น GCC ชนิดนี้จะไม่เท่ากัน เนื่องจากเส้นใยที่ใส่เข้าไป ทำให้ใส่ลงในเครื่องจักรไม่ได้เพราะเส้นใยมีความยาว ดังนั้นจึงต้องทำการปรับระดับปูนซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยไฟเบอร์ด้วยตา

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมปูนซีเมนต์กับน้ำโดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.39 และ 0.45 เทียบเท่ากับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (w/w_{GCC}) ที่ 0.5 และ 1 และสำหรับแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิด New product และ New product add fibre จะมีอัตราส่วนต่อน้ำหนักแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (w/w_{GCC}) ที่ 0.5

2. นำซีเมนต์เพสต์ใส่ในแบบหล่อ

3. บ่มตัวอย่างการทดสอบเป็นเวลา 1 3 7 และ 28 วัน ตามลำดับ

โดยจำนวนตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ดังตารางที่ 3.9 และ 3.10

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างแผ่นคอมโพสิตซีเมนต์ใยสังเคราะห์

การเตรียมตัวอย่างแผ่นคอมโพสิตซีเมนต์ใยสังเคราะห์ มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดแผ่นคอมโพสิตซีเมนต์ใยสังเคราะห์ให้มีขนาดตามมาตรฐานของการทดสอบต่างๆ

2. ทำการพรมน้ำตามอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่นคอมโพสิตซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (w/w_{GCC}) คือ 0.5 และ 1

3. บ่มตัวอย่างทดสอบ เมื่อพรมน้ำเสร็จเป็นเวลา 1 3 7 และ 28 วัน ตามลำดับ

โดยจำนวนตัวอย่างของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์และการทดสอบต่าง ๆ ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ดังตารางที่ 3.11 และ 3.12

ตารางที่ 3.7 จำนวนตัวอย่างของซีเมนต์เพสต์ในแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด

ประเภท	จำนวน (ตัวอย่าง)		
	$w/c = 0.30$	$w/c = 0.39$	$w/c = 0.45$
GCC OP	-	1	1
GCC NP	1	-	-
GCC NPF	1	-	-

ตารางที่ 3.8 จำนวนตัวอย่างของการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์ในแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด

ประเภท	จำนวน (ตัวอย่าง)									
	$w/c = 0.30$				$w/c = 0.39$			$w/c = 0.45$		
	ระยะเวลาการบ่ม									
	1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน	1 วัน	3 วัน	7 วัน	1 วัน	3 วัน	7 วัน
GCC OP	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3
GCC NP	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
GCC NPF	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3.9 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยมือ

จำนวนตัวอย่าง (แผ่น)											
คุณสมบัติ	การทดสอบ	ขนาดของตัวอย่าง		แผ่นซีเมนต์เส้นใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ							
		กว้าง (mm)	ยาว(mm)	บ่มอากาศ/บ่มห่อพลาสติก/บ่มแช่น้ำ							
				$w/w_{GCC} = 0.5$				$w/w_{GCC} = 1$			
				1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน	1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน
คุณสมบัติทางกายภาพ	Nominal thickness	100	100	5	5	5	-	5	5	5	-
	Mass per unit area	100	100	5	5	5	-	5	5	5	-
	Water impregnability test	670	600	-	-	-	-	-	-	3*	-
คุณสมบัติเชิงกล	Bending test	250	250	5	5	5	3**	5	5	5	3**
	Tensile test	100	250	5	5	5	3**	5	5	5	3**
	Puncher Test	250	250	3	3	3	3**	3	3	3	3**

หมายเหตุ * ตัวอย่างการบ่มแบบอากาศ ** ตัวอย่างการบ่มแบบแช่น้ำ

ตารางที่ 3.10 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรและเสริมเส้นใย

จำนวนตัวอย่าง (แผ่น)											
คุณสมบัติ	การทดสอบ	ขนาดของตัวอย่าง		แผ่นซีเมนต์เส้นใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (ปม่น้ำ)				แผ่นซีเมนต์เส้นใยสังเคราะห์ชนิดเสริมไฟเบอร์ (ปม่น้ำ)			
		กว้าง (mm)	ยาว(mm)	$w/w_{GCC} = 0.5$				$w/w_{GCC} = 0.5$			
				1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน	1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน
คุณสมบัติทางกายภาพ	Nominal thickness	100	100	5	5	5	-	5	5	5	-
	Mass per unit area	100	100	5	5	5	-	5	5	5	-
	Water impregnability test	670	600	-	-	3*	-	-	-	3*	-
คุณสมบัติเชิงกล	Bending test	250	250	10	10	10	6	-	-	10	6
	Tensile test	100	250	10	10	10	6	-	-	10	6
	Puncher Test	250	250	3	3	3	3	-	-	3	3

หมายเหตุ * ตัวอย่างการบ่มแบบอากาศ

3.4 การทดสอบ (Testing)

มีการทดสอบคุณสมบัติของแผ่น GCC ทั้งหมด 6 การทดสอบซึ่งจะอธิบายดังนี้

3.4.1. การทดสอบหาปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Real Water test)

ในการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์และการทดสอบกำลังรับแรงอัด จำเป็นต้องหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่อยู่ในชั้นซีเมนต์ของแผ่น GCC โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมแผ่นตัวอย่าง GCC ขนาด ความกว้าง 10 และความยาว 10cm โดยจะแบ่งออกเป็น 4 อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC คือ 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยในแต่ละกรณีจะมีจำนวนตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง และชั่งน้ำหนักของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด โดยตัดแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ ความกว้าง 10cm และความยาว 10cm จำนวนตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง ($W_{geotextiles}$)

2. ชั่งน้ำหนักก่อนพรมน้ำ ($W_{GCC\ dry}$)

3. พรมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ที่ 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยแต่ละอัตราส่วนจะพรมน้ำ 3 ตัวอย่าง โดยจะชั่งน้ำหนักของน้ำที่พรมในแผ่น GCC (W_{water})

4. รอน้ำซึมเข้าแผ่น GCC เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นแกะแผ่น GCC เพื่อนำชั้นซีเมนต์ในแผ่น GCC ออกมา จากนั้นนำแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ ทั้ง 2 ชนิดไปชั่งน้ำหนักจะได้ น้ำหนักแผ่นเส้นใยสังเคราะห์เปียก ($W_{wet\ geotextiles}$)

5. นำแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด เข้าตู้อบเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบนำออกมาชั่งจะได้ น้ำหนักแผ่นเส้นใยสังเคราะห์แห้ง ($W_{Dry\ geotextiles}$)

จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ในอัตราการพรมน้ำของแผ่น GCC ที่น้ำไม่ไหลออกจากแผ่น กับ อัตราส่วนการพรมน้ำของแผ่น GCC ที่น้ำไหลออก ซึ่งในกรณีที่น้ำไหลออกนั้นจะต้องชั่งน้ำหนักน้ำไหลออกจากแผ่น GCC ($W_{water\ flow}$) ทำให้สามารถหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ 1. น้ำไม่ไหลออก 2. น้ำไหลออก โดยมีสมการดังนี้

กรณีน้ำไม่ไหลออก

$$W_{drycement} = W_{Gccdry} - W_{geotextiles} \quad (3.1)$$

$$W_{water\ in\ geotextiles} = W_{wet\ geotextiles} - W_{dry\ geotextiles} \quad (3.2)$$

$$W_{water\ in\ cement} = W_{water} - W_{water\ in\ geotextiles} \quad (3.3)$$

กรณีน้ำไหลออก

$$W_{drycement} = W_{dry} - W_{geotextiles} \quad (3.4)$$

$$W_{water\ in\ geotextiles} = W_{wet\ geotextiles} - W_{dry\ geotextiles} \quad (3.5)$$

$$W_{water\ in\ cement} = W_{water} - W_{water\ in\ geotextiles} - W_{water\ flow} \quad (3.7)$$

จากสมการข้างต้นสามารถหาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้ ($W_{water\ in\ cement} / W_{dry\ cement}$) ซึ่งสามารถนำไปในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลได้

3.4.2. การหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกโดยเข็มไวแคต

การก่อตัวและการแข็งตัวมีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C191[26] ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์

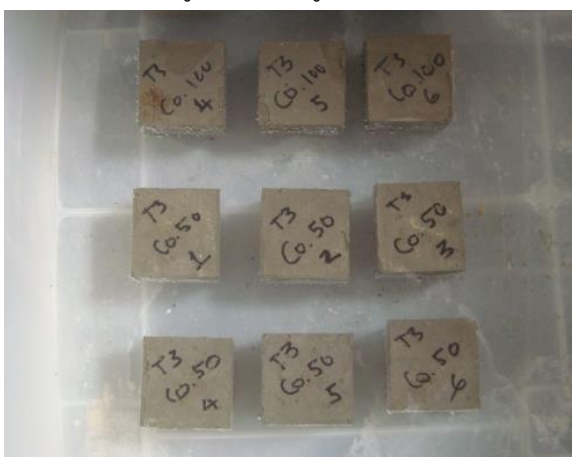
ลักษณะตัวอย่าง

เป็นซีเมนต์ที่ยังไม่แข็งตัวอยู่ในเครื่องทดสอบแบบไวแคต ตามมาตรฐาน ASTM C191

3.4.3. การทดสอบหาคำสั่งของซีเมนต์เพสต์

ลักษณะของตัวอย่าง

เป็นลูกบาศก์ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วตามมาตรฐาน ASTM C109[27] ซึ่งจะมีขนาด ความกว้าง 5 cm ความยาว 5cm ความสูง 5cm ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ลูกบาศก์ซีเมนต์

3.4.4. การทดสอบความหนาของแผ่นตัวอย่าง (Nominal Thickness)

ในงานวิจัยนี้จะใช้ทรงกระบอกน้ำหนัก 500 กรัม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 56.4 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D5199 [22] โดยใช้ทรงกระบอกวางด้านบนของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์การวัดความหนาจะประกอบไปด้วยทรงกระบอกเหล็กน้ำหนัก 500กรัม และฐานรองดังรูปที่ 3.13 โดยจะเริ่มจากการพรมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 และ 1 โดยจะมีการบ่ม 3 แบบ คือ แช่น้ำ ห่อพลาสติก และทิ้งไว้ในอากาศ จะมีระยะเวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วันและ 28 วัน



รูปที่ 3.13 ทรงกระบอก เหล็กน้ำหนัก 500 กรัมและฐานรอง

ลักษณะของตัวอย่าง

เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Geosynthetic Cement Composites) ตามมาตรฐาน ASTM D5199 โดยมีความกว้างเท่ากับ 10 cm และ ความยาวเท่ากับ 10 cm

3.4.5. การทดสอบหาค่ามวลต่อพื้นที่

โดยการทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบน้ำหนักของแผ่น GCC โดยจะพิจารณาชั้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Geosynthetic Cement Composite) เท่ากับ 0.5 และ 1 โดยจะมีการบ่ม 3 แบบ คือ แช่น้ำ ห่อพลาสติก และทิ้งไว้ในอากาศ จะมีระยะเวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วันและ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM D5993[21]โดยคำนวณจากสมการที่ (3.7)

$$m_{gcc} = \frac{M_{GCC}}{A} \quad (3.7)$$

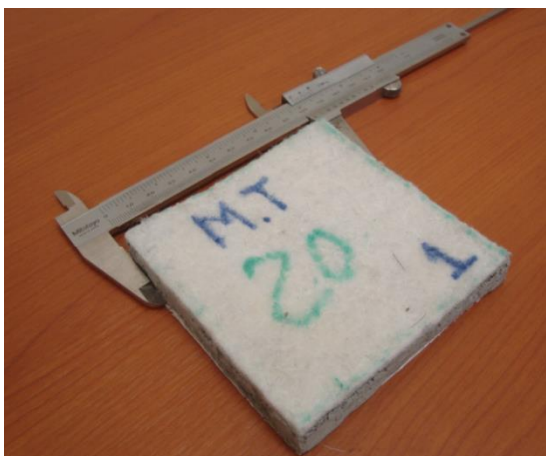
เมื่อ m_{gcc} คือ มวลต่อน้ำหนักแห้งของชั้นตัวอย่าง (0.1 g/m^2)

M_{GCC} คือ น้ำหนักแห้งของชั้นตัวอย่าง (0.01 g)

A คือ พื้นที่ของชั้นตัวอย่าง (m^2)

ลักษณะของตัวอย่าง

เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ที่มีขนาดหน้าตัดตามมาตรฐาน ASTM D5993 ความกว้างเท่ากับ 10 cm และความยาวเท่ากับ 10 cm ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ในการทดสอบหาค่ามวลต่อพื้นที่

3.4.6. การทดสอบความต้านทานแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์

การทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้จะทดสอบด้วยเครื่องดึง (Auto Graph) โดยจะถอดที่จับออกหมดและติดตั้งรอปรับกับฐานเคลื่อนที่ด้านล่างโดยฐานรับรองที่ติดกับฐานเคลื่อนที่ของเครื่อง Auto Graph จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.15 โดยจะมีการตัดแปลงหัวจับมาตรฐาน ASTM D6768 [28] เพื่อให้การจับแผ่น GCC แน่นขึ้น โดยมีขนาดของตัวอย่างคือ ความกว้าง 10 cm และความยาว 25cm ดังรูปที่ 3.16ซึ่งจะมีการตัดแปลงจากมาตรฐานเพื่อให้พื้นที่ในการจับเพิ่มมากขึ้น และลดขนาดช่วงความกว้างของแผ่น GCC ลดเพื่อบังคับบริเวณวิบัติที่ตรงกลางของแผ่น GCC เนื่องจากทำตามมาตรฐานเกิดการวิบัติที่บริเวณหัวจับ โดยจะเริ่มเตรียมตัวอย่างจากการพรมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 และ 1 โดยจะมีการบ่ม 3 แบบ คือ แช่น้ำ ห่อพลาสติก และทิ้งไว้ในอากาศ จะมีระยะเวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วันและ 28 วันการทดสอบนี้จะใช้แรงดึงที่สุดมาเฉลี่ยดังสมการ (3.8) และ (3.9)

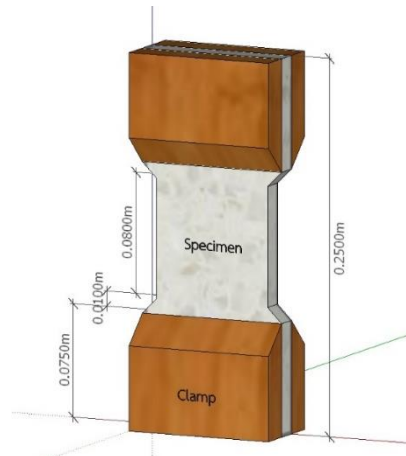
$$\alpha_{fn} = \frac{(\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \dots + \alpha_{f5})}{5} \quad (3.8)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{fn}}{W_s} \quad (3.9)$$

เมื่อ α_{fn} คือ ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N)

α คือ ความต้านทานของแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (N/m)

W_s คือ ความกว้างที่ระบุ (m)



รูปที่ 3.15 แบบจำลองการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3.16 การทดสอบแรงดึง

ลักษณะของตัวอย่าง

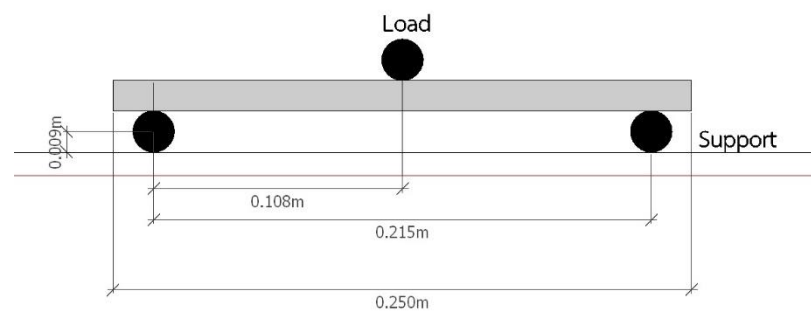
เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D5035 ซึ่งจะมีขนาด ความกว้าง 10 cm ความยาว 25 cm ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ในการทดสอบความต้านทานแรงดึง

3.4.7. การทดสอบความต้านทานแรงดัด

การทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้จะทดสอบด้วยเครื่องดึง (Auto Graph) โดยจะถอดที่จับออกหมดและติดตั้งรองรับกับฐานเคลื่อนที่ด้านล่างโดยฐานรับรองที่ติดกับฐานเคลื่อนที่ของเครื่อง Auto Graph จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.18 และเปลี่ยนหัวจับข้างบนเป็นแท่งกด (load bar) โดยจะมีการทดสอบประเภทแรงกระทำแบบสามจุด (3 point bending testing machine) ตามมาตรฐาน BS EN 12467[29] โดยมีแบบจำลองขนาดดังรูป 3.19 ซึ่งเริ่มจากการพรมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 และ 1 โดยจะมีการบ่ม 3 แบบ คือ แช่น้ำ ห่อพลาสติก และทิ้งไว้ในอากาศ จะมีระยะเวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน



รูปที่ 3.18 แบบจำลองแรงดัด



รูปที่ 3.19 ฐานรับรอง

ทำการทดสอบโดยวางตัวอย่างทดสอบไว้บนที่รองรับและจัดตำแหน่งแท่งกดให้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างขนานกับที่รองรับทั้งสองข้างจากนั้นเพิ่มแรงกดจนกระทั่งตัวอย่างแตกหักและวัดความหนาที่รอยแตก เพื่อนำผลไปหาค่ามอดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) และมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ดังสมการที่ (3.10) และ (3.11)

$$MOR = \frac{3Fl_s}{2be^2} \quad (3.10)$$

เมื่อ

F คือ แรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นส่วนตัวอย่างหัก (Breaking load) หน่วยเป็น นิวตัน

L_s คือ ระยะระหว่างฐานที่รองรับในการทดสอบ (span) หน่วยเป็น มิลลิเมตร

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็น มิลลิเมตร

e คือ ค่าเฉลี่ยความหนาที่รอยแตกของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็น มิลลิเมตร

$$MOE = \frac{(F_2 - F_1)L_s^3}{4be^3(f_2 - f_1)} \quad (3.11)$$

เมื่อ

F_1 และ F_2 คือ แรงที่กระทำกับชิ้นส่วนตัวอย่างที่เกิดจาก 2 จุดของกราฟที่พล็อตระหว่างแรงที่กระทำกับชิ้นส่วนตัวอย่างกับระยะการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนตัวอย่าง

L_s คือ ระยะห่างระหว่างที่ฐานรองรับ หน่วยเป็น มิลลิเมตร

b คือ ความกว้างของชิ้นตัวอย่าง หน่วยเป็น เซนติเมตร

e คือ ค่าเฉลี่ยความหนาที่รอยแตกของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็น มิลลิเมตร

f_1 และ f_2 คือ ค่าการเคลื่อนตัวของชิ้นตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กับ F_1 และ F_2 ในกราฟระหว่างแรงที่กระทำกับชิ้นส่วนตัวอย่างกับระยะการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนตัวอย่าง

ลักษณะของตัวอย่าง

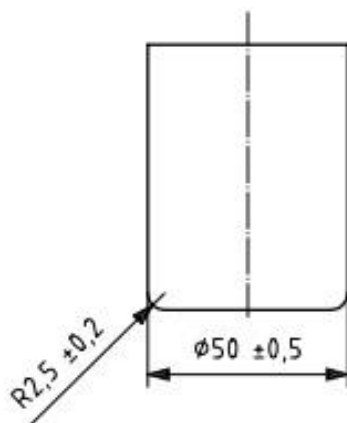
เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ตามมาตรฐาน BS EN 12467 : 2012 ซึ่งจะมีสถานะที่ถูกพรมน้ำแล้วเท่านั้นโดยจะมีขนาดหน้าตัด ความกว้าง 25cm ความยาว 25cm ดังรูปที่ 3.20



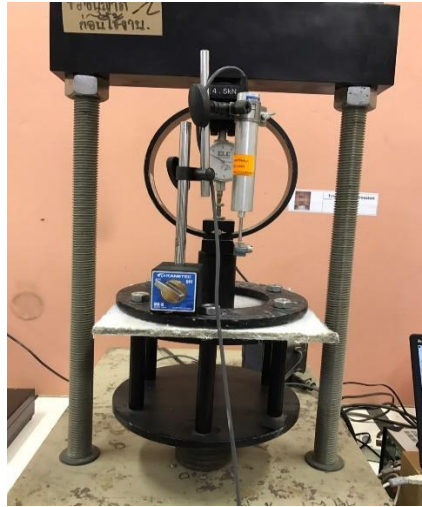
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์สำหรับการทดสอบแรงดัด

3.4.8. การทดสอบแรงทะลุ (Puncture Test)

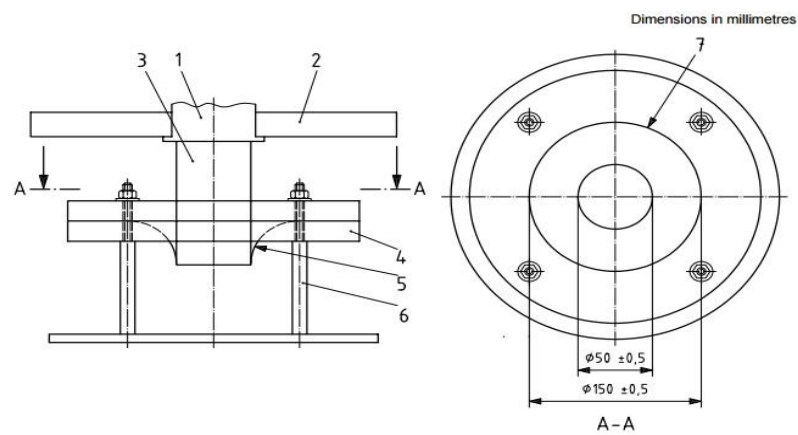
เป็นการทดสอบความต้านทานแรงทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์โดยอาศัยการใช้แรงกดที่เป็นลูกสูบตามมาตรฐาน ISO 12236 : 2006[30] ดังรูปที่ 3.21 โดยจะใช้เครื่องกดสามแกน (Triaxial) มีฐานรองรับขึ้นตัวอย่างการทดสอบวางบนแผ่นเหล็กดังรูปที่ 3.22– 3.23 และติดตั้ง Linear Variable Differential Transformer หรือ LVDT ที่ตำแหน่งฐานรองรับโดยจะเริ่มจากการพรมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 และ 1 โดยจะมีการบ่ม 3 แบบ คือ แช่น้ำ ห่อพลาสติก และทิ้งไว้ในอากาศ จะมีระยะเวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน



รูปที่ 3.21 ลูกสูบกดตามมาตรฐาน [30]



รูปที่ 3.22 เครื่องกดสามแกน (Triaxial)



รูปที่ 3.23 ฐานรับรองตัวอย่างทดสอบ [30]

ลักษณะของตัวอย่าง

เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ ตามมาตรฐาน ISO 12236 : 2007 ซึ่งจะมีสถานะที่ถูกพรมน้ำแล้วเท่านั้นโดยจะมีขนาดหน้าตัด ความกว้าง 25cm ความยาว 25cm ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์ไยสังเคราะห์ในการทดสอบแรงทะลุ

3.4.9. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (Water Impermeability)

การทดสอบการซึมผ่านของน้ำเพื่อตรวจดูว่าวัสดุผสมซีเมนต์ไยสังเคราะห์มีการรั่วซึมหรือไม่ โดยใช้ถาดขังน้ำดังรูปที่ 3.25 ตามมาตรฐาน BS EN 12467[29] จะใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC เท่ากับ 1 เท่านั้น เนื่องจากคำนึงถึงสภาพการใช้งานจริง เริ่มจากการพรมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC เท่ากับ 1 จากนั้นทิ้งแผ่น GCC ไว้ในอากาศเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเริ่มติดตั้งกรอบพลาสติกที่มีขนาดตามมาตรฐานและเติมน้ำใส่กรอบที่ติดด้วยวัสดุกันซึมโดยมีระดับน้ำ 20mm จากแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ถึงผิวน้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะเก็บข้อมูลน้ำหนักก่อนและหลัง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.25 ถาดขังน้ำ

ลักษณะของตัวอย่าง

เป็นวัสดุผสมซีเมนต์ไยสังเคราะห์ ซึ่งจะมีสถานะที่ถูกพรมน้ำแล้วเท่านั้นตามมาตรฐาน BS EN 12467 : 2012 จะมีขนาด ความกว้าง 55 cm ความยาว 45 cm ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์



บทที่ 4

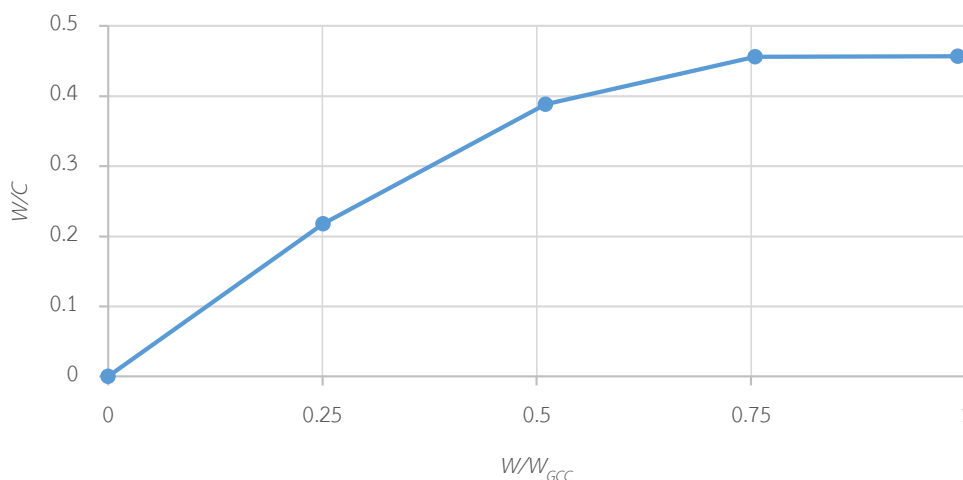
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์

ความสามารถในการรับน้ำของวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์ (GCC) มีจำกัดทำให้จำเป็นต้องหาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เพื่อนำไปทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ (Setting time test) และอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ในการทดสอบกำลังอัด (Compression test) ดังนั้นจึงมีการหาปริมาณน้ำในแผ่น GCC โดยหาน้ำหนักของการพรมน้ำที่มีอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC เทียบเท่า 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยแบ่งชนิดของวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์ 3 ชนิดดังนี้

4.1.1. วัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product)

จากการทดสอบหาปริมาณน้ำที่อยู่ในแผ่น GCC มีผลแสดงดังรูปที่ 4.1

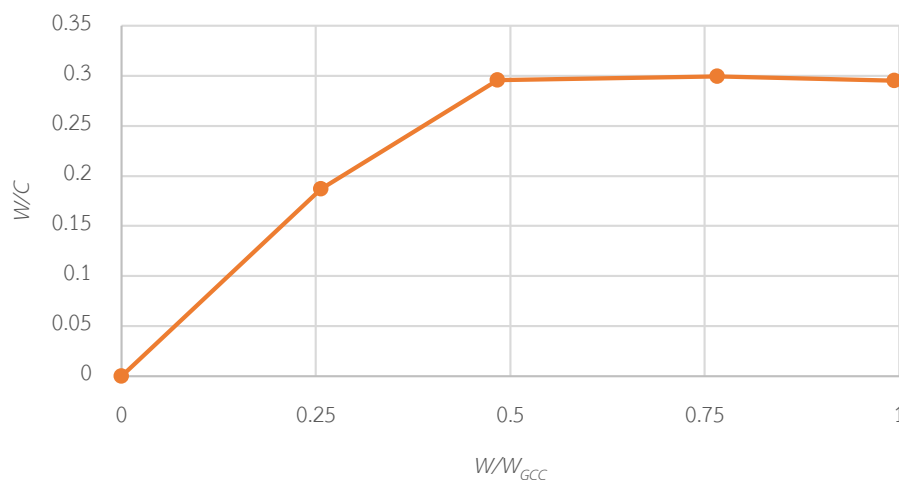


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอัตราส่วนของน้ำที่พรมกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของวัสดุผสมซีเมนต์โยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ

จากรูปที่ 4.1 อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC มีค่าเท่ากับ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 ตามลำดับ จะได้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.22, 0.39, 0.46 และ 0.46 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากราฟในรูปที่ 4.1 นั้น ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ที่ 0.75 ถึง 1 แผ่น GCC จะถึงจุดอิ่มตัว ถ้าได้รับน้ำเกินกว่าจุดนี้ น้ำจะไหลออกจากแผ่น GCC

4.1.2. วัสดุผสมซีเมนต์โพลีสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product)

จากการทดสอบหาปริมาณน้ำที่อยู่ในแผ่น GCC มีผลแสดงดังรูปที่ 4.2

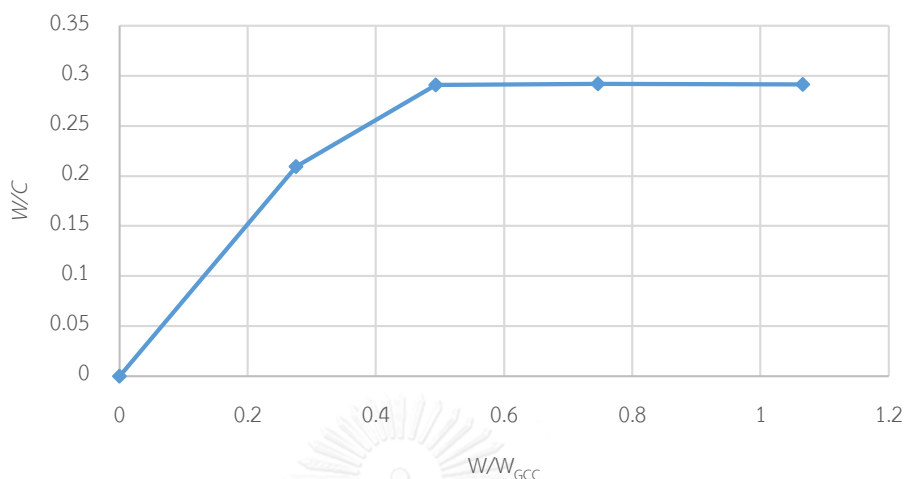


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอัตราส่วนของน้ำที่พรมกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของวัสดุผสมซีเมนต์โพลีสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

จากรูปที่ 4.2 อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC มีค่าเท่ากับ 0.26, 0.48, 0.76 และ 0.99 ตามลำดับ จะได้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.19, 0.3, 0.3 และ 0.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากราฟในรูปที่ 4.2 นั้น ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ที่ 0.48 ถึง 0.99 แผ่น GCC จะถึงจุดอิ่มตัว ถ้าได้รับน้ำเกินกว่าจุดนี้ น้ำจะไหลออกจากแผ่น GCC

4.1.3. วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมไฟเบอร์ (New Product add fiber)

จากการทดสอบหาปริมาณน้ำที่อยู่ในแผ่น GCC มีผลแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอัตราส่วนของน้ำที่พรมกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมไฟเบอร์

จากรูปที่ 4.3 อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC มีค่าเท่ากับ 0.27, 0.49, 0.75 และ 0.99 ตามลำดับ จะได้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.21, 0.29, 0.29 และ 0.29 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากราฟในรูปที่ 4.3 นั้น ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ที่ 0.49 ถึง 1 แผ่น GCC จะถึงจุดอิ่มตัว ถ้าได้รับน้ำเกินกว่าจุดนี้ น้ำจะไหลออกจากแผ่น GCC สามารถหาจุดอิ่มตัวของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิดสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าจุดอิ่มตัวของแผ่น GCC ทั้ง 3 ประเภท

ประเภท	ค่า w/c จุดอิ่มตัว	ค่า w/w _{GCC} ที่จุดอิ่มตัว
GCC OP	0.45	0.75
GCC NP	0.3	0.5
GCC NPF	0.3	0.5

จากการทดสอบหาปริมาณน้ำที่อยู่ในแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่าอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ในชนิดการเย็บด้วยมือ (Old Product) จะมีจุดอิ่มตัวที่มากกว่าชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product) และเสริมเส้นใยไฟเบอร์ (New Product add Fiber) นั่นคือที่ อัตราส่วน

น้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC เท่ากับ 0.75 และมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่จืดอิมตัวมากกว่าของชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product) และเสริมเส้นใยไฟเบอร์ (New Product add Fiber) เท่ากับ 0.45 เนื่องจากวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือมีชั้นของปูนซีเมนต์ที่มากกว่าของชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product) และเสริมเส้นใยไฟเบอร์ (New Product add Fiber)

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ มีดังนี้

4.2.1. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่ของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Mass per unit area test) และหาความของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (Nominal Thickness)

ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2 โดยการทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่ของแผ่นซีเมนต์สังเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และความหนาของ GCC ทั้ง 3 ชนิด

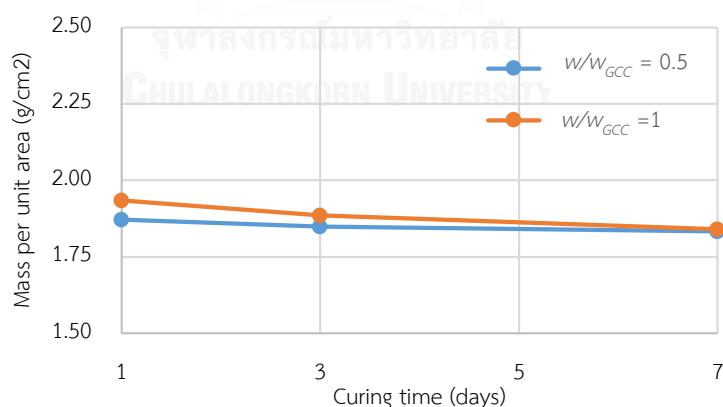
ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ (Mass per unit area, g/cm ²)					
ชนิดของ GCC	วิธีการบ่ม	W/W _{GCC}	1 วัน	3 วัน	7 วัน
OP	บ่มอากาศ	0.5	1.87	1.85	1.83
		1	1.94	1.89	1.84
	บ่มห่อพลาสติก	0.5	1.63	1.63	1.63
		1	1.68	1.68	1.68
	บ่มแช่น้ำ	0.5	1.55	1.86	1.86
		1	1.61	1.93	1.93
NP	บ่มแช่น้ำ	0.5	1.11	1.34	1.34
NPF	บ่มแช่น้ำ	0.5	1.65	1.95	1.96

ค่าความหนา (Thickness,mm)					
ชนิดของ GCC	วิธีการบ่ม	W/W_{GCC}	1 วัน	3 วัน	7 วัน
OP	บ่ม อากาศ	0.5	14.29	13.5	13.5
		1	15.92	14.07	13.91
	บ่มท่อ พลาสติก	0.5	12	12.1	12.1
		1	12.1	12.1	12.1
	บ่มแช่น้ำ	0.5	10.9	11.7	11.8
		1	11.7	12.1	12.1
NP	บ่มแช่น้ำ	0.5	8.1	8.1	8.1
NPF	บ่มแช่น้ำ	0.5	11.1	10.9	11.1

4.2.1.1. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ (Old Product) วิธีการบ่มแบบทิ้งไว้ในอากาศ

การทดสอบจะใช้อัตราการพรมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 และ 1 ดังรูปที่ 4.4 และ

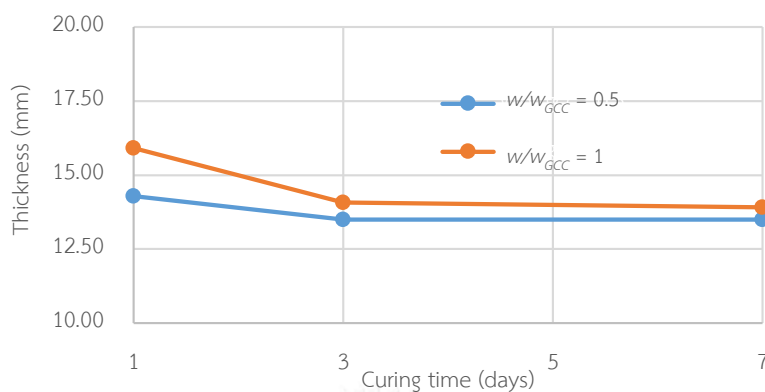
4.5



รูปที่ 4.4 ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่และระยะเวลาการบ่มแบบบ่มอากาศ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของ W/W_{GCC} เท่ากับ 1 จะมีค่ามากกว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของกรณี W/W_{GCC} เท่ากับ 0.5 ในช่วงหลังจากการบ่ม 1 และ 3 วัน หลังจากนั้นในวันที่ 7 ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC จะมีค่าใกล้เคียงกัน จากการพรมน้ำให้กับแผ่น GCC ทำให้ในวันที่ 1 จะพบว่าจะมีค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด และเมื่อเวลา

ผ่านไปค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าลดลง เนื่องจากการระเหยของน้ำในแผ่น GCC ทำให้น้ำหนักน้ำในแผ่น GCC เริ่มลดลง



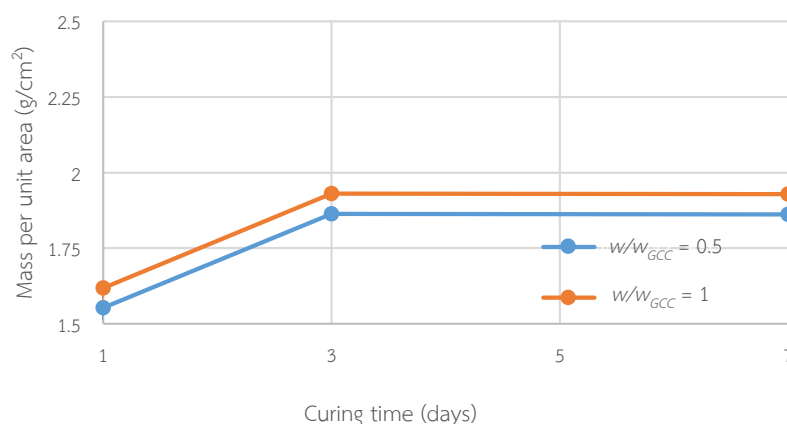
รูปที่ 4.5 ค่าความหนาของแผ่น GCC กับ ระยะเวลาการบ่มแบบบ่มอากาศ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่าความหนาของอัตราส่วนผสม $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่ามากกว่าค่าความหนาของอัตราส่วนผสม $W/W_{GCC} = 0.5$ ในช่วงเวลาการบ่มที่ 1 และ 3 วัน แต่เมื่อครบ 7 วันค่าความหนาของอัตราส่วนผสม $W/W_{GCC} = 0.5$ และ 1 จะมีค่าใกล้เคียงกัน จากการพรมน้ำให้กับแผ่น GCC ทำให้ในวันแรกจะพบว่ามีค่าความหนาของแผ่น GCC มากที่สุดและเมื่อเวลาผ่านไปค่าความหนาจะลดลง เนื่องจากความหนาจากน้ำที่อยู่ในแผ่น GCC เริ่มระเหยออกไปทำให้ความหนาลดลง

4.2.1.2. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ (Old Product) วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

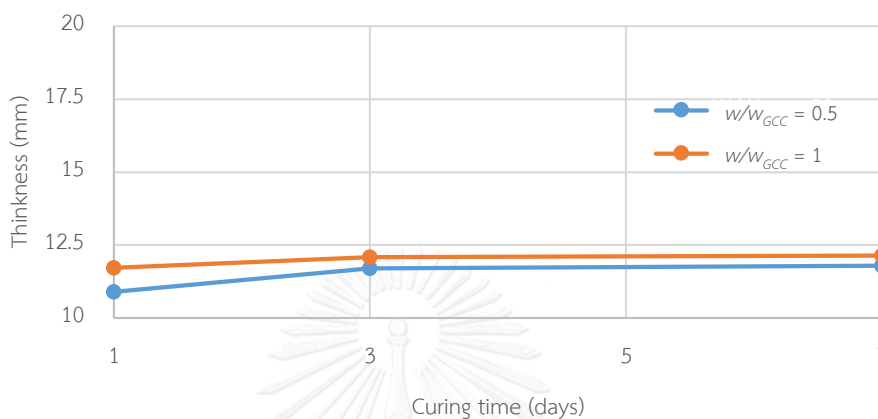
การทดสอบจะใช้อัตราการพรมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 และ 1 ดังรูปที่ 4.4 และ

4.5



รูปที่ 4.6 ค่ามวลต่อพื้นที่และระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของ W/W_{GCC} เท่ากับ 1 จะมีค่ามากกว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของกรณี W/W_{GCC} เท่ากับ 0.5 ในช่วงหลังจากการบ่ม 1 วัน ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ทั้ง 2 อัตราส่วน W/W_{GCC} จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่หลังจากการบ่มในวันที่ 3 ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 7 ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ทั้งสองอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC จะมีค่าใกล้เคียงกัน



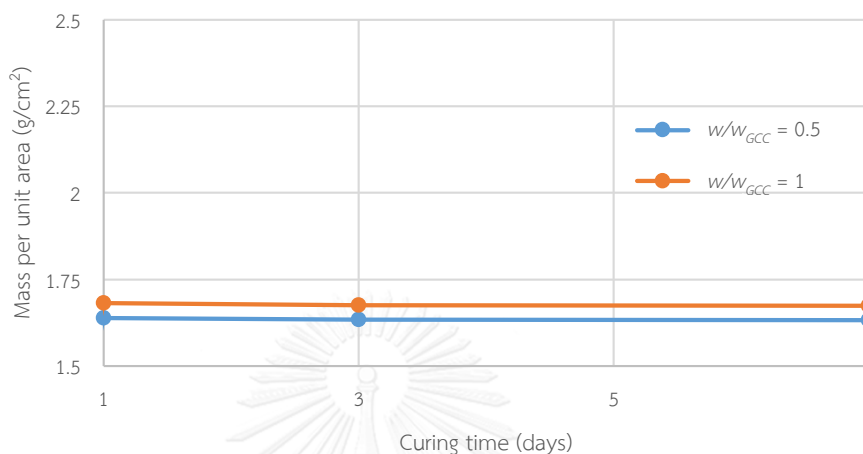
รูปที่ 4.7 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ

จากรูปที่ 4.7 พบว่า ค่าความหนาของ W/W_{GCC} เท่ากับ 1 จะมีค่ามากกว่าค่าความหนาของกรณี W/W_{GCC} เท่ากับ 0.5 ในช่วงหลังจากการบ่ม 1 วัน ค่าความหนาทั้ง 2 อัตราส่วน W/W_{GCC} จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่หลังจากการบ่มในวันที่ 3 ค่าความหนาจะมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 7 ค่าความหนาทั้งสองอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC จะมีค่าใกล้เคียงกันและในวันที่ 3 และ 7 จะมีค่าความหนามีค่ามากที่สุด การเพิ่มขึ้นของค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ในวันที่ 1 ถึงวันที่ 3 เป็นผลมาจากแผ่นเส้นใยสังเคราะห์มีการบวมน้ำทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น

4.2.1.3. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ (Old Product) วิธีการบ่มแบบท่อพลาสติก

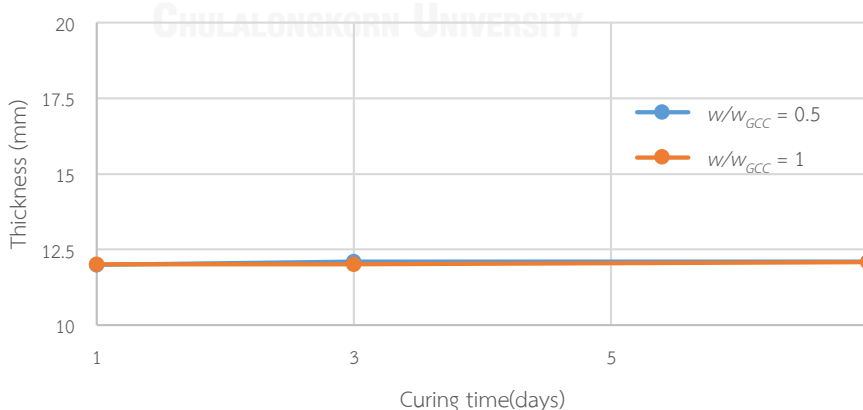
การทดสอบจะใช้อัตราการผลิตน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 และ 1 ดังรูปที่ 4.8 และ

4.9



รูปที่ 4.8 ค่ามวลต่อพื้นที่และระยะเวลาการบ่มแบบท่อพลาสติก

จากรูปที่ 4.8 พบว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ W/W_{GCC} เท่ากับ 1 จะมามีค่ามากกว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของกรณี W/W_{GCC} เท่ากับ 0.5 ในช่วงหลังจากการบ่ม 1 วัน ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 7 ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ทั้งสองอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC จะมีค่าใกล้เคียงกัน



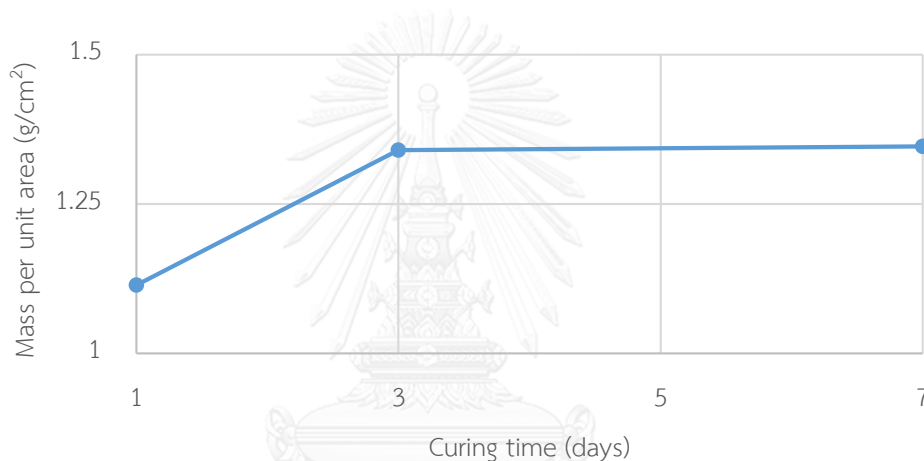
รูปที่ 4.9 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบท่อพลาสติก

จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าความหนาของ W/W_{GCC} เท่ากับ 1 จะมีค่าเท่ากับค่าความหนาของกรณี W/W_{GCC} เท่ากับ 0.5 ในช่วงหลังจากการบ่ม 1 วัน ค่าความหนาจะมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 7

จากผลการทดสอบทั้ง 3 วิธีการบ่ม การบ่มที่ทำให้ค่ามวลต่อพื้นที่และค่าความหนาของแผ่น GCC มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มคือ บ่มแบบแช่น้ำ การบ่มที่ทำให้ค่ามวลต่อพื้นที่และค่าความหนาของแผ่น GCC มีค่าลดลงตามระยะเวลาการบ่มคือ บ่มอากาศ แต่การบ่มที่ทำให้ค่ามวลต่อพื้นที่และค่าความหนาของแผ่น GCC มีค่าคงที่ตามระยะเวลาการบ่มคือ บ่มห่อพลาสติก ดังนั้นการบ่มที่ดีที่สุดเพื่อพัฒนากำลังของซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในแผ่น GCC ควรเลือกใช้วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

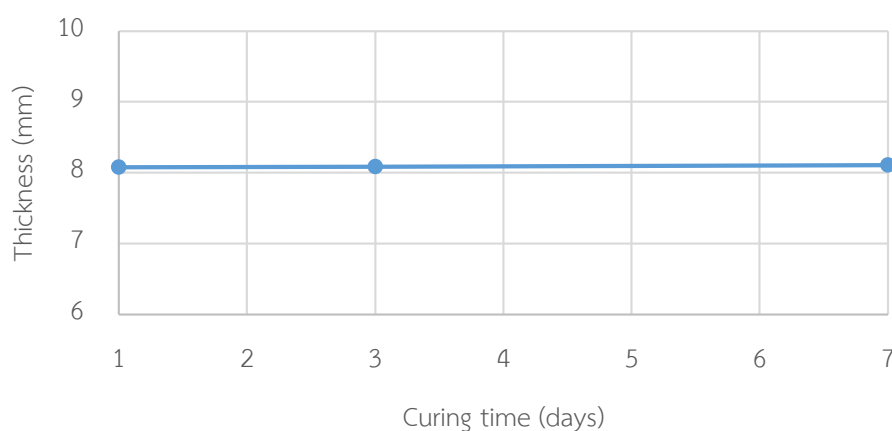
4.2.1.4. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New product) วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

การทดสอบจะใช้อัตราการพรมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการอิมตัวของแผ่นGCC ชนิดนี้ที่มีปริมาณปูนซีเมนต์น้อยกว่า จะมีผลดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 ค่ามวลต่อพื้นที่และระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ (NP)

จากรูปที่ 4.10และตารางที่ 4.2 พบว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของชิ้นตัวอย่าง จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 3 วันแรก แต่หลังจากการบ่มในวันที่ 3 ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 7



รูปที่ 4.11 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ (NP)

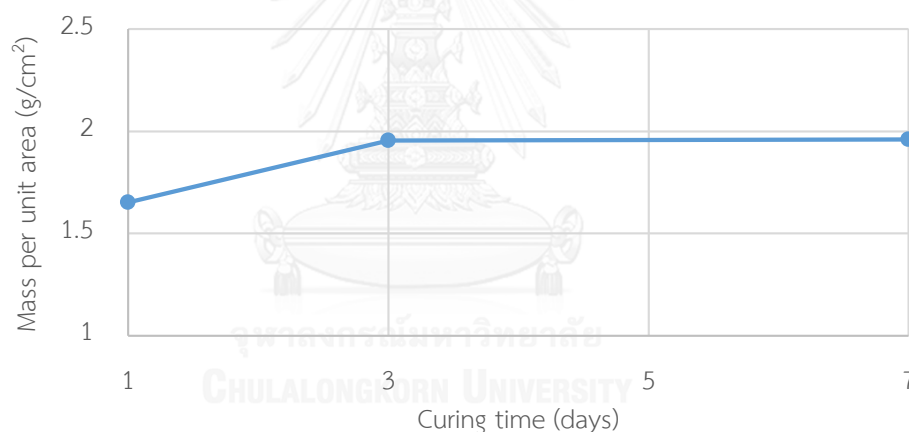
จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่าความหนาของชั้นตัวอย่างที่มี W/W_{GCC} เท่ากับ 0.5 มีค่าเท่ากับ 8.1 และ 8.1 mm ซึ่งจะสอดคล้องกับ 1 3 และ 7 วัน ตามลำดับ ค่าความหนาจะมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 7 เนื่องจากแผ่น GCC ชนิด NP มีการเย็บในชั้นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานและถักทอเข้าด้วยกัน มีจำนวนเข็มที่มากกว่า GCC ชนิด OP อยู่มาก ทำให้แผ่น GCC ชนิด NP ถูกเย็บจนแน่น ทำให้แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน ไม่เกิดการขยายตัวเมื่อถูกน้ำ

จากการทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม แต่ค่าความหนาของแผ่น GCC ชนิดนี้มีค่าคงที่ อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนกระบวนการเย็บ ซึ่งทำให้แผ่น GCC ไม่บวมขึ้น

4.2.1.5. การทดสอบมวลต่อหน่วยพื้นที่และหาค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใย

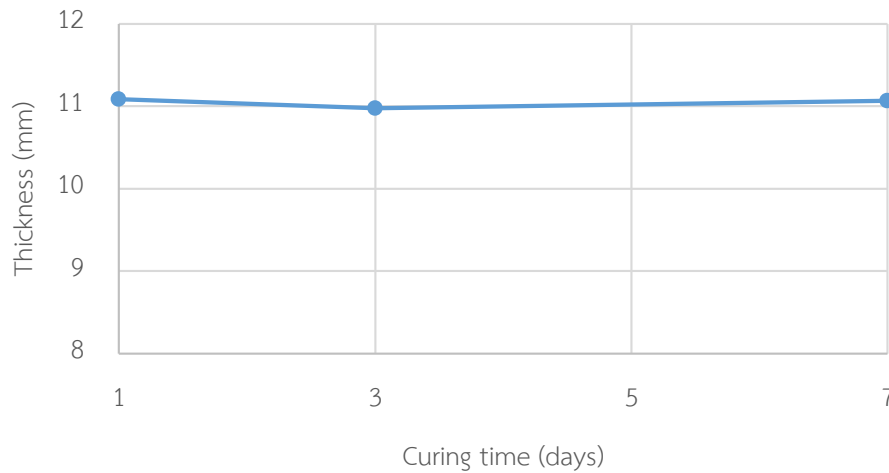
สังเคราะห์ชนิดเสริมไฟเบอร์ (New product add fiber) วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

การทดสอบจะใช้อัตราการผลิตน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 เท่านั้น จะมีผลดังรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ (NPF)

จากรูปที่ 4.12 พบว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของชั้นตัวอย่างที่มี W/W_{GCC} เท่ากับ 0.5 มีค่าเท่ากับ 1.65 1.95 และ 1.96 g/cm² ซึ่งจะสอดคล้องกับ 1 3 และ 7 วัน ตามลำดับ ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่หลังจากการบ่มในวันที่ 3 ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 7

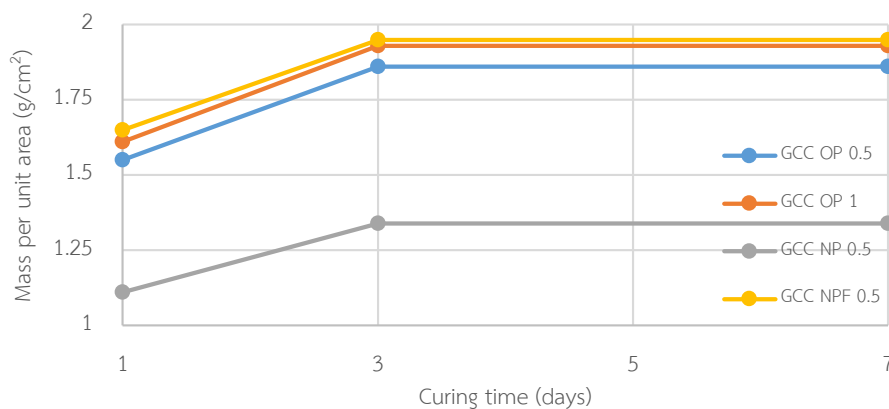


รูปที่ 4.13 ค่าความหนาและระยะเวลาการบ่มแบบแช่น้ำ (NPF)

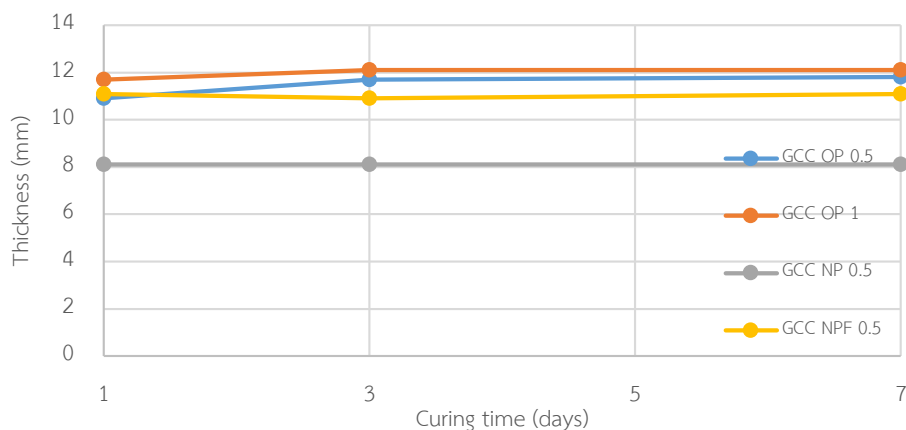
จากรูปที่ 4.13 พบว่าค่าความหนาของชิ้นตัวอย่างที่มี W/W_{GCC} เท่ากับ 0.5 มีค่าเท่ากับ 11.1 10.9 และ 11.1 mm ซึ่งจะสอดคล้องกับ 1 3 และ 7 วัน ตามลำดับ การบ่ม 1 วัน ค่าความหนาจะมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 7

4.2.1.6. การเปรียบเทียบค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่และค่าความหนาของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด

การเปรียบเทียบค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่และค่าความหนาของแผ่น GCC จะเลือกวิธีการบ่มแบบแช่น้ำโดยจะเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่ม 1 ถึง 7 วัน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ทั้งแผ่น GCC 3 ชนิด



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าความหนาของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด

เมื่อเปรียบเทียบค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่จะเห็นว่า ชนิดเสริมไฟเบอร์มีค่ามากกว่าชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ทั้งที่ผลิตจากเครื่องจักรเดียวกัน เนื่องจากปริมาณในการใส่ปูนซีเมนต์ไม่สม่ำเสมอ ถ้าเป็นชนิดของไฟเบอร์จะใส่บนแผ่นเส้นใยสังเคราะห์โดยตรง แล้วปรับระดับชั้นของปูนซีเมนต์ด้วยตา แต่ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร จะใส่ปูนซีเมนต์โดยมีเครื่องมือในการกระจายตัวของปูนซีเมนต์ให้สม่ำเสมอ ซึ่งปูนซีเมนต์ที่ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์ไม่สามารถนำเข้าไปได้ และการที่ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ของ NP และ NPF มีค่าเพิ่มขึ้นในระยะการบ่มแต่ความหนาคงที่ในระยะเวลากบ่มนั้น เนื่องจากรูปแบบการเย็บของ OPNP และ NPF แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบการเย็บ NP และ NPF จะใช้จำนวนเข็มที่ใช้เย็บมากกว่า OP อยู่มาก ทำให้เส้นใยที่ไปรัดแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานมีความแน่น ทำให้ไม่มีการบวมขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกับน้ำ

4.2.2. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (Water impermeability test)

การทดสอบการซึมผ่านของน้ำเป็นการดูปริมาณน้ำที่ไหลผ่านและสภาพของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ด้านล่าง โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

4.2.2.1. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product)

โดยจะแสดงแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยมือ

ตัวอย่างที่	w/w_{GCC}	น้ำหนัก น้ำก่อน ทดสอบ, g	น้ำหนัก หลัง ทดสอบ, g	น้ำหนักที่ หายไป, g/24h	อัตราการ ไหล (cm^3/sec)
01.W.I.100	1	4950	4842	79.2	0.00092
02.W.I.100		4950	4834	123.75	0.00143
03.W.I.100		4950	4839	104	0.00126
ค่าเฉลี่ย		4950	4838	102	0.00120

4.2.2.2. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บ
ด้วยเครื่องจักร (New Product)

โดยจะแสดงแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product)

ตัวอย่างที่	w/w_{GCC}	น้ำหนัก น้ำก่อน ทดสอบ, g	น้ำหนัก หลัง ทดสอบ, g	น้ำหนักที่ หายไป, g/24h	อัตราการ ไหล (cm^3/sec)
01.W.I.100 (NP)	0.5	4950	4802	148	0.00171
02.W.I.100 (NP)		4950	4780	170	0.00196
03.W.I.100 (NP)		4950	4815	135	0.00156
ค่าเฉลี่ย		4950	4799	151	0.00174

4.2.2.3. การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริม
เส้นใยไฟเบอร์ (New Product add fiber)

โดยจะแสดงแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของแผ่น GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์ (New Product
add fiber)

ตัวอย่างที่	w/w_{GCC}	น้ำหนัก น้ำก่อน ทดสอบ,g	น้ำหนัก หลัง ทดสอบ, g	น้ำหนักที่ หายไป ,g/24h	อัตราการ ไหล (cm^3/sec)
02.W.I.100 (NPF)	0.5	4950	4820	130	0.0015
03.W.I.100 (NPF)		4950	4221	721	0.0083
ค่าเฉลี่ย		4950	4520.5	425.5	0.0049

จากตารางที่ 4.3 -4.5 ค่าอัตราการไหลของแผ่น GCC ชนิด OP NP และ NPF มีค่าเท่ากับ 0.0012 0.00174 และ 0.0049 ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าอัตราการไหลชนิด NP มีค่ามากกว่า OP เนื่องจากรูปแบบการเย็บของ NP มีความหนาของชั้นซีเมนต์เพสต์ที่บางกว่าและเส้นใยที่อยู่ในชั้นซีเมนต์เพสต์ของ NP มีมากกว่าทำให้น้ำสามารถซึมเข้าในเส้นใยได้มากกว่าชนิด OP แต่ค่าอัตราการไหลที่มากที่สุดคือ ชนิด NPF เนื่องจากชั้นซีเมนต์เพสต์ที่ไม่มีความสม่ำเสมอรวมกับช่องว่างที่อยู่ระหว่างซีเมนต์เพสต์กับเส้นใย (Fiber) ทำให้มีค่าอัตราการไหลที่มากกว่าชนิดอื่น และสังเกตกับตาเปล่าได้แผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอนั้นมีความชื้นเล็กน้อย ไม่พบน้ำไหลออก

4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของปูนซีเมนต์

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล สามารถแสดงค่าการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ทั้ง 3 ชนิดดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ทั้ง 3 ชนิด

ชนิดปูน	W/C	ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ (MPa)			
		1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1	0.39	38.8	53.4	60.6	-
	0.45	36.5	46.4	54.8	-
ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2	0.3	45.8	55.2	60.94	79.53
ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2 ผสมเส้นใย 1 %	0.3	42.9	49	54.4	74.9

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์พัฒนาตามระยะเวลาการบ่มทั้ง 3 ชนิด กำลังของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2 ที่ 7 วัน (W/C=0.3) มีค่าใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 ที่ 7 วัน (W/C=0.39) ปูนซีเมนต์ที่ไม่ใส่เส้นใยสามารถรับแรงอัดได้มากกว่าปูนซีเมนต์ที่เสริมเส้นใย เพราะเส้นใยไฟเบอร์ได้ไปแทรกปริมาณในเนื้อซีเมนต์เพสต์บางส่วนทำให้รับกำลังรับแรงอัดได้น้อยกว่า

4.3.1 ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 ทั้งทางกายภาพและเชิงกลมีดังนี้

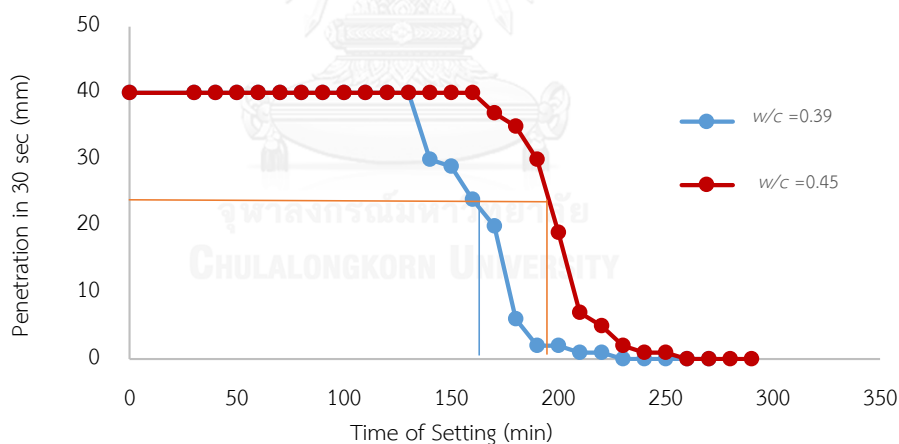
1. คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1

1.1 การหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกโดยเข็มไวแคต

เนื่องจากผลจากการทดสอบการหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ต้องใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ แต่จากตัวแปรการศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ดังนั้นจึงมีการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่แท้จริงที่อยู่ในซีเมนต์เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 4.6 ดังนั้นการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ได้ใช้อัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.39 และ 0.45 ได้ผลดังรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c)

อัตราส่วนผสมของน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC (w/w_{GCC})	อัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ (w/c)
0.5	0.39
1	0.45



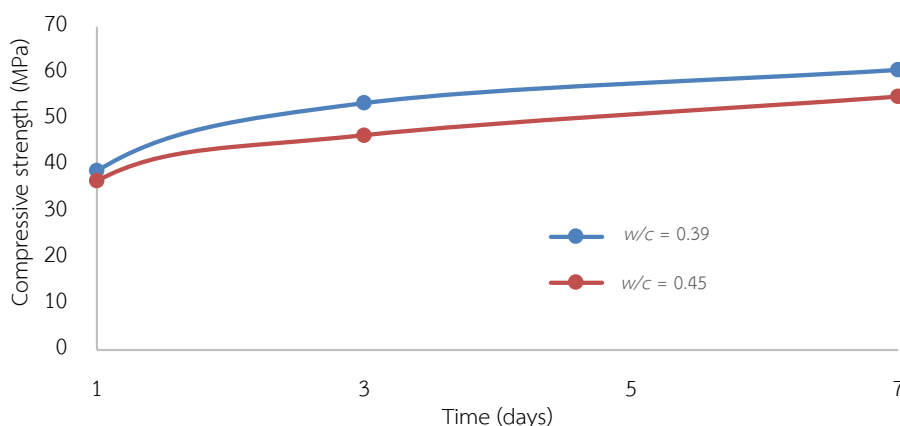
รูปที่ 4.16 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ของ $w/c = 0.39$ และ $w/c = 0.45$

จากรูปที่ 4.16 พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.39 จะมีค่าการก่อตัวระยะต้น (Initial setting time) ในเวลา 158 นาที และมีค่าการก่อตัวระยะปลาย (Final setting time) ในเวลา 230 นาที และอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.45 จะมีค่าการก่อตัวระยะต้น ในเวลา 194 นาที และมีค่าการก่อตัวระยะปลายในเวลา 260 นาที การก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ที่มีค่าน้อยจะแข็งตัวได้เร็วกว่าอัตราผสมที่มีค่ามาก เนื่องจากปริมาณน้ำที่น้อยกว่า จึงทำให้แข็งตัวเร็วกว่า

2. คุณสมบัติเชิงกลของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1

2.1 การทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์จะใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เหมือนกับการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ข้างต้น แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลาการบ่ม

จากรูปที่ 4.17 พบว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์อัตราส่วนผสมที่ 0.39 จะมีค่ามากกว่าค่ากำลังอัดอัตราส่วนผสมที่ 0.45 เนื่องจากมีน้ำที่น้อยกว่า

4.3.2 ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2 ทั้งทางกายภาพและเชิงกลมีดังนี้

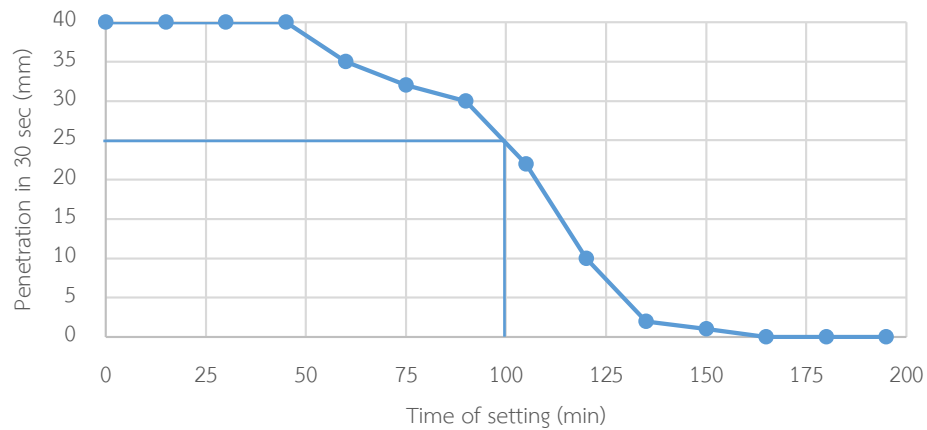
1. คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2

1.1 การหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 2 โดยเข็มไวแคต

เนื่องจากค่าปริมาณน้ำที่แท้จริงที่อยู่ในซีเมนต์ได้ผลดังตารางที่ 4.8 ดังนั้นการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ได้ใช้อัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.30 เพียงค่าเดียว เพราะอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ในงานวิจัยนี้เริ่มที่ 0.5 โดยได้ผลดังรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.8 ผลการหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c)

อัตราส่วนผสมของน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC (w/w_{GCC})	อัตราส่วนผสมของน้ำต่อซีเมนต์ (w/c)
0.5	0.30

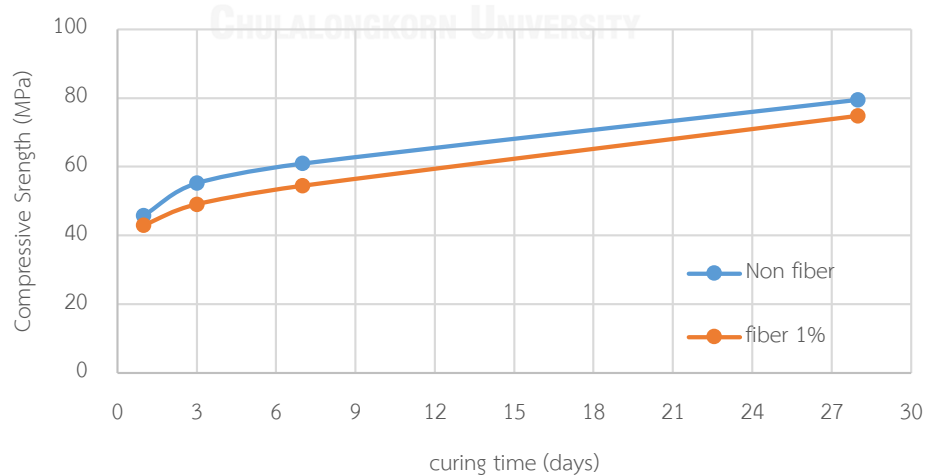


รูปที่ 4.18 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ของ $W/C = 0.3$

จากรูปที่ 4.18 พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.3 จะมีค่าการก่อตัวระยะต้น (Initial setting time) ในเวลา 100 นาที และมีค่าการก่อตัวระยะปลาย (Final setting time) ในเวลา 165 นาที

1. คุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์ชนิดที่ 2
- 1.1 การทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

ผลการทดสอบกำลังของซีเมนต์เพสต์จะใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เหมือนกับการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ข้างต้น โดยจะแบ่งออกออกเป็น 2 การทดสอบ คือ 1. การทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ใส่เส้นใย 2. การทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบใส่เส้นใยร้อยละ 1 แสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลาการบ่ม

จากรูปที่ 4.19 พบว่าปูนซีเมนต์ที่ไม่ใส่เส้นใยสามารถรับแรงอัดได้มากกว่าปูนซีเมนต์ที่เสริมเส้นใย เพราะเส้นใยไฟเบอร์ได้ไปแทรกปริมาณในเนื้อซีเมนต์เพสต์บางส่วนทำให้รับกำลังรับแรงอัดได้น้อยกว่า

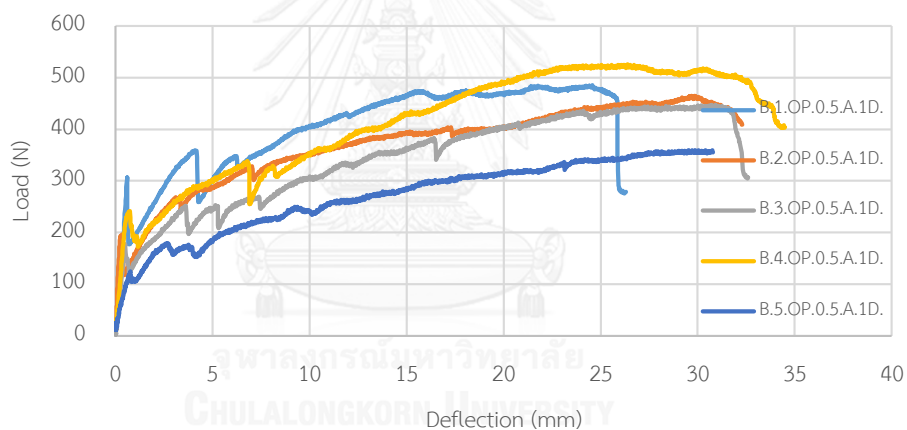
4.4 ความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์

การทดสอบคุณสมบัติทางของเชิงกลด้านการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์จะมี 3 ชนิด ดังนี้

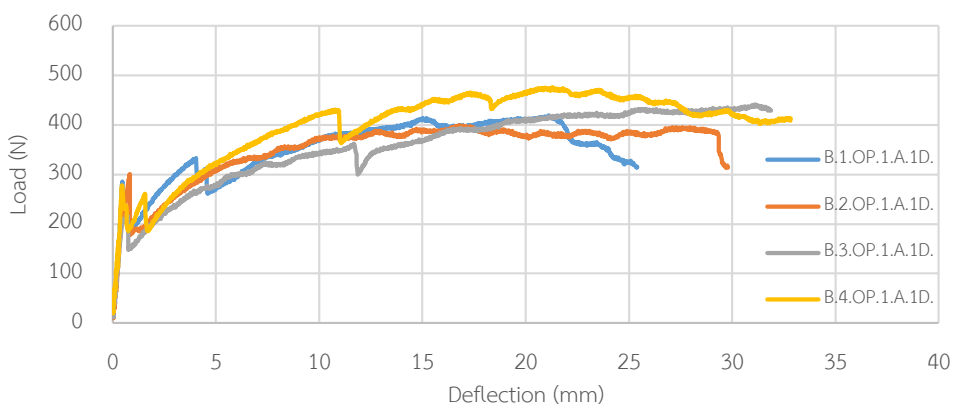
4.4.1. ความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product)

4.4.1.1. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการบ่มอากาศ

ผลการทดสอบกรณีของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 กับระยะเวลาการบ่ม 13 และ 7 วัน แสดงในรูปที่ 4.20 – 4.22

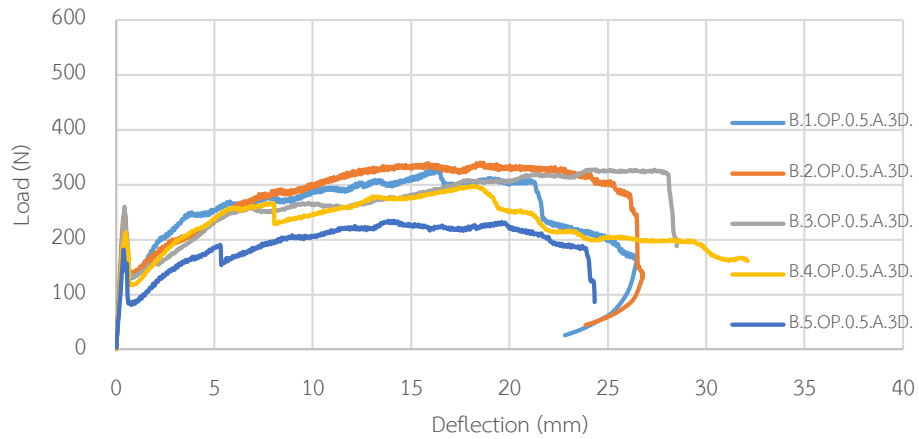
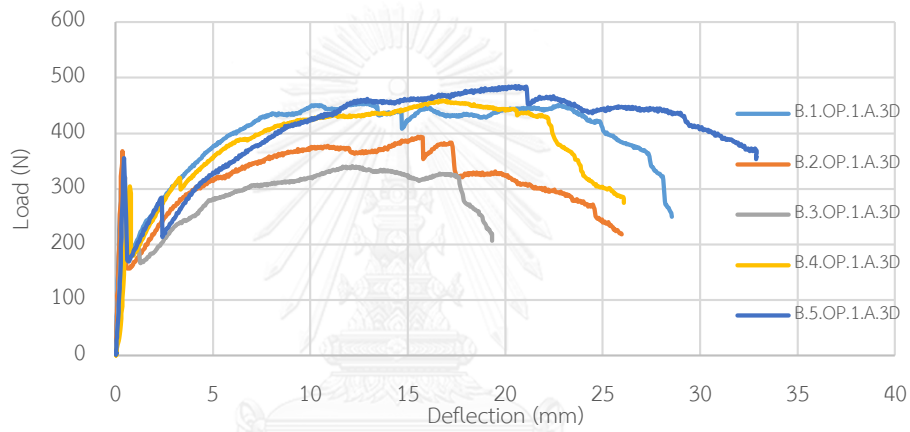


(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

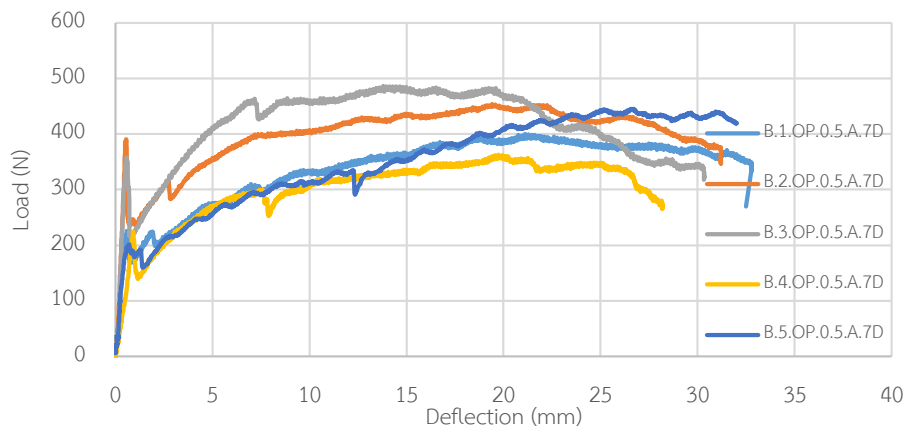


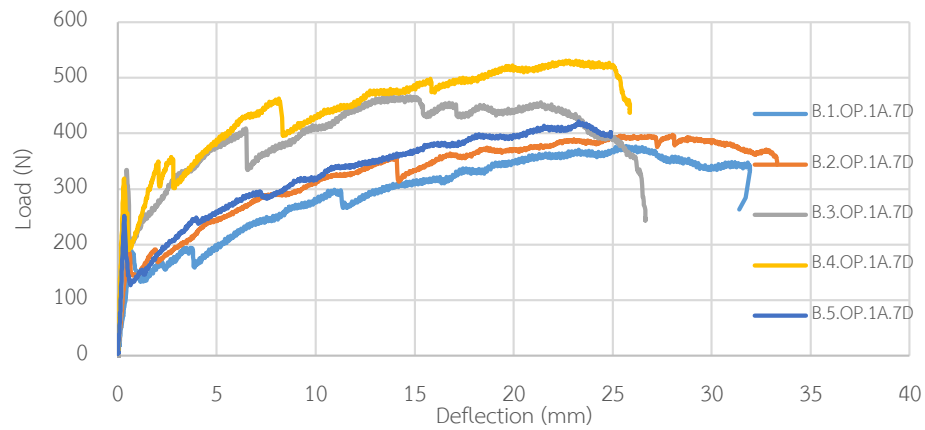
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.20 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.21 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)

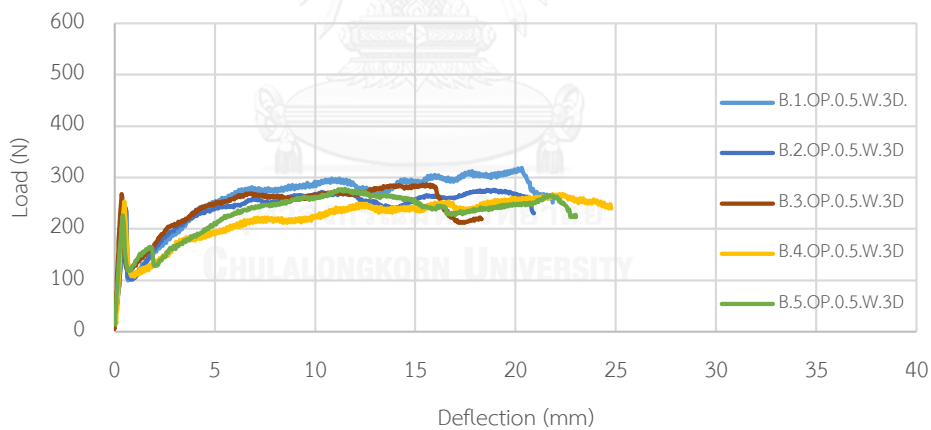
(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

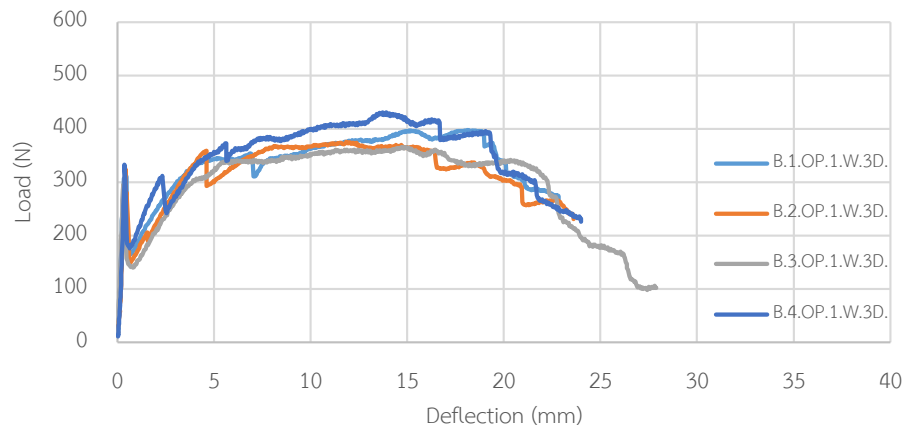
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.22 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)

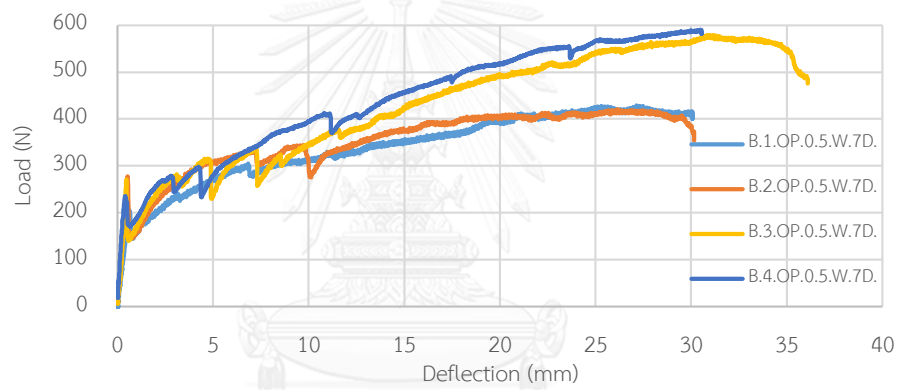
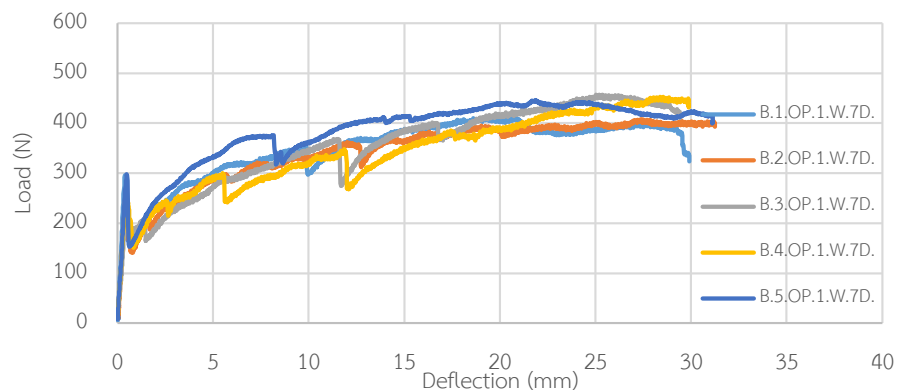
4.4.1.2. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการห่อพลาสติก

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 กับระยะเวลาการบ่ม 3 และ 7 วัน แสดงดังรูปที่ 4.23 – 4.24 โดยระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 0.5 และ 1 จะใช้วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศเหมือนกันซึ่งได้แสดงไปข้างต้น

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

(ข) $W/W_{GCC} = 1$

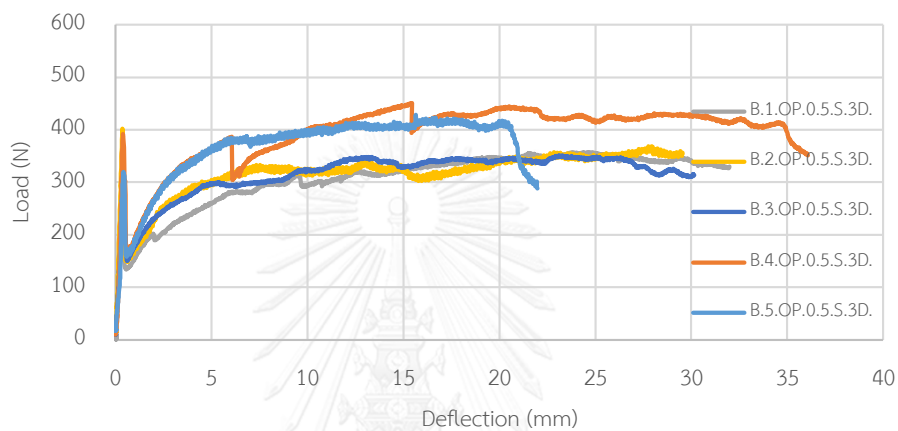
รูปที่ 4.23 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มห่อพลาสติก)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

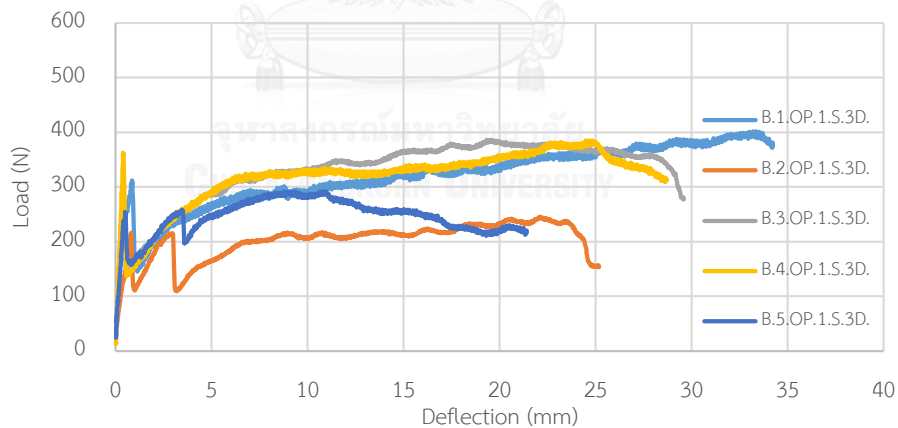
รูปที่ 4.24 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มห่อพลาสติก)

4.4.1.3. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการแช่น้ำ

ผลของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 กับระยะเวลาการบ่ม 37 และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.25-4.27 โดยระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 0.5 และ 1 จะใช้วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศเหมือนกันซึ่งได้แสดงไปข้างต้น สำหรับการทดสอบแรงดัดที่เพิ่มระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มาเพราะวิธีการบ่มแบบแช่น้ำสามารถพัฒนากำลังให้กับซีเมนต์เพสต์ในแผ่น GCC ได้และดูพฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่น GCC ในระยะยาว โดยมีผลการทดสอบดังนี้

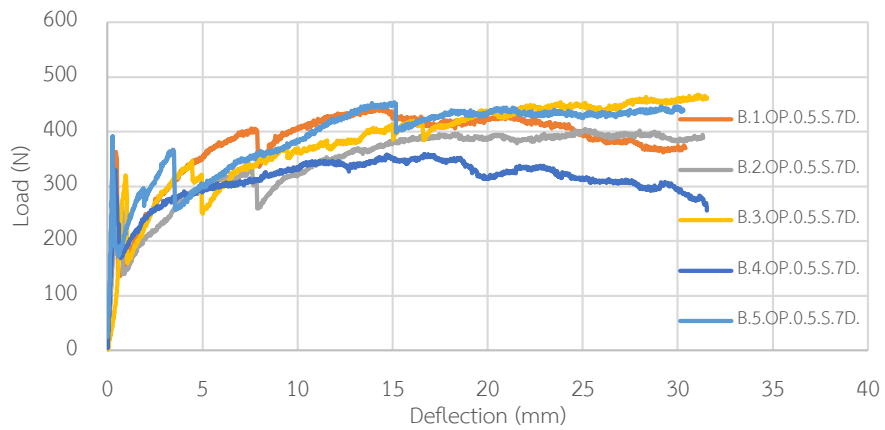
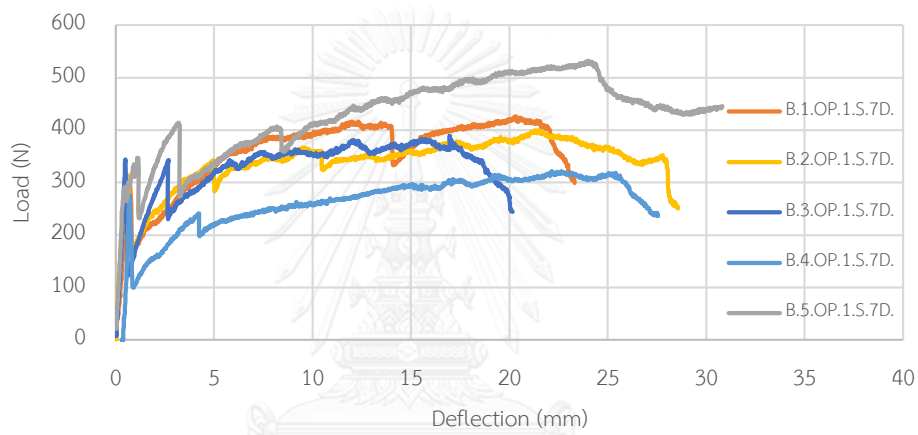


(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

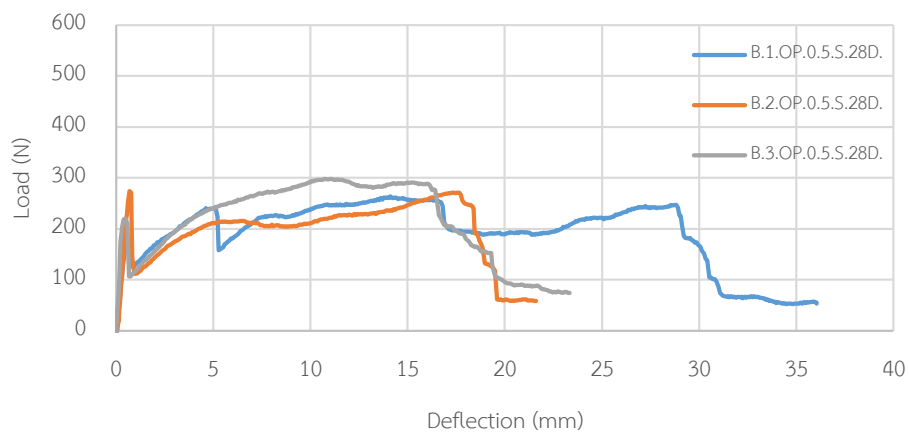


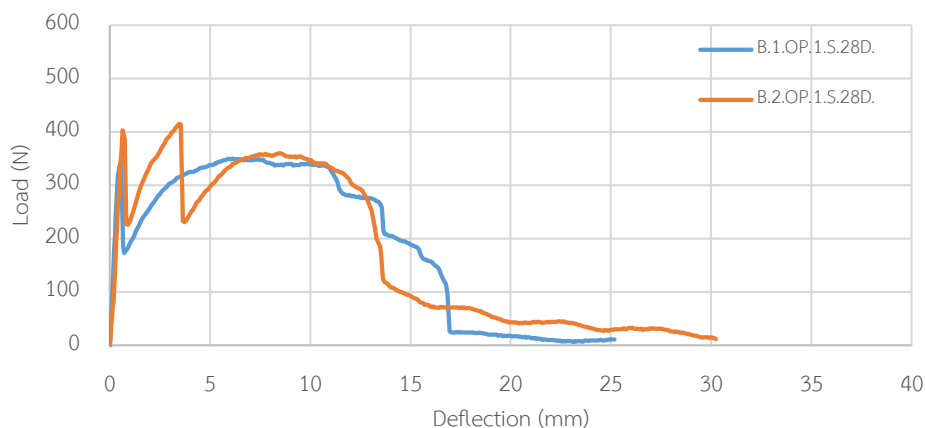
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.25 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.26 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$



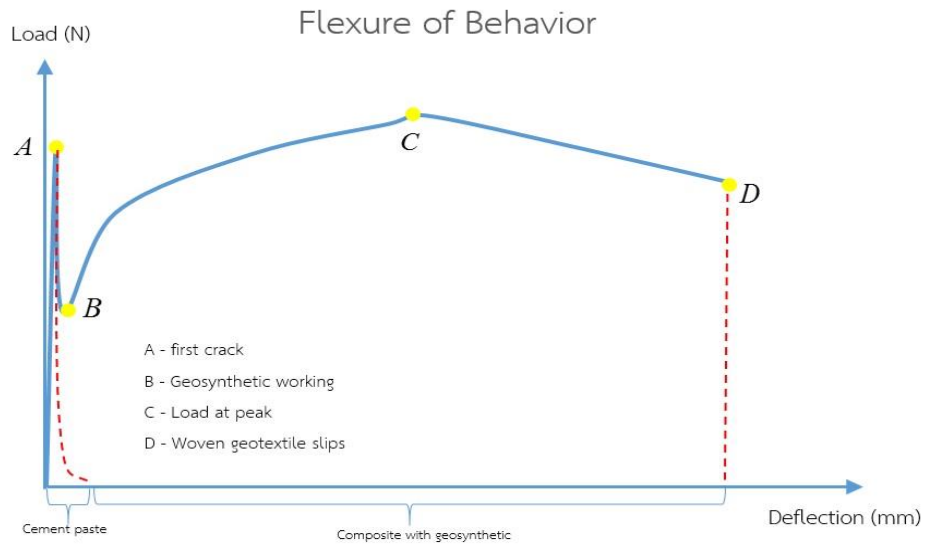
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.27 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยมือที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

จากผลการทดสอบข้างต้นสามารถนำกราฟมาเฉลี่ยเพื่อนำกราฟเพียงกรณีละ 1 ตัวอย่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีอื่น โดยมีการเฉลี่ยเป็นแบบเลือกจุดในการเฉลี่ย เนื่องจากไม่สามารถนำค่ามาเฉลี่ยกันโดยตรง และวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์เป็นวัสดุคอมโพสิตที่มี 2 วัสดุประกอบอยู่นั้นคือ ซีเมนต์ และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ จึงมีการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัด และมีขั้นตอนเลือกจุดดังนี้

4.4.1.4. พฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

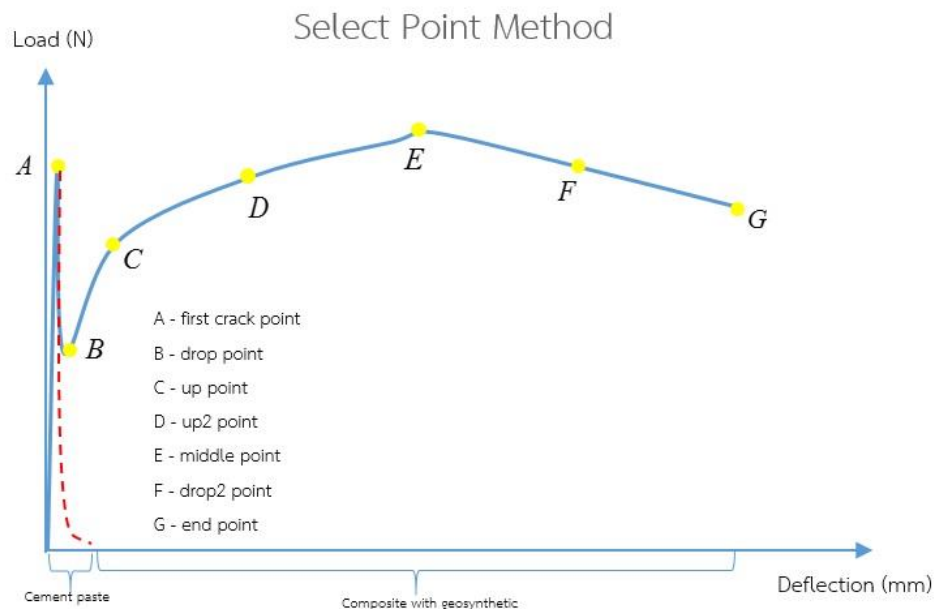
การรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.28 ในช่วงแรกของการรับแรงดัด จะมีซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอรับแรงดัด โดยความต้านทานแรงดัดของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับความหนาของซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ วิธีการบ่มและระยะเวลาการบ่ม เมื่อแรงดัดเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด A หรือ เรียกว่า จุดเริ่มต้นการแตกร้าว (First Crack) ในจุดนี้ซีเมนต์เพสต์ไม่สามารถรับแรงดัดได้ การนำแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอเย็บด้านล่างของแผ่น GCC เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการรับแรงดึง ทำให้พฤติกรรมต่อจากการแตกร้าวถึงจุด B ซึ่งจะเป็นจุดที่ซีเมนต์เพสต์ไม่สามารถรับแรงดัดได้และในขณะนั้นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะเป็นวัสดุทำหน้าที่รับแรงดึงแทน โดยความต้านทานรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะขึ้นอยู่กับกระบวนการเย็บที่ยึดติดระหว่างแผ่นซีเมนต์เพสต์และชนิดของเส้นใยสังเคราะห์ เมื่อแรงดัดเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด C ซึ่งเป็นจุดสูงสุดของการรับแรงดัดของแผ่น GCC (Peak load) และหลังจากจุด D แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ที่ถูกเย็บติดกับแผ่นซีเมนต์เพสต์จะเริ่มหลุดออกเป็นคลื่นชั้นทำให้วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์(GCC) รับกำลังลดลงจนถึงจุด D คือจุดที่แผ่นเส้นใยสังเคราะห์หลุดออกจากแผ่นซีเมนต์เพสต์(Woven Geotextiles Slips) ทำให้ไม่สามารถรับแรงได้ต่อ



รูปที่ 4.28 พฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์

การเลือกจุดของการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ

การเลือกจุดในกราฟการรับแรงดัดของแผ่น GCC โดยจะเลือกจุดที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการรับแรงดัดมากที่สุดเพื่อมาเฉลี่ยหากราฟของการรับแรงดัดในแต่ละกรณีโดยมีทั้งหมด 7 จุดดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 การเลือกของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากรูป 4.29 จะเห็นว่าจุดที่เลือกคือ 1. รอยแตกครั้งแรก (First crack point) 2. จุดตกครั้งที่ 1 (drop point) 3. จุดขึ้นครั้งที่ 1 (up point) 4. จุดขึ้นครั้งที่ 2 (up2 point) 5. จุดกึ่งกลาง

(middle point) 6. จุดตกครั้งที่ 2(drop2 point) 7. จุดสิ้นของกราฟ (end point) จากการเลือกจุดนี้สามารถหากราฟของการทดสอบความต้านทานแรงดัดในแต่ละกรณีได้อย่างละ 1 กรณีและสามารถนำกราฟเหล่านั้นมาเปรียบเทียบ

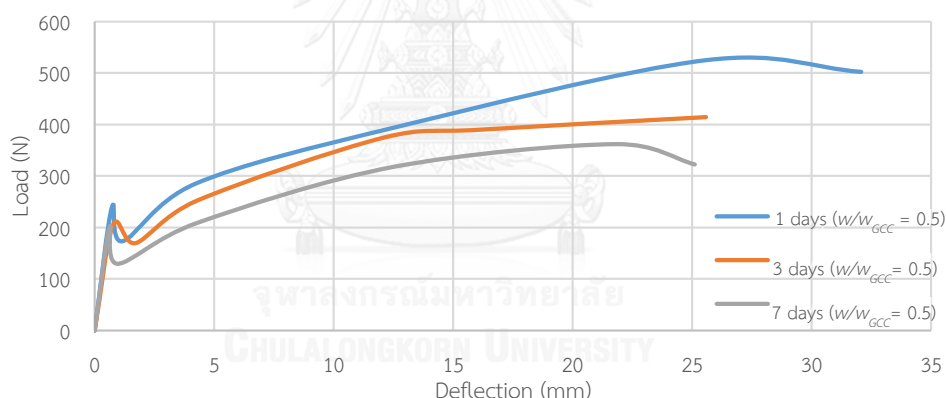
4.4.1.5. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ

โดยจะแบ่งออกเป็น 3 วิธีการบ่มดังนี้

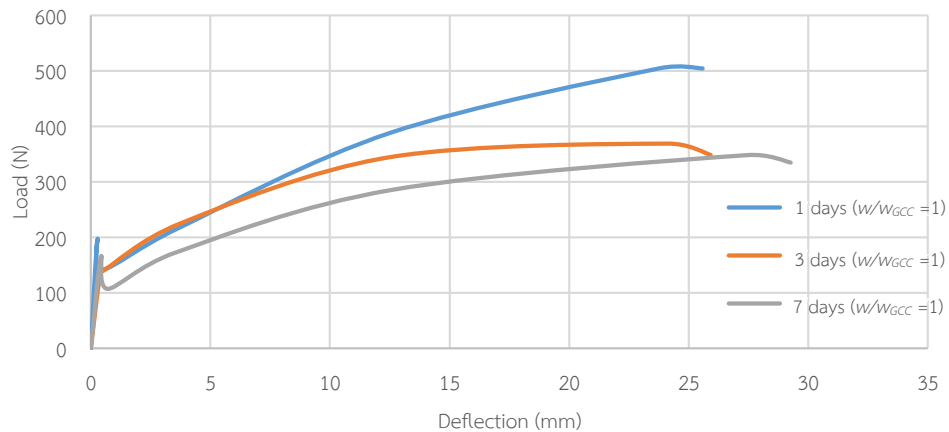
4.4.1.5.1 การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศ

โดยการทดสอบจะมีอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 กับระยะเวลาการบ่มที่ 13 และ 7 วันดังนี้

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโดยใช้ประเภทสามแรงกระทำผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะการโก่งของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับเวลาการบ่ม 1 3 และ 7 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.30 และ 4.31



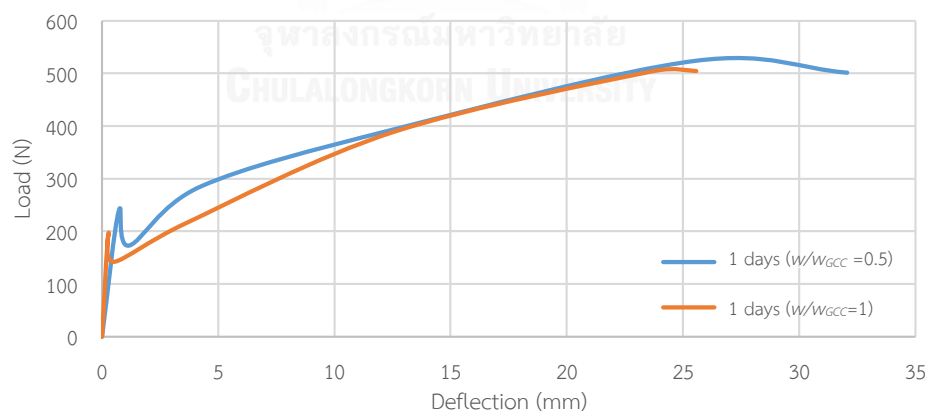
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ



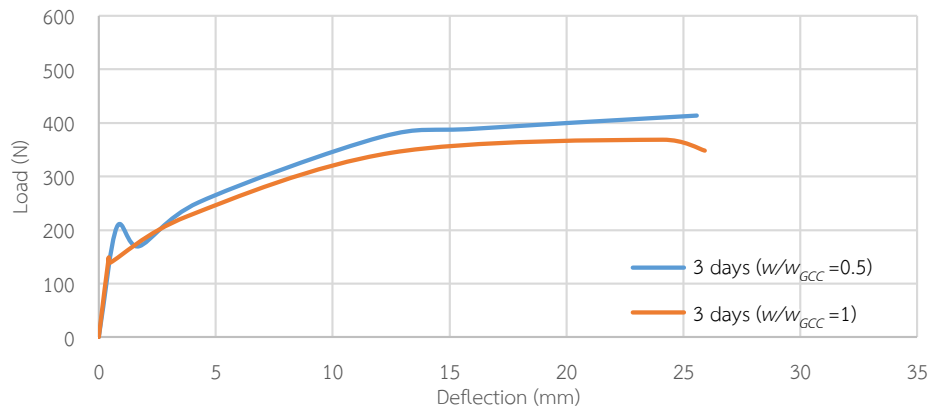
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากรูปที่ 4.30 และ 4.31 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่บ่มเป็นเวลา 1 วัน นั้นมีความต้านทานรับแรงดัดมากที่สุด เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นความต้านทานแรงดัดจะลดลง เนื่องจากการระเหยออกจากชั้นซีเมนต์ทำให้กำลังไม่พัฒนา

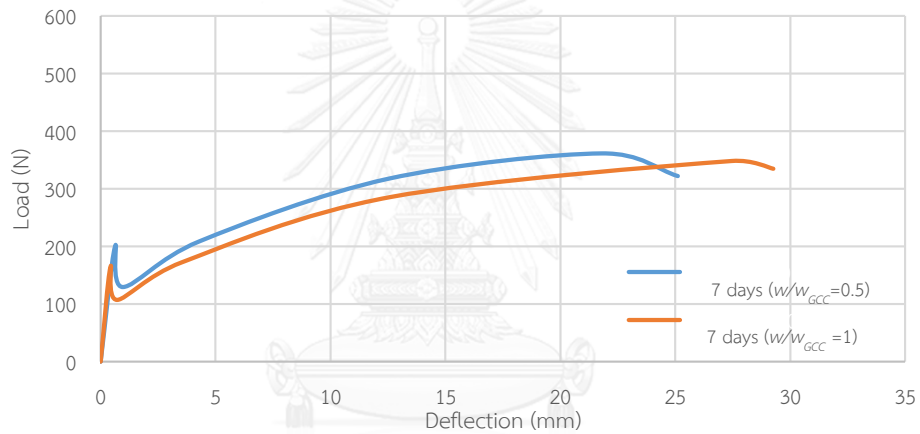
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.32, 4.33 และ 4.34 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 0.5$ จะรับแรงดัดช่วงแรกได้มากกว่า 1 เนื่องจากอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ มีน้อยกว่า ทั้งการบ่มที่ 1, 3 และ 7 วัน



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

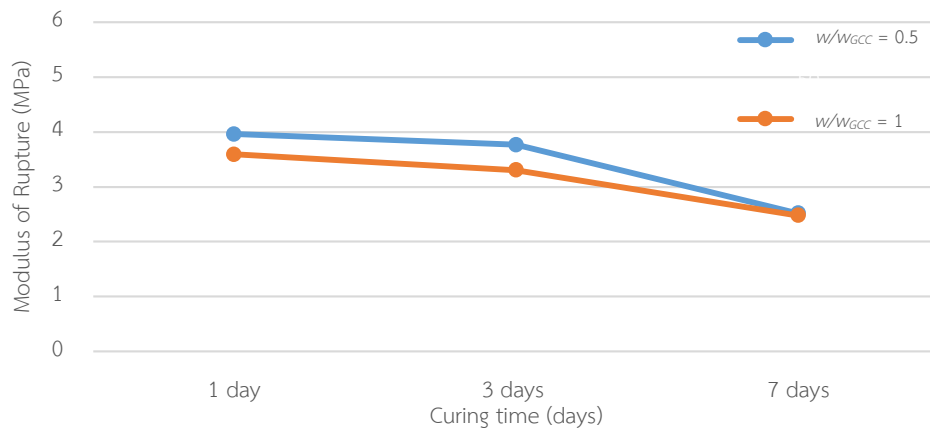


รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดัด (Flexural strength) หรือโมดูลัสแตกหัก (*MOR*) และโมดูลัสยืดหยุ่น (*MOE*) ดังตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.35 และ 4.36

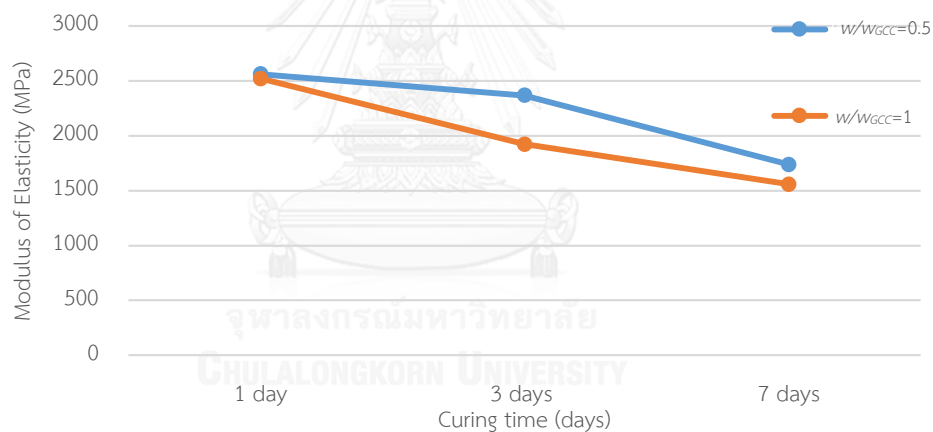
ตารางที่ 4.9 ค่าโมดูลัสแตกหัก (*MOR*) และโมดูลัสยืดหยุ่น (*MOE*) ของแผ่น GCC

โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture,MPa)							
ชนิดของ GCC	วิธีการบ่ม	W/W _{GCC}	ทิศทาง	1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน
OP	บ่มอากาศ	0.5	Width	3.96	3.8	2.5	-
		1	Width	3.59	3.3	2.5	-
	บ่มท่อพลาสติก	0.5	Width	3.96	2.68	4.48	-
		1	Width	3.59	2.8	4.24	-
	บ่มแช่น้ำ	0.5	Width	3.96	3.7	4.6	2.46
		1	Width	3.59	3.29	4.1	2.32
NP	บ่มแช่น้ำ	0.5	Width	7.99	8.43	9.44	9.93
			Length	4.04	5.75	5.95	6.61
NPF	บ่มแช่น้ำ	0.5	Width	-	-	10.5	10.1
	บ่มแช่น้ำ		Length	-	-	7.29	7.78
โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity,MPa)							
ชนิดของ GCC	วิธีการบ่ม	W/W _{GCC}	ทิศทาง	1 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน
OP	บ่มอากาศ	0.5	Width	2561	2368.5	1737.5	-
		1	Width	2520	1922.2	1558.1	-
	บ่มท่อพลาสติก	0.5	Width	2561.1	3031.1	3172.4	-
		1	Width	2520	3244.2	3598.9	-
	บ่มแช่น้ำ	0.5	Width	2562	4243	4534.1	2497
		1	Width	2520	3486.8	3707.8	1782
NP	บ่มแช่น้ำ	0.5	Width	2134	4687	5479	7053
			Length	1383	4194	5431	6825
NPF	บ่มแช่น้ำ	0.5	Width	-	-	3877	2221
	บ่มแช่น้ำ		Length	-	-	3729	1702



รูปที่ 4.35 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากรูปที่ 4.35 จะพบว่าค่า MOR ที่อัตราส่วน w/w_{GCC} ที่ 0.5 มีค่ามากกว่า 1 เพราะ W/C น้อยกว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น MOR จะลดลง เนื่องจากการระเหยออกจากชั้นซีเมนต์ทำให้กำลังไม่พัฒนาและแผ่นเส้นใยสังเคราะห์หลุดเร็วขึ้น

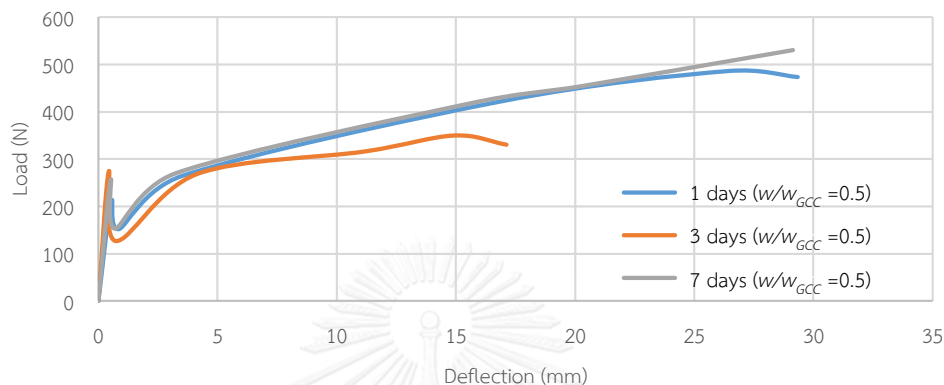


รูปที่ 4.36 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

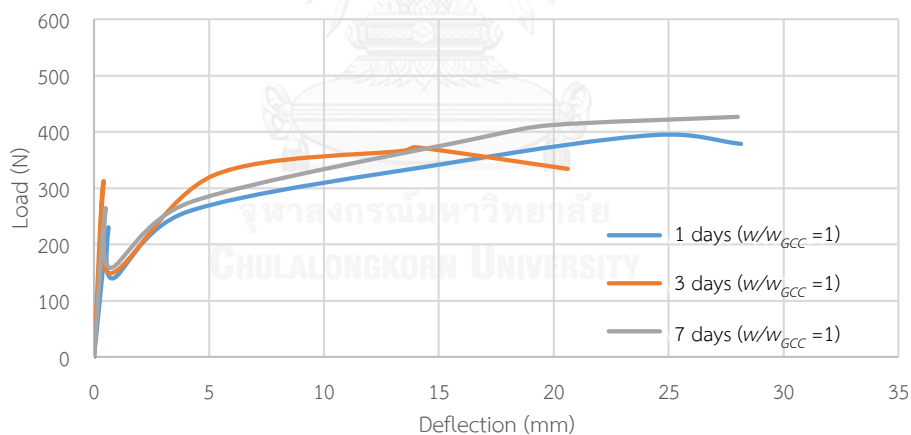
จากรูปที่ 4.36 จะเห็นว่าค่า MOE ของ วันที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากอายุการบ่มน้อยจึงยังไม่พัฒนากำลังรับแรงดัด และมีค่า MOE ของอัตราส่วนการผสมน้ำที่ 0.5 มีค่ามากกว่า 1 เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพสต์มีค่าน้อยกว่า ทำให้ชั้นซีเมนต์เพสต์สามารถรับกำลังได้มากกว่า และในระยะเวลาการบ่มที่มากขึ้นจะค่า MOE จะลดลงตามระยะเวลาการบ่ม เนื่องจากน้ำที่อยู่ในแผ่น GCC ระเหยออก ทำให้กำลังการรับแรงลดลง

4.4.1.5.2 การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด วิธีการบ่มแบบท่อพลาสติก

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโดยเปลี่ยนวิธีการบ่มเป็นแบบพลาสติก ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะการโก่งของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับ เวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.37 และ 4.38



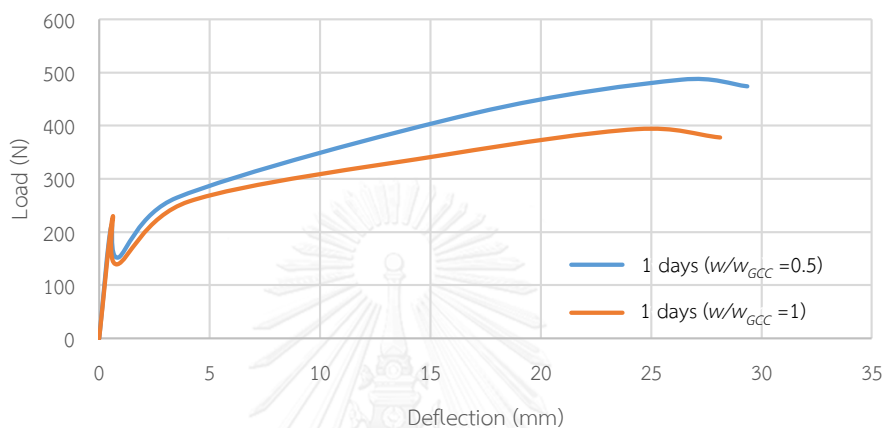
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ



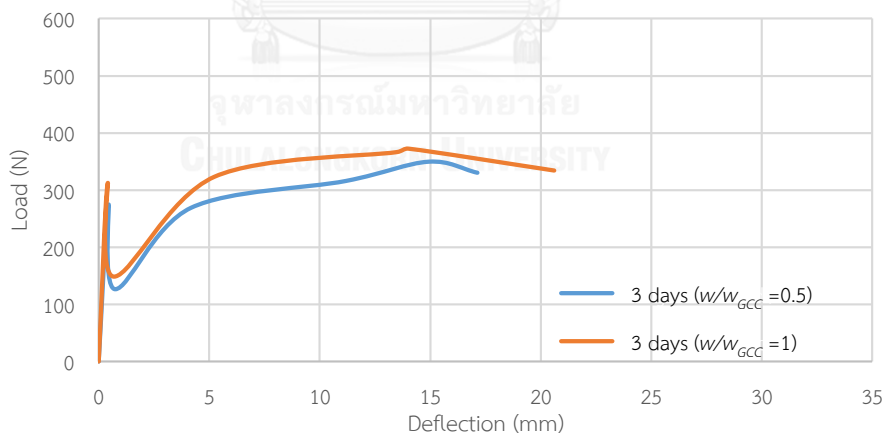
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากรูปที่ 4.37 และ 4.38 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่บ่มเป็นเวลา 7 วัน นั้นมีความต้านทานรับแรงดัดมากที่สุด แต่การรับแรงของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรกสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ค่าความต้านทานแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในวัสดุผสมซีเมนต์เส้นใยสังเคราะห์มากที่สุดคือ การบ่มที่ 3 วันสาเหตุเป็นเพราะความหนาของแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์บ่มที่ 3 วันมีค่ามากที่สุด ซึ่งเกิดจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่อยู่ในแผ่น GCC นั้นไม่สม่ำเสมอ

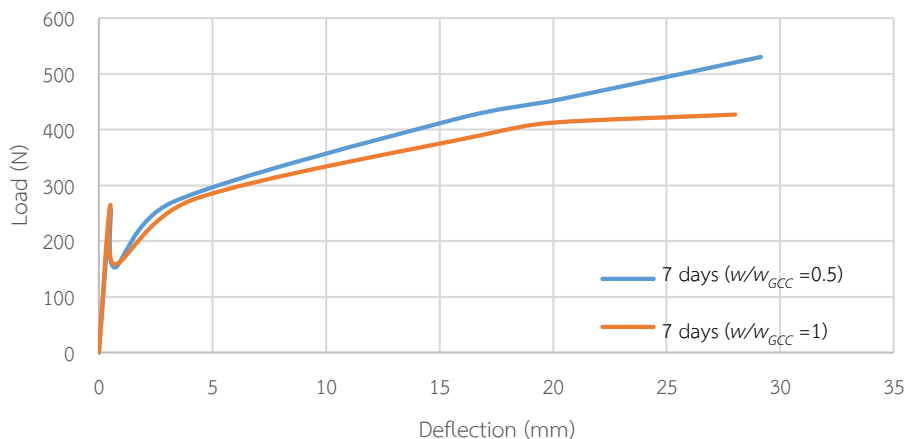
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.39 และ 4.41 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 0.5$ จะรับแรงดัดได้มากกว่า แผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 1$ เนื่องจากอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของ W/W_{GCC} มีมากกว่า ทั้งการบ่มที่ 1 และ 7 วัน ยกเว้นการบ่มวันที่ 3 แผ่น $W/W_{GCC} = 1$ จะรับแรงดัดได้มากกว่า แผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 0.5$ เพราะ ความหนาของแผ่น $W/W_{GCC} = 1$ จะรับแรงดัดได้มากกว่าแผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 0.5$



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

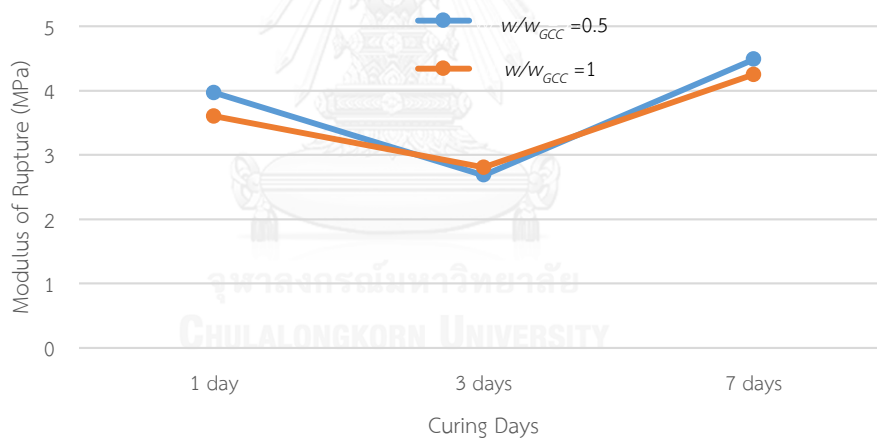


รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ



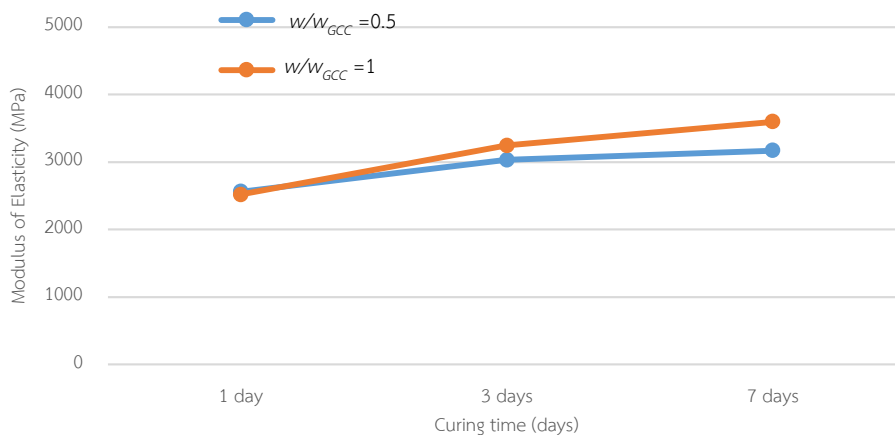
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดัด (Flexural strength) หรือโมดูลัสแตกหัก (*MOR*) และโมดูลัสยืดหยุ่น (*MOE*) ดังรูปที่ 4.42 และ 4.43 ตามลำดับ



รูปที่ 4.42 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากรูปที่ 4.42 จะพบว่า ไม่สามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาการบ่มมีอิทธิพลต่อค่า MOR เนื่องจากแผ่น GCC ชนิด OP เป็นการเย็บต้นแบบ อาจมีบางบริเวณที่เส้นใยที่เชื่อมระหว่างแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอนั้นหลุดง่าย แต่ในระยะเวลาบ่มที่ 7 วันจะมีค่า MOR มากที่สุด

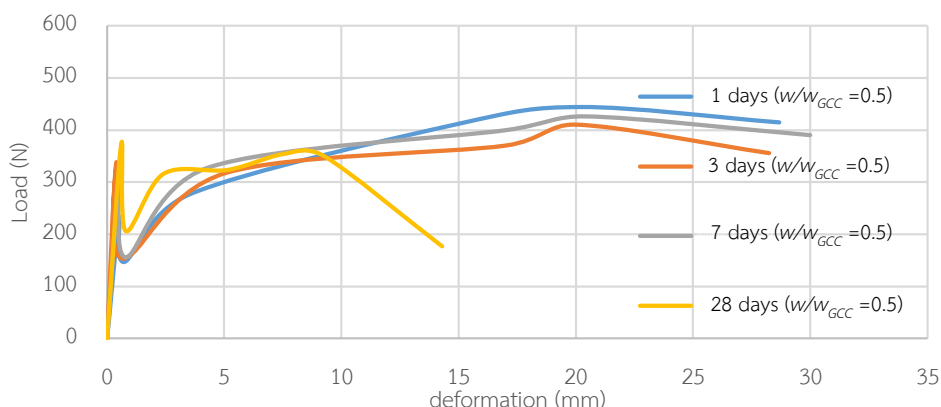


รูปที่ 4.43 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

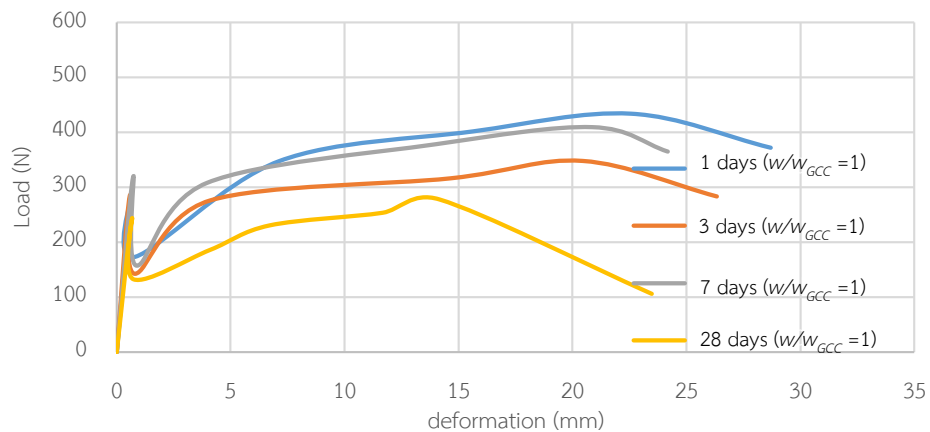
จากรูปที่ 4.43 พบว่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ $w/w_{GCC} = 1$ มีค่ามากกว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ $w/w_{GCC} = 0.5$ เพราะ แผ่นทดสอบที่มีอัตราส่วนการผสมน้ำที่ 0.5 น้ำไม่สามารถเข้าได้ทั่วถึง แต่ในขณะที่ใช้อัตราส่วนการผสมน้ำที่ 1 ใช้ปริมาณเป็น 2 เท่าของอัตราส่วนการผสมน้ำอันแรก ทำให้สามารถผสมน้ำได้ทั่วถึงมากกว่าอัตราส่วนที่ 0.5 ทำให้น้ำเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึงมากกว่า เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นค่า MOE จะเพิ่มขึ้นตาม

4.4.1.5.3 การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโดยเปลี่ยนวิธีการบ่มเป็นแบบแช่น้ำ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะการโก่งของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับ เวลาการบ่ม 137 และ 28 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.44 และ 4.45



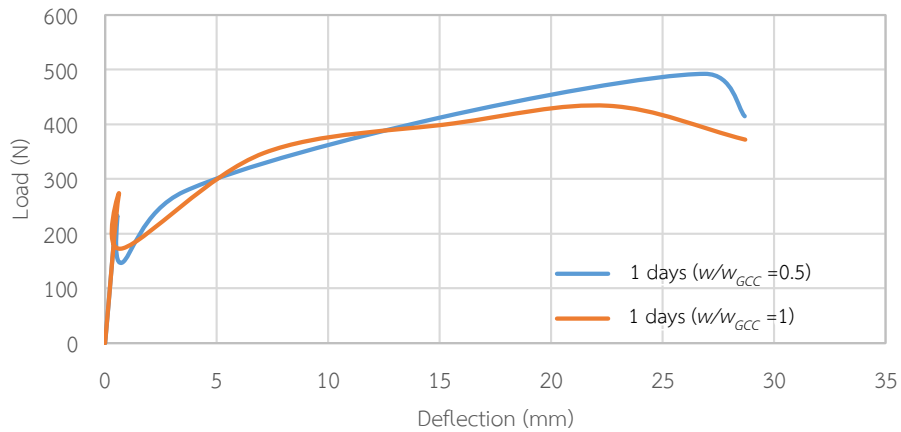
รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ



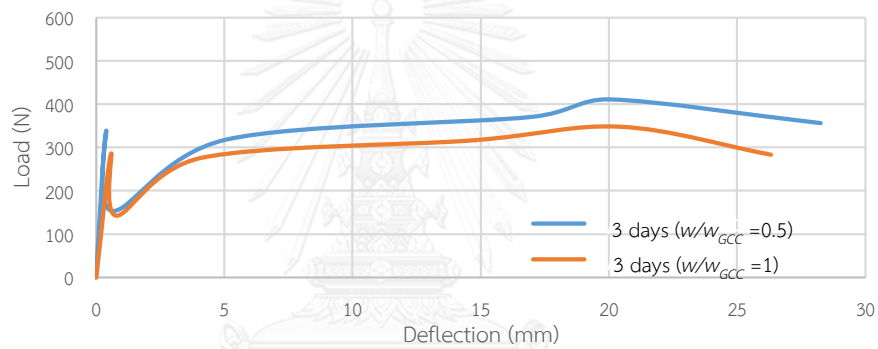
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$ ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่บ่มเป็นเวลา 1 วัน นั้นมีความต้านทานรับแรงดัดมากที่สุด ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ที่ 28 วัน มีค่ามากที่สุด เมื่อ $W/W_{GCC} = 0.5$ แต่เมื่อ $W/W_{GCC} = 1$ ค่าความต้านทานแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ที่ 28 วันมีค่าน้อยกว่า 7 วัน เป็นเพราะความหนาไม่สม่ำเสมอความต้านทานแรงดัดของชั้นซีเมนต์เพสต์ วันที่ 3 7 และ 28 วัน เมื่อ $W/W_{GCC} = 0.5$ มากกว่า 1 เนื่องจาก W/C น้อยกว่าความต้านทานแรงดัดของ $W/W_{GCC} = 0.5$ กับ 1 จะใกล้เคียงกัน ยกเว้น วันที่ 28 แผ่นเส้นใยสังเคราะห์จะหลุดเร็ว เนื่องจากแช่น้ำนานเกินไป

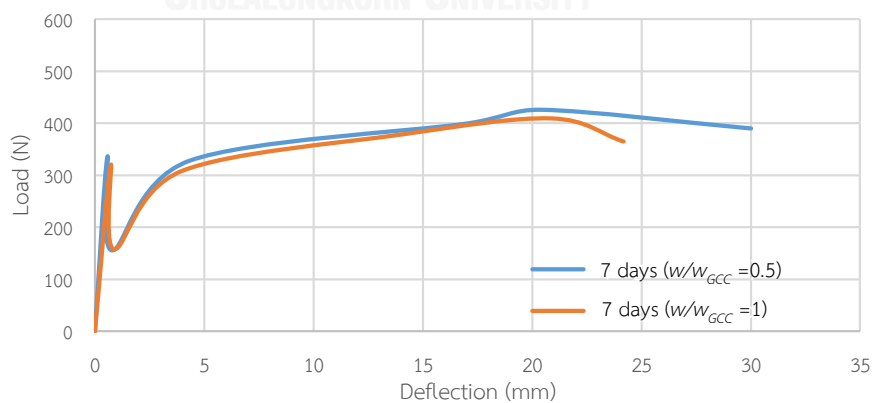
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.46, 4.47, 4.48 และ 4.49 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 0.5$ จะรับแรงดัดได้มากกว่า แผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 1$ เนื่องจากอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ของ W/W_{GCC} มีน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่อายุการบ่มเดียวกัน



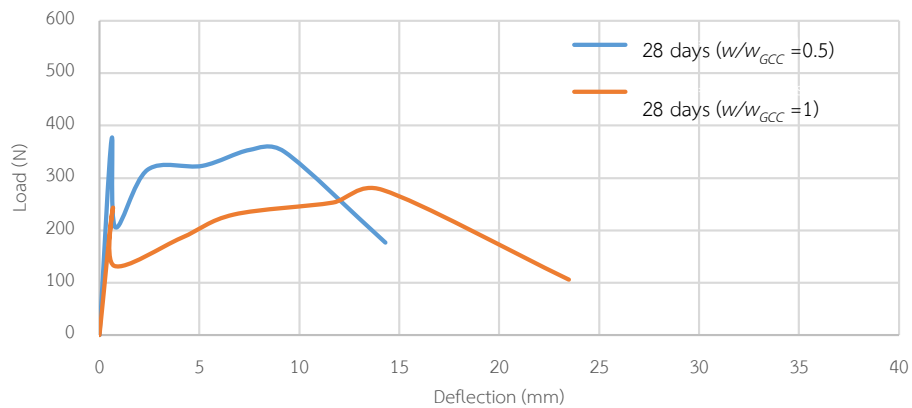
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ



รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

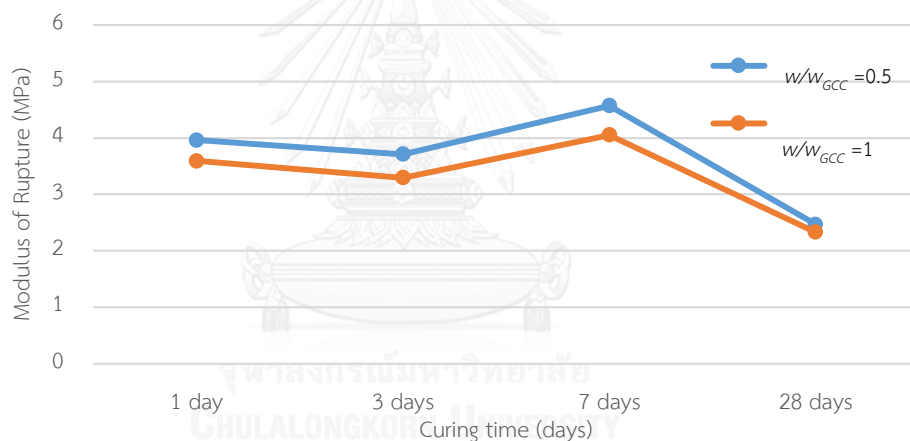


รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ



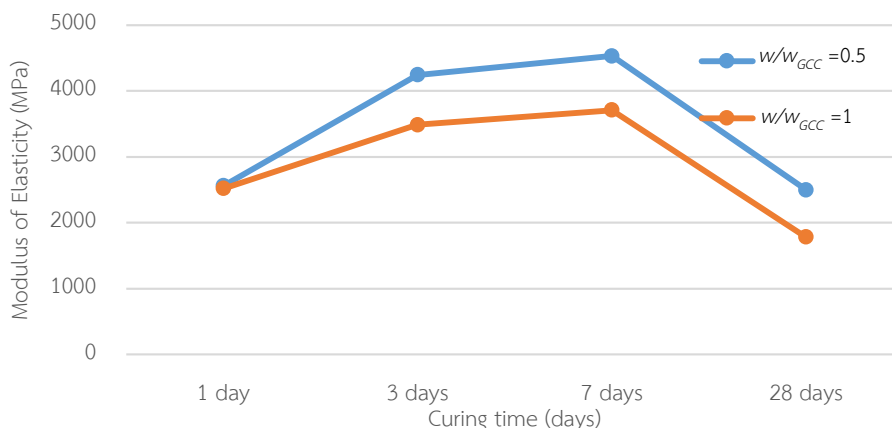
รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดัด (Flexural strength) หรือโมดูลัสแตกหัก (*MOR*) และโมดูลัสยืดหยุ่น (*MOE*) ดังรูปที่ 4.50 และ 4.51 ตามลำดับ



รูปที่ 4.50 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

จากรูปที่ 4.50 จะพบว่าค่าโมดูลัสแตกหักที่วันที่ 1 และ 3 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับอัตราส่วนเดียวกัน แต่ 7 วันมีค่าสูงสุด ค่าโมดูลัสแตกหักที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีค่าน้อยลง เนื่องจากเส้นใยที่เย็บระหว่างชั้นของซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอนั้นเกิดการเสื่อมสภาพหรือเส้นใยเปื่อย ทำให้เมื่อแผ่น GCC ที่ 28 วัน ได้รับแรงดัดจะเกิดการหลุดของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอได้



รูปที่ 4.51 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

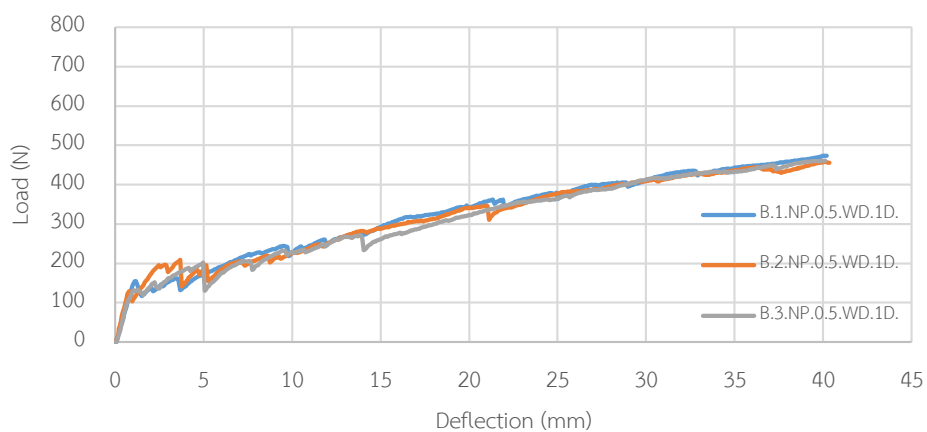
จากรูปที่ 4.51 จะพบว่าค่ามอดูลัสยืดหยุ่นในระยะการบ่มที่ 1 วัน มีค่าน้อยและยังไม่พัฒนา กำลังรับแรงดัดจึงทำให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าใกล้เคียงกัน ในระยะเวลา 1 ถึง 7 วัน ชั้นซีเมนต์เพสต์ พัฒนาตามระยะเวลาการบ่ม แต่ระยะเวลาที่ 28 มีค่าน้อยสุด เนื่องจากแผ่นเส้นใยสังเคราะห์หลุดเร็ว อัตราส่วน $W/W_{GCC} = 0.5$ ค่ามากกว่า 1 เพราะ W/C น้อยกว่า

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของทั้ง 3 วิธีการบ่ม จะเห็นว่าวิธีการบ่มแบบแช่น้ำจะดีที่สุด ที่อัตราส่วน $W/W_{GCC} = 0.5$ ในการรับแรงดัดในระยะการบ่มที่ 7 วันจะมีค่ามากที่สุด ใน 3 วิธีการบ่ม ยกเว้นระยะเวลาการบ่มที่ 28 วันของวิธีการบ่มแบบแช่น้ำนั้นทำให้เส้นใยที่เชื่อมระหว่างแผ่นเส้นใยสังเคราะห์กับชั้นซีเมนต์เพสต์มีการเสื่อมสภาพทำให้รับแรงได้น้อยกว่าที่ 7 วันและวิธีการห่อแบบพลาสติกจะมีค่ามอดูลัสแตกหักและมอดูลัสยืดหยุ่นน้อยกว่าวิธีการแช่น้ำ

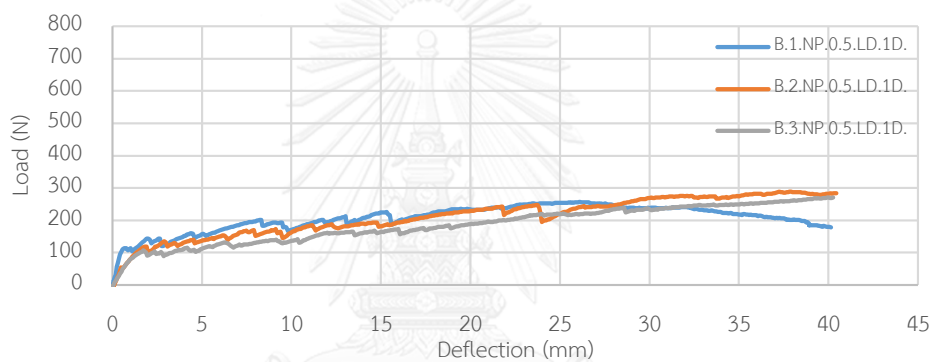
4.4.2. ความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product)

4.4.2.1. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

การทดสอบจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 กับระยะเวลาการบ่ม 137 และ 28 วัน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.52 4.53 4.54 และ 4.55 เนื่องจากแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ในขั้นตอนของกระบวนการเย็บ แผ่น GCC นั้นจะมีความเสียหายของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ จึงทำให้ต้องเพิ่มตัวแปรศึกษาในแผ่น GCC ชนิดนี้คือ ทิศทางการรับแรงคือ ตามยาว (Length direction) ตามขวาง (Width direction)

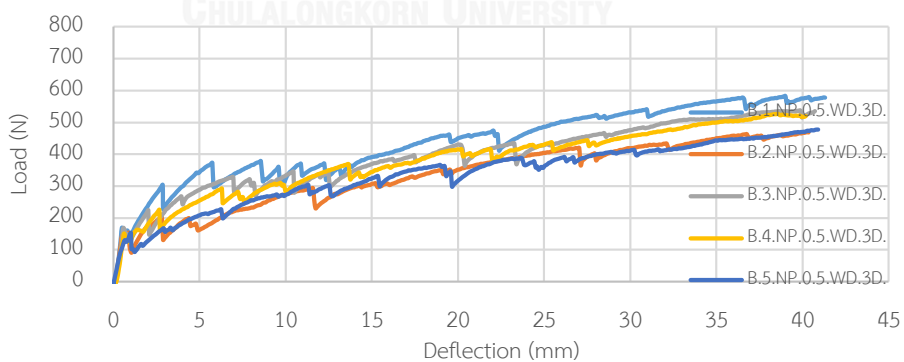


(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

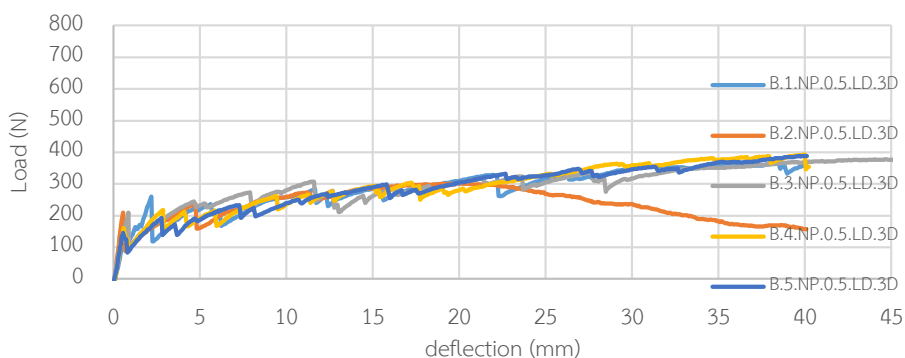


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.52 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีบ่มแช่น้ำ)

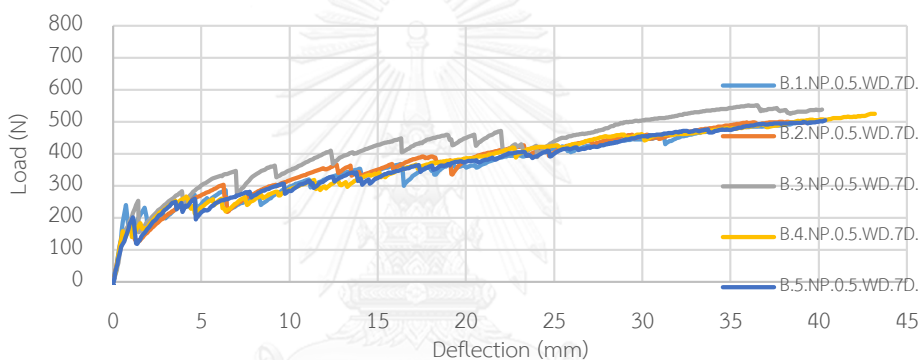


(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

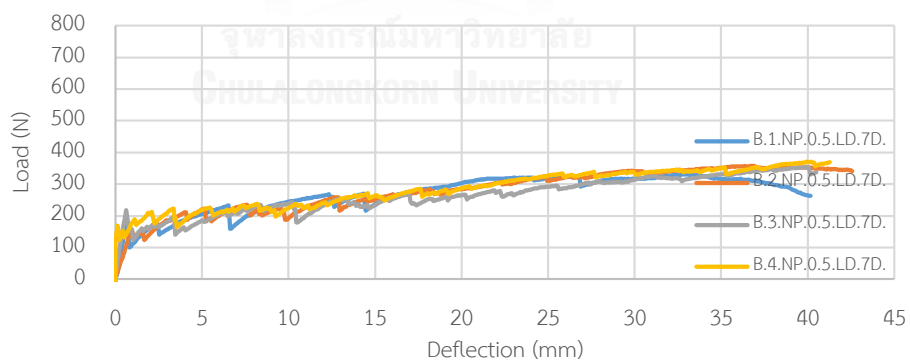


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.53 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

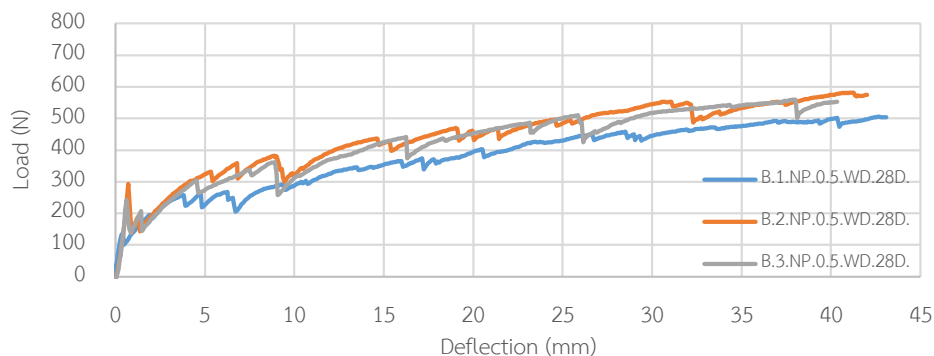


(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

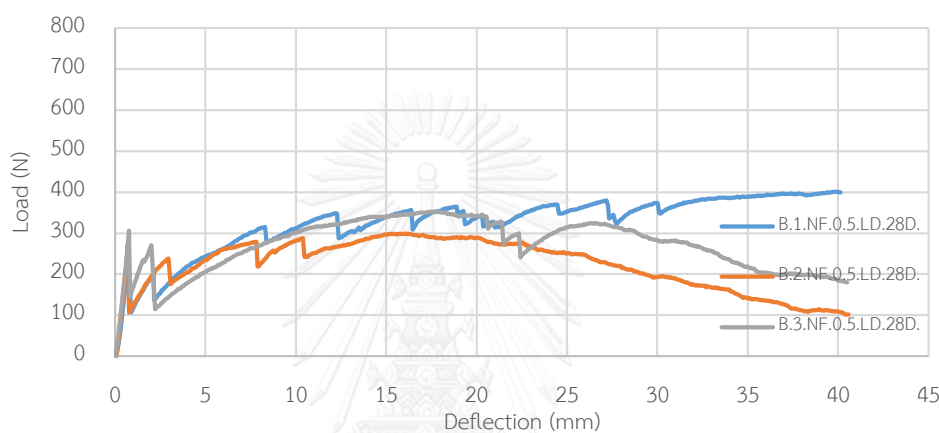


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.54 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)



(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)



(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

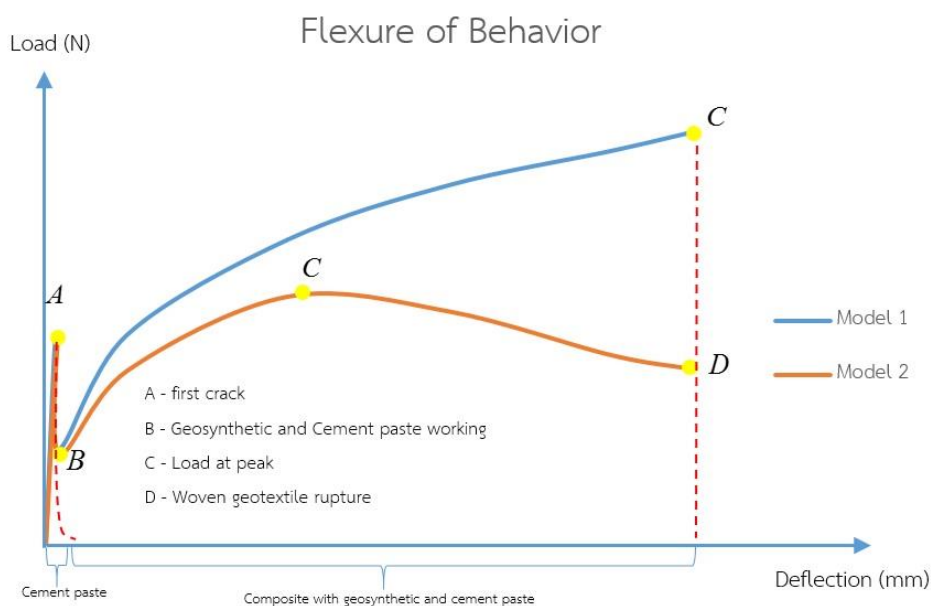
รูปที่ 4.55 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

จากผลการทดสอบข้างต้นสามารถนำกราฟมาเฉลี่ยเพื่อนำกราฟเพียงกรณีละ 1 ตัวอย่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีอื่น โดยมีการเฉลี่ยเป็นแบบเลือกจุดในการเฉลี่ย จึงมีการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดัด และมีขั้นตอนเลือกจุดดังนี้

4.4.2.2. พฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

การรับแรงดัดของแผ่นซีเมนต์สังเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.56 ในช่วงแรกของการรับแรงดัด จะมีซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอรับแรงดัด โดยความต้านทานแรงดัดของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับความหนาของซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ วิธีการบ่มและระยะเวลาการบ่ม เมื่อแรงดัดเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด A หรือ เรียกว่า จุดเริ่มต้นการแตกร้าว (First Crack) ในจุดนี้ซีเมนต์เพสต์จะเริ่มมีการแตกร้าว การนำแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอเย็บด้านล่างของแผ่น GCC เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการรับแรงดึง ทำให้พฤติกรรมต่อจากการแตกร้าวถึงจุด B ซึ่งจะเป็นจุดที่ซีเมนต์เพสต์ยังสามารถรับแรงดัดได้บางส่วนและในขณะนั้นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะเป็นวัสดุทำ

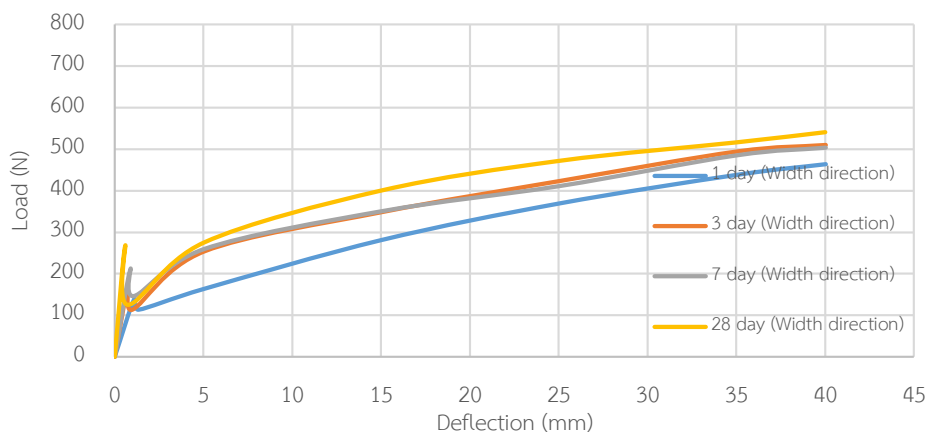
หน้าที่รับแรงดัดแทน (Geosynthetic and Cement Working) โดยความต้านทานรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะขึ้นอยู่กับกระบวนการเย็บที่ยึดติดระหว่างแผ่นซีเมนต์เพสต์และชนิดของเส้นใยสังเคราะห์ เมื่อแรงดัดเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด C ซึ่งเป็นจุดสูงสุดของการรับแรงดัดของแผ่น GCC (Peak load) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 (Model 1) เป็นการรับแรงดัดที่จุดรับแรงดัดได้สูงสุดที่ระยะโก่งมากที่สุด และรูปแบบที่ 2 (Model 2) จะเป็นการรับแรงดัดได้สูงสุดบริเวณกลางของกราฟ ส่วนใหญ่การรับแรงดัดของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรจะมีลักษณะกราฟเป็นรูปแบบที่ 1 เนื่องจากกระบวนการเย็บด้วยเครื่องจักรนั้นทำให้ ความยืดหยุ่นของแผ่น GCC มีมากทำให้แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ไม่เกิดการขาดและหลุดออกจากกัน แต่รูปแบบที่ 2 จะเริ่มขาดซึ่งพฤติกรรมนี้จะเกิดกับแผ่น GCC ที่มีทิศทางตามยาวเท่านั้นและหลังจากจุด C แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ที่เริ่มขาดทำให้วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (GCC) รับกำลังลดลงจนถึงจุด D คือจุดที่แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ขาด (Woven Geotextiles rupture) ทำให้ไม่สามารถรับแรงได้อีก



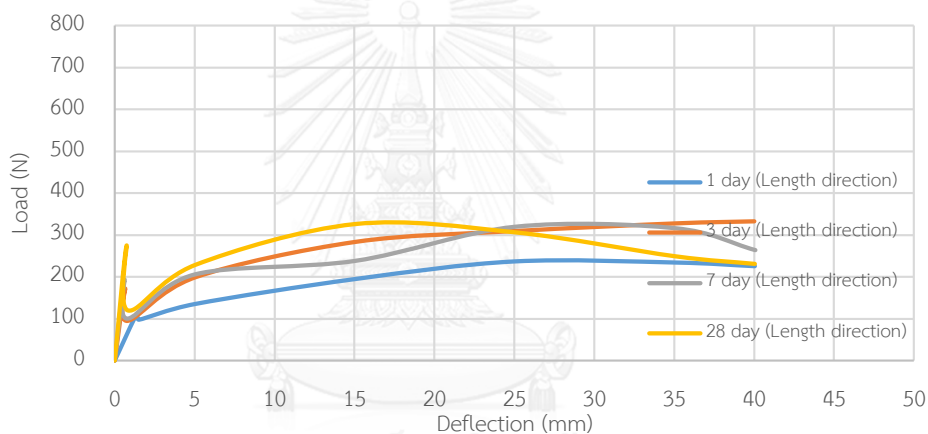
รูปที่ 4.56 พฤติกรรมการรับแรงดัดของแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์

การเลือกจุดของการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

การเลือกจุดในกราฟการรับแรงดัดของแผ่น GCC โดยจะเลือกจุดที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการรับแรงดัดมากที่สุดเพื่อมาเฉลี่ยหากราฟของการรับแรงดัดในแต่ละกรณีโดยมีทั้งหมด 6 จุดดังรูปที่ 4.57



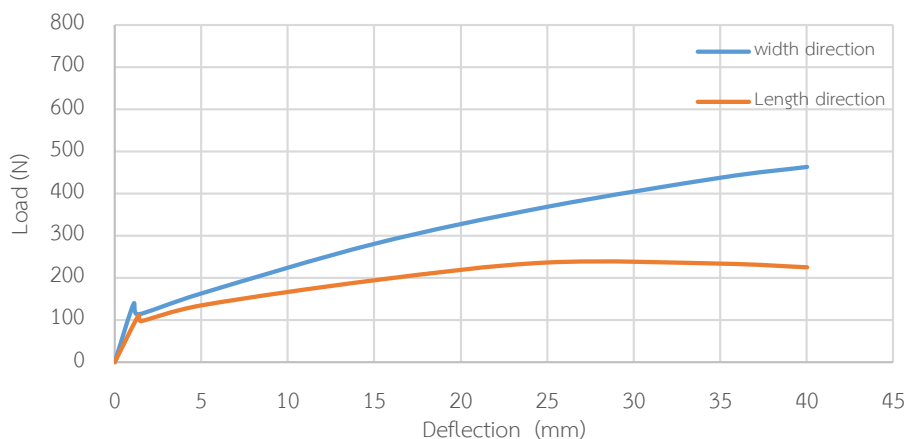
รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร ทิศทางตามขวาง(Width direction)



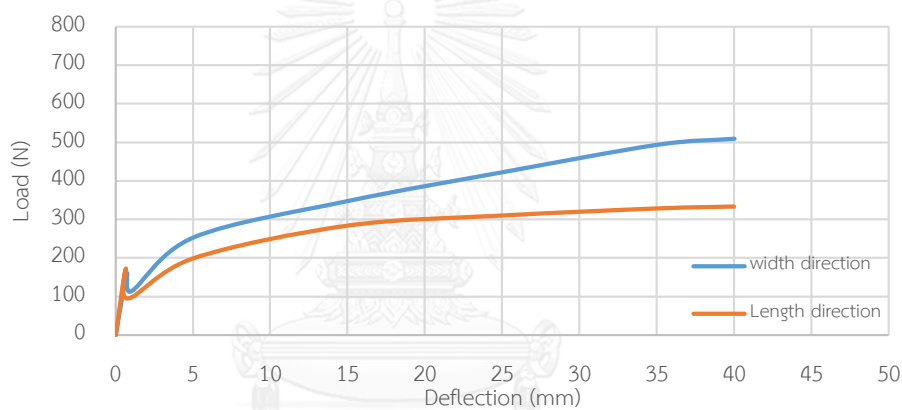
รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร ทิศทางตามยาว (Length direction)

จากรูปที่ 4.58 และ 4.59 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่บ่มเป็นเวลา 28 วัน นั้นมีความต้านทานรับแรงดัดมากที่สุด และค่าการรับแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรกสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ค่าความต้านทานแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในแผ่น GCC มากที่สุดคือ การบ่มที่ 28 วัน

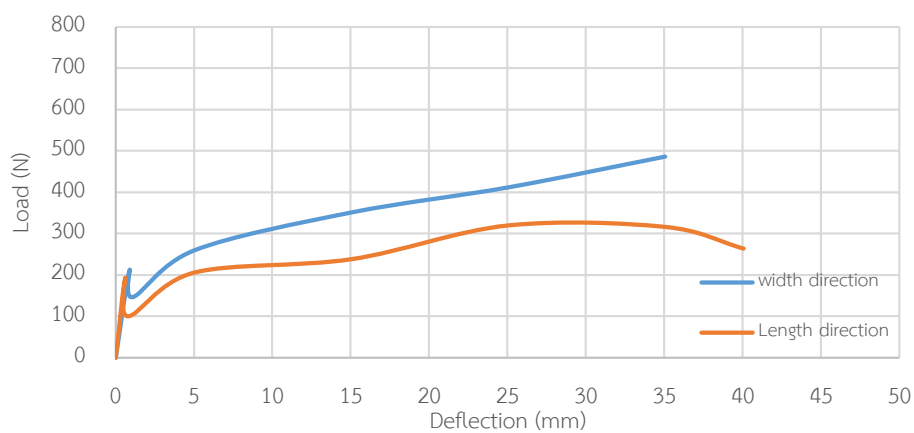
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่ทิศทางการเย็บแตกต่างกันของแผ่น GCC แสดงดังรูปที่ 4.60, 4.61, 4.62 และ 4.63 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มีทิศทางการเย็บตามขวางจะสามารถรับแรงดัดได้มากกว่า เนื่องจากกระบวนการเย็บของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรนั้นมีความเสียหายในทิศทางการยาว ทั้งการบ่มที่ 13, 7 และ 28 วัน



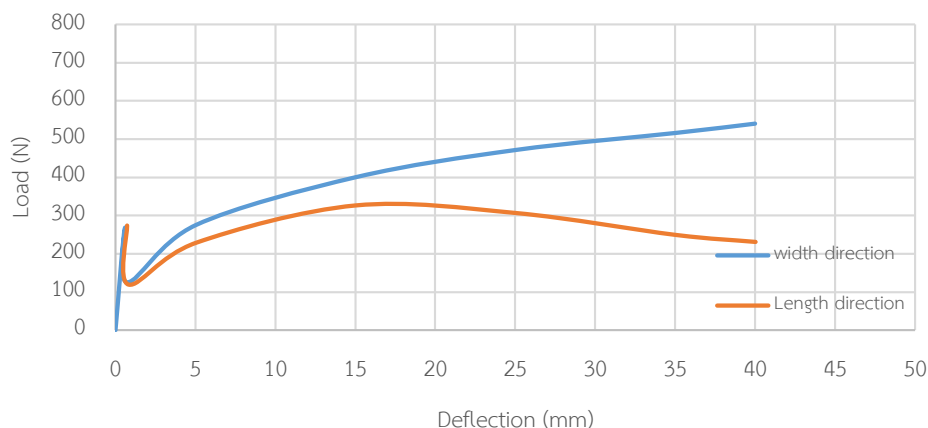
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร



รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

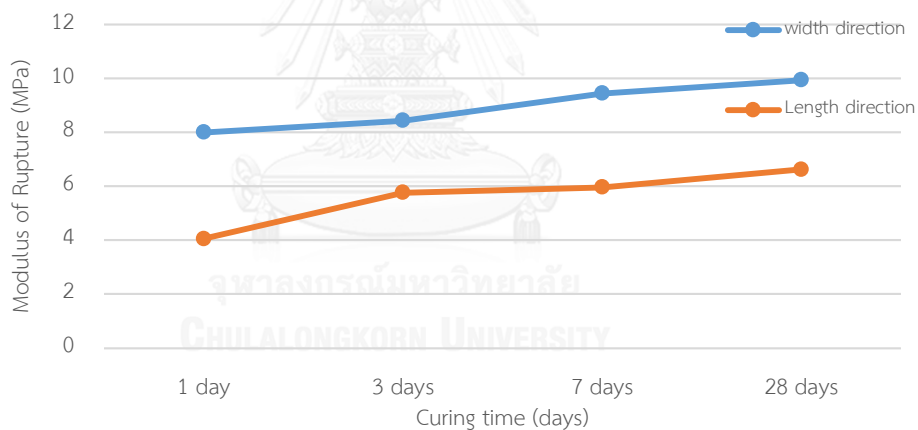


รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วันของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร



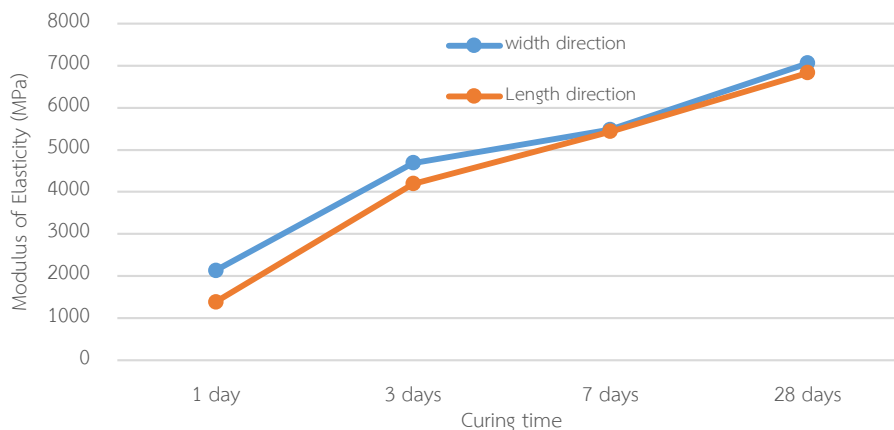
รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วันของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดัด (Flexural strength) หรือโมดูลัสแตกหัก (*MOR*) และโมดูลัสยืดหยุ่น (*MOE*) ดังรูปที่ 4.64 และ 4.65 ตามลำดับ



รูปที่ 4.64 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องมือ

จากรูปที่ 4.64 จะพบว่า ค่าโมดูลัสแตกหักจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม และค่าโมดูลัสแตกหักของทิศทางตามขวางจะมีค่ามากกว่าตามยาวเนื่องจากทิศทางตามยาวเกิดความเสียหายจากการเย็บของเครื่องจักร



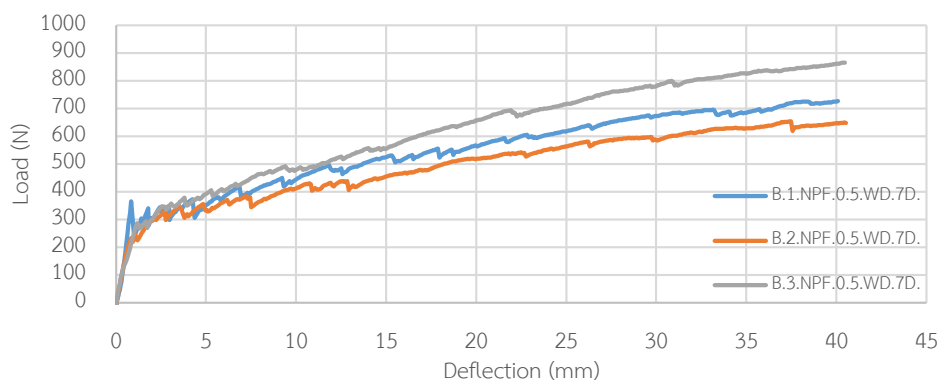
รูปที่ 4.65 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร

จากรูปที่ 4.65 จะพบว่าระยะการบ่มที่ 1 และ 3 วัน มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากชั้นซีเมนต์เพสต์ที่มีอายุการบ่มที่น้อยทำให้เกิดการแตกร้าวเร็ว ดังนั้นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะเป็นตัวช่วยในการรับแรง แต่แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทิศทางตามขวางจะรับแรงได้มากกว่าตามยาวเนื่องจากทิศทางตามยาวเกิดความเสียหายจากการเย็บของเครื่องจักร แต่เมื่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากชั้นซีเมนต์เพสต์มีการพัฒนากำลังรับแรงเพิ่มขึ้น

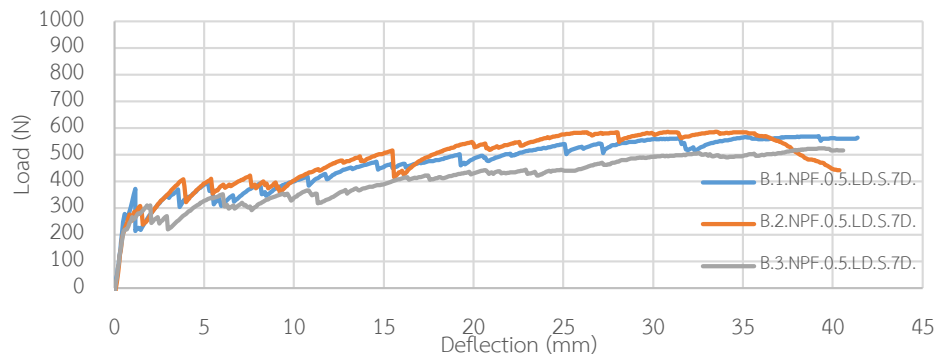
4.4.3. ความต้านทานการรับแรงตัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมเส้นใย (New product add fiber)

4.4.3.1. การทดสอบความต้านทานแรงตัดด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากการทดสอบจะผลของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 กับระยะเวลาการบ่ม 7 และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.66 และ 4.67

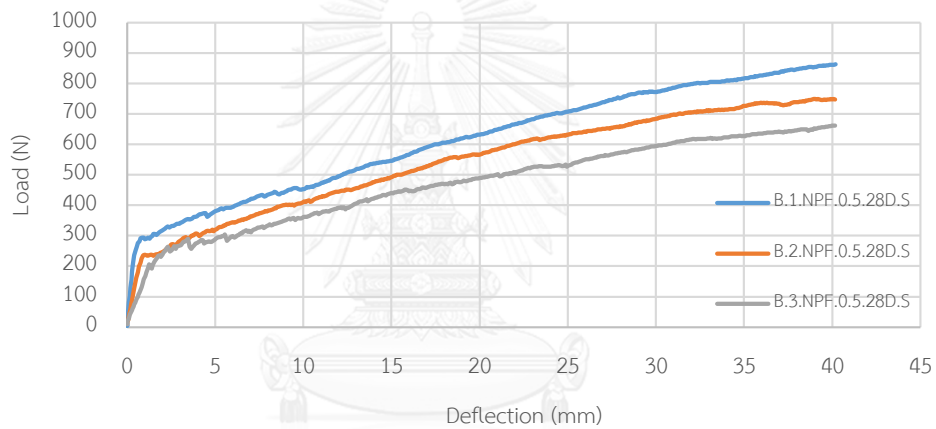


(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

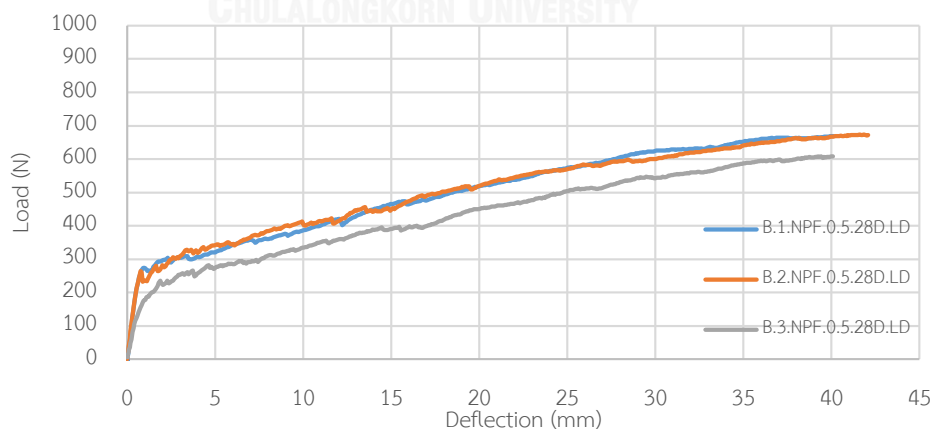


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.66 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่ม
บ่มแช่น้ำ)



(ค) ทิศทางตามขวาง (Width direction)



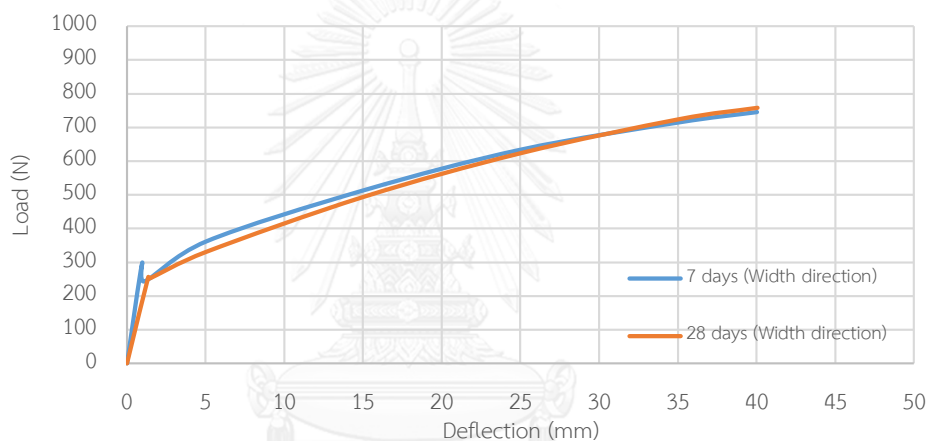
(ง) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.67 ผลทดสอบแรงดัด GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการ
บ่มแช่น้ำ)

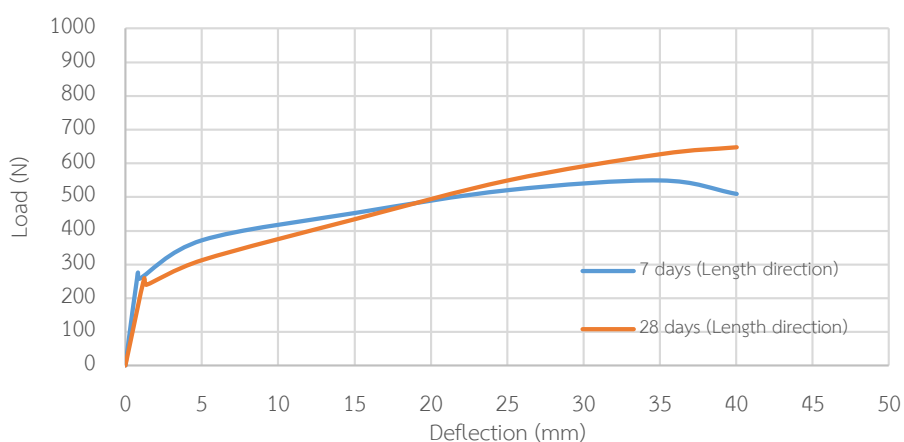
จากผลการทดสอบข้างต้นสามารถนำกราฟมาเฉลี่ยเพื่อหากราฟเพียงกรณีละ 1 ตัวอย่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีอื่น โดยมีการเฉลี่ยเป็นแบบเลือกจุดในการเฉลี่ย โดยพฤติกรรมการรับแรงดัดและขั้นตอนการเลือกจุดจะเหมือนกับพฤติกรรมการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

4.4.3.2. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดัด

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดวิธีการบ่มเป็นแบบแช่น้ำใซ้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 เท่ากันหมดทุกแผ่น ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะการโก่งของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ เวลาการบ่ม 7 และ 28 วัน และทิศทางการรับแรง ตามยาว (Length direction) และตามขวาง (Width direction) โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.68 และ 4.69



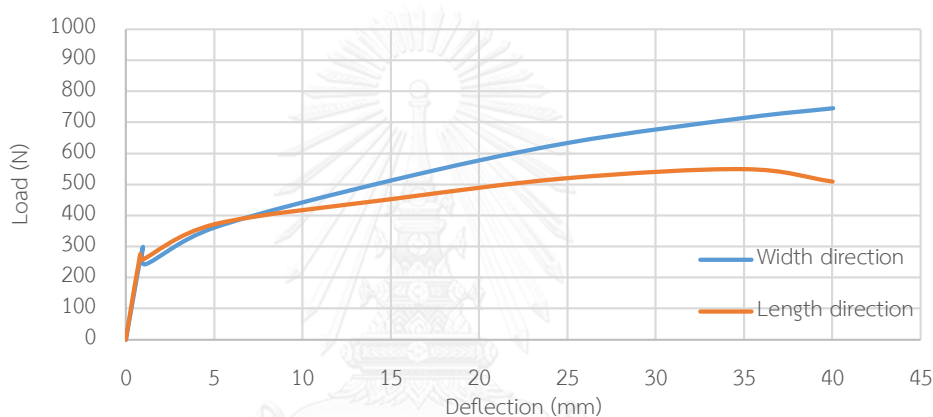
รูปที่ 4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ ทิศทางตามขวาง(Width direction)



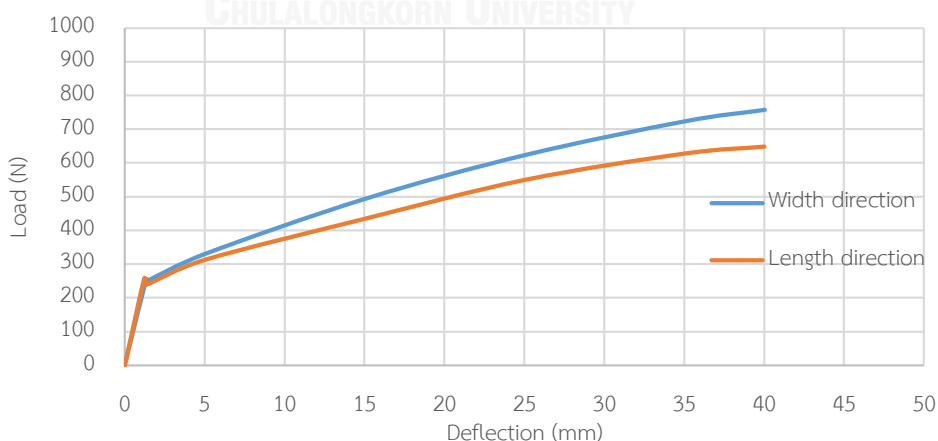
รูปที่ 4.69 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$ ของแผ่น GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ ทิศทางตามยาว (Length direction)

จากรูปที่ 4.68 และ 4.69 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน กับ 28 วัน ทั้ง 2 ทิศทางคือตามขวาง มีค่าใกล้เคียงกันแต่ทิศทางตามยาวมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากมีแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอมีเส้นใยถักทอบางส่วนเกิดขาดก่อน ทำให้เห็นว่าวัสดุผสมซีเมนต์โดยสังเคราะห์ชนิดเสริมเส้นใย เมื่อมีระยะเวลาการบ่มมากขึ้น จะทำให้ความต้านทานแรงดัดใกล้เคียงกับระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่ทิศทางการเย็บแตกต่างกันของแผ่น GCC แสดงดังรูปที่ 4.70 และ 4.71 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มีทิศทางตามขวางจะสามารถรับแรงดัดได้มากกว่า เนื่องจากกระบวนการเย็บของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรนั้นมีความเสียหายในทิศทางตามยาว ทั้งการบ่มที่ 7 และ 28 วัน

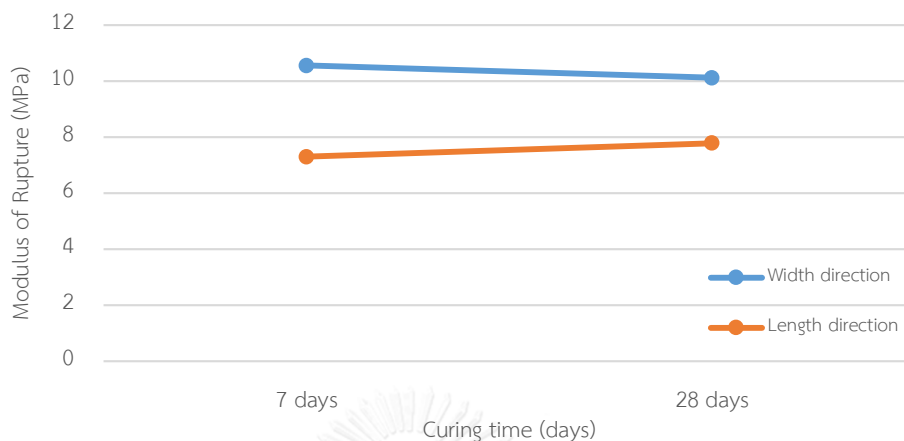


รูปที่ 4.70 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วันของแผ่น GCC ชนิดเสริมด้วยไฟเบอร์



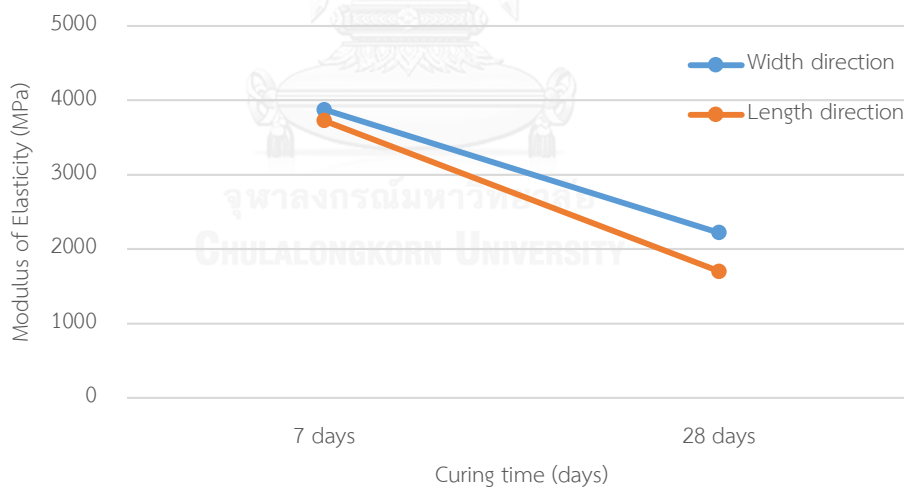
รูปที่ 4.71 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วันของแผ่น GCC ชนิดด้วยเครื่องจักร

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดัด (Flexural strength) หรือโมดูลัสแตกหัก (*MOR*) และโมดูลัสยืดหยุ่น (*MOE*) ดังรูปที่ 4.72 และ 4.73 ตามลำดับ



รูปที่ 4.72 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์

จากรูปที่ 4.72 จะพบว่า ค่าโมดูลัสแตกหักที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน กับ 28 วัน จะมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าโมดูลัสแตกหักของทิศทางตามขวางจะมีค่ามากกว่าตามยาวเนื่องจากทิศทางตามยาวเกิดความเสียหายจากการเย็บของเครื่องจักร



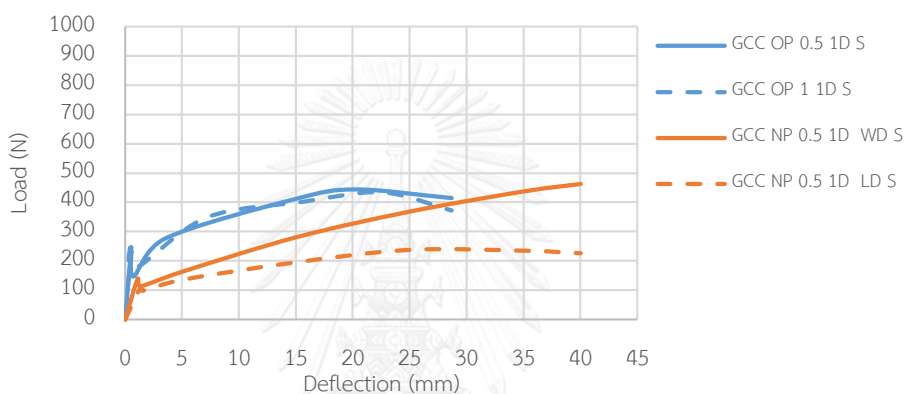
รูปที่ 4.73 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์

จากรูปที่ 4.73 จะพบว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะลดลงตามระยะเวลาการบ่ม เนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใยในชั้นซีเมนต์ไม่ดี

4.4.4. การเปรียบเทียบความต้านทานการรับแรงดัดของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด

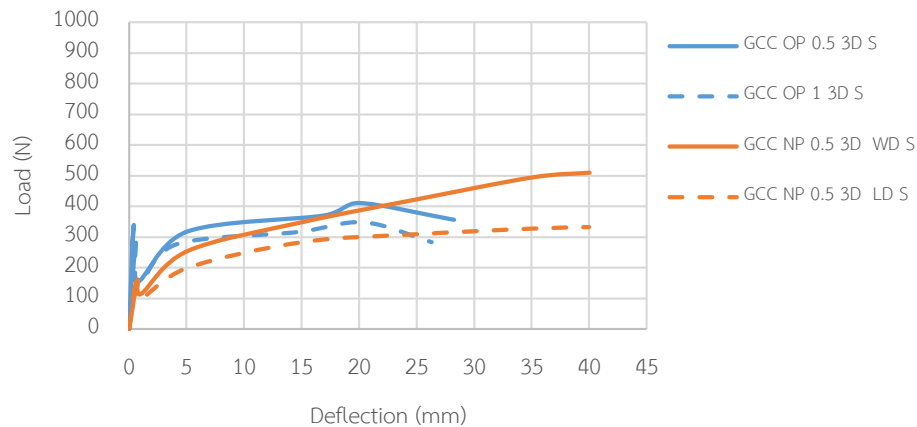
การเปรียบเทียบการรับแรงดัดของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิดนี้ โดยจะเลือกอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ที่ 0.5 และ 1 ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ และทิศทางตามขวางและตามยาวของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรและเสริมเส้นใย เปรียบเทียบวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ โดยจะเลือกระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 7 และ 28 วันอย่างไรก็ตามวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมเส้นใยจะเตรียมตัวอย่างที่ 7 และ 28 วัน

การเปรียบเทียบจะมีอัตราการพรมที่ 0.5 และ 1 กับทิศทางการรับแรงตามขวางและยาวของแผ่น GCC ในระยะเวลาการบ่ม 13 7 และ 28 ดังรูปที่ 4.74 4.75 4.76 และ 4.77



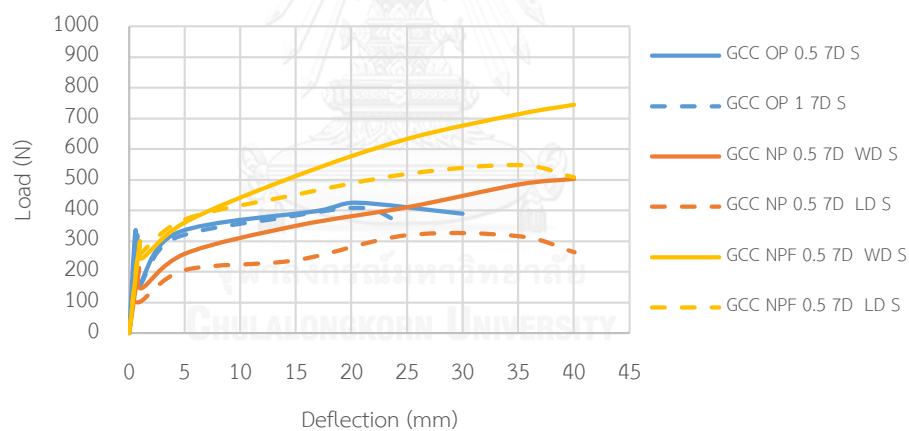
รูปที่ 4.74 ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน

จากรูปที่ 4.74 ในระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน แผ่น GCC ชนิด OP ทั้ง 2 อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 และ 1 ในช่วงแรกของการรับแรงดัดจะมีค่าสูงกว่าแผ่น GCC ชนิด NP เนื่องจากความหนาของแผ่น GCC ชนิด OP มีค่ามากกว่าแผ่น GCC ชนิด NP แต่ในช่วงหลังแผ่น GCC ชนิด OP จะรับแรงดัดได้น้อยกว่าแผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามขวาง (Width direction) ในขณะที่แผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามยาว (Length direction) น้อยกว่าที่สุดในระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน เพราะขบวนการเย็บในตามยาวเกิดความเสียหาย



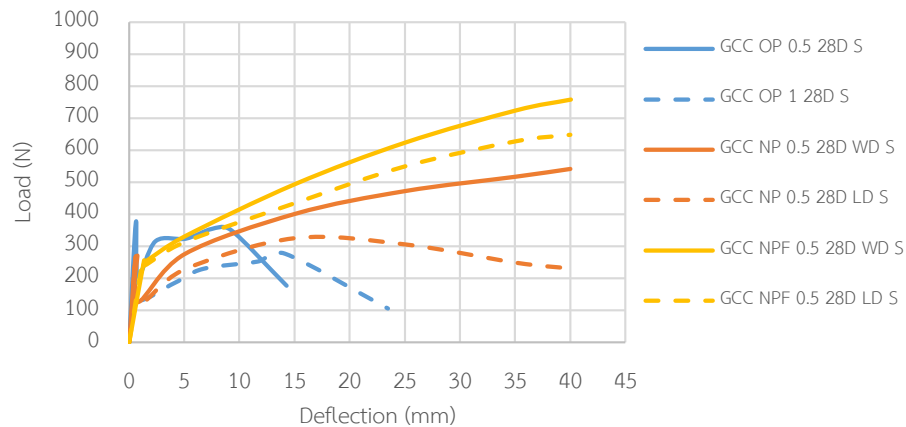
รูปที่ 4.75 ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

จากรูปที่ 4.75 การรับแรงดัดช่วงแรกของแผ่น GCC ชนิด OP ทั้ง 2 อัตราการบ่มคือ 0.5 และ 1 จะมากกว่า แผ่น GCC ชนิด NP ทั้ง 2 ทิศทางในช่วงแรก แต่ช่วงระยะหลังแผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามขวางจะมีค่ามากที่สุด และแผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามยาวจะในช่วงหลังจะมีค่าใกล้เคียงแผ่น GCC ชนิด OP อัตราส่วนพรมน้ำที่ 1



รูปที่ 4.76 ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

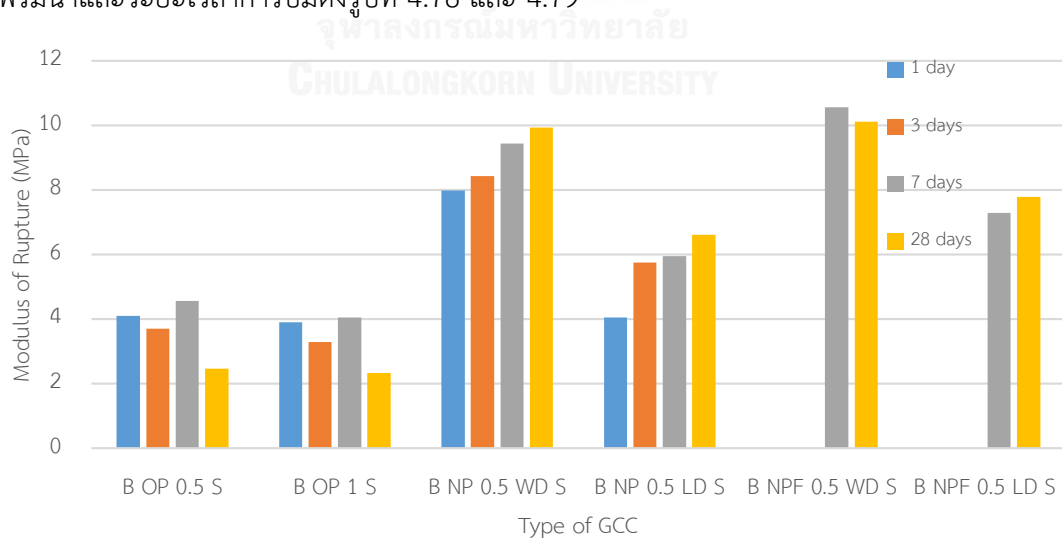
จากรูปที่ 4.76 จะเห็นว่าการรับแรงดัดของแผ่น GCC ชนิด NPF ทั้ง 2 ทิศทางจะมีค่าใกล้เคียงกับกราฟช่วงแรกของแผ่น GCC ชนิด OP ทั้ง 2 อัตราส่วนการพรม แต่แผ่น GCC ชนิด NP ในช่วงแรกจะมีค่าน้อยที่สุดและช่วงหลังแผ่น GCC ชนิด NPF สามารถรับแรงดัดได้มากที่สุด รองลงมาจะเป็นแผ่น GCC ชนิด NPF ทิศทางตามยาว แผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามขวาง แผ่น GCC ชนิด OP ทั้ง 2 อัตราส่วนการพรม และ แผ่น GCC ชนิด NPF ทิศทางตามยาวตามลำดับ



รูปที่ 4.77 ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

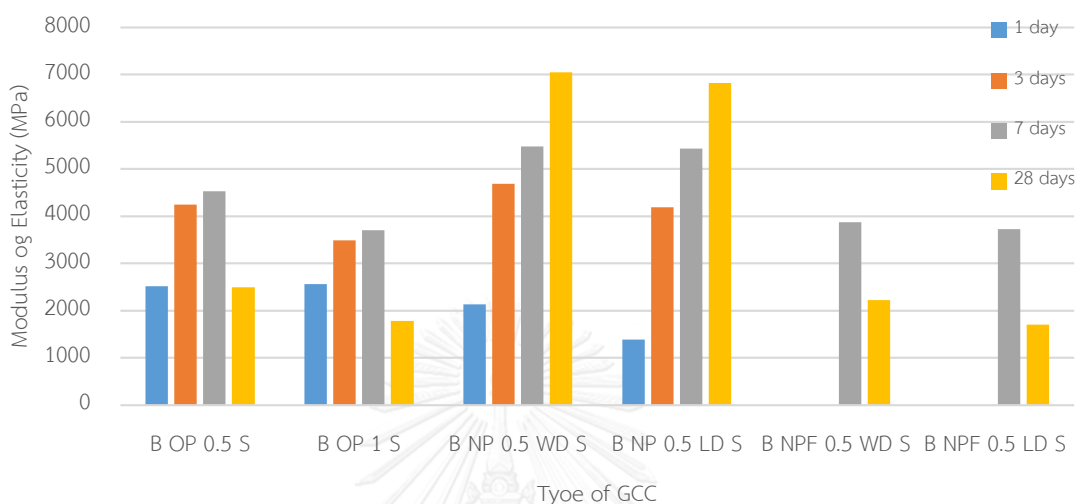
จากรูปที่ 4.77 ในช่วงรับแรงดัด ช่วงแรกแผ่น GCC ชนิด OP อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 จะมีค่ามากที่สุด และแผ่น GCC ชนิด OP อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับแผ่น GCC ชนิด NPF และ NP ทั้ง 2 ทิศทาง แต่ในช่วงหลังแผ่น GCC ชนิด NPF จะรับได้มากที่สุด รองลงมาจะเป็นแผ่น GCC ชนิด NPF ทิศทางตามยาว แผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามขวาง แผ่น GCC ชนิด OP อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 แผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามยาว และ แผ่น GCC ชนิด OP อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 ตามลำดับ

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดัด (Flexural strength) หรือโมดูลัสแตกหัก (*MOR*) และโมดูลัสยืดหยุ่น (*MOE*) โดยจะเปรียบเทียบอัตราส่วนการพรมน้ำและระยะเวลาการบ่มดังรูปที่ 4.78 และ 4.79



รูปที่ 4.78 โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด

จากการเปรียบเทียบแผ่น GCC ค่า MOR ที่มากที่สุด คือ ชนิด NPF แต่จะใกล้เคียงกับ NP ค่า MOR ที่พัฒนากำลังตามระยะเวลาการบ่มจะเป็นแผ่น GCC ชนิด NP การพัฒนาของค่า MOR ที่ไม่สม่ำเสมอ ก็จะมีชนิดของ OP และ NPF เนื่องจาก รูปแบบการเย็บไม่ดี



รูปที่ 4.79 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด

จากรูปที่ 4.79 ค่า MOE มากที่สุดจะเป็นแผ่น GCC ชนิด NP และพัฒนาตามระยะเวลาการบ่ม รองลงมาจะเป็นแผ่น GCC ชนิด OP มีการพัฒนาระยะเวลาการบ่มถึง 7 วัน ที่ 28 วันนั้นจะมีการเสื่อมของแผ่น GCC เช่นเดียวกับแผ่น GCC ชนิด NPF ซึ่งยังมีปัญหาในการผลิตของแผ่น GCC

จากการทดสอบแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิดนี้ การบ่มแบบแช่น้ำดีที่สุดเพราะช่วยในเรื่องของการพัฒนาชั้นซีเมนต์เพสต์ใน GCC กำลังรับแรงดัด ชนิด NPF จะมากที่สุด แต่ค่าใกล้เคียงกับชนิด NP แผ่น GCC ชนิด NP มีการพัฒนากำลังรับแรงดัดได้ตามระยะเวลาการบ่มได้ดีที่สุดใน 3 ชนิดแผ่น GCC ชนิด OP และ NPF รูปแบบการเย็บไม่ดี และเมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้นเส้นใยที่ยึดติดกับชั้นซีเมนต์เพสต์เกิดจากเปื่อย ส่งผลให้แผ่นเส้นใยสังเคราะห์หลุดเร็วขึ้นแผ่น GCC ชนิด NPF ค่า MOR มีการเปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากการกระจายของเส้นใยไม่ทั่วถึงความต้านทานแรงดัดในทิศทางตามขวาง จะรับแรงดัดมากกว่าตามยาว

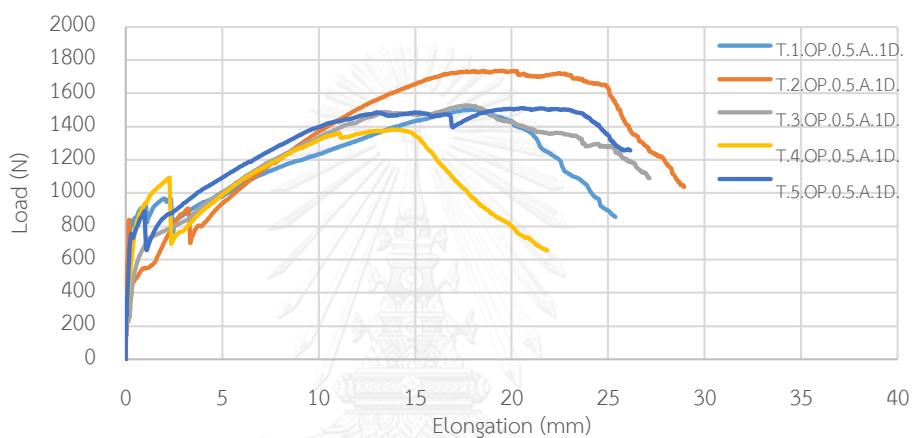
4.5 ความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์

4.5.1. ความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product)

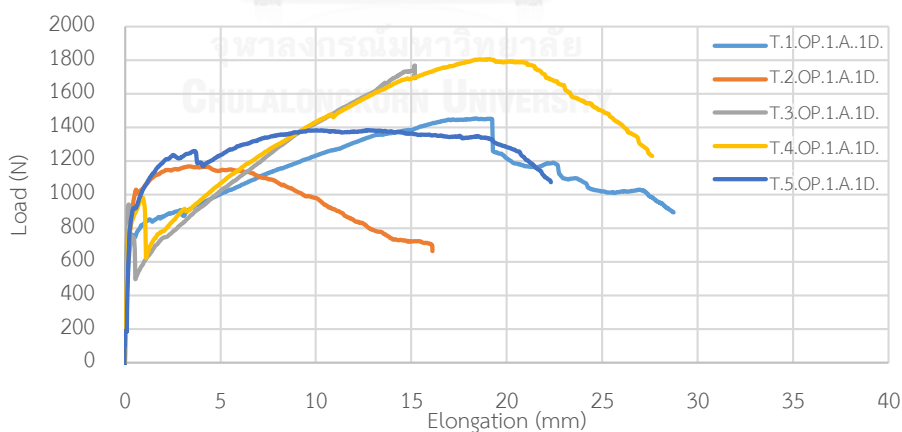
การทดสอบความต้านทานแรงดึงจะมีอัตราส่วนการผสมน้ำที่ 0.5 และ 1 โดยมีวิธีการบ่ม 3 แบบ คือ บ่มอากาศ ห่อพลาสติก และแช่น้ำ มีระยะเวลาการบ่ม 137 และ 28 วัน

4.5.1.1. การทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยวิธีการบ่มอากาศ

จากการทดสอบผลของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 ก็ระยะเวลาการบ่ม 13 และ 7 วัน ดังรูปที่ 4.80 4.81 และ 4.82

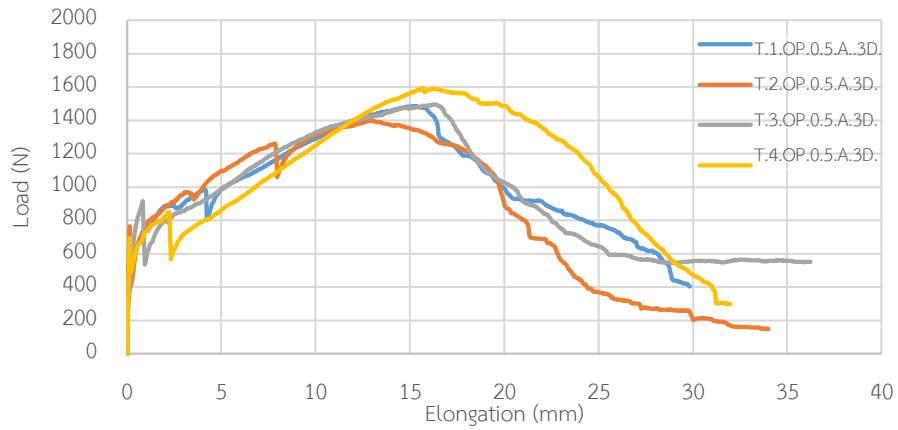
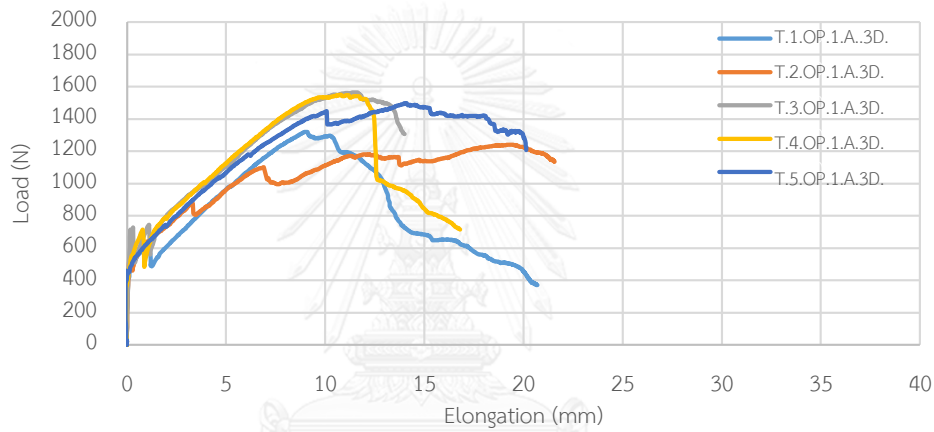


(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

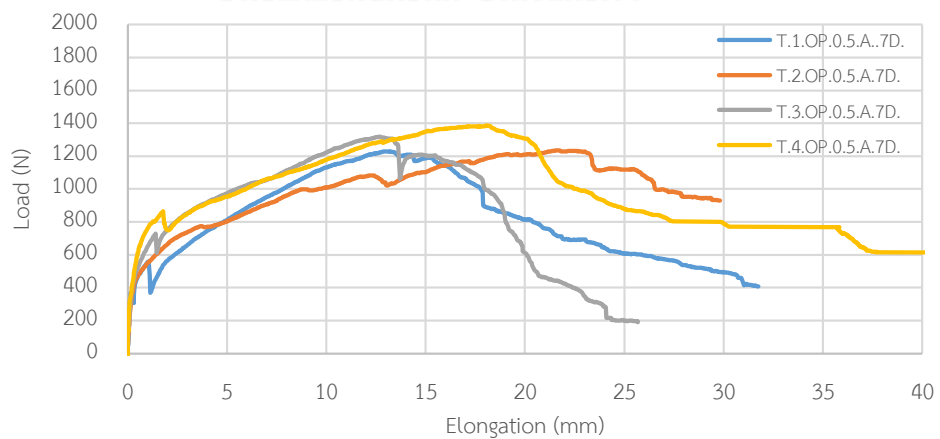


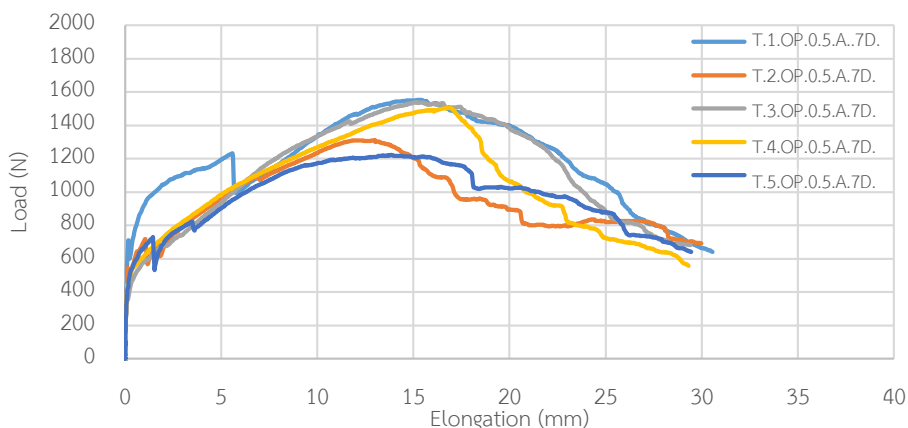
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.80 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.81 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)

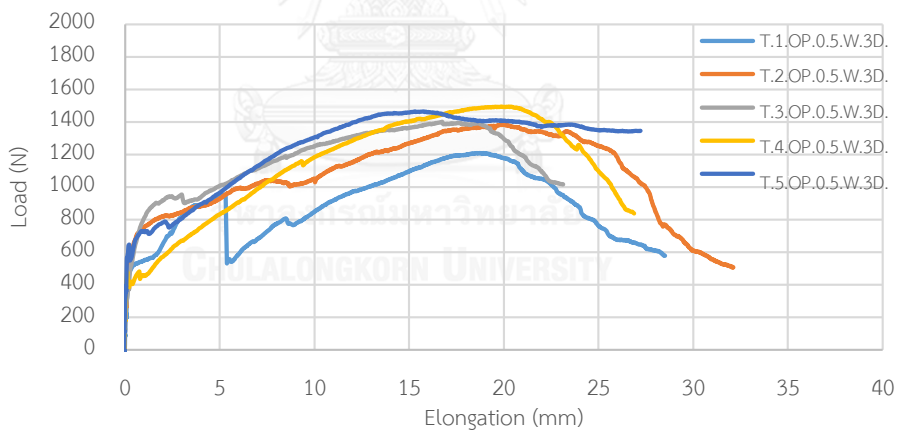
(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

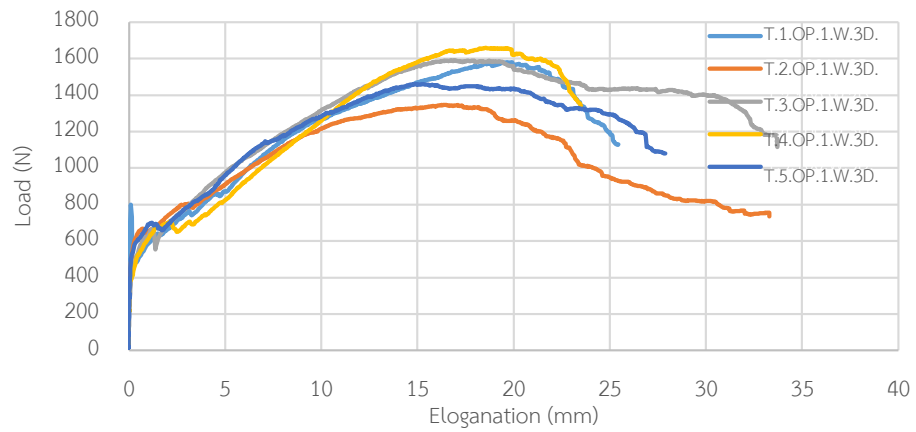
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.82 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)

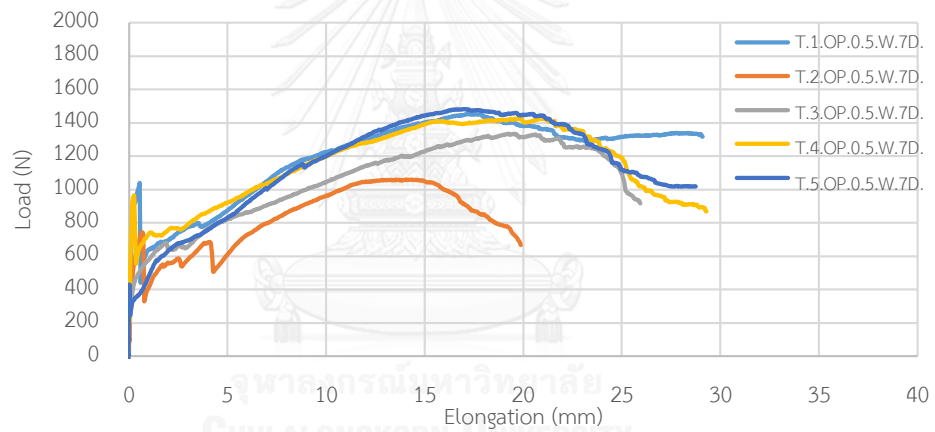
4.5.1.2. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการห่อพลาสติก

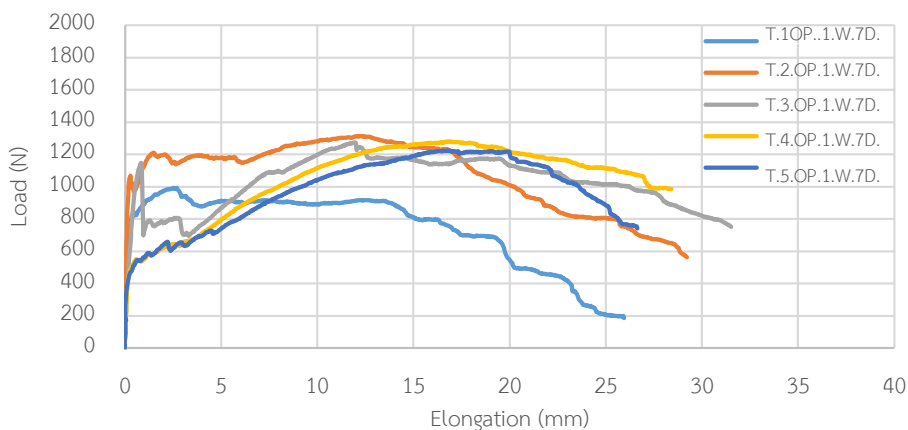
จากการทดสอบจะผลของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 กับระยะเวลาการบ่ม 3 และ 7 วัน แสดงดังรูปที่ 4.83 และ 4.84 โดยระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 0.5 และ 1 จะใช้วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศเหมือนกันซึ่งได้แสดงไปข้างต้น

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.83 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มห่อพลาสติก)

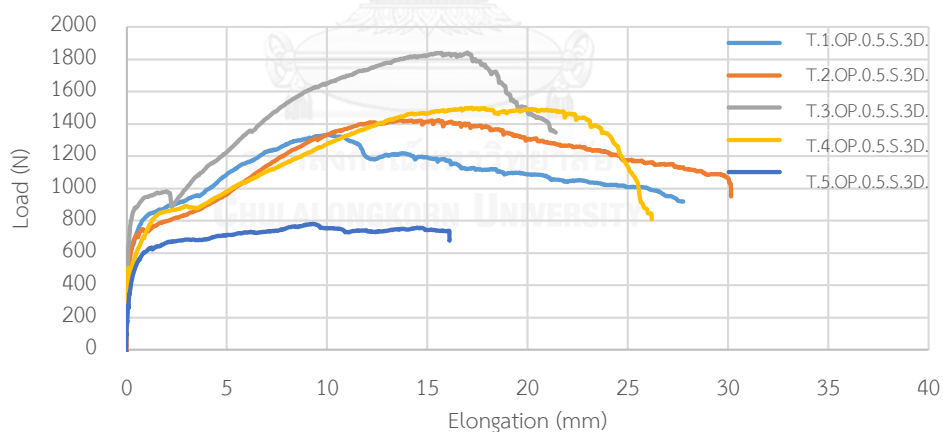
(ค) $W/W_{GCC} = 0.5$

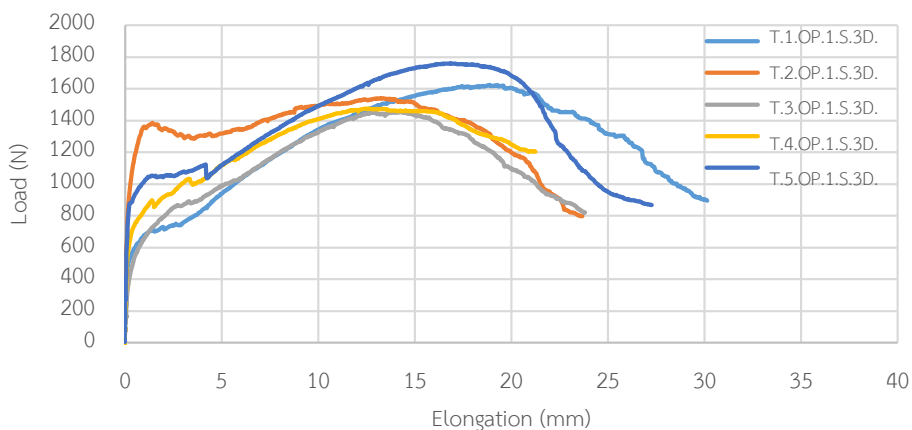
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.84 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มห่อพลาสติก)

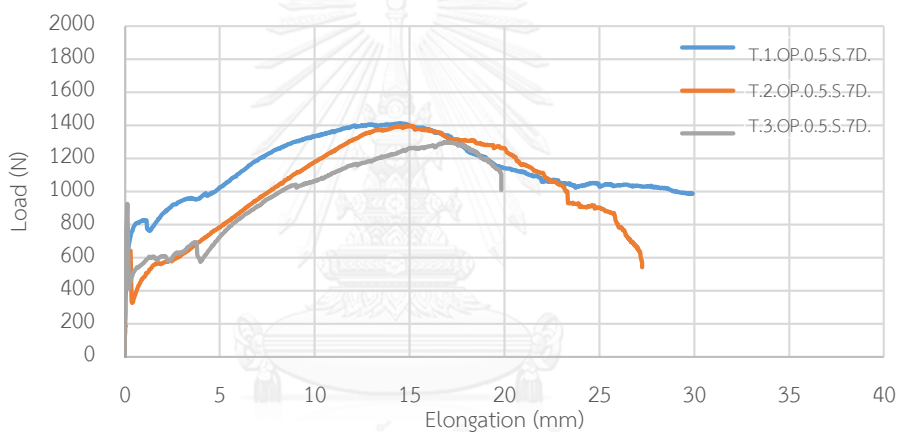
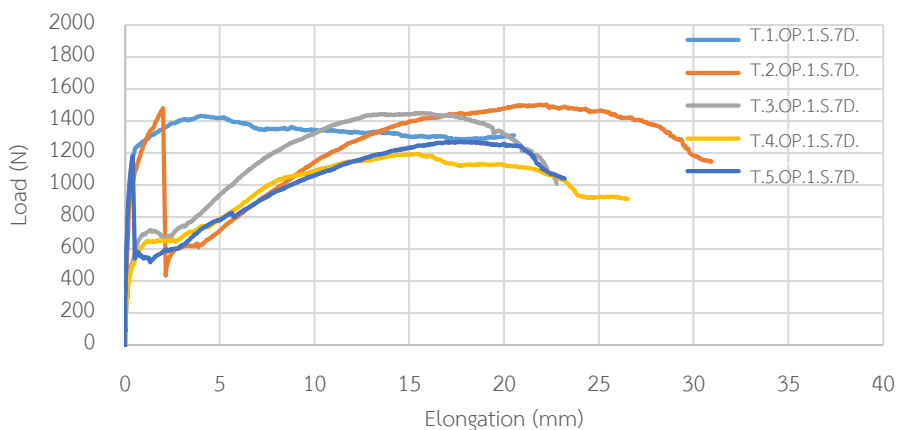
4.5.1.3. การทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธีการแช่น้ำ

จากการทดสอบจะผลของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 กับระยะเวลาการบ่ม 37 และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.85-4.87 โดยระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 0.5 และ 1 จะใช้วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศเหมือนกันซึ่งได้แสดงไปข้างต้น

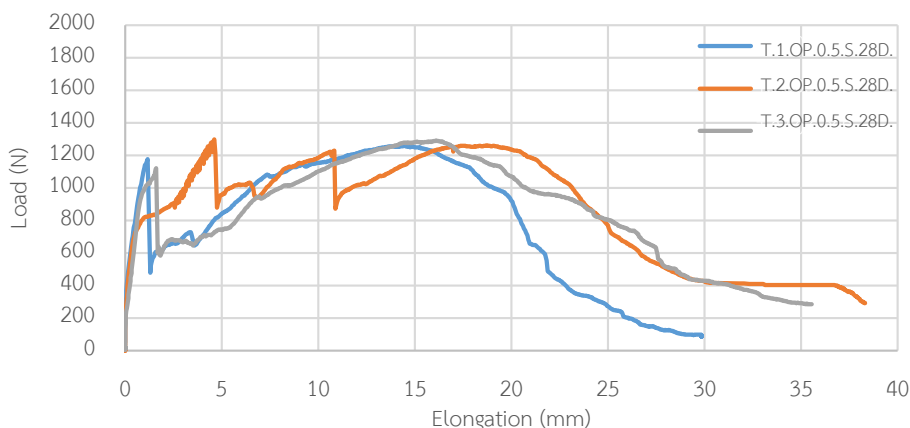
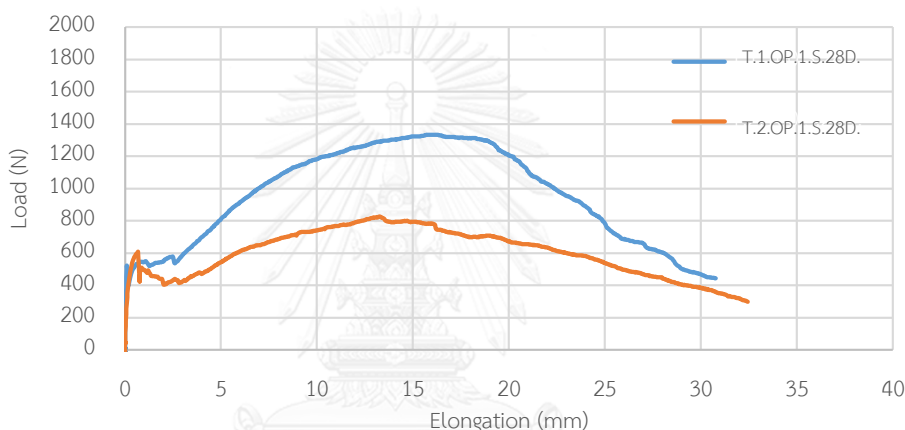
(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.85 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.86 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.87 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

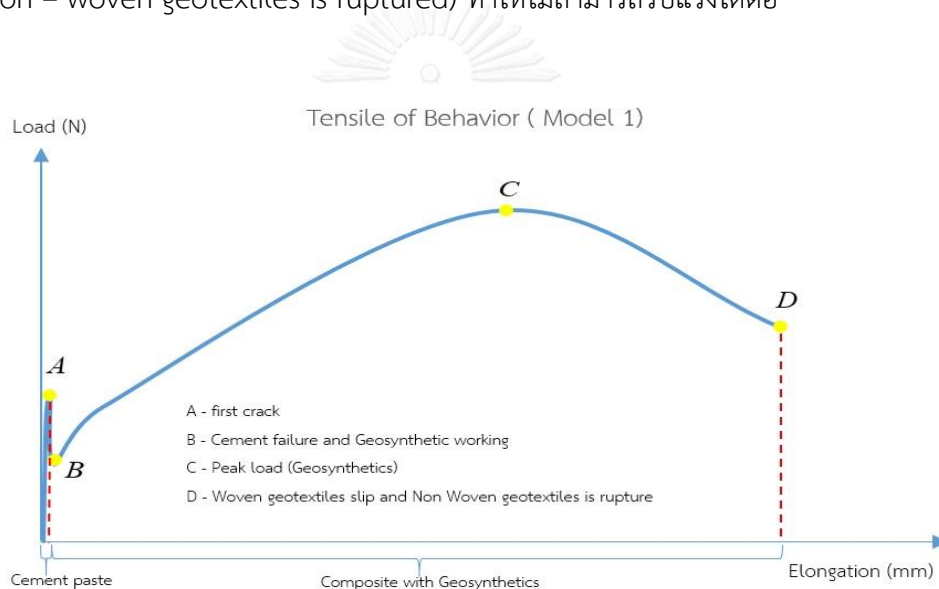
จากผลการทดสอบความต้านทานการรับแรงดึง ข้างต้นสามารถนำกราฟมาเฉลี่ยเพื่อนำกราฟเพียงกรณีละ 1 ตัวอย่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีอื่น โดยมีการเฉลี่ยเป็นแบบเลือกจุดในการเฉลี่ย มีพฤติกรรมความต้านทานแรงดึงและขั้นตอนเลือกจุดดังนี้

4.5.1.4. พฤติกรรมการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ

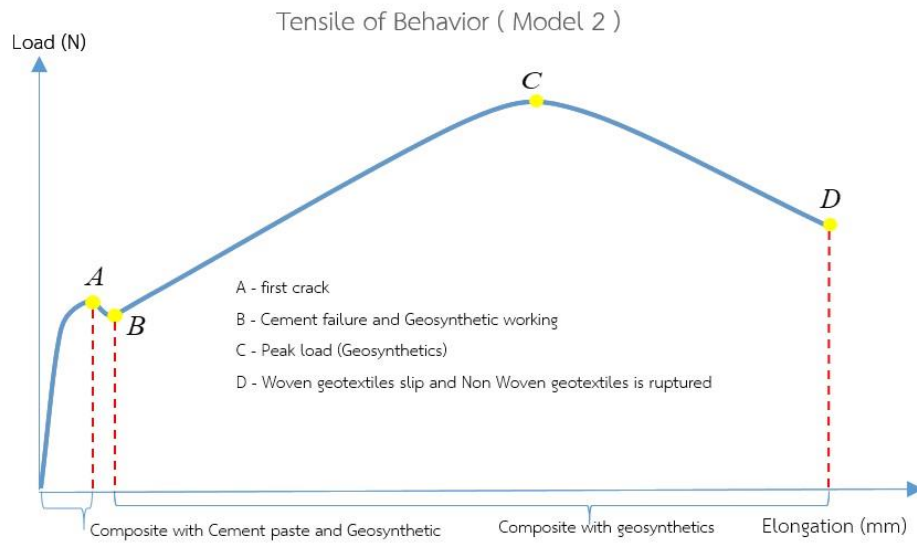
การรับแรงดึงของแผ่น GCC มี 2 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.88 และ 4.89 ในช่วงแรกของการรับแรงดึง ซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดจะรับแรง โดยความต้านทานแรงดึงของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับความหนาของซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ วิธีการบ่มและระยะเวลาการบ่ม เมื่อแรงดึงเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด A หรือ เรียกว่า จุดเริ่มต้นการแตกร้าว (First Crack) จะเห็นว่าตำแหน่งของจุดเริ่มต้นการแตกร้าวจะอยู่คนละตำแหน่งกัน จากรูปแบบที่ 1 การแตกร้าวของซีเมนต์เพสต์จะเห็นว่าเกิดแตกร้าวได้อย่างชัดเจนและซีเมนต์เพสต์ไม่สามารถรับแรงดึงได้

อีก ซึ่งจะแตกต่างกับรูปแบบที่ 2 จะไม่เห็นรอยแตกที่ชัดเจน เนื่องจากตัวอย่างการทดสอบมีความหนาของซีเมนต์เพสต์ไม่สม่ำเสมอทำให้หัวจับระหว่างด้านบนและด้านล่างไม่ตรงกัน

สำหรับพฤติกรรมรูปแบบที่ 2 นั้น เมื่อพฤติกรรมต่อจากการแตกร้าวถึงจุด B ซึ่งจะเป็นจุดค่าสูงสุดของซีเมนต์เพสต์จะรับได้ เมื่อแรงดึงเพิ่มขึ้นการรับแรงจะเป็นของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดที่ช่วยในการรับแรงดึงจนถึงจุด C ยังสามารถรับแรงดึงได้อยู่โดยมีแผ่นเส้นใยสังเคราะห์เป็นตัวช่วย เมื่อแรงดึงเพิ่มขึ้นมาถึงจุด C เป็นจุดสูงสุดของการรับแรงดึงของแผ่น GCC (Peak load) หลังจากจุด C แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ที่ถูกเย็บติดกับแผ่นซีเมนต์เพสต์จะเริ่มหลุดออกเป็นคนละชั้นทำให้วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (GCC) รับกำลังลดลงจนถึงจุด D คือจุดที่แผ่นเส้นใยสังเคราะห์หลุดออกจากแผ่นซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานขาด (Woven geotextiles slips and non - woven geotextiles is ruptured) ทำให้ไม่สามารถรับแรงได้อีก



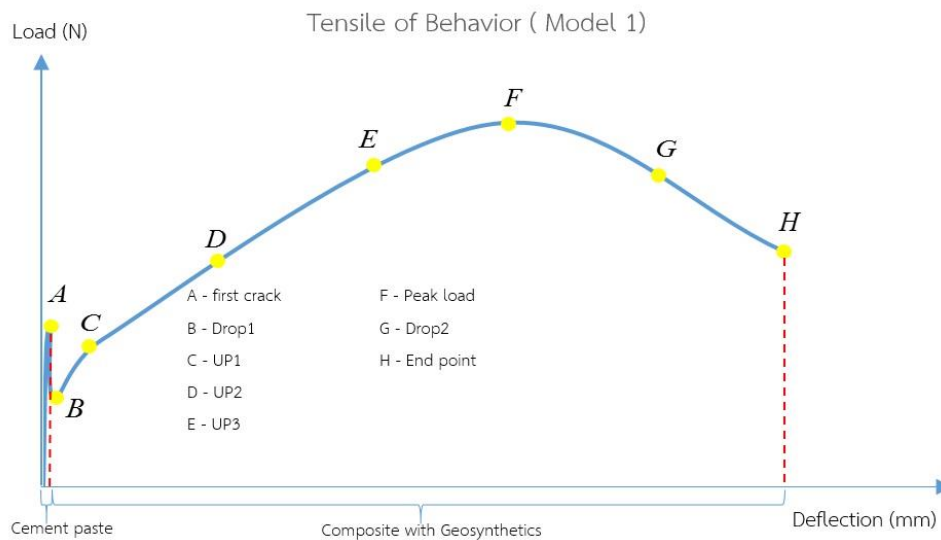
รูปที่ 4.88 พฤติกรรมการรับแรงดึงแบบที่ 1



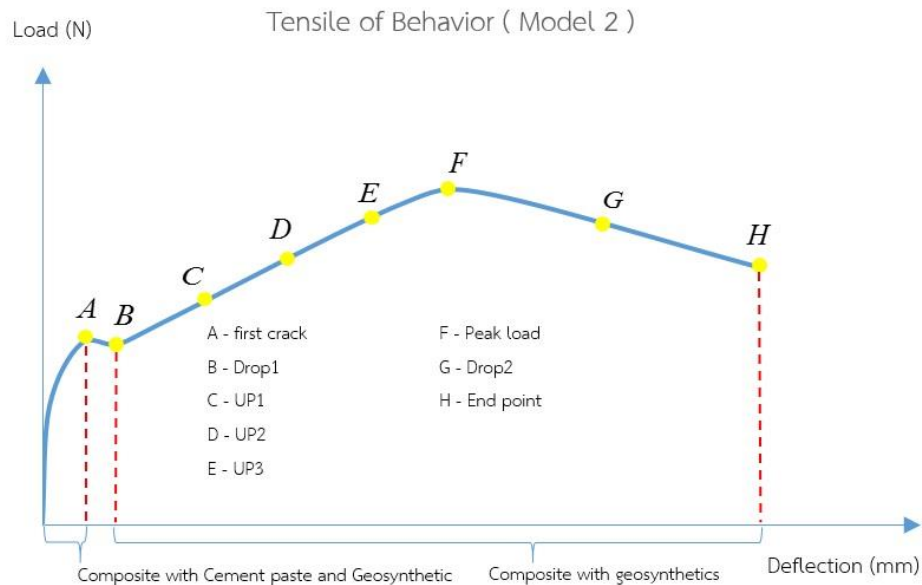
รูปที่ 4.89 พฤติกรรมการรับแรงดึงแบบที่ 2

การเลือกจุดของการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ

การเลือกจุดในกราฟการรับแรงดึงตัดของแผ่น GCC โดยจะเลือกจุดที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการรับแรงดึงมากที่สุดเพื่อมาเฉลี่ยหากราฟของการรับแรงดึงในแต่ละกรณีโดยมีทั้งหมด 8 จุดโดยจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังรูปที่ 4.90 และ 4.91



รูปที่ 4.90 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ รูปแบบที่ 1



รูปที่ 4.91 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ รูปแบบที่ 2

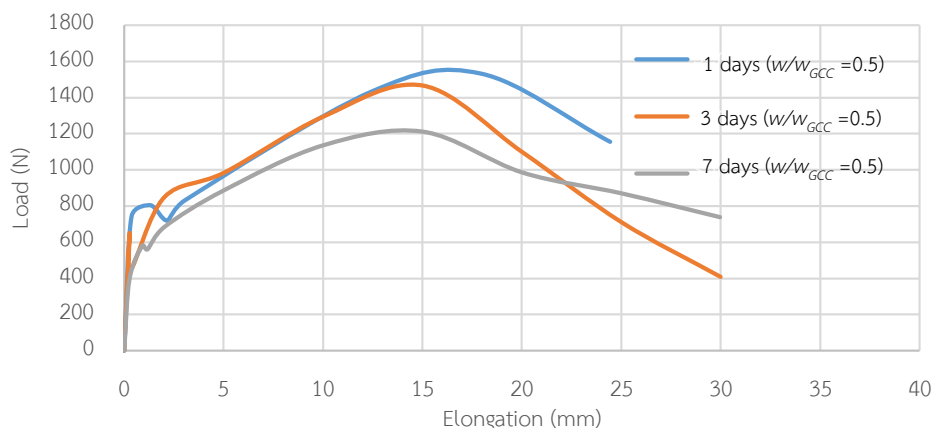
จากรูป 4.90 และ 4.91 การเลือกจุดในการทดสอบความต้านทานแรงดึงมีการเลือกจุด ดังนี้

1. รอยแตกครั้งแรก (First crack)
2. จุดลงครั้งที่ 1 (drop1)
3. จุดขึ้นครั้งที่ 1 (up1)
4. จุดขึ้นครั้งที่ 2 (up2)
5. จุดขึ้นครั้งที่ 3 (up3)
6. จุดสูงสุด (Peak point)
7. จุดลงครั้งที่ 2(drop 2)
8. จุดสิ้นของกราฟ (end point)

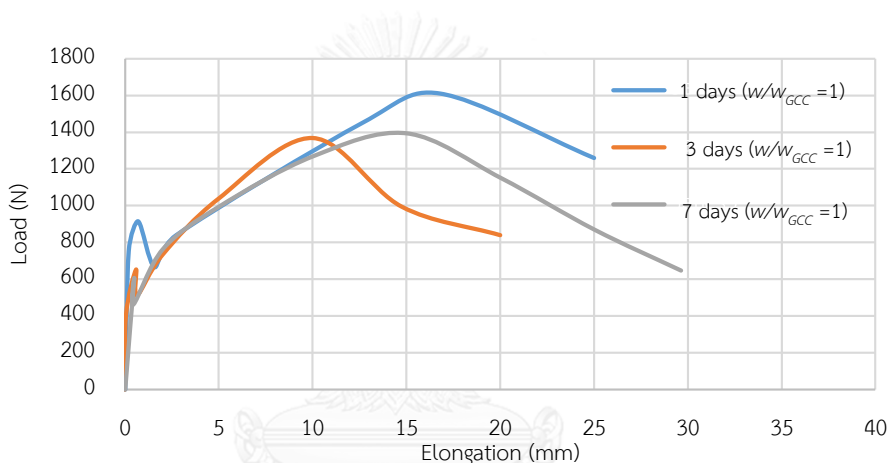
จากการเลือกจุดนี้สามารถหากราฟของการทดสอบความต้านทานแรงดึงในแต่ละกรณีได้อย่างละ 1 กรณีและสามารถนำกราฟเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกัน

4.5.1.5. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง วิธีการบ่มอากาศ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงโดยใช้วิธีการบ่มเป็นแบบบ่มอากาศ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับค่าระยะยืดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับ เวลาการบ่ม 1วัน 3วัน และ 7 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.92และ 4.93



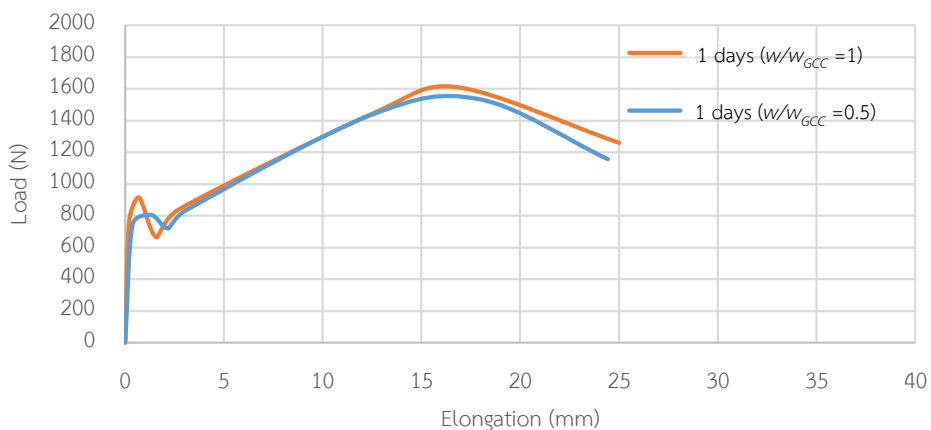
รูปที่ 4.92 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$



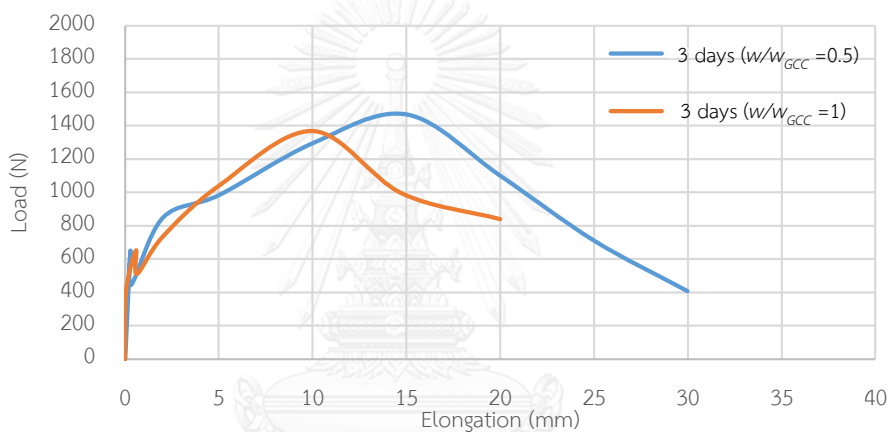
รูปที่ 4.93 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$

จากรูปที่ 4.92 และ 4.93 จะเห็นว่าระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน จะมีค่ามากที่สุด เนื่องจากในวิธีการบ่มอากาศ เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น น้ำที่อยู่ใน GCC จะระเหยออกไปมาก ซึ่งส่งผลให้กำลังไม่พัฒนา

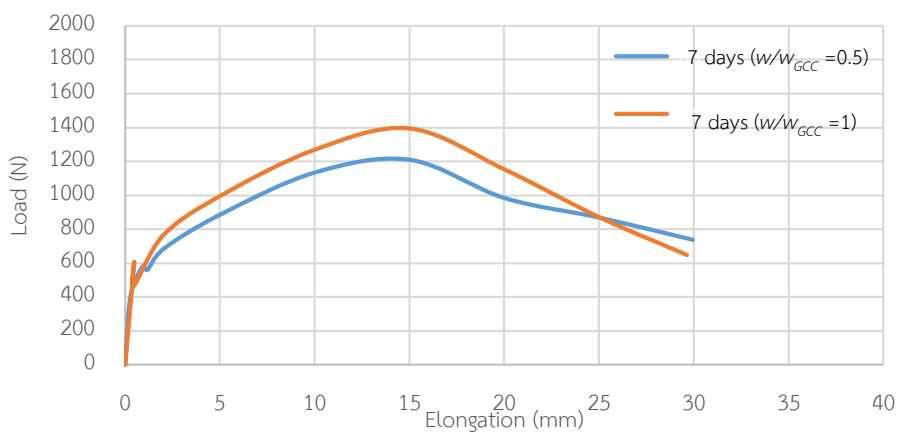
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.94, 4.95 และ 4.96 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 0.5$ และ 1 ในช่วงแรกมีความต้านทานแรงดึง (first crack) ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับในการรับแรงดึงช่วงหลังที่จุดสูงสุด (peak load)



รูปที่ 4.94 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน



รูปที่ 4.95 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน



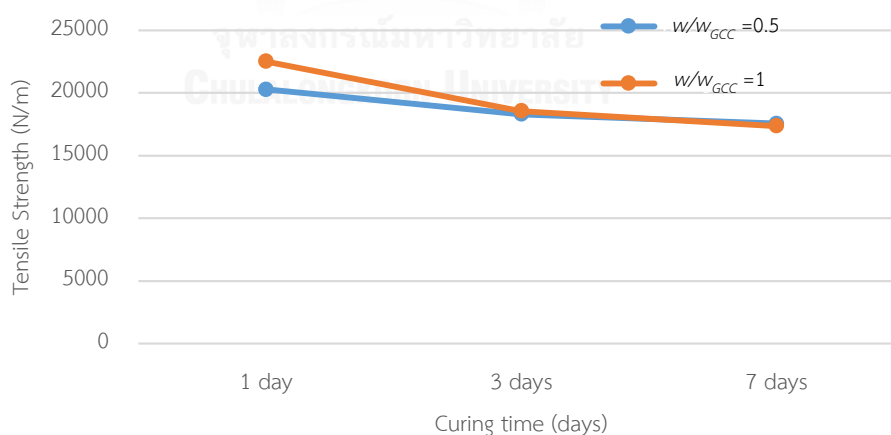
รูปที่ 4.96 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Tensile load) ค่าเฉลี่ยความต้านทานที่ซีเมนต์เพสต์ ค่าเฉลี่ยความต้านทานเส้นใยสังเคราะห์ ค่าการรับแรงดึง 3 ชนิดของ GCC และอัตราส่วนแรงและระยะโค้งดังรูปที่ 4.97 ตารางที่ 4.10 ตารางที่ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ค่าการรับแรงดึงของทั้ง 3 ชนิดของแผ่น GCC

Type of GCC	Condition	W/W _{GCC}	Direction	Curing time (day)	Peak Load (N/m)	% by Avg	
OP	Air	0.5	Width direction	1	20277.00	8.41	
				3	18291.67	2.21	
				7	17545.67	6.20	
		1		1	22516.03	15.59	
				3	18549.09	4.77	
				7	17372.17	10.82	
	Wrap	0.5		1	20277.00	11.66	
				3	17543.53	3.39	
				7	16656.61	8.27	
		1		1	22516.03	14.53	
				3	19915.49	1.30	
				7	16546.99	15.83	
	Soak	0.5		1	20277.00	8.79	
				3	19335.19	3.74	
				7	19053.38	2.23	
				28	15888.89	14.75	
				1	1	22516.03	28.12
					3	20648.90	17.49
		7			18163.27	3.35	
		28			8969.78	48.96	

Type of GCC	Condition	W/W _{GCC}	Direction	Curing time (day)	Peak Load (N/m)	% by Avg
NP	Soak	0.5	Width direction	1	21573.00	0.80
				3	19747.39	7.73
				7	21300.73	0.47
				28	22988.01	7.41
			Length direction	1	13702.73	6.25
				3	14314.47	2.06
				7	14464.78	1.03
				28	15980.48	9.34
NPF	Soak	0.5	Width direction	7	18913.83	14.58
				28	14100.08	14.58
			Length direction	7	17779.99	28.93
				28	9800.97	28.93



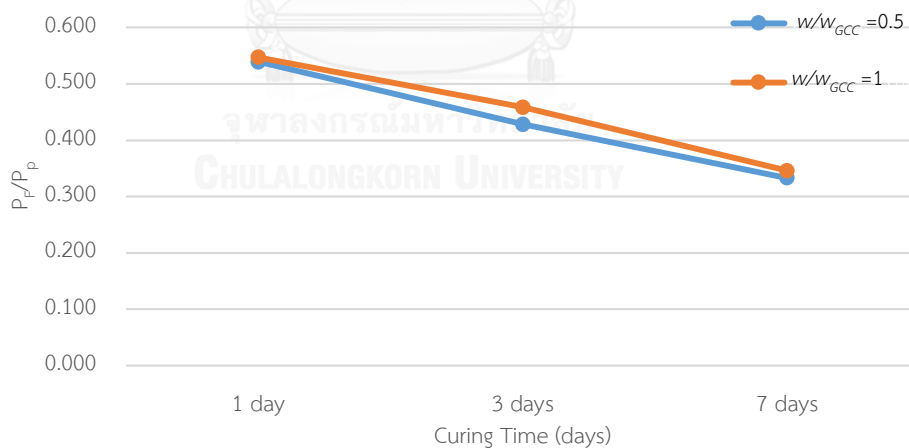
รูปที่ 4.97 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มอากาศ

จากรูปที่ 4.97 จะพบว่าความต้านทานการรับแรงดึงในอัตราส่วนการผสมน้ำที่ 0.5 และ 1 ในแต่ละระยะเวลาการบ่มที่มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นวันที่ 1 เนื่องจาก อัตราส่วนการผสมน้ำที่ 1 จะมีความหนามากกว่า อัตราส่วนการผสมน้ำที่ 0.5

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศ)

W/W_{GCC}	Curing day	$P_{first\ crack}$ (N)	$\delta_{first\ crack}$ (mm)	P_{peak} (N)	δ_{peak} (mm)	P_f/P_p	δ_f/δ_p
0.5	1	804.4	1.3	1532.4	17.9	0.539	0.079
1	1	915.5	0.7	1676.5	16.8	0.547	0.032
0.5	3	642.6	0.3	1492.4	15.0	0.428	0.018
1	3	652.1	0.6	1419.8	12.6	0.458	0.059
0.5	7	579.4	0.9	1292.6	16.4	0.333	0.051
1	7	596.3	0.5	1425.6	14.8	0.346	0.027

จากตารางที่ 4.11 ค่า $P_{first\ crack}$ ของอัตรา $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่าใกล้เคียงกันกับ ค่า $P_{first\ crack}$ ของอัตรา $W/W_{GCC} = 0.5$ แต่ค่า $P_{first\ crack}$ จะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากกำลังไม่พัฒนาของแผ่น GCC ทั้ง 2 อัตราส่วนการพรมน้ำจะลดลง เนื่องจากการปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ ทำให้น้ำที่อยู่ในแผ่น GCC ระเหยออก ซึ่งสามารถแสดงค่าคำนวณอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์ดังรูปที่ 4.98



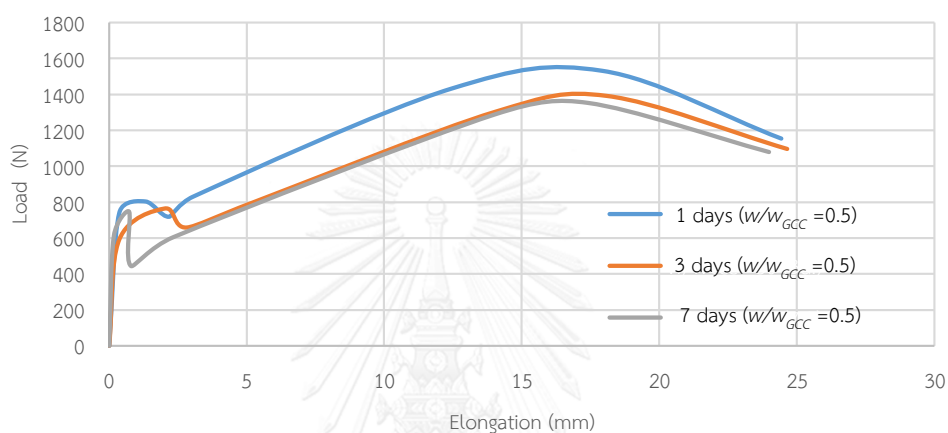
รูปที่ 4.98 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่มวิธีบ่มแบบบ่มอากาศ

จากรูปที่ 4.98 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์จะลดลงตามระยะเวลาการบ่มและค่า P_f/P_p ของอัตราส่วน $W/W_{GCC} = 0.5$ และ 1 มีค่าใกล้เคียงกัน

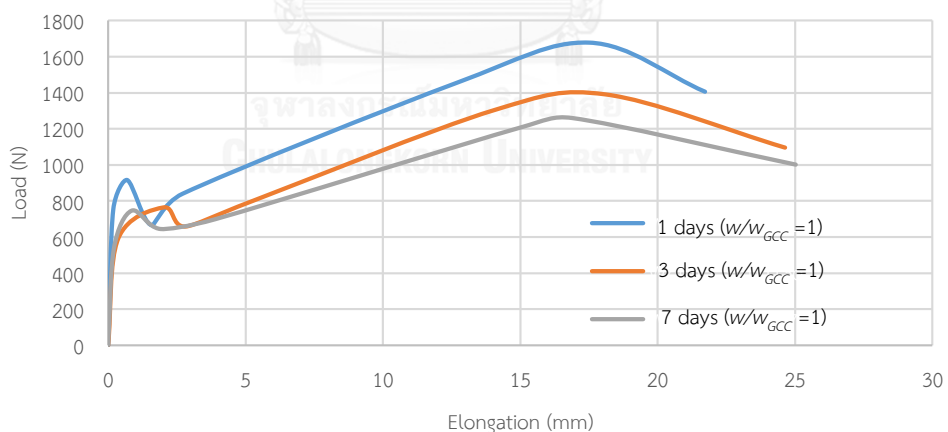
เนื่องจากการพรมน้ำในอัตราส่วนที่ 0.5 ไม่ทั่วถึงทำให้มีค่า P_F/P_P ไม่ใกล้เคียงกับการพรมน้ำที่ 1 และเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น ค่า P_F/P_P ลดลง เนื่องจากน้ำในแผ่นชั้นซีเมนต์เพสต์เกิดการระเหย

4.5.1.6. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง วิธีการบ่มแบบห่อพลาสติก

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงโดยใช้วิธีการบ่มเป็นแบบห่อพลาสติก ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับค่าระยะยืดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับ เวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.99 และ 4.100



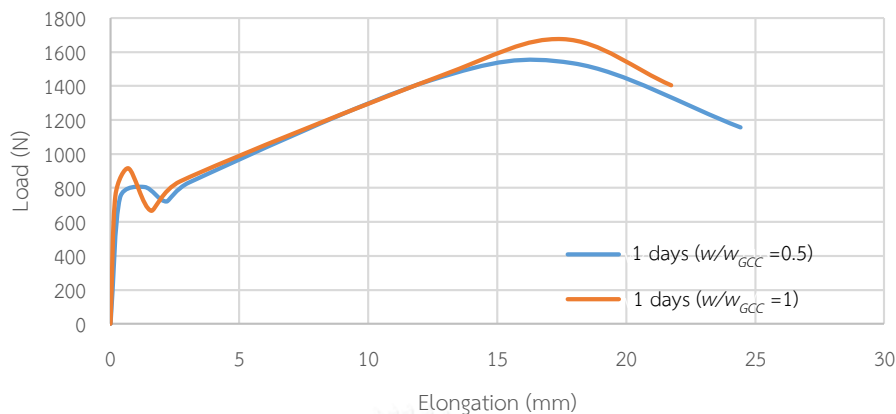
รูปที่ 4.99 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$



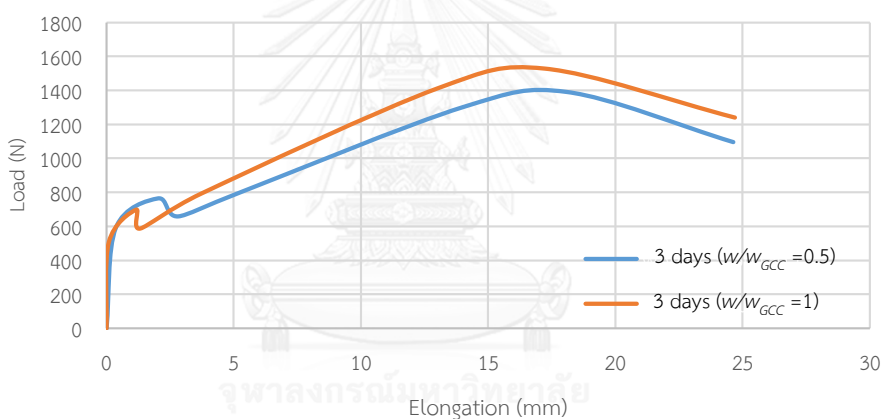
รูปที่ 4.100 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 1$

จากรูปที่ 4.99 และ 4.100 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่บ่มเป็นเวลา 1 วัน นั้นมีความต้านทานรับแรงดึง (peak load) มากที่สุด เช่นเดียวกับการรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรก (first peak) และจากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.101, 4.102 และ 4.103 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี ทั้ง 2 w/w_{GCC} มีค่า

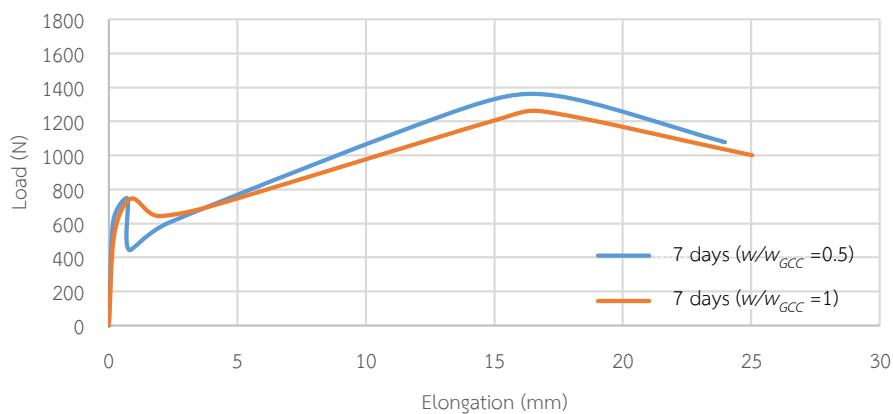
ใกล้เคียงกันในแต่ละวัน เนื่องจากความสามารถในการรับแรงดึงของชั้นซีเมนต์เพสต์มีค่าน้อย และมีความหนาที่ไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.101 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน

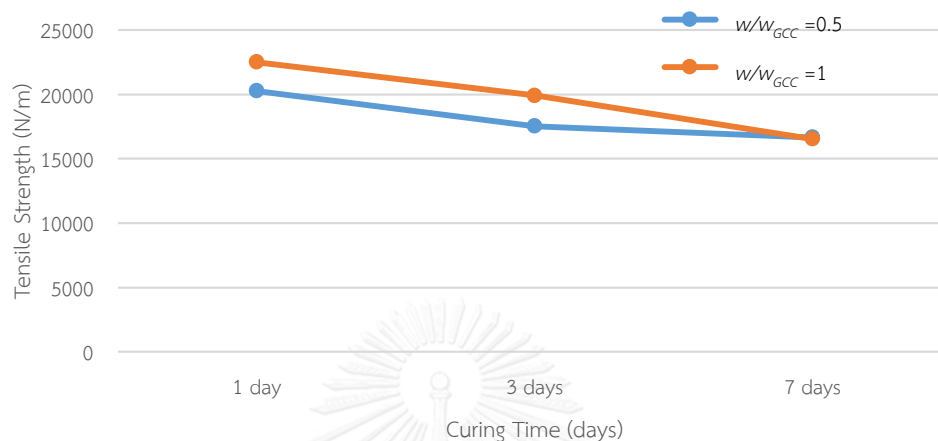


รูปที่ 4.102 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน



รูปที่ 4.103 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Tensile load) ค่าเฉลี่ยความต้านทานของซีเมนต์ ค่าเฉลี่ยความต้านทานเส้นใยสังเคราะห์และอัตราส่วนแรงและระยะโคงตั้งรูปที่ 4.104 และตารางที่ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.104 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มแบบท่อพลาสติก

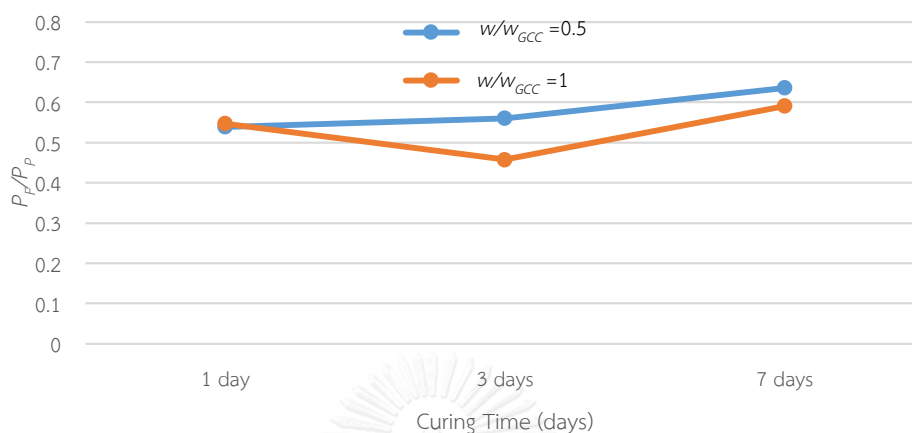
จากรูปที่ 4.104 ความต้านทานแรงดึงจะลดลงตามระยะเวลาการบ่ม แต่อัตราส่วนการพรมที่ 1 จะมีค่ามากกว่าในวันที่ 1 ถึง 3 วัน แต่ 7 วัน จะใกล้เคียงกัน เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของแผ่น GCC เมื่อ GCC ที่มีความหนาทำให้การรับแรงดึงในช่วงแรกสูง ส่งผลให้กำลังรับแรงดึงมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มแบบท่อพลาสติก)

W/W_{GCC}	Curing day	$P_{first\ crack}$ (N)	$\delta_{first\ crack}$ (mm)	P_{peak} (N)	δ_{peak} (mm)	P_f/P_p	δ_f/δ_p
0.5	1	804.4	1.3	1532.4	17.9	0.539	0.079
1.0		915.5	0.7	1676.5	17.5	0.547	0.038
0.5	3	764.1	2.0	1390.5	18.1	0.560	0.109
1.0		697.5	1.2	1527.6	17.2	0.458	0.069
0.5	7	746.6	0.7	1351.4	17.4	0.636	0.041
1.0		745.7	0.9	1258.9	16.9	0.591	0.050

จากตารางที่ 4.12 ค่า $P_{first\ crack}$ ของอัตรา $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่ามากกว่าค่า $P_{first\ crack}$ ของอัตรา $W/W_{GCC} = 0.5$ เนื่องจากความหนาของแผ่น GCC ที่อัตรา $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่ามากกว่าอัตรา

$W/W_{GCC} = 0.5$ จึงส่งผลทำให้ค่า $P_{first\ crack}$ มีค่ามากขึ้นไปด้วย และสามารถคำนวณอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์ดังรูปที่ 4.105

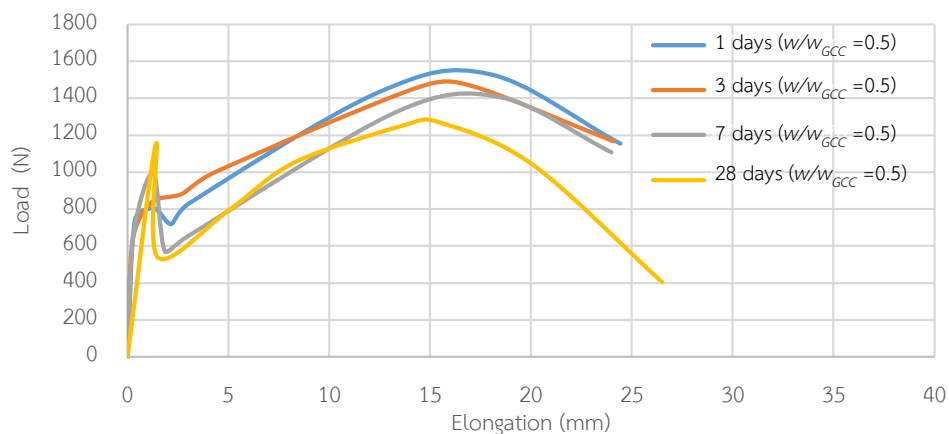


รูปที่ 4.105 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่มวิธีปั๊มแบบท่อพลาสติก

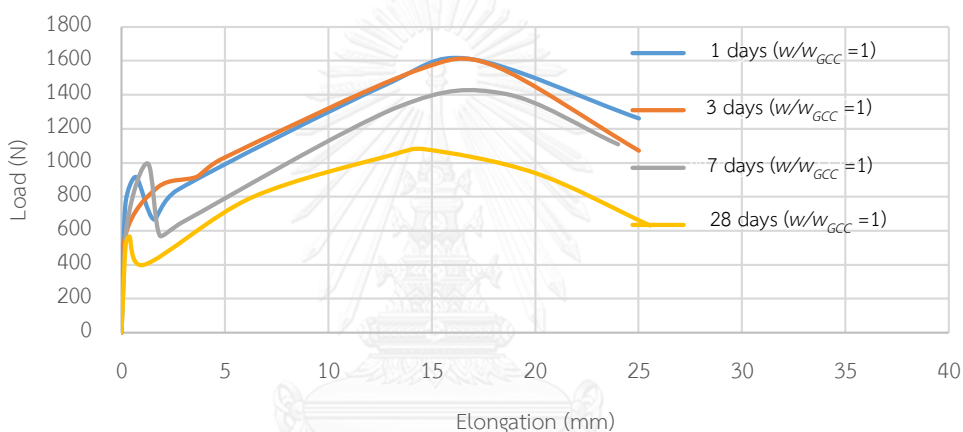
จากรูปที่ 4.105 จะเห็นว่าในระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน ค่าอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มยกเว้นอัตราส่วน $W/W_{GCC} = 1$ ระยะเวลาบ่มที่ 3 วันมีค่าลดลง เนื่องจากมีความหนาน้อยกว่า อัตราส่วน $W/W_{GCC} = 0.5$ ระยะเวลาบ่มที่ 3 วัน ส่งผลให้รับแรงดึงน้อย ค่าอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์ที่สูงที่สุดคืออัตราส่วน $W/W_{GCC} = 0.5$ ในการบ่มที่ 7 วัน

4.5.1.7. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงโดยวิธีการบ่มเป็นแบบแช่น้ำ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะยืดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับ เวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.106 และ 4.107



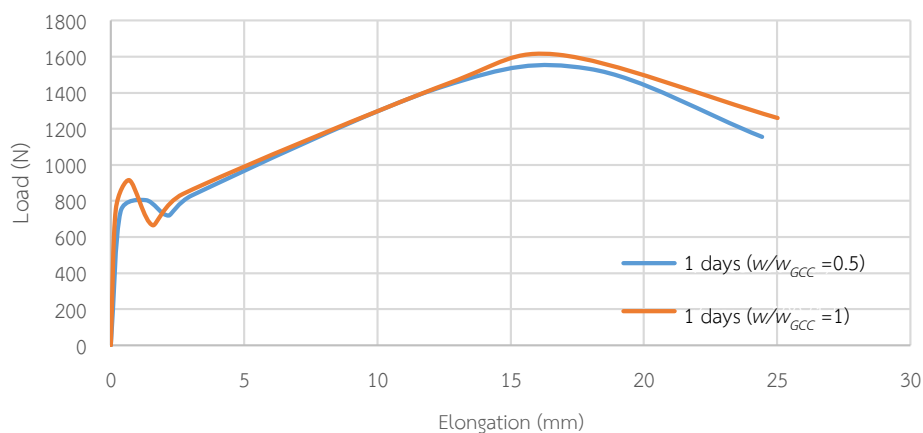
รูปที่ 4.106 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$



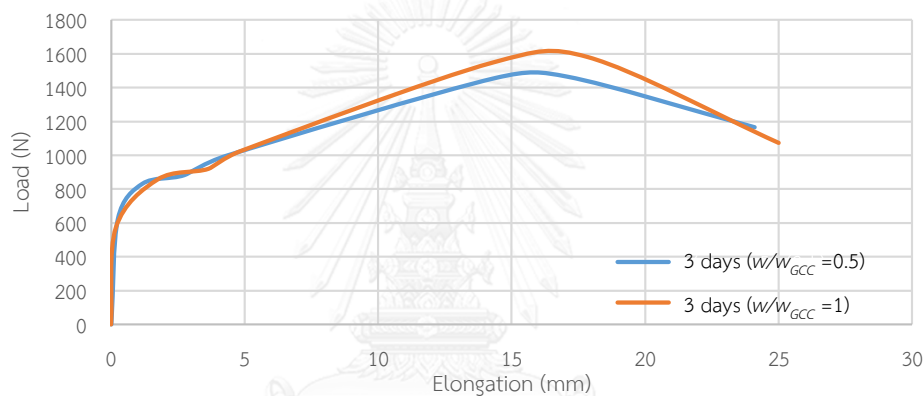
รูปที่ 4.107 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 1$

จากรูปที่ 4.106 และ 4.107 จะเห็นว่าแผ่น GCC ระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน จะรับ Peak load ได้มากที่สุด ความต้านทานแรงดึงในชั้นซีเมนต์เพสต์ จะสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ยกเว้น ที่ 28 วัน ของ w/w_{GCC} ที่ 1 เพราะมีความหนาที่น้อย แผ่น GCC ที่ที่แรงดึงในชั้นซีเมนต์เพสต์มี $w/w_{GCC} = 0.5$ มากกว่า 1 แต่ค่าความต้านทานแรงดึงทั้ง 2 อัตราส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละวัน

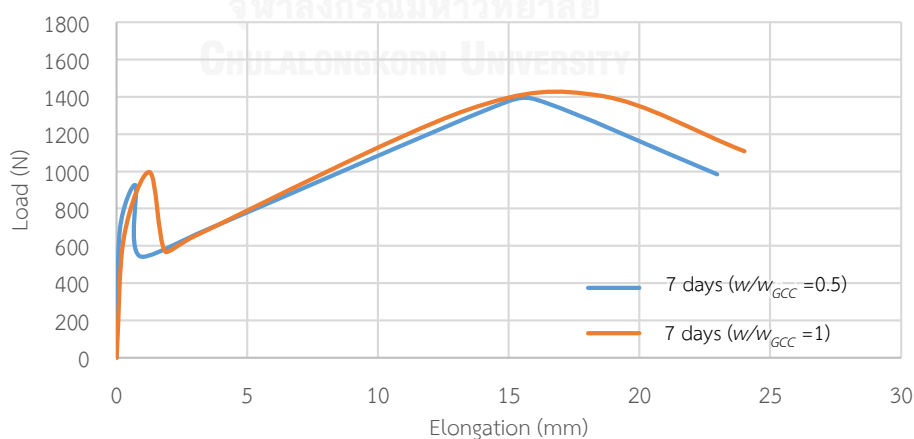
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.108, 4.109, 4.110 และ 4.111 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี $w/w_{GCC} = 1$ จะรับแรงดึงได้มากกว่าแผ่น GCC ที่มี $w/w_{GCC} = 0.5$ แต่ค่าความต้านทานในช่วงแรกทั้ง 2 อัตราส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นแผ่น GCC ที่ 28 วัน อัตราส่วนการผสมน้ำเท่ากับ 1 ที่มีค่าน้อยกว่า เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นซีเมนต์ทำให้มีความหนาของแผ่นน้อย



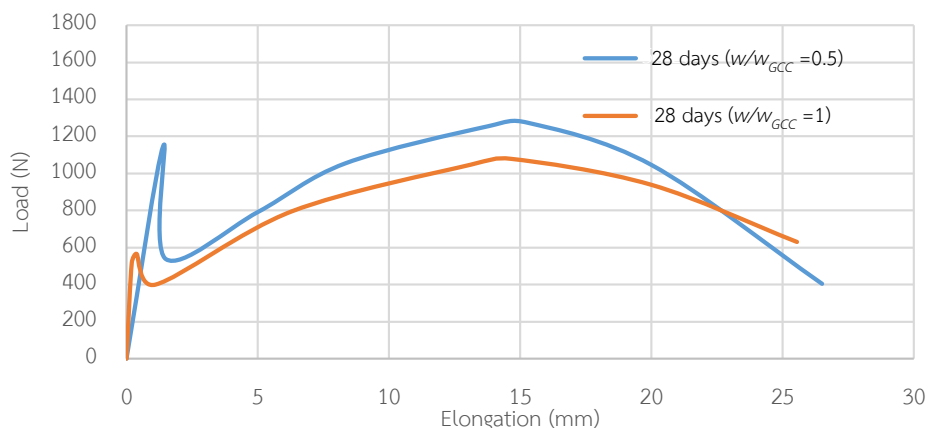
รูปที่ 4.108 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน



รูปที่ 4.109 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน

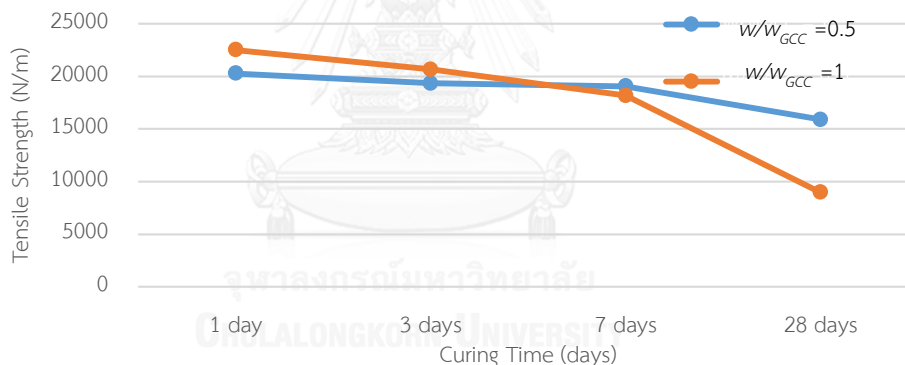


รูปที่ 4.110 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน



รูปที่ 4.111 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Tensile load) ค่าเฉลี่ยความต้านทานที่ซีเมนต์ ค่าเฉลี่ยความต้านทานเส้นใยสังเคราะห์และอัตราส่วนแรงและระยะโก่งดังรูปที่ 4.112และตารางที่4.13 ตามลำดับ



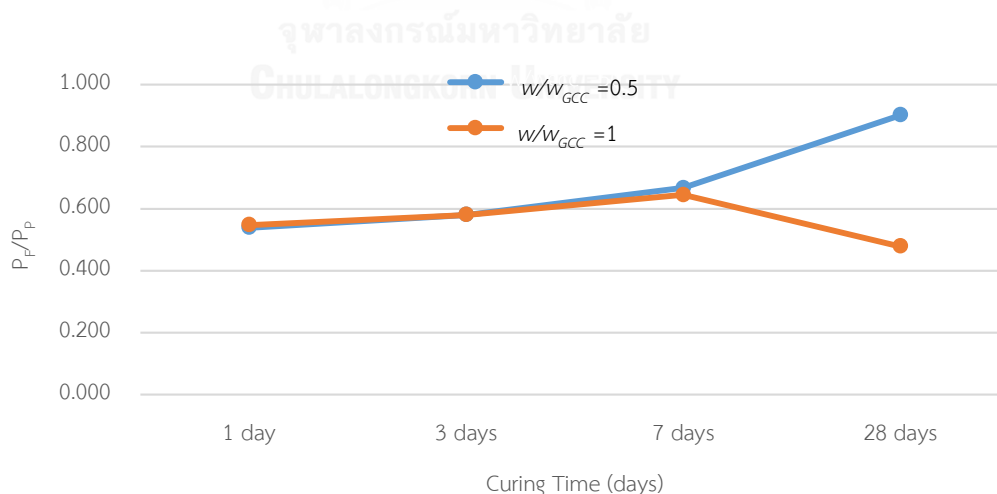
รูปที่ 4.112 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากรูปที่ 4.112 จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงดึงระยะเวลาการบ่มที่ 1 ถึง 28 วัน มีค่าแตกต่างกัน ค่ากำลังรับแรงดึงที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วันมีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยที่เชื่อมอยู่ระหว่างชั้นซีเมนต์เพสต์กับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์เกิดการเสื่อมสภาพ

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ)

W/W_{GCC}	Curing day	$P_{first\ crack}$ (N)	$\delta_{first\ crack}$ (mm)	P_{peak} (N)	δ_{peak} (mm)	P_f/P_p	δ_f/δ_p
0.5	1	804.4	1.3	1532.4	17.9	0.539	0.079
1	1	915.5	0.7	1676.5	16.8	0.547	0.032
0.5	3	832.5	1.2	1466.4	17.1	0.580	0.068
1	3	856.9	1.8	1578.5	17.9	0.581	0.090
0.5	7	925.0	0.7	1385.4	16.0	0.667	0.045
1	7	995.6	1.3	1353.6	18.5	0.644	0.066
0.5	28	1149.6	1.4	1275.1	15.3	0.902	0.092
1	28	517.0	0.2	1080.0	17.2	0.479	0.012

จากตารางที่ 4.13 ค่า $P_{first\ crack}$ ของอัตรา $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่ามากกว่าค่า $P_{first\ crack}$ ของอัตรา $W/W_{GCC} = 0.5$ เนื่องจากความหนาของแผ่น GCC ที่อัตรา $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่ามากกว่าอัตรา $W/W_{GCC} = 0.5$ จึงส่งผลทำให้ค่า $P_{first\ crack}$ มีค่ามากขึ้นไปด้วย ยกเว้นแผ่น GCC ที่ 28 วัน อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 มีความหนาน้อยกว่า อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นซีเมนต์ในแผ่น GCC ชนิดนี้ และสามารถคำนวณอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เฟสต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์ดังรูปที่ 4.113



รูปที่ 4.113 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เฟสต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่มวิธีแช่น้ำแบบแช่น้ำ

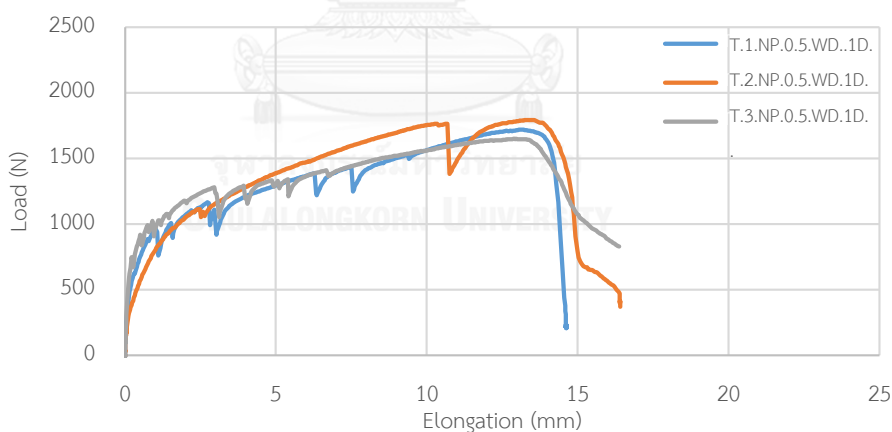
จากรูปที่ 4.113 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ยกเว้นค่าที่ 28 วัน ในอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 เนื่องจากไม่มีความสม่ำเสมอของความหนาในชั้นซีเมนต์เพสต์ทำให้มีความหนาที่น้อยกว่า

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่น GCC ของทั้ง 3 วิธีการบ่มจะเห็นว่าวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ แต่อัตราส่วนที่ $W/W_{GCC} = 0.5$ และ 1 จะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีความไม่สม่ำเสมอของความหนา ซึ่งทำให้การพรมน้ำที่ 0.5 อาจไม่ทั่วถึง แต่อัตราส่วนที่ 1 ทั่วถึง และเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานแรงดึงในชั้นซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นตาม และมีค่า P_f/P_p สูงกว่าแบบบ่มห่อพลาสติกเมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้น ส่วนบ่มแบบอากาศจะลดลงตามระยะเวลาการบ่ม แต่เมื่อแช่น้ำเป็นระยะเวลานานทำให้เส้นใยที่ยึดติดระหว่างชั้นเสื่อมสภาพ ส่งผลทำให้หลุดง่าย

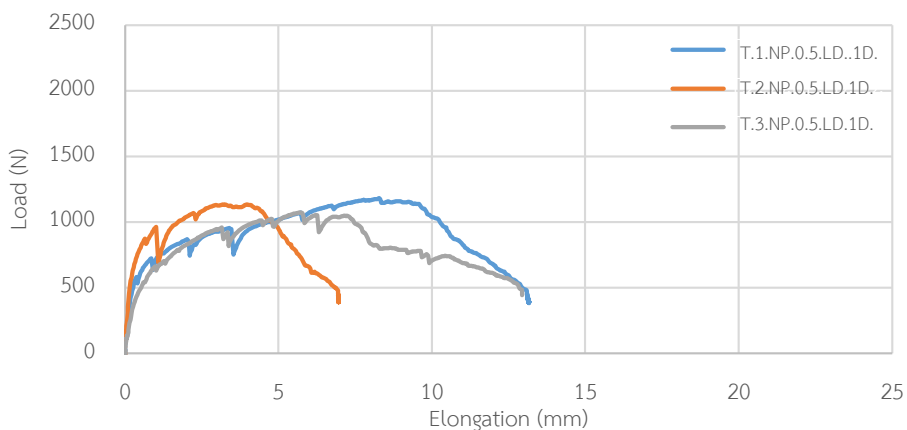
4.5.2. การทดสอบความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product)

4.5.2.1. การทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากการทดสอบจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 เท่านั้น กับระยะเวลาการบ่ม 137 และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.114 4.115 4.116 และ 4.117

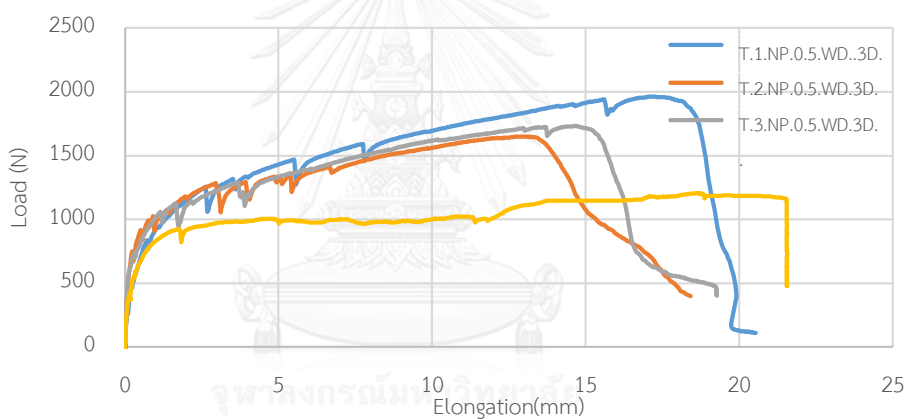


(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

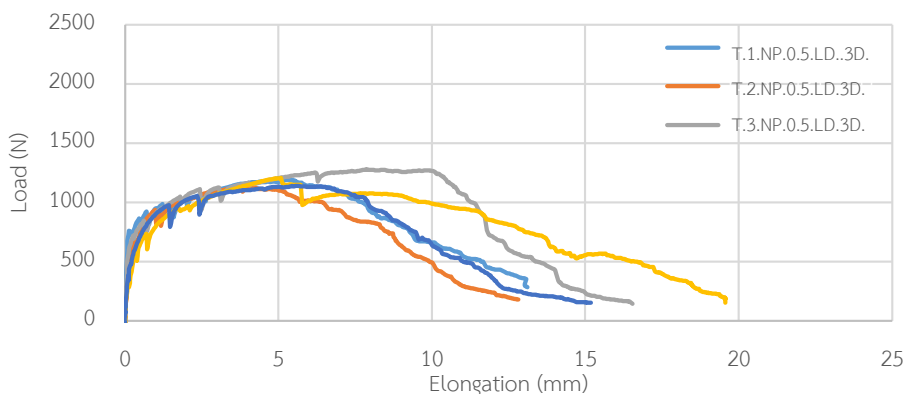


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.114 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

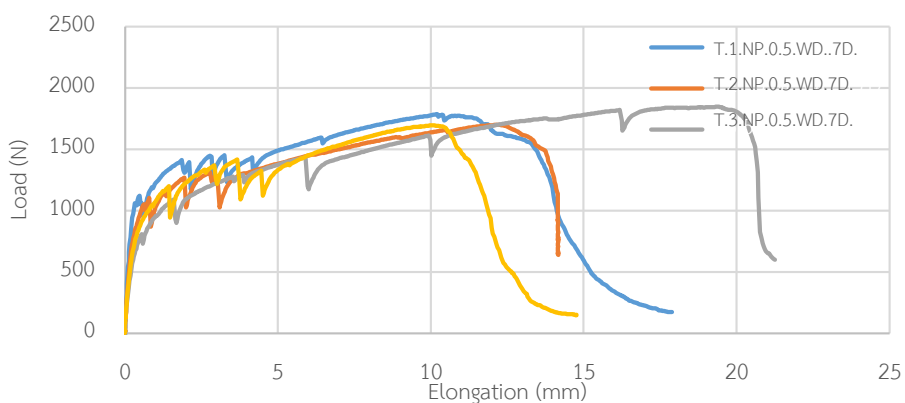


(ค) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

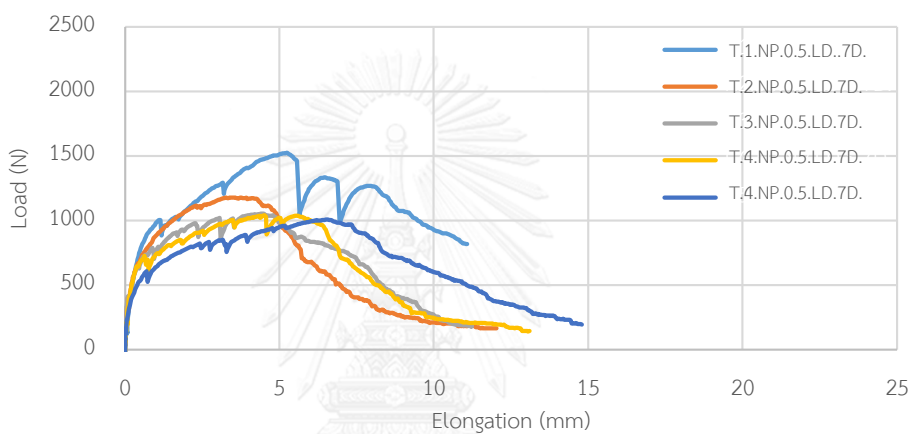


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.115 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

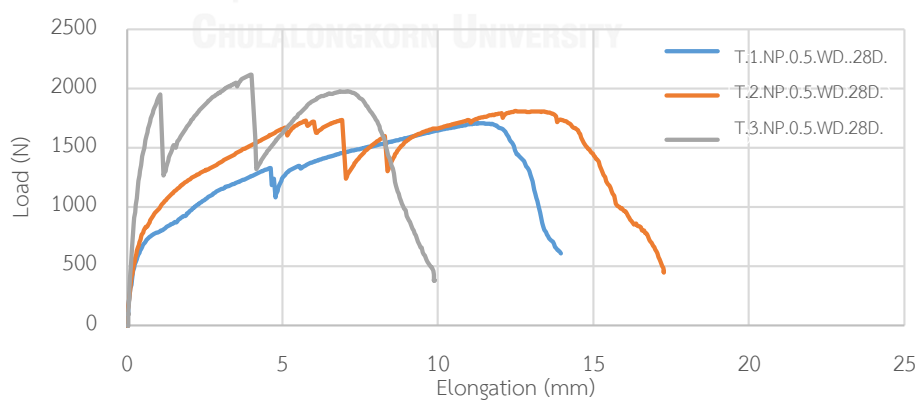


(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

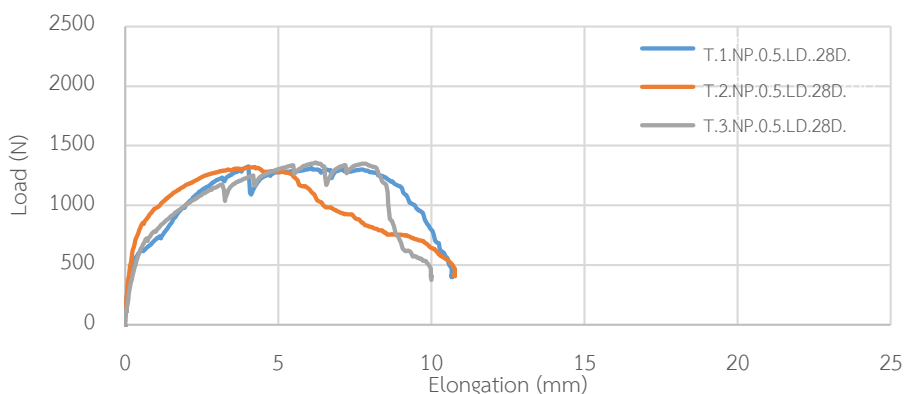


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.116 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีบ่มแช่น้ำ)



(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)



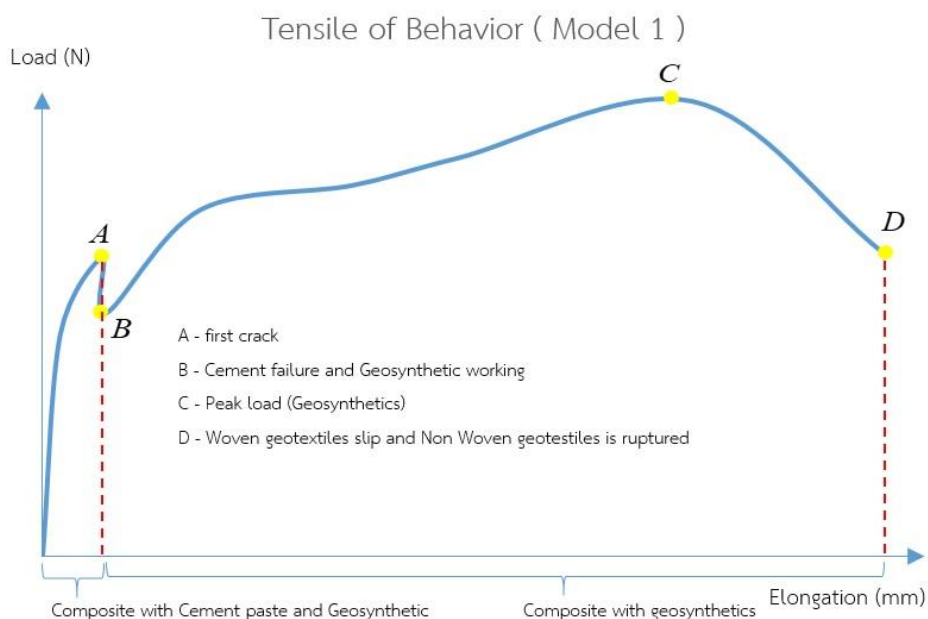
(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.117 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่ม
แช่น้ำ)

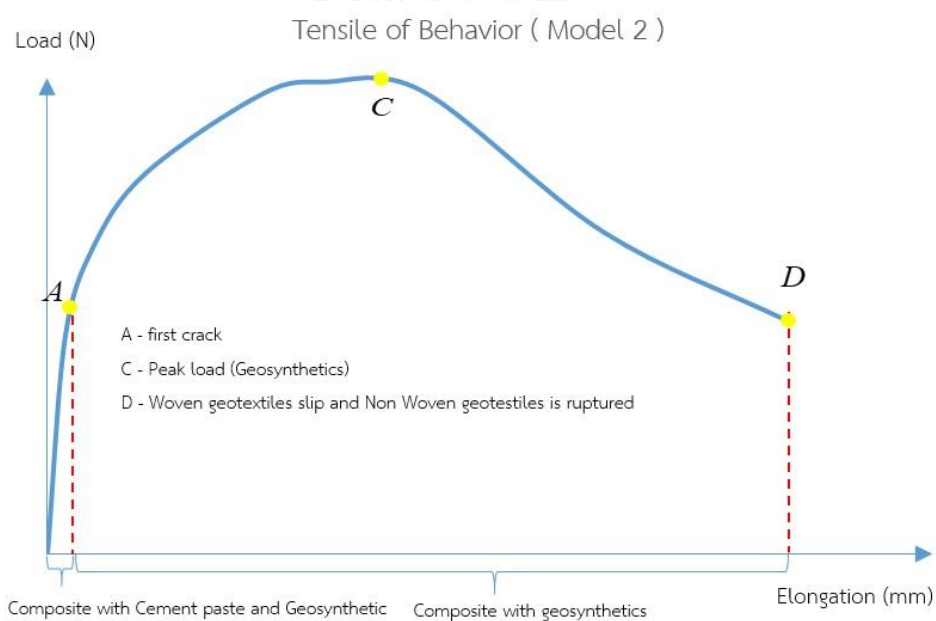
จากผลการทดสอบความต้านทานการรับแรงดึงข้างต้นสามารถนำกราฟมาเฉลี่ยเพื่อนำกราฟเพียงกรณีละ 1 ตัวอย่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีอื่น โดยมีการเฉลี่ยเป็นแบบเลือกจุดในการเฉลี่ย ซึ่งมีการศึกษาพฤติกรรมความต้านทานแรงดึงและขั้นตอนเลือกจุดดังนี้

4.5.2.2. พฤติกรรมการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

การรับแรงดึงของแผ่นซีเมนต์สังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 4.118 และ 4.119 ในช่วงแรกของการรับแรงดึง ซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดจะรับแรง โดยความต้านทานแรงดึงของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับความหนาของซีเมนต์เพสต์ วิธีการบ่มและระยะเวลาการบ่ม ในรูปแบบที่ 1 เมื่อแรงดึงเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด A หรือ เรียกว่า จุดเริ่มต้นการแตกร้าว (First Crack) จะเห็นว่าตำแหน่งของจุดเริ่มต้นการแตกร้าว ก่อนที่แรงจะตกลงสู่จุด B เนื่องจากซีเมนต์เพสต์ไม่สามารถรับแรงดึงได้อีก และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven Geotextiles) และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non - Woven geotextiles) จะเริ่มทำหน้าที่รับแรงดึงแทน โดยความต้านทานรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะขึ้นอยู่กับกระบวนการเย็บที่ยึดติดระหว่างแผ่นซีเมนต์เพสต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.118 ในขณะที่รูปแบบพฤติกรรมที่ 2 ของการรับแรงดึงจะมีไม่จุด B ดังแสดงในรูป 4.119 เนื่องจากชั้นซีเมนต์เพสต์แตก แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด มีการช่วยกันแบบต่อเนื่อง เมื่อแรงดึงเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด C ซึ่งเป็นจุดสูงสุดของการรับแรงดึงของแผ่น GCC (Peak load) และหลังจากจุด D แผ่น GCC จะเมื่อมีการฉีกขาดออกมากันแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ที่จะขาดก่อนคือ แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non-Woven) ต่อจากนั้นจะเป็นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven)



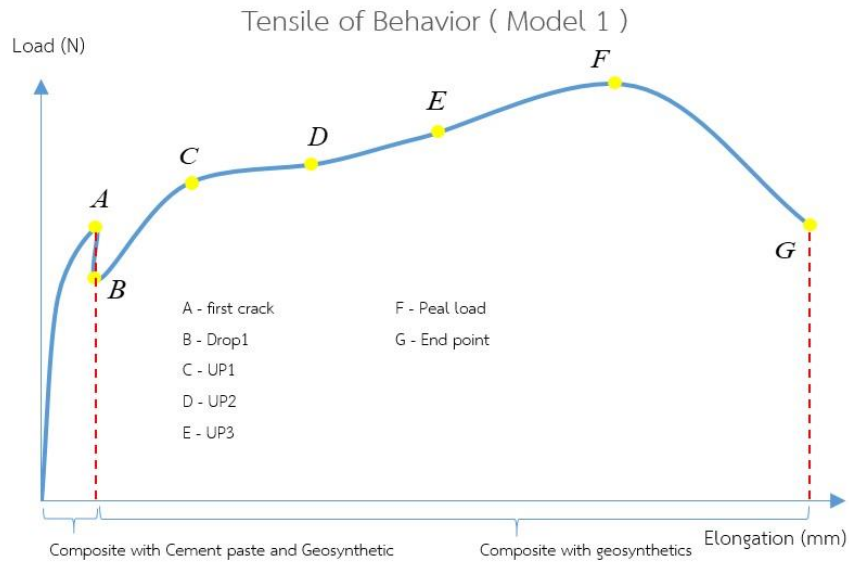
รูปที่ 4.118 พฤติกรรมการรับแรงดึงแบบที่ 1



รูปที่ 4.119 พฤติกรรมการรับแรงดึงแบบที่ 2

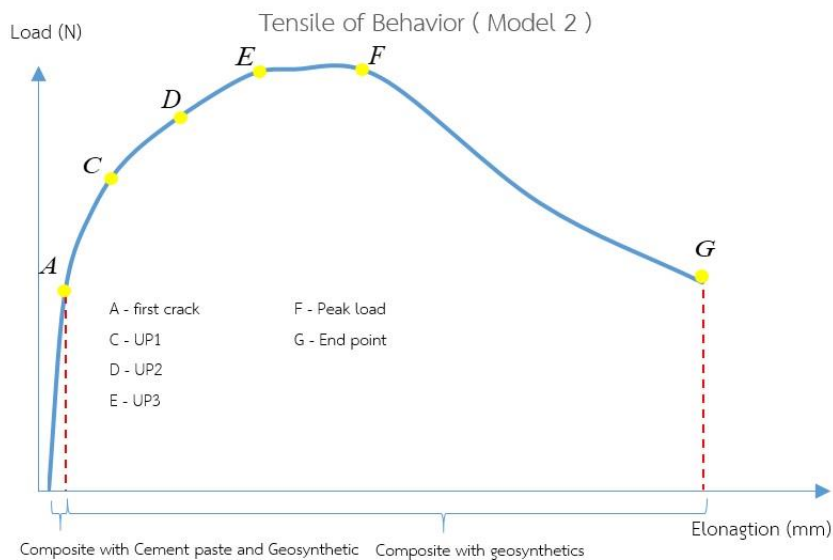
การเลือกจุดของการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

การเลือกจุดในกราฟการรับแรงดึงของแผ่น GCC โดยจะเลือกจุดที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการรับแรงดึงมากที่สุดเพื่อมาเฉลี่ยหากราฟของการรับแรงดึงในแต่ละกรณีโดยมีทั้งหมด 8 จุดโดยจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังรูปที่ 4.120 และ 4.121



รูปที่ 4.120 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร รูปแบบที่ 1

จากรูป 4.120 การเลือกจุดในการทดสอบความต้านทานแรงดึงมีการเลือกจุด ดังนี้ 1. รอยแตกครั้งแรก (First crack) 2. จุดสูงสุดของซีเมนต์เพสต์ (First peak) 3. จุดตกครั้งที่ 1 (drop1) 4. จุดขึ้นครั้งที่ 1 (up1) 5. จุดขึ้นครั้งที่ 2 (up2) 6. จุดขึ้นครั้งที่ 3 (up3) 7. จุดสูงสุด (Peak load) 8. จุดจบของกราฟ (end point) จากการเลือกจุดนี้สามารถหากราฟของการทดสอบความต้านทานแรงดึงในแต่ละกรณีได้อย่างละ 1 กรณีและสามารถนำกราฟเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกัน

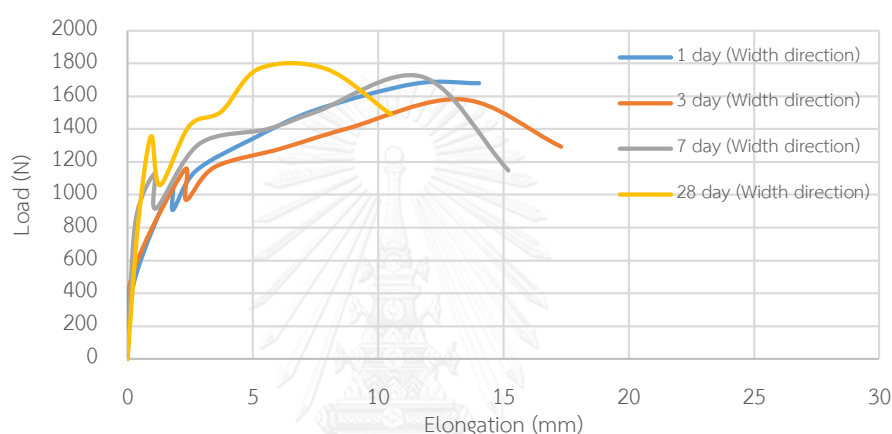


รูปที่ 4.121 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร รูปแบบที่ 2

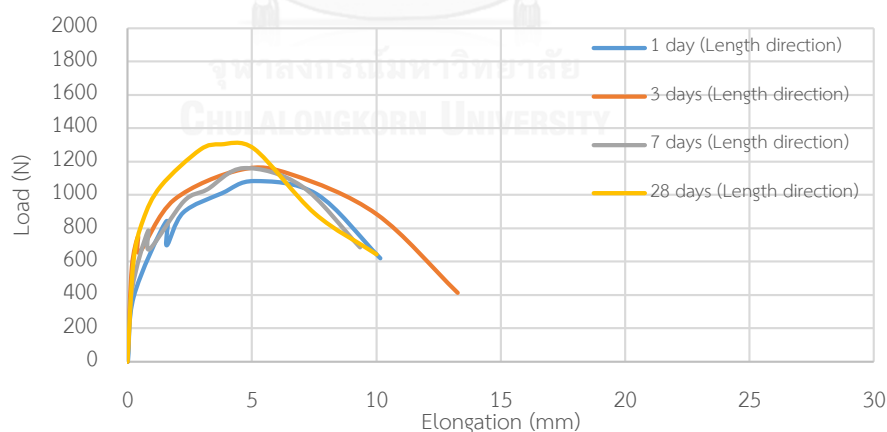
จากรูปที่ 4.120 และ 4.121 มีจุดที่แตกต่างกันคือช่วงจุด A ไปยังจุด B นอกจากนี้จะเหมือนกัน

4.5.2.3. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงโดยวิธีการบ่มเป็นแบบแช่น้ำ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะยืดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 เวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน และทิศทางการเย็บ ตามขวาง (Width direction) ตามยาว (Length direction) โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนการพรมน้ำและทิศทางการเย็บด้วยกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.122



(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

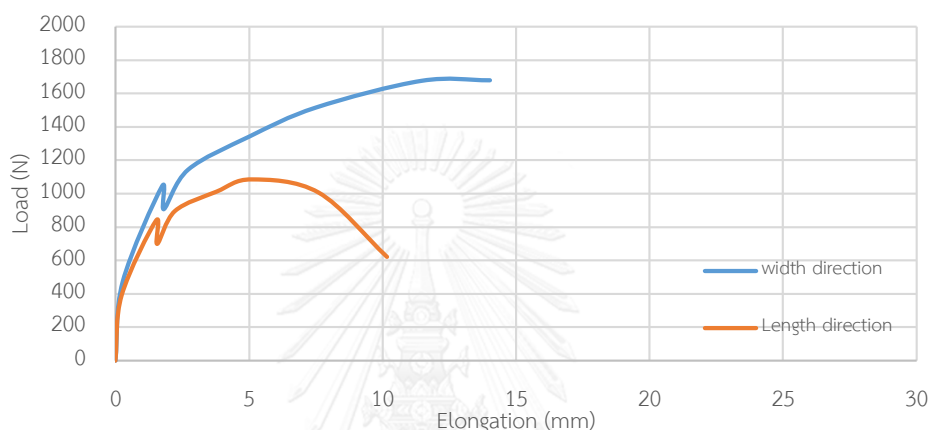


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

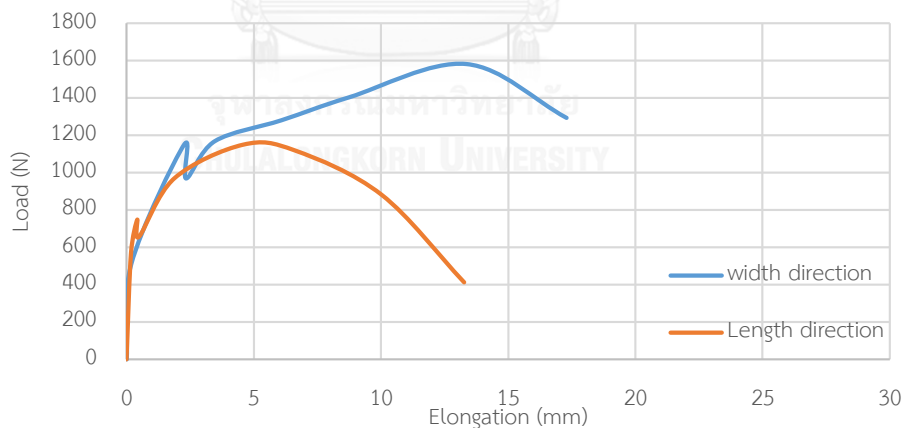
รูปที่ 4.122 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 3 7 และ 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

จากรูปที่ 4.122 จะเห็นว่าในแต่ละทิศทาง แผ่น GCC ที่บ่มเป็นเวลา 13 และ 7 วัน นั้นมีความต้านทานการรับแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ของทั้ง 2 ทิศทาง จะรับแรงดึงได้มากที่สุด

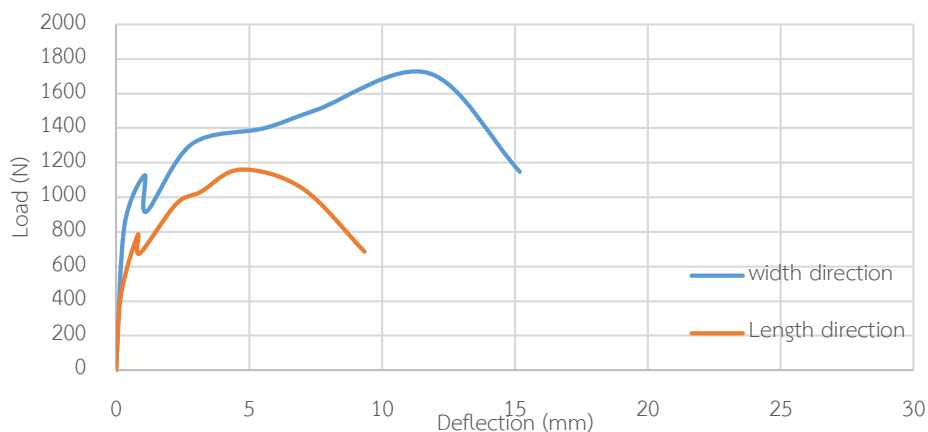
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่ทิศทางการเย็บที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.123, 4.124, 4.125 และ 4.126 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มีทิศทางตามขวาง (Width direction) จะรับแรงดึงได้มากกว่าแผ่น GCC ที่มีทิศทางตามยาว (Length direction) ทั้ง 1, 3, 7 และ 28 วัน



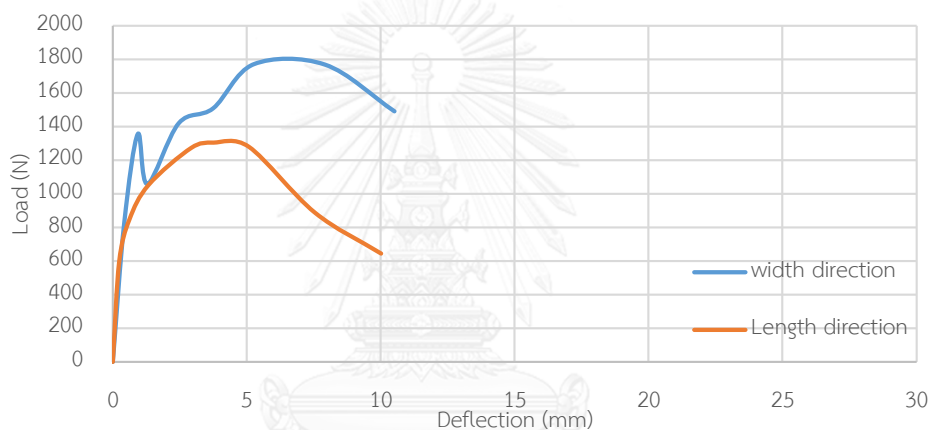
รูปที่ 4.123 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน



รูปที่ 4.124 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน

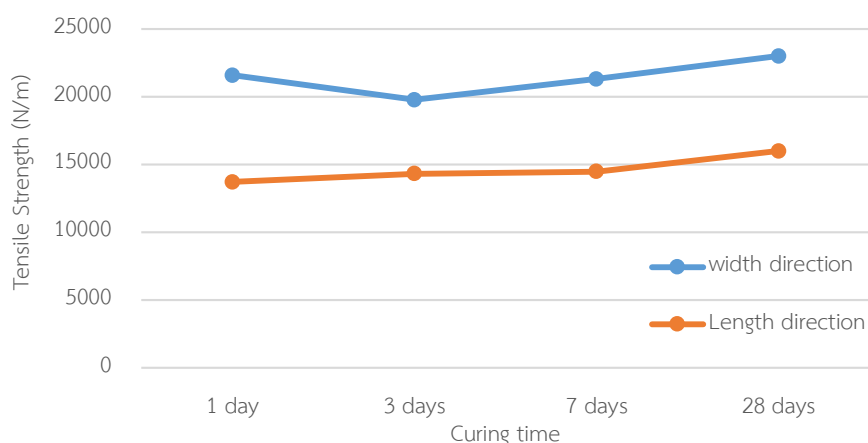


รูปที่ 4.125 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน



รูปที่ 4.126 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Tensile load) ค่าเฉลี่ยความต้านทานที่ซีเมนต์ ค่าเฉลี่ยความต้านทานเส้นใยสังเคราะห์และอัตราส่วนแรงและระยะโก่งดังรูปที่ 4.127 และตารางที่ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.127 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

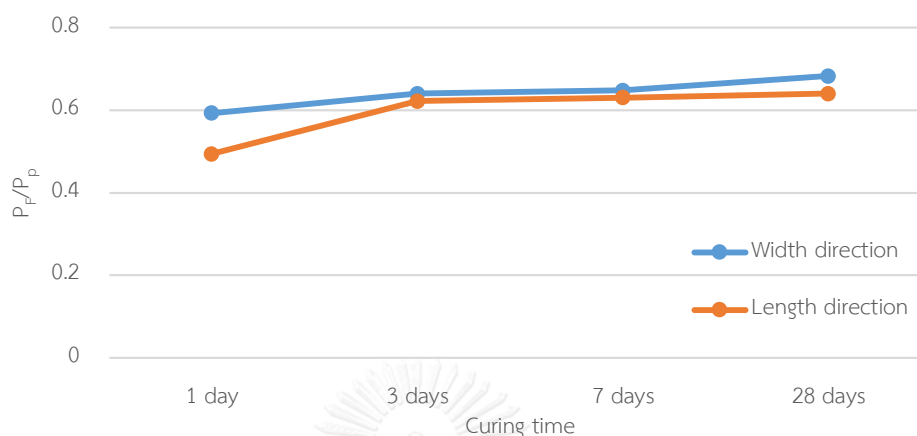
จากรูปที่ 4.127 พบว่าความต้านทานการรับแรงดึงในทิศทางตามขวางจะมีค่ามากกว่าตามยาว เนื่องจากในผลผลิต GCC ชนิด NP เกิดความเสียหายในทิศทางตามขวาง ความต้านทานแรงดึงของแผ่น GCC ชนิด NP ในระยะเวลาการบ่ม 1 วัน ถึง 28 วัน ในทิศทางเดียวกัน มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร(วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ)

Direction	Curing day	$P_{first\ crack}$ (N)	$\delta_{first\ crack}$ (mm)	P_{peak} (N)	δ_{peak} (mm)	P_f/P_p	δ_f/δ_p
Width	1	1044.16	1.74	1758.20	13.30	0.59	0.13
Length		836.57	1.52	1130.80	5.99	0.49	0.40
Width	3	1147.76	2.25	1637.54	15.84	0.64	0.15
Length		794.08	0.62	1189.62	5.52	0.62	0.11
Width	7	1128.11	1.07	1741.90	11.86	0.65	0.09
Length		630.83	0.53	1161.53	4.85	0.63	0.10
Width	28	1355.71	0.93	1912.83	7.69	0.68	0.17
Length		732.77	0.60	1324.32	4.13	0.64	0.15

จากตารางที่ 4.14 พบว่าที่ระยะเวลาการบ่มต่างกัน ค่า $P_{first\ crack}$ และค่าแรงดึงสูงสุดของแต่ละทิศทางจะมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน ทิศทางตามขวางสามารถคำนวณ

อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์ เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ตามระยะเวลาการบ่มดังรูปที่ 4.128



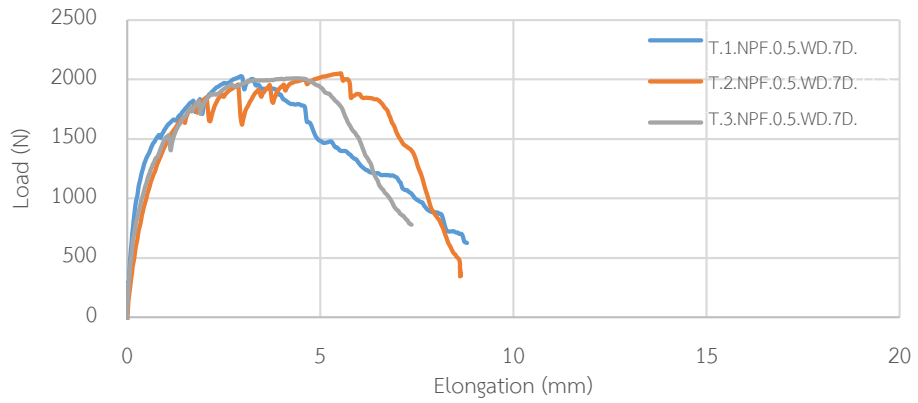
รูปที่ 4.128 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่มวิธีบ่มแบบแช่น้ำ

จากรูปที่ 4.128 จะเห็นว่าค่า P_F/P_p ในทิศทางตามขวางมีค่าน้อยมากกว่าเล็กน้อย และเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น ค่า P_F/P_p เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

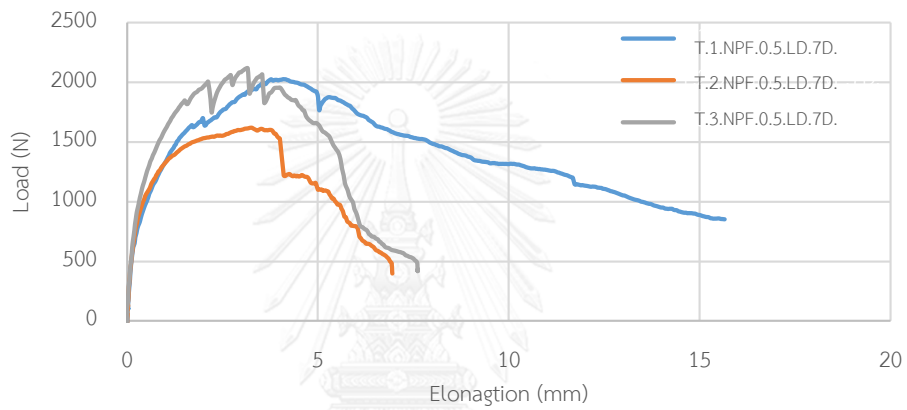
4.5.3. การทดสอบความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมเส้นใย (New Product add fiber)

4.5.3.1. การทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

การทดสอบจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 เท่านั้น กับระยะเวลาการบ่ม 7 และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.129 และ 4.130 และเนื่องจากแผ่น GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใย ในขั้นตอนของกระบวนการเย็บ แผ่น GCC นั้นจะมีความเสียหายเช่นเดียวกับแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

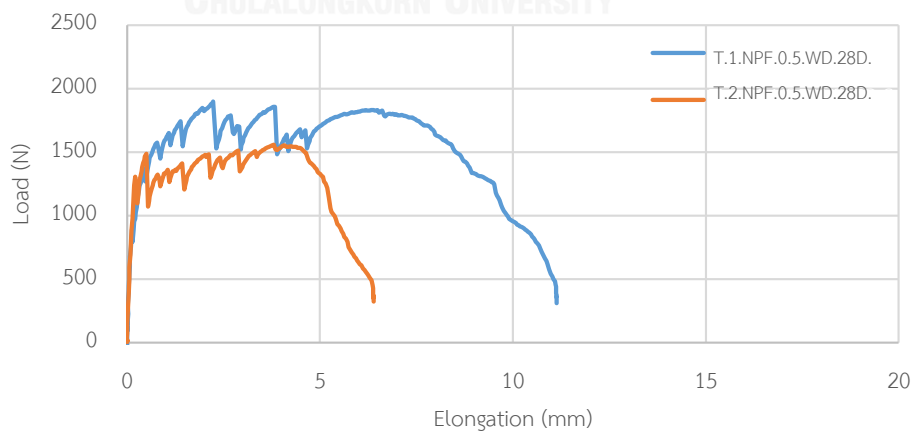


(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

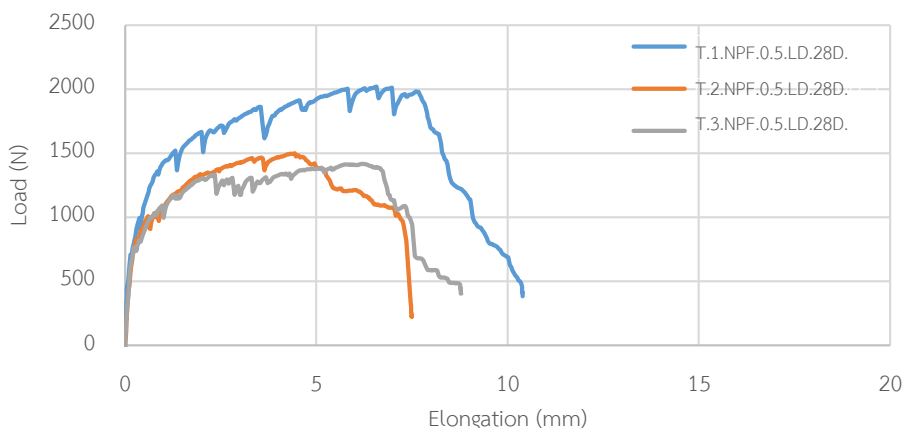


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.129 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)



(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)



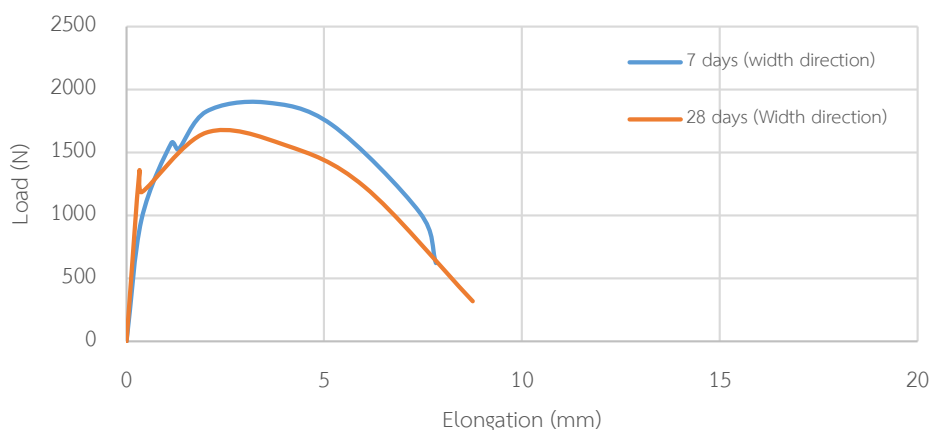
(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

รูปที่ 4.130 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่ม
แช่น้ำ)

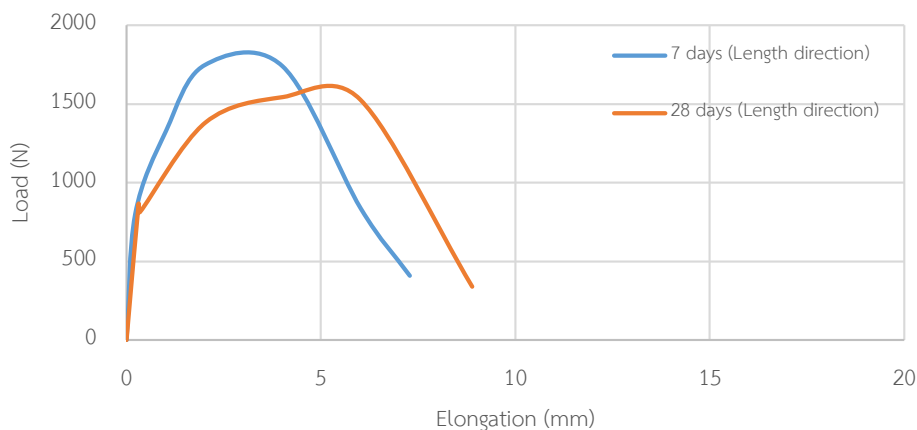
จากผลการทดสอบแรงดึงข้างต้นสามารถนำกราฟมาเฉลี่ยเพื่อหากราฟเพียงกรณีละ 1 ตัวอย่าง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีอื่น โดยมีการเฉลี่ยเป็นแบบเลือกจุด ใช้พฤติกรรมการรับแรงดึงและขั้นตอนการเลือกจุดจะเหมือนกับพฤติกรรมการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์โพลีเอสเตอร์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

4.5.3.2. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงดึง

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงวิธีการบ่มเป็นแบบแช่น้ำใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC เท่ากับ 0.5 เท่ากันหมดทุกแผ่น ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะการยืดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ เวลาการบ่ม 7 และ 28 วัน และทิศทางการรับแรง ตามยาว (Length direction) และตามขวาง (Width direction) โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.131



(ก) ทิศทางตามขวาง (Width direction)

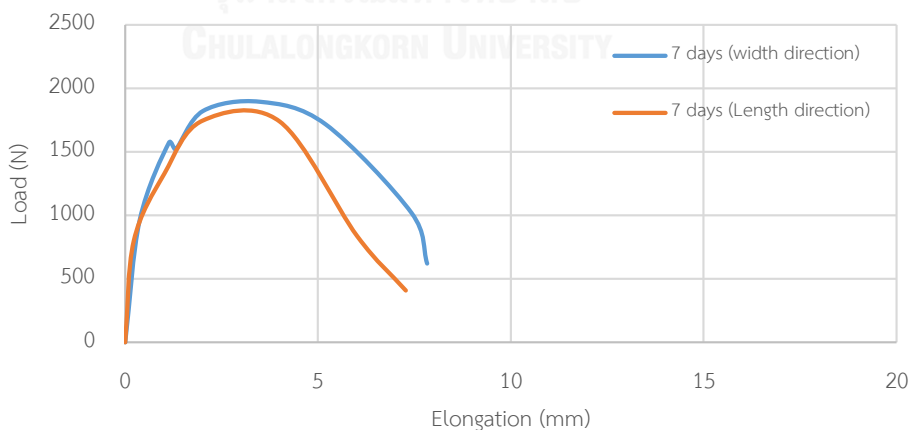


(ข) ทิศทางตามยาว (Length direction)

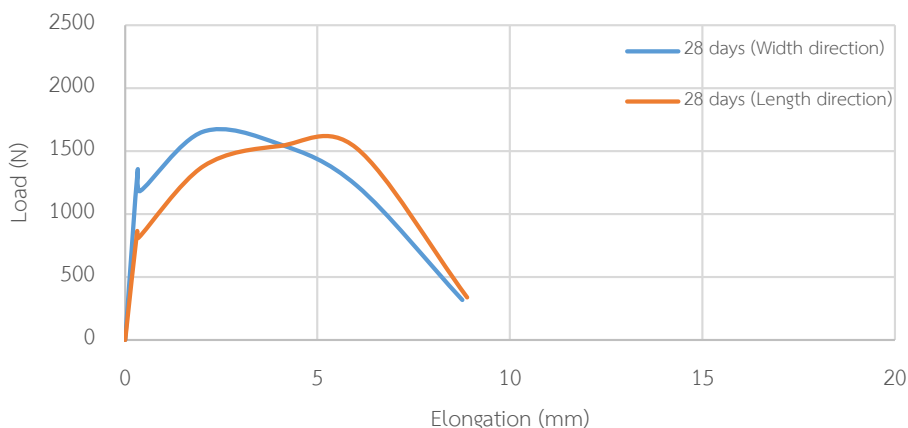
รูปที่ 4.131 ผลทดสอบแรงดึง GCC ชนิดเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ทั้ง 2 ทิศทาง ตามขวางและตามยาวที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

จากรูปที่ 4.131 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มีระยะเวลาการบ่ม 7 วัน จะมีค่ามากกว่า 28 วัน ทั้ง 2 ทิศทางคือ ตามยาวและตามขวาง เนื่องจากกระบวนการเย็บแผ่น GCC ชนิดนี้มีเส้นใยในชั้นซีเมนต์ทำให้การเย็บระหว่างแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) ไม่ดี เมื่อแช่น้ำไปในระยะเวลานานเส้นใยที่ยึดติดระหว่างชั้นเกิดการเสื่อมได้

จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่ทิศทางการเย็บที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.132 และ 4.133 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มีทิศทางตามขวาง (Width direction) จะรับแรงดึงได้มากกว่าแผ่น GCC ที่มีทิศทางตามยาว (Length direction) ทั้ง 7 และ 28 วัน

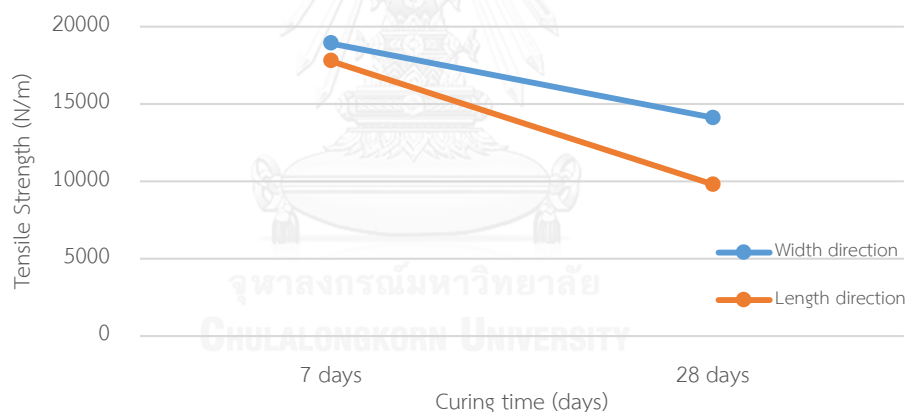


รูปที่ 4.132 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน



รูปที่ 4.133 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่น GCC สามารถหาค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Tensile load) ค่าเฉลี่ยความต้านทานที่ซีเมนต์ ค่าเฉลี่ยความต้านทานเส้นใยสังเคราะห์และอัตราส่วนแรงและระยะยืดสูงสุดดังรูปที่ 4.134 และตารางที่ 4.15 ตามลำดับ



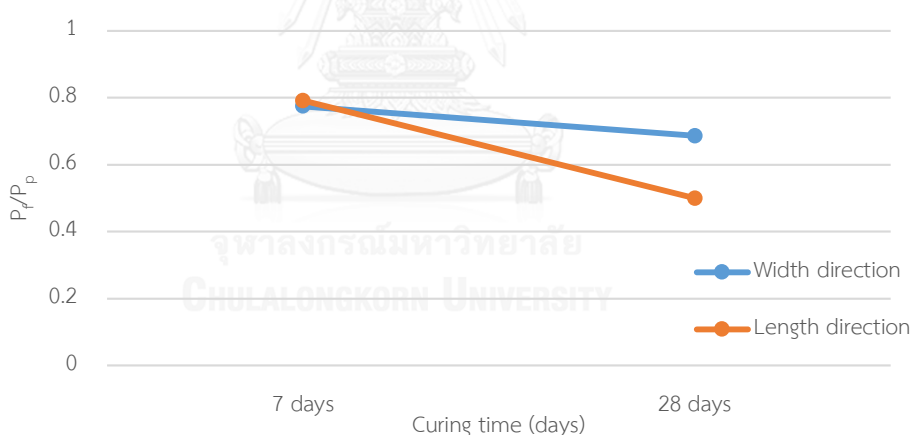
รูปที่ 4.134 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ ชนิดเสริมเส้นใย

จากรูปที่ 4.134 จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงดึง NPF มีค่าลดลงทั้ง 2 ทิศทาง เนื่องจากกระบวนการเย็บบางจุดเข็มไม่สามารถแทงทะลุได้เนื่องจากติดเส้นใย และปริมาณเส้นใยที่อยู่ในชั้นซีเมนต์ มีการกระจายตัวไม่ดี เพราะใช้สายตาในปรับระดับปูนซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยไฟเบอร์

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการต้านทานแรงดึงของ GCC ชนิดเสริมเส้นใย(วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ)

Direction	Curing day	$P_{first\ crack}$ (N)	$\delta_{first\ crack}$ (mm)	P_{peak} (N)	δ_{peak} (mm)	P_f/P_p	δ_f/δ_p
Width	7	1573.00	1.14	2030.23	4.29	0.77	0.27
Length		1469.81	1.34	1920.85	3.50	0.79	0.37
Width	28	1182.64	0.38	1727.43	3.02	0.69	0.15
Length		812.50	0.34	1646.53	5.75	0.50	0.06

จากตารางที่ 4.15 ค่า $P_{first\ crack}$ ของทิศทางตามขวางและตามยาวจะมีค่าใกล้เคียงกันในกรณี 7 วัน แต่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน ทั้ง 2 ทิศมีค่าลดลง ค่าแรงดึงสูงสุดอยู่ในแต่ละทิศทางจะมีค่าใกล้เคียงกันจึงสามารถคำนวณอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์ เพื่อหากำลังรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ตามระยะเวลาการบ่มดังรูปที่ 4.135



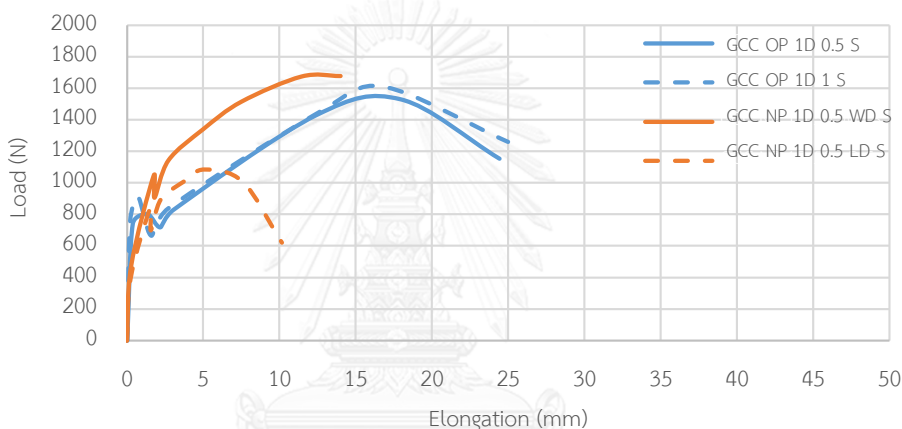
รูปที่ 4.135 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์กับระยะเวลาการบ่ม วิธีบ่มแบบแช่น้ำ

จากรูปที่ 4.135 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ต่อแรงดึงเส้นใยสังเคราะห์ (P_f/P_p) ใน 7 วัน ทั้ง 2 ทิศทางจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากแผ่น GCC ทิศตามยาว (Length direction) มีปริมาณเส้นใยอยู่มากกว่าทิศทางตามขวาง จึงทำให้ค่าได้ใกล้เคียงกับแผ่น GCC ทิศทางตามขวาง (Width direction) และอัตราส่วน (P_f/P_p) ที่การบ่ม 7 วัน มีค่ามากกว่า 28 วัน เนื่องจากการเสื่อมของเส้นใย และค่า P_f/P_p ที่ 28 วันของทิศทางตามขวาง มีค่ามากกว่า ทิศทางตามยาว เนื่องจากทิศทางตามยาวมีการเสียหายจากกระบวนการเย็บ

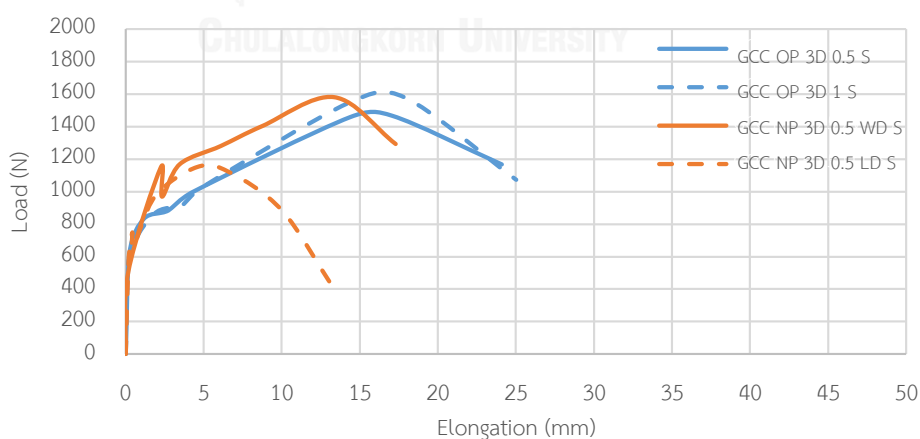
4.5.4. การเปรียบเทียบความต้านทานการรับแรงดึงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด

การเปรียบเทียบการรับแรงดึงของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิดนี้ โดยจะเลือกอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ที่ 0.5 และ 1 ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ และทิศทางตามขวาง และตามยาวของแผ่น GCC ที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ที่ 0.5 ในชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรและเสริมเส้นใยเปรียบเทียบวิธีการบ่มแบบแช่น้ำโดยจะเลือกระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 7 และ 28 วันเนื่องจากวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมเส้นใยจะเตรียมตัวอย่างที่ 7 และ 28 วัน

การเปรียบเทียบจะมีอัตราการพรมน้ำที่ 0.5 และ 1 กับทิศทางการรับแรงตามขวางและยาวของแผ่น GCC ในระยะเวลาการบ่ม 13 7 และ 28 ดังรูปที่ 4.136 4.137 4.138 และ 4.139



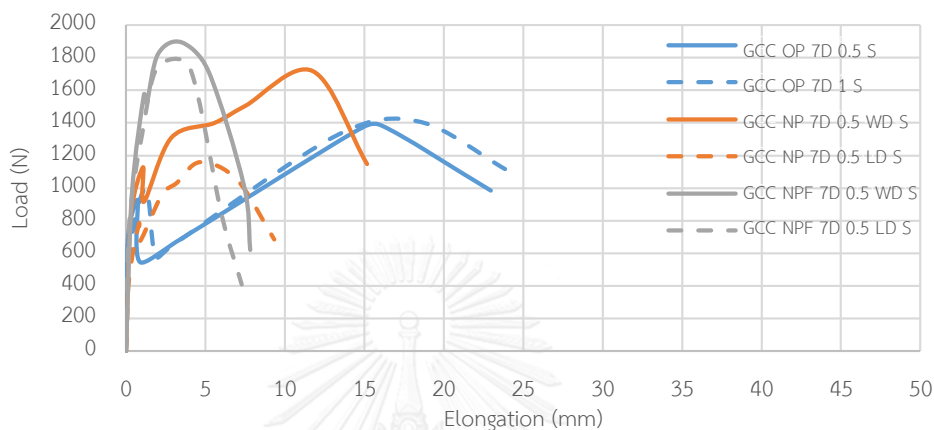
รูปที่ 4.136 ระยะการบ่มที่ 1 วัน



รูปที่ 4.137 ระยะการบ่มที่ 3 วัน

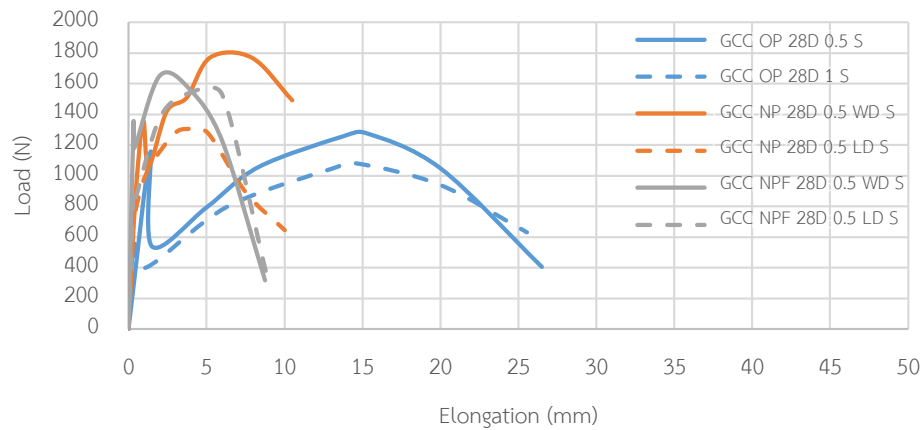
จากรูปที่ 4.136 และ 4.137 ในช่วงแรกของการรับแรงดึงในชั้นของซีเมนต์เพสต์นั้น แผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามขวางจะมีค่ามากที่สุดเนื่องจากได้เปลี่ยนรูปแบบการเย็บทำให้ชั้นของ

ซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์มีการยึดติดกันได้มากกว่าของชนิด OP และค่ารับแรงดึงชั้นซีเมนต์เพสต์ที่ต่ำที่สุดในระยะเวลาการบ่มใน 1 วันจะเป็นชนิดของแผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามยาว และในช่วงรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิด NP ทิศทางตามยาวจะรับแรงได้น้อยที่สุด จากระยะเวลาการบ่มที่ 1 และ 3 วัน จะเห็นว่าความยึดตัวของชนิด OP จะมีค่ามากกว่า



รูปที่ 4.138 ระยะการบ่มที่ 7 วัน

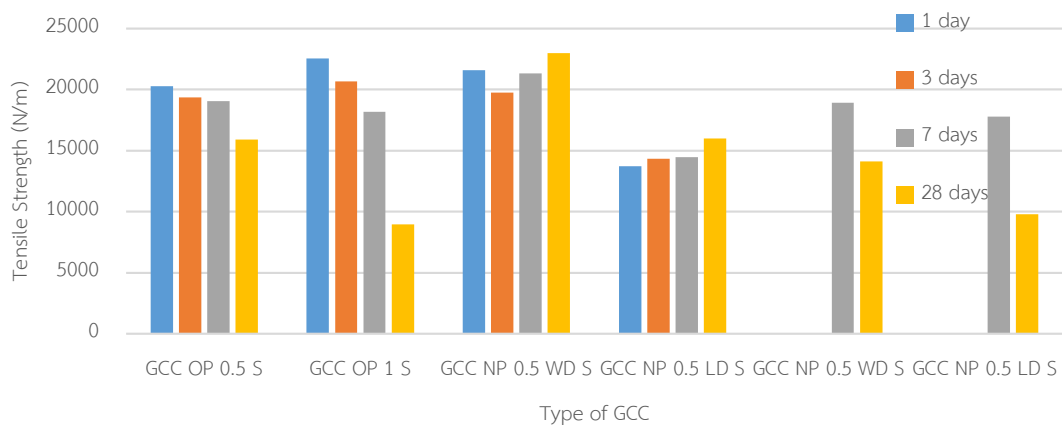
จากรูปที่ 4.138 การรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใย ชนิด NPF ทั้ง 2 ทิศทางในช่วงแรก จะมีค่ามากที่สุดในระยะการบ่มที่ 7 วัน เนื่องจากมีเส้นใยที่ผสมอยู่ในชั้นซีเมนต์เพสต์ช่วยในการรับแรงดึง และช่วงการรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ที่น้อยที่สุดใน 7 วัน จะเป็นแผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามยาว ในช่วงหลังแผ่นเส้นใยสังเคราะห์จะรับแรงดึงได้มากที่สุดทั้ง 2 ทิศทาง จะเป็นชนิดของ NPF เนื่องจากมีเส้นใยเสริมกำลังผสมอยู่ทำให้ช่วยในการรับแรงดึง และต่ำสุดคือชนิด NP ทิศทางตามยาว ส่วนระยะยืดในแผ่น GCC ชนิด NPF ทั้ง 2 ทิศทางจะยืดน้อยที่สุด ซึ่งแผ่น GCC ชนิด OP จะมีระยะยืดมากที่สุด



รูปที่ 4.139 ระยะการบ่มที่ 28 วัน

จากรูปที่ 4.139 การรับแรงดึงในช่วงแรกของชั้นซีเมนต์เพสต์ชนิด NPF และ NP ทิศทางตามยาว จะมีค่าใกล้เคียงกันและค่ามากที่สุดในระยะการบ่มที่ 28 วัน ส่วนของชนิด OP อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 จะรับแรงดึงในช่วงแรกได้น้อยที่สุด ส่วนในช่วงหลังกำลังรับแรงดึงของแผ่น GCC ชนิด NP ทิศทางตามขวางจะมีค่ามากที่สุด มากกว่าชนิดของ NPF เพราะชนิด NPF เกิดจากการเสื่อมของแผ่นเส้นใยเคราะห์เนื่องจากแช่น้ำนานเกินไป และกระบวนการของแผ่น GCC ชนิดนี้บางส่วนเข็มจะแทงไม่ทะลุเนื่องจากติดเส้นใยที่อยู่ในชั้นของซีเมนต์เพสต์ทำให้มีการยึดแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ไม่ดีเท่าชนิด NP ส่วนการรับแรงชนิด OP อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 จะรับแรงดึงน้อยที่สุด ส่วนระยะยึดในแผ่น GCC ชนิด NPF ทั้ง 2 ทิศทางจะยึดน้อยที่สุด ซึ่งแผ่น GCC ชนิด OP จะมีระยะยึดมากที่สุด

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด สามารถหาความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแต่ละชนิดได้ดังรูปที่ 4.140 ซึ่งจะประกอบไปด้วยแผ่น GCC ที่มีอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 กับ 1 และทิศทางตามขวาง (Width direction) และ ทิศทางตามยาว (Length direction) กับระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 7 และ 28 วัน เป็นการบ่มแบบแช่น้ำ

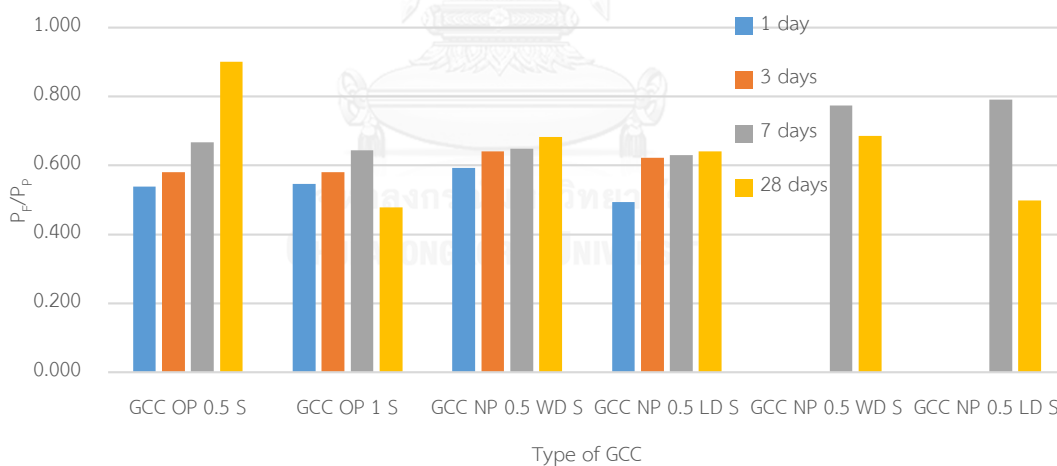


รูปที่ 4.140 ความต้านทานแรงดึงของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด

จากรูปที่ 4.140 แผ่น GCC ชนิด OP ยิ่งระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากเส้นใยของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ(Woven) ที่เย็บระหว่างชั้นซีเมนต์เพสต์เกิดการเสื่อม เพราะแช่น้ำนานเกินไป และจำนวนเส้นใยที่ยึดเชื่อมระหว่างชั้นมีน้อย เช่นเดียวกับชนิด NPF

อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 และ 1 เมื่อคิดเป็นร้อยละความแตกของทั้ง GCCOP ที่อัตราส่วนที่ 0.5 คือ 12 6.8 5.2 และ 12.2 ตามระยะเวลาการบ่ม 1 3 7 และ 28 วัน อัตราส่วนที่ 1 คือ 24.4 14 0.3 และ 50.5 1 3 7 และ 28 วัน จะเห็นว่า ที่อัตราส่วน 1 จะมีความแตกต่างมากที่สุด เนื่องจากแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ที่เสื่อมและเมื่อรับแรงดึงจะหลุดเร็วมากทำให้ตามความต้านทานแรงดึงมีน้อย แต่ในชนิดของ NP และ NPF จะมีความแตกต่างตรงที่กระบวนการเย็บรูปแบบใหม่จะทำให้ทิศทางการตามยาว (Length direction) เกิดความเสียหาย ทำให้รับกำลังแรงดึงได้น้อยกว่าทิศทางการตามขวาง (Width direction) แผ่น GCC ชนิด NP เมื่อผ่านเวลาการบ่มที่มากขึ้นจะไม่ทำให้แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) เกิดการเสื่อม เนื่องจากวิธีการเย็บมีการยึดติดด้วยเส้นใยมากกว่า

การทดสอบความต้านทานการรับแรงดึงของแผ่น GCC สามารถทราบการพัฒนาการรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด โดยหาจากอัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรกต่อแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ในช่วงหลังดังรูปที่ 4.141



รูปที่ 4.141 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรกต่อแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ในช่วงหลัง

จากรูปที่ 4.141 จะเห็นว่าการรับแรงดึงในชั้นซีเมนต์เพสต์ของ GCC2 ชนิดที่พัฒนาการรับแรงดึงของชั้นซีเมนต์เพสต์ตามระยะเวลาการบ่มคือ ชนิด NP และ OP ในอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 เท่านั้น เนื่องจากอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีค่าลดลง เนื่องจากความหนาของชั้นซีเมนต์เพสต์มีความไม่สม่ำเสมอซึ่ง 28 วันจะมีค่าน้อยที่สุดและ NPF ในระยะเวลาการบ่มที่

28 วันจะมีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณเส้นใยไฟเบอร์ที่ผสมอยู่ในชั้นซีเมนต์นั้นมีการกระจายตัวไม่ดี ความหนาของชั้นซีเมนต์ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการผสมปูนซีเมนต์กับเส้นไฟเบอร์ แล้วเทลงบนแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ โดยใช้คนในการปรับระดับชั้นของซีเมนต์

ในอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 จะมีค่าอัตราส่วน P_f/P_p มากกว่าอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 เนื่องจาก อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ใน GCC ที่มีอัตราส่วนการพรมน้ำน้อยกว่าจะสามารถรับแรงดึงได้มากกว่า และเห็นว่าแผ่น GCC ชนิด OP ที่ 28 วัน จะมีค่ามากที่สุดภายใน 3 ชนิด แต่ อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 ชนิด OP ในระยะเวลาการที่ 28 วัน จะมีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากความหนาของ GCC ชนิด OP จะไม่สม่ำเสมอเนื่องจากใช้คนในการปรับระดับในชั้นซีเมนต์ เช่นเดียวกับกับ GCC ชนิด NPF ในทิศทางตามขวาง (Width direction) และตามยาว (Length direction) ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน จะมีการใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณเส้นใยในตอนเตรียมตัวอย่างของทิศทางตามยาวมีปริมาณมาก ทำให้อัตราส่วน P_f/P_p มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจะแตกต่างกับชนิด NP เพราะ ทิศทางตามขวางจะมีอัตราส่วน P_f/P_p ที่มากกว่า ทิศทางตามยาว เนื่องจาก การผลิตแผ่น GCC ชนิด NP จะเกิดความเสียหายของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ ทิศทางตามยาว

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่าชนิด NP จะดีที่สุด เพราะ การรับแรงดึงในช่วงแรกของซีเมนต์เพสต์จะพัฒนากำลังรับแรงดึงตามระยะเวลาการบ่ม ซึ่งแตกต่าง ชนิดของ OP และ NPF เนื่องจากมีความไม่สม่ำเสมอของชั้นซีเมนต์เพสต์ และในช่วงหลังของกำลังรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์จะไม่เสื่อมสภาพในการยึดติดของชั้นซีเมนต์เพสต์ ซึ่งจะแตกต่างกับชนิด OP และ NPF เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้เส้นใยเกิดความเสื่อมสภาพเนื่องจากแช่นานเกินไป

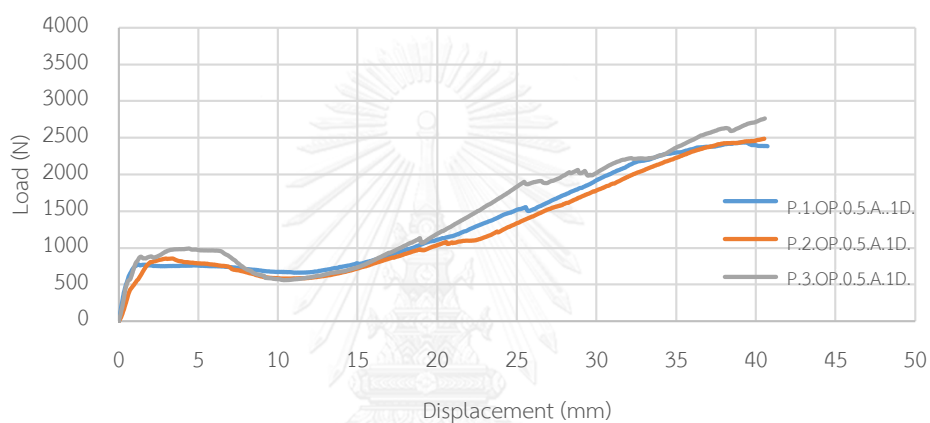
4.6 ความต้านทานแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์

4.6.1. ความต้านทานการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยมือ (Old Product)

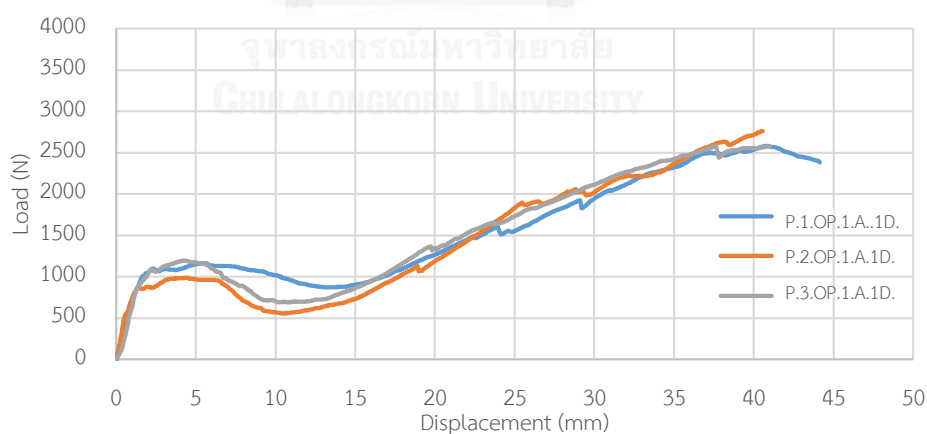
การทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุจะมีอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 และ 1 โดยมีวิธีการบ่ม 3 แบบ คือ บ่มอากาศ ห่อพลาสติก และแช่น้ำ มีระยะเวลาการบ่ม 137 และ 28 วัน

4.6.1.1. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุด้วยวิธีการบ่มอากาศ

จากการทดสอบผลของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 ก็ระยะเวลาการบ่ม 13 และ 7 วัน ดังรูปที่ 4.142 4.143 และ 4.144

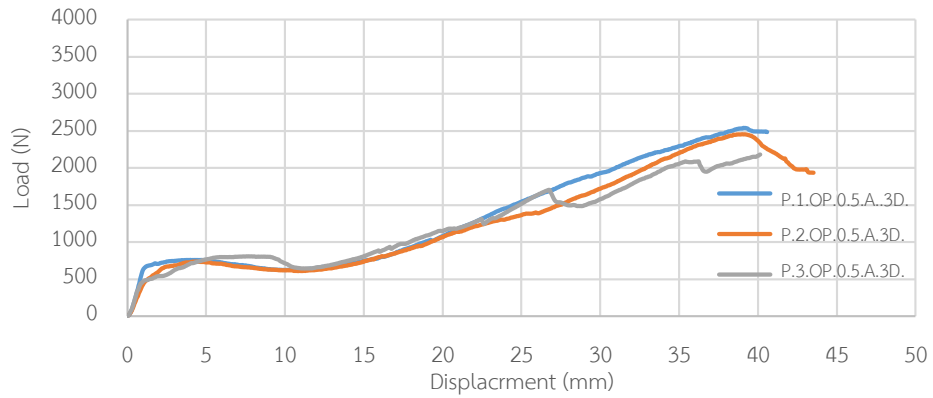
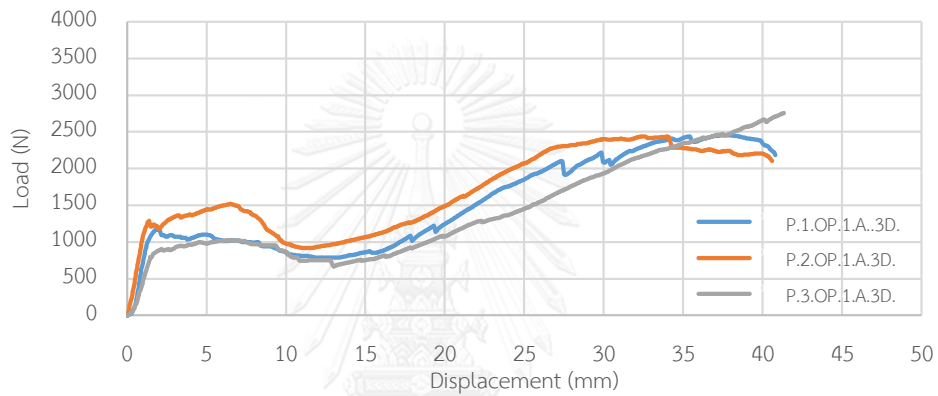


(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$



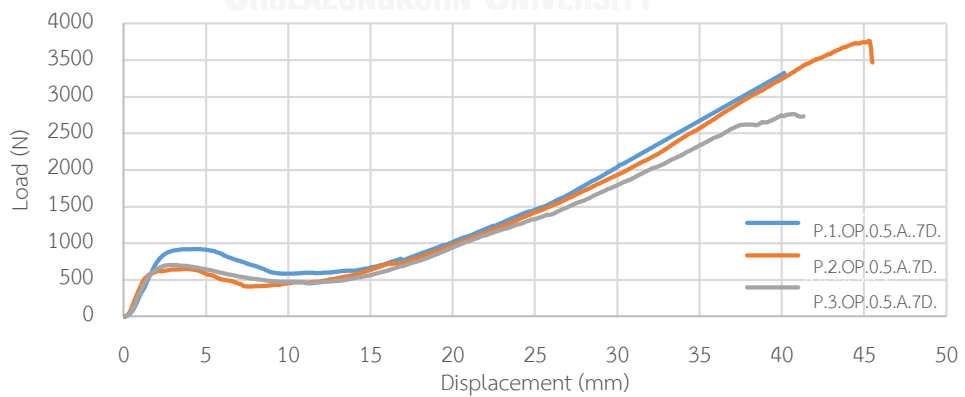
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

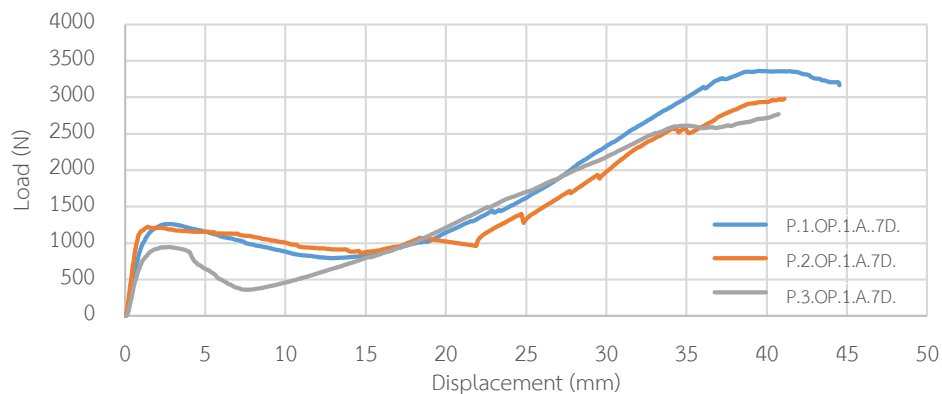
รูปที่ 4.142 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน (วิธีบ่มอากาศ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.143 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่ม

อากาศ)
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

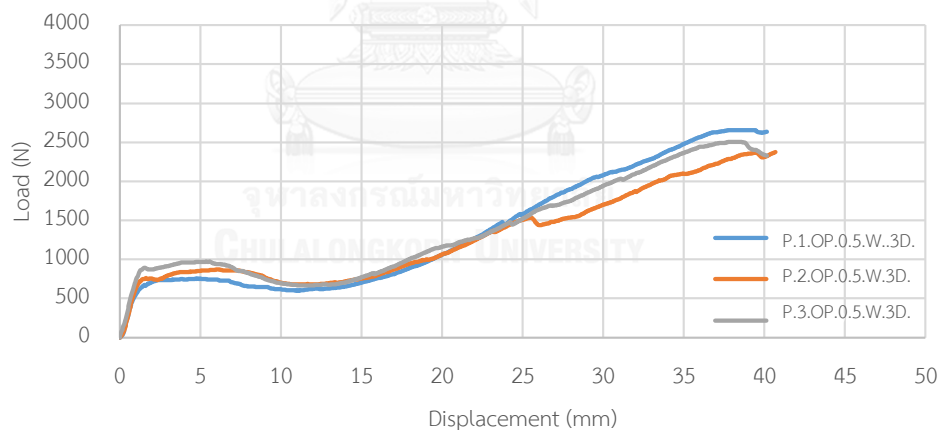


(ข) $W/W_{GCC} = 1$

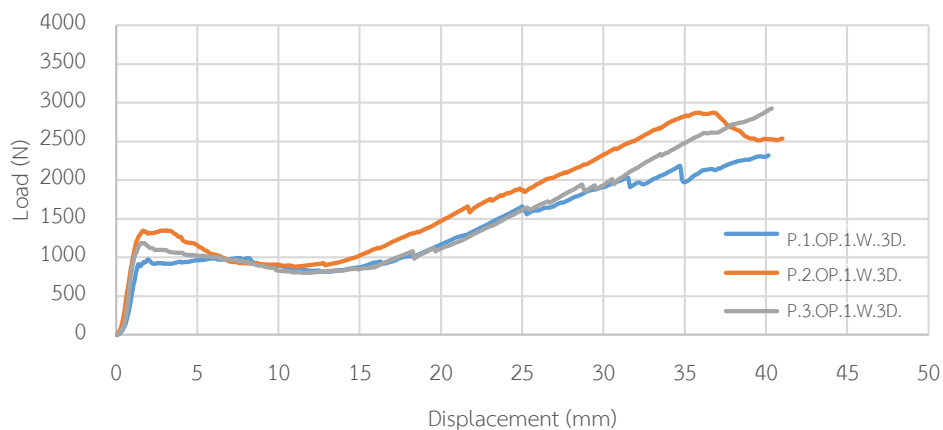
รูปที่ 4.144 ผลทดสอบแรงกดทะเลGCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มอากาศ)

4.6.1.2. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะเลด้วยวิธีการห่อพลาสติก

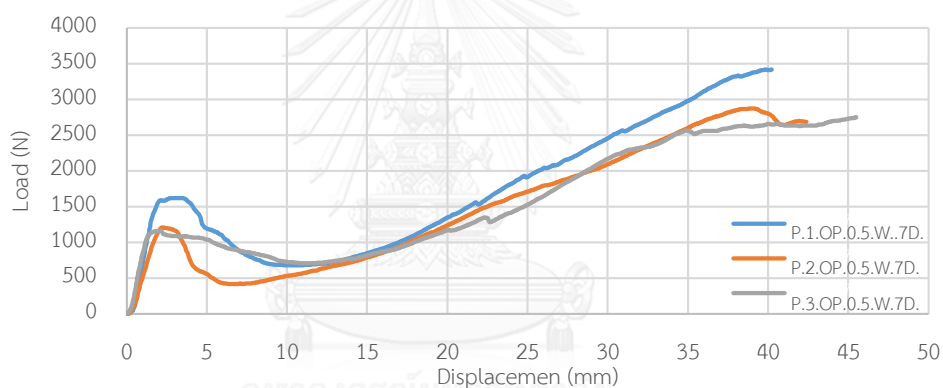
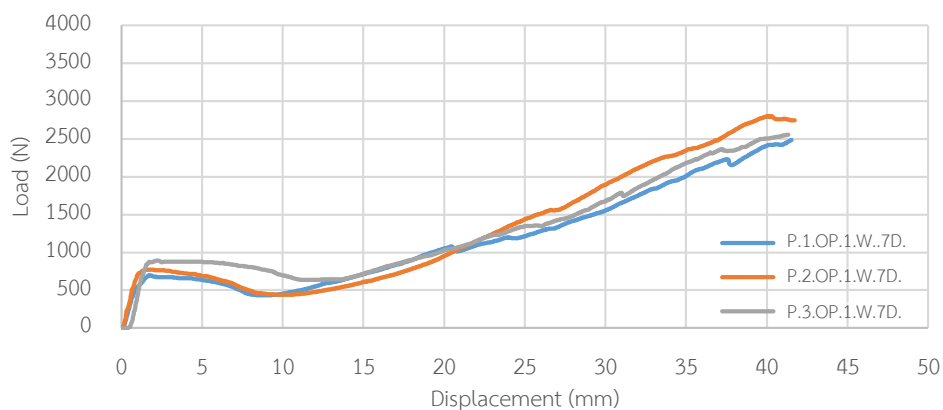
จากการทดสอบ อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 กับระยะเวลาการบ่ม 3 และ 7 วัน แสดงดังรูปที่ 4.145 และ 4.146 โดยระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 0.5 และ 1 จะใช้วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศเหมือนกันซึ่งได้แสดงไปข้างต้น



(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

(ข) $W/W_{GCC} = 1$

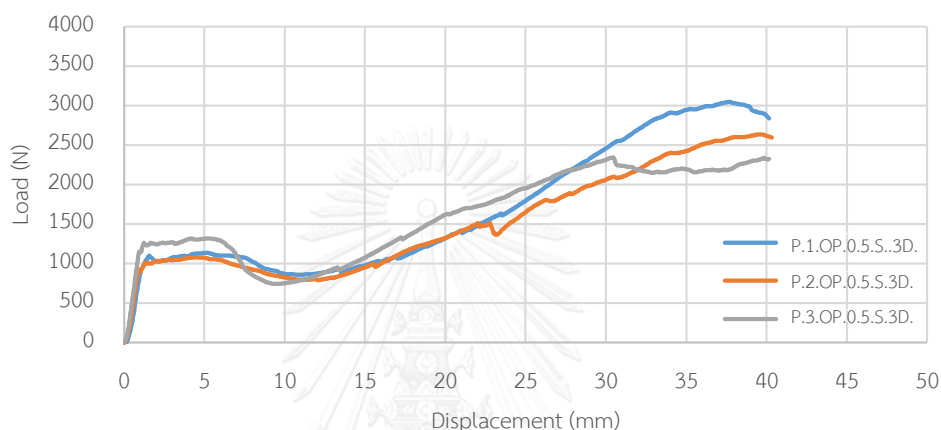
รูปที่ 4.145 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีการบ่มห่อพลาสติก)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

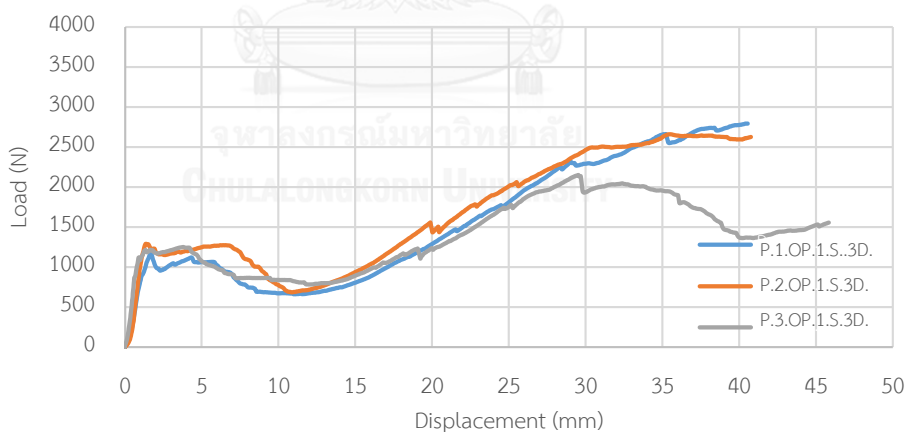
รูปที่ 4.146 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มห่อพลาสติก)

4.6.1.3. การทดสอบความต้านทานแรงกดทดสอบด้วยวิธีการแช่น้ำ

จากการทดสอบผลของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 กับระยะเวลาการบ่ม 37 และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.147 4.148 และ 4.149 โดยระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน ในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 0.5 และ 1 จะใช้วิธีการบ่มแบบบ่มอากาศเหมือนกันซึ่งได้แสดงไปข้างต้น สำหรับการทดสอบแรงดัดที่เพิ่มระยะเวลาการบ่ม 28 วันมาเพราะวิธีการบ่มแบบแช่น้ำสามารถพัฒนากำลังให้กับซีเมนต์เพสต์ในแผ่น GCC ได้และดูพฤติกรรมการรับแรงกดทดสอบของแผ่น GCC ในระยะยาว โดยมีผลการทดสอบดังนี้

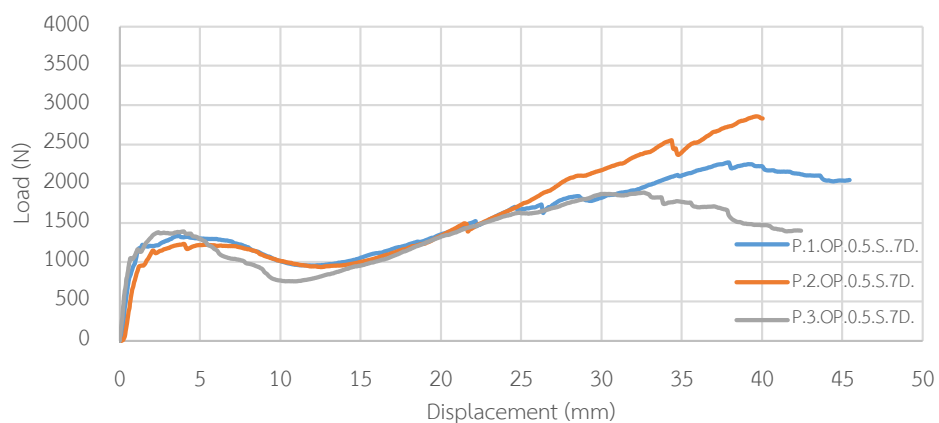
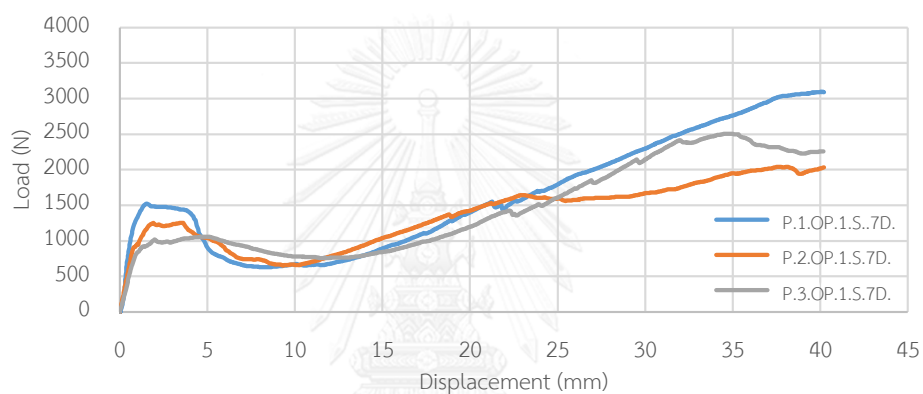


(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

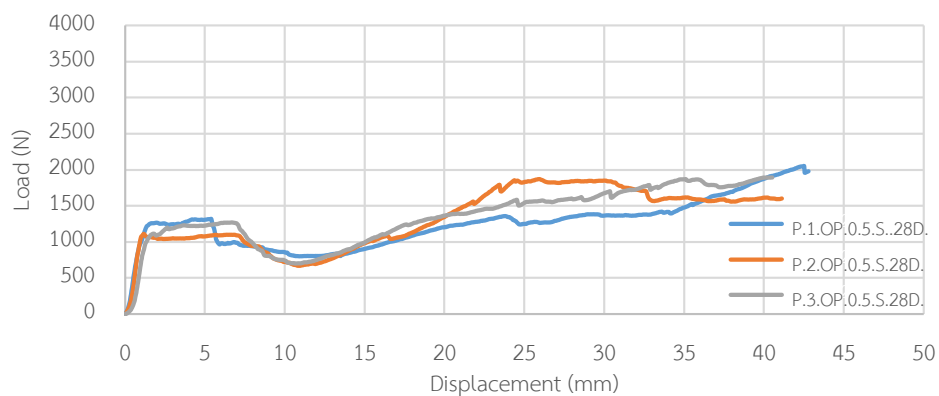


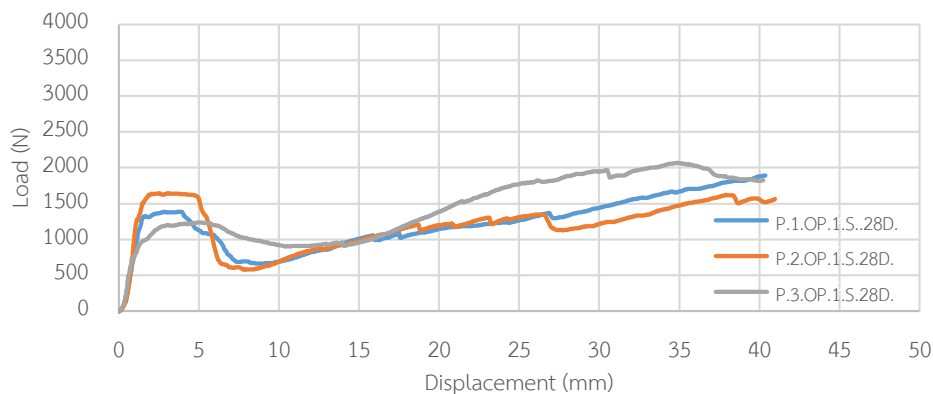
(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.147 ผลทดสอบแรงกดทดสอบ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน (วิธีบ่มแช่น้ำ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$ (ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.148 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

(ก) $W/W_{GCC} = 0.5$

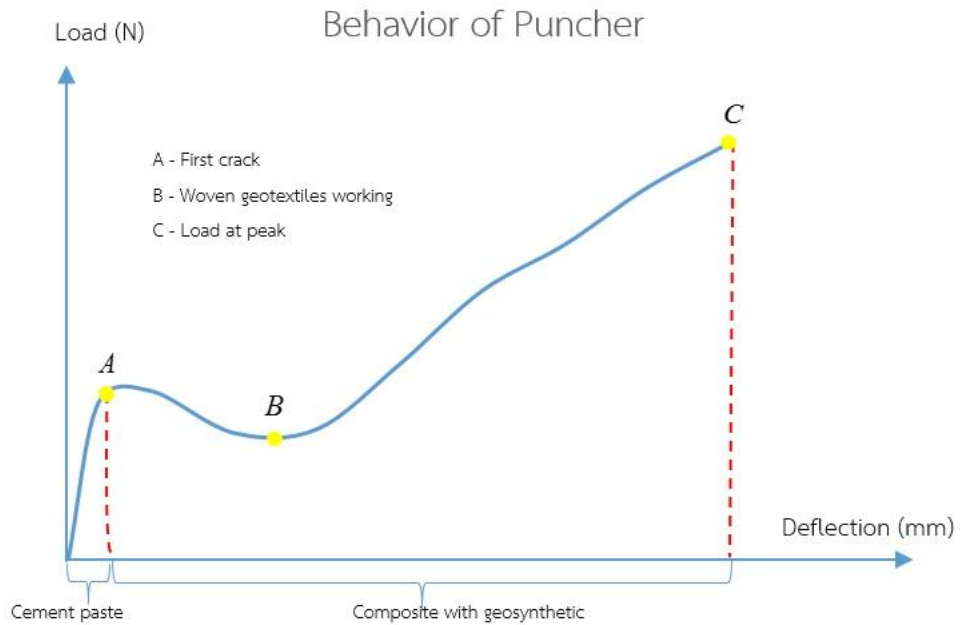


(ข) $W/W_{GCC} = 1$

รูปที่ 4.149 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยมือ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

4.6.1.4. พฤติกรรมการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ

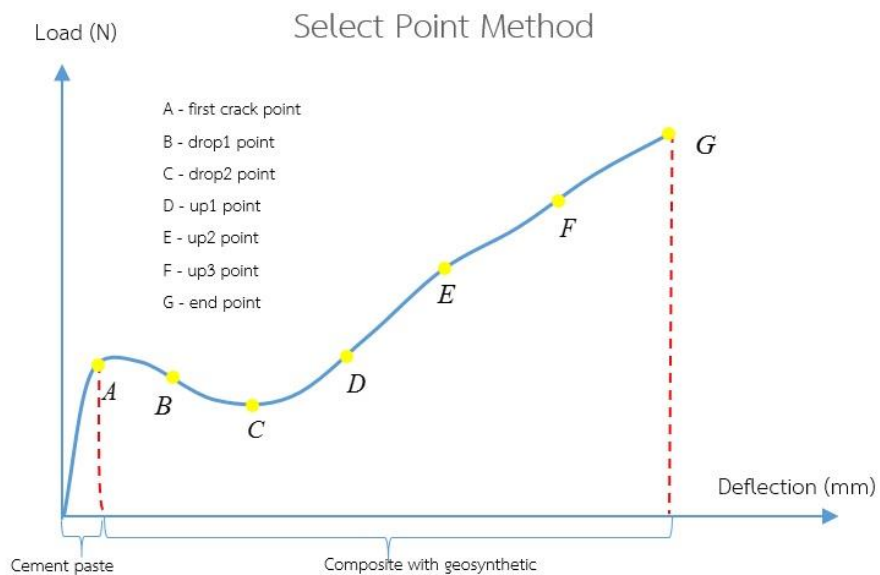
ความต้านทานแรงกดทะลุของแผ่นซีเมนต์สังเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.150 ในช่วงแรกของการรับแรงกดทะลุ จะมีชั้นซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอรับแรงกดทะลุ โดยความต้านทานแรงกดทะลุของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับความหนาของซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ วิธีการบ่มและระยะเวลาการบ่ม เมื่อแรงกดเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด A หรือ เรียกว่า จุดเริ่มต้นการแตกร้าว (First Crack) ในจุดนี้ซีเมนต์เพสต์จะเริ่มมีการแตกร้าวในชั้นซีเมนต์เพสต์ ในระหว่างจุด A ถึง B จะมีแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้งประสานและถักทอ จะมีหน้าที่ในการต้านทานแรงกดทะลุ โดยแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non-woven) จะขาดก่อนจากนั้นเมื่อถึงจุด B แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะรับแรงกดทะลุเพียงอย่างเดียว เนื่องจากชั้นของซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ ชนิดประสาน (Non-woven) ไม่สามารถรับแรงได้ เพราะชั้นซีเมนต์เพสต์เกิดการแตกและขาดออกจากกันเช่นเดียวกับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน จุด C จะเป็นจุดที่วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์มีความต้านทานแรงกดทะลุมากที่สุด (Peak load) เมื่อแผ่น GCC รับแรงกดทะลุเพิ่มขึ้นจากจุด B แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะเริ่มหลุดออกเรื่อย ๆ จนไม่สามารถรับแรงได้ แต่แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะไม่ขาด เนื่องจากอุปกรณ์ในการวัดระยะยืดมีความยาวไม่เพียงพอกับแผ่น GCC ชนิด OP



รูปที่ 4.150 พฤติกรรมการรับแรงกดทะลุ

การเลือกจุดของการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ

การเลือกจุดในกราฟการรับแรงกดทะลุของแผ่น GCC โดยจะเลือกจุดที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการรับแรงกดทะลุมากที่สุด เพื่อมาเฉลี่ยหากราฟของการรับแรงกดทะลุในแต่ละกรณีโดยมีทั้งหมด 8 จุดแสดงดังรูปที่ 4.151

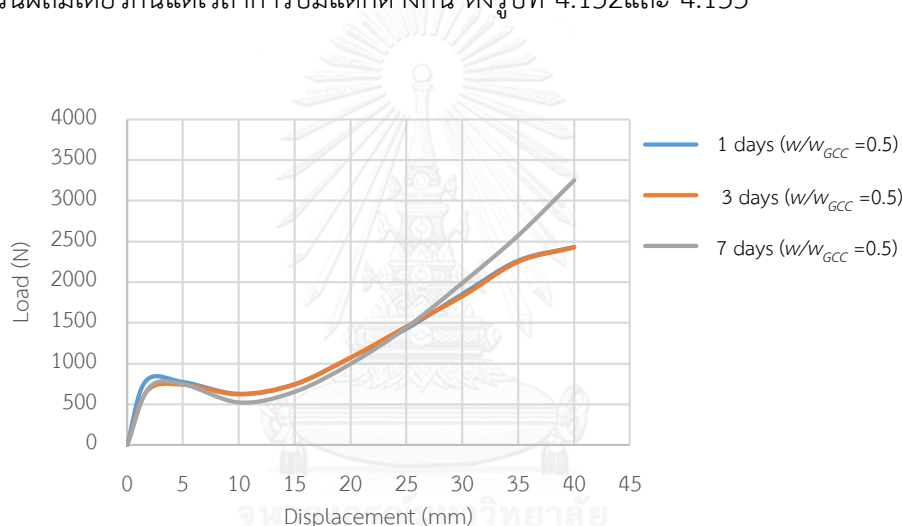


รูปที่ 4.151 การเลือกจุดแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ

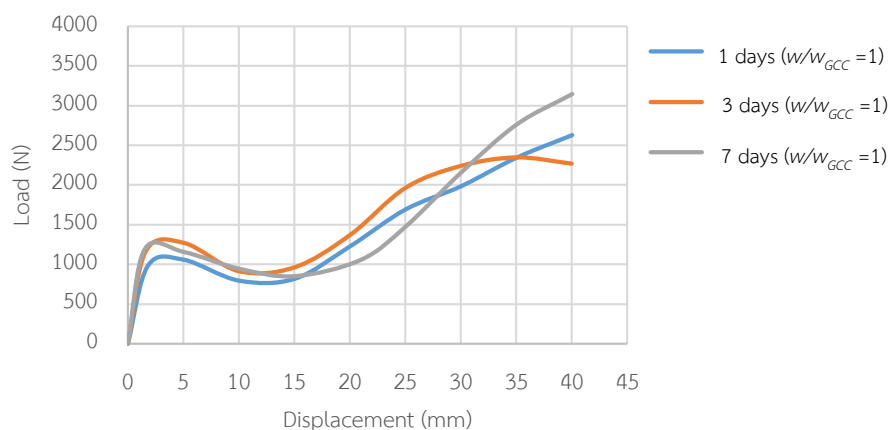
จากรูป 4.151 การเลือกจุดในการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุมีการเลือกจุด ดังนี้ 1. รอยแตกครั้งแรก (First crack) 2. จุดลงครั้งที่ 1 (drop1) 3. จุดลงครั้งที่ 2 (drop2) 4. จุดขึ้นครั้งที่ 1 (up1) 5. จุดขึ้นครั้งที่ 2 (up2) 6. จุดขึ้นครั้งที่ 3 (up3) 7. จุดสิ้นของกราฟ (end point) จากการเลือกจุดสามารถหากราฟของการทดสอบความต้านทานแรงกดในแต่ละกรณีได้อย่างละ 1 กรณีและสามารถนำกราฟเหล่านั้นมาเปรียบเทียบ

4.6.1.5. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานรับแรงกดทะลุ วิธีการบ่มอากาศ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุโดยใช้วิธีการบ่มเป็นแบบบ่มอากาศ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับค่าระยะยืดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับ เวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.152 และ 4.153



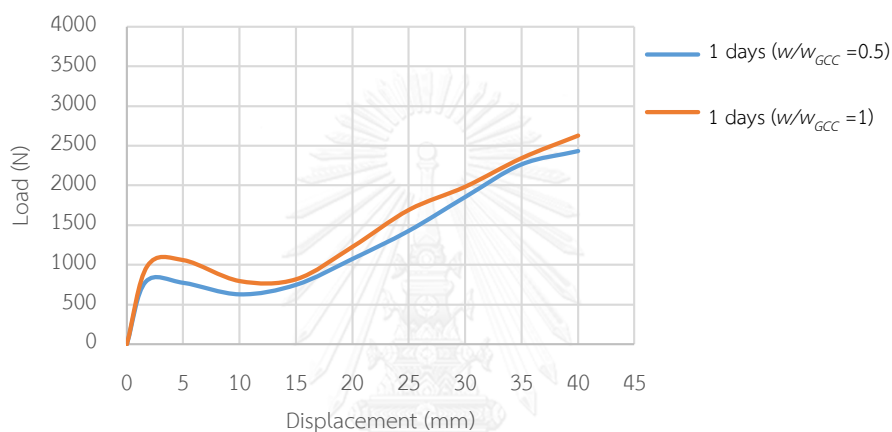
รูปที่ 4.152 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$



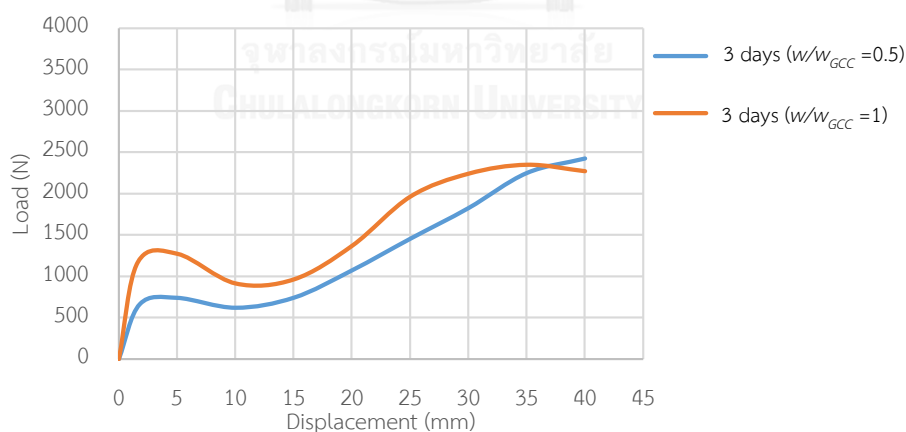
รูปที่ 4.153 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$

จากรูปที่ 4.152 และ 4.153 ความต้านทานแรงกดทะลุในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 0.5 และ 1 ในช่วงแรก 1 จะมากกว่า ในแต่ระยะการบ่ม อัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 และ 1 ในช่วงหลังจะมีค่าใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่กับการยึดติดของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอกับชั้นซีเมนต์เพสต์

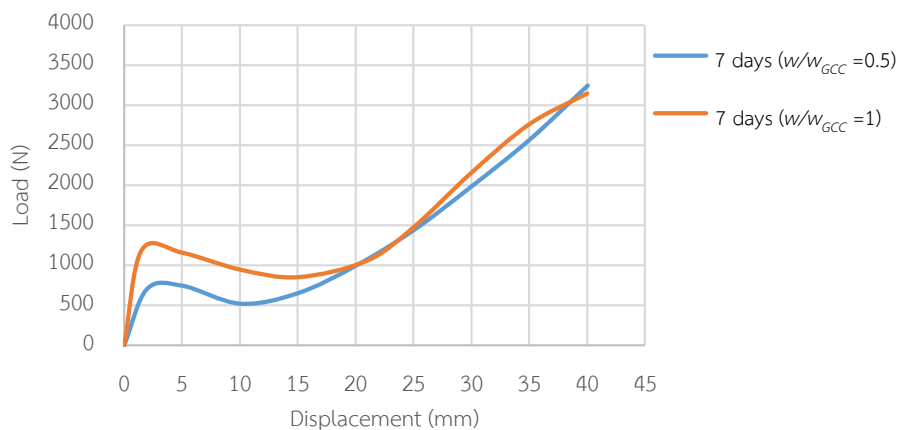
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.154, 4.155 และ 4.156 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่ามากกว่าในช่วงแรก เนื่องจากความหนาที่แผ่น GCC ที่ $W/W_{GCC} = 1$ ค่ามีมากกว่า $W/W_{GCC} = 0.5$ ในช่วงหลังจะมีค่าใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่กับการยึดติดของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอกับชั้นซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 4.154 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน



รูปที่ 4.155 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน



รูปที่ 4.156 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน

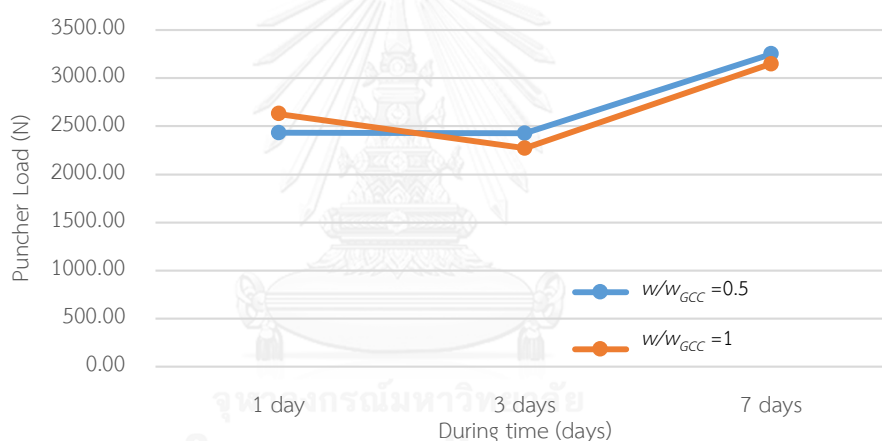
จากการทดสอบแรงกดทะลุในวิธีการบ่มอากาศสามารถหาแรงแตกร้าวครั้งแรก (First crack) แรงกดสูงสุด (Peak load) และระยะแตกร้าวครั้งแรก (First crack displacement) และระยะยืดสูงสุด ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มอากาศ)

Curing time	W/W_{GCC}	Type	Displacement (mm)	Load (N)
1day	0.5	First	1.67	784.86
		Peak	40.03	>2430.73
	1	First	1.81	984.09
		Peak	40.01	>2628.67
3day	0.5	First	1.79	663.31
		Peak	40.02	>2424.71
	1	First	1.62	1168.47
		Peak	40.01	>2271.42
7day	0.5	First	1.97	704.51
		Peak	40.03	>3249.50

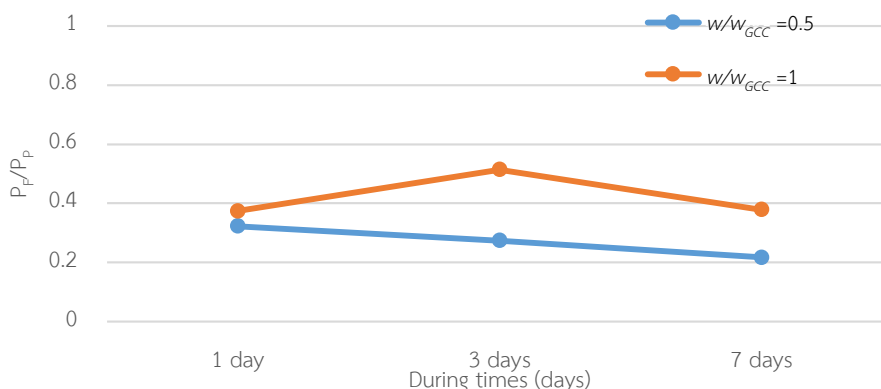
Curing time	W/W_{GCC}	Type	Displacement (mm)	Load (N)
	1	First	1.52	1192.01
		Peak	40.01	>3147.26
AVG	0.5	>2701.65 (Peak load,N)		
	1	>2682.45 (Peak load,N)		

จากตารางที่ 4.16 สามารถหาความต้านทานสูงสุดในการทดสอบแรงกดทะลุในแต่ละกรณี และอัตราส่วนการรับแรงกดทะลุ (First crack) ต่อการรับแรงกดทะลุในช่วงหลัง (Peak load) ในช่วงแรกขอวิธีการบ่มอากาศดังรูปที่ 4.157 และ 4.158



รูปที่ 4.157 ค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดของวิธีการบ่มอากาศ

จากรูปที่ 4.157 จะเห็นว่าระยะเวลาการบ่มวันที่ 1 และ 3 จะมีค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอายุของซีเมนต์เพสต์ยังน้อย ส่งผลให้ชั้นซีเมนต์เพสต์เกิดการแตกเร็ว เมื่อชั้นซีเมนต์เพสต์แตกเร็ว แผ่นเส้นใยสังเคราะห์จะทำงานต่อ ทำให้มีค่าที่น้อยกว่า 7 วัน ที่มีอายุการบ่มมากกว่า และค่าความต้านทานแรงกดทะลุในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และ 1 จะมีค่าใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่กับการยึดติดระหว่างชั้นซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ (Woven geotextiles)

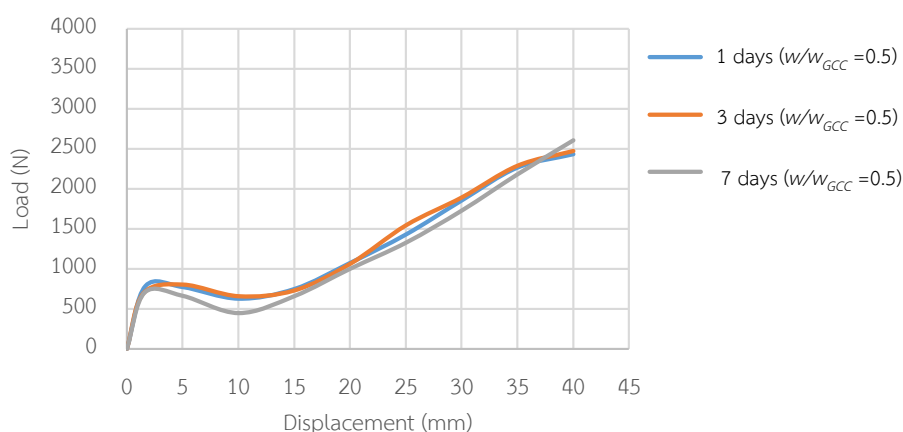


รูปที่ 4.158 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะเล

จากรูปที่ 4.158 อัตราส่วนน้ำหนักต่อน้ำหนัก GCC ที่ 0.5 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนแรงช่วงแรกต่อแรงช่วงหลังลดลง แสดงว่าความสามารถในการรับแรงกดทะเลของชั้นซีเมนต์เพสต์ของ GCC ในวันแรกจะมีค่ามากที่สุด เนื่องจากการบ่มอากาศทำให้น้ำที่อยู่ในแผ่น GCC นั้นมีค่าลดลง ความหนาของแผ่น GCC ลดลง แต่ในอัตราส่วนน้ำหนักต่อน้ำหนัก GCC ที่ 1 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนในวันที่ 3 มีค่ามากกว่า 1 วัน แต่วันที่ 7 กลับลดลง เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นซีเมนต์ในการผลิต GCC ชนิดเย็บมือ ทำให้ค่าอัตราส่วนมีการแปรปรวนเนื่องจากความหนาในแต่ละวันมีไม่เท่ากัน

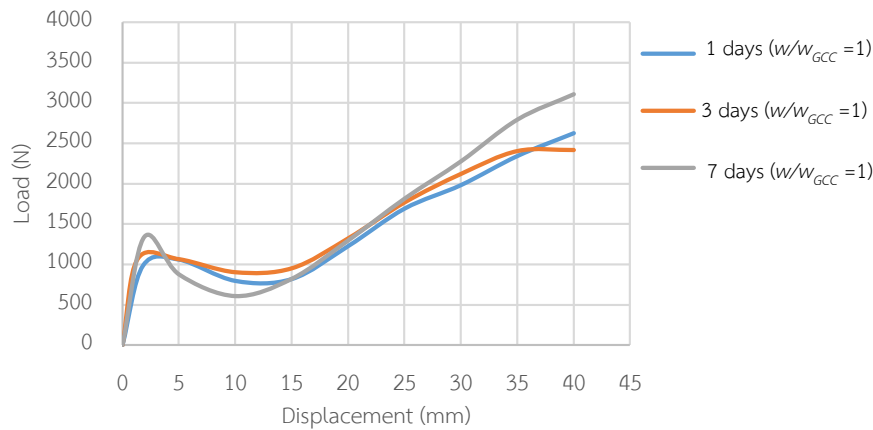
4.6.1.6. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงกดทะเล วิธีการบ่มแบบห่อพลาสติก

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะเลโดยใช้วิธีการบ่มเป็นแบบห่อพลาสติก ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับค่าระยะยืดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบอัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับ เวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.159 และ 4.160



รูปที่ 4.159 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} =$

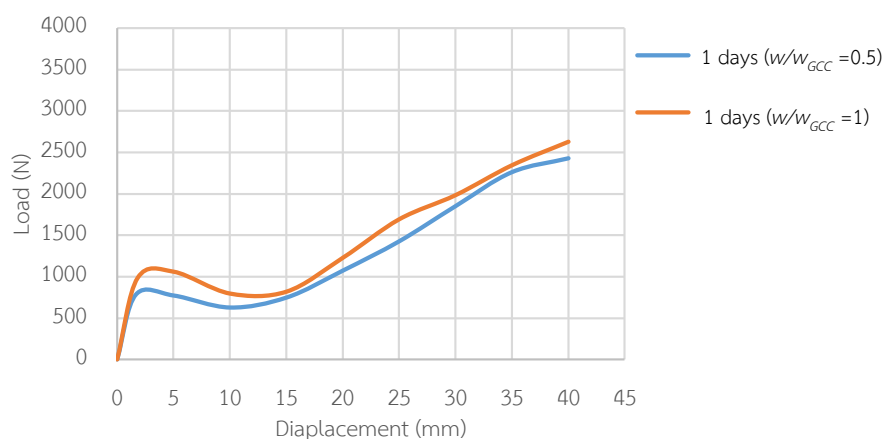
0.5



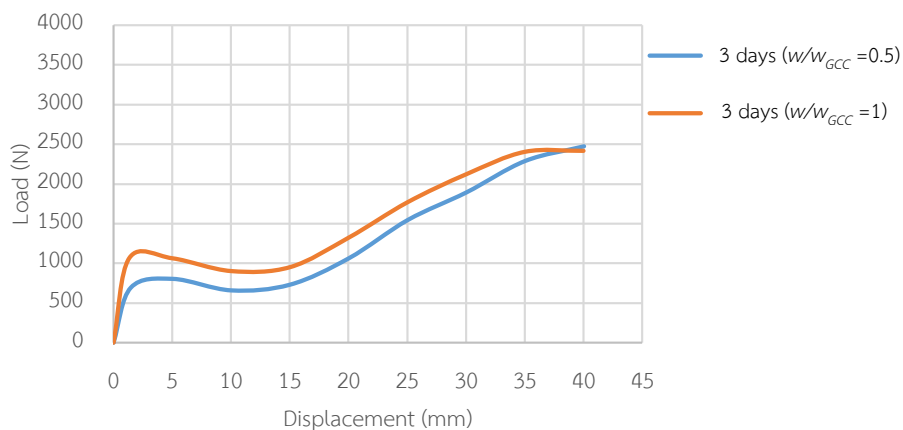
รูปที่ 4.160 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 1$

จากรูปที่ 4.159 และ 4.160 การรับแรงกดทะลุช่วงแรก (เส้นตรง) ระยะการบ่มที่ $W/W_{GCC} = 0.5$ ในการรับแรงกดทะลุที่ระยะเวลาการบ่มที่ 13 และ 7 วันจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจะแตกต่างกับ $W/W_{GCC} = 1$ ที่มีการพัฒนาการบ่มตามระยะเวลา เป็นผลมาจากความหนาที่ชั้นซีเมนต์เพสต์ของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 0.5 มีความหนาที่ไม่สม่ำเสมอ ส่วนการรับแรงกดทะลุช่วงหลังของการรับแรงกดทะลุ $W/W_{GCC} = 0.5$ จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการยึดติดของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอกับชั้นซีเมนต์เพสต์

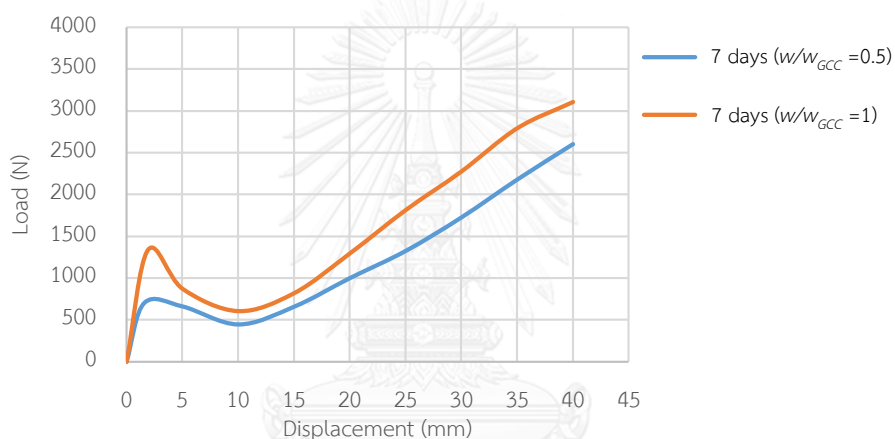
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.161, 4.162 และ 4.163 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 1$ สามารถรับแรงกดทะลุในช่วงแรกได้มากกว่า 0.5 เนื่องจาก $W/W_{GCC} = 1$ มีความหนามากกว่า $W/W_{GCC} = 0.5$ ส่วนการรับแรงกดทะลุช่วงหลังจะมีค่าใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่กับการยึดติดของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอกับชั้นซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 4.161 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน



รูปที่ 4.162 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน



รูปที่ 4.163 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน

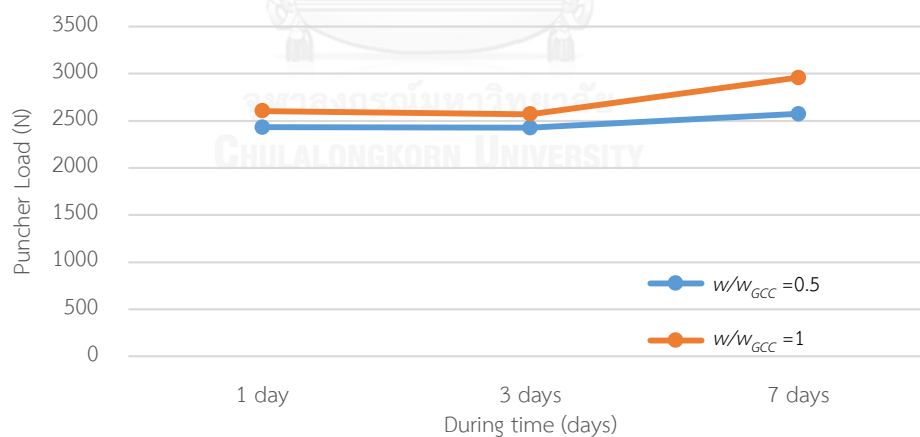
จากการทดสอบแรงกดทะลุในวิธีการบ่มอากาศสามารถหาแรงแตกร้าวครั้งแรก (First crack) แรงกดสูงสุด (Peak load) และระยะแตกร้าวครั้งแรก (First crack displacement) และระยะยืดสูงสุด ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มห่อพลาสติก)

During time	W/W _{GCC}	Type	Displacement (mm)	Load (N)
1day	0.5	First	1.67	784.86
		Peak	40.03	>2430.73
	1	First	1.80	977.90
		Peak	40.01	>2604.36

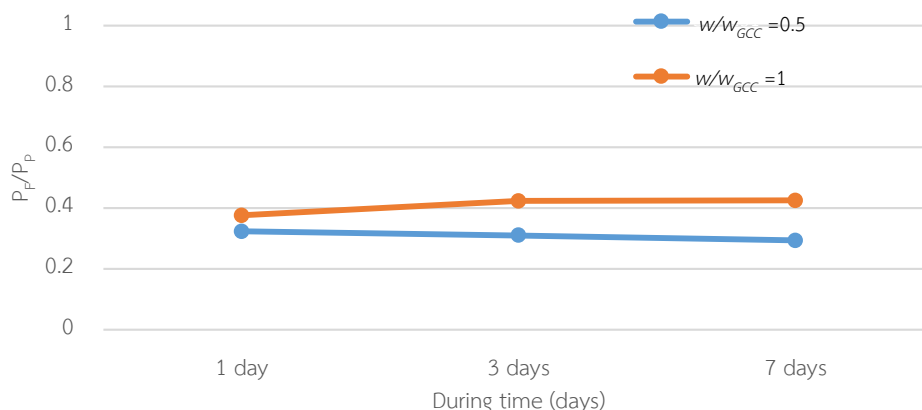
During time	W/W_{GCC}	Type	Displacement (mm)	Load (N)
3day	0.5	First	1.45	752.36
		Peak	40.03	>2426.33
	1	First	1.36	1087.69
		Peak	40.01	>2570.66
7day	0.5	First	1.59	752.53
		Peak	40.01	>2572.11
	1	First	1.74	1257.44
		Peak	40.02	>2958.19
AVG	50	>2476.39 (Peak load,N)		
	100	>2711.07 (Peak load,N)		

จากตารางที่ 4.17 สามารถหาความต้านทานสูงสุดในการทดสอบแรงกดทะลุในแต่ละกรณี และอัตราส่วนการรับแรงกดทะลุ (First crack) ต่อการรับแรงกดทะลุในช่วงหลัง (Peak load) ในช่วงแรกของการบ่มแบบห่อพลาสติก ดังรูปที่ 4.164 และ 4.165



รูปที่ 4.164 ค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดของวิธีการบ่มแบบห่อพลาสติก

จากรูปที่ 4.164 จะเห็นว่าระยะเวลาการบ่มวันที่ 1 และ 3 จะมีค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอายุของซีเมนต์เฟสตัวยังน้อย และค่าความต้านทานแรงกดทะลุในอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 1 จะมีค่ามากกว่า เพราะอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 มีความหนามากกว่า

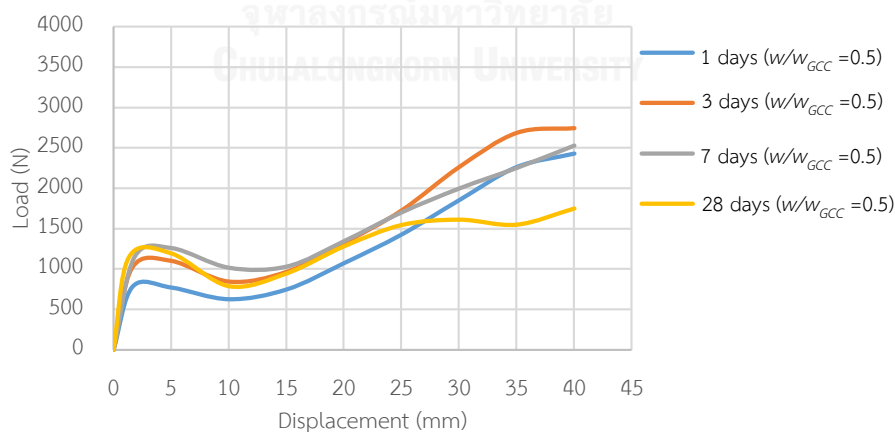


รูปที่ 4.165 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะลุ

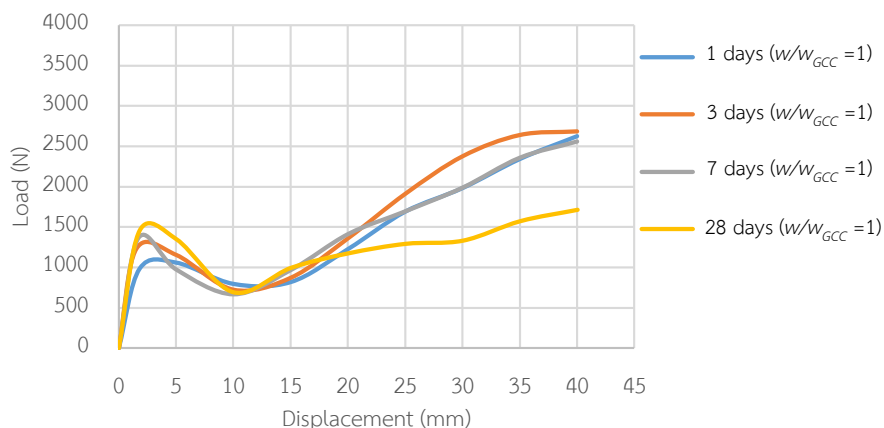
จากรูปที่ 4.165 อัตราส่วน P_F/P_p จะมีค่าใกล้เคียงกัน ตามระยะเวลาการบ่มที่มากขึ้น เนื่องจากความหนาในการบ่มแบบพลาสติกมีค่าคงที่ แต่อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 1 จะมีอัตราส่วน P_F/P_p มากกว่า 0.5 เพราะ ความหนาที่อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักที่ 1 มีค่ามากกว่า ทำให้สามารถรับแรงกดในชั้นซีเมนต์เพสต์มากกว่าเช่นกัน

4.6.1.7. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงกดทะลุ วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุโดยวิธีการบ่มเป็นแบบแช่น้ำ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะยืดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 และ 1 กับ ระยะเวลาบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่ระยะเวลาบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.166 และ 4.167



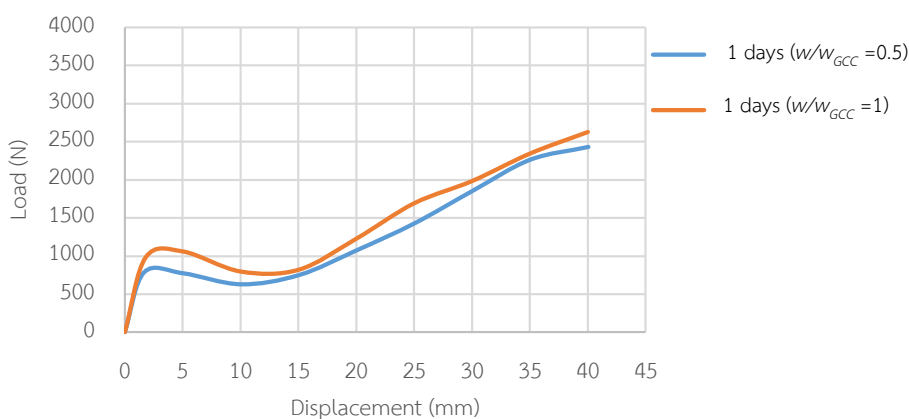
รูปที่ 4.166 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$



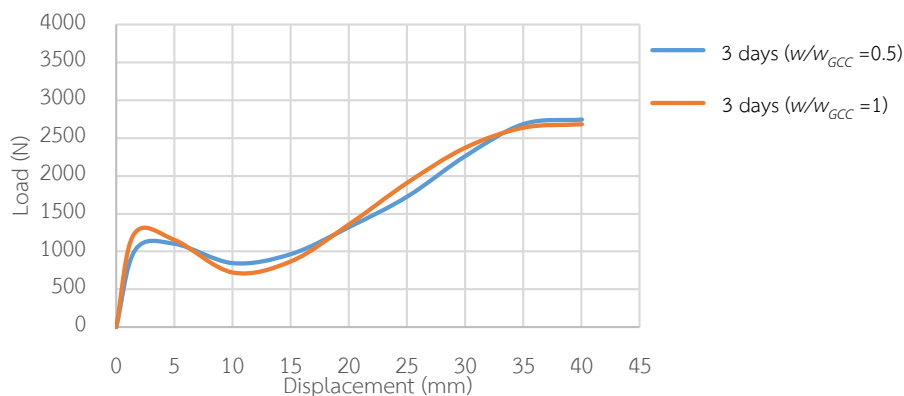
รูปที่ 4.167 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 1$

จากรูปที่ 4.166 และ 4.167 จะเห็นว่าในอัตราส่วน $W/W_{GCC} = 0.5$ และ 1 จะมีการพัฒนาการความต้านทานการรับแรงกดทะลุตามระยะการบ่มในช่วงแรก ยกเว้น $W/W_{GCC} = 0.5$ ระยะการบ่มที่ 28 วัน มีค่าใกล้เคียงกับระยะการบ่มที่ 7 วัน เพราะความหนาของแผ่น GCC ที่ 28 วัน มีความหนาน้อยกว่าของ 7 วัน เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นซีเมนต์ในแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ ในช่วงหลังจะมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นระยะเวลาการบ่มที่ 28 ของทั้ง 2 อัตราส่วนจะมีค่าน้อยกว่าของระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 และ 7 วันเนื่องจากเกิดการเสื่อมของเส้นใยที่ยึดระหว่างชั้นซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ

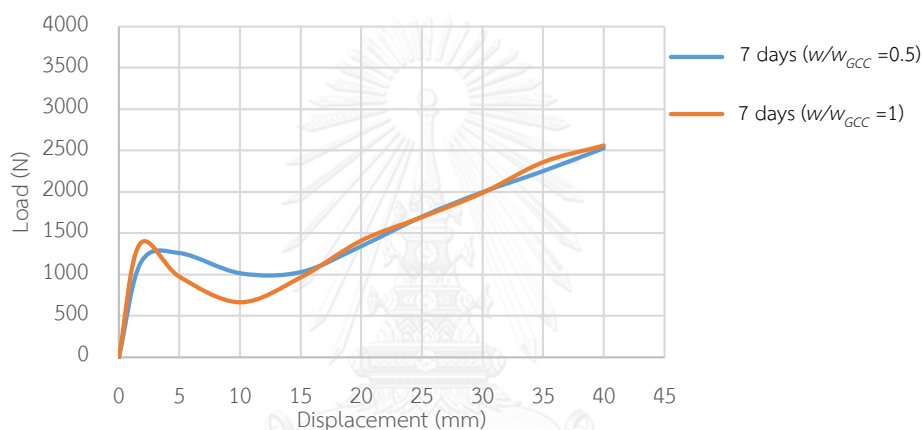
จากการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.168, 4.169, 4.170 และ 4.171 จะเห็นว่าแผ่น GCC ที่มี $W/W_{GCC} = 1$ จะมีค่ามากกว่า 0.5 ในช่วงแรก เนื่องจากความหนาของแผ่น GCC ที่ $W/W_{GCC} = 1$ มีค่ามากกว่า 0.5



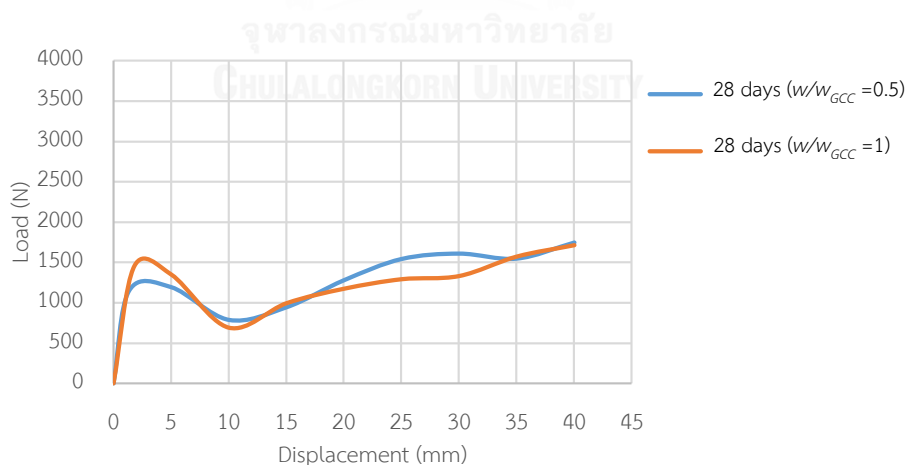
รูปที่ 4.168 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 1 วัน



รูปที่ 4.169 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 3 วัน



รูปที่ 4.170 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 7 วัน



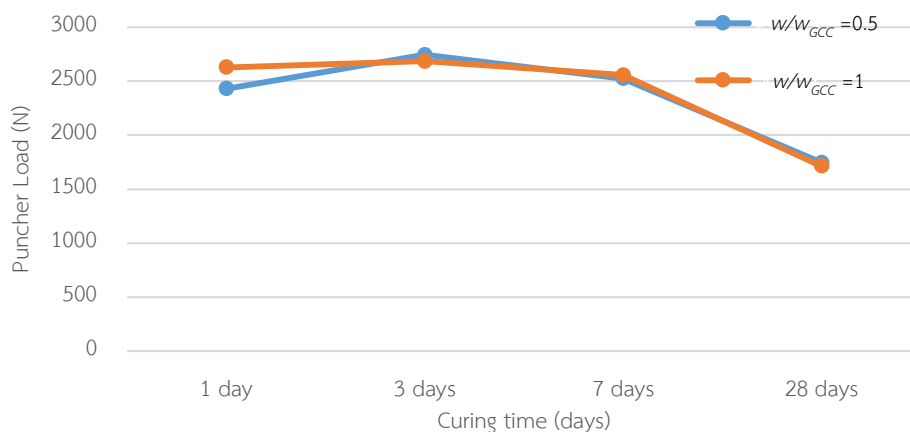
รูปที่ 4.171 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วัน

จากการทดสอบแรงกดทะเลในวิธีการบ่มอากาศสามารถหาแรงแตกร้าวครั้งแรก (First crack) แรงกดสูงสุด (Peak load) และระยะแตกร้าวครั้งแรก (First crack displacement) และระยะยืดสูงสุด ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเย็บมือ (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

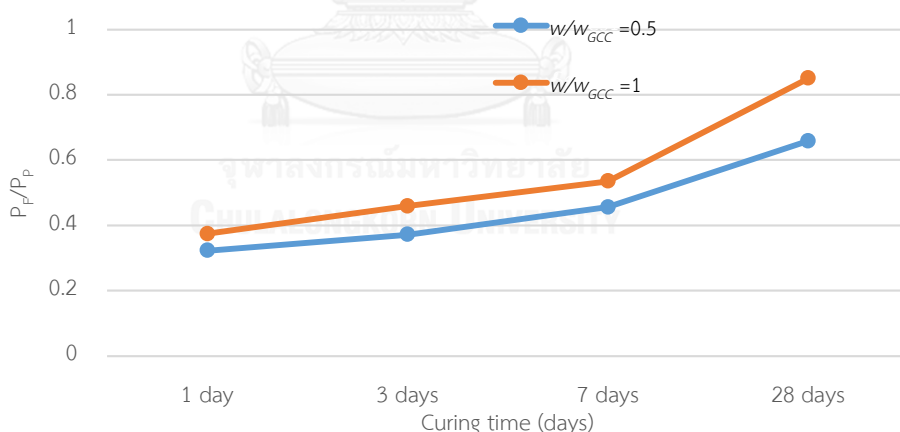
During time	W/W _{GCC}	Type	Displacement (mm)	Load (N)
1day	0.5	First	1.67	784.86
		Peak	40.03	>2430.73
	1	First	1.81	984.09
		Peak	40.01	>2628.67
3day	0.5	First	1.64	1020.55
		Peak	40.02	>2744.59
	1	First	1.53	1231.29
		Peak	40.02	>2685.10
7day	0.5	First	1.83	1150.17
		Peak	40.01	>2525.67
	1	First	1.73	1366.54
		Peak	40.01	>2556.12
28day	0.5	First	1.36	1149.15
		Peak	40.03	>1745.28
	1	First	1.82	1457.90
		Peak	40.03	>1713.80
AVG	50	>2338.51 (Peak load,N)		
	100	>2318.34 Peak load,N)		

จากตารางที่ 4.18สามารถหาความต้านทานสูงสุดในการทดสอบแรงกดทะลุในแต่ละกรณี และอัตราส่วนการรับแรงกดทะลุ (First crack) ต่อการรับแรงกดทะลุในช่วงหลัง (Peak load) ในช่วงแรกต่อแรกของการบ่มแบบแช่น้ำ ดังรูปที่ 4.172และ 4.173



รูปที่ 4.172 ค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดของวิธีการบ่อแบบแช่น้ำ

จากรูปที่ 4.172 จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดในระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 และ 7 วัน ทั้ง 2 อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC จะมีค่าใกล้เคียงกัน เพราะมีความหนาที่ไม่สม่ำเสมอ แต่ในระยะเวลาการบ่มที่ 28 วันอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC ที่ 0.5 และ 1 จะมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 และ 7 วัน เนื่องจากเส้นใยที่ยึดติดอยู่กับชั้นซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถัก ทอเกิดจากการเสื่อมของเส้นใยจากการที่แช่น้ำเป็นระยะเวลานาน



รูปที่ 4.173 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะลุ

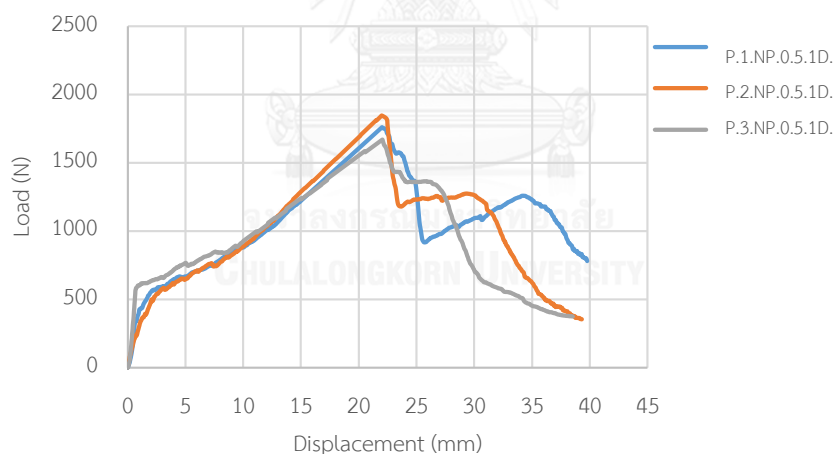
จากรูปที่ 4.173 อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC ที่ 0.5 จะมีค่าอัตราส่วน P_f/P_p น้อยกว่าอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC ที่ 1 เพราะความหนาของแผ่น GCC ที่อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC ที่ 1 จะมีค่ามากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC ที่ 0.5 ทำให้การรับแรงกดทะลุของซีเมนต์เพสต์ในแผ่น GCC ที่อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC ที่ 1 สามารถรับแรงกดทะลุได้มากกว่า

จากการทดสอบแรงกดทะลุของแผ่น GCC ทั้ง 3 วิธีการบ่มจะเห็นว่าวิธีการบ่มที่ดีที่สุดในการรับแรงกดทะลุนั้นจะเป็น การบ่มแบบแช่น้ำ เพราะการบ่มแบบน้ำทำให้สามารถพัฒนากำลังรับแรงกดทะลุของชั้นซีเมนต์เพสต์ได้มากกว่าการบ่มแบบอากาศและการบ่มแบบห่อพลาสติก แต่ในการบ่มแบบแช่น้ำในระยะยาวจะเห็นว่าสามารถช่วยให้ชั้นซีเมนต์เพสต์พัฒนาได้อย่างเดียว ซึ่งจะส่งผลเสียต่อเส้นใยที่ยึดระหว่างชั้นซีเมนต์เพสต์กับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอให้เสื่อมเร็วกว่า

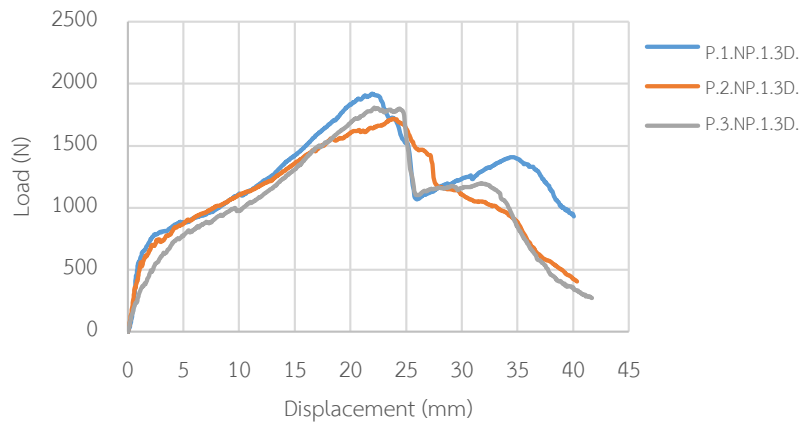
4.6.2. ความต้านทานการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (New Product)

4.6.2.1. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

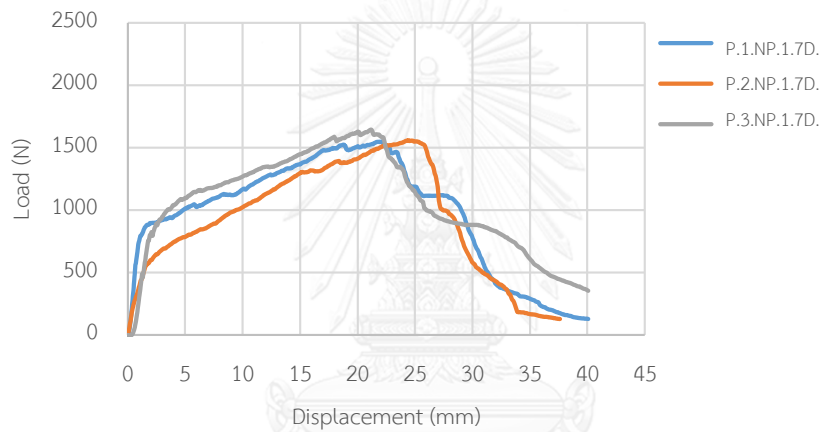
การทดสอบความต้านทานรับแรงกดทะลุของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร จะใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ โดยใช้ระยะเวลา 137 และ 28 วัน ซึ่งในการทดสอบแรงกดทะลุจะไม่มีการศึกษาเรื่องทิศทางการเย็บของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร เพราะเครื่องมือที่ใช้ในการกดจะเป็นลักษณะวงกลมจึงไม่สามารถระบุทิศทางที่แน่นอนในการทดสอบได้ โดยมีการทดสอบอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC ที่เหมือนกันแต่ระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.174 4.175 4.176 และ 4.177



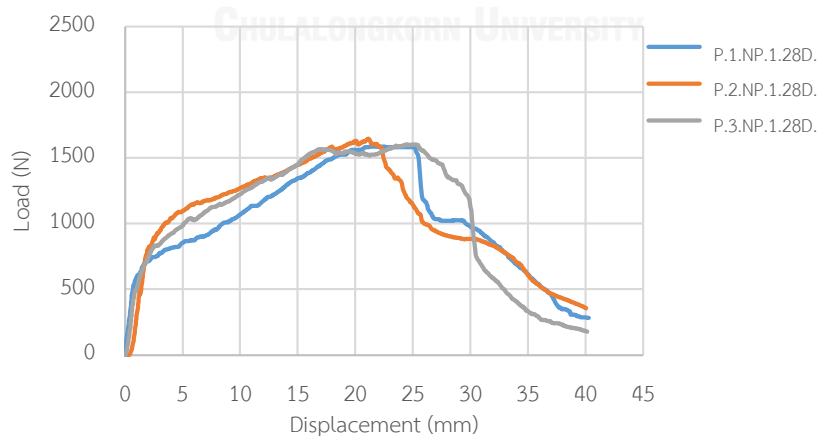
รูปที่ 4.174 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน



รูปที่ 4.175 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน



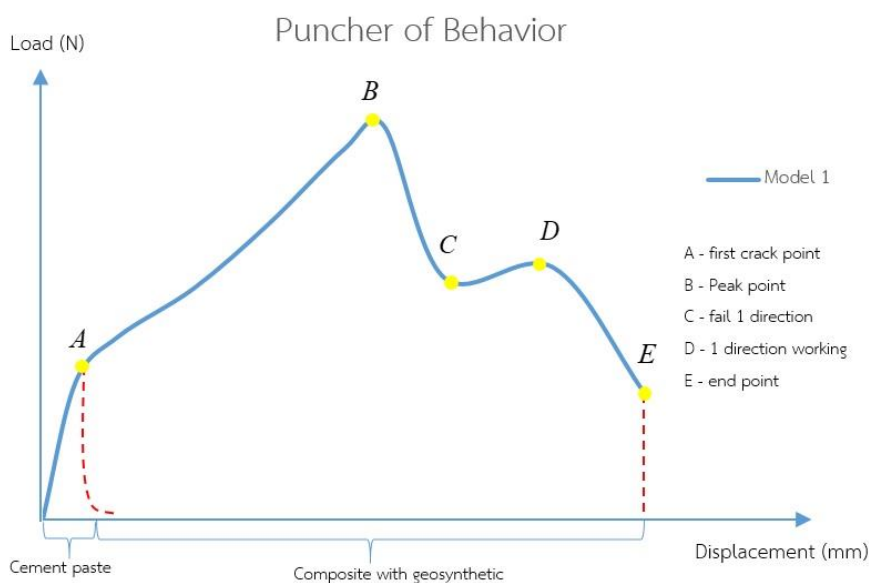
รูปที่ 4.176 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน



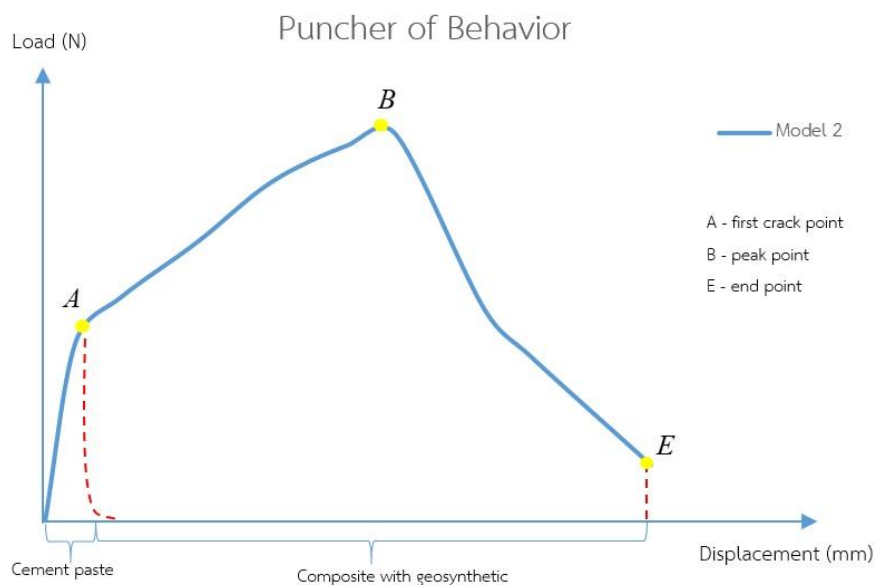
รูปที่ 4.177 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

4.6.2.2. พฤติกรรมการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

พฤติกรรมการต้านทานแรงกดทะลุของแผ่นซีเมนต์ใยสังเคราะห์ที่แสดงในรูปที่ 4.178 และ 4.179 ในช่วงแรกของการรับแรงกดทะลุ โดยจะมีซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ 2 ชนิด โดยความต้านทานแรงกดทะลุของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับความหนาของซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ วิธีการบ่มและระยะเวลาการบ่ม เมื่อแรงกดเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุด A หรือ เรียกว่า จุดเริ่มต้นการแตกร้าว (First Crack) ในจุดนี้ซีเมนต์เพสต์จะเริ่มมีการแตกร้าวในชั้นซีเมนต์เพสต์ ในระหว่างจุด A ถึง B จะมีแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ทั้งประสานและถักทอ (Non-woven and woven geotextiles) จะมีหน้าที่ในการต้านทานแรงกดทะลุ โดยแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non-woven) จะขาดก่อนจากนั้นเมื่อถึงจุด B (peak point) จะเป็นจุดที่สูงที่สุดในการรับแรงกดทะลุ จากนั้นแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะรับแรงกดทะลุเพียงอย่างเดียว เนื่องจากชั้นของซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน (Non-woven) ไม่สามารถรับแรงได้ เพราะชั้นซีเมนต์เพสต์เกิดการแตกและขาดออกจากกันเช่นเดียวกับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสาน ซึ่งพฤติกรรมของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร จะมีจุดที่แตกต่างกันคือ ในรูปแบบที่ 1 เมื่อถึงจุด C ทิศทางของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอจะสูญเสียไป 1 ทิศทางซึ่งจะเป็นทิศทางตามยาว (Length direction) จากจุด C เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจนถึงจุด D เป็นช่วงที่ทิศทางตามขวางของแผ่น GCC รับแรงกดทะลุ เมื่อทิศทางตามขวางขาด แผ่น GCC จะไม่สามารถรับแรงได้อีก จะแตกต่างกับรูปแบบที่ 2 คือเส้นใยตามขวางและตามยาวขาดพร้อมกันทั้ง 2 ทิศทาง จึงไม่มีการรับแรงเพิ่มในช่วงหลังเหมือนรูปแบบที่ 1



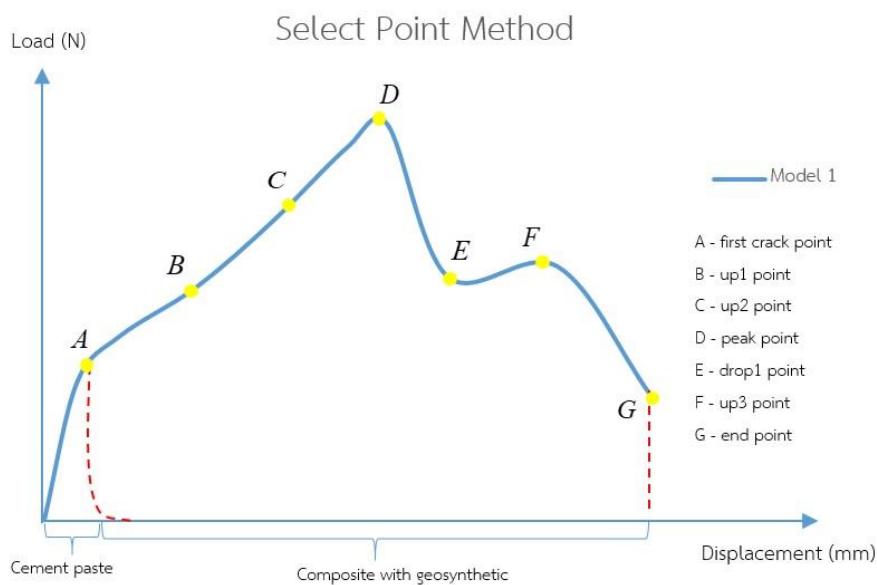
รูปที่ 4.178 พฤติกรรมการรับแรงกดทะลุรูปแบบที่ 1



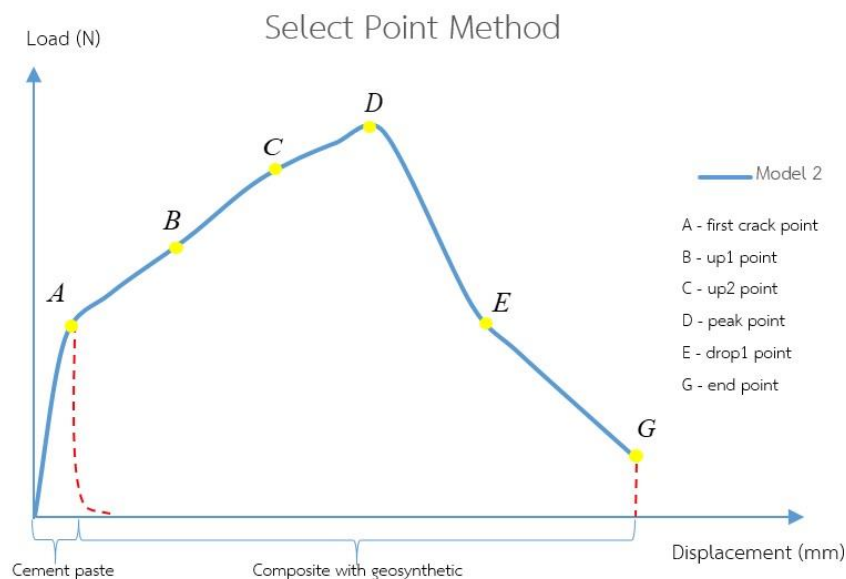
รูปที่ 4.179 พฤติกรรมการรับแรงกดทะลุรูปแบบที่ 2

การเลือกจุดของการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

การเลือกจุดในกราฟการรับแรงกดทะลุของแผ่น GCC โดยจะเลือกจุดที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการรับแรงกดทะลุมากที่สุด เพื่อมาเฉลี่ยในพฤติกรรม 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 จะมีการเลือกจุด 7 จุด และรูปแบบที่ 2 จะเลือก 6 จุด ดังรูปที่ 4.180 และ 4.181



รูปที่ 4.180 การเลือกจุดแผ่น GCC รูปแบบที่ 1 ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร



รูปที่ 4.181 การเลือกจุดแผ่น GCC รูปแบบที่ 2 ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร

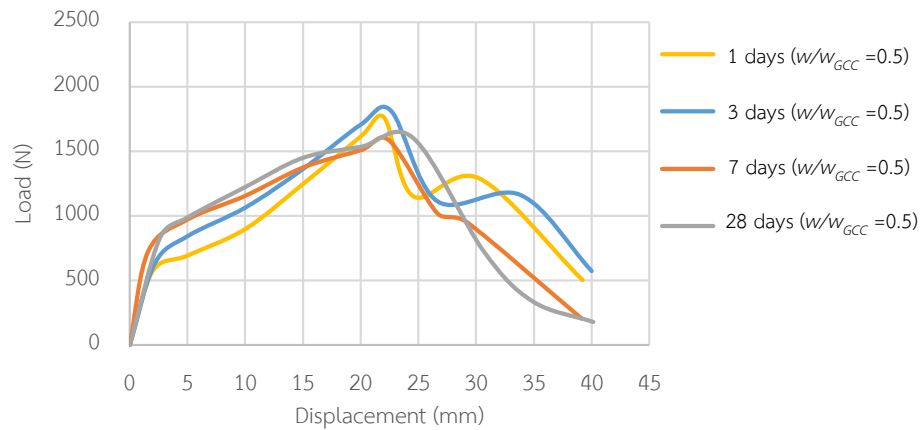
การเลือกจุดในการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของรูปแบบที่ 1 จะมีการเลือกจุด ดังนี้

1. รอยแตกครั้งแรก (First crack)
2. จุดลงครั้งที่ 1 (up1 point)
3. จุดลงครั้งที่ 2 (up2)
4. จุดสูงสุด (peak point)
5. จุดลงครั้งที่ 1 (drop1)
6. จุดขึ้นครั้งที่ 3 (up3)

ซึ่งในจุดนี้การเลือกจุดของรูปแบบที่ 2 จะไม่มี นอกจากการเลือกจุดจะเหมือนรูปแบบที่ 1 7.จุดสิ้นของกราฟ (end point) จากการเลือกจุดสามารถหากราฟของการทดสอบความต้านทานแรงดัดในแต่ละกรณีได้อย่างละ 1 กรณีและสามารถนำกราฟเหล่านั้นมาเปรียบเทียบ

4.6.2.3. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงกดทะลุ วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุโดยวิธีการบ่มเป็นแบบแช่น้ำ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะยัดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 เวลาการบ่ม 1 วัน 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนการพรมน้ำที่เหมือนกันเวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.182



รูปที่ 4.182 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยืดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $w/w_{GCC} = 0.5$

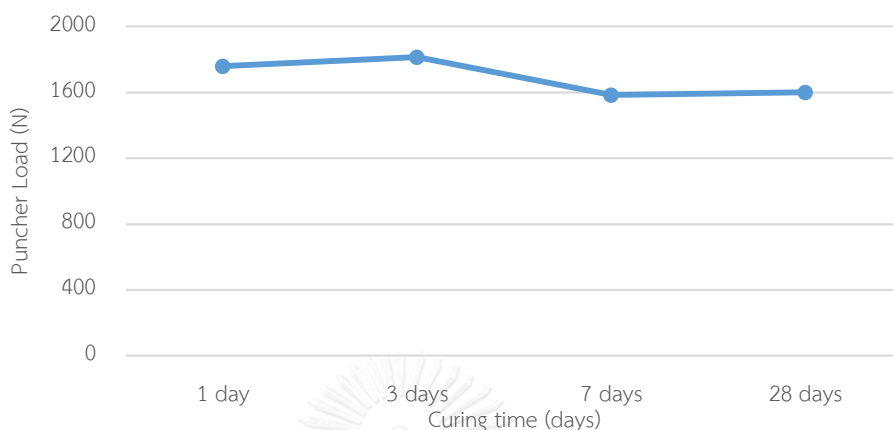
จากรูปที่ 4.182 การรับแรงกดทะลุในช่วงแรก (เส้นตรง) จะเห็นว่าระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน จะต่ำที่สุด แต่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน ช่วงแรกจะมีค่าใกล้เคียงกัน ในช่วงหลังการรับแรงกดทะลุสูงสุด ระยะเวลาการบ่มที่ 3 วันจะมีค่ามากกว่าระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน ซึ่งความต้านทานแรงกดทะลุของระยะเวลาการบ่มที่ 7 และ 28 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน

จากการทดสอบแรงกดแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร สามารถหาค่าเฉลี่ยการรับแรงกดทะลุช่วงแรก แรงกดทะลุสูงสุดและระยะยืดช่วงแรก ระยะยืดสูงสุดดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

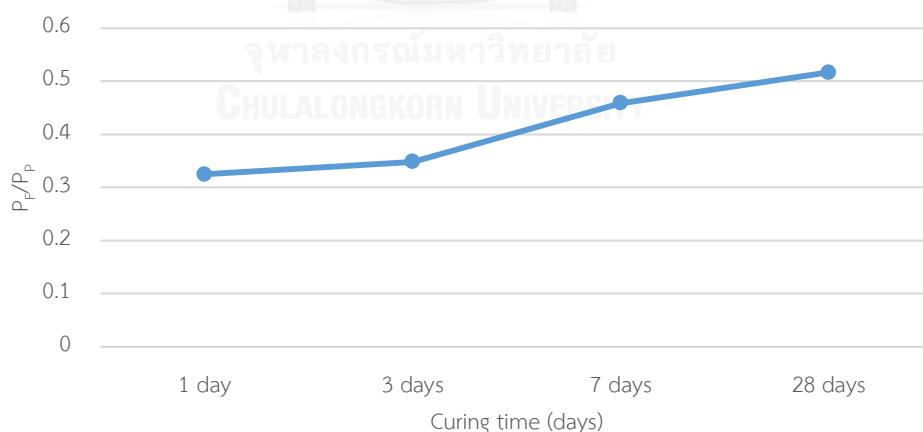
During time	W/W_{GCC}	Type	Displacement (mm)	Load (N)
1day	0.5	First	1.98	570.7
		Peak	22.03	1759.05
3day	0.5	First	2.17	631.24
		Peak	22.63	1814.12
7day	0.5	First	1.60	726.69
		Peak	22.46	1584.83
28day	0.5	First	2.60	826.58
		Peak	24.57	1601.21
AVG	0.5	1666.72 (Peak load,N)		

จากตารางที่ 4.19 สามารถหาความต้านทานสูงสุดในการทดสอบแรงกดทะเลในแต่ละกรณี และอัตราส่วนการรับแรงกดทะเล (First crack) ต่อการรับแรงกดทะเลในช่วงหลัง (Peak load) ดังรูปที่ 4.183 และ 4.184



รูปที่ 4.183 ค่าความต้านทานแรงกดทะเลสูงสุด

จากรูปที่ 4.183 จะเห็นว่า ค่าความต้านทานในการรับแรงกดทะเลสูงสุดคือ ระยะเวลาการบ่มที่ 3 วัน และค่าความต้านทานระยะเวลาการบ่มที่ 1 7 และ 28 วัน จะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อคำนวณเป็นร้อยละความแตกต่างโดยเทียบกับค่าเฉลี่ยจะได้ 4.1 8.8 4.9 และ 3.9 ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 7 และ 28 วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าร้อยละความแตกต่างที่สูงที่สุดจะอยู่ที่ 8.8 แสดงว่าค่าความต้านทานแรงกดทะเลสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันทุกระยะเวลาการบ่ม



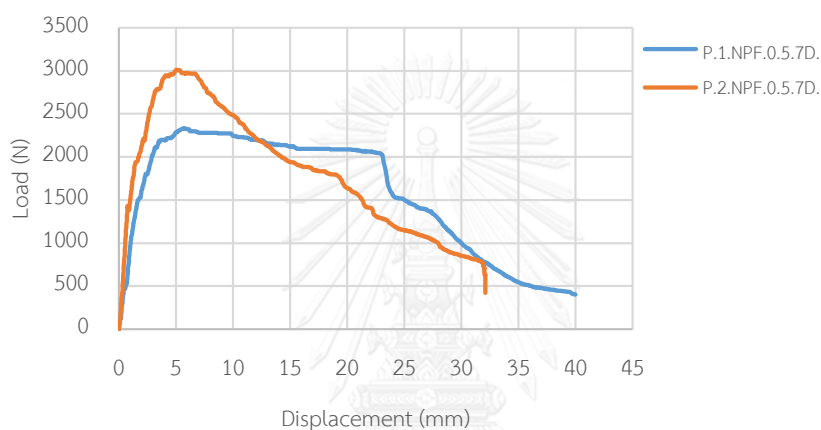
รูปที่ 4.184 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะเล

จากรูปที่ 4.184 จะเห็นว่าอัตราส่วน P_f/P_p จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม แสดงว่าการรับกำลังแรงกดทะเลช่วงแรกจะพัฒนากำลังรับแรงตามระยะเวลาการบ่ม ในวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ อัตราส่วน P_f/P_p ที่ 28 วัน จะมีค่ามาก

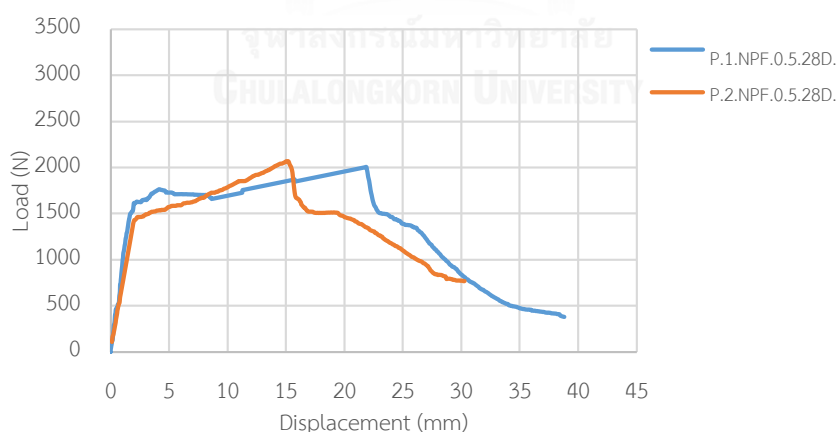
4.6.3. ความต้านทานการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมด้วยเส้นใยไฟเบอร์ (New Product add fiber)

4.6.3.1. การทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุด้วยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

การทดสอบความต้านทานรับแรงกดทะลุของแผ่น GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใย จะใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักของแผ่น GCC ที่ 0.5 และวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ โดยใช้ระยะเวลา 7 และ 28 วัน ซึ่งในการทดสอบแรงกดทะลุจะไม่มีการศึกษาเรื่องทิศทางการเย็บของแผ่น GCC เช่นเดียวกับแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรโดยมีการทดสอบอัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนัก GCC ที่เหมือนกันแต่ระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.185 และ 4.186



รูปที่ 4.185 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใย ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน



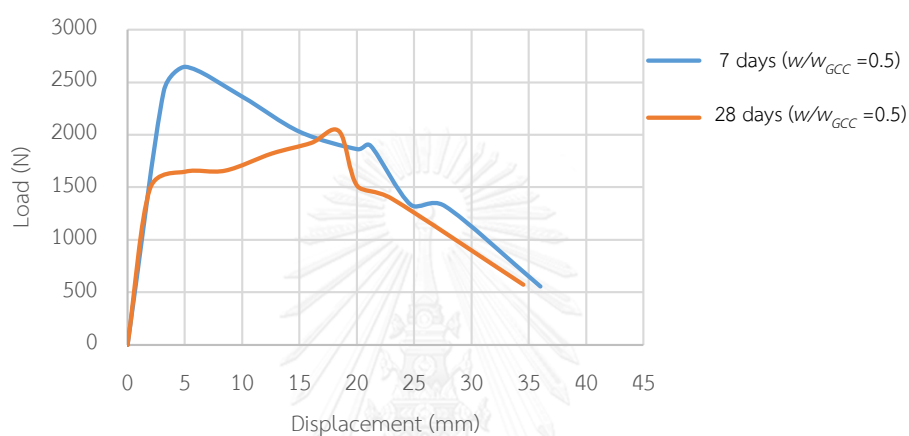
รูปที่ 4.186 ผลทดสอบแรงกดทะลุ GCC ชนิดเสริมด้วยเส้นใย ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

พฤติกรรมแผ่น GCC ในการทดสอบแรงกดทะลุ ชนิดเสริมเส้นใยจะมีลักษณะคล้ายกับพฤติกรรมของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร จะแตกต่างกันในช่วงแรกในการรับกำลังแรงกดทะลุ

ในชั้นซีเมนต์เพสต์ ซึ่งแผ่น GCC จะรับได้สูงกว่าแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร เนื่องจากเส้นใยจะช่วยในการรับแรงดึงของชั้นซีเมนต์เพสต์

4.6.3.2. การเปรียบเทียบผลของความต้านทานแรงกดทะลุ วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุโดยวิธีการบ่มเป็นแบบแช่น้ำ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟแรงกระทำกับระยะยึดของแผ่น GCC ที่เปรียบเทียบ อัตราส่วนผสมน้ำต่อน้ำหนักแผ่น GCC ซึ่งมี 0.5 เวลาการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน โดยจะมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนการพรมน้ำที่เหมือนกันเวลาการบ่มแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.187



รูปที่ 4.187 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับค่าระยะยึดของตัวอย่างทดสอบที่มีค่า $W/W_{GCC} = 0.5$

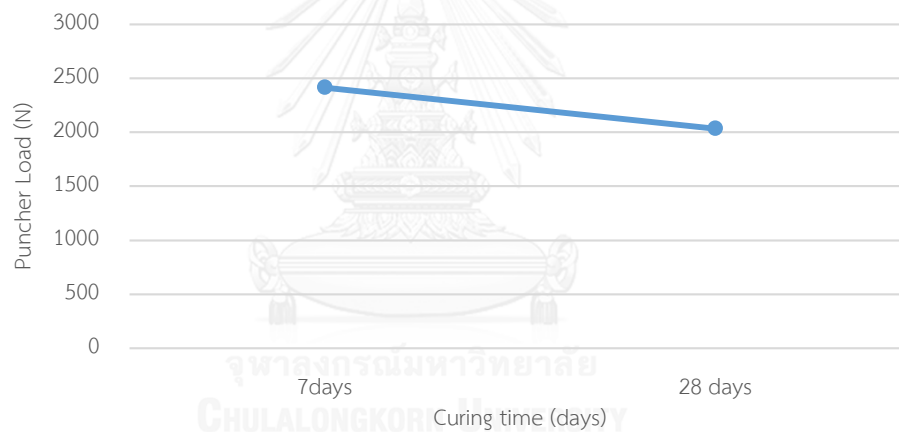
จากรูปที่ 4.187 การรับแรงกดทะลุในช่วงแรก (เส้นตรง) จะเห็นว่าระยะเวลาการบ่มที่ 28 วันจะต่ำที่สุด เนื่องจากการเสื่อมของเส้นใยในแผ่น GCC ชนิด NPF และในช่วงหลังการรับแรงกดทะลุของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์จะมีค่าใกล้เคียงกันในระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน

จากการทดสอบแรงกดแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร สามารถหาค่าเฉลี่ยการรับแรงกดทะลุช่วงแรก แรงกดทะลุสูงสุดและระยะยึดช่วงแรก ระยะยึดสูงสุดดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดทะลุของ GCC ชนิดเสริมเส้นใย (วิธีการบ่มแช่น้ำ)

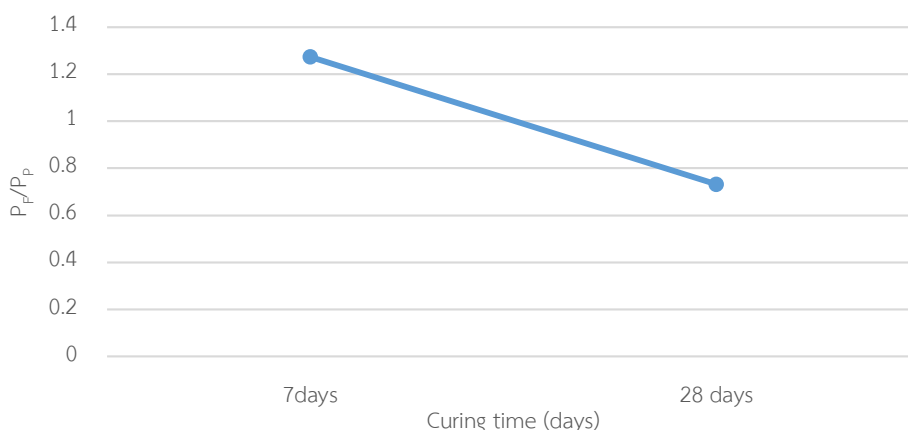
During time	W/W_{GCC}	Type	Displacement (mm)	Load (N)
7day	0.5	First	3.15	2414.7
		Peak	21.21	1895.4
28day	0.5	First	1.95	1489.1
		Peak	18.45	2035.5
AVG	0.5	1965.43 (Peak load ,N)		

จากตารางที่ 4.20สามารถหาความต้านทานสูงสุดในการทดสอบแรงกดทะลุในแต่ละกรณี และอัตราส่วนการรับแรงกดทะลุ (First crack) ต่อการรับแรงกดทะลุในช่วงหลัง (Peak load) ดังรูปที่ 4.188 และ 4.189



รูปที่ 4.188 ค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุด

จากรูปที่ 4.188 จะเห็นว่า ค่าความต้านทานในการรับแรงกดทะลุของระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน มีค่ามากกว่า 28 วัน เนื่องจากเส้นใยกระจายตัวไม่สม่ำเสมอไปถึงชั้นซีเมนต์เฟสค์

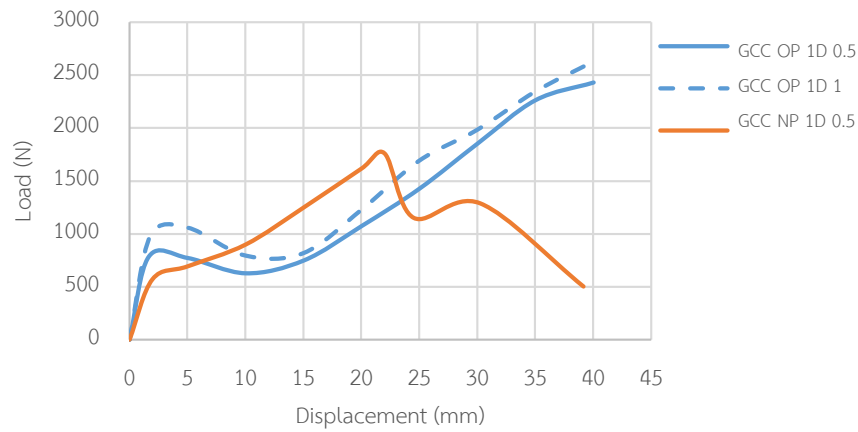


รูปที่ 4.189 อัตราส่วนการรับแรงช่วงแรกและช่วงหลังของแรงกดทะลุ

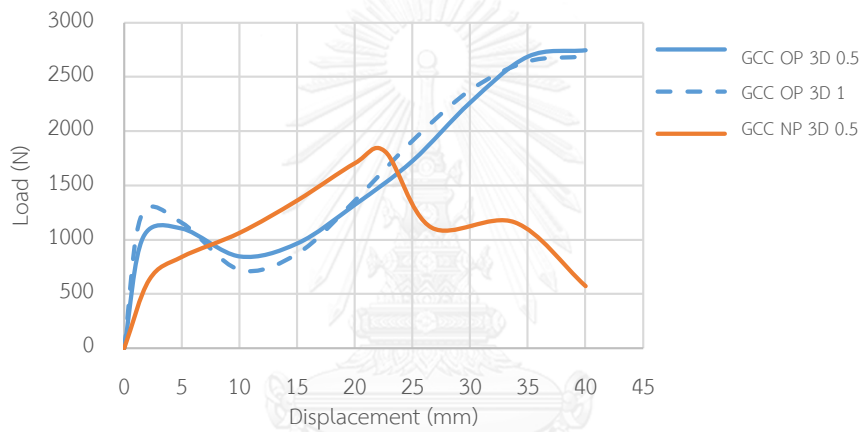
จากรูปที่ 4.189 จะเห็นว่าอัตราส่วน P_f/P_p ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน มีค่ามากกว่า ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน เนื่องจากการเสื่อมเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มมากขึ้น ในแผ่น GCC ชนิด NPF และมีปริมาณเส้นใยที่กระจายตัวไม่ดี

4.6.4. การเปรียบเทียบความต้านทานการรับแรงกดทะลุของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด

การเปรียบเทียบการรับแรงกดทะลุของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิดนี้ โดยจะเลือกอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ที่ 0.5 และ 1 ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ และอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ที่ 0.5 ในชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรและเสริมเส้นใยวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ โดยจะเลือกระยะเวลาการบ่มที่ 1 3 7 และ 28 วันจะเปรียบเทียบ GCC ชนิด OP NP และ NPF ซึ่งลักษณะพฤติกรรมของ NP และ NPF มีความคล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกับชนิดของ OP เนื่องจากจำนวนเข็มในรูปแบบการเย็บของ OP มีจำนวนที่น้อยกว่า NP ทำให้รูที่เกิดขึ้นในแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอมีน้อยกว่า NP ทำให้ ชนิด NP จะมีแรงกดทะลุสูงสุดได้น้อยกว่า เพราะมีความเสียหายที่เกิดจากเข็มที่เจาะลงในแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอมีจำนวนมากกว่า OP ดังรูปที่ 4.190 4.191 4.192 และ 4.193

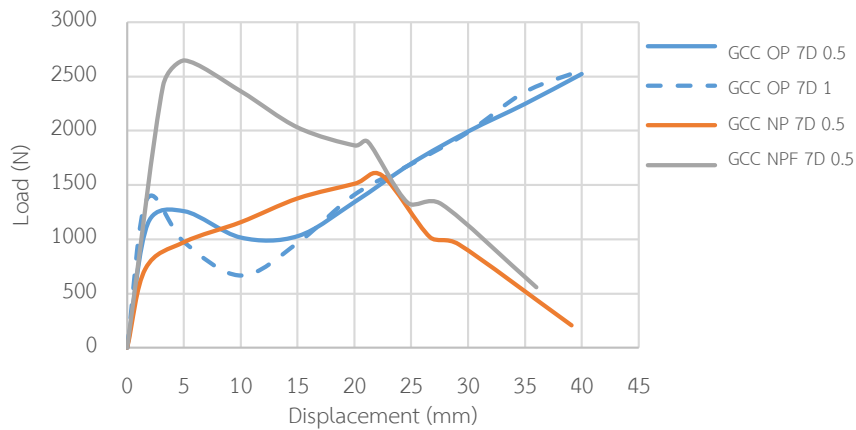


รูปที่ 4.190 ระยะการบ่มที่ 1 วัน

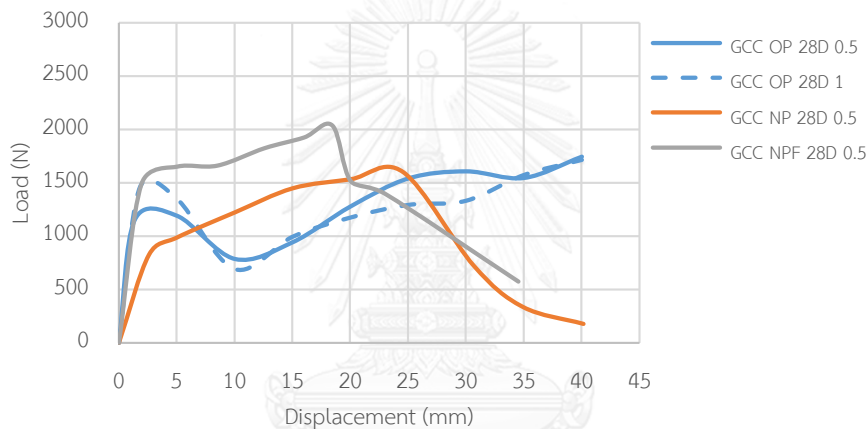


รูปที่ 4.191 ระยะการบ่มที่ 3 วัน

จากการที่ 4.190 และ 4.191 ระยะเวลาการบ่มที่ 1 วันและ 3 วัน การรับแรงช่วงแรก (เส้นตรง) แผ่น GCC ชนิด NP น้อยกว่า เนื่องจากความหนาของแผ่น GCC ชนิด NP มีน้อยกว่า แผ่น GCC ชนิดเย็บมือ การรับแรงกดทะลุสูงสุดของแผ่น GCC ชนิด OP จะมีค่ามากกว่าแผ่น GCC ชนิด NP เนื่องจากแผ่น GCC ชนิด NP มีการสูญเสียการรับแรงดึงของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ 1 ทิศทาง



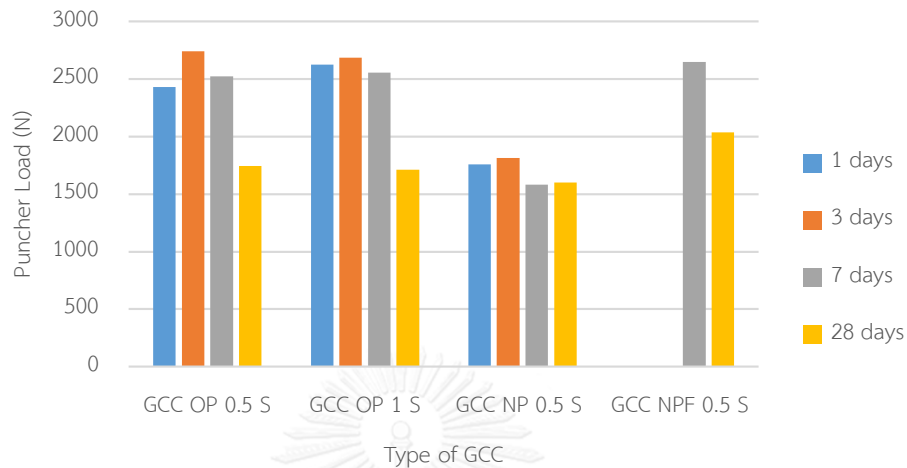
รูปที่ 4.192 ระยะการบ่มที่ 7 วัน



รูปที่ 4.193 ระยะการบ่มที่ 28 วัน

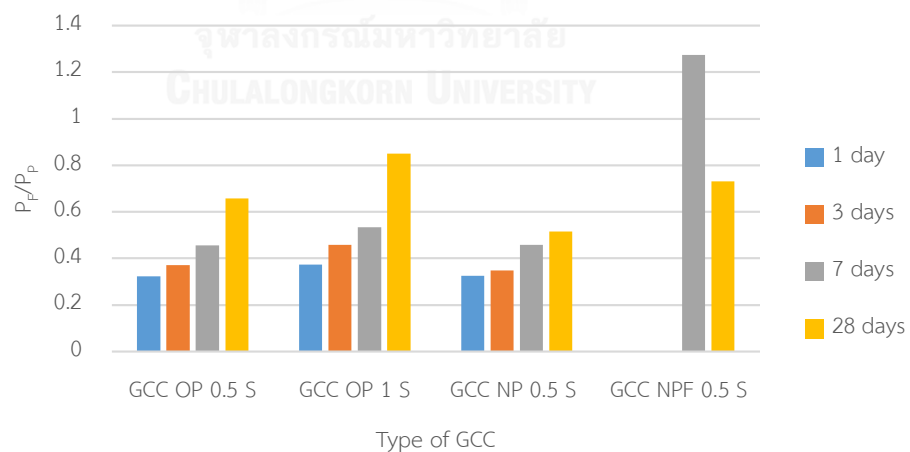
จากรูปที่ 4.192 และ 4.193 การรับแรงกดทะลุช่วงแรก (เส้นตรง) ของแผ่น GCC ในระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน แผ่น GCC ชนิด NPF จะรับแรงช่วงแรกได้มากที่สุด เพราะมีความหนามากใกล้เคียงกับชนิด OP และเสริมเส้นใยในชั้นซีเมนต์ ต่ำสุดจะเป็นชนิดของ NP เพราะมีความหนาน้อยที่สุดใน 3 ชนิด ส่วนช่วงหลังในการรับแรงกดทะลุสูงสุดของระยะบ่ม 7 วัน ชนิด NP และ NPF จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะน้อยกว่าการรับแรงกดทะลุสูงสุดของแผ่น GCC ชนิด OP ที่มีค่ามากที่สุดเพราะแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอของ NP และ NPF มีจำนวนเข็มมากกว่า OP ที่เย็บระหว่างแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดประสานและถักทอเข้าด้วยกัน ซึ่งจะไปสร้างความเสียหายทำให้เกิดรูบนแผ่นเส้นใยสังเคราะห์มากกว่าของ OP จะมีจำนวนเข็มที่น้อยกว่า แต่การรับแรงในช่วงหลังของระยะการบ่มที่ 28 วัน รับแรงสูงสุดของ GCC ชนิด OP เส้นใยยึดติดระหว่างชั้นซีเมนต์เพสต์กับแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอ มีการเสื่อมสภาพ เนื่องจากแช่น้ำนานเกินไป ทำให้การรับแรงสูงสุดของแผ่น GCC มีค่าใกล้เคียงกันกับ GCC ชนิด NP และ NPF

จากการทดสอบแรงกดทะลุของแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิด สามารถหาค่าความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุด และอัตราส่วนการรับแรงกดทะลุช่วงแรก (First crack) ต่อรับแรงกดทะลุช่วงหลัง (Peak load) ดังรูปที่ 4.194 และ 4.195



รูปที่ 4.194 ความต้านทานแรงกดทะลุสูงสุดทั้ง 3 ชนิด

จากรูปที่ 4.194 จะเห็นว่า ค่าความต้านทานแรงกดทะลุของ OP (1-7 วัน) จะมีค่าใกล้เคียงกับ ชนิด NPF ที่ 7 วัน ซึ่ง NP จะมีค่าความต้านทานน้อยที่สุด เพราะบางสุดแต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เส้นใยเริ่มเสื่อมทำให้วันที่ 28 ของ OP และ NPF ลดลง



รูปที่ 4.195 อัตราส่วนแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรกต่อแรงกดทะลุของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ในช่วงหลัง

จากรูปที่ 4.19 ความต้านทานแรงกดทะลุในชั้นซีเมนต์เพสต์ของ OP และ NP จะพัฒนาตามการบ่มแต่ NPF จะลดลงเมื่อระยะเวลาบ่มมากขึ้น เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นซีเมนต์เพสต์และการกระจายตัวของเส้นใย

การเปรียบเทียบแผ่น GCC ทั้ง 3 ชนิดในการทดสอบแรงกดทะลุ แผ่น GCC ชนิด NPF จะดีที่สุด เนื่องจากการรับแรงกดทะลุในช่วงจะมีค่าสูงที่สุดใน 3 ชนิด แต่ในช่วงหลังจะมีค่าใกล้เคียงกับแผ่น GCC ชนิด NP ซึ่งจะน้อยกว่าชนิดของ OP แต่ระยะยาว GCC ชนิด OP จะมีการเสื่อมสภาพของเส้นใยทำให้การรับแรงกดทะลุจะมีค่าลดลง แต่ชนิด NP และ NPF ยังมีค่าใกล้เคียงกับตามระยะเวลาการบ่ม

4.7 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทั้งกายภาพและเชิงกลของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิดเปรียบกับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาดและงานวิจัยในอดีต

ตารางที่ 4.21 และ 4.22 เปรียบเทียบคุณสมบัติทั้งกายภาพและเชิงกลของแผ่น GCC กับผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาดและงานวิจัยในอดีต ซึ่งประกอบด้วย ค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ ความหนา ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ค่าการซึมผ่านของน้ำ กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงดิ่ง และความต้านทานแรงกดทะลุของแผ่น GCC โดยคุณสมบัติของ GCC ในตารางเป็นคุณสมบัติที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

ตารางที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติกายภาพทั้ง 3 ชนิด กับ ผลิตภัณฑ์ที่ท้องตลาดและงานวิจัยในอดีต

คุณสมบัติ		GCC (Old product)		GCC (New product add fiber)		GCC (New product add fiber)		GCL [18]	ซีเมนต์เกราท [31]	แผ่นซีเมนต์เสริมเส้นใย [32]	Concrete Canvas [20]		
		$W/W_{GCC} = 0.5$	$W/W_{GCC} = 1$	Width Direction	Length Direction	Width Direction	Length Direction						
Setting time of cement	Initial time	158	194	100				-	125	-	-		
	Final time	230	260	165				-	165	-	-		
Compressive Strength (MPa)		60.6	54.8	61.2	54.4			-	57.4 (7 days)	-	40 (10 days)		
Mass per unit area (g/cm^2)	Air curing	1.84	1.84	-	-	-	-	0.4-0.41	-	-	1.9		
	Water curing	1.86	1.93	1.35		1.96					-	-	-
	Wrapping curing	1.63	1.68	-	-	-	-				-	-	-
Thickness (mm)	Air curing	13.5	13.9	-	-	-	-	» 6	-	6	13		
	Water curing	11.8	12.1	8.11		11.1							
	Wrapping curing	12.1	12.1	-	-	-	-						
Water impermeability	Air curing	น้ำไม่ซึม	น้ำไม่ซึม	น้ำไม่ซึม		น้ำไม่ซึม		น้ำไม่ซึม	-	น้ำซึม	น้ำไม่ซึม		

ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลทั้ง 3 ชนิด กับ ผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นที่องตลาตและงานวิจัยในอดีต

คุณสมบัติ		GCC (Old product)		GCC (New product add fiber)		GCC (New product add fiber)		GCL [18]	ซีเมนต์เกรรท์ [31]	แผ่นซีเมนต์เสริมเส้นใย [32]	Concrete Canvas [20]
		$W/W_{GCC} = 0.5$	$W/W_{GCC} = 1$	Width Direction	Length Direction	Width Direction	Length Direction				
Flexural Strength or Modulus of Rupture	Air curing	2.51	2.47	-	-	-	-	-	-	8.48 (7 days)	3.4 (10 days)
	Water curing	4.57	4.05	9.44	5.95	10.55	7.29				
	Wrapping curing	4.4	4.2	-	-	-	-				
Modulus of elasticity (MPa)	Air curing	1737.5	1558.1	-	-	-	-	-	-	3800 (7 days)	180 (10 days)
	Water curing	3707.8	4534	5479	5431	3876	3728				
	Wrapping curing	3172.4	3598	-	-	-	-				
Tensile Strength (KN/m)	Air curing	17.5	17.3	-	-	-	-	-	-	-	19.5 (Length) 12.8 (Width)
	Water curing	19.1	18.2	21.3	15.7	18.9	17.7				
	Wrapping curing	16.6	16.5	-	-	-	-				
Puncher Strength (kN)	Air curing	3.25	3.15	-	-	-	-	-	-	-	2.69
	Water curing	1.74	1.71	1.58		1.89					
	Wrapping curing	2.57	2.95	-	-	-	-				

จากการเปรียบเทียบแผ่นซีเมนต์คอมโพสิตใยสังเคราะห์ (GCC) โดยเลือกวิธีการบ่มที่ให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่ดีที่สุดคือ วิธีการบ่มแบบแช่น้ำและมีอัตราส่วน $W/W_{GCC} = 0.5$ และ 1 ของแผ่น GCC ชนิด OP และ ทิศทางการเย็บตามขวาง (Width direction) ตามยาว (Length direction) ของแผ่น GCC ชนิด NP และ NPF เทียบกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ พบว่าค่าระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ของ NP และ NPF มีค่าน้อยกว่าซีเมนต์เกราทและซีเมนต์เพสต์ของ OP ส่วนค่ามวลต่อพื้นที่ของแผ่น GCC ชนิด OP และ NPF จะมีค่าใกล้เคียงกันแต่มากกว่าน้ำหนักแผ่นดินเหนียวสังเคราะห์ (GCL) เพราะน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วในแผ่น GCC มีค่ามากกว่าน้ำหนักของดินเหนียว โดยแผ่น GCC ชนิด OP และ NPF มีความหนามากกว่าแผ่น GCL ประมาณ 2 เท่า แต่จะมีค่าใกล้เคียงกับ concrete canvas ในด้านการรับกำลังของซีเมนต์เพสต์ของ GCC ทั้ง 3 ชนิด จะมีค่ามากกว่า concrete canvas แต่จะใกล้เคียงกับซีเมนต์เกราท ค่าโมดูลัสแตกหักของ GCC ชนิดของ NP และ NPF ในทิศทางตามขวางจะมีค่ามากกว่าแผ่นซีเมนต์เสริมเส้นใยจากงานวิจัยในอดีต [31]เช่นเดียวกันกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของ GCC ชนิด OP วิธีการบ่มแบบแช่น้ำ กับชนิด NP จะมากกว่าของแผ่นซีเมนต์เสริมเส้นใยจากงานวิจัยในอดีต และค่ารับแรงดึงมีค่ามากกว่าค่าแรงดึงของ Concrete canvas จากการทดสอบการซึมผ่านของน้ำพบว่าแผ่น GCC และ GCL มีความทึบน้ำสูงมาก แตกต่างจากแผ่นซีเมนต์เสริมเส้นใยที่มีน้ำซึม

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลงานวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถนำมาสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสมบัติวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ (GCC) ในห้องปฏิบัติการพบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่น GCC คือ ปริมาณน้ำที่ใช้และระยะเวลาการบ่ม โดยวิธีการบ่มและอัตราส่วนน้ำที่ใช้ต่อน้ำหนักของ GCC ที่ให้คุณสมบัติที่ดีที่สุดสำหรับ GCC ชนิดเย็บมือ คือ วิธีการบ่มแบบแช่น้ำและอัตราส่วน $W/W_{GCC} = 0.5$ เมื่ออัตราส่วนน้ำหนักน้ำที่ใช้ต่อน้ำหนัก GCC มีค่าน้อยจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์และค่ามวลต่อพื้นที่และความหนาแน่นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน $W/W_{GCC} = 1$ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงดึง และกำลังรับแรงกดทะลุของชั้นซีเมนต์เพสต์มีการพัฒนากำลังตามระยะเวลาการบ่ม แต่ในการรับแรงกดทะลุ ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนการพรมน้ำเท่ากับ 1 จะรับแรงได้มากกว่าอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 0.5 เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นซีเมนต์เพสต์ของแผ่น GCC ชนิดเย็บมือ ทำให้การพรมน้ำที่อัตราส่วน 0.5 น้ำเข้าไม่ถึงถึงไม่เหมือนกับอัตราส่วนการพรมน้ำที่ 1 และในส่วนของกำลังรับแรงสูงสุดจะมีค่าใกล้เคียงกันแม้ระยะเวลาการบ่มจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อตัวอย่างแช่น้ำในระยะเวลาที่นานขึ้นจะทำให้เส้นใยที่ยึดติดระหว่างแผ่นเส้นใยสังเคราะห์กับชั้นซีเมนต์เพสต์เกิดการเสื่อมและหลุดออก เนื่องจากแช่นานเกินไป ทำให้กำลังรับแรงดึง แรงดัด และแรงกดทะลุลดลง เมื่อเปลี่ยนวิธีการบ่มการห่อด้วยพลาสติกจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนน้ำที่ใช้ต่อน้ำหนักของ GCC เดียวกัน ค่ามวลต่อพื้นที่ ค่าความหนาจะมีค่าคงที่ กำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงดึง และกำลังแรงกดทะลุของชั้นซีเมนต์เพสต์ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มแต่น้อยกว่าวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ ในขณะที่วิธีการบ่มทิ้งไว้ในอากาศ ในอัตราส่วนน้ำที่ใช้ต่อน้ำหนักของ GCC เดียวกัน ค่ามวลต่อพื้นที่ ค่าความหนาจะมีค่าลดลง กำลังรับแรงดัด แรงดึง และแรงกดทะลุของชั้นซีเมนต์เพสต์จะมีค่าลดลง และมีความต้านทานแรงน้อยที่สุดในทั้ง 3 วิธีการบ่ม นอกจากนี้ การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า น้ำไม่ซึม

เมื่อพัฒนาแผ่น GCC เป็นชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร และชนิดเสริมเส้นใยในชั้นซีเมนต์ แล้วทดสอบโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักเท่ากับ 0.5 และวิธีการบ่มแบบแช่น้ำ พบว่า ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร และชนิดเสริมเส้นใยในชั้นซีเมนต์ จะมีค่าน้อยกว่า GCC ชนิดเย็บมือเนื่องจากปริมาณน้ำที่อยู่ในชนิดเย็บเครื่องจักรและ ชนิดเสริมเส้นใยมีน้อยกว่า

ทำให้สามารถก่อตัวได้เร็วกว่าค่ามวลต่อหน่วยพื้นที่ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม แต่ความหนา ยังคงเท่าเดิม และสามารถป้องกันการซึมผ่านน้ำได้ ในส่วนคุณสมบัติเชิงกล กำลังรับแรงอัดของ ซีเมนต์เพสต์ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกดทะลุของชั้นซีเมนต์ เพสต์ของ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม แต่แผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิด ถักทอทิศทางตามขวางจะสามารถรับแรงได้มากกว่าตามยาว โดยมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละทิศทาง เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น สำหรับ GCC ชนิดเสริมเส้นใยในชั้นซีเมนต์ค่ามวลต่อหน่วยน้ำหนักและ ความหนาจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้น ทำให้เส้นใยที่ยึดระหว่างชั้นซีเมนต์เพสต์และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอมีการเสื่อมสภาพและ ตอนเย็บแผ่นเส้นใยสังเคราะห์เข้าด้วยกันบางจุดเข็มไม่สามารถแทงเข้าไปได้เพราะติดเส้นใยในชั้น ซีเมนต์ จึงส่งผลให้กำลังรับแรงดัด แรงดึง แรงกดทะลุ ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบแผ่น GCC ทั้งสามชนิด ในวิธีการบ่มแบบแช่น้ำซึ่งเป็นวิธีการบ่มที่ดีที่สุด พบว่า คุณสมบัติของการรับแรงดึงของ GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักรจะดีที่สุด เนื่องจากสามารถ พัฒนากำลังรับแรงได้ตามระยะเวลาการบ่มและไม่เกิดการหลุดของเส้นใยที่ใช้เย็บ ซึ่งจะแตกต่างกับ ชนิดเย็บมือและ ชนิดเสริมเส้นใยแต่ในด้านการรับแรงดัดและแรงกดทะลุ แผ่น GCC ชนิดเสริมเส้นใย จะรับแรงกดได้มากที่สุด เพราะ ความหนาของชนิดเสริมเส้นใยมีค่าใกล้เคียงกับชนิดเย็บมือ และยัง เสริมเส้นใยรับแรงในชั้นซีเมนต์เพสต์

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดในการนำไปใช้งานจะเป็น GCC ชนิดเย็บด้วย เครื่องจักร เนื่องจากชั้นซีเมนต์เพสต์มีความสม่ำเสมอและการเย็บระหว่างซีเมนต์และเส้นใย สังเคราะห์ไม่เสื่อมสภาพเมื่อเวลาบ่มมากขึ้น ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงดึงและแรงดัดในระยะยาว ดีกว่าชนิดเย็บมือและ ชนิดเสริมเส้นใย แต่จะรับแรงกดทะลุได้น้อยกว่า เนื่องจากความหนาที่น้อยกว่า และแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดถักทอถูกเข็มเจาะเป็นรู มีจำนวนมากทำให้ขาดเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อศึกษาการผลิตวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอเสนอ แนวทางการปรับปรุงวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์และศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

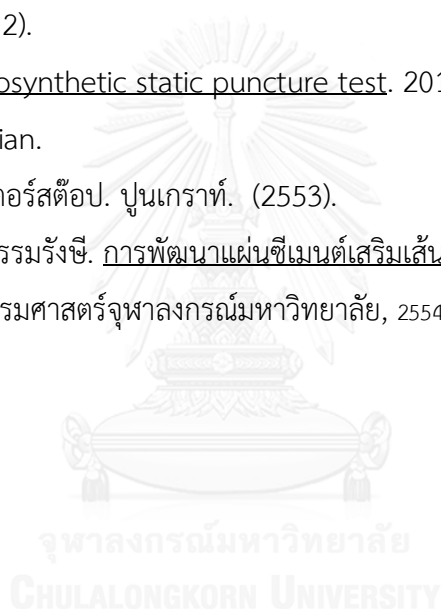
1. ปรับปรุงทิศทางการเย็บที่เสียหายของแผ่น GCC ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร และชนิดเสริม เส้นใยในชั้นซีเมนต์ ให้สามารถรับกำลังได้เทียบเท่ากันในทุกทิศทางทั้งตามขวางและตามยาว
2. ศึกษาเรื่องความทนทานของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ เนื่องจากการนำแผ่น GCC ไป ใช้ในภาคสนามจะต้องมีการศึกษาความทนทานในการรับแรงของแผ่น GCC ให้มีความคงที่หรือลดลง เล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไปนาน

รายการอ้างอิง

- [1] Desai, A.N. Handbook of geotextiles. Mumbai: The Bombay textiles research association, 2012.
- [2] ทศนีย์ สุวรรณมงคล. การควบคุมภาพวัสดุ Geosynthetic [Online]. Available from: <http://smartdoc.doh.go.th/smartdoc/GetFile.asp?DocID=531319&DatNo=1> [9 กันยายน 2558]
- [3] Jasa. Woven geotextiles [Online]. 2014. Available from: <http://jual-geotextile-eceran.blogspot.com/2014/12/geotekstil-geotextile.html> [9 กันยายน 2558]
- [4] Alibaba. Woven geotextiles [Online]. Available from: http://www.alibaba.com/product-detail/Plastic-drainage-net-production-line-plastic_1129319733.html [9 กันยายน 2558]
- [5] Alibaba. Geomembran [Online]. Available from: http://www.alibaba.com/product-detail/High-Polymer-Polyethylene-Waterproofing-Membrane-Geomembran_60019181272.html [9 กันยายน 2558]
- [6] Kairi. Geosynthetic clay liner [Online]. Available from: <http://koduleht.planet.ee/index.php/blogi> [9 กันยายน 2558]
- [7] Jeevan. Geopipe [Online]. Available from: <http://www.jpnonwoven.com/geosynthetics/perforated-Jp-geopipe.html> [9 กันยายน 2558]
- [8] Geotechnical. Woven geotextiles [Online]. Available from: <http://www.ptgsi.com/product> [9 กันยายน 2558]
- [9] Rss Company. Weft and warp direction [Online]. Available from: <https://fromthiscloth.wordpress.com/2015/07/16/of-warp-and-weft/> [9 กันยายน 2558]
- [10] Geomet. Nonwoven geotextiles [Online]. Available from: <http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/geotextilie/> [9 กันยายน 2558]
- [11] ชนบัตร เอื้อวรกุลชัย. พฤติกรรมของโครงสร้างวัสดุเสริมดินโดยใช้แผ่นใยและตาข่ายเสริมแรงเป็นวัสดุเสริม. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

- [12] Wojtasik, D. An analysis of physical, hydraulic and mechanic properties of nonwoven needle-punched geotextiles. Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation 40 (2008): 115-123.
- [13] ชัชวาล เศรษฐบุตตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. 2543.
- [14] Messiry, M., Tarfawy, S., and Deeb, R. Mechanical performance of cementitious composites reinforced with pultruded jute polymeric matrix fabric. J. Material Sci Eng 4(173) (2015): 2169-0022.1000173.
- [15] Habib, A., Begum, R., and Alam, M.M. Mechanical properties of synthetic fibres reinforced mortars. International Journal of Scientific & Engineering Research 4(4) (2013): 923-927.
- [16] Gebler, S.H., et al. Guide to curing concrete. in American Concrete Institute, 2001.
- [17] Holtz, R., Christopher, B., and Berg, R. Geosynthetic design and construction guidelines. participant notebook. nhi course no. 13213 (revised april 1998). 1998.
- [18] Bouazza, A. Geosynthetic clay liners. Geotextiles and Geomembranes 20(1) (2002): 3-17.
- [19] Hsuan, Y.G. Approach to the study of durability of reinforcement fibers and yarns in geosynthetic clay liners. Geotextiles and Geomembranes 20(1) (2002): 63-76.
- [20] Concrete Canvas. Concrete cloth [Online]. Available from: <http://www.concretcanvas.com/> [21 กันยายน 2558]
- [21] ASTM, D. 5993: Standard test method for measuring mass per unit area of geosynthetic clay liners. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- [22] ASTM, D. 5199. Standard test method for measuring the nominal thickness of geosynthetics. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA (2006).
- [23] ASTM, D. 4595, “. Standard test method for tensile properties of geotextiles by the wide-width strip method (2005).
- [24] ASTM, D. 4632, “. Standard test method for grab breaking load and elongation of geotextiles.

- [25] EPC Company. Barchip macro 24. Elasto Plastic Concrete (2012).
- [26] ASTM, C. 191-08. Standard test methods for time of setting of hydraulic cement by vicat needle. American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards 4 (2008).
- [27] ASTM, C. 109/C 109M-02. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens) (2002).
- [28] ASTM, D. 6768 Standard test method for breaking force and elongation of textile fabrics. 2006: ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [29] EN BS. 12467: 2012 Fibre-cement flat sheets. Product specification and test methods (2012).
- [30] ISO. 12236 Geosynthetic static puncture test. 2013, Bureau of Indian Standards: Indian.
- [31] บริษัทเอเชียวอเตอร์สต็อปป. ปูนเกรธาท์. (2553).
- [32] ระวีวรรณ สหธรรมรังษี. การพัฒนาแผ่นซีเมนต์เสริมเส้นใยกาบหมาก. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
















การทดสอบคุณสมบัติเชิงคุณสมบัติของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์

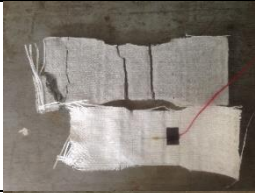









จากการทดสอบการรับแรงของวัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์สามารถแสดงรูปถ่ายที่จุดวิบัติ (Failure) ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงทั้ง 3 การทดสอบ คือ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกดทะลุ ดังตารางที่ ก




















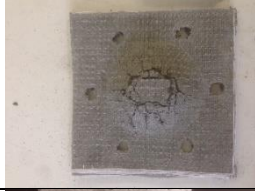



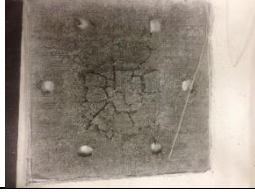
ตารางที่ ก.1 วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บมือ

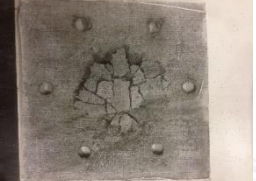
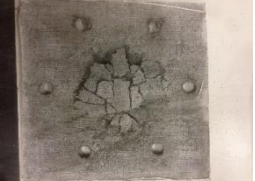


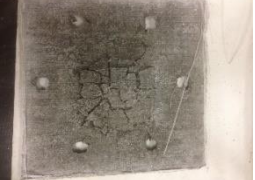




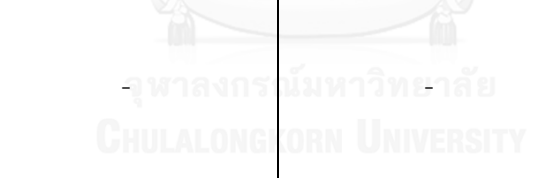

Curing time	GCC Old product		
	Bending test		
	$W/W_{GCC} = 0.5$		
	Width direction		
	Air curing	Wrapping curing	Water curing
1 day			
3 days			
7 days			
28 days	-	-	

Curing time	GCC Old product		
	Bending test		
	$W/W_{GCC} = 1$		
	Width direction		
	Air curing	Wrapping curing	Water curing
1 day			
3 days			
7 days			

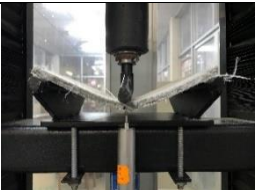
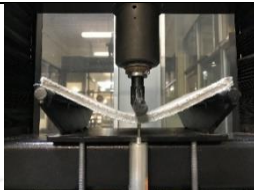

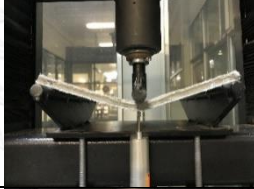

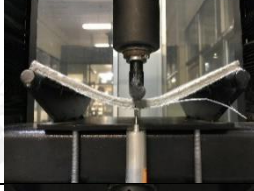
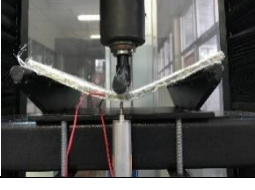
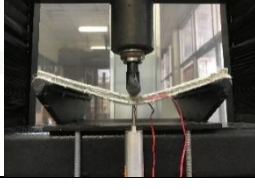
Curing time	GCC Old product		
	Tensile test		
	$W/W_{GCC} = 0.5$		
	Width direction		
	Air curing	Wrapping curing	Water curing
1 day			
3 days			
7 days			
28 days			









Curing time	GCC Old product		
	Tensile test		
	$W/W_{GCC} = 1$		
	Width direction		
	Air curing	Wrapping curing	Water curing
1 day			
3 days			
7 days			
28 days			





Curing time	GCC Old product		
	Puncher test		
	$W/W_{GCC} = 0.5$		
	Width direction		
	Air curing	Wrapping curing	Water curing
1 day			
3 days			
7 days			
28 days			

Curing time	GCC Old product		
	Puncher test		
	$W/W_{GCC} = 1$		
	Width direction		
	Air curing	Wrapping curing	Water curing
1 day			
3 days			
7 days			
28 days			

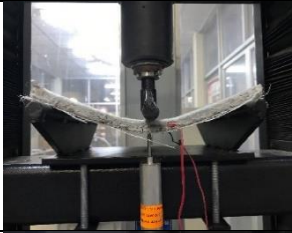
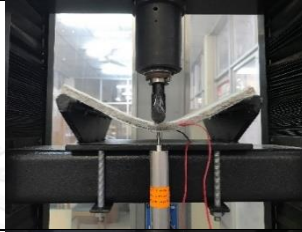
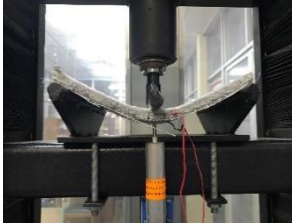
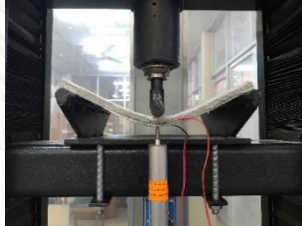
ตารางที่ ก.2 วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเย็บด้วยเครื่องจักร



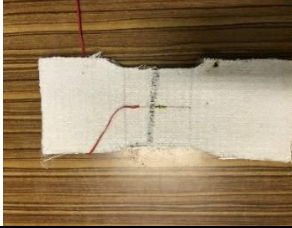

Curing time	GCC New product	
	Bending test	
	$W/W_{GCC} = 0.5$	
	Water Curing	
	Width direction	Length direction
1 day		
3 days		
7 days		
28 days		



Curing time	GCC New product	
	Bending test	
	$W/W_{GCC} = 0.5$	
	Water Curing	
	Width direction	Length direction
1 day		
3 days		
7 days		
28 days		

Curing time	GCC New product
	Puncher test
	$W/W_{GCC} = 0.5$
	Water Curing
1 day	
3 days	
7 days	
28 days	

ตารางที่ ก.3 วัสดุผสมซีเมนต์ใยสังเคราะห์ชนิดเสริมเส้นใย

Curing time	GCC New product add fiber	
	Bending test	
	$W/W_{GCC} = 0.5$	
	Water Curing	
	Width direction	Length direction
7 days		
28 days		

Curing time	GCC New product add fiber	
	Tensile test	
	$W/W_{GCC} = 0.5$	
	Water Curing	
	Width direction	Length direction
7 days		
28 days		

Curing time	GCC New product add fiber	
	Puncher test	
	$W/W_{GCC} = 0.5$	
	Water Curing	
7 days		
28 days		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ นายไตรภพ รามดิษฐ์ รหัสประจำตัวนิสิต 5770180821 นิสิตปริญญาโท คณะวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง เกิดเมื่อวันที่ 3 มีนาคม 2535 อายุ 25 ปี จบการศึกษาปริญญาตรีจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2556

