



คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยใยมะพร้าวแทนที่ทราย

PROPERTIES OF CONCRETE BLOCK REINFORCED WITH COCONUT FIBER
INSTEAD OF SAND

สทรรัฐ ตั้งจิตพัฒนกุล

SAHARAT TANGJITPUTTANAKUL

น้ำฝน นาคมนี

NAMFON NAKMANEE

สุมินทร์ตรา ยอดเกลี้ยง

SUMINTRA YODKLIANG

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยใยมะพร้าวแทนที่ทราย

PROPERTIES OF CONCRETE BLOCK REINFORCED WITH COCONUT FIBER
INSTEAD OF SAND

สหรัฐ ตังจิตพัฒนกุล

SAHARAT TANGJITPUTTANAKUL

น้ำฝน นาคมนี

NAMFON NAKMANEE

สุมินทร์ตรา ยอดเกลี้ยง

SUMINTRA YODKLIANG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROPERTIES OF CONCRETE BLOCK REINFORCED WITH COCONUT FIBER
INSTEAD OF SAND

SAHARAT TANGJITPUTTANAKUL

NAMFON NAKMANEE

SUMINTRA YODKLIANG

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN ENERGY ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยใยมะพร้าวแทนที่ทราย
PROJECT TITLE PROPERTIES OF CONCRETE BLOCK REINFORCED WITH
COCONUT FIBER INSTEAD OF SAND
ชื่อนักศึกษา นายสหรัฐ ตั้งจิตพัฒนกุล รหัสประจำตัว 60512103
นางสาวน้ำฝน นาคมนี่ รหัสประจำตัว 60514025
นางสาวสุมินทร์ตรา ยอดเกลี้ยง รหัสประจำตัว 60514055
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วชร กาลาสี
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	กรรมการสอบ	
ผศ.ววรรษชล	วัฒน์	กรรมการสอบ	
อาจารย์อดิเรก	สุริยวงศ์	กรรมการสอบ	
ผศ.วชร	กาลาสี	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 มิถุนายน 2564 เวลา 09.00 - 17.00 น.

สถานที่สอบ Online

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร	คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยใยมะพร้าวแทนที่ทราย	
ชื่อนักศึกษา	นายสหรัฐ ตั้งจิตพัฒนกุล	รหัสประจำตัว 60512103
	นางสาวน้ำฝน นาคมนี	รหัสประจำตัว 60514025
	นางสาวสุมินทร์ตรา ยอดเกลี้ยง	รหัสประจำตัว 60514055
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมพลังงาน	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วชร กาลาสี	
ปริญญาบัตร		

บทคัดย่อ

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นการศึกษาสมบัติของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย โดยใช้เส้นใยมะพร้าวแบบตัดท่อน (CB) และ แบบไม่ตัดท่อน (NB) จากนั้นจะศึกษาการยุบตัว กำลังอัด ประลัย (fc) รวมทั้งการศึกษาการหดตัวแบบบอโตจิ้นส์ การหดตัวโดยรวม และการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์ จากการศึกษาพบว่า ค่ายุบตัวของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าว (ทั้ง CB และ NB) แทนที่ทรายนั้นมีค่าน้อยกว่าของคอนกรีตเมื่อใช้ทรายล้วน โดยค่าการยุบตัวของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าว CB จะมีค่ามากกว่าของเส้นใยมะพร้าวแบบ NB ซึ่งในขณะที่เส้นใยมะพร้าวแบบ NB มีแนวโน้มการยุบตัวมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตเมื่อใช้ทรายล้วน สำหรับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย จะมีค่ามากกว่าคอนกรีตเมื่อใช้ทรายล้วน โดยที่กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าว CB จะมีค่าแนวโน้มมากกว่าของเส้นใยมะพร้าว NB และนอกจากนี้พบว่า การหดตัวแบบบอโตจิ้นส์ของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายมีแนวโน้มค่าน้อยกว่าของมอร์ตาร์เมื่อใช้ทรายล้วน โดยการหดตัวแบบบอโตจิ้นส์ของมอร์ตาร์ เส้นใยมะพร้าว CB และ NB จะมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน สำหรับการหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์ การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย จะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันกับของมอร์ตาร์เมื่อใช้ทรายล้วน

คำสำคัญ: เส้นใยมะพร้าว ทราย สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีต ความคงทนของคอนกรีต

Project Title	PROPERTIES OF CONCRETE BLOCK REINFORCED WITH COCONUT FIBER INSTEAD OF SAND	
Student	Mr. Saharat Tangjitputtanakul	Student ID 60512103
	Miss. Namfon Nakmanee	Student ID 60514025
	Miss. Sumintra Yodkliang	Student ID 60514055
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Energy Engineering	
Project Advisor	Asst.Prof. Wachara Kalasee	

ABSTRACT

This thesis studies the properties of concrete when coconut fibers were used instead of sand. By using cut coconut fibers (CB) and uncut (NB) fibers, then the dissolution was studied. Pressing force (f_c) including autogenous shrink studies. Overall shrinkage and expansion in mortar's sodium sulfate solution. According to the study, it was found that the deflation factor of concrete when using coconut fibers (both CB and NB) instead of sand is less than that of concrete when using plain sand. The collapse of concrete when using CB coconut fibers was higher than that of NB type coconut fibers, while NB type coconut fibers tended to collapse longer. When compared to concrete when using plain sand for the compressive strength of concrete when using coconut fibers instead of sand. It is more valuable than concrete when using plain sand. The compressive strength of the concrete when using coconut fibers, CB was more likely than that of NB coconut fibers. The autogenous shrinkage of the mortar when using coconut fibers instead of sand was less likely than that of the mortar when using all sand. By the shrinkage of the automaton of the mortar Coconut fibers, CB and NB have the same values. For the overall shrinkage of the mortar Expansion in mortar's sodium sulfate solution when coconut fibers were used instead of sand. There is a value that is not different from that of the mortar when using all sand.

Keywords: coconut fibers, sand, basic properties of concrete, concrete durability

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.วชร กาลาสี อาจารย์ที่ปรึกษา
ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการใน
การทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่ยศพรัก ที่คอยสนับสนุนและเป็น
กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งและขอขอบคุณ พี่ๆ
เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำ
ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้
ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยใยมะพร้าวแทนที่ทราย

สำหรับ ตั้งจิตพัฒนกุล

น้ำฝน นาคมณี

สุมินทร์ตรา ยอดเกลี้ยง

กรกฎาคม 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ในการดำเนินการ	3
1.5 ระยะเวลาและสถานที่ทำปริญญานิพนธ์	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินการ	4
1.7 แผนการดำเนินการ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31
3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	37
3.4 รายละเอียดวิธีการศึกษา	43
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล	
4.1 สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีต	49
4.2 ความคงทนของคอนกรีต	55
4.3 เปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างมอร์ตาร์กับคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใย มะพร้าวกับทรายล้วน	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดสอบ	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางแสดงสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีต	71
ภาคผนวก ข ตารางแสดงสมบัติด้านความคงทนของมอร์ตาร์	81
ภาคผนวก ค แสดงขั้นตอนการผลิตชิ้นทดสอบคอนกรีตบล็อก	85
ประวัติผู้จัดทำ	93



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานการออกแบบอัตราส่วนการผสมและเตรียมตัวอย่างการทดสอบสำหรับการทดสอบคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยเส้นใยจากมะพร้าว	5
2.1	องค์ประกอบทางพฤกษเคมีจากส่วนต่างๆของมะพร้าว	9
2.2	สมบัติเชิงกลและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นมะพร้าว	9
2.3	ข้อแนะนำสำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติในสภาวะแวดล้อมของซัลเฟต	22
3.1	สัดส่วนการผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าการหดตัวแบบอัตโนมัติ การหดตัวโดยรวมและการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต	40
3.2	สัดส่วนการผสมของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ทดสอบหาค่าการยุบตัวและกำลังอัดประลัยของคอนกรีตบล็อก	41
4.1	สรุปการเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนแทนที่ทรายต่อชั้นทดสอบที่ใช้ทรายล้วน	62
4.2	สรุปการเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนแทนที่ทรายต่อชั้นทดสอบที่ใช้ทรายล้วน	62
4.3	สรุปการเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนและใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนแทนที่ทราย	63
4.4	ค่าคุณสมบัติเส้นใยมะพร้าว และวัสดุซีเมนต์มวลอื่นๆ	64

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานการออกแบบอัตราส่วนการผสมและเตรียมตัวอย่างการทดสอบสำหรับการทดสอบคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยเส้นใยจากมะพร้าว	4
2.1	แสดงองค์ประกอบของผลมะพร้าว	8
2.2	การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของเมทริกซ์และลักษณะของสารเสริมแรง	11
2.3	การผสมส่วนผสมคอนกรีต	12
2.4	สภาพความชื้นของมวลรวม	14
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) และกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต	17
2.6	การบวกรวมการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต	19
3.1	ตัวอย่างเส้นใยพร้าวก่อนล้างกำจัดลินินและตัดความยาวของเส้นใย	26
3.2	แสดงโซเดียมซิลเฟต	27
3.3	แสดงปูนขาว	27
3.4	แสดงน้ำประปา	28
3.5	แสดงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1	28
3.6	แสดงหินฝุ่น	29
3.7	แสดงทรายในการผสม	29
3.8	เกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์	30
3.9	แสดงน้ำกลั่น	30
3.10	แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล Digital Kitchen scale C305	31
3.11	แสดงไม้ตี	31
3.12	แสดงกะละมังผสมคอนกรีต	32
3.13	แสดงเวอร์เนียคาลิปเปอร์	32
3.14	แสดงเกรียงเหล็กผสมคอนกรีต	33
3.15	แสดงถุงซีปล็อคพลาสติกใส่เก็บชิ้นทดสอบ	33
3.16	แสดงกรรไกรตัดเส้นใย	34
3.17	แสดงแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	34
3.18	ถังน้ำพลาสติก	35
3.19	ชุดทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต	35
3.20	เครื่องทดสอบการรับกำลังอัดขนาด 200 Ton Model STS-C905V	36
3.21	แสดงตู้อบ (OVEN) รุ่น ED/FD	36
3.22	การเตรียมเส้นใยมะพร้าว	38
3.23	การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต	44
3.24	การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต	45
3.25	การทดสอบการหดตัวแบบอโตจีนัสของมอร์ตาร์	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.26	การทดสอบการหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์	47
3.27	การทดสอบการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์	48
4.1	ค่าการยุบตัวของคอนกรีต	50
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอายุคอนกรีตของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB	51
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอายุคอนกรีตของเส้นใยมะพร้าวชนิด NB	51
4.4	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิด CB และNB แทนที่ทราย ที่อายุ 1 7 14 และ28วัน	54
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบออโตจีนัสกับอายุคอนกรีตของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB	56
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบออโตจีนัสกับอายุคอนกรีตของเส้นใยมะพร้าวชนิด NB	56
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบออโตจีนัสกับอายุของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิด CB และNB แทนที่ด้วยทราย	57
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวโดยรวมกับอายุมอร์ตาร์ของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB	59
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวโดยรวมกับอายุมอร์ตาร์ของเส้นใยมะพร้าวชนิด NB	59
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตกับอายุมอร์ตาร์ของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB	61
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตกับอายุมอร์ตาร์ของเส้นใยมะพร้าวชนิด NB	61

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Al_2O_3	Aluminium oxide
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Calcium hydroxide
CaO	Calcium Oxide
CaSO_4	Calcium sulfate
C_2S	Dicalcium Silicate
C_3A	Tricalcium Aluminate
C_3S	Tricalcium Silicate
C_4AF	Tetracalcium Alumino Ferrite
Fe_2O_3	Ferric Oxide
H_2O	Water
MgSO_4	Magnesium Sulfate
NaOH	Sodium Hydroxide
SiO_2	Silicon Dioxide
CH	Calcium hydroxide
CSH	Calcium Silicate Hydrate

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

คอนกรีตเสริมใยธรรมชาติเป็นวัสดุกลุ่มใหม่ในงานก่อสร้างและงานสถาปัตยกรรมต่างๆ ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปที่ผลิตจากเหล็ก เส้นใยอนินทรีย์และเส้นใยสังเคราะห์อื่นๆ [3] เส้นใยพืชเป็นเส้นใยที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและสัณฐานวิทยา เนื่องจาก การวางแนวของเส้นใย ปริมาณเซลลูโลส โครงสร้างผลึกและเส้นผ่านศูนย์กลาง พื้นที่หน้าตัดของเส้นใย เส้นใยที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในคอมโพสิต ได้แก่ ปอแก้ว ป่านศรนารายณ์ ปอกระเจา และมะพร้าว และด้วยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ เส้นใยธรรมชาติจึงมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงให้กับผลิตภัณฑ์คอมโพสิต [1] ในเส้นใยของมะพร้าวนั้นจะมีปริมาณของลิกนินและไฮโดรเซลลูโลสสูง โดยลิกนินเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบมากที่สุดรองจากเซลลูโลส ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการจับเส้นใยเซลลูโลสเข้าด้วยกัน โดยที่เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใย ซึ่งเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติแข็งและเหนียว มีการนำความร้อนต่ำ และรักษาเปอร์เซ็นต์ความต้านทานแรงดึงเดิมสำหรับทุกสภาวะได้ดี [2, 3] เส้นใยมะพร้าวจึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงและทดแทนทรายในการพัฒนาเส้นใยมะพร้าวผสมซีเมนต์ การเพิ่มปริมาณใยมะพร้าวจะเพิ่มโมดูลัสของการแตกและกำลังอัดของคอมโพสิตจนถึงองค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุดและยังช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและความชื้นอีกด้วย [4] การใช้ใยมะพร้าวเป็นส่วนผสมสามารถลดการนำความร้อนและให้คอนกรีตบล็อกที่มีน้ำหนักเบา มีการพิจารณาอัตราส่วนส่วนผสมต่างๆ โดยใช้กระบวนการผลิตแบบแฮนด์เมดในท้องถิ่นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศ [5]

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้เส้นใยมะพร้าวเปล่า ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตร เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ มีความอุดมสมบูรณ์ในธรรมชาติ มีความหนาแน่นต่ำและสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อีกทั้งต้นมะพร้าวยังเป็นพืชเชิงพาณิชย์พื้นเมือง การศึกษานี้ไม่เพียงเพื่อประเมินคุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่เกิดขึ้นเท่านั้น แต่ยังให้ข้อมูลคุณสมบัติที่นำออกแบบสามารถนำมาใช้และเป็นพื้นฐานในการทำงานต่อไปได้อีกด้วย [6] คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอมโพสิตเสริมใยธรรมชาติส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับชนิดของเมทริกซ์ เนื้อหาและคุณสมบัติของสารตัวเติมเสริมแรง อย่างไรก็ตามความไม่สอดคล้องกันระหว่างเส้นใยธรรมชาติที่ชอบน้ำและเมทริกซ์ที่ไม่ชอบน้ำ ส่งผลให้การยึดเหนี่ยวกันของคอมโพสิตไม่ดีเท่าที่ควร การยึดเหนี่ยวระหว่างกันนี้สามารถปรับปรุงได้โดยการดัดแปลงทางเคมีของพื้นผิวเส้นใยหรือเมทริกซ์ เส้นใยมะพร้าวเป็นเส้นใยที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสสูง มีปริมาณลิกนินในมะพร้าวมากทำให้ทนต่อสภาพอากาศ อีกทั้งใยมะพร้าวยังกันน้ำได้ดีและเป็นหนึ่งในเส้นใยธรรมชาติไม่กี่ชนิดที่ทนต่อความเสียหายจากน้ำเกลือ เส้นใยมะพร้าวดูดซับน้ำได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับทั้งหมดเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพและรีไซเคิลได้ เป็นทรัพยากรหมุนเวียนและ CO₂ เป็นกลาง แม้ว่าเส้นใยธรรมชาติจะดูไม่ทันสมัยและจากคุณสมบัติที่น่าประทับใจของใยสังเคราะห์ แต่เส้นใยธรรมดานั้นเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งด้วยเหตุนี้เองที่ทำให้มันมีความน่าสนใจ การวิจัยในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการพัฒนาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้วยการเพิ่มความเข้ากันได้ของเส้นใยและเมทริกซ์โดยการบำบัดด้วยต่าง [7] คอมโพสิตซีเมนต์เสริมใยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงทางเคมีด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีกำลังรับแรงดัดงอดีขึ้น ความสามารถในการดูดซับ ความเหนียวและเบาดีกว่าแบบธรรมดา [8, 9] เนื่องจากในปัจจุบันนี้ได้มีการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติและจากชีวิตประจำวันมาใช้ในการผสมคอนกรีต เพื่อที่จะได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา สามารถรับแรงอัดได้ตามที่กำหนดซึ่งสิ่งสำคัญก็คือ ลดต้นทุนในการผลิต ขจัดปัญหาเรื่องการขาดแคลนวัตถุดิบเนื่องจากได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งควรพิจารณาให้เหมาะสมกับวัสดุที่มีในท้องถิ่น [10]

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาผลกระทบของการใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายต่อคุณสมบัติเบื้องต้นและความคงทนของคอนกรีตเสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าว โดยคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตบล็อกนี้ ประกอบด้วย ค่ายุบตัว กำลังอัดประลัย และคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีต ประกอบด้วย การหดตัวแบบอโตจีนิส การหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์ และการขยายในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์ เพื่อพัฒนาการนำเอามะพร้าวมาให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของเส้นใยมะพร้าวต่อคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย
- 1.2.4 เพื่อศึกษาผลกระทบของเส้นใยมะพร้าวต่อคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.3.1 วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย ได้แก่ ค่ายุบตัว กำลังอัดประลัย
- 1.3.3 ศึกษาคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย ได้แก่ การหดตัวแบบอโตจีนิส การหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์ และการขยายในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์
- 1.3.4 ศึกษาผลกระทบของเส้นใยมะพร้าวต่อคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย
- 1.3.5 ศึกษาผลกระทบของเส้นใยมะพร้าวต่อคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย
- 1.3.6 เส้นใยชนิดตัดทอน ใช้เส้นใยมะพร้าวความยาว 1-6 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ในการดำเนินงาน

- 1.4.1 เพิ่มทางเลือกในการใช้งานวัสดุคอนกรีตบล็อกเสริมแรงในงานสถาปัตยกรรมและงานตกแต่งภายในต่างๆ
- 1.4.2 สามารถนำเอาวัสดุธรรมชาติมาเพิ่มมูลค่าและนำมาใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริง
- 1.4.3 นำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุทางเลือกใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรม สถาปัตยกรรม งานตกแต่งภายในและงานสร้างสรรค์ต่างๆต่อไป

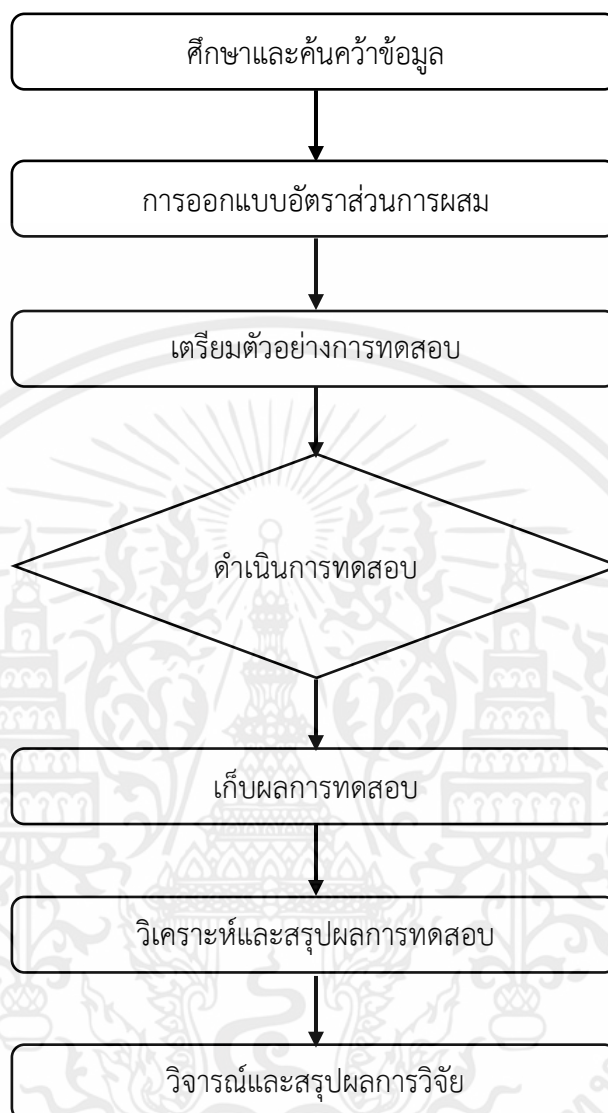
1.5 ระยะเวลาและสถานที่ทำปริญญานิพนธ์

ระยะเวลาทำโครงการ 1 ปีการศึกษา ตั้งแต่ สิงหาคม 2563 - มิถุนายน 2564 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบอัตราส่วนการผสมและเตรียมตัวอย่างการทดสอบ
สำหรับการทดสอบคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยเส้นใยจากมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานการออกแบบอัตราส่วนการผสมและเตรียมตัวอย่างการทดสอบ สำหรับการทดสอบคอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยเส้นใยจากมะพร้าว

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินการ 2563 - 2564										
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย
	63	63	63	63	63	64	64	64	64	64	64
1. จัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์	←→										
2. เตรียมเส้นใยมะพร้าว			←→								
3. ออกแบบการทดสอบ และออกแบบอัตราส่วนการผสม			←→								
4. ทำการทดสอบขั้นทดสอบและเก็บผลการทดสอบ						←→					
5. วิเคราะห์ผลและสรุปผล										←→	
6. จัดทำเล่มรายงาน											←→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและงานสถาปัตยกรรม เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานในปัจจุบัน จึงมีการออกแบบและปรับปรุงวัสดุคอมโพสิต ให้มีคุณสมบัติใหม่ๆ มากยิ่งขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึง วัสดุคอมโพสิตที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์ (Fiber-reinforced composites) ซึ่งนิยมใช้ในงานเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างวัตถุ โดยในบทนี้ได้กล่าวถึงคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยมะพร้าว ระยะการก่อตัวของคอนกรีต อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ มาตรฐานการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เส้นใยมะพร้าวในการผลิตคอนกรีตบล็อก

นอกจากนี้สารในเส้นใยของมะพร้าวซึ่งมีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่หย่นเหนียว แข็งแรง ทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นใยมะพร้าวจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม รวมทั้งการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบและเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 มะพร้าว

เส้นใยจากมะพร้าวเป็นเส้นใยที่ได้จากเปลือกของผลมะพร้าว แบ่งได้ตามลักษณะการเก็บเกี่ยว หากเก็บเกี่ยวเมื่อผลมะพร้าวไม่แก่จัด เส้นใยที่ได้จะมีสีขาวหรือสีน้ำตาลอ่อน (White Coir) มีความนุ่ม แต่ไม่เหนียว ในขณะที่เมื่อเก็บเกี่ยวในขณะที่ผลมะพร้าวแก่เต็มที่แล้วจะได้เส้นใยสีน้ำตาล (Brown Coir) มีความเหนียว แต่แข็งกระด้าง หากแบ่งตามความยาวของเส้นใยจะแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มคือ Yam Fiber เป็นเส้นใยมะพร้าวแบบยาว นิยมนำไปทำเส้นด้ายเพื่อทอพรหมหรือทำเสื่อ กลุ่มต่อมาคือ Bristle Fiber จะมีเส้นใยที่สั้นกว่า Yam Fiber ซึ่งจะนิยมนำไปทำแปรงใยมะพร้าว และสำหรับกลุ่มสุดท้ายคือ Mattress Fiber นิยมนำมาทำที่นอน เบาะนั่ง โดยการอาบด้วยน้ำยารักษา เส้นใยมะพร้าวเป็นเส้นใยสั้นที่มีความเหนียวพอประมาณ ความโค้งงอต่ำ ทนต่อความชื้น และการทำลายของจุลินทรีย์และเชื้อราได้ดี ใยมะพร้าวมีสัดส่วนเซลลูโลสประมาณ 35-37% มีลิกนินและแทนนินสูงมาก จึงมีศักยภาพเพียงปานกลางที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์เนื่องจากจะต้องผ่านกระบวนการฟอกสีหลายขั้นตอน

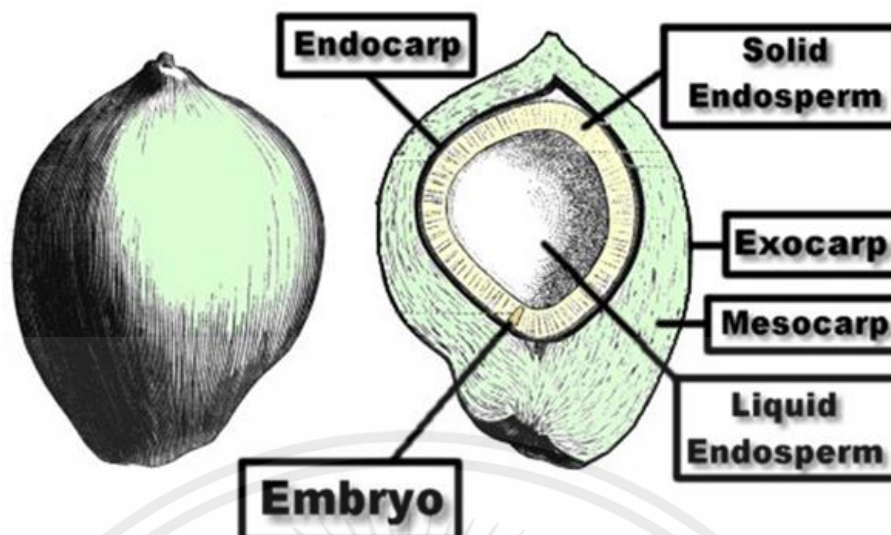
ศักยภาพการผลิตเส้นใยมะพร้าวของไทยค่อนข้างสูง เนื่องจากมีปริมาณการบริโภคมะพร้าวภายในประเทศค่อนข้างมากและสามารถนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย แต่ทั้งนี้การใช้ประโยชน์นิยมใช้ในลักษณะของเส้นใยดิบไม่มีการพัฒนาคุณสมบัติของเส้นใยเพิ่มเติม ซึ่งน่าจะส่งเสริมการวิจัยในด้านนี้ เพื่อพัฒนาการผลิตวัสดุคอมโพสิตชีวภาพจากใยมะพร้าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานการณ์การผลิตในประเทศไทย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2011 พบว่ามี พื้นที่การผลิตมะพร้าวและผลผลิตมะพร้าวของประเทศไทยลดลง โดยในปี 2011 มีพื้นที่การผลิตจำนวน 1.35 ล้านไร่ ลดลงร้อยละ 31.5 จากปี 2000 และผลผลิต มะพร้าว ในปี 2011 มีผลผลิตจำนวน 1.06 ล้านตัน ลดลงร้อยละ 22.9 จากปี 2000 โดยมีสาเหตุมาจากปัญหาภัยแล้ง แมลงศัตรูพืชระบาดรวมถึงในเรื่องของผลตอบแทนที่เกษตรกรได้รับน้อยลง จึงไม่จูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่เพาะปลูกโดยแหล่งผลิตส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคกลางและภาคใต้ ซึ่งจังหวัดที่มีผลผลิตมากที่สุด 5 ลำดับแรก คือ ประจวบคีรีขันธ์ (30%) ชุมพร (17%) สุราษฎร์ธานี (10%) ชลบุรี (9%) และ นครศรีธรรมราช (7%) สำหรับการบริโภคมะพร้าวของไทยในภาพรวมมี การบริโภคภายในประเทศเพียง 0.14 ล้านตันเท่านั้น จากผลผลิตรวม 1.05 ล้านตัน สะท้อนให้เห็นว่าประเทศไทยมีผลผลิตที่สามารถส่งออกได้เป็นจำนวนมากและความสามารถในการผลิตมะพร้าวของไทยสามารถส่งเสริมเป็น วัตถุประสงค์สิ่งทอในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ต่อไป [11]

2.1.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่ง อยู่ในตระกูลปาล์มเป็นพืชซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในหลายทาง เช่น น้ำและเนื้อมะพร้าวอ่อนใช้รับประทาน เนื้อในผลแก่นำไปชูดและคั้นทำกะทิ กะลามาไปประดิษฐ์สิ่งของต่าง ๆ เช่น กระจบาย โคมไฟ ฯลฯ นอกจากนี้มะพร้าวจัดเป็นพรรณไม้มงคลชนิดหนึ่ง ตามตำราพรหมชาติฉบับหลวง ได้กำหนดให้ปลูกมะพร้าวไว้ทางทิศตะวันออกของบ้าน เพื่อความสิริมงคล ใบมีลักษณะเป็นใบประกอบแบบขนนก ผลประกอบด้วย 3 ส่วนคือเอพิคาร์ป (epicarp) คือเปลือกนอก ที่มีลักษณะเป็นสีเขียวในผลสดและเป็นสีน้ำตาลในผลแก่ ถัดไปข้างในจะเป็นมีโซคาร์ป (mesocarp) คือเปลือกผลชั้นกลางหรือใยมะพร้าว ที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม มีเส้นใย ส่วนใหญ่มักเป็นเนื้อผลที่เราบริโภคกันอย่างในลูกพืช แต่สำหรับมะพร้าวแล้วเส้นใยนี้บริโภคไม่ได้ ถัดไปข้างในเป็นส่วนเอนโดคาร์ป (endocarp) คือเปลือกผลชั้นในหรือกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีคล้ายอยู่ 3 รู สำหรับงอก มีลักษณะแข็งเหมือนเนื้อไม้ ถัดจากส่วนเอนโดคาร์ปเข้าไปจะเป็นส่วนเอนโดสเปิร์ม หรือที่เรียกว่าเนื้อมะพร้าว ภายในมะพร้าวจะมีน้ำมะพร้าวซึ่งน้ำมะพร้าวเกิดจากเอนโดสเปิร์มของมะพร้าวซึ่งจะมีเอนโดสเปิร์มทั้งของแข็งและของเหลว คือ เอนโดสเปิร์มของแข็งจะเป็นเนื้อมะพร้าว และเอนโดสเปิร์มทั้งของเหลวจะเป็นน้ำมะพร้าว ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่ เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมด ขณะที่มะพร้าวยังอ่อน ชั้นเอนโดสเปิร์ม (เนื้อมะพร้าว) ภายในผลมีลักษณะบางและอ่อนนุ่ม ภายในมีน้ำมะพร้าว ซึ่งในระยะนี้เรามักสอยเอามะพร้าวลงมารับประทานน้ำและเนื้อ เมื่อมะพร้าวแก่ ซึ่งสังเกตได้จากการที่เปลือกนอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ชั้นเอนโดสเปิร์มก็จะหนาและแข็งขึ้น จนในที่สุดมะพร้าวก็หล่นลงจากต้น [12,15,16]



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของผลมะพร้าว [13]

2.1.1.2 องค์ประกอบทางพฤกษเคมีของมะพร้าว

จากการที่มีการนำส่วนต่างๆของมะพร้าวมาใช้งานในหลายด้าน ทำให้นักวิจัยหันมาให้ความสนใจส่วนต่างๆของมะพร้าวมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางพฤกษเคมีของมะพร้าวในแต่ละส่วนนั้นแตกต่างกัน ไยมะพร้าวมีสารประกอบฟีนอล แทนนิน ลิควิโคแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ ไตรเทอร์ปีน สเตอรอยด์และอัลคาลอยด์ ซาโปนิน และคอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) หรือเรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทไซยานิน (proanthocyanin) เป็นส่วนประกอบ [14] สารสกัดจากไยมะพร้าวมีโพลีฟีนอลมากมาย ได้แก่ คาเทชิน อีพิกาคาเทชิน แทนนิน และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น ไยมะพร้าวมีไตรเทอร์ปีน และสเตียรอยด์ และรากมะพร้าวมีฟลาโวนอยด์และซาโปนิน ส่วนประกอบทางเคมีจากส่วนต่าง ๆ ของมะพร้าวสรุปไว้ในตาราง 2.1 [12,15,16]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางพฤกษเคมีจากส่วนต่างๆของมะพร้าว

ส่วนต่างๆของมะพร้าว	ส่วนประกอบทางเคมี
น้ำมะพร้าว	คาร์โบไฮเดรต (ซูโครส ซอพิทอล กลูโคส ฟรักโทส กลูโคส โซโลส และแมนโนส) ไขมัน โปรตีน (อาร์จินีน อะลานีน ซีสทีน เซอรีน) วิตามิน(วิตามินซี วิตามินบี) เกลือแร่ต่างๆ (โพแทสเซียม โซเดียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก ทองแดง และคลอไรด์) ฮอร์โมนพืช (ออกซินไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน) เอนไซม์ต่างๆ โพลีฟีนอลออกซิเดส แอซิดฟอสฟาเทส คะตะเลส ดีไฮโดรจีเนส ไดแอสเทส (diastase) เปอรร็อกซิเดส อาร์เอ็นเอโพลีเมอเรส (RNA polymerase) และปัจจัยส่งเสริมการเจริญเติบโต
เนื้อมะพร้าว	กรดไขมัน (กรดลอริก กรดไมริสติก กรดคาปริลิก กรดคาปริก) วิตามินอี สารประกอบฟีนอลิก (กรดคาเฟอิก กรดกาแลกพารา-คูมาริก)
ใยมะพร้าว	แทนนิน ลิวโคแอนโทไซยานินฟลาโวนอยด์ ไตรเทอร์ปีน สเตียรอยด์ และอัลคาลอยด์ซาโปนิน และคอนเดนส์แทนนินโทโคเฟอร์รอล แอลกอฮอล์ปาล์มมีทอล ไซโคลอาร์เทอนอลเบต้า-ซีโทสเตอรอล
ใบ	ไตรเทอร์ปีน และสเตียรอยด์
ราก	ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน

ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นมะพร้าว [17]

สมบัติของเส้นมะพร้าว	
ความทนแรงดึง (MPa)	138.7
ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (%)	7.97
ปริมาณเซลลูโลส (%)	32.65
ปริมาณลิกนิน (%)	59.40

2.1.2 การดัดแปรเส้นใย (Fiber modification)

จากสมบัติการเข้ากันได้ดีกับน้ำของเส้นใยธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างเส้นใยเซลลูโลสกับเมทริกซ์ ซึ่งการยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยเซลลูโลสกับซีเมนต์เกิดได้ไม่ดี การถ่ายเทความเค้นและการกระจายแรงกระทำที่ได้รับจากภายนอกระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ จึงทำได้ไม่ดีไปด้วย ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม การกำจัดปัญหาดังกล่าวของเส้นใยเซลลูโลสสามารถทำได้โดยการดัดแปรสมบัติของเส้นใย เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานการดูดซับน้ำและเพิ่มการยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยกับซีเมนต์ การดัดแปรสมบัติเส้นใยสามารถทำได้ทั้งทางกายภาพ (Physical method) และทางเคมี (Chemical method)

2.1.3 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ เมทริกซ์และสารเสริมแรง ดังนั้นถ้าจำแนกวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของวัสดุที่เป็นเมทริกซ์จะสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

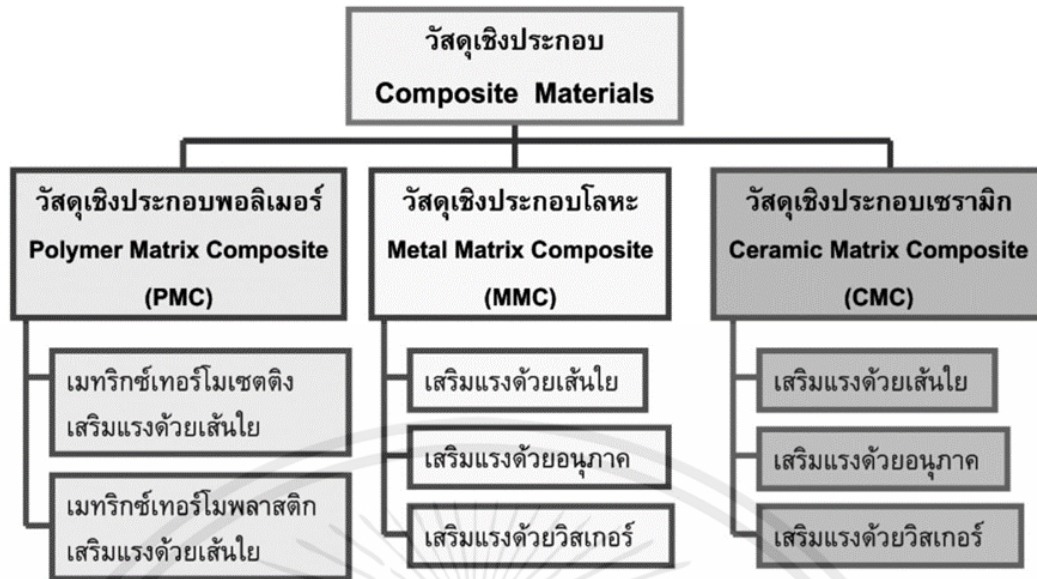
- (ก) วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (Polymer matrix composite, PMC)
- (ข) วัสดุเชิงประกอบโลหะ (Metal matrix composite, MMC)
- (ค) วัสดุเชิงประกอบเซรามิก (Ceramic matrix composite, CMC)

และสามารถจำแนกย่อยต่อไปได้อีกตามลักษณะของสารเสริมแรง ได้แก่

- (ก) อนุภาค (Particle)
- (ข) เส้นใย (Fiber)
- (ค) วิสเกอร์(Whisker) [18]

สารเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ สามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะเป็นอนุภาคเส้นใยและวิสเกอร์ อนุภาคเสริมแรงจะมีลักษณะเป็นเม็ดหรือผง ตัวอย่างเช่น ผงถ่านดำ ซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นต้น และพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมากกว่า 100 ขึ้นไป จะเรียกลักษณะนั้นว่าเป็นเส้นใย [19] ซึ่งอาจจำแนกออกได้ตามความยาวเป็นเส้นใยต่อเนื่อง (Continuous fiber) และเส้นใยไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous fiber) อีกทั้งยังสามารถที่จะจำแนกเส้นใยไม่ต่อเนื่องออกได้ตามอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางได้เป็นเส้นใยยาว (Long fiber) ซึ่งมีอัตราส่วนมากกว่า 1,000 ขึ้นไป และเส้นใยสั้น (Short fiber) ซึ่งมีอัตราส่วนน้อยกว่า 1,000 [18]

เส้นใยจะมีทั้งที่เป็นเส้นใยอินทรีย์และเส้นใยอนินทรีย์ ตัวอย่างเส้นใยอินทรีย์เช่น เส้นใยอะรามิด เส้นใยเซลลูโลส เป็นต้น ส่วนเส้นใยอนินทรีย์ อาจเป็นเส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอนหรือเส้นใยโลหะ ตัวอย่างเช่น เส้นใยโบรอน เส้นใยทองแดง เป็นต้น ส่วนวิสเกอร์จะเป็นลักษณะของเส้นใยขนาดเล็กมากที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในหน่วยไมโครเมตรและมีความยาวเพียงไม่กี่มิลลิเมตร ซึ่งเกิดจากการก่อตัวของผลึกเดี่ยว (Elongated single crystal) เป็นผลึกสมบูรณ์ที่ปราศจากการเคลื่อน (Dislocation) ทำให้วิสเกอร์มีความแข็งแรงสูงมาก ตัวอย่างเช่น วิสเกอร์ซิลิกอนคาร์ไบด์ [19]



รูปที่ 2.2 การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของเมทริกซ์และลักษณะของสารเสริมแรง [18]

2.1.4 คอนกรีตและคุณสมบัติคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นที่นิยมใช้งานก่อสร้างอย่างแพร่หลายเนื่อง ด้วยคุณสมบัติต่างๆ ทั้งด้านวิธีการจัดหาวัสดุ การผลิต ราคา ความแข็งแรง ความคงทนและการหล่อขึ้นรูป โดยคอนกรีตประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ส่วนนี้จะทำหน้าที่คล้ายกาว เคลือบผิววัสดุผสมและช่องว่างระหว่างวัสดุผสม ส่วนที่ 2 คือวัสดุผสมหรือมวลรวม (Aggregate) แบ่งเป็น 2 ชนิดคือวัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ ทราย ฝุ่น และวัสดุผสมรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หิน กรวดหรือวัสดุอื่นๆ เมื่อนำส่วนผสมทั้งสองผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะได้คอนกรีตที่สามารถนำไปเทเข้าแบบหรือขึ้นรูปได้ตามต้องการ เมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง คอนกรีตจะแข็งตัวและเริ่มสามารถรับกำลังอัดได้และจะสามารถรับกำลังอัดได้เพิ่มขึ้นตามอายุคอนกรีต โดยจะมีค่าการรับกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยที่อายุคอนกรีต 28 วัน หลังจากนั้นค่าการรับกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและเริ่มคงที่

2.1.4.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยเมื่อนำ ส่วนผสมต่างๆ มาผสมกัน จะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

- (ก) ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)
- (ข) ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ตาร์ (Mortar)
- (ค) มอร์ตาร์ผสมกับหินหรือกรวดเรียกว่าคอนกรีต (Concrete) [20]



รูปที่ 2.3 การผสมส่วนผสมคอนกรีต [20]

2.1.4.2 วัสดุผสมคอนกรีต

วัสดุผสมคอนกรีตหรือมวลรวม (Aggregate) คือวัสดุเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ ได้แก่ หิน ทราย กรวด วัสดุผสมอาจเรียกว่าเป็นตัวแทรก (Filler Materials) มวลรวมในคอนกรีตมีปริมาตร 70-80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด มวลรวมเมื่อแบ่งตามขนาดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) และมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) โดยการพิจารณาว่าเป็นมวลรวมประเภทใด จะพิจารณาจากการลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 หากเป็นมวลรวมละเอียดจะสามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ซึ่งได้แก่ ทราย หินบดละเอียด ส่วนมวลรวมหยาบจะมีขนาดเม็ดโตไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ได้แก่ กรวด หิน เป็นต้น [21] หน้าที่ของมวลรวม ได้แก่

(ก) เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกเนื่องจากมวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมที่ให้พอเหมาะเพื่อที่จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยลง

(ข) ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทนและปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

(ค) ทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวมมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้วดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสมไม่เพียง แต่เป็นการประหยัด แต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีจะส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานสูงควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดี ดังนี้

(1) ความแข็งแรง (Strength) กำลังอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของมวลรวม ดังนั้นเมื่อมวลรวมมีความแข็งแรง จะทำให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้น ซึ่งมวลรวมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต

(2) รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture) รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวม จะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมากกว่าของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแฉกเหลี่ยมคม ไม่เป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาว ควรมีผิวหยาบหรือด้าน เพื่อช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น และจะมีอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรสูงทำให้คอนกรีตต้องการซีเมนต์เพสต์เพื่อเคลือบผิวมากขึ้น ทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ดีขึ้นและให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้นด้วย ในขณะที่รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมละเอียดมีความสำคัญต่อความต้องการน้ำของส่วนผสมมวลรวมละเอียดที่มีช่องว่างอยู่มากจะมีการดูดน้ำมากทำให้ส่วนผสมคอนกรีตต้องการน้ำสูงขึ้น

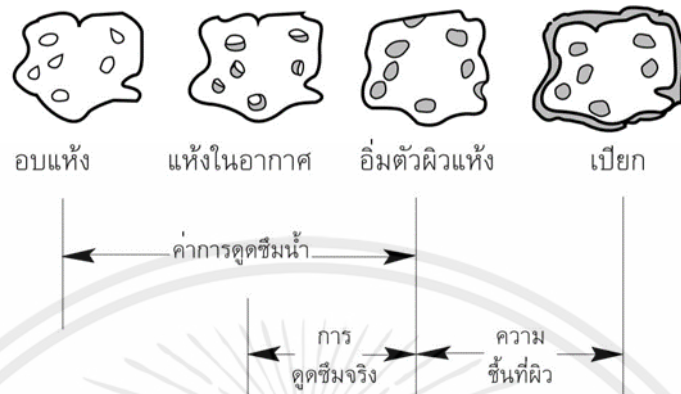
(3) ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability) มวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก มวลรวมบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkali) ในปูนซีเมนต์เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวก่อให้เกิดรอยร้าว โดยทั่วไปในคอนกรีตเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Alkali-Aggregate Reaction (AAR)

(4) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Maximum Size of Aggregate) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม พิจารณาจากขนาดตะแกรงอันที่ใหญ่กว่าถัดไปจากตะแกรงที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15% มวลรวมขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้การเทได้ (Workability) เท่ากัน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบน้อยกว่า เมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน โดยขนาดใหญสุดของมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป จะมีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

(5) ขนาดคละ (Gradation) คือการกระจายของขนาดต่างๆของอนุภาคมวลรวมในคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดี จะมีส่วนผสมที่เข้ากันสม่ำเสมอเข้าแบบได้ง่าย ทำให้แน่นได้ง่าย มวลรวมที่มีขนาดคละดี หมายถึง มวลรวมที่มีมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดขนาดต่างๆกัน คละกันให้เหลือช่องว่างน้อยที่สุด

(6) ความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption) ในมวลรวมจะมีช่องว่างเล็กๆ ที่น้ำสามารถไหลเข้าหรือออกได้ นอกจากนี้ยังสามารถเกาะอยู่ที่ผิวของมวลรวม ดังนั้นมวลรวมจึงสามารถดูดน้ำได้ ความชื้นในมวลรวมมีผลต่อปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต ทำให้ความต้องการน้ำในส่วนผสมน้อยลง ดังนั้นเพื่อให้ได้ความสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการควรปรับปริมาณน้ำของมวลรวมให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ถ้ามวลรวมแห้งปริมาณน้ำที่ใส่ในส่วนผสมต้องเพิ่มขึ้น

เพื่อชดเชยการดูดน้ำของมวลรวม โดยทั่วไปแล้วมวลรวมที่แห้งในอากาศสามารถดูดน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 1 สามารถแบ่งสภาพความชื้นได้ 4 ลักษณะ ดังนี้ [22]



รูปที่ 2.4 สภาพความชื้นของมวลรวม [22]

2.1.4.3 การพองตัวของทราย

ความชื้นในทรายทำให้เกิดการพองตัวของทราย แรงตึงผิวของน้ำที่ผิวของทรายสามารถทำให้เม็ดทรายอยู่ห่างจากกันเป็นผลให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นมากจะทำให้แรงตึงผิวของน้ำหมดไปและปริมาตรของทรายจะลดลงเหลือเท่าเดิม ดังนั้นปริมาตรของทรายแห้งมากและทรายเปียกมากจึงมีค่าเท่ากัน

2.1.4.4 กำลังและความแข็งแรงของมวลรวม

ไม่ค่อยมีผลต่อกำลังของคอนกรีตมากนัก เนื่องจากมวลรวมส่วนมากมีกำลังและความแข็งแรงสูงกว่าซีเมนต์เพสต์มาก แต่ความแข็งแรงของมวลรวมจะมีผลต่อความมีเสถียรภาพของปริมาตรของคอนกรีตซึ่ง ได้แก่ การเสื่อยรูปภายใต้แรงกระทำ การคืบและการหดตัวแห้ง

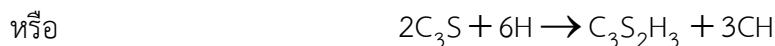
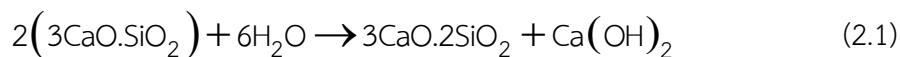
2.1.5 ปฏิกริยาระหว่างน้ำและปูนซีเมนต์

ปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เป็นปฏิกริยาซึ่งทำให้เกิดความร้อน เกิดการก่อตัวและการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ ปฏิกริยาไฮเดรชันจะขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์ สารประกอบเหล่านี้จะทำปฏิกริยาและมีอิทธิพลต่อกัน ทำให้ปฏิกริยาที่ได้นั้นมีความผิดแผกไปจากปฏิกริยาระหว่างสารประกอบบริสุทธิ์แต่ละตัวของน้ำ

(1) ปฏิกริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกต

ไตรแคลเซียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกริยากับน้ำจะก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ หรือ CSH) และเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide : $\text{Ca}(\text{OH})_2$ หรือ CH) ดังแสดงในสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(2) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกต

ไตรแคลเซียมซิลิเกตจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้ช้ากว่าไตรแคลเซียมซิลิเกต แต่จะได้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเหมือนกัน คือ CSH และ CH ดังแสดงในสมการที่ 2.2



(3) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต

ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไตรแคลเซียมอลูมิเนตซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างทันที ทันใดและทำให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในสมการที่ 2.3



เพื่อเป็นการหวังให้เกิดปฏิกิริยาข้างต้นให้ช้าลง ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จึงใส่ยิปซัมเข้าไปในระหว่างการบดเม็ดปูน (Clinker) โดยยิปซัม (Gypsum : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอลูมิเนตก่อให้เกิดชั้นบางๆ ของแอทริงไจท์ (Ettringite : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca} \cdot \text{SO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) บนผิวของอนุภาคไตรแคลเซียมอลูมิเนต ดังแสดงในสมการที่ 2.4



(4) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์มีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาของ C_3A แต่เกิดช้ากว่าและมีความร้อนจากการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า ซึ่งการทำปฏิกิริยานั้นจะเกิดขึ้นในช่วงต้น โดยจะทำปฏิกิริยากับยิปซัม ดังแสดงในสมการที่ 2.5



เนื่องจากปูนซีเมนต์มี C_3S เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจึงมีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาระหว่าง C_3S กับน้ำ ซึ่งสามารถเห็นปฏิกิริยาของ C_3A ด้วยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะลดลงเนื่องจากการเกิดขึ้นเคลือบของแอทริงไจท์จากการที่สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มของไอออนแคลเซียมและไฮดรอกไซด์จึงส่งผลทำให้ปฏิกิริยาลดลงและเพสต์มีสภาพพลาสติกช่วงหนึ่ง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงพอ CH จะตกผลึกและปฏิกิริยาของ C_3S และ C_2S จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ส่งผลทำให้เกิด CSH เพิ่มมากขึ้น ตามด้วยปฏิกิริยาของ C_3A และ C_4AF ซึ่งทำให้แอทริงไจท์เปลี่ยนเป็นแคลเซียมโมโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซัลโฟลูมิเนต เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตและซัลโฟเฟอไรท์ แคลเซียมซัลเฟตยังคงทำปฏิกิริยาต่อไป ส่งผลทำให้เกิด CSH มากยิ่งขึ้นและขยายเข้าไปในโพรง เมื่อมีปริมาณมากขึ้น จะเชื่อมโยงถึงกันและเกิดการยึดเกาะกันขึ้น

2.1.6 สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีต

ในงานคอนกรีต คอนกรีตจะต้องมีความชื้นเหมาะสม มีความสามารถเทเข้าแบบได้ดี (Workability) ไม่มีการแยกตัวของวัสดุผสมในขณะที่ลำเลียงและเทคอนกรีต มีระยะเวลาก่อตัวที่นานพอที่จะทำงานได้และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ต้องมีกำลังรับแรงตามที่ต้องการ มีเนื้อที่แน่นสม่ำเสมอ

2.1.6.1 ความสามารถเทได้ [21]

ความสามารถเทได้ (Workability) หมายถึง การที่คอนกรีตไหลเข้าแบบได้ดี ทำให้ง่ายแก่การเทและคอนกรีตที่หล่อได้ปราศจากรูโพรงต่างๆ กล่าวคือช่องว่างระหว่างวัสดุผสมจะต้องมีซีเมนต์เพสต์บรรจุเต็ม เหล็กเสริมหรือวัสดุเสริมแรงจะต้องมีคอนกรีตหุ้มเป็นอย่างดีและไม่มีการแยกตัวของวัสดุผสม ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับ

(1) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ซึ่งอยู่ในเทอมของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ กล่าวคือถ้าใช้น้ำมากเกินไปคอนกรีตจะเหลวและเทแบบได้ง่ายก็จริง แต่กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตจะลดลง เนื่องจากเนื้อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีโพรงหรือมีพูนมาก

(2) รูปร่างและส่วนขนาดของวัสดุผสม ถ้าใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมจะทำให้มีความสามารถเทได้ดีกว่าวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยม

(3) ปริมาณซีเมนต์และชนิดของซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์มีผลมาจากอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ถ้าใช้ซีเมนต์ที่ละเอียดจะมีผลทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดีขึ้น

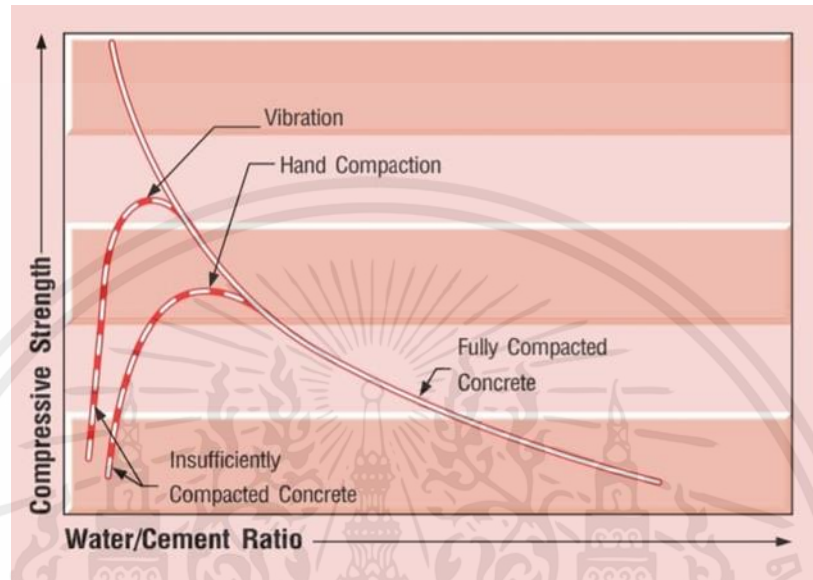
(4) เวลาและอุณหภูมิ ถ้าทิ้งคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ไว้เวลานานเกิน 15 นาที คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ต่ำลงหรืออาจจะแข็งตัวไปเลยหากใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อยเกินไป

2.1.6.2 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะกำลังของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติที่นำไปใช้โดยตรง เข้าใจง่ายและทดสอบได้ง่าย ในบางกรณี คุณสมบัติอย่างอื่น เช่น ความคงทนต่อการกัดกร่อนหรือการที่บวม อาจมีความสำคัญกว่ากำลังอัดของคอนกรีต โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนต่อคอนกรีตรุนแรง แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่าคอนกรีตที่รับกำลังได้ดีจะมีคุณสมบัติด้านอื่นที่ดีด้วยเช่นกัน มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต เช่น อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์หรืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อัตราส่วนเจลดต่อปริมาตรอากาศของคอนกรีต ชนิดของปูนซีเมนต์ ชนิดของมวลรวม วิธีการบ่มคอนกรีต เป็นต้น นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตให้แน่นก็มีความสำคัญมากและส่งผลโดยตรงต่อกำลังของคอนกรีต การที่คอนกรีตมีฟองอากาศหรือโพรงมาก จะทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตและกำลังลดลง ดังนั้นต้องกระทุ้งหรือเขย่าคอนกรีตสดให้มีความหนาแน่นสูงๆ เพื่อลดฟองอากาศในคอนกรีต

1. ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตมีดังนี้

(ก) อัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ โดยทั่วไปกำลังของคอนกรีตที่อายุเท่ากัน ซึ่งผ่านการบ่มและการทำให้แน่นเหมือนกันจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อนูนซีเมนต์ (W/C) และกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

(ข) ชนิดของปูนซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์และขนาดเม็ดปูนซีเมนต์ที่มีการบดละเอียด เม็ดเล็กพื้นที่ผิวสัมผัสจะมาก ทำปฏิกิริยาได้เร็ว ทำให้สามารถรับกำลังอัดได้สูง

2. กำลังอัดของคอนกรีต

โดยทั่วไปการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้กำลังของคอนกรีตเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ โดยมีสมมุติฐานว่าคอนกรีตรับแรงอัดเป็นหลักโดยไม่สามารถรับแรงดึงได้ ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างคอนกรีต จึงต้องมีการควบคุมในเรื่องของการรับแรง นอกจากนี้การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเป็นสิ่งที่กระทำได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบอื่นๆ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังของคอนกรีตที่นิยมใช้กันทั่วไป คือตัวอย่างรูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ซึ่งให้ตัวอย่างรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนกระทั่งตัวอย่างคอนกรีตวิบัติ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 4 นาที ต่อตัวอย่าง กำลังอัดที่คอนกรีตรับได้อาจอยู่ในช่วง 100 ถึง 1000 กก/ซม² สำหรับคอนกรีตกำลังธรรมดา หรือมีค่ามากกว่า 1000 กก/ซม² ในกรณีที่เป็นคอนกรีตกำลังสูงๆ

2.1.7 คุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีต [23]

ความทนทานของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หมายถึงความสามารถของคอนกรีตในการทนต่อสภาพกัดกร่อน ไม่ว่าจะเป็นทางเคมี ทางกลหรือทางกายภาพ สาเหตุทางเคมีที่ทำให้คอนกรีตในระหว่างการใช้งาน ได้แก่ การเกิดคาร์บอนेशन การเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา การกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟต คลอไรด์ กรด ของเสียที่อยู่ในรูปของเหลวและก๊าซต่างๆจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น สาเหตุทางกลที่ทำให้คอนกรีตเสียหาย ได้แก่ การกระแทก การขีดสี และการสึกกร่อน เป็นต้น สำหรับสาเหตุทางกายภาพที่กระทำต่อคอนกรีต ได้แก่ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวที่ไม่เท่ากันในคอนกรีต สภาวะการแข็งตัวและละลายของน้ำสลับกัน เป็นต้น

2.1.7.1 การหดตัวแบบออโตจินัสของคอนกรีต [24]

การหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียน้ำภายในคอนกรีต เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำโดยไม่รวมถึงการสูญเสียความชื้นสู่สภาพแวดล้อม การหดตัวแบบออโตจินัสเป็นการหดตัวเนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นหลังจากการก่อตัวเริ่มต้นของคอนกรีต รวมกับการสูญเสียความชื้นในช่องว่างคาпилลารี ส่งผลให้คอนกรีตเกิดการหดตัวขึ้น การหดตัวแบบออโตจินัสจะไม่มีการสูญเสียความชื้นระเหยออกสู่ภายนอกหรือจากภายนอกเข้าสู่ภายในตัวคอนกรีต แต่จะเป็นการสูญเสียความชื้นภายในตัวคอนกรีต โดยกระบวนการการหดตัวแบบออโตจินัสเริ่มจากการดึงน้ำที่มีอยู่ภายในคอนกรีตไปใช้ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับวัสดุประสาน ซึ่งน้ำที่ใช้จะถูกดึงมาจากช่องว่างคาпилลารี (Capillary Pores) และโพรงเจล (Gel Pores) เมื่อน้ำถูกดึงไปใช้ในการทำปฏิกิริยาแล้ว จะทำให้โพรงมีสภาพว่างเปล่าทำให้เกิดแรงดัน คาпилลารีขึ้นรอบๆช่องว่างคาпилลารีเพื่อการรักษาสมดุลของแรง เรียกแรงนี้ว่า “Capillary Suction” ซึ่งเป็นสาเหตุให้คอนกรีตเกิดหดตัวเนื่องจากแรง Capillary Suction โดยปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Self-Desiccation”

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวแบบออโตจินัส

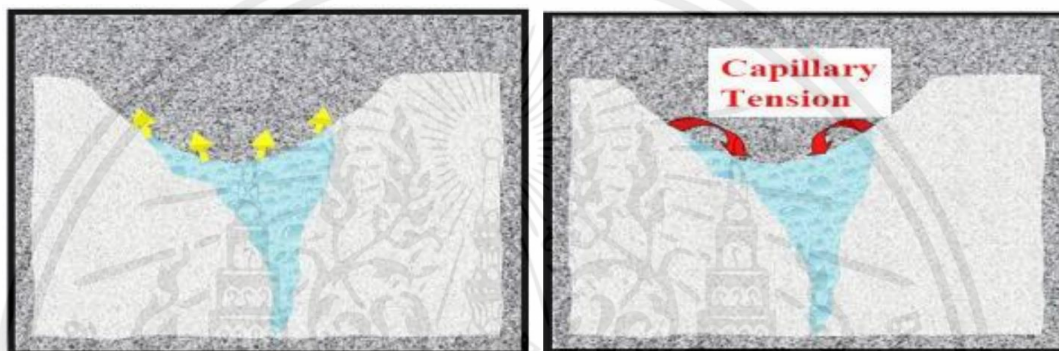
(ก) ความเร็วของการดำเนินปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยมากถ้าปฏิกิริยาไฮเดรชัน เกิดเร็วจะทำให้การหดตัวแบบออโตจินัสเกิดความเร็วและสูงตามไปด้วย ดังนั้นการหดตัวแบบออโตจินัสจะสูงขึ้น ถ้าอุณหภูมิการบ่มสูงขึ้น ในปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น มีปริมาณ C_3A สูง เป็นต้น

(ข) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ถ้ามีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ ก็จะทำให้เกิดการหดตัวแบบออโตจินัสสูงขึ้น เนื่องจากความชื้นน้ำจะต่ำลง และขนาดช่องว่างคาпилลารีเล็กลง

(ค) ลักษณะโครงสร้างช่องว่างในซีเมนต์เฟส ยิ่งมีขนาดเล็กและมีความไม่ต่อเนื่องก็จะทำให้การหดตัวแบบออโตจินัสสูงขึ้น เนื่องจากน้ำอิสระเคลื่อนตัวไม่สะดวกและช่องว่างมีขนาดเล็กจะทำให้เกิดแรงดึงแบบคาпилลารีสูง

2.1.7.2 การหดตัวโดยรวมของคอนกรีต [25]

คือการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำออกจากคอนกรีตสู่สภาพแวดล้อมอย่างอิสระ โดยการระเหยของน้ำเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิที่สูงหรือความชื้นที่ต่ำ ทำให้คอนกรีตบริเวณที่ผิวสัมผัสกับอากาศเกิดการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้คอนกรีตเกิดการหดตัวและเกิดการแตกร้าวขึ้นได้ โดยกลไกการหดตัวโดยรวมเกิดจากการที่น้ำภายในช่องว่างคาปิลลารีและโพรงเจระเหยออกสู่สภาพแวดล้อมอย่างอิสระ ทำให้ช่องว่างเกิดการบีบตัวส่งผลให้เกิดแรงดึงผิวคาปิลลารีขึ้น เพื่อการรักษาสมดุลของแรง ซึ่งเป็นสาเหตุให้คอนกรีตมีปริมาตรลดลงและนำไปสู่การแตกร้าว หรือการบิดงอของโครงสร้าง เนื่องจากการยึดยิ่งขึ้นขณะที่คอนกรีตเกิดการหดตัว



(ก) การระเหยของน้ำในช่องว่างคาปิลลารี

(ข) แรงดึงคาปิลลารีทำในคอนกรีตหดตัว

รูปที่ 2.6 การบวมการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต [25]

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวโดยรวม เนื่องจากการหดตัวโดยรวมเกิดจากการสูญเสียน้ำออกจากคอนกรีตไปสู่บรรยากาศแวดล้อม ดังนั้นปัจจัยทั้งภายในและภายนอกที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำออกจากคอนกรีต จึงมีผลต่อการหดตัวโดยรวมทั้งสิ้น ปัจจัยดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

(ก) ปริมาณน้ำต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต คอนกรีตที่มีปริมาณน้ำต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีตมากเนื่องจากมีน้ำอิสระ (Free Water) มาก น้ำอิสระนี้เป็นน้ำที่สามารถจะระเหยออกจากคอนกรีตไปได้

(ข) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูง จะทำให้มีช่องว่างคาปิลลารี (Capillary Pores) มาก ปริมาณน้ำอิสระจะออกมาน้อย การที่คอนกรีตมีช่องว่างคาปิลลารีมาก จะทำให้น้ำระเหยระเหยออกจากคอนกรีตได้สะดวก

(ค) ปริมาณมวลรวม โดยปกติแล้วการหดตัวจะเกิดในซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์เพสต์น้อยหรือมีปริมาณมวลรวมมาก จะทำให้เกิดการหดตัวน้อยลง

(ง) ชนิดและคุณรูปของมวลรวม เนื่องจากมวลรวมมักจะเป็นส่วนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของปริมาตร ดังนั้นมวลรวมจึงมีคุณสมบัติที่จะช่วยต่อต้านการหดตัวของคอนกรีตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามวลรวมมีโมดูลัสของความยืดหยุ่นสูง การแตะกันของมวลรวมเป็นกลไกหนึ่งของการต้านทานการหดตัวซึ่งเกิดได้จากซีเมนต์เพสต์ มวลรวมที่มีการดูดซึมน้ำมาก จะก่อให้เกิดการหดตัวโดยรวมในคอนกรีตมากตามไปด้วย ขนาดคละของมวลรวมที่ดีเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้การหดตัวของคอนกรีตลดลง เนื่องจากทำให้คอนกรีตต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์น้อยลง

(จ) ชนิดและปริมาณของวัสดุผสม การใช้ปอซโซลานหรือวัสดุผงบางชนิดมีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต ตัวอย่างเช่น มะพร้าวสามารถช่วยลดการหดตัวโดยรวมได้ เนื่องจากช่วยลดความต้องการน้ำของคอนกรีตและยังมีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตขยายตัวเล็กน้อย ทำให้ลดเคาะการหดตัวได้บางส่วน

(ฉ) อุณหภูมิและความชื้นของสิ่งแวดล้อม สิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะทำให้คอนกรีตสูญเสียน้ำได้เร็วขึ้น จึงทำให้เกิดการหดตัวโดยรวมมากขึ้น

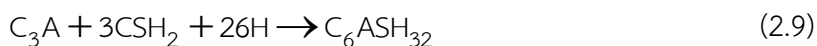
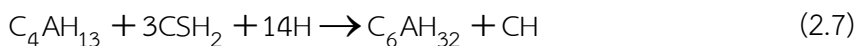
(ช) มิติและรูปร่างลักษณะของโครงสร้างคอนกรีต โครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะสูญเสียความชื้นได้เร็ว ทำให้เกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวโดยรวมได้

2.1.7.3 การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟต [26]

สำหรับกลไกการทำลายของซัลเฟตต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Mechanisms of Sulfate Attack on Portland Cement) นั้นเนื่องจากเกลือซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่อยู่ในรูปของสารละลาย สามารถทำอันตรายต่อซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตได้ ตัวอย่างของเกลือซัลเฟตที่พบบ่อยในธรรมชาติและอันตรายต่อคอนกรีต เช่น โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) และแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) เป็นต้น เกลือซัลเฟตจะมีอยู่มาก ในน้ำทะเล น้ำกร่อย ในบริเวณริมทะเลหรือในดินทั่วไป ในน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือตามน้ำพุร้อนธรรมชาติ เป็นต้น ในการศึกษาเรื่องการทำลายโดยซัลเฟตสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

1. กลไกการทำลายของโซเดียมซัลเฟต (Mechanisms of Sodium Sulfate Attacks)

กลไกการทำลายของโซเดียมซัลเฟตตั้งสมการที่ 2.6 ถึง 2.9 เริ่มต้นเมื่อโซเดียมซัลเฟตทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, CH) ซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันตั้งสมการที่ 2.6 เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NH) ที่มีความเป็นด่างสูงมาก ($\text{pH} = 13.5$) จึงเป็นการรักษาสภาพทั้งแคลเซียมซัลไฟด์ไฮเดรต (CSH_2) ที่ได้จากสมการที่ 2.6 จะทำปฏิกิริยากับผลผลิตไฮเดรชันบางตัว เช่น แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C_4AH_{13}) โมโนซัลเฟต ($\text{C}_4\text{ASH}_{12}$) และไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ได้ Secondary Ettringite ตั้งสมการที่ 2.7 ถึง 2.9 โดยธรรมชาติแล้ว Ettringite จะมีความหนาแน่นต่ำกว่าผลผลิตปฏิกิริยาไฮเดรชันชนิดอื่นมาก จึงทำให้เกิดการขยายตัว ดังนั้นการทำลายโซเดียมซัลเฟตจึงเป็นการขยายตัวและแตกร้าวของคอนกรีต



โดยที่ C = CaO, N = Na₂O, M = MgO, S = SiO₃, และ H = H₂O

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายซัลเฟต

(ก) สิ่งแวดล้อมที่มีซัลเฟตตลอดจนความเข้มข้นของซัลเฟต

(ข) ความทึบของน้ำของคอนกรีต คอนกรีตที่มีความทึบน้ำสูงจะทำให้ซัลเฟตเข้าไปได้ยากลดการทำลายชั้นรุนแรง

(ค) ปริมาณ C₃A และ C₄AF ของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่มี C₃A และ C₄AF น้อย มีแนวโน้มต้านทานการทำลายของซัลเฟตได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ C₃A และ C₄AF สูง และปูนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วน C₂A และ C₃S ต่ำ ก็มีความต้านทานซัลเฟตได้ดีขึ้น

(ง) ปริมาณ Ca(OH)₂ ในคอนกรีต ถ้าลดปริมาณของ Ca(OH)₂ ในคอนกรีตจะช่วยลดความรุนแรงลงได้ด้วยวิธีการลด Ca(OH)₂ ในคอนกรีต อาจทำได้โดยใช้สารวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน

3. วิธีการป้องกันการทำลายโดยซัลเฟต

(ก) ใช้ปูนซีเมนต์ที่มี C₃A และอัตราส่วนของ C₂A และ C₃S ต่ำ นั่นคือปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 หรือเรียกว่าปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟต (Sulfate Resisting Cement)

(ข) การใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ซึ่งจะช่วยลดปริมาณบางส่วนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)₂ รวมทั้งลด C₃A และยังช่วยเพิ่มความทึบน้ำให้กับคอนกรีตได้อีกด้วย

(ค) ลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ให้ต่ำเพื่อให้คอนกรีตมีความทึบน้ำสูงขึ้น

(ง) ออกแบบให้คอนกรีตมีปริมาณซีเมนต์เพสต์ไม่เกินไป ในบางกรณีการป้องกันความเสียหายจากการทำลายของซัลเฟตที่รุนแรงโดยการใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 แต่เพียงอย่างเดียว อาจไม่พอในสภาวะที่ซัลเฟตเข้มข้นอยู่ในระดับรุนแรงมาก หากใช้ปอซโซลานประกอบด้วย ก็จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถต้านทานซัลเฟตได้ดียิ่งขึ้น จากตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงข้อแนะนำของสมาคมคอนกรีตในสหรัฐอเมริกา [27] สำหรับการเลือกใช้วัสดุประสานและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในคอนกรีต ในสภาวะที่มีซัลเฟตอยู่ในระดับรุนแรงต่างๆกัน

ตารางที่ 2.3 ข้อเสนอแนะสำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติในสภาวะแวดล้อมของซัลเฟต [26]

สภาพแวดล้อมซัลเฟต	ซัลเฟตในดินที่ละลายน้ำ (SO ₄ ⁻² ร้อยละ)	ซัลเฟต (PPM)	ประเภทของวัสดุประสาน	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C ratio)
เบาบาง	0.00 - 0.10	0 - 150	-	-
ปานกลาง	0.10 - 0.20	150 - 1500	ประเภท2, ประเภท1 +สารปอซโซลาน	ไม่สูงเกิน 0.50
รุนแรง	0.20 - 2.00	1500 - 10000	ประเภท5	ไม่สูงเกิน 0.45
รุนแรงมาก	มากกว่า 2.00	มากกว่า10000	ประเภท5 +สารปอซโซลาน	ไม่สูงเกิน 0.45

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Munawar et al. [1] เส้นใยมะพร้าวมีความเหนียวสูงสุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติ และมีความแข็งแรงที่จะใช้เป็นเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตต้นทุนต่ำ จากการศึกษาความต้านทานแรงดึงของเส้นใยธรรมชาติ จากกลุ่มเส้นใยพืช 7 กลุ่ม ได้แก่ เส้นใยป่านนิลา (AL), เส้นใยสับปะรด (PL), เส้นใยลินมังก (SaL), เส้นใยป่านครนารายณ์ (SiL), เส้นใยมะพร้าว(CH), เส้นใยปอแก้ว (KB), เส้นใยป่านรามิ (RB) เส้นโค้งความเค้น – ความเครียดโดยทั่วไปของเส้นใยที่ได้รับในระหว่างการทดสอบแรงดึง เส้นโค้งแสดงการให้ผลผลิตตามด้วยการเปลี่ยนรูปของพลาสติกจนถึงการแตกจาก 2% –24% ความเครียดต่อการยืดตัวของเส้นใยแต่ละเส้น เส้นโค้งของ RB, PL, SaL, KB, AL และ SiL มีความเครียดต่ำ (2% –6%) และความเค้นสูง แต่เส้นโค้ง CH มีความเครียดสูง (24%) และความเค้นต่ำ CH จึงมีความต้านทานแรงดึงและโมดูลัสของ Young's สูงกว่าเส้นใยอื่นๆ

Asasutjarit et al. [2] เส้นใยมะพร้าวมีสองประเภท คือเส้นใยสีน้ำตาลสกัดจากมะพร้าวแก่ และเส้นใยสีขาวสกัดจากมะพร้าวอ่อน เส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติแข็งและเหนียว มีการนำความร้อนต่ำ จากการศึกษาการตรวจสอบความแปรผันขององค์ประกอบทางเคมีและความต้านทานแรงดึงจากเส้นใยธรรมชาติ 4 ชนิด มะพร้าว, ป่านครนารายณ์, ปอกระเจาและปอแก้ว เมื่ออยู่ภายใต้การเปียกอื่นๆและการอบแห้ง การแช่อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 60 วันในสามตัวกลาง คือ น้ำ มะนาวอิมัลชันและโซเดียมไฮดรอกไซด์ องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยทั้งหมดเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขการทดสอบ (การแช่อย่างต่อเนื่องพบว่ามีความสำคัญ) และเส้นใยสูญเสียความแข็งแรง แต่เส้นใยมะพร้าวได้รับการรายงานว่าเป็นวัสดุที่ดีที่สุดในการรักษาเปอร์เซ็นต์ของความต้านทานแรงดึงเดิมสำหรับทุกสภาวะที่ทดสอบได้ดี

Aziz et al. [3] ความอ่อนแอประสงค์และการใช้งานของเส้นใยมะพร้าวใน มีการกล่าวถึงรายละเอียดในช่องต่างๆ เส้นใยมะพร้าวถูกรายงานว่าเป็นวัสดุที่เหนียวและดูดซับพลังงานมากที่สุด สรุปได้ว่าเส้นใยมะพร้าวมีศักยภาพที่จะใช้ในการผสมเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน มีการตรวจสอบแง่มุมต่างๆ ของวัสดุผสมเสริมใยมะพร้าวจำนวนมาก และได้ผลลัพธ์ที่ประหลาดและดีกว่าตามรายงานของนักวิจัยหลายคน เนื่องจากการใช้เส้นใยมะพร้าวทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่น่าอัศจรรย์บางอย่างจึงยังมีความเป็นไปได้ที่จะมีการคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่มีเส้นใยมะพร้าวซึ่งมีผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ในงานวิศวกรรมโยธาเส้นใยมะพร้าวถูกใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุผสมสำหรับส่วนประกอบที่ไม่ใช่โครงสร้าง

Alida Abdullah [4] ผลของปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลตลอดจนพฤติกรรมการแตกหักของซีเมนต์คอมโพสิตที่เสริมด้วยใยมะพร้าว การออกแบบส่วนผสมเป็นไปตาม 1: 1 สำหรับอัตราส่วนซีเมนต์: ทรายและ 0.55 ได้รับการแก้ไขสำหรับปริมาณน้ำต่ออัตราส่วนปูนซีเมนต์ มีการเพิ่มใยมะพร้าวเพื่อเสริมแรงและแทนที่องค์ประกอบของทราย คอมโพสิตได้รับการพัฒนาโดยใช้ 3 wt.%, 6 wt.%, 9 wt.%, 12 wt.% และ 15 wt.% ของใยมะพร้าวโดยกระบวนการผสมและการบ่ม คอมโพสิตถูกบ่มในน้ำเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน เป็นที่สังเกตว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วย 9 wt.% ของใยมะพร้าวแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงสูงสุดของโมดูลัสของการแตกและกำลังอัด จากการวิจัยที่ดำเนินการเราสามารถสรุปได้ว่าใยมะพร้าวสามารถใช้เป็นวัสดุเสริมแรงและทดแทนทรายในการพัฒนาเส้นใยมะพร้าวผสมซีเมนต์เสริมแรง การเพิ่มปริมาณใยมะพร้าวจะเพิ่มโมดูลัสของการแตกและกำลังอัดของคอมโพสิตจนถึงองค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุด คือ ปริมาณใยมะพร้าวที่เหมาะสมคือ 9 wt.% ปริมาณใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้นต่อไปจะทำให้คุณสมบัติเชิงกลลดลง

Khedari et al. [5] ได้ทดสอบสมบัติเชิงกลและความร้อนของปูนซีเมนต์ผสมหลังจากการให้น้ำ 28 วัน สังเกตว่าเส้นใยที่ต้มแล้วล้าง คุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น นอกจากนี้ความยาวเส้นใยที่เหมาะสมคือ 1 ถึง 6 ซม. และความยาวที่เหมาะสมที่สุด คุณสมบัติทางความร้อนของสารผสมพบว่าซีเมนต์บอร์ดเสริมใยมะพร้าวมีน้ำหนักที่เบาจากไฟเบอร์ มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำกว่า

Awka et al. [6] ได้ศึกษาเรซินไม้อิมตัวเสริมด้วยพื้นกะลามะพร้าวเปล่า (CEFS) และใยมะพร้าว (CFF) แต่ละคอมโพสิตเสริมแรงได้รับการทดสอบอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (50 – 70°C) เวลาอบ (1 - 5 ชม.) ขนาดอนุภาค (150, 300, 355, 500 และ 850 ไมครอน) สำหรับความต้านทานแรงอัดและแรงดึงของคอมโพสิตเสริมแรงแต่ละชิ้น ได้รับการทดสอบเป็นฟังก์ชันของขนาดอนุภาคอุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ และเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าสูงสุดของการเสริมแรงทำได้โดย ขนาดอนุภาค 150 ไมครอนเมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ กำลังอัดของคอมโพสิตที่อบระหว่าง 50 - 70°C และระหว่าง 1- 5 ชม. พบว่ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นถึง 25% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 5 ชม. หลังจากองค์ประกอบ 25% มีกำลังอัดลดลง ความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของร้อยละองค์ประกอบ

Salma Siddika et al. [7] ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของโพลีโพรพิลีนไฮบริด เสริมใยปอกระเจาและใยมะพร้าว ที่มีรูปแบบการไหลเส้นใยและสังเกตผลของการบำบัดทางเคมีของเส้นใยต่อการเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุผสม คอมโพสิตถูกผลิตขึ้นโดยใช้เครื่องกดร้อนที่ไหลไฟเบอร์สี่ระดับ (5, 10, 15 และ 20 wt.%) อัตราส่วนเส้นใยมีความหลากหลาย (ปอกระเจา: coir = 1: 1, 3: 1 และ 1: 3) สำหรับคอมโพสิตที่ไหลเส้นใย 20% ทั้งปอกระเจาและใยมะพร้าวได้รับการบำบัดโดยใช้สารละลาย NaOH 5% และ 10% นอกจากนี้ยังเตรียมคอมโพสิตโดยใช้เส้นใยที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยมีอัตราส่วนเส้นใยปอและใยมะพร้าว 3: 1 ความต้านทานแรงดึงของคอมโพสิตลดลงเมื่อไหลเส้นใยเพิ่มขึ้นในขณะที่โมดูลัสของ Young เพิ่มขึ้นเมื่อไหลเส้นใยเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดัดงอโมดูลัสดัดแรงกระแทกแบบชาร์ปีและค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของการไหลเส้นใยสำหรับวัสดุผสมดิบ คุณสมบัติทั้งหมดเหล่านี้ได้รับการปรับปรุงด้วยการเพิ่มเนื้อหาปอในไหลเส้นใยยกเว้นแรงกระแทก การวิเคราะห์สเปกโทรสโกปี FTIR ของวัสดุผสมเสริมเส้นใยดิบและที่ผ่านการบำบัดพบว่ามี การกำจัดเอมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ผ่านการบำบัดแล้ว คอมโพสิตเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยที่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH 5% มีคุณสมบัติที่ดีกว่าคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH 10%

Zhijian Li et al. [8] เส้นใยมะพร้าวถูกดึงสายเป็นเส้นเล็กๆ แขนงหนึ่งชุดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในสารละลาย NaOH 1% ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 20°C จากนั้นล้างเส้นใยที่ผ่านการบำบัด แล้วหลายๆครั้งก่อนนำไปอบในเตาอบ 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80°C พบการเปลี่ยนสีของเส้นใยมะพร้าว จากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีเหลืองอ่อนในระหว่างการทดลองเนื่องจากการกำจัดลิกนินและน้ำมันบนพื้นผิว เส้นใยถูกตัดแต่งด้วยตนเองเป็นสองกลุ่มความยาวที่แตกต่างกันโดยมีความยาวเฉลี่ย 2 ซม. และ 4 ซม. ตามลำดับ ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้เส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุเสริมแรงผลกระทบของการเพิ่มเส้นใยในซีเมนต์ ในการศึกษาที่ยืนยันว่าคอมโพสิตซีเมนต์เสริมใยมะพร้าว (CFRCC) มีกำลังรับแรงดัดงอดีขึ้น ความสามารถในการดูดซับและความเหนียวและเบากว่าแบบธรรมดา การเพิ่มเส้นใยมะพร้าวและ สารเคมีในเปอร์เซ็นต์ต่ำแทนในเมทริกซ์ซีเมนต์ภายใน ตัวอย่างที่ผ่านการบ่มตามธรรมชาติกำลังรับแรงดัดงอเพิ่มขึ้นถึง 12% สำหรับคอมโพสิตเส้นใยสั้นที่ไม่ผ่านการบำบัดความเหนียว (15.5D) ดัชนีความเหนียว (I30) และความเหนียวของ CFRCC เพิ่มขึ้น 340-940%, 615-1680%, 860-1280% ตามลำดับ ภายในตัวอย่างอายุที่เร่งขึ้นความเหนียว (15.5D) ดัชนีความเหนียว (I30) และความเหนียวของ CFRCC เพิ่มขึ้นมากถึง 375%, 400% และ 1740% ตามลำดับ การศึกษาคุณสมบัติการดัดงอของซีเมนต์เสริมใยโคเออร์ตามธรรมชาติและดัดแปลงทางเคมีคอมโพสิต (CFRCC) มีการใช้เส้นใยมะพร้าวที่มีความยาวเฉลี่ยต่างกันสองเส้น และเส้นใยมะพร้าวที่ได้รับการปรับปรุงด้วยสารละลาย NaOH 1% เพื่อเปรียบเทียบ เส้นใยถูกรวมเข้ากับวัสดุซีเมนต์และสารเคมีตัวแทน (สารช่วยกระจายตัวละลายน้ำหรือสารทำให้เปียก) ในรูปแบบ CFRCC คุณสมบัติดัดงอของคอมโพสิต ความเค้น กำลังดัด ความเหนียวและดัชนีความเหนียว ผลของการบำบัดด้วยไฟเบอร์การเติมสารเคมีตัวแทนและการเร่งอายุของคอมโพสิตที่มีต่อสมบัติการดัดงอของคอมโพสิตพบว่าตัวอย่าง CFRCC มีน้ำหนักเบากว่าปูนทั่วไป 5-12% และการเพิ่มเส้นใยมะพร้าว ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นความแข็งแรงของวัสดุ CFRCC ดัชนีความเหนียวและความเหนียว ซึ่งสัมพันธ์กับการแตกหักคือเพิ่มขึ้นมากกว่าสิบเท่า สำหรับคอมโพสิตเส้นใยมะพร้าวยาวอัลคาไลซ์จะมีความเหนียวในระยะยาวที่สูงขึ้นใน CFRCC ที่ผ่านการบำบัดแล้ว

สุรัชย์ โภเมนธรรมโสภณ [9] ได้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ฝุ่นแกรนิตคัดขนาดเป็นส่วนผสมแทนทราย กรณีศึกษาหินฝุ่นแกรนิตจากโรงโม่หินของบริษัทโรงโม่ไทยจำกัด โดยใช้หินฝุ่นแกรนิตคัดขนาด เป็นส่วนผสมแทนทราย ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 40 60 80 และ 100 (แทนทรายทั้งหมด) โดยน้ำหนักทำการคัดขนาดหินฝุ่นแกรนิตให้มีการกระจายตัวของขนาดเม็ด (grainsize distribution) เทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับการกระจายตัวของขนาดเม็ดของทรายที่นำมาผสมการผสมคอนกรีตใช้อัตราส่วน 1:2:4 (ปูนซีเมนต์: ทราย: หิน) โดยน้ำหนักที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ w/c เท่ากับ 0.45 0.55 และ 0.65 หินฝุ่นแกรนิตคัดขนาดมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.68 ร้อยละของการดูดซึมน้ำ 0.4 ทรายที่นำมาผสมมีคุณลักษณะตามมาตรฐาน ASTM C33 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump test) เฉลี่ย 8.8 ซม. แห่งตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบการรับกำลังอัด เป็นแห่งคอนกรีตทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C192 เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. บ่มคอนกรีตโดยใช้วิธีแช่น้ำตลอดอายุคอนกรีตที่อายุการบ่ม 7 14 21 และ 28 วันทั้งนี้ปรากฏว่าที่อายุการบ่ม 28 วันอัตราส่วนแทนที่น้ำหนักทรายที่ให้กำลังอัดสูงสุดคืออัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 80 โดยมีกำลังอัด 368 กก./ตร.ซม. (w/c = 0.45) 329 กก./ตร.ซม. (w/c = 0.55) และ 265 กก./ตร.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(w/c = 0.65) ในขณะที่คอนกรีตปกติ (ผสมทรายทั้งหมด) มีค่ากำลังอัดสูงสุด 395 กก./ตร.ซม. (w/c = 0.45) 321 กก./ตร.ซม. (w/c = 0.55) และ 262 กก./ตร.ซม. (w/c = 0.65) เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังอัดสูงสุดที่แต่ละ w/c จะมีความแปรปรวนร้อยละ 1.1, 2.5 และ 6.8 ตามลำดับ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแกรนิตคัดขนาดแทนทรายบางส่วนนั้น สามารถนำไปใช้งานในงานโครงสร้างบางประเภทได้ เช่น งานโครงสร้างประเภท AA (งานโครงสร้างพิเศษ) ตามที่กำหนดใน ASTM C150 ที่ระบุค่ากำลังอัดประลัยไว้ไม่น้อยกว่า 282 กก./ตร.ซม.

นิรุช สุขสมเขตร [10] จากการทดลองพบว่า การดูความชื้นของโยมะพร้าวมีค่าประมาณ 14.28% การดูดซึมน้ำของโยมะพร้าวผิวแห้งอิมตัวประมาณ 83.33% ในการทดลองครั้งแรกโดยใช้โยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (1) อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์: ทราย: โยมะพร้าว 5: 5: 1 W/C 0.55 (2) อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์: ทราย: โยมะพร้าว 5: 10: 2 W/C 0.55 (3) อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์: ทราย: โยมะพร้าว 5: 15: 1 W/C 0.55 ส่วนผสมที่ 1 มีน้ำหนักเบาที่สุดและให้ค่าหน่วยแรงอัดประลัยสูงที่สุด รองลงมาคือส่วนผสมที่ 2 และ 3 ตามลำดับ แต่ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานคือส่วนผสมที่ 2 เนื่องจากมีน้ำหนักและหน่วยแรงอัดประลัยใกล้เคียงกับส่วนผสมที่ 1 แต่มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่า จากการทดลองคอนกรีตที่ผสมโยมะพร้าวเมื่อนำไปทดสอบกำลังอัดประลัยจะสังเกตเห็นว่ามีการยุบตัวเกิดขึ้นโดยไม่ทำให้คอนกรีตแตกออกจากกันในลักษณะที่ผิวด้านข้างเกิดการชำรุดอย่างทันทีทันใด จึงพอสรุปได้ว่าเส้นโยมะพร้าวมีคุณสมบัติพิเศษ คือช่วยเพิ่มการยึดเหนี่ยวกันภายในเนื้อคอนกรีตซึ่งถ้ามีส่วนผสมของโยมะพร้าวมาก การยุบตัวก็จะมากตามไปด้วย แต่หน่วยน้ำหนักต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรจะเบากว่าน้ำหนักของคอนกรีตทั่วไป การทดลองในครั้งที่สองต้องการให้น้ำหนักที่ได้เบาลงอีกจึงทำการตัดทอนเส้นโยมะพร้าวเพื่อใช้ในการผสมคอนกรีตและลดปริมาณของปูนลง แต่ต้องเพิ่มปริมาณของน้ำโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ประมาณ 0.6 (เนื่องจากปริมาณโยมะพร้าวเพิ่มขึ้น) (1) อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์: ทราย: โยมะพร้าว 72: 72: 21 W/C 0.6 (2) อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์: ทราย: โยมะพร้าว 72: 144: 21 W/C 0.6 เมื่อทำการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ลงและเพิ่มปริมาณของโยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใยแล้ว พบว่าน้ำหนักที่ได้เบาขึ้นมาก ซึ่งจัดอยู่ในจำพวกคอนกรีตเบา แต่ไม่สามารถวัดหน่วยแรงอัดประลัยที่แน่นอนได้ แต่จะสังเกตเห็นว่ามีการยุบตัวเกิดขึ้นมากในขั้นทดสอบที่มีปริมาณของโยมะพร้าวมาก การนำเส้นโยมะพร้าวมาใช้เป็นวัสดุผสมในเนื้อคอนกรีต การศึกษากำลังอัด การดูดซึมน้ำ การดูความชื้นและการทดสอบแรงดึง พบว่าอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเส้นโยมะพร้าวเมื่อนำมาเป็นวัสดุผสมสามารถเพิ่มแรงดึงและแรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อคอนกรีตได้ หน่วยน้ำหนักที่ได้มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตทั่วไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

วิธีการศึกษาจะกล่าวถึง รายละเอียดการศึกษา การศึกษาหาสัดส่วนการผสมที่ใช้ในงานวิจัย การผลิตวัสดุคอมโพสิตซีเมนต์เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าว และการเปรียบเทียบการใช้วัสดุประสานสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกสองชนิด ได้แก่ เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใยและเส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาหาสัดส่วนการผสมวัสดุคอมโพสิตซีเมนต์เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าว และการเปรียบเทียบการใช้วัสดุประสานสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกสองชนิด ประกอบไปด้วย

3.1.1 เส้นใยมะพร้าว

เป็นเส้นใยซึ่งได้มาจากส่วนที่เป็นเปลือกชั้นใน อยู่ระหว่างผลและเปลือกชั้นนอก ถือเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด (Seed Fiber) สีสรรรมชาติของใยมะพร้าวเป็นสีน้ำตาล มีความแข็งแรง ทนต่อความชื้น และน้ำได้ดี ทนต่อการขูดสีได้ดีมาก ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในการผลิตชิ้นตัวอย่างทดสอบคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างเส้นใยพร้าวก่อนล้างกำจัดลิกนินและตัดความยาวของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate)

เป็นเกลือโซเดียมของกรดกำมะถัน เมื่อปราศจากน้ำจะเป็นผลึกสีขาว มีสูตร Na_2SO_4 เรียกว่า เกลือของ Glauber จะมีน้ำ 7 โมเลกุล โซเดียมซัลเฟตรูปที่มีโมเลกุลของน้ำ 10 โมเลกุล เรียกว่า ดีเกลือไทย ได้มาจากการทำนาเกลือ ใช้ในการเตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 5% เพื่อใช้ในการทดสอบตัวอย่างขึ้นทดสอบคอมกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงโซเดียมซัลเฟต

3.1.3 ปูนขาว (lime)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเผาหินปูนจนเหลือ CaO หรือ แคลเซียมออกไซด์ มีลักษณะเป็นก้อนหรือผงสีขาว เมื่อละลายน้ำจะให้สภาพเป็นด่าง ใช้ในการเตรียมน้ำที่อิมตัวด้วยปูนขาวความเข้มข้น 1% เพื่อใช้ในการทดสอบตัวอย่างขึ้นทดสอบคอมกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 น้ำประปา

น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการทำให้สะอาดหลายกระบวนการ ตั้งแต่การกำจัด วัตถุหรืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ปรับปรุงคุณภาพ การตกตะกอน ความเป็นกรด-ด่าง กำจัดตะกอนและ อนุภาคสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็ก ฆ่าเชื้อโรค ผ่านกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพน้ำ ใช้เป็น ตัวทำลายซึ่งช่วยในการผสมผสานส่วนผสมเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงน้ำประปา

3.1.5 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C 150 หรือ มอก.80-2517 โดยมี ลักษณะเป็นปูนซีเมนต์ใหม่และไม่จับตัวเป็นก้อน ซึ่งเป็นปูนที่ใช้ในงานก่อสร้างทำคอนกรีตหรือทำ ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตโดยทั่วไป ใช้เป็นส่วนผสม สำหรับทำขึ้นทดสอบคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 หินฝุ่น (Dust Stone)

หินที่มีขนาดเล็กสุด เป็นหินปูนบดหยาบๆ ซึ่งเป็นเศษฝุ่นหินที่เหลือจากการโม่หินชนิดต่างๆ นิยมนำมาใช้ทำปูนซีเมนต์ เป็นวัตถุดิบซึ่งใช้เป็นส่วนผสมในการทำชั้นทดสอบในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงหินฝุ่น

3.1.7 ทราย (Sand)

ใช้ทรายน้ำจืดนำมาล้างด้วยน้ำเอาส่วนที่เป็นดินและสิ่งเจือปนต่างๆออกจนสะอาดโดยมีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 ใช้เป็นส่วนผสมในการทำชั้นทดสอบในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงทรายในการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

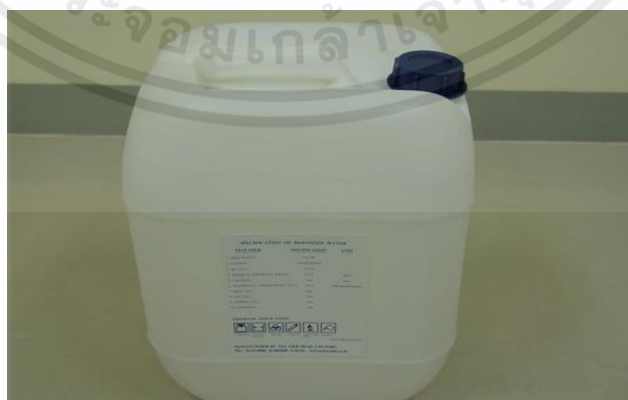
โซดาไฟ caustic soda (คอสติกโซดา) มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ Sodium Hydroxide (โซเดียมไฮดรอกไซด์) สูตรเคมี NaOH มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ดูดความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้ หรืออยู่ในรูปแบบของเหลวได้เช่นกัน เป็นสารละลายมีค่าเป็นเบส (ต่าง) มีฤทธิ์กัดกร่อนและมีความร้อน ประกอบด้วย $\text{Na} + \text{OH}$ (Sodium anions + Hydroxide anions) ซึ่งมีค่าทดสอบโดย ประมาณเท่ากับ pH13.5 ใช้ในการทำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1.9 น้ำกลั่น

น้ำที่ได้จากการควบแน่นด้วยเครื่องกลั่นน้ำ จึงมีความบริสุทธิ์สูงมาก มีเกลือแร่ละลายน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ค่าพีเอช (pH) หรือค่าความเป็นกรดต่างของน้ำกลั่นจะค่อนข้างไปทางกรด มักวัดได้ต่ำกว่า 6 (ค่าระดับ 7 คือเป็นกลาง, ต่ำกว่าเป็นกรด และมากกว่าเป็นด่าง) เนื่องจากน้ำกลั่นมีความบริสุทธิ์สูงมาก ไม่มีแร่ธาตุ ใช้ในการเตรียมสารละลายต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล Digital Kitchen scale C305

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักของวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงหน่วยวัดได้หลากหลายไม่ว่าจะ กรัม (g) ออนซ์ (oz) ปอนด์ (lb) กิโลกรัม (Kg) ใช้สำหรับชั่งวัตถุดิบและชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบในการทดลองแต่ละครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล Digital Kitchen scale C305

3.2.2 ไม้ตี

ทำจากไม้เนื้อแข็ง มีหลายรูปแบบหลายขนาด ทั้งรูปทรงสี่เหลี่ยม ทรงรี ผิวเรียบ บางอันจะมีการคว้านเนื้อไม้ให้เป็นร่องโค้งเรียบทำให้อัดแน่น ราบเรียบ และได้รูปทรงตามที่ต้องการ ใช้ในการบดอัด ให้ส่วนผสมคอนกรีตบล็อกอัดแน่นเต็มพื้นที่ภายในบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงไม้ตี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 กะละมัง

ภาชนะพลาสติกรูปร่างคล้ายอ่างเป็นวงกลมขนาดใหญ่และลึก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร ใช้สำหรับผสมส่วนผสมสำหรับทำขึ้นทดสอบคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงกะละมังผสมคอนกรีต

3.2.4 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)

มีลักษณะเป็นก้ามปูที่ข้างหนึ่งติดไม้บรรทัดยาว อีกข้างติดไม้บรรทัดอันเล็กที่เลื่อนได้ ไม้บรรทัดทั้งสองมีขีดวัดที่เยื้องกันตามที่กำหนด การวัดใช้วิธีถ่างเวอร์เนียออกแล้วปรับให้ตรงกับขนาดสิ่งที่ต้องการวัด ลงสลักยึด แล้วจึงยกออกมาอ่านค่า โดยดูว่าเส้นบนไม้บรรทัดตรงเส้นใดตรงกับเส้นที่อยู่บนไม้บรรทัดหลัก ให้ถือเส้นนั้นเป็นทศนิยมตัวท้ายสุดที่จะนำมาต่อกับค่าที่วัดได้จากไม้บรรทัด ใช้ในการวัดขนาดแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงเวอร์เนียคาลิปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 เกรียงเหล็ก

เกรียงเหล็กจะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมคล้ายรูปใบโพธิ์ ใช้สำหรับก่ออิฐคอนกรีตบล็อก ใช้ผสมปูนถือปูนหรือขัดมันได้ ปลายค่อนข้างแหลมและบาง ค่อยๆหนาขึ้นทางด้านท้าย ใช้ตกแต่งตามซอกมุมแคบๆ ได้ใช้ในการผสมส่วนผสมในการทำขึ้นทดสอบและเกลี่ยผิวหน้าของคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงเกรียงเหล็กผสมคอนกรีต

3.2.6 ถุงซิปล็อคพลาสติกใส

เป็นถุงซิปล็อค เนื้อพลาสติกใส ทำจากพลาสติก (Polyethylene terephthalate; PET) ด้านหน้าและด้านหลังใสสามารถมองเห็นวัตถุในอย่างชัดเจน ล็อคมีความแน่นหนาป้องกันความชื้นจากภายนอกและอากาศเข้าออกได้ดี ใช้ใส่ขึ้นทดสอบที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว เพื่อเตรียมทดสอบค่าทดสอบต่างๆต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงถุงซิปล็อคพลาสติกใสเก็บขึ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานนี้ เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 กรรไกร

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับตัดวัสดุต่างๆ โดยใช้แรงกดเล็กน้อย ใช้ในการตัดขนาดความยาวของเสียงใยมะพร้าวให้ได้ขนาดความยาวที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงกรรไกรตัดเส้นใย

3.2.8 แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อกทรงลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นทดสอบคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 ถังน้ำพลาสติก

ถังน้ำพลาสติก ทราย 12 แกลลอน ความจุ 40 ลิตร มีฝาปิดและหูถือ ใช้ในการแช่เส้นใยมะพร้าวเพื่อปรับปรุงสภาพผิวด้วยเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ถังน้ำพลาสติก

3.2.10 ชุดทดสอบหาค่าการยวบตัวของคอนกรีต

ชุดอุปกรณ์การทดสอบหาค่าการยวบตัวของคอนกรีต ใช้ในการทดสอบค่ายวบตัวสัดส่วนการผสมที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ชุดทดสอบหาค่าการยวบตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.11 เครื่องทดสอบการรับกำลังอัดขนาด 200 Ton Model STS-C905V

เครื่องทดสอบการรับกำลังอัด จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 เครื่องทดสอบการรับกำลังอัดขนาด 200 Ton Model STS-C905V

3.2.12 ตู้อบ (OVEN) รุ่น ED/FD

เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ใช้ในการรักษาอุณหภูมิของตัวอย่างบางชนิด หรือการอบวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ใช้ในการอบไล่ความชื้นภายในชิ้นตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงตู้อบ (OVEN) รุ่น ED/FD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

3.3.1 การเตรียมเส้นใยในการทำขึ้นทดสอบ

- 3.3.1.1. นำเส้นใยมะพร้าวแก่สีน้ำตาลมาแช่ในถังน้ำที่บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% ที่เตรียมไว้ ทำการแช่ให้เส้นใยมะพร้าวจมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้มีช่องว่างและไม่อัดแน่นจนเกินไป แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อปรับปรุงสภาพเส้นใยและกำจัดสารลิกนินในเส้นใยมะพร้าว
- 3.3.1.2. นำเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับปรุงสภาพเส้นใยและกำจัดสารลิกนินเรียบร้อยแล้ว มาล้างน้ำ 3-4 ครั้ง ก่อนนำไปอบในตู้อบ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นภายในเส้นใยมะพร้าว ใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง
- 3.3.1.3. นำเส้นใยที่ผ่านการอบไล่ความชื้นเรียบร้อยแล้ว แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เส้นใยชนิดไม่ตัดทอน และเส้นใยชนิดตัดทอน โดยกำหนดให้ความยาวของเส้นใยมะพร้าวที่ตัดแล้วอยู่ในช่วงไม่เกิน 1-6 เซนติเมตร เพื่อง่ายต่อการผสมกับทราย ปูนซีเมนต์และหินฝุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.22



(ก) แช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



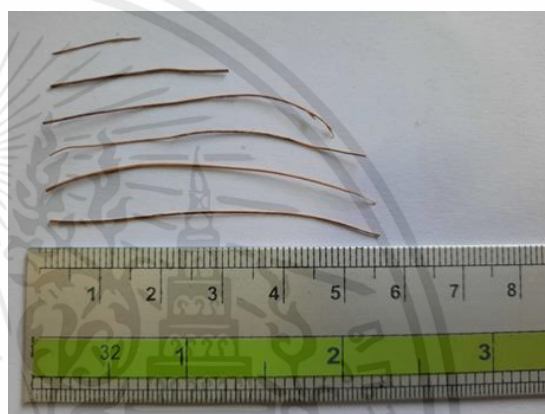
(ข) ทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง



(ค) มาล้างน้ำ 3-4 ครั้ง



(ง) อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



(จ) เส้นใยชนิดตัดทอนความยาวของเส้น 1-6 ซม.

รูปที่ 3.22 การเตรียมเส้นใยมะพร้าว

3.3.2 การเตรียมสารละลาย

3.3.2.1 สารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 5%

สารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 5% ในที่นี้หมายถึง สารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 5% โดยมวล หมายความว่า ในสารละลาย 100 กรัม มีโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ 5 กรัม และมีน้ำกลั่นอยู่ 95 กรัม

3.3.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1%

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% ในที่นี้หมายถึง สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% โดยมวล หมายความว่า ในสารละลาย 100 กรัม มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายอยู่ 1 กรัม และมีน้ำกลั่นอยู่ 99 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 น้ำที่อิมตัวด้วยปูนขาวความเข้มข้น 1%

น้ำที่อิมตัวด้วยปูนขาวความเข้มข้น 1% ในที่นี้หมายถึง น้ำที่อิมตัวด้วยปูนขาวความเข้มข้น 1% โดยมวล หมายความว่า ในสารละลาย 100 กรัม มีปูนขาวละลายอยู่ 1 กรัม และมีน้ำกลั่นอยู่ 99 กรัม

3.3.3 ออกแบบทดลองหาปริมาณส่วนผสมทำการหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมต่างกันซึ่งใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.3.3.1 สัดส่วนผสม

มุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบการใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใยและชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย 11 อัตราส่วน โดยการเพิ่มใยมะพร้าวเข้าไปแทนที่ในส่วนของทราย เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเริ่มต้นจากตัวอย่างอ้างอิง ซึ่งเป็น 0%v ของเส้นใยมะพร้าว แล้วเพิ่มเป็น 15%v , 30%v, 50%v และ 100%v กระบวนการผสมจะดำเนินการโดยการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อทรายละเอียดเข้าด้วยกัน จากนั้นผสมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 0.60 ผสมวัตถุดิบทั้งหมดเข้าด้วยกัน จากนั้นทำการบรรจุลงในแบบหล่อคอนกรีตบล็อก ทำการบรรจุส่วนผสมที่ได้ทำการผสมไว้แล้วลงในแบบหล่อคอนกรีตบล็อกภายใน 15 นาที นับตั้งแต่เริ่มผสม โดยการแบ่งบรรจุลงแบบหล่อ 2 ชั้น ตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุในงานคอนกรีต ซึ่งแต่ละชั้นทำการกระทุ้ง 25 ครั้ง โดยสัดส่วนการผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าการหดตัวแบบอโตจีนัส การหดตัวโดยรวมและการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และสัดส่วนการผสมของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ทดสอบหาค่าการยุบตัวและกำลังอัดประลัยของคอนกรีตบล็อกนั้น ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งแสดงสัดส่วนการผสมของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด

3.3.3.2 สัญลักษณ์ของสัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีรายละเอียดดังนี้

M-CB75 หมายถึง ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ใช้ทรายที่มีขนาดคละของมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33 ร้อยละ 25 โดยปริมาตร และใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใยเป็นส่วนผสม ร้อยละ 75 โดยปริมาตรแทนที่ทราย

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมของมอร์ต้าร์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าการหดตัวแบบอโตจีนัส การหดตัวโดยรวมและการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

ลำดับที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนการผสม (กรัม)			
		ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1	ทราย	เส้นใยมะพร้าว	น้ำ/ซีเมนต์
1	M	1.00	2.75	-	0.60
2	M-CB15	1.00	2.34	15%v	0.60
3	M-CB30	1.00	1.93	30%v	0.60
4	M-CB50	1.00	1.38	50%v	0.60
5	M-CB75	1.00	0.69	75%v	0.60
6	M-CB100	1.00	-	100%v	0.60
7	M-NB15	1.00	2.34	15%v	0.60
8	M-NB30	1.00	1.93	30%v	0.60
9	M-NB50	1.00	1.38	50%v	0.60
10	M-NB75	1.00	0.69	75%v	0.60
11	M-NB100	1.00	-	100%v	0.60

หมายเหตุ M หมายถึง ตัวอย่างมอร์ต้าร์ที่ใช้ทรายตามมาตรฐาน ASTM C33 ล้วน
 CB หมายถึง เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใย
 NB หมายถึง เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย
 15%v หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยมะพร้าวในอัตราส่วนร้อยละ 15 โดยปริมาตร

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนการผสมของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ทดสอบหาค่าการยุบตัวและกำลังอัดประลัยของคอนกรีตบล็อก

ลำดับที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนการผสม (กิโลกรัม)					
		ปูนซีเมนต์	ทราย	เส้นใยมะพร้าว	หินฝุ่น	น้ำ	(w/b)
		ประเภทที่ 1					
1	C	400	747	-	1003	240	0.60
2	C-CB15	400	635	15%v	1003	240	0.60
3	C-CB30	400	523	30%v	1003	240	0.60
4	C-CB50	400	374	50%v	1003	240	0.60
5	C-CB75	400	187	75%v	1003	240	0.60
6	C-CB100	400	-	100%v	1003	240	0.60
7	C-NB15	400	635	15%v	1003	240	0.60
8	C-NB30	400	523	30%v	1003	240	0.60
9	C-NB50	400	374	50%v	1003	240	0.60
10	C-NB75	400	187	75%v	1003	240	0.60
11	C-NB100	400	-	100%v	1003	240	0.60

หมายเหตุ C หมายถึง ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทรายตามมาตรฐาน ASTM C33 ล้วน
 CB หมายถึง เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใย
 NB หมายถึง เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย
 15%v หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยมะพร้าวในอัตราส่วนร้อยละ 15 โดยปริมาตร

3.3.4 การหาส่วนผสมของปูนซีเมนต์

สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป คอนกรีต	1	ลูกบาศก์เมตรใช้
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1	400	กิโลกรัม
ทรายตามมาตรฐาน ASTM C33	747	กิโลกรัม
หินฝุ่น	1003	กิโลกรัม
น้ำ	240	ลิตร

จากการทดลองจะเทคอยกริตลงในแบบหล่อ รูปลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 ซม.

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ปริมาตรของคอนกรีตที่ใช้} &= 1 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10^{-6} && \text{ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 0.001 && \text{ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จะต้องใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์} &= 400 \times 0.001 \\ &= 0.4 && \text{กิโลกรัม} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad = 400 \quad \text{กรัม}$$

ดังนั้น ปริมาณของปูนซีเมนต์สำหรับแบบหล่อคอนกรีต 1 ลูก คือ 400 กรัม

3.3.5 การหาปริมาณของเส้นใยที่ใช้หาได้ดังนี้

- นำเอาชั่งน้ำหนักของถาด
- เตรียมแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร มาทำความสะอาดภายในและทำการเช็ดให้ผิวแห้ง
- นำเส้นใยมะพร้าวแห้งมาบรรจุลงในแบบหล่อคอนกรีตพยายามกดให้แน่นพอดีกับแบบหล่อ จากนั้นนำเส้นใยมะพร้าวที่อยู่ภายในแบบหล่อมาใส่ไว้ในถาด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักจดบันทึกเอาไว้
- นำน้ำหนักที่ทำการชั่งจดบันทึกเอาไว้ในข้อที่ 3 มาหักกลบน้ำหนักของถาด จะได้ปริมาณของเส้นใยมะพร้าวที่ใช้ต่อ 1 ลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร
- ทำการทดสอบซ้ำในข้อที่ 3 และ 4 ซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าน้ำหนักที่ได้มาเฉลี่ย

3.4 รายละเอียดวิธีการศึกษา

รายละเอียดและวิธีการศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตบล็อกและสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตที่ศึกษาในครั้งนี้ ประกอบด้วย

3.4.1.1 ค่าการยุบตัว (Slump Test) โดยทดสอบตามมาตรฐาน มทข.(ท) 103: มาตรฐานการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต โดยขั้นตอนการในการทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตนั้น ทำได้โดยการนำกรวยเหล็กสำหรับวัดการยุบตัว (Slump Cone) มาทำให้เปียก แล้วนำไปวางบนแผ่นเหล็ก โดยเอาปลายตัดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าให้อยู่ด้านล่างยึดกรวยเหล็กให้แน่นโดยเอาเท้าทั้งสองข้างเหยียบที่เหยียบไว้ นำคอนกรีตที่ต้องการทดสอบหาค่าการยุบตัวเทลงในกรวยเหล็กให้ได้ปริมาตรประมาณ $1/3$ ของปริมาตรของกรวยเหล็ก (ขั้นแรกจะสูงประมาณ 67 มม.) แล้วกระทุ้งให้ลึกลงถึงแผ่นเหล็ก จำนวน 25 ครั้ง เติมคอนกรีตลงในกรวยเหล็กอีกประมาณ $1/3$ ของปริมาตร (เติมให้สูงถึงระดับประมาณ 255 มม.) แล้วกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง โดยให้ปลายเหล็กกระทุ้งถึงผิวบนของคอนกรีตชั้นแรกเท่านั้น เติมคอนกรีตลงในกรวยเหล็กอีกจนล้น แล้วกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง โดยให้ปลายเหล็กกระทุ้งถึงผิวบนของคอนกรีตชั้นที่สองเท่านั้น หากระดับของคอนกรีตต่ำกว่ากรวยเหล็กในระหว่างกระทุ้ง ให้เติมคอนกรีตให้เต็มอยู่เสมอ จากนั้นปาดคอนกรีตที่ผิวบนของกรวยเหล็กโดยใช้ส่วนยาวของเหล็กกระทุ้งค่อยๆ หมุนเลื่อนไปจนผิวเรียบ แล้วยกกรวยเหล็กขึ้นในแนวตั้งอย่างระมัดระวังและสม่ำเสมอใช้เวลาในการยกประมาณ 5-10 วินาที คอนกรีตจะยุบตัวลง วัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต โดยวัดค่าความแตกต่างระหว่างความสูงของกรวยเหล็กและความสูงของคอนกรีตที่ยุบตัวลงไป (วัดที่แนวแกนตั้ง) ดังแสดงในรูปที่ 3.23



(ก) ใส่ส่วนผสมลงในแบบหล่อทรงกรวย



(ข) กระทุ้ง ชั้นละ 25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) วัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

รูปที่ 3.23 การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

3.4.1.2 กำลังอัดประลัย (Compressive Strength) โดยทดสอบตามมาตรฐาน BS 1881-116 มีรายละเอียดดังนี้

ในการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตนั้น ใช้ตัวอย่างชิ้นทดสอบคอนกรีต ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 อายุการทดสอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัยของ ชิ้นทดสอบคอนกรีต โดยหลังจากที่ได้ชิ้นตัวอย่างทดสอบคอนกรีตบล็อกซึ่งถอดออกจากแบบหล่อตัวอย่างที่ทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มในน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาว (Saturated Lime Water) ตลอดเวลาจนถึงอายุที่จะทดสอบ โดยการทดสอบกำลังอัดประลัยของชิ้นตัวอย่างทดสอบคอนกรีตบล็อก ที่อายุ 1 7 14 และ 28 วัน ด้วยเครื่องทดสอบการรับกำลังอัดขนาด 200 Ton Model STS-C905V ดังแสดงในรูปที่ 3.24



(ก) ชิ้นทดสอบก่อนเกิดการแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ชั้นทดสอบเมื่อเกิดการแตก

รูปที่ 3.24 การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

3.4.2 สำหรับสมบัติด้านความคงของมอร์ตาร์ที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ ประกอบด้วย

3.4.2.1 การหดตัวของแบบออโตจีนัสของมอร์ตาร์ (Autogenous Shrinkage)

ในการทดสอบการหดตัวของแบบออโตจีนัสของมอร์ตาร์ โดยทำตามมาตรฐาน ASTM C157 ใช้ชิ้นตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์ ซึ่งเตรียมขึ้นโดยแบบหล่อตัวอย่างขนาด $10 \times 10 \times 10$ เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น เพื่อเฉลี่ยค่าของการหดตัว และเมื่อครบ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้แกะแบบออกแล้ววัดความยาว ซึ่งค่าที่วัดได้นั้นจะเป็นค่าความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่างทดสอบในแต่ละสัปดาห์ผสม จากนั้นให้หุ้มด้วยพลาสติกและต่อด้วยกระดาษฟอยอีกชั้นหนึ่ง เก็บชิ้นตัวอย่างไว้ในอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการวัดความยาวที่อายุ 1 7 14 และ 28 วัน พร้อมชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบตามอายุการทดสอบ เพื่อตรวจสอบว่าไม่มีการระเหยของน้ำออกไป แต่ละอายุการทดสอบจะมีตัวอย่างที่ทดสอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าร้อยละของการหดตัวที่อายุบ่มต่างๆกัน โดยในการคำนวณร้อยละของการหดตัวของแบบออโตจีนัสนั้น ใช้ค่าความยาวเริ่มต้นที่ได้จากการวัดครั้งแรก และค่าที่วัดได้ในช่วงอายุบ่มในอากาศที่อายุต่างๆ และนำไปคำนวณร้อยละของการหดตัวของแบบออโตจีนัส ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{การหดตัว(ร้อยละ)} = \left[\frac{(L_i - L_t)}{L_s} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ L_i คือ ความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างคอนกรีต (มิลลิเมตร)

L_t คือ ความยาวของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุต่างๆที่ต้องการวัดการหดตัว (มิลลิเมตร)

L_s คือ ความยาวมาตรฐานของตัวอย่างคอนกรีตเท่ากับ 100 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) หุ้มพลาสติกและกระดาษฝอยเก็บชื้นตัวอย่าง

(ข) วัดขนาดชิ้นตัวอย่างทดสอบ



(ค) ชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างทดสอบ

รูปที่ 3.25 การทดสอบการหดตัวของแบบอัตโนมัติของมอร์ตาร์

3.4.2.2 การหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์ (Total Shrinkage)

ในการทดสอบการหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์ โดยทำตามมาตรฐาน ASTM C596-96 ใช้ชิ้นตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์ ซึ่งเตรียมขึ้นโดยแบบหล่อตัวอย่างขนาด 10x10x10 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น โดยถอดออกจากแบบหล่อตัวอย่างที่อายุ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ปูนขาว เป็นเวลา 7 วัน และทำการวัดความยาว ซึ่งค่าที่วัดได้นั้นเป็นค่าความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่างในแต่ละสัดส่วนผสม แล้วจึงนำชิ้นตัวอย่างบ่มไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 30 ± 2 °C หลังจากนั้นทำการวัดความยาวที่อายุ 1 7 14 และ 28 วัน แต่ละอายุการทดสอบจะมีตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าร้อยละของการหดตัวที่อายุบ่มต่างๆกัน

การคำนวณค่าร้อยละของการหดตัวโดยรวมนั้น โดยที่ค่าความยาวเริ่มต้นที่ได้จากการวัดครั้งแรก หลังจากบ่มในน้ำ 7 วัน และค่าที่วัดได้ในช่วงอายุบ่มในอากาศที่อายุต่างๆ นำไปคำนวณหาค่าร้อยละของการหดตัวโดยรวม ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta L = \left[(L_x - L_i) / L_g \right] \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ ΔL คือ ค่าการหดตัวโดยรวม (ร้อยละ)

L_x คือ ค่าความยาวของชิ้นตัวอย่างที่อายุใดๆ (มิลลิเมตร)

L_i คือ ค่าความยาวของชิ้นตัวอย่างที่อายุเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

L_g คือ ค่าความยาวของ Gauge Length หรือเท่ากับ 100 มิลลิเมตร



(ก) บ่มในน้ำที่อุณหภูมิด้วยปูนขาว เป็นเวลา 7 วัน



(ข) วัดขนาดชิ้นตัวอย่างทดสอบตามอายุ

รูปที่ 3.26 การทดสอบการหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์

3.4.2.3 การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์

สำหรับการทดสอบการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต โดยทำตามมาตรฐาน ASTM C1012 ใช้ตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ยการขยายตัวของคอนกรีตบล็อกในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของตัวอย่างมอร์ตาร์ หลังจากถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิด้วยปูนขาวเป็นเวลา 28 วัน แล้วทำการวัดความยาวเริ่มต้นของตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นทดสอบมอร์ตาร์แช่ไว้ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต โดยให้ความเข้มข้นของโซเดียมซัลเฟตเท่ากับร้อยละ 5 แล้วทำการวัดความยาวของตัวอย่างที่อายุ 1 7 14 และ 28 วัน ของการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ค่าการขยายตัวของตัวอย่างขึ้นทดสอบมอร์ตาร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3

$$\text{การขยายตัว (ร้อยละ)} = \left[(L_t - L_i) / L_g \right] \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ L_i คือ ค่าเฉลี่ยความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างหลังจากแช่ในน้ำที่อุณหภูมิด้วยปูนขาว 28 วัน (มิลลิเมตร)

L_t คือ ค่าเฉลี่ยความยาวตัวอย่างที่แช่ในสารละลายโซเดียมซิลเฟต (มิลลิเมตร)

L_g คือ ค่าความยาวของ Gauge Length หรือเท่ากับ 100 มิลลิเมตร



(ก) บ่มในน้ำที่อุณหภูมิด้วยปูนขาวเป็นเวลา 28 วัน



(ข) วัดขนาดชิ้นตัวอย่างทดสอบ



(ค) แช่สารละลายโซเดียมซิลเฟตความเข้มข้น 5%



(ง) วัดขนาดชิ้นตัวอย่างทดสอบตามอายุ

รูปที่ 3.27 การทดสอบการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซิลเฟตของมอร์ตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

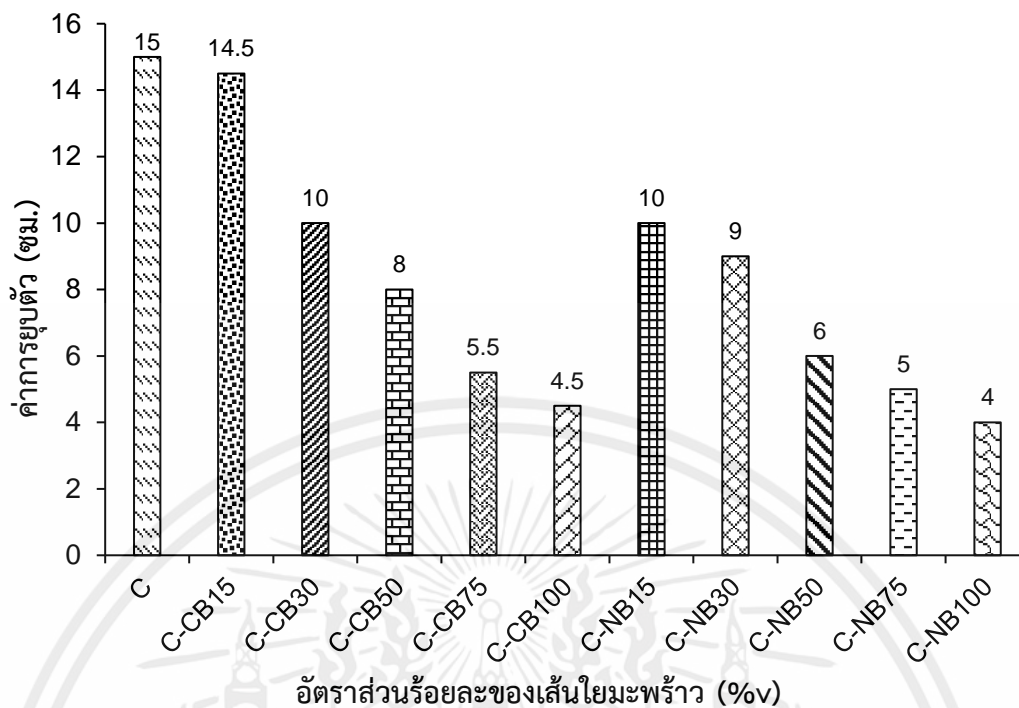
ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล

จากการศึกษาสมบัติของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยแทนที่ทรายในครั้งนี้ได้พิจารณาผลการศึกษาและวิเคราะห์ในหัวข้อดังต่อไปนี้ คือ สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายและสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย

4.1 สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีต

4.1.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต

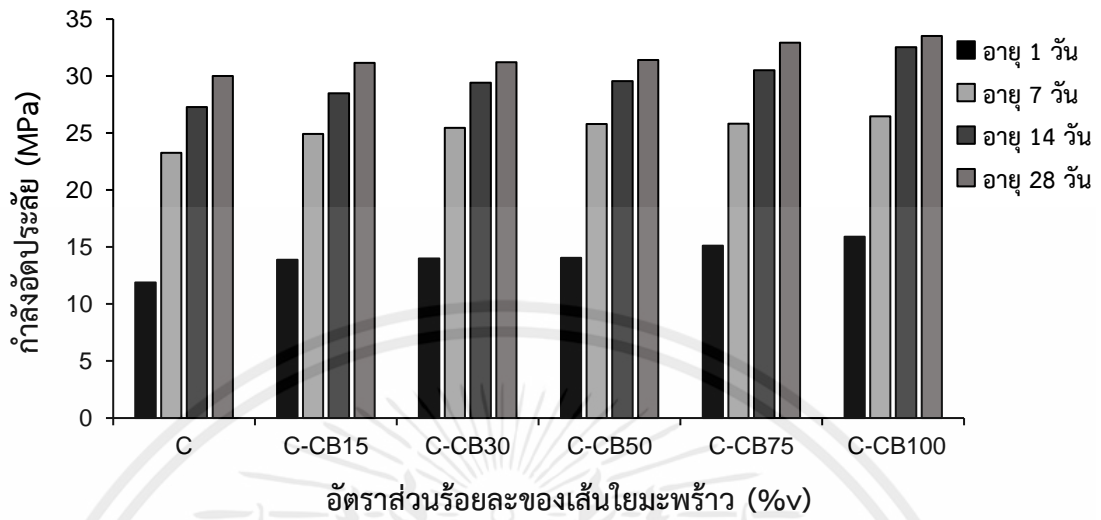
รูปที่ 4.1 แสดงค่าการยุบตัวของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0% 15% 30% 50% 75% และ 100% โดยปริมาตร และการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.60 พบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทราย ที่อัตราส่วนร้อยละ 15%v มีค่าการยุบตัว 14.5 ซม.และ 10 ซม. ที่อัตราส่วนร้อยละ 30%v มีค่าการยุบตัว 10 ซม.และ 9 ซม. ที่อัตราส่วนร้อยละ 50%v มีค่าการยุบตัว 8 ซม.และ 6 ซม. ที่อัตราส่วนร้อยละ 75%v มีค่าการยุบตัว 5.5 ซม.และ 5 ซม.และที่อัตราส่วนร้อยละ 100%v มีค่าการยุบตัว 4.5 ซม.และ 4 ซม. มีค่าน้อยกว่าที่เส้นใยมะพร้าวอัตราส่วนร้อยละ 0%v ซึ่งมีค่าการยุบตัวที่ 15 ซม. โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ด้วยเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้จากคุณสมบัติที่ช่วยต่อต้านการยุบตัวโดยเฉพาะของเส้นใยมะพร้าวซึ่งสามารถช่วยลดการยุบตัวโดยรวมได้ดี เนื่องจากขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยเกิดขึ้นได้ดีกว่าคอนกรีตเมื่อใช้ทรายล้วน ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวมีขนาดพื้นที่หน้าตัดมากกว่าทรายจึงส่งผลทำให้การยุบตัวโดยรวมของคอนกรีตลดลงตามไปด้วย ดังนั้นค่าการยุบตัวจึงมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตเมื่อใช้ทรายล้วน และเมื่อเปรียบเทียบค่าการยุบตัวของคอนกรีตระหว่างเส้นใยทั้งสองชนิดพบว่าเมื่อใช้เส้นใยชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) ที่ 15%, 30%, 50%, 75%, 100% โดยปริมาตร มีค่าการยุบตัว 14.5, 10, 8, 5.5, 4.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) ที่ 15%, 30%, 50%, 75%, 100% โดยปริมาตร มีค่าการยุบตัว 10, 9, 6, 5, 4 เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะว่าเส้นใยชนิด CB มีขนาดพื้นที่น้อยกว่าเนื่องจากความยาวของเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยชนิด NB จึงส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยลดลง ส่งผลให้ CB มีค่าการยุบตัวมากกว่า NB



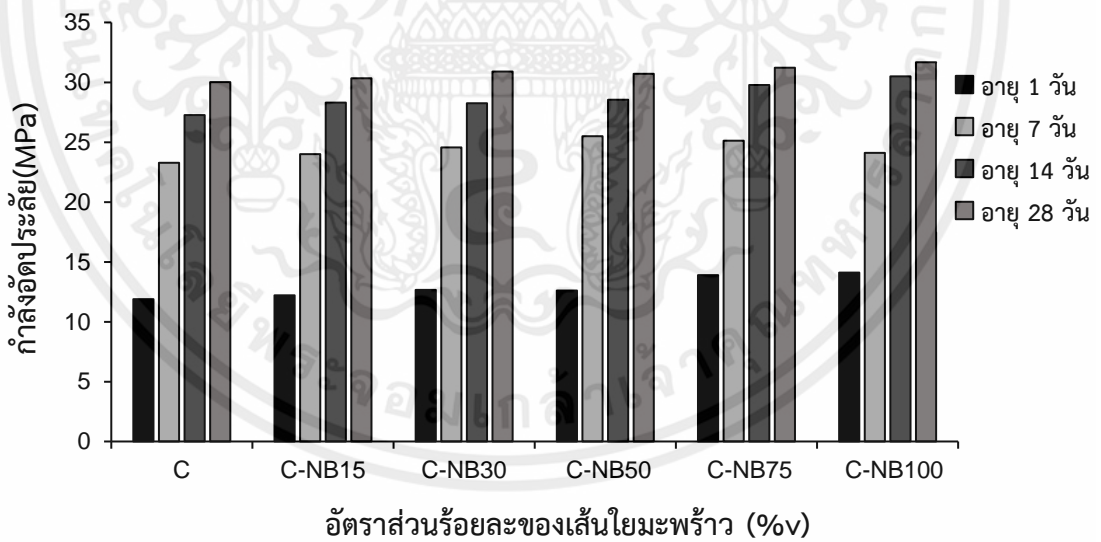
รูปที่ 4.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต

4.2.2 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

รูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วนร้อยละของเส้นใยมะพร้าว เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายที่อัตราส่วนร้อยละ 0% 15% 30% 50% 75% และ 100% โดยปริมาตร โดยจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.60 พบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทราย ที่ 15%v มีค่ากำลังอัดประลัย 13.88 MPa และ 12.20 MPa ที่ 30%v มีค่ากำลังอัดประลัย 14 MPa และ 12.66 MPa ที่ 50%v มีค่ากำลังอัดประลัย 14.05 MPa และ 12.61 MPa ที่ 75%v มีค่ากำลังอัดประลัย 15.11 MPa และ 13.90 MPa ที่ 100%v มีค่ากำลังอัดประลัย 15.90 MPa และ 14.11 MPa ซึ่งที่อัตราส่วนร้อยละ 15%v, 30%v, 50%v, 75%v, 100%v ทั้งสองชนิดมีค่ากำลังอัดประลัยมากกว่าเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายที่อัตราส่วนร้อยละ 0%v ซึ่งมีค่ากำลังอัดประลัย 11.88 MPa โดยเฉพาะเมื่อการแทนที่ในปริมาณที่มากขึ้น พบว่าอาจเป็นเพราะเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีจึงมีส่วนช่วยให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่ามากขึ้นและมีขนาดพื้นที่ผิวมากกว่าทรายจึงทำให้มีปริมาณเพสต์มาเคลือบผิวได้มากกว่า รวมทั้งการรวมกันของเส้นใยดีกว่าจึงส่งผลให้สามารถรับกำลังอัดประลัยได้มากกว่า



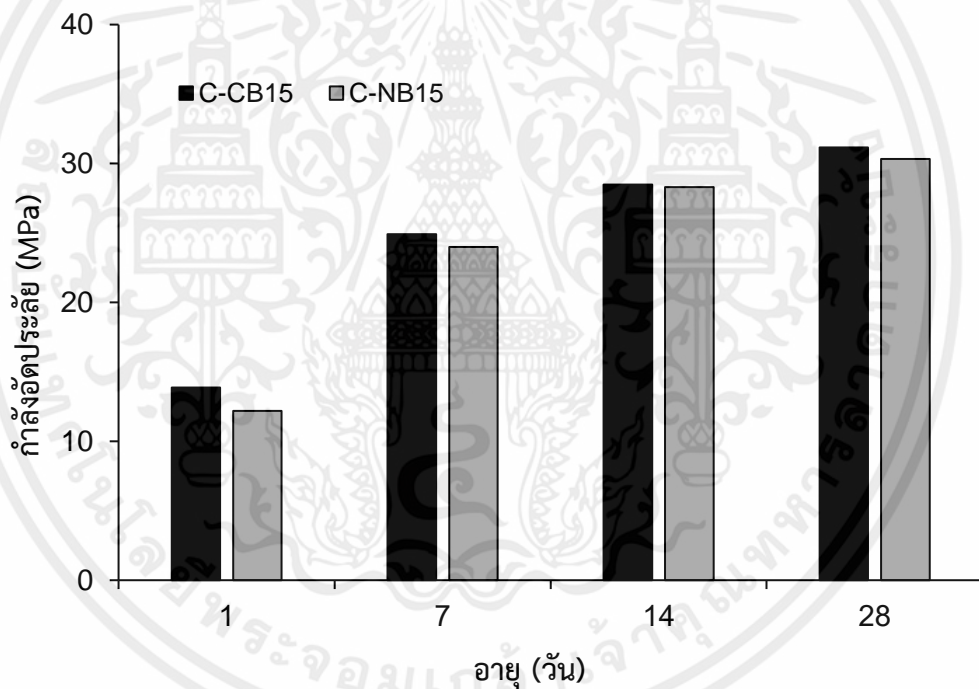
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอายุคอนกรีตของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB



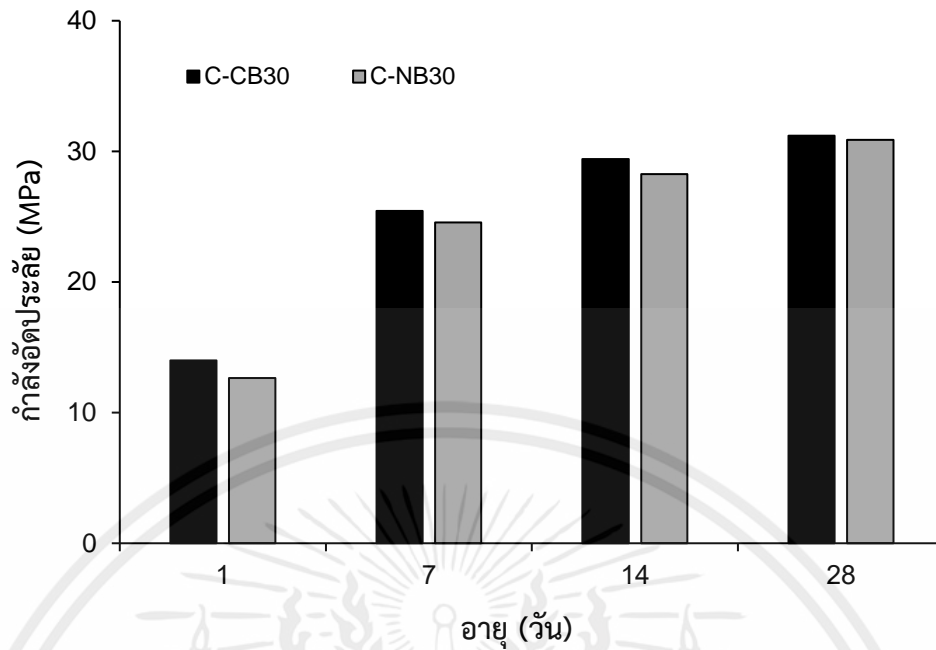
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอายุคอนกรีตของเส้นใยมะพร้าวชนิด NB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

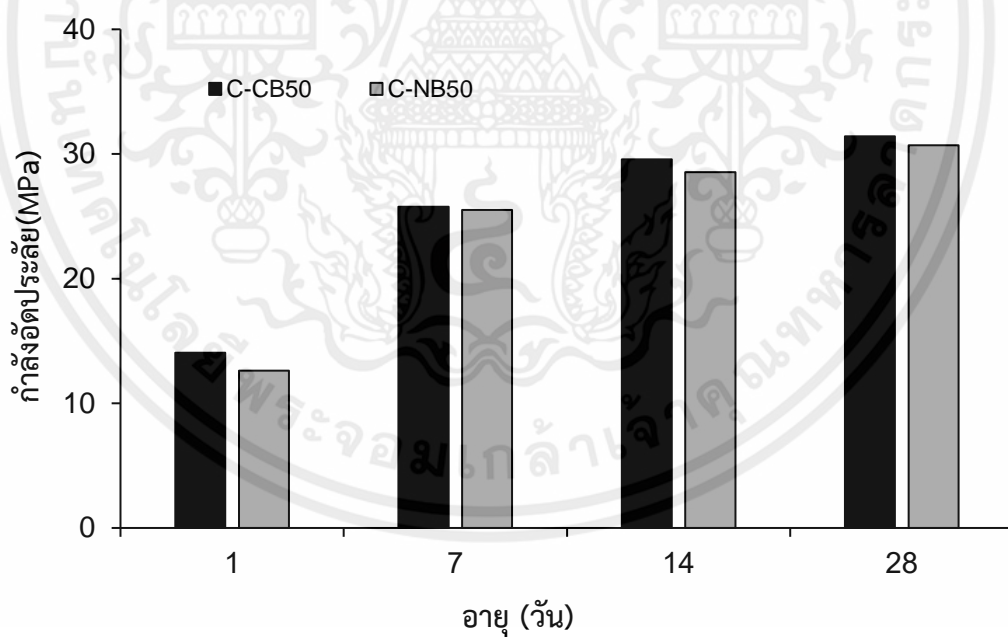
รูปที่ 4.4 จะแสดงการเปรียบเทียบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทราย ซึ่งเส้นใยมะพร้าวทั้งชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) อัตราส่วนร้อยละ 15%v, 30%v, 50%v, 75%v, 100% ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัดประลัย 24.92, 25.45, 25.78, 25.81, 26.48 MPa ตามลำดับ ที่อายุ 14 วัน มีค่ากำลังอัดประลัย 28.49, 29.41, 29.56, 30.52, 32.53 MPa ตามลำดับ และที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดประลัย 31.61, 31.16, 31.41, 32.92, 33.51 MPa ตามลำดับ และเส้นใยมะพร้าวทั้งชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) อัตราส่วนร้อยละ 15%v, 30%v, 50%v, 75%v, 100% ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัดประลัย 24.00, 24.55, 25.50, 25.11, 24.10 MPa ตามลำดับ ที่อายุ 14 วัน มีค่ากำลังอัดประลัย 28.13, 28.26, 28.54, 29.77, 30.50 MPa ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดประลัย 30.33, 30.89, 30.71, 31.23, 31.68 MPa ตามลำดับ พบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิด CB แทนที่ทราย มีแนวโน้มมากกว่าของเส้นใยมะพร้าวชนิด NB ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวชนิด CB มีขนาดละเอียดกว่าจึงทำให้มีปริมาณเพสต์มาเคลือบผิวได้มากกว่า ทำให้การยึดประสานดีขึ้น จึงส่งผลให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตสูงขึ้นด้วย



(ก) แทนที่ทรายร้อยละ 15

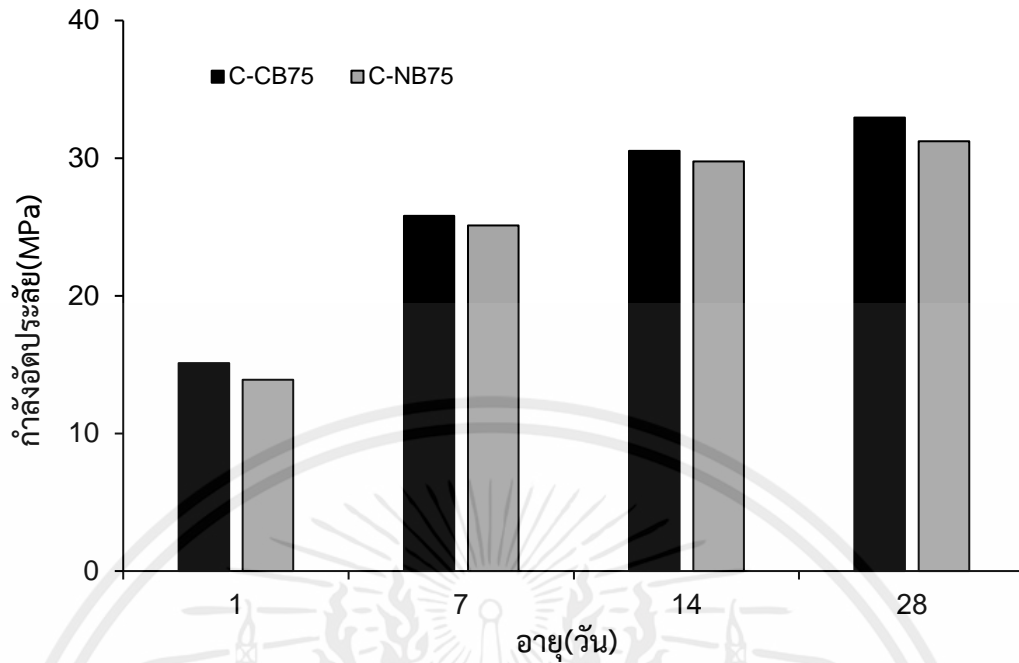


(ข) แทนที่ทรายร้อยละ 30

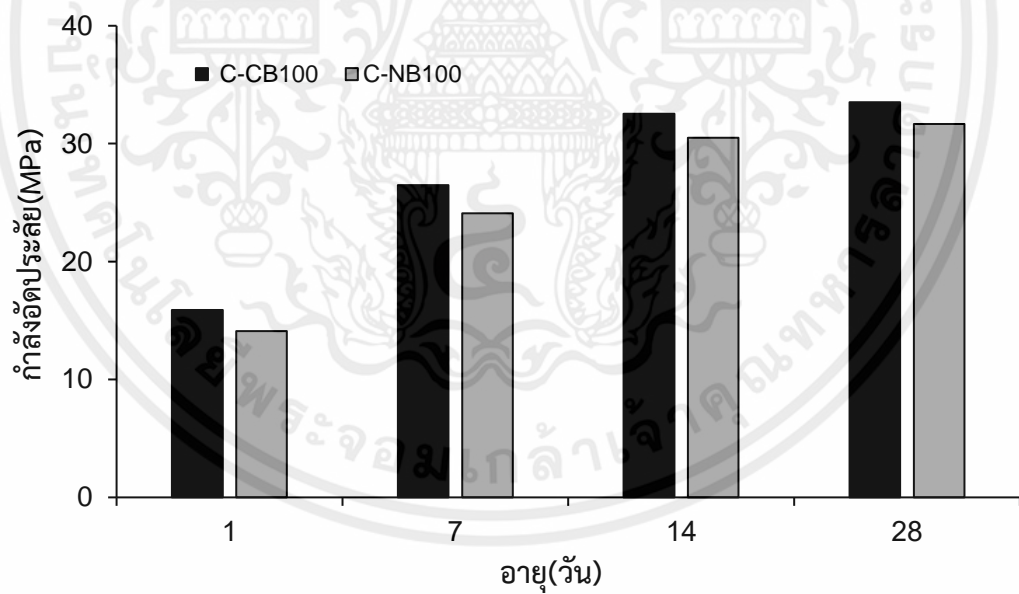


(ค) แทนที่ทรายร้อยละ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ง) แทนที่ทรายร้อยละ 75



จ) แทนที่ทรายร้อยละ 100

รูปที่ 4.4 กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิด CB และ NB แทนที่ทรายที่อายุ 1 7 14 และ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

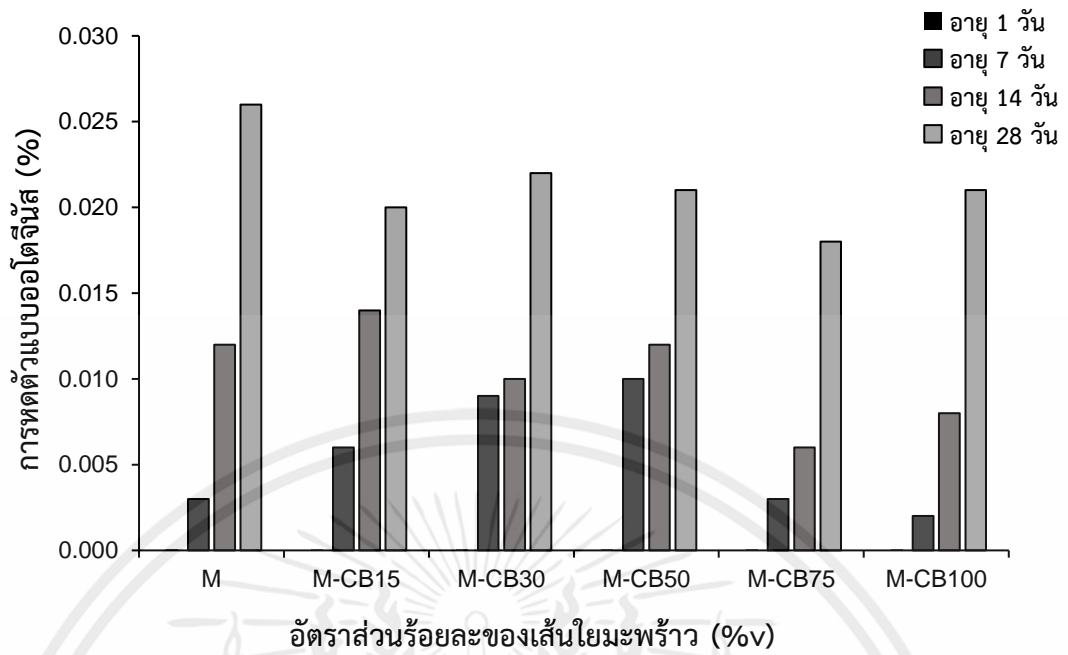
4.2 ความคงทนของคอนกรีต

สำหรับความคงทนของมอร์ตาร์และคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย โดยการศึกษาในครั้งนี้จะประกอบด้วยการศึกษาการหดตัวแบบอโตจิ้นส์ การหดตัวโดยรวมตัวของมอร์ตาร์ และการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

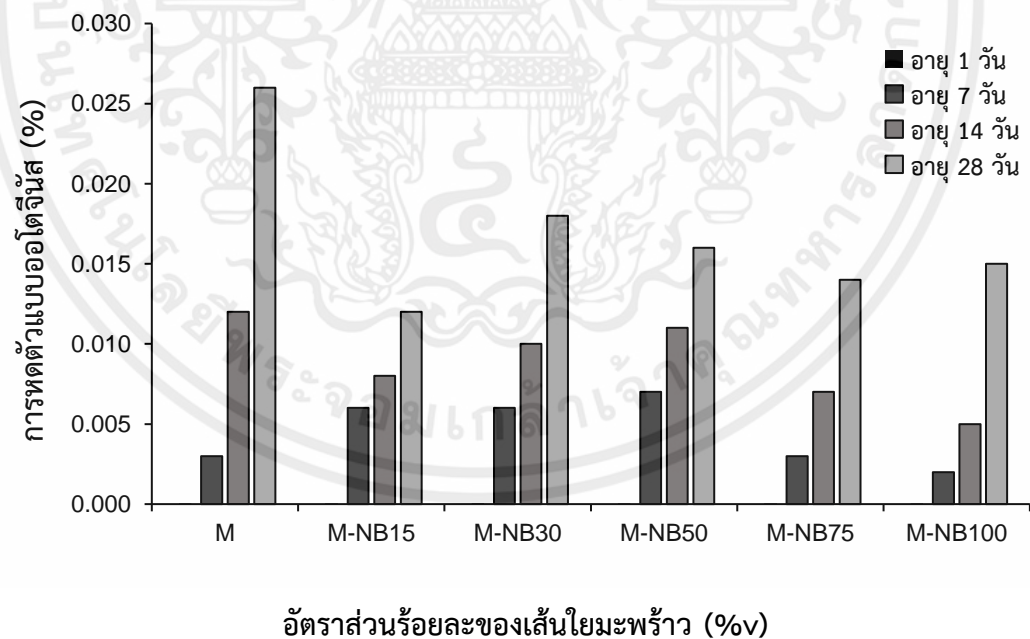
4.2.1 การหดตัวแบบอโตจิ้นส์ของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย

จากการศึกษาการหดตัวแบบอโตจิ้นส์ของตัวอย่างมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายโดยเส้นใยที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นเส้นใยมะพร้าวจากร้านใยมะพร้าว coconut fiber ขุยมะพร้าว coir dust โรงใย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยทำการเปรียบเทียบเส้นใยมะพร้าวจำนวน 2 ชนิด คือ ชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) โดยการแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0% 15% 30% 50% 75% และ 100% โดยปริมาตร

รูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบอโตจิ้นส์กับอัตราส่วนร้อยละของเส้นใยมะพร้าว โดยการแทนที่ทรายด้วยเส้นใยมะพร้าวทั้งชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) พบว่าการหดตัวแบบอโตจิ้นส์ของมอร์ตาร์ เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) แทนที่ทรายในอัตราส่วน 15%v, 30%v, 50%v, 75%v และ 100%v ที่อายุ 7 วัน มีค่าการหดตัวร้อยละ 0.006, 0.009, 0.010, 0.003, 0.002 ตามลำดับ ที่อายุ 14 วัน มีค่าการหดตัวร้อยละ 0.014, 0.010, 0.012, 0.006, 0.008 ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน มีค่าการหดตัวร้อยละ 0.020, 0.022, 0.021, 0.018, 0.021 ตามลำดับ และเส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทรายอัตราส่วน 15%v, 30%v, 50%v, 75%v และ 100%v ที่อายุ 7 วัน มีค่าการหดตัวร้อยละ 0.006, 0.006, 0.007, 0.003, 0.002 ตามลำดับ ที่อายุ 14 วัน มีค่าการหดตัวร้อยละ 0.008, 0.010, 0.011, 0.007, 0.005 ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน มีค่าการหดตัวร้อยละ 0.012, 0.018, 0.016, 0.014, 0.015 ตามลำดับ ซึ่งทั้งชนิด CB และ NB มีแนวโน้มน้อยกว่ามอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวในอัตราส่วน 0%v แทนที่ทราย ที่อายุ 7 14 28 วัน โดยมีค่าการหดตัวร้อยละ 0.003, 0.012, 0.026 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะบริเวณที่น้ำไม่สามารถเข้าถึงได้อย่างเต็มที่และเป็นบริเวณที่ถูกยึดรั้งด้วยเส้นใยมะพร้าวซึ่งมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่า การหดตัวแบบอโตจิ้นส์ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างวัสดุประสานกับน้ำ จึงทำให้การหดตัวมีอัตราที่สูงในช่วงวันแรกๆ และจะค่อยๆมีอัตราที่ต่ำลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยการเปรียบเทียบการหดตัวแบบอโตจิ้นส์เมื่อใช้เส้นใยแทนที่ทรายทั้งชนิด CB และ NB ในทุกๆอัตราส่วนการแทนที่ จะแสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าการหดตัวแบบอโตจิ้นส์ของมอร์ตาร์นั้นจะค่าการหดตัวที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยและไม่ค่อยแตกต่างกัน

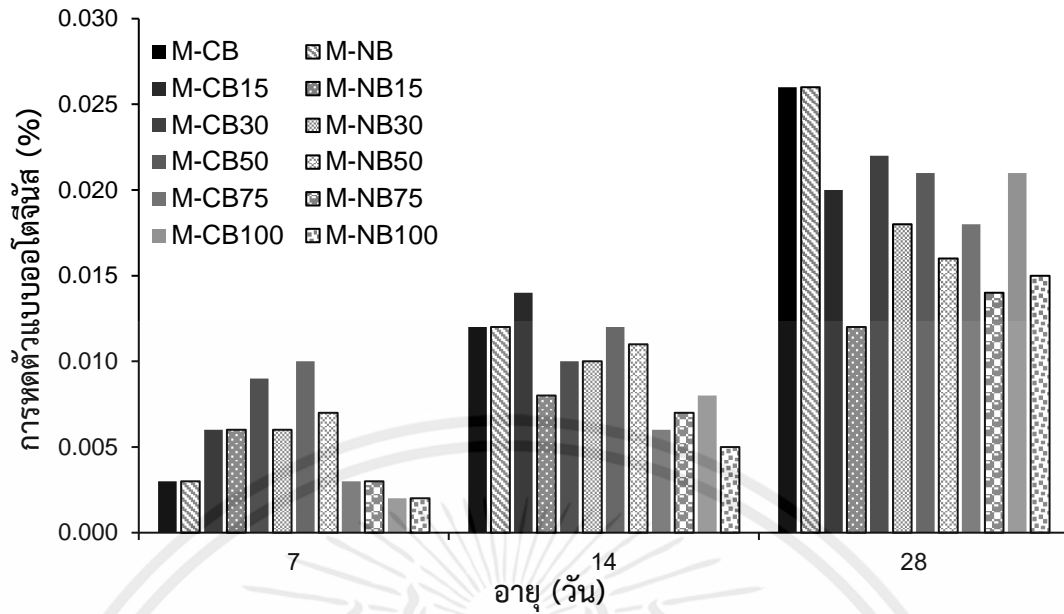


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการหัตถ์แบบออโตจีนกับอายุคอนกรีตของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการหัตถ์แบบออโตจีนกับอายุคอนกรีตของเส้นใยมะพร้าวชนิด NB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



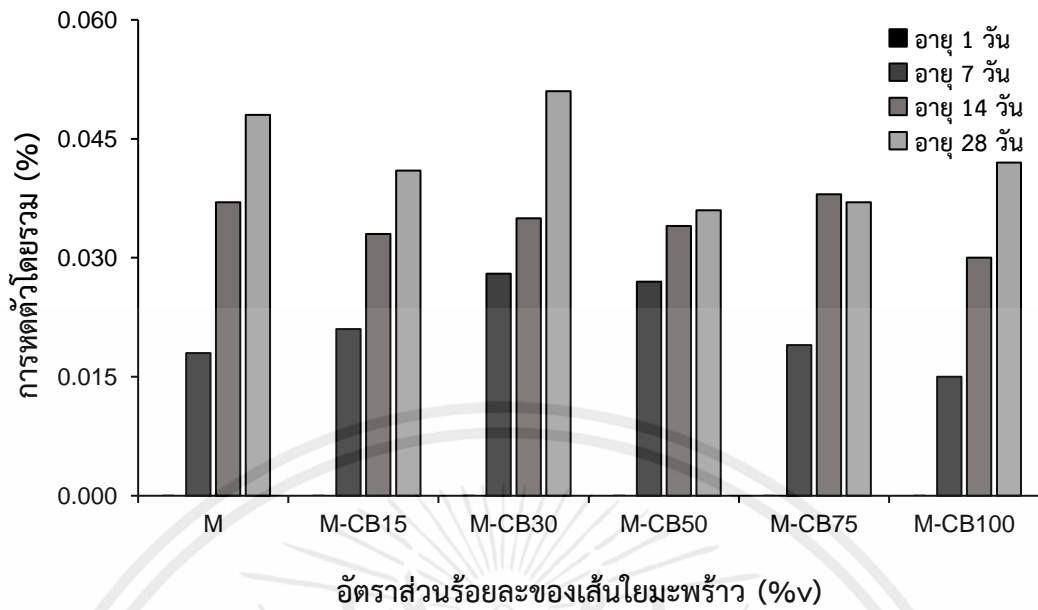
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบอโตจีนกับอายุของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าว ชนิด CB และNB แทนที่ด้วยทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

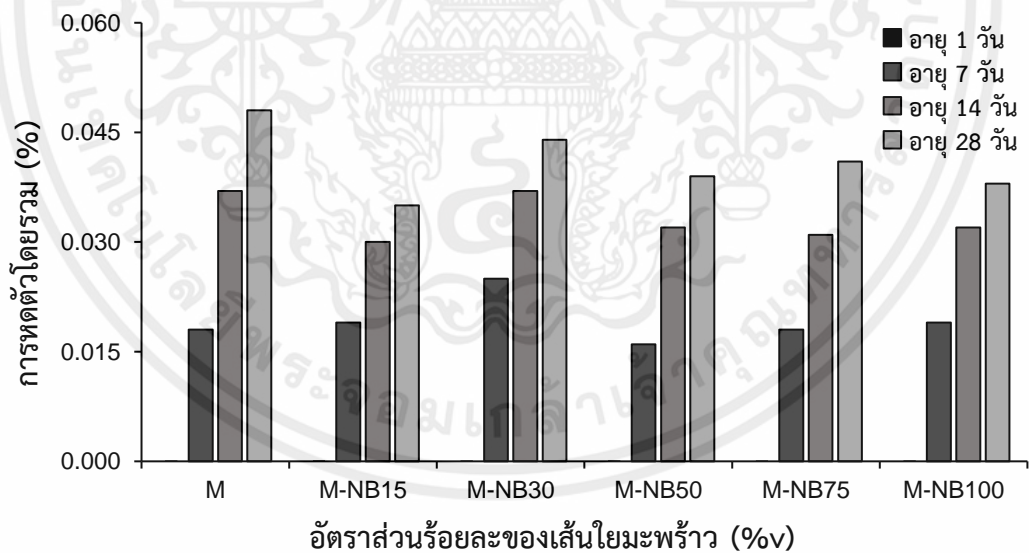
4.2.2 การหัตถ์โดยรวมของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย

จากการศึกษาการหัตถ์โดยรวมของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ด้วยทราย โดยเส้นใยมะพร้าวที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้เป็นเส้นใยมะพร้าวจากร้านใยมะพร้าว coconut fiber ชุยมะพร้าว coir dust โรงใย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยทำการเปรียบเทียบเส้นใยมะพร้าว จำนวน 2 ชนิด คือ ชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) โดยการแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0% 15% 30% 50% 75% และ 100% โดยปริมาตร

รูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหัตถ์โดยรวมกับอัตราส่วนร้อยละของเส้นใยมะพร้าว โดยการแทนที่ทรายด้วยเส้นใยมะพร้าวชนิด CB ในอัตราส่วนร้อยละ 15%v, 30%v, 50%v, 75%v และ 100%v ที่อายุ 7 วัน มีค่าการหัตถ์ร้อยละ 0.021, 0.028, 0.027, 0.019, 0.015 ตามลำดับ ที่อายุ 14 วัน มีค่าการหัตถ์ร้อยละ 0.033, 0.035, 0.034, 0.038, 0.030 ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน มีค่าการหัตถ์ร้อยละ 0.041, 0.051, 0.036, 0.037, 0.042 ตามลำดับ และการแทนที่ทรายด้วยเส้นใยมะพร้าวชนิด NB ที่อายุ 7 วัน มีค่าการหัตถ์ร้อยละ 0.019, 0.025, 0.016, 0.018, 0.019 ตามลำดับ ที่อายุ 14 วัน มีค่าการหัตถ์ร้อยละ 0.030, 0.037, 0.032, 0.031, 0.032 ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน มีค่าการหัตถ์ร้อยละ 0.035, 0.044, 0.039, 0.041, 0.038 ตามลำดับ และเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายทั้งชนิด CB และ NB ในอัตราส่วนร้อยละ 0%v ที่อายุ 7 14 28 วัน มีค่าการหัตถ์ร้อยละ 0.018, 0.037, 0.048 พบว่าการหัตถ์ของโดยรวมของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายทั้งชนิด CB และ NB ในทุกๆอัตราส่วนการแทนที่ จะมีค่าไม่ค่อยแตกต่างกันกับมอร์ตาร์เมื่อใช้ทรายล้วน เนื่องจากคอนกรีตบล็อกเมื่อทำการบ่มในน้ำปูนขาว ซึ่งปูนขาวเข้าไปช่วยอุดช่องว่างส่วนหนึ่งในคอนกรีต ทำให้มีความพรุนน้อยลง ส่งผลให้การซึมผ่านเกิดได้ยากขึ้น และเมื่อปูนขาวทำปฏิกิริยากับผิวหน้าของคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งมากขึ้นและส่งผลให้การหัตถ์เกิดได้ยากขึ้น



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวโดยรวมกับอายุมอร์ตาร์ของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวโดยรวมกับอายุมอร์ตาร์ของเส้นใยมะพร้าวชนิด NB

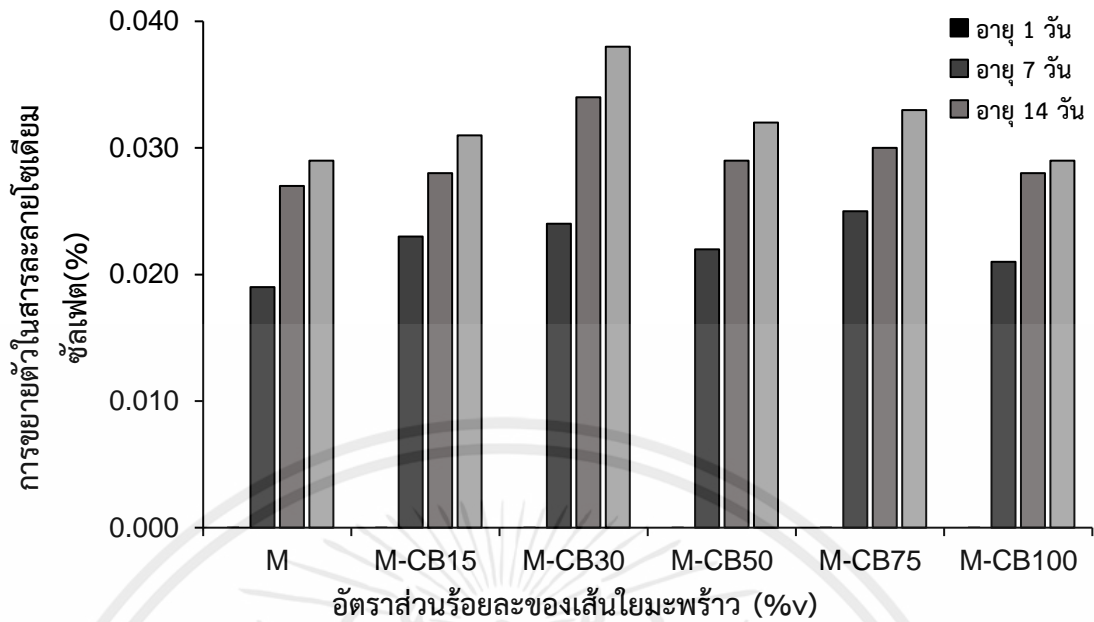
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์

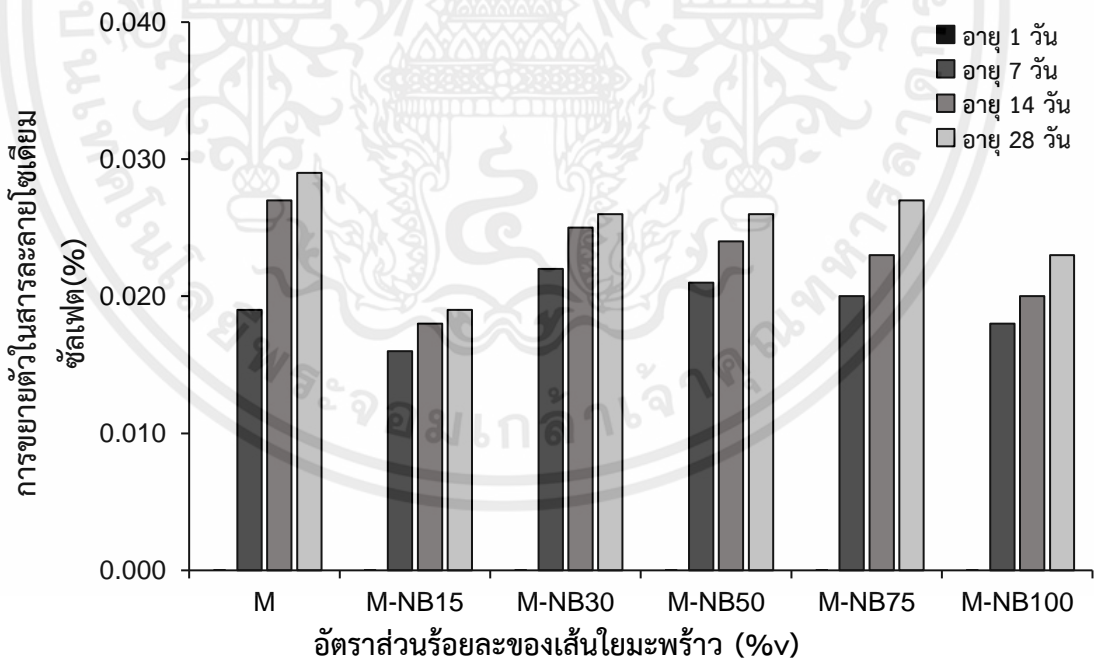
เนื่องจากกลไกการทำลายของสารละลายซัลเฟตมีทั้งโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต ให้ผลการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยเฉพาะในกรณีสารละลายโซเดียมซัลเฟตนั้นให้ค่าการขยายตัวของตัวอย่างที่เห็นได้ชัด ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกศึกษาการขยายตัวของตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

จากการศึกษาการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าว แทนที่ทราย จำนวน 2 ชนิด คือ ชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) โดยการแทนที่ทรายด้วยเส้นใยมะพร้าวแต่ละชนิดในอัตราส่วนร้อยละ 0% 15% 30% 50% 75% และ 100% โดยปริมาตร มีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตกับอัตราส่วนร้อยละของเส้นใยมะพร้าว โดยการแทนที่ทรายด้วยเส้นใยมะพร้าวชนิด CB ในอัตราส่วนร้อยละ 15%v, 30%v, 50%v, 75%v และ 100%v ที่อายุ 7 วัน มีค่าการขยายตัวร้อยละ 0.023, 0.024, 0.022, 0.025, 0.021 ตามลำดับ ที่อายุ 14 วัน มีค่าการขยายตัวร้อยละ 0.028, 0.034, 0.029, 0.030, 0.028 ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน มีค่าการขยายตัวร้อยละ 0.031, 0.038, 0.032, 0.033, 0.029 ตามลำดับ และการแทนที่ทรายด้วยเส้นใยมะพร้าวชนิด NB ในอัตราส่วนร้อยละ 15%v, 30%v, 50%v, 75%v และ 100%v ที่อายุ 7 วัน มีค่าการขยายตัวร้อยละ 0.016, 0.022, 0.021, 0.020, 0.018 ตามลำดับ ที่อายุ 14 วัน มีค่าการขยายตัวร้อยละ 0.018, 0.025, 0.024, 0.023, 0.020 ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน มีค่าการขยายตัวร้อยละ 0.019, 0.026, 0.026, 0.027, 0.023 ตามลำดับ และเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายทั้งชนิด CB และ NB ในอัตราส่วนร้อยละ 0%v ที่อายุ 7 14 28 วัน มีค่าการขยายตัวร้อยละ 0.019, 0.027, 0.029 พบว่าการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์ เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายทั้งชนิด CB และ NB ในทุกๆอัตราส่วนของการแทนที่ จะมีค่าที่ไม่ค่อยแตกต่างกันกับมอร์ตาร์เมื่อใช้ทรายเป็นหลัก เนื่องจากคอนกรีตบล็อกเมื่อทำการบ่มในน้ำปูนขาวเป็นเวลานานจะทำให้ผิวคอนกรีตแข็งตัวมากขึ้นและส่งผลให้การซึมผ่านเกิดได้ยากขึ้น จึงทำให้การขยายตัวเกิดขึ้นได้ยากตามไปด้วย



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตกับอายุมอร์ตาร์ของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตกับอายุมอร์ตาร์ของเส้นใยมะพร้าวชนิด CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุปเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างมอร์ตาร์กับคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าว

กับทรายล้วน

จากการศึกษาสมบัติของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทราย โดยครั้งนี้จะสามารถเปรียบเทียบสมบัติของมอร์ตาร์และคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) กับสมบัติของมอร์ตาร์และคอนกรีตเมื่อใช้ทรายล้วน แสดงดังตารางที่ 4.3 – 4.5

ตารางที่ 4.1 สรุปการเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนแทนที่ทรายต่อชั้นทดสอบที่ใช้ทรายล้วน

ผลการทดสอบ	ใยมะพร้าวชนิด CB เมื่อแทนที่ทราย	เมื่อใช้ ทรายล้วน
1. สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีต		
ค่าการยุบตัว	น้อยกว่า	มากกว่า
กำลังอัดประลัย	มากกว่า	น้อยกว่า
2. สมบัติด้านความคงทนของมอร์ตาร์		
การหดตัวแบบบอโตจิ้นส์ของมอร์ตาร์	น้อยกว่า	มากกว่า
การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์	ไม่ต่างกัน	ไม่ต่างกัน
การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์	ไม่ต่างกัน	ไม่ต่างกัน

ตารางที่ 4.2 สรุปการเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนแทนที่ทรายต่อชั้นทดสอบที่ใช้ทรายล้วน

ผลการทดสอบ	ใยมะพร้าวชนิด NB เมื่อแทนที่ทราย	เมื่อใช้ ทรายล้วน
1. สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีต		
ค่าการยุบตัว	น้อยกว่า	มากกว่า
กำลังอัดประลัย	มากกว่า	น้อยกว่า
2. สมบัติด้านความคงทนของมอร์ตาร์		
การหดตัวแบบบอโตจิ้นส์ของมอร์ตาร์	น้อยกว่า	มากกว่า
การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์	ไม่ต่างกัน	ไม่ต่างกัน
การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์	ไม่ต่างกัน	ไม่ต่างกัน

ตารางที่ 4.3 สรุปการเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างชั้นทดสอบที่ใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอน และใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนแทนที่ทราย

ผลการทดสอบ	ใยมะพร้าวชนิด	
	CB เมื่อแทนที่ทราย	NB เมื่อแทนที่ทราย
1. สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีต		
ค่าการยุบตัว	มากกว่า	น้อยกว่า
กำลังอัดประลัย	มากกว่า	น้อยกว่า
2. สมบัติด้านความคงทนของมอร์ตาร์		
การหดตัวแบบบอโตจีนีสของมอร์ตาร์	ไม่ต่างกัน	ไม่ต่างกัน
การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์	ไม่ต่างกัน	ไม่ต่างกัน
การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์	ไม่ต่างกัน	ไม่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าคุณสมบัติเส้นใยมะพร้าว และวัสดุชีวมวลอื่นๆ

ชนิดของเส้นใย	ค่าการยุบตัว (cm)	กำลังอัดประลัย (MPa)	การหดตัว (%)	การขยายตัว (%)	อ้างอิง
เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอน	14.5	33.51	0.051	0.038	ผลงานปัจจุบัน
เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอน	10	31.68	0.044	0.027	ผลงานปัจจุบัน
เส้นใยกล้วย	-	40.80	0.14	0.214	[28]
เส้นใยตาลโตนด	-	35.30	-	0.132	[29]
ผักตบชวา	-	5.67	0.06	0.113	[30]
ฟางข้าว	-	22.00	-	0.146	[31]
ทางปาล์มน้ำมัน	-	44.72	-	-	[32]
ไยบวบหอม	-	7.76	0.06	0.113	[33]

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าคุณสมบัติเส้นใยมะพร้าวและวัสดุชีวมวลอื่นๆ สามารถสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ นั้น มีความแข็งแรงมากหรือน้อยสามารถดูได้จากค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยทั้งเส้นใยมะพร้าวชนิดทอนและชนิดไม่ตัดทอนที่ได้ทำการศึกษานั้น มีค่ากำลังอัดประลัยมากกว่าเส้นใยจาก ผักตบชวา ฟางข้าว และไยบวบหอม แต่น้อยกว่าเส้นใย กล้วย ตาลโตนด และทางปาล์มน้ำมัน ในด้านการหดตัวนั้นทั้งเส้นใยมะพร้าวชนิดทอนและชนิดไม่ตัดทอนที่ได้ทำการศึกษา มีค่าการหดตัวน้อยกว่าเส้นใย กล้วย ผักตบชวา และไยบวบหอม และในด้านการขยายตัวทั้งเส้นใยมะพร้าวชนิดทอนและชนิดไม่ตัดทอนที่ได้ทำการศึกษา มีค่าการขยายตัวน้อยกว่าเส้นใย กล้วย ตาลโตนด ผักตบชวา ฟางข้าว และไยบวบหอม ทั้งนี้เมื่อกำลังอัดประลัยมีค่าการทดสอบมากแสดงว่าคอนกรีตบล็อกนั้นมีความแข็งแรงมาก และเมื่อค่าการทดสอบการหดตัวและการขยายตัวของคอนกรีตมีค่าการหดตัวและขยายตัวน้อยมากเท่าไรก็จะยิ่งส่งผลดีต่อคอนกรีตบล็อก ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ยากกว่าคอนกรีตที่มีการหดตัวและการขยายตัวมากๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

สำหรับการศึกษาสมบัติคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวแทนที่ทรายในครั้งนี้นี้สามารถสรุปได้ดังนี้

ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งแบบตัดทอน (CB) และไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทราย จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งสองชนิด แทนที่ทรายจะมีค่าน้อยกว่าของคอนกรีตบล็อกเมื่อใช้ทรายล้วน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่ในปริมาณที่มากขึ้น และจากการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) มีค่าการยุบตัวมากกว่าเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB)

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งแบบตัดทอน (CB) และไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทราย จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งสองชนิด แทนที่ทราย จะมีค่ามากกว่าคอนกรีตบล็อกเมื่อใช้ทรายล้วน และจากการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) มีค่ากำลังอัดประลัยมากกว่าเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB)

การหดตัวแบบออโตจีนัสของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งแบบตัดทอน (CB) และไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทราย จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งสองชนิดแทนที่ทรายจะมีค่าน้อยกว่าของมอร์ตาร์เมื่อใช้ทรายล้วน และจากการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวชนิดตัดทอนเส้นใย (CB) และเส้นใยมะพร้าวชนิดไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) มีค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสไม่แตกต่างกัน

การหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งแบบตัดทอน (CB) และไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทราย จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งสองชนิด แทนที่ทราย จะมีค่าการหดตัวโดยรวมไม่แตกต่างกันกับมอร์ตาร์เมื่อใช้ทรายล้วน

การขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์เมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งแบบตัดทอน (CB) และไม่ตัดทอนเส้นใย (NB) แทนที่ทราย จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวทั้งสองชนิดแทนที่ทราย จะมีค่าการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตไม่แตกต่างกันกับมอร์ตาร์เมื่อใช้ทรายล้วน

5.2 ข้อเสนอแนะ

คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากเส้นใยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุประสานร่วมกับปูนซีเมนต์และทรายในการผลิตคอนกรีตบล็อกถึงแม้ว่าผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตจะได้ผลการทดสอบในด้านความแข็งแรงมากกว่าการใช้ทรายล้วน แต่ในเรื่องการทดสอบคุณสมบัติด้านความคงทนของมอร์ตาร์นั้นได้ผลไม่ต่างกัน แล้วยังมีคุณค่าในทางสิ่งแวดล้อม แต่ต้นทุนในการผลิตจะสูงกว่าและอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุนเมื่อใช้เส้นสำเร็จรูป เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีราคาก็จริง แต่เมื่อใช้เส้นใยสำเร็จรูปราคาก็จะสูงขึ้นมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Munawar, S. S., Umemura, K., & Kawai, S. (2007). Characterization of the morphological, physical, and mechanical properties of seven nonwood plant fiber bundles. *Journal of Wood Science*, 53(2), 108–113.
- [2] Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmati, B., & Shin, U. C. (2007). Development of coconut coir-based lightweight cement board. *Construction and Building Materials*, 21(2), 277–288.
- [3] Aziz, M. A., Paramasivam, P., & Lee, S. L. (1981). Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 3(2), 123–132.
- [4] Alida, A., Mazlee, M. N., Shamsul, B. J., & Kamarudin, H. (2011). Composite cement reinforced coconut fiber: physical and mechanical properties and fracture behavior.
- [5] Khedari, J., Watsanasathaporn, P., & Hirunlabh, J. (2005). Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*, 27(1), 111–116.
- [6] Atuanya, C. U., & Nwigbo, S. (2008). The effect of filler content and size on the mechanical properties of unsaturated polyester/coconut empty fruit shell and fiber composite. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4, 107-111.
- [7] Siddika, S., Mansura, F., Hasan, M., & Hassan, A. (2014). Effect of reinforcement and chemical treatment of fiber on The Properties of jute-coir fiber reinforced hybrid polypropylene composites. *Fibers and Polymers*, 15(5), 1023–1028.
- [8] Li, Z., Wang, L., & Wang, X. (2006). Flexural characteristics of coir fiber reinforced cementitious composites. *Fibers and Polymers*, 7(3), 286–294.
- [9] สุรชัย โภเมนธรรมโสภณ. (2556). “การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ฝุ่นแกรนิตคัดขนาดเป็นส่วนผสมแทนทราย กรณีศึกษาหินฝุ่นแกรนิตจากโรงโม่หินของบริษัทโรงโม่ไทยจำกัด.” วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ปีที่5 ฉบับที่1: 49-60.
- [10] นิรุช สุขสมเขตร. (2539). คอนกรีตผสมใยมะพร้าว. ปรินูญานิพนธ์ในภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [11] ประภาพร กิตติเสนาชัย. (2561). “ศักยภาพในการแข่งขันของมะพร้าวไทย.” สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Lima, E. B. C., et al. (2015). "Cocos nucifera (L.)(Arecaceae): A phytochemical and pharmacological review." *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 48, 11: 953-964.
- [13] yrprincess. (2557). ลูกมะพร้าวคือส่วนของอะไร... >> ผลสด / ผลแห้งแบบถั่ว (nut) / เมล็ด ??? เข้าถึงเมื่อ 24 สิงหาคม 2563. เข้าถึงได้จาก <https://www.scimath.org/article-biology/item/4429-gg-nut>.
- [14] Costa, C. T. C., et al. (2010). "Anthelmintic activity of Cocos nucifera L. on intestinal nematodes of mice." *Research in veterinary science* 88, 1: 101-103.
- [15] Yong, Jean WH, et al. (2009). "The chemical composition and biological properties of coconut (Cocos nucifera L.) water." *Molecules* 14, 12: 5144-5164.
- [16] Reddy, E. P., and Lakshmi, T. M. (2014). "Coconut water-properties, uses, nutritional benefits in health and wealth and in health and disease: a review." *Journal of Current Trends in Clinical Medicine and Laboratory Biochemistry* 2, 2: 6-18.
- [17] Jústiz-Smith, Nilza G., G. Junior Virgo, and Vernon E. Buchanan. (2008). "Potential of Jamaican banana, coconut coir and bagasse fibres as composite materials." *Materials characterization* 59, 9: 1273-1278.
- [18] Bader, Michael G., et al. (2000). "The Composites Market" in *Comprehensive Composite Materials*. Amsterdam: Elsevier. pp. 1-13.
- [19] K. K. Chawla, et al. (2001). "Fibrous Reinforcements for composites: Overview" in *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. Amsterdam: Elsevier. pp. 3160-3167.
- [20] ชัชวาล เศรษฐบุต. (2543). "คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)." คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด.
- [21] วินิต ช่อวิเชียร. (2539). "คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)." ห้างหุ้นส่วน ป. สัมพันธ์พาณิชย์การพิมพ์ จำกัด: 195.
- [22] ปริญญา จินดาประเสริฐ, และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2553). ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีตพิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.
- [23] สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล และคณะ. (2543). ความคงทนของคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ ภายใต้คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

- [24] Tongaroonsri, S. (2009). "Prediction of autogenous shrinkage, drying shrinkage and shrinkage cracking in concrete." Doctoral dissertation, School of Civil Engineering and Technology, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University.
- [25] ศักรินทร์ เหลืองกำจร. (ม.ป.ป.). Control Drying Shrinkage Crack in Concrete. เข้าถึงเมื่อ 27 กันยายน 2563. เข้าถึงได้จาก https://cpacacademy.com/download/cpacacademy_com/b-p0059.pdf
- [26] Al-Amoudi, O. S. (1999). "Mechanisms of sulfate attack in plain and blended cements: a review." Extending Performance of Concrete Structures: Proceedings of the International Seminar held at the University of Dundee, Scotland, UK on 7 September 1999. Thomas Telford Publishing. pp. 247-260.
- [27] American Concrete Institute, ACI Committee 201. "Guide to Durable Concrete." ACI 201. 2R-92. 1992.
- [28] วรณช ตีละมัน, กัลทิมา เซาว์ชาญชัยกุล และกิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์. (2559). "การพัฒนาและผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยการผสมเส้นใยธรรมชาติ." โครงการการพัฒนาและผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยผสมเส้นใยธรรมชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559.
- [29] นันทชัย ชูศิลป์ และคณะ. (2556). "สมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยตาลโตนด." วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1.2: 89-99.
- [30] สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย และโยธิน อึ้งกุล. (ม.ป.ป.). "การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากผักตบชวา." การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาศิลปการระดับชาติ/นานาชาติ ครั้งที่ 2.
- [31] Srihabutra, Piyaphol, et al. (2017). "The usage of rice straw in interlocking block." Journal of Science and Technology Mahasarakham University 36.4: 478-485.
- [32] อาริษา โสภอาจารย์, ภาณุมาศ สุยบางคำ และสุพัตรา เพ็งเกลี้ยง. (2561). "เครื่องอัดอิฐตกแต่งจากทางปาล์มน้ำมันชนิดไฮดรอลิกส์แฮนด์ปั๊ม." วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 10.3: 347-355.
- [33] ดิศสกุล อั้งตระกุล และกิตติพงศ์ รื่นวงศ์. (2562). "การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากใยบัวหอม." วารสารวิชาการ การออกแบบสภาพแวดล้อม 6.1: 92-107.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ก.1 การยวบตัวของคอนกรีต

ลำดับ ที่	สัญลักษณ์	ส่วนผสมคอนกรีต (kg/m ³)						ค่ายวบตัว (mm)
		ปูนซีเมนต์ (Kg)	ทราย (kg)	เส้นใย มะพร้าว	หินฝุ่น (kg)	น้ำ (kg)	W/C	
1	C	400	747	-	1003	240	0.60	150
2	C-CB15	400	635	15%v	1003	240	0.60	145
3	C-CB30	400	523	30%v	1003	240	0.60	100
4	C-CB50	400	374	50%v	1003	240	0.60	80
5	C-CB75	400	187	75%v	1003	240	0.60	55
6	C-CB100	400	-	100%v	1003	240	0.60	45
7	C-NB15	400	635	15%v	1003	240	0.60	100
8	C-NB30	400	532	30%v	1003	240	0.60	90
9	C-NB50	400	374	50%v	1003	240	0.60	60
10	C-NB75	400	187	75%v	1003	240	0.60	50
11	C-NB100	400	-	100%v	1003	240	0.60	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

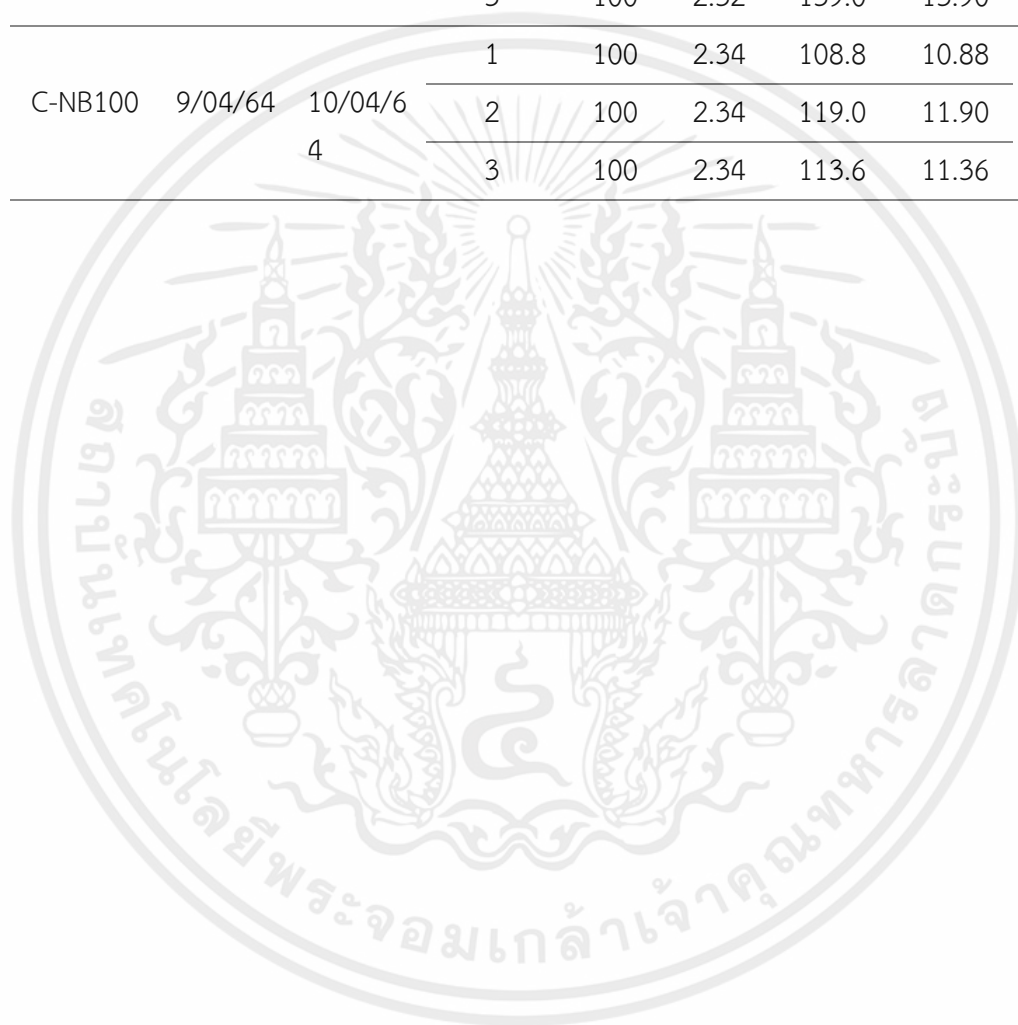
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน โดยแช่ในสารละลายปูนขาว								
ส่วนผสม สัญลักษณ์	วันที่ผสม	วันที่ ทดสอบ	ตัวอย่าง ที่	พื้นที่ (Cm ³)	น้ำ หนัก (kg)	กำลังอัด ประลัย (KN)	กำลัง อัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (MPa)
C	5/04/64	6/04/64	1	100	2.34	119.1	11.91	11.88
			2	100	2.34	117.8	11.78	
			3	100	2.34	119.5	11.95	
C-CB15	5/04/64	6/04/64	1	100	2.32	137.8	13.78	13.88
			2	100	2.36	137.8	13.78	
			3	100	2.34	139.9	13.99	
C-CB30	5/04/64	6/04/64	1	100	2.34	116.6	11.66	14.00
			2	100	2.38	140.0	14.00	
			3	100	2.34	144.5	14.45	
C-CB50	6/04/65	7/04/64	1	100	2.34	116.5	11.65	14.05
			2	100	2.32	119.8	11.98	
			3	100	2.32	122.4	12.24	
C-CB75	6/04/64	7/04/64	1	100	2.32	140.5	14.05	15.11
			2	100	2.36	127.7	12.77	
			3	100	2.36	102.6	10.26	
C-CB100	7/04/64	8/04/64	1	100	2.34	170.6	17.06	15.90
			2	100	2.36	151.1	15.11	
			3	100	2.38	166.9	16.69	
C-NB15	7/04/64	8/04/64	1	100	2.34	98.9	9.89	12.20
			2	100	2.32	94.1	9.41	
			3	100	2.36	68.5	6.85	
C-NB30	8/04/64	9/04/64	1	100	2.34	140.1	14.01	12.66
			2	100	2.34	122.0	12.20	
			3	100	2.34	131.1	13.11	
C-NB50	8/04/64	9/04/64	1	100	0.00	119.8	11.98	12.61
			2	100	2.34	119.7	11.97	
			3	100	2.32	132.4	13.24	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ก.2 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน โดยแช่ในสารละลายปูนขาว								
ส่วนผสม สัญลักษณ์	วันที่ผสม	วันที่ ทดสอบ	ตัวอย่าง ที่	พื้นที่ (Cm ³)	น้ำ หนัก (kg)	กำลังอัด ประลัย (KN)	กำลัง อัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (MPa)
C-NB75	8/04/64	9/04/64	1	100	2.34	145.5	14.55	13.90
			2	100	2.34	141.1	14.11	
			3	100	2.32	139.0	13.90	
C-NB100	9/04/64	10/04/64	1	100	2.34	108.8	10.88	14.11
			2	100	2.34	119.0	11.90	
			3	100	2.34	113.6	11.36	
			4					



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน โดยแช่ในสารละลายปูนขาว								
ส่วนผสม สัญลักษณ์	วันที่ผสม	วันที่ ทดสอบ	ตัวอย่าง ที่	พื้นที่ (Cm ³)	น้ำ หนัก (kg)	กำลังอัด ประลัย (KN)	กำลัง อัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (MPa)
C	5/04/64	12/04/64	1	100	2.34	286.2	28.62	23.27
			2	100	2.38	228.2	22.82	
			3	100	2.36	237.1	23.71	
C-CB15	5/04/64	12/04/64	1	100	2.38	317.3	31.73	24.92
			2	100	2.40	263.3	26.33	
			3	100	2.40	322.2	32.22	
C-CB30	5/04/64	12/04/64	1	100	2.38	241.2	24.12	25.45
			2	100	2.32	259.8	25.98	
			3	100	2.34	249.2	24.92	
C-CB50	6/04/65	13/04/64	1	100	2.34	241.0	24.10	25.78
			2	100	2.36	251.6	25.16	
			3	100	2.34	257.8	25.78	
C-CB75	6/04/65	13/04/64	1	100	2.38	214.5	21.45	25.81
			2	100	2.38	258.1	25.81	
			3	100	2.42	237.0	23.70	
C-CB100	7/04/65	14/04/64	1	100	2.42	240.6	24.06	26.48
			2	100	2.36	288.9	28.89	
			3	100	2.38	320.7	32.07	
C-NB15	7/04/65	14/04/64	1	100	2.34	265.8	26.58	24.00
			2	100	2.32	264.1	26.41	
			3	100	2.36	263.5	26.35	
C-NB30	8/04/65	15/04/64	1	100	2.34	268.4	26.84	24.55
			2	100	2.38	278.2	27.82	
			3	100	2.46	189.9	18.99	
C-NB50	8/04/65	15/4/64	1	100	2.34	286.7	28.67	25.50
			2	100	2.38	273.8	27.38	
			3	100	2.38	271.6	27.16	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน โดยแช่ในสารละลายปูนขาว								
ส่วนผสม สัญลักษณ์	วันที่ผสม	วันที่ ทดสอบ	ตัวอย่าง ที่	พื้นที่ (Cm ³)	น้ำ หนัก (kg)	กำลังอัด ประลัย (KN)	กำลัง อัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (MPa)
C-NB75	8/04/65	15/04/64	1	100	2.36	287.8	28.78	25.51
			2	100	2.46	199.8	19.98	
			3	100	2.36	265.6	26.56	
C-NB100	9/04/64	16/04/64	1	100	2.36	281.7	28.17	24.10
			2	100	2.44	162.1	16.21	
			3	100	2.36	200.2	20.02	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

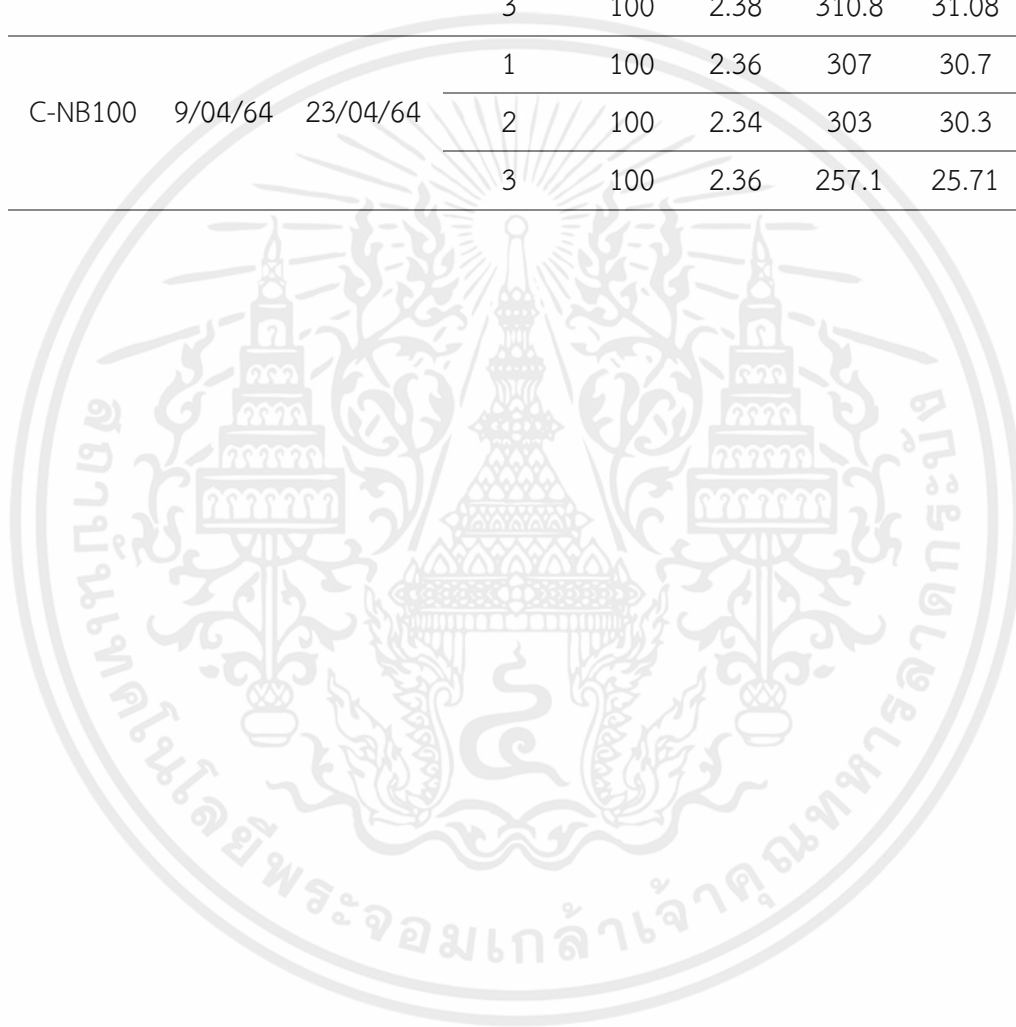
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 14 วัน

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 14 วัน โดยแก้ไขในสารละลายปูนขาว								
ส่วนผสม สัญลักษณ์	วันที่ผสม	วันที่ ทดสอบ	ตัวอย่าง ที่	พื้นที่ (Cm ³)	น้ำ หนัก (kg)	กำลังอัด ประลัย (KN)	กำลัง อัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (MPa)
C	5/04/64	19/04/64	1	100	2.36	272.7	27.27	27.27
			2	100	2.34	315	31.50	
			3	100	2.42	273.9	27.39	
C-CB15	5/04/64	19/04/64	1	100	2.38	276.3	27.63	28.49
			2	100	2.40	330.1	33.01	
			3	100	2.38	355.1	35.51	
C-CB30	5/04/64	19/04/64	1	100	2.36	263.5	26.35	29.41
			2	100	2.40	266.9	26.69	
			3	100	2.32	276.1	27.61	
C-CB50	6/04/64	20/04/64	1	100	2.36	253.7	25.37	29.59
			2	100	2.40	161.2	16.12	
			3	100	2.38	277.1	27.71	
C-CB75	6/04/64	20/04/64	1	100	2.38	305.2	30.52	30.52
			2	100	2.40	261.6	26.16	
			3	100	2.40	247.7	24.77	
C-CB100	7/04/64	21/04/64	1	100	2.38	350.9	35.09	32.53
			2	100	2.36	325.0	32.50	
			3	100	2.38	325.5	32.55	
C-NB15	7/04/64	21/04/64	1	100	2.36	310.1	31.01	28.13
			2	100	2.36	281.3	28.13	
			3	100	2.34	298.6	29.89	
C-NB30	8/04/64	22/04/64	1	100	2.40	259.5	25.95	28.26
			2	100	2.40	296.8	29.68	
			3	100	2.36	259.3	25.93	
C-NB50	8/04/64	22/04/64	1	100	2.38	285.4	28.54	28.54
			2	100	2.36	313	31.3	
			3	100	2.46	198	19.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 14 วัน (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 14 วัน โดยแช่ในสารละลายปูนขาว								
ส่วนผสม สัญลักษณ์	วันที่ผสม	วันที่ ทดสอบ	ตัวอย่าง ที่	พื้นที่ (Cm ³)	น้ำ หนัก (kg)	กำลังอัด ประลัย (KN)	กำลัง อัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (MPa)
C-NB75	8/04/64	22/04/64	1	100	2.36	284.5	28.45	29.77
			2	100	2.40	325.2	32.52	
			3	100	2.38	310.8	31.08	
C-NB100	9/04/64	23/04/64	1	100	2.36	307	30.7	30.50
			2	100	2.34	303	30.3	
			3	100	2.36	257.1	25.71	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน โดยแช่ในสารละลายปูนขาว								
ส่วนผสม สัญลักษณ์	วันที่ผสม	วันที่ ทดสอบ	ตัวอย่าง ที่	พื้นที่ (cm^2)	น้ำ หนัก (kg)	กำลังอัด ประลัย (KN)	กำลัง อัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (MPa)
C	5/04/64	3/05/64	1	100	2.38	341.7	34.17	30.02
			2	100	2.38	356.6	35.66	
			3	100	2.36	310.2	31.02	
C-CB15	5/04/64	3/05/64	1	100	2.36	273.2	27.32	31.16
			2	100	2.36	284.9	28.49	
			3	100	2.38	311.6	31.16	
C-CB30	5/04/64	3/05/64	1	100	2.38	250.5	25.05	31.21
			2	100	2.38	260.9	26.09	
			3	100	2.38	312.1	31.21	
C-CB50	6/04/64	4/05/64	1	100	2.34	232.6	23.26	31.41
			2	100	2.36	314.1	31.41	
			3	100	2.34	218.4	21.84	
C-CB75	6/04/64	4/05/64	1	100	2.36	302.1	30.21	32.94
			2	100	2.40	329.4	32.94	
			3	100	2.38	305.5	30.55	
C-CB100	7/04/64	5/05/64	1	100	2.42	289.4	28.94	33.51
			2	100	2.40	335.1	33.51	
			3	100	2.40	237.9	23.79	
C-NB15	7/04/64	5/05/64	1	100	2.36	325.5	32.55	30.33
			2	100	2.40	281.1	28.11	
			3	100	2.38	282.6	28.26	
C-NB30	8/04/64	6/05/64	1	100	2.38	359.5	35.95	30.89
			2	100	2.40	308.9	30.89	
			3	100	2.38	352.1	35.21	
C-NB50	8/04/64	6/05/64	1	100	2.38	291.3	29.13	30.71
			2	100	2.36	348.6	34.86	
			3	100	2.46	281.5	28.51	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน โดยแช่ในสารละลายปูนขาว								
ส่วนผสม สัญลักษณ์	วันที่ผสม	วันที่ ทดสอบ	ตัวอย่าง ที่	พื้นที่ (cm ³)	น้ำ หนัก (kg)	กำลังอัด ประลัย (KN)	กำลัง อัด (MPa)	ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (MPa)
C-NB75	8/04/64	6/05/64	1	100	2.36	315.1	31.51	31.23
			2	100	2.40	301.1	30.11	
			3	100	2.38	279	27.9	
C-NB100	9/04/64	7/05/64	1	100	2.36	306.5	30.65	31.68
			2	100	2.34	316.8	31.68	
			3	100	2.36	297.6	29.76	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข.1 การหัตถ์ของอโตจิ้นส์ของมอ์ตาร

การทดสอบการหัตถ์แบบอโตจิ้นส์ของมอ์ตาร(ร้อยละ)					
ลำดับที่	สัญลักษณ์	อายุ(วัน)			
		1	7	14	28
1	M	0.000	0.003	0.012	0.026
2	M-CB15	0.000	0.006	0.014	0.020
3	M-CB30	0.000	0.009	0.010	0.022
4	M-CB50	0.000	0.010	0.012	0.021
5	M-CB75	0.000	0.003	0.006	0.018
6	M-CB100	0.000	0.002	0.008	0.021
7	M-NB15	0.000	0.006	0.008	0.012
8	M-NB30	0.000	0.006	0.010	0.018
9	M-NB50	0.000	0.007	0.011	0.016
10	M-NB75	0.000	0.003	0.007	0.014
11	M-NB100	0.000	0.002	0.005	0.015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การหาค่าแบบแห้งของมอร์ตาร์

การทดสอบการหดตัวโดยรวมของมอร์ตาร์(ร้อยละ)					
ลำดับที่	สัญลักษณ์	อายุ(วัน)			
		1	7	14	28
1	M	0.000	0.018	0.037	0.048
2	M-CB15	0.000	0.021	0.033	0.041
3	M-CB30	0.000	0.028	0.035	0.051
4	M-CB50	0.000	0.027	0.034	0.036
5	M-CB75	0.000	0.019	0.038	0.037
6	M-CB100	0.000	0.015	0.030	0.042
7	M-NB15	0.000	0.019	0.030	0.035
8	M-NB30	0.000	0.025	0.037	0.044
9	M-NB50	0.000	0.016	0.032	0.039
10	M-NB75	0.000	0.018	0.031	0.041
11	M-NB100	0.000	0.019	0.032	0.038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 การขยายตัวในสารละลายซัลเฟตของมอร์ตาร์

การทดสอบการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (มม.)					
ลำดับที่	สัญลักษณ์	อายุ(วัน)			
		1	7	14	28
1	M	0.000	0.019	0.027	0.029
2	M-CB15	0.000	0.023	0.028	0.031
3	M-CB30	0.000	0.024	0.034	0.038
4	M-CB50	0.000	0.022	0.029	0.032
5	M-CB75	0.000	0.025	0.030	0.033
6	M-CB100	0.000	0.021	0.028	0.029
7	M-NB15	0.000	0.016	0.018	0.019
8	M-NB30	0.000	0.022	0.025	0.026
9	M-NB50	0.000	0.021	0.024	0.026
10	M-NB75	0.000	0.020	0.023	0.027
11	M-NB100	0.000	0.018	0.020	0.023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

แสดงขั้นตอนการผลิตชิ้นทดสอบคอนกรีตบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 300 กรัม



(ข) ชั่งโซเดียมซัลเฟต 400 กรัม



(ค) ปูนขาว 80 กรัม

รูปที่ค.1 การเตรียมสารละลาย

หมายเหตุ ต้องการสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% ภาชนะที่ใช้บรรจุสามารถจุสารละลายได้ 30 ลิตร สารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 5% และน้ำที่อิมัลชันด้วยปูนขาวความเข้มข้น 1% ภาชนะที่ใช้บรรจุสามารถจุสารละลายได้ 8 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ค.2 ปริมาณของเส้นใยมะพร้าวที่ใช้ต่อ 1 ลูกบาศก์ เท่ากับ 60 กรัม



(ก) เส้นใยมะพร้าว 15%



(ข) เส้นใยมะพร้าว 30%



(ค) เส้นใยมะพร้าว 50%



(ง) เส้นใยมะพร้าว 75%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) เส้นใยมะพร้าว 100%

รูปที่ค.3 เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยมะพร้าวต่อปริมาตร



(ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



(ข) หินฝุ่น



(ค) น้ำ



(ง) ทรายละเอียด

รูปที่ค.4 ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) C



(ข) C-CB15



(ค) C-CB30



(ง) C-CB50



(จ) C-CB75



(ฉ) C-CB100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) C-NB15



(ค) C-NB30



(ณ) C-NB50



(ด) C-NB75



(จ) C-NB100

รูปที่ค.5 ชั้นทดสอบในการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



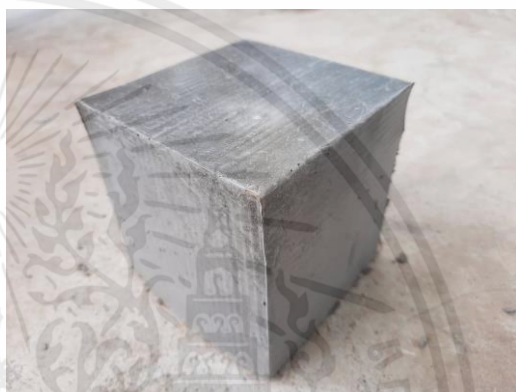
(ก) M



(ข) M-CB15



(ค) M-CB30



(ง) M-CB50

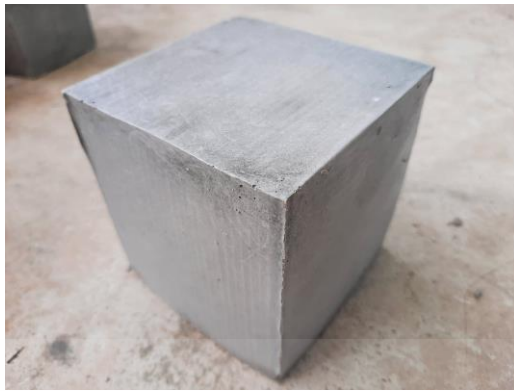


(จ) M-CB75



(ฉ) M-CB100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ช) M-NB15



(ซ) M-NB30



(ฅ) M-NB50



(ณ) M-NB75



(ฎ) M-NB100

รูปที่ 6 ชั้นทดสอบสำหรับการหดตัวแบบอโตจีนัส การหดตัวโดยรวม และการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟตของมอร์ตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ประวัติการศึกษา

ชื่อ-นามสกุล	นายสหรัฐ ตั้งจิตวัฒนกุล
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา	จังหวัดปทุมธานี
ที่อยู่	1069/9 หมู่ที่3 ตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000
E-mail	60512103@kmitl.ac.th

ผลงานและกิจกรรม

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนปทุมวิไล
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- เข้าร่วมโครงการศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรมโรงหล่อใบจักร ณ หจก.ระนองอุตสาหกรรมหล่อเหล็กและใบจักร จังหวัด ระนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ประวัติการศึกษา

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวน้ำฝน นาคมนี
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา	จังหวัดเพชรบุรี
ที่อยู่	1069/9 ถนนพุททวย ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120
E-mail	namfon.nmn@gmail.com

ผลงานและกิจกรรม

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนหัวหิน
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- เข้าร่วมโครงการศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรมโรงหล่อใบจักร ณ หจก.ระนองอุตสาหกรรมหล่อเหล็กและใบจักร จังหวัด ระนอง
- 2019 “Energy Literacy for a Sustainable Future” STEA Class 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ประวัติการศึกษา

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุมินทร์ตรา ยอดเกลี้ยง
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 18 ตุลาคม 2541
ภูมิลำเนา	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่อยู่	89 ตำบลขอนหาด อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช 80180
E-mail	amsumintra2541@gmail.com

ผลงานและกิจกรรม

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนขอนหาดประชาสรรค์
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- เข้าร่วมโครงการศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรมโรงหล่อใบจักร ณ หจก.ระนองอุตสาหกรรมหล่อเหล็กและใบจักร จังหวัด ระนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้