

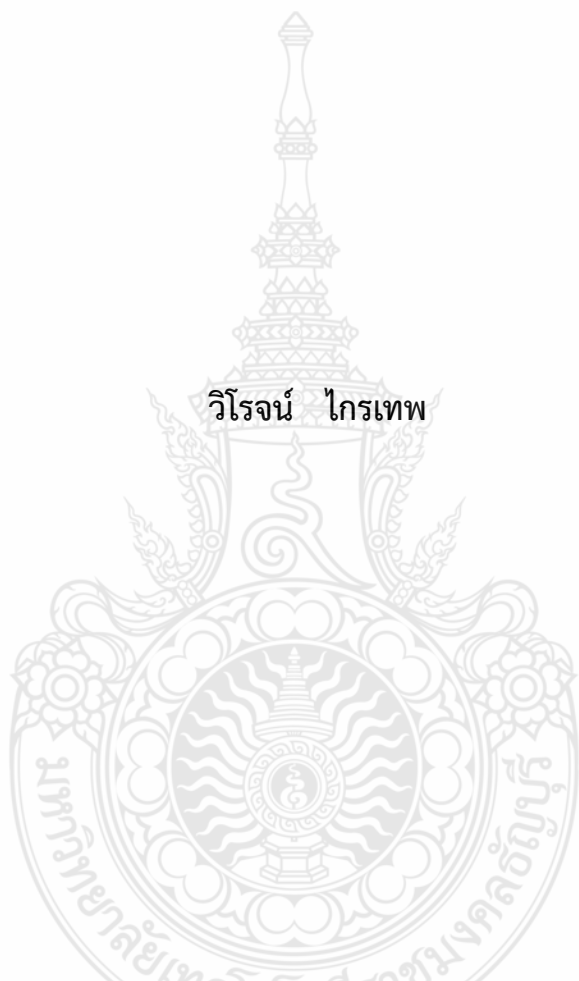
สมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน

MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT PASTE REINFORCED
WITH COCONUT FIBER BY USING PORTLAND CEMENT AS
CEMENTIOUS MATERIALS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

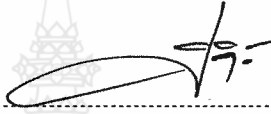
สมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน




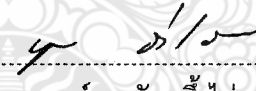
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

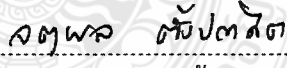
หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุประสาน
Mechanical Properties of Cement Paste Reinforced with Coconut Fiber by Using Portland Cement as Cementious Materials
ชื่อ - นามสกุล นายวิโรจน์ ไกรเทพ
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.
ปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ปิติศานต์ กร้ามาตร, ปร.ด.)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ทวีชัย สำราญวานิช, ปร.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญชัย ผึ้งไผ่งาม, ปร.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 20 เดือน มกราคม พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน
ชื่อ - นามสกุล	นายวิโรจน์ ไกรเทพ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าศักยภาพในการนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ทำการศึกษาการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับเส้นใยมะพร้าว โดยทดสอบสมบัติกำลังอัด แรงดึง แรงเฉือน แรงดึงแบบผ่าซีก และแรงดึงโดยตรง

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วัสดุเส้นใยมะพร้าว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำ ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 11.2 : 29.6 : 59.2 , 12.1 : 28.8 : 59.1 และ 13.0 : 28.0 : 59.0 โดยปริมาตรตามลำดับ อัดขึ้นรูปตัวอย่างคานขนาด 10X10X60 เซนติเมตร คานขนาด 10X10X30 เซนติเมตร และทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15X30 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแรงอัด แรงเฉือน แรงดึงโดยตรง กำลังอัด และแรงดึงแบบผ่าซีก ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน

ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัด แรงดึง แรงเฉือน และแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยมะพร้าวที่มากขึ้น โดยที่สัดส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 13.0 โดยปริมาตร ให้ค่าสูงสุด สำหรับการทดสอบแรงดึงโดยตรง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าวจะทำให้แรงดึงโดยตรงมีค่าลดลง โดยเส้นใยมะพร้าวที่ร้อยละ 11.2 โดยปริมาตร มีค่าแรงดึงโดยตรงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน พบว่าที่อายุ 90 วัน สมบัติการรับแรงทุกการทดสอบมีค่าลดลง

คำสำคัญ : กำลังอัด แรงดึงแบบผ่าซีก แรงดึงโดยตรง แรงดึง แรงเฉือน

Thesis Title Mechanical Properties of Cement Paste Reinforced with Coconut Fiber by Using Portland Cement as Cementitious Materials
Name - Surname Mr. Virod Kraithep
Program Civil Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Jatuphon Tangpagasit, Ph.D.
Academic Year 2019

ABSTRACT

The objective of this research was to study the potential of using coconut fiber in the construction industry. The researcher studied the use of Portland cement with coconut fibers by testing the compressive strength, bending strength, shear strength, splitting tensile strength, and direct tensile strength.

In this study, the coconut fiber material was mixed by Portland cement and water at the ratios of 11.2: 29.6: 59.2, 12.1: 28.8: 59.1, and 13.0: 28.0: 59.0 percent by volume, respectively. Beam size 10X10X60 cm, 10X10X30 cm and cylinder of dimension 15X30 cm were extruded to test bending, shear, direct tensile, compressive strength, and splitting tensile strength, respectively at the age of 28 and 90 days.

The test results showed that the compressive strength, bending strength, shear strength and splitting tensile strength increased with the increase of coconut fiber amount. The ratio of coconut fiber mixed at 13.0 percent by volume yields the highest values. For direct tensile strength, it was found that the direct tensile strength decreased when the amount of coconut fiber was increased. The coconut fibers at 11.2 percent by volume had the highest direct tensile strength. Comparing between the age of 28 days and 90 days, it was shown that at the age of 90 days, all mechanical properties decreased.

Keywords : compressive strength, splitting tensile strength, direct tensile strength, bending strength, shear strength

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากการอนุเคราะห์ และให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งการให้ความสนับสนุนเป็นอย่างดีจากหลายฝ่าย ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาแนะนำและเสนอแนวทางในการทำวิจัยจนสำเร็จ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ปิติศานตร์ กร้ามาตร รองศาสตราจารย์ทวีชัย สำราญวานิช และผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญชัย ผึ้งไผ่งาม ที่เสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมถึงการให้ข้อเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมโยธา ซึ่งส่งผลให้วิทยานิพนธ์บรรลุตามจุดประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ อีกทั้งปลูกฝังแนวคิดแนวทางปฏิบัติตน เพื่อให้เป็นบุคลากรที่ดีของสังคมต่อไป

วีโรจน์ ไกรเทพ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(4)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(6)
สารบัญ.....	(7)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	13
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	14
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย.....	15
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 กำเนิดของคอนกรีต.....	16
2.2 คอนกรีตผสมเส้นใย.....	17
2.3 เส้นใยธรรมชาติ.....	19
2.4 เส้นใยมะพร้าว.....	20
2.5 วัสดุประสาน.....	22
2.6 การบ่มแห้งตัวอย่าง.....	26
2.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแห้งตัวอย่าง.....	26
2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	41
3.1 วิธีการดำเนินการ.....	41
3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	44
3.3 คุณสมบัติพื้นฐานเชิงกลของวัสดุใยมะพร้าว.....	47
3.4 การหล่อและบ่มแห้งตัวอย่าง.....	48
3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแห้งตัวอย่าง.....	50
3.6 การวิเคราะห์ และสรุปผลงานวิจัย.....	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์	58
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัด.....	58
4.2 ผลการทดสอบแรงดึงโดยตรง	59
4.3 ผลการทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก	60
4.4 ผลการทดสอบแรงดัด	61
4.5 ผลการทดสอบแรงเฉือน	62
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผล	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	64
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก มาตรฐานการทดสอบ.....	69
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ	89
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	92
ประวัติผู้เขียน	120



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าลักษณะเฉพาะเกี่ยวกับความหนาแน่น เส้นผ่านศูนย์กลาง และสมบัติเชิงกล ของเส้นใยจากธรรมชาติ	20
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์	23
ตารางที่ 2.3 สารประกอบที่สำคัญในเม็ดปูน	24
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวและวัสดุประสานที่ใช้ในการทดสอบ	42
ตารางที่ 3.2 การทดสอบสมบัติพื้นฐานเชิงกลของวัสดุใยมะพร้าว	47
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบของแท่งตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วัน	56
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบของแท่งตัวอย่างที่อายุการบ่ม 90 วัน	57



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 พฤติกรรมการรับแรงดึงระหว่างความเค้นดึงกับความเครียดดึงของวัสดุประสานกับเส้นใย	19
รูปที่ 2.2 กระบวนการคัดแยกเส้นใยมะพร้าว	21
รูปที่ 2.3 การทดสอบแรงอัด (Compressive strength)	27
รูปที่ 2.4 การทดสอบแรงเฉือน (Shearing test).....	29
รูปที่ 2.5 การทำงานของเครื่องทดสอบการรับแรงดึง	30
รูปที่ 2.6 เครื่องมือทดสอบแรงดึงโดยตรง	30
รูปที่ 2.7 รูปแบบตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแรงดึงโดยตรง.....	32
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการทดสอบแรงดึงโดยตรง.....	33
รูปที่ 2.9 การทดสอบแรงดึงโดยตรง (Direct tensile test).....	33
รูปที่ 2.10 การทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting strength).....	34
รูปที่ 2.11 การทดสอบแรงดัด (Flexural test).....	36
รูปที่ 3.1 ผังแสดงกระบวนการดำเนินการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน	43
รูปที่ 3.2 เส้นใยมะพร้าว	44
รูปที่ 3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	44
รูปที่ 3.4 แบบเหล็กอัดขึ้นรูป	45
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล	45
รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก.....	46
รูปที่ 3.7 เครื่องผสมวัสดุประสานกับน้ำขนาดเล็ก	46
รูปที่ 3.8 พลาสติกใส PVC	47
รูปที่ 3.9 การผสมวัสดุประสานกับเส้นใยมะพร้าว	48
รูปที่ 3.10 การอัดขึ้นรูปแท่งทรงกระบอก Ø 15X30 ซม.....	48
รูปที่ 3.11 การอัดขึ้นรูปแท่งคาน 10X10X60 ซม.....	49
รูปที่ 3.12 ถอดแบบหล่อพร้อมหุ้มแผ่นพลาสติกใสบ่มแท่งตัวอย่าง	49
รูปที่ 3.13 วัดขนาด และชั่งน้ำหนักแท่งตัวอย่างทรงกระบอก.....	50
รูปที่ 3.14 การทดสอบกำลังอัด	50
รูปที่ 3.15 การวิบัติเนื่องจากแรงอัด	50

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.16 วัดขนาด และชั่งน้ำหนักแท่งตัวอย่างแท่งคานสีเหลือง.....	51
รูปที่ 3.17 การทดสอบแรงดัด.....	51
รูปที่ 3.18 การวิบัติเนื่องจากแรงดัด.....	51
รูปที่ 3.19 การทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก.....	52
รูปที่ 3.20 การวิบัติเนื่องจากแรงดึงแบบผ่าซีก.....	52
รูปที่ 3.21 หัวยึดแท่งตัวอย่างทดสอบแรงดึงโดยตรง.....	53
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างที่เจาะรูเสร็จและประกอบเข้ากับชุดทดสอบแรงดึงโดยตรง.....	53
รูปที่ 3.23 การทดสอบแรงดึงโดยตรง.....	54
รูปที่ 3.24 การวิบัติเนื่องจากแรงดึงโดยตรง.....	54
รูปที่ 3.24 การทดสอบแรงเฉือน.....	55
รูปที่ 3.25 การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน.....	55
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงของแต่ละอัตราส่วนที่อายุ 28 วัน.....	56
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงของแต่ละอัตราส่วนที่อายุ 90 วัน.....	57
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว.....	58
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงโดยตรงและอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว.....	59
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงแบบผ่าซีกและอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว.....	60
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดและอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว.....	61
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนและอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว.....	62

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Al_2O_3	Aluminium oxide
CaO	Calcium Oxide
Fe_2O_3	Ferric Oxide
H_2O	Water
H_2SO_4	Sulfuric Acid
MgO	Magnesium Oxide
SiO_2	Silicon Dioxide
TiO_2	Titanium Dioxide
MgCO_3	Magnesium Carbonate
MgSO_4	Magnesium Sulfate
NaCl	Sodium Chloride
NaOH	Sodium Hydroxide
Na_2O	Sodium Oxide
K_2O	Potassium Oxide
P_2O_5	Diphosphorus Pentoxide
NaSO_4	Sodium Sulfate
SiO_2	Silicon Dioxide
SO_3	Sulfur Trioxide
C_2S	Dicalcium Silicate
C_3S	Tricalcium Silicate
C_3A	Tricalcium Aluminate
ASTM	American Society for Testing and Materials

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ประเทศต่างๆ ทั่วโลก กำลังให้ความสำคัญกับภาวะโลกร้อน และสาเหตุอันดับหนึ่ง คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme : UNEP) ร่วมกับองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization : WMO) ได้จัดตั้งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) เพื่อเป็นหน่วยงานกลางในการศึกษาให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจด้านการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งประเทศไทยได้ร่วมให้สัตยาบันเป็นภาคีในกรอบอนุสัญญาฯ แบบประเทศนอกกลุ่มภาคผนวก (Non - Annex) ได้มีการประชุมเพื่อกำหนดมาตรการบังคับให้ปฏิบัติตามอนุสัญญาฯ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ ให้อยู่ในระดับที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพภูมิอากาศ และให้เวลาแก่ระบบนิเวศน์ทางธรรมชาติ ได้ปรับตัวตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง และได้บทสรุปออกมาเป็นพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ในการที่ประเทศที่พัฒนาแล้ว (Annex 1) เช่น สหภาพยุโรป แคนาดา ญี่ปุ่น เป็นต้น จะต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจกให้ต่ำกว่าระดับก๊าซที่เป็นมลพิษ ซึ่งประเทศเหล่านี้กำลังประสบปัญหาในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกดังกล่าว จึงได้มีการดำเนินการในเรื่องการซื้อขายมลพิษหรือคาร์บอนเครดิตเกิดขึ้น มีการซื้อโควตา คาร์บอนจากผู้ประกอบการในประเทศกำลังพัฒนาโดยตรง

คาร์บอนเครดิต คือการซื้อสิทธิในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยประเทศพัฒนาแล้วจะเป็นผู้ซื้อสิทธิ ส่วนประเทศกำลังพัฒนาจะเป็นผู้ขายสิทธิ โดยคาร์บอนเครดิตเกิดขึ้น จากข้อตกลงพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ซึ่งอยู่ภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีภาคีทั้งหมด 191 ประเทศ และมีผลบังคับใช้ เมื่อ 16 กุมภาพันธ์ 2548 โดยสาระสำคัญของพิธีสารเกียวโต คือประเทศพัฒนาแล้ว หรือประเทศผู้ซื้อคาร์บอนเครดิตที่เป็นภาคีพิธีสารเกียวโต จำนวน 41 ประเทศ มีพันธกรณี ในการลดปริมาณ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (อาทิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ เป็นต้น) ระหว่างปี 2551-2555 ให้ได้ร้อยละ 5.2 จากปริมาณการปล่อยในปี 2533 ซึ่งหากไม่สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามปริมาณที่กำหนดจะต้องถูกปรับ โดยค่าปรับในกรณีของประเทศในกลุ่มสหภาพ ยุโรประหว่างปี 2551-2555 สูงถึง 100 ยูโร (ประมาณ 5,000 บาท) ต่อ 1 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าประเทศพัฒนาแล้วไม่ต้องการถูกปรับจะต้องซื้อสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากประเทศกำลังพัฒนา ทั้งนี้ ภายใต้พิธีสารเกียวโต ประเทศกำลังพัฒนาหรือประเทศผู้ขายคาร์บอนเครดิต ที่เป็นภาคีพิธีสารเกียวโต จำนวน 150 ประเทศ เช่นประเทศไทยไม่มีพันธกรณีให้ลดปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่สามารถช่วยประเทศพัฒนาแล้วลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการขายสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจกผ่านกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism หรือ CDM) [1]

ประเทศไทย ปัจจุบันภาครัฐเริ่มมาสนับสนุนมากขึ้นโดยได้มีการจัดตั้ง องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) เพื่อรับรองโครงการ CDM และสนับสนุนโครงการพัฒนาที่สะอาด ทำให้มีการประดิษฐ์คิดค้นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมขึ้นมาเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก จึงมีความพยายามที่จะหาวัสดุทดแทนที่จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [2] การกลับมาใช้วัสดุจากธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งวัสดุจากธรรมชาติเป็นวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ และเป็นการใช้วัสดุที่มีความยั่งยืน กล่าวคือวัสดุจากธรรมชาติสามารถปลูกทดแทนหมุนเวียนได้ ไม่มีวันหมด จากพื้นฐานของประเทศไทยที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นหลัก ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการเกษตรเป็นจำนวนมาก โดยปัจจุบันยังไม่ได้มีการนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากกระบวนการนำมาใช้จะต้องมีขั้นตอนเป็นจำนวนมาก ต้นทุนในการผลิตจะสูง ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้

เส้นใยมะพร้าวก็เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากและหาได้ง่าย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจเกษตรกรรมกระทรวงเกษตรและสหกรณ์พบว่าปริมาณผลผลิตของมะพร้าวมีปริมาณปีละกว่าหนึ่งล้านตัน [3] โดยเนื้อและน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่จะมีส่วนที่เหลือคือเปลือกที่ต้องทิ้งซึ่งถึงแม้ว่าจะสามารถเอาไปทำเป็นเส้นใยมะพร้าว ที่เป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งในอุตสาหกรรม ที่นอนและเฟอร์นิเจอร์ แต่ปริมาณการใช้ก็เป็นเพียงส่วนน้อย ทำให้ยังมีเปลือกมะพร้าวที่ถูกทิ้งโดยไม่ได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อีกเป็นจำนวนมาก จากคุณสมบัติของเส้นใยมะพร้าวที่มีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติเป็นเส้นใยที่ยืดหยุ่นเหนียวแข็งแรงทนทานมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [4] และเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ สามารถทำลายได้ง่าย ดังนั้นใยมะพร้าวมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมก่อสร้างที่เป็นอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้วัสดุที่มาก

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ใช้เป็นตัวยึดประสานวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยผสมกับน้ำ เมื่อแข็งตัวจะมีคุณสมบัติแข็งแรงแต่เปราะ มีความเหนียวต่ำ เมื่อนำมาใช้ในงานก่อสร้างจึงมีข้อจำกัดเนื่องจากมีโอกาสแตกหักได้ง่าย

จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีแนวคิดในการพัฒนาเส้นใยมะพร้าวมาใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานเพื่อให้เส้นใยมะพร้าวยึดเกาะและมีความแข็งแรง โดยมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทางด้านวิศวกรรม เพื่อเป็นทางเลือกในการนำวัสดุจากการเกษตรมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งวัสดุก่อสร้างในปัจจุบันจะเน้นเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเป็นหลัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาพฤติกรรมของการเสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ในการรับกำลังอัด แรงดึงแบบผ่าซีก แรงดึงโดยตรง แรงดัด และแรงเฉือน พัฒนานำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติกำลังอัด แรงดัด แรงเฉือน แรงดึงแบบผ่าซีก และแรงดึงโดยตรงของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้เส้นใยมะพร้าว ต่อกำลังอัด แรงดัด แรงเฉือน แรงดึงแบบผ่าซีก และแรงดึงโดยตรง

1.2.3 เพื่อหาสัดส่วนการใช้เส้นใยมะพร้าวและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

นำเส้นใยมะพร้าวมาเป็นวัสดุหลัก โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัสดุประสาน หาสัดส่วนผสมระหว่างวัสดุประสานและเส้นใยมะพร้าวที่เหมาะสม ผสมปูนซีเมนต์กับน้ำให้เข้ากันแล้วนำไปผสมกับเส้นใยมะพร้าวโดยใช้มือคลุกเคล้าให้วัสดุประสานแทรกซึมเคลือบผิวเส้นใยมะพร้าวอย่างทั่วถึง ทำการอัดขึ้นรูปแท่งตัวอย่างคานขนาด 10X10X60 เซนติเมตร เพื่อทดสอบแรงดัด และแรงเฉือน ตัวอย่างคานขนาด 10X10X30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบแรงดึงโดยตรง ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15X30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังอัด และแรงดึงแบบผ่าซีก บ่มแท่งตัวอย่างโดยการหุ้มด้วยแผ่นพลาสติก และทดสอบเปรียบเทียบที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน

นิยามศัพท์เฉพาะ

การอัดขึ้นรูป หมายถึง กระบวนการขึ้นรูปวัสดุและใช้แรงในการอัดขึ้นรูป

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หมายถึง วัสดุใช้ในการก่อสร้างชนิดหนึ่ง ลักษณะเป็นผง เมื่อผสมกับน้ำแล้วทิ้งไว้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นผลให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวได้

ใยมะพร้าว หมายถึง เส้นใยที่ได้จากส่วนที่เป็นเปลือกชั้นในที่อยู่ระหว่างผลและเปลือกชั้นนอก ถือเป็นเส้นใยที่ได้จากผลมะพร้าว สีธรรมชาติของใยมะพร้าวเป็นสีน้ำตาลมีความแข็งแรง ทนต่อความชื้นและน้ำได้ดีทนต่อการขัดสีได้ดี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย

1.4.1 ทราบสมบัติกำลังอัด แรงดัด แรงเฉือน แรงดึงแบบผ่าซีก และแรงดึงโดยตรง ของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน

1.4.2 ทราบผลกระทบของการใช้เส้นใยมะพร้าว ต่อกำลังอัด แรงดัด แรงเฉือน แรงดึงแบบผ่าซีก และแรงดึงโดยตรง

1.4.3 ทราบสัดส่วนการใช้เส้นใยมะพร้าวและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสม

1.4.4 สามารถนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน และมีสมบัติด้านวิศวกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กำลังของคอนกรีต [5]

2.1.1 กำลังอัดของคอนกรีต

โดยสมมุติฐานคอนกรีตรับแรงอัดเป็นหลักโดยไม่สามารถรับแรงดึง กำลังอัดที่คอนกรีตรับได้อาจอยู่ในช่วง 100 ถึง 400 กก./ตร.ซม. สำหรับคอนกรีตกำลังธรรมดา หรือมีค่ามากกว่า 1000 กก./ตร.ซม. ในกรณีที่เป็นคอนกรีตกำลังสูงมาก การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่นิยมใช้กันคือ ตัวอย่างรูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

2.1.2 กำลังดึงของคอนกรีต

คอนกรีตรับแรงดึงได้ต่ำมากและเป็นวัสดุที่เปราะ โดยทั่วไปแรงดึงของคอนกรีตมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของแรงอัด การทดสอบแรงดึงของคอนกรีตมีอยู่ 2 วิธีได้แก่ วิธีโดยตรงและวิธีโดยอ้อม วิธีทดสอบแรงดึงโดยตรงคือ การดึงตัวอย่างคอนกรีตให้ขาดออกจากกัน แต่การยึดจับตัวอย่างคอนกรีตเพื่อดึงทำได้ยากมากจึงต้องทำการดัดแปลงอุปกรณ์ในการจับชิ้นตัวอย่างคอนกรีตให้สามารถรับแรงดึงโดยตรง นอกจากนี้ถ้าดึงคอนกรีตไม่ตรงแนวศูนย์กลางจริง ๆ จะมีแรงบิดหรือโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยทำให้คอนกรีตแตกหรือหักด้วยแรงอื่นที่ไม่ใช่แรงดึงโดยตรง

การทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีอ้อมเป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะทำได้ง่าย สะดวก และให้ผลการทดสอบที่น่าพอใจ การทดสอบแรงดึงโดยวิธีดัด (Bending) หรือเรียกว่าการทดสอบค่าโมดูลัสแตกร้าวและการทดสอบแรงดึงโดยวิธีผ่าซีก (Splitting Tensile Test) เป็นการทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีอ้อมที่นิยมกันมาก และพบว่าค่าแรงดึงที่ได้จากการทดสอบด้วยแรงดัดหรือโมดูลัสแตกร้าวมีค่าสูงกว่าแรงดึงที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีการผ่าซีก ค่าโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตจะมีค่าสูงกว่าแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตประมาณร้อยละ 60 ถึง 100 และมีค่าประมาณร้อยละ 11 ถึง 23 ของกำลังอัด ค่าโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตกำลังอัดประมาณ 250 กก./ตร.ซม. จะมีประมาณร้อยละ 15 ของกำลังอัด

2.1.3 กำลังเฉือนของคอนกรีต

กำลังเฉือนหรือแรงเฉือนเป็นการกระทำต่อระนาบของแรง 2 แรง ที่ขนานและขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามเพื่อให้วัสดุแยกออกจากกัน ในงานโครงสร้างคอนกรีตพบว่าแรงเฉือนมักเกิดจากแรงดึงและแรงอัดซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้วิชากลศาสตร์วัสดุ ในโครงสร้างคานคอนกรีตที่รับแรงดัดจะพบว่ามีความแข็งแรงและแรงดึงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดัด แรงอัด และแรงดึงที่เกิดขึ้นทำให้เกิดแรงเฉือน และทำให้คานคอนกรีตแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนที่อยู่ในรูปของแรงดึงทแยง การทดสอบเพื่อหาค่าแรงเฉือนของคอนกรีตโดยตรงทำได้ยากและไม่เป็นที่นิยม เพราะมักมีแรงอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่นแรงดัด แรงเสียดทาน แรงยึดที่ปลายของอุปกรณ์ทดสอบ เป็นต้น กำลังเฉือนของคอนกรีตมีค่าสูงกว่ากำลังดึงโดยตรงประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 (หรือกำลังเฉือนมีค่าประมาณร้อยละ 12 ของกำลังอัด)

ข้อจำกัดในการใช้การทดสอบแรงเฉือน (Direct shear test)

2.1.3.1 กำลังรับแรงเฉือนที่ได้เป็นค่าโดยประมาณของกำลังรับแรงเฉือนของวัสดุ เนื่องจาก

- หน่วยแรงดัด (Bending Stress) ที่เกิดขึ้นจากแรงเฉือน/ระยะเยื้องศูนย์กลาง
- แรงเสียดทานระหว่างตัวอย่างทดสอบและเครื่องมือทดสอบ
- ระดับความแข็งและความคมของแผ่นเหล็กที่ใช้เฉือนตัวอย่างทดสอบ

2.1.3.2 ไม่สามารถหาสมบัติอื่น ๆ เช่น Elastic Strength และ Shearing Modulus of Elasticity ของวัสดุได้ เนื่องจากไม่สามารถวัดหาค่า Shearing Strain

2.2 คอนกรีตผสมเส้นใย [6]

คอนกรีตถึงแม้จะมีกำลังการรับแรงอัดที่ดี แต่ก็จัดว่าเป็นวัสดุที่มีความเปราะ มีสมบัติ ในการรับแรงดึงที่ต่ำโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 ของกำลังรับแรงอัด การที่จะทำให้คอนกรีต มีความเหนียว (Ductility) นั้นจำเป็นต้องใส่วัสดุเสริมกำลังเข้าไปในเนื้อคอนกรีต เส้นใยถือว่าเป็นวัสดุ ที่นิยมนำมาผสมลงในคอนกรีตเพื่อเสริมคุณสมบัติด้อยดังกล่าว เป็นที่รู้จักกันในชื่อ คอนกรีตผสมเส้นใย ไฟเบอร์ ซึ่งคอนกรีตโดยทั่วไปที่มีการเติมเส้นใยที่มีลักษณะกระจายตัวออกจากกันแบบไม่ต่อเนื่องกัน เข้าไประหว่างการผสม ทั้งเส้นใยไฟเบอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ใยหิน ฟางข้าว ป่าน ปอ เป็นต้น หรือ เส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น เส้นใยเหล็ก เส้นใยเซรามิก เส้นใยคาร์บอน เส้นใยไนลอน และเส้นใย โพลีโพรพิลีน เป็นต้น

2.2.1 โครงสร้างของคอนกรีตผสมเส้นใย

คอนกรีตผสมเส้นใย ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ มอร์ตาร์ และ เส้นใยสำหรับคอนกรีตผสมเส้นใย จัดว่าเป็นวัสดุผสมเส้นใยชนิดไม่ต่อเนื่อง คือเส้นใยที่ผสมลงไปจะมีการกระจายตัวไปในทิศทางที่ไม่แน่นอนอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีต

Rapoport ได้ศึกษาสมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใยภายใต้สภาวะการกระทำต่าง ๆ ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนดังนี้

1) โครงสร้างของ Matrix (The Structure of The Matrix) ในคอนกรีตผสมเส้นใย โครงสร้างของ Matrix จะหมายถึงมอร์ตาร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติไม่แตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา การผสมเส้นใยสำหรับคอนกรีตผสมเส้นใย โดยทั่วไปจะผสมไม่เกินร้อยละ 2

2) รูปร่าง และลักษณะการกระจายตัวของเส้นใย (The Shape and Distribution of Fiber) เส้นใยที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตที่นำมาออกแบบใหม่รูปร่างที่ต่างกัน โดยเส้นใยที่มีรูปร่าง ต่างกันจะทำให้สมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใยที่ได้แตกต่างกัน

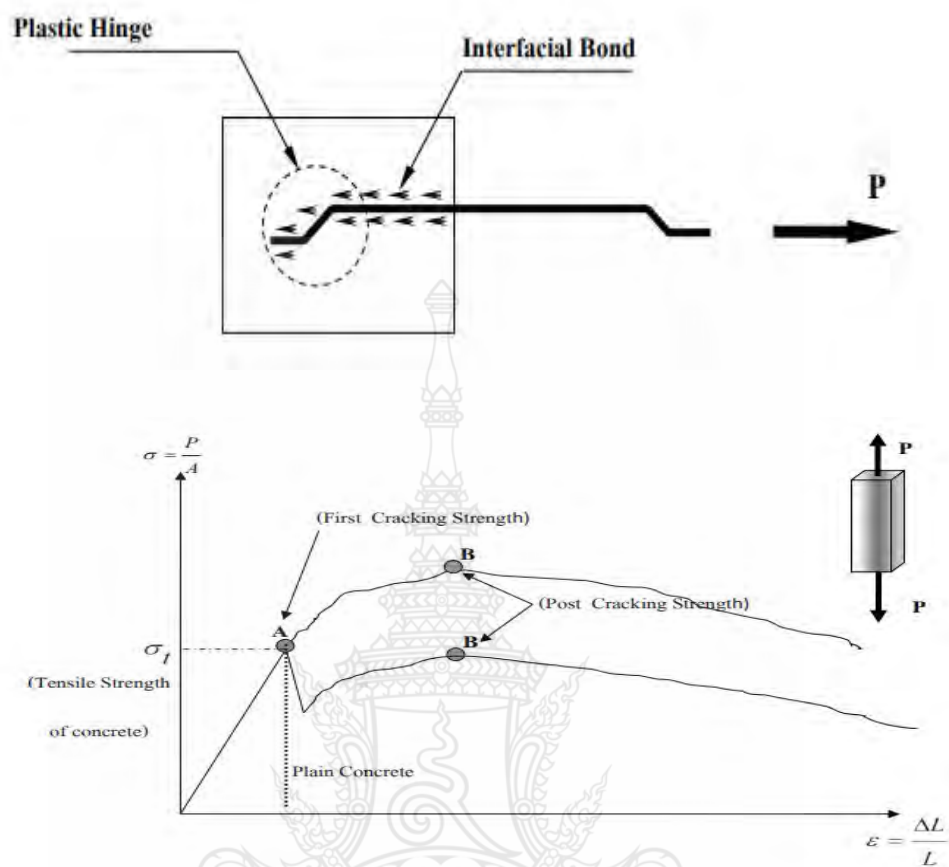
3) ผิวสัมผัสระหว่าง Matrix และ เส้นใย (The Structure of Matrix-Fiber Interface) นอกจากสมบัติทั้ง 2 ข้อ ที่กล่าวมาแล้วนั้น ผิวสัมผัสระหว่าง Matrix และเส้นใยถือว่าเป็นสิ่ง ที่สำคัญมากในการศึกษาสมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใย เนื่องจากผิวสัมผัสจะมีผลโดยตรงกับ ค่าแรงยึดเหนี่ยว (Bonding) ระหว่าง Matrix และเส้นใยสำหรับปัจจัยที่มีผลต่อต่อแรงยึดเหนี่ยว บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง Matrix และเส้นใยคือลักษณะรูปร่าง และชนิดของเส้นใย เป็นต้น

ชูชัย สุจิวิรกุล ศึกษาแรงยึดเหนี่ยวของไฟเบอร์เส้นเดี่ยวบิดเกลียวที่ฝังในวัสดุประสานซีเมนต์ ทดสอบการถอนของไฟเบอร์เส้นเดี่ยวที่ฝังในวัสดุประสานซีเมนต์ได้ถูกใช้ทั่วไปในการประเมินแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฟเบอร์กับวัสดุประสานซีเมนต์ การยึดเกาะและการเสียดทานเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของการยึดเหนี่ยวไฟเบอร์เหล็กที่เป็นเส้นตรง ขณะที่การดัดงอไฟเบอร์ให้ เป็นเส้นตรงทำให้เกิดรูปทรงไฟเบอร์ชนิดใหม่ๆ เช่น ไฟเบอร์ครีม ไฟเบอร์ตะขอ และไฟเบอร์เส้นเดี่ยวบิดเกลียว การดัดงอแบบนี้ทำให้เกิดส่วนประกอบของแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นคือ การยึดเหนี่ยวทางกล จากพฤติกรรมถอนของไฟเบอร์เส้นเดี่ยวบิดเกลียวขณะที่ไฟเบอร์ถูกถอนออกจากวัสดุประสานซีเมนต์ โดยแรงถอนทั้งหมดจากตัวอย่างประกอบด้วยแรงเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยวทางกลทั้งนี้แรงยึดเหนี่ยวทางกลได้เกิดจากสันเกลียวไฟเบอร์สัมผัสกับวัสดุประสานซีเมนต์ขณะถอน ซึ่งทำให้เกิดจากบิดกลับของไฟเบอร์

2.2.2 หลักการทำงานของเส้นใย [7]

การรับกำลังดึงของเส้นใยในคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยกับ ส่วนผสมคอนกรีต (Interfacial Bond) เป็นหลัก การยึดเหนี่ยวดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเส้นใย คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเส้นใย ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวของเส้นใย รวมถึงกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการผสมเส้นใย เป็นต้น

การรับกำลังดึงของชิ้นส่วนคอนกรีตที่ผสมเส้นใยนั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 เพื่ออธิบายพฤติกรรมดังกล่าวโดยสังเขป คือในชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ไม่ได้ทำการผสมเส้นใย คอนกรีตจะทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดขึ้นเพียงลำพัง แต่คุณสมบัติของคอนกรีตนั้นสามารถรับกำลังดึงได้น้อยมากเมื่อความเค้นดึงในชิ้นส่วนเพิ่มมากขึ้นถึงจุด A หรือเรียกว่าค่าความเค้นดึงของคอนกรีต (Tensile Strength of concrete) หรือจุดเริ่มต้นของการแตกร้าว (First Cracking Strengths) ในจุดนี้ชิ้นส่วนรับแรงดึงที่ไม่ได้ทำการผสมเส้นใยจะไม่สามารถรับกำลังต่อไปได้ การนำเส้นใยมาผสมในคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติรับแรงดึงได้ดีขึ้น เราเรียกคอนกรีตเสริมเส้นใยที่มีสมรรถนะสูงนี้ว่า High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC) พฤติกรรมที่ได้หลังจากการแตกร้าวนั้นการรับกำลังดึงจะเพิ่มมากขึ้นต่อไปได้อีก ในช่วงนี้เส้นใยจะเข้ามาทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดขึ้นทั้งหมด และทำให้สามารถรับกำลังต่อไปได้ โดยที่พฤติกรรมการรับกำลังขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการถูกถอนออกจากเนื้อคอนกรีต ปริมาณการผสมเส้นใยจนถึงจุด B (Post Cracking Strength) การรับกำลังก็จะตกลง และพฤติกรรมดังกล่าวจะเป็นเช่นนี้ จนกระทั่งเส้นใยถูกถอนออกหมดหรือเส้นใยเกิดการขาด



รูปที่ 2.1 พฤติกรรมการรับแรงดึงระหว่างความเค้นดึงกับความเครียดดึงของวัสดุประสานกับเส้นใย [7]

2.3 เส้นใยธรรมชาติ [8]

เส้นใยธรรมชาติเป็นเส้นใยที่มีคุณสมบัติที่ตีหลายประการโดยเฉพาะทางด้านสิ่งแวดล้อม และต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยที่ได้มาจากธรรมชาติได้แก่ เส้นใยจากพืช สัตว์ และสารอนินทรีย์ หรือแร่ธาตุ โดยเส้นใยพืชที่ได้มาจากส่วนลำต้น เช่น เส้นใยกล้วยง ปอ ลินิน เป็นต้น ส่วนเส้นใยที่ได้มาจากใบ เช่น เส้นใยศรนารายณ์ กล้วย เส้นใยจากผล เช่น เส้นใยมะพร้าว เส้นใยจากเมล็ด เช่น เส้นใยฝ้าย หนุน เส้นใยจากสัตว์ ได้แก่ ไหมพรมที่จากมาจากขนแกะ เป็นต้น

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติมีความหลากหลายขึ้นกับชนิดของเส้นใย โดย เส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยพอลิเมอร์หลัก 4 ชนิด คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เพกทิน (Pectin) และลิกนิน (Lignin) สัดส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้จะส่งผลถึงสมบัติของเส้นใย จากการศึกษาว่าผนังเซลล์ของพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุเสริมแรงภายในผนังเซลล์ โดยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (Linear Polymer) ส่วนเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยกลุ่มของพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) เมื่อกำจัดลิกนินออกไปองค์ประกอบที่ ยังคงเหลืออยู่กับเซลลูโลส คือ เฮมิเซลลูโลส ซึ่งสมบัติทั่วไปของเฮมิเซลลูโลส คือ มีมวลโมเลกุล ต่ำกว่า

เซลลูโลส และเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Polymer) ดังนั้นจึงส่งผลต่อ สมบัติการสลายตัวตามธรรมชาติการดูดความชื้นและการสลายตัวโดยความร้อน องค์ประกอบที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ ลิกนิน ทำหน้าที่เป็นสารยึดติดภายในผนังเซลล์ มีความเสถียรทางความร้อนสูง แต่มีผลกระทบกับการย่อยสลายโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ส่วนองค์ประกอบสุดท้าย คือ เพกทิน เป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (Heteropolysaccharides) เป็นเมทริกซ์ภายในผนังเซลล์

2.3.2 สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติ

สมบัติของเส้นใยธรรมชาติไม่เพียงแต่ดูที่ชนิดของเส้นใยเท่านั้น ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของเซลลูโลส และปัจจัยอื่น ๆ เช่น จำนวนเซลล์ ขนาดของเซลล์ และขนาดของลูเมน เส้นใยที่มีการยึดมากกว่า ร้อยละ 5 จะนุ่มแต่เหนียว ในขณะที่เส้นใยที่มีการยึดน้อยกว่าร้อยละ 5 คุณสมบัติธรรมชาติจะเหนียวแต่เปราะ สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าลักษณะเฉพาะเกี่ยวกับความหนาแน่น เส้นผ่านศูนย์กลาง และสมบัติเชิงกลของเส้นใยจากธรรมชาติ [9]

Fiber	Density (g cm ⁻³)	Diameter (μm)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
Flex	1.5	40-600	345-1500	27.6	2.7-3.2
Hemp	1.47	25-500	690	70	1.6
Jute	1.3-1.49	25-200	393-800	13-26.5	1.16-1.5
Kenaf	-	-	930	53	1.6
Ramine	1.55	-	400-938	61.4-128	1.2-3.8

2.4 เส้นใยมะพร้าว [10]

มะพร้าวเป็นพืชตระกูลปาล์ม ซึ่งมีเส้นใยแข็งที่ได้มาจากเปลือกชั้นกลางของมะพร้าว ซึ่งจะเรียกว่า “ใยมะพร้าว” เส้นใยที่ได้แบ่งตามลักษณะการเก็บเกี่ยว หากเก็บเกี่ยวเมื่อผลมะพร้าวไม่แก่จัดเส้นใยที่ได้จะมีสีขาวหรือสีน้ำตาลอ่อน (White Coir) มีความนุ่มแต่ไม่เหนียว ขณะที่เมื่อเก็บเกี่ยวตอนที่ผลมะพร้าวแก่เต็มที่จะได้เส้นใยสีน้ำตาล (Brown Coir) เป็นเส้นใยที่หยาบเหนียว แข็งแรง ทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เส้นใยมะพร้าวทั่วไปมีความยาวประมาณ 350 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.12 ถึง 0.25 มิลลิเมตร และความหนาแน่นเส้นใยเท่ากับ 1250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำของเส้นใยมะพร้าว 24 ชั่วโมง เท่ากับร้อยละ 48.04 ความถ่วงจำเพาะ 1.48 ในส่วนของสมบัติเชิงกล ทดสอบแรงดึงของเส้นใยมะพร้าวแห้งธรรมชาติ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของเส้นต่างกัน ได้แรงดึงเฉลี่ยต่อเส้นเท่ากับ 280 พาสคัล อยู่ในเกณฑ์ ASTM D 7357 [11] เส้นใยมะพร้าวเป็นเส้นใยที่มีปริมาณลิกนินที่เคลือบผิวเส้นใยมากที่สุดในบรรดาเส้นใยพืช ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรง ส่วนกำลังรับแรงดึงมีค่าน้อยกว่ากำลังรับแรงดึงของเส้นใยจากกล้วยแต่มีคุณสมบัติในการต้านทานแรงปฏิกิริยาจากจุลินทรีย์ และการกัดกร่อนจากน้ำเค็มได้ดี



รูปที่ 2.2 กระบวนการคัดแยกเส้นใยมะพร้าว [10]

เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติจึงสามารถทำลายหรือย่อยสลายได้ง่าย ดังนั้นใยมะพร้าวจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม รวมทั้งเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันของมนุษย์

- ใช้เป็นฉนวนในการดูดซับเสียงสำหรับห้องบันทึกเสียงและระบบเสียงในลำโพงผลิตเป็นวัสดุป้องกันการกระเทือน
- ใช้ผลิตเป็นวัสดุป้องกันการกระเทือน เหมาะสำหรับสินค้าประเภทเฟอร์นิเจอร์ เช่นเป็นวัสดุภายในที่นั่งโดยสารบนเครื่องบินโดยสาร และเบาะนั่งในรถยนต์ชั้นหนึ่ง
- ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่นการใช้เป็นฐานรองเพื่อการยึดเกาะของต้นกล้า และต้นกล้วยไม้ หรือใช้แทนหญ้าและฟาง คลุมพื้นดินรอบ ๆ ต้นไม้ เพื่อรักษาความชื้น
- ใช้ปกคลุมที่โล่งและแท่นที-ออฟ ของสนามกอล์ฟเพื่อเก็บกักความชื้น และรักษาพื้นหญ้าให้เขียวชอุ่ม
- ในต่างประเทศ ม้วนใยมะพร้าวสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันการพังทลายของดินริมตลิ่ง หรือเป็นเชือกป้องกันการซัดของคลื่นริมแม่น้ำ
- ใช้ผลิตเชือกเกลียวที่มีความเหนียว แข็งแรง ทนทาน มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชือกปอ
- ใช้ผลิตแปรง ไม้กวาด และพรมเก็บตักฝุ่นภายนอกอาคาร ซึ่งพรมใยมะพร้าวจะมีอายุการใช้งานยาวนาน

- ใช้ผลิตเป็นแผ่นกรองหยาด เช่น ฝุ่นเหนียว ฟิงโคท สีฝุ่น เรซิน กาว ยางมะตอย ฯลฯ

- ใช้ผลิตเป็นส่วนประกอบของอิฐมวลเบา
เศษเหลือจากการผลิตอิฐมวลเบาเรียกว่า "ขุยมะพร้าว" มีลักษณะเป็น เศษใยมะพร้าวเส้นสั้นๆ เศษขุยจากกาบมะพร้าว นี้สามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในการทำปุ๋ย และเชื้อเพลิงชีวมวลได้เป็นอย่างดี

2.5 วัสดุประสาน

2.5.1 ปูนซีเมนต์ [12]

วัตถุดิบหรือวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน นอกจากไม้แล้วยังนิยมใช้ปูนซีเมนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันที่ใช้ปูนซีเมนต์เพื่อการก่อสร้างมีความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งสิ่งก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ เช่น อาคาร ถนน สะพาน เขื่อน และการใช้ปูนซีเมนต์เพื่อสร้างผลงานทางศิลปะ อันได้แก่ประติมากรรมต่าง ๆ ก็ได้รับความนิยมเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากปูนซีเมนต์สามารถใช้งานได้อย่างไม่จำกัดสถานที่ไม่ว่าจะเป็นบนผิวดินใต้พื้นดิน หรือแม้กระทั่งใต้น้ำ ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานสูง มีราคาไม่แพงทั้งนี้อาจเป็นเพราะปูนซีเมนต์ผลิตได้จากวัตถุดิบที่มีในธรรมชาติอันได้แก่หินปูน ดินสอพอง ดินลูกรัง และดินดาน เป็นต้น นำมาผ่านกระบวนการเผาและบดได้เป็นผงซีเมนต์ จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จึงทำให้วัตถุดิบหรือวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนอกจากไม้แล้วยังนิยมใช้ปูนซีเมนต์ การผลิตปูนซีเมนต์จึงทำให้ปูนซีเมนต์จัดเป็นวัสดุเซรามิกชนิดหนึ่งและมีความสำคัญต่อมนุษยชาติ

ปูนซีเมนต์ เป็นสารเคมีหรือวัสดุเซรามิกส์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีเกิดการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคเกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่พบคือปฏิกิริยาไฮดรเอชัน (Hydration) หรือปูนซีเมนต์อาจหมายถึงสารที่สามารถยึดหรือประสานของแข็งให้เกิดขึ้นขึ้นเดียวกัน กลุ่มของวัสดุที่มีสมบัติเหมือนซีเมนต์ที่สำคัญมี 3 กลุ่มคือ ปูนซีเมนต์ ปูนพลาสติก และปูนขาว โดยปูนซีเมนต์เป็นกลุ่มที่สำคัญมากในการนำไปใช้งานด้านการก่อสร้างที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ปูนซีเมนต์ที่ใช้งานทั่วไปได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเกิดจากการเผาส่วนผสมจากวัตถุดิบต่าง ๆ ได้แก่ หินปูน (Limestone) หรือหินปูนขาว (Marl) กับ ดินเหนียว (Clay) หรือดินดาน (Shale) ในสัดส่วนที่ถูกต้องเหมาะสม อาจมีการเติมแร่เหล็ก (Iron ore) หรือยิปซัม (Gypsum) ตามความจำเป็นเพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติตามความต้องการ เมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมกับวัสดุผสมคละจำพวกหินย้อย กรวด หรือทรายหยาบ และน้ำ ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะเป็นคอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะมีความแข็งแรงและความทนทานคล้ายหิน จึงนิยมนำไปใช้ในงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

2.5.2 สารประกอบในปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์จะประกอบด้วยสารประกอบหลัก 2 กลุ่มใหญ่ ประกอบด้วยสารประกอบหลัก และสารประกอบรอง ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ [13]

องค์ประกอบ	สัญลักษณ์	ร้อยละโดยน้ำหนัก
สารประกอบหลัก	CaO	60-67
	SiO ₂	17-25
	Al ₂ O ₃	3-8
	Fe ₂ O ₃	0.5-6
สารประกอบรอง	MgO	0.1-5.5
	Na ₂ O+K ₂ O	0.5-1.3
	TiO ₂	0.1-0.4
	P ₂ O ₅	0.1-0.2
	SO ₃	1-3

2.5.3 ปูนซีเมนต์มีสมบัติดังนี้

1) องค์ประกอบทางเคมี เมื่อวัตถุดิบได้รับการเผาในหม้อเผา ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 น้ำจะระเหยออกจากส่วนผสมทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จะถูกขับออกจากหินปูนหรือดินสอพองเหลือไว้เพียง CaO

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการหลอมตัวของออกไซด์ระหว่างแคลเซียม (จากหินปูนหรือดินสอพอง) กับซิลิกา อลูมินาและเหล็ก จากดินดำหรือดินเหนียวหรือหินดินดาน

ขั้นตอนที่ 4 เกิดการรวมตัวทางเคมีของออกไซด์ต่างๆ และตามด้วยกระบวนการตกผลึก เมื่อทำให้เย็นลง

ทั้งนี้จากกรรมวิธีการผลิตอาจจะทำให้สีของซีเมนต์เปลี่ยนไปได้บ้างเล็กน้อย แร่เหล็กในซีเมนต์ส่วนมากเป็นส่วนผสมที่อยู่ในวัตถุดิบไม่ได้ตั้งใจใส่ลงไปเพื่อให้มีสีกับซีเมนต์ชนิดที่ต้องการเน้นสีเป็นพิเศษ เช่น พวกไอรอนออรัซีเมนต์ (Iron ore Cement) เป็นซีเมนต์ที่ใช้แร่เหล็กแทน บางส่วนของดินประมาณร้อยละ 8 ทำให้เกิดเป็นสีน้ำตาล และซีเมนต์บางชนิดที่ต้องการสมบัติเป็นพิเศษ เช่น เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นต้น

2.5.4 การก่อตัวและการแข็งตัว (Setting and Hardening Process) [14]

น้ำเป็นส่วนผสมที่สำคัญเพราะเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) กับปูนซีเมนต์ น้ำที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์คือน้ำที่ดื่มได้ ไม่มีวัสดุอื่นเจือปน ไม่มีสีและกลิ่น ในทางปฏิบัติจะใช้น้ำประปา หน้าที่หลักของน้ำที่ใช้ผสมคือ ผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้เกิด

ความร้อน (Heat of Hydration) วัดเป็นแคลอรีต่อกรัม ทำให้ผงซีเมนต์กลายเป็นวุ้น (Gel) และเป็นซีเมนต์เหนียว ซึ่งจะเป็นตัวประสานผิวระหว่างวัสดุผสม เพื่อให้สามารถยึดเกาะกันแน่นเมื่อแข็งตัว ทำหน้าที่เคลือบวัสดุให้เปียกเพื่อให้ปูนซีเมนต์เข้าเกาะได้โดยรอบ การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์เกิดจากปฏิกิริยาไฮดรเอชันขององค์ประกอบของปูนซีเมนต์ โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ ดังนี้

1) อาศัยสารละลาย ปูนซีเมนต์จะละลายในน้ำก่อให้เกิดไอออนในสารละลาย และไอออนนี้ออนจะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบขึ้นใหม่

2) การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็งโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ซึ่งปฏิกิริยาไฮดรเอชันของปูนซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยช่วงแรกจะอาศัยสารละลายและในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็ง ปูนซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิดเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮดรเอชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก

ดังนั้นในที่นี้จะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮดรเอชันของสารประกอบหลักแต่ละชนิดของปูนซีเมนต์ ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารประกอบที่สำคัญในเม็ดปูน [15]

ชื่อสารประกอบหลัก	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_2$	C_4AF

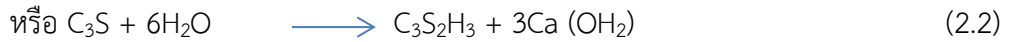
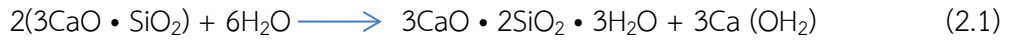
เมื่อปูนซีเมนต์ผสมรวมกับน้ำจะได้ซีเมนต์เพสต์มีลักษณะนุ่มเหลว ปั้นง่าย ถ้าทิ้งไว้ไม่ช้าซีเมนต์จะสูญเสียความไม่คืบตัวและถึงสถานะที่ไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้โดยปราศจากการแตกหัก การเปลี่ยนสภาวะนี้เรียกว่าการก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์

ระยะเวลาจากการก่อตัว (Time of Setting) หมายถึงเวลาที่ส่วนผสมของปูนซีเมนต์และน้ำใช้ในการเปลี่ยนสภาพเหลวไม่คืบตัว (Plastic State) เป็นก้อนแข็ง แบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือ ระยะเวลาเริ่มก่อตัวหรือการก่อตัวระยะต้น และระยะเวลาการก่อตัวเสร็จ (เริ่มแข็งตัว) หรือการก่อตัวระยะปลาย

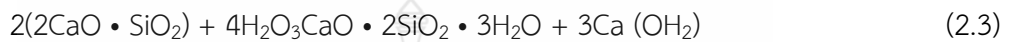
ปฏิกิริยาไฮดรเอชันของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S และ C_2S) แคลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำก่อให้เกิด “แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)” ประมาณร้อยละ 15 ถึง 25 และ

สารประกอบ “(Calcium Silicate Hydrate $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ หรือ $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ หรือ CSH)” ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน และให้ความแข็งแรงดังสมการต่อไปนี้

สมการของ C_3S



สมการของ C_2S



จากปฏิกิริยาไฮดรเอชันนี้ จะเกิดเนื้อวุ้น (Gel) ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการคือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน โดยองค์ประกอบทางเคมีของ CSH จะขึ้นอยู่กับอายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

1) ปฏิกิริยาไฮดรเอชันของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C₃A) ปฏิกิริยาไฮดรเอชันของ C₃A จะเกิดทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการบดปูนซีเมนต์ จะมีการบดยิบซึมเข้าไป เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาไฮดรเอชันของ C₃A ไม่ให้เกิดเร็วเกินไป โดยยิบซึมที่ใส่จะทำให้ปฏิกิริยาไฮดรเอชันกับ C₃A ทำให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาคของ C₃A ก่อให้เกิดการหน่วงและทำให้การก่อตัวในช่วงแรกขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮดรเอชันของ C₃S และ C₃A เป็นส่วนใหญ่แต่แต่ละชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮดรเอชัน กล่าวคือเมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจาก การเพิ่มปริมาตรของของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออกและเกิดปฏิกิริยาไฮดรเอชันของ C₃A แต่เมื่อเกิดการแตกตัวจะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮดรเอชันอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ไปจนกระทั่งไอออนซัลเฟต (Sulphate ions) มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรเอชันของ C₃A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น โมโนซัลเฟต (Monosulphate)

2) ปฏิกิริยาไฮดรเอชันของเตตราแคลเซียมอัลูมิโนเฟอไรต์ (C₃AF) ปฏิกิริยาไฮดรเอชัน C₃AF จะทำปฏิกิริยากับยิบซึมและ CA(OH)₂ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของซัลโฟอัลูมิเนต (Sulphoaluminate) และซัลโฟเฟอไรต์ (Sulphoferrite)

3) ซีเมนต์เพสต์โดยทั่วไปจัดเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการยืดตัว (Low Tensile Strain Capacity) และมักมีการหดตัว (Shrinkage) จากการสูญเสียน้ำในช่วงของการเซตตัวระยะแรก การหดตัวดังกล่าวก่อให้เกิดความเค้นดึง (Tensile Stress) ในจุดที่มีการยึดรั้ง (Constraints) เมื่อซีเมนต์เพสต์ไม่สามารถหดตัวได้อย่างอิสระและมีความเค้นดึงมากกว่ากำลังประลัยรับแรงดึง (Ultimate Tensile Strength) จะเกิดรอยแตกร้าวขึ้น การแตกร้าวเช่นนี้มีผลกระทบในทางลบต่อความคงทนด้านวิศวกรรม นอกจากนั้นการที่ซีเมนต์เพสต์เป็นวัสดุเปราะ มีพลังงานในการแตกร้าวต่ำ (Low Fracture Energy) การขยายตัวของรอยร้าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่สามารถดูดซับพลังงานได้ จากข้อด้อยดังกล่าว สามารถแก้ไขโดยการเสริมกำลังด้วยเส้นใยที่เหมาะสม ทั้งชนิดและปริมาณ

สิ่งหนึ่งที่น่าสนใจของการใช้วัสดุคิปปิซเส้นใยมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติ หาได้ง่าย ในท้องถิ่น มีราคาถูก น้ำหนักเบา ตลอดจนเส้นใยมีความเหนียว และมีความสามารถในการรับแรงดึงได้ ตีระดับหนึ่ง มาเสริมความแข็งแรงโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ให้มีความสามารถในการรับกำลังให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางเลือกในการพัฒนางานวัสดุเพื่อใช้ใน อุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งกลุ่มวัสดุก่อสร้างเหล่านี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ดังเช่น คอนกรีตพูนที่ใช้กะลาปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสม [13] และจีโอโพลิเมอร์ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ไม่ใช้ ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมในการทำเป็นคอนกรีต [14] เป็นต้น

2.6 การบ่มแห้งตัวอย่าง [16]

เป็นการบ่มโดยการป้องกันมิให้ความชื้นระเหยออกจากเนื้อวัสดุสามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้

2.6.1 การบ่มในแบบหล่อ แบบหล่อไม้ที่เปียกและแบบหล่อเหล็ก สามารถป้องกันการ สูญเสียความชื้นได้ดี วิธีนี้จัดได้ว่าง่ายที่สุด เพียงแค่ทิ้งแบบหล่อให้อยู่กับแห้งตัวอย่างที่หล่อไว้ให้นาน ที่สุดเท่าที่จะทำได้ และคอยดูแลให้ผิวด้านบนมีความชื้น

2.6.2 การใช้กระดาษกันน้ำซึม เป็นการใช้กระดาษกันน้ำซึมปิดทับผิวแห้งตัวอย่างให้สนิท กระดาษกันน้ำซึมนี้เป็นกระดาษเหนียว 2 ชั้น ยึดติดกันด้วยยางมะตอยและเสริมความเหนียวด้วย ใยแก้ว มีคุณสมบัติในการยึดหดตัวไม่มากนักเวลาที่เปียกและแห้ง ข้อควรระวังในการใช้กระดาษคือ บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นจะต้องผนึกให้แน่นด้วยกาว หรือเทป และกระดาษต้องไม่มีร่องรอยฉีกขาด หรือชำรุด

2.6.3 การใช้แผ่นพลาสติกคลุม วิธีการนี้จะเหมือนกับการใช้กระดาษกันน้ำ แต่แผ่นพลาสติก จะเบากว่าเดิม จึงสะดวกในการใช้มากกว่า ข้อควรระวังเช่นเดียวกับกระดาษกันน้ำ คือ รอยต่อและการ ชำรุดฉีกขาด และเนื่องจากมีน้ำหนักเบา จึงต้องระวังเรื่องการผูกยึด ป้องกันลมพัดปลิวด้วย

2.6.4 การใช้สารเคมีเคลือบผิว เป็นการพ่นสารเคมีลงบนผิววัสดุ ซึ่งสารเคมีที่พ่นนี้จะ กลายเป็นเยื่อบาง ๆ คลุมผิววัสดุป้องกันการระเหยออกของน้ำในเนื้อวัสดุได้ การบ่มโดยวิธีนี้ทั้งสะดวก และรวดเร็วแต่ค่าใช้จ่ายจะสูง จึงมักจะใช้กับงานที่บ่มโดยวิธีอื่นได้ลำบาก การพ่นสารเคมีนี้ต้องกระทำ ในขณะที่ผิวของวัสดุยังชื้นอยู่ และต้องพ่นให้ทั่วถึง หากใช้สารเคมีฉีดพ่นแล้ว ไม่ควรฉีดน้ำซ้ำเพราะน้ำ จะไปชะล้างสารเคมีออก

2.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแห้งตัวอย่าง (เลือกใช้วิธีการทดสอบเช่นเดียวกันกับ คอนกรีต)

2.7.1 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ASTM C39 [17]

โดยทั่วไปแล้ว การเสริมเส้นใยโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานไม่ได้มี วัตถุประสงค์ในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดโดยตรง แต่อาจมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าใช้ ในปริมาณมากเกินไปจะมีผลทำให้กำลังอัดลดลงเนื่องจากปริมาณเส้นใยที่มากมีผลทำให้ค่าการยุบตัว

ของซีเมนต์เพสต์ต่ำ การอัดแน่นจึงทำได้ยาก การทดสอบทำโดยการหล่อแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

- 1) การวางตัวอย่างทดสอบบนเครื่องกดปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้
 - 1.1 ผิวแผ่นเหล็กด้านสัมผัสกับตัวอย่างทดสอบต้องสะอาดปราศจากน้ำมัน
 - 1.2 จัดแนวศูนย์กลางของแผ่นเหล็กขึ้นบนและขึ้นล่างให้อยู่ในแนวเดียวกัน
 - 1.3 วางตัวอย่างทดสอบให้แนวแกนตรงกับแนวศูนย์กลางของเครื่องกดทดสอบ
 - 1.4 ผิวแผ่นเหล็กต้องสัมผัสกับตัวอย่างทดสอบแนบสนิท
- 2) เมื่อวางตัวอย่างทดสอบบนเครื่องกดทดสอบ และจัดให้แผ่นเหล็กสัมผัสกับตัวอย่างทดสอบแนบสนิทดีแล้ว จึงเริ่มให้น้ำหนักกด สำหรับเครื่องทดสอบแบบหมุนเกลียว (Screw-Type) ปรับหัวกดให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 1.25 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับเครื่องทดสอบแบบไฮดรอลิก ให้น้ำหนักกดอยู่ในช่วง 0.143 ถึง 0.347 เมกะปาสกาลต่อวินาที (1.40 ถึง 3.40 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที) โดยช่วงแรกของการทดสอบยอมให้ใช้อัตราการกดสูงกว่ากำหนดได้ และห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใด ๆ ของเครื่องทดสอบในขณะที่ตัวอย่างทดสอบอยู่ในช่วงจุดคราก (Yield Point) และจุดวิบัติ (Failure)
- 3) ทำการกดจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบถึงจุดวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุด ณ จุดที่ตัวอย่างทดสอบวิบัติ และให้บันทึกรูปลักษณะการแตกของตัวอย่าง



รูปที่ 2.3 การทดสอบแรงอัด (Compressive Strength)

คำนวณหาหน่วยแรงอัดประลัยได้จากสมการ (2.5)

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (2.5)$$

- เมื่อ σ_c คือ หน่วยแรงอัด (กก./ซม.²)
 P คือ น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของแท่งทดสอบ (ซม.²)

2.7.2 การทดสอบหาค่ารับแรงเฉือน (Shearing Test) [18]

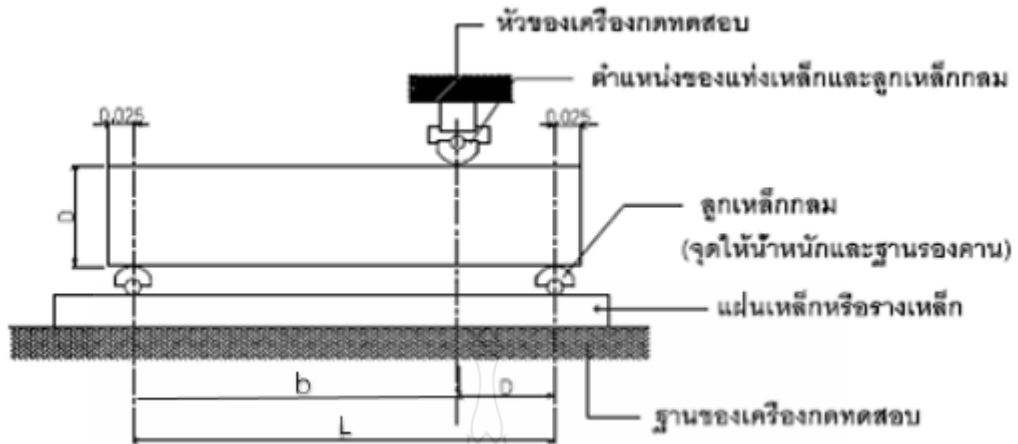
แรงเฉือนจะเกิดขึ้นถ้ามีการใส่แรงกันสองทิศทางในแนวสวนกัน โดยแรงเฉือนตรงสามารถแยกออกได้สองแบบคือ แรงเฉือนเดี่ยว (Single Shear) กับแรงเฉือนคู่ (Double Shear) แรงเฉือนเดี่ยวจะเกิดขึ้นได้ตลอดแนวระนาบเดียว ในขณะที่แรงเฉือนคู่จะเกิดขึ้นระหว่างสองระนาบพร้อมกัน ความแข็งแรงในการทดสอบแรงเฉือนเดียวกับแรงเฉือนคู่ควรมีค่าเท่ากัน แต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตัดอาจทำให้แรงเฉือนทั้งสองอาจไม่เท่ากันเสมอไป ดำเนินการทดสอบหาค่ารับแรงเฉือนดังนี้

1) วางขึ้นทดสอบลงบนฐานรองรับคาน วางหัวกดให้ตำแหน่งของหัวกด คาน และฐานรองรับคานอยู่ตามกำหนด โดยการทดสอบวิธีใช้แรงกดที่ระยะ D จากจุดรองรับคาน โดยจัดตำแหน่งเครื่องมือตามรูป 2.4

2) ปรับอัตราการกดเครื่องทดสอบด้วยแรงประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 6 ของแรงประลัย (Ultimate Load) แล้วค่อยตรวจสอบผิวสัมผัสของตัวกดกับคาน และฐานรองรับคานกับคานดูว่ามีช่องขนาดกว้างกว่า 0.15 มิลลิเมตร ในช่วง 25 มิลลิเมตรหรือไม่ ถ้ามีให้แต่งคอนกรีตที่บริเวณช่วงนั้นๆ ด้วยการฝนให้เรียบ ช่องที่ขนาดกว้างน้อยกว่า 0.15 มิลลิเมตร อาจขุดได้โดยการวางแผ่นหนัง (Leather Shim) ไว้ระหว่างผิวสัมผัส แผ่นหนังที่ใช้จะต้องมีขนาดเท่ากับ 6.4 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

3) เพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่องโดยไม่ให้มีการกระตุก ในช่วงครึ่งแรกของแรงประลัย อาจเพิ่มแรงได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นให้เพิ่มแรงด้วยอัตราที่อยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.2 เมกะปาสกาลต่ออนาที (9 ถึง 12 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรต่ออนาที) จนกระทั่งคานตัวอย่างวิบัติ

4) วัดด้านกว้างและลึกของคานที่บริเวณที่มีรอยแตกด้านละ 3 ครั้ง โดยให้มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยของขนาดหน้าตัดพร้อมทั้งวาดรายละเอียดการแตกร้าวของคาน



รูปที่ 2.4 การทดสอบแรงเฉือน (Shearing Test)

ค่าแรงเฉือนตรงจุดที่แรงกระทำคำนวณได้จากสมการ 2.6

$$V = \frac{Pb}{L}$$

(2.6)

เมื่อ V คือ ค่าแรงเฉือนจุดที่แรงกระทำ (กก.)

b คือ ระยะจากจุดรองรับถึงจุดที่แรงกระทำ (ซม.)

L คือ ระยะจากจุดรองรับคานถึงจุดรองรับคาน (ซม.)

ซึ่งค่าหน่วยแรงเฉือนคำนวณได้จากสมการ 2.7

$$v = \frac{VQ}{Ib}$$

(2.7)

เมื่อ v คือ หน่วยแรงเฉือน (กก./ซม.²)

V คือ ค่าแรงเฉือนจุดที่แรงกระทำ (กก.)

Q คือ โมเมนต์ของพื้นที่ซึ่งระนาบของหน่วยแรงเฉือนตัดผ่าน (ซม.³)

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัด (ซม.⁴)

b คือ ความกว้างคาน (ซม.)

2.7.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile Test)

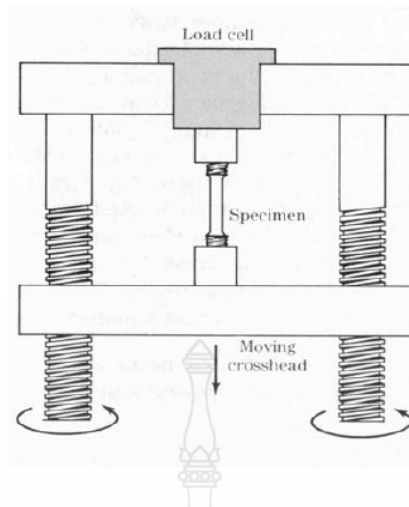
ในการทดสอบหาลักษณะรับแรงดึงของวัสดุเสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ก็เลือกใช้วิธีเดียวกันกับการทดสอบคอนกรีต ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบหาลักษณะรับแรงดึง แบ่งเป็น 3 การทดสอบ ดังนี้

- 1) การทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง (Direct Tensile Test)
- 2) การทดสอบหาลักษณะรับแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting Tensile Strength) ASTM C496
- 3) การทดสอบหาลักษณะรับแรงดึงดัด (Flexural test) ASTM C78

1) การทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง (Direct Tensile Test) [19]

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานที่สุดอย่างหนึ่งที่ใช้ทดสอบสมบัติของวัสดุต่างๆ ปกติการทดสอบแรงดึงจะใช้ขึ้นทดสอบตามแบบมาตรฐาน แต่ขณะเดียวกันก็สามารถใช้ขึ้นทดสอบแบบอื่นที่ทราบค่าพื้นที่หน้าตัดและความยาวเริ่มต้น โดยการทดสอบแรงดึงใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวแกน น้ำหนักดึงจะแทนด้วยสัญลักษณ์ F ในหน่วยของปอนด์ กิโลกรัม หรือ นิวตัน ความแข็งแรงดึงคิดเป็นน้ำหนักที่ขึ้นทดสอบสามารถทนได้ต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด น้ำหนักเทียบกับพื้นที่หน้าตัด หนึ่งในตารางหน่วยเรียกว่า แรงเค้น (Stress) โดยแรงเค้นจะมีหน่วยเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2) หรือพาสคาล (Pa) ในหน่วยเมตริกน้ำหนัก จะบันทึกเป็นกิโลกรัม แล้วแปลงเป็นนิวตัน ส่วนพื้นที่หน้าตัดจะคิดเป็นตารางเมตร ซึ่งจะได้หน่วยของแรงเค้นเป็นนิวตันต่อตารางเมตร หรือพาสคาล (Pa) โดย 1 MPa เท่ากับ $145 \text{ lb}/\text{in}^2$ และ $1000 \text{ lb}/\text{in}^2$ เท่ากับ 6.985 MPa

รูปทรงของหน้าตัดขึ้นทดสอบควรมีรูปแบบของระยะทดสอบแบบเดียวกันตามมาตรฐาน โดยส่วนปลายของขึ้นทดสอบควรมีรูปแบบที่เหมาะสมกับหัวจับมาตรฐาน คือขึ้นทดสอบที่เป็นรูปทรงกระบอกควรทำเป็นรูปแบบเรียบ รูปบ่า สลัก หรือรูยึด และส่วนปลายของขึ้นทดสอบควรยาวพอที่จะยึดด้วยหัวจับได้พอดี การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมต่างๆ ประกอบด้วยหัวจับขึ้นทดสอบซึ่งมีหน้าที่หลักในการจับยึดขึ้นทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ โดยต้องสามารถรับและถ่ายแรงจากเครื่องสู่ขึ้นทดสอบได้เป็นอย่างดี และประเด็นสำคัญคือหัวจับต้องสามารถให้แรงผ่านขึ้นทดสอบตามแนวแกน ซึ่งต้องตั้งค่าการทดสอบและเลือกหัวจับที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อขึ้นทดสอบอยู่ในแนวที่ถูกต้องทั้งก่อนและระหว่างดำเนินการทดสอบ สำหรับวัสดุเหนียวให้ใช้หัวจับปากกว้างเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสแต่ไม่จำเป็นสำหรับวัสดุเปราะ ทั้งนี้เนื่องจากหัวจับจะบีบวัสดุแล้วทำให้เกิดการแตกหักที่ปลายขึ้นทดสอบแทนที่จะเกิดการแตกหักในช่วงของระยะทดสอบ หัวจับส่วนใหญ่จะมีช่วงของการเคลื่อนเพื่อจัดระเบียบหัวจับและขึ้นทดสอบให้อยู่ในแนวเดียวกัน



รูปที่ 2.5 การทำงานของเครื่องทดสอบการรับแรงดึง [19]

การทดสอบแรงดึงใช้ในการวัดสมบัติการทนแรงดึงรวมถึงความแข็งแรงดึง โดยความแข็งแรงดึงหมายถึงค่าแรงเค้นดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นในวัสดุ ในการทดสอบแรงดึงต้องเตรียมชิ้นทดสอบให้ได้ขนาดและรูปทรงที่เหมาะสม และต้องทราบค่าพื้นที่หน้าตัด ในช่วงของระยะทดสอบจะต้องมีความสม่ำเสมอโดยตลอด หน้าตัดที่สม่ำเสมอทำให้แรงเค้นที่เกิดขึ้น กระจายอย่างสม่ำเสมอ และช่วยขจัดบริเวณที่ทำให้เกิดความเข้มข้นแรงเค้น (Concentrated Tress) ซึ่งอาจทำให้ผลการทดสอบผิดพลาด ก่อนจะได้ผลลัพธ์ที่แท้จริงต้องทำการวัดขนาดชิ้นทดสอบและเงื่อนไขต่าง ๆ ของการทดสอบ ผู้ดำเนินการทดสอบควรมีประสบการณ์และความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพ การควบคุมและฟังก์ชันต่างๆ ของหน้าปัด รวมทั้งระบบคานและปั๊มต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบ โดยก่อนทำการทดสอบผู้ทดสอบต้องรู้ว่างานใดใช้กับเครื่องทดสอบแบบใดและต้องรู้ว่าเครื่องทำงานอย่างไร จากนั้นทำการปรับอัตราเร็วของเครื่องมือให้เหมาะสมกับการทดสอบ และตรวจดูว่าได้นำแรงที่ตกค้างออกจากเครื่องหรือยัง ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องเริ่มทำงานที่ศูนย์ การทดสอบเครื่องเปล่าก่อนการทดสอบจริงจะทำให้ทราบถึงลำดับขั้นตอนการทดสอบที่จะทำให้สามารถดำเนินการทดสอบได้อย่างถูกต้องรวมทั้งสามารถประเมินระยะเวลาในการทดสอบตลอดจนวิธีการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

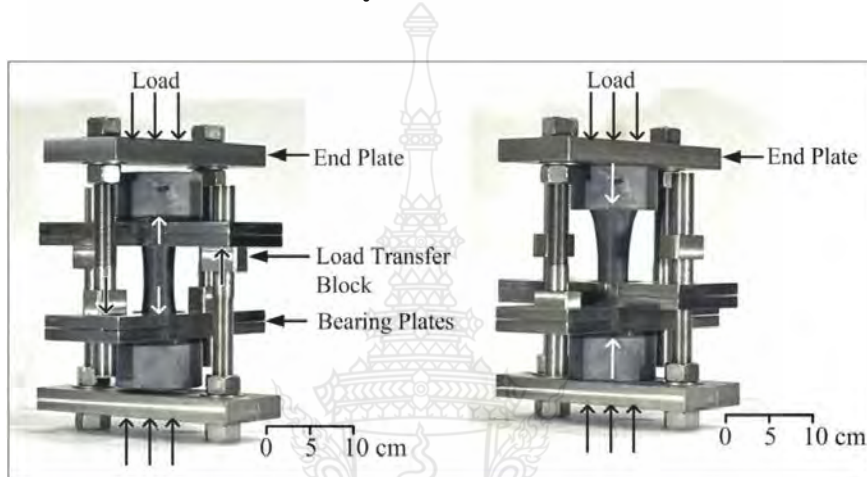
หลังจากได้ตรวจเช็คเครื่องมือและเข้าใจวิธีการทำงานของเครื่อง ให้ยึดชิ้นทดสอบเข้ากับเครื่องมือและตรวจดูอีกครั้งว่าได้เลือกหัวจับชิ้นทดสอบที่เหมาะสม จากนั้นจัดให้ชิ้นทดสอบอยู่ในแนวตั้งตรงและคงไว้เช่นนั้นตลอดการทดสอบ ก่อนการทดสอบต้องตรวจสอบชุดป้องกันความปลอดภัยให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง จากนั้นดึงให้ตึงโดยการใส่แรงกระทำเล็กน้อยและตั้งค่ามาตรวัดให้เป็นศูนย์พร้อมทำการทดสอบ โดยปกติแล้วการให้แรงดึงโดยตรงแก่ก้อนตัวอย่างทดสอบ มักเกิดความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบเนื่องจาก

ก. เกิดการเยื้องศูนย์ของก้อนตัวอย่าง ทำให้แบ่งตัวอย่างแตกหักก่อนจะได้ค่ากำลังดึงที่แท้จริง

ข. มีหน่วยแรงอื่นแทรกเข้ามาจากหัวจับยึด ทำให้เกิดเป็นหน่วยแรงเฉพะที่และในที่สุดจะเกิดการแตก ณ บริเวณนี้

ค. การร้าวจะแพร่ขยายอย่างรวดเร็ว กำลังดิ่งที่ได้จะเป็นของบริเวณที่กำลังต่ำสุด ซึ่งไม่ตรงต่อความเป็นจริง

เพื่อป้องกันการเกิดความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบ จึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงดิ่งโดยตรง และรูปแบบของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ซึ่ง สิปกร กลั่นภูมิศรี ได้พัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงดิ่งโดยตรง และรูปแบบของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ เพื่อทดสอบคุณสมบัติกำลังดิ่งของหินภายใต้แรงกดโดยการทดสอบกำลังดิ่งแบบตรงของตัวอย่างหิน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5

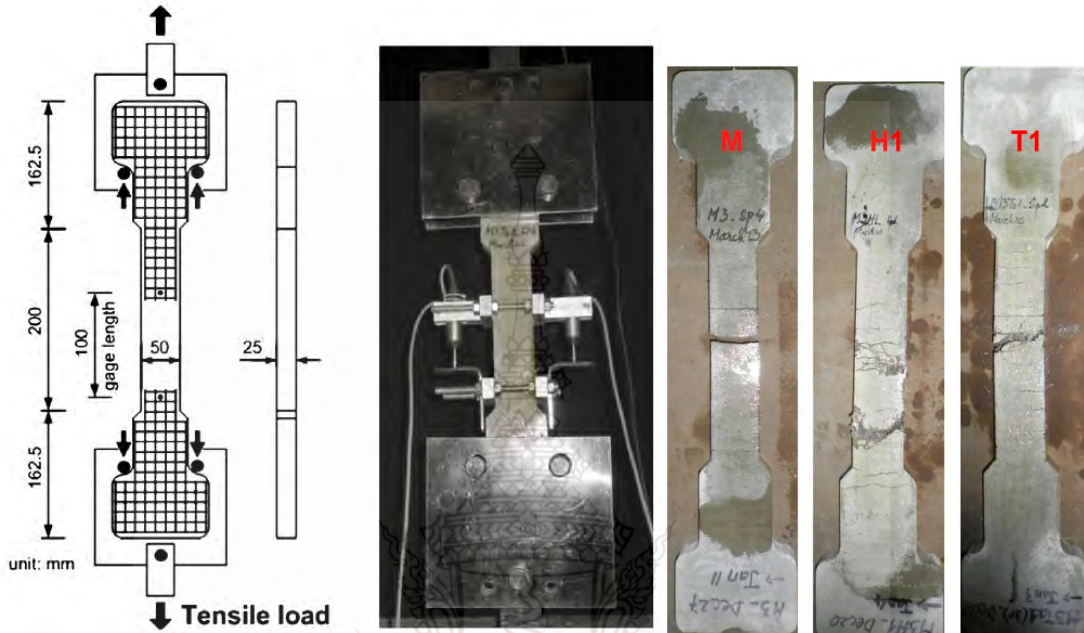


รูปที่ 2.6 เครื่องมือทดสอบแรงดิ่งโดยตรง [19]

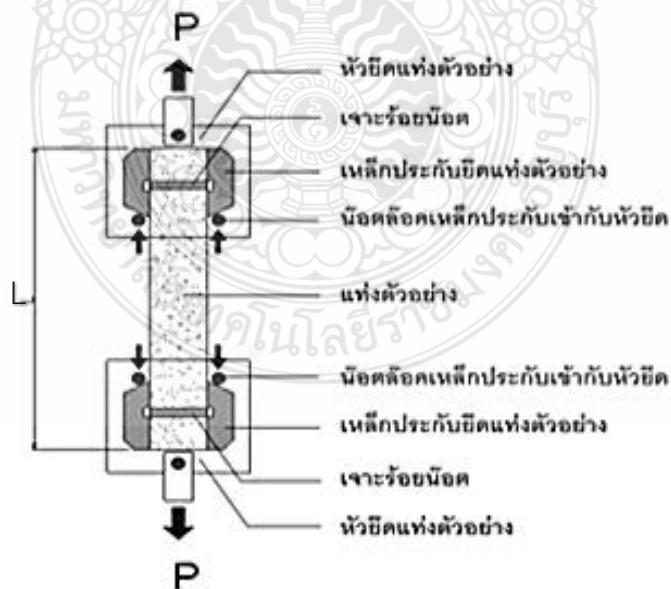


รูปที่ 2.7 รูปแบบตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแรงดิ่งโดยตรง [19]

Tuan Kiet Tran และ Dong Joo Kim ได้พัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง และรูปแบบของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ เพื่อการตรวจสอบพฤติกรรมของแรงดึงโดยตรงจากซีเมนต์เสริมเส้นใยที่มีประสิทธิภาพสูงในอัตราความเครียดสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการทดสอบแรงดึงโดยตรง [19]



รูปที่ 2.9 การทดสอบแรงดึงโดยตรง (Direct Tensile Test)

ค่าแรงดึงโดยตรงของแท่งตัวอย่าง สามารถหาหน่วยแรงดึงได้จากสมการ (2.8)

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (2.8)$$

เมื่อ σ_t คือ แรงดึงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัด (กก./ซม.²)

F คือ แรงดึงที่กระทำ (กก.)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (ซม.²)

2) การทดสอบหากล้างรับแรงดึงโดยวิธีผ่าซีก (Splitting Tensile Strength) ASTM C496 [20]

เนื่องจากความยากลำบากในการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตให้เหมือนกับการทดสอบวัสดุอื่น ๆ เนื่องจากคอนกรีตมีความเปราะ จึงต้องทดสอบกำลังดึงคอนกรีตโดยทางอ้อม เพื่อให้การทดสอบสามารถทำได้ง่ายขึ้น โดยใช้การทดสอบหากล้างดึงแยก (Splitting Tensile Strength) และทดสอบกำลังดัด (Flexural Strength) แทนการทดสอบหากล้างดึง (Tensile Strength) โดยตรง

สำหรับในการทดสอบกำลังดึงแยกนี้ จะทำการทดสอบโดยนำแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานวางในแนวนอนในเครื่องทดสอบ แล้วกดด้วยแรงสมำเสมอโดยผ่านแท่งเหล็กถายน้ำหนักที่รองรับด้วยไม้รอง จนกระทั่งแท่งคอนกรีตแยกออกจากกันเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ซึ่งกำลังดึงแยกจากการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะมีค่าประมาณร้อยละ 8 ถึง 14 ของกำลังคอนกรีต แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีการทดสอบด้วยกำลังดัดแล้วจะต่ำกว่าเสมอ



รูปที่ 2.10 การทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting Strength)

ซึ่งค่าของกำลังดึงแยกคำนวณได้จากสมการ 2.9

$$T = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2.9)$$

โดยที่ T คือ ความต้านทานแรงดึงแยกของคอนกรีต (กก./ซม.²)

P คือ แรงกดสูงสุด (กก.)

L คือ ความยาวของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก (ซม.)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก (ซม.)

3) การทดสอบหาลำรับแรงดัด (Flexural Test) ASTM C78 [21]

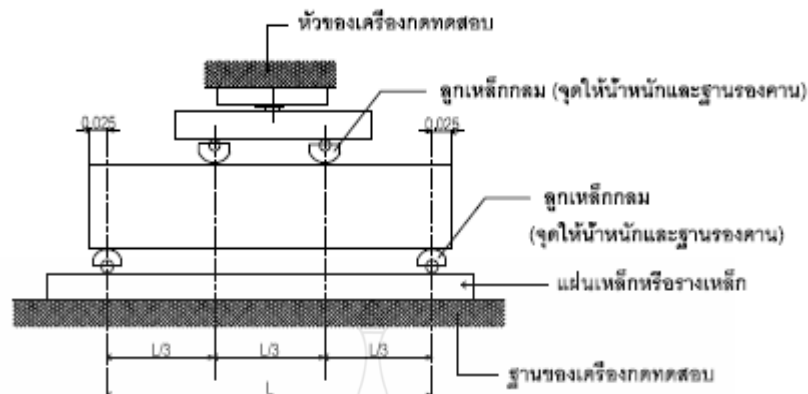
การทดสอบความต้านทานแรงดัดของคอนกรีต (Flexural Test) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการหาความต้านทานแรงดึงของคอนกรีต ในลักษณะแรงดึงภายใต้การให้น้ำหนักกดดัดแรงดึงที่เกิดจากการดัดจะขึ้นอยู่กักรูปร่าง (Dimension) ความหยาบของผิววัสดุรวม (Texture) และการจัดวางน้ำหนักที่มากระทำบนคานคอนกรีตทดสอบในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีทดสอบโดยกดน้ำหนัก 2 จุด ดังนี้

1. วางขึ้นทดสอบลงบนฐานรองรับคาน วางหัวกดให้ตำแหน่งของหัวกด คาน และฐานรองรับคานอยู่ตามกำหนด โดยการทดสอบวิธีใช้แรงกดสองจุดที่ระยะ 1/3 ของช่วงความยาวคานทั้งสองด้าน โดยจัดตำแหน่งเครื่องมือตามรูป 2.11

2. ปรับอัตราการกดเครื่องทดสอบด้วยแรงประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 6 ของแรงประลัย (Ultimate Load) แล้วค่อยตรวจสอบผิวสัมผัสของตัวกดกับคาน และฐานรองรับคานกับคานดูว่ามีช่องขนาดกว้างกว่า 0.15 มิลลิเมตร ในช่วง 25 มิลลิเมตรหรือไม่ ถ้ามีให้แต่งคอนกรีตที่บริเวณช่องนั้นๆ ด้วยการฝนให้เรียบ ช่องที่ขนาดกว้างน้อยกว่า 0.15 มิลลิเมตร อาจอุดได้โดยการวางแผ่นหนัง (Leather Shim) ไว้ระหว่างผิวสัมผัส แผ่นหนังที่ใช้จะต้องมีขนาดเท่ากับ 6.4 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

3. เพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่องโดยไม่ให้มีการกระตุก ในช่วงครึ่งแรกของแรงประลัย อาจเพิ่มแรงได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นให้เพิ่มแรงด้วยอัตราที่อยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.2 เมกาปาสกาลต่อวินาที (9 ถึง 12 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที) จนกระทั่งคานตัวอย่างวิบัติ

4. วัดด้านกว้างและลึกของคานที่บริเวณที่มีรอยแตกด้านละ 3 ครั้ง โดยให้มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยของขนาดหน้าตัดพร้อมทั้งวาดรายละเอียดการแตกร้าวของคานตัวอย่าง



รูปที่ 2.11 การทดสอบแรงดัด (Flexural Test)

การหาค่ากำลังดัดของคานคอนกรีต โดยปกติจะหาในรูปของ Modulus of Rupture; R ซึ่งมีค่าดังสมการ 2.10

$$R = \frac{MC}{I} \quad (2.10)$$

โดยที่ R คือ Modulus of rupture (กก./ซม.²)

M คือ ค่าโมเมนต์สูงสุดที่หน้าตัด (กก.-ซม.)

C คือ ระยะจาก Neutral Axis ถึงผิวนอกของคาน (ซม.)

I คือ Moment of inertia ของหน้าตัด (ซม.⁴)

จากสมการ สามารถเขียนในรูปของแรงกระทำ (Load; P) กับมิติต่างๆของคานคอนกรีต สำหรับวิธี Third-point loading และคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมได้ คือ

1) ถ้าวอยร้าวอยู่ภายในส่วนกลางของสามส่วนของช่วงความยาวของคานระหว่างจุดรองรับ (Span Length) ซึ่งมีค่าดังสมการ 2.11

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (2.11)$$

โดยที่ P คือ แรงกดสูงสุด (ผลรวมของแรงกดทั้งสอง) ซึ่งดูได้จาก Testing machine (กก.)

L คือ ช่วงความยาวของคานระหว่างจุดรองรับ Spanlength (ซม.)

b คือ ความกว้างเฉลี่ยของคานคอนกรีตที่รอยแตกร้าว (ซม.)

d คือ ความลึกเฉลี่ยของคานคอนกรีตที่รอยแตกร้าว (ซม.)

หมายเหตุ ไม่ได้รวมน้ำหนักของคานคอนกรีตในสมการข้างต้น

2) ถ้ารอยแตกร้าวอยู่ภายนอกส่วนกลางของสามส่วนของช่วง Span Length โดยไม่เกินร้อยละ 5 ของ Span Length ให้คำนวณค่า Modulus of Rupture ซึ่งมีค่าดังสมการ 2.12

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (2.12)$$

โดยที่ a คือ ระยะทางเฉลี่ยระหว่างรอยแตกกับจุดรองรับที่ใกล้ที่สุด, มิลลิเมตร ถ้ารอยแตกร้าวอยู่ภายนอกส่วนกลางของสามส่วนของช่วง Span Length มากกว่า ร้อยละ 5 ของ Span Length ให้ถือว่า ผลการทดสอบนี้ใช้ไม่ได้

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากอดีตที่ผ่านมา การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก จึงพบเห็นมากที่สุดเฉพาะผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเส้นใยธรรมชาติมาประยุกต์ใช้กับงานสถาปัตยกรรมเสียมากกว่า เช่น งานทำฝ้าเพดาน งานกระเบื้อง งานผนังเบา งานอิฐเบา เป็นต้น แต่สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนโครงสร้างหลักรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาตินั้นยังไม่พบเจอมากนักเท่าไร โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนโครงสร้างที่ใช้ส่วนผสมของเส้นใยมะพร้าว ข้างล่างนี้จะเป็นตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาอ้างอิง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบสำหรับช่วยในการวิเคราะห์ผลของงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งจะแสดงไว้ในบทถัดไป

วรณูช ดีละมัน และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของอิฐบล็อกมวลเบาที่ผสมเส้นใยกล้วย เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองกรณีคือใช้เส้นใยกล้วยเป็นวัสดุผสมทดแทนปูนซีเมนต์ และทดแทนทรายในระยะเวลาการบ่มน้ำ 28 วันพบว่า อิฐบล็อกที่ผสมเส้นใยกล้วยทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 2.5 มีค่าความหนาแน่นและค่าการต้านทานแรงอัดสูงสุดคือ 13.76 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 65.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ผลค่าการดูดซึมน้ำและการเปลี่ยนแปลงความยาวมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยกล้วยร้อยละ 7.5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 32.86 และร้อยละ 0.12 ตามลำดับ ดังนั้นอิฐบล็อกมวลเบาผสมเส้นใยกล้วยซึ่งมีอัตราส่วนร้อยละระหว่าง ทราย : ปูนซีเมนต์ : ปูนขาว : ยิปซัม : ผงอลูมิเนียม : เส้นใยกล้วย คือ 50 : 27.5 : 9 : 9 : 2 : 2.5 จึงมีสมบัติที่

ด้านทานแรงอัดได้ดี เมื่อนำผลการทดสอบไปเทียบกับมาตรฐาน มอก.1505-2541 พบว่ามีค่าอยู่ในวง ที่ มอก.กำหนดไว้ การนำเส้นใยกล้วยจึงเป็นอีกแนวทางที่มีความน่าสนใจ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ได้จริงแทนการใช้วัสดุผสมที่ต้องนำมาจากทรัพยากรธรรมชาติโดยตรง

นิรุช สุขสมเขตร [23] ได้มีความสนใจทดลองนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงดึง และแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต โดยเปลี่ยนส่วนผสมตามความเหมาะสม และคำนึงถึงการลดต้นทุนใน การผลิต การทดลองนี้ได้มีการนำวัสดุคือเส้นใยมะพร้าวมาใช้ในการผสมคอนกรีต เพื่อตรวจสอบน้ำหนัก ของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งพบว่ามีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีต ธรรมดา สามารถรับแรงอัดได้ประมาณ 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อทำการบ่มที่ 7 วัน ซึ่ง อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ปูน 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน โดยน้ำหนัก ในการตรวจสอบการดูดซึมน้ำและการ ดูดความชื้น จะทำให้เป็นแผ่นขนาด 15x15 ตารางเซนติเมตร เพื่อที่จะสามารถนำเข้าไป เตาอบ และทำ การทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้งานทางด้านวิศวกรรมต่อไป ในการนำอัตราส่วนผสมไปใช้ งานต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของคอนกรีตและความประหยัด

นิตยา นาน้ำเขียว และชัยวัฒน์ แสงเขียว [24] ได้ทำการทดลองนำเส้นใยผักตบชวามาใช้เป็น เส้นใยเสริมแรงดึง และแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต โดยเปลี่ยนส่วนผสมตามความเหมาะสม คือเส้นใย ผักตบชวามาใช้ในการผสมคอนกรีตโดยอัตราส่วน น้ำ : ซีเมนต์ โดยน้ำหนักเป็น 0.6 ความยาวเส้นใย ผักตบชวา ขนาด 0.5 และ 1.0 เซนติเมตร ผสมในสัดส่วนต่างๆกัน ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ใช้คือ ปูน 1 ส่วน ทราย 2 ส่วนโดยน้ำหนัก แล้วจึงนำมาหล่อแบบรูปปริโคท และรูปลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นได้ทำการบ่มคอนกรีตที่อยู่ในแบบหล่อเป็นเวลา 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน แล้วจึงนำลูกบ่มที่ได้จากการบ่มนั้นมาทดสอบหาความสามารถในการรับแรงดึงโดย เครื่องทดสอบ แรงดึง พบว่าความยาวเส้นใยขนาด 0.5 เซนติเมตร ที่ส่วนผสมปูน ทราย เส้นใย โดยน้ำหนัก มีกำลังดึง เพิ่มขึ้นดีที่สุดเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา กำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 13.2 น้ำหนักลูกบ่มผสมผักตบชวา ลดลงประมาณร้อยละ 20 ถึง 40

นนทชัย ชูศิลป์ และคณะ [25] ได้ทำการทดสอบกลสมบัติของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใย ตาลโตนดประกอบด้วย การทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบกำลังรับแรงดึง และความหนาแน่นของ ซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยตาลโตนด โดยผลทั้งหมดจะถูกเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ล้วน ผลการศึกษา พบว่า ความยาวและปริมาณของเส้นใยที่เสริมในซีเมนต์เพสต์ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้กำลังรับ แรงอัด และความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยตาลโตนดมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลง และค่า ความหนาแน่นที่ลดน้อยลงด้วย โดยกำลังรับแรงอัดลดลงในอัตราร้อยละ 35.3 และความหนาแน่นลดลง ในอัตราร้อยละ 5 แต่ในทางตรงกันข้าม ซีเมนต์เพสต์ที่เสริมเส้นใยตาลโตนดในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผล ให้ค่ากำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 38.9 เนื่องจาก เส้นใยตาลโตนดเป็นวัสดุที่ช่วยในการยึดเกาะ ทำให้ซีเมนต์เพสต์ผสมใยตาลโตนดไม่แยกขาดออกจากกัน ในขณะที่ซีเมนต์เพสต์นั้นเกิดการแตกร้าว นอกจากนี้พบว่าอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการรับกำลังอัด และความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นด้วย

ประชุม คำพุ่ม [26] ได้นำยางพาราและเส้นใยชนิดต่างๆใส่ลงในอิฐดินดิบที่ใช้ในงานก่อสร้าง บ้านดินสามารถสรุปได้ว่า การใช้น้ำยางพาราหรือเส้นใยชนิดต่างๆ มาผสมลงในอิฐดินดิบนั้นสามารถ

ช่วยพัฒนาสมบัติทางกายภาพ และทางกลให้ดีขึ้นได้ เช่น สมบัติทางด้านการป้องกันน้ำ สมบัติ ด้านกำลังอัด สมบัติด้านกำลังดัด และการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน เป็นต้น ซึ่งเป็นผลมาจากการแทรกตัวของแผ่นฟิล์มและเส้นใยชนิดต่างๆตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของอิฐดินดิบ โดยที่อิฐ ดินดิบผสมน้ำ ยางพาราและเส้นใยมะพร้าวจะให้ผลของสมบัติต่างๆ ที่ดีที่สุดรองลงมา คืออิฐดินดิบผสม น้ำยางพารา และเส้นใยพวงข้าว อิฐดินดิบผสมน้ำยางพารา และอิฐดินดิบปกติมีสมบัติแย่ที่สุดซึ่งผลจากการทดสอบดังกล่าวจะนำมาใช้ในการพัฒนาการก่อสร้างบ้านดินที่ไม่ต้องฉาบปิดผิวได้

พงศธร กองแก้ว และคณะ [27] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมซีเมนต์ซีเมนต์โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังนี้ 1) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว (C1) และเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยเปลือกถั่วลิสง (C2) และ 2) ศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงดึง มอดูลัสแรงดึง ความทนแรงดัดโค้ง มอดูลัสแรงดัดโค้ง และความทนต่อแรงกระแทก โดยวางแผนการทดลองแบบ 2×5 Factorial ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเปลือกถั่วลิสง (C2) ที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าความทนแรงดึง มอดูลัสแรงดึง ความทนแรงดัดโค้ง และมอดูลัสแรงดัดโค้งของสูงสุด เท่ากับ 28.72 MPa 918.00 MPa 30.38 MPa และ 911.16 MPa ตามลำดับ ส่วนสมบัติความทนแรงกระแทกสูงสุด เท่ากับ 8.51 KJ/m² ของวัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว (C1) ที่อัตราส่วน 5 : 5 และจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคพบว่า สมบัติเชิงกลของวัสดุผสม มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากพันธะภายในที่ยึดเกาะระหว่างเส้นใย และเมทริกซ์เกิดขึ้นได้ดี และความเครียดแรงดึงสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับและกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวของวัสดุผสม นอกจากนี้ การเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใย และเมทริกซ์ ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุมีค่าลดลง

สุรศักดิ์ งามสนิท และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของคานหูกึ่งคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กปลอก โดยใช้เส้นใยเหล็กผสมคอนกรีตแทนการเสริมเหล็กปลอกรับแรงเฉือน ด้วยการทดสอบภายใต้แรงกระทำที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติโดยมีอัตราส่วนช่วงแรงเฉือนต่อความลึกประสิทธิผล (A_v/D) เท่ากับ 1.0 จากผลการศึกษาพบว่าคานหูกึ่งที่ศึกษาสามารถรับน้ำหนักได้โดยไม่เกิดการวิบัติแบบเฉียบพลันเนื่องจากการไม่เสริมเหล็กปลอก และพบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กทำให้คานมีความสามารถในการรับน้ำหนักมากขึ้น โดยคอนกรีตเสริมใยเหล็กสามารถทดแทนเหล็กปลอกในคานหูกึ่งได้

นริศสุริยา สุระโครต และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาการนำเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุหลักในการขึ้นรูปเป็นแผ่นวัสดุตกแต่งภายในอาคาร โดยทำการขึ้นรูปเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุแผ่นขนาด 60X60 เซนติเมตรหนา 1-1.5 เซนติเมตร ด้วยวัสดุประสาน 2 ชนิด คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ อีพ็อกซี แล้วทำการทดสอบแรงดัด แรงดึง การดูดซึมความชื้น และทดสอบการแอ่นตัว พบว่าคุณสมบัติด้านแรงดัด แรงดึง การดูดซึมความชื้น และการแอ่นตัว อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยิบซั่ม (มอก. 219-2552)

จะเห็นได้ว่า จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่าง ๆ แต่ก็ยังไม่สามารถพัฒนาจนนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามา โดยส่วนมากเป็นการนำคุณสมบัติของเส้นใยมาใช้ในการเสริมกำลังต้านแรงดึงให้กับ

วัสดุ และเห็นได้ว่าเส้นใยมะพร้าว มีศักยภาพในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นในการพัฒนาเส้นใยมะพร้าวให้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างซึ่งเป็นตลาดที่มีขนาดใหญ่ มีความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากมีปริมาณความต้องการใช้ที่สูงมาก โดยในการวิจัยนี้จะเป็นการ นำเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุหลัก และใช้วัสดุประสานเป็นตัวช่วยให้เส้นใยยึดติดกัน



บทที่ 3

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยเน้นการใช้เส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุหลัก ผสมในสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : น้ำ ขึ้นรูปขึ้นส่วนแบ่งตัวอย่างด้วยแบบเหล็กอัดขึ้นรูป แล้วทิ้งไว้จนครบ 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดแบบออกและนำไปบ่มด้วยการหุ้มพลาสติกใสที่อายุ 28 และ 90 วัน แล้วนำไปทดสอบกำลังอัด แรงดัด แรงดึงแบบผ่าซีก แรงดึงโดยตรง และแรงเฉือน เปรียบเทียบผลการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน

3.1 แนวทางวิธีการในการดำเนินการ

โดยกำหนดแนวทางวิธีการดำเนินการตามรายละเอียดในหัวข้อดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจและจัดหาวัตถุดิบ วัสดุเส้นใยหลักที่นำมาศึกษาในครั้งนี้คือ เส้นใยมะพร้าวแห้ง ซึ่งเป็นเส้นใยชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตที่นอน โดยผู้ทดสอบจะเลือกเส้นใยมะพร้าวแก่ ซึ่งมีมาตรฐานเทียบเท่ากับโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวกับเส้นใยมะพร้าวทั่วโลก ทำการจัดเก็บไว้อย่างดีในที่แห้งพ้นจากความชื้น และฝน

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุประสานจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเป็นวัสดุที่ใช้งานได้ดี และมีราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับ กาวลาเท็กซ์ และอีพอกซี

ขั้นตอนที่ 3 ทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับวัสดุประสานที่ใช้ในงานวิจัย โดยศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับวัสดุจากเส้นใยธรรมชาติ และงานวิจัยใกล้เคียงกัน โดยการนำมาปรับใช้ให้เกิดความสอดคล้องกับการทดลองอัดขึ้นรูปแท่งตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร และตัวอย่างแท่งคานขนาด 10X10 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ก่อนที่จะทำการหล่อแท่งตัวอย่างใช้งานจริง ตรวจสอบความเหมาะสมของแต่ละส่วนผสม โดยการทดลองหล่อและกดทดสอบเบื้องต้น เพื่อเช็คว่าค่าแรงที่ได้ และตัดครึ่งเพื่อดูเนื้อวัสดุว่ามีความแน่นเพียงพอหรือไม่ โดยเลือกอัตราส่วนผสมที่สามารถอัดขึ้นรูปแท่งตัวอย่างได้เต็มแบบหล่อพอดี

จากการทดลองผสมนี้ทำให้สามารถเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม จำนวน 3 อัตราส่วน โดยใช้วัสดุเส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : น้ำ ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 11.2 : 29.6 : 59.2 , 12.1 : 28.8 : 59.1 และ 13.0 : 28.0 : 59.0 โดยปริมาตรตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนผสมนี้ วัสดุประสานสามารถเคลือบผิวเส้นใยมะพร้าวได้อย่างทั่วถึง และเป็นอัตราส่วนที่มากที่สุดที่จะทำการอัดขึ้นรูปแท่งตัวอย่างได้พอดีในแบบเหล็กที่ใช้ โดยกำหนดจากปริมาณเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุหลัก ซึ่งหากใช้อัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมากกว่านี้ เนื้อวัสดุจะมากเกินไป และไม่สามารถอัดขึ้นรูปแท่งตัวอย่างได้เนื่องจากอัดไม่ลง หรือหากใช้อัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณน้อยกว่านี้ เนื้อวัสดุจะหลวม และไม่แน่น

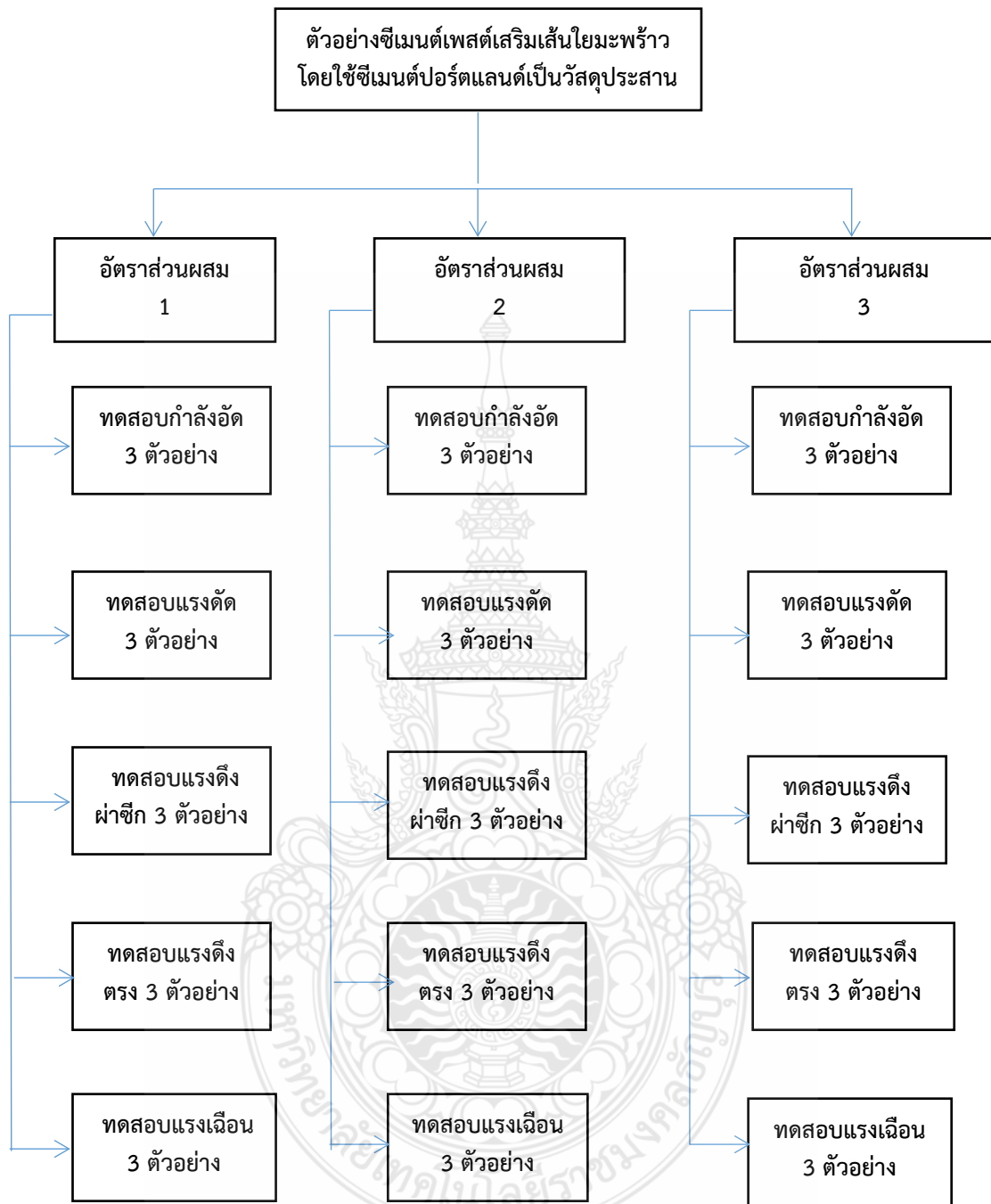
ดังนั้นสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ผู้จัดทำได้ทำการปรับปรุงอัตราส่วนที่จะต้องใช้จริงจำนวน 3 อัตราส่วนด้วยกัน สำหรับตัวอย่างแท่งคาน และสำหรับตัวอย่างทรงกระบอก ดังรายละเอียดแสดงไว้ในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวและวัสดุประสานที่ใช้ในการทดสอบ (ปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ไม่รวมช่องว่างในเนื้อวัสดุ)

อัตราส่วนผสม	เส้นใยมะพร้าว (ร้อยละ) โดยปริมาตร	ปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) โดยปริมาตร	น้ำ (ร้อยละ) โดยปริมาตร	จำนวน (ตัวอย่าง)
1	11.2	29.6	59.2	30
2	12.1	28.8	59.1	30
3	13.0	28.0	59.0	30

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมแล้ว ทำการหล่อแท่งตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังอัด และแรงดึงแบบผ่าซีก หล่อแท่งคานขนาดหน้าตัด 10X10 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร เพื่อทดสอบแรงดัด และแรงเฉือน และนำแท่งคานที่หล่อเสร็จแล้วมาเลื่อยตัดให้เหลือขนาด 10X10 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบแรงดึงโดยตรง

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบกำลังอัด แรงดัด แรงดึงแบบผ่าซีก แรงดึงโดยตรง และแรงเฉือน และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน



รูปที่ 3.1 ผังแสดงกระบวนการดำเนินการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน

3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือ ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

3.2.1 เส้นใยมะพร้าว



รูปที่ 3.2 เส้นใยมะพร้าว

3.2.2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1



รูปที่ 3.3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1

3.2.3 แบบอัดขึ้นรูปที่ทำจากเหล็กเนื่องจากมีความแข็งแรงและสามารถใช้งานได้คงทนโดยอัดขึ้นรูปแล้ว ได้ตัวอย่างแท่งทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร และแท่งคานขนาด 10X10 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร



รูปที่ 3.4 แบบเหล็กอัดขึ้นรูป

3.2.4 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine)



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล

3.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบตั้งพื้น



รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2.6 เครื่องผสมวัสดุประสานกับน้ำ (Mix Cement)



รูปที่ 3.7 เครื่องผสมวัสดุประสานกับน้ำขนาดเล็ก

3.2.7 พลาสติกใส PVC ใช้หุ้มก้อนตัวอย่างสำหรับการบ่ม



รูปที่ 3.8 พลาสติกใส PVC

3.2.8 เกรียงเหล็ก

3.2.9 แปรงพลาสติก ขนาด 4 นิ้ว

3.2.10 น้ำมันทาแบบเหล็ก

3.2.11 ประแจไขน็อตค้อนรูป

3.2.12 ตาช่ายเหล็กใช้เสริมตัวอย่างเพื่อช่วยในการทดสอบแรงดึงโดยตรง

3.3 คุณสมบัติพื้นฐานเชิงกลของวัสดุใยมะพร้าว

จากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานเชิงกลของวัสดุใยมะพร้าวของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติการรับแรงของเส้นใยมะพร้าว ได้ใช้กล้องจุลทรรศน์ในการส่องดูขนาดหน้าตัดของเส้นใย และใช้เครื่อง Instron รุ่น 5569 ในการทดสอบกำลังดึง [27] ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานเชิงกลของวัสดุใยมะพร้าว [27]

Sample	แรงดึง	หน้าตัด	ระยะยืด	Elongation	Tenacity	ขนาดของเส้นใย
	(N)	(cm ²)	(mm)	%	(gf/denier)	Tex หรือ denier
เส้นใย มะพร้าว	5.4825	0.00312	9.3	37.2	446.09	48.8556 หรือ 448.7

3.4 การหล่อและบ่มแท่งตัวอย่าง

3.4.1 เตรียมเส้นใยมะพร้าวตามปริมาณที่ได้ออกแบบไว้

3.4.2 เตรียมวัสดุประสานประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำ ตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ นำมาผสมในเครื่องผสม (แสดงในตารางที่ 3.1)

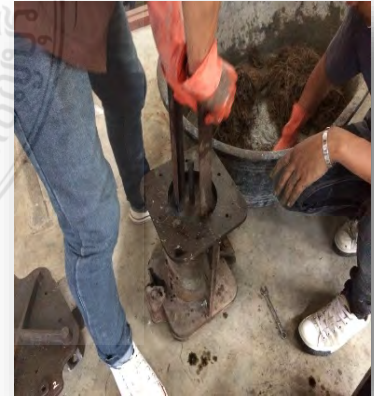
3.4.3 นำวัสดุประสานมาผสมกับเส้นใยมะพร้าวคลุกเคล้าให้วัสดุประสานแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยให้ทั่วถึง

3.4.4 เมื่อผสมเข้ากันดี นำวัสดุที่ผสมได้มาใส่ในแบบหล่อที่เตรียมไว้ อัดขึ้นรูปให้ได้รูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ ตั้งไว้เป็นเวลา 1 วัน ก่อนถอดแบบ

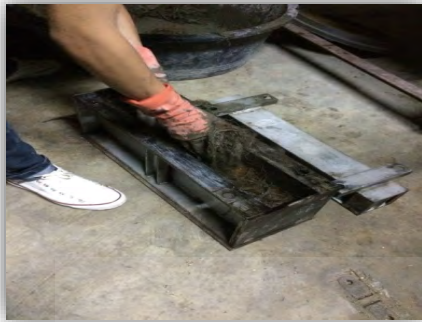
3.4.5 บ่มแท่งตัวอย่างโดยหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกเป็นเวลา 28 วัน จำนวน 45 ตัวอย่าง และบ่มเป็นเวลา 90 วัน จำนวน 45 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.9 การผสมวัสดุประสานกับเส้นใยมะพร้าว



รูปที่ 3.10 การอัดขึ้นรูปแท่งทรงกระบอก \varnothing 15X30 ซม.



รูปที่ 3.11 การอัดขึ้นรูปแท่งคาน 10X10X60 ซม.

นำตัวอย่างที่ได้มาจากการถอดแบบ ป้มแท่งตัวอย่างโดยหุ้มด้วยพลาสติกใส ทิ้งไว้ที่ระยะเวลา 28 วัน จำนวน 45 ตัวอย่าง และบ่มเป็นเวลา 90 วัน จำนวน 45 ตัวอย่าง จากนั้นถอดพลาสติกออก และพักไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อรอทำการทดสอบ



รูปที่ 3.12 ถอดแบบหล่อพร้อมหุ้มแผ่นพลาสติกใสบ่มแท่งตัวอย่าง

3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแท่งตัวอย่าง

3.5.1 การทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C 39



รูปที่ 3.13 วัดขนาด และชั่งน้ำหนักแท่งตัวอย่างทรงกระบอก



รูปที่ 3.14 การทดสอบกำลังอัด



รูปที่ 3.15 การวิบัติเนื่องจากแรงอัด

3.5.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึง แบ่งเป็น 3 การทดสอบดังนี้
1) การทดสอบกำลังดัดตามมาตรฐาน ASTM C 78



รูปที่ 3.16 วัดขนาด และชั่งน้ำหนักตัวอย่างแท่งคานสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.17 การทดสอบแรงดัด



รูปที่ 3.18 การวิบัติเนื่องจากแรงดัด

2) การทดสอบกำลังดึงโดยวิธีผ่าซีกตามมาตรฐาน ASTM C 496



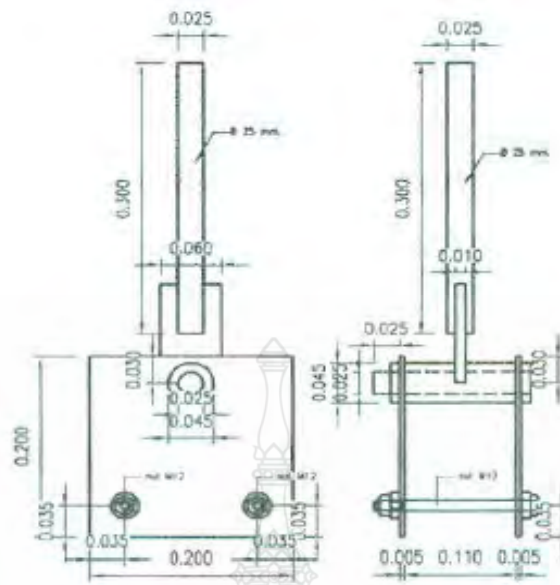
รูปที่ 3.19 การทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก



รูปที่ 3.20 การวิบัติเนื่องจากแรงดึงแบบผ่าซีก

3) การทดสอบแรงดึงโดยตรง

1) นำตัวอย่างมาวัดขนาดหน้าตัด ความยาว ชั่งน้ำหนัก จากนั้นปักตำแหน่งที่จะเจาะรูที่ตัวอย่างเพื่อประกอบชุดทดสอบแรงดึงโดยตรง โดยวัดระยะจากขอบเข้ามาระยะ 7 เซนติเมตร ทั้งสองด้านทำยังไงก็ได้กึ่งกลางตัวอย่างที่สุด นำตัวอย่างประกอบเข้ากับชุดทดสอบเหมือนแสดงไว้ในภาพ



รูปที่ 3.21 หัวยึดแท่งตัวอย่างทดสอบแรงดึงโดยตรง



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างที่เจาะรูเสร็จ และประกอบเข้ากับชุดทดสอบแรงดึงโดยตรง

2) นำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ ปรับเครื่องทดสอบที่จุดเริ่มต้น จากนั้นทำการให้แรงดึงอย่างสม่ำเสมอจนกว่าตัวอย่างจะขาดออกจากกัน บันทึกค่ากำลังดึงสูงสุดที่ทำให้คอนกรีตเกิดการวิบัติ เพื่อนำไปทดสอบค่าหน่วยแรงดึงตัวอย่างสามารถรับได้



รูปที่ 3.23 การทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง



รูปที่ 3.24 การวิบัติเนื่องจากแรงดึงโดยตรง

3.5.3 การทดสอบแรงเฉือน

- 1) นำตัวอย่างมาวัดขนาดหน้าตัด ความยาว นำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นวัดระยะ 5 เซนติเมตร จากขอบของทั้งสองข้างเพื่อเป็นตำแหน่งของจุดรองรับ จากนั้นวัดจากตำแหน่งจุดรองรับเข้ามาเข้ามาอีก 10 เซนติเมตร เพื่อเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบแรงเฉือน

2) นำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ วางตัวอย่างให้ได้ตำแหน่งตามที่กำหนดไว้ โดยให้น้ำหนักกดข้างหนึ่งของตัวอย่าง จนตัวอย่างเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้น จากนั้นบันทึกค่ากำลังสูงสุดที่ได้ เพื่อนำไปเข้าสู่สูตรคำนวณหาแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.25 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน



รูปที่ 3.26 การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

3.6 การวิเคราะห์ และสรุปผลงานวิจัย

หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้นแล้ว ข้อมูลของตัวอย่างทั้งหมดจะถูกบันทึก และนำไปคำนวณต่อไป เพื่อที่จะทราบถึงค่าของหน่วยแรงต่างๆ ที่ตัวอย่างรับได้ว่ามีค่าเป็นอย่างไร โดยลักษณะของการนำเสนอข้อมูลอาจจะเป็นตารางแสดงผล แผนภูมิ กราฟ หรือสมการความสัมพันธ์ พร้อมด้วยการอธิบายประกอบ เพื่อให้มีความชัดเจนของผลที่ได้รับ และสามารถเข้าใจได้มากยิ่งขึ้น

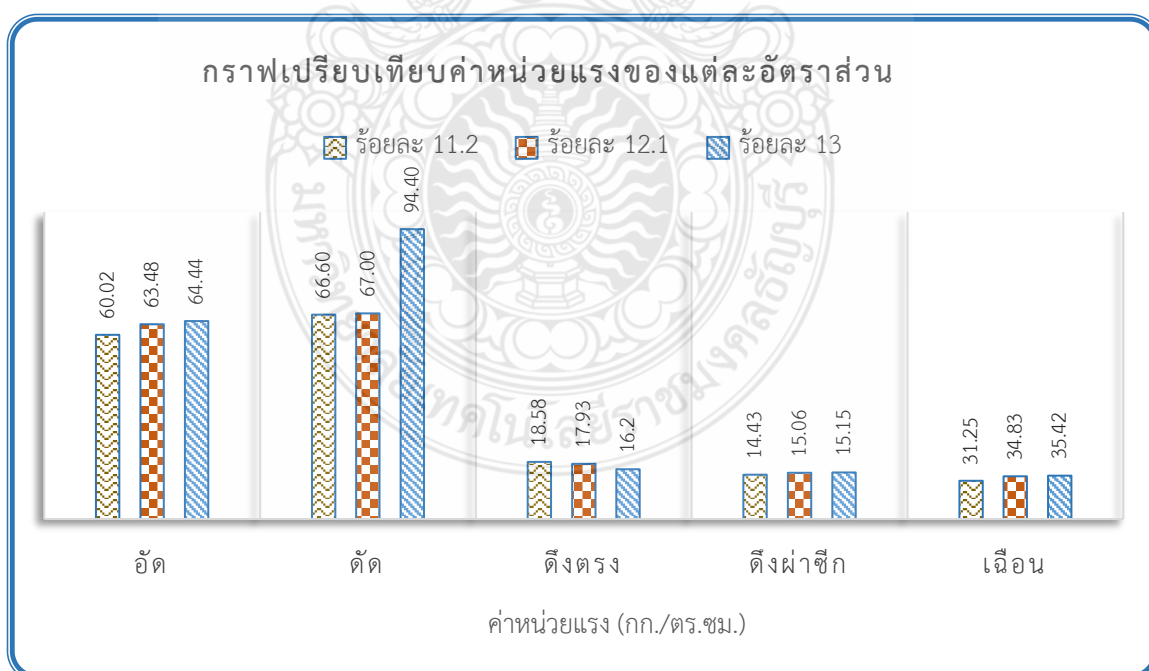
ขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยหลังจากที่ได้ผลของการทดสอบแล้ว จะอธิบายถึงผลการทดสอบว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ หรือไม่ เพราะเหตุใดจึงทำให้ได้ผลมาเป็นอย่างนี้ โดยพร้อมทั้งยกตัวอย่างอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมาแบบประกอบ

บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยมะพร้าว ซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติมาทำเป็นวัสดุสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน นำมาผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วทำการอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ นำไปผ่านกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยมีผลของการทดสอบกำลังอัด แรงเฉือน แรงดึงโดยตรง แรงดึงแบบผ่าซีกและแรงดัด ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบของแท่งตัวอย่าง (ที่อายุการบ่ม 28 วัน)

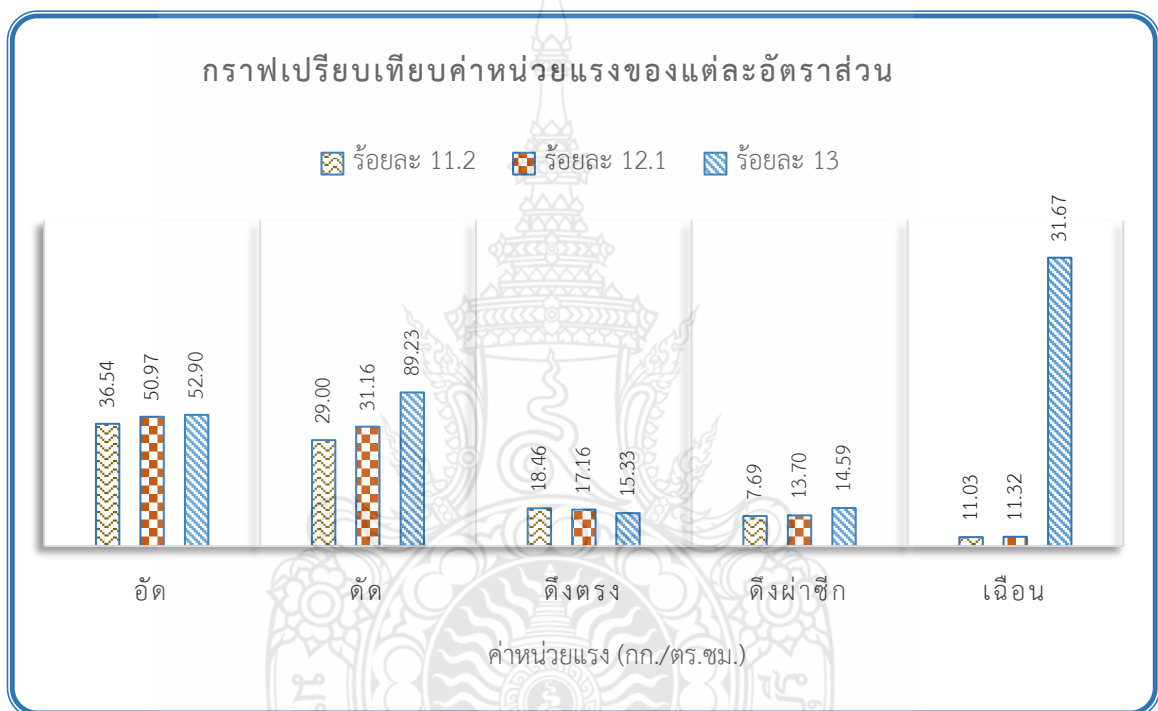
เส้นใยมะพร้าว โดยปริมาตร (ร้อยละ)	ค่าหน่วยแรงเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ 28 วัน				
	แรงอัด	แรงดัด	แรงดึงโดยตรง	แรงดึงผ่าซีก	แรงเฉือน
11.2	60.02	66.60	18.58	14.43	31.25
12.1	63.48	67.00	17.93	15.06	34.83
13.0	64.44	94.40	16.20	15.15	35.42



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงของแต่ละอัตราส่วนที่อายุ 28 วัน

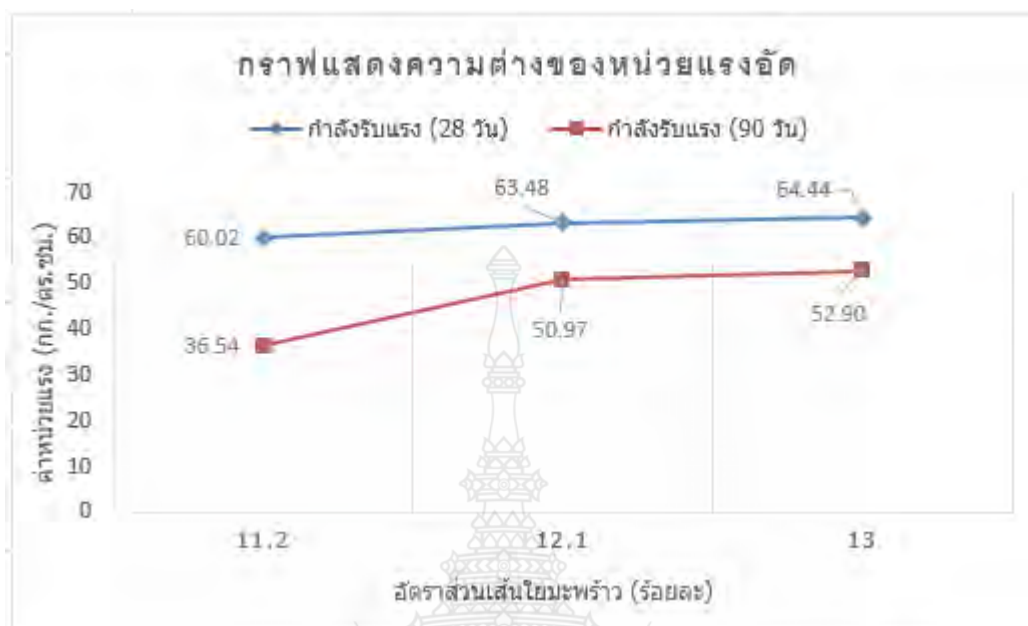
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบของแท่งตัวอย่าง (ที่อายุการบ่ม 90 วัน)

เส้นใยมะพร้าว โดยปริมาตร (ร้อยละ)	ค่าหน่วยแรงเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ 90 วัน				
	แรงอัด	แรงดัด	แรงดึงโดยตรง	แรงดึงผ่าซีก	แรงเฉือน
11.2	36.54	29.00	18.46	7.69	11.03
12.1	50.97	31.16	17.16	13.70	11.32
13.0	52.90	89.23	15.33	14.59	31.67



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงของแต่ละอัตราส่วนที่อายุ 90 วัน

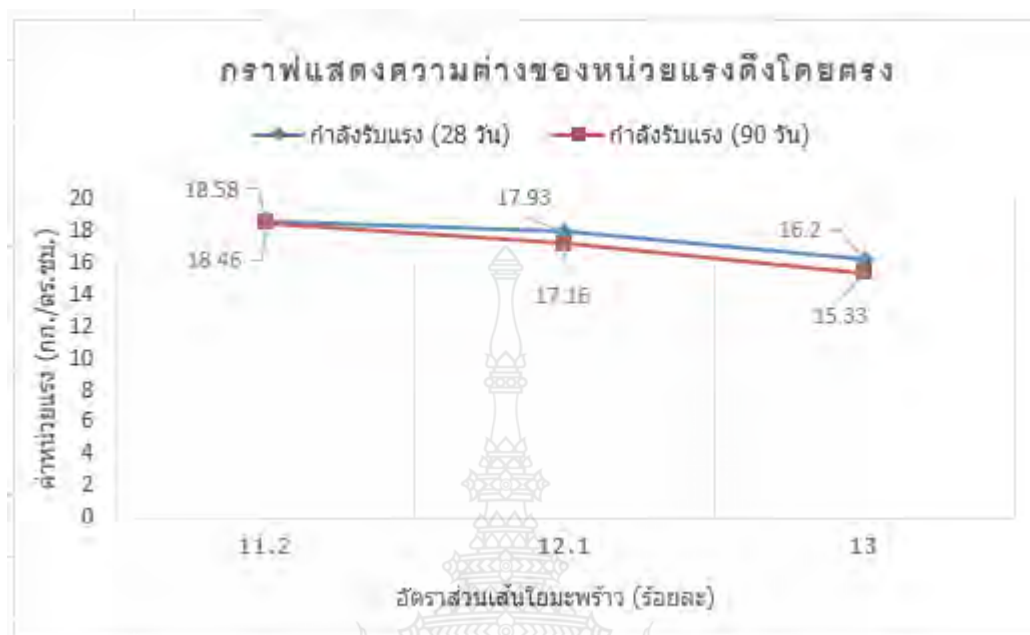
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัด



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด และอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว

จากผลการทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่าง ในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 11.2, 12.1 และ 13.0 โดยปริมาตร ผลการทดสอบที่อายุ 28 วัน ได้ค่ากำลังอัด 60.02, 63.48 และ 64.44 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ผลการทดสอบที่อายุ 90 วัน ได้ค่ากำลังอัด 36.54, 50.97 และ 52.90 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่ากำลังอัดของแท่งตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนที่มีค่ากำลังอัดสูงสุดคืออัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 13.0 โดยปริมาตร ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัดนี้ เป็นผลเนื่องมาจากเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้นทำให้อิฐุภายในชั้นตัวอย่างมีความแน่นตึขึ้น เส้นใยมะพร้าวสามารถเข้าไปแทรกในเนื้อของวัสดุประสานได้ดี ทำให้สามารถรับกำลังอัดได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ประชุม คำพุด [26] ที่พบว่าความต้านทานแรงอัดของอิฐุดินดิบผสมเส้นใยฟางข้าว แปรผันตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังอัดที่อายุ 28 และ 90 วัน พบว่าที่อายุ 90 วัน ค่ากำลังอัดลดลงร้อยละ 39.12, 19.71 และ 17.91 ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวเกิดการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใยมะพร้าวและวัสดุประสาน ภายในเนื้อของวัสดุเกิดการหลวมตัวสังเกตได้ว่าเมื่ออัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าความต่างของกำลังอัดที่อายุ 28 และ 90 วัน มีแนวโน้มลดน้อยลง แสดงตามรูปที่ 4.3

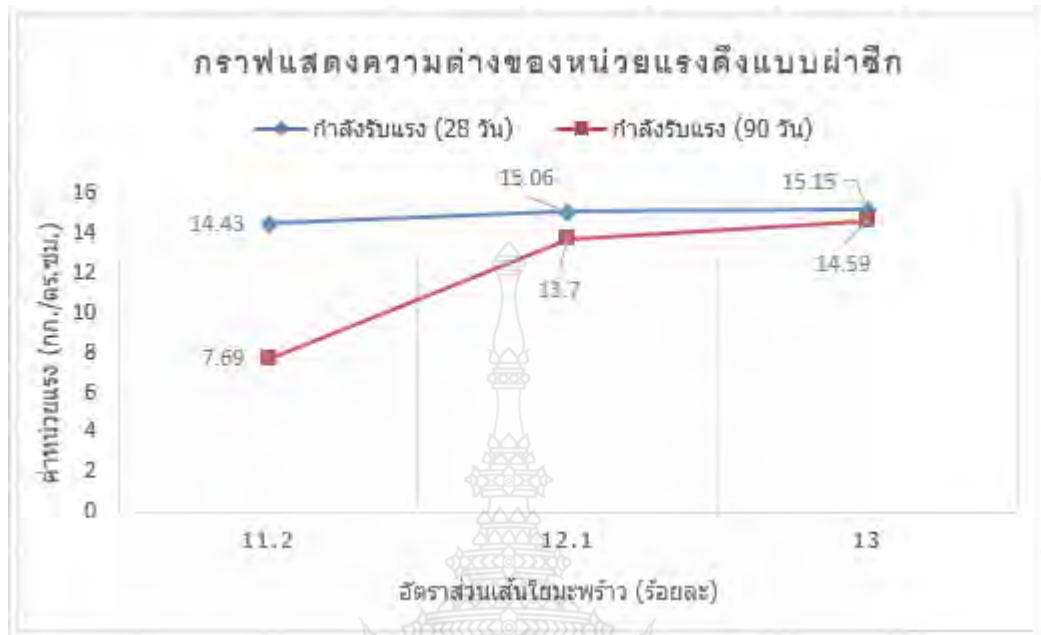
4.2 ผลการทดสอบแรงดึงโดยตรง



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงโดยตรง และอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว

จากผลการทดสอบแรงดึงโดยตรงของแท่งตัวอย่าง ในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 11.2, 12.1 และ 13.0 โดยปริมาตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ได้ค่าแรงดึงโดยตรง 18.58, 17.93 และ 16.20 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 90 วัน ได้ค่าแรงดึงโดยตรง 18.46, 17.16 และ 15.33 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 11.2 โดยปริมาตร มีค่าแรงดึงโดยตรงสูงสุด สังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าว จะทำให้ค่าแรงดึงโดยตรงลดลง ตามสัดส่วนเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากันทุกส่วนผสม ในขณะที่ปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น อาจมีผลทำให้การยึดเกาะระหว่างปูนซีเมนต์กับเส้นใยมะพร้าวไม่ทั่วถึง เนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และอาจเกิดจากผิวสัมผัสของเส้นใยมะพร้าวค่อนข้างเรียบ ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับวัสดุประสานเป็นไปได้ไม่ดี ยิ่งเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าว การวิบัติก็จะเกิดได้ง่าย และเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดึงโดยตรงที่อายุ 28 และ 90 วัน พบว่าที่อายุ 90 วัน ค่าแรงดึงโดยตรงลดลง ร้อยละ 0.65, 4.30 และ 5.37 ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวเกิดการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใยมะพร้าวและวัสดุประสาน เมื่อมีแรงดึงมากกระทำ จึงทำให้ง่ายต่อการวิบัติแบบดึงโดยตรง สังเกตได้ว่าเมื่ออัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าความต่างของแรงดึงโดยตรง ที่อายุ 28 และ 90 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงตามรูปที่ 4.4

4.3 ผลการทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงแบบผ่าซีกและอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว

จากผลการทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีกของแท่งตัวอย่าง ในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 11.2, 12.1 และ 13.0 โดยปริมาตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ได้ค่าแรงดึงแบบผ่าซีก 14.43, 15.06, และ 15.15 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 90 วัน ได้ค่าแรงดึงแบบผ่าซีก 7.69, 13.70 และ 14.59 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 13.0 โดยปริมาตร มีค่าแรงดึงแบบผ่าซีกสูงสุด ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าว ค่าแรงดึงแบบผ่าซีกจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะในขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแท่งตัวอย่างทรงกระบอก จะมีลักษณะการอัดเป็นชั้นๆ ตามแนวตั้ง การเรียงตัวของเส้นใยจึงมีลักษณะเป็นชั้น ๆ ไม่ต่อเนื่อง ทำให้การยึดเกาะของวัสดุประสานกับเส้นใยมะพร้าวไม่ดีพอ เมื่อแรงที่มากกระทำเป็นลักษณะกระทำในแนวนอนกับแท่งตัวอย่าง จึงทำให้ง่ายต่อการวิบัติแบบผ่าซีก และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่อายุ 28 และ 90 วัน พบว่าผลการทดสอบที่อายุการบ่ม 90 วัน ค่าแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าลดลงร้อยละ 46.71, 9.03 และ 3.70 ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวเกิดการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุ และง่ายต่อการวิบัติแบบแรงดึงผ่าซีก สังเกตได้ว่าเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าความต่างของหน่วยแรงดึงแบบผ่าซีกที่อายุ 28 และ 90 วัน มีแนวโน้มน้อยลง แสดงตามรูปที่ 4.5

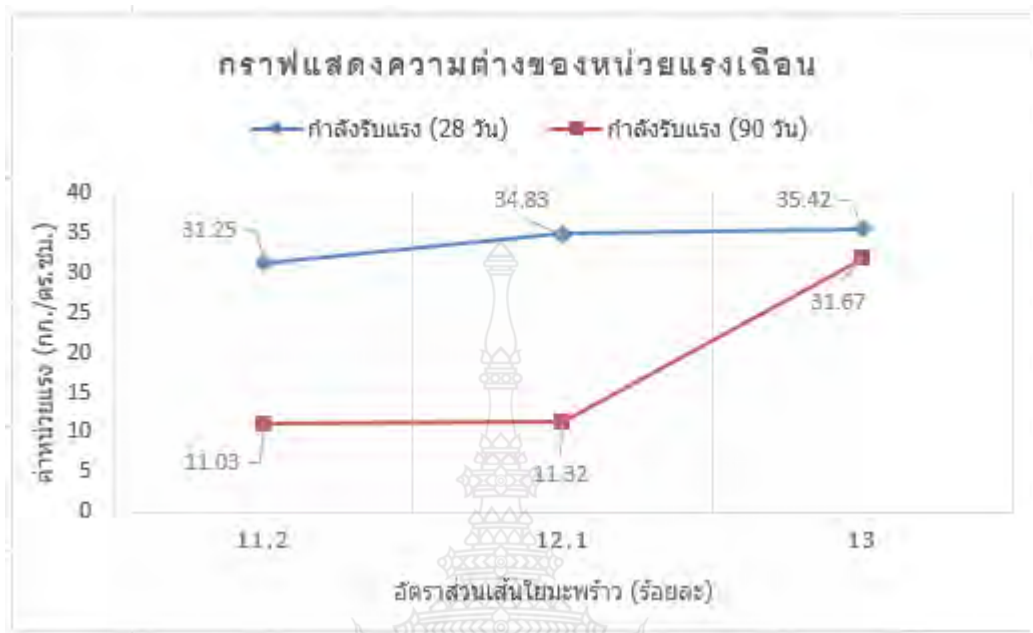
4.4 ผลการทดสอบแรงดัด



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดและอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว

ผลการทดสอบแรงดัดของแท่งตัวอย่าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว ร้อยละ 11.2, 12.1 และ 13.0 โดยปริมาตร ได้ค่าแรงดัด 66.60, 67.00 และ 94.40 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 90 วัน ได้ค่าแรงดัด 29.00, 31.16 และ 89.23 กก./ตร.ซม. โดยที่อัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 13.0 โดยปริมาตร มีค่าแรงดัดสูงสุด จะเห็นได้ว่าที่ส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 11.2, 12.1 กำลังดัดมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในอัตราส่วนผสม ร้อยละ 13.0 โดยปริมาตร สามารถรับกำลังดัดได้เพิ่มสูงขึ้น และเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด สังเกตว่าเมื่อเพิ่มเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่เหมาะสม เส้นใยสามารถเรียงตัวเข้าไปแทรกในเนื้อของวัสดุประสานได้ดี และเส้นใยซึ่งมีความเหนียวจะทำหน้าที่ช่วยยึดรั้งรอยแตกร้าวของแท่งตัวอย่างเอาไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พงศธร กองแก้ว และคณะ [27] ที่ได้ทำการทดลองนำเส้นใยกล้วยแห้ง เส้นใยมะพร้าว เส้นใยเปลือกถั่วลิสงทำเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุผสมชีวภาพ พบว่ามีสมบัติการรับแรงดัดได้มากขึ้น เนื่องจากการวางตัวของเส้นใยที่ดี เข้าไปแทรกในช่องว่างได้มาก พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยกับเนื้อวัสดุประสานก็เป็นส่วนช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดัดด้วยเช่นกัน จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน พบว่าที่อายุการบ่ม 90 วัน ค่าหน่วยแรงดัดลดลงร้อยละ 56.46, 53.49 และ 5.48 ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวเกิดการหดตัวจากการสูญเสียน้ำความชื้น ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุ สังเกตได้ว่าเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าความต่างของหน่วยแรงดัดที่อายุ 28 และ 90 วัน มีแนวโน้มน้อยลง แสดงตามรูปที่ 4.6

4.5 ผลการทดสอบแรงเฉือน



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนและอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว

ผลการทดสอบแรงเฉือนของแท่งตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วัน ในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว ร้อยละ 11.2, 12.1 และ 13.0 โดยปริมาตร ได้ค่าหน่วยแรงเฉือน 31.25, 34.83 และ 35.42 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน ได้ค่าหน่วยแรงเฉือน 11.03, 11.32 และ 31.67 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าว ร้อยละ 13.0 โดยปริมาตร มีค่าแรงเฉือนสูงสุด ซึ่งจะเห็นว่าค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าว เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวมีความเหนียวเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรง ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวของเนื้อวัสดุแท่งตัวอย่างมีค่ามากขึ้น ปริมาณของเส้นใยมะพร้าวมีผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงเฉือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุรศักดิ์ งามสนิท และคณะ [28] ที่ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคานหูกึ่งคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก แทนการเสริมเหล็กปลอกในคาน พบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กทำให้คานมีความสามารถในการรับแรงเฉือนได้มากขึ้น ประกอบกับการวางเรียงตัวของเส้นใยเปรียบเสมือนตัวกันขวางระนาบตั้งฉากของแรงที่มากระทำ ไม่ให้แท่งตัวอย่างขาดออกจากกันได้โดยง่าย จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน พบว่าที่อายุ 90 วัน ค่าหน่วยแรงเฉือนลดลงร้อยละ 64.71, 67.50 และ 10.59 ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยมะพร้าวเกิดการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุ สังเกตได้ว่าเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าความต่างของแรงเฉือนที่อายุ 28 และ 90 วัน มีแนวโน้มน้อยลง แสดงตามรูปที่ 4.7

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ได้ผลการทดสอบและได้ทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่มาของผลการทดสอบแล้ว ในบทนี้ จะทำการสรุป และ พิจารณาถึงความเป็นไปได้ของงานวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผล

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทดสอบเชิงกลของแท่งตัวอย่างประกอบด้วยการทดสอบ กำลังอัด แรงดึงโดยตรง แรงดึงแบบผ่าซีก แรงดัด และแรงเฉือน โดยใช้วัสดุเส้นใยมะพร้าว : ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ : น้ำ ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 11.2 : 29.6 : 59.2 , 12.1 : 28.8 : 59.1 และ 13.0 : 28.0 : 59.0 โดยปริมาตรตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดสอบกำลังอัด ค่าแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนผสม 13.0 : 28.0 : 59.0 โดยปริมาตร มีค่ากำลังอัดมากที่สุดเฉลี่ย 64.44 และ 52.90 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน ค่ากำลังอัดลดลงร้อยละ 17.91

2. การทดสอบแรงดึงโดยตรง ค่าแรงดึงโดยตรงมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว โดยอัตราส่วนผสม 11.2 : 29.6 : 59.2 โดยปริมาตร มีค่าแรงดึงโดยตรงมากที่สุด เฉลี่ย 18.58 และ 18.46 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน ค่าแรงดึงโดยตรงลดลงร้อยละ 0.65

3. การทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าวค่าแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยอัตราส่วนผสม 13.0 : 28.0 : 59.0 โดยปริมาตร มีค่าแรงดึงแบบผ่าซีกมากที่สุด เฉลี่ย 15.15, 14.59 กก./ตร.ซม.ซม. ตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน ค่าแรงดึงแบบผ่าซีกลดลงร้อยละ 3.70

4. การทดสอบแรงดัด เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าวค่าหน่วยแรงดัดมีค่าสูงขึ้น โดยอัตราส่วนผสม 13.0 : 28.0 : 59.0 โดยปริมาตร มีค่าแรงดัดมากที่สุดเฉลี่ย 94.40 และ 89.23 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน ค่ากำลังดัดลดลงร้อยละ 5.48

5. การทดสอบแรงเฉือน เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าว ค่าแรงเฉือนมีค่าสูงขึ้น โดยอัตราส่วนผสม 13.0 : 28.0 : 59.0 โดยปริมาตร มีค่าแรงเฉือนมากที่สุดเฉลี่ย 35.42 และ 31.67 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน ค่าแรงเฉือนลดลงร้อยละ 10.59

สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าวในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้รับกำลัง ได้ดีขึ้น สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าวแล้วจะทำให้รับกำลัง ได้น้อยลง และจากการเปรียบเทียบความต้านทานการรับกำลังของแท่งตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน พบว่าค่าหน่วยแรง ที่อายุการบ่ม 90 วัน มีค่าลดลงทุกการทดสอบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งนี้เพื่อนำไปปรับปรุงการทำวิจัย ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยในครั้งถัดไปมีดังนี้

- ควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติเส้นใยมะพร้าวให้เส้นใยมีความเหนียวและคงทนถาวรในระยะยาว
- ควรมีการทดสอบคุณสมบัติด้านอื่นด้วยเช่น ความคงทน การดูดซึมน้ำ เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] วิกานดา วรรณวิเศษ. (2558). **คาร์บอนเครดิต : ธุรกิจลดโลกร้อน (Carbon Credit : Business for Relieve Global Warming)**. บทความวิชาการ ปีที่ 5. ฉบับที่ 4. สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา
- [2] Luck Naibann. (2018). **วัสดุก่อสร้างรักษ์โลก**. เทรนด์สร้างบ้านยุคอนาคตที่พร้อมรับมือกับปัญหาสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : <https://www.Naibann.Com/blog/8-biodegradable-materials-for-eco-house>.
- [3] ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). **ผลผลิตทางการเกษตร**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [4] Copyright. (2004). **ใยมะพร้าว**. VICTORY INDUSTRIAL.Coconut fiber Factory. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : <http://www.victoryindustrial.co.th/products.html>
- [5] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จตุรพิทักษ์กุล. (2556). **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. พิมพ์ครั้งที่ 7. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย
- [6] ประพนธ์ เพ็ญฟู. (2555). **พฤติกรรมของคอนกรีตผสมเส้นใยและการต้านทานแรงกระแทกด้วยวิธีต้อน้ำหนัก**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [7] ประเทือง กันธสมาส. (2556). **พฤติกรรมของมอร์ต้าร์ผสมเส้นใยเหล็กชนิดงอปลายปริมาณสูงในการรับแรงดึงและแรงดัด**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [8] สุพรรณษา ชูจร. (13 พฤศจิกายน 2561). **เส้นใยธรรมชาติ**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : <http://www.jimsuparnsa.blogspot.com/>
- [9] **สมบัติของเส้นใย (Fiber)**. (13 พฤศจิกายน 2561). [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : <https://www.scribd.com/doc/61426660/สมบัติของเส้นใย-Fiber/>
- [10] Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2009). **ใยมะพร้าว**. องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ.
- [11] American Society for Testing and Material. ASTM ASTM D7375 : **Standard Specification for Cellulose Fibers for Fiber-Reinforced Concrete**. Annual Book of ASTM Standards. vol. 04.02. Philadelphia (2001)

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] William D.Callister Jr and David G. Rethwisch, **Materials Science and Engineering: An Introduction**, 9th Edition : pp 636.
- [13] อนันตภักดิ์ โชติมงคล. (2538). **คุณรู้จักเซรามิกส์ดีแค่ไหน**. เซรามิกส์, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1 : หน้า 52-55.
- [14] นันทชัย ชูศิลป์ (2556). **หน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนผสมกะลาปาล์มน้ำมัน**. การพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1 : หน้า 97-106.
- [15] สกลวรรณ ห่านจิตสุวรรณ์, ธนากร ภูเงินชา และปริญญา จินดาประเสริฐ. (2556). **การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์พสต์ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์**. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลาปาง. ปีที่ 6. ฉบับที่ 1 : หน้า 60-69.
- [16] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.). 18 มีนาคม 2558. **การบ่มคอนกรีต**, [ออนไลน์], สืบค้นจาก : <http://www.thaiengineering.com>.
- [17] American Society for Testing and Material. **ASTM C39 : Standard Testing Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens**, Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.02. Philadelphia (2001)
- [18] **คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ , การทดสอบแรงเฉือน**. [ออนไลน์], สืบค้นจาก : e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp : coad = MY 318 (51)
- [19] **คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ , การทดสอบแรงดึงโดยตรง**, [ออนไลน์], สืบค้นจาก : e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp : coad = MY 318 (51)
- [20] American Society for Testing and Material. **ASTM C496 : Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimen**. Annual Book of ASTM Standards.vol.04.02.Philadelphia (2001) : PP 273-276.
- [21] American Society for Testing and Material. **ASTM C78 : Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)**. Annual Book of ASTM Standards. vol. 04.01, Philadelphia (2001) : pp 32-34.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [22] วรณุช ตีละมัน, กัลทิมา เซาว์ชาญชัยกุล และ กิติยศ ตั้งสัจจวงศ์. (2559). **การพัฒนาและผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยการผสมเส้นใยธรรมชาติ**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [23] นิรุช สุขสมเขตร. (2540). **คอนกรีตผสมใยมะพร้าว**, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [24] นิตยา นาน้ำเขียว และชัยวัฒน์ แสงเขียว. (2542). **คอนกรีตเสริมผักตบชวา**, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [25] นันทชัย ชูศิลป์, ชนาภัทร คุ่มภัย, ชาญณรงค์ ศรีแปลก และวิไล สิตพงศ์. (2556). **กลสมบัติของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยตาลโตนด**. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1(2) : หน้า 89-99.
- [26] ประชุม คำพุฒ. (2551). **การใช้น้ำยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติพัฒนาคุณสมบัติของอิฐดินดิบเพื่องานวัสดุก่อสร้างเชิงอนุรักษ์พลังงาน**. รายงานฉบับสมบูรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [27] พงศธร กองแก้ว, วิจิตร เซาว์วันกลาง และไพฑูรย์ สุขศรีงาม. (2560). **สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมชีวภาพเสริมแรงด้วยเส้นใยรากหญ้าแฝกผสมเส้นใยมะพร้าว และผสมเส้นใยเปลือกถั่วลิสงในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน**. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. ปีที่ 33. ฉบับที่ 1: หน้า 159-173.
- [28] สุรศักดิ์ งามสนิท, นันทวัฒน์ ขมหวาน, และกริสัน ชัยมูล. (2560). **การวิบัติของคานหูก้างรีแอนด์ทีฟเพาเตอร์คอนกรีตไม่เสริมเหล็กปลอก**. วารสารวิศวกรรมสถานฉบับวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 30. ฉบับที่ 1.
- [29] นริศสุริยา สุระโคตร, วิศิษฐ์ เจริญรอย, ฐิติพงษ์ ถึงสุข, และชวัลธัช แยมอรุณพัฒนา. (2560). **การผลิตแผ่นวัสดุตกแต่งจากเส้นใยมะพร้าว**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
มาตรฐานการทดสอบ



มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต
(Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete)

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงวิธีการหาค่ากำลังอัดประลัย (Ultimate Strength) ของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกและรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ได้จากการบดหรือการเจาะ
- 1.2 มาตรฐานการทดสอบนี้ ใช้หน่วย SI (International System units) เป็นหลัก และใช้ค่าในการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรง เท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยาม

“หน่วยแรงอัดประลัย” หมายถึง หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงกดสูงสุดในแนวแกนซึ่งทำให้ตัวอย่างคอนกรีตบีบโดยหาได้จากอัตราส่วนของแรงกดสูงสุดที่จุดบิบัติซึ่งพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีตที่รับน้ำหนัก

3. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในมาตรฐานนี้ ประกอบด้วย

- 3.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มอก. 1101: มาตรฐานพิกัดคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก

4. เครื่องมือ

- 4.1 เครื่องทดสอบ เป็นแบบโคลิได้ ที่สามารถให้น้ำหนักกดได้สูงเพียงพออยู่ในช่วงใช้งานได้ และยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 1 เครื่องจะควมสามารถเพิ่มแรงกดได้อย่างสม่ำเสมอและไม่กระตุก กรณีที่เป็นเครื่องทดสอบแบบหมุนเกลียว (Screw-Type) หัวกดควมสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 1.25 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับเครื่องทดสอบแบบไฮดรอลิก ควมสามารถให้น้ำหนักด้วยอัตราคงที่ในช่วง 0.143 ถึง 0.347 เมกะปาสกาลต่อวินาที (1.40 ถึง 3.40 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที) ส่วนหัวกดของเครื่องทดสอบประกอบด้วยแผ่นเหล็กวางรอง (Steel Supporting Plate) 2 แผ่น มีขนาดใหญ่มากว่าขนาดของแท่นทดสอบไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กชั้นบนมีลักษณะเป็นแป้นคอรูปร่างทรงกลม (Spherically Seated Block) แจวนยึดไว้กับเครื่องเพื่อให้อึดยบตัวได้ ส่วนแผ่นเหล็กชั้นล่างยึดติดกับส่วนล่างของเครื่องและควมมีความหนาอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร มีสลั้มลของแผ่นเหล็กทั้งสองควมเรียบและควมความลาดเอียงที่ได้นไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตรต่อความยาว 150 มิลลิเมตร การเพิ่มแรงกดควมทำได้ อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ไม่มีจังหวะหยุดหรือกระตุกในระหว่างการเพิ่มแรงกด

- 4.2 เวก์เพ็ญรีดาธิเปอริ์
- 4.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งมีความละเอียดถึง 1 กรัม
- 4.4 เครื่องมือและวัสดุสำหรับเคลื่อนผิวหน้าของตัวอย่างคอนกรีต
5. การเตรียมตัวอย่าง
- 5.1 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการหล่อเพื่อทำการทดสอบหาค่าถึงด้านทานแรงอัดของคอนกรีตให้มีลักษณะดังต่อไปนี้
- 5.1.1 ตัวอย่างที่ได้จากการหล่อให้มีขนาดเป็นไปตาม มยพ. 1208: มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างานและการเก็บรักษา มีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้จากขนาดที่กำหนดได้ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร สำหรับขนาดกว้างหรือลึกตั้งแต่ 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ขึ้นไป และไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร สำหรับขนาดที่เล็กกว่านั้น
- 5.1.2 ก่อนการทดสอบปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกต้องเรียบเป็นระนาบตั้งฉากกับแนวแกน โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.5 องศา หรือ 1 มิลลิเมตรต่อระยะ 100 มิลลิเมตร กรณีผิวที่ปลายของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกไม่เรียบให้ทำการตัดหรือเคลื่อน (Capping) ผิวหน้าของตัวอย่างจนเป็นระนาบเรียบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยวัสดุที่ใช้ในการเคลื่อนผิวหน้ารับแรงอัดของตัวอย่าง (Capping Compound) ต้องสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่าแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต
- 5.1.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างที่จะใช้คำนวณหาขนาดที่พื้นที่หน้าตัดของทรงกระบอกหรือทรงลูกบาศก์ สามารถหาได้โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือขนาดความกว้างที่ถึงกลางของความสูง จำนวน 2 ครั้ง ในตำแหน่งที่ถึงฉากกัน ให้มีความละเอียดถึง 0.25 มิลลิเมตร แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย
- 5.1.4 ทนวลของตัวอย่างคอนกรีตโดยการทิ้งตัวอย่างก่อนการเคลื่อนผิวและเรีดผิวตัวอย่างให้แก่แห้งก่อน ซึ่ง การทิ้งให้มีความละเอียดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3 ของมวลตัวอย่างทดสอบ
- 5.1.5 วัดความสูงของตัวอย่างทรงกระบอกก่อนการเคลื่อนผิว 4 ครั้ง ในตำแหน่งที่ถึงฉากกันโดยให้ความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร ส่วนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ให้วัด 4 ครั้ง (4 ด้าน) ให้มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยให้มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใช้คำนวณหาปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีต
- 5.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะเพื่อทำการทดสอบหาค่าถึงด้านทานแรงอัดของคอนกรีตให้มีลักษณะดังต่อไปนี้

- 5.2.1 ตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ได้จากการเจาะโครงสร้างต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 94 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 2 เท่า ของขนาดระบุใหญ่สุดของมวลรวม
- 5.2.2 ขนาดความสูงของตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่เคลือบผิวแล้ว ให้อยู่ในช่วง 1.9 ถึง 2.1 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง หากอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่ามากกว่า 2.1 ให้ลดความยาวจนมีค่าอัตราส่วนดังกล่าวอยู่ในช่วง 1.9 ถึง 2.1 และสำหรับตัวอย่างที่เจาะมีความยาวน้อยกว่าร้อยละ 95 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลังจากที่เคลือบผิวหรือทำให้ผิวหน้าเรียบแล้ว ไม่ควรนำมาเป็นตัวอย่างในการทดสอบค่าถึงด้านทานแรงอัดของคอนกรีต
- 5.2.3 ก่อนการทดสอบปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเจาะต้องเรียบเป็นระนาบตั้งฉากกับแนวแกน โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.5 องศา หรือ 1 มิลลิเมตรต่อระยะ 100 มิลลิเมตร กรณีที่ปลายของตัวอย่างไม่เรียบให้ทำการตัดหรือเคลือบ (Capping) ผิวหน้าของตัวอย่างจนเป็นระนาบเรียบให้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ โดยวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิวหน้ารับแรงอัดของตัวอย่าง (Capping Compound) ต้องสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่าแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต
- 5.2.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่จะใช้คำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของทรงกระบอกหาได้จากหารวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่จุดกึ่งกลางของความสูง จำนวน 2 ครั้ง ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกัน โดยให้มีความละเอียดถึง 0.2 มิลลิเมตร สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันจากค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 2 และให้มีความละเอียดถึง 2 มิลลิเมตร สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันจากค่าเฉลี่ยเกินร้อยละ 2 ส่วนตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างต่างจากค่าเฉลี่ยเกินร้อยละ 5 ไม่ควรนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบค่าถึงรับแรงอัด
- 5.2.5 หามวลของตัวอย่างคอนกรีตโดยชั่งตัวอย่างก่อนการเคลือบผิว และเช็ดผิวตัวอย่างให้แห้งก่อนทำการชั่ง การชั่งให้มีความละเอียดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3 ของมวลตัวอย่างทดสอบ
- 5.2.6 วัดค่าความสูงก่อนและหลังการเคลือบผิวของตัวอย่างทรงกระบอกจำนวน 4 ครั้ง ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกัน โดยให้มีความละเอียดถึง 2 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยให้มีความละเอียดถึง 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใช้คำนวณหาปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตและอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D)

6. การทดสอบ

6.1 การวางตัวอย่างทดสอบบนเครื่องทดสอบให้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าแรงที่สาหรับปรับแก้ค่าความต้านแรงอัดสาหรับค้ำอย่างที่ได้จากตารางจะ
(ข้อ 7.5)

อัตราส่วนความสูงต่อ เส้นผ่านศูนย์กลางของค้ำอย่างที่ได้	ค้ำควมสาหรับแก้ไข ค่าความต้านทานแรงอัด
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

- 7.4 การคำนวณค่ากำลังต้านทานแรงอัดของค้ำอย่างทดสอบ ให้แสดงในหน่วยเมกะปาสกาล และมีความ
ละเอียดถึง 0.1 เมกะปาสกาล สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของค้ำอย่างคอนกรีตที่วัด
ละเอียดถึง 0.2 มิลลิเมตร และ 0.3 เมกะปาสกาล สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของ
ค้ำอย่างคอนกรีตที่วัดละเอียดถึง 2 มิลลิเมตร
- 7.5 การคำนวณค่าความหนาแน่นของค้ำอย่างทดสอบ ให้แสดงในหน่วยคิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความ
ละเอียดถึง 10 คิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

8. การรายงานผล

ให้รายงานผลการทดสอบลงในแบบฟอร์ม บพ. มสศ. 1210 ดังต่อไปนี้

- 8.1 หมายเลขประจำค้ำอย่างทดสอบ
- 8.2 ขนาดของค้ำอย่างทดสอบ
- 8.3 แรงกดสูงสุด
- 8.4 หน่วยแรงอัดประจัน
- 8.5 ลักษณะการแตก
- 8.6 ความหนาแน่น

9. เฉลยการตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

เกณฑ์การตัดสินให้เป็นไปตาม มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มสศ. 1101: มาตรฐานงานคอนกรีตและ
คอนกรีตเสริมเหล็ก

10. ข้อควรระวัง

- 10.1 ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบมีการบ่มขึ้น หากเป็นตัวอย่างทดสอบรูปทรงแบบคylinder ต้องแช่ตัวอย่างให้แห้งและทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง และหากเป็นตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกต้องแช่ตัวอย่างให้แห้ง และเคลือบผิวหน้าตัวอย่างทดสอบ ทั้งไว้ 2 ชั่วโมงแล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง
- 10.2 ถ้าคอนกรีตในโครงสร้างขณะใช้งานอยู่ในลักษณะแห้ง ต้องหึ่งตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะไว้ให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 7 วันก่อนการทดสอบ ถ้าคอนกรีตในโครงสร้างขณะใช้งานอยู่ในลักษณะเปียก ให้แช่ตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะไว้ในน้ำอย่างน้อย 40 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบในขณะที่ตัวอย่างเปียก
- 10.3 การชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ ให้ชั่งน้ำหนักเฉพาะตัวอย่างทดสอบ ไม่รวมน้ำหนักของวัสดุที่เคลือบผิวหน้า
- 10.4 ควรมีการตรวจสอบเครื่องกลที่ใช้งานประจำสม่ำเสมออย่างน้อยปีละครั้ง หากสงสัยว่าเครื่องทดสอบอาจให้ผลทดสอบไม่ถูกต้อง หรือหลังจากการซ่อมหรือประกอบใหม่ให้ทำการตรวจสอบทุกครั้ง

11. เอกสารอ้างอิง

- 11.1 มาตรฐานงานช่าง มชช.(ท) 105.1-2534 มาตรฐานการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย
- 11.2 มาตรฐาน American Society of Testing Materials ASTM C 31: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in The Field
- 11.3 มาตรฐาน American Society of Testing Materials ASTM C 39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- 11.4 มาตรฐาน American Society of Testing Materials ASTM C 42: Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
- 11.5 มาตรฐาน British Standard Institute BS EN 12390-2: Making and Curing Specimens for Strength Tests

โรงเรียน..... สถานที่สอบ..... ชนิดตัวอ่าน <input type="checkbox"/> ทรงกระบอก <input type="checkbox"/> ลูกบาศก์ หมายเลขตัวอ่าน..... อายุของตัวอ่าน..... ทดสอบวันที่..... แผนที่.....	บท. ๓๓๓. 1210	ผู้เขียนทดสอบ.....
	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบค่านี้คือค่าทางสถิติของฉนวนคัท	ผู้ทดสอบ..... ผู้ตรวจสอบ..... อนุมัติ.....
คุณสมบัติของ	พรมของตัวอ่าน	

ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางหัวของหัวของหัวอ่าน (1) (มม.)		
พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่รับน้ำหนักกดของหัวอ่านทดสอบ (2) (มม. ²)		
มวลของหัวอ่านทดสอบต่อหน่วยพื้นที่ (3) (กก./ม. ²)		
ค่าเฉลี่ยของความสูงของหัวอ่านต่อหน่วยพื้นที่ (4) (มม.)		
ปริมาณของหัวอ่านทดสอบ (5) (ม. ³)		
ความหนาแน่นของหัวอ่านทดสอบ (6)=(3)/(4) (กก./ม. ³)		
แรงกดสูงสุด ณ จุดที่หัวอ่านทดสอบบีบได้ (7) (นิวตัน)		
หน่วยแรงอัดประวัติ (8)=(7)/(5) (เมกะปาสกาล)		
ค่าเฉลี่ยครีปที่รับได้ (9)		
ค่าเฉลี่ยประวัติครีปที่รับได้ (10)=(8)/(9) (เมกะปาสกาล)		
ค่าเฉลี่ยประวัติเฉลี่ย (เมกะปาสกาล)		
ลักษณะภาพของหัวอ่าน		
<input type="checkbox"/> ทรงกระบอก	<input type="checkbox"/> ลูกบาศก์	
		

BSN. 1211-50

มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต
(Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete)

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตเพื่อหาค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีให้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (Center-Point Loading) และวิธีให้แรงกดคาน 2 จุด โดยกำหนดตำแหน่งของจุดทั้งสองเป็นตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน (Third-Point Loading)
- 1.2 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยาม

“ค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงอัดสูงสุดที่กระทำต่อตัวอย่างคอนกรีต ณ จุดปริบัติ

3. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในมาตรฐานนี้ ประกอบด้วย

- 3.1 มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1208: มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน่วยงานและการเก็บรักษา

4. เครื่องมือ

- 4.1 เครื่องทดสอบ ใช้เครื่องกดที่สามารถเห็นแรงกดได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีจังหวะหยุด หรือกระตุกในระหว่างการเพิ่มแรงสำหรับการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต วิธีให้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคานได้แสดงการคิดค่าเครื่องมือไว้ในรูปที่ 1 ส่วนวิธีให้แรงกดคานสองจุด โดยให้ตำแหน่งของจุดทั้งสองเป็นตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน ได้แสดงการคิดค่าเครื่องมือไว้ในรูปที่ 2
- 4.2 วอร์ชันเรียลไทม์

ไม่ให้ตัวอย่างคดงอหรือเสียหายจากการเสียด หลังจากเตรียมตัวอย่างเสร็จแล้วให้คลุมตัวอย่าง เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำแล้วให้ทำการทดสอบภายใน 7 วัน และก่อนการทดสอบกำลังรับแรงดึงให้นำตัวอย่างแช่น้ำป้อนขาวอินตัวอย่างน้อย 40 ชั่วโมง

6. การทดสอบ

- 6.1 วางชิ้นทดสอบลงบนฐานรองรับตาม วางหัวกดให้ตำแหน่งของหัวกด ตาม และฐานรองตามอยู่ตามกำหนด โดยการทดสอบวิธีใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางตามให้จัดตำแหน่งเครื่องมือตามกำหนดในรูปที่ ๑ ส่วนการทดสอบวิธีใช้แรงกดตามสองจุดให้จัดตำแหน่งเครื่องมือตามกำหนดในรูปที่ ๒
- 6.2 ปรับอัตราการกดเครื่องทดสอบด้วยแรงประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 6 ของแรงประลัย (Ultimate Load) แล้วค่อยตรวจสอบผิวสัมผัสของตัวกดกับตาม และฐานรองตามกับตามดูว่ามีช่องขนาดกว้างกว่า 0.15 มิลลิเมตร ในช่วง 25 มิลลิเมตรหรือไม่ ถ้ามีให้แจ้งคณบดีที่บริเวณช่วงนั้น ๆ ตัวอย่างนั้นให้เรียบ ช่องที่มีขนาดกว้างน้อยกว่า 0.15 มิลลิเมตร ในช่วง 25 มิลลิเมตร อาจจุดได้โดยการวางแผ่นหนัง (Leather Shim) ไว้ระหว่างผิวสัมผัส แผ่นหนังที่ใช้จะต้องมีขนาดเท่ากับ 6.4 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร
- 6.3 เพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่องโดยไม่ให้มีการกระตุก ในช่วงครึ่งแรกของแรงประลัย อาจเพิ่มแรงได้อย่างรวดเร็วหลังจากนั้นให้เพิ่มแรงด้วยอัตราที่อยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.2 เมกาปาสกาลต่อนาที (9 ถึง 12 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที) จนกระทั่งตามตัวอย่างวิบัติ
- 6.4 วัดด้านกว้างและลึกของตามที่บริเวณที่มีรอยแตกด้านละ 3 ครั้ง โดยให้มีความละเอียดถึง ๑ มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยของขนาดหน้าตัดพร้อมทั้งวาดรายละเอียดการแตกกว้างของตามตัวอย่าง

7. การคำนวณ

ให้คำนวณค่าโมดูลัสของการแตกหัก (Modulus of Rupture, R) ดังต่อไปนี้

- 7.1 สำหรับการกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางตาม (Center-Point Loading) สามารถหาค่าโมดูลัสของการแตกหักได้จากสูตร

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

- 7.2 สำหรับการกดสองจุด โดยตำแหน่งที่จุดทั้งสองแบ่งตามออกเป็นสามส่วน (Third-Point Loading) สามารถหาค่าโมดูลัสการแตกหักได้จากสูตร

7.2.1 เมื่อรอยแตกอยู่ในช่วงกลางตาม

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (2)$$

7.2.2 เมื่อรอยแตกอยู่นอกช่วงกลางคาน และห่างจากช่วงกลาง ไม่เกินร้อยละ 5 ของช่วงคาน ให้ใช้

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (3)$$

- เมื่อ
- ๙ คือ ค่าการรับแรงดัด เป็น เมกะปาสกาล
 - P คือ แรงสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ เป็น นิวตัน
 - L คือ ช่วงคาน เป็น มิลลิเมตร
 - b คือ ความกว้างเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก เป็น มิลลิเมตร
 - d คือ ความลึกเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก เป็น มิลลิเมตร
 - a คือ ระยะเฉลี่ยจากรอยแตกถึงฐานรองคานด้านใกล้ที่สุด เป็น มิลลิเมตร

8. การรายงานผล

ให้รายงานผลตามรายละเอียดในแบบฟอร์มที่ บพ. มอผ. 1211

9. เฉลยข้อการตัดสินใจและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

- 9.1 การที่จากรายค่าการรับแรงดัดของคอนกรีตค้ำงอยู่ในช่วงร้อยละ 11 ถึงร้อยละ 23 ของความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผสมในครั้งเดียวกัน
- 9.2 ไม่กรณีของการทดสอบวิธีใช้แรงกดคานสองจุด ถ้ารอยแตกอยู่นอกช่วงกลางคานและห่างจากช่วงกลางคานเกินร้อยละ 5 ของช่วงคาน ให้ทำการทดสอบใหม่
- 9.3 ค่ากำลังต้านทานแรงดัด ค้ำงคำนวณให้ละเอียด อ้าง 0.05 เมกะปาสกาล

10. ข้อควรระวัง

- 10.1 การเพิ่มแรงกดจะต้องกระทำอย่างค้ำงเนื่อง และระวังไม่ให้มีการกระตุก
- 10.2 สำหรับค้ำงอย่างค้ำงที่บ่มขึ้น จะค้ำงขีดนิเวศานที่จะทดสอบให้แห้ง แล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง
- 10.3 ควรมีการตรวจสอบเครื่องค้ำงที่ใช้งานอย่างค้ำงสม่ำเสมอ หรือเมื่อสงสัยว่าเครื่องทดสอบอาจให้ผลทดสอบไม่ถูกต้อง หรือค้ำงจากการซ่อม หรือประคอบใหม่ให้ทำการตรวจสอบทุกค้ำง

11. เอกสารอ้างอิง

- 11.1 มาตรฐานงานค้ำง มอผ. (ท) 105.2-2534 มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัดของคอนกรีต กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย

11.2 **วิธีปฏิบัติ** American Society of Testing Materials ASTM C 42: Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

11.3 **วิธีปฏิบัติ** American Society of Testing Materials ASTM C 78: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)

11.4 **วิธีปฏิบัติ** American Society of Testing Materials ASTM C 239: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)



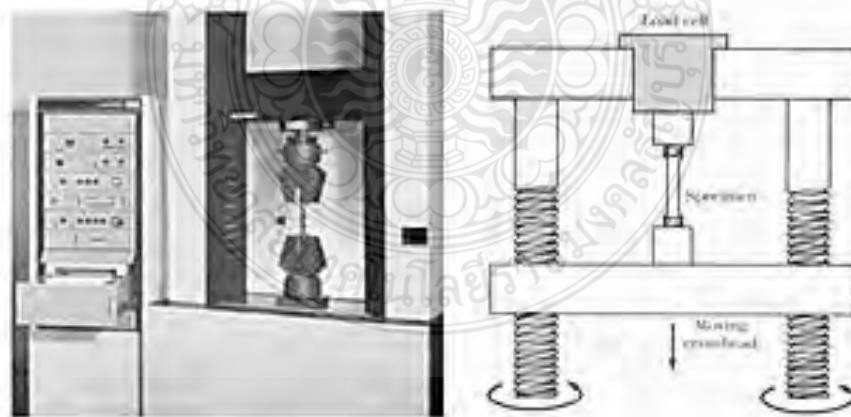
โครงการ..... สถานที่..... ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่..... ทดสอบวันที่..... สถานที่.....	บท. ๓๓๓-1	ทดสอบ.....		
	 (หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบค่าตั้งค้ำยันทางแรงดึง ของคอนกรีต	ผู้ทดสอบ		
		ผู้ตรวจสอบ		
		อนุมัติ		
การทดสอบจุดตั้งค้ำยัน (CENTER-POINT LOADING)		ขนาดของตัวอย่าง		
	
แรงที่จุดวิบัติของสภาพ (P)	(นิวตัน)			
ช่วงความ (L)	(มม.)			
ความกว้างเฉลี่ยที่หน้าค้ำยันของคอนกรีต (b)	(มม.)			
ความลึกเฉลี่ยที่หน้าค้ำยันของคอนกรีต (d)	(มม.)			
ค่าโมดูลัสความเค้นการ (E) = $3PL/2bd^3$	(เมกะปาสกาล)			
ค่าโมดูลัสความเค้นการเฉลี่ย	(เมกะปาสกาล)			
ลักษณะภาพการทดสอบค้ำยัน				
				

โฉรภาพ..... สถานที่ตั้ง..... ชนิดค้ำยัน..... ทดสอบครั้งที่..... ทดสอบวันที่..... แม่พิมพ์.....	บท 1211-2 (หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบค่าดีเอ็นเอฟแรงดึง ของคอนกรีต	ชนิดคอนกรีต.....
การทดสอบจุดที่ค้ำยันกับระยะเวลาป็นสามส่วน (THIRD-POINT LOADING)		ขนาดของค้ำยัน
แรงที่จุดรับค้ำยัน (P) (นิวตัน)		
ช่วงค้ำยัน (L) (มม.)		
ความกว้างเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก (b) (มม.)		
ความสูงเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก (d) (มม.)		
ระยะเฉลี่ยจากรอยแตกถึงฐานรองรับค้ำยัน (a) (มม.)		
ค่าโมดูลัสความเค้นง้ำ (R) = PL/bd^2 (เมกะปาสกาล)		
ค่าโมดูลัสความเค้นง้ำ (รวมค้ำยันจุดค้ำยันกลางค้ำยัน) (R) = $5Pa/bd^2$ (เมกะปาสกาล)		
ค่าโมดูลัสความเค้นง้ำเฉลี่ย (เมกะปาสกาล)		
วิธีการทดสอบของค้ำยัน 		

การทดสอบกำลังรับแรงดึง โดยตรง (Direct Tensile Test)

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานที่สุดอย่างหนึ่งที่ใช้ทดสอบสมบัติของวัสดุต่างๆ ปกติการทดสอบแรงดึงจะใช้ชิ้นทดสอบตามแบบมาตรฐาน แต่ขณะเดียวกันก็สามารถใช้ชิ้นทดสอบแบบอื่นที่ทราบค่าพื้นที่หน้าตัดและความยาวเริ่มต้น โดยการทดสอบแรงดึงใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวแกน

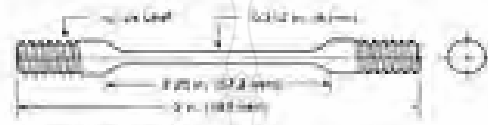
รูปทรงของหน้าตัดชิ้นทดสอบควรมีรูปแบบของระนาบของรอยแตกเดียว กันตามมาตรฐาน โดยส่วนปลายของชิ้นทดสอบควรมีรูปแบบที่เหมาะสม สอดคล้องกับหัวจับมาตรฐาน คือชิ้นทดสอบที่เป็นรูปทรงกระบอกควรทำเป็นรูปแบบเรียว รูปนํ้า สติ๊ก หรือรูอัด และส่วนปลายของชิ้นทดสอบควรยาวพอที่จะยึดด้วยหัวจับได้ดี การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ถ้าเป็นเครื่องชนิดที่อุปกรณ์เสริมต่างๆ ประกอบด้วยหัวจับชิ้นทดสอบซึ่งมีหน้าที่หลักในการจับยึดชิ้นทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ โดยก็สามารถรับและถ่ายแรงจากเครื่องสู่ชิ้นทดสอบได้ดีเป็นอย่างดี และประเด็นสำคัญคือหัวจับต้องสามารถให้แรงผ่านชิ้นทดสอบตามแนวแกน ซึ่งก็คือค่าการทดสอบและเลือกหัวจับที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อชิ้นทดสอบอยู่ในแนวที่ถูกต้องทั้งก่อนและระหว่างดำเนินการทดสอบ สำหรับวัสดุเหนียว ให้ใช้หัวจับปากกว้างเพื่อลดพื้นที่สัมผัสแต่ไม่จำเป็นสำหรับวัสดุเปราะ ทั้งนี้เนื่องจากหัวจับจะบีบวัสดุแล้วทำให้เกิดการแตกหักที่ปลายชิ้นทดสอบแทนที่จะเกิดการแตกหักในช่วงของระนาบทดสอบ หัวจับส่วนใหญ่มักจะมีช่วงของการเคลื่อนที่อิสระเพื่อหัดระเหยหัวจับและชิ้นทดสอบให้อยู่ในแนวเดียวกัน



ภาพเครื่องทดสอบและการทำงานของเครื่องทดสอบการรับแรงดึง



(a) Smooth end round tensile test specimen



(b) Threaded end tensile test specimen



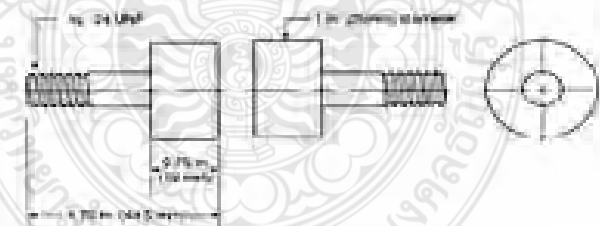
(c) Flat tensile test specimen



(d) Blanked or wheel cut tensile test specimen

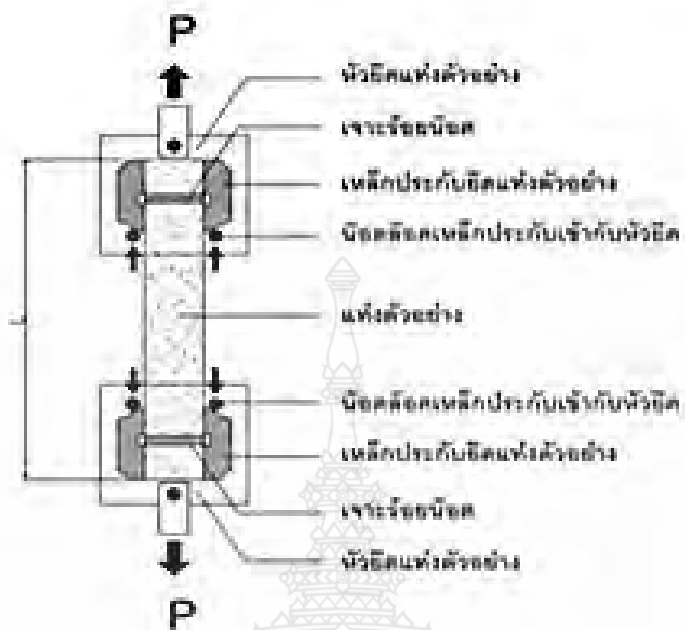


(e) Weld specimen test specimen



(f) Bolt and nut tensile test specimen

ตัวอย่างชิ้นทดสอบรับแรงดึงมาตรฐานแบบต่างๆ



การทดสอบแรงดึงโดยตรง (Direct Tensile Test)

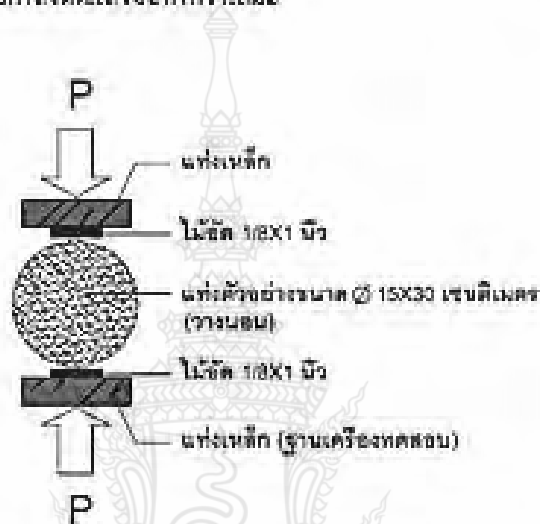
ค่าแรงดึงโดยตรงของแท่งตัวข้อ อาจหาหาค่าแรงดึงนี้ได้จากสมการ

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

- เมื่อ σ_c คือ แรงดึงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัด (กล/ซม²)
- F คือ แรงดึงที่กระทำ
- A คือ พื้นที่หน้าตัด

การทดสอบหาค่าดึงรับแรงดึง โดยวิธีผ่าซีก (Splitting Tensile Strength) ASTM C496

การทดสอบค่าดึงเค้นจะทำการทดสอบ โดยนำแท่งคอนกรีตรูปทรงระบถ ขนาดฐานวางในแนวนอนในเครื่องทดสอบ แล้วกดด้วยแรงกระทำเสมอ โดยนำแท่งเหล็กอัดน้ำหนักที่รองรับด้วยไม้รอง จนกระทั่งแท่งคอนกรีตแตกออกจากกันเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน ซึ่งค่าดึงเค้นจากการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะมีค่าประมาณร้อยละ 8 ถึง 14 ของค่าดึงคอนกรีต แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีการทดสอบด้วยค่าดึงเค้นแล้วจะต่ำกว่าเสมอ



การทดสอบแรงเค้นแบบผ่าซีก (Splitting Strength)

ซึ่งค่าของค่าดึงเค้นคำนวณได้จากสมการ

$$T = \frac{2P}{L \cdot D}$$

โดยที่ T = ความต้านทานแรงดึงเค้นของคอนกรีต, N/mm^2

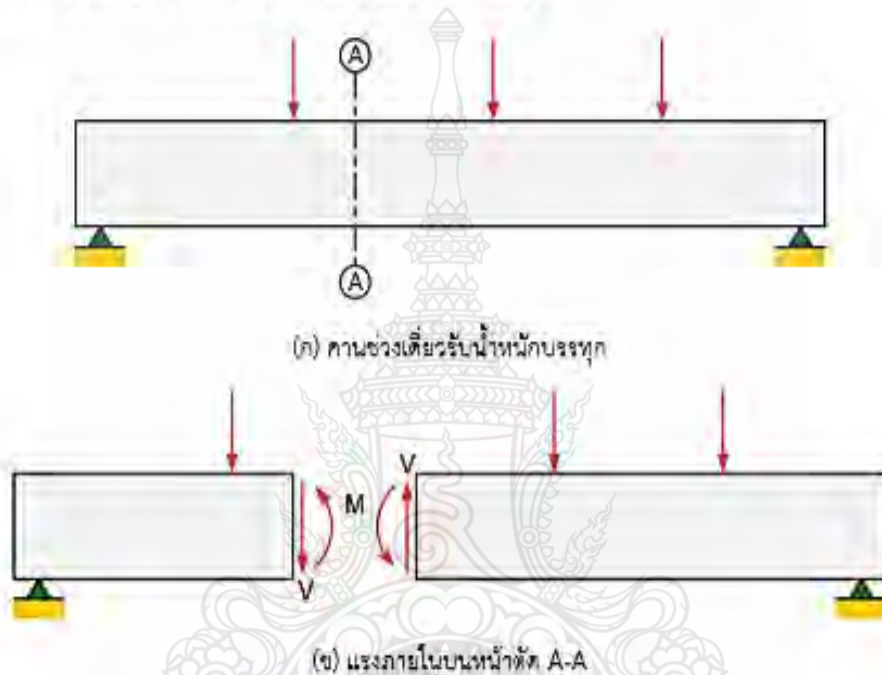
P = แรงกดสูงสุด, N

L = ความยาวของแท่งค้ำรูปทรงระบถ, mm

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งค้ำรูปทรงระบถ, mm

แรงเฉือนและแรงดัดทแยง

ในการรับน้ำหนักบรรทุกของคานจะทำให้เกิดแรงภายในคือโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนดังแสดงในรูปที่ 5.1 ในการออกแบบหน้าตัดคานมักพิจารณาการตัดก่อนเพื่อให้ได้ขนาดและเหล็กเสริมที่ต้องการเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัด จากนั้นจึงทำการออกแบบรับแรงเฉือน



รูปที่ 5.1 แรงภายในคานที่รับน้ำหนักบรรทุก

การรับดีเอ็น (Shear failure) ของคานคอนกรีตจะเกิดขึ้นอย่างกะทันหันโดยไม่มีการเตือนก่อนล่วงหน้า ดังนั้นในการออกแบบที่คานจะถูกรื้อออกมาให้รับดีเอ็นโดยการตัดก่อนการดีเอ็นเพื่อให้องค์อาคารเกิดการรับดีเอ็นแบบเหนียว โดยอาจเกิดรอยร้าวและแอ่นตัวมากถ้ารับน้ำหนักบรรทุกเกิน แต่จะไม่หักออกจากกันดังเช่นในกรณีของการรับดีเอ็น

หน่วยแรงในคาน

ณ. หน้าตัดคานใดๆที่รับโมเมนต์ดัด M และแรงเฉือน V จะเกิดหน่วยแรงดัดฉาก f และหน่วยแรงเฉือน v คำนวณได้จาก

$$f = \frac{My}{I} \quad (5.1)$$

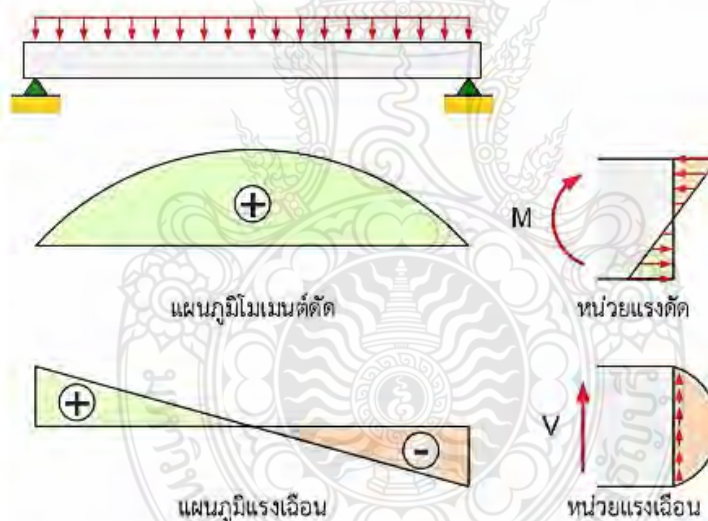
$$v = \frac{VQ}{Ib} \quad (5.2)$$

เมื่อ y = ระยะจากแกนสะเทินของหน้าตัด

Q = โมเมนต์ของพื้นที่ซึ่งระนาบของหน่วยแรงเฉือนตัดผ่าน

I = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัด

หน่วยแรงที่ตำแหน่งต่างๆบนคานจะขึ้นกับโมเมนต์ดัด M และแรงเฉือน V ซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนไปโดยแสดงได้เป็นแผนภูมิโมเมนต์และแรงเฉือนดังในรูปที่ 5.2 และในแต่หน้าตัดยังมีการกระจายของหน่วยแรงตามสมการที่ (5.1) และ (5.2) อีกด้วย



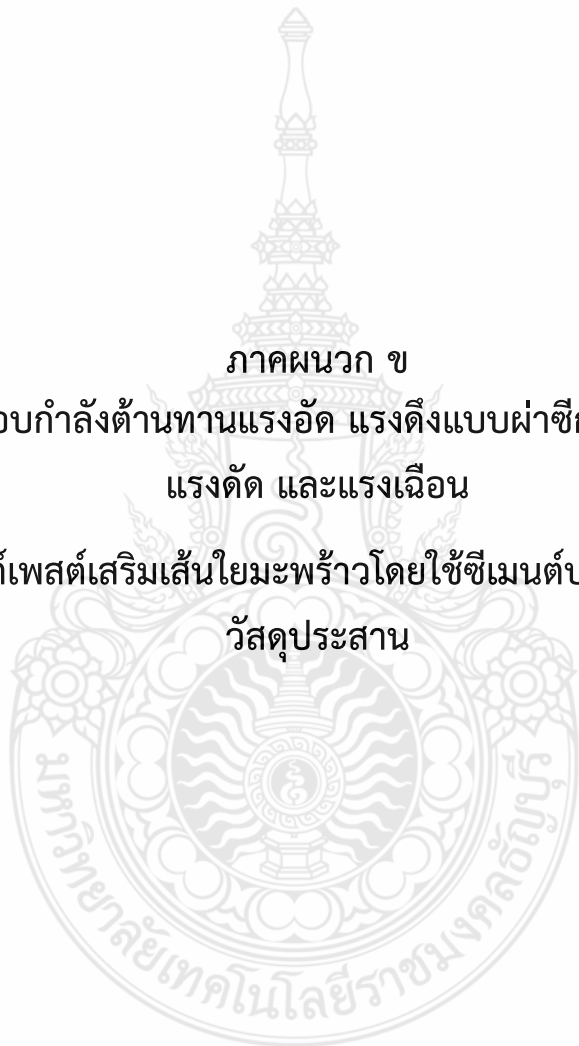
รูปที่ 5.2 แผนภูมิแรงภายในคานและการกระจายหน่วยแรง

จากสมการที่ (5.2) จะได้ว่าหน่วยแรงเฉือนมีค่าเป็นศูนย์ที่ขอบบนและล่างและมีความมากที่สุดที่แกนสะเทินโดยมีการกระจายเป็นรูปพาราโบลา ถ้าเราพิจารณาชิ้นสี่เหลี่ยมเล็กๆ (1) บนแกนสะเทินดังในรูปที่ 5.3(ข) จะมีเฉพาะหน่วยแรงเฉือนบนขอบทั้งสองด้านโดยมีขนาดเท่ากันและทิศตรงข้ามเพื่อให้อยู่ในสมดุล สภาวะหน่วยแรงเฉือนล้วน (Pure Shear) มีมุมหมุนไป 45° จะกลายเป็นหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัด(รูปที่ 5.3(ค) ซึ่งหน่วยแรงดึงทแยงมุม (Diagonal Tension) ทำให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีตซึ่งมีกำลังดึงต่ำกว่ากำลังอัด ดังนั้นรอยร้าวจากการเฉือนล้วนจึงทำมุม 45°

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด แรงดึงแบบผ่าซีก แรงดึงโดยตรง
แรงดัด และแรงเฉือน

วัสดุซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็น
วัสดุประสาน



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

การทดสอบตัวอย่างที่อายุ 28 วัน

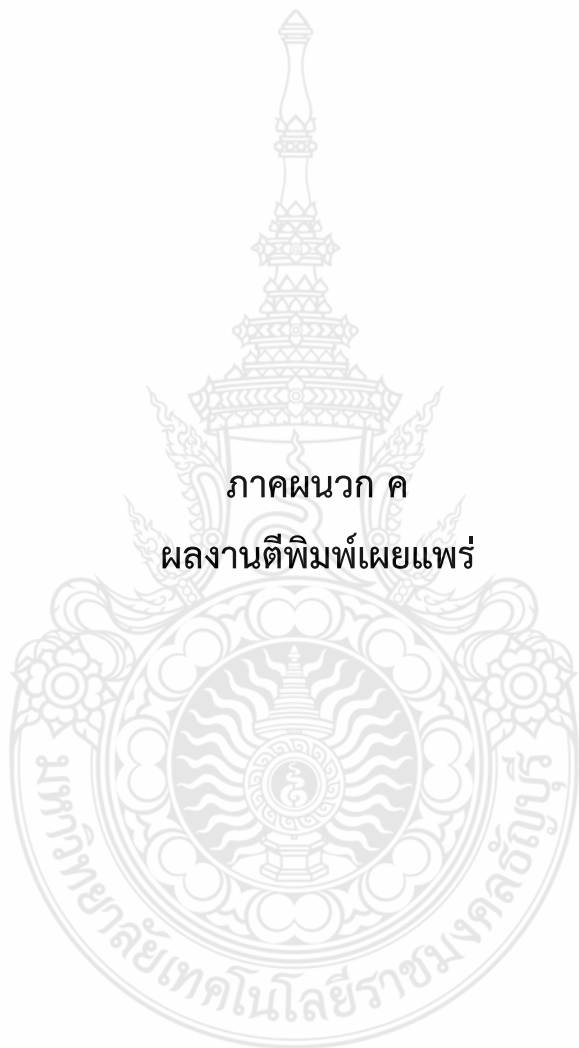
ทดสอบแรงอัด	เส้นใยร้อยละ 11.2		เส้นใยร้อยละ 12.1		เส้นใยร้อยละ 13.0	
	กำลัง (Ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลัง (Ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลัง (Ksc.)	ค่าเฉลี่ย
No. 1	57.71		63.48		72.13	
No. 2	60.59	60.02	72.13	63.48	63.48	64.44
No. 3	61.75		54.82		57.71	
ทดสอบแรงดึงผ่าซีก						
No. 1	14.43		14.43		18.76	
No. 2	15.87	14.43	15.58	15.05	18.76	15.15
No. 3	12.98		15.15		7.93	
ทดสอบแรงดึงโดยตรง						
No. 1	18.50		19.00		17.00	
No. 2	19.25	18.58	17.60	17.93	14.00	16.20
No. 3	18.00		17.20		17.60	
ทดสอบแรงค้ำ						
No. 1	75.00		75.00		102.00	
No. 2	64.80	66.60	60.00	67.00	97.20	94.40
No. 3	60.00		66.00		84.00	
ทดสอบแรงเหวี่ยง						
No. 1	31.25		35.00		37.50	
No. 2	32.50	31.25	32.50	34.83	27.50	35.42
No. 3	30.00		37.00		41.25	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

การทดสอบตัวอย่างที่อายุ 90 วัน

ทดสอบแรงอัด	เส้นใยร้อยละ 11.2		เส้นใยร้อยละ 12.1		เส้นใยร้อยละ 13.0	
	กำลัง (Ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลัง (Ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลัง (Ksc.)	ค่าเฉลี่ย
No. 1	28.85		54.82		51.94	
No. 2	37.51	36.55	51.94	50.98	51.94	52.90
No. 3	43.28		46.17		54.82	
ทดสอบแรงดึงผ่าซีก						
No. 1	8.66		13.71		15.29	
No. 2	7.21	7.69	12.98	13.71	12.98	14.57
No. 3	7.21		14.43		15.44	
ทดสอบแรงดึงโดยตรง						
No. 1	18.30		17.18		15.50	
No. 2	18.50	18.46	17.06	17.16	15.00	15.33
No. 3	18.57		17.23		15.50	
ทดสอบแรงค้ำ						
No. 1	27.00		33.00		87.24	
No. 2	27.00	29.00	30.00	31.16	91.68	89.24
No. 3	33.00		30.48		88.80	
ทดสอบแรงเหวี่ยง						
No. 1	10.25		11.45		36.00	
No. 2	11.40	11.03	11.25	11.32	30.00	31.67
No. 3	11.45		11.25		29.00	

ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



SEMINAR GUIDE
ANNUAL CONCRETE CONFERENCE 14
Concrete in Sustainable Development



ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์





สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สทค.)
Thailand Concrete Association (TCA)

ที่ 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 (ซอยเทพีลา)

ถนนรามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทร : 0-2935-6593, โทรสาร : 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com http://www.thaitca.or.th

18 กุมภาพันธ์ 2562

เรื่อง **ตอบรับบทความฉบับสมบูรณ์**
เรียน **ผู้นำเสนอบทความ ENV-006**

ด้วยสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย ได้จัดงานประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14 (Annual Concrete Conference 14) ร่วมกับ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในหัวข้อ **“คอนกรีตในการพัฒนาอย่างยั่งยืน”** ระหว่างวันที่ 6-7-8 มีนาคม 2562 ณ โรงแรมวรวรนา หัวหิน โฮเทล แอนด์ คอนเวนชัน หัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14 มีวัตถุประสงค์เพื่อเปิดโอกาสให้วิศวกร และบุคคลทั่วไปทั้งภาครัฐและเอกชนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และเสนอผลงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางด้านคอนกรีตวัสดุทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ พร้อมยกระดับฐานงานวิจัย บทความทางวิชาการ และเทคโนโลยีทางด้านคอนกรีตวัสดุ ให้มีความทัดเทียมกับนานาชาติ

ซึ่งจากการที่ท่าน ได้ให้ความสนใจส่งบทความวิชาการ เรื่อง **“สมบัติเชิงกลของเสริมเส้นใยมะพร้าว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน”** เพื่อเข้าร่วมเสนอบทความในการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14 นั้น ซึ่งคณะกรรมการจัดการประชุม ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรให้นำเสนอบทความวิจัยของท่านเข้าร่วมในการประชุมวิชาการครั้งนี้ ทั้งนี้ท่านสามารถดูรายละเอียดกำหนดการจัดงานได้จาก Website ของสมาคมฯ www.thaitca.or.th

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

ชนากร พิระพันธ์

นางสาวอากาศเอก

(รองศาสตราจารย์ ชนากร พิระพันธ์)

นายกสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

กำหนดการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14

The 14th Annual Concrete Conference (ACC14)

WORA WANA HUA HIN HOTEL & CONVENTION

อำเภอ หัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

วันที่ 6-8 มีนาคม พ.ศ. 2562

วันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2562

10.30 – 13.00 น.	ลงทะเบียน
13.00 – 13.30 น.	กล่าวต้อนรับผู้เข้าร่วมการประชุมและกล่าวขอบคุณผู้สนับสนุนการจัดการประชุม มอบรางวัล TCA Concrete Practice Awards โดย นายกสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย พิธีเปิดการประชุมและกล่าวขอบคุณผู้สนับสนุน โดย คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
13.45 น. เป็นต้นไป	การบรรยายพิเศษ (Keynote Speaker) (ห้อง NONSI HALL) “เทคโนโลยีการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน”
13.45 – 14.30 น.	“การพัฒนาคอนกรีตอย่างยั่งยืน: การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้ง” โดย ศ.ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล
14.30 – 15.15 น.	“แผนพัฒนามาตรฐานระบบรางของประเทศไทย” โดย ผศ.ดร.วิฑูรย์ ปรินชาติปรีชา
15.15 – 15.30	พัก น้ำชา - กาแฟ
15.30 – 16.15 น.	“งานก่อสร้างโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงนครปฐม-ชุมพร” โดย คุณปรี๊ดพงษ์ บุญแก้ว และคุณเสกเกียรติ คงสอน การรถไฟแห่งประเทศไทย
16.15 – 17.30 น.	นำเสนอผลงาน TCA Concrete Practice Awards (Gold Medal) “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่สำหรับการก่อสร้างอาคารปฏิบัติการ 2 สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์”
18.30 น. เป็นต้นไป	งานเลี้ยงรับรอง และแนะนำเจ้าภาพ ACC15 ณ ห้อง NONSI HALL มหาวิทยาลัยพะเยา

วันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2562

08.30 – 10.15 น. หัวข้อบรรยายพิเศษ (ห้อง NONSI HALL)
“เทคโนโลยีมอร์ตาร์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

ประธานภาค : ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ มกระฐิช

08.30 – 08.50 น. “Dry-mix Mortars for 3D Printing Applications in Structure and Decoration”

โดย คุณปฏิพัทธ์ จิรมรดพงศ์

Engineer

บริษัท เอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด

08.50 – 09.10 น. “The Holistic Innovative Solutions for Infrastructure Projects”

โดย คุณสุรศักดิ์ ภูสันติพงษ์

Technical Consultant Department Manager

บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)

09.10 – 09.30 น. “ระบบงานซ่อมผนังแบบหายใจได้”

โดย คุณธิตี ศรีรัตน

Products Director

บริษัท จระเข้ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

09.30 – 09.50 น. “Flexible Cementitious Tile Adhesive for Large format tiles”

โดย Mr. Malik Jamal Jaffar Ali

Head of Singapore Technical Center

Wacker Chemicals (South Asia) Pte. Ltd.

09.50 – 10.10 น. “มอร์ตาร์ป้องกันการสึกกร่อนจากน้ำทะเล”

โดย คุณมนต์ชัย อึ้งวิจิตรอำไพ

Technical Sales manager

บริษัท ยูบาว (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14
Annual Concrete Conference 14 (ACC14)

บทความ

- บทความโดยองค์ปาฐก (Keynote)
- บทความวิจัยรับเชิญ (IVT)
- บทความวิจัย สาขาคอนกรีตและวัสดุ (MAT)
- บทความวิจัย สาขาโครงสร้างคอนกรีต (STR)
- บทความวิจัย สาขาบำรุงรักษา ซ่อมแซม และเสริมกำลังคอนกรีต (REP)
- บทความวิจัย สาขาคอนกรีตเพื่อสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน (ENV)
- บทความวิจัย สาขาการปรับปรุงคุณสมบัติของดินด้วยวัสดุซีเมนต์ (GTE)
- บทความวิจัย สาขาผลงานและนวัตกรรมงานคอนกรีตของผู้ประกอบการ (ICM)

6 - 8 มีนาคม 2562

โรงแรม วรนา หัวหิน ไฮเทลแอนด์คอนเวนชั่น
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

จัดทำโดย

- สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ร่วมกับ

- ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สงวนลิขสิทธิ์ © ตาม พรบ.ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2521

โดยสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2562 จำนวน 300 เล่ม

คำนำ

การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14 เป็นความร่วมมือทางวิชาการระหว่าง สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (สทค.) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น จัดขึ้นระหว่างวันที่ 6-8 มีนาคม 2562 ณ โรงแรม วรนา ห้วยหิน โอเต็ลแอนด์คอนเวนชั่น จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ภายใต้หัวข้อ “คอนกรีตในการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Concrete in Sustainable Development)” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีให้นักวิชาการ ผู้ประกอบการ นักวิจัย วิศวกร และผู้ปฏิบัติงานด้านคอนกรีตทุกท่าน ได้ร่วมแสดงความคิดเห็น แลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ทำงานด้านคอนกรีต นอกจากนี้ยังเป็นช่องทางในการสร้างโอกาสในการพัฒนาความรู้ในงานด้านคอนกรีตที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน และเป็น การเตรียมความพร้อมให้กับผู้ที่เข้าร่วมงานได้ตระหนักถึงความสำคัญของการสร้างนวัตกรรมจากคอนกรีตเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทยต่อไป

ในการประชุมครั้งนี้ สมาคมฯ ได้รับเกียรติจาก American Concrete Institute (ACI) ในการสนับสนุนองค์ปาฐกในโครงการ ACI Ambassador Speaker Program เป็นปีที่ 2 ติดต่อกัน โดยในปีนี้อีกปาฐกรับเชิญที่สำคัญมีดังนี้คือ ACI President อดีตนายกสทค. ผู้อำนวยการสถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมถนนและระบบราง มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้แทนจากการรถไฟแห่งประเทศไทย อีกทั้งยังมี วิทยากรรับเชิญจากประเทศจีน ที่เชี่ยวชาญด้าน Ultra High Performance Concrete วิทยากรจากหน่วยงานภาครัฐ บริษัทเอกชน และบริษัทก่อสร้างที่สำคัญในประเทศ ที่มี

อ
า
ะ
น
ค
า
ก
น
น
า
น
ง
ย
e
r
ย
ร
น
า
น

การทำงานที่เกี่ยวข้องกับงานด้านคอนกรีตและมอร์ตาร์ ซึ่งเชื่อว่าผู้เข้าร่วมประชุมจะได้รับประโยชน์จากการประชุมครั้งนี้อย่างมาก นอกเหนือจากการนำเสนอเนื้อหาของงานวิจัยทางด้านคอนกรีตและวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้ปูนซีเมนต์ สุดท้ายแล้วยังมีการนำเสนองานที่น่าสนใจที่ได้รับรางวัล TCA Concrete Practice award ระดับ Gold medal จากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ในฐานะของคณะผู้จัดการประชุมครั้งนี้ ขอขอบคุณ องค์กรรับเชิญ วิทยากรรับเชิญ ผู้เขียนบทความ ผู้นำเสนอบทความ ผู้เข้าร่วมประชุม บริษัท และห้างร้านต่างๆ ที่ได้สนับสนุนการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 14 เป็นอย่างดียิ่ง ทำให้การประชุมครั้งนี้ ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้



คณะกรรมการที่ปรึกษา
สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย ประจำปี 2561 - 2562

รศ. ดร. พิชัย	นิมิตยงสกุล	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. สมนึก	ตั้งเต็มสิริกุล	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. ชัย	จาดุรพิทักษ์กุล	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. เอกสิทธิ์	ลิ้มสุวรรณ	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. เป็นหนึ่ง	วานิชชัย	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. ปริญญา	จินดาประเสริฐ	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. บุญไชย	สถิตมันโนธรรม	ที่ปรึกษา
รศ. เอนก	ศิริพานิชกร	ที่ปรึกษา
รศ. ดร. การุญ	จันทรางศุ	ที่ปรึกษา
ดร. ธเนศ	วีระศิริ	ที่ปรึกษา
คุณชัยรัตน์	อมาตยกุล	ที่ปรึกษา
คุณณรงค์	ทัศนนิพันธ์	ที่ปรึกษา
คุณปริญญา	ยมะสมิต	ที่ปรึกษา
คุณมณฑล	สุคประเสริฐ	ที่ปรึกษา
คุณยงยุทธ	สง่างาม	ที่ปรึกษา
คุณวรัช	กุศลมน้อย	ที่ปรึกษา
คุณสมชาย	เมธวัฒน์ธรากุล	ที่ปรึกษา
คุณสรณีย์	ดิพันธ์พงษ์	ที่ปรึกษา
คุณสุวัฒน์	เขาว์ปรีชา	ที่ปรึกษา
คุณอังสุรัตน์	อารีกุล	ที่ปรึกษา

คณะกรรมการอำนวยการ ประจำปี 2561 - 2562

น.อ. รศ. ดร. ธนากร	พีระพันธุ์	นายกสมาคม
รศ. ดร. สมิตร	สงัทธิระกิจ	อุปนายก ฝ่ายวิชาการ
คุณอนุชิต	เจริญศุกกุล	อุปนายก ฝ่ายวิชาชีพ
ผศ. ดร. ณัฐพงศ์	มกระชัย	เลขาธิการ
คุณบุญรอด	คูปดีทัฬหิ	เหรัญญิก
ผศ. ดร. รัฐภูมิ	ปรีชาตปรีชา	นายทะเบียน
ดร. นนทพัฒน์	นิมิตยสกุล	ปฏิคม และประชาสัมพันธ์
รศ. ดร. วันชัย	ยอดสุดใจ	สาราณียากร
คุณสรทมล	คงสวัสดิ์วรกุล	กรรมการกลาง
คุณจักรกฤษณ์	ตันเถา	กรรมการกลาง
คุณสุวัฒน์ชัย	ภูวพัฒนชาติ	กรรมการกลาง
ดร. วิชากร	เฮงษฎ์กุล	กรรมการกลาง
ผศ. ดร. ประวีณ	ชมปรีดา	ประธานกรรมการวิชาการ สาขาโครงสร้างฯ
ผศ. ดร. ภาณุวัฒน์	จ้อยกัถ์	ประธานกรรมการวิชาการ สาขาคอนกรีต วัสดุฯ
รศ. ดร. วันชัย	ยอดสุดใจ	ประธานกรรมการวิชาการ สาขานำร่องรักษาฯ



**คณะกรรมการวิชาการและกรรมการสมทบ
สาขาโครงสร้างคอนกรีต ประจำปี 2561 – 2562**

ศ. อรุณ	ชัยเสรี	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. เอกสิทธิ์	ถิ์มสุวรรณ	ที่ปรึกษา
รศ. เอนก	ศิริพานิชกร	ที่ปรึกษา
รศ. ดร. สถาพร	โกคา	ที่ปรึกษา
ดร. เสถียร	เจริญเหรียญ	ที่ปรึกษา
คุณอนุชิต	เจริญศุกกุล	ที่ปรึกษา
คุณณรงค์	ทัศนนิพันธ์	ที่ปรึกษา
Mr. Gan	Cheng Chian	ที่ปรึกษา
ผศ. ดร. ชูชัย	สุจิรวงศ์	ที่ปรึกษา
ผศ. ดร. ประวิณ	ชมปรีดา	ประธานกรรมการวิชาการ
รศ. ดร. สุทัศน์	ลีลาทวิวัฒน์	กรรมการวิชาการ
รศ. ดร. วิทิต	ปานสุข	กรรมการวิชาการ
ผศ. นัฐวุฒิ	ทิพย์โยธา	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. วิรัช	เลิศไพฑูรย์พันธ์	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. เกียรติศักดิ์	แก้วกุลชัย	กรรมการวิชาการ
ดร. วรศักดิ์	จักราปิยะนันท์	กรรมการวิชาการ
ดร. ปิ่นเจตน์	ธรรมรักษ์	กรรมการวิชาการ
ดร. ธีดารัตน์	จิระวัฒน์สมกุล	กรรมการวิชาการ
คุณสุเมธ	เกียรติเมธา	กรรมการวิชาการ
คุณปรีดี	งามสันติกุล	กรรมการวิชาการ
คุณชนนดี	หฤทัยถาวร	กรรมการวิชาการ
คุณจรัส	คงศิริ	กรรมการวิชาการ
คุณคมกฤษ	สุทธิไวยกิจ	กรรมการวิชาการ

คุณวิเชียร	แก้วคำปา	กรรมการวิชาการ และเลขานุการ
รศ. ดร. สิทธิชัย	แสงอาทิตย์	กรรมการวิชาการสมทบ
ดร. สุรชัย	อำนาจพรเลิศ	กรรมการวิชาการสมทบ
คุณศิริชัย	วรรณบูรณ์	กรรมการวิชาการสมทบ
ดร. นิพนธ์	จงพิทักษ์ศิลป์	กรรมการวิชาการสมทบ
คุณกมล	สิงห์โตแก้ว	กรรมการวิชาการสมทบ

คณะกรรมการวิชาการและกรรมการสมทบ

สาขาคอนกรีต วัสดุและการก่อสร้าง ประจำปี 2561 - 2562

รศ. ดร. พิชัย	นิมิตยสกุล	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. สมนึก	ตั้งเต็มสิริกุล	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. ชัย	จาตุรพิทักษ์กุล	ที่ปรึกษา และกรรมการกลุ่มมอรัตาร์
น.อ. รศ. ดร. ชนากร	พีระพันธุ์	ที่ปรึกษา และกรรมการกลุ่มมอรัตาร์
ศ. ดร. ปิติ	สุคนธสุขกุล	ที่ปรึกษา
รศ. ดร. อุดมวิทย์	ไชยสกุลเกียรติ	ที่ปรึกษา
คุณวราภรณ์	คุณวานากิจ	ที่ปรึกษา
คุณวิมลศรี	รัตนะคุณชัย	ที่ปรึกษา และกรรมการกลุ่มมอรัตาร์
คุณสุรเชษฐ์	จึงเกษม ไชยศัย	ที่ปรึกษา
คุณสุรพล	พดกษานุกุล	ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.ภาณุวัฒน์	จ้อยกัลด์	ประธานกรรมการวิชาการ
รศ.ดร.สมิตร	ส่งพิริยะกิจ	รองประธานกรรมการวิชาการ
คุณบุญรอด	คุปติทัฬหี	รองประธานกรรมการวิชาการ

ดร. ชวิศ	ทองโยธี	กรรมการวิชาการ
ดร. จักรพันธ์	วงษ์พา	กรรมการวิชาการ
ดร. กนต์ไชย	ธนาพรวิภิตต์	กรรมการวิชาการ
ดร. กฤติยา	แก้วมณี	กรรมการวิชาการ
คุณจีรภัทร์	เดชะสกุลชัยนันท์	กรรมการวิชาการ
คุณเฉลิมวุฒิ	สงวนญาติ	กรรมการวิชาการ
คุณนรินทร์	สาขันธ์วิสุทธิกาม	กรรมการวิชาการ
คุณวุฒินันท์	เจียวิทยนันท์	กรรมการวิชาการ และกรรมการกลุ่มมอริตาร์
คุณศุภกร	เมาลีกุล	กรรมการวิชาการ
คุณเสกสรรค์	ชูทับทิม	กรรมการวิชาการ
คุณสรภมม	คงสวัสดิ์วีรกุล	กรรมการวิชาการ
คุณสุรชัย	สุทธิธรรมมา	กรรมการวิชาการ
คุณสุรศักดิ์	ภูสันติพงษ์	กรรมการวิชาการ
คุณสุวัฒน์ชัย	ภูวพัฒน์ชาติ	กรรมการวิชาการ
คุณอรุณ	ทวิคุณพูนทรัพย์	กรรมการวิชาการ
คุณอ้อมใจ	ปิ่นทะแพทย์	กรรมการวิชาการ และกรรมการกลุ่มมอริตาร์
คุณณัฐวุฒิ	วัชรานูเคราะห์	กรรมการวิชาการ และเลขานุการ
ผศ. ดร. รัฐภูมิ	ปรีชาตปรีชา	กรรมการวิชาการสมทบ
ดร. ปานเทพ	จูลินิพิฐวงษ์	กรรมการวิชาการสมทบ

คณะกรรมการวิชาการและกรรมการสมทบ
สาขามำรุงรึกษำ ช่อมแหมม และเสริมกำล้งคองกรี้ต ประจำปี 2561 - 2562

รศ. ดร. พิชัย	นิมิตยงสกุล	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. สมนึก	ตั้งเต็มสิริกุล	ที่ปรึกษา
รศ. ดร. สุวิมล	สัจจวานิชย์	ที่ปรึกษา
ดร. ชเนศ	วีระศิริ	ที่ปรึกษา
ศ. ดร. บุญไชย	สถิตมันันในธรรม	ที่ปรึกษา
รศ. ดร. วันชัย	ยอดสุดใจ	ประธานกรรมการวิชาการ
คุณมนตรี	เชื้อคถ้อยวรรณ	รองประธานกรรมการวิชาการ
รศ. ดร. ทวีช	พุดเงิน	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. สรณกร	เหมะวิบูลย์	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. รักติพงษ์	สหมิตรมงคล	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. ภักวัฒน์	แสนเจริญ	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. ปิติวัฒน์	วัฒน์ชัย	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. นนทวัฒน์	ขมหวาน	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. ธัชวีร์	ถิละวัฒน์	กรรมการวิชาการ
ผศ. ดร. ชยานนท์	หรรษภิญโญ	กรรมการวิชาการ
ดร. สันธยา	ทองอรุณศรี	กรรมการวิชาการ
ดร. เมธี	เชียววนิชย์กร	กรรมการวิชาการ
ดร. ฟองจันทร์	จิราลิต	กรรมการวิชาการ
ดร. พุทธิพงศ์	หะลีหรัตน์วัฒนา	กรรมการวิชาการ
ดร. นรินทร์	เผ่าวิช	กรรมการวิชาการ
ดร. ณัฐวัฒน์	จุฑารัตน์	กรรมการวิชาการ
คุณเกียรติ	นิติโชติ	กรรมการวิชาการ
คุณชาติวี	พานิชอุดม	กรรมการวิชาการ
คุณณเรศ	ทักษพาณิชย์	กรรมการวิชาการ

562	คุณณัฐมนต์ คุณธนวรรณ คุณธรรมชาติ คุณนนทฉัตร คุณยุท คุณศุภสิทธิ์ คุณเสดสวย คุณสมหมาย	กัมปนาท มาประจง กุลประภา กุลประภา ปณิธานวงศ์ ศิริศักดิ์ สุจริตรวมกุล คำมีวงษ์	กรรมการวิชาการ กรรมการวิชาการ กรรมการวิชาการ กรรมการวิชาการ กรรมการวิชาการ กรรมการวิชาการ กรรมการวิชาการ กรรมการวิชาการ
การ	ผศ. ดร. จักรพันธ์	เทือกตะ	กรรมการวิชาการ และเลขานุการ
	รศ.ดร.ทวิษ	พูลเงิน	กรรมการวิชาการสมทบ

สำนักเลขาธิการสมาคมฯ

ศ. ดร. ชัย	จาดุรพิทักษ์กุล	ที่ปรึกษาสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
รศ. ดร. การุญ	จันทร์างศู	ที่ปรึกษาสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
รศ. ดร. สมิตร์	สงพิริยะกิจ	ที่ปรึกษาสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
ผศ. ดร. ณัฐพงษ์	มกระชัย	เลขาธิการสมาคมฯ
ว่าที่ร้อยตรีเมธา	ไหยโย	กรรมการในสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
ผศ. ดร. รุ่งโรจน์	ปิยะภาณุวัฒน์	กรรมการในสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
ดร. อำนาจ	คำพานิช	กรรมการในสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
ดร. จูติกร	โพธิ์ศรีมิ่ง	กรรมการในสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
ดร. กนกพัฒน์	ชาญไววิทย์	กรรมการในสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
คุณประกิต	แก้วเคารพ	กรรมการในสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
คุณยศพงษ์	วงศ์ระวีกุล	กรรมการในสำนักเลขาธิการสมาคมฯ
คุณสมภาพ	พันธ์ิ่ง	กรรมการในสำนักเลขาธิการสมาคมฯ

**คณะกรรมการอำนวยการจัดประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

รศ. ดร. สุวิมล	สังจาวณิชย์	ที่ปรึกษา
รศ. ดร. วันชัย	ยอดสุดใจ	ประธานกรรมการ
ผศ. ดร. นันทวัฒน์	ชมหวาน	กรรมการฝ่ายวิชาการ
ผศ. ดร. จักรพันธ์	เทือกตะ	กรรมการฝ่ายวิชาการ
ผศ. ดร. วัจนวงศ์	กริพละ	กรรมการฝ่ายวิชาการ
ดร. อนุวัฒน์	อรรถไชยวุฒิ	กรรมการฝ่ายวิชาการ
อาจารย์พลพันธ์	เศรษฐพิทยากุล	กรรมการฝ่ายวิชาการ

**คณะกรรมการผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14**

รศ. ดร. บุรณัตร์	ฉัตรวีระ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ. ดร. วันชัย	ยอดสุดใจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ. ดร. วิเชียร	ชาติ	มหาวิทยาลัยบูรพา
รศ. ดร. อุบลลักษณ์	รัตนศักดิ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
รศ. เอนก	ศิริพานิชกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร. เกรียงศักดิ์	แก้วกุลชัย	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ. ดร. เกียรติสุดา	สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลอีสาน
ผศ. ดร. ชูชัย	สุจิรวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร. ณัฐพงศ์	มกระชัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผศ. ดร. ธนากร	ภูเงินขำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลอีสาน
ผศ. ดร. นันทชัย	ชูศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลศรีวิชัย
ผศ. ดร. นันทวัฒน์	ขมหวาน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ. ดร. นิพนธ์	ตันไพบุลย์กุล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ. ดร. ภัทวดี	แสนเจริญ	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้าง และบำรุงรักษา (CONTEC)
ผศ. ดร. รักษิพงษ์	สหมิตรมงคล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร. รัฐพล	สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลอีสาน
ผศ. ดร. รุ่งโรจน์	ปิยะกานูวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร. วราภรณ์	แสงสร้อย	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้าง และบำรุงรักษา (CONTEC)
ผศ. ดร. วีระชาติ	ตั้งจิรภัทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. นัฐวุฒิ	ทิพย์โยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลอีสาน
ดร. กนกพัฒน์	ชาญไวยุทธ์	บริษัท บวิค-ไทย จำกัด
ดร. กิตติพงศ์	คุณเจริญกุล	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ดร. จักษดา	ธำรงวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลอีสาน
ดร. เฉลิมชัย	วาณิชย์ล้ำเลิศ	

i

อ

คณะกรรมการผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14 (ต่อ)

ดร. เชิดศักดิ์	สุขศิริพัฒน์พงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมนคลีสถาน	
ดร. จูติกร	โพธิ์ศรีบึง	สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท	
ดร. ณัฐวัฒน์	จุฑารัตน์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม	
ดร. วีรพันธุ์	เจียมมีปรีชา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมนคลีสถาน	10.30
ดร. ศักดิ์สิทธิ์	พันธ์วี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมนคลีสถาน	13.00

13.40

13.40

14.30

15.10



Download บทความ
การบรรยายพิเศษ (Keynote Speaker)

บทความวิจัย สาขาคอนกรีตเพื่อสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงาน (ENV) (ต่อ)		หน้า
ENV-006	สมบัติเชิงกลของเสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน <i>Virod Krailthep</i>	540 - 546
ENV-007	การออกแบบสภาพแวดล้อมพื้นที่บริเวณสถานีรถไฟฟาร์มแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อการ อนุรักษ์พลังงาน <i>Pastrapom Thipayasothorn, พรหมปพร นวลแสง, เอื้ออัมพร เพชรสินจ</i>	547 - 554
ENV-008	ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานจากแกนดินกัญชง <i>ประชุม คำพูน</i>	555 - 560
ENV-009	RECYCLED AGGREGATE PRODUCTION IN ECONOMIC PERSPECTIVES <i>Kirati Nitichote, Wanchai Yodsudjai</i>	561 - 568
บทความวิจัย สาขาการปรับปรุงคุณสมบัติของดินด้วยวัสดุซีเมนต์ (GTE)		หน้า
GTE-001	UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF MARGINAL LATERITIC SOIL STABILIZED BY FLY ASH GEOPOLYMER CONTAINING <i>kitti zangnel</i>	569 - 573
GTE-002	EFFECT OF CEMENT ON COMPRESSIVE STRENGTH OF LATERITIC SOIL MIXED WITH BAGASSE ASH GEOPOLYMER <i>Danai Jongphimay</i>	574 - 578
GTE-003	EFFECT OF WETTING-DRYING CYCLES ON COMPRESSIVE STRENGTH OF LIGHTWEIGHT CELLULAR WATER TREATMENT SLUDGE-SAND MIXED WITH FLY ASH GEOPOLYMER <i>Sermisak Tiyasangthong</i>	579 - 582
GTE-004	UNIT WEIGHT AND COMPRESSIVE STRENGTH OF WATER TREATMENT SLUDGE-SAND-FLY ASH GEOPOLYMER LIGHTWEIGHT CELLULAR <i>Sermisak Tiyasangthong</i>	583 - 590
GTE-005	การเปรียบเทียบระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ ไฮดรอลิกสำหรับการปรับปรุงหินคลุกที่ไม่ผ่านมาตรฐาน <i>Supannakrit Chachamnan</i>	591 - 595
GTE-006	Influence of Sulfate Attack on Strength and Durability of Soil cement under Wetting-Drying cycles <i>อภิชาติ คำภาหวั</i>	596

สมบัติเชิงกลของเสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน

Mechanical Properties of Coconut Fiber by using Portland Cement as Cementious materials

วีโรจน์ ไกรเทพ¹
จตุพล ตั้งปกาศิต²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี virod_k@mail.mutt.ac.th
²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี jatuphon.t@en.mutt.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ทำการศึกษาการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับเส้นใยมะพร้าวโดยทดสอบคุณสมบัติของกำลังอัด กำลังดึงผ่าซีก กำลังดัด กำลังเฉือน และกำลังดึงโดยตรง โดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ตัวอย่างขนาด 10X10X60 เซนติเมตร และตัวอย่างขนาด 10X10X30 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (Kg.) เส้นใยมะพร้าว : วัสดุประสาน : น้ำ จำนวน 3 อัตราส่วน คือ 0.9 : 6.0 : 3.8 , 1.0 : 6.0 : 3.9 และ 1.1 : 6.0 : 4.0 ผสมเข้าด้วยกันแล้วนำมาอัดขึ้นรูป และนำทิ้งไว้โดยวิธีขึ้นด้วยแผ่นพลาสติก นำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก กำลังรับแรงดึงโดยตรง กำลังรับแรงดัด และกำลังรับแรงเฉือน โดยเปรียบเทียบหาคุณสมบัติการรับกำลังของแต่ละอัตราส่วนที่อายุ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสม 1.1 : 6.0 : 4.0 มีคุณสมบัติการรับกำลังได้ดีที่สุด

ABSTRACT: The objective in this research is study the potential uses of coconut fiber in construction industry. Coconut matrix has been studied in compressive strength, splitting tensile, flexural strength, Shear Strength and direct tensile strength with by specimens of cylinder 15X30 centimeter, beam 10X10X60 centimeter and beam 10X10X30 centimeter. Three mixing ratio by weight of the coconut fiber coconut fiber : cementious : water is 0.9 : 6.0 : 3.8 , 1.0 : 6.0 : 3.9 and 1.1 : 6.0 : 4.0 with pressure mold. Plastic sheet is used for curing the sample. Compressive Strength, Split Tensile Strength, Direct Tensile Strength, Flexural Strength And Shear Strength are tested at the age of 28 days. The results showed that the mixed ratio 1.1 : 6.0 : 4.0 is greater than the another mixing matrix.

KEYWORDS: Compressive Strength , Splitting Tensile Strength , Direct Tensile Strength , Flexural Strength , Shear Strength

1. บทนำ

ปัจจุบันผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่เกิดจากอุตสาหกรรมต่างๆ ทำให้เกิดการตื่นตัวอย่างมากในการที่จะลดผลกระทบทางมลภาวะทางอากาศ ทำให้มีการประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมขึ้นมาเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่เป็นอุตสาหกรรมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นหลักซึ่งมีความพยายามที่จะหาวัสดุทดแทนที่จะลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมจากแนวโน้มในปัจจุบันได้มีการกลับมาใช้วัสดุจากธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งเป็นวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อมลภาวะน้อยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ และเป็นการใช้วัสดุที่มีความยั่งยืน กล่าวคือวัสดุจากธรรมชาติสามารถปลูกทดแทนหมุนเวียนได้ ไม่มีวันหมด จากพื้นฐานของประเทศไทยเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นหลัก ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการเกษตรเป็นจำนวนมาก โดยปัจจุบันยังไม่ได้มีการนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากกระบวนการนำมาใช้จะต้องมีขั้นตอนเป็นจำนวนมาก ต้นทุนในการผลิตสูงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ ดังนั้นทั่วโลกจึงให้ความสำคัญในเรื่องการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนโลก

เส้นใยมะพร้าวก็เป็นวัสดุหนึ่งที่มีปริมาณมากและหาได้ง่าย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจเกษตรกรรมกระทรวงเกษตรและสหกรณ์พบว่าปริมาณผลผลิตของมะพร้าวประมาณปีละกว่า 1 ล้านตัน [1] โดยเนื้อและน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่จะมีส่วนที่เหลือคือเปลือกซึ่งจะสามารถเอาไปทำเป็นเส้นใยมะพร้าว ซึ่งเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งในอุตสาหกรรมฟีนอลและเฟอร์นิเจอร์ แต่การใช้ก็เป็นเพียงส่วนน้อย ทำให้มีปริมาณที่ถูกต้องโดยไม่ได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อีกเป็นจำนวนมาก จากคุณสมบัติของเส้นใยมะพร้าวที่มีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติเป็นเส้นใยที่ยืดหยุ่นเหนียวแข็งแรงทนทานมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ สามารถทำลายได้ง่าย ดังนั้นใยมะพร้าวมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมก่อสร้างที่เป็นอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้วัสดุที่มาก ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ใช้เป็นตัวยึดประสานวัสดุให้เป็น

เนื้อเดียวกันโดยผสมกับน้ำ เมื่อแข็งตัวจะมีคุณสมบัติแข็งแรงแต่เปราะ มีความเหนียวต่ำ เมื่อนำมาใช้ในงานก่อสร้างจึงมีข้อจำกัดเนื่องจากมีโอกาสแตกหักได้ง่าย

จากรายงานข้างต้น จึงมีแนวคิดในการพัฒนานำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ร่วมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานเพื่อให้เส้นใยมะพร้าวมีความแข็งแรง โดยมีคุณสมบัติในการนำไปใช้ทางด้านวิศวกรรม เพื่อเป็นทางเลือกในการพัฒนาวัสดุนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ซึ่งกลุ่มวัสดุก่อสร้างเหล่านี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเป็นหลัก ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้ศึกษาพฤติกรรมของการเสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ในการรับกำลังแรงอัด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก กำลังรับแรงดึงโดยตรง กำลังรับแรงดัด และกำลังรับแรงเฉือน พัฒนานำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลในด้านการรับกำลังอัด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก กำลังรับแรงดึงโดยตรง กำลังรับแรงดัดและกำลังรับแรงเฉือนของการเสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน เปรียบเทียบค่าการรับกำลังระหว่างอัตราส่วนผสมต่างๆ โดยน้ำหนัก (Kg) คืออัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว : วัสดุประสาน : น้ำ โดยมีจำนวน 3 อัตราส่วน คือ 0.9 : 6.0 : 3.8 , 1.0 : 6.0 : 3.9 และ 1.1 : 6.0 : 4.0 และทำการทดสอบที่อายุ 28 วัน

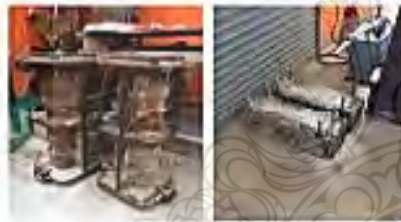
3. ขี้อ้างอิงการวิจัย

- 1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย
- 1.1 เส้นใยมะพร้าวชนิดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฟีนอล
- 1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1
- 1.3 น้ำสะอาดที่ไม่มีวัสดุอื่นเจือปน ไม่มีสิ่งสกปรก



รูปที่ 1 เส้นใยมะพร้าว รูปที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
 - 2.1 แบบหล่อเหล็กอัดขึ้นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร
 - 2.2 แบบหล่อเหล็กอัดขึ้นรูปแท่งสามขนาดหน้าตัด 10X10 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร
 - 2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบตั้งพื้น
 - 2.4 เครื่องผสมวัสดุประสานกับน้ำ (mixer)
 - 2.5 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine)
3. ทำการลอกแบบส่วนผสมสำหรับแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึงค่าชีก ออกแบบส่วนผสมสำหรับหล่อแท่งสามขนาดหน้าตัด 10X10 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงเฉือน และนิวมาทั้งสามที่หล่อเสร็จแล้ว มาเฉลี่ยคิดให้เหลือขนาด 10X10 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง



รูปที่ 3 แบบหล่อเหล็กอัดขึ้นรูป

4. การหล่อแห้งตัวอย่าง
 1. เครื่องเล่นโยมะพร้าวสารปริมาณที่ได้ออกเลขไว้
 2. เครื่องวัสดุประสานประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำ ตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้นำมาผสมในเครื่องผสม (แสดงในตารางที่ 1)
 3. นำวัสดุประสานมาผสมกับเส้นโยมะพร้าวคลุกเคล้าให้วัสดุประสานแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นโยให้ทั่วถึง

4. เมื่อผสมเข้ากันดี นำวัสดุที่ผสมได้มาใส่ในแบบหล่อที่เตรียมไว้ อัดขึ้นรูปให้ได้รูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ ตั้งไว้เป็นเวลา 1 วัน ก่อนถอดแบบ
5. บ่มแห้งตัวอย่างโดยหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกเป็นเวลา 28 วัน

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมเส้นโยมะพร้าวและวัสดุประสาน

ชื่อ	เส้นโยมะพร้าว (kg)	ปูนซีเมนต์ (kg)	น้ำ (kg)	จำนวน (ตัวอย่าง)
Fi - 0.9	0.9	6.0	3.8	15
Fi - 1.0	1.0	6.0	3.9	15
Fi - 1.1	1.1	6.0	4.0	15

สัญลักษณ์

- Fi - 0.9 หมายถึง อัตราส่วนผสมเส้นโยมะพร้าว 0.9 Kg.
- Fi - 1.0 หมายถึง อัตราส่วนผสมเส้นโยมะพร้าว 1.0 Kg.
- Fi - 1.1 หมายถึง อัตราส่วนผสมเส้นโยมะพร้าว 1.1 Kg.



รูปที่ 4 การหล่อแห้งตัวอย่าง



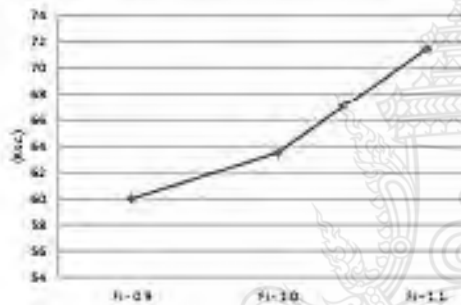
รูปที่ 5 การบ่มแห้งตัวอย่าง

5. การทดสอบ

1. ทดสอบหากำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C39 โดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 6 การทดสอบกำลังรับแรงอัด



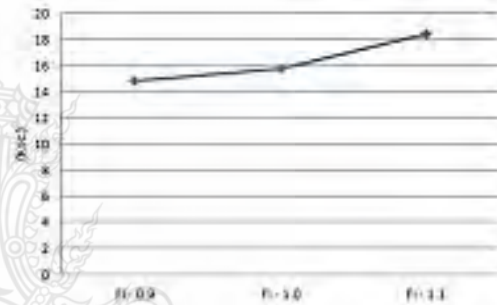
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับอัตราส่วนเส้นใย

2. ทดสอบหากำลังรับแรงดึงผ่าซีกตามมาตรฐาน ASTM C496

โดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร



รูปที่ 8 การทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก

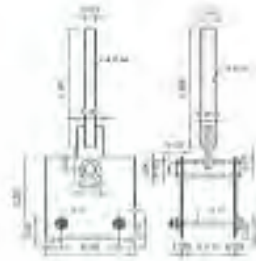


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับอัตราส่วนเส้นใย

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างอัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบคือ ที่อัตราส่วนผสมเส้นใย 0.9 กก./รับกำลังอัดได้เฉลี่ย 60.02 กก./ตร.ซม. ที่อัตราส่วนผสมเส้นใย 1.0 กก./รับกำลังอัดได้เฉลี่ย 63.48 กก./ตร.ซม. รับกำลังได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.45 และที่อัตราส่วนผสมเส้นใย 1.1 กก./รับกำลังอัดได้เฉลี่ย 71.44 กก./ตร.ซม. รับกำลังได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 15.60 และได้เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับอัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าว ได้ตามกราฟรูปที่ 7 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมะพร้าว จะสามารถรับกำลังอัดได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ นินพชัย ชูสีลณี และคณะ [2]

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของแท่งตัวอย่างจำนวนอัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบคือที่อัตราส่วนเส้นใย 0.9 กก./รับแรงดึงผ่าซีกได้เฉลี่ย 14.82 กก./ตร.ซม. ที่อัตราส่วนผสมเส้นใย 1.0 กก./ตร.ซม. รับแรงดึงผ่าซีกได้เฉลี่ย 15.76 กก./ตร.ซม. รับแรงได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 6 และที่อัตราส่วนผสมเส้นใย 1.1 กก./รับแรงดึงผ่าซีกได้เฉลี่ย 18.48 กก./ตร.ซม. รับแรงได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงผ่าซีกกับอัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าว ได้ตามกราฟรูปที่ 9

3. การทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง
โดยใช้ตัวอย่างแท่งคานขนาดหน้าตัด 10X10 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร



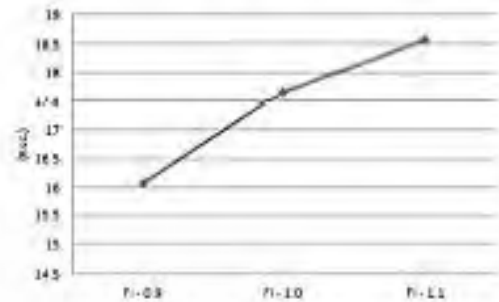
รูปที่ 10 ทวิมิติของตัวเครื่อง



รูปที่ 11 เมษายนเครื่องตัวเครื่องกับทวิมิติ



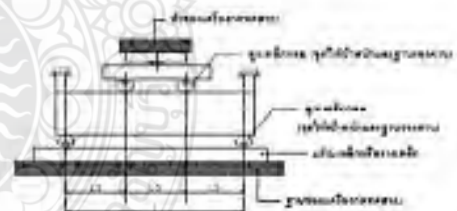
รูปที่ 12 การทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง



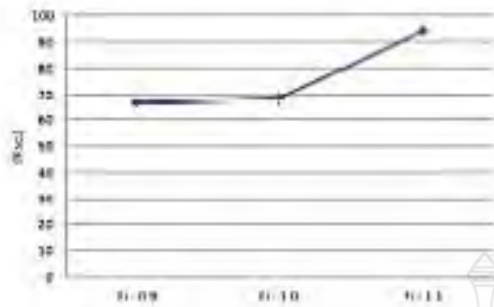
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงแกับอัตราส่วนน้ำ/ซีเมนต์

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของแท่งตัวอย่าง จำนวนอัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบคือที่อัตราส่วนน้ำ/ซีเมนต์ 0.9 กก./คร.ชม. รับแรงดึงโดยตรงได้เฉลี่ย 16.07 กก./คร.ชม. ที่อัตราส่วนน้ำ/ซีเมนต์ 1.0 กก./คร.ชม. รับแรงดึงโดยตรงได้เฉลี่ย 17.68 กก./คร.ชม. รับแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.11 และที่อัตราส่วนน้ำ/ซีเมนต์ 1.1 กก./คร.ชม. รับแรงดึงโดยตรงได้เฉลี่ย 18.55 กก./คร.ชม. รับแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.51 ได้ผลการทดสอบใกล้เคียงกับผลการทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงแกับอัตราส่วนน้ำ/ซีเมนต์พบว่า ได้ตามกราฟรูปที่ 13

4. การทดสอบกำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C78
โดยใช้ตัวอย่างแท่งคานขนาด หน้าตัด 10X10 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร



รูปที่ 14 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

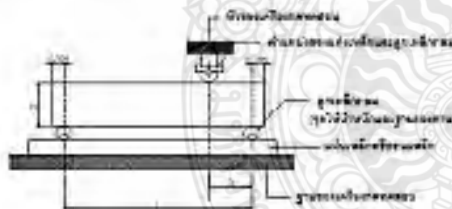


รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงแกับอัตราส่วนน้ำซีเมนต์

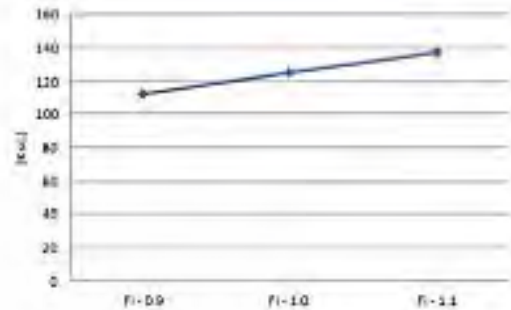
จากการทดสอบกำลังรับแรงคดของแท่งตัวอย่าง จำนวน อัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบคือที่อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ 0.9 กก. รับแรงคดได้เฉลี่ย 66.60 กก./ตร.ซม. ที่อัตราส่วนผสมน้ำซีเมนต์ 1.0 กก. รับแรงคดได้เฉลี่ย 68.70 กก./ตร.ซม. รับแรงได้สูงขึ้นเพียงเล็กน้อยคือร้อยละ 3.06 แต่ที่อัตราส่วนผสมน้ำซีเมนต์ 1.1 กก. รับแรงคดได้เฉลี่ย 94.40 กก./ตร.ซม. สามารถรับแรงได้เพิ่มสูงขึ้นมากถึงร้อยละ 29.45 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงแกับอัตราส่วนผสมน้ำซีเมนต์พบว่า ได้ตามกราฟรูปที่ 15

5. การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน

โดยใช้ตัวอย่างแท่งคานขนาดหน้าตัด 10X10 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร



รูปที่ 16 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงแกับอัตราส่วนน้ำซีเมนต์

จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของแท่งตัวอย่าง จำนวน อัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบคือที่อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ 0.9 กก. รับแรงเฉือนได้เฉลี่ย 112.50 กก./ตร.ซม. ที่อัตราส่วนผสมน้ำซีเมนต์ 1.0 กิโลกรัม รับแรงเฉือนได้เฉลี่ย 125.33 กก./ตร.ซม. รับกำลังได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.29 และที่อัตราส่วนผสมน้ำซีเมนต์ 1.1 กิโลกรัม รับแรงเฉือนได้เฉลี่ย 137.50 กก./ตร.ซม. รับแรงได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 18.18 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงแกับอัตราส่วนน้ำซีเมนต์พบว่า ได้ตามกราฟรูปที่ 17

6. สรุป

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทดสอบเชิงกลของแท่งตัวอย่างประกอบด้วย การทดสอบกำลังรับแรงคด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก กำลังรับแรงดึงโดยตรง กำลังรับแรงคด และกำลังรับแรงเฉือน กับอัตราส่วนผสมน้ำซีเมนต์พบว่า จำนวน 3 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กก.) คือ อัตราส่วน น้ำซีเมนต์ : ทราย : หิน (0.9 : 6.0 : 3.8) , (1.0 : 6.0 : 3.9) และ (1.1 : 6.0 : 4.0) พบว่าที่อัตราส่วน (1.1 : 6.0 : 4.0) รับกำลังได้ดีที่สุดจากการทดสอบ เป็นผลมาจากส่วนผสมน้ำซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นทำหน้าที่เป็นวัสดุช่วยยึดเกาะไม่ให้แท่งตัวอย่างทดสอบขาดจากกัน ในขณะที่วัสดุประสานอาจเกิดการแตกร้าวขึ้นแล้วก็ตาม และสามารถรับแรงเฉือนได้สูงที่สุดโดยเฉลี่ย 137.5 กก./ตร.ซม. รับแรงดึงแบบผ่าซีกได้น้อยที่สุดโดยเฉลี่ย 18.48 กก./ตร.ซม. โค้งเดียวกับรับแรงดึงโดยตรงโดยเฉลี่ย 18.58 กก./ตร.ซม.

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจมหภาค กระทรวงมหาดไทยและสหกรณ์.
ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. 2556
- [2] นันทชัย ชูดีสง่า, ชนาภิกษา คุ่มน้อย, ช่างบุญรงค์ ศรีนงนุช และวิไล ฮิต
พงศ์. 2556. สมบัติเชิงกลของซีเมนต์โพรซีเมนต์เป็นโพลีโพรพิลีน.วารสาร
การศึกษาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1(2) : 89 – 99
- [3] บวร นิตราชกุล ณ อุตุยา ปวีลา จันทวงษ์ และไฉฉิม ชิงกุล. 2555.
การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาชนิดน้ำหนักเบาผสมเส้นใย
ของเม็ดเสว. วิศวกรรมเกษตร 29(1) : 43-48
- [4] บวร นิตราชกุล ณ อุตุยา ปวีลา จันทวงษ์ และไฉฉิม ชิงกุล. 2555.
การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาชนิดน้ำหนักเบาผสมเส้นใย
โพรไฟเบอร์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 21 : 226-
271
- [5] บุญฉัตร นิตวโรจ และวิชัย พนมศิริประเสริฐ. 2554. การศึกษา
ความหนาแน่นในการรับแรงอัด และความทนทานของซีเมนต์โพรซีเมนต์
น้ำหนักเบา และน้ำหนั. วารสารวิจัยและพัฒนเกษตร. 34 (3) : 279-298
- [6] American Society for Testing and Materials.2012 ASTM C39
Standard Test Method for Compressive Strength of
Cylindrical Concrete Specimens
- [7] American Society for Testing and Materials.2011 ASTM C496
Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of
Cylindrical Concrete Specimens
- [8] American Society for Testing and Materials.2001 ASTM C78
Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete



สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ขอมอบประกาศนียบัตรฉบับนี้ไว้แก่

คุณวิโรจน์ ไกรเทพ

ในโอกาสนำเสนอความเรียง

“สมบัติเชิงกลของเสริมเส้นใยมะพร้าว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน”

ภายในงาน

“การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 14 Annual Concrete Conference (ACC14)”

วันที่ 6-8 มีนาคม 2562

ที่ โรงแรม วันที 8 มีนาคม 2562

นางวาทิตา เอก

อานันท์ พิระพันธ์

(รองศาสตราจารย์ อานันท์ พิระพันธ์)

นายกสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย



ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล	นายวิโรจน์ ไกรเทพ
วัน เดือน ปีเกิด	10 มิถุนายน 2511
ที่อยู่	32/62 ม.3 ถ.ลำลูกกา-ธัญบุรี ต.บึงคำพร้อย อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12150
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	วิศวกรโยธา 5 เทศบาลเมืองหนองปรือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2556 วิศวกรโยธาปฏิบัติการ เทศบาลเมืองปทุมธานี อำเภอมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี พ.ศ. 2557 – พ.ศ. 2559 วิศวกรโยธาชำนาญการ เทศบาลเมืองท่าโขลง อำเภอกลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พ.ศ. 2560 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	080-990-3908
อีเมล	virod_k@mail.rmutt.ac.th