การพัฒนากำลังคอนกรีตเซลลูล่าด้วยเถ้าถ่านหินและเส้นใยสังเคราะห์

นายอภัย ชาภิรมย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2561

STRENGTH DEVELOPMENT OF CELLULAR CONCRETE WITH FLY ASH AND SYNTHETIC FIBER

Aphai Chapirom

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy of Engineering in Civil Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

การพัฒนากำลังคอนกรีตเซลลูล่าด้วยเถ้าถ่านหินและเส้นใยสังเคราะห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ศ. ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ธีรวัฒน์ สินศิริ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.มงคล จิรวัชรเดช)
กรรมการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
กรรมการ

(รศ. ดร.วันชัย สะตะ)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อภัย ชาภิรมย์ : การพัฒนากำลังคอนกรีตเซลลูล่าด้วยเถ้าถ่านหินและเส้นใยสังเคราะห์ (STRENGTH DEVELOPMENT OF CELLULAR CONCRETE WITH FLY ASH AND SYNTHETIC FIBER) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ สินศิริ, 186 หน้า

จากปัญหาผู้ประกอบด้านการผลิตคอนกรีตบล็อคมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ที่ต้องการให้คอนกรีตบล็อค มีกำลังสูงขึ้น ลดการแตกร้าว และพัฒนาไปใช้ในงานก่อสร้างอื่น ๆ ผู้วิจัยได้ศึกษาพัฒนา ชุดเครื่องมือในการผลิต และนำวัสดุ เถ้าถ่านหิน เส้นใยสังเคราะห์ มาผสมเพื่อพัฒนาคุณภาพ คอนกรีตบล็อค

งานวิจัยได้พัฒนาชุด เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องสร้างฟองโฟม โปรแกรมออกแบบสัดส่วนผสม ให้มีความเหมาะสมกับการออกแบบสัดส่วนผสม (Mix Design) โดยกำหนดค่า ความหนาแน่นแห้ง 900 กก./ลบ.ม. ความหนาแน่นของฟองโฟม 35-42 กก./ลบ.ม.อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 สัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) และนำเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) เถ้าถ่านหินปรับปรุง (FAC) แทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20 และ 30 เลือกส่วนผสมที่ดีที่สุดไปผสมกับ เส้นใยสังเคราะห์ (FRC) ในอัตราส่วนน้ำหนัก 0.33, 0.50 และ 0.67 กก./ลบ.ม. การทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เลขที่ 2601-2556 ผลการทดสอบพบว่า สัดส่วนผสมที่นำเถ้าถ่านหินทั่วไปแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 (FA20) มีกำลังอัด 36.8 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่นแห้ง 915 กก./ลบ.ม. การดูดซึมน้ำร้อยละ 15 ที่อายุ 28 วันสูงกว่าสัดส่วน OPC block และเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม กำหนด ผลการทดสอบการนำเส้นใยสังเคราะห์มาผสมกับสัดส่วน FA20 พบว่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ความหนาแน่นแห้งลดลง การดูดซึมน้ำมีปริมาณที่สูงขึ้น การหดตัวมีค่าน้อยกว่าการรับแรงดัดมีค่ามากกว่า เมื่อเทียบกับสัดส่วน OPC block และขนาดโพรงอากาศ FA20, FRC มีขนาดอยู่ในช่วง 100 - 300 ไมโครเมตร พื้นที่ฟองอากาศผสมอยู่ร้อยละ 55 – 59 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา

นำสัดส่วนผสม FA20, FRC2 มาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อคใช้งานส่งผลให้คอนกรีตบล็อคมีค่ากำลังอัดที่สูงขึ้น ไม่มีการแตกร้าว เมื่อเทียบกับสัดส่วนผสม OPC block และยังสามารถนำสัดส่วนผสมดังกล่าวไปใช้ในงานอื่น ๆ อาทิ หลังคามวลเบา ผนังสำเร็จรูป ผนังอินฟิวล์วอลล์ และเตาประหยัดพลังงาน เป็นต้น

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

APHAI CHAPIROM : STRENGTH DEVELOPMENT OF CELLULAR CONCRETE WITH FLY ASH AND SYNTHETIC FIBER.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THEERAWAT SINSIRI, Ph.D., 186 PP.

CELLULAR CONCRETE /FIBER REINFORCED / FLY ASH/ IMPROVEMENT FLY ASH / STRENGTH DEVELOPMENT OF CELLULAR CONCRETE

Manufacturers of aerated light-weight concrete have been facing problems due to strength, cracks and applications of the material in construction practices. In response to these problems, the author developed a production unit which increased the strength of aerated light-weight concrete, reduced the cracks in the material and increased its applicability in construction practice. In addition, other materials including fly ash (FA) and fiber reinforced concrete (FRC) were used in the mixture to improve the qualities of the concrete blocks.

The research developed a concrete mixer, a foaming unit and a mix design program which gave the appropriate ratios of materials for the mix design requirement. The specified values for the mix design program include dry density of 900 kg./m^3, foam density at 35 – 42 kg./m^3, W/C ratio of 0.5. of OPC block. Then, FA and FAC were substituted for normal cement portland at 10, 20 and 30% by weight of binder. The best mixture was then selected and FRC was added to the mixture at 0.33, 0.50 and 0.67 kg./m^3. The light-weight concrete block was then tested based on TIS 2601 – 2556. Results of the test showed that FA20 yields a compressive strength of 36.8 kg./cm^2, dry density of 915 kg./m^3 and water absorption rate of 15% at 28 days which is higher than the OPC block ration and the specified

that FA20 had a slightly higher compression strength, less dry density, higher absorption rate, lesser shrinkage value, and higher resistance to bending force as compared to OPC block. The in addition air pockets in FA20 and FRC ranged from 100 – 300 μm and were scattered throughout the mixture at 55 – 59 % which was in line with the previous research.

The FA20 and FRC2 mixtures were used to create concrete blocks for use. The results showed that the compressive strength of the blocks were higher and there are less cracks as compared to OPC block. The mixture can also be applied for other construction purposes such as light-weight concrete roofs, infill walls, and energy conserving burners, etc.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Civil Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบุคคลและคณะบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลือเป็นอย่างดีทั้งในด้านวิชาการและด้านเทคนิคการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ สินศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สั่งสอนให้ความรู้ คำปรึกษา ตรวจทานวิทยานิพนธ์ การยื่นขออนุสิทธิบัตร และบทความวิจัยระดับประเทศนานาชาติ จนสำเร็จ

ศาสตราจารย์ ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ประธานกรรมการ ที่ได้ให้คำชี้แนะการนำเสนอ และตรวจทานวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวัชรเดช ที่ได้ชี้แนะแนวทางขอบเขตการวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร ที่ให้ความอนุเคราะห์ ชี้แนะแนวทางขอบเขตการวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย สะตะ ได้ชี้แนะแนวทางขอบเขตการวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัทอินฟินนิตี้เฮาส์ จำกัด ที่ให้ใช้พื้นที่ในการทดสอบ และเงินทุนในการวิจัย

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ทุนผู้ช่วยวิจัย สัญญาเลขที่ PHD59I0064 รหัส 5911024 ระดับปริญญาเอก เพื่ออุตสาหกรรม ที่ให้เงินทุนสนับสนุนการเล่าเรียน และค่าวัสดุทำงานวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความสะดวกใช้สถานที่เครื่องมือห้องปฏิบัติการต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติ มิตร ครอบครัวผู้เขียนและบุคคลที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่เป็นกำลังใจให้ผู้เขียนด้วยดีเสมอ ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอยกความดีทั้งหมดของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ส่งผลบุญให้ทุกท่านดังกล่าว จงประสบแต่ความสุข ความเจริญ ตลอดไป

อภัย ชาภิรมย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
1.5 แผนการดำเนินงาน 4
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 คอนกรีตมวลเบา 5
2.2 การจำแนกชนิดคอนกรีตมวลเบา 5
2.2.1 คอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนัก 5
2.2.2 คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมเบา 6
2.2.3 คอนกรีตมวลเบาที่ใช้สารเคมี 6
2.3 ประเภทของคอนกรีตมวลเบา 8
2.3.1 ระบบที่ไม่ผ่านการอบไอน้ำ 8
2.3.2 ระบบการอบไอน้ำ 8
2.4 กระบวนการในการสร้างฟองอากาศ 9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 คุณสมบัติคอนกรีตแบบเซลลูล่า 10
2.5.1 หน่วยน้ำหนัก 10
2.5.2 กำลังรับแรงอัด 11
2.5.3 การดูดซึมน้ำ 12
2.5.4 การหดตัวแห้ง 12
2.5.5 คุณสมบัติฉนวนกันความร้อน 13
2.5.6 การทนไฟ 13
2.6 วัสดุผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า 13
2.6.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 13
2.6.2 มวลรวมละเอียด 14
2.6.3 น้ำ 16
2.6.4 สารสร้างฟองโฟม 16
2.6.5 เถ้าถ่านหิน 18
2.6.6 เส้นใยเสริมกำลังในคอนกรีต 21
2.7 เครื่องมือและกระบวนการผลิตคอนกรีตเซลลูล่า 24
2.7.1 เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบใบกวนในแนวนอน 24
2.7.2 เครื่องสร้างฟองโฟมแบบควบคุมเวลา 26
2.7.3 ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตเซลลูล่า 27
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29
2.9 ข้อสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 39
3 วิธีการดำเนินการวิจัย 40
3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย 40
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 41
3.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบ 43
3.3.1 การออกแบบส่วนผสม 43
3.3.2 การเตรียมฟองโฟมอากาศ 44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 วิธีการทดสอบทางกายภาพ 45
3.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด 45
3.4.2 การทดสอบความหนาแน่นแห้ง 45
3.4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ 46
3.4.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 46
3.4.5 การทดสอบการหดตัวแห้ง 47
3.4.6 การทดสอบกำลังดัด 48
3.5 วิธีการทดสอบระดับจุลภาค 49
3.5.1 Scanning electron microscope (SEM) 49
3.5.2 การทดสอบโครงสร้างช่องว่างอากาศโดยวิธีวิเคราะห์ภาพ 50
3.5.3 การทดสอบ Energy Dispersive X-ray Spectrometer(EDS) 51
3.5.4 เครื่องมือวิเคราะห์ขนาดอนุภาค 53
3.6 แผนการทดสอบ 53
4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล 58
4.1 บทนำการทดสอบ 58
4.2 ผลการทดสอบคอนกรีตเซลลูล่าทางกายภาพ 58
4.2.1 การทดสอบช่วงที่หนึ่ง เถ้าถ่านหินทั่วไปและปรับปรุง 58
4.2.1.1 ผลการทดสอบกำลังอัด 58
4.2.1.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง 59
4.2.1.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ 60
4.2.1.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 61
4.2.1.5 ผลการทดสอบการหดตัว 63
4.2.2 การทดสอบช่วงที่สอง การผสมเส้นใยสังเคราะห์ 64
4.2.2.1 ผลการทดสอบกำลังอัด 64
4.2.2.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง 65

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ 66
4.2.2.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 67
4.2.2.5 ผลการทดสอบการหดตัว 68
4.2.2.6 ผลการทดสอบกำลังดัด 69
4.3 ผลการทดสอบคอนกรีตเซลลูล่าระดับจุลภาค 70
4.3.1 การทดสอบวิเคราะห์การกระจายขนาดคละ 70
4.3.2 การทดสอบวิเคราะห์การกระจายขนาดโพรงอากาศ 71
4.3.3 การทดสอบวิเคราะห์ซีเมนต์เพสท์ที่อยู่ระหว่างโพรง 75
4.3.4 การทดสอบวิเคราะห์ขนาดโพรงอากาศที่มีเส้นใยสังเคราะห์ 83
4.3.5 การทดสอบวิเคราะห์ซีเมนต์เพสท์ที่มีเส้นใยสังเคราะห์ 85
4.3.6 การทดสอบวิเคราะห์ขนาดโพรงอากาศและพื้นที่ 88
4.3.7 การทดสอบวิเคราะห์โพรงอากาศในคอนกรีตเซลลูล่า 90
4.4 ผลงานวิจัยไปนำใช้ในเชิงพาณิชย์ 88
5 สรุปผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล 93
5.1 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ 93
5.2 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางจุลภาค 94
5.3 ข้อเสนอแนะ 94
รายการอ้างอิง 95
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. มาตรฐาน มอก.2601-2556และตัวอย่างการคำนวณ 98
ภาคผนวก ข. ตารางผลการทดสอบคอนกรีตเซลลูล่า ต่าง ๆ 110
ภาคผนวก ค. อนุสิทธิบัตร ความลับทางการค้า และผลการทดสอบ มอก.2601-2556 156
ภาคผนวก ง. บทความวิชาการ ทุนวิจัย และรางวัลในระหว่างศึกษา 176
ประวัติผู้เขียน 186

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงค่าจำเพาะของปูนซีเมนต์ 14
2.2 แสดงค่าจำเพาะของมวลรวมละเอียด 15
2.3 แสดงค่าจำเพาะของสร้างฟองโฟม 17
2.4 ข้อกำหนดทางเคมีของเถ้าถ่านหิน 20
2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากแหล่งต่าง ๆ 20
2.6 แสดงค่าจำเพาะทางกายภาพของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ 21
2.7 แสดงค่าจำเพาะของเส้นใพลาสติก แบบโพลีโพรพีลิน 23
2.8 กำลังอัดของคอนกรีตที่มีซิลิกาฟูมและเถ้าถ่านหินหยาบบดละเอียด 30
3.1 สัดส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ 44
3.2 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) 56
3.3 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ คอนกรีตเซลลูล่าผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป 56
3.4 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ คอนกรีตเซลลูล่าผสมเถ้าถ่านหินแยกละเอียด 57
3.5 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ คอนกรีตเซลลูล่าผสมเถ้าถ่านหินผสมเส้นใยสังเคราะห์ 57
4.1 สัดส่วนผสมตามความหนาแน่นต่าง ๆ ที่นำไปใช้ในงานก่อสร้าง 91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ตัวอย่างภาพถ่ายพื้นผิวโครงสร้างทั่วไปคอนกรีตเซลลูล่า (ACI 523.3R-14) 8
2.2 ตัวอย่างภาพถ่ายพื้นผิวที่ขัดเรียบของคอนกรีตเซลลูล่า 9
2.3 น้ำยาสารสร้างฟองโฟมและเนื้อผิวของฟองโฟม 18
2.4 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคเถ้าลอย 19
2.5 ภาพถ่ายเส้นใยเหล็ก 22
2.6 ภาพถ่ายเส้นใยโพลีโพรพีลินของตราสินค้า Forta 23
2.7 กระบวนการผลิตคอนกรีตเซลลูล่า 24
2.8 ลักษณะใบกวนภายในเครื่องผสมคอนกรีตฯแบบใบกวนในแนวนอน 25
2.9 เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่า เลขที่อนุสิทธิบัตร 14175 26
2.10 เครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่า 27
2.11 ชุดผลิตคอนกรีตเซลลูล่า 28
2.12 ภาพถ่าย SEM Micro pore shape AAC , CLC 30
2.13 ภาพถ่าย SEM Pore distribution AAC , CLC 31
2.14 ผลการทดสอบกำลังอัดและการดูดซึมน้ำ 31
2.15 ภาพถ่าย SEM Surface of CLC อายุ 28 วัน 32
2.16 ภาพถ่ายคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าที่ลอยน้ำ 33
2.17 ภาพถ่ายการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตเซลลูล่าทรงกระบอก 35
2.18 ภาพถ่ายการทดสอบกำลังดัดอิฐมวลเบาเซลลูล่าขนาด 150x150x450 mm. 35
2.19 กราฟแสดงกำลังอัดคอนกรีตเซลลูล่าที่มีการผสมเส้นใยสังเคราะห์แบบมาโคร 36
2.20 กราฟแสดงกำลังดัดคอนกรีตเซลลูล่าที่มีการผสมเส้นใยสังเคราะห์แบบมาโคร 36
2.21 ลักษณะการแตกร้าวคอนกรีตเซลลูล่าที่มีการผสมเส้นใยสังเคราะห์แบบมาโคร 37
2.22 ภาพถ่าย EDS ของโฟรงอากาศที่ผสม NS และ MO 38
2.23 แสดงทฤษฎีโครงสร้างของโฟรงอากาศ 38
2.24 รูปจำลองโครงสร้างภายในของคอนกรีต (Ichikawa, 2003) 39

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.1 ตัวอย่างภาพถ่าย สารเพิ่มฟอง SUT สูตร 2.1 (Foaming agent) 41
3.2 ตัวอย่างภาพถ่าย เส้นใยสังเคราะห์(Fiber reinforced concrete) 41
3.3 เครื่องทดสอบการนำความร้อน 43
3.4 เครื่องทดสอบการตัดและการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ 48
3.5 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตเซลลูล่าก่อนถ่ายขยาย SEM 49
3.6 เครื่องถ่ายภาพขยายกำลังสูง SEM 50
3.7 กล้องจุลทรรศน์สำหรับทดสอบ Image Analysis 51
3.8 เครื่องถ่ายภาพขยายกำลังสูง SEM-EDS 52
3.9 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค 53
3.10 แผนผังการทดสอบ 55
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 59
4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 60
4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 61
4.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 62
4.5 ผลการทดสอบการหดตัวของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 63
4.6 ผลการทดสอบกำลังอัด ผสมเส้นใยสังเคราะห์ของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 64
4.7 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง ผสมเส้นใยสังเคราะห์ของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 66
4.8 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ผสมเส้นใยสังเคราะห์ของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 67
4.9 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความร้อน ผสมเส้นใยสังเคราะห์ของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 68
4.10 ผลการทดสอบการหดตัว ผสมเส้นใยสังเคราะห์ของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 69
4.11 ผลการทดสอบการดัด ผสมเส้นใยสังเคราะห์ของสัดส่วนผสมต่าง ๆ 70
4.12 การกระจายขนาดอนุภาค OPC block, FA และ FAC 71
4.13 ภาพถ่าย SEM ขนาดโพรงอากาศในคอนกรีตเซลลูล่า 72
4.14 การวิเคราะห์หาขนาดพื้นที่โพรงอากาศด้วยโปรแกรม ImageJ 73
4.15 ผลการหาความถี่ขนาดโพรงอากาศในช่วงขนาดต่าง ๆ 74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.16 ผลการทดสอบการหาปริมาณพื้นที่ของขนาดโพรงอากาศ 75
4.17 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS OPC 76
4.18 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FA10 77
4.19 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FA20 78
4.20 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FA30 79
4.21 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FAC10 80
4.22 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FAC20 81
4.23 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FAC30 82
4.24 ภาพถ่าย SEM และวิเคราะห์หาขนาดพื้นที่ของโพรงอากาศด้วย ImageJ 83
4.25 ผลการหาความถี่ขนาดโพรงอากาศ ผสมเส้นใยสังเคราะห์ 84
4.26 ผลการทดสอบการหาปริมาณพื้นที่ของขนาดโพรงอากาศ ผสมเส้นใยสังเคราะห์ 84
4.27 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FA20+FRC1 85
4.28 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FA20+FRC2 86
4.29 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS FA20+FRC3 87
4.30 ภาพจำลองอนุภาคโครงสร้างคอนกรีตเซลลูล่า 89
4.31 เครื่องมือผลิตคอนกรีตเซลลูล่าแบบเดิม และแบบใหม่ที่พัฒนา 90
4.32 การนำคอนกรีตเซลลูล่าในประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ 92

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

OPC block	=	คอนกรีตเซลลูล่าทั่วไป หรือ Ordinary Portland Cement Block
FA	=	สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหิน
FAC	=	สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง
FRC	=	สัดส่วนผสมที่มีการผสมเส้นใยสังเคราะห์
CLC	=	Cellular Lightweight Concrete
AAC	=	Autoclaved Aerated Concrete
ACI	=	American Concrete Institute
ASTM	=	American Society for Testing and Material
CSH	=	Calcium Silicate Hydrate
CAH	=	Calcium Aluminate Hydrate
$Ca(OH)_2$	=	Calcium hydroxide
kg/m^3	=	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
$kg./cm^2$	=	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
psi	=	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
TIS	=	Thai Industrial Standard
W/B	=	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน โดยน้ำหนัก
กก./ลบ.ม.	=	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
กก./ตร.ซม.	=	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
ว.ส.ท	=	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
มอก.	=	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างมากในปัจจุบัน ด้วยคุณสมบัติคอนกรีตมวลเบาที่มี น้ำหนักเบา การดูดซึมน้ำ และการดูดซับความร้อน ต่ำกว่า คอนกรีตทั่วไป ในปัจจุบันอุตสาหกรรมคอนกรีตมวลเบาเป็นที่รู้จักของผู้บริโภค โดยได้นำนวัตกรรมเทคโนโลยีการผลิตต่าง ๆ เข้ามาใช้ผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐมวลเบา ผนังสำเร็จรูป ผนังหล่อในที่ หลังคามวลเบา พื้นคอนกรีตมวลเบา เป็นต้น

บริษัทอินฟินนิตี้เฮาส์จำกัด เป็นผู้ประกอบการดำเนินธุรกิจเกี่ยวการรับเหมาก่อสร้างของภาครัฐ และ ภาคเอกชนเป็นเวลามากกว่า 10 ปี โดยเน้นการก่อสร้างด้านอาคารอาทิ บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ หน่วยงานของราชการ เป็นต้นจากประสบการณ์ที่ผ่านมา ได้ประสบปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ ก่อผนังอาคาร โดยได้ใช้ อิฐประเภทต่าง อาทิ อิฐมอญ อิฐบล็อกชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ อบไอน้ำ หรือ อิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Lightweight Concrete Elements : AAC) และคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ หรือ อิฐคอนกรีตเซลลูล่า (Cellular Lightweight Concrete Blocks : CLC) ผู้ประกอบการได้ประสบปัญหาด้านค่าขนส่งสินค้ามีราคาสูงขึ้น ไม่สามารถส่งสินค้าได้ตามกำหนด เนื่องจากการขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิต เมื่อเกิดอุทกภัยต่าง ๆ ส่งผลทำให้สินค้าวัสดุก่อสร้างขาดแคลน ล้วนแล้วเป็นเหตุผลที่ทำให้งานก่อสร้างอาจเกิดความล่าช้าได้ ในปัจจุบันผู้ประกอบการได้ศึกษาหาแนวทางแก้ปัญหาดังกล่าว โดยเปรียบเทียบผนังประเภทต่าง ๆ ว่าชนิดใดบ้างที่สามารถลดปัญหาข้างต้นได้ จากการศึกษาพบว่าอิฐคอนกรีตเซลลูล่า เป็นอิฐมวลเบาชนิดหนึ่งที่มีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน ลงทุนไม่สูงมาก ราคาต้นทุนต่อก้อนต่ำ ประหยัดค่าขนส่ง สามารถใช้ปูนก่อ ฉาบ เหมือนกับอิฐทั่วไปได้ มีความแข็งแรงสูงกว่าอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ และมีคุณสมบัติพิเศษ น้ำหนักเบา การดูดซึมน้ำต่ำ เป็นฉนวนกันความร้อน การทนไฟสูง การทำงานของช่างก่อผนังก่อได้ง่าย รวดเร็ว ผู้ประกอบการจึงได้ลงทุนซื้อชุดผลิตฟองโฟมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากต่างประเทศ นำมาผลิตเป็นอิฐคอนกรีตเซลลูล่า อัตราการผลิตวันละ 500 ก้อน ในปัจจุบันทางผู้ประกอบการ ได้ประสบปัญหาในการผลิตอิฐคอนกรีตเซลลูล่าดังนี้ ประการแรกการแตกร้าวของอิฐในระหว่าง

ขนส่ง ประการที่สอง ต้องการความแข็งแรงของอิฐที่สามารถรับแรงกดทับได้มากขึ้นประการสุดท้าย ต้องการนำคุณสมบัติ กระบวนการผลิตคอนกรีตเซลลูล่านำมาใช้เป็นผนังหล่อในที่ผนังสำเร็จรูป เพื่อจะช่วยลดเวลาในการก่อสร้าง เพิ่มขีดความสามารถในงานผนังให้มากขึ้น

จากปัญหาของผู้ประกอบการส่งผลให้ต้นทุนของวัสดุที่ผลิตมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ผู้วิจัยได้เข้ามาศึกษา คุณสมบัติวัตถุดิบ กระบวนการผลิต สัดส่วนผสม การใช้เครื่องมือในการผลิต บุคลากรในการผลิต และสูตรของน้ำยาสร้างฟองโฟม ของผู้ประกอบการและได้ทำการศึกษาปัญหาเบื้องต้นเกี่ยวกับการการแตกร้าว พบว่า ไม่มีการตรวจสอบคุณภาพ คุณสมบัติ วัตถุดิบ อัตราสัดส่วนการผสมที่ผ่านมาไม่ได้มีการทดสอบด้านวิศวกรรมให้ถูกต้องครบถ้วน และเครื่องมือที่ใช้ไม่ได้มาตรฐาน แนวทางในการแก้ปัญหาจากโจทย์วิจัยของผู้ประกอบการครั้งนี้ ผู้วิจัย สนใจในการพัฒนากำลังคอนกรีตเซลลูล่า ให้มีกำลังอัด ดัด ที่สูงขึ้น โดยนำ เถ้าถ่านหินทั่วไปและที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการร่อน และนำเส้นใยสังเคราะห์ มาเป็นส่วนผสมเพิ่มในคอนกรีตเซลลูล่าเพื่อแก้ปัญหาการแตกร้าว และเพิ่มกำลังอัด ดัด ของคอนกรีตเซลลูล่า

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาพัฒนากระบวนการผลิตคอนกรีตเซลลูล่า นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาการนำวัสดุผสม เส้นใยสังเคราะห์ เถ้าถ่านหินทั่วไป และเถ้าถ่านหินปรับปรุง มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตเซลลูล่า

1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติ การรับแรงอัด ความหนาแน่นแห้ง การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน การหดตัว และการรับแรงดัด ของคอนกรีตเซลลูล่าปกติทั่วไปกับคอนกรีตเซลลูล่าที่มีส่วนผสมเส้นใยสังเคราะห์ เถ้าถ่านหินทั่วไป และเถ้าถ่านหินปรับปรุง

1.2.4 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยสังเคราะห์และเถ้าถ่านหิน ที่นำมาใช้ในการผสมคอนกรีตเซลลูล่า ที่เหมาะสม

1.2.5 เพื่อพัฒนาคุณสมบัติคอนกรีตเซลลูล่าให้มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อคมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601-2556

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตงานวิจัยมีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้

1.3.1 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

1.3.2 ใช้ทรายละเอียดแม่น้ำจากจังหวัดนครราชสีมา คัดขนาดตามมาตรฐาน ASTM C33

1.3.3 ใช้น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ SUT สูตร 2 ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สารชนิดเข้มข้น เจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 40 ของปริมาตร ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องกำเนิดฟองโฟม (Foam generator) ซึ่งฟองโฟมมีความหนาแน่น 40-60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ก่อนนำไปผสมลงในมอร์ต้า สด ตามมาตรฐาน ASTM C796-97

1.3.4 การออกแบบสัดส่วนผสมและวิธีการผสมคอนกรีตเซลลูล่า ไปตามเอกสารข้อกำหนดของ American Concrete Institute (ACI) 523.3R-14 โดยใช้โปรแกรมออกแบบสัดส่วน MixDesign Version 4.1 ความลับทางการค้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.5 การผสมคอนกรีตเซลลูล่า ใช้เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน ขนาด 0.8 ลบ.ม. ตามเลขที่อนุสิทธิบัตร 14175

1.3.6 การใช้น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ ผ่านเครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลาตามเลขที่คำขออนุสิทธิบัตร 1803000351

1.3.7 การใช้เส้นใยสังเคราะห์จากวัสดุโพลิเมอร์ ชนิด มาโครไฟเบอร์ (Macrofiber) ผลิตจาก เส้นใยพลาสติก แบบโพลีโพรพีลีนความยาว 54 มิลลิเมตร สามารถรับแรงดึงได้ 5,700 – 6,600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.3.8 การใช้เถ้าถ่านหิน จาก โรงงานผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ แบ่งออกเป็น สองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นเถ้าถ่านหินทั่วไป ส่วนที่สอง นำเถ้าถ่านหินมาปรับปรุงโดยการนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนแบบแห้ง ผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 325 เมช (45 ไมครอน) โดยนำเถ้าถ่านหินที่ปรับปรุงผ่านตะแกรง ไปใช้ผสมตามสัดส่วนที่กำหนด

1.3.9 การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติ การรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นแห้ง ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2601-2556

1.3.10 กำหนดความหนาแน่นแห้งคอนกรีตเซลลูล่าที่ 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้เกณฑ์ในการพิจารณาคุณสมบัติคอนกรีตบล็อคมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ให้เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2601-2556

1.3.11 การเลือกสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดโดยแบ่งเป็นส่วนผสมที่หนึ่ง ปูนซีเมนต์ (OPC block) ส่วนผสมที่สอง นำเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10), 20(FA20) และ 30(FA30) และส่วนผสมที่สาม นำเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10), 20(FAC20) และ 30(FAC30) แล้วนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบ เลือกสัดส่วนที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด โดยเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งที่กำหนดไว้

13.12 การนำเส้นใยสังเคราะห์มาผสมกับคอนกรีตเซลลูล่า(FRC) ที่มีสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด โดยนำเส้นใยสังเคราะห์ผสมเทียบกับปริมาณ ลูกบาศก์เมตร แบ่งอัตราส่วนออกเป็นสามส่วน ส่วนที่หนึ่ง น้ำหนักของเส้นใยสังเคราะห์ 0.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (FRC1) ส่วนที่สอง น้ำหนักของเส้นใยสังเคราะห์ 0.50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (FRC2) และ ส่วนที่สาม น้ำหนักของเส้นใยสังเคราะห์ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (FRC3)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 พัฒนาและนำกระบวนการผลิตคอนกรีตเซลลูล่า ไปใช้งานในเชิงพาณิชย์

1.4.2 ทราบถึงสัดส่วนผสมของเส้นใยสังเคราะห์และเถ้าถ่านหินที่เหมาะสมในการผสมคอนกรีตเซลลูล่า

1.4.3 ทราบถึงคุณสมบัติพื้นฐาน และสามารถนำคอนกรีตเซลลูล่า ไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ได้

1.4.4 ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง คอนกรีตบล็อคมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ที่นำคอนกรีตเซลลูล่ามาผลิตผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2601-2556

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการทำวิทยานิพนธ์มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาปัญหาคอนกรีตเซลลูล่าจากผู้ประกอบการ ที่เกิดจากกระบวนการผลิต

1.5.2 ค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และกระบวนการผลิตเชิงพาณิชย์

1.5.3 ออกแบบ สร้างเครื่องจักรในกระบวนการผลิต พร้อมทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นให้เหมาะสมกับคอนกรีตเซลลูล่า ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อคมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601-2556

1.5.4 จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์และสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์

1.5.5 จัดหาวัสดุ อุปกรณ์และเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

1.5.6 ทำการทดสอบและรวบรวมผลการทดสอบ

1.5.7 ทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบผลการทดสอบของข้อมูลที่ได้และสรุปผล

1.5.8 เขียนรายงานวิทยานิพนธ์และจัดทำรูปเล่ม

1.5.9 นำเสนอผลงาน สอบวิทยานิพนธ์และแก้ไขวิทยานิพนธ์

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่จำเป็นของกระบวนการผลิตคอนกรีตเซลลูล่า คุณสมบัติ และคุณลักษณะ คอนกรีตเซลลูล่า เส้นใยสังเคราะห์และเถ้าถ่านหิน ที่นำมาผสมในคอนกรีตเซลลูล่า โดยที่มีสัดส่วนผสมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการรับแรงอัด แรงดัด การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น แห้ง การนำความร้อน และการหดตัว และโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตเซลลูล่า

2.1 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete)

คอนกรีตมวลเบา หมายถึง คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนัก มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 800 ถึง 1,760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งคอนกรีตธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันมีความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ 2,200-2,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตมวลเบาสามารถทำได้โดยการใส่หรือแทนที่วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงด้วยวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำหรือมีความพรุนสูง หรือ การแทนที่เนื้อคอนกรีตบางส่วนด้วยฟองอากาศ (ปิติ สุคนธสุขกุล, 2555) ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ที่มุ่งเน้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการนำไปใช้งานทุกด้านด้วยคุณสมบัติพิเศษ คือ วัสดุมีน้ำหนักเบา ทนไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ทำงานได้รวดเร็วพื้นที่ก่อสร้างสะอาด ขนาดก้อนใช้งานง่าย ลดระยะเวลาในการก่อสร้างและลดต้นทุนโครงสร้าง

2.2 การจำแนกชนิดคอนกรีตมวลเบา

2.2.1 จำแนกตามหน่วยน้ำหนัก

1) คอนกรีตมวลเบาชนิดเป็นฉนวน (insulating lightweight concrete) มีค่าหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 315 ถึง 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ระหว่าง 7 ถึง 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2) คอนกรีตมวลเบาชนิดเป็นโครงสร้าง (structural lightweight concrete) มีค่าหน่วยหนักตั้งแต่ 1,400 ถึง 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3) คอนกรีตชนิดกึ่งมวลเบา (semi - lightweight concrete) มีค่าหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 1,800 ถึง 2,050 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่ากำลังอัดไม่ต่ำกว่า 220 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยส่วนใหญ่จะนำมาทำเป็นคอนกรีตบล็อกสำหรับกำแพงรั้ว และใช้เป็นวัสดุทนไฟ

2.2.2 จำแนกตามที่ใช้วัสดุผสมมวลรวมเบา

วัสดุมวลรวมเบาที่ใช้ทั่วไปเป็นวัสดุผสมใน คอนกรีตมวลเบามีลักษณะที่สำคัญ คือ มีความพรุนสูง ทำให้ความถ่วงจำเพาะมีค่าต่ำวัสดุผสมนี้แบ่งออกได้เป็น สอง ชนิด คือ วัสดุผสมที่ได้จากธรรมชาติและวัสดุที่ทำเทียมขึ้น

1) วัสดุผสมที่ได้จากธรรมชาติ (natural aggregates) ได้แก่ หินพรุน (pumice) และหินละลายชนิดเบา (scoria) ได้จากวัสดุทับถมจากลาวาภูเขาไฟโดยนำมาผ่านกระบวนการบดและจัดขนาดโครงสร้างภายในของหินพรุนมีโพรงยาวจำนวนมากและมีสีขาวเทาแกมน้ำเงินโดยมีสารเจือปนเป็นรอยด่างสีน้ำตาลไม่เปราะง่ายดูดซึมน้ำได้มากและมีการหดตัวมากมีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 470 ถึง 870 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตเบาที่ทำจากหินพรุนนี้จะมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 710 ถึง 1,420 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่ากำลังอัดต่ำประมาณ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนหินละลายชนิดเบานั้นคล้ายคลึงกับหินพรุนแต่เป็นลาวาที่มีโครงสร้างภายในใหญ่กว่าและมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอมากกว่าและเมื่อนำมาทำเป็นวัสดุผสมในคอนกรีตมวลเบาจะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับหินพรุน

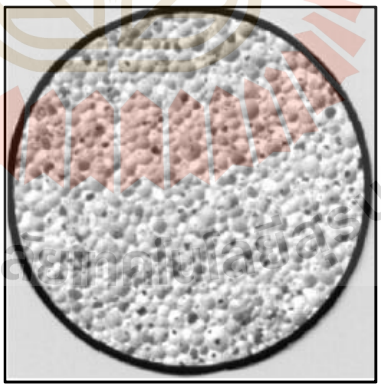
2) วัสดุผสมที่ทำเทียมขึ้น (artificial aggregates) เป็นวัสดุที่ได้จากปฏิบัติการทางความร้อนของวัสดุต่าง ๆ เช่น เวอร์มิคิวไลท์ (vermiculite) ซึ่งเป็นสารประกอบอลูมิโนซิลิเกต (ไมกา) ที่มีน้ำประกอบอยู่หรือเป็นพวกดิน

2.2.3 จำแนกตามที่ใช้สารเคมี

ทำโดยใช้ผงด่างโลหะ (alkaline metal) ผสม เช่น ผงอลูมิเนียม (aluminum powder) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่มชนิดทำให้เกิดก๊าซ (gas-forming admixture) ใช้ผงอลูมิเนียมประมาณ 0.005 ถึง 0.02 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ผงอลูมิเนียมที่ผสมลงไปทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิกิริยากับอัลคาไลไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในซีเมนต์เพสต์ไฮโดรเจนกลายเป็นฟองอากาศเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 ถึง 1 มิลลิเมตร อยู่ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตพองตัวฟูขึ้นมีปริมาตรเพิ่มขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าและเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะกลายเป็นคอนกรีตที่มีรูเล็ก ๆ อยู่ข้างในมากมาย คอนกรีตที่ได้เรียกว่า โฟมคอนกรีต (aerated or foamconcrete) โฟมคอนกรีตอาจผลิตโดยไม่มีทรายผสมอยู่ก็ได้โฟมคอนกรีตที่ไม่มีทรายผสมจะเบากว่าน้ำถึงสามเท่า คือ มีหน่วยน้ำหนักเพียง 200 ถึง 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประโยชน์ใช้ทำฉนวนกันความร้อน แต่หากมีทรายผสมด้วยจะหนัก 500 ถึง 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้อาจมีการใช้ผงสังกะสี

(zincpowder) หรือไฮโดรเจนเพอออกไซด์ (hydrogen peroxide) ก็ได้ (วินิต ช่อวิเชียร, 2544) ปัจจุบันได้มีการทำชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (autoclaveaerated concrete) สำหรับงานก่อสร้างภายในประเทศไทยเพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมประเภทนี้จึงมีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขึ้นโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือ มอก. (Thai Industrial Standard, TIS) โดยได้มีประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศอบ-ไอน้ำ เลขที่ มอก. 1505-2541 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดรายละเอียดของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งเป็นวัสดุก่อผนังมวลเบาโดยมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในเนื้อคอนกรีตและอบด้วยไอน้ำโดยกำหนดชั้นคุณภาพและชนิดขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนวัสดุและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการการบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การเก็บคอนกรีตมวลเบาการชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินแต่การทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม นี้ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต และอบในเตาอบไอน้ำและไม่เสริมเหล็กเพียงเท่านั้น ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ตามความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ เรียกว่า “คอนกรีตมวลเบา” หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลเบากว่า คอนกรีตทั่วไปที่มีขนาดเดียวกันโดยมีฟองอากาศเล็ก ๆ แทรกกระจายในเนื้อคอนกรีตอย่าง สม่ำเสมอ ทำให้แข็งด้วยการอบไอน้ำและไม่เสริมเหล็กเหมาะสำหรับใช้ก่อผนังด้วยวิธีก่อคอนกรีตมวลเบาตาม มอก. 1505-2541

จากข้อมูลตามมาตรฐานดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเฉพาะที่เป็นคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ส่วนคอนกรีตมวลเบา หรือคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดอื่นยังไม่มีการรับรอง อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากคอนกรีตมวลเบาชนิดอื่นยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง แต่ในอนาคตอาจจะมีการรับรองประเภทอื่นเพิ่มขึ้น คอนกรีตมวลเบาที่ทำขึ้นจากวัสดุผสมต่าง ๆ กัน จะมีค่าหน่วยน้ำหนักต่างกันมากซึ่งอาจมีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 300 ถึง 1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่ากำลังอัดตั้งแต่ 3 ถึง 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ากำลังอัด ขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ถ้าหน่วยน้ำหนักสูงกำลังอัดก็สูงด้วย ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ก็มีส่วนต่อกำลังอัดของคอนกรีตเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าต้องการกำลังอัด 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเมตร จะต้องใช้ ปูนซีเมนต์ 235 ถึง 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือถ้าต้องการกำลังอัด 310 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 300 ถึง 490 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ประเภทที่ 2 Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้วยังช่วยให้เกิดการตกผลึก (calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแข็งแกร่ง ทนทาน กว่าการผลิตในระบบอื่นมาก

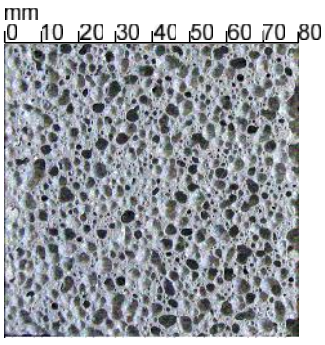
2.4 กระบวนการในการสร้างฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบา

ซึ่งกระบวนพื้นฐานสำหรับการสร้างฟองอากาศเพื่อการผลิตคอนกรีตมวลเบามี 2 วิธี คือ วิธีทางกล และ วิธีทางเคมี

1) วิธีการสร้างฟองอากาศทางกล อาจดำเนินการได้ 2 วิธีหลัก ตามกระบวนการผลิต

a) วิธีการสร้างฟองอากาศโดยการทำให้เกิดโฟมก่อนผสม ด้วยการใช้สารเพิ่มฟองเจือจางกับน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วนำไปผ่านเครื่องสร้างฟอง (foam generator) เพื่อให้ได้โฟมเหลว จากนั้นโฟมเหลวที่ได้จะนำไปผสมโดยตรงกับซีเมนต์เพสต์ หรือ มอร์ต้าสดในเครื่องผสม วิธีการเช่นนี้เรียกว่าวิธี PRE-FORMED FOAM METHOD ซึ่งโฟมดังกล่าวมีความเสถียรอยู่ในเนื้อคอนกรีตตั้งแต่คอนกรีตเริ่มก่อตัวจนกระทั่งคอนกรีตมีสภาพเป็นของแข็ง ทำให้ CLC เป็นโพรงปิด (close pore) ที่เต็มไปด้วยฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ดังในรูปที่ 2.2

b) วิธีการสร้างฟองอากาศโดยการใส่สารเพิ่มฟอง หรือ สารกักกระจายฟองอากาศ (air entraining) ด้วยโปรตีนไฮโดรไลซ์ หรือ เรซินสบู่ ผสมกับซีเมนต์เพสต์ หรือ มอร์ต้า จากนั้นผ่านการตีหรือกวนส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสารเพิ่มฟองดังกล่าวจะมีความเสถียร (stabilizes) เกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากขึ้นในขณะผสมด้วยความเร็วรอบสูง วิธีนี้เหมาะกับการผลิตคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูง แต่วิธี PRE-FORMED FOAM METHOD เหมาะสำหรับการผลิตคอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างภาพถ่ายพื้นผิวที่ขัดเรียบของคอนกรีตเซลลูล่า (Just and Middendorf, 2009)

2) วิธีการสร้างฟองอากาศโดยวิธีทางเคมี ส่วนผสมประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และปูนขาว ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีกลายมาเป็นโฟมเคมีได้โดยการใส่สารผสมเพิ่มขยายตัว (expansion agent) ซึ่งเป็นเหตุทำให้เกิดฟองก๊าซในขั้นตอนการเทเข้าแบบหล่อ และส่วนผสมจะเกิดการบวมตัวขึ้นหลายเท่าเมื่อเทียบกับปริมาตรเดิม ซึ่งคล้ายกับขั้นตอนหนึ่งของการทำขนมเค้ก ภายหลังสิ้นสุดการก่อตัวคอนกรีตจะถูกนำเข้าหม้อนึ่ง หรือ ห้องอบไอน้ำภายใต้แรงดันและอุณหภูมิที่สูง จึงเรียกว่าก๊าซคอนกรีต หรือ คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ (autoclave aerated concrete หรือ AAC) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธี ด้วย โดยวิธีผงอลูมิเนียม และ โดยวิธีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.5 คุณสมบัติของคอนกรีตเซลลูล่า

คอนกรีตเซลลูล่า มีความสามารถในการเทสูง การผลิตที่ง่ายและสะดวกโดยการเพิ่มฟองอากาศผสมกับปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และทราย ฟองอากาศผลิตมาจากน้ำยาแบบเข้มข้นมีประสิทธิภาพสูง และปริมาณการใช้งานจำนวนน้อยภายในถังผลิตนั้นจะประกอบไปด้วยน้ำยาที่เข้มข้นและน้ำ ที่นำมาผสมเข้าด้วยกันที่ความดันสูงตามกำหนด ฟองอากาศจะถูกปล่อยออกมาจากหัวจ่าย จะมีความละเอียด คงทน ไม่ยุบตัวระหว่างการผสมและบ่ม นำเอาไปผลิตคอนกรีตมวลเบา ซึ่งจะทำให้มีคุณสมบัติเด่นๆ ดังต่อไปนี้ (ปิติ สุคนธสุขกุล, 2555)

2.5.1 หน่วยน้ำหนัก

โดยทั่วไปคอนกรีตเซลลูล่า จะมีหน่วยน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ 800-1500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ หน่วยน้ำหนักที่ได้ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ชนิดของปูนซีเมนต์ ปริมาณน้ำยากักฟองอากาศ วัสดุผสมเพิ่ม ปริมาณและลักษณะของฟองอากาศ เป็นต้น ในแง่ของสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยทั่วไป สำหรับคอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงปริมาณน้ำที่มีในคอนกรีตจะมีปริมาณมากเกินกว่าที่จะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ให้หมดไปดังนั้นหลังจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นแล้ว จะมีน้ำส่วนหนึ่งที่เหลืออยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งน้ำที่เหลือจากกระบวนการไฮเดรชั่นเหล่านี้ เมื่อเวลาผ่านไปจะระเหยออกไปและกลายสภาพเป็นช่องว่างหรือรูพรุนภายในเนื้อคอนกรีต ในกรณีของคอนกรีตมวลเบาชนิดเติมฟองอากาศ ผลกระทบของปริมาณน้ำก็จะคล้ายกับในส่วนของคอตกรีตธรรมดาเช่นกัน ดังนั้นนอกเหนือจากในเรื่องของฟองอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงของกระบวนการผลิต (ที่ผู้ผลิตจงใจให้เกิดขึ้น) คอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงกว่าก็จะมีปริมาตรฟองอากาศขนาดใหญ่เพิ่มเติมเข้าไป อันเนื่องมาจากปริมาณที่น้ำเหลือจากปฏิกิริยาโฮเดรชั่นเหมือนกับคอนกรีตธรรมดาเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าประสิทธิภาพการเกิดฟองของน้ำยากักฟองอากาศส่วนมากก็มักจะแปรผันกับปริมาณน้ำที่ผสมเข้าไปเช่นกัน โดยพบว่าที่สัดส่วนปริมาณน้ำยาที่เท่ากันคอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงจะมีปริมาตรฟองมากว่า

คอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำ เนื่องจากน้ำยาปฏิกิริยากับน้ำได้ดีขึ้นและเกิดฟองอากาศมากขึ้นในส่วนของคอนกรีตเซลลูล่าที่เกิดจากการใช้ปฏิกิริยาเคมีของอลูมินัมออกไซด์นั้นพบว่าการเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนนั้นได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำเช่นกันเนื่องจากน้ำเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังได้กล่าวมาในช่วงต้น การมีน้ำที่ไม่พอเพียงจะทำให้การเกิดก๊าซไฮโดรเจนน้อยเกินไป การมีน้ำที่มากเกินไปก็จะทำให้ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นแตกเสียหายง่าย ซึ่งทั้งสองกรณีต่างก็มีผลทำให้ปริมาณฟองอากาศน้อยและความหนาแน่นสูงขึ้นดังนั้นการเลือกสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นการผลิตคอนกรีตมวลเบาชนิดเซลลูล่าเพื่อให้ได้ความหนาแน่นตามที่ต้องการ โดยทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงกระบวนการผลิตเป็นปัจจัยหลัก เช่นกันสำหรับในส่วนของปริมาณน้ำยากักฟองอากาศ โดยทั่วไป สัดสวนปริมาณที่นิยมใช้กันคือตั้งแต่ 0.20 % แต่ไม่เกิน 0.60 % โดยน้ำหนักซีเมนต์ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยากักฟองอากาศปริมาณสูงและหน่วยน้ำหนักแห้งของคอนกรีตเป็นไปในลักษณะที่ผกผันกัน โดยคอนกรีตมวลเบาจะมีหน่วยน้ำหนักลดลงตามสัดส่วนปริมาณน้ำยาที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองเพิ่มเติมพบว่าที่ปริมาณน้ำยามากกว่าร้อยละ 1 นั้น แนวโน้มของหน่วยน้ำหนักจะเริ่มคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงหรือลดลงน้อยมาก นอกจากนี้ปริมาณฟองที่เกิดมากเกินไป ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดตกตะกอนหรือการแยกตัวของมวลรวมละเอียด

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตและค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของคอนกรีตมวลเบา พบว่าค่าความหนาแน่นแห้งที่ลดลงเกิดจากการมีปริมาณฟองอากาศที่เพิ่มมากขึ้นลักษณะของฟองอากาศเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเซลลูล่า เนื่องจากคอนกรีตชนิดนี้มีองค์ประกอบฟองอากาศในปริมาณที่สูงมาก คอนกรีตมวลเบาที่ดีควรมีฟองอากาศที่ลักษณะกลม ขนาดเท่า ๆ กัน และกระจายตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ฟองอากาศที่กลมจะมีความเสถียรมากกว่ารูปทรงอื่นและไม่แตกง่าย ทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักที่ต่ำ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการมีฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่จำนวนมากส่งผลทำให้ความหนาแน่นต่ำลงมาก แต่จะส่งผลกระทบด้านลบต่อค่ากำลังแรงอัด

2.5.2 กำลังรับแรงอัด

ในส่วนของกำลังอัดของคอนกรีตเซลลูล่า พบว่ามีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังแรงอัด ยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ปริมาณและลักษณะของฟองอากาศ ความหนาแน่น ความชื้น วิธีการบ่ม วิธีการทำฟองอากาศ เป็นต้น คอนกรีตเซลลูล่า ที่มีสัดส่วนของปริมาณฟองอากาศขนาดใหญ่มากจะมีความหนาของผนังของฟองอากาศที่บาง และมีความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตที่มีปริมาณฟองอากาศขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงในส่วนความหนาแน่นซึ่งแปรผกผันกับปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต พบว่าปริมาณ

ฟองอากาศที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ซึ่งค่าความหนาแน่นที่ลดลงก็ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัด และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลง ตามลำดับ ลักษณะการบ่มมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่า โดยคอนกรีตที่บ่มด้วยความร้อนและความดัน (Autoclaved Curing) จะมีค่ากำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตที่บ่มธรรมดาสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบในกลุ่มของโทเบอโมไรท์ จำพวกแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต นอกจากนี้เรื่องของระยะเวลาการบ่มพบว่ามีผลต่อค่ากำลังอัดเช่นกัน ช่วงเวลาและความดันที่เหมาะสมสำหรับการบ่ม ตั้งแต่ 8 ถึง 16 ชั่วโมง และความดันตั้งแต่ 4 ถึง 16 MPa

2.5.3 การดูดซึมน้ำ

การที่คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า มีปริมาณฟองอากาศที่สูงนั้นทำให้คอนกรีตชนิดนี้มีปฏิสัมพันธ์กับน้ำค่อนข้างมาก ลักษณะของฟองอากาศที่แทรกเข้าไปเนื้อคอนกรีตเซลลูล่าจะเป็นลักษณะโครงสร้างโฟรงที่ไม่ต่อเนื่อง (Close Cell) ทำให้การแพร่ของความชื้น หรือ ของเหลวไม่สามารถไหล ซึมผ่านได้ยาก กว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีลักษณะช่องว่างในคอนกรีต เป็นโพรงต่อเนื่อง (Continuous Void) โดยการเคลื่อนที่ของน้ำในคอนกรีตเซลลูล่า สามารถเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ การแพร่กระจาย และการดูดซับผ่านช่องว่างแคปิลารี โดยการแพร่กระจายจะเกิดขึ้นในสภาวะที่อากาศมีความชื้นสูง โดยความชื้นจะแพร่กระจายเข้าสู่เนื้อในของคอนกรีตผ่านทางช่องว่างที่อยู่บนพื้นผิวด้านนอก การดูดซับจะเกิดขึ้นในกรณีคอนกรีตมีการสัมผัสกับน้ำสำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดในคอนกรีตเซลลูล่าที่ได้จากการผสมสารกักฟองอากาศนั้น พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความหนาแน่นที่ลดลง คอนกรีตทั่วไปจะมีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้อุณหภูมิและความดันชั้นบรรยากาศ การดูดซึมของคอนกรีตเซลลูล่าจะมีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาเล็กน้อยและเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นที่ลดลงอย่างไรก็ตาม โดยคอนกรีตเซลลูล่ามีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอยู่ประมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตมวลเบา มีปริมาตรของรูพรุนที่ซึมผ่านได้ ในสัดส่วนที่สูงกว่าของคอนกรีตธรรมดา แต่เนื่องจากรูพรุนที่ซึมผ่านได้นี้มีขนาดที่ค่อนข้างเล็ก ทำให้น้ำไม่สามารถที่จะซึมผ่านไปได้ด้วยความกดดันบรรยากาศปกติ

2.5.4 การหดตัวแห้ง

การหดตัวแห้งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำในเนื้อคอนกรีต ซึ่งพบว่าคอนกรีตเซลลูล่าส่วนใหญ่จะมีค่าการหดตัวแห้งที่สูงกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากการมีรูพรุนและความชื้นภายในที่ค่อนข้างสูง มีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลกระทบต่อการหดตัวแห้งของคอนกรีตเซลลูล่า ในกรณีของสัดส่วนปูนขาวต่อปูนซีเมนต์นั้น พบว่าคอนกรีตเซลลูล่าที่มีการผสมปูนขาวร่วมด้วยจะมีค่าการหดตัวแห้งที่ต่ำกว่าคอนกรีตเซลลูล่าที่ไม่ได้ผสมปูนขาว เนื่องจากปูนขาวบางส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาทำหน้าที่เหมือนมวลรวมละเอียดที่ก่อให้เกิดการยึดรั้งภายในและลดการ

หดตัวได้ในระดับหนึ่งส่วนขนาดของฟองอากาศนั้น คอนกรีตเซลลูล่าที่มีฟองอากาศขนาดเล็กในสัดส่วนที่สูงจะมีการหดตัวแห้งที่สูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีฟองอากาศขนาดใหญ่จำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะของการบ่มก็มีผลต่อการหดตัวแห้งเช่นกัน โดยคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยอุณหภูมิและความดันสูง จะมีค่าการหดตัวแห้งที่ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาที่บ่มอากาศที่อุณหภูมิปกติ สาเหตุของการลดลงส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการโครงสร้างตัวผลึกจำพวกโทเบอเมอไรท์ ซึ่งเกิดจากกระบวนการบ่มด้วยความร้อนและความดัน โดยการบ่มดังกล่าวจะทำให้ซีเมนต์เจล แปลงสภาพไปเป็นผลึก ซึ่งการเพิ่มของผลึกดังกล่าวนอกจากจะทำให้ค่าหดตัวลดลงถึง 25 - 35 เปอร์เซ็นต์ แล้ว ยังทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มสูงขึ้น

2.5.5 คุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน

คุณสมบัติการนำอุณหภูมิของคอนกรีตเซลลูล่าแปรผันโดยตรงกับปริมาตรฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีต ไม่ว่าฟองอากาศนั้นจะเกิดโดยวิธีใดก็ตามพบว่าการที่คอนกรีตเซลลูล่า มีความพรุนสูง ทำให้มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีกว่าคอนกรีตธรรมดามาก คอนกรีตเซลลูล่า ที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีปริมาตรของรูพรุนที่สูงกว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูง ทำให้สามารถส่งผ่านความร้อนได้ช้ากว่า เนื่องจากความร้อนเคลื่อนที่ได้ดีกว่าในวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง ดังนั้น จึงให้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ค่อนข้างต่ำนอกจากรูพรุนแล้วความชื้นก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำอุณหภูมิเช่นกัน โดยพบว่าทุก ๆ 1 เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นที่เพิ่มทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์

2.5.6 การทนไฟ

โดยทั่วไป การทนไฟของคอนกรีตเซลลูล่านั้นจะดีกว่าคอนกรีตธรรมดามากโดยภายใต้อุณหภูมิที่สูงนั้นคอนกรีตเซลลูล่า จะมีอัตราการส่งผ่านอุณหภูมิต่ำกว่า รวมถึงการมีอัตราการสูญเสียกำลังที่ต่ำกว่า เนื่องจากการมีที่มันมีความเป็นเนื้อเดียวกันที่สูงกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยคอนกรีตธรรมดาจะมีคุณสมบัติการเป็นเนื้อเดียวกันต่ำเพราะประกอบไปด้วยมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ ภายใต้ความร้อนที่สูง อัตราการขยายตัวภายในของวัสดุแต่ละชนิดที่ไม่เท่ากันจะทำให้คอนกรีตเกิดความเค้นภายในที่นำไปสู่การแตกร้าวและสูญเสียกำลังรับน้ำหนัก

2.6 วัสดุผสมของคอนกรีตเซลลูล่า

2.6.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

คอนกรีตเซลลูล่าทั่วไปจะเลือกใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement หรือ OPC) มักใช้เป็นสารยึดประสานหลักสำหรับคอนกรีตเซลลูล่า ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ความต้านทานแรงอัดสูงและแข็งตัวเร็ว ก็สามารถใช้ได้เช่นกัน

เมื่อนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาผสมผลการพัฒนากำลังอัดอยู่ระหว่าง 3 - 5 วัน ในช่วงเวลานี้ควรมีการบ่มคอนกรีตเซลลูล่าอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เกิดสมบูรณ์จะส่งผลต่อการพัฒนากำลังต่อไป การใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากอาจส่งผลให้เกิดความร้อนภายในคอนกรีตเซลลูล่าเกิดการแตกร้าวได้ และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูงขึ้น ข้อแนะนำในการใช้ปูนซีเมนต์ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นที่ต้องการ กรณีที่ต้องการให้คอนกรีตเซลลูล่าเป็นฉนวนกั้นความร้อน ควรใช้ปูนซีเมนต์ไม่เกิน 449 - 428 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กรณีที่ต้องการให้คอนกรีตเซลลูล่าเป็นโครงสร้างกึ่งรับแรง ควรใช้ปูนซีเมนต์ไม่เกิน 375 - 417 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในกรณีที่ไม่ได้หาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ในห้องปฏิบัติการแนะนำให้ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity of Cement : GC) เท่ากับ 3.15 และรายละเอียดที่สำคัญที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าจำเพาะของปูนซีเมนต์ (มอก.15-2555)

เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ	หน่วย	ค่าตาม มอก. 15-2555*
1. ความละเอียด (Blaine Air Permeability)	cm^2/g	≥ 3580
2.การไหลแผ่ (Flow test)	%	106
3.ระยะเวลาการก่อตัว (Vicat Method) - ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น -ระยะเวลาก่อตัวสุดท้าย	 min. min.	 ≥ 45 ≤ 375
4.ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity of Cement)	-	3.00-3.20
5.ขนาดอนุภาค	µm	11-12
6.ค่าหน่วยน้ำหนัก ASTM C29-09, (Unit Weight)	kg/m^3	1200-1240

*ค่าตาม มอก.15-2555 เฉพาะเกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ ข้อ1-3 เท่านั้น

2.6.2 มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) หมายถึง วัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ถึง 4.75 มิลลิเมตร ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ ทรายแม่น้ำ ทรายบก หรือทรายเหมืองที่ผ่านการล้างสะอาดแล้ว มวลละเอียดในการผสมคอนกรีตเซลลูล่า ส่วนใหญ่ใช้ ทราย (sand) เป็นส่วนผสม ทรายแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ทรายบกและทรายแม่น้ำ และต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C33 ,C136 ,C127-128 ,C29

ทรายแม่น้ำมีอยู่ทั่ว ๆ ไปในที่ราบลุ่มของแม่น้ำ ทรายชนิดนี้เกิดจากปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ โดยกระแสน้ำได้พัดพาทรายจากที่ต่าง ๆ มาตกตะกอนรวมกันในแหล่งที่ราบลุ่มที่เป็นที่รวมของทรายในประเทศไทยจะนิยมใช้ทรายจากแม่น้ำมาใช้ในงานก่อสร้าง ขนาดของทรายในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป ทรายแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. ทรายหยาบ เป็นทรายที่มีเม็ดใหญ่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ถึง 4.75 มิลลิเมตร สีส้มอมเหลือง หรือ สีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด มีเหลี่ยมคม และมีแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการความแข็งแรงมาก ๆ อาทิ ในงานโครงสร้าง ฐานราก คาน เป็นต้น

2. ทรายกลาง เป็นทรายที่มีขนาดเล็กกว่าทรายหยาบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ถึง 3.0 มิลลิเมตร มีส่วนผสมของทรายละเอียดปะปนมาด้วย เป็นทรายที่เหมาะสำหรับงานปูนทั่วไป เช่น งานก่ออิฐ งานพื้น งานเอ็นทับหลัง เป็นต้น

3. ทรายละเอียด เป็นทรายที่มีขนาดเม็ดเล็กมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 1.5 มิลลิเมตร เหมาะสำหรับงานปูนฉาบ ทำบัว ทำอิฐมวลเบา คอนกรีตมวลเบา เนื่องจากจะทำให้ผิวของงานที่ทำออกมาเรียบเนียน สวยงาม และป้องกันการซึมผ่านของน้ำเนื่องจากคอนกรีตจะมีช่องว่างน้อย ข้อแนะในการเลือกใช้ทรายผสมคอนกรีต ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ในกรณีไม่มีผลการทดสอบให้ใช้ค่าประมาณที่ 2.65 และรายละเอียดที่สำคัญที่แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าจำเพาะของมวลรวมละเอียด(ทราย)

เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ	หน่วย	ค่าตามมาตรฐาน ASTM
1. ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD.)	-	2.4 – 2.9
2. ค่าโมดูลัสของความละเอียด (Fineness Modulus)	หยาบ ละเอียด	2.4 – 3.0 1.5 – 2.5
3. ค่าความชื้นของทรายเฉลี่ย	%	2.0 – 10.0
4. ค่าหน่วยน้ำหนักของทรายหลวม	kg/m^3	1400 – 1600

2.6.3 น้ำ

น้ำ (water) หมายถึง สารประกอบซึ่งมีองค์ประกอบเป็นธาตุไฮโดรเจนและออกซิเจนในอัตราส่วน 1 ต่อ 8 โดยน้ำหนัก เมื่อบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่น รส น้ำที่นำมาผสมคอนกรีตเซลลูล่า ควรเป็นน้ำสะอาด หรือน้ำประปา โดยทั่วไปมักดื่มได้เช่นเดียวกับน้ำผสมคอนกรีตปกติ เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากเมื่อใช้ผสมกับสารสร้างฟองโฟม ชนิดโปรตีน

(Protein-based foaming agent) เพราะการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในน้ำนั้นสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสารสร้างฟองโฟมและคอนกรีตเซลลูล่าที่ผลิตได้ และต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C94 ,C109 และ C191

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญของคอนกรีตเซลลูล่า เพราะการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต้องอาศัยน้ำเป็นตัวทำละลายให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาให้สมบูรณ์ที่สุด ส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตเซลลูล่า และ ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุยึดประสานหรือวัสดุเชื่อมประสาน (binder) ซึ่งคอนกรีตต้องมีความแข็งแรงโดยที่ไม่ต้องใช้สารลดน้ำหรือสาร Plasticizing ช่วยแต่อย่างใด ส่วนใหญ่ค่า w/c จะอยู่ระหว่าง 0.45 – 0.60 การที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมอย่างไม่เพียงพออาจจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะถูกแย่งจากน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ และอาจทำให้สารสร้างฟองโฟมขาดเสถียรภาพของโครงสร้างฟองอากาศได้ การนำโฟมคอนกรีตไปประยุกต์ใช้งานใด ๆ ก็ตาม ในขณะที่การใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อความพรุน (porosity) ของโฟมคอนกรีตแต่อย่างใด และขณะที่คอนกรีตยังอยู่ในสภาพสดอยู่นั้นจะไม่มีการเกิดการแยกตัว (segregation) หรือมีการหดตัวแห้งมากขึ้นหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

2.6.4 น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ

น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ (Foaming Agent) หมายถึง สารผสมเพิ่มประเภทหนึ่งที่ทำหน้าที่กระจายฟองอากาศแทรกในเนื้อซีเมนต์มอร์ต้า แล้วทำให้มีน้ำหนักเบา และจัดเป็นสารลดแรงตึงผิว (Surfactants) ชนิดหนึ่ง สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทคือสารเพิ่มฟองอากาศชนิดสังเคราะห์ (Synthetic) และชนิดโปรตีนธรรมชาติ (Protein-based) จาก พืช หรือ สัตว์ สารสร้างฟองโฟมอากาศต้องมีความแข็งแรง การยุบตัวต่ำ เนื่องจากเมื่อนำน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ ผ่านเครื่องสร้างฟองโฟม ผสมลงไปในซีเมนต์มอร์ต้า ในเครื่องผสมคอนกรีต น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ จะต้องไม่ยุบตัวหรือยุบตัวต่ำ เนื่องจากถ้าน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ ยุบตัวมากเกินไปจะทำให้ไม่มีลักษณะโพรงอากาศ โดยกระจายอยู่ทั่วไปภายในคอนกรีตเซลลูล่าที่มีขนาดประมาณ 0.1-1 มิลลิเมตร ลักษณะน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ เข็มข้น 1 ลิตร สามารถจะเจือจางน้ำสะอาดได้ประมาณ 30-50 ลิตร ขึ้นอยู่กับคุณภาพของสร้างสารฟองโฟม และต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C796, C869 และรายละเอียดที่สำคัญที่แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าจำเพาะของน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ

เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ	หน่วย	ค่าตามมาตรฐาน ASTM
1. ขนาดของฟองอากาศ	mm.	0.1 – 1.00
2. ค่าความเป็น กรด-ด่าง	-	7 – 12
3.ค่าการยุบตัวฟองโฟม	min	≤ 90
4.ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity of Foam)	-	1.00 - 1.05
5.ค่าหน่วยน้ำหนักฟองโฟม (Unit Weight)	kg/m^3	32.00 – 56.00

คอนกรีตเซลลูล่าที่ใช้น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องกำเนิดฟองชนิดปั้มแรงดันสำหรับคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันฟองโฟมมั่นคงให้ประสิทธิภาพดี ไม่ยุบตัว โดยน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ มาเจือจางในน้ำสะอาด ในปริมาณ 1 ต่อ 40ลิตร ความหนาแน่นของฟองโฟมอยู่ระหว่าง 32 ถึง 80 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ACI 523.3R-14) สารกักฟองโฟมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (Protein Foams Concentrates)

โฟมโปรตีนจากสัตว์ มีลักษณะ สีน้ำตาลเข้ม (ขึ้นอยู่กับโปรตีนของสัตว์) มีกลิ่นแรง ผลิตขึ้นมาโดยการหมักหรือการปรับปรุงโปรตีนจากส่วนต่าง ๆ ของสัตว์ เช่น กีบ เขาสัตว์ และขนไก่เป็นต้นซึ่งเมื่อย่อยสลายจะให้เนื้อโฟมคุณภาพสูงเมื่อเก็บไว้นานจะมีปัญหาเรื่องการบูดเน่า หมึน ผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่นของโฟมติดด้วยนานปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม แต่ค่าการยุบตัวของฟองโฟมมีค่าต่ำ

โฟมโปรตีนจากพืช มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มใส มีส่วนผสมของสารลดความตึงผิวไม่มีกลิ่น เนื้อโฟมคุณภาพสูง โดยมีการเติมสารบางชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ รวมทั้ง ความต้านทานการกัดกร่อน ความต้านทานการสลายตัวของแบคทีเรีย รวมไปถึง การควบคุมความหนืดเมื่อเก็บไว้นานจะไม่มีปัญหาเรื่องการบูดเน่า เหม็น เป็นที่นิยมใช้อย่างมาก

โฟมโปรตีนจากการสังเคราะห์ มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มใส โดยการนำสารสังเคราะห์มาผสมลดแรงตึงผิว และสารเพิ่มความแข็งแรงของฟองโฟม โดยมีการเติมสารบางชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เนื้อโฟมคุณภาพสูง เก็บไว้นานจะไม่มีปัญหาเรื่องการบูดเน่า เหม็น เป็นที่นิยมใช้อย่างมากแต่ค่าการยุบตัวของฟองโฟมมีค่าสูง แต่มีสารบางตัวเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดการก่อโรคมะเร็ง

น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ ในครั้งนี้ผู้ทำวิจัยได้พัฒนาจากโปรตีนจากพืชภายในประเทศ มีความหนาแน่นของฟองโฟมที่ 40 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังในรูปที่ 2.3 พร้อมได้ทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM C796/C796M, C869/C869M โดยได้จดเป็นความลับทางการค้า ที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ SUT สูตร 2 ลดการนำเข้า

สารเคมีจากต่างประเทศ และช่วยส่งเสริมใช้วัตถุดิบภายในประเทศ น้ำยา SUT V4 เป็นน้ำยาที่รักษาสิ่งแวดล้อม

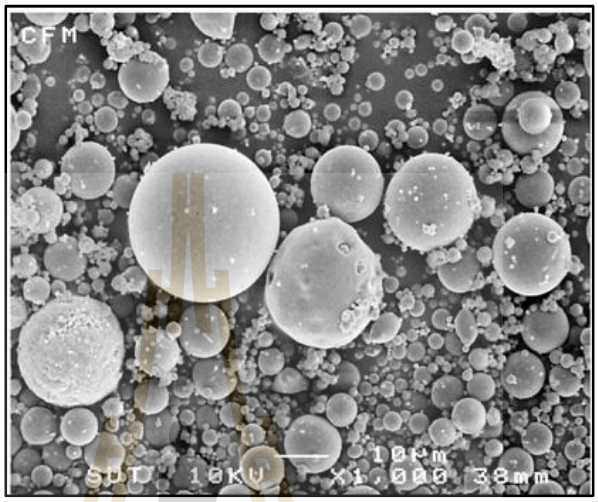
รูปที่ 2.3 น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ และ เนื้อผิวของฟองโฟม

2.6.5 เถ้าถ่านหิน

เถ้าถ่านหิน (Fly ash) จัดเป็นวัสดุจำพวกสารปอซโซลานสังเคราะห์หรือปอซโซลานดัดแปลงประเภทหนึ่งเป็นเถ้าหรือวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาถ่านหินเพื่อให้พลังงาน ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าถ่านหินที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่จะตกลงก้นเตา เรียกว่า เถ้าก้นเตา ส่วนเถ้าถ่านหินที่ขนาดเล็กประมาณ 1 - 200 μm จะลอยขึ้นเหนือเตาไป กับอากาศร้อน เรียกว่า เถ้าลอย ซึ่งจะถูกดักจับโดยเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitation) เพื่อไม่ให้หลุดออกไปเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C33, C136, C127-128, C29

ชนิดของเถ้าลอยตามปกติมาตรฐานต่าง ๆ จะแบ่งเถ้าลอยออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1. เถ้าลอยชนิด F (Class F) เกิดจากการเผาถ่านหินแอนทราไซต์และบิทูมินัส มีปริมาณผลรวมของซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์(Fe_2O_3) มากกว่าร้อยละ 70 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ต่ำ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เรียกว่าเถ้าถ่านหินกลวง (cenospheres) และเถ้าถ่านหินที่มีรูพรุนอาจมีเถ้าถ่านหินขนาดเล็ก อยู่ภายในเรียกว่า Plerospheres ความละเอียดของเถ้าถ่านหินที่ได้จากการเผาถ่านหินจะขึ้นอยู่กับ การบดถ่านหิน ชนิดของเครื่องบด และชนิดของเตาเผา เถ้าถ่านหินจะมีความละเอียดมากขึ้นและมีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะได้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดสูงและกลม แต่ในกรณีที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รูปร่างของเถ้าถ่านหินจะไม่แน่นอน สำหรับเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะพบว่าความละเอียดของเถ้าถ่านหินทดสอบโดยวิธีของเบลน (Blaine) อยู่ในช่วง 2,500–3,500 cm^2/g ดังที่แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดทางเคมีของเถ้าถ่านหิน (ASTM C618-2001)

Chemical requirements	**Class**		
	N	**F**	**C**
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$, min, %	70	70	50
Sulfur trioxide (SO_3), max, %	4	5	5
Moisture content, max, %	3	3	3
Loss on ignition (LOI), max, %	10	6	6

หมายเหตุ : min = minimum, max = maximum

เถ้าลอยในประเทศไทยสามารถพบได้ทั้ง Class C และ Class F ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาและ ลักษณะการเผาถ่านหิน อย่างไรก็ดีต่างก็มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีต เถ้าลอยจาก แหล่งต่างๆ มีองค์ประกอบทางเคมีโดย ดังตารางที่ 2.5 และรายละเอียดของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากแหล่งต่าง ๆ (สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย)

ตัวอย่างเถ้าลอย	องค์ประกอบทางเคมี								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	LOI
แม่เมาะ	41.16	22.30	11.51	15.27	2.70	1.43	2.93	1.66	0.20
ระยอง	45.24	28.25	2.43	11.80	0.74	3.63	0.66	0.47	2.96
กาญจนบุรี	39.56	20.99	9.37	10.62	1.47	3.34	3.08	0.30	7.10
ราชบุรี	32.96	13.81	6.69	24.42	1.44	10.56	2.38	0.61	7.05
ปราจีนบุรี	42.03	18.97	4.44	4.91	1.01	19.68	0.28	0.72	3.65

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าจำเพาะทางกายภาพของเถ้าถ่านหินจากโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ	หน่วย	ค่าตามการทดสอบ
1. ความละเอียด (Blaine Air Permeability)	cm^2/g	≥ 2310
2.ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity of Cement)	-	2.00-2.60
3.ขนาดอนุภาค	µm	1-150
4.การไหลแผ่ (Flow test)	%	113
5.ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)	kg/m^3	1200-1500

2.6.6 เส้นใยเสริมกำลังในคอนกรีต

เส้นใยเสริมกำลังในคอนกรีต (Fiber Reinforced Concrete : FRC) ผลิตขึ้นโดยเฉพาะเพื่อใช้สำหรับงานวิศวกรรมคอนกรีต ซึ่งสังเคราะห์จากวัสดุที่สามารถทนต่อสภาวะที่เป็นด่างสูงของคอนกรีตได้ในระยะยาวซึ่งต่างกับเส้นใยธรรมชาติที่ไม่คงทน เราสามารถใส่เส้นใยสังเคราะห์เพิ่มลงไปในระหว่างการผสมคอนกรีตในปริมาณที่เหมาะสมตามคำแนะนำจากผู้ผลิตโดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมคอนกรีตที่ได้ออกแบบไว้แล้ว โดยเส้นใยสังเคราะห์สามารถผสมร่วมกับสารผสมเพิ่มอื่น ๆ ได้ไม่ว่าจะเป็น น้ำยาผสมคอนกรีต ซิลิก้าฟูม หรือปูนซีเมนต์พิเศษต่าง ๆ

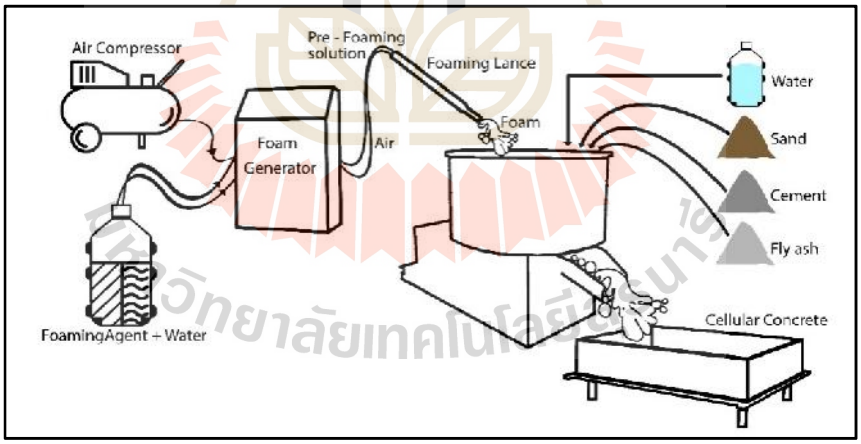
เส้นใยสังเคราะห์มีประโยชน์ต่อคอนกรีตทั้งคอนกรีตที่อยู่ในช่วงก่อนแข็งตัวและช่วงที่คอนกรีตแข็งตัวไปแล้ว อาทิ เช่น ช่วยลดรอยแตกร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีตขณะที่ยังอยู่ในสภาวะพลาสติก (Plastic Settlement Cracks) ช่วยลดรอยแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตขณะที่ยังอยู่ในสภาวะพลาสติก (Plastic Shrinkage Cracks) ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำต่ำลง เพิ่มความต้านทานต่อการรับแรงกระแทกและการสึกกร่อน ต้านทานต่อการแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยของคอนกรีตได้ และสามารถนำเส้นใยเสริมกำลังในคอนกรีต มาจำแนกตามวัสดุที่ใช้ได้ดังต่อไปนี้

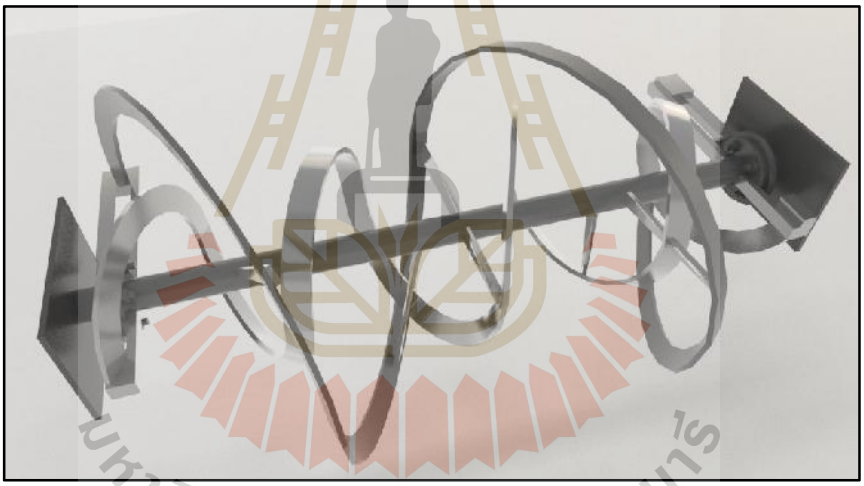
1. เส้นใยเหล็ก (Steel fibers) คือเส้นใยเหล็กที่ประกอบไปด้วยคาร์บอนจำนวนน้อย ผลิตขึ้นจาก กระบวนการรีดเย็น (Cold-drawn steel wire) ผลิตจากเส้นลวด (Rod) ตามมาตรฐาน UNI EN10016-1,2,4 หรือ UNI 10088-3 โดยมีการตัดปลายสองข้างให้มีลักษณะงอลง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดคอนกรีต เนื่องจากลักษณะดังกล่าวจะช่วยให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ	หน่วย	ค่าตามมาตรฐาน FORTA*
1. ขนาดความยาว	mm	54 และ 38 (Macro Synthetic)
2. ค่าความเป็น กรด-ด่าง	-	5
3. ค่าการดูดซึมน้ำ (Absorption)	-	0
4.ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity of Foam)	-	0.91
5.ค่าการแรงดึง (Tensile Strength)	kg/cm^2	5700 – 6600
6.ปริมาณน้ำหนักของเส้นใยที่ผสมต่อปริมาตรคอนกรีตผสม	kg/m^3	1.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี


Air Compressor
Pre - Foaming solution
Foaming Lance
Water
Foam
Sand
Foam Generator
Air
Cement
Fly ash
FoamingAgent – Water
Cellular Concrete



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จดอนุสิทธิบัตรเลขที่ 1603001086
จดอนุสิทธิบัตรเลขที่ 1603001087

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทำปริทัศน์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากำลังคอนกรีตเซลลูล่า พบว่า มีงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่ได้ศึกษาพฤติกรรม การเสริมกำลัง คอนกรีตเซลลูล่า ซึ่งเป็นแนวทางในงานวิจัยได้พอสมควรดังนี้

ธนภร ทวีวุฒิ (2557) ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า โดยได้ทำการผลิตคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าที่มีหน่วยน้ำหนักในช่วง 800-1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.45 และ 0.55 อัตราส่วนทรายกับซีเมนต์ เท่ากับ 0.25:1, 0.5:1, 1:1, 2:1 และ 3:1 รวม 26 สูตรผสมจากการนำตัวอย่างดั้งกล่าวไปทดสอบหาค่ากำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 10.7-185 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีการดูดกลืนน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 8.3-49.3 จากการศึกษาครั้งนี้ได้สรุปได้ว่า

1) กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแปรผกผันกับปริมาณทราย กล่าวได้ว่าคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์น้อยจะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าที่ใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์มาก เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นเดียวกัน

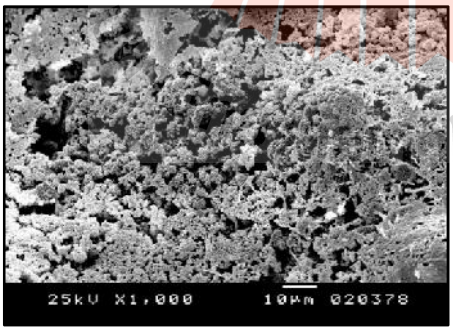
2) หน่วยน้ำหนักที่ 1,400-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.45 จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.55 มีพฤติกรรมคล้ายคอนกรีตปกติ

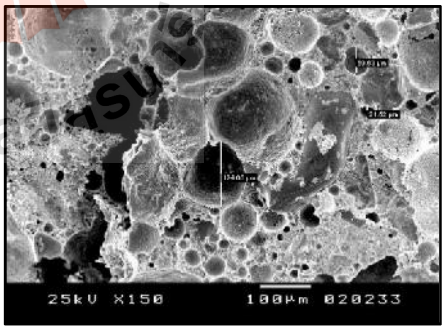
3) คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าที่มีหน่วยน้ำหนักน้อยมีปริมาณฟองอากาศมากและมีค่าปริมาณการดูดการกลืนน้ำสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าที่มีหน่วยน้ำหนักมาก

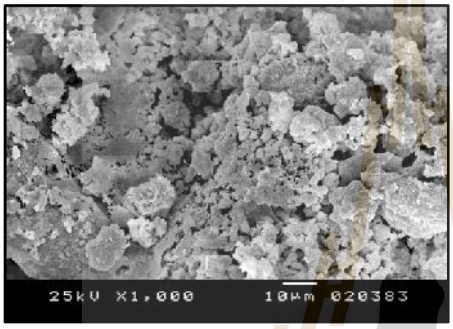
4) ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ พบว่าที่หน่วยน้ำหนักเดียวกันใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากัน สูตรที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์น้อยจะให้ค่าปริมาณการดูดกลืนน้ำน้อยด้วย

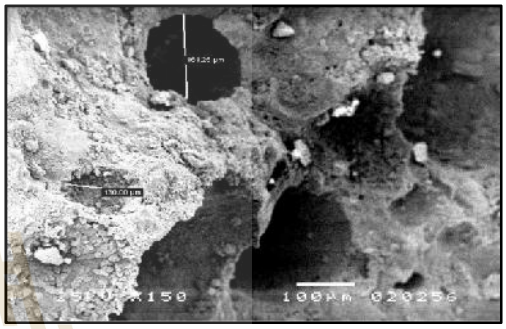
ธีรราช ลีกีรติกุล (2543) ได้ทำการศึกษาการใช้ถ่านหินแยกละเอียดทดแทนซิลิกาฟูมในการทำคอนกรีตกำลังสูง โดยการนำเถ้าถ่านหิน (Fly Ash) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมาผ่านการแยกด้วยเครื่อง Air Classifier ให้มีความละเอียดสูงได้เป็น เถ้าถ่านหินแยกละเอียด มีรูปทรงกลมขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.2 ไมครอน จากนั้นนำเถ้าถ่านหินแยกละเอียดมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I ปริมาณร้อยละ 0, 15, 25 และ 50 เปรียบเทียบกับการใช้ซิลิก้า ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมปริมาณร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดที่สูงสุด ส่วนคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินแยกละเอียดปริมาณร้อยละ 25 ให้ค่ากำลังอัดที่สูงสุด และพบว่าเถ้าถ่านหินสามารถให้กำลังอัดช่วงต้นดีกว่าคอนกรีตปกติ เนื่องจากเถ้าถ่านหินแยกละเอียดมีขนาดเล็ก

Mix No	Code	Compressive (ksc) 7-D	28-D	60-D
1	Control	580	758	837
2	SF-05	692	835	874
3	SF-10	710	937	952
4	SF-15	696	882	906
5	FAG-15	710	805	898
6	FAG-25	712	825	916



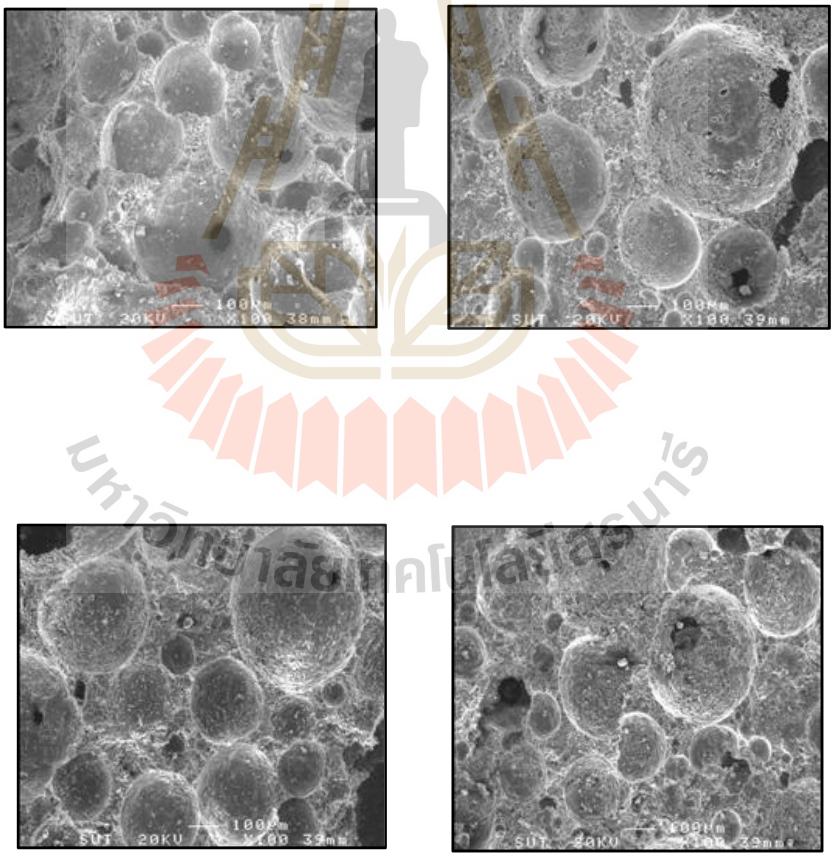




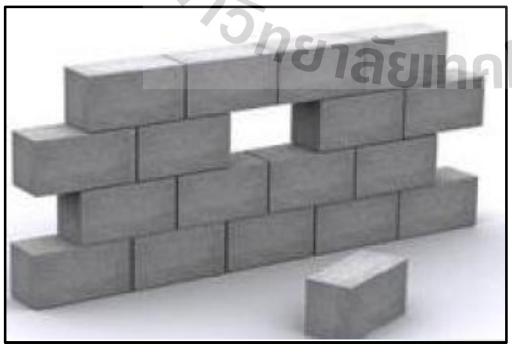


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Symbol	Fly ash content (% by weight)	Compressive strength (MPa)				Water absorption (% by weight)
		3 days	14 days	28 days	60 days	
C800	0	1.65	2.46	2.64	2.79	31
FA10	10	2.45	3.25	3.29	3.32	35
FA20	20	2.53	3.11	3.38	3.57	39
FA30	30	2.45	3.73	3.92	4.08	47



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Maheshkumar (2014) ได้ทำการศึกษาทดลองคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า โดยได้ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตเซลลูล่า ดังนี้

การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ลักษณะโครงสร้างคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าเป็นแบบปิด เพราะฉนั้นคอนกรีตมวลเบาจะดูดซึมน้ำได้ต่ำ โดยทั่วไปจะดูดซึมน้ำน้อยกว่าร้อยละ 5 ของปริมาณคอนกรีตมวลเบา

การรับกำลังอัด (Compressive strength) การรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า มีปัจจัยขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่น อายุคอนกรีต และสูตรผสม ถ้าเราต้องการกำลังอัดที่มาก เราจะต้องมีการปรับเปลี่ยนสูตรผสม อาทิ ซีเมนต์ และ ทราย หรือ วัสดุอื่น ๆ ให้เหมาะสม เราจะต้องนำคอนกรีตดังกล่าวมาทดสอบกำลังอัดในความหนาแน่นต่าง ๆ

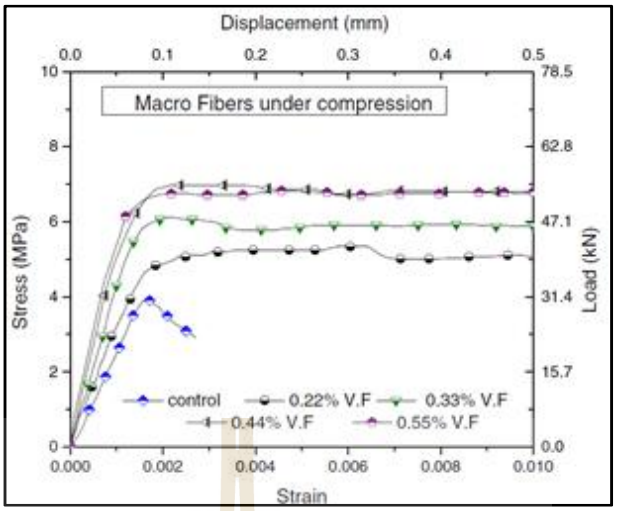
การรับแรงดัด (Tensile strength) ขึ้นอยู่กับการบ่มการรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า สามารถรับแรงดัดได้ 0.25 ของกำลังรับแรงอัด เกิดความเครียด(Strain) ที่ร้อยละ 0.1

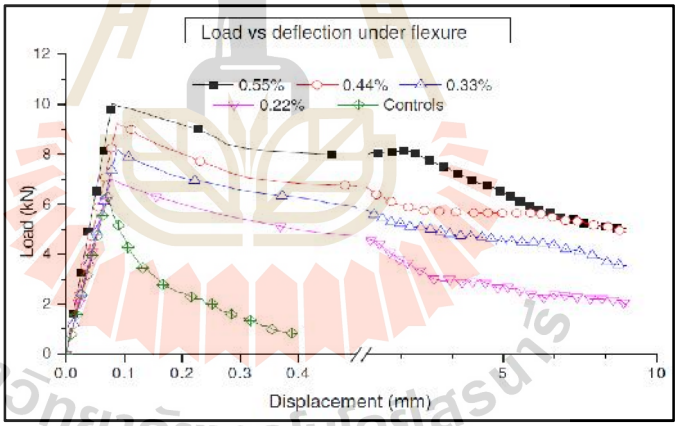
การรับแรงเฉือน (Shear strength) ทั่วไปคอนกรีตมวลเบาสามารถรับแรงเฉือนได้ระหว่าง ร้อยละ 6 – 10 ของกำลังอัด

การหดตัว (Shrinkage) ทั่วไปขึ้นอยู่ กับปริมาณซีเมนต์ในสูตรผสม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ขบวนการบ่ม ขนาดที่หล่อ คุณภาพของทราย และความหนาแน่นของโฟม การเกิดการหดตัวที่มากจะเกิดภายใน 28 วัน

Rasheed (2015) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุเส้นใยสังเคราะห์ผสม (Hybrid-synthetic fiber reinforced) ในโครงสร้างอิฐมวลเบาเซลลูล่า จากงานวิจัยนี้ได้กำหนด อัตราน้ำต่อน้ำยาสร้างฟองโฟม เท่ากับ 1:40 มีความหนาแน่นฟองโฟมที่ 70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าประกอบด้วย เถ้าถ่านหิน, ปูนซีเมนต์, ทราย, สารสร้างฟองโฟม จำนวน 833, 277, 277 และ 1.4 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.38 ข้อแนะนำการใช้วัสดุเส้นใยสังเคราะห์ในปริมาณ 5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (คอนกรีตทั่วไป) การวิจัยครั้งนี้จะเลือกใช้วัสดุเส้นใยสังเคราะห์ที่มีขนาดมาโครในอัตราร้อยละ 0.22%, 0.33%, 0.44%, 0.55% ของปริมาณข้างต้น และผสมเส้นใยสังเคราะห์ที่มีขนาดไมโครอัตราร้อยละ 0.02% เข้ากับอัตราผสมเส้นใยสังเคราะห์ที่มีขนาดมาโครทุกสัดส่วน ทำการทดสอบการรับกำลังอัด การทดสอบกำลังดัดตามมาตรฐาน JSCE-SF4 ได้ให้ค่าการแอ่นตัวไม่เกิน 3.6 mm. โดยเทียบกับคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าทั่วไป ตามรูปที่ 2.17-2.18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



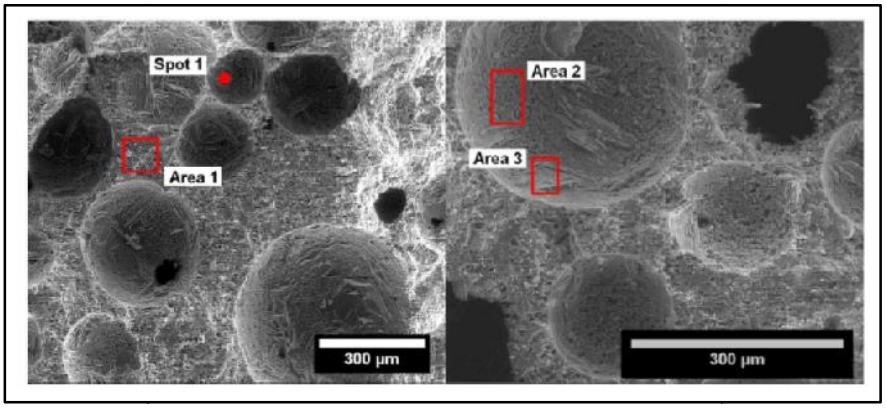


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(a) Control specimen

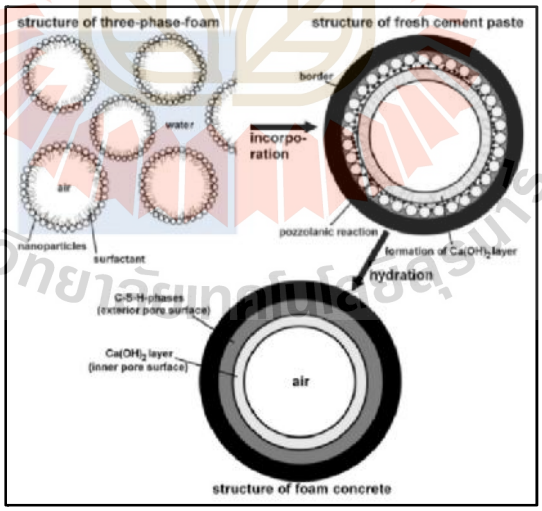
(b) Macro-fiber reinforced specimen

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.22 ภาพถ่าย EDS ของโฟรงอากาศที่ NS (ด้านซ้าย) และ MO (ด้านขวา) (Christina, 2015)

จากการศึกษาอาจสรุปได้ว่า ชั้นที่เคลือบฟองอากาศที่อยู่ในซีเมนต์ ประกอบด้วย 3 ชั้น โดยที่ฟองอากาศมีสารแรงตึงผิวบาง ๆ อยู่รอบ ๆ อากาศ แล้วเข้าไปแทรกอยู่ในซีเมนต์เพสต์ ทำให้ฟองกาศโดยรอบ ๆ เคลือบด้วย $Ca(OH)_2$ ป้องกันไม่ให้ฟองอากาศแตก และถัดจากชั้นนี้ไป จะเป็นการทำปฏิกิริยาของเถ้าถ่านหินที่เรียกว่า ปฏิกิริยา ปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เคลือบไว้อีกชั้นหนึ่ง และสามารถนำมาเขียนเป็นภาพให้เข้าใจ ตามรูปภาพที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงทฤษฎีโครงสร้างของโฟรงอากาศ ,โครงสร้างฟองอากาศ (ด้านบนซ้าย) โครงสร้างซีเมนต์เพสต์หลังจากมีการเติมฟองอากาศเข้าไป (ด้านบนขวา) และโครงสร้างฟองอากาศในคอนกรีตเซลลูล่าหลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น(ด้านล่าง) (Christina, 2015)

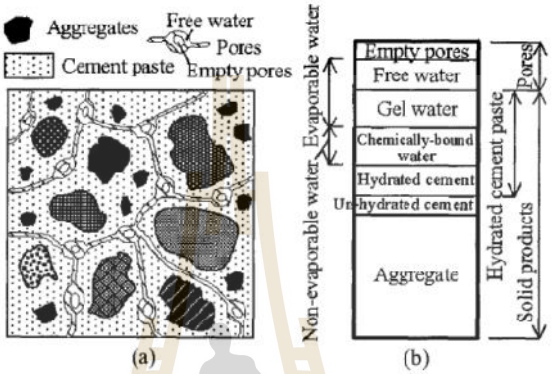


Figure 1 (a) Schematic description of concrete structure, and (b) volumetric proportions of concrete components.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 ที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตเซลลูล่า พบว่าการคุณสมบัติที่ดีของคอนกรีตเซลลูล่า น้ำหนักเบา การดูดซึมน้ำต่ำ เป็นฉนวนกันความร้อน บทนี้อธิบายรายละเอียดของแผนการทดสอบ วิธีการทดสอบ ซึ่งแบ่งออกเป็นสอง ส่วน โดยในส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบ ขนาดอนุภาคและการนำปริมาณ เถ้าถ่านหินทั่วไปกับเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุงโดยการร่อนให้มีขนาดเล็กลง ไปแทนที่ปูนซีเมนต์ ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ และเลือกขนาดอนุภาคและปริมาณที่เหมาะสมที่สุด ส่วนที่ 2 นำเส้นใยสังเคราะห์ มาผสมในคอนกรีตเซลลูล่าที่เลือกจากส่วนที่ 1 ในอัตราปริมาณเส้นใยเสริมกำลังคอนกรีตที่แตกต่างกันไป แล้วนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติการต่าง ๆ กับคอนกรีตเซลลูล่าทั่วไป (OPC block)

3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย (Materials)

3.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Type-I Portland cement หรือ OPC) ตามมาตรฐาน ASTM C150-2000

3.1.2 เถ้าถ่านหิน

เถ้าถ่ายหิน (Fly ash หรือ FA) ที่ใช้ในการศึกษาเป็นเถ้าลอยชนิดมีปริมาณแคลเซียมสูง (high-calcium fly ash) จากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ประเทศไทย (Mae Moh power plant, Thailand)

3.1.3 ทราย

ทรายละเอียดแม่น้ำ ซึ่งมีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C 33

3.1.4 น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ

น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ SUT สูตร 2 (SUT V2) (Foaming agent) ตามมาตรฐาน ASTM C796/C796M ,C869/C869M รูปที่ 3.1

น้ำยาหล่อฟองโฟม
SOIT V.4
สาร F
สาร E
สาร D
สาร A
สาร B
สาร C

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบใบกวนในแนวนอน

เครื่องผสม (Mixer) คอนกรีตมวลเบาเป็นแบบเพลาหมุนในแนวนอน ที่ประกอบด้วยใบกวนแบบเกลียว (Screw) ความจุในการผสมสูงสุดครั้งละไม่เกิน 0.8 ลูกบาศก์เมตรขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า กำหนดอัตราการหมุนของใบกวนที่อัตราความเร็ว 45 รอบต่อนาที (อภัย ชาภิรมย์, 2560) รายละเอียดตามภาคผนวก ค ลักษณะเครื่องผสม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9

3.2.2 เครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลา

เครื่องสร้างฟองหรือเครื่องกำเนิดโฟม (Foam generator) เป็นชนิดแบบตั้งเวลา และปั้มแรงดันใช้คู่กับเครื่องอัดอากาศ แรงดันเครื่องอัดอากาศ (Regulator) ให้มีความดันคงที่ 0.6 MPa และอุปกรณ์ผสมน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศกับน้ำซึ่งจะให้ฟองในปริมาณมาก ค่อย ๆ กวนผสมให้เข้ากัน ในอัตราส่วนน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ 1 : 40 โดยน้ำหนัก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.10

3.2.3 เครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) ใช้คู่กับเครื่องสร้างฟองชนิดปั้มแรงดันมีหน้าที่สำหรับเติมอากาศเข้าเครื่องกำเนิดฟอง จะตั้งความดันอยู่ในช่วง 1–1.2 MPa ± 0.007 MPa.

3.2.4 ภาชนะชั่งน้ำหนักของโฟม

การทดสอบหาความหนาแน่นของฟองอากาศ ทำได้โดยการฉีดฟองโฟมอากาศ ลงในถัง (container) ที่ทราบปริมาตรแล้ว ขนาดถังที่ใช้อาจมีปริมาตร 0.4–0.6 ลูกบาศก์เมตร ปาดปากถังให้เสมอพอดี จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาความหนาแน่นของโฟม เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา ซึ่งความหนาแน่นของโฟมเหลวคืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของโฟมที่อยู่ในถังต่อปริมาตรถัง มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.2.5 เครื่องทดสอบการนำความร้อน

การทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบา ทำได้โดยการเจาะ (coring) ก้อนตัวอย่างให้ได้แท่งคอนกรีตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ความยาว 25 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปเข้าเตาอบเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเข้าเครื่องทดสอบการนำความร้อน ดังในรูปที่ 3.3 โดยให้ความร้อนแก่ก้อนตัวอย่างที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านมีการทำให้อุณหภูมิต่ำโดยการหล่อเย็นด้วยน้ำ เพื่อให้เกิดการนำความร้อนจากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าในแนวเส้นตรง โดยมีการป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยฉนวนหุ้มอย่างดีโดยรอบ ในขณะทดสอบทำการวัดค่าอุณหภูมิ ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าโดยเทียบกับแท่งทองแดงมาตรฐาน ค่าที่ได้ทั้งหมดจะนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C177-97

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

น้ำหนักของเส้นใยสังเคราะห์ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (FRC3) ตามคำแนะนำจากผู้ผลิตเส้นใยสังเคราะห์

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ อัตราส่วนผสม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

ชื่อสัดส่วน	ซีเมนต์ (kg)	เถ้าลอย (kg)	ทราย (kg)	น้ำ (kg)	ฟองโฟม (sec)	เส้นใยสังเคราะห์ (kg)
OPC block	407	-	417	174	540	-
FA10	367	40	417	174	536	-
FA20	325	82	417	174	533	-
FA30	284	123	417	174	531	
FAC10	367	40	417	174	530	-
FAC20	325	82	417	174	527	-
FAC30	284	123	417	174	525	-
FRC1	325	82	417	174	533	0.33
FRC2	325	82	417	174	533	0.50
FRC3	325	82	417	174	533	0.67

3.3.2 การเตรียมฟองโฟมอากาศ

คอนกรีตเซลลูล่า ต้องมีการควบคุมความหนาแน่นเปียกของคอนกรีตเซลลูล่าที่ 1,020 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีเทคนิคในการทำให้น้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ กลายเป็นฟองโฟมเหลว (liquid foam) ก่อนที่จะนำไปผสมกับคอนกรีตสดที่เรียกว่า การจัดเตรียมการผลิตฟองโฟม (PRE-FORMED FOAM METHOD) โดยทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กมีขนาดตั้งแต่ 0.1–1 มิลลิเมตร ซึ่งมีขั้นตอนคือนำน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ เข้มข้นเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 40 จากนั้นนำไปผ่านเครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลา ที่ต่อเข้ากับเครื่องอัดลมหรือเครื่องอัดอากาศ จากนั้นฉีดเป็นโฟมเหลวใส่ลงไปในเครื่องผสม ฟองโฟมมีความหนาแน่นเฉลี่ย 40-45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณสารเพิ่มฟองที่ใส่ลงไปในแต่ละส่วนผสมของคอนกรีตเซลลูล่า ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C796-2004

3.3.3 การหล่อก้อนตัวอย่าง

ทำการเทคอนกรีตสดลงในแบบหล่อมาตรฐานขนาด 150×150×150 มิลลิเมตร ทันทีภายหลังผสมคอนกรีตเสร็จ และใช้ค้อนเคาะที่ข้างแบบเพื่อให้คอนกรีตไหลเข้าแบบทั่วถึงกันทั้งก้อน จึงใช้เกรียงเหล็กปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วทำการบ่มโดยปิดด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ

3.3.4 การถอดแบบและการบ่ม

ภายหลังเทคอนกรีตประมาณ 24 ชั่วโมง จะทำการถอดแบบหล่อออก แล้วนำก้อนตัวอย่างห่อปิดทับรอบผิวหน้าทั้ง 6 ด้าน ด้วยแผ่นพลาสติกและเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดปากถุงเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ (ASTM C495-99) และ นำไปบ่มไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 26 ± 2 °C จนถึงวันทดสอบก้อนตัวอย่าง

3.4 วิธีการทดสอบทางกายภาพ

3.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength test) ของคอนกรีตเซลลูล่าโดยหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 150×150×150 มิลลิเมตร ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วันตามการทดสอบมาตรฐาน มอก. 2601 - 2556 รายละเอียดตามภาคผนวก ก

3.4.2 การทดสอบความหนาแน่นแห้ง

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry density) ของคอนกรีตเซลลูล่าโดยนำก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์มาตรฐาน ขนาด 150 × 150 × 150 มิลลิเมตร ที่มีอายุบ่ม 7 ,14 และ 28 วัน อบชิ้นทดสอบในตู้อบให้แห้งจนได้มวลคงที่ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 5 ^{0}C ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเพื่อหาปริมาตร ซึ่งความหนาแน่นคืออัตราส่วนระหว่างมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรมีหน่วยเป็น kg/m^3 การทดสอบทำตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 สามารถหาค่าความหนาแน่นแห้งตามสมการ 3.1

$$\text{ความหนาแน่นแห้ง} \qquad \rho = M/V \qquad (3.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง (kg/m^3)

M คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ (kg)

V คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (m^3)

3.4.3 การดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของคอนกรีตเซลลูล่าโดยเอาก้อนตัวอย่างขนาด 150×150×150 มิลลิเมตร ที่มีอายุบ่ม 7 ,14 และ 28 วัน จากนั้นแช่ก้อนตัวอย่างไว้ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงเอาออกจากน้ำแล้วใช้ผ้าซับน้ำส่วนเกินที่ผิวของก้อนตัวอย่างและชั่งน้ำหนักภายในเวลา 30 วินาที ซึ่งค่าที่ได้คือน้ำหนักเปียก (Wet weight) โดยบันทึกค่าให้ละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัม การทดสอบทำตามมาตรฐาน มอก.2601-2556

นำก้อนตัวอย่างเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 5 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงนำออกจากเตาอบ จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักโดยบันทึกค่าให้ละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัม ค่าที่ได้คือน้ำหนักอบแห้ง (Dry weight) ของก้อนตัวอย่าง ค่าการดูดซึมน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.2 โดยเป็นค่าเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างจำนวน 3 ก้อน

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ } A = ((M_2 / M_1) / M_1) \times 100 \qquad (3.2)$$

เมื่อ A คือ อัตราการดูดซึมน้ำ เป็นร้อยละ (เศษส่วนโดยมวล)

M_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง (g)

M_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบเมื่อเปียก (g)

3.4.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity ใช้สัญลักษณ์ k) คือคุณสมบัติภายในของวัสดุอย่างหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ การนำความร้อน (Heat conductivity) เป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางปราศจากการเคลื่อนที่

การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ คล้ายกับการนำไฟฟ้าในของเหลวและของแข็งที่เกิดการสั่นของโมเลกุลข้างเคียงในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่าง โมเลกุล กล่าวคือการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านโดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน วัสดุใดจะนำความร้อนได้ดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ได้จากการทดสอบ การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบหาค่าการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาทำได้โดยการ

หล่อหรือเจาะเอาจากก้อนตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ความยาว 25 มิลลิเมตร ผิวหน้าสัมผัสเรียบทั้งสองด้าน มีอายุการบ่มครบ 28 วัน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องทดสอบคุณสมบัติการนำความร้อน โดยให้ความร้อน (Q) ด้วยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านขดลวดความร้อนบนผิวสัมผัสด้านหนึ่งที่อุณหภูมิ 50 °C และด้านผิวสัมผัสอีกด้านที่อยู่ตรงกันข้ามจะถูกทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ทำการวัดค่าอุณหภูมิทั้งสองจุด ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดที่วัดคือ T นำค่าที่ได้แทนลงในสมการที่ 3.3 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C177-97

$$k = (Q \times L) / (A \times \Delta T) \tag{3.3}$$

เมื่อ k = Thermal conductivity (W/m.K หรือ W/m.°C)

Q = ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านตัวอย่างทดสอบ (Watt หรือ W)

L = ความหนาของตัวอย่างทดสอบ (m)

A = พื้นที่หน้าตัดขวาง (m^2)

ΔT = ผลต่างระหว่างจุดที่วัดอุณหภูมิ (K หรือ °C)

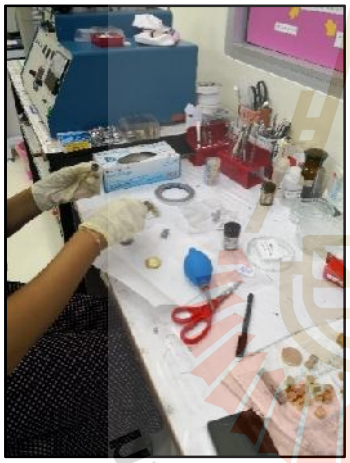
3.4.5 การทดสอบการหดตัวแห้ง

การทดสอบการหดตัวแห้ง (Drying shrinkage) ของคอนกรีตเซลลูล่า ทำได้โดยการหล่อคอนกรีตเซลลูล่าด้วยแบบหล่อมาตรฐานขนาด 75×75×285 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งหัว แท่งเหล็ก (Stud) เพื่อหาค่าการหดตัวแห้งเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง ภายหลังถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง จึงนำคอนกรีตไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างวัดความยาวเทียบกับแท่งโลหะความยาวมาตรฐานคงที่ (285 มิลลิเมตร) ซึ่งจะเป็นค่าความยาวเริ่มต้น จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างบ่มไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 23±2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ±2 % ทำการวัดความยาวของแท่งตัวอย่างจำนวน 3 แท่ง เป็นเวลา 7, 14, 28 และ 60 โดยนับจากวันที่ปล่อยให้เกิดการหดตัวแห้ง

ค่าความยาวที่วัดได้ที่อายุต่าง ๆ สามารถนำไปคำนวณค่าร้อยละของการหดตัวแห้งได้จากสมการที่ 3.4

$$\Delta L = \frac{L - L_i}{L_g} \tag{3.4}$$

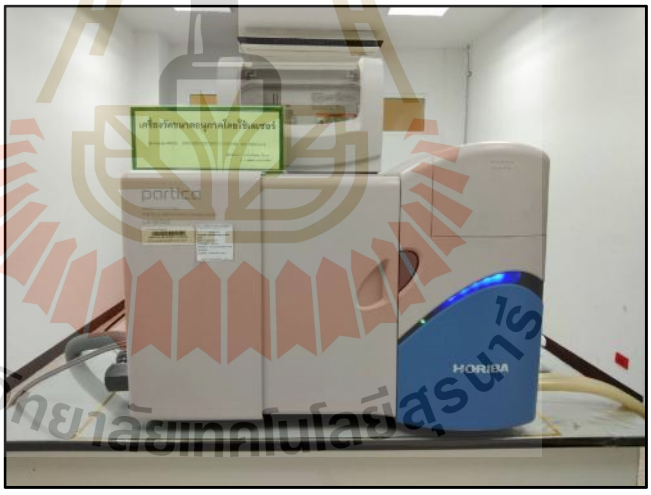
เมื่อ ε_L = ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือหดตัวแห้ง (mm/mm)



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

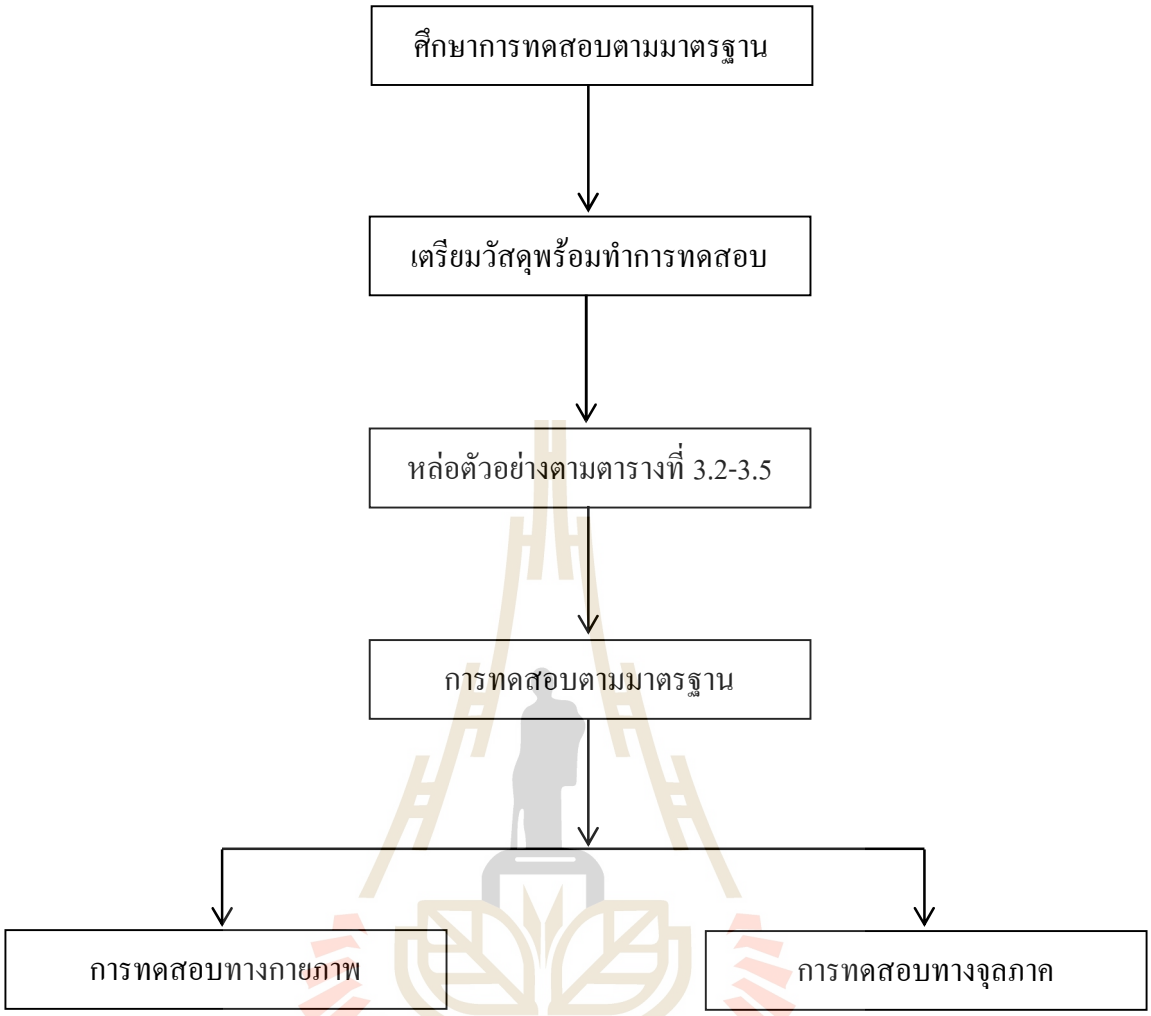
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

JEOL
JSM-6360F


partica
HORIBA

ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำและน้ำยาสร้างฟองโฟมอากาศ ในอัตราส่วนสารเพิ่มฟองต่อน้ำ 1 : 40 ใส่ไว้ในเครื่องสร้างฟองที่ความดัน 0.6 MPa นำปูนซีเมนต์ ทราย เถ้าถ่านหิน เทลงในเครื่องผสมและผสมจนเข้ากันจึงใส่น้ำและตามด้วยโฟมที่ฉีดจากเครื่องสร้างฟอง โฟมที่เตรียมไว้ซึ่งโฟมมีความหนาแน่นประมาณ 40-45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามมาตรฐาน ASTM C796 , ACI 523.3R-14 ขั้นตอนการผสมนี้มักจะใช้เวลาประมาณ 8-10 นาที เมื่อส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันจึงเทคอนกรีตลงในแบบหล่อ และกระทุ้งด้านข้างที่แบบหล่อเล็กน้อยเพื่อให้คอนกรีตแน่นทั่วถึงกัน ภายหลังเทคอนกรีต 24 ชั่วโมง จะทำการถอดแบบแล้วห่อก้อนตัวอย่างด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ จากนั้นจึงนำไปเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 24 ±2°C จนถึงเวลาทดสอบสำหรับกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นแห้ง การนำความร้อน การหดตัวแห้ง การทดสอบกำลังดัด และการทดสอบโครงสร้างจุลภาค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.10 แผนผังการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block)

ที่	การทดสอบตัวอย่างของคอนกรีตเซลลูล่า	ขนาดตัวอย่าง (cm)	จำนวนตัวอย่าง /อายุทดสอบ (ตัวอย่าง/วัน)			
			7	14	28	60
1	การทดสอบกำลังอัด	15x15x15	5	5	5	-
2	การทดสอบความหนาแน่นแห้ง	15x15x15	5	5	5	-
3	การทดสอบการดูดซึมน้ำ	15x15x15	5	5	5	-
4	การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	r =1.5 , l =2.5	-	-	-	-
5	การทดสอบการหดตัวแห้ง	7.5x7.5x28.5	5	5	5	5
6	การทดสอบกำลังดัด	7.5x20x60	3	3	3	-

ตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ คอนกรีตเซลลูล่าผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณ FA10, FA20 และ FA30

ที่	การทดสอบตัวอย่างของคอนกรีตเซลลูล่าต่อ ปริมาณ FA10 , FA20 , FA30	ขนาดตัวอย่าง (cm)	จำนวนตัวอย่าง/อายุทดสอบ (ตัวอย่าง/วัน)			
			7	14	28	60
1	การทดสอบกำลังอัด	15x15x15	5	5	5	-
2	การทดสอบความหนาแน่นแห้ง	15x15x15	5	5	5	-
3	การทดสอบการดูดซึมน้ำ	15x15x15	5	5	5	-
4	การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	r =1.5 , l =2.5	-	-	-	-
5	การทดสอบการหดตัวแห้ง	7.5x7.5x28.5	5	5	5	5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ คอนกรีตเซลลูล่าผสมเถ้าถ่านหินปรับปรุง (FAC) แทนทีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณ FAC10, FAC20 และ FAC30

ที่	การทดสอบตัวอย่างของคอนกรีตเซลลูล่า ต่อ ปริมาณ FAC10, FAC20, FAC30	ขนาดตัวอย่าง (cm)	จำนวนตัวอย่าง/อายุทดสอบ (ตัวอย่าง/วัน)			
			7	14	28	60
1	การทดสอบกำลังอัด	15x15x15	5	5	5	-
2	การทดสอบความหนาแน่นแห้ง	15x15x15	5	5	5	-
3	การทดสอบการดูดซึมน้ำ	15x15x15	5	5	5	-
4	การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	r =1.5 , l =2.5	-	-	-	-
5	การทดสอบการหดตัวแห้ง	7.5x7.5x28.5	5	5	5	5

ตารางที่ 3.5 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบทาง คอนกรีตเซลลูล่าเลือกที่ดีที่สุดผสมผสมกับเส้นใยสังสังเคราะห์ (FRC) มาผสมในสัดส่วนปริมาณ FRC1, FRC2 และ FRC3

ที่	การทดสอบตัวอย่างของคอนกรีตเซลลูล่า ต่อ ปริมาณ FRC1, FRC2, FRC3	ขนาดตัวอย่าง (cm)	จำนวนตัวอย่าง/อายุทดสอบ (ตัวอย่าง/วัน)			
			7	14	28	60
1	การทดสอบกำลังอัด	15x15x15	5	5	5	-
2	การทดสอบความหนาแน่นแห้ง	15x15x15	5	5	5	-
3	การทดสอบการดูดซึมน้ำ	15x15x15	5	5	5	-
4	การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	r =1.5 , l =2.5	-	-	-	2
5	การทดสอบการหดตัวแห้ง	7.5x7.5x28.5	5	5	5	5
6	การทดสอบกำลังดัด	7.5x20x60	3	3	3	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

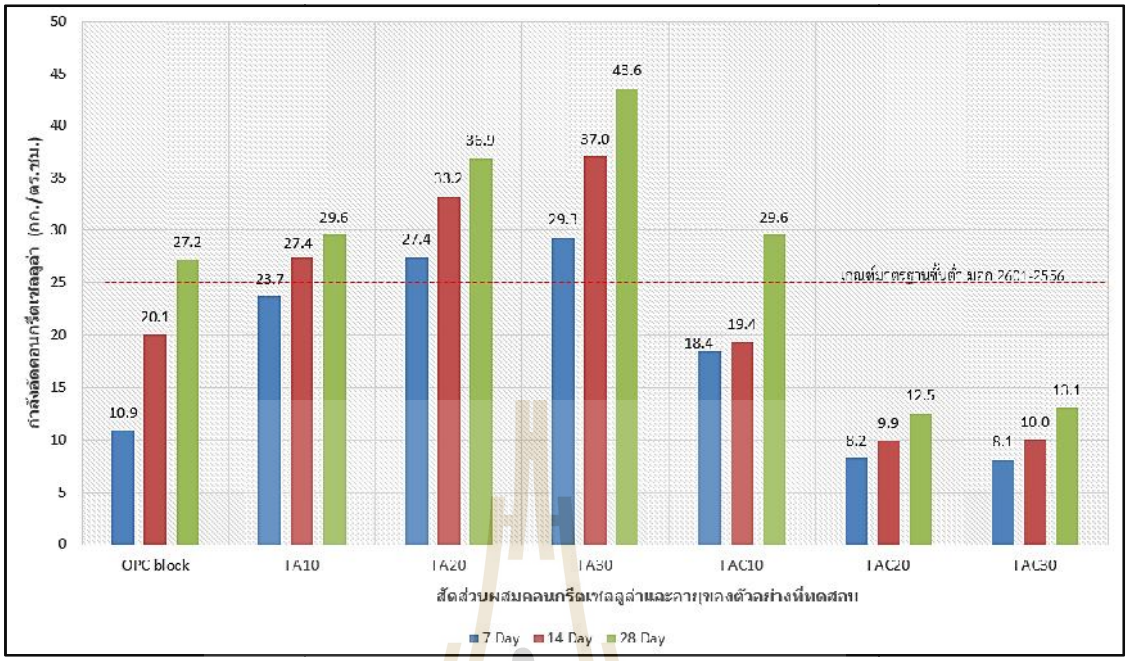
คอนกรีตเซลลูล่าในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากำลังของคอนกรีตเซลลูล่า ให้สามารถรับแรงอัด ดัด และทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ ให้ได้ตามมาตราฐานอุตสาหกรรม เพื่อจะแก้ปัญหาการแตกร้าวในการขนส่ง การซ้อนทับ และนำคอนกรีตเซลลูล่าไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ของผู้ประกอบการ โดยการนำเอาเถ้าถ่านหินและเส้นใยสังเคราะห์ เข้ามาเป็นส่วนผสม โดยแบ่งผลการทดสอบเป็น 2 ช่วง ช่วงแรก ผลการทดสอบของ คอนกรีตเซลลูล่าปกติ และส่วนผสมที่นำเถ้าถ่านหินทั่วไปและที่ปรับปรุง ในปริมาณต่าง ๆ ไปแทนที่ปูนซีเมนต์ แล้วเปรียบเทียบผลการทดสอบที่เหมาะสมที่สุดนำมาใช้ในส่วนที่สอง โดยทำการทดสอบตามตารางที่ 3.1 - 3.3 บทที่ 3 ในช่วงสอง ผลการทดสอบโดยการนำเส้นใยสังเคราะห์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยทำการทดสอบตามตารางที่ 3.4 บทที่ 3 และนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านกำลังอัด-ดัด และอื่น ๆ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม กับคอนกรีตเซลลูล่าปกติ จากผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.2 ผลการทดสอบคอนกรีตเซลลูล่าทางกายภาพ

4.2.1 การทดสอบช่วงที่หนึ่ง การผสมเถ้าถ่านหินทั่วไปและปรับปรุง ในอัตราส่วนต่าง ๆ

4.2.1.1 ผลการทดสอบกำลังอัด

จากการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10), 20(FA20) และ 30 (FA30) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10), 20(FAC20) และ 30(FAC30) อายุการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.1-ข.7 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.1



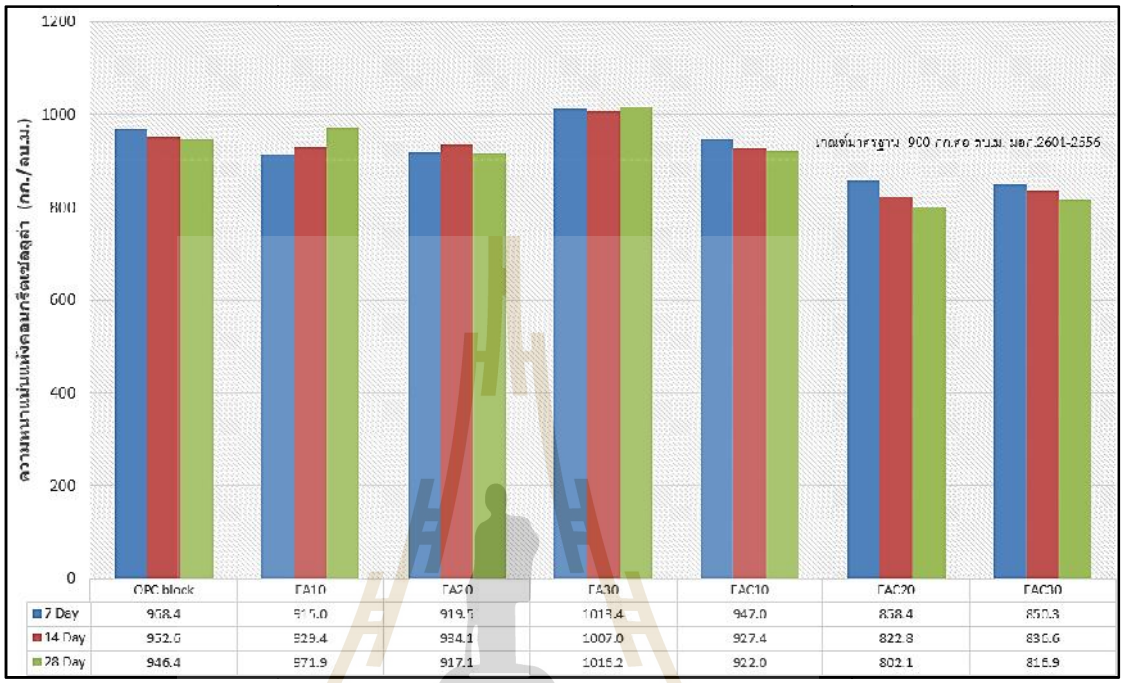
รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของสัดส่วนผสมต่าง ๆ คอนกรีตเซลลูล่า อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่าการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเซลลูล่าใน อายุที่ 7, 14 และ 28 วัน สูงขึ้นตามอายุที่ทดสอบ คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) สามารถรับกำลังอัดได้ 27.2 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) และ 30(FA30) สามารถรับกำลังอัดได้ 36.9 และ 43.6 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ สูงกว่าคอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง (FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10) สามารถรับกำลังอัดได้ 29.6 กก./ตร.ซม.สูงกว่า คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) เล็กน้อย และสัดส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า งานวิจัย Jitchaiyaphum (2014) และเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556

4.2.1.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง

จากการทดสอบความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10), 20(FA20) และ 30(FA30) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10) ,

20(FAC20) และ 30(FAC30) อายุการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.8-ข.14 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.2



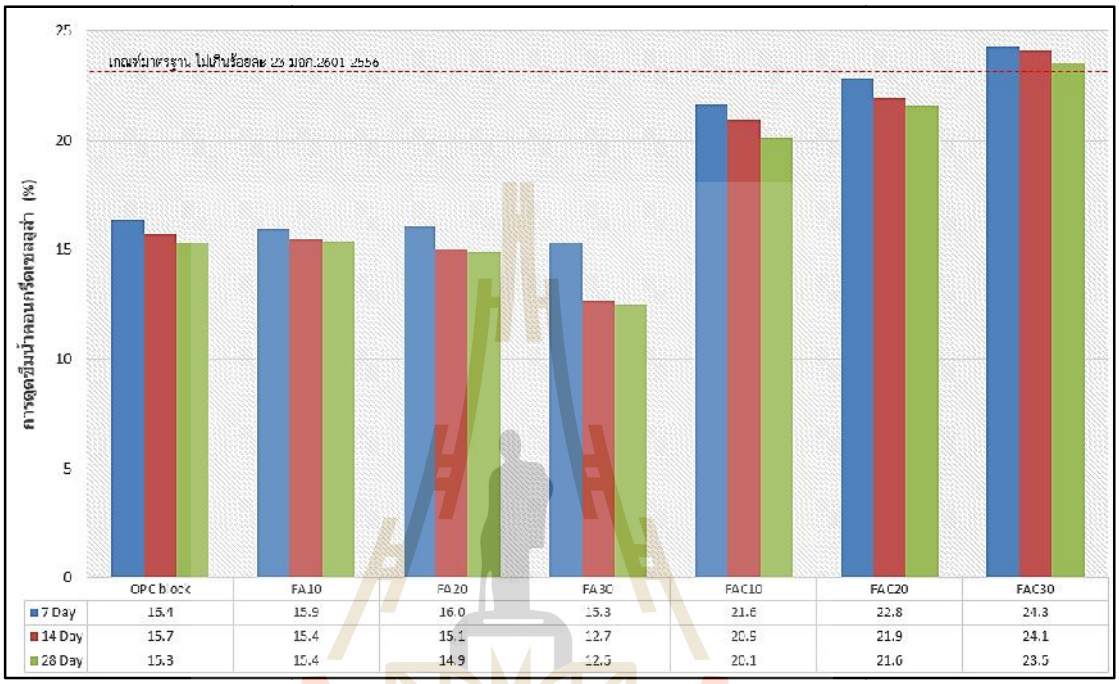
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของสัดส่วนผสมต่าง ๆ คอนกรีตเซลลูล่า อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.2 การทดสอบความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าในอายุที่ 7 ,14 และ 28 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน พิจารณาที่อายุ 28 วัน พบว่า คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20 (FA20) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10) มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดความหนาแน่นแห้งไม่เกิน ± 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนสัดส่วนอื่น ๆ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556

4.2.1.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าปกติ(OPC block) คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10), 20(FA20) และ 30(FA30) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10) ,

20(FAC20) และ 30(FAC30) อายุการทดสอบที่ 7 ,14 และ 28 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.15 -ข.21 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.3



	OPC block	FA10	FA20	FA30	FAC10	FAC20	FAC30
7 Day	15.4	15.9	16.0	15.3	21.6	22.8	24.3
14 Day	15.7	15.4	15.1	12.7	20.9	21.9	24.1
28 Day	15.3	15.4	14.9	12.5	20.1	21.6	23.5

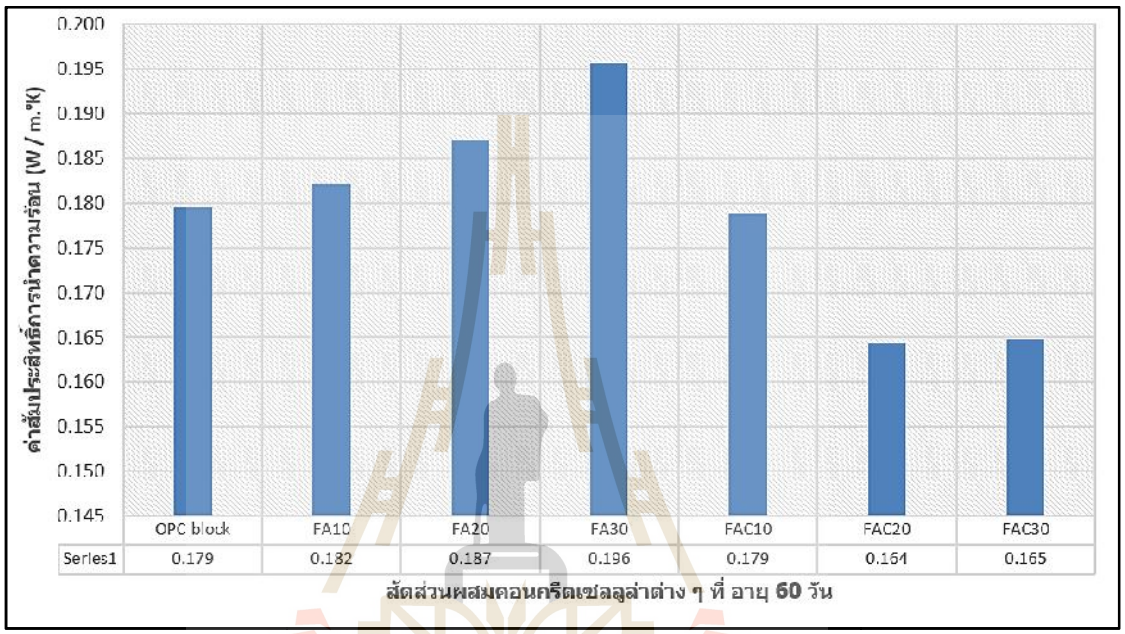
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของสัดส่วนผสมต่าง ๆ คอนกรีตเซลลูล่า อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าใน อายุที่ 7, 14 และ 28 วัน มีค่าที่ลดลงตามอายุที่ทดสอบ ทุกสัดส่วน พบว่า คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่า คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20 (FA20) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วน FAC10 ,FAC20 และ FAC30 มีแนวโน้มการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นแต่น้อยกว่า งานวิจัย Jitchaiyaphum (2014) และเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556

4.2.1.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

จากการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าปกติ(OPC block) คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่าน

หินทั่วไป(FA)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10), 20(FA20) และ 30(FA30) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10) , 20(FAC20) และ 30(FAC30) อายุ 60 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.22 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.4

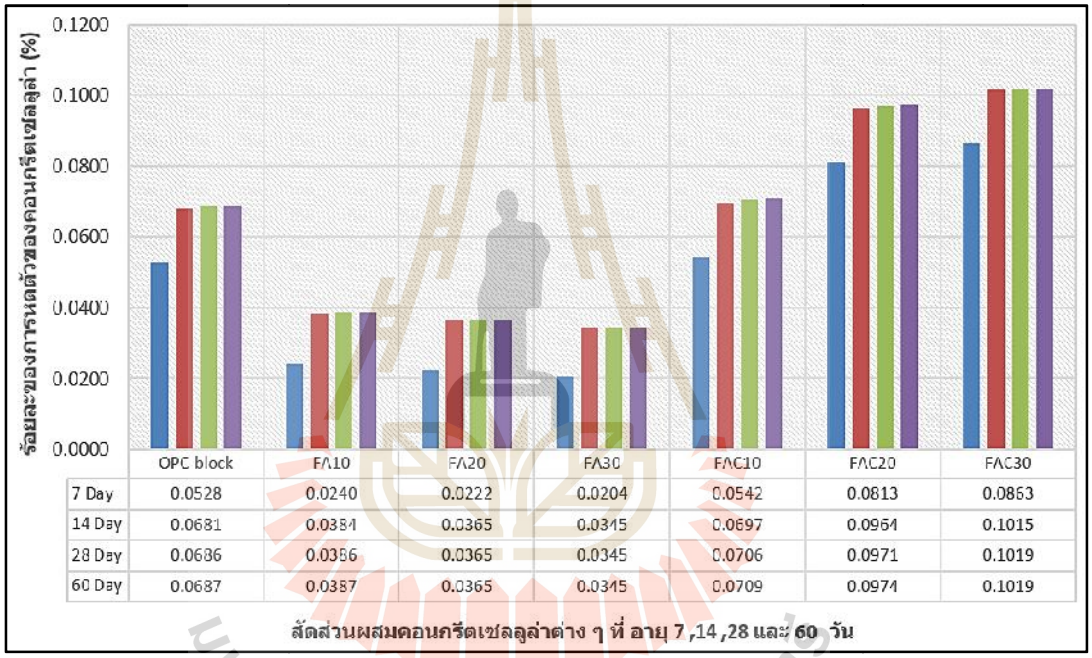


รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสัดส่วนผสมต่าง ๆ คอนกรีตเซลลูล่า อายุ 60 วัน

จากรูปที่ 4.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตเซลลูล่าใน อายุที่ 60 วัน มีค่าที่สูง-ต่ำ ขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงอัด จากผลการทดสอบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับประกาศกระทรวงพลังงาน ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126 ตอนพิเศษ 122 ง หน้า 21 วันที่ 28 สิงหาคม 2552 ตามตารางที่ 1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของวัสดุชนิดต่าง ๆ พบว่า คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 960 กก.ต่อ ลบ.ม. กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เท่ากับ 0.303 W / m.°K กับผลการทดสอบ พบว่า ทุกสัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่า มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำกว่า เกณฑ์กระทรวงพลังงานทั้งหมด

4.2.1.5 ผลการทดสอบการหดตัว

จากการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10), 20(FA20) และ 30(FA30) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10), 20 (FAC20) และ 30(FAC30) อายุการทดสอบที่ 7, 14, 28 และ 60 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.23 - ข.29 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.5



	OPC block	FA10	FA20	FA30	FAC10	FAC20	FAC30
7 Day	0.0528	0.0240	0.0222	0.0204	0.0542	0.0813	0.0863
14 Day	0.0681	0.0384	0.0365	0.0345	0.0697	0.0964	0.1015
28 Day	0.0686	0.0386	0.0365	0.0345	0.0706	0.0971	0.1019
60 Day	0.0687	0.0387	0.0365	0.0345	0.0709	0.0974	0.1019

รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการหดตัวของสัดส่วนผสมต่าง ๆ คอนกรีตเซลลูล่า อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน

จากรูปที่ 4.5 การทดสอบการหดตัวแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าใน อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน พบว่า แต่ละสัดส่วนของคอนกรีตเซลลูล่า มีการหดตัวไม่เท่ากัน คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) มีค่าร้อยละของการหดตัวสูงกว่า คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA)แทนที่ปูนซีเมนต์ทุกอัตราส่วน แต่น้อยกว่าคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC) แทนที่ปูนซีเมนต์ทุกอัตราส่วน การหดตัวช่วง 7 วันจะมีค่าสูง แต่หลังจาก 14 วัน ถึง 60 วัน ค่าการหดตัวมีค่าน้อยมาก

จากผลการทดสอบการการรับแรงอัด ความหนาแน่นแห้ง การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และการหดตัว ของสัดส่วนผสมจำนวน 7 สัดส่วนผสมได้แก่OPC, FA10, FA20, FA30, FAC10, FAC20 และ FAC30 ที่อายุ 28 วัน สรุปได้ว่า

สัดส่วน OPC block (เป็นสัดส่วนที่ผู้ประกอบการใช้) สามารถรับแรงอัดมีค่าที่ 27.2 กก./ตร.ซม. การดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 15 และการหดตัวที่ร้อยละ 0.0686 แต่มีค่าความหนาแน่นแห้งอยู่ที่ 946 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่ในช่วงที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สัดส่วน FA30 สามารถรับแรงอัดได้ดีที่สุดอยู่ที่ 43.5 กก./ตร.ซม. การดูดซึมน้ำต่ำสุดที่ร้อยละ 12.5 และการหดตัวน้อยสุดที่ร้อยละ 0.0345 แต่มีค่าความหนาแน่นแห้งอยู่ที่ 1,016 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สูงกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

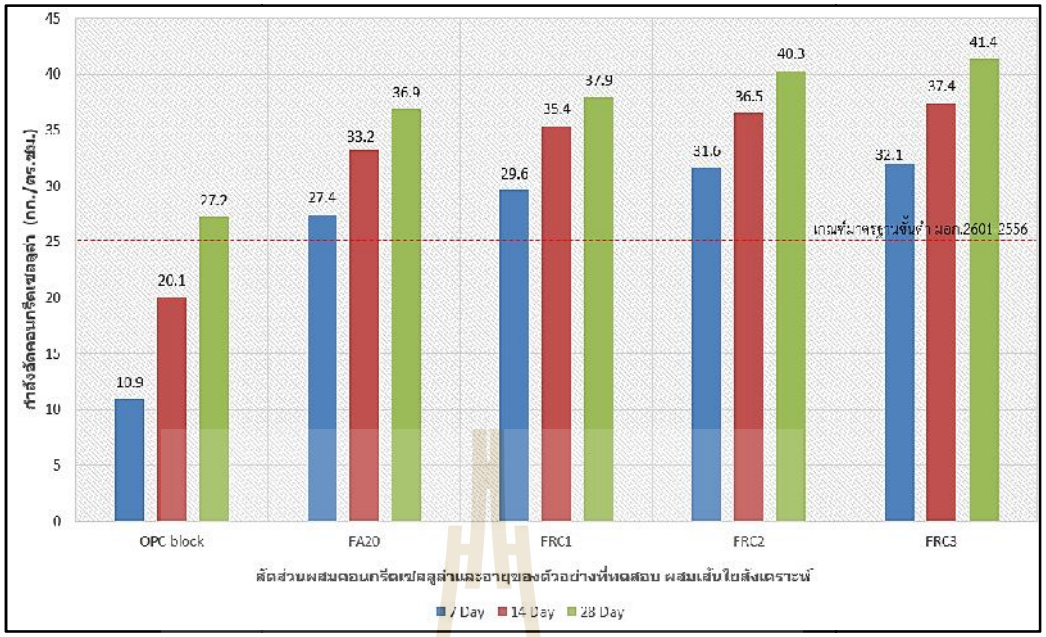
สัดส่วน FA20 สามารถรับแรงอัดมีค่าที่ 36.8 กก./ตร.ซม. การดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 15 และการหดตัวที่ร้อยละ 0.0365 แต่มีค่าความหนาแน่นแห้งอยู่ที่ 917 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่ในช่วงที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สัดส่วน FAC10 สามารถรับแรงอัดมีค่าที่ 29.5 กก./ตร.ซม. การดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 20 และการหดตัวที่ร้อยละ 0.0709 แต่มีค่าความหนาแน่นแห้งอยู่ที่ 922 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่ในช่วงที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2.2 การทดสอบช่วงที่สอง การผสมเส้นใยสังเคราะห์ ในอัตราต่าง ๆ

4.2.2.1 ผลการทดสอบกำลังอัด

จากการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) นำมาผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ (FRC) น้ำหนักที่ 0.33, 0.50 และ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร FRC1, FRC2 และ FRC3 ตามลำดับ อายุการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.30 - ข.32 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.6

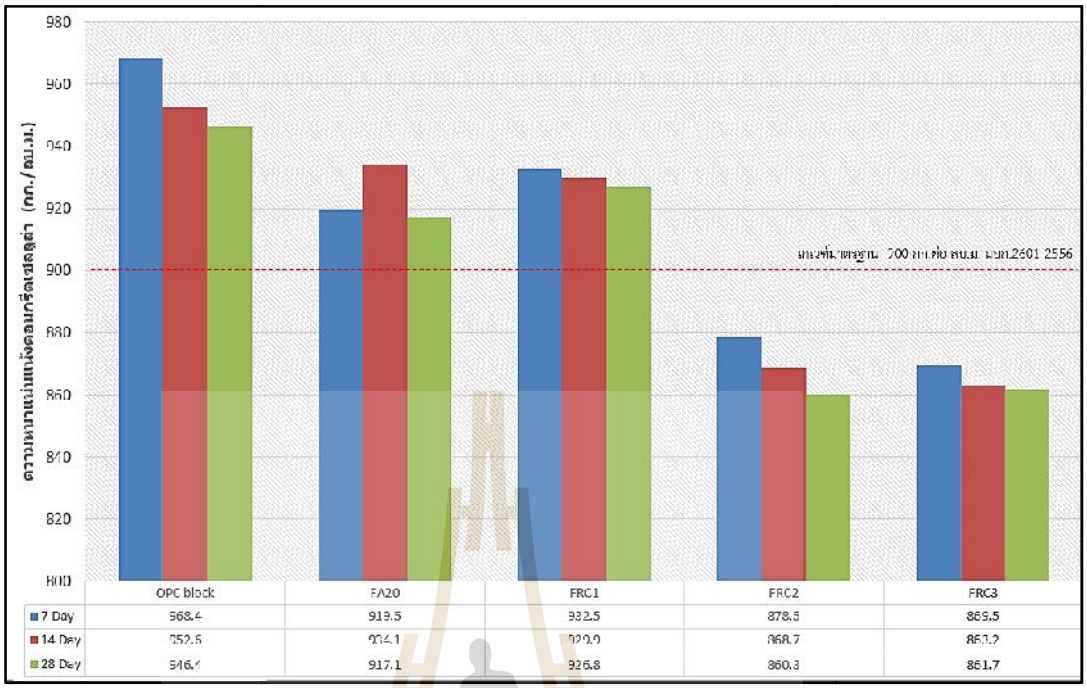


รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังอัด ผสมเส้นใยสังเคราะห์ สัดส่วนต่าง ๆ อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเซลลูล่าใน อายุที่ 7, 14 และ 28 วัน สูงขึ้นตามอายุที่ทดสอบ และสัดส่วนที่ผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC1, FRC2 และ FRC3 มีค่ากำลังอัดที่สูงกว่า คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) และมีกำลังอัดใกล้เคียงกับสัดส่วนที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20 (FA20) และสัดส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า งานวิจัย Jitchaiyaphum (2014) และเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556

4.2.2.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง

จากการทดสอบความหนาแน่นแห้งคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) นำมาผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ (FRC) น้ำหนักที่ 0.33, 0.50 และ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร FRC1, FRC2 และ FRC3 ตามลำดับ อายุการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.33 - ข.35 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.7

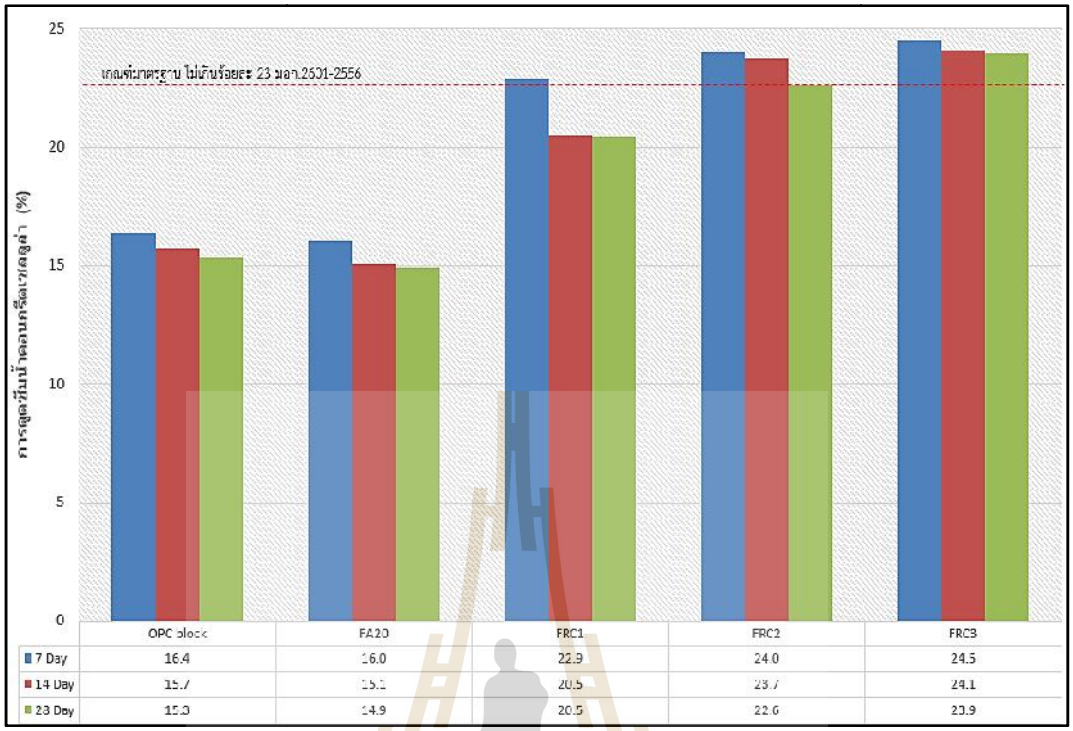


รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง ผสมเส้นใยสังเคราะห์ สัดส่วนต่าง ๆ อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.7 พบว่าการทดสอบความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าใน อายุที่ 7, 14 และ 28 วัน มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน และสัดส่วนที่ผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC1, FRC2 และ FRC3 มีค่าความหนาแน่นแห้งต่ำกว่า คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) และมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดความหนาแน่นแห้งไม่เกิน ± 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2.2.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) นำมาผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ (FRC) น้ำหนักที่ 0.33, 0.50 และ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร FRC1 ,FRC2 และ FRC3 ตามลำดับ อายุการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.36 - ข.38 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.8

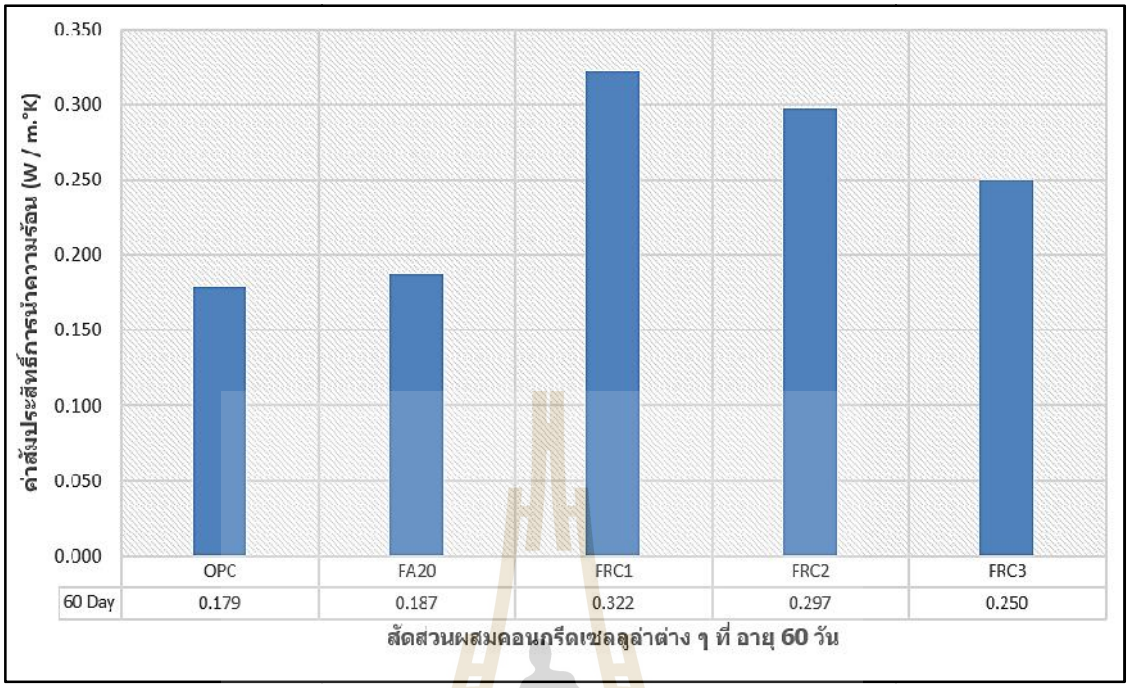


รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ผสมเส้นใยสังเคราะห์
สัดส่วนต่าง ๆ อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.8 พบว่าการทดสอบความการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่า ใน อายุที่ 7, 14 และ 28 วัน มีค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าสัดส่วนที่ผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC2 และ FRC3 และมีค่าต่ำกว่า งานวิจัย Jitchaiyaphum (2014) และเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556

4.2.2.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

จากการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสม ที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) นำมาผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ (FRC) น้ำหนักที่ 0.33, 0.50 และ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร FRC1, FRC2 และ FRC3 ตามลำดับ อายุการทดสอบที่ 60 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.39 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.9

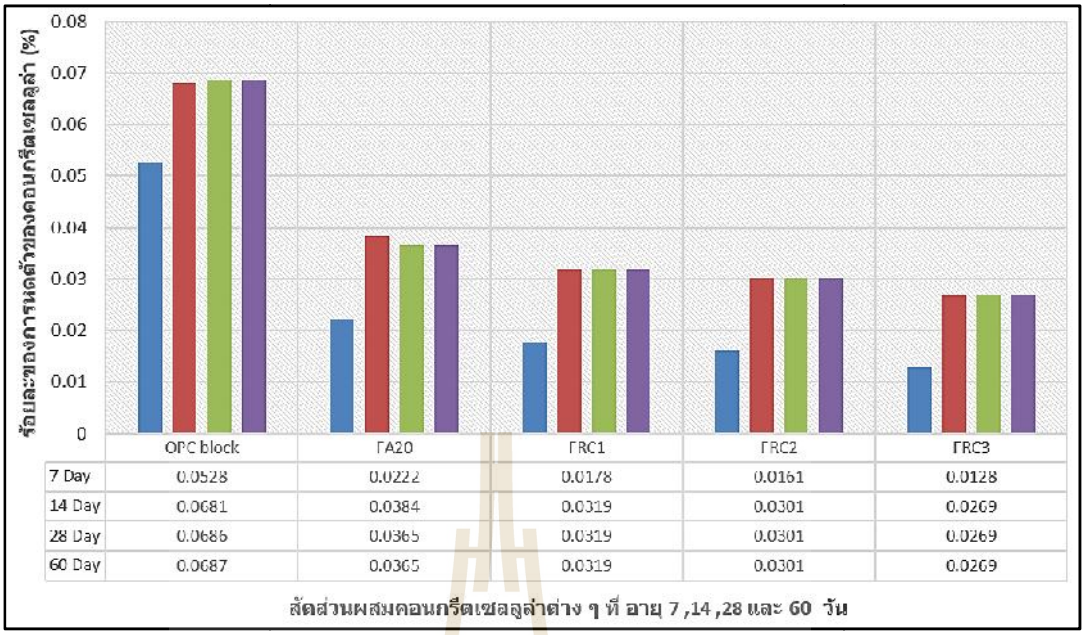


รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ผสมเส้นใยสังเคราะห์ อายุ 60 วัน

จากรูปที่ 4.9 พบว่าการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตเซลลูล่าใน คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) มีค่าการสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าสัดส่วนที่ผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC1, FRC2 และ FRC3 และ สัดส่วน FRC3 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ต่ำกว่าสัดส่วน FRC2 และ FRC1 ตามลำดับ

4.2.2.5 ผลการทดสอบการหดตัว

จากการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสมที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) นำมาผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ (FRC) น้ำหนักที่ 0.33, 0.50 และ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร FRC1, FRC2 และ FRC3 ตามลำดับ อายุการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.40 - ข.42 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.10

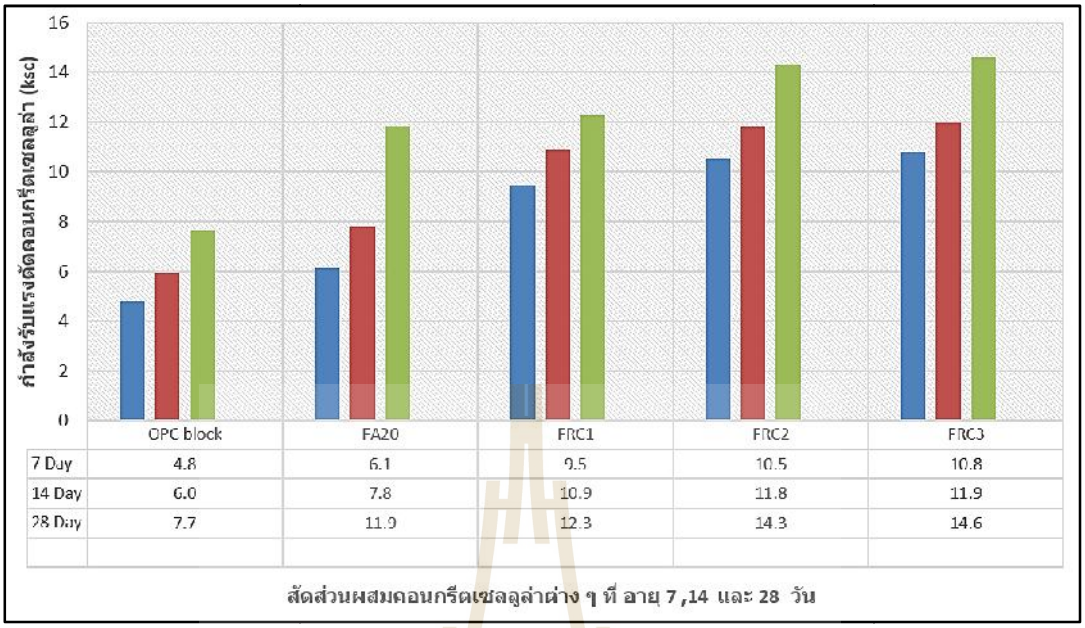


รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการหดตัว ผสมเส้นใยสังเคราะห์
สัดส่วนต่าง ๆ อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.10 การทดสอบการหดตัวแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าใน อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน พบว่า คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 (FA20) มีการหดตัวสูงกว่า สัดส่วนที่ผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC1, FRC2 และ FRC3 จะมีค่าการหดตัวที่น้อยมาก

4.2.2.6 ผลการทดสอบกำลังดัด

จากการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าของสัดส่วนผสมที่ประกอบด้วย คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) นำมาผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ (FRC) น้ำหนักที่ 0.33, 0.50 และ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร FRC1, FRC2 และ FRC3 ตามลำดับ อายุการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในภาคผนวก ข ตามตารางที่ ข.43 - ข.47 และดังแสดงดังในรูปที่ 4.11



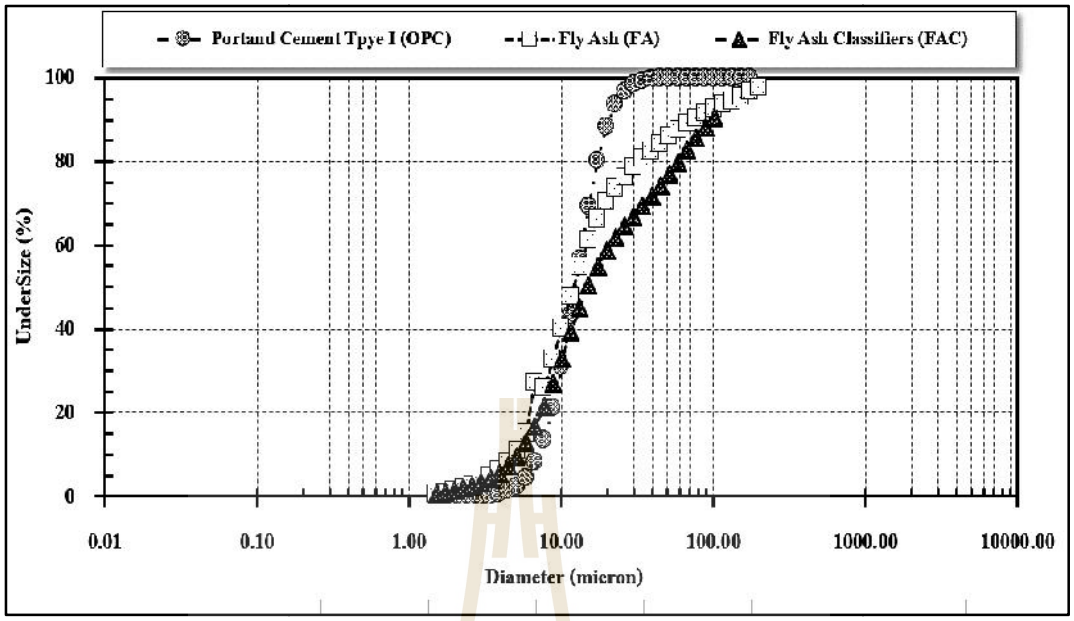
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบกำลังอัด ผสมเส้นใยสังเคราะห์
สัดส่วนต่าง ๆ อายุ 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.11 การทดสอบการกำลังอัดของคอนกรีตเซลลูล่าใน อายุ 7, 14 และ 28 วัน พบว่า คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC) มีค่ากำลังอัดน้อยกว่า สัดส่วนที่ผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC1, FRC2 และ FRC3 ส่วนคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 (FA20) มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับ สัดส่วน FRC1 และค่ากำลังอัดสัดส่วน FRC2 และ FRC3 มีค่าใกล้เคียงกับผลงานวิจัย Rasheed (2015)

4.3 ผลการทดสอบคอนกรีตเซลลูล่าระดับจุลภาค

4.3.1 การทดสอบวิเคราะห์การกระจายขนาดคละ (Particle Size Analyzer)

จากการทดสอบการกระจายขนาดคละของอนุภาค ปูนซีเมนต์ เถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) และเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง (FAC) ที่จะนำไปเป็นส่วนผสมของคอนกรีตเซลลูล่า ดังแสดงดังในรูปที่ 4.12

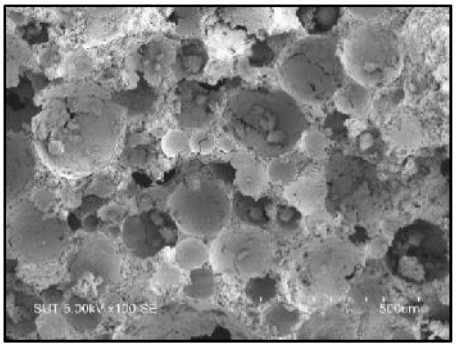


รูปที่ 4.12 การกระจายขนาดอนุภาค OPC, FA และ FAC

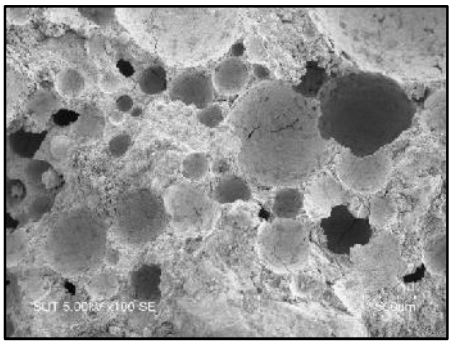
จากรูปที่ 4.12 ผลจากการทดสอบการกระจายขนาดอนุภาค ของปูนซีเมนต์ (OPC) เถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) และเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง (FAC) พบว่าขนาดกระจายตัวของอนุภาคอยู่ที่ 0.1 ถึง 100 ไมโครเมตร โดยปูนซีเมนต์มีขนาดเฉลี่ย 12.387 ไมโครเมตร เถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) มีขนาดเฉลี่ย 14.980 ไมโครเมตร และเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง (FAC) มีขนาดเฉลี่ย 12.079 ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่าขนาดอนุภาพ FAC มีขนาดเล็กกว่า ปูนซีเมนต์

4.3.2 การทดสอบวิเคราะห์การกระจายขนาดโพรงอากาศในคอนกรีตเซลลูล่า

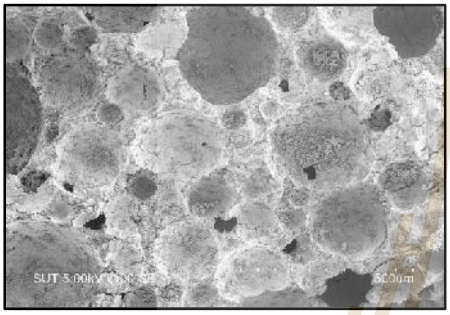
จากการทดสอบการกระจายขนาดโพรงอากาศในคอนกรีตเซลลูล่า ด้วยเครื่องถ่ายภาพขยายอนุภาคอิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ที่อายุ 28 วัน ที่ประกอบด้วยคอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10), 20 (FA20) และ 30(FA30) และคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง (FAC) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10), 20 (FAC20) และ 30(FAC30) ดังแสดงดังในรูปที่ 4.13



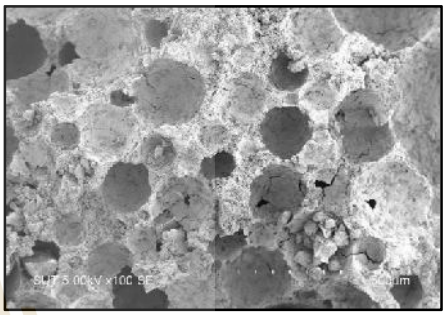
a) OPC block



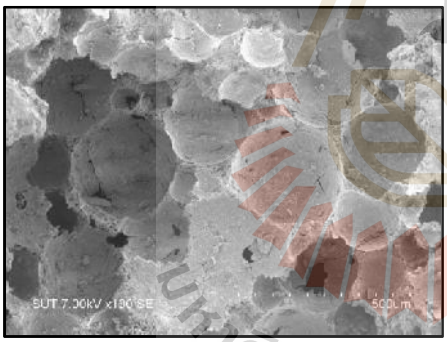
b) FA10



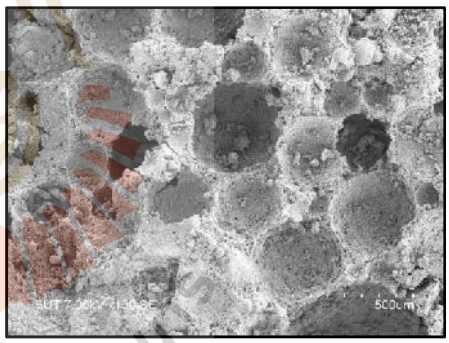
c) FA20



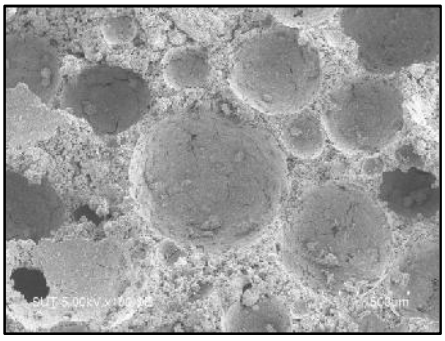
d) FA30



e) FAC10

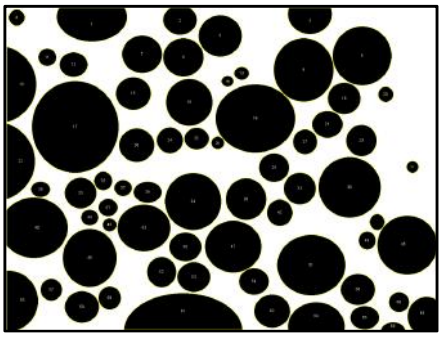


f) FAC20

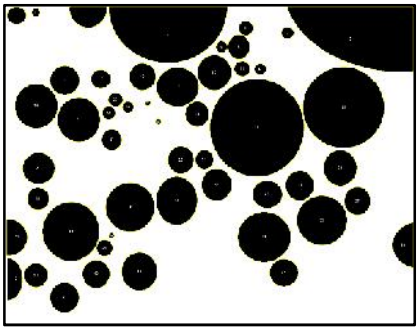


g) FAC30

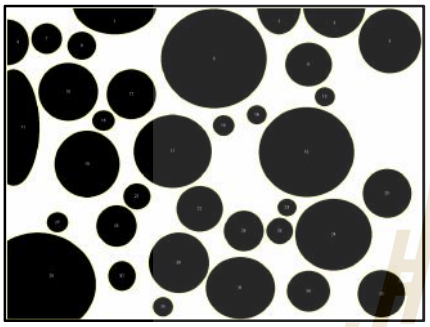
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



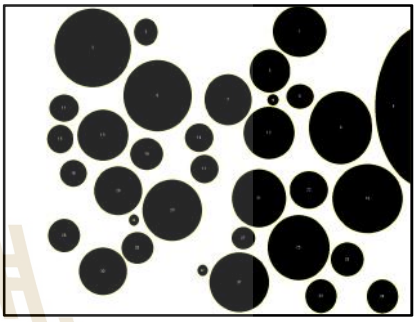
a) OPC block



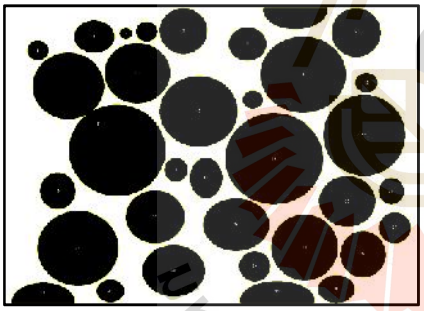
b) FA10



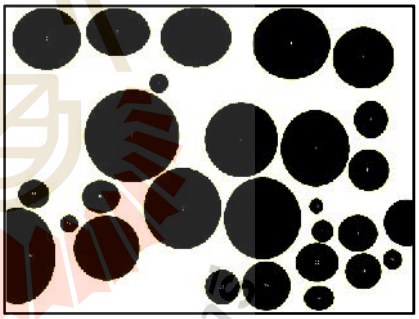
c) FA20



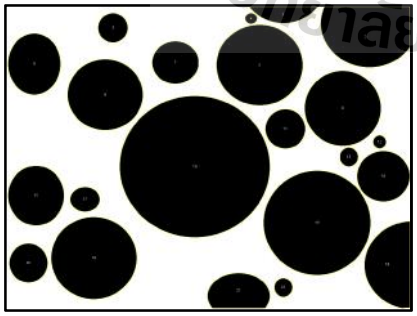
d) FA30



e) FAC10



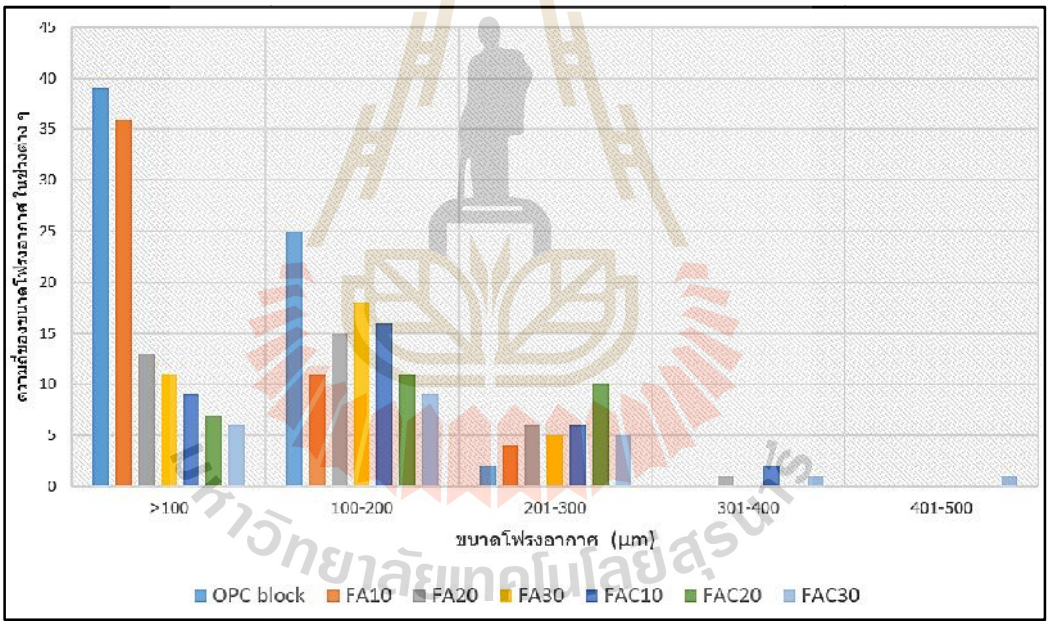
f) FAC20



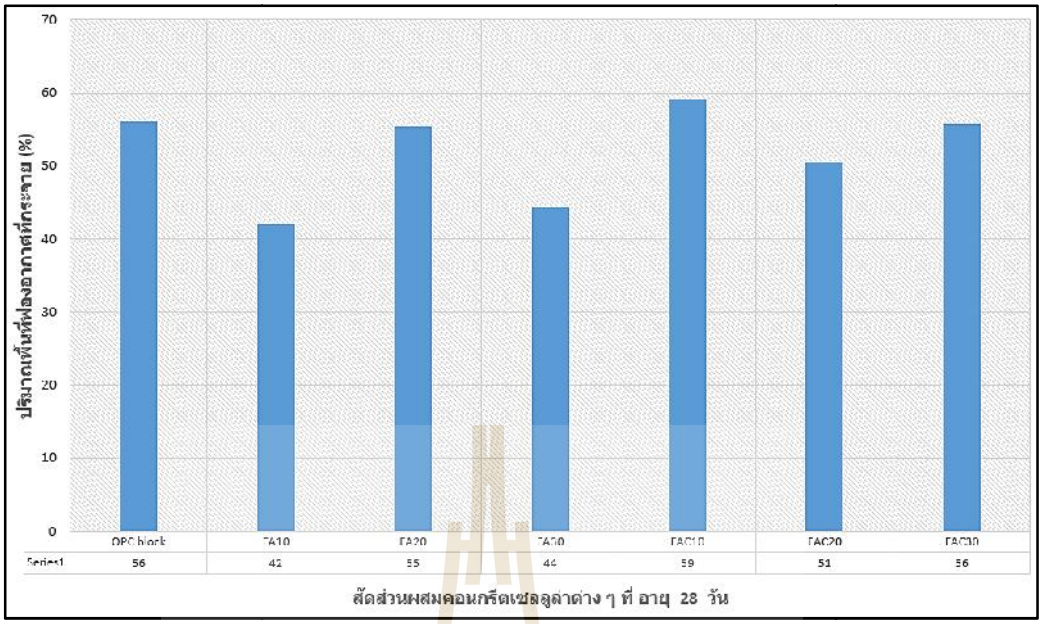
g) FAC30

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากรูปที่ 4.13 จากภาพถ่ายของ ขนาดของโพรงอากาศของคอนกรีตเซลลูล่า ตามสัดส่วนผสม ที่อายุ 28 วัน สัดส่วน OPC block, FA10, FA20, FA30, FAC10, FAC20 และ FAC30 นำมาทำการวิเคราะห์หาขนาดโพรงอากาศโดยใช้โปรแกรมImageJ เป็นโปรแกรมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยWayne Rasband และ The National Institute of Health (NIH) ประเทศสหรัฐอเมริกา โปรแกรมนี้ถูกเขียนมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลจากรูปภาพตัวอย่างเช่น การนับจำนวนเซลล์ที่ได้จากภาพถ่าย การหาพื้นที่ของวัตถุ การวัดขนาดและการคำนวณค่าเฉลี่ยทางสถิติ เป็นต้น โดยทำการวัดขนาดของอนุภาคที่ปรากฏในไฟล์รูปภาพ เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่ให้มีการดาว์นโหลดได้ฟรีและยังมีการเปิด Source code ให้มีการพัฒนาอีกด้วย ปัจจุบันได้มีการนำมาใช้มากขึ้นในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ทางผู้วิจัยได้นำภาพขนาดของโพรงอากาศดังกล่าวมาวิเคราะห์ของโปรแกรม ImageJ ดังแสดงดังในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.15 ผลการหาความถี่ขนาดโพรงอากาศ ในช่วงขนาดต่าง ๆ

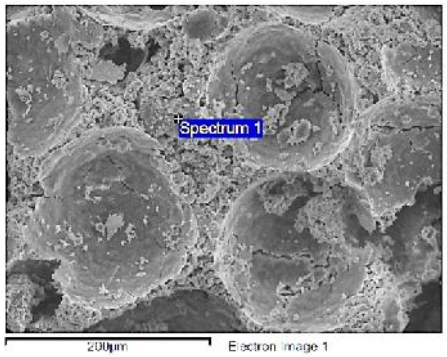


รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบการหาปริมาณพื้นที่ของขนาดโพรงอากาศ

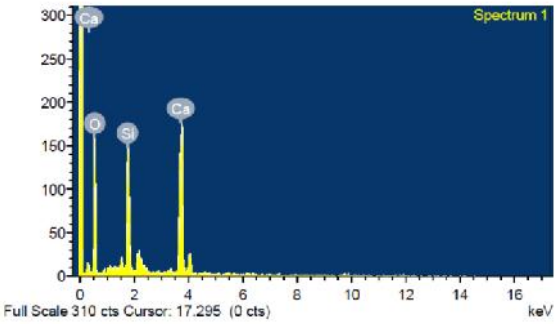
จากรูปที่ 4.15 จากกราฟพบว่า ขนาดความถี่ขนาดของโพรง สัดส่วนผสมที่ FAC10, FAC20 และ FAC30 จะมีขนาดโพรง 301-500 ไมโครเมตร เป็นส่วนประกอบส่วนสัดส่วน OPC block, FA10, FA20 และFA30 จะมีขนาดโพรงอยู่ในช่วง 100-300 ไมโครเมตร เป็นส่วนใหญ่ และจากรูปที่ 4.16 ปริมาณพื้นที่ฟองอากาศที่กระจายอยู่ในคอนกรีตเซลลูล่า ในสัดส่วนผสม FA30 จะมีพื้นที่ฟองอากาศร้อยละ 44 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วน FA20, FAC10 และ FAC30 มีพื้นที่ฟองใกล้เคียงกัน และสอดคล้องกับงานวิจัย Christina (2015)

4.3.3 การทดสอบวิเคราะห์ซีเมนต์เพสท์ที่อยู่ระหว่างโพรงอากาศ

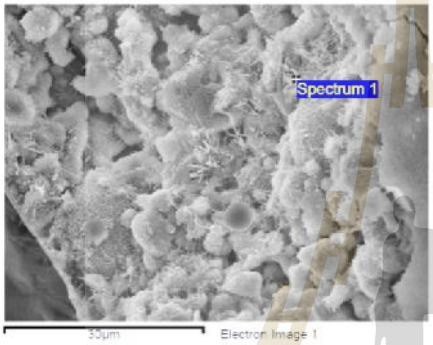
จากการนำภาพถ่ายด้วยเครื่องถ่ายภาพขยายอนุภาคอิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ที่อายุ 28 วัน และนำภาพถ่ายมาวิเคราะห์ธาตุ ด้วย EDS ตำแหน่งของจุดและพื้นที่ ของตัวอย่างต่าง ๆ ดังแสดงดังในรูปที่ 4.17 - 4.23



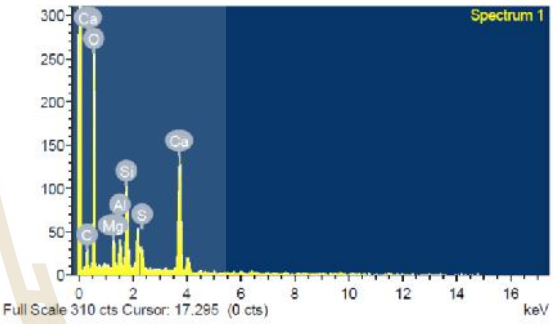
a) SEM : Pore Air



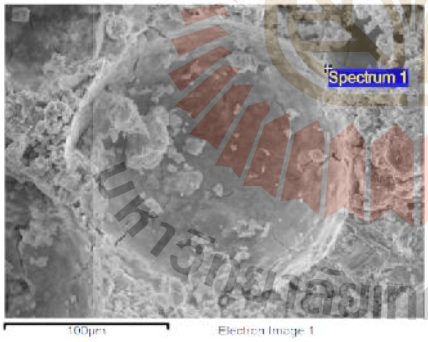
b) EDS : Pore Air



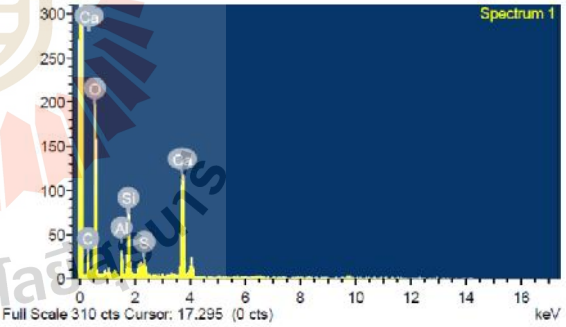
c) SME : Cement Paste



d) EDS : Cement Paste

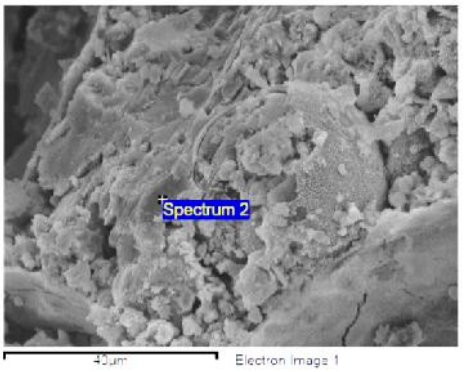


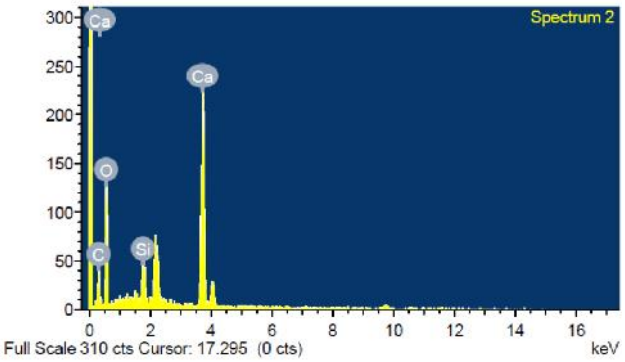
e) SME : Surface Pore Air



f) EDS : : Surface Pore Air

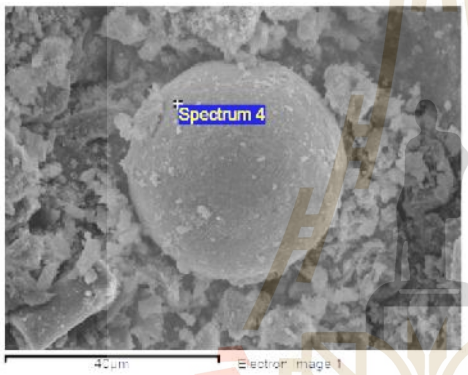
รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM ของโพรงอากาศและกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่าง คอนกรีตเซลลูล่าปกติ(OPC block) อายุ 28 วัน

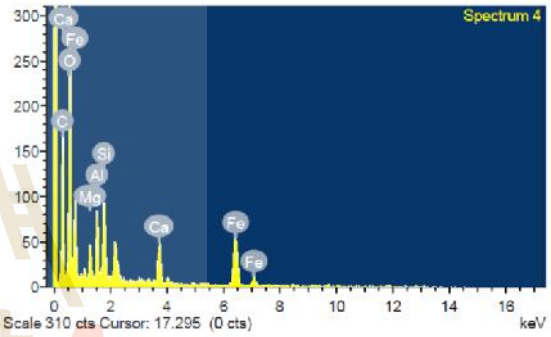




a) SEM : Cement Paste

b) EDS : Cement Paste

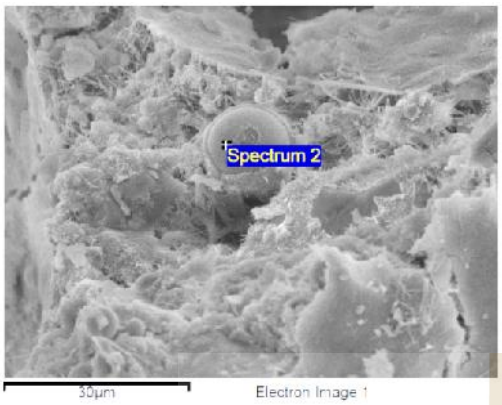




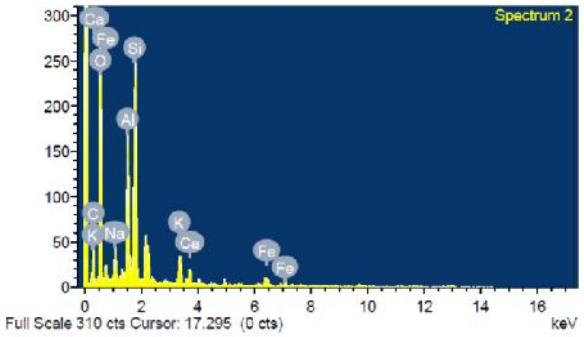
c) SME : Surface Fly ash

d) EDS : Surface Fly ash

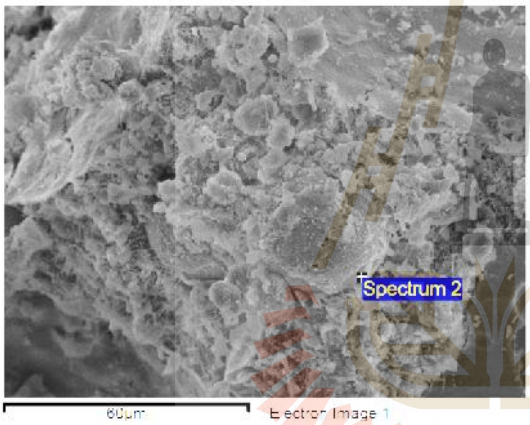
รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fly ash และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่าง คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA)แทนที่ปูนซีเมนต์ อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10)อายุ 28 วัน



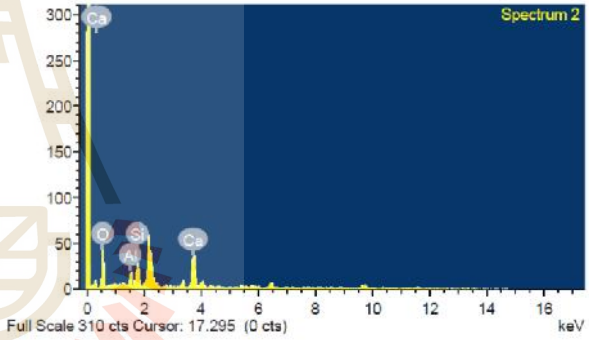
a) SEM : Cement Paste



b) EDS : Cement Paste



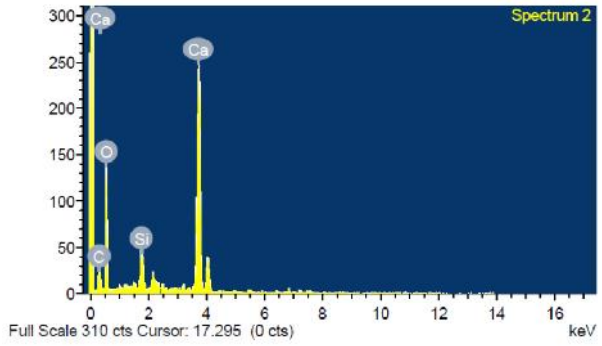
c) SME : Surface Fly ash



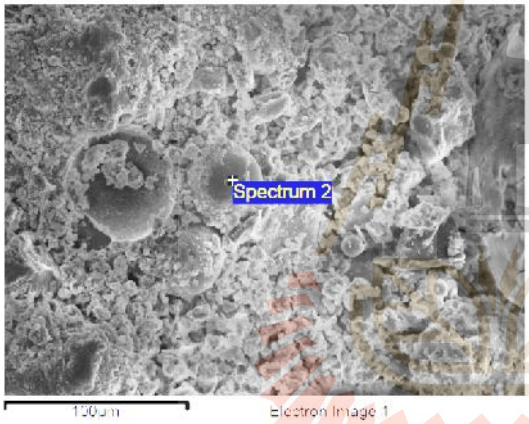
d) EDS : Surface Fly ash

รูปที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fly ash และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่าง คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์ อัตราส่วนร้อยละ 20 (FA20)อายุ 28 วัน

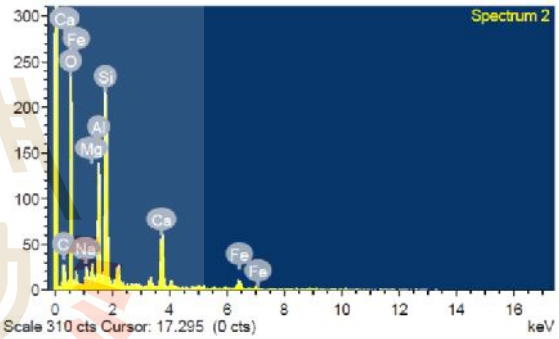
a) SEM : Cement Paste



b) EDS : Cement Paste



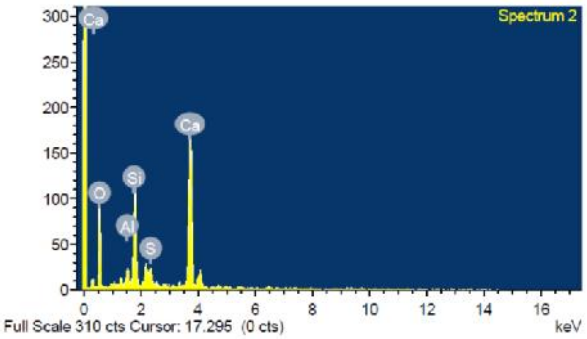
c) SEM : Surface Fly ash



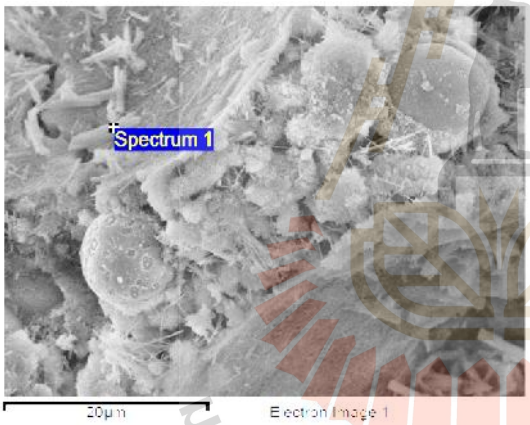
d) EDS : Surface Fly ash

รูปที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fly ash และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่าง คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์ อัตราส่วนร้อยละ 30 (FA30) อายุ 28 วัน

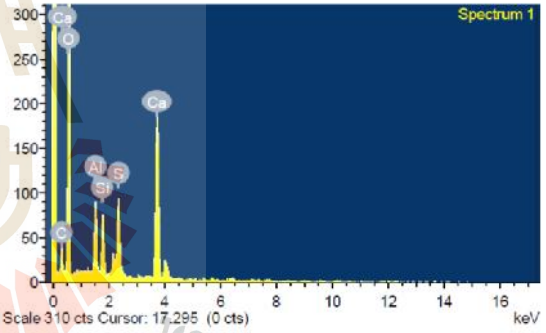
a) SEM : Cement Paste



b) EDS : Cement Paste



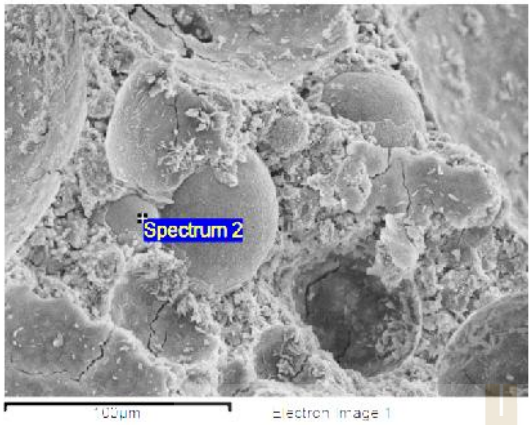
c) SEM : Surface Fly ash



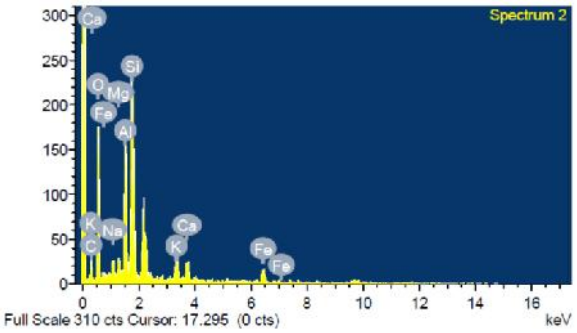
d) EDS : Surface Fly ash

รูปที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fly ash และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่าง คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง (FAC) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FAC10)

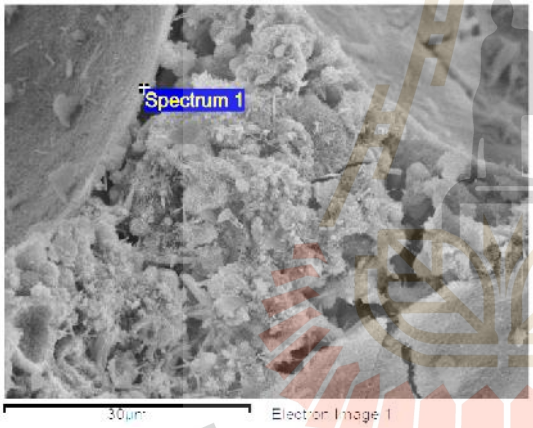
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



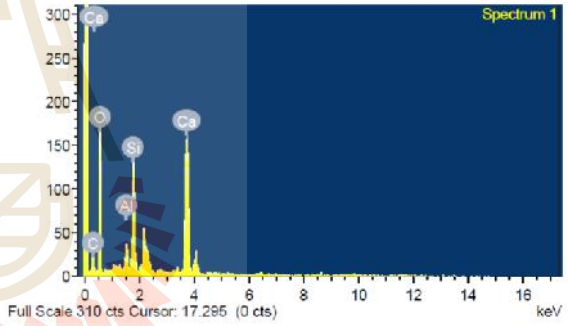
a) SEM : Cement Paste



b) EDS : Cement Paste

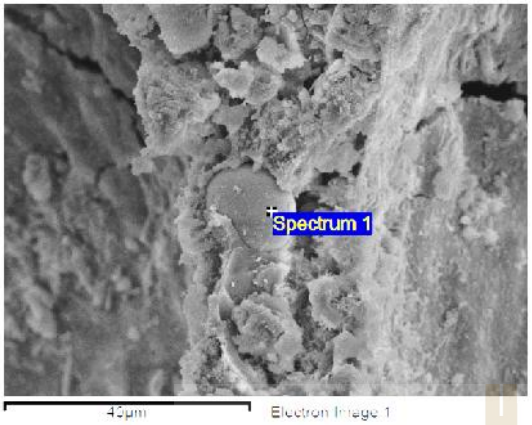


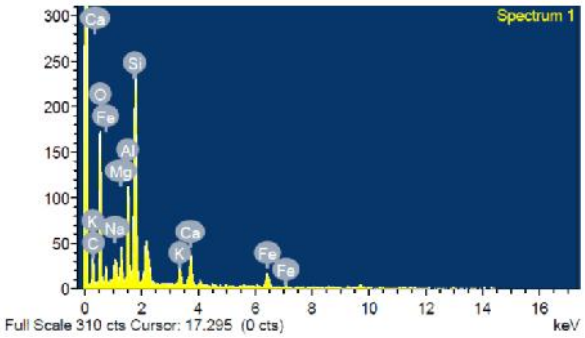
c) SME : Surface Fly ash



d) EDS : Surface Fly ash

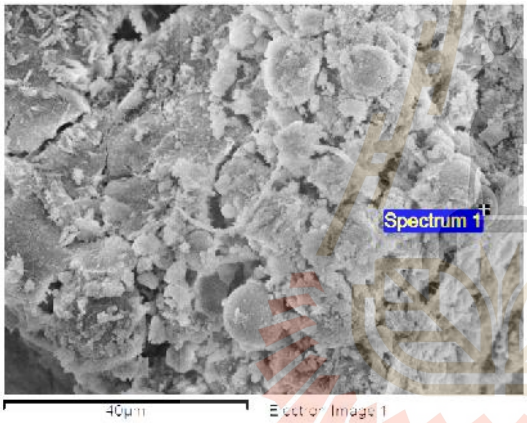
รูปที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fly ash และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่างคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20 (FAC20)

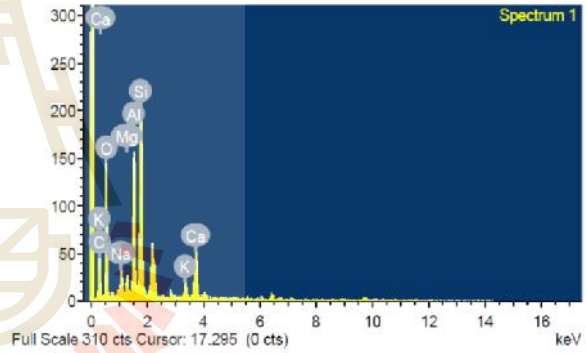




a) SEM : Cement Paste

b) EDS : Cement Paste



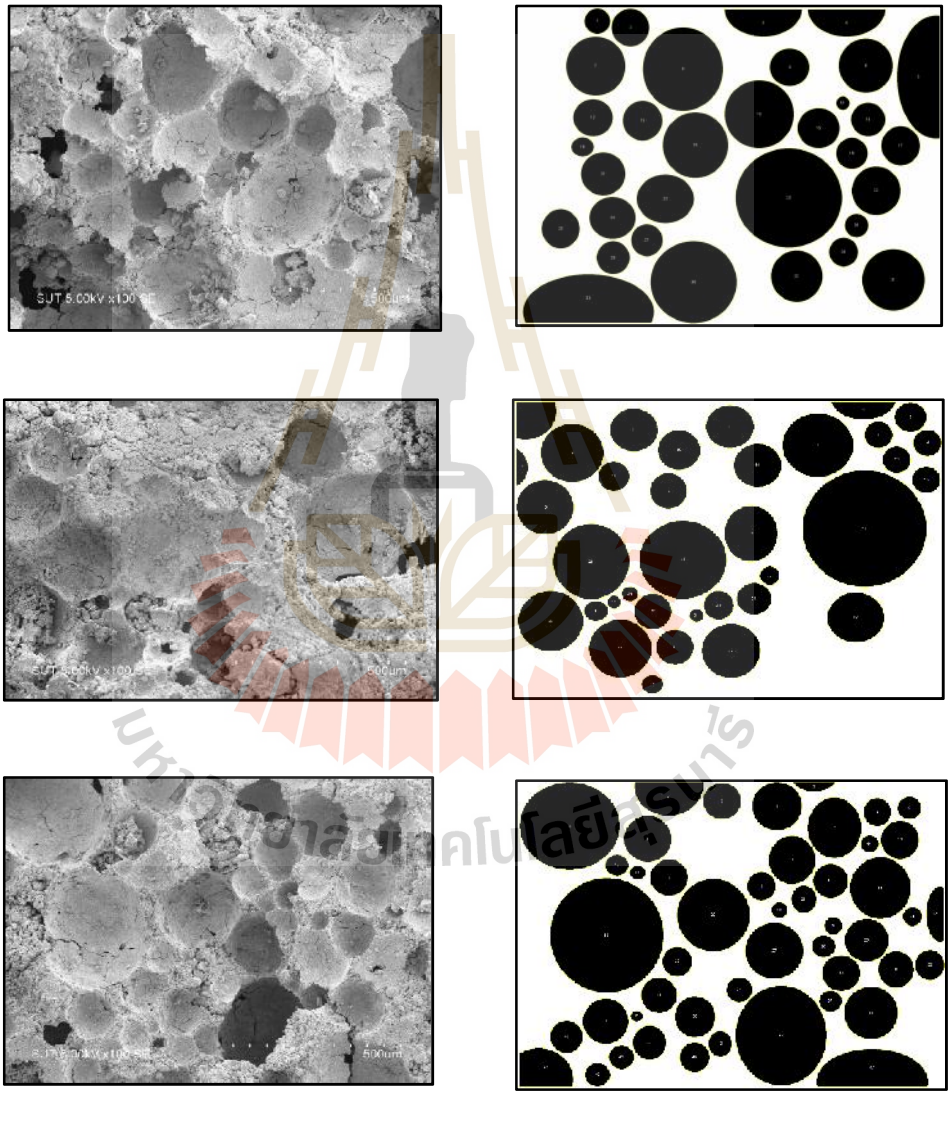


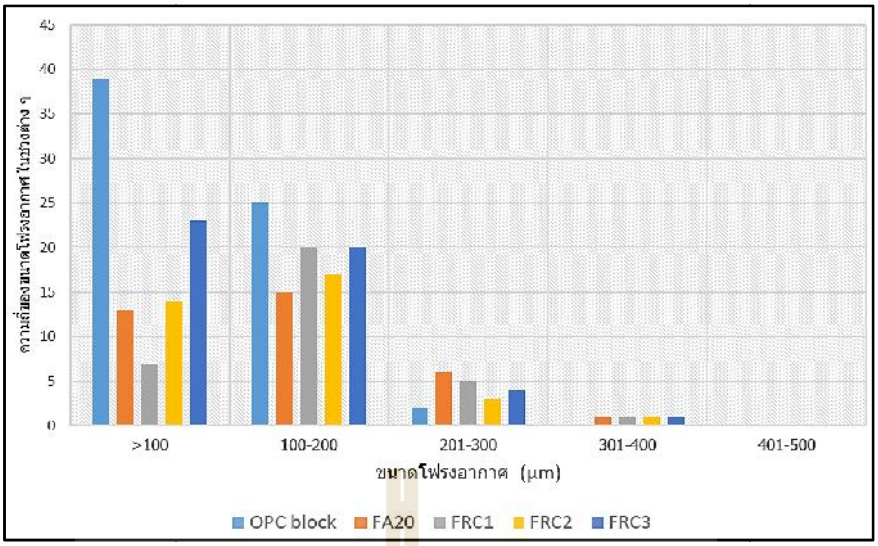
c) SME : Surface Fly ash

d) EDS : Surface Fly ash

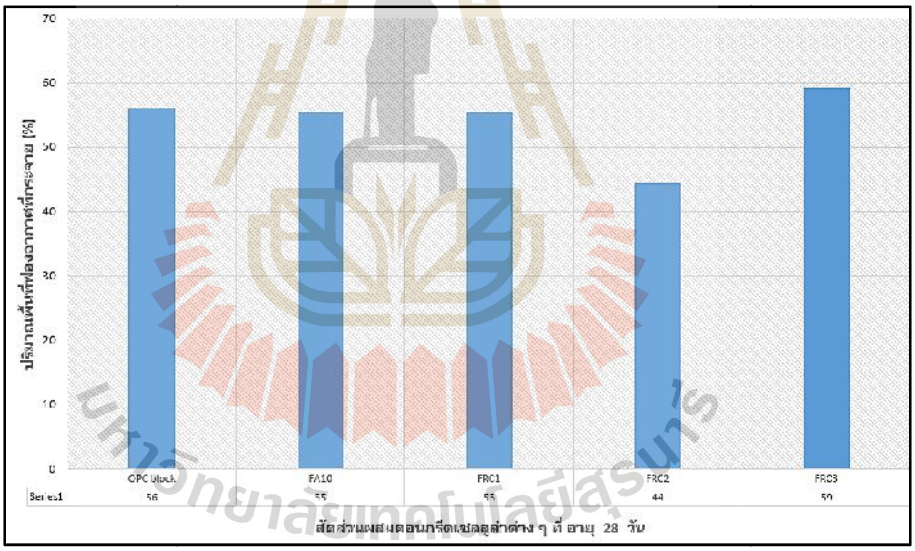
รูปที่ 4.23 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fly ash และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่างคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 30 (FAC30)

จากรูปที่ 4.17 - 4.23 พบว่ารอบ ๆ ของโพรงอากาศในคอนกรีตเซลลูล่าแต่ละสัดส่วนผสมมีซีเมนต์มอร์ต้า กระจายอยู่ระหว่างโพรงอากาศ และส่วนใหญ่มีธาตุที่เป็นแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนส่วนที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป มีขนาดรูปร่างทรงกลมที่มีขนาดใหญ่กว่าผลึกปูนซีเมนต์ แทรกอยู่ตามซีเมนต์มอร์ต้า จากภาพถ่าย SEM พบผลึกปูนซีเมนต์กับเถ้าถ่านหินทั่วไปยึดเกาะกันแน่นไม่มีช่องว่างระหว่างผลึก และผสมเถ้าถ่านหินที่ปรับปรุง มีขนาดรูปร่างเป็นทรง





รูปที่ 4.25 ผลการหาความถี่ขนาดโพรงอากาศ ผสมเส้นใยสังเคราะห์

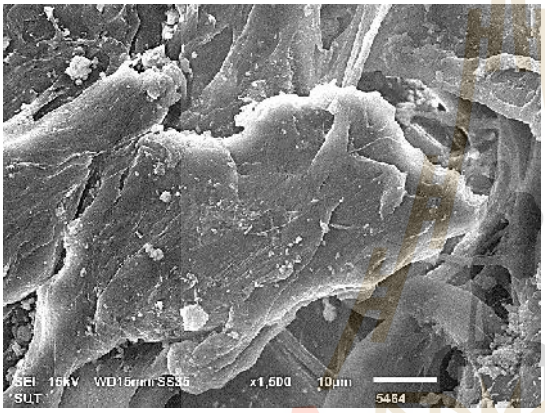


รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบการหาปริมาณพื้นที่ของขนาดโพรงอากาศ ผสมเส้นใยสังเคราะห์

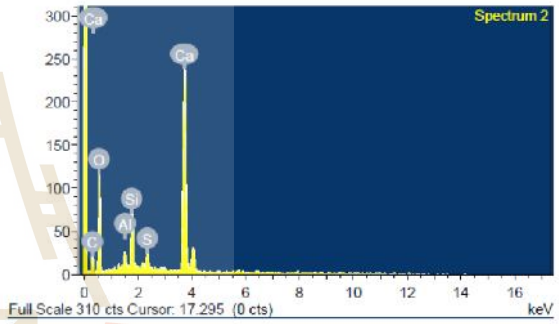
จากรูปที่ 4.25 จากกราฟพบว่า ขนาดความถี่ขนาดของโพรงสัดส่วนผสมที่ FRC1, FRC2 และ FRC3 จะมีขนาดโพรง 100 - 300 ไมโครเมตร เป็นส่วนใหญ่ และใกล้เคียงกับขนาดโพรงสัดส่วน OPC และ FA20 และจากรูปที่ 4.26 ปริมาณพื้นที่ฟองอากาศที่กระจายอยู่ในคอนกรีตเซลลูล่า ในสัดส่วนผสม FRC3 จะมีพื้นที่ฟองอากาศร้อยละ 59 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับสัดส่วนผสม OPC block และ FA20

4.3.5 การทดสอบวิเคราะห์ซีเมนต์มอร์ต้าที่อยู่ระหว่างโพรงอากาศ ที่มีการผสมเส้นใยสังเคราะห์

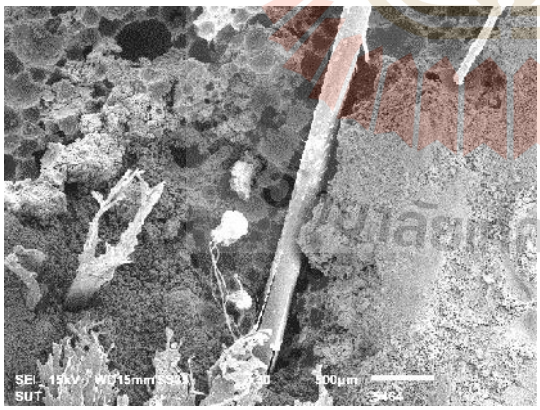
จากการนำภาพถ่ายด้วยเครื่องถ่ายภาพขยายอนุภาคอิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ที่อายุ 28 วัน และนำภาพถ่ายมาวิเคราะห์ธาตุที่แตกต่างกันโดยการตรวจจับสัญญาณเอกซ์เรย์ (EDS) ตาม ตำแหน่งของ จุดและพื้นที่ ของตัวอย่างคอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20(FA20) และและผสมกับเส้นใยสังเคราะห์(FRC) น้ำหนักที่ 0.33, 0.50 และ 0.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร FRC1, FRC2 และ FRC3 ตามลำดับ ดังแสดงดังในรูปที่ 4.27 – 4.29



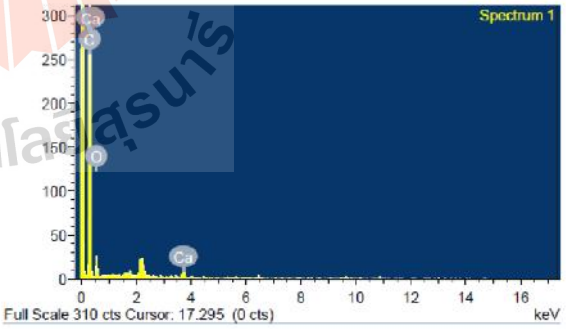
a) SEM : Cement Paste



b) EDS : Cement Paste

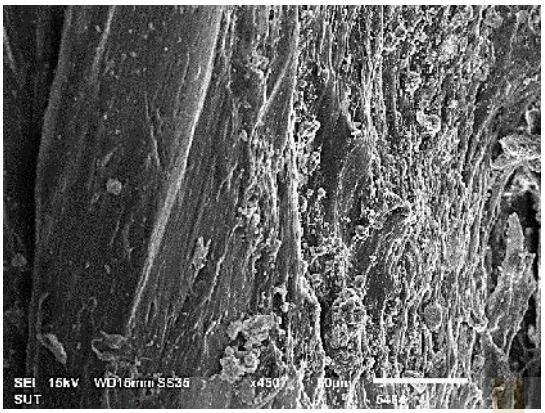


c) SME : Surface Fiber

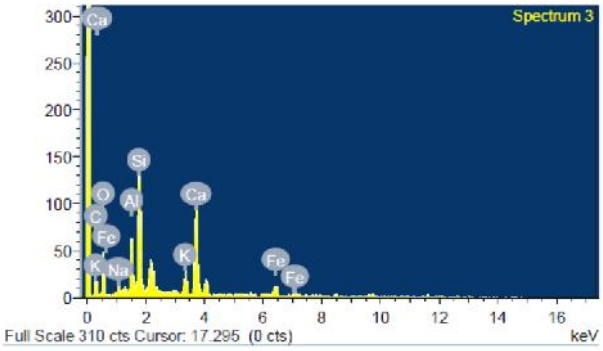


d) EDS : Surface Fiber

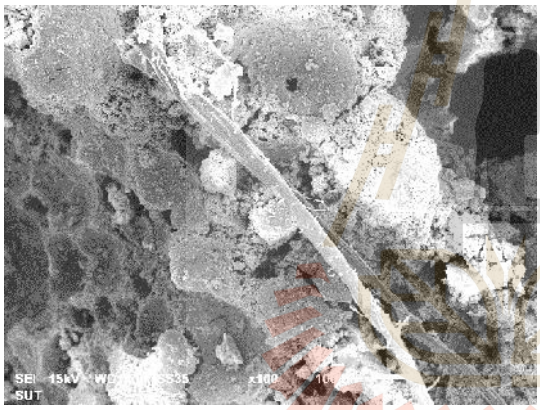
รูปที่ 4.27 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fiber และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่าง คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไปแทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20 (FA20) และผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC1



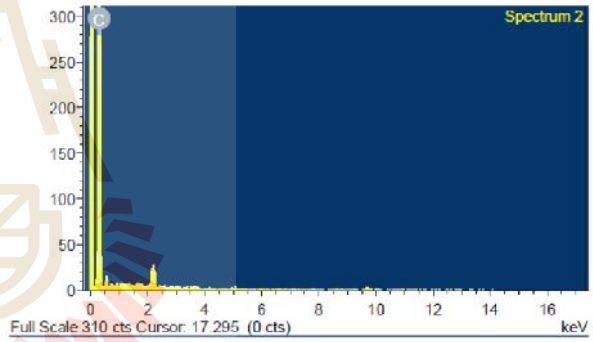
a) SEM : Cement Paste



b) EDS : Cement Paste



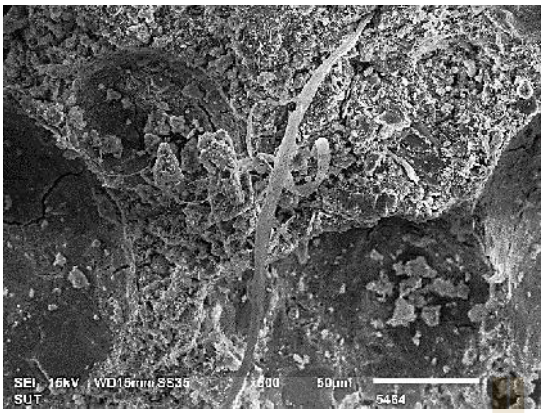
c) SEM : Surface Fiber



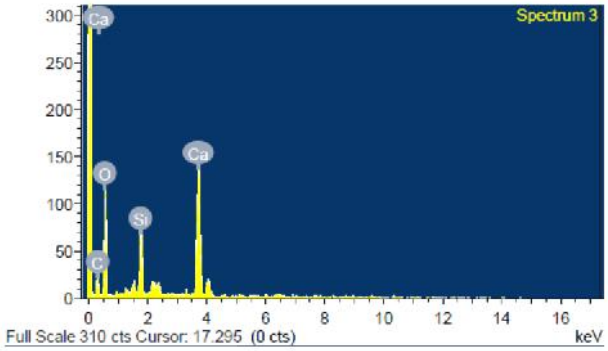
d) EDS : Surface Fiber

รูปที่ 4.28 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fiber และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่าง คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไปแทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20 (FA20) และผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC2

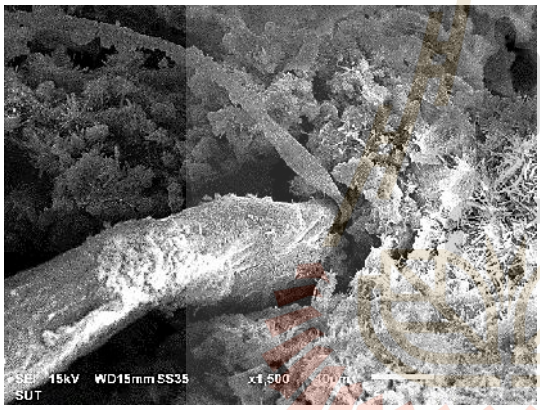
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



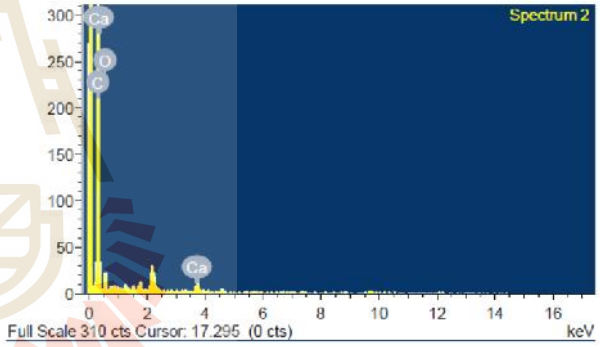
a) SEM : Cement Paste



b) EDS : Cement Paste



c) SEM : Surface Fiber



d) EDS : Surface Fiber

รูปที่ 4.29 ภาพถ่าย SEM ของผิวของ Fiber และกราฟวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS ของตัวอย่าง คอนกรีตเซลลูล่าที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไปแทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20 (FA20) และผสมเส้นใยสังเคราะห์ FRC3

จากรูปที่ 4.27 - 4.29 พบว่ารอบ ๆ ของโพรงอากาศในคอนกรีตเซลลูล่าแต่ละสัดส่วนผสมจะมีซีเมนต์เพสต์ และเส้นใยสังเคราะห์กระจายอยู่ระหว่างโพรงอากาศ ส่วนใหญ่จะมีธาตุที่เป็นแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนเส้นใยสังเคราะห์จะมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก การแทรกของเส้นใยสังเคราะห์จะแทรกระหว่างโพรงอากาศในซีเมนต์

เพสท์ จะไม่ทำลายการกระจายตัวของโพรงอากาศที่แทรกอยู่ในคอนกรีตเซลลูล่าสอดคล้องกับงานวิจัย Christina (2015)

4.3.6 การทดสอบวิเคราะห์ขนาดโพรงอากาศและปริมาณพื้นที่ฟองอากาศในคอนกรีตเซลลูล่า

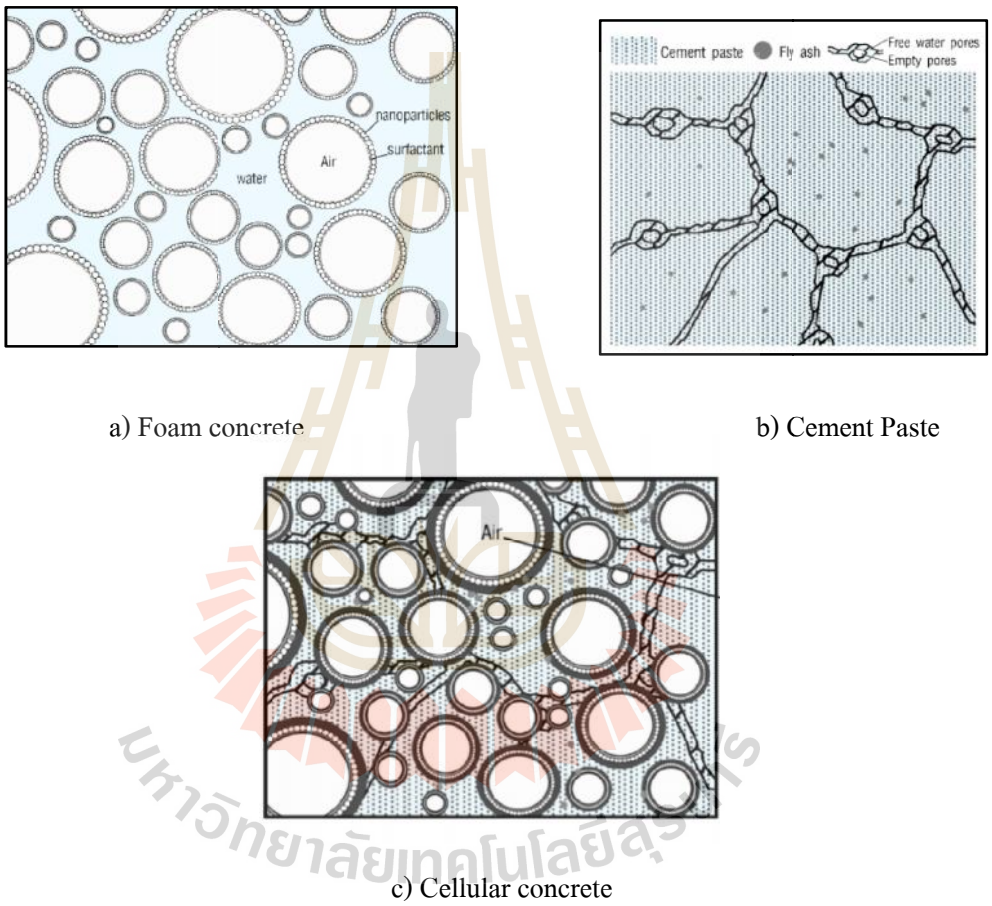
ขนาดของโพรงอากาศที่กระจายอยู่ในสัดส่วน ผสมที่ FAC10 ,FAC20 และ FAC30 มีขนาดโพรง 301-500 ไมโครเมตร ส่วนสัดส่วน OPC ,FA10 ,FA20 และFA30 มีขนาดโพรงอยู่ในช่วง 100-300 ไมโครเมตร และสัดส่วน FRC1 ,FRC2 และ FRC3 มีขนาดโพรงอยู่ในช่วง 100-300 ไมโครเมตร เป็นส่วนใหญ่ ใกล้เคียงกับ OPC และ FA20 จากขนาดโพรงจะส่งผลถึงกำลังอัด และคุณสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ACI523.3R-93 แนะนำให้ขนาดโฟรงอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 200 ไมโครเมตร และจากผลการทดสอบในช่วงที่หนึ่ง การรับแรงอัด FA30 , FA20 , FRC2 มีความสามารถการรับแรงอัดได้สูง และมีขนาดโพรงอากาศอยู่ในช่วง 100-300 ไมโครเมตร สอดคล้องกับมาตรฐานที่แนะนำ

ปริมาณพื้นที่ฟองอากาศที่กระจายอยู่ในคอนกรีตเซลลูล่า ในสัดส่วนผสม FA30 จะมีพื้นที่ฟองอากาศร้อยละ 44 สัดส่วน OPC, FA20, FAC10, FAC20, FAC30, FRC1, FRC2 และ FRC3 มีพื้นที่ฟองอากาศร้อยละ 55 – 59 จากการออกแบบสัดส่วนผสมตามมาตรฐาน ACI 523.3R-14 แนะนำให้มีปริมาณฟองอากาศ (Air Bubble) ที่ผสมในคอนกรีตเซลลูล่าอยู่ที่ร้อยละ 55 ของปริมาตร ทางผู้วิจัยได้นำภาพ SEM ขนาดของโพรงอากาศของสัดส่วนผสมดังกล่าวมาวิเคราะห์ของโปรแกรม ImageJ เพื่อคำนวณพื้นที่พบว่าสัดส่วน FA20, FRC2 มีความสามารถรับแรงอัดได้สูง และมีความหนาแน่นแห้งที่สอดคล้องกับปริมาณพื้นที่ฟองอากาศ กับมาตรฐานที่แนะนำ ดังแสดงดังในรูปที่ 5.1 a)

4.3.7 การทดสอบวิเคราะห์โพรงอากาศในคอนกรีตเซลลูล่า

โพรงอากาศในคอนกรีตเซลลูล่าแต่ละสัดส่วนผสมจะมีซีเมนต์มอร์ต้า กระจายอยู่ระหว่างโพรงอากาศ และส่วนใหญ่จะมีธาตุที่เป็นแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนผสม FA10, FA20 และ FA30 ที่ผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป จะมีขนาดรูปร่างเถ้าถ่านหินเป็นทรงกลมที่มีขนาดใหญ่กว่าผลึกปูนซีเมนต์ แทรกอยู่ตามซีเมนต์มอร์ต้า จากภาพถ่าย SEM จะพบว่าผลึกปูนซีเมนต์กับเถ้าถ่านหินทั่วไปยึดเกาะกันแน่นไม่มีช่องว่างระหว่างผลึก ส่งผลให้สามารถรับแรงอัดมีค่าสูงสอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพ ส่วนส่วนผสม FAC10, FAC20 และ FAC30 ที่ผสมเถ้าถ่านหินที่ปรับปรุง จะมีขนาดรูปร่างเถ้าถ่านหินเป็นทรงกลมที่มีขนาดใกล้เคียงกับผลึกปูนซีเมนต์ แทรกอยู่ตามซีเมนต์มอร์ต้า จากภาพถ่าย SEM จะพบผลึกปูนซีเมนต์กับเถ้าถ่านหินทั่วไปยึดเกาะกันอย่างหลวม ๆ มีช่องว่างระหว่างผลึก ส่งผลให้รับแรงอัดมีค่าต่ำสอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพ ส่วน

เส้นใยสังเคราะห์กระจายอยู่ระหว่างโพรงอากาศ ส่วนใหญ่จะมีธาตุที่เป็นแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนเส้นใยสังเคราะห์จะมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก การแทรกของเส้นใยสังเคราะห์จะแทรกระหว่างโพรงอากาศในซีเมนต์มอร์ต้า จะไม่ทำลายการกระจายตัวของโพรงอากาศที่แทรกอยู่ในคอนกรีตเซลลูล่า ส่งผลให้รับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น และสามารถรับแรงดัดได้ดีกว่า OPC, FA20 ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงดังในรูปที่ 4.30 c)



a) Foam concrete

b) Cement Paste

c) Cellular concrete

รูปที่ 4.30 ภาพจำลอง อนุภาคโครงสร้างคอนกรีตเซลลูล่า

a) ภาพจำลองโครงสร้างฟองอากาศ b) ภาพจำลองโพรงอากาศที่อยู่ในซีเมนต์เพส

c) ภาพจำลองและขยายโครงสร้างฟองอากาศที่แทรกอยู่ในซีเมนต์เพส

ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตเซลลูล่าจะมีการดูดซึมน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ เนื่องจากอนุภาพโครงสร้างของฟองอากาศ จะไปแทรกขวางทางการดูดซึมน้ำ และความร้อนที่เดินทางผ่านทางช่องว่างอากาศภายในซีเมนต์เพลส ทำให้คอนกรีตเซลลูล่าจึงมีคุณสมบัติที่เรียกว่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) การพัฒนาสารสร้างฟองอากาศ ในสถานประกอบการได้ใช้สารสร้างฟองอากาศนำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงไปด้วย การจะพัฒนากำลังอัด-ดัด ของคอนกรีตเซลลูล่า น้ำยาสร้างฟองอากาศเป็นสิ่งที่สำคัญ งานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาพัฒนาน้ำยาสร้างฟองอากาศให้มีความคงทน แข็งแรง การยุบตัวต่ำ ใช้วัตถุดิบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จนกระทั้งได้พัฒนาโดยใช้วัตถุดิบจากพืช มาสกัดเป็นสารสร้างฟองอากาศ และได้จดเป็นความลับทางการค้าน้ำยาสร้างฟองอากาศ SUT V2 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นำไปใช้ในสถานประกอบการทำให้ต้นทุนต่ำลง และฟองอากาศมีความแข็งแรง คุณสมบัติตามมาตรฐานกำหนด

3) การพัฒนาโปรแกรมออกแบบสัดส่วนผสม MixDesign ของคอนกรีตเซลลูล่า ถือว่าเป็นเรื่องที่ต่อเนื่อง สอดคล้องกับการพัฒนาเครื่องมือ สารสร้างฟองอากาศ การออกแบบสัดส่วนของผู้ประกอบการที่ผ่านมา ไม่มีโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบ จากงานวิจัยนี้ ให้ความสำคัญจัดรายการคำนวณสัดส่วนผสม การออกแบบสัดส่วนผสมจะออกแบบไปตามความหนาแน่นที่ต้องการ ตามมาตรฐานที่กำหนด และง่ายต่อการใช้งาน เพื่อที่จะนำการออกแบบสัดส่วนผสมนำไปใช้ในงานอื่น ๆ ต่อไป และได้จดเป็นความลับทางการค้า โปรแกรมออกแบบสัดส่วนผสม MixDesign SUT V4.1 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พร้อมได้นำโปรแกรมไปใช้ในการกำหนดสัดส่วนผสมในสถานประกอบการ และได้จัดทำตารางสรุปความหนาแน่นต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้าง ดังตารางที่ 4.1 และผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเซลลูล่าตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 เพื่อเตรียมยื่นขอมาตรฐานอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนผสมตามความหนาแน่นต่าง ๆ ที่นำไปใช้ในงานก่อสร้าง

ความหนาแน่น (kg/m^3)	ซีเมนต์ (kg)	เถ้าลอย (kg)	ทราย (kg)	น้ำ (kg)	ฟองโฟม (sec)	การนำไปใช้งาน
1600	382		1047	155	149	ผนังสำเร็จรูป
1400	388		834	158	186	ผนังสำเร็จรูป
1200	396		617	163	223	ผนังสำเร็จรูป
1100	402		507	166	241	เคาน์เตอร์ครัว/อิฐ
1000	326	82	320	169	259	อิฐมวลเบา
900	333	84	225	174	276	อิฐมวลเบา
800	342	86	128	180	294	หลังคา
700	354	89	27	189	310	หลังคา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเพื่อศึกษาและพัฒนาการนำวัสดุผสม เถ้าถ่านหินทั่วไป-ปรับปรุง และเส้นใยสังเคราะห์ มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตเซลลูล่า เพื่อจะลดปัญหาการแตกร้าว การเพิ่มความแข็งแรง ของสถานประกอบการเพื่อนำไปใช้แก้ปัญหาในเชิงพาณิชย์ ของคอนกรีตเซลลูล่าปกติทั่วไปกับคอนกรีตเซลลูล่าที่มีส่วนผสมเส้นใยสังเคราะห์และเถ้าถ่านหินทั่วไป-ปรับปรุง และพัฒนาสัดส่วน คุณภาพ คอนกรีตเซลลูล่าให้ได้ตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหหกรรม คอนกรีตบล็อคมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ เลขที่ 2601 - 2556

การพัฒนากำลังคอนกรีตเซลลูล่าโดยใช้ เถ้าถ่านหิน และเส้นใยสังเคราะห์ นำมาเป็นส่วนผสมในงานวิจัย ได้มีการทดสอบกายภาพแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงที่หนึ่ง เปรียบเทียบเถ้าถ่านหินทั่วไปกับเถ้าถ่านหินที่นำมาปรับปรุง แล้วนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนส่วนต่างๆ โดยทดสอบการรับแรงอัด ความหนาแน่นแห้ง การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน การหดตัว แล้วเลือกสัดส่วนที่คุณสมบัติเหมาะสมที่สุดมาใช้ในช่วงต่อไป ช่วงที่สอง นำสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากช่วงที่หนึ่ง มาผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ ตามสัดส่วนต่าง ๆ แล้วนำมาทดสอบ การรับแรงอัด ความหนาแน่นแห้ง การดูดซึมน้ำ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน การหดตัว และการรับแรงดัด จากผลการทดสอบทั้ง 2 ช่วง ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ทางจุลภาค โดยการทดสอบ SEM, EDS และ Particle Size เพื่อมาวิเคราะห์สนับสนุนเหตุผลทางการทดสอบทางกายภาพ และเปรียบเทียบกับ กับเกณฑ์ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2601-2556 จากผลการศึกษาสรุปผลมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพคอนกรีตเซลลูล่า

จากผลการทดสอบช่วงแรก เพื่อหาสัดส่วนที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติดีที่สุดของคอนกรีตเซลลูล่าที่กำหนดความหนาแน่นแห้ง 900 กก.ต่อ ลบ.ม. โดยได้นำเถ้าถ่านหินทั่วไป (FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FA10), 20 (FA20) และ 30 (FA30) และเถ้าถ่านหินที่มีการปรับปรุง(FAC)แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 10 (FRC10), 20(FAC20) และ 30(FAC30) พบว่า การแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) มีกำลังอัด การทดสอบความหนาแน่นแห้ง การดูดซึมน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และการหดตัวแห้งที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า เถ้าถ่านหิน

ที่มีการปรับปรุง (FAC) เมื่อมาพิจารณาเฉพาะส่วนผสมเถ้าถ่านหินทั่วไป(FA) แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 20 (FA20) มีสมบัติดีที่สุด สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601 - 2556 และเมื่อนำ FA20 ไปผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ในอัตราสัดส่วนต่าง ๆ พบว่า FRC2 มีค่ากำลังอัด ค่ากำลังดัด ที่สูงกว่า คอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block) และเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2601-2556 กำหนด

5.2 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางจุลภาคคอนกรีตเซลลูล่า

ขนาดของโพรงอากาศที่กระจายอยู่ในคอนกรีตเซลลูล่าที่มีกำลังอัดที่สูง การดูดซึมน้ำต่ำ ความหนาแน่นแห้ง สัดส่วนผสม FA20 และ FRC2 มีขนาดโพรงอยู่ในช่วง 100-300 ไมโครเมตร และพื้นที่ฟองอากาศที่กระจายอยู่ร้อยละ 55-59 เป็นส่วนใหญ่ สัมพันธ์กับงานวิจัยที่ผ่านมา และสอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM

จากการสรุปผลสมบัติทางกายภาพและจุลภาคของคอนกรีตเซลลูล่า มีผลที่สอดคล้องกันทั้งในด้านผลการทดสอบและงานวิจัยที่ผ่านมา สัดส่วนผสม FA20, FRC2 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่นำไปใช้เชิงพาณิชย์และแก้ปัญหาของผู้ประกอบการ เพิ่มกำลังอัด ลดการแตกร้าว และผลการทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601 - 2556

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนากำลังคอนกรีตเซลลูล่าด้วยการผสมเถ้าถ่านหิน และเส้นใยสังเคราะห์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ผู้ทำวิจัย หวังว่างานวิจัยนี้คงมีประโยชน์แก่ผู้ที่อ่านศึกษา และมีข้อเสนอแนะให้ผู้ที่สนใจศึกษาดังนี้

1) เปรียบเทียบเส้นใยสังเคราะห์ ธรรมชาติ และชนิดอื่น ๆ ที่ผสมในคอนกรีตเซลลูล่า
2) ศึกษา เปรียบเทียบประสิทธิภาพความแข็งแรงของฟองอากาศที่ผลิตจาก พืช สัตว์
3) ศึกษาการนำเถ้าถ่านหินจากแหล่งอื่น มาแทนที่ปูนซีเมนต์
4) ศึกษาและเปรียบเทียบอุณหภูมิตามความหนาแน่นต่าง ๆ ของคอนกรีตเซลลูล่า
5) ศึกษาวิเคราะห์ความแข็งแรงของ ซีเมนต์มอร์ต้าที่อยู่รอบ ๆ ฟองอากาศ
6) เปรียบเทียบ วิเคราะห์ ขนาดฟองอากาศ ในแต่ละความหนาแน่นด้วย ซินโครตรอน

รายการอ้างอิง

คำภี จิตชัยภูมิ (2557).การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า ผสมเถ้าลอย ซีโอไลต์ธรรมชาติ และนาโนซิลิก้า. **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**.

ปัณฑ์ ปานถาวร (2560). เส้นใยสังเคราะห์ในงานคอนกรีต (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2560. จาก : http://cpacacademy.com/index.php?tpid=0131

ปิติ สุคนธสุขกุล (2555). **คอนกรีตพิเศษ.**ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.

ธนภร ทวีวุฒิ(2558) . กำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า. **วารสาร-วิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.** ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน : หน้าที่ 91-102

ธีรราช ลีกีรติกุล(2543) .การใช้เถ้าถ่านหินแยกละเอียดทดแทนซิลิกาฟูมในการทำคอนกรีตกำลังสูง. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วสท.** ปีที่ 11, ฉบับที่ 4, : หน้าที่ 22-28

มนัส อนุศิริ (2549). **ทฤษฎีและการปฏิบัติการทดสอบวัสดุในงานวิศวกรรมโยธา.** ซีเอ็ดยูเคชั่น. กรุงเทพฯ.

มอก. 2601-2556. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมอากาศ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2556.

วินิต ช่อวิเชียร (2544). **เทคโนโลยีคอนกรีต.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพฯ.

อภัย ชาภิรมย์ (2560). การศึกษาผลกระทบอัตราการหมุนของใบกวนเครื่องผสมมวลเบาเซลลูล่า. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 12. 15 – 17 กุมภาพันธ์ 2560 โรงแรมเดอะรีเจ้นท์ ชะอำบีช จังหวัดเพชรบุรี.

ACI 523.3R-2014. Cellular Concretes above 50 lb/ft^3 (800 kg/m^3). **American Concrete Institute Publication. :** P1-16.

ASTM C90-96, Standard specification for loadbearing concrete masonry units. **Annual Book of ASTM Standard**, 04.05, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

ASTM C140-96, Standard test method of sampling and testing concrete masonry units. **Annual Book of ASTM Standard**, 04.05,American Society for Testing Materials,Philadelphia.

ASTM C143-96, Standard test method for slump of hydraulic cement concrete. **Annual Book of ASTM Standard**, 04.02,American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

ASTM C1019-89a, Standard test method of sampling and testing grout. **Annual Book of ASTM Standard**, 04.05, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

ASTM E447-92b, Standard test method for compressive strength of masonry prisms . **Annual Book of ASTM Standard**,04.05, American Society for Testing and Materials, Philadelphia

ASTM C618-2001. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete. **Annual Book of ASTM Standards.** Vol. 04.02 (Philadelphia): 310–313.

ASTM C642-97. Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. **Annual Book of ASTM Standards.** Vol. 04.02 (Philadelphia).

ASTM C796-2004. Standard test method for foaming agents for use in producing cellular concrete using preformed foam. **Annual book of ASTM standards.** Vol. 04.02 (Philadelphia): 144.

ASTM C869-99. Standard specification for foaming agents used in making preformed foam for cellular concrete. **Annual Book of ASTM Standards.** Vol. 04.02 (Philadelphia).

ASTM C1012-2012. Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution. **Annual Book of ASTM Standards.** Vol. 04.02 (Philadelphia).

Aliabdo (2014). Utilization of crushed clay brick in cellular concrete production . **Alexandria Engineering Journal.** 53(2014): 119-130.

Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., and Sinsiri, T. (2005). Effect of fly ash fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste. **Cement and Concrete Composites.** 27(4): 425–428.

Christina Kramer , Matthias Schauerte (2015).Three-phase-foams for foam concrete application. **Materials Characterization.** 102(2015): 173–179.

Just, A., and Middendorf, B. (2009). Microstructure of high-strength foam concrete. **Materials Characterization.** 60(7): 741–748.

Ichkawa (2003). Prediction of moisture migration and pore pressure build-up in concrete at high temperatures . **Nuclear Engineering and Design**. 228(2004): 245-259

Jitchaiyaphum (2011). Cellular Lightweight Concrete Containing Pozzolan Materials. **Procedia Engineering.** 14(2011): 1157-1164.

Soumini (2015). An Overview of Cellular Lightweight Concrete. **International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology (IJARTET).** March(2015): 194-197.

Maheshkumar (2014). Experimental Study On Foam Concrete. **International Journal of Civil Structural Environmental and Infrastructural Engineering Research and Development (IJCSEIERD).** 4(2014): 145-158.

Mohammad Abdur Rasheed (2015). Mechanical behavior of sustainable hybrid-synthetic fiber reinforced cellular light weight concrete for structural applications of masonry. **Construction and Building Materials**. 98(2015): 631-640.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

- มาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตเซลลูล่า มอก.2601-2556
- ตัวอย่างการคำนวณการออกแบบสัดส่วนผสมต่าง ๆ (Mix Design)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มาตรฐานการทดสอบ มอก.2601-2556
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดรายละเอียดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศสำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนัก

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ดังต่อไปนี้

2.1 คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “คอนกรีตบล็อกมวลเบา” หมายถึง คอนกรีตบล็อกที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขนาดเดียวกัน มีฟองอากาศเล็กๆ แทรกกระจายใน เนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ฟองอากาศเกิดจากการใช้สารก่อฟอง ที่ขอบด้านข้างอาจทำเป็นร่อง ผิวหน้าอาจทำเป็นผิวรอยหวี หรือผิวร่องเหมาะสำหรับใช้ก่อผนัง

2.2 ผิวรอยหวี (Combed finish) หมายถึง ผิวหน้าของคอนกรีตมวลเบาซึ่งทำเป็นรอยขูดหรอแนวที่ค่อนข้างขนานกัน

2.3 ผิวร่อง (Scared finish) หมายถึง ผิวหน้าของคอนกรีตมวลเบาซึ่งทำเป็นร่อง

3. ชนิด

3.1 คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งออกเป็น 8ชนิด ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา (ข้อ3.1)

ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ย (kg/m^3)
C6	501 ถึง 600
C7	601 ถึง 700
C8	701 ถึง 800
C9	801 ถึง 900
C10	901 ถึง 1000
C12	1001 ถึง 1200
C14	1201 ถึง 1400
C16	1401 ถึง 1600

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ขนาดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาให้เป็นไปตามตารางที่ 2 โดยความสูงคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน $\pm$4 mm ความยาวคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน $\pm$5 mm และความหนาคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน $\pm$3 mm การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 10.1

ตารางที่ 2 ขนาดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา (ข้อ4.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความสูง	ความยาว	ความหนา
200	300 400 500 600	ให้เป็นไปตามที่ผู้ทำระบุไว้ที่ฉลาก

5. วัสดุและการทำ

5.1 วัสดุ

5.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตาม มอก.15 เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ

5.1.2 มวลผสมต้องเป็นวัสดุซิลิกา หรือทรายควอตซ์ หรือตะกรันจากเตาถลุงแบบพ่นลม หรือเถ้าถ่านหินหรือวัสดุอื่นใดที่ไม่มีสาร เช่น โคลน ฝุ่น สารอินทรีย์ ในปริมาณที่อาจเป็นผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

5.1.3 สารก่อฟอง ต้องเป็นวัสดุทำให้เกิดฟองอากาศที่มีความเสถียร และควบคุมเวลาแข็งตัว โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

5.1.4 สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต (ถ้ามี)ต้องเป็นสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตตาม มอก.733

5.2 การทำ

คอนกรีตบล็อกมวลเบาต้องทำโดยผสมส่วนผสมตามที่ระบุในข้อ 5.1.1 และข้อ 5.1.2 เข้าด้วยกันอย่างสม่ำเสมอจากนั้นเติมน้ำจำนวนที่เหมาะสม สารก่อฟอง และสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต (ถ้ามี)ให้มีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอ แล้วเทลงในแบบ

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องไม่แตก ไม่ร้าว ไม่บิดเบี้ยว ไม่แอ่นตัว และไม่มีตำหนิที่เป็นผลเสียต่อการใช้งาน การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

6.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.2 แล้ว คอนกรีตบล็อกมวลเบาต้องมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยตามตารางที่ 1 โดยคอนกรีตบล็อกมวลเบาแต่ละก้อนจะมีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไม่เกิน $\pm$ 50 kg/m^3

6.3 ความต้านแรงอัด

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.3 แล้ว คอนกรีตบล็อกมวลเบาต้องมีความต้านแรงอัดที่อายุ 28d เป็นไปตาม ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา (ข้อ6.3)

ชนิด	ความต้านแรงอัด ไม่น้อยกว่า MP (kg/cm^2)
C6	2.0 (20.4)
C7	
C8	
C9	2.5 (25.5)
C10	
C12	
C14	5.0 (51.0)
C16	

6.4 อัตราการดูดซึมน้ำ

เมื่อทดสอบตามข้อ 10.4 แล้ว อัตราการดูดซึมน้ำต้องเป็นไปตามตารางที่ 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบา (ข้อ 6.4)

ชนิด	อัตราการดูดซึมน้ำ ไม่มากกว่า % (เศษส่วนโดยมวล)
C6	25
C7	
C8	
C9	23
C10	
C12	
C14	20
C16	

7. การบรรจุ

7.1 เมื่อจะนำคอนกรีตบล็อกมวลเบาออกจำหน่าย ผู้ทำต้องจัดเรียงคอนกรีตบล็อกมวลเบาบนแผงรองรับที่ เหมาะสม มีการป้องกันขอบไม่ให้แตกบิ่นเสียหายต่อการใช้งานทั้งในการเก็บรักษาและขนส่ง

8. เครื่องหมายและฉลาก

8.1 ที่คอนกรีตบล็อกมวลเบาทุกๆ 50 ก้อน อย่างน้อยต้องมี เลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย และชัดเจน

1) ชนิด

2) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

8.2 ที่ภาชนะบรรจุคอนกรีตบล็อกมวลเบา อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้

1) ชนิด

2) ความยาว ความกว้าง ความหนา เป็นมิลลิเมตร

3) เดือน ปีที่ทำ

4) จำนวนที่บรรจุในหีบห่อ

5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

8.3 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศด้วย ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

10. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

10.1 ขนาด

10.1.1 เครื่องมือ

10.1.1.1 เครื่องวัดที่วัดละเอียดถึง 1 mm

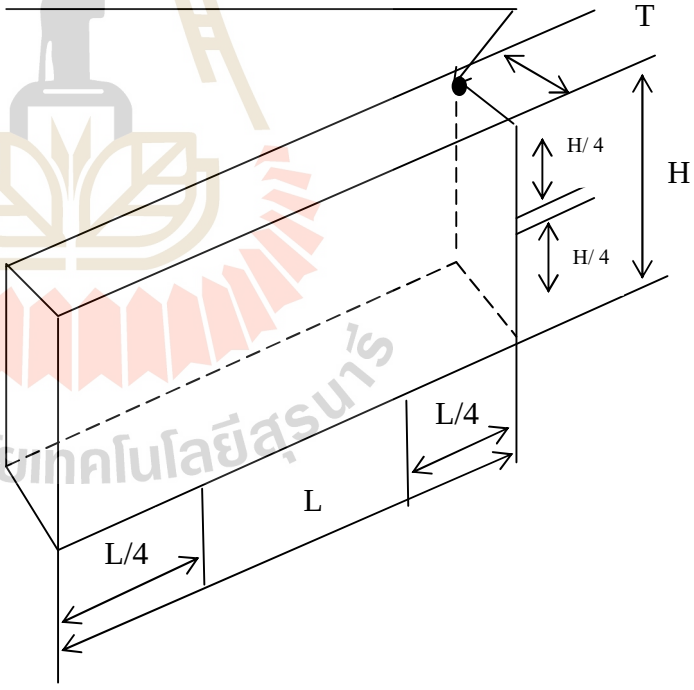
10.1.1.2 เวอร์เนียร์ที่วัดได้ถึง 200 mm

10.2 วิธีทดสอบ

10.2.1 ความกว้างและความยาว

ใช้เครื่องวัดตามข้อ 10.1.1 วัดความกว้างและความยาวของตัวอย่าง โดยวัดที่ตำแหน่ง ห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของด้านนั้น ๆ ดูรูปที่ 1

ตำแหน่งวัดความสูง ความยาว และความหนา



เมื่อ H คือ ความสูง
L คือ ความยาว
T คือ ความหนา

10.2.2 ความหนา

ใช้เวอร์เนียร์วัดความหนาของตัวอย่างที่ตำแหน่งห่างจากขอบด้านยาวของตัวอย่างเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความยาว ดูในรูปที่ 1

10.2.3 การรายงานผล

ให้รายงาน ค่าความสูง ความยาว และความหนาของตัวอย่างแต่ละก้อน

10.3 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

10.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

หล่อชิ้นทดสอบให้มีขนาด 150 mm x 150 mm x 150 mm โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน $\pm$ 1mm

10.3.2 เครื่องมือ

10.3.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1mm

10.3.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 g

10.3.2.3 ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ (105$\pm$5) ^{0}C

10.3.3 วิธีทดสอบ

ให้วัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบที่อุณหภูมิ (105$\pm$5) ^{0}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

10.3.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ยจากสูตร

$$d = \frac{m}{v}$$

เมื่อ d คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

m คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ เป็นกิโลกรัม

v คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ เป็นลูกบาศก์เมตร

10.4 ความต้านแรงอัด

10.4.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

หล่อชิ้นทดสอบให้มีขนาด 150 mm x 150 mm x 150 mm โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน $\pm$1 mm

10.4.2 เครื่องมือ

10.4.2.1 เครื่องวัดได้ละเอียดถึง 1 mm

10.4.2.2 เครื่องกดที่อ่านได้ละเอียดถึง 100N และสามารถควบคุมอัตราเพิ่มแรงอัดได้ระหว่าง 0.05 ถึง 0.20N/mm^2/s

10.4.3 วิธีทดสอบ

10.4.3.1 ให้กดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุใน มอก.109 จนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหาย

10.5 อัตราการดูดซึมน้ำ

10.5.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

หล่อชิ้นทดสอบให้มีขนาด 150mm x 150mm x 150mm โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน $\pm$1 mm

10.5.2 เครื่องมือ

10.5.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1mm

10.5.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1g

10.5.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ (105$\pm$5) ^{0}C

10.5.3 วิธีทดสอบ

10.5.3.1 อบชิ้นทดสอบในตู้อบให้แห้งจนได้มวลคงที่ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24h ที่อุณหภูมิ (105$\pm$5) ^{0}C ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4h

10.5.3.2 แช่ชิ้นทดสอบตามข้อ 10.4.3.1 ในน้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24h แล้วยกออก ใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ด ที่ผิวทีละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 min มวลที่ชั่งได้นี้ถือเป็นมวลชิ้นทดสอบเมื่อเปียก กรณีชิ้นทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 4 ให้ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ 10.4.3.1 โดยใช้ชิ้นทดสอบเดิมกับน้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง

10.5.4 วิธีคำนวณและการรายงานผล

10.5.4.1 การคำนวณหาอัตราการดูดซึมน้ำ

$$A = \frac{(m_2 - m_1) \times 100}{m_1}$$

เมื่อ A คือ อัตราการดูดซึมน้ำ เป็นร้อยละ (เศษส่วนโดยมวล)

m_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง เป็นกรัม

m_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบเมื่อเปียก เป็นกรัม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

MIX DESIGN OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE Version 4.1

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ สินศิริ และนายอภัย ชาภิรมย์

สัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่าทั่วไป (OPC block)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

MIX DESIGN OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE Version 4.1

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ สินศิริ และนายอภัย ชาภิรมย์

สัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่าผสมเถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FA20)

MIX DESIGN OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE Versio

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ สินศิริ และนายอภัย ชาภิรมย์

สัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่าผสมเถ้าถ่านหินและเส้นใยสังเคราะห์ FRC2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

- ตารางผลการทดสอบต่าง ๆ ของคอนกรีตเซลลูล่า ตารางที่ ข.1 - ข.47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าธรรมดา (OPC block) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าธรรมดา (OPC block)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.52	2456.68			10.92
2	15	15	15	3.48	2415.90			
3	15	15	15	3.57	2497.45			
4	15	15	15	3.65		5616.72		20.06
5	15	15	15	3.56		4108.05		
6	15	15	15	3.53		3812.44		
7	15	15	15	3.65			7054.03	27.23
8	15	15	15	3.54			5524.97	
9	15	15	15	3.49			5800.20	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 10 (FA10) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FA10)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.57	5728.85			23.69
2	15	15	15	3.55	5494.39			
3	15	15	15	3.60	4770.64			
4	15	15	15	3.55		6432.21		27.44
5	15	15	15	3.53		5882.77		
6	15	15	15	3.56		6208.97		
7	15	15	15	3.54			6962.28	29.55
8	15	15	15	3.54			6116.21	
9	15	15	15	3.61			6870.54	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FA20)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.54	6218.14			27.44
2	15	15	15	3.51	5932.72			
3	15	15	15	3.52	6371.05			
4	15	15	15	3.48		7492.35		33.24
5	15	15	15	3.48		7991.85		
6	15	15	15	3.46		6952.09		
7	15	15	15	3.45			8205.91	36.88
8	15	15	15	3.44			8613.66	
9	15	15	15	3.49			8073.39	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 30 (FA30) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FA30)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.85	6513.76			29.31
2	15	15	15	3.81	6656.47			
3	15	15	15	3.84	6615.70			
4	15	15	15	3.84		8277.27		37.04
5	15	15	15	3.84		8226.30		
6	15	15	15	3.86		8501.53		
7	15	15	15	3.83			10601.43	43.57
8	15	15	15	3.83			9367.99	
9	15	15	15	3.87			9439.35	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 10 (FAC10) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FAC10)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/09/61-12/10/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.66	4281.35			18.45
2	15	15	15	3.61	4063.20			
3	15	15	15	3.63	4106.01			
4	15	15	15	3.62		4269.11		19.38
5	15	15	15	3.59		4653.41		
6	15	15	15	3.56		4156.98		
7	15	15	15	3.51			6391.44	29.57
8	15	15	15	3.55			7278.29	
9	15	15	15	3.49			6289.50	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 20 (FAC20) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FAC20)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/09/61-12/10/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.16	1722.73			8.21
2	15	15	15	3.04	1793.07			
3	15	15	15	3.27	2028.54			
4	15	15	15	2.97		2180.43		9.93
5	15	15	15	2.99		2293.58		
6	15	15	15	3.01		2231.40		
7	15	15	15	3.03			2844.04	12.52
8	15	15	15	2.97			2956.17	
9	15	15	15	2.99			2650.36	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 30 (FAC30) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FAC30)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/09/61-12/10/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.11	1781.86			8.09
2	15	15	15	3.00	1691.13			
3	15	15	15	3.16	1986.75			
4	15	15	15	2.95		2129.46		9.99
5	15	15	15	3.01		2308.87		
6	15	15	15	2.95		2302.75		
7	15	15	15	3.00			2803.26	13.06
8	15	15	15	2.96			2895.01	
9	15	15	15	3.06			3119.27	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าธรรมดา (OPC) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าธรรมดา (OPC)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.00	15.00	15.00	3.68	3.28	971.82
2	15.00	15.00	15.00	3.63	3.24	959.91
3	15.00	15.00	15.00	3.67	3.29	973.48
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**						**968.40**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.04	14.98	15.28	3.63	3.29	955.10
2	15.02	14.99	15.17	3.64	3.30	964.71
3	15.08	15.00	15.26	3.56	3.24	938.06
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**						**952.62**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.04	15.08	15.26	3.62	3.32	958.39
2	15.13	15.04	15.00	3.48	3.20	938.38
3	15.01	15.01	15.26	3.48	3.24	942.39
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**						**946.39**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 10 (FA10) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FA10)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	14.98	15.07	15.15	3.52	3.16	924.83
2	15.16	15.10	15.18	3.52	3.14	903.04
3	15.04	15.00	15.33	3.56	3.17	917.17
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**						**915.01**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	14.97	15.00	15.27	3.58	3.21	936.17
2	15.05	15.07	15.14	3.54	3.18	925.80
3	15.03	15.07	15.20	3.56	3.19	926.27
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**						**929.41**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.03	15.06	15.27	3.52	3.34	967.19
2	15.10	14.98	15.22	3.55	3.34	969.29
3	15.04	15.01	15.17	3.57	3.35	979.08
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**						**971.85**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FA20)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.01	15.02	15.16	3.57	3.22	942.12
2	15.00	15.03	15.01	3.41	3.06	904.55
3	14.98	15.03	15.16	3.45	3.11	911.74
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**						**919.47**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	14.98	15.02	15.23	3.44	3.21	937.92
2	15.08	15.08	15.05	3.45	3.20	934.12
3	15.00	15.02	15.04	3.42	3.15	930.20
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**						**934.08**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.00	15.00	15.02	3.43	3.12	923.51
2	15.00	15.07	15.13	3.45	3.12	911.95
3	15.01	14.99	15.13	3.45	3.12	915.91
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**						**917.13**

ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 30 (FA30) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FA30)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.01	15.00	15.11	3.83	3.39	995.59
2	15.02	15.03	15.18	3.84	3.37	982.23
3	15.01	14.07	15.01	3.84	3.37	1062.47
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**						**1013.43**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.00	15.10	15.00	3.82	3.41	1002.21
2	15.00	15.02	15.04	3.76	3.43	1012.83
3	15.04	15.00	15.01	3.79	3.41	1005.83
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**						**1006.96**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.04	15.00	15.03	3.82	3.43	1012.75
2	15.00	15.00	15.11	3.81	3.44	1012.13
3	15.00	15.04	15.04	3.82	3.47	1023.57
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**						**1016.15**

ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 10 (FAC10) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FAC10)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/09/61-12/10/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.13	15.13	15.10	3.55	3.28	950.05
2	15.10	15.13	15.09	3.65	3.22	933.88
3	15.12	15.13	15.07	3.69	3.30	957.03
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**						**946.99**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.13	15.18	15.12	3.60	3.22	926.99
2	15.13	15.13	15.12	3.58	3.20	924.65
3	15.14	15.19	15.18	3.59	3.25	930.59
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**						**927.41**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.03	15.18	15.08	3.40	3.17	921.68
2	15.07	15.20	15.07	3.50	3.19	924.16
3	15.03	15.17	15.07	3.46	3.16	920.27
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**						**922.04**

ตารางที่ ข.13 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 20 (FAC20) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FAC20)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/09/61-12/10/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.08	15.11	14.98	3.21	2.95	863.18
2	15.10	15.13	14.97	3.20	2.90	847.88
3	15.09	15.12	14.96	3.25	2.95	864.16
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**						**858.40**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.18	15.00	15.03	3.20	2.80	818.70
2	15.19	14.99	15.03	3.23	2.84	830.07
3	15.18	15.00	15.06	3.15	2.81	819.50
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**						**822.76**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.05	15.00	15.08	3.10	2.70	792.68
2	15.00	15.08	14.96	3.12	2.75	812.88
3	15.42	15.09	14.98	3.19	2.79	800.63
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**						**802.07**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.14 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 30 (FAC30) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FAC30)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/09/61-12/10/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.11	15.08	15.89	3.29	2.99	824.38
2	15.12	15.08	15.03	3.30	2.98	869.22
3	15.19	15.09	15.07	3.25	2.96	857.19
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**						**850.26**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.13	15.12	14.90	3.22	2.88	843.56
2	15.15	15.13	14.98	3.18	2.85	830.61
3	15.13	15.13	14.93	3.19	2.85	835.50
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**						**836.56**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.09	15.09	15.09	3.15	2.79	813.00
2	15.15	15.13	14.98	3.19	2.80	815.18
3	15.13	15.13	14.93	3.15	2.81	822.56
ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**						**816.91**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.15 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าธรรมดา (OPC block) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าธรรมดา (OPC block)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.00	15.00	3.79	3.18	19.26
2	15.00	15.00	15.00	3.74	3.24	15.56
3	15.00	15.00	15.00	3.76	3.29	14.32
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**		**16.38**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.04	14.98	15.28	3.80	3.29	15.69
2	15.02	14.99	15.17	3.78	3.30	14.69
3	15.08	15.00	15.26	3.78	3.24	16.80
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**		**15.73**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.04	15.08	15.26	3.65	3.32	10.01
2	15.13	15.04	15.00	3.74	3.20	16.73
3	15.01	15.01	15.26	3.86	3.24	19.26
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**		**15.33**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.16 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 10 (FA10) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FA10)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	14.98	15.07	15.15	3.67	3.16	16.06
2	15.16	15.10	15.18	3.64	3.14	16.00
3	15.04	15.00	15.33	3.67	3.17	15.76
ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**						**15.94**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	14.97	15.00	15.27	3.70	3.21	15.20
2	15.05	15.07	15.14	3.68	3.18	15.63
3	15.03	15.07	15.20	3.68	3.19	15.49
ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**						**15.44**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.03	15.06	15.27	3.76	3.25	15.78
2	15.10	14.98	15.22	3.77	3.27	15.32
3	15.04	15.01	15.17	3.77	3.28	14.97
ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**						**15.36**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.17 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FA20)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.03	15.01	3.55	3.06	15.94
2	14.98	15.03	15.16	3.60	3.11	15.62
3	15.01	15.00	15.12	3.59	3.08	16.57
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**		**16.04**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	14.98	15.02	15.23	3.66	3.17	15.46
2	15.08	15.08	15.05	3.67	3.18	15.41
3	15.00	15.02	15.04	3.6	3.15	14.29
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**		**15.05**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.00	15.02	3.56	3.09	15.21
2	15.00	15.07	15.13	3.57	3.1	15.16
3	15.01	14.99	15.13	3.59	3.14	14.33
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**		**14.90**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.18 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 30 (FA30) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FA30)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.01	15.00	15.11	3.904	3.387	15.26
2	15.02	15.03	15.18	3.894	3.366	15.69
3	15.01	14.07	15.01	3.875	3.368	15.05
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**		**15.33**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.10	15.00	3.866	3.405	13.54
2	15.00	15.02	15.04	3.833	3.432	11.68
3	15.04	15.00	15.01	3.840	3.406	12.74
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**		**12.66**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.04	15.00	15.03	3.877	3.434	12.90
2	15.00	15.00	15.11	3.889	3.441	13.02
3	15.00	15.04	15.04	3.875	3.473	11.58
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**		**12.50**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.19 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 10 (FAC10) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FAC10)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.00	15.00	3.57	2.96	20.61
2	15.00	15.00	149.89	3.60	2.95	22.03
3	14.96	15.00	15.00	3.62	2.96	22.30
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**		**21.65**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.01	149.89	3.53	2.95	19.66
2	15.00	15.00	15.00	3.56	2.97	19.98
3	15.00	14.98	14.95	3.62	2.94	23.12
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**		**20.92**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	14.98	15.00	3.55	2.96	19.93
2	15.00	15.00	15.00	3.60	3.00	20.00
3	15.00	149.88	14.88	3.61	3.00	20.33
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**		**20.09**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.20 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 20 (FAC20) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FAC20)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.02	14.95	3.93	3.21	22.35
2	15.05	14.99	15.01	3.96	3.21	23.31
3	15.03	15.02	149.95	3.93	3.20	22.76
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**		**22.81**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.09	15.02	149.98	3.96	3.23	22.45
2	15.05	15.00	15.00	3.98	3.28	21.34
3	15.00	15.03	15.09	3.95	3.24	21.91
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**		**21.90**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.05	15.06	15.08	3.95	3.24	21.76
2	15.02	15.00	15.00	3.94	3.25	21.42
3	15.00	15.03	15.03	3.95	3.25	21.61
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**		**21.60**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ ข.21 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินจากการปรับปรุง ร้อยละ 30 (FAC30) ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FAC30)**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	14.98	15.00	3.55	2.87	23.69
2	15.00	15.00	15.00	3.60	2.89	24.61
3	15.00	149.88	14.88	3.61	2.90	24.48
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**		**24.26**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.10	15.00	149.98	3.60	2.91	23.71
2	15.00	14.98	15.00	3.61	2.91	24.10
3	15.00	15.00	15.00	3.61	2.90	24.48
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**		**24.10**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	14.97	14.95	15.00	3.59	2.90	23.79
2	15.00	15.00	14.98	3.60	2.91	23.71
3	15.00	15.00	15.00	3.62	2.94	23.13
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**		**23.54**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.22 ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตเซลลูล่า OPC , FA10-FA30 และ FAC10-FAC30 ที่อายุระยะเวลา 60 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่า OPC,FA10,FA20,FA30,FAC10,FAC20และFAC30**

มาตราฐานการทดสอบ ASTM C490 และ ASTM C157

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 14 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 04/12/60 , 08/09/61

ที่	ตัวอย่างสัดส่วนผสม	Temp (reference)			Temp (Sample)			Temp (reference)			Coolant	k_S		
		T_1 (□ C)	T_2 (□ C)	□ T_1 (□ C)	T_3 (□ C)	T_4 (□ C)	□ T_2 (□ C)	T_5 (□ C)	T_6 (□ C)	□ T_2 (□ C)	T_w (□ C)		(W / m.□ K)	
1	OPC	53.3	53.1	0.2	38.3	26.8	11.5	28.3	28.3	0.0	27.9		0.186	0.179
2	OPC	51.7	51.5	0.2	39.1	26.9	12.2	28.0	27.9	0.1	27.7		0.173	
3	FA10	54.2	54.2	0.0	40.8	30.8	10.0	29.8	29.7	0.1	29.4		0.187	0.182
4	FA10	53.7	53.6	0.1	42.1	30.1	12.0	29.6	29.5	0.1	28.9		0.177	
5	FA20	53.9	53.7	0.2	39.7	29.7	10.0	29.5	29.4	0.1	28.9		0.213	0.187
6	FA20	52.3	52.2	0.1	42.4	29.4	13.0	28.6	28.6	0.0	28.4		0.161	
7	FA30	52.3	52.2	0.1	40.9	28.5	12.4	27.7	27.6	0.1	27.6		0.177	0.196
8	FA30	55.1	54.9	0.2	40.8	28.8	12.0	27.8	27.7	0.1	27.2		0.215	
9	FAC10	53.6	53.4	0.2	45.5	36.2	9.3	29.8	29.7	0.1	29.4		0.179	0.179
10	FAC10	53.5	53.4	0.1	42.1	30.1	12.0	29.6	29.5	0.1	28.9		0.179	
11	FAC20	53.7	53.6	0.1	48.6	38.2	10.4	29.5	29.4	0.1	28.9		0.167	0.164
12	FAC20	53.9	53.7	0.2	42.4	29.4	13.0	28.6	28.6	0.0	28.4		0.161	
13	FAC30	52.3	52.2	0.1	44.8	34.5	10.3	27.7	27.6	0.1	27.6		0.175	0.165
14	FAC30	55.1	54.9	0.2	40.8	28.8	12.0	27.8	27.7	0.1	27.2		0.154	

ตารางที่ ข.23 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าธรรมดา (OPC block) ที่อายุระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าธรรมดา (OPC block)**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน(LG)	7	14	28	60
1	295	274.842	300	-6.719			
2	298	277.875	300	-6.708			
3	296	276.148	300	-6.617			
4	296	276.190	300	-6.603			
5	298	277.768	300	-6.744			
1	295	274.532	300		-6.823		
2	298	277.464	300		-6.845		
3	296	275.746	300		-6.751		
4	296	275.648	300		-6.784		
5	298	277.477	300		-6.841		
1	295	274.342	300			-6.886	
2	298	277.317	300			-6.894	
3	296	275.604	300			-6.799	
4	296	275.542	300			-6.819	
5	298	277.316	300			-6.895	
1	295	274.277	300				-6.908
2	298	277.288	300				-6.904
3	296	275.590	300				-6.803
4	296	275.507	300				-6.831
5	298	277.290	300				-6.903
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				-0.0528	-0.0681	-0.0686	-0.0687

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.24 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FA10) ที่อายุระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FA10)**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน(LG)	7	14	28	60
1	295	283.800	300	-3.733			
2	296	284.500	300	-3.833			
3	297	285.650	300	-3.783			
4	298	286.450	300	-3.850			
5	299	287.650	300	-3.783			
1	295	283.650	300		-3.783		
2	296	284.277	300		-3.908		
3	297	285.550	300		-3.817		
4	298	286.280	300		-3.907		
5	299	287.580	300		-3.807		
1	295	283.610	300			-3.797	
2	296	284.250	300			-3.917	
3	297	285.450	300			-3.850	
4	298	286.250	300			-3.917	
5	299	287.510	300			-3.830	
1	295	283.602	300				-3.799
2	296	284.240	300				-3.920
3	297	285.440	300				-3.853
4	298	286.240	300				-3.920
5	299	287.500	300				-3.833
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0240**	**-0.0384**	**-0.0386**	**-0.0387**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.25 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FA20) ที่อายุระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FA20)**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน(LG)	7	14	28	60
1	298	287.166	300	-3.611			
2	297	286.020	300	-3.660			
3	296	285.050	300	-3.650			
4	296	285.250	300	-3.583			
5	295	284.150	300	-3.617			
1	298	287.110	300		-3.630		
2	297	285.900	300		-3.700		
3	296	285.020	300		-3.660		
4	296	285.140	300		-3.620		
5	295	284.070	300		-3.643		
1	298	287.100	300			-3.633	
2	297	285.880	300			-3.707	
3	296	285.010	300			-3.663	
4	296	285.130	300			-3.623	
5	295	284.065	300			-3.645	
1	298	287.097	300				-3.634
2	297	285.880	300				-3.707
3	296	285.008	300				-3.664
4	296	285.128	300				-3.624
5	295	284.064	300				-3.645
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0222**	**-0.0365**	**-0.0365**	**-0.0365**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.26 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FA30) ที่อายุระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FA30)**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน(LG)	7	14	28	60
1	295	284.720	300	-3.427			
2	296	285.650	300	-3.450			
3	295	284.750	300	-3.417			
4	298	287.620	300	-3.460			
5	297	286.710	300	-3.430			
1	295	284.680	300		-3.440		
2	296	285.610	300		-3.463		
3	295	284.720	300		-3.427		
4	298	287.590	300		-3.470		
5	297	286.680	300		-3.440		
1	295	284.671	300			-3.443	
2	296	285.602	300			-3.466	
3	295	284.714	300			-3.429	
4	298	287.582	300			-3.473	
5	297	286.672	300			-3.443	
1	295	284.671	300				-3.443
2	296	285.602	300				-3.466
3	295	284.711	300				-3.430
4	298	287.581	300				-3.473
5	297	286.670	300				-3.443
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0204**	**-0.0345**	**-0.0345**	**-0.0345**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.27 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน จากการปรับปรุง ร้อยละ 10 (FAC10)ที่อายุระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 10 (FAC10)**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน(LG)	7	14	28	60
1	297	276.750	300	-6.750			
2	296	275.640	300	-6.787			
3	295	274.650	300	-6.783			
4	296	275.250	300	-6.917			
5	295	274.350	300	-6.883			
1	297	276.350	300		-6.883		
2	296	275.310	300		-6.897		
3	295	274.250	300		-6.917		
4	296	274.740	300		-7.087		
5	295	273.800	300		-7.067		
1	297	276.150	300			-6.950	
2	296	275.030	300			-6.990	
3	295	273.900	300			-7.033	
4	296	274.410	300			-7.197	
5	295	273.600	300			-7.133	
1	297	276.020	300				-6.993
2	296	274.910	300				-7.030
3	295	273.810	300				-7.063
4	296	274.320	300				-7.227
5	295	273.550	300				-7.150
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0542**	**-0.0697**	**-0.0706**	**-0.0709**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.28 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าถ่านหิน จากการปรับปรุง ร้อยละ 20 (FAC20)ที่อายุระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 (FAC20)**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน(LG)	7	14	28	60
1	298	269.000	300	-9.667			
2	295	266.480	300	-9.507			
3	295	267.015	300	-9.328			
4	296	267.750	300	-9.417			
5	295	265.880	300	-9.707			
1	295	265.655	300		-9.782		
2	298	269.080	300		-9.640		
3	296	267.850	300		-9.383		
4	296	267.470	300		-9.510		
5	298	268.320	300		-9.893		
1	295	265.470	300			-9.843	
2	298	268.900	300			-9.700	
3	296	267.580	300			-9.473	
4	296	267.240	300			-9.587	
5	298	268.100	300			-9.967	
1	295	265.400	300				-9.867
2	298	268.810	300				-9.730
3	296	267.500	300				-9.500
4	296	267.200	300				-9.600
5	298	267.920	300				-10.027
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0813**	**-0.0964**	**-0.0971**	**-0.0974**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.29 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าถ่านหิน จากการปรับปรุง ร้อยละ 30 (FAC30)ที่อายุระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 30 (FAC30)**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 14/07/60-04/08/60

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน(LG)	7	14	28	60
1	295	264.800	300	-10.067			
2	298	267.895	300	-10.035			
3	296	265.780	300	-10.073			
4	296	266.040	300	-9.987			
5	298	268.030	300	-9.990			
1	295	264.150	300		-10.28		
2	298	267.477	300		-10.17		
3	296	265.460	300		-10.18		
4	296	265.900	300		-10.03		
5	298	267.750	300		-10.08		
1	295	264.020	300			-10.33	
2	298	267.305	300			-10.23	
3	296	265.350	300			-10.22	
4	296	265.810	300			-10.06	
5	298	267.630	300			-10.12	
1	295	264.018	300				-10.33
2	298	267.302	300				-10.23
3	296	265.342	300				-10.22
4	296	265.801	300				-10.07
5	298	267.622	300				-10.13
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0863**	**-0.1015**	**-0.1019**	**-0.1019**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.30 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC1* ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC1**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.30	6852.00			29.60
2	15	15	15	3.20	6780.00			
3	15	15	15	3.35	6350.00			
4	15	15	15	3.40		7850.00		35.38
5	15	15	15	3.25		7980.00		
6	15	15	15	3.25		8050.00		
7	15	15	15	3.30			8520.00	37.93
8	15	15	15	3.30			8632.00	
9	15	15	15	3.35			8452.00	

* FRC1 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 326 กรัม หรือ 0.1% ของปริมาณ ลบ.ม.

ตารางที่ ข.31 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC2 *
ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC2**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.40	7253.00			31.64
2	15	15	15	3.40	7120.00			
3	15	15	15	3.45	6985.00			
4	15	15	15	3.39		8300.00		36.52
5	15	15	15	3.40		8150.00		
6	15	15	15	3.43		8200.00		
7	15	15	15	3.39			9150.00	40.30
8	15	15	15	3.40			9080.00	
9	15	15	15	3.40			8975.00	

* FRC2 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 490 กรัม หรือ 0.15% ของปริมาณ ลบ.ม.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.32 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20) และเส้นใยสังเคราะห์ FRC3* ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC3**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.)			น้ำหนัก	ระยะเวลา (วัน) และ แรงกด (กก.)			กำลังอัดเฉลี่ย
	กว้าง	ยาว	สูง	(กก.)	7	14	28	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15	3.13	7250.00			32.06
2	15	15	15	3.44	7190.00			
3	15	15	15	3.30	7200.00			
4	15	15	15	3.37		8250.00		37.41
5	15	15	15	3.38		8350.00		
6	15	15	15	3.40		8650.00		
7	15	15	15	3.28			9350.00	41.36
8	15	15	15	3.33			9420.00	
9	15	15	15	3.33			9150.00	

* FRC3 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 653 กรัม หรือ 0.20% ของปริมาณ ลบ.ม.

ตารางที่ ข.33 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC1*
ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC1**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.12	15.13	15.07	3.40	3.25	942.71
2	15.10	15.12	15.09	3.46	3.20	928.82
3	15.11	15.13	15.07	3.45	3.19	925.92
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**	**932.48**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.12	15.17	15.15	3.32	3.23	929.51
2	15.12	15.18	15.18	3.40	3.23	927.06
3	15.14	15.16	15.13	3.40	3.24	933.00
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**	**929.85**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.02	15.18	15.08	3.28	3.21	933.60
2	15.06	15.19	15.07	3.36	3.18	922.43
3	15.02	15.16	15.06	3.37	3.17	924.41
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**	**926.81**

* FRC1 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 326 กรัม หรือ 0.1% ของปริมาณปูนซีเมนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.34 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC2*
ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC2**
มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556
ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.
จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.05	15.78	15.10	3.35	3.21	895.13
2	15.08	15.95	15.00	3.36	3.15	873.09
3	15.00	15.78	15.10	3.34	3.10	867.33
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**	**878.52**

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.00	15.10	15.27	3.31	2.97	858.72
2	15.32	15.10	15.00	3.30	3.05	878.97
3	15.00	15.00	15.10	3.25	2.95	868.29
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**	**868.66**

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.00	15.10	15.25	3.25	3.10	897.48
2	15.10	15.00	15.00	3.20	2.85	838.85
3	15.00	15.00	15.00	3.30	2.85	844.44
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**	**860.26**

* FRC2 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 490 กรัม หรือ 0.15% ของปริมาณปูนซีเมนต์

ตารางที่ ข.35 ผลการทดสอบการความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC3*
ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC3**
มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556
ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.
จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.00	15.10	15.20	3.30	2.98	865.57
2	15.00	15.25	15.10	3.40	2.95	854.05
3	15.00	15.00	15.00	3.50	3.00	888.89
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 7 วัน**	**869.50**

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.00	15.00	15.01	3.30	2.95	873.49
2	15.05	15.04	15.01	3.35	2.89	850.61
3	15.07	15.08	15.00	3.40	2.95	865.40
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 14 วัน**	**863.17**

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักก่อนอบ	น้ำหนักหลังอบ	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ลึก	สูง	(กก.)	(กก.)	
1	15.01	15.01	15.00	3.30	2.95	872.91
2	15.08	15.00	15.02	3.20	2.90	853.56
3	15.00	15.00	15.01	3.25	2.90	858.69
					ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้ง **อายุ 28 วัน**	**861.72**

* FRC3 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 653 กรัม หรือ 0.20% ของปริมาณปูนซีเมนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.36 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC1*
ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC1**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ m2 (กก.)	น้ำหนักหลังอบ m1 (กก.)	การดูดซึมน้ำ ร้อยละ
	กว้าง	ลึก	สูง			
1	15.00	15.00	15.04	3.93	3.21	22.52
2	15.01	15.04	15.00	3.96	3.21	23.36
3	15.10	15.00	15.04	3.93	3.20	22.81
					ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**	**22.90**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ m2 (กก.)	น้ำหนักหลังอบ m1 (กก.)	การดูดซึมน้ำ ร้อยละ
	กว้าง	ลึก	สูง			
1	15.01	15.01	15.04	3.62	2.95	22.71
2	15.01	15.00	15.00	3.78	3.15	20.00
3	15.00	15.00	15.04	3.80	3.20	18.75
					ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**	**20.49**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ m2 (กก.)	น้ำหนักหลังอบ m1 (กก.)	การดูดซึมน้ำ ร้อยละ
	กว้าง	ลึก	สูง			
1	15.00	15.01	15.00	3.45	2.85	21.05
2	15.00	15.20	15.01	3.50	2.90	20.69
3	15.01	15.00	15.00	3.47	2.90	19.66
					ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**	**20.47**

* FRC1 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 326 กรัม หรือ 0.1% ของปริมาณปูนซีเมนต์

ตารางที่ ข.37 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC2*
ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC2**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ m2 (กก.)	น้ำหนักหลังอบ m1 (กก.)	การดูดซึมน้ำ ร้อยละ
	กว้าง	ลึก	สูง			
1	15.02	15.00	15.01	3.98	3.20	24.38
2	15.04	15.00	15.00	3.96	3.20	23.75
3	15.00	15.08	15.04	3.90	3.15	23.81
					ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**	**23.98**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ m2 (กก.)	น้ำหนักหลังอบ m1 (กก.)	การดูดซึมน้ำ ร้อยละ
	กว้าง	ลึก	สูง			
1	15.01	15.00	15.01	3.89	3.15	23.49
2	15.01	15.00	15.00	3.78	3.10	21.94
3	15.00	15.04	15.01	3.90	3.10	25.81
					ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**	**23.74**
ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ m2 (กก.)	น้ำหนักหลังอบ m1 (กก.)	การดูดซึมน้ำ ร้อยละ
	กว้าง	ลึก	สูง			
1	15.01	15.00	15.00	3.80	3.10	22.58
2	15.00	15.00	15.01	3.85	3.05	26.23
3	15.00	15.04	15.00	3.75	3.15	19.05
					ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**	**22.62**

* FRC2 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 490 กรัม หรือ 0.15% ของปริมาณปูนซีเมนต์

ตารางที่ ข.38 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC3*
ที่อายุระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20 และ FRC3**

มาตราฐานการทดสอบ มอก.2601-2556

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 22/10/61-20/11/61

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 7 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.07	15.01	15.00	4.10	3.30	24.24
2	15.01	15.01	15.00	3.95	3.15	25.40
3	15.08	15.00	15.01	3.90	3.15	23.81
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 7 วัน**		**24.48**

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 14 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.05	15.09	4.00	3.20	25.00
2	15.08	15.04	15.00	3.95	3.15	25.40
3	15.08	15.00	15.04	3.90	3.20	21.88
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 14 วัน**		**24.09**

ที่	ขนาดตัวอย่าง (ซม.) อายุ 28 วัน			น้ำหนักหลังแช่น้ำ	น้ำหนักหลังอบ	การดูดซึมน้ำ
	กว้าง	ลึก	สูง	m2 (กก.)	m1 (กก.)	ร้อยละ
1	15.00	15.00	15.09	3.95	3.18	24.21
2	15.08	15.00	15.00	3.85	3.10	24.19
3	15.01	15.00	15.04	3.95	3.20	23.44
				ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำ **อายุ 28 วัน**		**23.95**

* FRC3 หมายถึง การนำเส้นใยสังเคราะห์ปริมาณ 653 กรัม หรือ 0.20% ของปริมาณปูนซีเมนต์

สถาบันเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.39 ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตเซลลูล่า
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **อนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหิน FA20 + FRC1,FRC2,FRC3**

มาตราฐานการทดสอบ ASTM C490 และ ASTM C157

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 8 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 04/12/60 , 08/09/61

ที่	ตัวอย่าง สัดส่วนผสม	Temp (reference)			Temp (Sample)			Temp (reference)			Coolant	k_S			
		T_1 (°C)	T_2 (°C)	aT_1 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	aT_S (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	aT_2 (°C)	T_w (°C)	(W / m.°C)		(W / m.°K)	
1	FA20	53.9	53.7	0.2	36.8	28.5	8.3	28.0	27.3	0.8	26.5	58.32	51.27	0.213	0.187
2	FA20	52.3	52.2	0.1	39.4	28.5	10.9	29.0	28.4	0.6	28.4	44.22		0.161	
3	FRC1	52.8	52.2	0.6	41.2	35.2	6.0	27.0	26.5	0.5	26.0	96.09	88.34	0.351	0.322
4	FRC1	56.2	55.5	0.7	41.5	34.2	7.3	27.8	27.7	0.1	26.5	80.59		0.294	
5	FRC2	54.7	53.4	1.3	39.8	31.5	8.3	29.8	29.7	0.1	28.3	69.67	81.53	0.254	0.297
6	FRC2	56.8	55.8	1.0	36.8	30.5	6.3	29.6	29.5	0.1	27.6	93.38		0.341	
7	FRC3	54.5	53.6	0.9	42.1	32.1	10.0	27.5	26.2	1.3	25.2	58.32	68.54	0.213	0.250
8	FRC3	56.4	55.6	0.8	40.5	33.2	7.3	29.2	28.6	0.6	27.8	78.76		0.287	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.40 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่าเถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC1

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหิน FA20 + FRC1**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 16/10/61-20/11/61

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (L_o)	หดตัว(L_t)	มาตรฐาน(L_G)	7	14	28	60
1	298	288.555	300	-3.148			
2	296	286.650	300	-3.117			
3	297	287.350	300	-3.217			
4	298	288.200	300	-3.267			
5	298	288.480	300	-3.173			
1	298	288.535	300		-3.155		
2	296	286.630	300		-3.123		
3	297	287.325	300		-3.225		
4	298	288.175	300		-3.275		
5	298	288.460	300		-3.180		
1	298	288.530	300			-3.157	
2	296	286.630	300			-3.123	
3	297	287.322	300			-3.226	
4	298	288.174	300			-3.275	
5	298	288.458	300			-3.181	
1	298	288.530	300				-3.157
2	296	286.629	300				-3.124
3	297	287.320	300				-3.227
4	298	288.172	300				-3.276
5	298	288.458	300				-3.181
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0178**	**-0.0319**	**-0.0319**	**-0.0319**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.41 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่า

เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC2

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหิน FA20 + FRC2**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 16/10/61-20/11/61

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน (L_G)	7	14	28	60
1	295	286.020	300	-2.993			
2	296	287.050	300	-2.983			
3	297	287.875	300	-3.042			
4	298	288.900	300	-3.033			
5	299	290.040	300	-2.987			
1	295	286.010	300		-2.997		
2	296	287.025	300		-2.992		
3	297	287.870	300		-3.043		
4	298	288.875	300		-3.042		
5	299	290.020	300		-2.993		
1	295	286.005	300			-2.998	
2	296	287.024	300			-2.992	
3	297	287.870	300			-3.043	
4	298	288.874	300			-3.042	
5	299	290.016	300			-2.995	
1	295	286.005	300				-2.998
2	296	287.023	300				-2.992
3	297	287.868	300				-3.044
4	298	288.873	300				-3.042
5	299	290.015	300				-2.995
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0161**	**-0.0301**	**-0.0301**	**-0.0301**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.42 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตเซลลูล่า

เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC3

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่เถ้าถ่านหิน FA20 + FRC3**

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 5 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 16/10/61-20/11/61

ตย. ที่	ขนาดตัวอย่าง (มม.)			ระยะเวลา (วัน) และ ร้อยละการหดตัว			
	เริ่มต้น (Lo)	หดตัว(Lt)	มาตรฐาน (L_G)	7	14	28	60
1	298	290.110	300	-2.630			
2	298	289.758	300	-2.747			
3	299	290.880	300	-2.707			
4	297	288.900	300	-2.700			
5	298	290.100	300	-2.633			
1	298	290.100	300		-2.633		
2	298	289.750	300		-2.750		
3	299	290.875	300		-2.708		
4	297	288.880	300		-2.707		
5	298	290.095	300		-2.635		
1	298	290.095	300			-2.635	
2	298	289.745	300			-2.752	
3	299	290.872	300			-2.709	
4	297	288.877	300			-2.708	
5	298	290.094	300			-2.635	
1	298	290.094	300				-2.635
2	298	289.745	300				-2.752
3	299	290.871	300				-2.710
4	297	288.877	300				-2.708
5	298	290.094	300				-2.635
สรุปร้อยละหดตัวตามอายุเวลา				**-0.0128**	**-0.0269**	**-0.0269**	**-0.0269**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.43 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเซลลูล่าปกติ (OPC block)
ที่อายุระยะเวลา 7,14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่า OPC block**

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1020 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 01/11/61-30/11/61

ตย.	ขนาดอิฐ (cm)			น้ำหนัก	แรงที่กด	ช่วงยาว	ความหนา	ความลึก	ค่าโมดูลัส	ค่าเฉลี่ย R
ที่	กว้าง	ยาว	สูง	(kg)	P (kg)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	R* (kg/cm^2)	
	7 วัน (วันที่ 1 พย.61)									
1	7.5	60	20	9.34	201.83	55	7.5	20	5.550	4.794
2	7.5	60	20	9.30	152.91	55	7.5	20	4.205	
3	7.5	60	20	9.32	168.20	55	7.5	20	4.625	
	14 (วันที่ 8 พย.61)						7.5			
1	7.5	60	20	9.34	226.30	55	7.5	20	6.223	5.952
2	7.5	60	20	9.28	214.07	55	7.5	20	5.887	
3	7.5	60	20	9.32	208.97	55	7.5	20	5.747	
	28 (วันที่ 22 พย.61)						7.5			
1	7.5	60	20	9.32	280.33	55	7.5	20	7.709	7.662
2	7.5	60	20	9.32	285.42	55	7.5	20	7.849	
3	7.5	60	20	9.15	270.13	55	7.5	20	7.429	

*R= 3PL/2bd^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.44 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20**

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1000 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 01/11/61-30/11/61

ตย.	ขนาดอิฐ (cm)			น้ำหนัก	แรงที่กด	ช่วงยาว	ความหนา	ความลึก	ค่าโมดูลัส	ค่าเฉลี่ย R
ที่	กว้าง	ยาว	สูง	(kg)	P (kg)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	R* (kg/cm^2)	
	7 วัน (วันที่ 1 พย.61)									
1	7.5	60	20	9.30	261.98	55	7.5	20	7.204	6.139
2	7.5	60	20	9.20	201.83	55	7.5	20	5.550	
3	7.5	60	20	9.25	205.91	55	7.5	20	5.663	
	14 (วันที่ 8 พย.61)						7.5			
1	7.5	60	20	9.35	276.25	55	7.5	20	7.597	7.802
2	7.5	60	20	9.20	264.02	55	7.5	20	7.260	
3	7.5	60	20	9.30	310.91	55	7.5	20	8.550	
	28 (วันที่ 22 พย.61)						7.5			
1	7.5	60	20	9.35	401.63	55	7.5	20	11.045	11.858
2	7.5	60	20	9.38	423.04	55	7.5	20	11.634	
3	7.5	60	20	9.35	468.91	55	7.5	20	12.895	

*R= 3PL/2bd^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.45 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC1
ที่อายุระยะเวลา 7,14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20+FRC1**

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1000 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 01/11/61-30/11/61

ตย.	ขนาดอิฐ (cm)			น้ำหนัก	แรงที่กด	ช่วงยาว	ความหนา	ความลึก	ค่าโมดูลัส	ค่าเฉลี่ย R
ที่	กว้าง	ยาว	สูง	(kg)	P (kg)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	R* (kg/cm^2)	
7 วัน (วันที่ 1 พย.61)										
1	7.5	60	20	9.34	371.05	55	7.5	20	10.204	9.484
2	7.5	60	20	9.30	349.64	55	7.5	20	9.615	
3	7.5	60	20	9.32	313.97	55	7.5	20	8.634	
14 (วันที่ 8 พย.61)										
1	7.5	60	20	9.34	397.55	55	7.5	20	10.933	10.858
2	7.5	60	20	9.30	387.36	55	7.5	20	10.652	
3	7.5	60	20	9.32	399.59	55	7.5	20	10.989	
28 (วันที่ 22 พย.61)										
1	7.5	60	20	9.32	444.44	55	7.5	20	12.222	12.269
2	7.5	60	20	9.32	460.75	55	7.5	20	12.671	
3	7.5	60	20	9.35	433.23	55	7.5	20	11.914	

*R= 3PL/2bd^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.46 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC2
ที่อายุระยะเวลา 7,14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20+FRC2**

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1000 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 01/11/61-30/11/61

ตย.	ขนาดอิฐ (cm)			น้ำหนัก	แรงที่กด	ช่วงยาว	ความหนา	ความลึก	ค่าโมดูลัส	ค่าเฉลี่ย R
ที่	กว้าง	ยาว	สูง	(kg)	P (kg)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	R* (kg/cm^2)	
	7 วัน (วันที่ 1 พย.61)									
1	7.5	60	20	9.35	392.46	55	7.5	20	10.793	10.512
2	7.5	60	20	9.30	377.17	55	7.5	20	10.372	
3	7.5	60	20	9.30	377.17	55	7.5	20	10.372	
	14 (วันที่ 8 พย.61)						7.5			
1	7.5	60	20	9.30	428.13	55	7.5	20	11.774	11.820
2	7.5	60	20	9.35	438.33	55	7.5	20	12.054	
3	7.5	60	20	9.30	423.04	55	7.5	20	11.634	
	28 (วันที่ 22 พย.61)						7.5			
1	7.5	60	20	9.32	499.49	55	7.5	20	13.736	14.343
2	7.5	60	20	9.38	530.07	55	7.5	20	14.577	
3	7.5	60	20	9.35	535.17	55	7.5	20	14.717	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.47 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย
เถ้าถ่านหินธรรมดา ร้อยละ 20 (FA20)และเส้นใยสังเคราะห์ FRC3
ที่อายุระยะเวลา 7,14 และ 28 วัน

ชื่อตัวอย่างทดสอบ **คอนกรีตเซลลูล่าแทนที่ FA20+FRC3**

ข้อกำหนดชิ้นตัวอย่าง W/C = 0.50 ความหนาแน่นคอนกรีตสด 1000 กก./ลบ.ม.

จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ 9 ตัวอย่าง วันที่ทดสอบ 01/11/61-30/11/61

ตย.	ขนาดอิฐ (cm)			น้ำหนัก	แรงที่กด	ช่วงยาว	ความหนา	ความลึก	ค่าโมดูลัส	ค่าเฉลี่ย R
ที่	กว้าง	ยาว	สูง	(kg)	P (kg)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	R* (kg/cm^2)	
7 วัน (วันที่ 1 พย.61)										
1	7.5	60	20	9.35	402.65	55	7.5	20	11.073	10.793
2	7.5	60	20	9.30	392.46	55	7.5	20	10.793	
3	7.5	60	20	9.35	382.26	55	7.5	20	10.512	
14 (วันที่ 8 พย.61)							7.5			
1	7.5	60	20	9.30	426.10	55	7.5	20	11.718	11.942
2	7.5	60	20	9.28	433.23	55	7.5	20	11.914	
3	7.5	60	20	9.35	443.43	55	7.5	20	12.194	
28 (วันที่ 22 พย.61)							7.5			
1	7.5	60	20	9.32	501.53	55	7.5	20	13.792	14.596
2	7.5	60	20	9.35	540.27	55	7.5	20	14.857	
3	7.5	60	20	9.35	550.46	55	7.5	20	15.138	

*R= 3PL/2bd^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

- **อนุสิทธิบัตร เลขที่ 14175 เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน**
- **อนุสิทธิบัตร เลขยื่นคำขอ ที่ 1803000352 เครื่องสร้างฟองโฟมแบบควบคุมเวลา**
- **ความลับทางการค้า เลขที่ ศธ 5614(12)/197**
- **ผลการทดสอบคอนกรีตบล็อคมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก.2601-2556**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(19) กรมทรัพย์สินทางปัญญา
กระทรวงพาณิชย์
เลขที่อนุสิทธิบัตร 14175

(11) เลขที่ประกาศโฆษณา 14175
(43) วันประกาศโฆษณา 24 กรกฎาคม 2561
(40) วันออกอนุสิทธิบัตร 24 กรกฎาคม 2561

(12) ประกาศโฆษณาการจดทะเบียนการประดิษฐ์และออกอนุสิทธิบัตร

(21) เลขที่คำขอ 1803000350
(22) วันที่ยื่นคำขอ 10 มกราคม 2561

(51) สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ Int.Cl 10
B28C 5/08

(31) เลขที่คำขอที่ยื่นครั้งแรก
-
(32) วันที่ยื่นคำขอครั้งแรก
-
(33) ประเทศที่ยื่นคำขอครั้งแรก
-

(71) ผู้ขอรับสิทธิบัตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
บริษัท อินฟินนิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด
(72) ผู้ประดิษฐ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ สินสิริ
นายอภัย ชาติรมย์
(74) ตัวแทน
นางสาวปิยมาศ มหาบุญญานนท์
สำนักงานจัดการทรัพย์สินทางปัญญา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

(54) ชื่อที่ประดิษฐ์ เครื่องผสมคอนกรีตชนิดสูตล่างแบบมอเตอร์แนวนอน

(57) บทสรุปการประดิษฐ์

เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนตามการประดิษฐ์นี้ มีลักษณะเป็นเครื่องผสมที่ใช้กำลังการผสมจากมอเตอร์เกียร์แบบอัดโนมัติ โดยไม่มีชุดเกียร์ที่สามารถปรับระดับเกียร์ได้ เพื่อกำหนดจำนวนรอบเพราะมอเตอร์เกียร์ที่ใช้ตัวนี้เป็นมอเตอร์ที่ได้รอบตามกำหนดไว้อย่างลงตัวของรอบใบกวน โดยไม่จำเป็นต้องมีเกียร์ทดรอบ และเป็นรอบการหมุนที่เหมาะสมกับสูตรที่ใช้ในการผลิต และมีตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าปรับทิศทางการหมุนของใบกวน โดยการปรับใบกวนหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นการคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน และปรับใบกวนให้หมุนตามเข็มนาฬิกาจะเป็นการนำส่วนผสมที่อยู่ในถังไหลออก หรือให้คลุกเคล้ากันให้ดีขึ้น ใบกวนถูกออกแบบมาเพื่อให้คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าผสมเข้ากันได้ดี โดยมีระบบใบกวนแนวนอนเกลียวคู่ ตัวถังมีจุดรองรับแบบบานพับเพื่อปรับช่องปล่อยส่วนผสมต่ำลง ทำให้คอนกรีตไหลออกได้เร็วขึ้น โครงเหล็กรองรับตัวถังจะเชื่อมต่อกับพื้นและชุดราวบันไดพร้อมราวกันตก เพื่อขึ้นไปด้วยความปลอดภัย ทำงานของเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนนี้ได้

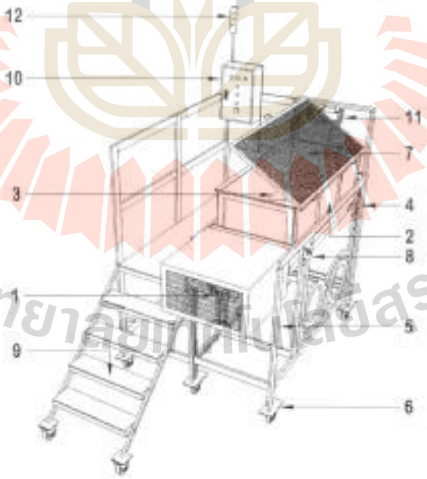
(11) เลขที่ประกาศโฆษณา 14175

ข้อถือสิทธิ

1.เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน มีลักษณะที่ประกอบด้วย

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (10) โดยควบคุมการทำงานของมอเตอร์เกียร์ (1) เป็นการควบคุมจำนวนรอบการหมุนของใบกวนให้เป็นไปตามสูตรของการผลิตคอนกรีตมวลเบา มีใบกวนสองทิศทาง (3) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กดัดเป็นเกลียวหมุนรอบแกนเพลาในแนวนอน เพื่อกวนส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันภายในถังผสมคอนกรีตแนวนอน (2) โดยตั้งอยู่บนโครงสร้างรับถังผสมคอนกรีตแนวนอน (5) ที่มีแท่นรองรับถังผสมคอนกรีตด้านหลัง มีลักษณะเป็นแกนที่เป็นจุดหมุนถังผสมคอนกรีตแนวนอน (8) สามารถหมุนได้

โดยมีลักษณะพิเศษเฉพาะคือ มอเตอร์เกียร์ (1) จะมีชุดเฟืองเกียร์สำหรับทดรอบการหมุนแบบอัตโนมัติ โดยตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (10) ใช้ปรับระดับความถี่ไฟฟ้าและปรับการหมุนใบกวนให้หมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาได้ และชุดรอกไฟฟ้า (11) ใช้ในการปรับความลาดเอียงของถังผสมคอนกรีตแนวนอน (2) ให้เลื่อนต่ำลงหรือสูงขึ้น ในการปรับระดับโครงสร้างรับถังผสมคอนกรีตแนวนอน (5) และแท่นรองรับถังผสมคอนกรีตด้านหน้าจะมีลักษณะเป็นแท่งโลหะที่มีลักษณะเป็นรูปรับระดับแบบสลัก (4) สามารถถอดเปลี่ยนช่องปรับยึดเข้ากับโครงเหล็กรองรับ ที่สามารถปรับระดับการเอียงของถังได้ และการทำงานที่สำคัญของเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน โดยถูกจะกำหนดการหมุนต่อรอบต่อนาทีไว้ตามรายการคำนวณ



(ข้อถือสิทธิ 1 ข้อ, รูปเขียน 1 รูป)

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบตั้งเดิมจะใช้เครื่องผสมคอนกรีตแบบใบกวนแนวดิ่งในการผสม มีลักษณะเป็นถังโลหะคล้ายๆ ลูกข่าง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนให้ตัวถังหมุนเพื่อผสมคอนกรีต โดยใช้ระบบสายพานซึ่งใช้พลังงานในการทำงานสูง การบำรุงรักษายาก มีพวงมาลัย ควบคุมองศาการหมุนของตัวถังมีใบกวน 2 ใบ เพื่อกวนส่วนผสมให้เข้ากัน การหมุนของตัวถังจะหมุนตามกำลังของมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ที่ใช้ ไม่สามารถปรับจำนวนรอบของการหมุนได้ ใช้ระยะเวลานานในการผสมให้คอนกรีตเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ผสมได้ในปริมาณที่น้อย ใช้งานได้ไม่สะดวก เนื้อคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ โดยจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต เช่น กำลังอัดต่ำ การดูดซึมน้ำมาก เป็นต้น

ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนขึ้นมา เพื่อแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องต่างๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะประดิษฐ์ตัวเครื่องให้มีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถผสมคอนกรีตได้ในปริมาณมากขึ้น พัฒนาแก้ไขใบกวนให้เหมาะสมกับการผสมคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า ใช้ระบบเกียร์มอเตอร์ในการทำงาน โดยกำหนดในการหมุนของมอเตอร์ให้สอดคล้องกับสูตรทำให้ฟองโฟมผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีมากยิ่งขึ้น และไม่ทำลายฟองโฟมให้แตกละเอียดจนเกินไป ตัวเครื่องสามารถปรับให้ใบกวนหมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาได้ เพื่อความสะดวกในการผสม และการนำคอนกรีตมวลเบาออกจากเครื่องโม่ เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนนี้ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่า (Concrete Cellular Mix Design) ประหยัดพลังงาน บำรุงรักษาง่าย ใช้งานได้สะดวกกว่าเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาทั่วไป

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนนี้ มีลักษณะเป็นถัง ซึ่งภายในมีใบกวนสำหรับผสมคอนกรีตมวลเบา ตั้งอยู่บนโครงเหล็กรองรับ ซึ่งโครงเหล็กรองรับจะเชื่อมต่อกับพื้นและขุดบันไดพร้อมราวกันตกเพื่อให้สามารถขึ้นไปตรวจสอบการทำงานของเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน ใช้มอเตอร์เกียร์เป็นตัวขับเคลื่อน มีชุดเฟืองเกียร์สำหรับทดรอบการหมุนแบบอัตโนมัติ มีชุดกล่องควบคุมระบบไฟฟ้าใช้ปรับระดับความถี่ไฟฟ้าและปรับการหมุนใบกวนให้หมุนตามเข็มนาฬิกา เพื่อนำคอนกรีตมวลเบาออกจากเครื่องผสมคอนกรีตในทางช่องลำเลียง และหมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้เพื่อ

พัฒนาเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนให้เหมาะสมกับการผลิตคอนกรีตมวลเบามากยิ่งขึ้นตามมาตรฐานในการออกสัดส่วนคอนกรีตเซลลูล่า ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น สะดวกต่อการใช้งานและบำรุงรักษาได้ง่าย

<u>การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์</u>

ตามรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนตามการประดิษฐ์นี้ ที่ประกอบด้วย โครงสร้างรับถังผสมคอนกรีตแนวนอน (5) ไฟสัญญาณเตือน (12) เพื่อแสดงความพร้อมในการทำงานของเครื่อง และมีตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (10) สามารถตั้งระดับความถี่ไฟฟ้า โดยควบคุมการทำงานของมอเตอร์เกียร์ (1) จะมีชุดเฟืองเกียร์สำหรับทดรอบการหมุนแบบอัตโนมัติ ใช้ควบคุมเพื่อปรับการหมุนของใบกวนสองทิศทาง (3) ซึ่งการหมุนจะควบคุมให้หมุน ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเพื่อผสมซีเมนต์ ทราย และน้ำ ให้เข้ากันและต้องปิดฝาตะแกรงปิดถังผสมคอนกรีตแนวนอน (7) ก่อนทุกครั้ง แล้วจึงฉีดฟองโฟมเข้าไปตามระยะเวลาที่กำหนด ผสมกวนจนส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นปรับทิศทางการหมุนของใบกวนสองทิศทาง (3) ให้หมุนในทางตามเข็มนาฬิกา เพื่อจะลำเลียงคอนกรีตที่ผสมกันจนเข้าที่แล้วจะปล่อยออกจากตัวถังผสมคอนกรีตแนวนอน (2) จากนั้นให้ปรับแท่นจุดหมุนถังผสมคอนกรีตแนวนอน (8) เลื่อนให้ต่ำลงเพื่อให้ถังผสมคอนกรีตมวลเบาแนวนอน (2) เอียงโดยใช้ขุดรอกไฟฟ้า (11) และปรับใส่สลักในรูปรับระดับแบบสลัก (4) เมื่อได้ระดับที่ต้องการแล้ว คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าจะออกจากช่องปล่อยคอนกรีต

การบำรุงรักษาเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนนี้ ในกรณีที่ทำการผสมคอนกรีตมวลเบาเสร็จแล้ว สามารถฉีดน้ำและขัดทำความสะอาดได้ โดยปรับแท่นรองรับถังผสมคอนกรีตแนวนอน (2) ด้วยการใช้ขุดรอกไฟฟ้า (11) ในการปรับความลาดเอียงของถังผสมคอนกรีตแนวนอน (2) ด้านหน้า ให้เลื่อนต่ำลงเพื่อให้ถังผสมคอนกรีตแนวนอน (2) เอียงลงเพื่อให้น้ำและเศษคอนกรีตไหลออกทางช่องปล่อยคอนกรีตได้อย่างสะดวก และที่สำคัญเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนเครื่องนี้ยังสามารถขนย้ายได้สะดวกโดยการติดตั้งล้อเลื่อน 5 นิ้ว (6) กับขุดบันไดขึ้นลง (9) ทั้งหมดสามารถถอดออกได้ในกรณีที่ไม่ต้องการเคลื่อนย้ายเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน

<u>คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ</u>

รูปที่ 1 แสดงรูปสามมิติของเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนตามการประดิษฐ์นี้

<u>วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด</u>

เหมือนกับที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข้อถือสิทธิ

1.เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน มีลักษณะที่ประกอบด้วย

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (10) โดยควบคุมการทำงานของมอเตอร์เกียร์ (1) เป็นการควบคุมจำนวนรอบการหมุนของใบกวนให้เป็นไปตามสูตรของการผลิตคอนกรีตมวลเบา มีใบกวนสองทิศทาง (3) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กตัดเป็นเกลียวหมุนรอบแกนเพลาในแนวนอน เพื่อกวนส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันภายในถังผสมคอนกรีตแนวนอน (2) โดยตั้งอยู่บนโครงสร้างรับถังผสมคอนกรีตแนวนอน (5) ที่มีแท่นรองรับถังผสมคอนกรีตด้านหลัง มีลักษณะเป็นแกนที่เป็นจุดหมุนถังผสมคอนกรีตแนวนอน (8) สามารถหมุนได้

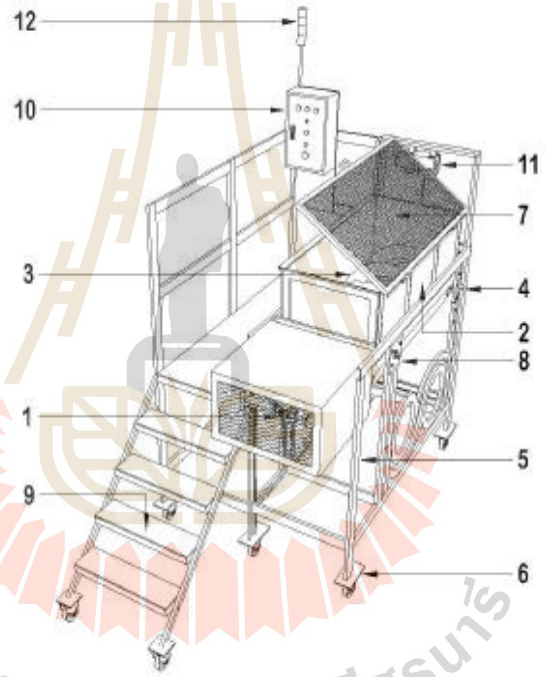
โดยมีลักษณะพิเศษเฉพาะคือ มอเตอร์เกียร์ (1) จะมีขดเฟืองเกียร์สำหรับทดรอบการหมุนแบบอัตโนมัติโดยผู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (10) ใช้ปรับระดับความถี่ไฟฟ้าและปรับการหมุนใบกวนให้หมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาได้ และขดรอกไฟฟ้า (11) ใช้ในการปรับความลาดเอียงของถังผสมคอนกรีตแนวนอน (2) ให้เลื่อนต่ำลงหรือสูงขึ้น ในการปรับระดับโครงสร้างรับถังผสมคอนกรีตแนวนอน (5) และแท่นรองรับถังผสมคอนกรีตด้านหน้าจะมีลักษณะเป็นแท่งโลหะที่มีลักษณะเป็นรูปรับระดับแบบสลัก (4) สามารถถอดเปลี่ยนช่องปรับยึดเข้ากับโครงเหล็กรองรับ ที่สามารถปรับระดับการเอียงของถังได้ และการทำงานที่สำคัญของเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอน โดยถูกจะกำหนดการหมุนต่อรอบต่อนาทีไว้ตามรายการคำนวณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทสรุปการประดิษฐ์

เครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนตามการประดิษฐ์นี้ มีลักษณะเป็นเครื่องผสมที่ใช้กำลังการผสมจากมอเตอร์เกียร์แบบอัตโนมัติ โดยไม่มีชุดเกียร์ที่สามารถปรับระดับเกียร์ได้ เพื่อกำหนดจำนวนรอบเพราะมอเตอร์เกียร์ที่ใช้ตัวนี้เป็นมอเตอร์ที่ได้รอบตามกำหนดไว้อย่างลงตัวของรอบใบกวน โดยไม่จำเป็นต้องมีเกียร์ทดรอบ และเป็นรอบการหมุนที่เหมาะสมกับสูตรที่ใช้ในการผลิต และมีผู้ควบคุมระบบไฟฟ้าปรับทิศทางการหมุนของใบกวน โดยการปรับใบกวนหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นการคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน และปรับใบกวนให้หมุนตามเข็มนาฬิกาจะเป็นการนำส่วนผสมที่อยู่ในถังไหลออก หรือให้คลุกเคล้ากันให้ดีขึ้น ใบกวนถูกออกแบบมาเพื่อให้คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าผสมเข้ากันได้ดี โดยมีระบบใบกวนแนวนอนเกลียวคู่ ตัวถังมีจุดรองรับแบบบานพับเพื่อรับช่องปล่อยส่วนผสมต่ำลง ทำให้คอนกรีตไหลออกได้เร็วขึ้น โครงเหล็ก รองรับตัวถังจะเชื่อมต่อกับพื้นและขุดรากบันไดพร้อมรากันตก เพื่อขึ้นไปตรวจสอบการทำงานของเครื่องผสมคอนกรีตเซลลูล่าแบบมอเตอร์แนวนอนนี้ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 1

สำเนา

แบบสป / สผ / อสป / 001-ก

คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

☐ การประดิษฐ์
☐ การออกแบบผลิตภัณฑ์
☑ อนุสิทธิบัตร ยื่นผ่านพาณิชย์จังหวัด

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ 2535 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ 2542

สำหรับเจ้าหน้าที่

วันรับคำขอ 5 ก.พ. 2561 เลขที่คำขอ 1803000352
วันยื่นคำขอ 10 ส.ค. 2561

สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ

ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์
ประเภทผลิตภัณฑ์

วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา

วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่

1.ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์
เครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลา

2.คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่
ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน

3.ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง
จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย
2. บริษัท อินฟินนิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด
170 หมู่ 1 ตำบลในเมือง อำเภอเมืองชัยภูมิ
จังหวัดชัยภูมิ 36000 ประเทศไทย

3.1 สัญชาติ ไทย
3.2 โทรศัพท์ 0-4422-4825
3.3 โทรสาร 0-4422-4814
3.4 อีเมล์ -

4.สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
☐ ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ☑ ผู้รับโอน ☐ ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น

5.ตัวแทน(ถ้ามี)/ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์)
นางสาว ปิยมาศ มหาบุญฤาษนท์
สำนักงานจัดการทรัพย์สินทางปัญญา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง
จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

5.1 ตัวแทนเลขที่ 2219
5.2 โทรศัพท์ 0-4422-4825
5.3 โทรสาร 0-4422-4814
5.4 อีเมล์ pmaraboon@g.sut.ac.th

6.ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ)
1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ สินศิริ อยู่ที่ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
2. นายอภัย ขาภิรมย์ อยู่ที่ บริษัท อินฟินนิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด 170 หมู่ 1 ตำบลในเมือง อำเภอเมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ 36000

7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม
ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร
เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ
☐ คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง ☐ ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ ☐ ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่อาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายละเอียดการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

เครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลา

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมศาสตร์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสร้างฟองโฟมชนิดปั๊มแรงดันสำหรับคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตธรรมดาทั่วไปจะมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2,200 ถึง 2,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีวัสดุประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำ ใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วๆ ไป เช่น อาคารที่พักอาศัย สะพาน และถนน เป็นต้น ในขณะที่คอนกรีตมวลเบามีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 500 ถึง 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งถ้าหากใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทดแทนคอนกรีตธรรมดา ก็จะทำให้ตัวอาคารมีน้ำหนักเบาลง โครงสร้างอาคารมีขนาดเล็กลง จึงทำให้ประหยัดวัสดุในการก่อสร้าง และนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทนไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปได้ง่าย ทำงานได้รวดเร็วมากขึ้น ลดระยะเวลาในการก่อสร้าง

ปัจจุบันคอนกรีตมวลเบาจำแนกออกเป็น 3 ชนิด คือ คอนกรีตมวลเบาตามหน่วยน้ำหนัก คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมเบาและคอนกรีตมวลเบาที่ใช้สารเคมี ซึ่งคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าจะจัดอยู่ในชนิดคอนกรีตมวลเบาที่ใช้สารเคมี โดยใช้น้ำยาสร้างฟองโฟมผ่านเครื่องกำเนิดฟองโฟมผสมกับซีเมนต์เพสต์ทำปฏิกิริยากันกลายเป็นฟองอากาศเล็กๆ อยู่ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตพองตัวฟูขึ้นมีปริมาตรเพิ่มขึ้นกว่าเดิมหลายเท่า เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะกลายเป็นคอนกรีตที่มีรูเล็กๆ เรียกว่า โฟมคอนกรีต

ขั้นตอนการผสมคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าที่ใช้สารลดแรงตึงผิวนั้น จำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดฟองโฟม และปัจจุบันได้มีการประดิษฐ์เครื่องกำเนิดฟองโฟมรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า ซึ่งมีทั้งแบบใช้ถังแรงอัดและใช้ปั๊มแรงดันอัดแรงดัน

สิ่งประดิษฐ์เครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลานี้ ต่างจากเครื่องกำเนิดฟองโฟมชนิดถังอัดแรงดันทั่วไป โดยสิ่งประดิษฐ์นี้มีลักษณะเด่น คือ การสร้างฟองโฟมอัตโนมัติ ถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลาทำให้ได้ค่าปริมาตรฟองโฟมที่มีความแม่นยำสูงตามการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่า (Concrete Cellular Mix Design) ตัวเครื่องมีล้อสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก อุปกรณ์ของตัวเครื่องถูกออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย สะดวกต่อการทำความสะอาดและบำรุงรักษา มีสวิตช์ควบคุมอัตราการปล่อยน้ำยาฟองโฟม และยังมีตัวควบคุมแรงดันลมเพื่อควบคุมแรงดันลมให้มีความดันที่เหมาะสมในการอัดอากาศ ที่กระบอกหัวฉีดโฟมจะมีวาล์ว เปิด-ปิด 2 ตัว คือ วาล์วอากาศและวาล์วของเหลว ในขณะที่ใช้งานจะต้องปรับวาล์ว เปิด-ปิดทั้ง 2 ตัว เพื่อควบคุมให้มีแรงดันของอากาศและของเหลวเหมาะสมเพื่อให้ได้ฟองโฟมที่มีความสม่ำเสมอมากขึ้น มีประสิทธิภาพของฟองโฟม มากขึ้น

เครื่องกำเนิดฟองโฟมชนิดปั๊มแรงดันสำหรับคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าตามการประดิษฐ์นี้ ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ใช้งานได้สะดวกกว่าเครื่องกำเนิดฟองโฟมทั่วๆ ไป

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

เครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลาตามการประดิษฐ์นี้ มีลักษณะแบ่งเป็นส่วนของระบบน้ำยาและส่วนของอากาศ โดยจะปล่อยน้ำยามาผสมกับอากาศผ่านวาล์วเปิด-ปิดมายังกระบอกหัวฉีด เพื่อให้อากาศและน้ำยาผสมกันเป็นฟองโฟมแล้วจึงปล่อยออกมา

ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้ เพื่อเป็นเครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลา มีต้นทุนต่ำ ให้สอดคล้องกับการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่า ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานอย่างต่อเนื่อง สะดวกต่อการใช้งาน บำรุงรักษาได้ง่ายและยังสะดวกต่อการขนย้าย

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

ตามรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงเครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลาตามการประดิษฐ์นี้ ที่ประกอบด้วย ชุดสายพานมู่เล่ย์ (1) ประตูเปิด-ปิดห้องเครื่อง (2) ล้อเลื่อนขนาด 3 นิ้ว (3) ท่อส่งลมทางออก (4) ท่อส่งน้ำยาสร้างฟองโฟมทางออก (5) ท่อส่งน้ำยาสร้างฟองโฟมทางเข้า (5.1) ท่อส่งน้ำยาสร้างฟองโฟมไหลย้อนกลับ (5.2) วาล์วเปิด-ปิดลม (6) กระบอกหัวฉีดฟองโฟม (7) มอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรง (8) ชุดกระบอกสูบปั๊มแรงดัน (9) ชุดควบคุมระบบไฟฟ้า (10) วาล์วปรับแรงดันลม (11) มาตรวัดระดับแรงดันลม (12) แท่นรับจอแสดงสัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่า (13)

กระบวนการทำงาน อากาศที่มาจากเครื่องอัดอากาศ จะถูกปล่อยเข้ามาผ่านตัวควบคุมแรงดันอากาศเป็นตัวปรับแรงดันลม (11) สามารถปรับแรงดันได้โดยตรวจสอบจากมาตรวัดแรงดันจากมาตรวัดระดับแรงดันลม (12) ให้แรงดันอากาศตามที่กำหนด แรงดันอากาศก็จะมาผสมกับน้ำยาที่มาจากชุด มอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรง (8) และชุดกระบอกสูบปั๊มแรงดัน (9) และชุดมู่เล่ย์สายพาน (1) แยกเป็นสองส่วนคือในส่วนของมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรง (8) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ย์ที่ 2 นิ้ว พร้อมกับชุดมู่เล่ย์สายพานของชุดกระบอกสูบปั๊มแรงดัน (9) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ที่เป็นส่วนประกอบการทำงานในการสร้างฟองโฟม ส่วนการลำเลียงของลม และน้ำยาสร้างฟองโฟม ทั้งเข้าและออก จะมีส่วนประกอบคือ ท่อส่งลมเข้าตัวเครื่องจะผ่านการทำงานของตัวกรองดักจับไอน้ำ (14) ก่อน ต่อจากนั้นแรงดันลมก็ไปยังวาล์วปรับแรงดันลม (11) เพื่อที่จะควบคุมแรงดันลมโดยจะแสดงแรงดันของลมไปยังมาตรวัดระดับแรงดันลม (12) โดยสามารถจะกำหนดแรงดันลมโดยใช้วาล์วปรับแรงดันลม (11) ให้มีแรงดันที่ใช้งานโดยใช้ค่าที่ 6-7 บาร์ หลังจากนั้นลมจะถูกส่งไปตามท่อส่งลมทางออก (4) ไปยังกระบอกหัวฉีดฟองโฟม (7) โดยจะผ่านวาล์วเปิด-ปิดลม (6) และในส่วนของการลำเลียงน้ำยาสร้างฟองโฟม ก็จะมีในส่วนของท่อส่งน้ำยาสร้างฟองโฟมทางเข้า (5.1) ที่ดูดจากถังน้ำยาด้านนอกเข้าสู่ตัวเครื่องที่มีการทำงานด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรง (8) ที่ใช้ในการขับเคลื่อนของชุดสายพานมู่เล่ย์ (1) พร้อมมู่เล่ย์ที่ใช้เชื่อมโยงกับการทำงานของชุดกระบอกสูบปั๊ม

แรงดัน (9) เพื่อให้ขุดกระบอกสูบปั๊มแรงดัน (9) ได้ทำงานและทำการดูดน้ำยาสร้างฟองโฟม เพื่อจะส่งผ่านไปยังท่อส่งน้ำยาสร้างฟองโฟมทางออก (5) เพื่อไปยังกระบอกหัวฉีดฟองโฟม (7) จะมีถังน้ำยาจำนวนปริมาตร 200 ลิตร หรือสามารถเปลี่ยนปริมาตรถังน้ำยาได้ พร้อมกันกับท่อส่งลมทางออก (4) เมื่อน้ำยามาเจอกับอากาศที่กระบอกหัวฉีดฟองโฟม (7) จะเกิดเป็นฟองโฟมแล้วนำไปผสมกับมอร์ต้า ก็จะได้คอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า ซึ่งสิ่งประดิษฐ์นี้ออกแบบและทดสอบแรงดันตามมาตรฐานเพื่อให้มีขนาดหน้าตัดที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดฟองละเอียดสม่ำเสมอและสามารถกำหนดอัตราส่วนในการผสมของฟองโฟมได้โดยจะมาจากระบบการตั้งเวลาปิดการไหลของฟองโฟมตามที่คำนวณในอัตราส่วนที่เหมาะสม แต่ถ้าหากปริมาณน้ำยาสร้างฟองโฟมมากเกินไปตัวน้ำยาก็จะไหลย้อนกลับไปยังท่อส่งน้ำยาสร้างฟองโฟมไหลย้อนกลับ (5.2) ในส่วนของการทำงานนี้จะถูกควบคุมด้วยการทำงานของชุดควบคุมระบบไฟฟ้า (10) ทั้งหมดในการเปิด-ปิด และการตั้งเวลาในการทำงานของเครื่องสร้างฟองโฟม และยังมีในส่วนของการกำหนดการผสมอัตราส่วนการผสมของคอนกรีตมวลเบาได้โดย แท่นรับแสดงสัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่า (13)

การบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดฟองชนิดปั๊มแรงดันสำหรับคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า ในกรณีที่ต้องการรักษาซ่อมแซมตู้กำเนิดฟองโฟมก็สามารถเปิดประตูห้องเครื่อง (2) ด้านหน้าตัวเครื่องได้และสามารถนำมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรง (8) และชุดกระบอกสูบปั๊มแรงดัน(9) และชุดควบคุมระบบไฟฟ้า (10) มาบำรุงรักษาซ่อมแซมภายนอกของตัวเครื่องได้ เพื่อให้พร้อมที่จะใช้งานในครั้งถัดไป

<u>คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ</u>

รูปที่ 1 แสดงรูปสามมิติของเครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลา ตามการประดิษฐ์นี้

<u>วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด</u>

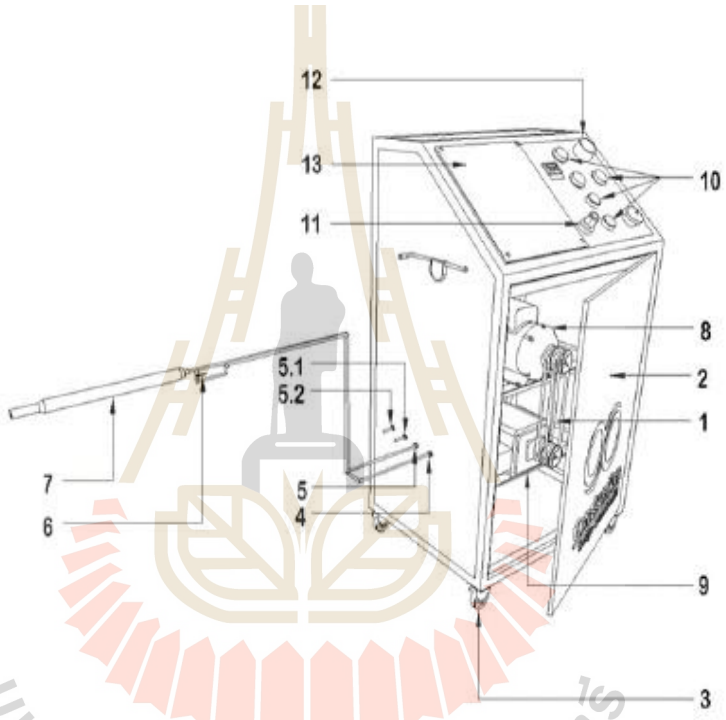
เหมือนกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทสรุปการประดิษฐ์

เครื่องสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่าแบบควบคุมเวลา โดยมีลักษณะเฉพาะ คือ จุดเชื่อมเครื่องต่ออัดแรงดัน เพื่ออัดอากาศเข้าในช่องทางเข้าอากาศ จะมีมาตรวัดระดับแรงดันลม(12) และวาล์วเปิด-ปิดลม(6) ซึ่งสามารถปรับแรงดันอากาศเข้าออกเพื่อผสมกับของเหลวที่กระบอกหัวฉีดฟองโฟม(7) โดยที่ของเหลวเป็นสารลดแรงตึงผิว ทำให้เกิดฟองที่มีความสม่ำเสมอ และภายในเครื่องจะมีท่อดูดของเหลวคือท่อส่งน้ำยาสร้างฟองโฟมทางเข้า(5.1) และท่อส่งน้ำยาสร้างฟองโฟมไหลย้อนกลับ(5.2) และถังน้ำยาด้านนอกตัวเครื่อง ซึ่งสามารถบรรจุน้ำยาได้ในปริมาตร 200 ลิตร หรือสามารถเปลี่ยนปริมาตรถังน้ำยาใหม่ให้มีขนาดใหญ่กว่าได้และจากนี้ยัง มีขุดกระบอกสูบปั๊มแรงดัน(9) พร้อมมอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรง(8) ซึ่งสามารถปรับแรงดันของการดูดน้ำยาให้มีอัตราการไหลตามที่ต้องการได้ และมีขุดควบคุมระบบไฟฟ้า(10) ที่สามารถตั้งเวลาการดูดน้ำยาได้ตามตามการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่าท (Concrete Cellular Mix Design)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 1

เทคโนธานี
รับที่ 616 | 2561
วันที่ 18 เมษ. 2561
เวลา 10:31น. ผู้รับ ภาวิณีธรรม

บันทึกข้อความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โทรศัพท์ 4421 โทรสาร 4607

ที่ ศธ 5614(12)/193 วันที่ 9 เมษายน 2561

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ดำเนินงานเพื่อยื่นแจ้งข้อมูลความลับทางการค้า

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับที่ 3917/61 วันที่ 24 เมย 2561 เวลา 9.07 น. ผู้รับ

(1) เรียน ผู้อำนวยการเทคโนธานี (ผ่านคณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์)

ด้วยข้าพเจ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ สินศิริ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ได้ดำเนินงานวิจัยเรื่อง "คอนกรีตเซลลูล่าประหยัดพลังงาน" และมีความประสงค์ในการยื่นแจ้งข้อมูลความลับทางการค้า จำนวน 2 เรื่อง ดังนี้

1. น้ำยาสร้างฟองโฟมคอนกรีตเซลลูล่า
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตเซลลูล่า

ดังนั้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่มหาวิทยาลัยฯ จึงใคร่ขอให้สำนักงานจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดดำเนินการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรวัฒน์ สินศิริ)
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

(2) เรียน ผู้จัดการสำนักงานจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี
เพื่อโปรดดำเนินการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปภากร พิทยชวาล)
รองผู้อำนวยการเทคโนธานีฝ่ายบริหารจัดการนวัตกรรม
รักษาการแทนผู้อำนวยการเทคโนธานี
18 เมย 2561

(รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

(3) เรียน ผอ.ฯ เพื่อโปรดดำเนินการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. รัชภูพร ยุ่นศิริไลย์
ผู้จัดการสำนักงานอุทยานวิทยาศาสตร์และนวัตกรรม
25 เมย 2561

(รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ณพพล ธำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
19 เมย 2561

(4) เรียน คุณภาวิณีธรรม
โปรดดำเนินการ

(นางสาวปิยมาศ มหาบุญญานนท์)
หัวหน้าหน่วยบริหารจัดการทรัพย์สินทางปัญญา
27 เมย 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่ ศร.5632(6)/Rep. 1155

14 สิงหาคม 2561

ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุก่อสร้าง

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดสอบการวัดขนาด คอนกรีตบล็อกมวลเบา มอก. 2601-2556

ชื่อผู้ยื่นคำขอ	:	บริษัท อินฟินนิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด	คำขอที่ : CMT 0354/61
สถานที่ทดสอบ	:	ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	
หมายเลขตัวอย่าง	:	CMTNS00354/61	วันที่เก็บตัวอย่าง : -
ประเภท	:	คอนกรีตบล็อกมวลเบา แบบเติมฟองอากาศ	วันที่รับเรื่อง : 31 ก.ค. 2561
ความหนาระบุ	:	75 มม.	วันที่รับตัวอย่าง : 31 ก.ค. 2561
ความสูงระบุ	:	200 มม.	วันที่ทดสอบ : 06 ส.ค. 2561
ความยาวระบุ	:	600 มม.	

Sample No.	ความสูง				ความยาว				ความหนา				Remark
	ด้านหัว		ด้านปลาย		ด้านหัว		ด้านปลาย		ด้านหัว		ด้านปลาย		
	บน	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง	(เกณฑ์กำหนด)
1	202	203	202	203	599	599	599	599	75.69	75.94	77.50	76.89	ความสูง ± 4 มม.
2	203	204	204	204	599	600	599	600	77.12	75.68	76.00	75.22	ความยาว ± 5 มม.
3	200	203	201	203	599	600	600	599	75.68	76.41	75.54	75.54	ความหนา ± 3 มม.

Continues to Page 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุก่อสร้าง

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง คอนกรีตบล็อกมวลเบา มอก. 2601-2556

ชื่อผู้ยื่นคำขอ	: บริษัท อินพินนิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด	คำขอที่ : CMT 0354/61
สถานที่ทดสอบ	: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	
หมายเลขตัวอย่าง	: CMTNS00354/61	วันที่เก็บตัวอย่าง : -
ประเภท	: คอนกรีตบล็อกมวลเบา แบบเติมฟองอากาศ	วันที่รับเรื่อง : 31 ก.ค. 2561
ความหนาระบุ	: - มม.	วันที่รับตัวอย่าง : 31 ก.ค. 2561
ความสูงระบุ	: - มม.	วันที่ทดสอบ : 06 ส.ค. 2561
ความยาวระบุ	: - มม.	

Sample No.	Dimension (mm)	Weight (g)	Density (kg/m^3)	Ave.Density (kg/m^3)	Remark
1	150.08 x 149.92 x 150.21	2,811.5	831.9	836.6	C9 (801-900)
2	150.26 x 151.31 x 150.26	2,841.5	831.8		
3	150.30 x 150.24 x 150.51	2,875.5	846.1		

***** การรับรองผลการทดสอบนี้ใช้ได้เฉพาะกับวัสดุที่ได้นำมาทดลองเท่านั้น *****

Continues to Page 3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุก่อสร้าง

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบา มอก. 2601-2556

ชื่อผู้ยื่นคำขอ	: บริษัท อินพินนิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด	คำขอที่ : CMT 0354/61
สถานที่ทดสอบ	: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	
หมายเลขตัวอย่าง	: CMTNS00354/61	วันที่เก็บตัวอย่าง : -
ประเภท	: คอนกรีตบล็อกมวลเบา แบบเติมฟองอากาศ	วันที่รับเรื่อง : 31 ก.ค. 2561
ความหนาระบุ	: - มม.	วันที่รับตัวอย่าง : 31 ก.ค. 2561
ความสูงระบุ	: - มม.	วันที่ทดสอบ : 06 ส.ค. 2561
ความยาวระบุ	: - มม.	

Sample No.	Dimension (mm) w x l x t	Weight Dry (g)	Weight Saturate (g)	Absoption (%)	Average Absoption (%)	Remark
1	150.0 x 150.0 x 150.0	2,762.50	3,293.00	19.20	19.38	C9 (<23 %)
2	150.0 x 150.0 x 150.0	2,807.50	3,357.50	19.59		
3	150.0 x 150.0 x 150.0	2,813.50	3,358.00	19.35		

***** การรับรองผลการทดสอบนี้ใช้ได้เฉพาะกับวัสดุที่ได้นำมาทดลองเท่านั้น *****

Continues to Page 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุก่อสร้าง
ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผลการทดสอบความต้านแรงอัด คอนกรีตบล็อกมวลเบา มอก. 2601-2556

ชื่อผู้ยื่นคำขอ	: บริษัท อินฟินนิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด	คำขอที่ : CMT 0354/61
สถานที่ทดสอบ	: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	
หมายเลขตัวอย่าง	: CMTNS00354/61	วันที่เก็บตัวอย่าง : -
ประเภท	: คอนกรีตบล็อกมวลเบา แบบเติมฟองอากาศ	วันที่รับเรื่อง : 31 ก.ค. 2561
ความหนาระบุ	: - มม.	วันที่รับตัวอย่าง : 31 ก.ค. 2561
ความสูงระบุ	: - มม.	วันที่ทดสอบ : 06 ส.ค. 2561
ความยาวระบุ	: - มม.	

Sample No.	Dimension (mm)	Sectional Area (mm^2)	Compressive Force (kN)	Compressive Strength (ksc)	Ave. Compressive Strength (ksc)	Remark
1	150.48 x 150.92	22,710	59.60	26.75	28.52	C9 (>25.5 ksc)
2	150.20 x 150.54	22,610	59.20	26.69		
3	150.36 x 150.86	22,683	71.50	32.13		

***** การรับรองผลการทดสอบนี้ใช้ได้เฉพาะกับวัสดุที่ได้นำมาทดลองเท่านั้น *****

ลงชื่อ ผู้รับรอง
(อาจารย์ ดร.ฉัตรเทพร ยศพล)
รองผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปฏิบัติงานแทนผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
14 สิงหาคม 2561

End of Report

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง

- บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา
- รางวัลที่ได้รับและทุนวิจัยในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

อภัย ชาภิรมย์ , ธีรวัฒน์ สินศิริ (2560). **การศึกษาผลกระทบอัตราการหมุนของใบกวนเครื่องผสมมวลเบาเซลลูล่า**. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 12. 15 – 17 กุมภาพันธ์ 2560 โรงแรมเดอะ รีเจ้นท์ ชะอำบีช จังหวัดเพชรบุรี.

Chapirom, Sinsiri (2019). A STUDY EFFECT ROTATION OF STATIONERY DRUM MIXER CELLULAR CONCRETE. **Suranaree Journal of Science and Technology (SJST).** In Review

รายชื่อรางวัลที่ได้รับและทุนวิจัยในระหว่างศึกษา

รางวัลสภาวิจัยแห่งชาติ : รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปี 2562 ผลงานเรื่อง ชุดผลิตคอนกรีตเซลลูล่าเพื่อเศรษฐกิจชุมชนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

รางวัลกิตติกรรมประกาศผู้นำความรู้ทางวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี สู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม ประจำปี 2561ในงานมหกรรม Thailand Tech Show 2018 ณ. ศูนย์ประชุมแสดงสินค้าไบเทค บางนา จาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาตร์และ เทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี

รับทุนวิจัยโครงการ การศึกษาศักยภาพด้านการตลาดชุดผลิตคอนกรีตเซลลูล่าเพื่อเศรษฐกิจชุมชน ประจำปี 2561 งบประมาณ 400,000 บาท ชุดโครงการผลักดันงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์ (RUC) จาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

รับทุนโครงการสร้างผู้ประกอบการธุรกิจเทคโนโลยีนวัตกรรมใหม่ (Startup Voucher) ประจำปี 2561 งบประมาณ 900,000 บาท จาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

รับคัดเลือกให้เข้าโครงการพัฒนาธุรกิจนวัตกรรมเกิดใหม่ที่มีการเติบโตสูง (Innovative Startup) ประจำปี 2560 งบประมาณ 1,655,775.00 จาก สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สป.วท.)

รับทุนการศึกษาจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2559 โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) สัญญาเลขที่ PHD59I0064

การศึกษาผลกระทบอัตราการหมุนของใบกวนเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า

EFFECT OF ROTATION RATE OF STATIONERY DRUM MIXER ON CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE

อภัย ชาภิรมย์ (Aphai Chapirom)[1]
ธีรวัฒน์ สินศิริ (Theerawat Sinsiri)[2]

[1]นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สานักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000 อีเมลล์ : aphai2010@gmail.com
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สานักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000 อีเมลล์ : sinsiri@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบอัตราการหมุนของใบกวนเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า ที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้ง ของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า กำหนดความหนาแน่นเปียก 900 กก./ม^3. อายุ 28 วัน ใช้น้ำยาสร้างฟองโฟม SUT V3 โดยได้นำคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่ามาผสมในเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบา โดยกำหนดให้อัตราการหมุนของใบกวนไว้ 5 ระดับ แล้วนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตมวลเซลลูล่า กับ อัตราการหมุนแต่ละระดับ การทดสอบพบว่าอัตราการหมุนมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า เนื่องจากการหมุนของใบกวนไปทำให้มีการเปลี่ยงแปลงปริมาณ ขนาด การจัดเรียงตัวของฟองโฟม ส่งผลให้อัตราการหมุนใบกวนเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าความเร็วที่ 45 รอบต่อนาที มีกำลังอัดสูง และการดูดซึมน้ำน้อย และมีความหนาแน่นใกล้เคียงที่กำหนดไว้ กว่าคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าที่ผสมในอัตราการหมุนของใบกวนระดับอื่น ๆ ตามลำดับ

ABSTRACT : This research study of rotation on cellular concrete mixer. Affects of properties compressive strength water absorption and dry density on cellular lightweight concrete. A wet density of 900 kg / m^3. age 28 day and foaming agent SUT V3 has taken concrete cellular concrete is mixed in the mixer. The rate of rotation the impeller into five levels and to compare of properties on cellular concrete with a turnover each level.

The test found that the rate of rotation affects of properties on lightweight concrete cellular as to the rotation of the impeller to make a change just to sort large quantities of foam. Rotation agitator Cellular concrete mixer speed at 45 rpm a high compressive strength and low water absorption and a density close to that limit on cellular concrete mix a rate of rotation of the impeller other levels respectively.

KEYWORDS : Rotation drum mixer , Mixer cellular lightweight concrete , Effect rotation

1.บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างเนื่องจากมีคุณสมบัติ มีหน่วยน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ 800 -1500 กก./ลบ.ม. อัตราการดูดซึมน้ำต่ำ ทนไฟกว่าคอนกรีตปกติ และเป็นฉนวนกันความร้อน วิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะมีการเติมปริมาณฟองอากาศเข้าไปในเนื้อซีเมนต์มอร์ต้าจากนั้นปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัว ในเนื้อคอนกรีตจะมีปริมาณฟองโฟมกระจายอยู่ทั่ว ๆ ทำให้มวลคอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักที่เบาตามที่ต้องการ ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง มวลละเอียด น้ำ และสารกักฟองอากาศ สารกักฟองอากาศที่ใช้จะมีองค์ประกอบทางเคมีจำพวก Hydrolyzed Protein และสารซักฟอกสังเคราะห์ ฟองอากาศที่ได้จากวิธีนี้จะมีความเสถียรและคงรูปมากกว่าฟองอากาศที่ได้จากผงซักฟอกกระบวนการผลิตเริ่มจากนั้นจึงนำฟองอากาศที่ได้ฉีดเข้าไปในเครื่องผสมคอนกรีตที่มีวัสดุมวลละเอียด ปูนซีเมนต์ และน้ำ ทำการผสมให้เข้ากันประมาณ 5-10 นาทีเพื่อให้ฟองอากาศกระจายแทรกตัวตาม

เนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอการผสมไม่ควรตีหรือหมุนให้เร็วเกินไป เพราะจะทำให้ฟองอากาศเกิดการแตกตัวง่าย

จากการผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าโดยใช้เครื่องผสมแบบใบกวนในแนวนอนจะพบว่าอัตราการหมุนของใบกวนมีผลต่อฟองอากาศ ผู้ทำการวิจัยจึงสนใจต้องการศึกษาอัตราการหมุนของใบกวนเครื่องผสมที่มีรอบการหมุนที่แตกต่างกันว่ามีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติความสามารถการรับกำลังอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้ง ของอัตราความเร็วการหมุนต่าง ๆ ของเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบใบกวนในแนวนอน

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราความเร็วการหมุนของใบกวนในเครื่องผสมที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีตเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

1.3.2 มวลรวมละเอียดที่ใช้ผสม ใช้ทรายแม่น้ำ

1.3.3 น้ำที่ใช้ผสมและบ่มคอนกรีตใช้น้ำประปา

1.3.4 สารก่อฟองอากาศ SUT สูตร 3 (SUT V3) เจือจางกับน้ำอัตราส่วน 1 ต่อ 40 โดยน้ำหนัก ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องกำเนิดโฟม SUT (Foam generator) [1]

1.3.5 ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าความหนาแน่นเปียก 900 กก./ลบ.ม [2]

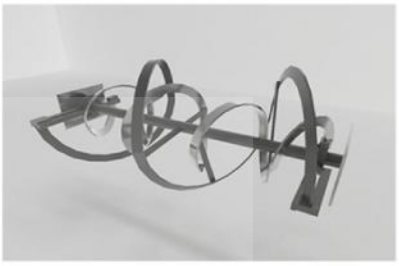
1.3.6 อัตราส่วนผสม w/c เท่ากับ 0.58 อัตราปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1:1.75 และค่าความดันของลมที่ความดัน 6 บาร์

1.3.7 เครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าแบบใบกวนในแนวนอน ขนาด 1 ลบ.ม. เลขที่คำขออนุสิทธิบัตร 1603001087 แสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 เครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า

1.3.8 ใบกวนเครื่องผสมเป็นแบบเพลาเดี่ยว แสดงในภาพที่ 2

1.3.9 กำหนดระดับอัตราการหมุนใบกวน 5 ระดับ ที่ 15 ,30 ,45 ,60 และ 75 รอบต่อนาที



ภาพที่ 2 ลักษณะใบกวนเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา ในปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานก่อสร้าง สามารถแบ่งคอนกรีตมวลเบาตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภทดังนี้ [3]

2.1.1 ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง โดยใช้วัสดุเบากว่ามาทดแทนเช่น ขี้เลื่อย ขี้เถ้าชานอ้อย หรือ เม็ดโฟมทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้นแต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้น เสื่อมสภาพได้ หรือใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete : CLC) เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู และทิ้งให้แข็งตัว คอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงนี้ส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสีเป็น สีปูนซีเมนต์

2.1.2 ระบบที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง โดยใช้ปูนขาว ซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยากมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอมีความสามารถดูดซึมน้ำมากกว่าปกติ คุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้วยังช่วยให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแข็งแกร่งทนทาน กว่าการ ผลิตในระบบอื่นมาก ต่างจากคอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลึกสีขาว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 ประเภทคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า

คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของการผลิตฟองอากาศออกเป็น 2 แบบคือ

2.2.1 กระบวนการผลิตด้วยฟองก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาเคมี อาศัยปฏิกิริยาเคมีของผงอลูมินัมกับซีเมนต์ ซึ่งอลูมินัมจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับคัลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนขนาดเล็กละเอียดในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดการขยายตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อคอนกรีตแข็งตัวก็จะได้คอนกรีตที่มีรูพรุนสูงและน้ำหนักเบา ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$2Al+3Ca(OH)2+6H2O \longrightarrow 3CaO.Al2O3.6H2O+3H2 \quad (1)$$

2.2.2 กระบวนการผลิตฟองอากาศโดยใช้สารกักฟองอากาศปริมาณสูงแนวคิดของกระบวนการผลิตด้วยวิธีนี้คือการทำฟองอากาศปริมาณสูงขึ้นมาและผสมลงในคอนกรีตสด ในช่วงต้น สารสร้างฟองอากาศที่ใช้มักจะเป็นผงซักฟอก ซึ่งมีข้อเสียฟองอากาศที่ได้มักจะไม่เสถียรและแตกง่าย ในปัจจุบัน สารกักฟองอากาศที่ใช้จะมีองค์ประกอบทางเคมีจำพวก Hydro-Lyzed Protein และสารซักฟอกสังเคราะห์ ฟองอากาศที่ได้จะมีความเสถียรและคงรูปมาก

2.3 การผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

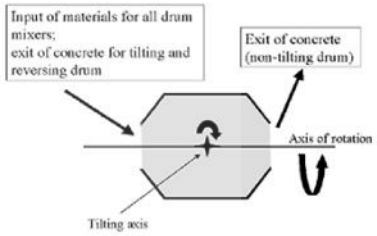
คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า เป็นกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนโดยอาศัยหลักการแทรกแรงดันลมผสมกับสารเพิ่มฟองเข้าไปในซีเมนต์มอร์ต้า ทำให้ซีเมนต์มอร์ต้ามีปริมาตรที่เพิ่มขึ้น มีน้ำหนักเบา

2.3.1 ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียด น้ำ และสารเพิ่มฟอง

2.3.2 เครื่องมือการผลิตคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า อุปกรณ์การผลิตประกอบด้วย เครื่องกำเนิดโฟม (Foam generator)เครื่องผสมคอนกรีตแบบใบกวนในแนวนอนและแบบหล่อ [4]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chiara F. Ferraris [5] ได้ทำการศึกษา คอนกรีตที่ดีต้องมีโครงสร้างทางจุลภาคที่เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค คือ วิธีการบ่มคอนกรีต วิธีการผสม และสัดส่วนวัสดุผสม ได้ศึกษาประเภทต่าง ๆ ของวิธีการผสมและ การผสมคอนกรีต ในเชิงพาณิชย์ เครื่องผสมคอนกรีตมี 2 ประเภท คือ แบบ Batch mixers และ แบบ Continuous mixers เป็นเครื่องผสมคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ Drum Mixer แสดงในภาพที่ 3 ลักษณะเป็นเครื่อง และ Pan Mixer



ภาพที่ 3 ภาพลักษณะของเครื่องผสมแบบ Drum Mixer

Dongyeop Han [6] ได้ทำการศึกษา ผลกระทบกระบวนการผสมคอนกรีตต่อโครงสร้างจุลภาค และการไหลของซีเมนต์เพส พบว่าการผสมเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญที่สุดในการผลิตคอนกรีต เปรียบเทียบกระบวนการผสมซีเมนต์เพส ตามมาตรฐาน ASTM C305 และ ASTM C1738 ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการผสม ASTM C1738 สามารถรับแรงเฉือนได้สูงกว่า ส่วน ASTM C305 การไหลของซีเมนต์เพสจะมากกว่า

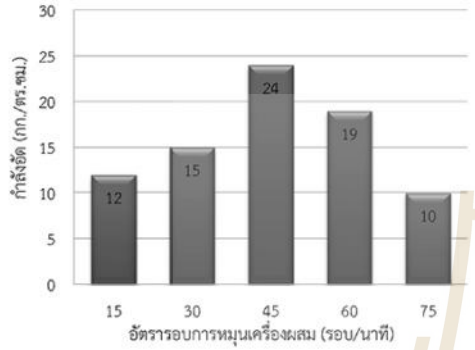
3. ผลการศึกษา

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยทำการทดสอบกำลังอัด และอัตราการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 โดยผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า ที่ความหนาแน่นเปียก 900 กก./ลบ.ม และกำหนดอัตราการหมุนของเครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า ในอัตราการรอบใบกวนหมุน ที่ 15 ,30 ,45 ,60 และ 75 รอบต่อนาที

3.1 การทดสอบกำลังอัด

จากผลการทดสอบ ได้ผลการทดสอบกำลังอัดเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน ตามแสดงในรูปที่ 4 พบว่ากำลังอัดที่สูงสุด คืออัตรารอบใบกวนหมุนที่ 45 รอบ/นาที มีค่ากำลังอัดที่ 24 กก./ตร.ซม. และกำลังอัดน้อยที่สุด คืออัตรารอบใบกวนหมุนที่ 75 รอบ/นาที มีค่ากำลังอัดที่ 10 กก./ตร.ซม. จาก

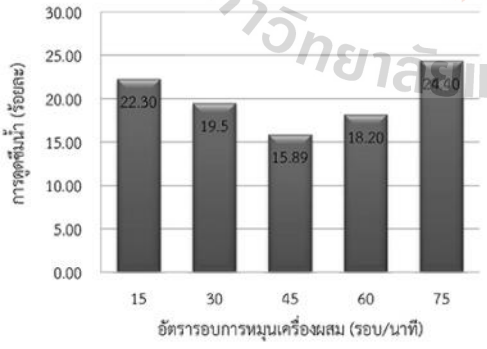
อัตรารอบใบกวนหมุนที่ 45 รอบ/นาที ที่มีกำลังอัดสูงสุด เนื่องจากการหมุนของใบกวนไปเปลี่ยนแปลงอนุภาค ปริมาณ ขนาด การกระจาย ของฟองโฟมในมอร์ต้าน้อยที่สุด ทำให้มีกำลังอัดที่สูงสุด



ภาพที่ 4 การกำลังอัดต่ออัตราการหมุนของเครื่องผสม

3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

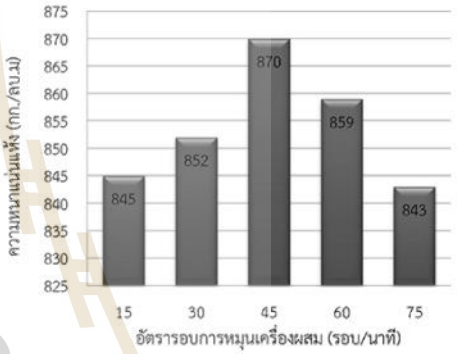
จากผลการทดสอบ ได้ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำโดยการแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง ตามแสดงในรูปที่ 5 พบว่าการดูดซึมน้ำมากสุดที่อัตรารอบใบกวนหมุนที่ 75 รอบ/นาที มีค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 24.40 และการดูดซึมน้อยสุด ที่อัตรารอบใบกวนหมุนที่ 45 รอบ/นาที มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 15.89 จากอัตราการดูดซึมน้ำน้อยสุด แสดงว่ามีการจัดเรียงตัวโพรงอากาศ ของฟองโฟมในมอร์ต้าเป็นโพรงแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้มีการทึบน้ำมากกว่าการหมุนของใบกวนอื่น ๆ และคุณสมบัติการดูดซึมน้ำน้อยมีผลสอดคล้องกับผลกำลังอัดตามรูปที่ 4



ภาพที่ 5 การดูดซึมน้ำต่ออัตราการหมุนของเครื่องผสม

3.3 การทดสอบความหนาแน่นแห้งเชิงปริมาตร

จากผลการทดสอบ ได้ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเชิงปริมาตร ที่อายุ 28 วัน ตามแสดงในรูปที่ 6 พบว่าความหนาแน่นที่สูงสุด คืออัตรารอบใบกวนที่ 45 รอบ/นาที มีค่าความหนาแน่นแห้งที่ 870 กก./ลบ.ม. จากการออกแบบความหนาแน่นของการทดสอบครั้งนี้ไว้ที่ 900 กก./ลบ.ม. พบว่าอัตรารอบใบกวนที่ 45 รอบ/นาที มีค่าใกล้เคียงที่สุดกับค่าที่ออกแบบไว้ เนื่องจากใบกวนดังกล่าวไม่ไปเปลี่ยนแปลงปริมาณ ขนาด อนุภาคของฟองโฟม



ภาพที่ 6 ความหนาแน่นแห้งต่ออัตราการหมุนเครื่องผสม

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาโดยการทดสอบกำลังอัด การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นแห้ง พบว่าอัตราการหมุนของใบกวนเครื่องผสม ที่ระดับการหมุนที่ 45 รอบ/นาที มีผลการทดสอบที่สอดคล้องกันทั้งหมด คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า มีกำลังอัดที่สูง จะมีการดูดซึมน้ำน้อย และมีความหนาแน่นแห้งที่ ใกล้เคียงที่กำหนดไว้ เพราะฉะนั้นอัตราการหมุนของใบกวนจึงมีผลต่อกำลังอัด การดูดซึมน้ำ เนื่องจากอัตราการหมุนไปเปลี่ยนแปลง ปริมาณ ขนาด การจัดเรียงตัวของฟองโฟมในคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า

จากผลการทดสอบที่ระดับการหมุนที่ 45 รอบ/นาที เมื่อเปรียบเทียบกับ มาตรฐาน เลขที่ มอก.2601-2556 พบว่า ความหนาแน่นเปียกที่กำหนดไว้ 900 กก./ลบ.ม. และผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งที่อายุ 28 วัน มีความคลาดเคลื่อน ± ไม่เกิน 50 กก./ลบ.ม. จัดอยู่ในคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ชนิด C9 ของมาตรฐานดังกล่าว การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

เซลลูล่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐาน และกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่ามีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี บริษัท อินฟินนิตี้เฮาส์ จำกัด สถานที่สำหรับการทำวิจัย และทุนผู้ช่วยวิจัย สัญญาเลขที่ PHD59I0064 รหัส 5911024 ระดับปริญญาเอกเพื่ออุตสาหกรรม โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM C869-99. Standard specification for foaming agents used in making preformed foam for cellular concrete. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02 (Philadelphia).

[2] ASTM C796-2004. Standard test method for foaming agents for use in producing cellular concrete using preformed foam. Annual book of ASTM standards. Vol. 04.02 (Philadelphia): 144.

[3] คำกีร์ จิตชัยภูมิ, 2556. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า ผสมแป้งลอย ซีโอไลต์ธรรมชาติ และนาโนซิลิก้า . ปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540. คอนกรีตเทคโนโลยี . กรุงเทพมหานคร : บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง

[5] Chiara F.Ferraris, 2001, March-April 4. Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers : State of the Art. Journal of research of the National Institute of Standards and Technology : 391-399.

[6] Dongyeop Han , 2015, Effect of mixing method on Micro-Structure and rheology of cement paste : Construction and Building Materials: 278-288.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ด่วนที่สุด

ที่ วท ๐๒๑๔ /ว ๑๗๗๖

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ถ.พระรามที่ ๖ เขตราชเทวี กทม. ๑๐๔๐๐

๑๔ มีนาคม ๒๕๖๐

เรื่อง การดำเนินงานกิจกรรมภายใต้โครงการพัฒนาธุรกิจนวัตกรรมเกิดใหม่ที่มีการเติบโตสูง (Innovative Startup) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๐ เพิ่มเติม

เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อ้างถึง หนังสือสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ วท ๕๔๐๑/๒๗๕๐ ลงวันที่ ๑๐ มีนาคม ๒๕๖๐

สิ่งที่ส่งมาด้วย ข้อเสนอแนะต่อข้อเสนอโครงการ

ตามหนังสือที่อ้างถึง สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้พิจารณาคัดกรองข้อเสนอกิจกรรมการสนับสนุนเพื่อเร่งการเติบโตของธุรกิจนวัตกรรมรายใหม่สำหรับอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศ ภายใต้โครงการพัฒนาธุรกิจนวัตกรรมเกิดใหม่ที่มีการเติบโตสูง (Innovative Startup) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๐ ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เสนอต่อสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในวงเงินงบประมาณ ๑,๖๕๕,๗๗๕ บาท (หนึ่งล้านหกแสนห้าหมื่นห้าพันเจ็ดร้อยเจ็ดสิบห้าบาทถ้วน) นั้น

สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เห็นควรโอนงบประมาณให้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อดำเนินงานโครงการพัฒนาธุรกิจนวัตกรรมเกิดใหม่ที่มีการเติบโตสูง (Innovative Startup) กิจกรรมการสนับสนุนเพื่อเร่งการเติบโตของธุรกิจนวัตกรรมรายใหม่สำหรับอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศ รวม ๑,๖๕๕,๗๗๕ บาท (หนึ่งล้านหกแสนห้าหมื่นห้าพันเจ็ดร้อยเจ็ดสิบห้าบาทถ้วน) โดยให้ปรับข้อเสนอโครงการตามข้อเสนอแนะ รายละเอียดดัง **สิ่งที่ส่งมาด้วย** ดังนั้น หากมหาวิทยาลัยยินดีรับดำเนินการโปรดส่งข้อเสนอโครงการที่ปรับแก้ตามข้อเสนอแนะแล้วมาที่สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ ภายในวันที่ ๓๑ มีนาคม ๒๕๖๐

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์สรนิต ศิลธรรม)
ปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สำนักงานปลัดกระทรวง
สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการส่งเสริมกิจการอุทยานวิทยาศาสตร์
โทรศัพท์ ๐ ๒๓๓๓ ๓๙๒๑ (ชาญวิทย์)
โทรสาร ๐ ๒๓๓๓ ๓๗๐๐ ต่อ ๔๐๕๖

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วช.
NRCT

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

มอบประกาศนียบัตรนี้ เพื่อประกาศเกียรติคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ สินศิริ และ นายอภัย ชาภิรมย์

ในฐานะที่ได้รับรางวัลสภาวิจัยแห่งชาติ : รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๒

รางวัลประกาศเกียรติคุณ

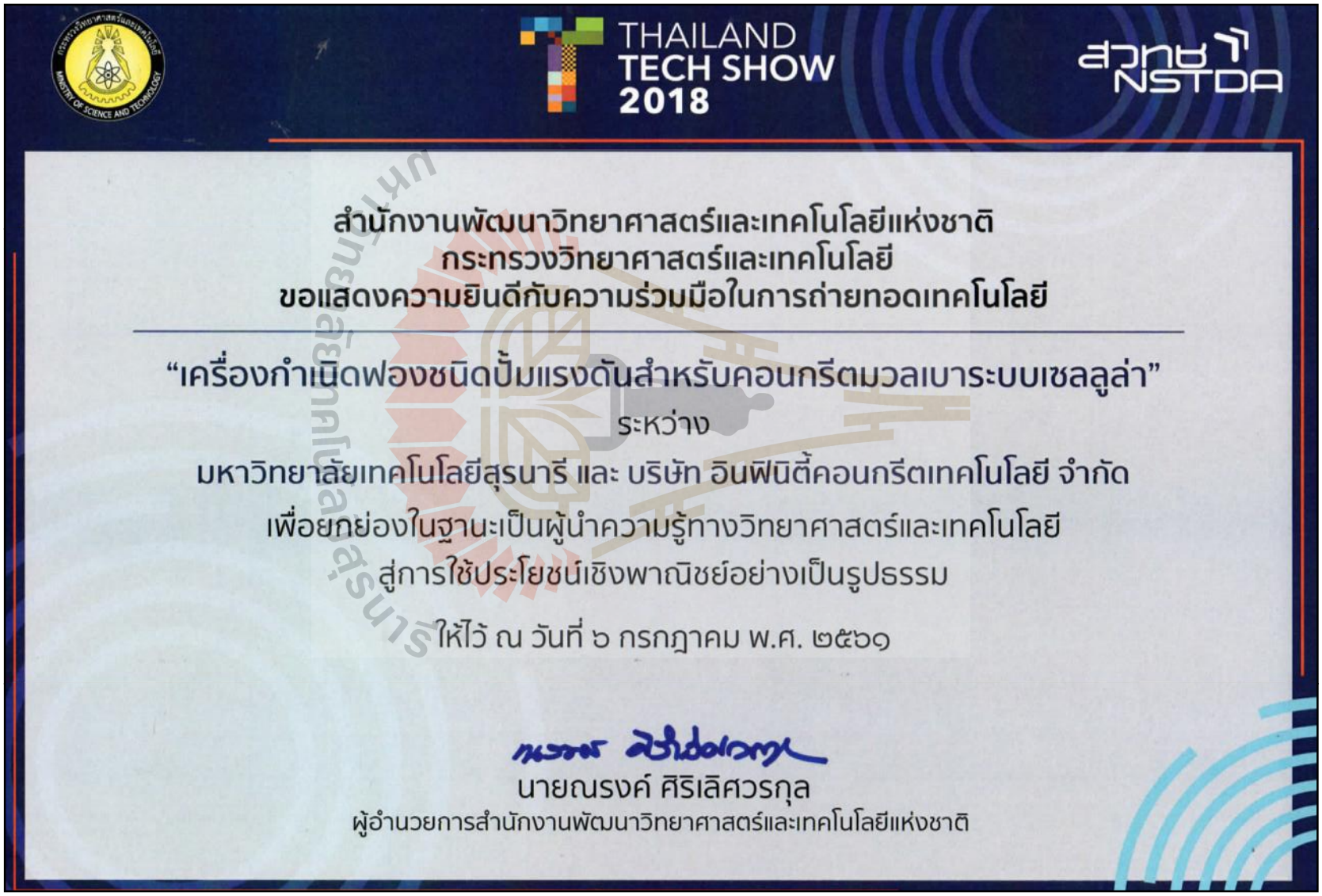
เรื่อง "ชุดผลิตคอนกรีตเซลลูล่าเพื่อเศรษฐกิจชุมชน"

ให้ไว้ ณ วันที่ ๒ กุมภาพันธ์ พุทธศักราช ๒๕๖๒

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์สิริฤกษ์ ทรงศิวิไล)
เลขาธิการคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

พลอากาศเอก
(ประจิน จั่นตอง)
รองนายกรัฐมนตรี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ


THAILAND
TECH SHOW
2018
สวทช
NSTDA
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ขอแสดงความยินดีกับความร่วมมือในการถ่ายทอดเทคโนโลยี
"เครื่องกำเนิดฟองชนิดปั๊มแรงดันสำหรับคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า"
ระหว่าง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ บริษัท อินฟินิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด
เพื่อยกย่องในฐานะเป็นผู้นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม
ให้ไว้ ณ วันที่ ๖ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๑
นายณรงค์ ศิริเลิศวรกุล
ผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ประวัติผู้เขียน

นายอภัย ชาภิรมย์ เกิดเมื่อวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2518 สถานที่เกิดจังหวัดสุราษฎร์ธานี ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 73 หมู่ 11 ตำบลโพนทอง อำเภอเมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนพระแสงวิทยา ปี พ.ศ. 2540 ได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ครุศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ปี พ.ศ. 2544 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญาโท จากมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ ในปี 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 1) จากมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล หลังจากได้สำเร็จการศึกษาได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับภาคีวิศวกรสาขาวิศวกรรมโยธา, ใบอนุญาตวิศวกรควบคุมการเจาะน้ำบาดาล จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และใบอนุญาตประกอบวิชาชีพช่างรังวัดเอกชน จากกรมที่ดิน ในปี 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา ทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาเอก หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา ทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้รับทุนการศึกษา ทุนผู้ช่วยวิจัยระดับปริญญาเอกเพื่ออุตสาหกรรม โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ PHD59I0064 และได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดำเนินงานกิจกรรมเพื่อเร่งการเติบโตของธุรกิจนวัตกรรมรายใหม่ในอุตสาหกรรมเป้าหมาย Research Gap Fund ภายใต้โครงการพัฒนาธุรกิจนวัตกรรมเกิดใหม่ที่มีการเติบโตสูง (Innovative Startup 4.0) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ต่อมาปี พ.ศ. 2561 รับรางวัลกิตติกรรมประกาศผู้นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม จาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และ ปี พ.ศ. 2562 ได้รับรางวัลสภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ด้านรางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น

ประวัติการทำงาน ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการบริษัทอินฟินนิตี้คอนกรีตเทคโนโลยี จำกัด ผู้จัดการทั่วไปและวิศวกรออกแบบโครงสร้าง บริษัทอินฟินนิตี้คอนสตรัคชั่น จำกัด, ผู้จัดการสำนักงานช่างรังวัดเอกชนอินฟินนิตี้เซอร์เวย์