

## คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าผสมใยแก้ว

### CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE MIXED WITH GLASS FIBER

ภาคิน ลอยเจริญ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>หน่วยทดสอบวัสดุและวิจัยทางวิศวกรรมโยธา  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร  
ความเชี่ยวชาญ : คอนกรีตและวัสดุ, แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์, วิศวกรรมโครงสร้าง



## 1. บทนำ

ปัจจุบันต้องยอมรับว่าอุตสาหกรรมการก่อสร้างไทยได้มีการนำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส (CLC) มาใช้ในงานก่อสร้างค่อนข้างน้อย ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ทำเป็นอิฐมวลเบาแบบเซลลูโลสและระบบผนังคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูป แต่เนื่องด้วยราคาของอิฐมวลเบาแบบเซลลูโลสมีความแตกต่างจากอิฐมวลเบาแบบมีฟองอากาศอบไอน้ำ (AAC) ไม่มากนัก จึงทำให้ได้รับความนิยมค่อนข้างน้อย อีกทั้งคุณสมบัติเชิงเทคนิคหลาย ๆ ด้าน ที่ยังเทียบกับอิฐมวลเบาแบบมีฟองอากาศอบไอน้ำไม่ได้ จึงยังไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้ในงานระบบผนังอาคารมากเท่าที่ควร แต่เนื่องด้วยคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเป็นคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ที่จะช่วยทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักลดลง ซึ่งส่งผลดีในแง่การใช้งานแต่จะแลกมาด้วยกำลังที่ต่ำลงเช่นกัน โดยในรูปที่ 1 ได้แสดงตัวอย่างการผสมโฟมเหลวในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ดังนั้นหากสามารถพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสให้มีกำลังมากขึ้น จะสามารถนำไปใช้ในงานโครงสร้างได้เหมือนคอนกรีตทั่วไป [1-2] โดยโครงสร้างจะมีน้ำหนักเบากว่าโครงสร้างที่ใช้คอนกรีตทั่วไปในการก่อสร้าง ซึ่งการนำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสไปใช้ในระบบโครงสร้างรับน้ำหนักยังมีปรากฏไม่มากนัก เนื่องจากคุณสมบัติด้านกำลังต่ำกว่าคอนกรีตแบบปกติทั่วไป แต่หากสามารถพัฒนาให้สามารถมีกำลังเพิ่มขึ้นเทียบเท่าคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ในการก่อสร้างองค์อาคารบางส่วนที่ไม่ต้องการคอนกรีตกำลังสูง จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้พอสมควร เนื่องจากราคาต่อหน่วยของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปเมื่อกำลังใกล้เคียงกัน เพราะคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสไม่มีมวลรวมหยาบและมีน้ำหนักต่อหน่วยที่เบากว่าทำให้น้ำหนักของโครงสร้างลดลง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานฐานรากต่ำลงด้วย



รูปที่ 1 ตัวอย่างโฟมเหลวและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

การศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในอดีตที่ผ่านมา มีทั้งการศึกษา ด้านกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงเฉือน ความคงทน ความเป็นฉนวน การหดตัวและความทนไฟของเนื้อคอนกรีต [3-8] การศึกษาเพื่อพัฒนาตัวกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาอย่างต่อเนื่องจากอดีตถึงปัจจุบันและมีแนวโน้มในการพัฒนาในทางที่ดีขึ้น คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแปรผันกับปัจจัยหลายประการ เช่น อัตราส่วนผสม หน่วยน้ำหนัก วิธีการบ่มและ อายุคอนกรีต เป็นต้น ในช่วงหน่วยน้ำหนัก 300-1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังรับแรงอัด อาจแปรผันได้ตั้งแต่ช่วงประมาณ 10-250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร [9-11] ที่ค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง 800-1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทรงลูกบาศก์มาตรฐานมีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.97 ที่อายุ 14 วัน มีค่าประมาณ 0.78-0.99 เท่า และที่อายุ 56 วัน มีค่าประมาณ 1.01-1.23 เท่าของกำลังที่อายุ 28 วัน [12]

ในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาเทคโนโลยีคอนกรีตเสริมใยแก้ว (Glass-fiber reinforced cement) มีการพัฒนาความสามารถของคอนกรีตโดยการนำเอาใยแก้วชนิดที่ทนฤทธิ์ต่างในปูนซีเมนต์ได้มาเสริมแรงให้กับคอนกรีตเพื่อทดแทนเหล็กเสริม เนื่องจากคอนกรีตเสริมใยแก้วมีส่วนประกอบของซีเมนต์ ทราย น้ำ และใยแก้ว ไม่มีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่ จึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้อย่างอิสระ ทำให้สามารถนำมาทำเป็นแผ่นคอนกรีตบาง ทำหลังคาโดม บัวปูนปั้น กระจาดต้นไม้ ท่อระบายน้ำและคลองส่งน้ำ เป็นต้น กำลังของคอนกรีตเสริมใยแก้วขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยที่ใส่เข้าไปในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตผสมใยแก้วมีค่ากำลังอัดลดลงเมื่อมีปริมาณใยแก้วในส่วนผสมมากขึ้น และมีกำลังดัดเพิ่มขึ้นเมื่อผสมใยแก้วมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตเสริมใยแก้วมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผสมใยแก้วในส่วนผสม จากการเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ [13]

ปัจจุบันได้มีการนำเส้นใยแก้วมาใช้เป็นส่วนผสมของมอร์ต้า เพื่อใช้ในงานทำแผ่นหลังคาโค้งบาง [14] และหล่อรูปปั้นต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เนื่องจากช่วยป้องกันการแตกร้าวขึ้นงานได้เป็นอย่างดี แสดงว่าเส้นใยแก้วมีส่วนช่วยต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้นในมอร์ต้าได้ ดังนั้นหากสามารถนำเส้นใยแก้วมาใช้เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสได้ จะทำให้เกิดการนำไปใช้งานที่หลากหลายขึ้น ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอผลการทดสอบด้านกำลังของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมใยแก้ว ที่มีปริมาณเส้นใยแตกต่างกัน เพื่อศึกษาปริมาณเส้นใยแก้วที่เหมาะสมที่ทำให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีการพัฒนาตัวกำลังที่ดีที่สุด

## 2. ขั้นตอนการทดสอบ

การศึกษาจะทำการทดสอบเพื่อหาปริมาณเส้นใยแก้วที่เหมาะสมที่ทำให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสดีที่สุด โดยจะศึกษากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน BS EN 12390- 3:2009 [15] ที่อายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตัวอย่างทดสอบจะถูกออกแบบให้มีหน่วยน้ำหนัก 1,200 และ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในแต่ละชุดตัวอย่างทดสอบจะประกอบด้วยชุดตัวอย่างควบคุมที่ไม่ใส่เส้นใย และชุดตัวอย่างที่ผสมเส้นใยขนาดยาว 12 มิลลิเมตรในสัดส่วนร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ตามลำดับ ชุดละ 6 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทดสอบทั้งสิ้น 180 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 1

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส จะควบคุมให้ปริมาณส่วนผสมทุกอย่างคงที่ โดยใช้อัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ 2:1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5 และใช้โฟมที่มีอัตราการขยายตัวของฟองโฟม 49 เท่า โดยรายละเอียดส่วนผสมอื่น ๆ แบ่งตามความหนาแน่นที่ออกแบบได้ แสดงไว้ในตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** รายละเอียดและจำนวนตัวอย่างทดสอบ

หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	ตัวอย่าง	ปริมาณเส้นใยต่อซีเมนต์	จำนวนตัวอย่างทดสอบ (ตัวอย่าง)			รวม (ตัวอย่าง)
			7 วัน	14 วัน	28 วัน	
1,200	CLC12-F0	0%	6	6	6	18
	CLC12-F2	2%	6	6	6	18
	CLC12-F4	4%	6	6	6	18
	CLC12-F6	6%	6	6	6	18
	CLC12-F8	8%	6	6	6	18
1,600	CLC16-F0	0%	6	6	6	18
	CLC16-F2	2%	6	6	6	18
	CLC16-F4	4%	6	6	6	18
	CLC16-F6	6%	6	6	6	18
	CLC16-F8	8%	6	6	6	18
รวมจำนวนตัวอย่างทดสอบ						180

**ตารางที่ 2** รายละเอียดส่วนผสมต่อปริมาตรคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

รายละเอียดส่วนผสม	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	
	1,200	1,600
s:c	2 : 1	2 : 1
w/c	0.5	0.5
ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย	2.67	2.67
เปอร์เซ็นต์ความชื้นของทราย	4.16	4.16
เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำของทราย	2.04	2.04
อัตราการไหลของโฟมเหลว (ลิตร/วินาที)	1.56	1.56
อัตราการขยายตัวของฟองโฟม (เท่า)	49	49
ปูนซีเมนต์ (กก.)	340.23	455.52
ทราย (กก.)	694.88	930.36
น้ำ (กก.)	155.38	208.03
สารสร้างฟองโฟม (กก.)	0.18	0.11
น้ำผสมสารสร้างฟองโฟม (กก.)	9.34	5.73
ระยะเวลาในการฉีดโฟมเหลว (วินาที)	299.37	183.59

การผสมตัวอย่างทดสอบแต่ละชุดก่อนเทลงแบบหล่อแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งหลังจากหล่อตัวอย่างเสร็จทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง จะนำตัวอย่างออกจากแบบหล่อไปบ่ม เมื่อครบกำหนดอายุคอนกรีตตามที่ออกแบบไว้ก็นำมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นที่แท้จริงของก้อนตัวอย่างทดสอบแต่ละก้อน ก่อนนำไปทดสอบกำลังอัดโดยเครื่องทดสอบ Compression Machine ดังรูปที่ 3

### 3. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมใยแก้วที่มีหน่วยน้ำหนักทดสอบอยู่ในช่วง 1,112 – 1,287 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงในตารางที่ 3 โดยในตารางจะแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของชุดตัวอย่างทดสอบที่ไม่ผสมเส้นใยหรือชุดควบคุม (CLC12-FO) ชุดตัวอย่างที่ผสมเส้นใยในสัดส่วนร้อยละต่อน้ำหนักของซีเมนต์ 2, 4, 6 และ 8 ตามลำดับ (CLC12-F2, CLC12-F4, CLC12-F6, CLC12-F8) ที่อายุของตัวอย่าง 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 2 การหล่อตัวอย่างทดสอบกำลังอัดทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร



รูปที่ 3 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบทรงลูกบาศก์โดยเครื่อง Compression Machine

**ตารางที่ 3** ผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมใยแก้ว หน่วยน้ำหนัก 1,112-1,287 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตัวอย่าง	ไฟเบอร์ : ซีเมนต์ (%)	กำลังอัดเฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 วัน	14 วัน	28 วัน
CLC12-F0	0	38.57	43.23	49.60
CLC12-F2	2	57.13	62.99	65.65
CLC12-F4	4	74.52	87.72	90.16
CLC12-F6	6	74.39	82.84	84.21
CLC12-F8	8	70.68	83.97	80.07

ส่วนผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีหน่วยน้ำหนักในช่วง 1,450-1,793 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยผลการทดสอบกำลังอัดของชุดตัวอย่างทดสอบที่ไม่ผสมเส้นใยหรือชุดควบคุม (CLC16-F0) และชุดตัวอย่างที่ผสมเส้นใยในสัดส่วนร้อยละต่อน้ำหนักของซีเมนต์ 2, 4, 6 และ 8 ตามลำดับ (CLC16-F2, CLC16-F4, CLC16-F6, CLC16-F8) ที่อายุของตัวอย่าง 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ

**ตารางที่ 4** ผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมใยแก้ว หน่วยน้ำหนัก 1,450-1,793 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตัวอย่าง	ไฟเบอร์ : ซีเมนต์ (%)	กำลังอัดเฉลี่ย (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 วัน	14 days	28 days
CLC16-F0	0	65.32	78.63	91.63
CLC16-F2	2	79.74	104.39	108.93
CLC16-F4	4	120.17	122.57	132.96
CL16C-F6	6	109.75	118.42	132.23
CLC16-F8	8	102.32	107.10	116.42

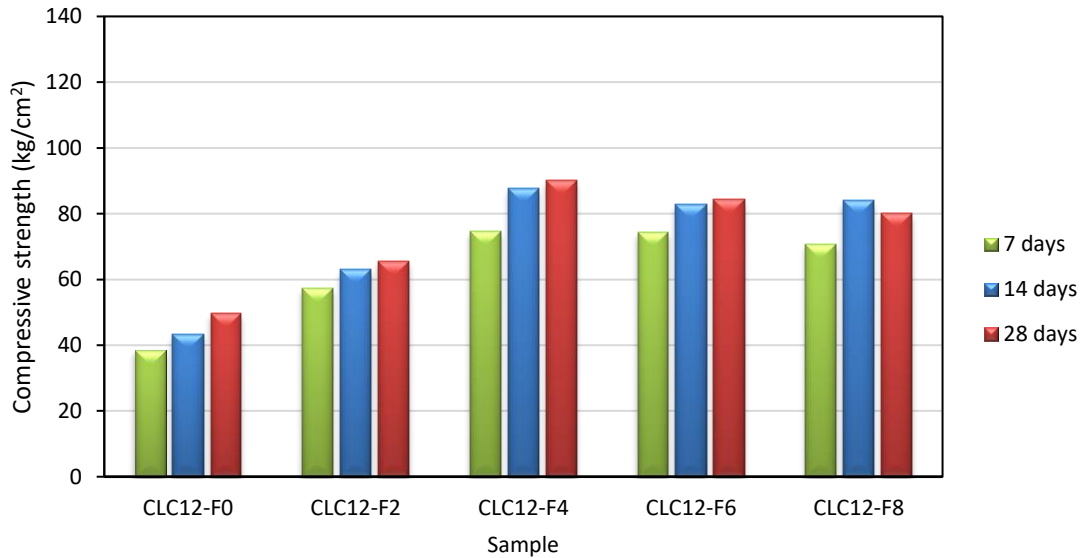
จากผลการทดสอบจะพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะมีค่ามากขึ้นตามค่าหน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเพื่อพิจารณาชุดตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่มีการใส่เส้นใยจะพบว่า เมื่อหน่วย

น้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจากช่วง 1,112-1,287 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไปเป็น 1,450-1,793 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังอัดที่อายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน จะเพิ่มขึ้น เป็น 1.69, 1.81 และ 1.85 เท่า ตามลำดับ

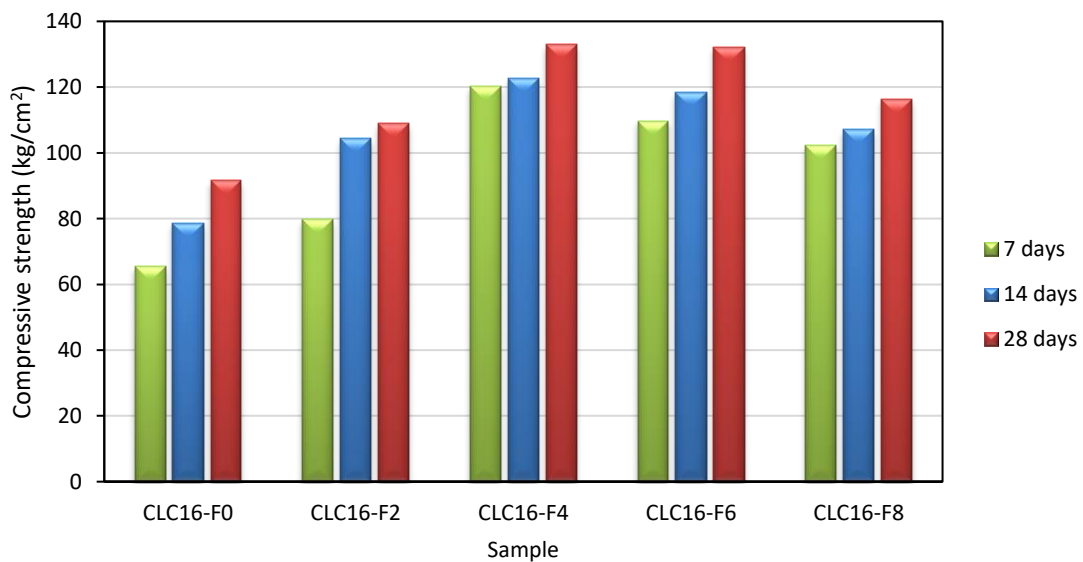
การผสมเส้นใยเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจะช่วยทำให้กำลังอัดของ ตัวอย่างทดสอบเพิ่มขึ้น โดยจากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใส่เส้นใยแก้วในสัดส่วนร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ของปูนซีเมนต์ จะได้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสสูงสุดในทุกหน่วยน้ำหนักทดสอบและ ทุกช่วงอายุคอนกรีตที่ทดสอบ โดยเมื่อพิจารณาค่าผลทดสอบจากตารางที่ 3 จะพบว่า กำลังอัดของ ตัวอย่างทดสอบ CLC12-F4 ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน มีค่ามากกว่ากำลังอัดของชุดตัวอย่างควบคุม CLC12-FO ที่ช่วงอายุเดียวกัน 1.93, 2.23 และ 1.82 เท่า ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การใส่เส้นใย แก้วในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในสัดส่วนร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะทำให้ กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณสองเท่า เมื่อหน่วยน้ำหนักทดสอบของ คอนกรีตอยู่ในช่วง 1,112 - 1,287 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบ ตามปริมาณส่วนผสมของเส้นใยแก้วและอายุของตัวอย่างได้แสดงในรูปที่ 4

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบที่ได้ในตารางที่ 4 ซึ่งเป็นชุดตัวอย่างที่มีหน่วยน้ำหนักทดสอบอยู่ใน ช่วง 1,450-1,793 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะพบว่า กำลังอัดของตัวอย่างทดสอบ CLC16-FO ที่ อายุ 7, 14 และ 28 วัน มีค่ามากกว่ากำลังอัดของชุดตัวอย่างควบคุม CLC16-FO ที่ช่วงอายุเดียวกัน 1.84, 1.56 และ 1.45 เท่า ตามลำดับ ซึ่งมีสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดต่ำกว่าชุดทดสอบ CLC12 แต่ปริมาณเส้นใยแก้วที่ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดยังมีสัดส่วนร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์เช่นเดิม โดย ในรูปที่ 5 ได้แสดงกราฟเปรียบเทียบผลทดสอบตามปริมาณส่วนผสมของเส้นใยแก้วและอายุของ ตัวอย่างของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่มีหน่วยน้ำหนักทดสอบในช่วง 1,450-1,793 กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร และหากเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสผสมใยแก้วที่มีปริมาณ ใยแก้วร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ของทั้งสองช่วงหน่วยน้ำหนักจะพบว่า ที่ช่วงหน่วยน้ำหนัก ทดสอบ 1,450-1,793 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีค่ากำลังอัดสูงกว่าช่วงหน่วยน้ำหนักทดสอบ 1,112 - 1,287 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่ 1.61, 1.40 และ 1.47 ที่อายุคอนกรีต 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบที่มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 6 และ 8 จะมีค่าลดลง จากตัวอย่างที่มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์เล็กน้อย





รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบทรงลูกบาศก์ หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบทรงลูกบาศก์ หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

#### 4. สรุป

การเพิ่มเส้นใยแก้วเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าจะส่งผลให้กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจากการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าที่มีหน่วยน้ำหนักทดสอบอยู่ในช่วง 1,112 – 1,287 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าการเติมใยแก้วในปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน มีค่าสูงสุด โดยค่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่ผสมเส้นใย 1.93, 2.23 และ 1.82 เท่า ตามลำดับ ส่วนผลการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าที่มีหน่วยน้ำหนักทดสอบอยู่ในช่วง 1,450 – 1,793 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าการเติมใยแก้วในปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน มีค่าสูงสุดเช่นกัน โดยค่ากำลังอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่เสริมเส้นใย 1.84, 1.56 และ 1.45 เท่า ตามลำดับ

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยทดสอบวัสดุและวิจัยทางวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบวัสดุ และขอบคุณบริษัท เค บล็อก เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้การสนับสนุนน้ำยาสร้างฟองโฟมเพื่อใช้ในการศึกษา

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] วิศวชิต จันท์เกษ และ เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย. (2561). พฤติกรรมการรับน้ำหนักของผนังรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่าเสริมเหล็ก. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 9 ประจำปี 2561. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา: กรุงเทพฯ.
- [2] ณัฐวุฒิ ทิพย์โยธา, เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย, สถาพร โภคา และวิวัฒน์ พัทธศานนท์. (2552). แรงยึดเหนี่ยวของเหล็กเสริมในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่า. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14 ประจำปี 2552. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: นครราชสีมา.
- [3] ธนกร ทวีวุฒิ, เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย, สถาพร โภคา และวิวัฒน์ พัทธศานนท์ (2563). การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่า (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ : สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.
- [4] วิวัฒน์ พัทธศานนท์, เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย, ธนกร ทวีวุฒิ และสถาพร โภคา (2554). การศึกษาความคงทนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส่า (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ : สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.

- [5] Jarasjarungkiat, A., & Chuaisrianaul, S. (2019). Development of Effective Lightweight Material for Construction Building. *International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology 2019*. Bangkok, Thailand.
- [6] กฤษณ์ กิ่งโก้ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2010). คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูโลสผสมสารซูเปอร์พลาสติไซเซอร์. *การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11*. ขอนแก่น.
- [7] กิตติธัช หมูทอง. (2554). *กำลังรับแรงเฉือนในคานคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเสริมเหล็ก*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- [8] มรกต มงคลวงศ์ (2557). *กำลังรับแรงอัด การหดตัวแบบแห้งและการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเกร็ดปึกติและเกร็ดใส่สารลดน้ำปริมาณมาก*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- [9] Gambhir, M. L. (2013). *Concrete Technology: Theory and Practice*. (5<sup>th</sup> ed.). New Delhi : McGraw Hill Education (India) Private Limited.
- [10] Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2003). *Design and Control of Concrete Mixtures*. (14<sup>th</sup> ed.) Portland Cement Association.
- [11] Rodriguez, A., Pedraza, M., Luciano, J., & Constantiner, D. (1999). *Mixture Design Optimisation of Cellular concrete*. Ravindra, K. D, Neil, A. H. (eds). In: *Specialist techniques and materials for concrete construction*. London: Thomas Telford Publishing.
- [12] ธนกร ทวีวุฒิ และ นท แสงเทียน. (2558). กำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.*, ปีที่ 8(1), 91-102.
- [13] สุทธิศักดิ์ คงมาก. (2538). คอนกรีตผสมใยแก้ว. *บทความวิชาการ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. 6-16.
- [14] ศักดิ์ชัย สกานูพงษ์. (2527). พฤติกรรมของแผ่นหลังคาอาร์ชบางรูปทรงกระบอกทำด้วยคอนกรีตเสริมใยแก้ว. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [15] British Standard. (2009). *Testing Hardened Concrete Part 3: Compressive Strength of Test Specimens (BS 12390-3:2009)*. UK: BSI Group.

## เกี่ยวกับผู้แต่งบทความ

ดร.ภาคิน ลอยเจริญ ตำแหน่งปัจจุบัน อนุกรรมการทำงานปรับปรุงมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (วสท.1008) และอนุกรรมการและเลขานุการสาขาคอนกรีตและวัสดุในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นอาจารย์สอนอยู่ที่สาขาวิชาโยธาและสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ความเชี่ยวชาญ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมโครงสร้าง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คอนกรีตและการก่อสร้าง ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกและปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นชื่อผู้แต่งบทความ

## การอ้างอิงบทความ (citation)

ภาคิน ลอยเจริญ (2562), คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสใยแก้ว (Cellular lightweight concrete mixed with glass fiber), "วารสารคอนกรีต, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, ปีที่ 13, ฉบับที่ 3, บทความหมายเลข TCA\_M 130301, กันยายน-ธันวาคม, 12 หน้า.

Loyjaroen, P. (2022) "Cellular lightweight concrete mixed with glass fiber" *TCA Magazine*, Thailand Concrete Association, Vol. 13, Issue 3, Paper ID TCA\_M 130301, Sep.-Dec., 12 pages.