บทที่ 5
การทดลองขึ้นรูปและทดสอบการรับแรงดัด

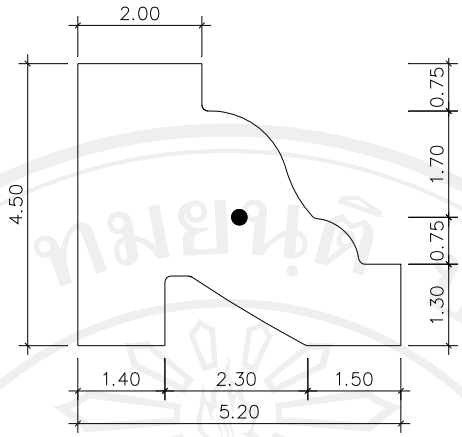
เมื่อได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมแล้ว การทดลองขึ้นรูปจริงจะเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้สามารถตรวจสอบความเป็นไปได้ของการนำไปใช้งานจริงจากการผสมในอัตราส่วนดังกล่าว ต้องดำเนินการทดลองขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจริงตามกรรมวิธีการผลิตขั้นพื้นฐาน (ใช้ข้อมูลจากการสำรวจตามหัวข้อ 3.1) ทดลองยกออกจากแท่นโดยศึกษาวิธีการยกที่ถูกต้องและหาอายุที่เหมาะสมของชิ้นงานที่สามารถต้านทานแรงดัดได้มากที่สุด ซึ่งจะช่วยให้ชิ้นงานไม่เกิดการแตกหักเสียหายเนื่องจากการยกออกจากแท่น รวมถึงการเคลื่อนย้าย ตลอดจนการนำไปติดตั้งจริงกับผนังอาคาร การทดสอบสามารถในการต้านทานแรงดัดนั้นจะนำชิ้นงานไปทดสอบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานเพื่อหาความสามารถในการรับแรงดัดเปรียบเทียบกันระหว่างชิ้นงานทั่วไปกับชิ้นงานที่ผสมเถ้าแกลบ จะทำให้ทราบว่าการผสมวัตถุดิบในอัตราส่วนผสมดังกล่าวจะช่วยให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริงหรือไม่ ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดเป็นดังนี้

<u>การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจริงและการทดสอบการรับแรงดัด</u>

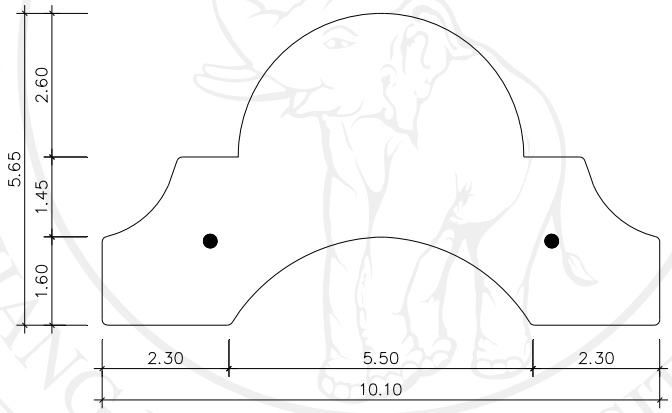
เมื่อได้ทำการเลือกอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมแล้วคือมีส่วนผสมของเถ้าแกลบที่ร้อยละ 25 จึงนำมาทดลองขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน โดยจะต้องนำมาเปรียบเทียบกับบัวซีเมนต์ปกติที่ไม่ได้ผสมเถ้าแกลบ เพื่อความเป็นระเบียบเรียบร้อยในการดำเนินงานวิจัยจึงได้ลำดับการทดลองเป็นดังนี้

5.1 กำหนดหน้าตัดบัวซีเมนต์มอนต้าสำเร็จรูปที่จะนำมาใช้เป็นรูปแบบในการทดลอง โดยแบ่งเป็นบัวหน้าตัดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ซึ่งเสริมลวดอัดแรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มม. โดยมีจำนวนและตำแหน่งที่เสริมตามรูปแบบปกติของโรงงานผลิต เปรียบเทียบกับบัวหน้าตัดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ซึ่งเสริมลวดอัดแรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มม. โดยเสริมพิเศษอีก 1 เส้น ดังภาพที่ 5.1 - 5.4

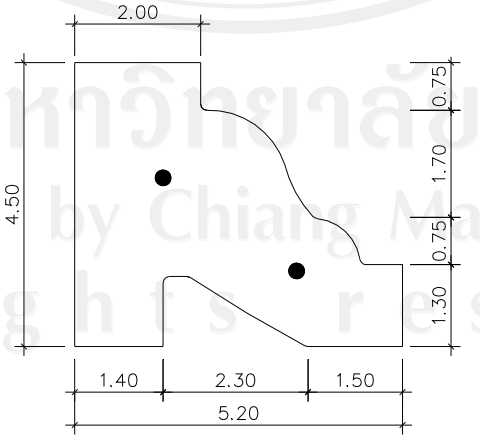
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 5.1 หน้าตัดบัวขนาดเล็กเสริมลวดอัดแรงปกติ 1 จุด (หน่วยเป็นเซนติเมตร)

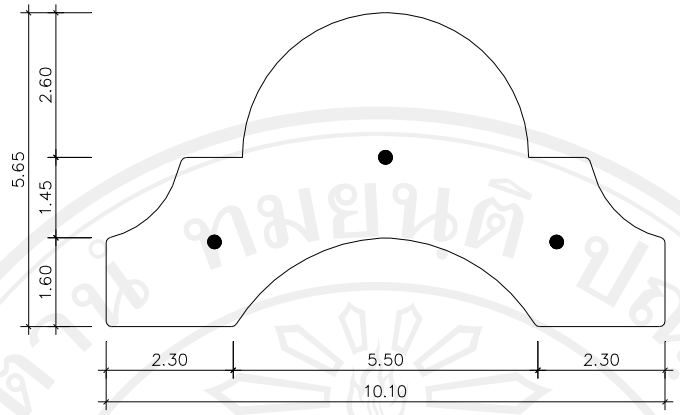


ภาพ 5.2 หน้าตัดบัวขนาดใหญ่เสริมลวดอัดแรงปกติ 2 จุด (หน่วยเป็นเซนติเมตร)



ภาพ 5.3 หน้าตัดบัวขนาดเล็กเสริมลวดอัดแรงพิเศษรวม 2 จุด (หน่วยเป็นเซนติเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 5.4 หน้าตัดบัวขนาดใหญ่เสริมลวดอัดแรงพิเศษรวม 3 จุด (หน่วยเป็นเซนติเมตร)

5.2 ทำการขึ้นรูปบัวซีเมนต์มอนต้าทั้งสองประเภทคือ บัวซีเมนต์มอนต้าที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบและบัวซีเมนต์มอนต้าที่ผสมเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 โดยปริมาตร แบ่งเป็นลักษณะบัวดังนี้

ก. บัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 1 จุด ยาว 2.10 ม. = 2 ท่อน

ข. บัวซีเมนต์มอนต้าผสมเถ้าแกลบหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 1 จุด ยาว 2.10 ม. = 1 ท่อน

ค. บัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 2 จุด ยาว 2.10 ม. = 2 ท่อน

ง. บัวซีเมนต์มอนต้าผสมเถ้าแกลบหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 2 จุด ยาว 2.10 ม. = 1 ท่อน

จ. บัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 2 จุด ยาว 2.10 ม. = 2 ท่อน

ฉ. บัวซีเมนต์มอนต้าผสมเถ้าแกลบหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 2 จุด ยาว 2.10 ม. = 1 ท่อน

ช. บัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 3 จุด ยาว 2.10 ม. = 2 ท่อน

ซ. บัวซีเมนต์มอนต้าผสมเถ้าแกลบหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 3 จุด ยาว 2.10 ม. = 1 ท่อน

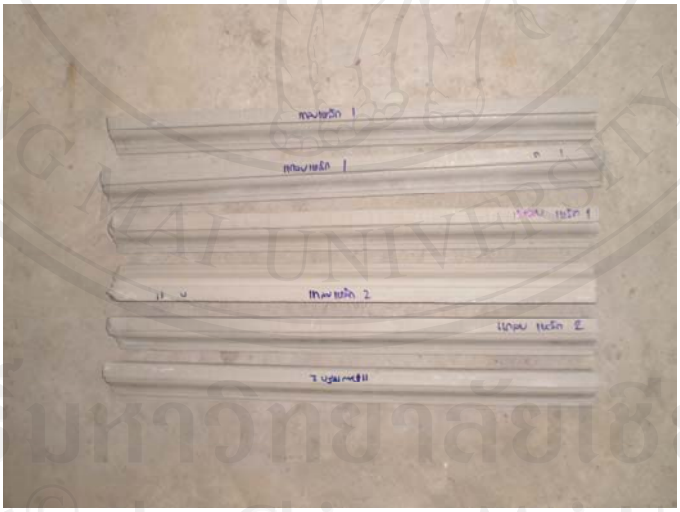
เมื่อทำการขึ้นรูปเสร็จแล้วให้ทิ้งไว้บนโต๊ะ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงแกะออกจากโต๊ะและยกอย่างระมัดระวังตามกรรมวิธีที่ถูกต้อง นำบัวที่มีความยาว 2.10 ม. ไปตัดแบ่งเป็น 3 ท่อนเท่า ๆ กันเพื่อนำไปทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักเฉลี่ยโดย Load Measuring Ring และ Hydraulic Press Hand Operate โดยกำหนดอายุของบัวซีเมนต์มอนต้าก่อนนำไปทดสอบเป็นดังต่อไปนี้

- บัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาให้ทิ้งไว้จนมีอายุ 1 วัน และ 2 วัน ตามลำดับ
- บัวซีเมนต์มอนต้าผสมเถ้าแกลบให้ทิ้งไว้จนมีอายุ 3 วัน

ดังภาพที่ 5.5 – 5.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 5.5 บัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาขนาดหน้าตัดเล็กที่จะนำไปทดสอบ



ภาพ 5.6 บัวซีเมนต์มอนต้าผสมเถ้าแกลบขนาดหน้าตัดเล็กที่จะนำไปทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 5.7 บัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาขนาดหน้าตัดใหญ่ที่จะนำไปทดสอบ

ภาพ 5.8 บัวซีเมนต์มอนต้าผสมเถ้าแกลบขนาดหน้าตัดใหญ่ที่จะนำไปทดสอบ

5.3 นำบัวซีเมนต์มอนต้าทั้งหมดไปทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงดัดโดย Load Measuring Ring และ Hydraulic Press Hand Operate กำหนดให้จุดรองรับบัวมีระยะห่าง 60 ซม. (บัวยาว 0.70 ม.) และกำหนดให้น้ำหนักที่กระทำต่อบัวมีระยะห่างระหว่าง 2 จุด ที่ 20 ซม. ทำการทดสอบโดยการกดบัวด้วย Hydraulic Press Hand Operate จนกระทั่งแท่งบัวเกิดการแตกหักจนเสียสภาพ ขณะเดียวกันให้อ่านค่าตัวเลข (Gauge Reading) ที่เข็มของ Load Measuring Ring ณ จุดที่แตกหักนั้น ทำการบันทึกค่าตัวเลขนั้นไว้เพื่อใช้คำนวณหาแรงกดสูงสุดที่บัวรับได้ก่อนเกิดการแตกหักจนเสียสภาพ (ภาพ 5.9 – 5.11)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 5.9 การทดสอบความสามารถในการรับแรงดัดของบัวซีเมนต์มอนต้า

ภาพ 5.10 ลักษณะการแตกหักของบัวซีเมนต์มอนต้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 5.11 ค่าตัวเลข (Gauge Reading) ที่เข็มของ Load Measuring Ring อ่านขณะที่บัวเกิดการแตกหักจนเสียสภาพ ซึ่งเข็มไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้

5.4 ทำการบันทึกข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดและนำไปคำนวณหาความสามารถในการรับแรงกดเฉลี่ยของบัวซีเมนต์แต่ละชนิด ซึ่งได้ผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยตามตารางดังต่อไปนี้

ตาราง 5.1 ความสามารถในการรับแรงกดเฉลี่ยของบัวซีเมนต์ขนาดหน้าตัดเล็ก

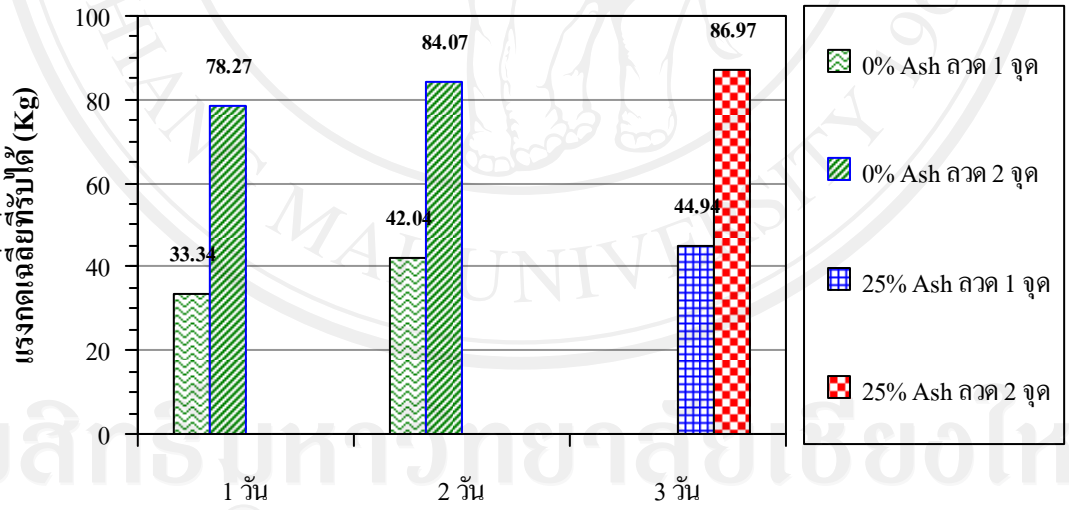
ชนิดบัวซีเมนต์มอนต้า	**อายุบัว (วัน)**	**น้ำหนักบัว (kg/m)**	**แรงกดเฉลี่ยที่รับได้ (kg)**
บัวธรรมดาหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 1 จุด	1	3.20	33.34
บัวธรรมดาหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 2 จุด	1	3.25	78.27
บัวธรรมดาหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 1 จุด	2	3.15	42.04
บัวธรรมดาหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 2 จุด	2	3.20	84.07
บัวผสมเถ้าแกลบหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 1 จุด	3	3.00	44.94
บัวผสมเถ้าแกลบหน้าตัดเล็กเสริมเหล็ก 2 จุด	3	3.05	86.97

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 5.2 ความสามารถในการรับแรงกดเฉลี่ยของบัวซีเมนต์ขนาดหน้าตัดใหญ่

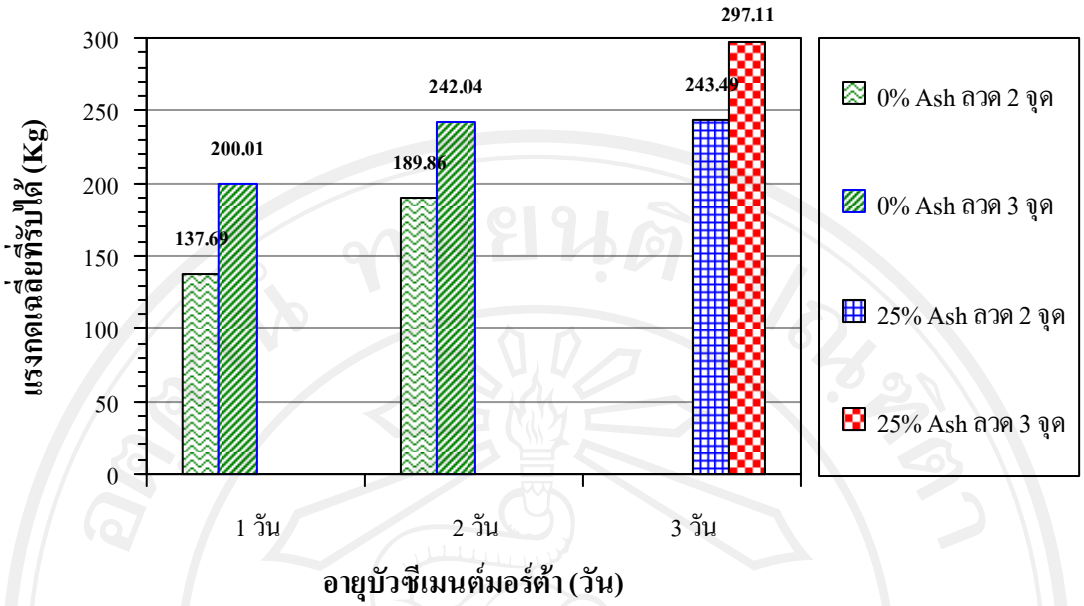
ชนิดบัวซีเมนต์มอนต้า	อายุบัว (วัน)	น้ำหนักบัว (kg/m)	แรงกดเฉลี่ยที่รับได้ (kg)
บัวธรรมดาหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 2 จุด	1	6.80	137.69
บัวธรรมดาหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 3 จุด	1	6.90	200.01
บัวธรรมดาหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 2 จุด	2	6.80	189.86
บัวธรรมดาหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 3 จุด	2	6.90	242.04
บัวผสมเถ้าแกลบหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 2 จุด	3	6.40	243.49
บัวผสมเถ้าแกลบหน้าตัดใหญ่เสริมเหล็ก 3 จุด	3	6.45	297.11

จากข้อมูลตามตารางที่ 5.1 และ 5.2 นำไปบันทึกเป็นกราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกดของบัวซีเมนต์มอนต้าแต่ละชนิดที่อายุต่าง ๆ ได้ดังภาพที่ 5.12 และ 5.13



ภาพ 5.12 แสดงความสามารถในการรับแรงกดของบัวซีเมนต์มอนต้าขนาดหน้าตัดเล็กแต่ละชนิดที่อายุ 1 , 2 และ 3 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 5.13 แสดงความสามารถในการรับแรงกดของบัวซีเมนต์มอนต้าขนาดหน้าตัดใหญ่แต่ละชนิดที่อายุ 1 , 2 และ 3 วัน

จากภาพที่ 5.12 และ 5.13 แสดงให้เห็นว่าบัวซีเมนต์มอนต้าที่ผสมเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ 25 โดยปริมาตร ที่อายุ 3 วัน มีความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าบัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบที่อายุ 1 และ 2 วัน ซึ่งตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้จากการทดสอบกำลังของแท่งมอนต้ารูปทรงกระบอกในหัวข้อที่ 5.1 โดยจากตัวอย่างบัวหน้าตัดเล็กที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบที่อายุ 3 วันจะมีความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าบัวบัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดา 35.8% ที่อายุ 1 วัน และ 6.9% ที่อายุ 2 วัน สำหรับตัวอย่างบัวหน้าตัดใหญ่ที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบที่อายุ 3 วันจะมีความสามารถในการรับแรงกดสูงกว่าบัวบัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาที่อายุ 76.8% ที่อายุ 1 วัน และ 28.2% ที่อายุ 2 วัน

หากพิจารณาที่การเสริมลวดอัดแรงให้ผลการทดลองคือ การเสริมลวดอัดแรงเพิ่มขึ้นจะช่วยให้บัวซีเมนต์มอนต้ามีความสามารถในการรับแรงกดมากขึ้น ตัวอย่างบัวหน้าตัดเล็กที่เสริมลวดเพิ่มขึ้นอีก 1 เส้น จะช่วยให้บัวซีเมนต์มอนต้ามีความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มขึ้นอีกถึง 100-130% และสำหรับตัวอย่างบัวหน้าตัดใหญ่ที่เสริมลวดเพิ่มขึ้นอีก 1 เส้น จะช่วยให้บัวซีเมนต์มอนต้ามีความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มขึ้นอีก 20-30% และบัวซีเมนต์มอนต้าที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบร้อยละ 25 โดยปริมาตรจะมีน้ำหนักน้อยกว่าบัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดา 6-7%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อสรุปจากการทดลองขึ้นรูปจริงและการนำไปทดสอบ

หลังจากได้นำเถ้าแกลบมาเป็นส่วนผสมในการผลิตบัวซีเมนต์มอนต้าสำเร็จรูปโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยปริมาตร และทำการทดลองขึ้นรูปเพื่อการใช้งานจริงโดยเปรียบเทียบกับบัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดา รวมถึงการทดลองเสริมลวดอัดแรงเพิ่มจากกรรมวิธีการผลิตแบบเดิม ให้ผลสรุปได้ว่าบัวซีเมนต์มอนต้าที่มีผสมของเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ 25 โดยปริมาตร ที่อายุ 3 วัน จะมีความสามารถในการรับแรงดัดสูงกว่าบัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบที่อายุ 1 และ 2 วัน และมีน้ำหนักน้อยกว่าบัวซีเมนต์มอนต้าธรรมดาเล็กน้อย ส่วนการเสริมลวดอัดแรงเพิ่มขึ้นจะช่วยให้บัวซีเมนต์มอนต้ามีความสามารถในการรับแรงดัดมากขึ้นตามไปด้วย

การทดลองบ่มน้ำ

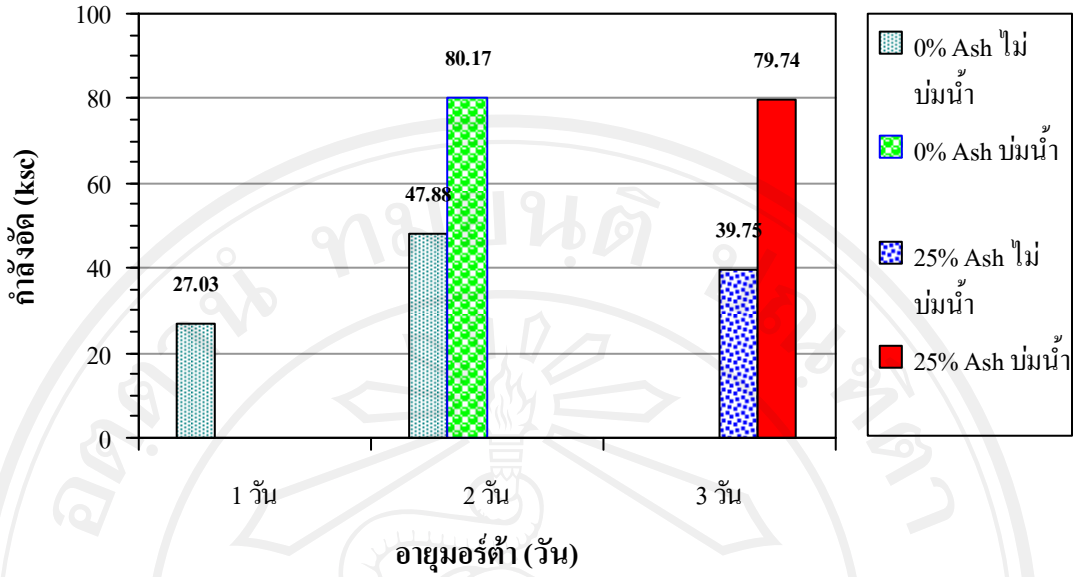
ประเด็นที่น่าสนใจอีกข้อหนึ่งคือ ตามปกติกรรมวิธีการผลิตบัวซีเมนต์มอนต้าของโรงงานผลิตหลังจากแกะบัวออกจากโต๊ะแล้วก็จะนำบัวไปตากแดดให้แห้งโดยไม่ได้มีการบ่มน้ำให้กับบัว ผู้วิจัยจึงได้ทำการลองเพิ่มเติมโดยการหล่อมอนต้ารูปทรงกระบอกลักษณะเดิมแต่จะบ่มน้ำด้วยเพื่อนำไปทดสอบกำลังเปรียบเทียบกับมอนต้าที่ไม่ได้บ่มน้ำ โดยดำเนินการทดลองตามลำดับดังนี้

ก. ทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของมอนต้ารูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 ซม. สูง 10 ซม.ซึ่งไม่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบที่อายุ 2 วันโดยทำการบ่มน้ำด้วยการห่อด้วยถุงพลาสติกใสหลังจากแกะออกจากแบบ 1 วัน เปรียบเทียบกับแท่งมอนต้าซึ่งไม่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบที่อายุ 1 และ 2 วัน โดยไม่บ่มน้ำ (ใช้ข้อมูลเดิม)

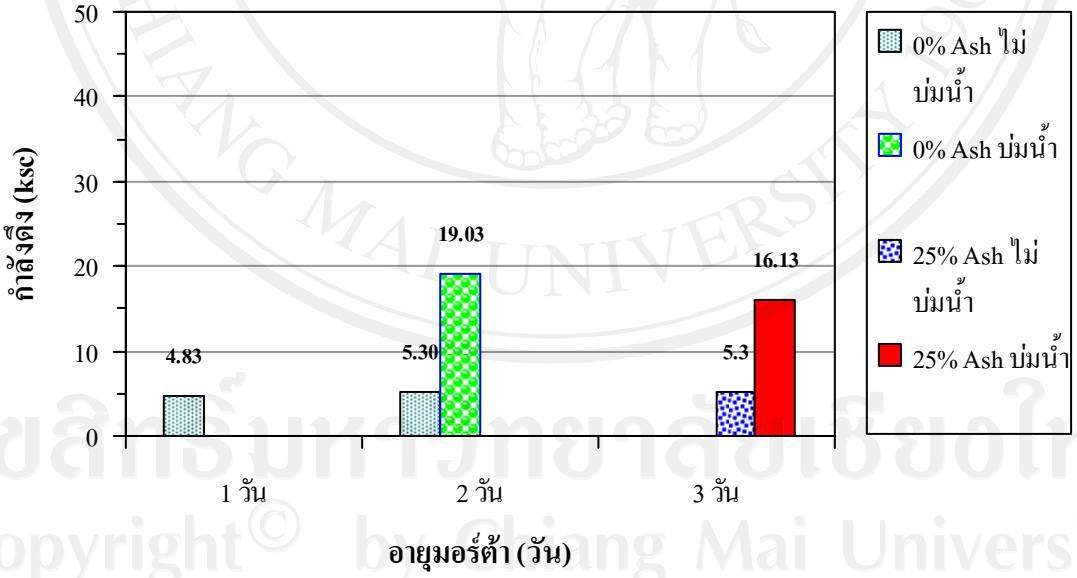
ข. ทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของมอนต้ารูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 ซม. สูง 10 ซม. ซึ่งมีส่วนผสมของเถ้าแกลบโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 โดยปริมาตร ที่อายุ 3 วันโดยทำการบ่มน้ำด้วยการห่อด้วยถุงพลาสติกใสหลังจากแกะออกจากแบบ 1 วัน เปรียบเทียบกับแท่งมอนต้าซึ่งมีส่วนผสมของเถ้าแกลบโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 โดยปริมาตรซึ่งไม่ได้บ่มน้ำ ที่อายุ 3 วัน (ใช้ข้อมูลเดิม)

ผลการทดสอบตามข้อ ก. และ ข. เป็นดังภาพที่ 5.14 และ 5.15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 5.14 แสดงกำลังอัดของแท่งมอนต้ารูปทรงกระบอกที่บ่มน้ำและไม่บ่มน้ำ



ภาพ 5.15 แสดงกำลังดึงของแท่งมอนต้ารูปทรงกระบอกที่บ่มน้ำและไม่บ่มน้ำ

จากภาพที่ 5.14 และ 5.15 แสดงให้เห็นว่าแท่งมอนต้ารูปทรงกระบอกที่ทำการบ่มน้ำหลังจากแกะออกจากแบบจะมีกำลังสูงกว่ามอนต้าที่ไม่ได้บ่มน้ำ โดยแท่งมอนต้าธรรมดาที่บ่มน้ำหลังจากแกะออกจากแบบ 24 ชม. จะให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้นประมาณ 1.7 เท่า และให้ค่ากำลังดึงสูงขึ้นประมาณ 3.6 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แท่งมอนต้าที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบซึ่งบ่มน้ำหลังจากแกะออกจากแบบ 48 ชม. จะให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้นประมาณ 2 เท่า และให้ค่ากำลังดึงสูงขึ้นประมาณ 3 เท่า

<u>การทดลองนำไปติดตั้งใช้งานจริง</u>

หลังจากที่ได้ทำการทดลองขึ้นรูปจริงและทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของบัวซีเมนต์มอนต้าที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 25 โดยปริมาตรแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญที่ขั้นตอนหนึ่งก็คือการทดลองนำไปติดตั้งใช้งานจริง ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองนำบัวซีเมนต์มอนต้าที่ผสมเถ้าแกลบทั้งแบบขนาดหน้าตัดเล็กและขนาดหน้าตัดใหญ่ไปติดตั้งกับผนังรั้วคอนกรีตบล็อก ฉาบปูนเรียบ โดยทำการติดตั้งตามกรรมวิธีปกติของโรงงานผลิต (ตามหัวข้อ 3.1) ซึ่งให้ผลการทดลองคือ สามารถทำการเจาะรู และติดตั้งได้ปกติเหมือนกับบัวซีเมนต์มอนต้าสำเร็จรูปทั่วไปที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ

ภาพ 5.16 แสดงการเจาะรูเพื่อฝากเหล็ก

ภาพ 5.17 แสดงการหาระดับการติดตั้ง

ภาพ 5.18 บัวที่ติดตั้งกับผนังแล้วก่อนทาสี

ภาพ 5.19 บัวที่ติดตั้งกับผนัง ทาสีแล้วเสร็จ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในบทต่อไปจะกล่าวการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต ซึ่งนอกจากแนวทางการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์โดยการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบแล้ว การลดต้นทุนการผลิตนั้นเป็นเป้าหมายหนึ่งของงานวิจัยนี้ โดยจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตระหว่างบัวซีเมนต์มอนต้าแบบเดิมกับบัวซีเมนต์มอนต้าที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบร้อยละ 25 โดยปริมาตร ว่ามีต้นทุนที่ลดต่ำลงมากน้อยเพียงใด จะช่วยให้งานวิจัยนี้มีประโยชน์สำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคโดยตรงหากมีการนำไปเผยแพร่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved