1 **ในการประเมินผลความผันแปรในขบวนการผลิต** จะพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังอัดของคอนกรีต ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอต้องปรับปรุง ความสัมพันธ์ระหว่างความเบี่ยงเบนมาตรฐานกับระดับการควบคุมสรุปได้ดังนี้

ตารางเกณฑ์ในการประเมินการควบคุมการผลิต

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(กก./ตร.ซม.)	น้อยกว่า28	28-<35	35-<42	42-<49	มากกว่า49
ระดับการควบคุมขบวนการผลิต	ดีเลิศ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง

2 การประเมินผลความผันแปรในขบวนการควบคุณภาพ

ในการประเมินนี้ จะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอ ต้องปรับปรุง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร กับระดับการควบคุม สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.9 เกณฑ์ในการประเมินการควบคุมคุณภาพ

สัมประสิทธิ์ความผันแปร(%)	น้อยกว่า3.0	3.0-< 4.0	4.0-< 5.0	5.0-<6.0	มากกว่า6.0
ระดับการควบคุมขบวนการควบคุมคุณภาพ	ดีเลิศ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง

- **ตัวอย่าง** การประเมินผลการทดสอบกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีตถ้าโรงงานผลิตคอนกรีต 3 แห่ง ผลิตคอนกรีตมีค่าการควบคุมดังตาราง

โรงงาน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก.ตร.ซม.)	ค่าสัมประสิทธิ์ การผันแปร (%)
A	42	7.0
B	33	5.0
C	55	3.0

จากค่าในตารางสามารถสรุประดับการควบคุมได้ดังนี้

โรงงาน	ระดับการควบคุมการผลิต	ระดับการควบคุมขบวน การควบคุมคุณภาพ
A	พอใช้	ต้องปรับปรุง
B	ดีมาก	พอใช้
C	ต้องปรับปรุง	ดีมาก

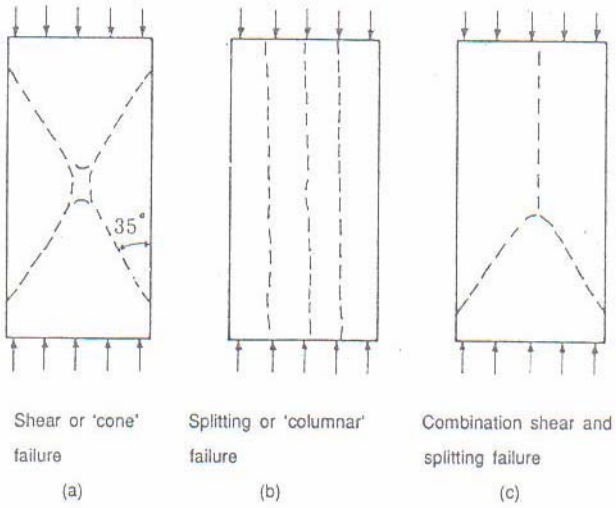
- **สาเหตุกำลังอัดไม่เป็นไปตามข้อกำหนด**

การที่กำลังอัดของคอนกรีต ได้ค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดนี้ อาจมีสาเหตุมาจากหลายๆ ประการอันได้แก่

1. ใช้ส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม
2. ควบคุมปริมาณน้ำไม่เพียงพอ
3. ควบคุมปริมาณน้ำในอากาศไม่ดี
4. การผสมไม่ดีพอ
5. มีสารอินทรีย์ต่างๆ มากเกิดข้อกำหนด
6. ใช้หินทรายที่สกปรก
7. ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ไม่มีประสิทธิ์ภาพ
8. ไม่ได้ปรับความชื้นในมวลรวม
9. การอัดแน่นไม่ถูกต้อง
10. การบ่มไม่เพียงพอ
11. การลำเลียงและทดสอบไม่ถูกต้อง
12. อุณหภูมิผันแปรไป

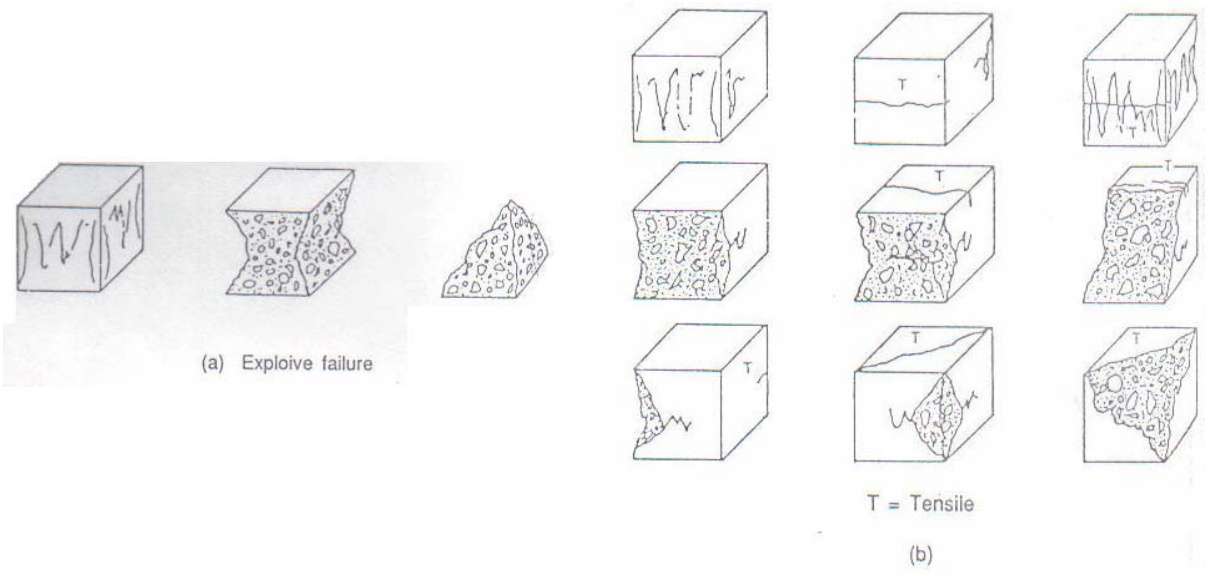
- **ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต**

ลักษณะการชำรุดแตกหักของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงอัด มักแตกออกเป็นรูปกรวยคู่ (Shear Failure) โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก ดังแสดงในรูป 2.11 (a) โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกด อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง วัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ดังนั้นมุมของการแตกหักจึงมีค่าเท่ากับ 45°-Ø/2 เมื่อØ เป็นมุมของความเสียดทานภายใน ของคอนกรีตซึ่งมีค่าประมาณ 20 องศา ดังนั้นระนาบของความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตจึงเบี่ยงเบน 35 องศา ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่าง อาจเป็นการแตกแบบแยกออก (Splitting Failure) ดังรูป 2.11 (b) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ (Combination Shear and Splitting Failure) ดังรูปที่ 2.11 (c)



รูปที่ 2.11 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

ส่วนลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องจะต้องแตกเป็นรูป ปิรามิด ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.12 (a) ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้อง
(b) การแตกที่ไม่ถูกต้อง

บทที่3
รูปแบบการวิจัย

สำหรับการวิจัยในโครงการ การบ่มกำลังคอนกรีตด้วยการเคลือบน้ำยางพารา ได้แบ่งรูปแบบตามลำดับขั้นตอนสำหรับการวิจัย ทดลอง และทดสอบ ไว้ดังต่อไปนี้

3.1. ศึกษารายละเอียดของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต และรูปแบบการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยางพารา โดยจะออกแบบส่วนผสมเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัยตามที่กำหนดสำหรับการทดสอบกำลังอัดคือ 240 กก./ ตร.ซม. และ 360 กก./ ตร.ซม. ซึ่งเป็นกำลังอัดประลัยที่ใช้อ้างอิงในการก่อสร้างโดยทั่วไป

3.2. จัดเตรียมวัสดุต่างๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัยและทดสอบ ซึ่งได้แก่

3.2.1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 (ตราช้าง)

3.2.2. หินเบอร์ 2

3.2.3. ทราย

3.2.4. น้ำยางพาราข้นคงรูป (Prevulcanised Latex)

3.2.5. น้ำยางพาราข้น 60% ชนิดรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียมาก (HA type : High Ammonia)

3.2.6. น้ำยาเคมีสำหรับการบ่มคอนกรีต

3.2.7. แผ่นพลาสติกใสสำหรับหุ้มคอนกรีตทดสอบ

3.3. ขั้นตอนการทดลองสำหรับการออกแบบและคำนวณอัตราส่วนผสมกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ทดสอบ

3.3.1. ทำการหาค่าความถ่วงจำเพาะของหินและทรายที่ใช้ในการทดลองและวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของหินและทราย

3.3.2. คำนวณและออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่กำลังอัด 240 กก./ตร.ซม. และ 360 กก./ตร.ซม. กำหนดให้ใช้หินเบอร์ 2

- คำนวณหาปริมาตรของแบบหล่อรูปทรงกระบอก(cylinder) ขนาด & 15 ซม. สูง 30 ซม. โดยเบื้องต้นจะผสมทั้งหมดครั้งละ 12 ก้อนตัวอย่าง

โดยที่ ปริมาตรแบบหล่อ = พื้นที่ฐาน $\times$ สูง = $\pi r^2 h$

= $\pi \times 0.075^2 \times 0.30$

คอนกรีต 1 ก้อนจะมีปริมาตร = 0.005530 m^3

$\therefore$ คอนกรีต 12 ก้อนจะมีปริมาตร = 0.005530 $\times$ 12 m^3 = 0.0636 m^3

- คำนวณหาปริมาตรของแบบหล่อรูปทรงลูกบากศ์ ขนาด กว้าง 15 ซม. ยาว 15 ซม. สูง 15 ซม.โดยจะผสมทั้งหมดครั้งละ 12 ก้อนตัวอย่าง

โดยที่ ปริมาตรแบบหล่อ = กว้าง× ยาว× สูง = 0.15 ×0. 15 × 0.15

= 0.003375 m^3

คอนกรีต 1 ก้อนจะมีปริมาตร = 0.003375 m^3

∴ คอนกรีต 12 ก้อนจะมีปริมาตร = 0.003375 × 12 = 0.0405 m^3

3.3.3. ทำการผสมคอนกรีตตามที่ได้ออกแบบไว้ ที่กำลังอัดประลัย 240 กก./ตร.ซม. และ 360 กก./ตร.ซม. โดยทำการหล่อแบบทรงลูกบาศก์ขนาด กว้าง 15 ซม. ยาว 15 ซม. สูง 15 ซม. และ รูปทรงกระบอก ขนาด &15 ซม. สูง 30 ซม.

การออกแบบอัตราส่วนผสม

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ = 3.15

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด (ทราย) = 2.65

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ (หินปูน) = 2.70

กำลังอัดประลัยที่คำนวณและออกแบบ = 240 กก./ตร.ซม. และ 360 กก./ตร.ซม.

<u>อัตราส่วนผสมที่กำลังอัดประลัย 240 กก./ตร.ซม.</u>

- วิธีการคำนวณ

สำหรับแรงอัดประลัย 240 กก./ตร.ซม. เผื่อ(Margin) 40%

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.51 ที่ 7 วัน

น้ำหนักซีเมนต์ = 180/0.51 = 353 กก.

ปริมาตรซีเมนต์ = 353/3.15 = 122 ลิตร

ปริมาตรทราย = 400-112 = 288 ลิตร

น้ำหนักทราย = 288 x 2.56 = 763 กก.

หาปริมาตรหิน = 1000-180-112-288 = 420 ลิตร

น้ำหนักหิน = 420 x 2.70 = 1134 กก.

แบบหล่อขนาด 15x15x15 ซม.(12 แบบตัวอย่างทดสอบ) ใช้ปริมาตรดังนี้

- ใช้ปูนซีเมนต์ = 0.0405 * 353 = 14.30 กก.
- ทราย = 0.0405 * 763 = 30.90 กก.
- หิน = 0.0405 * 1134 = 45.90 กก.
- น้ำ = 0.0405 * 180 = 7.29 กก.

แบบหล่อขนาด&15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน (12 แบบตัวอย่างทดสอบ) ใช้ปริมาตรดังนี้

- ใช้ปูนซีเมนต์ = 0.0635*353 = 22.40 กก.
- ทราย = 0.0635*763 = 48.50 กก.
- หิน = 0.0635*1134 = 72.00 กก.
- น้ำ = 0.0635*180 = 7.29 กก.

อัตราส่วนผสมที่กำลังอัดประลัย 360 กก./ตร.ซม.

- วิธีการคำนวณ

สำหรับแรงอัดประลัย 360 กก./ตร.ซม. เผื่อ(Margin) 40%

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	= 0.43 ที่ 14 วัน		
น้ำหนักซีเมนต์	= 180/0.43	= 419	กก.
ปริมาตรซีเมนต์	= 419/3.15	= 133	ลิตร
ปริมาตรทราย	= 400-133	= 267	ลิตร
น้ำหนักทราย	= 267*2.65	= 707	กก.
หาปริมาตรหิน	= 1000-133-180-267 = 420 ลิตร		
น้ำหนักหิน	= 420*2.70	= 1134	กก.

แบบหล่อขนาด 15x15x15 ซม. (12 แบบตัวอย่างทดสอบ) ใช้ปริมาตรดังนี้

- ใช้ปูนซีเมนต์	= 0.0405 * 41	= 17	กก.
- ทราย	= 0.0405 * 707	= 28	กก.
- หิน	= 0.0405 * 1134	= 46	กก.
- น้ำ	= 0.0405 * 180	= 7.27	กก.

แบบหล่อขนาด&15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน (12 แบบตัวอย่างทดสอบ) ใช้ปริมาตรดังนี้

- ใช้ปูนซีเมนต์	= 0.0635 * 419	= 27	กก.
- ทราย	= 0.0635 * 707	= 45	กก.
- หิน	= 0.0635 * 1134	= 72	กก.
- น้ำ	= 0.0635 * 180	= 11.43	กก.

3.4. ขั้นตอนการผสมคอนกรีตทดสอบตามจำนวนที่กำหนด และทำการบ่มตามรูปแบบวิธีที่กำหนด โดยที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1. หล่อแบบก้อนตัวอย่างคอนกรีตครั้งละ 12 ก้อนตัวอย่าง (เนื่องจากอุปกรณ์ในการวิจัยมีจำกัด) และหล่อแบบทั้งหมด 3 ครั้ง ต่อการทดสอบตามระยะอายุของคอนกรีตทดสอบ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน ซึ่งรวมแล้วได้จำนวนรวมในแต่ละประเภทของแบบหล่อทั้งแบบขนาด&15 ซม. สูง 30 ซม. และ แบบขนาด 15x15x15 ซม. จำนวนรวมอย่างละ 36 ก้อนตัวอย่าง ต่อระยะอายุทดสอบของคอนกรีต 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน ดั้งนั้นจำนวนก้อนคอนกรีตทดสอบรวมทั้งสิ้น 108 ก้อนตัวอย่าง/ชนิดแบบหล่อทั้ง 2 ชนิด ดังรูปแสดงที่ 13

รูปที่ 3.2 แบบหล่อก้อนคอนกรีตทดสอบ

3.4.2. ทำการบ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีตในแต่ละรูปแบบที่กำหนดของการบ่ม โดยที่ แบ่งกลุ่มเป็น 9 รูปแบบ และบ่มก้อนตัวอย่างๆละ 4 ก้อนตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของการบ่ม ซึ่งได้แก่

. การบ่มแบบแช่จุ่มน้ำ 4 ตัวอย่าง

. การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 4 ตัวอย่าง

. การบ่มด้วยน้ำยางพาราข้น 60%(High Amonia) ชนิดรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย60% โดยกำหนดอัตราส่วน

- อัตราส่วน น้ำยาง 100% 4 ตัวอย่าง
- อัตราส่วน น้ำยาง 50 น้ำ 50 4 ตัวอย่าง
- อัตราส่วน น้ำยาง 70 น้ำ 30 4 ตัวอย่าง
- อัตราส่วน น้ำยาง 30 น้ำ 70 4 ตัวอย่าง

. การบ่มด้วยน้ำยางพาราข้นคงรูป (Prevulcanised Latex) 4 ตัวอย่าง

. การบ่มด้วยการหุ้มแผ่นพลาสติกใส 4 ตัวอย่าง

. แบบปล่อยทิ้งตามสภาพอากาศ 4 ตัวอย่าง

จำนวนรวม 36 ก้อนตัวอย่างทดสอบต่อการทดสอบตามอายุ 7 วัน, 14 วัน และ 28วัน

<u>ลักษณะรูปแบบของการบ่มก่อนการทดสอบกำลังอัดของก้อนคอนกรีตตัวอย่าง</u>

ก. การบ่มแบบจุ่มแช่น้ำ โดยการนำเอาคอนกรีตทดสอบ ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด เพื่อนำไปแช่น้ำ ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ได้แก่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

ข. การบ่มด้วยน้ำยาเคมี โดยการนำเอาคอนกรีตทดสอบ ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด โดยการนำน้ำยาเคมีมาทาให้ทั่วคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบแล้วปล่อยตามอายุกำลังการทดสอบที่อายุคอนกรีต 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

ค. การบ่มด้วยน้ำยางพาราข้น 60 % ชนิดรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย60% โดยการนำเอาคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบหล่อ บันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด แล้วพิจารณาอัตราส่วนผสมของน้ำยางพารากับน้ำธรรมดา เพื่อปัจจัยด้านการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแบ่งเกณฑ์สัดส่วนน้ำต่อน้ำยางพารา ไว้ดังนี้

- อัตราส่วน น้ำยาง 100% โดยการนำเอาคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด แล้วทาน้ำยางข้น 100 % ให้ทั่วหุ้มผิวคอนกรีต อย่าให้มีฟองอากาศมากเกินไป แล้วเตรียมทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ได้แก่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

-อัตราส่วน น้ำยาง 50% : น้ำ 50 % โดยการนำเอาคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด ผสมสัดส่วนน้ำยาง 50% ต่อน้ำ 50% แล้วนำมาทาเคลือบก้อนคอนกรีตจนทั่ว แล้วเตรียมทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ได้แก่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

-อัตราส่วน น้ำยาง 70% : น้ำ 30 % โดยการนำเอาคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด ผสมสัดส่วนน้ำยาง 70% ต่อน้ำ 30% แล้วนำมาทาเคลือบก้อนคอนกรีตจนทั่ว แล้วเตรียมทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ได้แก่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

-อัตราส่วน น้ำยาง 30% : น้ำ 70 % โดยการนำเอาคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด ผสมสัดส่วนน้ำยาง 30% ต่อน้ำ 70% แล้วนำมาทาเคลือบก้อนคอนกรีตจนทั่ว แล้วเตรียมทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ได้แก่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

ง. การบ่มด้วยน้ำยางพาราข้นคงรูป (Prevulcanised Latex) โดยการนำเอาคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด แล้วนำมาทาเคลือบก้อนคอนกรีตจนทั่ว แล้วเตรียมทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ได้แก่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

จ. การบ่มด้วยการหุ้มแผ่นพลาสติกใส โดยการนำเอาคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบกำลังอัด แล้วนำแผ่นพลาสติกใส่ที่ใช้สำหรับหุ้มผิวคอนกรีตในงานการก่อสร้าง มาห่อหุ้มก้อนคอนกรีตให้ทั่ว แล้วเตรียมทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ได้แก่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

ฉ. แบบปล่อยทิ้งตามสภาพอากาศ โดยการนำเอาคอนกรีต ที่ถอดออกจากแบบหล่อ มาบันทึกหมายเลข และวัน/เดือน/ปี ที่จะทำการทดสอบแรงอัด โดยการปล่อยคอนกรีตทิ้งไว้ในสภาพอากาศตามอายุคอนกรีตที่จะทดสอบกำลัง 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

รูปที่ 3.3 การทาเคลือบน้ำยางพารากับตัวอย่างคอนกรีต

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างคอนกรีตเตรียมทดสอบกำลังอัด

รูปที่ 3.5 รูปแบบการบ่มโดยการหุ้มแผ่นพลาสติกใส

รูปที่ 3.6 รูปแบบการบ่มโดยการเคลือบน้ำยางพรีวัคคาไนต์

รูปที่ 3.7 รูปแบบการบ่มโดยการใช้น้ำยาเคมีเคลือบ

รูปที่ 3.8 รูปแบบการบ่มโดยการเคลือบน้ำยางอัตราส่วนต่างๆ

3.5. ขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตหลังจากบ่มตามระยะเวลาที่กำหนด

3.5.1. นำคอนกรีตตัวอย่างทดสอบขนาด15x15x15 และขนาด&10x30cm ที่ได้ตามระยะเวลาที่จะทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ Compression Testing Machine ดังรูปที่ 15

3.5.2. โดยคอนกรีตขนาด15x15x15cm ทำการกดด้วยเครื่อง Compression Testing Machine แล้วจดค่ากำลังที่ได้จะเป็นค่า กิโลนิวตัน ดังรูปที่15

3.5.3. คอนกรีตขนาด & 10x30 cm จะต้องทำการหุ้มปรับหัวคอนกรีตด้วยกำมะถันก่อนที่จะนำไปกดด้วยเครื่อง Compression Testing Machine แล้วจดค่ากำลังที่ได้จะเป็นค่า กิโลนิวตัน ดังรูปที่ 16

3.5.4. ในการกดแต่ละครั้งจะต้องทำการจดบันทึกทุกครั้งเมื่อได้ค่ากำลังออกมาจะเป็นค่า กิโลนิวตัน จึงจะต้องนำค่าที่ได้มาคูณด้วยค่าที่ปรับแก้สำหรับเครื่องทดสอบไว้แล้วคือ 101.36 แล้วนำมาหารด้วยพื้นที่หน้าตัด และจะได้ค่าเป็น กก./ตร.ซม.เช่นดังตัวอย่างคือ(810x101.36)/(15x15) = 364 กก./ตร.ซม.

รูปที่ 3.9 การทดสอบกำลังอัดประลัยของก้อนคอนกรีตตัวอย่าง

รูปที่ 3.10 ก้อนคอนกรีตตัวอย่างรูปแบบต่างๆสำหรับการทดสอบ

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่การออกแบบ 240 กก./ตร.ซม. เผื่อ 40% (สำหรับคอนกรีตขนาด 15x15x15 ซม.)

รูปแบบการบ่ม	กำลังอัด ที่อายุ 7 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลังอัด ที่อายุ 14 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลังอัด ที่อายุ 28 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย
การบ่มแบบแช่น้ำ 1	315		308		340	
การบ่มแบบแช่น้ำ 2	328		349		387	
การบ่มแบบแช่น้ำ 3	272		318		380	
การบ่มแบบแช่น้ำ 4	286	300.25	280	313.75	322	357.25
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 1	333		326		299	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 2	324		333		304	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 3	319		290		304	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 4	277	313.25	305	313.50	340	311.75
การบ่มหุ้มพลาสติก 1	285		214		322	
การบ่มหุ้มพลาสติก 2	287		333		299	
การบ่มหุ้มพลาสติก 3	275		320		306	
การบ่มหุ้มพลาสติก 4	275	280.50	250	286	301	300.25
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 1	257		268		340	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 2	259		295		281	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 3	260		285		265	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 4	255	257.75	260	277	250	284
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 1	317		317		277	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 2	254		300		304	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 3	236		295		285	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 4	245	263	255	291.75	265	282.75
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 1	242		335		272	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 2	252		295		299	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 3	257		260		259	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 4	250	250.25	275	291.25	280	270.00
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 1	247		299		273	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 2	245		285		280	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 3	249		280		240	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 4	246	246.75	258	265.50	260	260.25
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 1	306		344		280	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 2	339		390		262	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 3	266		300		232	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 4	259	292.50	285	304.75	264	260.25
ไม่ได้บ่ม 1	245		250		232	
ไม่ได้บ่ม 2	246		265		290	
ไม่ได้บ่ม 3	259		245		245	
ไม่ได้บ่ม 4	250	250	235	248.75	255	255.5

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่การออกแบบ 240 กก./ตร.ซม. เผื่อ 40% (สำหรับคอนกรีตขนาด & 15x30 ซม.)

รูปแบบการบ่ม	กำลังอัด ที่อายุ 7 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลังอัด ที่อายุ 14 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลังอัด ที่อายุ 28 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย
การบ่มแบบแช่น้ำ 1	258		350		298	
การบ่มแบบแช่น้ำ 2	252		333		286	
การบ่มแบบแช่น้ำ 3	356		290		275	
การบ่มแบบแช่น้ำ 4	304	292.50	285	314.50	286	286.25
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 1	246		295		275	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 2	286		300		283	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 3	317		323		263	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 4	298	286.75	260	294.50	285	284
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 1	245		321		295	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 2	255		310		301	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 3	270		301		252	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 4	277	269.25	295	306.75	262	277.50
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 1	258		285		259	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 2	285		301		263	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 3	246		295		258	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 4	260	262.25	290	292.75	249	264.75
การบ่มหุ้มพลาสติก 1	248		324		261	
การบ่มหุ้มพลาสติก 2	250		295		271	
การบ่มหุ้มพลาสติก 3	252		275		256	
การบ่มหุ้มพลาสติก 4	330	270	260	288.50	261	262.25
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 1	265		304		258	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 2	242		295		278	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 3	275		260		261	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 4	258	260	270	282.25	269	260.50
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 1	255		312		266	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 2	245		295		255	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 3	250		275		258	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 4	260	252.50	265	271.75	260	257.75
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 1	249		275		260	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 2	246		260		250	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 3	240		245		249	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 4	245	248.75	240	255.00	245	251.00
ไม่ได้บ่ม 1	235		250		249	
ไม่ได้บ่ม 2	260		250		240	
ไม่ได้บ่ม 3	212		248		239	
ไม่ได้บ่ม 4	245	238	234	245.50	245	243.25

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่การออกแบบ 360 กก./ตร.ซม. เผื่อ 40% (สำหรับคอนกรีตขนาด 15x15x15 ซม.)

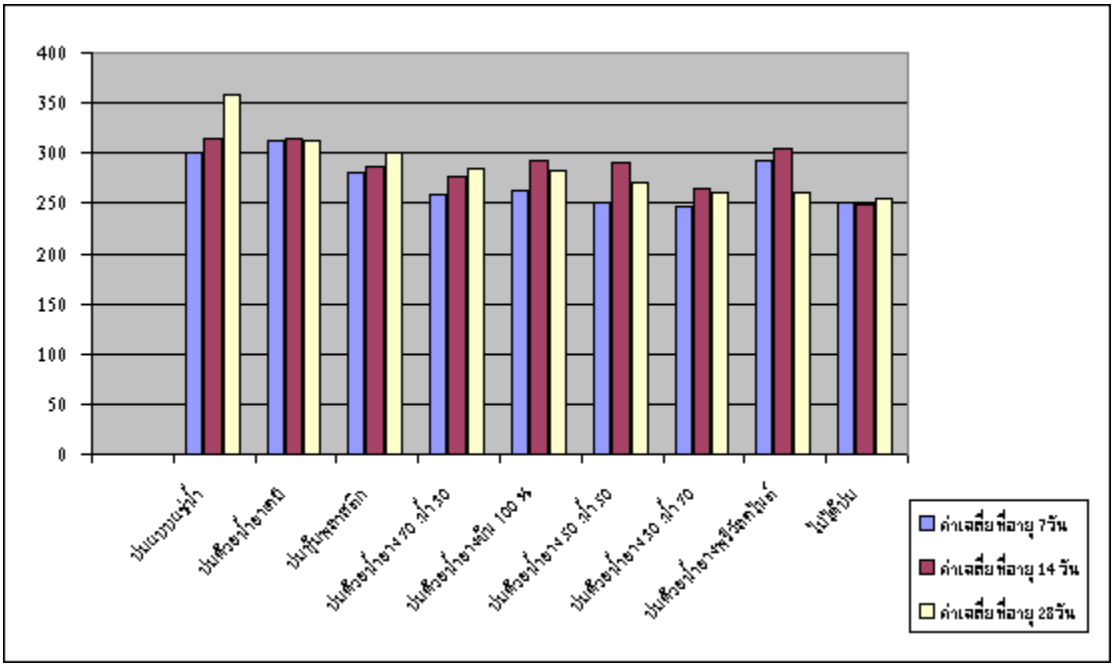
รูปแบบการบ่ม	กำลังอัด ที่อายุ 7 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลังอัด ที่อายุ 14 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลังอัด ที่อายุ 28 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย
การบ่มแบบแช่น้ำ 1	399		399		405	
การบ่มแบบแช่น้ำ 2	400		430		410	
การบ่มแบบแช่น้ำ 3	387		435		440	
การบ่มแบบแช่น้ำ 4	390	394	390	413.5	435	422.5
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 1	389		405		415	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 2	396		390		405	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 3	373		395		410	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 4	390	387	389	394.75	393	405.75
การบ่มหุ้มพลาสติก 1	367		390		391	
การบ่มหุ้มพลาสติก 2	380		387		395	
การบ่มหุ้มพลาสติก 3	382		390		385	
การบ่มหุ้มพลาสติก 4	373	375.5	385	388	388	389.75
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 1	378		389		383	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 2	388		389		385	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 3	413		395		395	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 4	370	387.25	387	390	390	388.25
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 1	376		391		390	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 2	382		394		389	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 3	387		378		380	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 4	370	378.75	389	388	385	386
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 1	423		382		380	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 2	337		375		373	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 3	367		380		380	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 4	387	378.5	370	376.75	375	377
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 1	360		379		375	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 2	400		384		380	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 3	371		382		378	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 4	380	377	368	379.25	370	375.75
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 1	380		382		380	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 2	373		373		369	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 3	360		360		365	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 4	375	372	378	373.25	377	372.75
ไม่ได้บ่ม 1	367		369		370	
ไม่ได้บ่ม 2	315		350		355	
ไม่ได้บ่ม 3	344		344		350	
ไม่ได้บ่ม 4	350	344	355	354.5	359	358.5

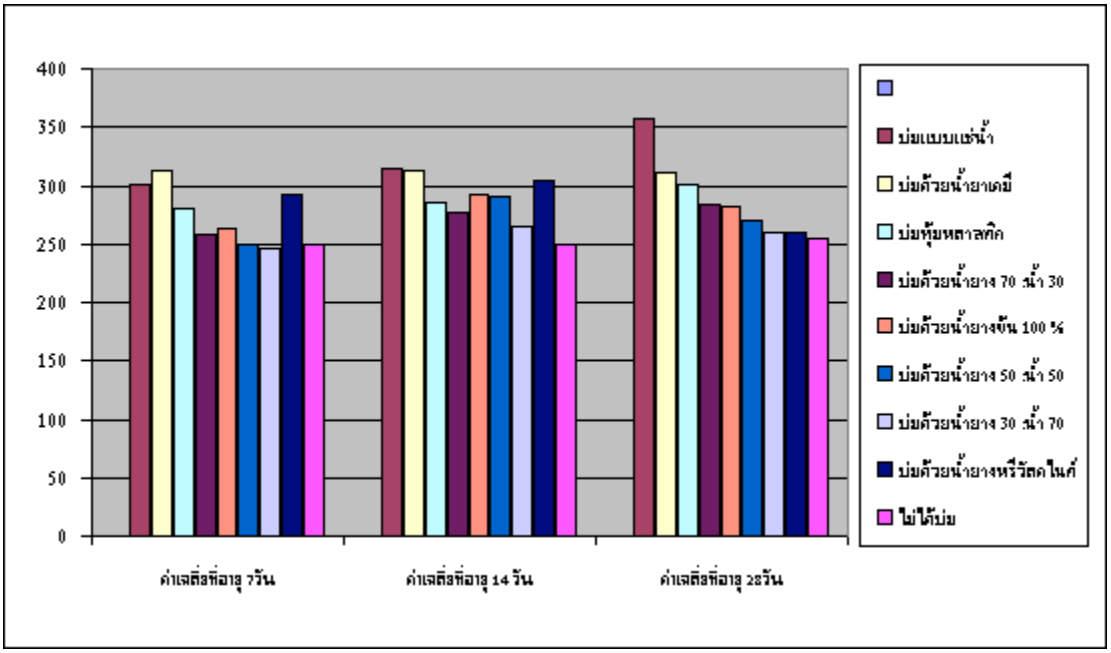
ตารางที่ 4.4 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่การออกแบบ 360 กก./ตร.ซม. เผื่อ 40% (สำหรับคอนกรีตขนาด & 15x30 ซม.)

รูปแบบการบ่ม	กำลังอัด ที่อายุ 7 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลังอัด ที่อายุ 14 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย	กำลังอัด ที่อายุ 28 วัน (ksc.)	ค่าเฉลี่ย
การบ่มแบบแช่น้ำ 1	420		415		422	
การบ่มแบบแช่น้ำ 2	401		420		425	
การบ่มแบบแช่น้ำ 3	399		403		409	
การบ่มแบบแช่น้ำ 4	425	411.25	430	417	432	422
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 1	373		380		380	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 2	390		395		394	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 3	381		386		390	
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี 4	385	382.25	389	387.25	392	389
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 1	390		392		390	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 2	384		388		386	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 3	385		387		385	
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30 4	363	385.50	390	389.25	387	387.00
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 1	395		395		390	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 2	389		387		387	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 3	380		385		389	
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 % 4	385	387.25	388	388.75	380	386.50
การบ่มหุ้มพลาสติก 1	364		366		379	
การบ่มหุ้มพลาสติก 2	375		380		378	
การบ่มหุ้มพลาสติก 3	379		383		379	
การบ่มหุ้มพลาสติก 4	384	375.50	386	378.75	385	380.25
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 1	373		377		370	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 2	387		389		375	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 3	380		385		380	
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์ 4	371	377.75	373	381	382	376.75
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 1	375		378		375	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 2	385		386		380	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 3	375		376		378	
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50 4	370	376.25	373	378.25	370	375.75
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 1	365		367		370	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 2	378		380		378	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 3	369		368		365	
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70 4	370	370.50	375	372.25	370	370.75
ไม่ได้บ่ม 1	341		345		360	
ไม่ได้บ่ม 2	344		350		363	
ไม่ได้บ่ม 3	359		361		359	
ไม่ได้บ่ม 4	362	351.50	359	353.75	361	360.75

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังประลัย 240 กก./ตร.ซม. สำหรับแบบหล่อขนาด 15x15x15 ซม.

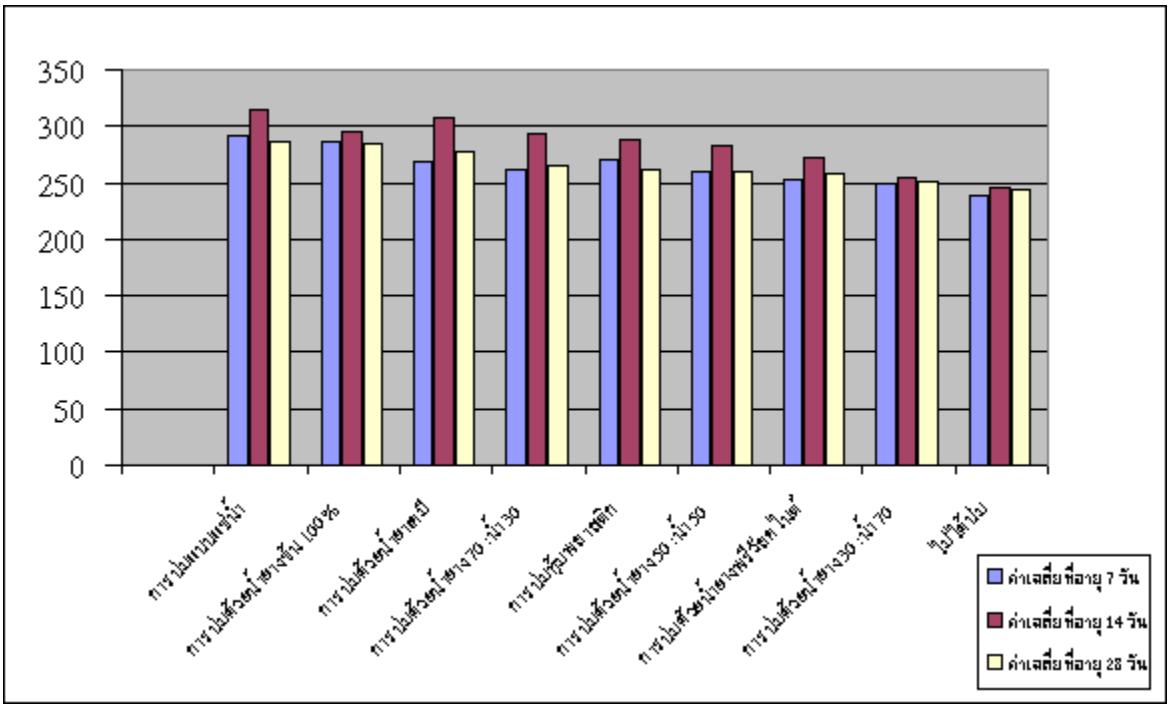
รูปแบบการบ่ม	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 7วัน	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 14 วัน	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 28วัน
บ่มแบบแช่น้ำ	300.25	313.75	357.25
บ่มด้วยน้ำยาเคมี	313.25	313.5	311.75
บ่มหุ้มพลาสติก	280.5	286	300.25
บ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	257.75	277	284
บ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	263	291.75	282.75
บ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	250.25	291.25	270
บ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	246.75	265.5	260.25
บ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์	292.5	304.75	260.25
ไม่ได้บ่ม	250	248.75	255.5

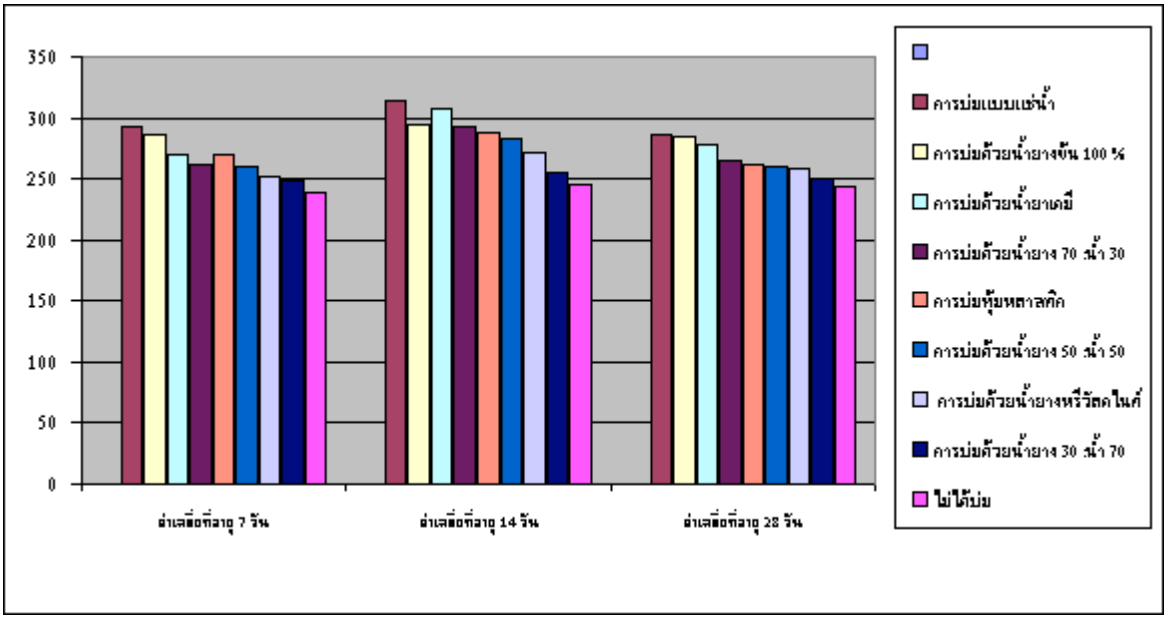




ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังประลัย 240 กก./ตร.ซม. สำหรับแบบหล่อขนาดϕ 30x15 ซม.

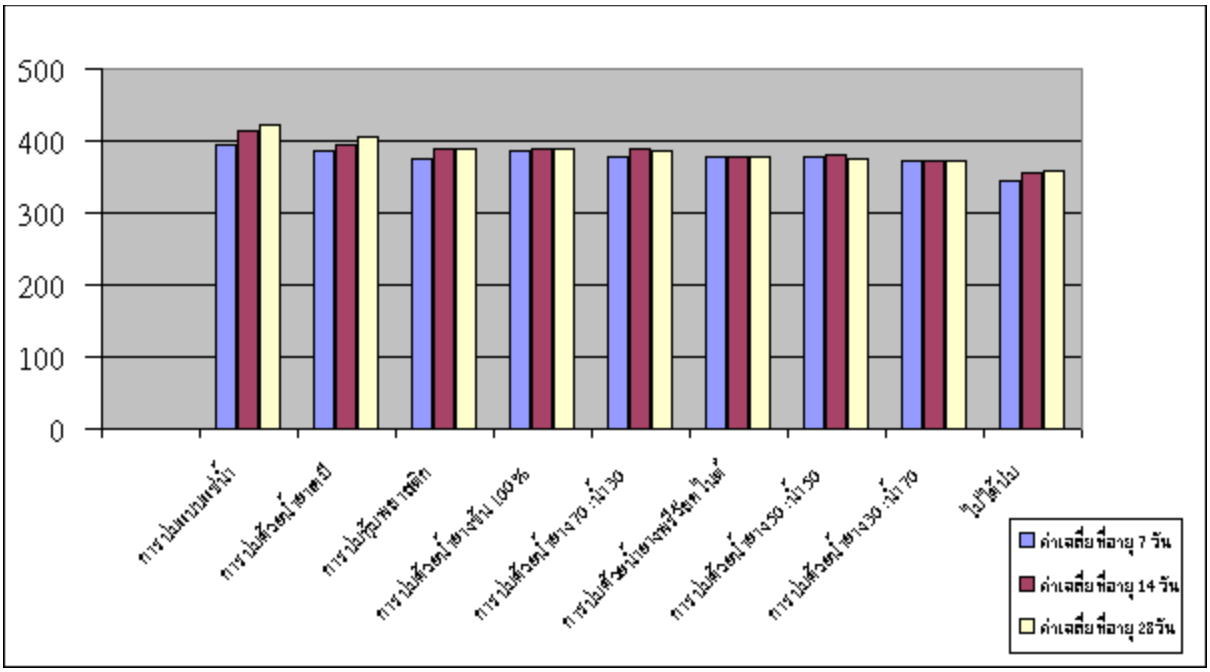
รูปแบบการบ่ม	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 7 วัน	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 14 วัน	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน
การบ่มแบบแช่น้ำ	292.5	314.5	286.25
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	286.75	294.5	284
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี	269.25	306.75	277.5
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	262.25	292.75	264.75
การบ่มหุ้มพลาสติก	270	288.5	262.25
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	260	282.25	260.5
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์	252.5	271.75	257.75
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	248.75	255	251
ไม่ได้บ่ม	238	245.5	243.25

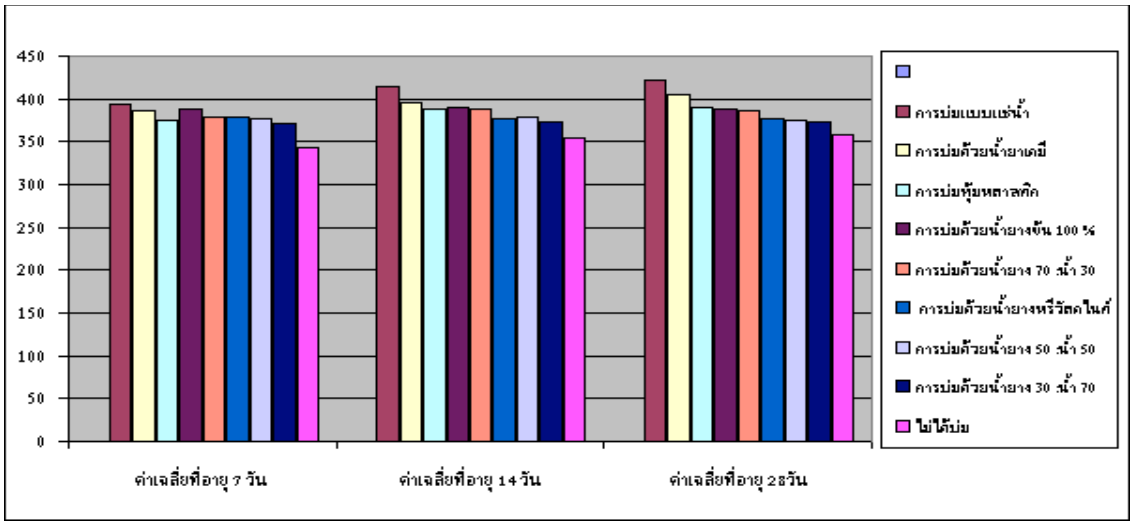




ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังประลัย 360 กก./ตร.ซม. สำหรับแบบหล่อขนาด 15x15x15 ซม.

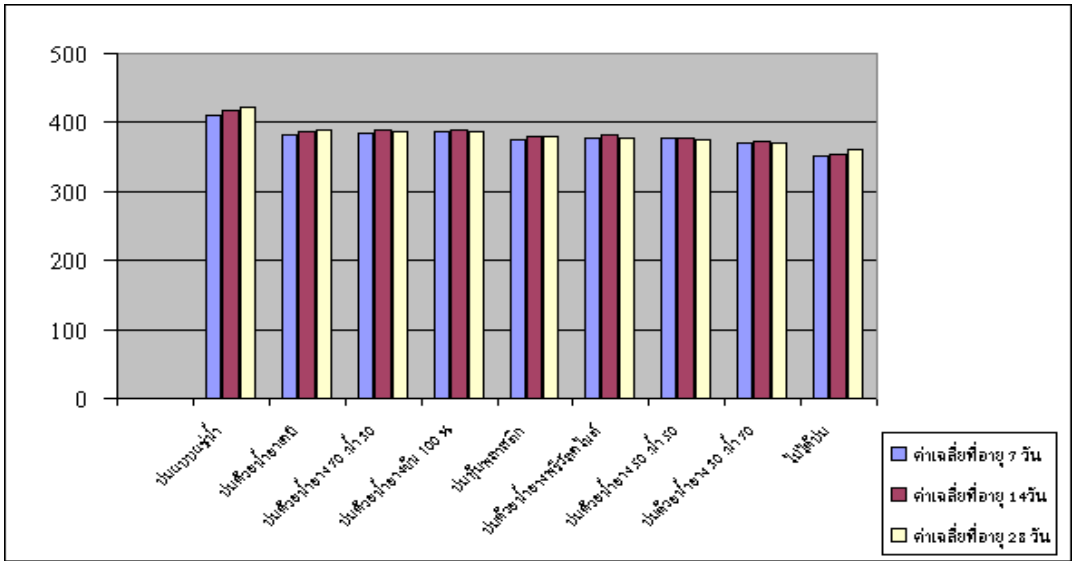
รูปแบบการบ่ม	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 7 วัน	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 14 วัน	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 28วัน
การบ่มแบบแช่น้ำ	394	413.5	422.5
การบ่มด้วยน้ำยาเคมี	387	394.75	405.75
การบ่มหุ้มพลาสติก	375.5	388	389.75
การบ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	387.25	390	388.25
การบ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	378.75	388	386
การบ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์	378.5	376.75	377
การบ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	377	379.25	375.75
การบ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	372	373.25	372.75
ไม่ได้บ่ม	344	354.5	358.5

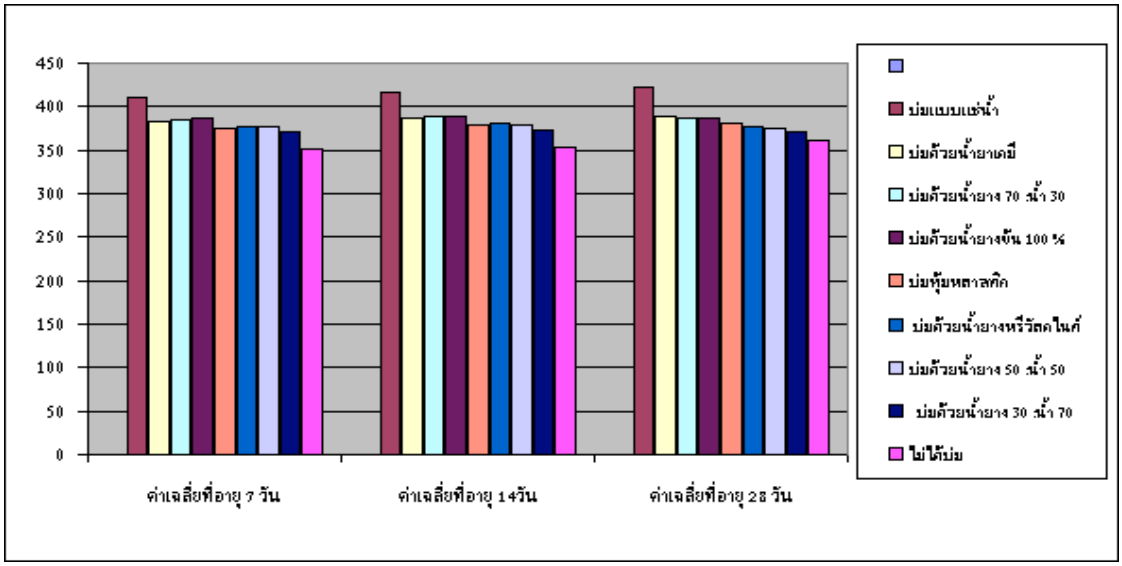




ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังประลัย 360 กก./ตร.ซม. สำหรับแบบหล่อขนาดϕ 30x15 ซม.

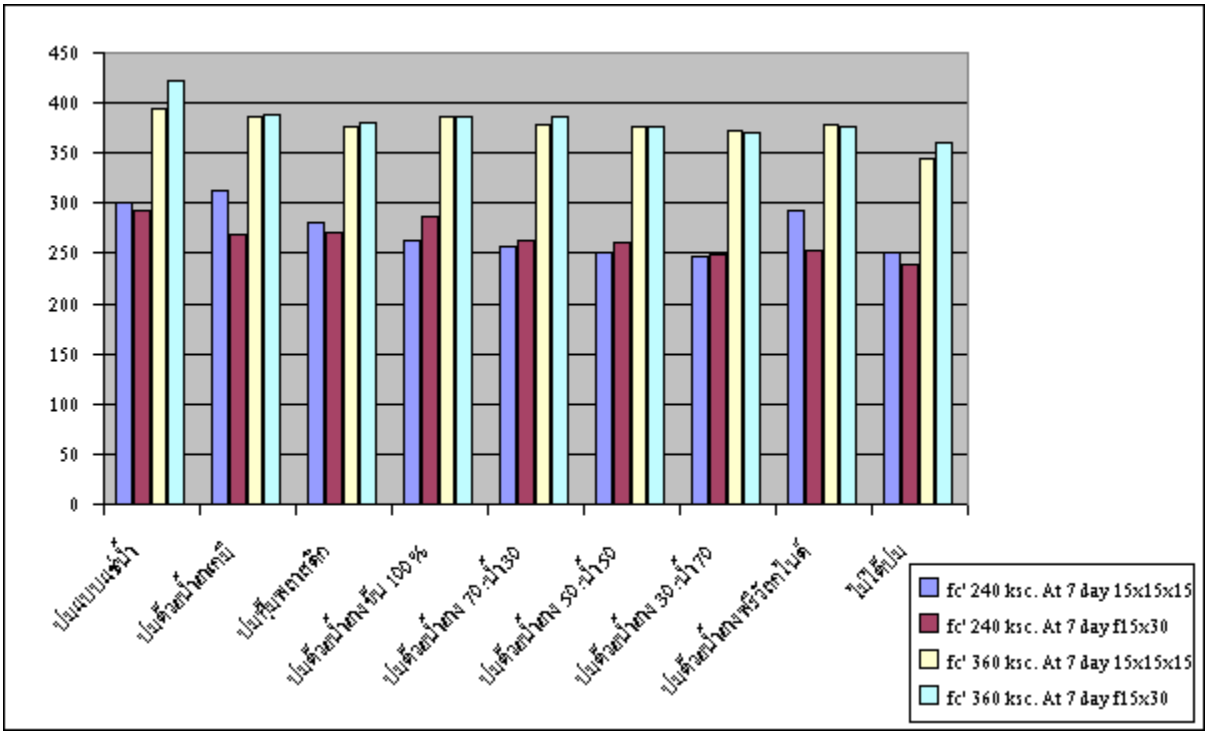
รูปแบบการบ่ม	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 7 วัน	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 14วัน	ค่าเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน
บ่มแบบแช่น้ำ	411.25	417	422
บ่มด้วยน้ำยาเคมี	382.25	387.25	389
บ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	385.5	389.25	387
บ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	387.25	388.75	386.5
บ่มหุ้มพลาสติก	375.5	378.75	380.25
บ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคไนต์	377.75	381	376.75
บ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	376.25	378.25	375.75
บ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	370.5	372.25	370.75
ไม่ได้บ่ม	351.5	353.75	360.75





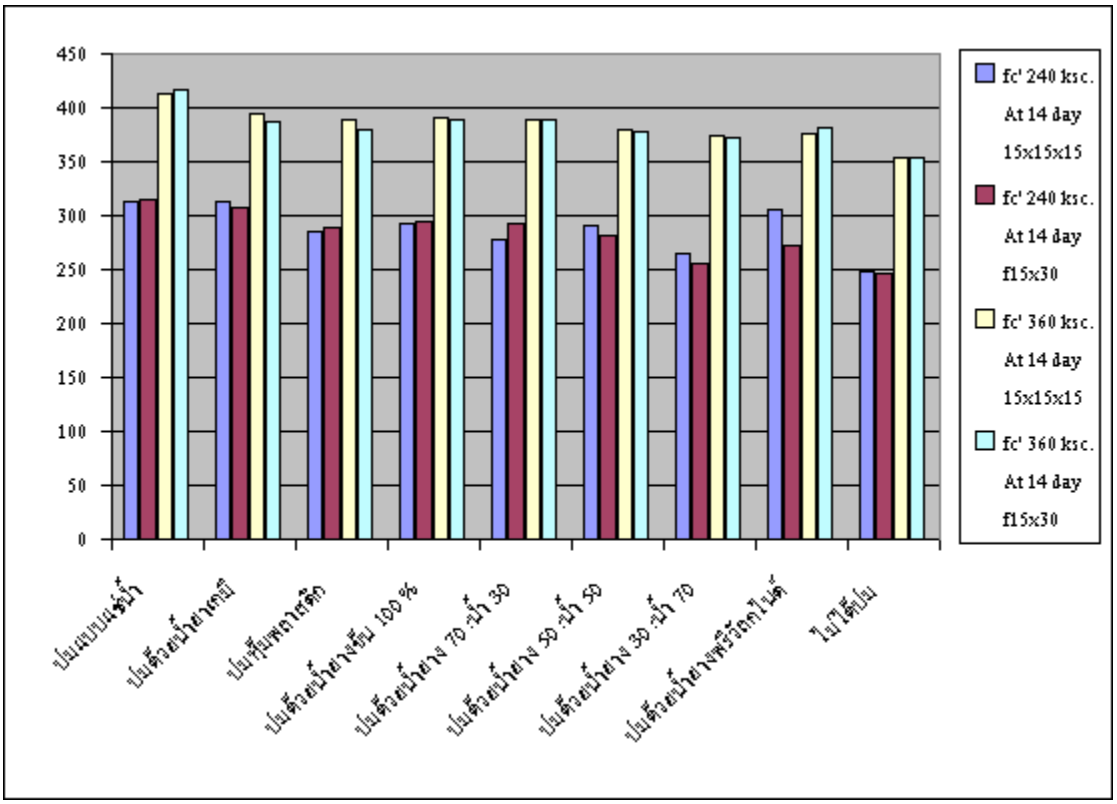
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัย ของก้อนคอนกรีตทดสอบที่อายุ 7 วัน

รูปแบบการบ่ม	fc' 240 ksc. At 7 day		fc' 360 ksc. At 7 day	
	15x15x15	f15x30	15x15x15	f15x30
บ่มแบบแช่น้ำ	300.25	292.5	394	422
บ่มด้วยน้ำยาเคมี	313.25	269.25	387	389
บ่มหุ้มพลาสติก	280.5	270	375.5	380.25
บ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	263	286.75	387.25	386.5
บ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	257.75	262.25	378.75	387
บ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	250.25	260	377	375.75
บ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	246.75	248.75	372	370.75
บ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคไนต์	292.5	252.5	378.5	376.75
ไม่ได้บ่ม	250	238	344	360.75



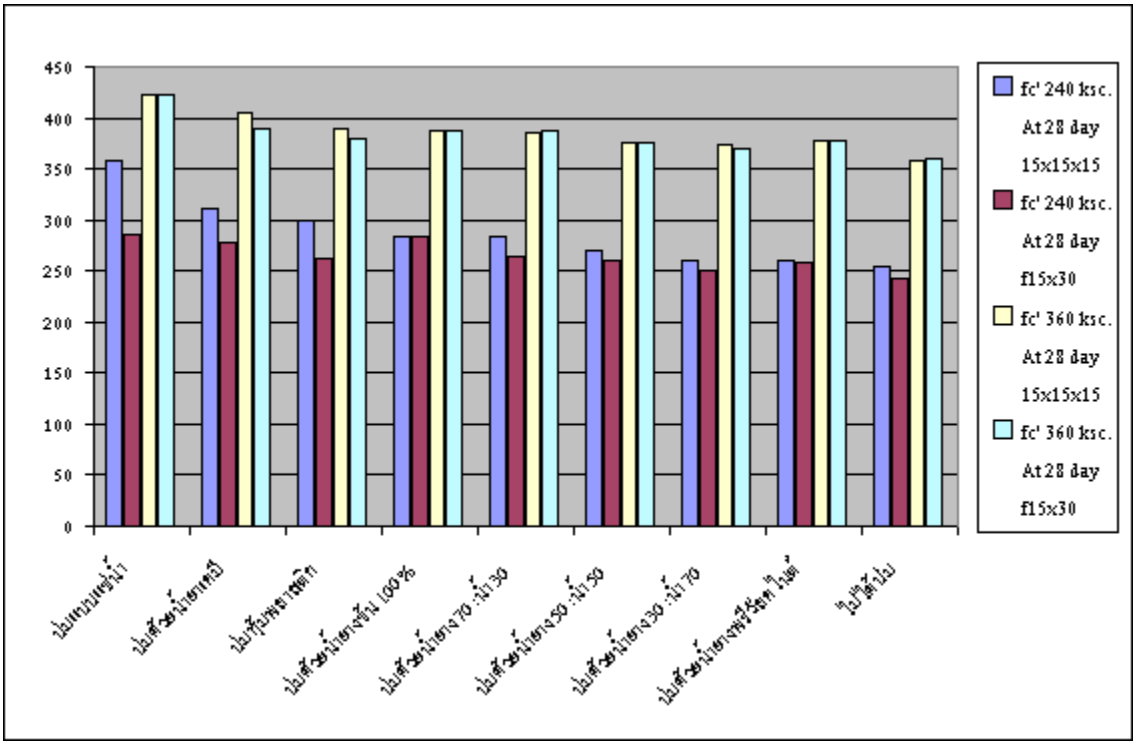
ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัยของก้อนคอนกรีตทดสอบที่อายุ 14 วัน

รูปแบบการบ่ม	fc' 240 ksc. At 14 day		fc' 360 ksc. At 14 day	
	15x15x15	f15x30	15x15x15	f15x30
บ่มแบบแช่น้ำ	313.75	314.5	413.5	417
บ่มด้วยน้ำยาเคมี	313.5	306.75	394.75	387.25
บ่มหุ้มพลาสติก	286	288.5	388	378.75
บ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	291.75	294.5	390	388.75
บ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	277	292.75	388	389.25
บ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	291.25	282.25	379.25	378.25
บ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	265.5	255	373.25	372.25
บ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคไนต์	304.75	271.75	376.25	381
ไม่ได้บ่ม	248.75	245.5	354.5	353.75



ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัย ของก้อนคอนกรีตทดสอบที่อายุ 28 วัน

รูปแบบการบ่ม	fc' 240 ksc. At 28 day		fc' 360 ksc. At 28 day	
	15x15x15	f15x30	15x15x15	f15x30
บ่มแบบแช่น้ำ	357.25	286.25	422.5	422
บ่มด้วยน้ำยาเคมี	311.75	277.5	405.75	389
บ่มหุ้มพลาสติก	300.25	262.25	389.75	380.25
บ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	282.75	284	388.25	386.5
บ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	284	264.75	386	387
บ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	270	260.5	375.75	375.75
บ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	260.25	251	372.75	370.75
บ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคไนต์	260.25	257.75	377	376.75
ไม่ได้บ่ม	255	243.25	358.5	360.75



บทที่ 5
การวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองและการทดสอบตามขั้นตอนการวิจัย ซึ่งได้ให้ค่าต่างๆในตารางจากการบันทึกผลและการคำนวณหาค่าเฉลี่ย สามารถวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่บันทึกและคำนวณ โดยจะเห็นได้ว่าค่ากำลังแรงอัดของก้อนคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการบ่ม ซึ่งการบ่มที่สามารถทำให้ก้อนคอนกรีตสูญเสียน้ำหรือความชื้นได้น้อยจะสามารถเพิ่มกำลังแรงอัดได้มาก เนื่องมาจากปฏิกิริยาด้านกำลังของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์ มวลผสม และน้ำ โดยมีระยะเวลาของการทำปฏิกิริยา และจะเกิดความร้อนขึ้นจะทำให้สูญเสียน้ำหรือความชื้นขึ้นได้ ดังนั้นวิธีการบ่มคอนกรีตจึงจำเป็นที่จะต้องเก็บกักรักษาปริมาณน้ำและความชื้นให้เพียงพอ และจากผลการทดสอบด้านกำลังรับแรงอัดประลัยด้วยเครื่องทดสอบแรงอัด (Compression Testing Machine) ของก้อนคอนกรีตที่เป็นตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ในแต่ละรูปแบบจะให้ผลด้านการรับกำลังแรงอัดที่ต่างๆกัน สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบ ตามข้อมูลที่แสดงในตาราง การเปรียบเทียบรูปแบบการบ่มลักษณะต่างๆ ตามค่ากำลังอัดประลัยที่กำหนดและออกแบบไว้ที่ 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และ 360 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร โดยค่าตัวเลขที่แสดงกำลังอัดสูงสุดจากการทดสอบคือ รูปแบบการบ่มแบบแช่จุ่มน้ำ และค่าที่ต่ำที่สุด คือ รูปแบบที่ไม่ได้บ่ม

สำหรับในการวิจัยครั้งนี้เป็นการพิจารณาในรูปแบบของการเคลือบผิวด้วยน้ำยางพารา ซึ่งจะสังเกตได้ว่า การใช้รูปแบบเคลือบผิวด้วยน้ำยางพารา โดยแบ่งสัดส่วนการผสมน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดนั้น ค่าที่ให้ด้านกำลังอัดสูงสุดในการทดสอบ คือการเคลือบผิวน้ำยางพาราอัตราส่วน100% และต่ำสุดที่อัตราส่วนน้ำยาง 30% ต่อ น้ำธรรมดา 70% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำยางพาราที่มีความข้นสูงจะสามารถเคลือบผิวหุ้มคอนกรีตได้ดี ทำให้เกิดการบ่มที่ไม่สูญเสียความชื้นและค่ากำลังอัดที่เกิดขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการบ่มในลักษณะอื่นๆ เช่น การบ่มด้วยน้ำยางเคมี และการบ่มด้วยการหุ้มผิวด้วยแผ่นพลาสติก นั้น ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบโดยรวมนั้นพบว่า การบ่มด้วยการเคลือบผิวน้ำยาง 100% จะมีค่าใกล้เคียงกับรูปแบบการบ่มด้วยน้ำยาเคมี และสำหรับการบ่มด้วยการเคลือบผิวน้ำยางอัตราส่วน น้ำยาง70%ต่อน้ำธรรมดา30% จะสามารถให้ค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงกับการหุ้มผิวด้วยแผ่นพลาสติก ซึ่งจากการวิเคราะห์จากข้อมูลในแต่ละตารางการทดสอบแล้วค่ากำลังอัดจะเพิ่มขึ้นตามอายุระยะเวลาของการบ่มที่เพิ่มขึ้นตามลำดับเวลา 7, 14 และ 28 วัน โดยค่าที่อ้างอิงตามทฤษฎีแล้วจะระบุที่อายุคอนกรีตที่เวลา 28 วัน และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบจากก้อนตัวอย่างทดสอบทั้งแบบลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร และแบบรูปทรงกระบอกขนาดϕ 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัย ของก้อนคอนกรีตทดสอบที่อายุ 28 วัน

ลำดับที่	รูปแบบการบ่ม	fc' 240 ksc. At 28 day			fc' 360 ksc. At 28 day		
		15x15x15	ϕ 15x30	ค่าเฉลี่ย	15x15x15	ϕ 15x30	ค่าเฉลี่ย
1	บ่มแบบแช่น้ำ	357.25	286.25	321.75	422.5	422	422.25
2	บ่มด้วยน้ำยาเคมี	311.75	277.5	294.625	405.75	389	397.375
3	บ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	282.75	284	283.375	388.25	386.5	387.375
4	บ่มหุ้มพลาสติก	300.25	262.25	281.25	389.75	380.25	385
5	บ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	284	264.75	274.375	386	387	386.5
6	บ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์	260.25	257.75	259	377	376.75	376.875
7	บ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	270	260.5	265.25	375.75	375.75	375.75
8	บ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	260.25	251	255.625	372.75	370.75	371.75
9	ไม่ได้บ่ม	255	243.25	249.125	358.5	360.75	359.625

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ปัจจัยหลักในการบ่มคอนกรีตเพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่ดีที่สุดจะต้องรักษาความชื้นและปริมาณน้ำในเนื้อคอนกรีตให้ได้มากที่สุด ซึ่งในรูปแบบของการแช่น้ำไว้จะสามารถรักษาความชื้นและปริมาณน้ำได้ดีสุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการบ่มด้วยน้ำยาเคมี กับการบ่มด้วยน้ำยางเคลือบผิว100% นั้นในลักษณะของน้ำยาเคมีจะเป็นสารโพลิเมอร์ที่แทรกซึมเข้าไปจับตัวกันตามรูโพรงอากาศที่ผิวของคอนกรีตโดยจะไม่แสดงให้เห็นเป็นชั้นแผ่นฟิลม์ และเมื่อเป็นการเคลือบด้วยน้ำยางจะเป็นลักษณะจับตัวกันเป็นแผ่นฟิลม์ห่อหุ้มผิวของคอนกรีตป้องกันไม่ให้ความชื้นและปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปได้เร็ว สำหรับรูปแบบการบ่มด้วยแผ่นพลาสติกห่อหุ้มนั้นผิวของคอนกรีตจะถูกคลุมด้วยแผ่นพลาสติกใสแต่ยังคงมีช่องว่างระหว่างชั้นแผ่นพลาสติกกับผิวคอนกรีตที่ยังทำให้เกิดการระเหยของน้ำได้บ้าง

สำหรับการวิเคราะห์ในลักษณะสัดส่วนผสมของอัตราส่วนน้ำยางกับน้ำธรรมดานั้น พบว่าในอัตราส่วนของน้ำยาง 100% กับ อัตราส่วนของน้ำยาง 70% ต่อน้ำธรรมดา 30%นั้น มีความแตกต่างกันเล็กน้อยในเรื่องของการทดสอบกำลังรับแรงอัด ซึ่งในอัตราส่วนของน้ำยาง 100%นั้นจะเป็นแผ่นชั้นฟิลม์มากกว่า แบบอัตราส่วนน้ำยาง70%ต่อน้ำธรรมดา30% แต่พฤติกรรมการทาเคลือบแบบน้ำยาง 100% จะทาเคลือบได้ยากกว่าและเป็นเหตุทำให้บางครั้งการเคลือบทาเกิดโพรงว่าง โดยที่พฤติกรรมการทาเคลือบแบบน้ำยาง70%ต่อน้ำธรรมดา30%นั้นจะไม่ข้นมากนักจึงทำให้ทาได้สะดวกกว่าและทาได้ผิวที่เรียบกว่าแบบอัตราส่วนน้ำยาง 100% ในบางตัวอย่างทดสอบ ซึ่งก็จะเห็นได้ว่าค่าตัวเลขจากข้อมูลที่ทดสอบบางตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่า นอกจากนี้แล้วในการทดสอบและวิจัยนั้นได้ทดลองใช้สูตรน้ำยางพรีวัลคาไนต์* (สูตรสำหรับการผลิตยางหล่อเบ้าปูนปลายสเตอร์) มาทดสอบร่วมด้วยเพื่อที่จะศึกษาแนวโน้มของการปรับปรุงสูตรน้ำยางพาราให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบแล้วพบว่าในส่วนของการบ่มทาเคลือบด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์* นั้น ค่ากำลังอัดที่ได้ยังมีค่าที่ต่ำกว่าในการเปรียบเทียบกับการบ่มด้วยน้ำยางพารารักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย60% (High Amonia) ในอัตราส่วนใช้น้ำยาง 100% และในสัดส่วนอัตราส่วนผสมน้ำยาง 70%ต่อน้ำธรรมดา 30% ตามลำดับ โดยผลจากการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าสูตรน้ำยางพรีวัลคาไนต์* ที่นำมาร่วมในการวิจัยนี้เป็นการตั้งต้นจากสูตรสำหรับการผลิตยางหล่อเบ้าปูนปลายสเตอร์ ที่ไม่ได้มีการปรับปรุงเพื่อให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการของการเคลือบผิวคอนกรีต ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ควรจะเป็นนั้น น้ำยางที่เคลือบผิววัสดุแล้วควรจะมีการจับตัวเป็นแผ่นฟิลม์ได้ดีในการป้องกันความชื้นและน้ำระเหยออกได้มาก ดังนั้นจากการทดสอบที่ได้แนวโน้มเบื้องต้นการพัฒนาคุณสมบัติในน้ำยางพรีวัลคาไนต์* เพื่อพัฒนาใช้ในการเคลือบผิวการบ่มคอนกรีตนั้น จะสามารถทำได้โดยที่จำเป็นต้องศึกษาถึงโครงสร้างพื้นฐานของสูตรน้ำยางนั้นๆเสียก่อน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงปัจจัยในเรื่องต้นทุนค่าใช้จ่ายและด้านเศรษฐศาสตร์อื่นๆอีกด้วย

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบ่มคอนกรีตรูปแบบต่างๆต่อพื้นที่ตารางเมตรใช้งาน

รูปแบบการบ่ม	ราคาต่อหน่วย	พื้นที่ตารางเมตรใช้งาน ต่อ1 ลิตร หรือ 1 ม้วน	ราคาต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร	หมายเหตุ
จุ่มแช่น้ำ	-	-	-	ไม่คิดค่าน้ำ
เคลือบน้ำยาเคมี	45 บ./ลิตร	10	4.5	
เคลือบน้ำยาง100%	52 บ./ลิตร	10	5.2	
หุ้มด้วยแผ่นพลาสติก	150 บ./ม้วน	40	3.75	
เคลือบน้ำยาง:น้ำ 70:30	36.5บ./ลิตร	15	2.43	ไม่คิดค่าน้ำ
เคลือบน้ำยาง:น้ำ 50:50	26 บ./ลิตร	18	1.44	ไม่คิดค่าน้ำ
เคลือบน้ำยาง:น้ำ 30:70	15.5 บ./ลิตร	22	0.70	ไม่คิดค่าน้ำ
เคลือบน้ำยางพรีวัลคาไนต์*	70 บ./ลิตร	10	7.5	

<u>หมายเหตุ</u> การบ่มแบบจุ่มแช่น้ำ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากโดยปกติตามหน้างานที่จุดก่อสร้างจะไม่สามารถบ่มคอนกรีตด้วยวิธีนี้ได้สะดวก แต่จะใช้สำหรับการบ่มเพื่อทดสอบเท่านั้น และการทดสอบเปรียบเทียบอ้างอิงราคาเมื่อวันที่ 20/08/2548 ณ ขณะการทำโครงการวิจัยเท่านั้น

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบ่มคอนกรีตรูปแบบต่างๆกับประสิทธิภาพการรับกำลังอัดของคอนกรีต

	(A)	(B)	(C)	(C)/(A)
รูปแบบการบ่ม	ราคาต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร	ค่าเฉลี่ยของคอนกรีต fc' 360 ksc. At 28 day	ประสิทธิภาพต่อ100%ของค่าสูงสุดกำลังอัดคอนกรีต	ประสิทธิภาพต่อราคาความคุ้มค่า
จุ่มแช่น้ำ	-	422.25	100	-
เคลือบน้ำยาเคมี	4.5	397.375	94.10	20.91
เคลือบน้ำยาง100%	5.2	387.375	91.74	17.64
หุ้มด้วยแผ่นพลาสติก	3.75	385	91.18	24.31
เคลือบน้ำยาง:น้ำ 70:30	2.43	386.5	91.53	37.67
เคลือบน้ำยาง:น้ำ 50:50	1.44	375.75	88.99	61.80
เคลือบน้ำยาง:น้ำ 30:70	0.70	371.75	88.04	125.77
เคลือบน้ำยางพรีวัลคาไนต์*	7.5	376.875	89.25	11.9

ตารางที่ 5.4 สูตรส่วนผสมน้ำยางพรีวัลคาไนต์*การผลิตยางหล่อเบ้าปูนปลาสเตอร์ที่นำมาร่วมในการวิจัย

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (เปียก)
60%น้ำยางธรรมชาติ	167
10%สารละลายช่วยความเสถียร ; สารละลายเคซีน(casein)	5.0
50%ดิสเพิ้สชั่นซัลเฟอร์	5.0
50%ดิสเพิ้สชั่นซิงค์อ็อกไซด์	10.0
50%ดิสเพิ้สชั่นซิงค์ไดเอททิลไดไทโอ	3.0
คาร์บาเมต(ZDEC)	
ไว้ติ้ง	300.0
สารช่วยดิ้สเพิ้ส (Tetrasodium)	1.0
น้ำ	90.0

ข้อดีและข้อเสียของรูปแบบการบ่มในแต่ละลักษณะ

<u>การบ่มแบบจุ่มแช่น้ำ</u>

ข้อดี

- ทดสอบกำลังอัดได้ค่ากำลังอัดประลัยสูง โดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและความชื้น
- ค่าใช้จ่ายต่ำ

ข้อเสีย

- ไม่สามารถปฏิบัติได้ในหน้างาน

การบ่มแบบทาน้ำยาเคมี

ข้อดี

- การทดสอบกำลังอัดได้ดี
- การใช้งานสะดวก และรวดเร็ว

ข้อเสีย

- ราคาค่าใช้จ่ายสูง หาซื้อได้ยาก
- ผลกระทบภายหลังต่อผิวงานคอนกรีตเมื่อฉาบผิวแล้วเป็นรอยด่าง
- มีสารเคมีตกค้างในคอนกรีต ไม่สามารถแก้ไขได้สะดวก

การบ่มแบบห่อหุ้มแผ่นพลาสติกใส

ข้อดี

- การทดสอบได้กำลังอัดปานกลาง
- ค่าใช้จ่ายต่ำ

ข้อเสีย

- การใช้งานจำกัดเฉพาะโครงสร้างเสา และไม่เหมาะสมกับส่วนอื่นๆของโครงสร้างอาคาร
- เป็นวัสดุสิ้นเปลืองเหลือภายหลังการใช้งาน
- ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการเหลือทิ้ง

การบ่มแบบทาเคลือบด้วยน้ำยางพารา

ข้อดี

- การทดสอบค่ากำลังอัดได้สูงใกล้เคียงกับการใช้น้ำยาเคมี
- ใช้งานได้สะดวก และรวดเร็ว หาซื้อได้ไม่ยาก
- เป็นการเพิ่มผลผลิตมูลค่ายางพาราซึ่งเป็นสินค้าเกษตรในประเทศ
- ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม และผิวของคอนกรีตหลังจากใช้งาน เพราะลอกออกได้

ข้อเสีย

- มีต้นทุนในการใช้งาน
- ยังไม่เป็นที่รู้จัก

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยในโครงการ " การบ่มกำลังคอนกรีตด้วยการเคลือบน้ำยางพารา " โดยการศึกษา ทดลอง ทดสอบ และวิเคราะห์ข้อมูลโดยรวมทั้งหมดแล้ว สามารถสรุปได้ว่า การนำน้ำยางพาราเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่เป็นปัจจัยหลักในการพัฒนาประเทศนั้น โดยการใช้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพารามาใช้บ่มเคลือบผิวของคอนกรีตเพื่อให้ได้กำลังอัดที่ดี และยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการก่อสร้างได้ด้วยนั้น พบว่า จากผลการวิเคราะห์ค่าตัวเลขของกำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้ออกแบบค่ากำลังอัดไว้ที่ 240 กก./ตร.ซม. และ 360 กก./ตร.ซม. ตามลำดับนั้น ในการเคลือบผิวคอนกรีตสำหรับรูปแบบการบ่มโดยน้ำยางพารารักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย60% (High Amonia) ในอัตราส่วนผสมต่างๆกับน้ำธรรมดา จะสามารถให้ผลการทดสอบกำลังอัดได้ดี และใกล้เคียงกับค่าที่ได้ออกแบบกำลังอัดไว้ และเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการบ่มด้วยวิธีการอื่นๆที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในการก่อสร้างนั้น ก็พบว่าค่ากำลังอัดที่ได้สามารถให้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกันกับรูปแบบการบ่มด้วยน้ำยาเคมี และยังให้ผลการทดสอบในด้านกำลังอัดได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการบ่มด้วยการหุ้มแผ่นพลาสติกใส
โดยที่ค่าเฉลี่ยโดยรวมทั้งหมดแสดงไว้ดังนี้

ลำดับที่	รูปแบบการบ่ม	ค่าเฉลี่ยสำหรับ fc' 240 กก./ตร.ซม.	ค่าเฉลี่ยสำหรับ fc' 360 กก./ตร.ซม.
1	บ่มแบบแช่น้ำ	321.75	422.25
2	บ่มด้วยน้ำยาเคมี	294.625	397.375
3	บ่มด้วยน้ำยางข้น 100 %	283.375	387.375
4	บ่มหุ้มพลาสติก	281.25	385
5	บ่มด้วยน้ำยาง 70 :น้ำ 30	274.375	386.5
6	บ่มด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนต์*	259	376.875
7	บ่มด้วยน้ำยาง 50 :น้ำ 50	265.25	375.75
8	บ่มด้วยน้ำยาง 30 :น้ำ 70	255.625	371.75
9	ไม่ได้บ่ม	249.125	359.625

สำหรับพฤติกรรมการใช้น้ำยางพาราสำหรับการบ่มคอนกรีตจะมีความเหมาะสมในการใช้งานที่สะดวกและไม่ซับซ้อน และใช้งานได้ง่าย ซึ่งเมื่อผสมอัตราส่วนผสมกับน้ำธรรมดาจะช่วยทำให้ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายและทาเคลือบผิวได้สะดวกยิ่งขึ้น แต่ควรคำนึงถึงลักษณะจากรวมตัวเป็นแผ่นฟิลม์เคลือบผิวให้ปกคลุมเนื้อคอนกรีตให้ทั่วถึงด้วย รวมทั้งผลภายหลังการลอกแผ่นฟิลม์ยางพาราออกจากผิวคอนกรีตควรจะต้องศึกษาต่อไป

สำหรับการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้น ในส่วนของการใช้รูปแบบการบ่มด้วยการเคลือบผิวด้วยน้ำยางพาราจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตรละ 20 บาท สำหรับรูปแบบการบ่มด้วยการใช้น้ำยาเคมีจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตรละ 18 บาท และรูปแบบการบ่มด้วยการหุ้มแผ่นพลาสติกใสจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตรละ 5 บาท แต่ทั้งนี้ควรจะพิจารณาในเรื่องความสะดวกในการใช้งานและความเหมาะสมที่เป็นปัจจัยอื่นๆประกอบด้วย

การพิจารณาแนวทางการพัฒนาสูตรน้ำยางพาราสำหรับการใช้เคลือบบ่มคอนกรีต ควรมุ่งพัฒนาคุณสมบัติของน้ำยางให้มีความสามารถจับตัวเป็นแผ่นฟิลม์ยางได้ดี มีความเหนียวทนต่อแรงดึง มีความข้นเหลวได้ดีเมื่อนำไปใช้ทาเคลือบ และ ควรจะลอกออกจากผิวคอนกรีตได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบภายหลัง ทั้งนี้ควรพิจารณาปัจจัยทางด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย โดยจากการวิจัยครั้งนี้สามารถช่วยให้เกิดโอกาสที่ดีที่จะสามารถเริ่มต้นการนำผลิตภัณฑ์น้ำยางพาราที่เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการก่อสร้าง และยังสามารถแข่งขันกับผลิตภัณฑ์เคมีจากต่างประเทศที่ยังคงใช้เป็นน้ำยาเคมีในการบ่มคอนกรีตโดยทั่วไปในปัจจุบันนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีต เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 8 , พ.ศ. 2539

[2] ชัชวาล เศรษฐบุตร คอนกรีต เทคโนโลยี คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค , พิมพ์ครั้งที่ 5 , กรกฎาคม 25

[3] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมป์. คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ. คณะอนุกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา. ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต. 2540

[4] มาตรฐาน ASTM, Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.04,1991.

[5] มาตรฐาน BS 1881: PART 3 METHOD OF MAKING AND CURING TEST SPECIMENS

[6] มาตรฐาน ASTM C192 STANDARD METHOD OF MAKING AND CURING CONCRETE TEST SPECIMENS IN THE LABORATORY

[7] มาตรฐาน BS 1881: PART 4 METHOD OF TESTING CONCRETE FOR STRENGTH

[8] มาตรฐาน ASTM C39 TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS