



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กการประยุกต์ใช้น้ำยางพารา
 ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง-ม.ส.(1)

ชื่อโครงการ การศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยางพารา

โดย นาย ศิริชัย ขำสุวรรณ

พฤษภาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็การประยุกต์ใช้น้ำยางพารา
ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง-ม.ศ.(1)

คณะผู้วิจัย

1. นาย ศิริชัย จำสุวรรณ
2. นาย พีระยุทธ เพชรสุวรรณ
3. นาย ธีระภัทร กัณห์กุล

ชื่อโครงการ การศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

แบบสรุปโครงการวิจัย

สัญญาเลขที่ RDG4850062 **ชื่อโครงการ** การศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยางพารา
 กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กการประยุกต์ใช้น้ำยางพาราในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง-ม.ส.(1)
หัวหน้าโครงการ นายศิริชัย จำสุวรรณ สถาบัน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
โทรศัพท์ 02-457-0068 ต่อ 128 **โทรสาร** 02-457-0068 ต่อ 128 **E-mail** skamsuwan@yahoo.com

ความสำคัญ/ความป็นมา

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้เข้าประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนเงินหลักแสนล้านบาท แต่ในยามที่ยางพารามีราคาตกต่ำมักจะเกิดผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมของชุมชนเกษตรกรชาวสวนยางพาราเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบต่อความสูญเสียมูลค่าของพืชเศรษฐกิจยางพาราจึงจำเป็นต้องพัฒนาการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ นำไปสู่การพัฒนาตลอดจนการสร้างนวัตกรรมที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางพารา ให้เกิดผลลัพธ์ ทำให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางความรู้ด้านยางธรรมชาติในอนาคต

การนำยางพารามาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างพบว่าในปัจจุบันมีน้อย และเนื่องจากประเทศไทยจัดได้ว่ายางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการพัฒนาความรู้ในเรื่องของน้ำยางพาราเพื่อนำไปใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ จึงจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบันนี้ สำหรับในอุตสาหกรรมการก่อสร้างโดยทั่วไปจะศึกษาและพัฒนาเกี่ยวข้องกับวัสดุด้านคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้เกิดการนำประโยชน์จากการใช้งานยางพารากับอุตสาหกรรมการก่อสร้าง จึงได้พัฒนารูปแบบการบ่มคอนกรีตเพื่อรักษากำลังการรับแรงในลักษณะของการใช้สูตรน้ำยางพาราเพื่อบ่มคอนกรีตให้ได้คุณภาพตามที่ต้อง ซึ่งรูปแบบการบ่มคอนกรีตโดยทั่วไป มักจะควบคุมคุณภาพได้ยาก และไม่แน่นอน หรือถ้าควบคุมได้ก็มักจะมีค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นการพัฒนาน้ำยางพาราสำหรับการบ่มผิวคอนกรีตจึงเป็นการใช้ประโยชน์โดยตรงจากน้ำยางพารามาพัฒนาและทดสอบสำหรับการใช้รักษาคุณภาพกำลังของคอนกรีตโดยการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต

วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการใช้น้ำยางพาราสำหรับการบ่มคอนกรีต
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตทางด้านกำลังสำหรับการใช้น้ำยางพาราบ่มคลุมพื้นผิว
3. เพื่อพัฒนาสูตรน้ำยางพาราสำหรับการใช้บ่มคอนกรีตแทนการใช้น้ำยาเคมีอื่นๆ

ผลที่ได้รับ	บรรลุมติวัตถุประสงค์ข้อที่...	โดยทำให้...
1. เรียนรู้และทราบถึงพฤติกรรมของการใช้น้ำยางพาราในการเคลือบผิวของคอนกรีตสำหรับการบ่ม	1	1. สามารถนำน้ำยางพารามาใช้กับอุตสาหกรรมการก่อสร้างในการบ่มคอนกรีตได้
2. เรียนรู้ และทราบถึงคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตโดยการบ่มด้วยการเคลือบผิวน้ำยางพาราสัดส่วนต่างๆ	2	2. สามารถเพื่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตให้ได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการได้

3. เรียนรู้และทราบถึงแนวโน้มความน่าจะเป็นของการพัฒนาสูตรน้ำยาพาราเพื่อการทดแทนน้ำยาเคมีสำหรับการบ่มคอนกรีต	3	3. สามารถเป็นพื้นฐานในการพัฒนาสูตรน้ำยาพาราให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งานบ่มคอนกรีตได้
--	---	---

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เริ่มจากการประชาสัมพันธ์โครงการวิจัย “การศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยาพารา” ให้เกิดความมั่นใจในการใช้ส่วนผสมน้ำยาพาราสำหรับการบ่มคอนกรีตให้ได้กำลังตามความต้องการ และพัฒนาสูตรน้ำยาพาราให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

การประชาสัมพันธ์

- เผยแพร่ผลงาน โดยเขียนบทความการวิจัย โดยตีพิมพ์ในวารสารเชิงวิชาการระดับชาติและนานาชาติ
- เผยแพร่ผลงาน โดยการนำเสนอผลงาน เข้าสัมมนาและประชุมวิชาการในระดับชาติและนานาชาติ
- เผยแพร่ผลงาน โดยการจัดทำแผ่นประชาสัมพันธ์โครงการฯ ในนิทรรศการต่างๆที่เกี่ยวข้อง

บทคัดย่อ

โครงการวิจัย “การศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยางพารา” นำเสนอการประยุกต์ใช้น้ำยางพารารักษาสภาพด้วยแอมโมเนียต่ำ เพื่อใช้ในการบ่มทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนารูปแบบการนำน้ำยางพารามาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ด้วยการใช้บ่มเคลือบผิวคอนกรีตให้ได้ค่ากำลังอัดประลัยสูง และมีประสิทธิภาพ และศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการบ่มคอนกรีตในลักษณะต่างๆ ซึ่งพิจารณาจากค่ากำลังอัดประลัยที่คอนกรีตตัวอย่างสามารถรับได้สูงสุด ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ในการศึกษาการบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยางพารา สามารถลำดับค่าการรับกำลังอัดประลัยที่อายุการทดสอบ 28 วัน ของตัวอย่างคอนกรีตค่ากำลังการออกแบบที่ 280 กก./ตร.ซม. และ 360 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ได้ดังนี้ 1. การบ่มด้วยการแช่น้ำ(422.25 กก./ตร.ซม.), 2. การบ่มแบบเคลือบน้ำยาเคมี(397.375 กก./ตร.ซม.), 3. การบ่มแบบเคลือบด้วยน้ำยางพารา 100%(387.375กก./ตร.ซม.), 4. การบ่มแบบห่อหุ้มแผ่นพลาสติกใส(385 กก./ตร.ซม.), 5.การบ่มแบบเคลือบด้วยน้ำยางพารา 70% ต่อน้ำธรรมดา 30%(386.5 กก./ตร.ซม.), 6. การบ่มแบบเคลือบด้วยน้ำยางพรีวัลคาไนส์(376.875 กก./ตร.ซม.), 7. การบ่มแบบเคลือบด้วยยางพารา 50% ต่อน้ำธรรมดา50%(375.75 กก./ตร.ซม.), 8. การบ่มแบบเคลือบด้วยยางพารา 30% ต่อน้ำธรรมดา 70%(371.75 กก./ตร.ซม.), และ 9. การไม่บ่มหรือปล่อยให้ตามสภาพอากาศ(359.625 กก./ตร.ซม.) ตามลำดับ ทั้งนี้ การพิจารณาเลือกใช้รูปแบบการบ่มคอนกรีตควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆที่เหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ: การบ่ม, คอนกรีต, น้ำยางพารา, กำลังอัดประลัย

Abstract

The research of “The Study of Curing Concrete by Para Latex” presents the use of the Para latex (Low Ammonia) for curing compression testing concrete. The purpose of the research are to study and develop the method for using Para latex in constructions by used in curing surface concrete to improve high and efficiency compression ultimate strength. The study compared with the other curing method to determine maximum compression ultimate strength. The result indicate that the study of curing concrete by Para latex can be respectively compression ultimate strength testing at 28 days old for concrete samples to design strength at 280 ksc. and 360 ksc. as follows 1.Curing in water (422.25 ksc.), 2.Curing by Chemical Coating (397.375 ksc.), 3.Curing by Para latex 100% coating (387.375),4. Curing by Plastic wrapping (385 ksc.), 5.Curing by Para latex 70% : water 30% coating (386.5 ksc), 6.Curing by Prevalcanised latex coating (376.875), 7.Curing by Para latex 50% : water 50% coating (375.75 ksc), 8.Curing by Para latex 30% : water 70% coating (371.75 ksc), and 9. not curing or Curing as weather, in the order. Furthermore the consider to use the curing concrete should determine appropriate factors as well.

Keywords: Curing, Concrete, Para latex, Compression ultimate strength

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ก
สารบัญเรื่อง	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-1
1.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา	1-1
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	1-2
1.5 ขอบเขตศึกษาและการวิจัย	1-2
 บทที่ 2 ทฤษฎี นิยาม และมาตรฐาน	1-3
2.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	1-3
2.2 ทฤษฎีการบ่มคอนกรีต	1-5
2.3 ทฤษฎีกำลังอัดของคอนกรีต	1-9
 บทที่ 3 รูปแบบการวิจัย	1-20
3.1 การศึกษารายละเอียดของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	1-20
3.2 การจัดเตรียมวัสดุ	1-20
3.3 ขั้นตอนการทดลองสำหรับออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	1-20
3.4 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต	1-22
3.5 ขั้นตอนการทดสอบกำลังอัด	1-25
 บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ตารางแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีต 240 กก./ตร.ซม สำหรับขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม.	1-26
4.2 ตารางแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีต 240 กก./ตร.ซม สำหรับขนาด $\phi 30 \times 15$ ซม.	1-27
4.3 ตารางแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีต 360 กก./ตร.ซม สำหรับขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม.	1-28
4.4 ตารางแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีต 360 กก./ตร.ซม สำหรับขนาด $\phi 30 \times 15$ ซม.	1-29

4.5 ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังอัด 240 กก./ตร.ซม สำหรับขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม.	1-30
4.6 ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังอัด 240 กก./ตร.ซม สำหรับขนาด $\phi 30 \times 15$ ซม	1-31
4.7 ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังอัด 360 กก./ตร.ซม สำหรับขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม.	1-32
4.8 ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังอัด 360 กก./ตร.ซม สำหรับขนาด $\phi 30 \times 15$ ซม	1-33
4.9 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตทดสอบที่อายุ 7 วัน	1-34
4.10 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตทดสอบที่อายุ 14 วัน	1-35
4.11 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตทดสอบที่อายุ 28 วัน	1-36
 บทที่ 5 การวิเคราะห์ผล	 1-37
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย	1-41
 เอกสารอ้างอิง	 1-42

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎี นิยาม และมาตรฐาน

ตารางที่ 2.1	วิธีการบ่มคอนกรีตแบบการเพิ่มความชื้น	1-5
ตารางที่ 2.2	วิธีการบ่มคอนกรีตแบบป้องกันเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต	1-6
ตารางที่ 2.3	ระยะเวลาของการบ่มคอนกรีตตามประเภทของงาน	1-8
ตารางที่ 2.4	ผลของขนาดและลักษณะของก้อนตัวอย่างต่อค่ากำลังอัด	1-11
ตารางที่ 2.5	ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อกำลังอัด	1-11
ตารางที่ 2.6	ผลของอัตราทดต่อกำลังอัด	1-12
ตารางที่ 2.7	การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอกตาม มอก. 213-2520	1-13
ตารางที่ 2.8	สรุปการผันแปรของกำลัง	1-16
ตารางที่ 2.9	เกณฑ์ในการประเมินการควบคุมคุณภาพ	1-17

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1	แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบ 240 /ตร.ซม.เพื่อ 40% (สำหรับคอนกรีตขนาด 15 x15 x15 ซม.)	1-26
ตารางที่ 4.2	แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบ 240 /ตร.ซม.เพื่อ 40% (สำหรับคอนกรีตขนาด ϕ 15 x30 ซม.)	1-27
ตารางที่ 4.3	แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบ 360 /ตร.ซม.เพื่อ 40% (สำหรับคอนกรีตขนาด 15 x15 x15 ซม.)	1-28
ตารางที่ 4.4	แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบ 360 /ตร.ซม.เพื่อ 40% (สำหรับคอนกรีตขนาด ϕ 15 x30 ซม.)	1-29
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังอัดประลัย 240 /ตร.ซม.สำหรับคอนกรีตขนาด 15 x15 x15 ซม.	1-30
ตารางที่ 4.6	ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังอัดประลัย 240 /ตร.ซม.สำหรับคอนกรีตขนาด ϕ 15 x30 ซม.	1-31
ตารางที่ 4.7	ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังอัดประลัย 360 /ตร.ซม.สำหรับคอนกรีตขนาด 15 x15 x15 ซม.	1-32
ตารางที่ 4.8	ผลการทดสอบเฉลี่ยที่ค่ากำลังอัดประลัย 360 /ตร.ซม.สำหรับคอนกรีตขนาด ϕ 15 x30 ซม.	1-33
ตารางที่ 4.9	การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัย ของก้อนคอนกรีตทดสอบที่อายุ 7 วัน	1-34
ตารางที่ 4.10	การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัย ของก้อนคอนกรีตทดสอบที่อายุ 14 วัน	1-35
ตารางที่ 4.11	การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัย ของก้อนคอนกรีตทดสอบที่อายุ 28 วัน	1-36

บทที่ 5 การวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 5.1	การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดประลัย ของก้อนคอนกรีตทดสอบที่อายุ 28 วัน	1-37
ตารางที่ 5.2	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบ่มคอนกรีตรูปแบบต่างๆต่อพื้นที่ตารางเมตรใช้งาน	1-38
ตารางที่ 5.3	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบ่มคอนกรีตรูปแบบต่างๆกับประสิทธิภาพการรับกำลังอัดของคอนกรีต	1-39
ตารางที่ 5.4	สูตรส่วนผสมน้ำยางพริ้วคานาไนต์*การผลิตยางหล่อเบ้าปูนพลาสเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิจัย	1-39

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎี นิยาม และมาตรฐาน	
รูปที่ 2.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มคอนกรีต	1-7
รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิของการบ่มด้วยไอน้ำต่ำต่อกำลังอัดของคอนกรีตในระยะแรก	1-7
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิสำหรับการบ่มด้วยไอน้ำที่ความดันต่ำ	1-7
รูปที่ 2.4 อิทธิพลของผลคูณระหว่างเวลาและอุณหภูมิต่อการเพิ่มของกำลังอัด	1-7
รูปที่ 2.5 สิ่งที่ทำให้กำลังอัดผันแปรเนื่องจากการทดสอบก้อนตัวอย่าง	1-12
รูปที่ 2.6 การแปรกำลังอัดลูกบาศก์เป็นกำลังอัดกระบอกมาตรฐาน	1-13
รูปที่ 2.7 ลักษณะก้อนตัวอย่างทดสอบ	1-14
รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์	1-14
รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงกระบอก	1-15
รูปที่ 2.10 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก	1-18
รูปที่ 2.11 (a) ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้อง (b) การแตกที่ไม่ถูกต้อง	1-19
บทที่ 3 รูปแบบการวิจัย	
รูปที่ 3.1 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของหินและทราย	1-20
รูปที่ 3.2 แบบหล่อก้อนคอนกรีตทดสอบ	1-22
รูปที่ 3.3 การทาเคลือบน้ำมันยางพารากับตัวอย่างคอนกรีต	1-24
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างคอนกรีตเตรียมทดสอบกำลังอัด	1-24
รูปที่ 3.5 รูปแบบการบ่มโดยการหุ้มแผ่นพลาสติกใส	1-24
รูปที่ 3.6 รูปแบบการบ่มโดยการเคลือบน้ำมันยางพาราในตู้	1-24
รูปที่ 3.7 รูปแบบการบ่มโดยการใช้ไนยาเคมีเคลือบ	1-24
รูปที่ 3.8 รูปแบบการบ่มโดยการเคลือบน้ำมันยางอัตราส่วนต่างๆ	1-24
รูปที่ 3.9 การทดสอบกำลังอัดปลายของก้อนคอนกรีตตัวอย่าง	1-25
รูปที่ 3.10 ก้อนคอนกรีตตัวอย่างรูปแบบต่างๆสำหรับการทดสอบ	1-25

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้เข้าประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนเงินหลักแสนล้านบาท แต่ในยามที่ยางพารามีราคาคต่ำมักจะเกิดผลกระทบอย่างมากต่อเศรษฐกิจและสังคมของชุมชนเกษตรกรชาวสวนยางพาราเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบต่อความสูญเสียมูลค่าของพืชเศรษฐกิจยางพาราจึงจำเป็นต้องพัฒนาการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ นำไปสู่การพัฒนาตลอดจนการสร้างนวัตกรรมที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางพารา ให้เกิดผลลัพธ์ ทำให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางความรู้ด้านยางธรรมชาติในอนาคต

การนำยางพารามาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างพบว่าในปัจจุบันมีน้อย และเนื่องจากประเทศไทยจัดได้ว่ายางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการพัฒนาความรู้ในเรื่องของน้ำยางพาราเพื่อนำไปใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ จึงจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบันนี้ สำหรับในอุตสาหกรรมการก่อสร้างโดยทั่วไปจะศึกษาและพัฒนาเกี่ยวข้องกับวัสดุคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้เกิดการนำประโยชน์จากการใช้งานยางพารากับอุตสาหกรรมการก่อสร้าง จึงได้พัฒนารูปแบบการบ่มคอนกรีตเพื่อรักษากำลังการรับแรงในลักษณะของการใช้สูตรน้ำยางพาราเพื่อบ่มคอนกรีตให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการ ซึ่งรูปแบบการบ่มคอนกรีตโดยทั่วไป มักจะควบคุมคุณภาพได้ยาก และไม่น่าเชื่อถือ หรือถ้าควบคุมได้ก็มักจะมีค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นการพัฒนาน้ำยางพาราสำหรับการบ่มผิวคอนกรีตจึงเป็นการใช้ประโยชน์โดยตรงจากน้ำยางพารามาพัฒนาและทดสอบสำหรับการใช้รักษาค่าคงที่ของคอนกรีตโดยการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการสูญเสียจากเนื้อคอนกรีต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการใช้น้ำยางพาราสำหรับการบ่มคอนกรีต
- 1.2.2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตทางด้านกำลังสำหรับการใช้น้ำยางพารามบ่มคลุมพื้นผิว
- 1.2.3. เพื่อพัฒนาสูตรน้ำยางพาราสำหรับการใช้บ่มคอนกรีตแทนการใช้น้ำยาเคมีอื่นๆ

1.3 แนวทางการแก้ปัญหา

ปัญหาการใช้ประโยชน์จากน้ำยางพาราเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในภาคอุตสาหกรรมนั้นมีการนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตจากน้ำยางพาราที่ประเทศไทยสามารถผลิตได้จึงเป็นเหตุให้มูลค่าของน้ำยางพารามีราคาต่ำ ดังนั้นแนวทางการพัฒนาและการนำน้ำยางพาราไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างซึ่งสะท้อนถึงความเจริญเติบโตในภาคเศรษฐกิจได้ดี จึงได้เริ่มศึกษาและพัฒนาน้ำยางพาราสำหรับการใช้งานทางด้านต่างๆ ของการก่อสร้าง

การก่อสร้างในปัจจุบันพบว่าการขยายตัวเติบโตตามการพัฒนาของประเทศ และมีแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคที่มากขึ้น เป็นปัจจัยที่ทำให้มีการใช้วัสดุต่างๆ สำหรับการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น การพัฒนาเทคโนโลยีด้านวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจึงเป็นแนวทางที่สามารถนำเอาผลผลิตจากน้ำยางพารามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการก่อสร้างด้วยรูปแบบต่างๆ ผลิตภัณฑ์น้ำยางพาราสำหรับการนำมาใช้ในการก่อสร้างจึงควรสอดคล้องกับความต้องการใช้งานมากที่สุด ซึ่งการก่อสร้างโดยส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุคอนกรีตเป็นหลัก และปัจจัยทางด้านการรับกำลังของเนื้อคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอายุการบ่มและวิธีหรือรูปแบบของการบ่มคอนกรีต ดังนั้นโดยหลักการของการบ่มผิวคอนกรีตคือการป้องกันการสูญเสียความชื้นเพื่อไม่ให้ระเหยออกมา จึงมีหลายรูปแบบวิธีที่ใช้ในการบ่มผิวคอนกรีต ด้วยคุณสมบัติของน้ำยางพาราที่มีความ

สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีจึงได้ถูกนำมาใช้สำหรับการบ่มผิวคอนกรีตเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีต และยังเป็นการนำประโยชน์จากผลผลิตของน้ำยางพารามาใช้ในการก่อสร้างเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์น้ำยางพาราต่อไปในอนาคต

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1. เป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรของยางพารา และยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม การก่อสร้างได้
- 1.4.2. เป็นการส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำยางพาราให้เป็นประโยชน์สำหรับการก่อสร้างในงานคอนกรีต
- 1.4.3. เป็นการเพิ่มทางเลือกในการใช้งานสำหรับการบ่มคอนกรีตในการก่อสร้าง เพื่อให้เกิดประโยชน์ที่คุ้มค่า

1.5 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย

- 1.5.1. ศึกษารายละเอียดของการบ่มคอนกรีตรูปแบบต่างๆเพื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการบ่มคอนกรีตด้วยการเคลือบผิวด้วยยางพารา
- 1.5.2. ศึกษาการรับกำลังอัดและทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตอย่างตัวในรูปแบบการบ่มแบบต่างๆและการบ่มด้วยการเคลือบผิวด้วยยางพารากับน้ำธรรมดาในอัตราส่วนที่เหมาะสม
- 1.5.3. ศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของรูปแบบการเคลือบผิวด้วยน้ำยางพารากับรูปแบบการบ่มด้วยน้ำยาเคมี และรูปแบบการบ่มด้วยการหุ้มแผ่นพลาสติกใส
- 1.5.4. ศึกษาแนวโน้มการนำสูตรน้ำยางพริวัลคาไนต์มาประยุกต์ในการบ่มคอนกรีต เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาสูตรน้ำยางพริวัลคาไนต์ที่เหมาะสมกับรูปแบบการบ่มคอนกรีต
- 1.5.5. ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำน้ำยางพาราไปประยุกต์ใช้งานการบ่มคอนกรีตเพื่อให้ได้กำลังอัดที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้งานในการก่อสร้างได้จริง

บทที่ 2

ทฤษฎี นิยาม และ มาตรฐาน

2.1. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ [1]

2.1.1. วัสดุผสม (Aggregate)

คุณสมบัติของหินและทรายจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต สัดส่วนของการผสมวัสดุผสมที่ใช้ในการผสมของคอนกรีตต้องสะอาด แข็งแรง ทนทาน มีเหลี่ยมคมไม่ขยายตัวมาก มีสารที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพคอนกรีตน้อยที่สุด วัสดุผสมที่ไม่ควรประปนอยู่ ได้แก่ วัสดุผสมที่อ่อน ปนง่าย พรุนและแยกเป็นชั้นๆหรือพวกดินต่างๆ ซึ่งไม่ทนต่อดินฟ้าอากาศ วัสดุผสมต้องมีส่วนคล้อยอยู่ในพิสัยกำหนด ซึ่งจะช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ คุณภาพดี และประหยัด โดยทั่วไปจะแบ่งวัสดุผสมออกเป็น วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) และ วัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate)

วัสดุผสมละเอียด หมายถึง ทรายซึ่งเป็นวัสดุผสมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือที่จะสามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. วัสดุผสมที่เล็กกว่านี้เรียกว่า ผุ่น (Silt หรือ Clay) ทรายจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติซึ่งมีทรายทั้งหมดที่เกิดขึ้นเองบนบกเรียกว่า ทรายบก ที่เกิดจากลำธารแม่น้ำเรียกว่า ทรายแม่น้ำ ที่เกิดจากทะเลเรียกว่า ทรายน้ำเค็ม โดยการแปรรูปหรือกะเทาะแบ่งส่วนมาจากหิน และกรวด เช่น ถูกกระแสน้ำในลำธารแม่น้ำพัดพาไหลสลับกลับไปกลับมาจนแตกละเอียดเป็นผงและมีขนาดต่าง ๆ กัน

วัสดุผสมหยาบ ได้แก่ หิน กรวด ที่มีขนาดมากกว่า 4 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือ ส่วนที่ตกค้างอยู่ที่บนตะแกรงเบอร์ 4 จะเป็นวัสดุผสมหยาบ

2.1.2. คุณสมบัติของวัสดุผสม

หินและทรายที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีต ควรมีคุณสมบัติต่างๆดังต่อไปนี้

2.1.2.1 ความแข็งแรง (Strength) วัสดุผสมจะต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต หินที่ใช้ทำคอนกรีตโดยทั่วไปถ้าเป็นหินที่มีได้ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงโดยสภาพดินฟ้าอากาศจะดีพอสำหรับผสมทำคอนกรีตเพราะกำลังรับแรงอัดของหินทั่วไปสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก

2.1.2.2 ความทนทานต่อการสึกกร่อน (Abrasion Resistance) เป็นตัวชี้ถึงคุณภาพของหินที่จะนำมาผสมทำคอนกรีตในงานที่ต้องทนต่อแรงกระแทกและเสียดสีมากๆ การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติข้อนี้ โดยทั่วไปนิยมใช้วิธี Los Angeles Abrasion Test ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของหินที่สูญหายไป ในการทดสอบกับขีดกำหนดตามความต้องการที่ระบุไว้การสึกหรอคิดเป็นร้อยละคือส่วนที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 12 ภายหลังการทดสอบ วัสดุผสมหยาบที่ใช้กับงานคอนกรีตมีการสึกหรอในการทดสอบลอซแอนเจลิสไม่เกินร้อยละ 40 ตามมาตรฐาน ASTM C 131

2.1.2.3 ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับความพรุน และอำนาจการดูดซึมของวัสดุผสม วัสดุผสมต้องมีรูพรุนพอที่จะดูดซึมน้ำ มีช่องว่างพอที่จะทำให้ น้ำแข็งขยายตัวได้ในอากาศหนาวมิฉะนั้นจะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

2.1.2.4 ความคงตัวต่อปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Stability) วัสดุต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์

2.1.2.5 ลักษณะรูปร่างและผิว (Particle Shape and Surface Texture) มีความสำคัญต่อการควบคุม “ความสามารถเทได้” ของคอนกรีตที่ผสมใหม่ๆ วัสดุผสมที่มีลักษณะเป็นแฉ่งเหลี่ยมคม วัสดุผสมที่เป็นแผ่นแบนหรือชั้นยาว (Flat and Elongated Particles) ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพราะ ต้องการน้ำในส่วนผสมมากกว่าวัสดุผสมที่มีก้อนกลมหรือลูกบาศก์เพื่อให้ได้ “ความสามารถเทได้” เท่าๆกัน ทำให้เปลืองซีเมนต์ลดกำลังและแรงยึดเหนี่ยวภายในก้อนคอนกรีต วัสดุผสมก้อน

กลมช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์น้ำและส่วนผสมน้อยกว่าวัสดุผสมเป็นแ่งเป็นมุม แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนกับซีเมนต์เพสต์ต่ำกว่าวัสดุผสมที่มีผิวหยาบหรือด้านจะช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

2.1.2.6 ความสะอาด (Cleanliness) วัสดุผสมต้องสะอาดไม่มีสารที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุดสารเหล่านี้ได้แก่เปลือกหอก ทรายหยาบ ถ่านหิน ถ่าน เศษไม้ ก้อนดิน โคลนเลน ดิน ฝุ่น หรือผงละเอียด (Silt) สิ่งเหล่านี้จะลดความทนทานและแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต บางครั้งอาจทำให้คอนกรีตแตกร้าว มีกำลังต่ำ แข็งตัวช้าหรือไม่แข็งเลย เกิดรอยเปื้อนหรือหลุดออกเป็นรูโพรง การขจัดสิ่งสกปรกที่เจือปนทำได้หลายวิธีเช่นล้างน้ำ หรือ ร้อนผ่านตะแกรง การร้อนจะช่วยทำให้แยกสิ่งสกปรกชิ้นใหญ่ๆออกได้ สารอินทรีย์จากวัชพืชที่เจือปนอยู่ในทรายเช่นตะไคร่น้ำ ใบไม้เน่า เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เพราะจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเสียไปด้วยโดยอาจทำให้ซีเมนต์แข็งตัวช้าหรือไม่แข็งตัวเลยก็ได้และบางทีจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงอย่างมาก การตรวจปริมาณสารอินทรีย์ในทรายอย่างคร่าวๆอาจใช้วิธีวัดความเข้มของสี (Colorimetric Test) ซึ่งทำได้โดยแช่ทรายชั้นลงในน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3 % เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบสีของน้ำยากับสีมาตรฐาน ทรายที่ปราศจากสารอินทรีย์จะให้สีของสารละลายใสหรือสีเหลืองอ่อนๆ แต่ถ้าสารละลายให้สีระหว่างสีเหลืองอ่อนกับสีน้ำตาล ก็ควรสงสัยในคุณภาพไว้ก่อน แต่ถ้าสีเข้มแสดงว่ามีสารอินทรีย์ออกเสียก่อน

2.1.2.7 ความลดหลั่นของขนาดหรือส่วนขนาดละเอียด (Gradation) วัสดุผสมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตต้องมีความลดหลั่นของขนาดตามเกณฑ์กำหนด ซึ่งจะช่วยให้เรียงตัวกันได้แน่นและมีช่องว่างน้อย ช่วยให้ทำงานได้ง่าย ปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะต้องใช้น้อยลง คือเพียงที่จะพอเคลือบผิววัสดุผสมทั้งหมด และเติมเต็มช่องว่างที่เหลืออยู่เพื่อเชื่อมให้วัสดุผสมยึดติดกัน

2.1.3 ปฏิภาณส่วนผสมของคอนกรีต

การหาปฏิภาณส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Design) เป็นการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของส่วนประกอบแต่ละอย่างของคอนกรีตสำหรับงานหนึ่งๆ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีความเข้มข้นพอเหมาะและสะดวกในการทำงาน และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วมีกำลัง และความทนทานตามต้องการในราคาที่ประหยัดที่สุด

องค์ประกอบในการพิจารณาหาปฏิภาณส่วนผสมของคอนกรีต การหาปฏิภาณส่วนผสมของคอนกรีตควรคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ต่อไปนี้

2.1.3.1 กำลัง (Strength) กำลังเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต กำลังของคอนกรีตมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน แต่ที่ความต้องการและสำคัญที่สุดเพื่อใช้พิจารณาสัดส่วนการผสมคอนกรีตก็คือ กำลังรับแรงอัด เพราะกำลังรับแรงอย่างอื่นของคอนกรีตเป็นสัดส่วนกับกำลังรับแรงอัด ปริมาณอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์หรือที่เรียกว่า water-cement ratio มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก ถ้าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตก็จะต่ำ ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อยลง กำลังรับแรงอัดก็จะสูงขึ้น

2.1.3.2 ส่วนขนาดละเอียดและลักษณะของวัสดุผสม ส่วนขนาดละเอียดของหินและทรายมีผลต่อสัดส่วนการผสม ส่วนผสมที่มีทรายหยาบอยู่มากจะทำให้ทำงานยาก แต่ถ้ามีทรายละเอียดอยู่มากก็จะทำให้ไม่ประหยัด ถ้าส่วนละเอียดของหินไม่ดีจะต้องใช้ทรายมากขึ้นเพื่อช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น การกระจายขนาดควรอยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐานเพื่อจะได้คอนกรีตที่เหลวมีความสามารถเทได้โดยใช้ปริมาณน้ำผสมน้อยลงและได้กำลังตามต้องการ

2.2 ทฤษฎีการบ่มคอนกรีต [2]

การบ่ม (Curing) คือ วิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำได้โดยให้น้ำแก่คอนกรีตหรือป้องกันน้ำระเหยจากคอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว นอกจากนี้การบ่มยังเป็นการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งก่อให้เกิดคุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะแรก

หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมี 2 ลักษณะคือ การป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีตและ การรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม สำหรับวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

1.เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและความทนทาน 2.เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

วิธีการบ่มสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามสภาพอุณหภูมิที่ใช้บ่มคือ

2.2.1. การบ่มที่อุณหภูมิปกติ

2.2.2. การบ่มที่อุณหภูมิ และความกดดันสูง

2.2.1. การบ่มที่อุณหภูมิปกติ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ การเพิ่มความชื้นและวิธีการป้องกันการเสียความชื้น

. การเพิ่มความชื้น โดยให้ความชื้นต่อผิวหน้าของคอนกรีตโดยตรงในระยะแรกที่คอนกรีตแข็งตัว วิธีนี้จะเป็นวิธีการบ่มที่สามารถช่วยให้ลดอุณหภูมิที่ผิวของคอนกรีตลงได้จึงเหมาะกับคอนกรีตที่ต้องเทในสภาพอากาศที่ร้อน การบ่มแบบนี้ทำได้หลายรูปแบบ และมีสรุปข้อดีและข้อเสียที่ต่างกันแสดงในตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 วิธีการบ่มคอนกรีตแบบการเพิ่มความชื้น

วิธีการบ่ม	ข้อดี	ข้อเสีย
1.การขังน้ำ เหมาะสมกับงานคอนกรีตที่มีพื้นราบ เช่น แผ่นพื้นทั่วไป,ลาดฟ้า,ถนน, สนามบิน วิธีการ ทำโดยใช้ดินเหนียวหรือก่ออิฐทำเป็นคันโดยรอบของงานคอนกรีตที่จะบ่ม ข้อระวัง อย่าให้น้ำที่ใช้บ่มมีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10 องศาเซลเซียส	1. ทำได้สะดวก, ง่าย, ราคาถูก 2. วัสดุหาได้ง่าย 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้ 4. ซ่อมแซมได้สะดวก, รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย	1. ต้องหมั่นตรวจดูรอยแตกร้าวของดินเหนียวที่นำมาใช้อยู่เสมอ เพราะน้ำอาจซึมหนี 2.ต้องเก็บทำความสะอาดบริเวณคอนกรีตที่บ่มเมื่อเสร็จงานบ่มเรียบร้อยแล้ว
2. โดยการฉีดน้ำหรือพรมน้ำ วิธีการ ใช้ได้ทั้งแนวราบและแนวตั้ง เช่น ผัง, กำแพง และพื้น	1. ทำได้สะดวก ได้ผลดี 2. ค่าใช้จ่ายถูก 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้ 4. ไม่ต้องดูแลตลอดเวลา	1. ไม่เหมาะสมกับสถานที่ที่หาน้ำได้ยาก 2. ไม่สะดวกกับการฉีดกับกำแพงในแนวตั้ง เพราะน้ำจะแห้งเร็ว
3. โดยการใช้วัสดุเปียกชื้นคลุม วิธีการ นำผ้าใบ กระสอบ ซึ่งอุ้มน้ำได้ หรือใช้ฟางหรือขี้เลื่อยคลุมหนาไม่น้อยกว่า 15 ซม. ปกคลุมให้ทั่วและฉีดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ	1. ได้ผลดีมาก ราคาไม่สูง 2. ทำได้ทั้งแนวราบและแนวตั้ง 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้ 4. สามารถหาวัสดุมาใช้ได้ง่าย	1. ถ้าอากาศร้อนจะแห้งเร็ว 2. ถ้าที่กว้างๆ การใช้ผ้าใบคลุมจะเสียค่าใช้จ่ายมาก 3. ต้องฉีดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ 4.ต้องพิจารณาวัสดุที่นำมาใช้ก่อนเพราะอาจเป็นอันตรายต่อผิวคอนกรีตได้

. วิธีป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต เป็นการป้องกันการสูญเสียความชื้นจากผิวคอนกรีตมิให้แทรกซึมออกสู่ภายนอก การป้องกันความชื้นแบบนี้ได้แก่การใช้กระดาษกันน้ำ ผ้าพลาสติก หรือสารเคมี เป็นต้น สามารถสรุปรูปแบบต่างๆได้ดังแสดงตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 วิธีการบ่มคอนกรีตแบบป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต

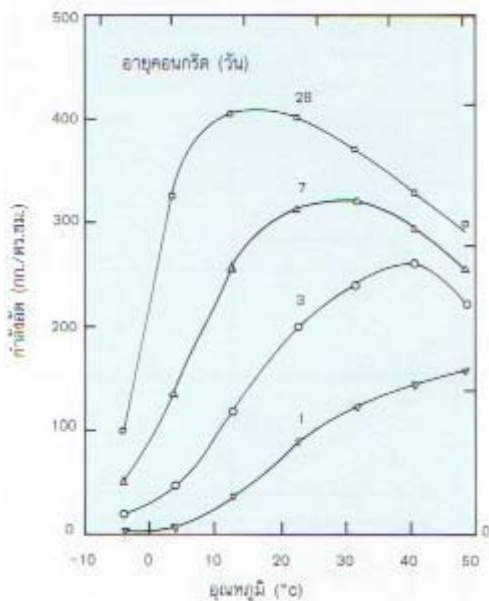
วิธีการบ่ม	ข้อดี	ข้อเสีย
1. การใช้กระดาษกันน้ำซึมได้คลุม กระดาษนี้ทำด้วยกระดาษเหนียวยึดติดกัน ด้วยกาวประเภทยางมะตอย และเสริมความ เหนียวด้วยใยแก้ว และมีคุณสมบัติหาคัดตัวไม่ มาก วิธีการใช้ รอยต่อควรเหลื่อมกันให้มากพอ สมควร และรอยต่อระหว่างแผ่นต้องผนึก ติดแน่นด้วยกาวหรือเทป หรือทรายก็ได้	1. ทำได้สะดวก รวดเร็ว 2. ป้องกันคอนกรีตไม่ให้แห้งได้เร็ว แต่ต้องคอยรดน้ำไว้ด้วย 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้	1. ราคาแพง 2. ไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน 3. ไม่สะดวกในการเก็บรักษาต่อไป เมื่อนำมาใช้งานต่อ
2. การใช้แผ่นพลาสติกคลุม เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและสามารถใช้คลุม งานคอนกรีตที่จะบ่มได้ทันทีที่ต้องการ	1. มีน้ำหนักเบา ปฏิบัติงานง่าย 2. ได้ผลดีในการป้องกันน้ำที่ระเหย ออกไปจากคอนกรีต 3. ไม่ต้องรดน้ำให้ชุ่มอยู่ภายใน	1. บางมาก, ซ้ำรูดง่าย 2. ต้องหาของหนักทับเพื่อกันปลิว 3. ราคาแพง ถ้าใช้คลุมในพื้นที่ กว้างๆ
3. การบ่มด้วยน้ำยาเคมีเคลือบผิวคอนกรีต มีหลายสีด้วยกัน เช่น สีขาว เทาอ่อน และ ดำ สำหรับสีขาวจะเหมาะสมกว่า เพราะ สะท้อนความร้อนและแสงได้ดีกว่า โดยการ ใช้พ่นคลุมพื้นผิวคอนกรีตที่ต้องการใช้งาน เร็วๆ เช่นลานบิน หลังคาต่างๆ งานพิเศษ ต่างๆ หรือตึกสูงๆที่น้ำส่งขึ้นไปได้ยาก	1. สะดวก รวดเร็ว 2. ได้ผลดีพอสมควร ถ้าน้ำยานั้นเป็น ของแท้ และมีความเข้มข้นตาม มาตรฐานของผู้ผลิต 3. ไม่ต้องคอยรดน้ำ 4. ไว้ใช้ในกรณีที่การบ่มด้วยวิธีอื่นไม่ ได้ผล	1. ค่าใช้จ่ายสูง 2. ต้องจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับ พ่นทุกครั้ง 3. ต้องใช้บุคคลากรที่เคยทำการ พ่นมาก่อน 4. น้ำยาเคมีที่ใช้พ่น อาจทำ อันตรายต่อผู้ใช้ในระยะใกล้ เคียงได้
4. การบ่มโดยใช้แบบ ต้องพ่นไม้แบบให้มีความชื้นอยู่เสมอไม้ แบบจะป้องกันการเสียความชื้นได้ดีมาก ฉะนั้นควรรักษาไม้แบบไว้ให้นานที่สุดหลัง จากถอดแบบแล้วจึงใช้วิธีอื่นต่อไป	1. ทำได้สะดวก 2. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้	1. ต้องใช้ไม้แบบจำนวนมาก 2. ซ้ำ เพราะต้องนำไม้แบบไปใช้ งานอื่นต่อไป 3. เสียเวลาการทำความสะอาดไม้ แบบ

2.2.2. การบ่มที่อุณหภูมิสูง สามารถเร่งอัตราการเพิ่มกำลังได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมการ
ผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น ท่อ คานและพื้น เป็นต้น จะทำให้สามารถผลิตชิ้นงานได้รวดเร็วขึ้น, ประหยัดแบบหล่อ
เพราะสามารถถอดแบบได้เร็ว และคอนกรีตมีกำลังสูงเร็ว ทนต่อการเคลื่อนย้ายและใช้งานได้ดี

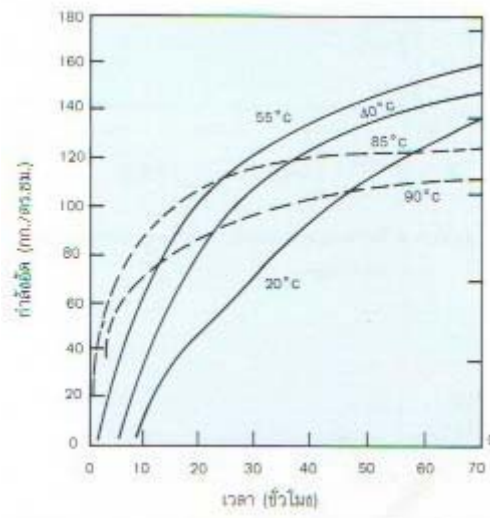
การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ (Low Pressure Steam Curing) อุณหภูมิที่ไอน้ำอยู่ระหว่าง 40-100 องศาเซลเซียส การ
เลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 65-80 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มกำลังและกำลังสูงสุดที่ต้องการ
อุณหภูมิสูงจะทำให้กำลังสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและกำลังปลายสูงสุดจะมีค่าต่ำ อุณหภูมิที่ต่ำให้กำลังสูงสุดที่สูงแต่
ด้วยอัตราการเพิ่มกำลังที่ต่ำ ความสัมพันธ์นี้แสดงได้ในรูปที่ 2.2 นอกจากอุณหภูมิที่สูงสุดที่ใช้บ่มแล้ว เวลาที่ใช้ในการ
บ่มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งด้วยซึ่งประกอบด้วยช่วงเวลา การค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น เวลาที่อุณหภูมิสูงสุดจริง และการลด
อุณหภูมิลงสู่อุณหภูมิต่ำ รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิ ควรให้คอนกรีตอยู่ในอุณหภูมิปกติประมาณ 2-6
ชั่วโมงหลังการหล่อ ก่อนที่จะสัมผัสกับไอน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ขึ้นเบื้องต้นก่อน อัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่
ควรให้เกิน 30 องศาเซลเซียส/ชั่วโมง เวลาที่คอนกรีตอยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงสุดเป็นสิ่งกำหนดปริมาณกำลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งมี
ความสัมพันธ์กับผลคูณระหว่างเวลาและอุณหภูมิหรือที่เรียกว่า Maturity ดังแสดงในรูปที่ 2.4 อัตราการลดอุณหภูมิหลัง

การบ่ม มีความสำคัญน้อย ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความแข็งแรงสูงแล้ว โดยปกติควรใช้อัตราการลดอุณหภูมิระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส/ชั่วโมง

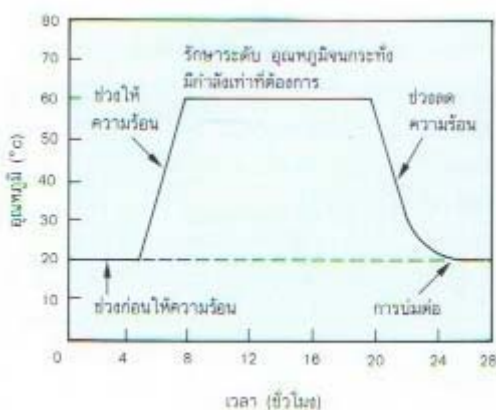
การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันสูง (High Pressure Steam Curing) เป็นการบ่มคอนกรีตด้วยอุณหภูมิเกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งต้องให้ความดันสูงขึ้นและต้องบ่มคอนกรีตในภาชนะปิดสนิท ซึ่งมีชื่อว่า Autoclave อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง 160-210 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 6-20 atm สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะดังกล่าวมีคุณสมบัติต่างจากสารประกอบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้สามารถใช้คอนกรีตได้ภายใน 24 ชั่วโมงเพราะคอนกรีตจะมีกำลังสูงทัดเทียมการบ่มปกติเป็นเวลา 28 วัน และยังมีกรดหดรตัวและล้าลดลงมาก ทนเกลือซัลเฟตได้ดีขึ้น กำจัด Efflorescence มีความชื้นต่ำภายหลังการบ่ม ในทางปฏิบัติการบ่มแบบนี้มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้ได้กับคอนกรีตสำเร็จรูปเท่านั้น มีการใช้การบ่มนี้สำหรับผลิตภัณฑ์จำเพาะบางอย่าง เช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ไยหิน เป็นต้น



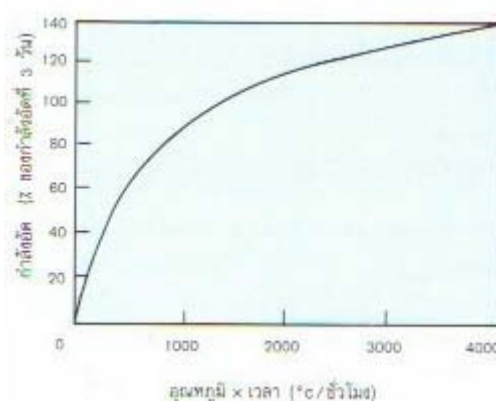
รูปที่ 2.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มกับกำลังอัดของคอนกรีต



รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิของการบ่มด้วยไอน้ำต่ำต่อกำลังของคอนกรีตในระยะแรก



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิสำหรับการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ



รูปที่ 2.4 อิทธิพลของผลคูณระหว่างเวลาและอุณหภูมิต่อผลการเพิ่มของกำลังอัด

ระยะเวลาการบ่ม โดยทั่วไประยะเวลาของการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ อาทิ เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนผสมของคอนกรีต กำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ขนาดและรูปร่างของแท่งคอนกรีต

อุณหภูมิที่ชื้น และความชื้นในขณะบ่ม เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้ถือได้ว่า จะมีผลต่อระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต ซึ่งอาจจะใช้เวลาถึง 1 เดือน สำหรับคอนกรีตที่ใช้ทำเขื่อน หรือเพียง 3 วัน สำหรับคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ผสมอยู่ในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดกำลังสูงเร็ว

สำหรับงานโครงสร้างโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะกำหนดระยะเวลาในการบ่มไว้ตั้งแต่ 3 วัน จนถึง 2 สัปดาห์ ซึ่งกำหนดเวลาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจะนิยามกำหนดระยะเวลาการบ่มไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ ซึ่งระยะเวลาของการบ่มคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ระยะเวลาของการบ่มคอนกรีตตามประเภทของงาน

ประเภทของงาน	คอนกรีตที่ใช้		
	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3
งานธรรมดา			
- เสา คาน และกำแพง	7 วัน	7 วัน	4 วัน
- พื้นบ้าน พื้นถนนในบ้าน ฯลฯ	8 วัน	8 วัน	4 วัน
- ถนนชั้นหนึ่ง ลานจอดหรือทางวิ่งของเครื่องบิน	-	14 วัน	7 วัน
- เสาเข็มสำหรับจะนำไปตอกเป็นฐานราก	21 วัน	14 วัน	7 วัน
งานพิเศษ			
- แผ่นพื้นบางๆ	14 วัน	14 วัน	7 วัน
- รูปหล่อที่เล็กบางซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ผสมมาก	-	21 วัน	7 วัน

การบ่มคอนกรีต (Curing of Concrete) เป็นการป้องกันไม่ให้ความชื้น(น้ำ) ระเหยออกไปจากคอนกรีตเร็วเกินไป เพื่อให้ น้ำกับปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยา(Hydration)ต่อเนื่องกันตลอดเวลา ป้องกันการแตกร้าว ทำให้กำลังคอนกรีตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในช่วงแรกของการบ่มกำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่อยๆ ช้าลงในเวลาต่อมา ระยะเวลาในการบ่มส่วนมากจะคิดเป็น 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน แล้วแต่การกำหนดว่าจะบ่มกี่วัน

ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์นี้ตรงบริเวณที่คอนกรีตมีความชื้นอยู่ก็จะยังทำปฏิกิริยาต่อไป แม้ว่าจะผ่านไปเป็นปีก็ตาม การบ่มคอนกรีตนี้หลังจากการหล่อเป็นแท่งตัวอย่างคอนกรีตแล้ว ก็จะมีการถอดแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต (ทุกชนิด) ภายใน 18 ถึง 48 ชั่วโมง หลังการหล่อ เมื่อถอดแบบแล้วให้ทำเครื่องหมายไว้และนำไปชั่งบันทึกค่าไว้ แล้วจึงนำไปบ่มตามวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

- **การบ่มคอนกรีตด้วยน้ำ** จุ่มตัวอย่างลงในน้ำจนมิด และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21-25°C หากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ให้รายงานอุณหภูมิ โดยเฉลี่ยในระหว่างการลุ่มไปด้วย ควรเปลี่ยนน้ำอย่างน้อยทุกๆ 30 วัน
- **การบ่มคอนกรีตในทรายเปียก** ฝังตัวอย่างลงในทรายจนมิด ทรายในขณะนั้นต้องเปียกจนอึดตัว เติมน้ำในกองทรายทุกๆ วันเพื่อให้ทรายเปียกอึดตัวตลอดเวลา รักษาอุณหภูมิตามที่กำหนดในช่วง 21-25°C
- **การบ่มคอนกรีตในห้องบ่ม** เก็บตัวอย่างในห้องบ่มซึ่งควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21-25°C และมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% ควรเก็บตัวอย่างในห้องบ่มทันทีที่หล่อเสร็จ และควรเก็บไว้ในนั้นจนกว่าจะถึงเวลาทดสอบ ยกเว้นช่วงถอดแบบและเคลือบปลายเท่านั้น
- **การบ่มคอนกรีตด้วยน้ำยาเคมี** เป็นการใช้น้ำยาเคมีประเภทสารโพลีเมอร์ เช่น เรซิน ฉีดพ่นลงบนเนื้อผิวของคอนกรีตเพื่อป้องกันการระเหยออกของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีต

2.3 ทฤษฎีกำลังอัดของคอนกรีต [3]

คุณสมบัติของคอนกรีตในขณะที่ยังอยู่ในสภาพเหลวจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้นอย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ คุณสมบัติของคอนกรีตทั้ง 2 ลักษณะ จะมีผลต่อกันและกัน การที่จะให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดี จะต้องมาจากการเลือกการจัดส่วนผสม เพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวมีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วได้แก่ กำลังความทนทาน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยต่อไปนี้จะกล่าวเพียงกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งเป็นเพียงส่วนหนึ่งของคุณสมบัติด้านกำลัง

2.3.1. ธรรมชาติของกำลังอัดคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

- . กำลังของมอร์ต้า
- . กำลังของโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม
- . แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม

ก. กำลังของมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree Of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับอย่างมากกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดและ ปริมาณ กำลัง ลักษณะผิวขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่างๆ จะส่งผลต่อกำลังคอนกรีตไม่มากนัก

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จะมีผลการเปลี่ยนแปลงกำลังคั้งน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนกำลังคั้งต่อกำลังอัดคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

ข. กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ ความสามารถต้านแรงคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า แต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวมจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังของมอร์ต้า ดังนั้นการยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่กำหนดให้ กำลังของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ เพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำได้หินมากขึ้น ทำให้การยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับ มอร์ต้าลดลง

ขนาดของมวลรวม จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตมีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูง

การเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

ค. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้า

แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพรูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมีปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่างๆ ในมวลรวม นอกจากนี้ทิศทางการหล่อและทิศทาง ในน้ำหนักรวมจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังมากกว่ากำลังอัด ด้วยเหตุผลที่ว่ากำลังอัด ด้วยเหตุผลที่ว่า จะเกิดช่องว่างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมหยาบกับมอร์ต้าต่ำลง

2.3.2. ปัจจัยที่มีผลต่อกำลัง

■ คุณสมบัติของวัตถุดิบประสงค์

ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมากทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างกันไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

มวลรวม มวลรวมที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เปสต์ อย่างไรก็ตามมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็น เหลี่ยมมุม หรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่า พวกกรวดที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเท่าๆกัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดผลของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนขนาดผลไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนผลที่ดีเพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเท่าๆกัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่า ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต เช่นกัน

น้ำ น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและสารแขวนลอยนั้น

■ การทำคอนกรีต

การชั่งตวงส่วนผสม

- การชั่งตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาส ผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนักซึ่งหากอัตราส่วนผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีต เปลี่ยนแปลงได้

- อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้มีน้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เปสต์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวม ได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น

จะมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีตเพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะที่ล้มเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสม ก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

■ การบ่มคอนกรีต

ความชื้น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตเพราะปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป นับตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำเป็นซีเมนต์เปสต์ และซีเมนต์เปสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถ้ามีความชื้นอยู่ตลอดเวลาถ้าซีเมนต์เปสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตก็ไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ในทางปฏิบัติเรามักจะบ่มคอนกรีตจนถึงอายุ 28 วัน ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที

อุณหภูมิ ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะที่บ่มก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

เวลาที่ใช้ในการบ่ม ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ขึ้นอยู่ตลอดเวลาได้ยาวนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

■ การทดสอบ

การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะทำให้รูปของการชักตัวอย่างคอนกรีตสดมาทำก้อนตัวอย่าง โดยถือว่ากำลังของก้อนตัวอย่างที่หล่อคอนกรีตที่เป็นหล่อโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตดังต่อไปนี้

ขนาดและลักษณะของแท่งทดสอบ การใช้แท่งทดสอบที่ต่างขนาดและต่างลักษณะกันจะมีผลทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตเกิดความแตกต่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลของขนาดและลักษณะของก้อนตัวอย่างต่อค่ากำลังอัด

ขนาดตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์ (ซม.)	กำลังอัดสัมพัทธ์	ขนาดตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์ (ซม.)		กำลังอัดสัมพัทธ์
		เส้นผ่าศูนย์กลาง	ส่วนสูง	
7.5	106	5	10	109
10	104	7.5	15	106
15	100	15	30	100
20	95	20	40	97
25	92	30	60	91
		45	90	87
		60	120	84
		90	180	82

■ กำลังอัดของคอนกรีต

นอกจากนี้ความสูงของก้อนตัวอย่างจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ต่อกำลังอัด

สัดส่วนของความสูงต่อ เส้นผ่าศูนย์กลาง (L/D)	ค่าปรับแก้ของกำลัง
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

๑ วิธีการทำตัวอย่าง การทำให้คอนกรีตแน่น โดยการกระทุ้งด้วยเหล็ก จะให้ค่ากำลังต่ำกว่าคอนกรีตที่ได้รับการทำให้แน่นด้วยเครื่องเขย่า

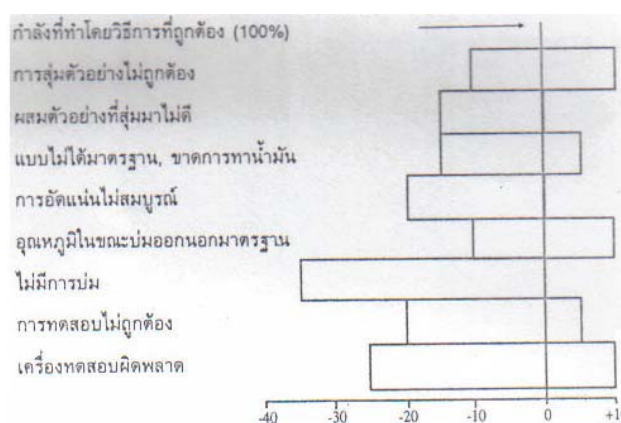
๑ ความชื้นในแท่งทดสอบ ในขณะที่ทำการทดสอบถ้าหากแท่งทดสอบมีความชื้นก็จะให้ค่ากำลังที่ต่ำกว่าแท่งทดสอบที่แห้งกว่า

๑ อัตราการกด ในการทดสอบกำลังอัด ถ้าใช้อัตราการกดสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตสูงตามไปด้วย จึงควรใช้อัตราการกดตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

๑ เครื่องทดสอบ

น้ำหนักที่กดอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่างจึงจะทำให้กำลังอัดที่ถูกต้องซึ่งจะเกิดได้ดังนั้น

1. ก้อนตัวอย่างต้องอยู่จุดกึ่งกลาง และแกนของก้อนตัวอย่างต้องอยู่ในแนวตั้ง
2. แผ่นรองกดต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนของก้อนตัวอย่าง
3. แผ่นรองกดต้องเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย
4. แผ่นรองกดจะต้องเรียบเป็นระนาบ
5. ถ้าต้องใช้วัสดุ Cap ก้อนตัวอย่าง ควรจะเลือกวัสดุที่มีกำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับคอนกรีต



กำลังอัดเทียบกับวิธีการทำที่ถูกต้อง

รูปที่ 2.5 สิ่งที่ทำให้กำลังอัดผันแปรเนื่องจากการทำและทดสอบก้อนตัวอย่าง

ค่าผลของอัตราการกดแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลของอัตราการกดต่อกำลังอัด

อัตราการกด				เปอร์เซ็นต์ของกำลังเทียบกับอัตราการทดสอบมาตรฐาน
นาที่	ชั่วโมง	วัน	ปี	
2				100
10				95
30				92
60	1			90
	4	0.17		88
		100		78
		365	1	77
			3	73
			30	69

2.3.3. ความสัมพันธ์ ระหว่างกำลังอัดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก

ก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มี 2 รูปทรงคือ

1. รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง

30 ซม.

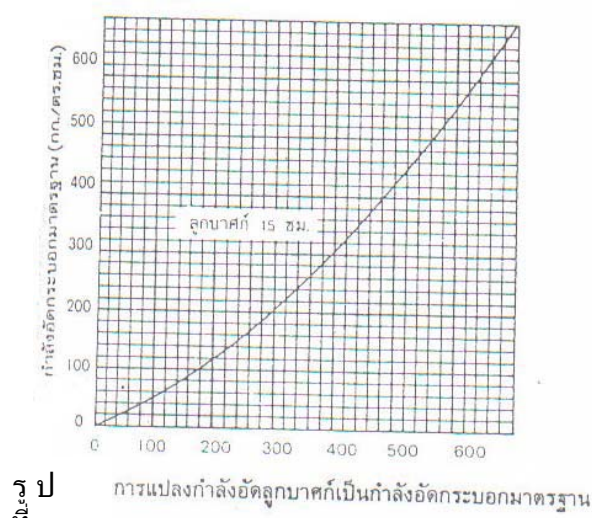
2. รูปทรงลูกบาศก์เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษ ขนาดที่ใช้คือขนาด 15×15×15 ซม.

กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

1. แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดทำให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากำลังของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าเกินความจริง

2. องค์ประกอบเรื่องความชะรูด กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก

ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท.) ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.7



นอกจากนี้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ มอก. 213-2520 ได้เสนอชั้นคุณภาพคอนกรีตและกำลังอัดของ 2 รูปทรงไว้ ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอกตาม มอก. 213-2520

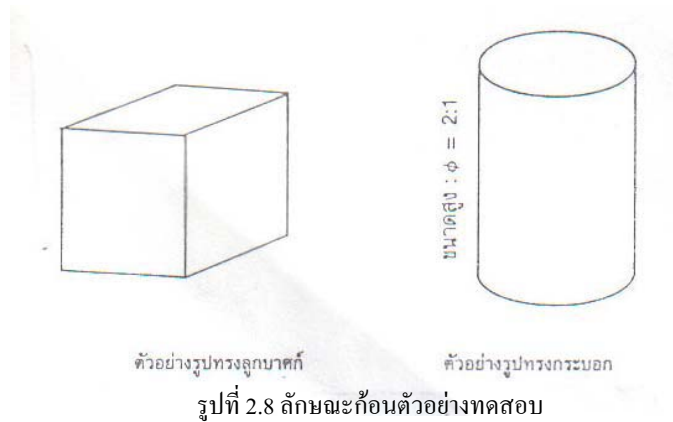
ชั้นคุณภาพ	การต้านแรงกำลังอัดเมื่ออายุ 28 วัน (กก./ตร.3ซม.)	
	รูปทรงลูกบาศก์ 15×15×15 ซม.	รูปทรงกระบอกØ15×30ซม.
C10/8	100	80
C12.5/10	125	100
C15/12	150	120
C20/15	200	150
C25/20	250	200
C30/25	300	250
C35/30	350	300
C40/35	400	350
C45/40	450	400

2.3.4. การทำก้อนกำลังตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัด [4]

คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวพอจะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเก็บก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบตามเวลาต่างๆ ที่กำหนดไว้

ก่อนตัวอย่างในงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทยมีดังนี้

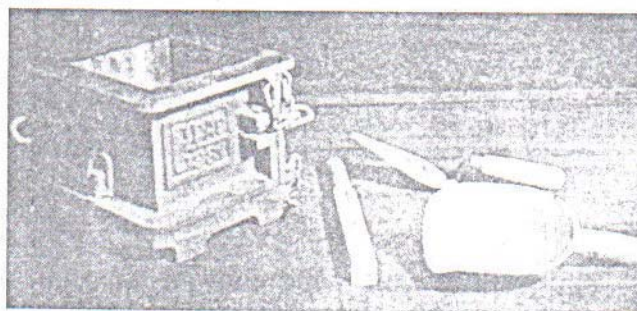
1. ตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์ขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม.
2. ตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
3. ตัวอย่างรูปคานขนาด $15 \times 15 \times 60$ ซม.



❖ การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ มาตรฐานที่ใช้ BS 1881:PART 3
METHOD OF MAKING AND CURING TEST SPECIMENS [5]

อุปกรณ์ :

1. แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ $15 \times 15 \times 15$ ซม.
2. เหล็กดำ หน้าที่ตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
3. ซ้อนตัก, เครื่องเหล็ก



รูป อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์

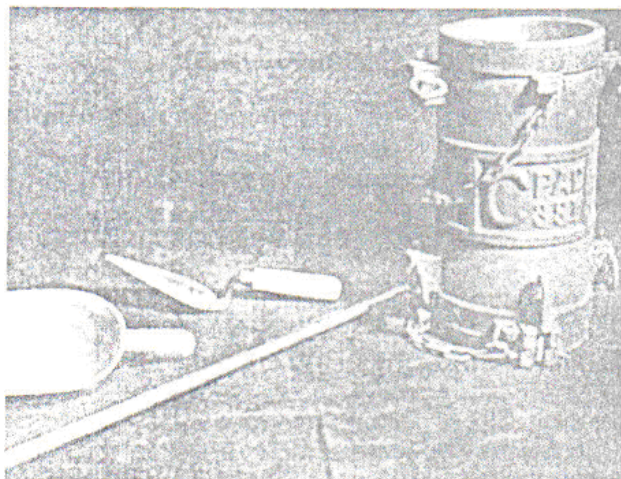
วิธีทำ

1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2. ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่าๆกัน แต่ละชั้นตักด้วยเหล็กดำ 35 ที่
3. เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

❖ การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก มาตรฐานที่ใช้ ASTM C 192
STANDARD METHOD OF MAKING AND CURING CONCRETE TEST SPECIMENS IN THE
LABORATORY [6]

อุปกรณ์ :

1. แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
2. เหล็กด้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมน



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงกระบอก

วิธีทำ

1. ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2. ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่าๆกัน แต่ละชั้นด้าด้วยเหล็กด้า 25 ที
3. เมื่อด้าชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

■ การทดสอบกำลังคอนกรีต

มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างทรงลูกบาศก์ BS 1881 : PART 4

METHOD OF TESTING CONCRETE FOR STRENGTH [7]

มาตรฐานที่ใช้สำหรับตัวอย่างทรงกระบอก ASTM C 39

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

วิธีการทดสอบ

1. นำก้อนตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
2. เปิดเครื่องทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมออัตราที่ใช้คือ 1.4-3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
3. กดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
4. นำค่าน้ำหนัก และพื้นที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัย

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ทั่วไปคือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Ksc)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/ mm)

■ การประเมินผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยก่อสร้างก็คือ เพื่อประเมินผลและความคุ้มค่า คอนกรีตที่ผลิตขึ้นมาคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการแต่เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช้มวลที่เกิดจากการผสมของวัตถุดิบเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นคอนกรีตจึงมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นผสมและแม้แต่ละรุ่นผสมเดียวกันก็ยังมีคุณภาพผันแปรกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม การผสม การลำเลียง การเท การบ่ม และตัวอย่างคอนกรีต นอกจากการผันแปรอันเกิดจากลักษณะของคอนกรีตเองแล้วคุณสมบัติของคอนกรีตยังถูกทำให้เปลี่ยนแปลงออกไปได้เนื่องจากวิธีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติกันอีกด้วย เช่น การหล่อแท่งตัวอย่าง การดูแล และการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต เป็นต้น สรุปแล้วก็คือ ในการทดสอบกำลังของตัวอย่างคอนกรีตจากสนามต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างกันละค่าผันแปรนี้ต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ด้วย สำหรับการที่จะกำหนดขอบเขตและความคืบหน้า สามารถทำได้โดยวิธีทางสถิติพร้อมกันกับความเข้าใจในลักษณะของคอนกรีต และการทดสอบคอนกรีตด้วย

■ ความผันแปรของกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีต

กำลังอัดตัวอย่างคอนกรีต จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับการควบคุมทั้งวัตถุดิบ ขบวนการผลิต และ ขบวนการทดสอบ ซึ่งเมื่อสรุปจะได้ว่ากำลังอัดตัวอย่างคอนกรีต มีค่าผันแปรอันเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ

1. การผันแปรอันเนื่องมาจากคุณสมบัติของคอนกรีต (ผันแปรในขบวนการผลิต)
2. การผันแปรอันเนื่องมาจากการทดสอบ (ผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สรุปความผันแปรของกำลัง

การผันแปรในสมบัติของคอนกรีตเอง	การผันแปรเนื่องมาจากการทดสอบ
การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ - ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ - ความชื้นในหินและทรายมีมาก การผันแปร ในปริมาณความต้องการของน้ำในส่วนผสม - ขนาดกละของหินและทราย - วัสดุผสมมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอการผันแปรในคุณภาพและอัตราส่วนผสมของวัสดุ - หิน, ทราย - ซีเมนต์	วิธีการสุมตัวอย่างไม่เหมาะสมวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน - ปริมาณการกระทุ้ง - การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง - การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม - อุณหภูมิ - ความชื้น วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี - การหล่อฝ - การทดสอบกำลังอัด

■ การประเมินผล