การเปรียบเทียบการเรียบปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน และการใช้แผ่นยาง สำหรับการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต

COMPARISON OF CAPPING METHODS FOR CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TESTING; GROUND ENDS, SULPHUR CAPS, AND UNBONDED NEOPRENE PADS

วิชาญ โหษิตเจริญกุล
WICHARN KOSITCHAROENKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2553

KMITL-2009-EN-M-009-023

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน และการใช้แผ่นยาง สำหรับทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต

COMPARISON OF CAPPING METHODS FOR CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TESTING; GROUND ENDS, SULPHUR CAPS, AND UNBONDED NEOPRENE PADS

T110549

วิชาญ โฆษิตเจริญกุล

WICHARN KOSITCHAROENKUL

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 110549
วัน,เดือน,ปี - 4 พ.ย. 2553

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2010-EN-M-090-023

COMPARISON OF CAPPING METHODS FOR CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TESTING; GROUND ENDS, SULPHUR CAPS, AND UNBONDED NEOPRENE PADS

WICHARN KOSITCHAROENKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2010-EN-M-090-023

COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต

Thesis Title Comparison of Capping Methods for Concrete Compressive Strength Testing ; Ground Ends, Sulphur Caps, and Unbonded Neoprene Pads

นักศึกษา นายวิชาญ โฆษิตเจริญกุล

รหัสประจำตัว 49061612

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-090-023

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.อำนวย	พานิชกุลพงษ์	
ผศ.ดร.วัชระ	เพียรสุภาพ	
ผศ.นันทวัฒน์	จรัสโรจน์ธนเดช	
ผศ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2553 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2553

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 19 เดือน เม.ย. พ.ศ. 2553
ลงชื่อ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยาง สำหรับทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต
นักศึกษา	นายวิชาญ โฆษิตเจริญกุล
รหัสนักศึกษา	49061612
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ
พ.ศ.	2553
อาจารย์ผู้ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

บทคัดย่อ

ตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกนั้นต้องทำการเคลือบ (Capping) ปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างคอนกรีตเพื่อให้เรียบเป็นระนาบขนานกันและตั้งฉากกับแกนกลาง วิธีการที่นิยมคือการเคลือบด้วยกำมะถัน แต่ควันของกำมะถันเป็นวัสดุที่มีพิษต่อผู้ทำการทดสอบ กอปรกับกำลังรับแรงอัดของกำมะถันไม่มากจึงไม่สามารถนำมาใช้ Capping ตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลทดสอบกำลังรับแรงอัดสำหรับการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับการทดสอบกำลังอัด 3 วิธีด้วยกัน คือ (ก) การเคลือบด้วยกำมะถัน (ข) การใช้แผ่นยางรองกด และ (ค) การเจียรปลายตัวอย่าง สำหรับคอนกรีตกำลังอัด 200 ksc. 300 ksc. 400 ksc. และ 800 ksc. โดยการใช้ตัวอย่างหล่อทรงกระบอกโม่เดียวกันส่วนผสมละ 10 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ได้จากการคว้านคอนกรีตเป็นทรงกระบอก สำหรับช่วงกำลังอัด 200 ksc. 300 ksc. และ 400 ksc. ส่วนผสมละ 10 ตัวอย่าง จากผลการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตมีความแปรปรวนน้อยและให้กำลังอัดเฉลี่ยใกล้เคียงกับการใช้แผ่นยาง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันให้ค่าความแปรปรวนมาก และไม่เหมาะสำหรับคอนกรีตกำลังปานกลางและกำลังสูง และตัวอย่างที่ได้จากคว้านคอนกรีตเป็นทรงกระบอกมีค่าความแปรปรวนน้อยกว่าตัวอย่างที่ได้จากการหล่อ เนื่องมาจากความผิดพลาดจากการหล่อตัวอย่างคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Comparison of Capping Systems for Concrete Compressive Strength Testing; Ground Ends, Sulphur Caps, and Unbonded Neoprene Pads
Student	Mr. Wicharn Kositcharoenkul
Student ID.	49061612
Degree	Master of Engineering
Program	Construction Engineering and Management
Year	2010
Thesis Advisor	Asst. Prof. Laemthong Laokhongthawarn

ABSTRACT

Concrete cylinder specimens for testing compressive strength must be capped the ends with capping compounds to get perpendicular of the ends surface to the axial and smoothness of the end surfaces. Traditionally, sulphur mortar capping is one of the most widely used methods in testing. But toxicity of sulphur gas is harmful to the experimenters and sulphur capping is not of sufficient strength to use for the testing of the high strength concrete. Thus, the aim of this research is to compare alternatives in three ends of specimen treatments for compression test were; (a) capping the cylinders with sulphur mortar, (b) using unbonded neoprene caps in steel plate retaining, (c) grinding the end surfaces, for 200 ksc., 300 ksc., 400 ksc. and 800 ksc. cylindrical concrete compressive strength. Ten specimens of each specimen end treatment methods of each mix designs were prepared by one batch for molded casing and by one batch for coring test of each strengths. By results of this research have showed that grinding the cylinder ends treatment yields low variability in concrete compressive strength value and the average compressive strengths which are similar strength to unbonded neoprene pads treatment. Additionally, using sulphur mortar cap results in much variability and is not suitable for high strength concrete testing. Finally, concrete cylinder cored specimens yield less variability in concrete compressive strength than concrete cylinder specimens cased in mold, because they are not affected by factors of specimen making.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยความกรุณาจาก ผศ. แหลมทอง เหล่าคงถาวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์นี้ โดยตลอดเวลาท่านได้ให้ความช่วยเหลือ สั่งสอน แนะนำ รวมถึงการให้คำชี้แนะการแก้ปัญหา อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงพื้นฐานทางด้านภาษา และการนำเสนอผลงานตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ซึ่งถือเป็นสิ่งมีค่าที่ข้าพเจ้าได้รับตลอดเวลาที่ทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ท่านรศ.อำนวย พานิชกุลพงษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็น และคำชี้แนะ ในการปรับปรุงงานวิจัยนี้ให้มีความเหมาะสมและมีคุณค่ามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณบรรดาคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณวิเชียร พานวงษ์ ตำแหน่ง ผู้จัดการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ก. ไทยธำรงวิศวการโยธา ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องมือทดสอบวิศวกรรมโยธา ที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องเจียรปลายตัวอย่างในการทำวิจัยและการจัดหาอุปกรณ์แผ่นยางสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงคุณแอซัน ยูโซะ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการช่วยเหลือด้านข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย คุณปวีณ เทียมราช คุณศิวาวุฒิ โกสาลี คุณคุณากร แก้วมูล และคุณฉัตรธวัช สุขเรือน นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการร่วมทดสอบและเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.-สสว.) ประจำปี 2550 และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

สุดท้ายนี้ สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ เอาใจใส่และให้การสนับสนุนอย่างดีเสมอมา ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

วิชาญ โฆษิตเจริญกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 กล่าวนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา 1

1.2 ปัญหางานวิจัย 2

1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.4 สมมติฐานของการศึกษา 3

1.5 ขอบเขตการวิจัย 3

1.6 ขั้นตอนการวิจัย 4

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 7

2.1 กล่าวนำ 7

2.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบกำลังอัด 7

2.3 รูปแบบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต 8

2.2.1 การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต (Bonded caps) 9

2.2.2 การใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีต (Unbonded pads) 10

2.2.3การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต (Ground ends) 11

2.4 วัสดุเคลือบปลายคอนกรีต - กำมะถัน 12

2.5 วัสดุแผ่นยางรองปลายคอนกรีต 15

2.6 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีใช้งานกัน 15

2.7 การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต 18

2.8 บทวิเคราะห์ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 กรอบทฤษฎี 23

3.1 กล่าวนำ 23

3.2 กำลังอัดของคอนกรีต 23

3.2.1 ธรรมชาติของกำลังอัดของคอนกรีต 23

3.2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวกับกำลังอัดของคอนกรีต 24

3.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลัง 27

3.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก 32

3.2.5 การทำก้อนตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัด 35

3.2.6 การประเมินผลการทดสอบ 37

3.2.7 สาเหตุที่กำลังอัดไม่เป็นไปตามข้อกำหนด 39

3.2.8 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต 39

3.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีต่าง ๆ 41

3.3.1 วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต 41

3.3.2 การทดสอบแบบทำลายเพื่อหาแรงต้านทานกำลังอัดคอนกรีต 66

บทที่ 4 ระเบียบวิธีวิจัย 68

4.1 กล่าวนำ 68

4.2 การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต 68

4.2.1 วัสดุผสมคอนกรีต 68

4.2.2 การผสมคอนกรีต 69

4.3 การทำตัวอย่างคอนกรีต 70

4.3.1 การทำตัวอย่างด้วยการเทหล่อ 70

4.3.2 การทำตัวอย่างคอนกรีตโดยวิธีการCoring 71

4.4 การเตรียมปลายตัวอย่าง 72

4.4.1 การเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลาย 72

4.4.2 การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน 74

4.4.3 การใช้แผ่นยางทดสอบ 75

4.5 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ 77

5.1 กล่าวนำ 77

5.2 ผลการทดสอบ 77

5.2.1 ผลการทดสอบตัวอย่างที่เตรียมด้วยการการหล่อคอนกรีตทรงกระบอก 77

5.2.2 ผลการทดสอบตัวอย่างที่ได้จากการ Coring 79

5.3 บทวิเคราะห์ 80

5.3.1 การเปรียบเทียบด้านกำลังอัด 80

5.3.2 การเปรียบเทียบลักษณะการวิบัติ 87

5.3.3 การเปรียบเทียบด้านค่าใช้จ่ายการในการเตรียมปลาย 88

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 90

6.1 สรุปผลการวิจัย 90

6.2 ข้อเสนอแนะ 91

บรรณานุกรม 93

ภาคผนวก 96

ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 97

ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 123

ประวัติผู้เขียน 131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงการแบ่งการทดสอบสอบกำลังอัดคอนกรีตด้วยวิธีการต่าง ๆ	5
3.1	ผลของขนาดและลักษณะของก้อนตัวอย่างต่อกำลังอัด	29
3.2	ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ต่อกำลังอัด	29
3.3	ผลของอัตราการกดต่อกำลังอัด	30
3.4	การเปรียบเทียบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอกตาม มอก. 213/2520	34
3.5	สรุปความผันแปรของกำลังอัด	38
4.1	แสดงสัดส่วนผสมคอนกรีตในแต่ละช่วงกำลังอัด	69
4.2	การเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด	72
5.1	แสดงผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมด้วยการเทหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก	78
5.2	แสดงผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมด้วยการ Coring	79
5.2	แสดงผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมด้วยการ Coring	79
5.3	สรุปค่าใช้จ่ายในการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต	89
ก.1	การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 200 ksc	119
ก.2	การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 300 ksc	120
ก.3	การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 400 ksc	121
ก.4	การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 800 ksc	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดง Flow Chat ขั้นตอนการวิจัย	6
2.1	แสดงภาพตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์	8
2.2	แสดงภาพตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก	8
2.3	อุปกรณ์เคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต	10
2.4	แผ่นยางรองกดและเบ้าเหล็กสำหรับการทดสอบการใช้วัสดุรองกด	11
2.5	เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต	11
2.6	อุปกรณ์ยึดจับและใบเจียรนัยปลายตัวอย่าง	12
2.7	แผ่นตัวอย่างแผ่นยางที่ใช้สำหรับงานทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	15
2.8	เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง	16
2.9	การทำงานของชุดหัวเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง	17
2.10	เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวนอน	18
2.11	ชุดอุปกรณ์การยึดจับตัวอย่างคอนกรีตแนวนอน	18
3.1	ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และการอัดแน่นที่มีผลต่อกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต	25
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน	25
3.3	สิ่งที่ทำให้กำลังอัดผันแปรเนื่องจากการทำและทดสอบก้อนตัวอย่าง	30
3.4	สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต	31
3.5	ก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก	32
3.6	การกดก้อนตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบ	32
3.7	แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดซึ่งก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้างของก้อนตัวอย่าง (Confining Stress)	33
3.8	การแปลงกำลังอัดลูกบาศก์เป็นกำลังอัดกระบอกมาตรฐาน	34
3.9	อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์	35
3.10	อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงกระบอกสารบัญรูป	36
3.11	อุปกรณ์ทำตัวอย่าง รูปคาน	37
3.12	การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก	40
3.13	ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องและการแตกที่ไม่ถูกต้อง	40
3.14	ส่วนประกอบของค้อนกระแทกแบบสมิดท์ (Schmidt's Rebound Hammer)	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับจำนวนครั้งการสะท้อน	43
3.16	ชุดอุปกรณ์การวัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก	46
3.17	ตัวอย่างแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour Map) ของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก	47
3.18	อุปกรณ์การวัดความถี่เรโซแนนซ์	49
3.19	ชุดทดสอบ Windsor HP Probe และการทดสอบ	51
3.20	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต	52
3.21	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสลักกับความแข็งแรงของคอร์	53
3.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความแข็งแรงทดสอบมาตรฐาน	54
3.23	(ก) การทดสอบแบบ LOK-Test และ (ข) การทดสอบแบบ CAPO-Test	54
3.24	การทดสอบสลักติดด้วยอีพอกซี่เรซิน	55
3.25	วิธีการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์	56
3.26	วิธีการทดสอบโดยวิธีดึงคอร์ให้หัก	58
3.27	แสดงอุปกรณ์ทดสอบการดึงคอร์ให้หัก	58
3.28	แสดงการทดสอบการบิดให้แตกหัก	59
3.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความแข็งแรงของชิ้นวัสดุทดสอบ	60
3.30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทางแรงอัดกับปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลา	62
3.31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับการเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิ 20 °C	63
3.32	แสดงภาพเครื่องมือทดสอบ ตัวอย่างการวัดวัดระดับการแข็งตัว (Maturity) และการวัด	62
3.33	แสดงความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของ ISO โดยความเร็วเสียงและจำนวนครั้งการสะท้อน (SONRER)	66
4.1	การหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก	70
4.2	ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการบ่มที่ 28 วัน	71
4.3	แสดงภาพการเก็บตัวอย่างคอนกรีต โดยการCoring	71
4.4	อุปกรณ์การจับยึดตัวอย่างของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต	73
4.5	ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายด้วยเครื่องเจียร	73
4.6	การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน	74
4.7	ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	แสดงการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับการทดสอบการรับแรงอัด	74
4.9	การทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต	75
5.1	กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการหล่อในแบบรูปทรงกระบอก	80
5.2	กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด จากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเทหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก	82
5.3	กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring	83
5.4	กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring	84
5.5	กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเทหล่อและตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring	86
5.6	รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการเจียรปลาย	87
5.7	รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	87
5.8	รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่าง	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความสำคัญต่อการก่อสร้างเป็นอย่างมาก เช่น อาคาร ถนน เขื่อน สะพาน และงานก่อสร้างต่าง ๆ ซึ่งมีเห็นได้ทั่วไป เนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเมื่อผสมสามารถเทหล่อเข้าแบบที่กำหนดได้ และเมื่อแข็งตัวสามารถรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดี เพื่อให้ได้ส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสม และเป็นไปตามค่าที่ทางวิศวกรได้ออกแบบไว้ การทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีต จึงได้มีการกำหนดวิธีการทดสอบกำลังอัดไว้ตามมาตรฐาน ASTM C 39 [1] หรือมาตรฐาน BS 1881 Part 4 [2]

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต รูปแบบของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้สำหรับการทดสอบด้วยวิธีการหล่อนั้นโดยทั่วไปมี 2 รูปแบบ คือ รูปทรงกระบอก (ตามมาตรฐาน ASTM C 31 [3] และ C192 [4]) และรูปทรงลูกบาศก์สี่เหลี่ยม (ตามมาตรฐาน BS 1881 Part 3) ตัวอย่างรูปทรงกระบอกนั้นมีข้อดีกว่าตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ เช่น การหล่อและการรับน้ำหนักอยู่ในแนวเดียวกันซึ่งเป็นลักษณะการเทและการรับแรงของคอนกรีตในสภาวะการใช้งานจริงโดยทั่วไป มีความเสมือนจริงมากกว่าตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ซึ่งมักจะทดสอบการรับแรงอัดในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของการเทคอนกรีต (เนื่องจากความเรียบของผิวด้านข้างโดยที่ไม่ต้องทำการแต่งผิวให้เรียบอีก) และยังมีผลกระทบจากขนาดของหิน และการกระจายแรงไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการยึดปลายของตัวอย่างทั้งด้านบนและด้านล่าง เมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกอีกด้วย

การหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก จะพบว่าผิวด้านบนของคอนกรีตมีความขรุขระ ไม่เรียบพอตามมาตรฐาน ASTM C 39 [1] ที่ระบุว่าผิวหน้าของตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาทดสอบต้องเรียบและมีความสูงต่ำแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงมีการปรับผิวหน้าปลายของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกเพื่อให้เหมาะสมกับการรับถ่ายแรงจากเครื่องทดสอบหลายวิธีการ

วิธีการแรกนิยมใช้การเคลือบปลายตัวอย่าง (Capping) คอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C617 [5] มีวัสดุเคลือบปลายอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ การใช้ซีเมนต์เพสต์ข้น การใช้กำมะถัน หรือการใช้ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต หากการทดสอบคอนกรีตโดยที่ไม่ทำให้ผิวหน้าเรียบจะทำให้ค่ากำลังที่ทดสอบได้มีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ผิวหน้าของคอนกรีตที่ไม่เรียบหรือเอียงเพียง 0.25 มิลลิเมตร อาจทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง กำลังของวัสดุที่ใช้ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตควรเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ใช้ทำการทดสอบ ผิวเคลือบปลายคอนกรีตควรมีความหนาช่วงประมาณ 1.50 ถึง 3.00 มิลลิเมตร จะไม่ส่งผลต่อพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีตภายใต้การทดสอบกำลังอัด นอกจากนี้ภายหลังการเคลือบหัวคอนกรีตแล้วจะต้องทิ้งให้วัสดุที่เคลือบผิวคอนกรีตแข็งตัว เช่น กำมะถัน ควรทิ้งให้แข็งตัวอย่างน้อย 2 ชั่วโมง มิฉะนั้นเมื่อทำการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต ผิวเคลือบที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่จะแตกเสียหายก่อน เป็นผลให้กำลังอัดที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง โดยทั่วไปนิยมใช้กำมะถันเคลือบหัวคอนกรีตสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังไม่สูงมาก กำมะถันที่ใช้เคลือบผิวหน้าคอนกรีตไม่ควรนำกลับมาใช้อีก เพราะอาจมีเศษคอนกรีต ฝุ่น น้ำมันทาแบบ และทรายปะปนอยู่ทำให้คุณภาพของกำมะถันลดลง นอกจากนี้กำมะถันที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้มแล้วหลายครั้งจะมีกำลังลดลงด้วย รวมถึงควันจากการต้มกำมะถันให้เป็นของเหลวจัดเป็นก๊าซพิษที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงต่อผู้ทำการทดสอบ (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2549) หากสูดดมหรือสัมผัสกับดวงตาเป็นประจำและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

วิธีการที่สอง การปรับผิวหน้าตัวอย่างคอนกรีตโดยการให้แผ่นยางร่วมกับเบ้าเหล็ก ตามมาตรฐาน ASTM C1231 [6] เป็นการใช้วัสดุที่ช่วยถ่ายแรงจากเครื่องทดสอบสู่ตัวอย่างคอนกรีตอย่างทั่วผิวหน้า ทั้งนี้จะต้องมีการทดสอบแผ่นยางให้มีความแข็งที่เหมาะสมกำลังของคอนกรีต หากแผ่นยางมีความแข็งมากเกินไปจะทำให้การถ่ายแรงเป็นไปอย่างไม่เหมาะสม ทำให้ได้ค่ากำลังอัดคอนกรีตต่ำกว่าหรือสูงกว่าความเป็นจริง หากใช้แผ่นยางที่มีความอ่อนมากเกินไป จะทำให้แผ่นยางเสียรูปทรงได้ง่าย อาจจะต้องเปลี่ยนแผ่นยางเมื่อทดสอบไปได้เพียง 2 – 3 ตัวอย่างเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้ได้อีก เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

วิธีการที่สาม การปรับผิวหน้าปลายตัวอย่างคอนกรีตโดยการเจียรผิวปลายตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งในต่างประเทศนิยมใช้วิธีการนี้เนื่องจากจะได้ค่าของคอนกรีตที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงแล้ว ยังเป็นการลดปัญหาที่เกิดจากสองวิธีข้างต้น โดยทางศูนย์ทดสอบวัสดุของภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเจ้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้พัฒนาการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตโดยการขัดหรือเจียรผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตโดยประดิษฐ์จากวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ มีต้นทุนที่ต่ำทดแทนการนำเข้าเครื่องจักรราคาแพงจากต่างประเทศ

1.3 ปัญหางานวิจัย

วิธีการปรับปรุงผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกนั้น ในประเทศไทยมักจะนิยมใช้เพียงแต่การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยสารเคลือบประสานคือ กำมะถัน แต่เนื่องจากข้อจำกัดของกำลังต้านทานแรงอัดของตัวกำมะถันนั้นไม่สูง ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้เคลือบผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัดสูงมาก และในการเคลือบปลายตัวอย่างนั้น จะต้องการการหลอมเหลวด้วยการต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำมะถัน ซึ่งจะเกิดเป็นก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างคอนกรีตนั้น ยังไม่เป็นที่นิยมใช้กันในประเทศไทย เนื่องจากความไม่มั่นใจในการผลทดสอบกำลังคอนกรีต งานวิจัยเรื่องการใช้แผ่นยางในประเทศไทยก็ยังมีน้อย และตัววัสดุแผ่นยางต้องนำเข้าทำให้ราคาแพง การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตในประเทศไทยยังไม่มีใช้ และการใช้งานต้องนำเข้าเครื่องเจียรปลายจากต่างประเทศ ซึ่งเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตของต่างประเทศนั้นมีราคาสูง

จะเห็นได้ว่าองค์ความรู้เรื่องการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตของประไทยนั้นยังมีไม่มาก การเลือกใช้แต่เพียงการเคลือบด้วยกำมะถันอย่างเดียวนั้น อาจทำให้ค่าของผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนได้ และก๊าซที่เกิดขึ้นยังเป็นอันตรายต่อผู้ทดสอบอีกด้วย

1.4 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก สำหรับการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่าง และการเจียรปลายตัวอย่างแท่งคอนกรีตทรงกระบอก โดยตัวอย่างทดสอบแบ่งเป็นตัวอย่างจากการเทหล่อคอนกรีต และตัวอย่างจากการ Coring

2. ศึกษาเปรียบเทียบการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกที่มีผลต่อการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทั้ง 3 วิธี

1.5 สมมติฐานของการศึกษา

1. การเตรียมปลายตัวอย่างทั้ง 3 วิธี คือ การเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน และการใช้แผ่นยางรองปลาย ให้ค่าการทดสอบกำลังอัดที่แตกต่างกัน

2. การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธี Coring เป็นรูปทรงกระบอกทำให้เนื้อคอนกรีต Homogeneous มากกว่าการหล่อเป็นก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ASTM C39) กำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่ 200 ksc, 300 ksc และ 400 ksc และคอนกรีตกำลังอัดสูง 800 ksc โดยการเตรียมปลายตัวอย่างตัวอย่างทั้ง 3 วิธี คือ การเคลือบปลายตัวอย่าง (Capping) ด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่าง และการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

2.ใช้วัสดุมวลรวมจากแหล่งเดียวกันทั้งหมด

3. ขนาดหินที่ใช้ผสมคอนกรีตขนาดเดียวกันทั้งหมดคือ ¾" หรือ 20 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไม่ได้ศึกษาผลกระทบของความหนาของกำมะถันเคลือบปลายตัวอย่าง

5. ไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของความแข็งของแผ่นยางรองปลาย

1.7 ขั้นตอนการวิจัย

1.7.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกด้วยการเจียรปลาย การใช้แผ่นยางรอง และการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน

1.7.2 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต คุณสมบัติและการใช้งานของวัสดุเคลือบปลาย(กำมะถัน) และแผ่นยางสำหรับการทดสอบ

1.7.3 ออกแบบวิธีการทดสอบเปรียบเทียบและทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธีการเทหล่อตัวอย่างคอนกรีต และการCoring เก็บตัวอย่างคอนกรีต

1.7.4 ทดสอบการรับแรงอัดคอนตัวอย่างคอนกรีต โดยเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C 617 ซึ่งทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 120 ตัวอย่าง และการเก็บตัวอย่างจากการ Coring คอนกรีตจำนวน 90 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 210 ตัวอย่าง จากนั้นเปรียบเทียบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตตัวอย่างในช่วงกำลังอัดต่าง ๆ ได้แก่ 200, 300 และ 400 ksc และคอนกรีตกำลังอัดสูง (800 ksc) โดยแบ่งตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการเตรียมปลายด้วยการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน อย่างละจำนวน 70 ตัวอย่าง การใช้แผ่นยางรองปลาย อย่างละจำนวน 70 ตัวอย่าง และการเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องที่ออกแบบ อย่างละจำนวน 70 ตัวอย่าง สรุปดังตารางที่ 1.1 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมของการเตรียมปลายตัวอย่าง อย่างถูกต้องมากขึ้น

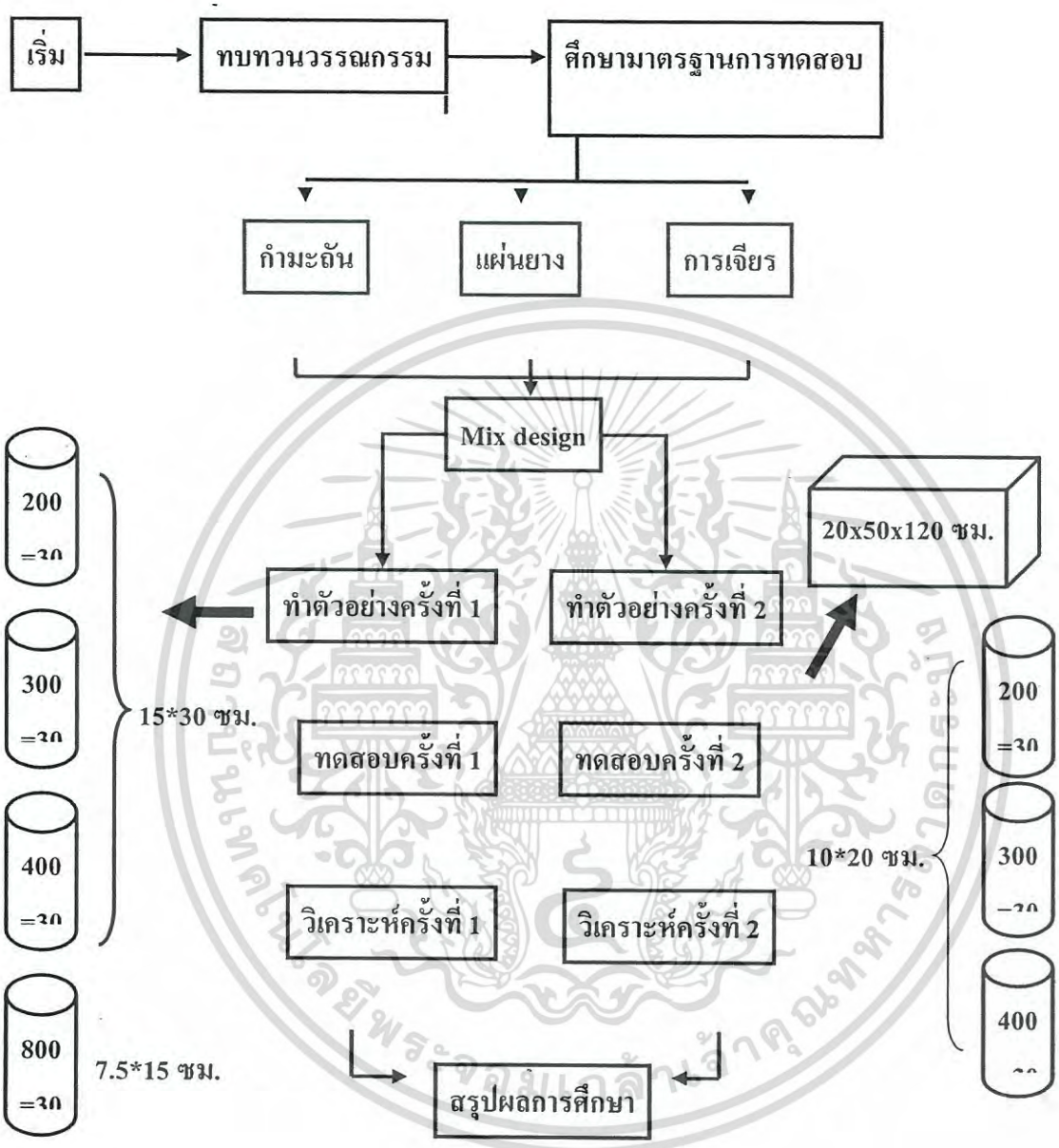
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงการแบ่งการทดสอบสอบกำลังอัดคอนกรีตด้วยวิธีการต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยนี้

วิธีการเตรียมตัวอย่าง กำลังอัดคอนกรีต	จากการหล่อตัวอย่างคอนกรีต			จากการ Coring ตัวอย่างคอนกรีต			รวม
	เคลือบด้วยกำมะถัน	การใช้แผ่นยางรอง	เจียรปลายด้วยเครื่อง	เคลือบด้วยกำมะถัน	การใช้แผ่นยางรอง	เจียรปลายด้วยเครื่อง	
200 ksc	10	10	10	10	10	10	60
300 ksc	10	10	10	10	10	10	60
400 ksc	10	10	10	10	10	10	60
800 ksc	10	10	10	-	-	-	30
รวม	40	40	40	30	30	30	210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนสรุปขั้นตอนงานวิจัยเป็น Flow Chat ได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดง Flow Chat ขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 กล่าวนำ

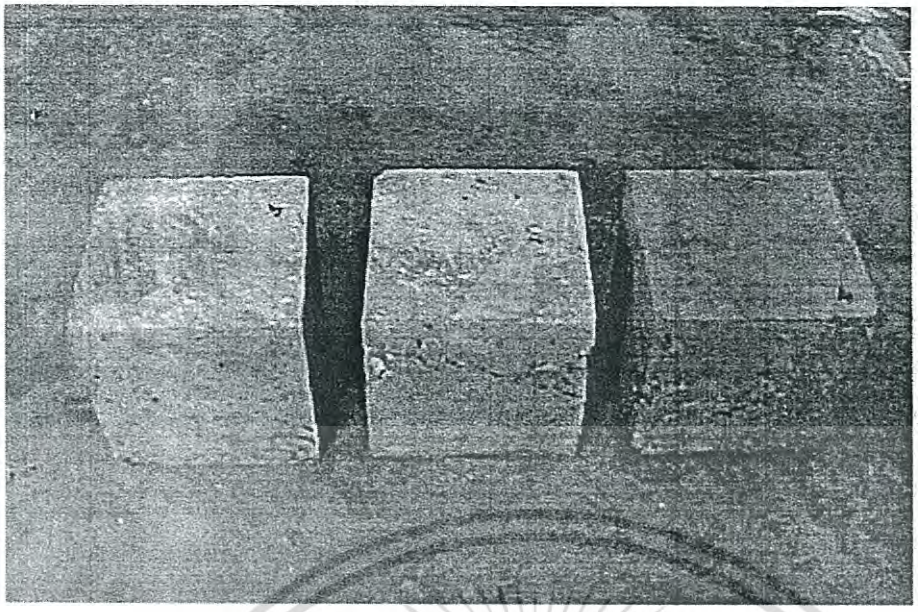
บทนี้เป็นการสรุปเนื้อหาเกี่ยวกับ การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบการรับกำลังอัด การเตรียมปลายตัวอย่างแท่งคอนกรีตสำหรับการทดสอบกำลังอัด ซึ่งจะกล่าวเป็น 3 วิธี โดยการเตรียมตัวอย่างด้วยการเจียรปลายตัวอย่าง โดยการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยวัสดุที่เหมาะสม และโดยการใช้วัสดุรองปลายตัวอย่าง การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตในช่วงกำลังต่าง ๆ กับวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ศึกษาจากงานวิจัย วรรณกรรมจากวารสารต่างประเทศ การทบทวนวิทยานิพนธ์ เอกสารเผยแพร่ ตำราประเทศไทย และเว็บไซต์ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบรับแรงอัด

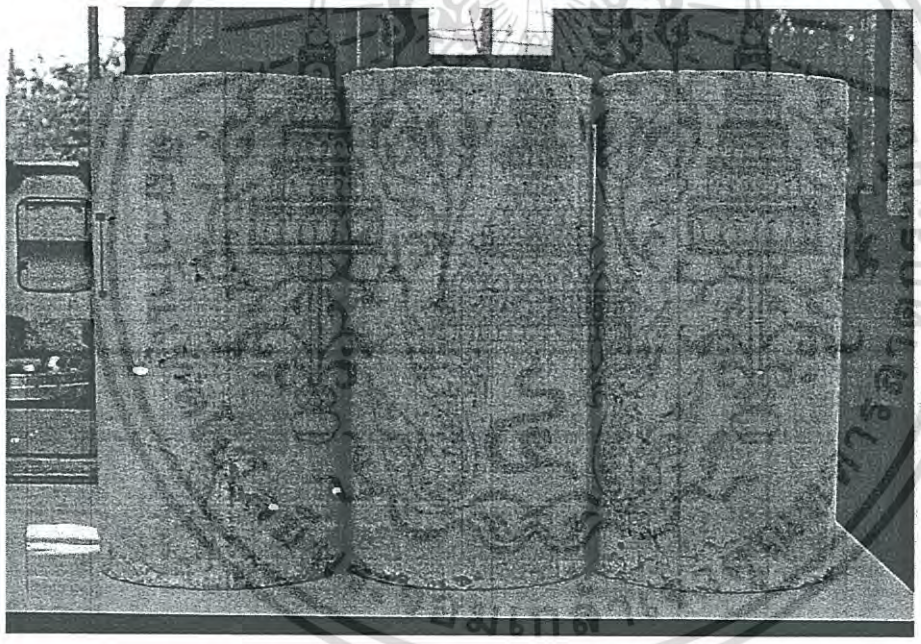
การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบรับแรงอัดที่นิยมใช้กันในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก สำหรับทรงลูกบาศก์สี่เหลี่ยมมักจะมีการทำการทดสอบกำลังอัดในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศของการเทคอนกรีต เนื่องด้วยผิวหน้าด้านข้างของตัวอย่างทรงลูกบาศก์มีความเรียบกว่าผิวด้านบนที่เทคอนกรีต ดังรูปที่ 2.1 จึงไม่ต้องทำการปรับแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบอีก แต่ก็จะทำให้พฤติกรรมการรับแรงไม่เป็นไปตามความเป็นจริงเมื่อเทียบทิศทางการเทคอนกรีต และมีผลของขนาดหินที่ใช้ด้วย ทำให้การตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกมีพฤติกรรมการรับแรงใกล้เคียงโครงสร้างอาคารมากกว่า ตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.2 การเก็บตัวอย่างทรงกระบอกจะทำได้ 2 กรณี คือการเทตัวอย่างคอนกรีตจากส่วนผสมเดียวกันองค์อาคาร เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 31 และ C 912 กรณีที่ 2 โดยการ Coring ตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างอาคาร (ASTM C42) ซึ่งจะได้อย่างคอนกรีตในลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาตัดให้ความยาวเป็นอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง เท่ากับ 1 ต่อ 2

จะเห็นได้ว่าตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกจะมีผิวด้านปลายที่ไม่เรียบจะต้องทำการปรับแต่งผิวให้มีความเรียบ และตั้งฉากก่อนนำมาทดสอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงภาพตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์



รูปที่ 2.2 แสดงภาพตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก

2.3 รูปแบบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตเป็นกระบวนการสำคัญในการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 39 ซึ่งระบุให้ผิวหน้าปลายตัวอย่างคอนกรีตมีระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกนตัวอย่างหรือเอียงได้ไม่เกิน 5° (ประมาณ 3.00 มม. สำหรับแท่งตัวอย่างสูง 300 มม.) หรือ 1.00 มิลลิเมตรต่อระยะ 100 มิลลิเมตร รวมถึงปลายตัวอย่างต้องมีผิวเรียบเสมอกันและความสูงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

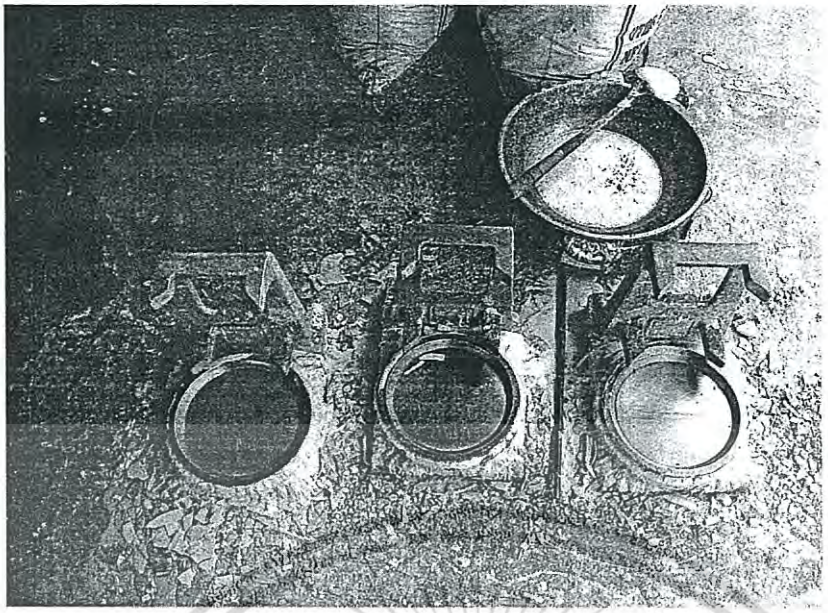
แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มม. ซึ่งอาจทำได้โดยการเคลือบปลายตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C 617 หรือตามมาตรฐาน ASTM C 1231 โดยการใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีต ทำการขัดผิวให้เรียบเสมอกันก็ได้ การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตสามารถจำแนกได้ 3 วิธีใหญ่ ๆ [8] คือ การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต (Bonded Caps) การใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีต (Unbounded Pads) และการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต (Ground Ends)

2.2.1 การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต (Bonded caps)

การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกได้มีระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM C 617 วัสดุที่นิยมใช้ในการเคลือบปลายตัวอย่างมี 3 ประเภท ได้แก่ การใช้ซีเมนต์เพสต์ข้นเททับบนหัวคอนกรีตตอนเทเสร็จใหม่ ๆ การใช้กำมะถัน และปูนปลาสเตอร์กำลังสูงเคลือบหัวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การเลือกใช้วัสดุเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตควรมีค่ากำลังอัดของวัสดุเท่ากับหรือใกล้เคียงกับกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ทดสอบ ผิวเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตควรมีความหนาระหว่าง 1.50 ถึง 3.00 มม. ซึ่งจะทำให้ค่ากำลังอัดที่ได้เหมาะสม ไม่มีผลกระทบเนื่องจากความหนาต่อพฤติกรรมการรับแรงของตัวอย่างทดสอบ นอกจากนี้ภายหลังการเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตแล้ว ต้องทิ้งให้วัสดุที่เคลือบปลายตัวอย่างแข็งตัว เช่น ถ้าวัสดุเคลือบผิวเป็นกำมะถันควรทิ้งให้แข็งตัวอย่างต่ำ 2 ชั่วโมง มิฉะนั้นเมื่อทดสอบการรับกำลังอัดคอนกรีตผิวเคลือบที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่จะแตกเสียหายก่อนทำให้ค่ากำลังอัดที่ได้ลดต่ำลงกว่าความเป็นจริง

โดยทั่วไปนิยมใช้กำมะถันเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตที่มีกำลังไม่สูงมาก แต่ทั้งนี้กำมะถันที่ใช้เคลือบผิวหน้าไม่ควรนำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง เพราะจะมีเศษคอนกรีต ฝุ่น น้ำมันทาแบบ และทรายอาจปนกลับมา ทำให้คุณภาพของกำมะถันลดลงนอกจากนี้กำมะถันที่นำกลับมาใช้อีกหรือที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้มหลายครั้งจะมีกำลังต่ำลงดังนั้นจึงควรตรวจสอบว่ากำมะถันที่ใช้ไม่มีปัญหาดังกล่าว ในการเคลือบด้วยกำมะถันจะใช้แบบเหล็กผิวเรียบและแท่นสำหรับตั้งคอนกรีตให้ตรงดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



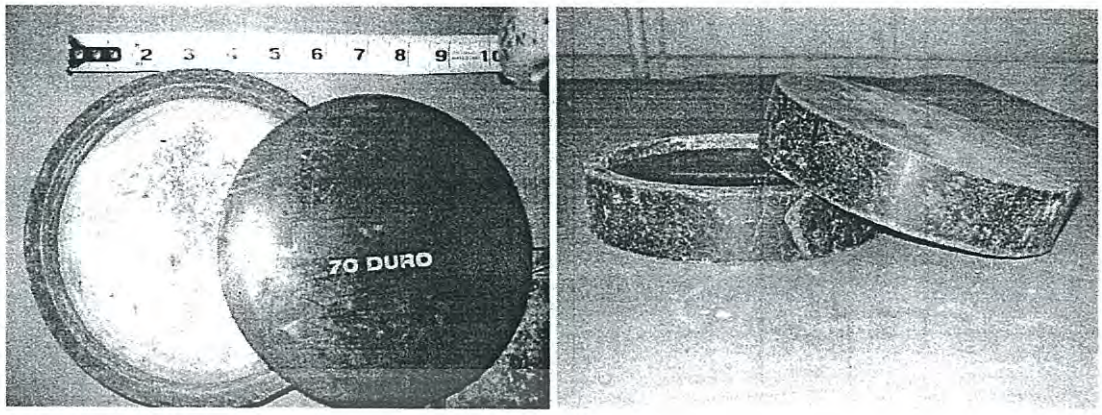
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์เคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต

การเคลือบหัวทำโดยการเทกำมะถันเหลวซึ่งต้มที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส ลงบนแบบเหล็กที่ทาน้ำมันเครื่องบางๆเพื่อป้องกันกำมะถันติดผิวหน้าแบบเหล็กจากนั้นจึงคว่ำหัวคอนกรีตที่ต้องการเคลือบลงบนกำมะถันเหลวและให้ตั้งฉากกับผิวหน้าของแบบเหล็ก หลังจากนั้นรอให้กำมะถันแข็งตัวซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 2 นาที สามารถดึงคอนกรีตที่มีกำมะถันเคลือบปลายตัวอย่างอยู่ออกมาจากแบบ ส่วนการเคลือบโดยใช้ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงจะใช้แผ่นแก้วทาด้วยน้ำมันบางๆกดปูนปลาสเตอร์ลงให้เรียบบนผิวหน้าคอนกรีตที่ต้องการเคลือบปลาย และเมื่อปูนปลาสเตอร์แข็งตัวจะสามารถเอาแผ่นแก้วออกได้

2.2.2 การใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีต (Unbonded Pads)

การใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีตในประเทศไทยยังไม่นิยมแพร่หลายมากนัก เนื่องจากต้องสั่งวัสดุรองจากต่างประเทศ วัสดุรองกดที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นยางรับกำลังสูง และต้องมีเบ้าเหล็กสำหรับการทดสอบกรณีนี้โดยเฉพาะ วิธีการนี้ได้ถูกระบุในมาตรฐาน ASTM C 1231 [6] ใช้สำหรับการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดปานกลาง โดยวิธีการนี้ไม่เหมาะที่จะทำการทดสอบกับคอนกรีตกำลังอัดต่ำกว่า 1500 psi (106 ksc) หรือคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า 12,000 psi (844 ksc) รูปที่ 2.4 แสดงแผ่นยางและเบ้าเหล็กสำหรับการทดสอบด้วยวิธีนี้ แผ่นยางที่ทำการทดสอบอาจเสียรูปได้เมื่อทำการทดสอบกับคอนกรีตกำลังสูงมาก และบางกรณีอายุของแผ่นยางอาจเสื่อมสภาพเร็วก่อนกำหนดในขณะทำการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทั่วไป

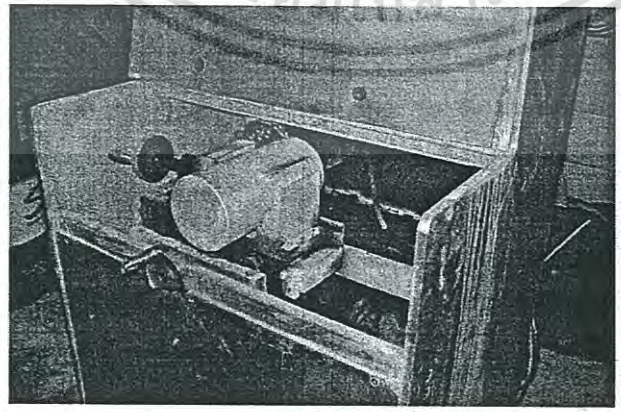
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แผ่นยางรองกดและเบ้าเหล็กสำหรับการทดสอบการใช้วัสดุรองกด

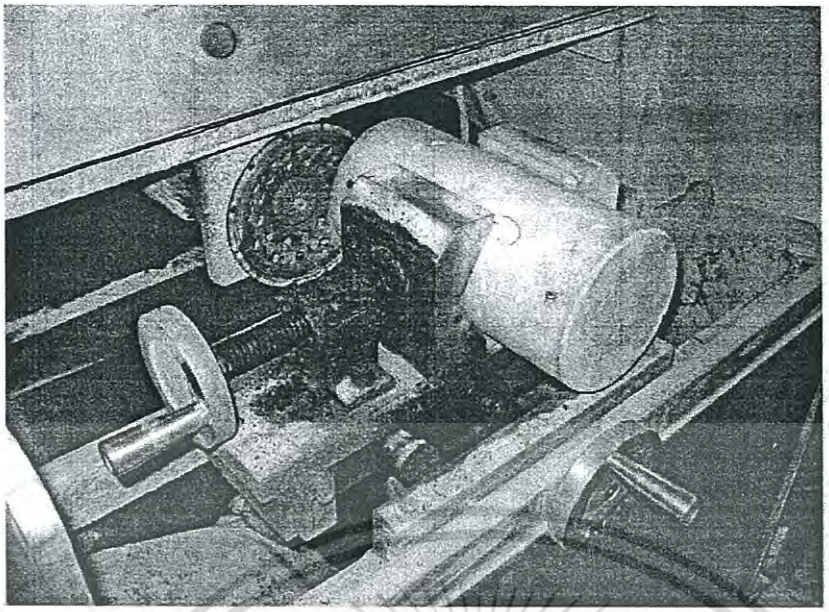
2.2.3 การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต (Ground Ends)

การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตเป็นการขัดผิวที่ปลายตัวอย่างให้มีความเรียบเสมอกันและได้พื้นผิวระนาบตั้งฉากกับแนวแกนตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39 โดยการใช้เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2.5 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตจะถูกยึดแน่นด้วยตัวยึดในขณะที่ใบเจียรจะทำการขัดผิวส่วนที่ไม่เรียบออกไป ก้อนตัวอย่างจะไม่สามารถขยับเคลื่อนจากตัวยึดจับได้จนกระทั่งผิวปลายตัวอย่างเรียบเสมอกัน รูปที่ 2.6 แสดงระบบการเจียรปลายตัวอย่างของเครื่องเจียรปลาย การเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีนี้ใช้เวลาไม่มากนักและสามารถซ้อนกระบวนการทำงาน (Lapping Method) ในขั้นตอนอื่นได้ ข้อดีของวิธีนี้คือ แท่งตัวอย่างสามารถทดสอบได้ทันทีเมื่อผิวปลายตัวอย่างเรียบเสมอกันและผู้ทำการทดสอบไม่ต้องเสี่ยงกับมลภาวะอากาศเป็นพิษที่เกิดจากการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีอื่น



รูปที่ 2.5 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์ยึดจับและใบเจียรนัยปลายตัวอย่าง

2.4 วัสดุเคลือบปลายคอนกรีต - กำมะถัน (Sulfur) [9]

กำมะถัน มีสีเหลืองสดใส เป็นของแข็งที่ไม่มีรสและเป็นธาตุที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี กำมะถันในธรรมชาติเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ มากมายโดยเกี่ยวข้องกับการระเบิดของภูเขาไฟ และสีเหลืองสดใสของผลึกกำมะถันสามารถพบได้ในหินรอบ ๆ ภูเขาไฟและหินบริเวณน้ำพุร้อนที่พุ่งขึ้นจากใต้ดิน กำมะถันที่พบในหินส่วนใหญ่ในโลกมักเป็นพวกซัลไฟด์และยังพบในปริมาณเล็กน้อยในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตซึ่งสัมพันธ์กับยอดของกองเกลือคล้ายโดม

ธาตุกำมะถันเป็นอโลหะและไม่ละลายน้ำ ธาตุกำมะถันที่บริสุทธิ์มีกลิ่นเล็กน้อย กลิ่นที่คล้ายกับกำมะถัน คือ ไข่เน่า โดยเกิดจากสารประกอบหนึ่งของกำมะถันที่อยู่ในสภาวะก๊าซที่ชื่อว่า ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารประกอบกำมะถันยังเป็นต้นเหตุของกลิ่นในกระเทียม มัสตาร์ด หอมหัวใหญ่ และกะหล่ำปลี สารประกอบของกำมะถันส่งกลิ่นน่ารังเกียจที่รุนแรงและคงอยู่นาน

2.4.1 การใช้ประโยชน์

กำมะถันเป็นธาตุที่มีประโยชน์ทางการแพทย์มาเป็นเวลานาน กำมะถันถูกใช้เป็นยาภายนอกในรูปของน้ำมันสำหรับผิวหนังและในรูปของควันเพื่ออบสถานที่ที่มีเชื้อโรค หรือใช้เป็นยาภายในที่เรียกว่า บริมสโตน "บริมสโตนและยาครอบจักรวาล" ใช้กันมากในช่วงสมัยพระนางวิกทอเรีย ปัจจุบันกลุ่มยาพวกซัลโฟนาไมด์ใช้เป็นยายับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นกลุ่มยาชนิดหนึ่งที่สำคัญมากเพื่อใช้รักษาการติดเชื้อของระบบการย่อยอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นก๊าซที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง นอกจากจะเกิดกรดเมื่อละลายน้ำ ยังใช้เป็นสารฟอกสีที่ดีมาก ใช้มากในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ และยังใช้ในโรงเก็บอาหารซึ่งช่วยในการรักษาคุณภาพของผลไม้และผักได้ การใช้กำมะถันในการผลิตกรดกำมะถันซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตปุ๋ยหลายชนิด การเติมกำมะถันในยางธรรมชาติเป็นผลทำให้ได้ยางที่มีความแข็งแรงขึ้น เรียกกระบวนการนี้ว่า การวัลคาไนซ์ยาง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเชื่อมระหว่างพันธะแบบโซ่ในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพอลิเมอร์ทั้งหมด รวมถึงการใช้กำมะถันในสงครามทั้งการผลิตดินปืนและก๊าซพิษ

สำหรับในวงการก่อสร้างนั้น ผงกำมะถันมีประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นวัสดุที่ช่วยเตรียมตัวอย่างปลายคอนกรีตทรงกระบอกในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต โดยคุณสมบัติของกำมะถันคือสามารถหลอมเหลวด้วยความร้อน และแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องปกติ ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าคอนกรีต เมื่อนำผงกำมะถันไปหลอมเหลวด้วยความร้อนแล้ว เทใช้แผ่นเหล็กที่เป็นแบบใช้เคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต จะได้ผิวหน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกที่มีความเรียบเป็นระนาบตามแบบของแผ่นเหล็ก เพื่อช่วยถ่ายแรงจากเครื่องทดสอบสู่หน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกได้อย่างเต็มที่ ทำให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

2.4.2 ความเป็นพิษต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นหนึ่งในก๊าซกำมะถันที่สำคัญที่สุด เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีความหนาแน่นสูง และมีกลิ่นเหม็นฉุน ถ้าได้รับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปริมาณมากจะทำให้หายในไม่ออกเนื่องจากมีอากาศไม่เพียงพอ และแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถรวมตัวกับหยดน้ำเป็นฝนกรด ด้วยเหตุนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงจัดเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังเป็นอันตรายต่อเกษตรกรรม และยังกัดกร่อนอาคารที่สร้างด้วยหินปูนอีกด้วย

ควันเป็นสารผสมทั้งของแข็งขนาดเล็กและก๊าซชนิดต่าง ๆ เมื่อหายใจเอาซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าไป ก๊าซชนิดนี้จะรวมตัวกับน้ำที่อยู่ในปากและคอ เพิ่มความเป็นกรดในบริเวณดังกล่าว และมักทำให้เกิดอาการระคายเคือง ถ้าเข้มข้นมากขึ้นอาจเกิดอาการเจ็บคอได้ เมื่อหายใจเอาควันเข้าไป บางส่วนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะจับตัวกันเป็นอนุภาคควันเล็ก ๆ ซึ่งสามารถผ่านตรงไปยังปอดก่อนที่จะรวมตัวกับน้ำแล้วเปลี่ยนสภาพเป็นกรด ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงเป็นต้นเหตุปัญหาระบบการหายใจ และอาจทำให้เกิดมะเร็งที่ปอดได้ อนุภาคของควันและซัลเฟอร์ไดออกไซด์เคยพบว่ามีความเข้มข้นสูงวิกฤตหมอกควันที่ลอนดอน ในปี ค.ศ. 1952 ทำให้ประชาชนประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4,000 คนเสียชีวิตภายใน 5 วัน เพราะไม่มีอากาศหายในเพียงพอ เหตุการณ์นี้ทำให้ประเทศอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ออกกฎหมายควบคุมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดในอากาศชนิดหนึ่ง คือก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากยานพาหนะ โดยธรรมชาติซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แต่จะรวมตัวกับไนโตรเจนไดออกไซด์แล้วเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ จะรวมตัวกับหยดน้ำฝนเป็นกรดซัลฟิวริกแล้วตกลงมาเป็นฝนกรด

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซ จึงสามารถแพร่กระจายไปได้ไกลจากบริเวณที่ผลิต ซึ่งหมายถึงว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งสามารถแพร่กระจายไปได้ไกลเป็นพัน ๆ กิโลเมตรตามทิศทางลม ซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจรวมตัวกับหยดน้ำในกลุ่มเมฆ ทำให้เกิดฝนกรดที่เป็นอันตรายต่อต้นไม้ กรณีที่ร้ายแรงที่สุด คือมลพิษที่เกิดขึ้นในประเทศหนึ่งสามารถเป็นต้นเหตุของฝนกรดทำความเสียหายให้กับอีกประเทศหนึ่ง ดังเช่นกรณีที่เกิดขึ้นทั้งในทวีปยุโรปและอเมริกาเหนือ ในทวีปยุโรปใช้ถ่านหินในโรงไฟฟ้าในยุโรปตะวันออกทำให้เกิดมลพิษเป็นผลให้ต้นไม้ในป่าดำของประเทศเยอรมนีตาย หรือมลพิษจากประเทศอังกฤษอาจจะทำให้ป่าในประเทศนอร์เวย์และประเทศสวีเดนได้รับความเสียหาย มลพิษจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกาและภาคตะวันออกเฉียงใต้ในประเทศแคนาดาทำลายป่าในภาคตะวันออกของอเมริกาเหนือ

2.4.3 ข้อมูลจำเพาะของกำมะถัน

- เป็นของแข็งสีเหลืองคล้ายมัสตาร์ด
- สัญลักษณ์เคมี คือ S
- ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ
- เป็นตัวนำไฟฟ้าและตัวนำความร้อนที่ไม่ดี
- พบได้ตามธรรมชาติในรูปของผลึก
- ว่องไวต่อปฏิกิริยาซึ่งจะรวมตัวได้กับธาตุอื่นเกือบทุกชนิด
- เลขอะตอม 6
- น้ำหนักอะตอมประมาณ 32
- หลอมเหลวที่ 119 oC เหนือกว่าจุดเดือดของน้ำเล็กน้อย
- อ่อนนิ่มและใช้เล็บขูดให้เป็นรอยได้

ความหนาแน่น 2 กรัมต่อมิลลิเมตร ซึ่งประมาณ 2 เท่าของความหนาแน่นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วัสดุแผ่นยางรองปลายคอนกรีต

ตามมาตรฐานการใช้แผ่นวัสดุรองปลายตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ASTM C 1231 แผ่นยางรองปลายคอนกรีต มีคุณสมบัติช่วยกระจายแรงจากเครื่องทดสอบกำลังอัดสู่ตัวอย่างคอนกรีตได้อย่างสม่ำเสมอเต็มพื้นผิวหน้าตัด วิธีการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างนั้นเหมาะสมกับกำลังอัดคอนกรีตที่ระหว่าง 105 -844 ksc เท่านั้นโดยจะต้องใช้ร่วมกับเบ้าเหล็กรองเพื่อป้องการเสียรูปของแผ่นยางมากในขณะการทดสอบ นอกจากนี้ยังต้องเลือกความแข็งของแผ่นยางให้เหมาะสมกับกำลังคอนกรีต เพื่อให้ไปค่าการทดสอบที่ถูกต้องไม่ลดต่ำมากเกินไป ลักษณะของแผ่นยางเป็นสีดำ ดังรูปที่ 2.7 แผ่นรองปลายตัวอย่างเป็นยางสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติ คือ ทนน้ำมัน ทนกรด-ด่าง ทนแรงเสียดสีได้ดี ทนความร้อนได้ประมาณ 150 องศาเซลเซียส ความแข็งของยางอยู่ระหว่าง 40-95 ชอร์เอ การใช้งานโดยทั่วไป นำไปใช้รองเครื่องจักรหนัก เพื่อรับการสั่นสะเทือน หรือนำไปใช้รองหัวสะพานคอนกรีต เป็นอุปกรณ์สายพาน และการก่อสร้างสร้างอื่นๆ

รูปที่ 2.7 แผ่นตัวอย่างแผ่นยางที่ใช้สำหรับงานทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

2.6 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

สำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบคอนกรีตในต่างประเทศนิยมใช้เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ฝรั่งเศส แคนาดา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ญี่ปุ่น ฮ่องกง เป็นต้น ซึ่ง

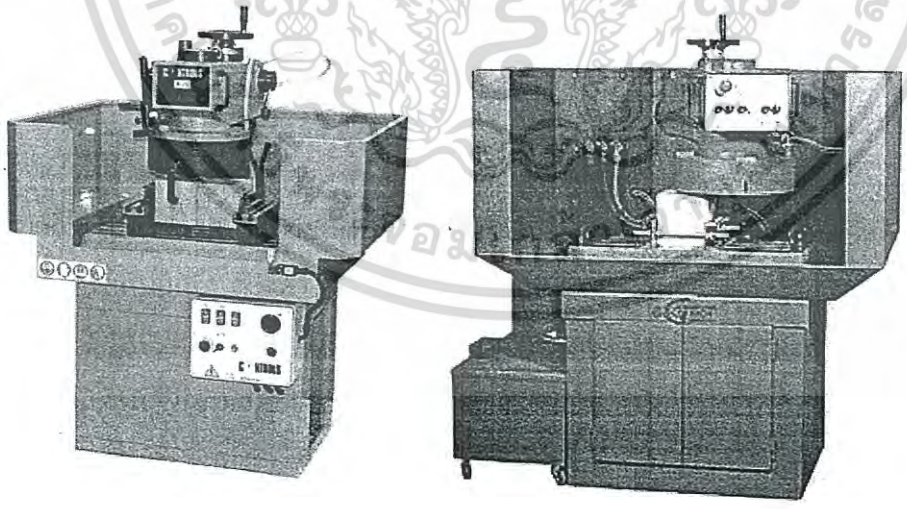
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางประเทศมีการระบุรายละเอียดในมาตรฐานการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตเพื่อใช้ปฏิบัติในประเทศของตน อย่างเช่น ประเทศฝรั่งเศสหรือฮ่องกง ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมปลายตัวอย่างโดยการเคลือบปลาย และการใช้วัสดุรองกดปลายตัวอย่างมีขีดความสามารถในการกดอัดกำลังคอนกรีตที่จำกัด รวมถึงการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยสารประกอบบางชนิด เช่น กำมะถัน จะส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ทดสอบและทำลายสิ่งแวดล้อม และเมื่อเคลือบปลายตัวอย่างเสร็จจำเป็นต้องพักตัวอย่างตามระยะเวลาที่มาตรฐานกำหนดหรือระยะเวลาการแข็งตัวของสารเคลือบนั้น ๆ

เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต สามารถแบ่งตามลักษณะการเจียรปลายตัวอย่างเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1. *เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง*

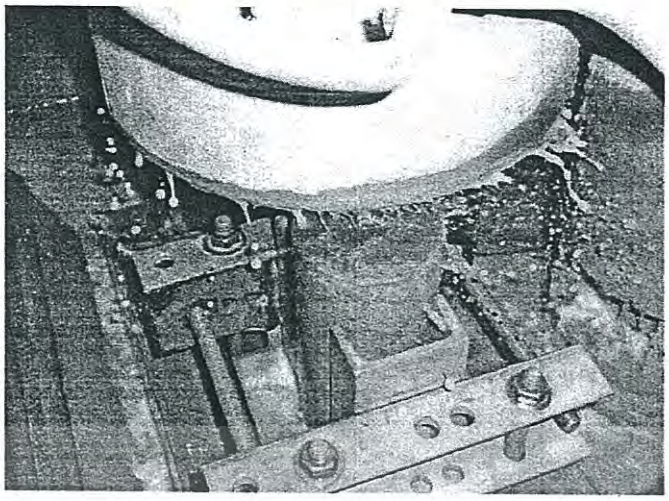
เครื่องเจียรปลายตัวอย่างประเภทนี้จะทำการขัดเจียรผิวปลายตัวอย่างในแนวตั้งให้เรียบขนานกันและตั้งฉากกับแกนปลายตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ตัวอย่างคอนกรีตจะถูกยึดแน่นกับแท่นเครื่องเจียรด้วยอุปกรณ์ยึดตัวอย่างคอนกรีตในแนวตั้ง จากนั้นชุดหัวเจียรจะทำการเจียรผิวบนปลายตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่เรียบออก โดยทั่วไปเครื่องเจียรปลายตัวอย่างประเภทนี้จะมีระบบปั๊มน้ำและถังบรรจุน้ำทำงานควบคู่กับการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตในการกำจัดฝุ่นละอองที่เกิดในระหว่างการทำงาน การทำงานของชุดหัวเจียรจะทำการเจียรปลายตัวอย่างตามรอบการทำงานที่กำหนดไว้ ดังเช่นเครื่องเจียรที่แสดงในรูปที่ 2.6 จะตั้งรอบการทำงานของชุดหัวเจียรที่ 1/32 นิ้ว (1.00 มม.) หากยังไม่เรียบขนานกันก็ต้องทำการเจียรปลายตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.8 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 การทำงานของชุดหัวเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง

กระบวนการเจียรปลายตัวอย่างจะทำงานจนกระทั่งได้ตัวอย่างที่เรียบ ขนานและตั้งฉากกับแกนของตัวอย่าง หลังจากนั้นให้ทำการกลับก้อนตัวอย่างเพื่อเจียรปลายตัวอย่างอีกด้านให้เรียบขนานและตั้งฉากกับแกนตัวอย่างเหมือนขั้นตอนแรก การเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีนี้สามารถทดสอบการรับแรงกดได้ทันที

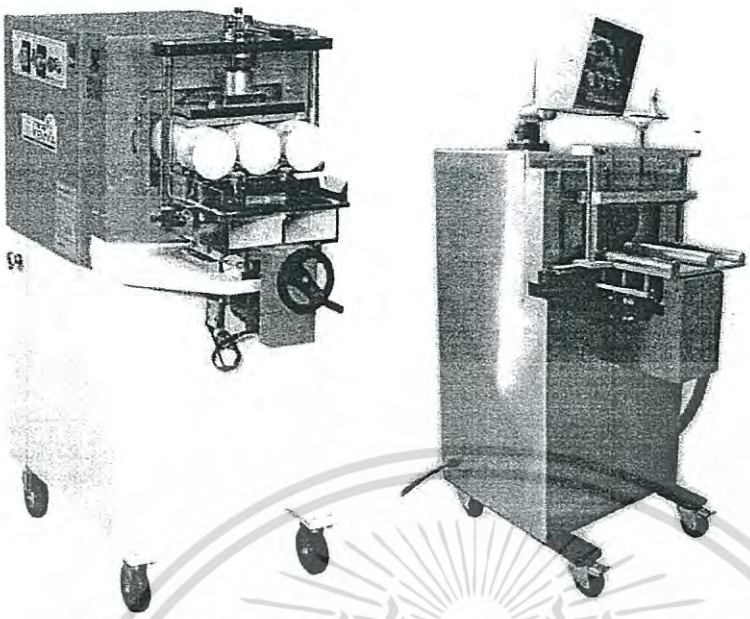
2. *เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวนอน*

เครื่องเจียรปลายประเภทนี้มีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องเจียรปลายตัวอย่างแนวตั้ง แตกต่างกันที่ชุดหัวเจียรและแท่นจับยึดตัวอย่างอยู่ในแนวนอน ปัจจุบันเครื่องเจียรประเภทนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ข้อดีของเครื่องเจียรประเภทนี้ สามารถเจียรปลายตัวอย่างได้เรียบ ขนานกันและตั้งฉากกับแกนตัวอย่างได้ดีกว่าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง เนื่องจากระบบการยึดตัวอย่างคอนกรีตจะยึดตามแนวนอนของตัวอย่าง ทำให้การเจียรปลายสามารถควบคุมความเรียบขนานและตั้งฉากได้ดี รวมถึงผู้ผลิตสามารถพัฒนาเครื่องเจียรปลายประเภทนี้ให้มีความสามารถในการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตได้หลากหลายขนาดและมากกว่า 1 ก้อนในการเจียรแต่ละครั้ง ดังเช่น เครื่องเจียรปลายตัวอย่างของบริษัท GENEQ จำกัด [10], บริษัท Hoskin Scientific จำกัด [11] เป็นต้น ทำให้ประหยัดเวลาและต้นทุนในการทดสอบได้มาก

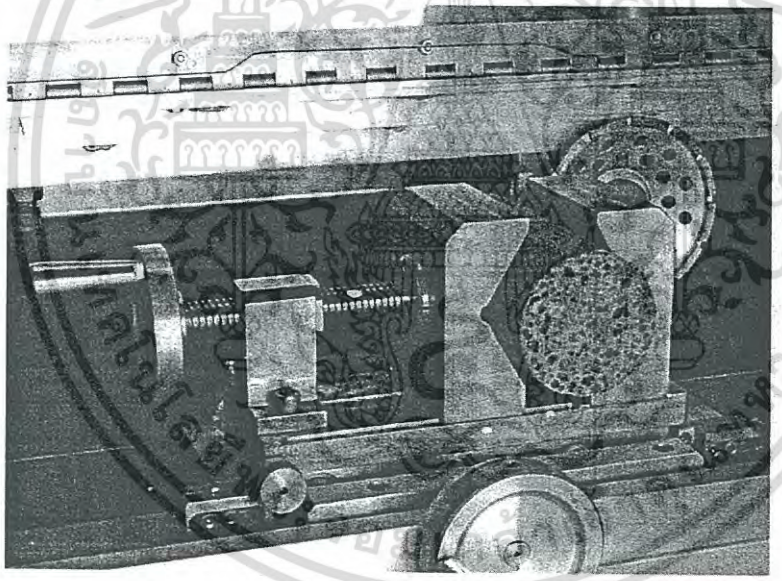
ในส่วนระบบการจัดการฝุ่นละออง ส่วนใหญ่เครื่องเจียรประเภทนี้จะใช้น้ำในการกำจัดฝุ่นละอองที่เกิดในกระบวนการเจียรตัวอย่างคอนกรีตเช่นเดียวกับเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

110549



รูปที่ 2.10 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวนอน



รูปที่ 2.11 ชุดอุปกรณ์การยึดจับตัวอย่างคอนกรีตแนวนอน

2.7 การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

การทบทวนวรรณกรรมสำหรับงานวิจัยนี้เน้นการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยกำมะถันและการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต โดยการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 617 ผิวหน้าคอนกรีตที่นำมาทดสอบต้องเรียบและแตกต่างกันไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิน 0.05 มม. อาจทำได้โดยการขัดผิวให้เรียบ หรือการเคลือบปลายด้วยวัสดุอื่น ๆ เช่น ซีเมนต์เพสท์ ปูนพลาสเตอร์หรือกำมะถัน ซึ่งเป็นวิธีการที่คิดค้นโดย Gonnerman ในปี ค.ศ.1920 โดยการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยซีเมนต์เพสท์ [12] หลังจากนั้นได้มีผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างในวิธีการต่าง ๆ กับช่วงกำลังอัดคอนกรีตที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่ถูกต้องน่าเชื่อถือ ทดแทนการใช้กำมะถันในการเคลือบปลาย ซึ่งเป็นวัสดุที่มีพิษและทำลายสิ่งแวดล้อม รวมถึงค้นหาวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างใหม่ๆ ที่เหมาะสม

ปี ค.ศ. 1944 Kennedy, T.B. [13] ได้พบข้อจำกัดของการใช้กำมะถันในการเคลือบปลายตัวอย่าง แท่งตัวอย่างคอนกรีตไม่สามารถพัฒนากำลังอัดในช่วงเวลาการบ่มโดยมีการเคลือบหัวตัวอย่าง การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการทดสอบในวันเดียวกันที่ทำการเคลือบและวันถัดไป ความหนาเฉลี่ยของกำมะถันเคลือบหัววัดได้ที่ 1/4 นิ้ว (6.40 มม.) ผลสรุปแสดงให้เห็นว่าความหนาของกำมะถันที่น้อยกว่าจะส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบมีค่ามากกว่า และได้เสนอแนะว่าควรทำการเคลือบปลายตัวอย่างให้มีความหนาน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในปี ค.ศ. 1958 Werner [14] ได้สรุปว่าการใช้สารประกอบที่แตกต่างกันสำหรับการเคลือบปลายตัวอย่าง ส่งผลกระทบต่อการทดสอบคอนกรีตกำลังสูงมากกว่าการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดต่ำ คอนกรีตกำลังสูงที่มีผิวปลายตัวอย่างหยาบไม่เรียบเสมอกันให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่าแท่งตัวอย่างที่มีผิวปลายเรียบ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดต่ำ และการใช้กำมะถันเคลือบปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดที่ลดลง 5%

ในปี ค.ศ. 1993 Lessard et al. [15] แนะนำการเตรียมปลายตัวอย่างไว้ 2 กรณี คือ 1) หากต้องการความแม่นยำสูงสำหรับการทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำกว่า 18,855 psi (1,325 ksc) แนะนำให้ทำการเคลือบด้วยสารประกอบที่มีกำลังอัดแท่งลูกบาศก์ในช่วง 7,250 และ 8,700 psi (510 และ 612 ksc) และ 2) หากต้องทำการทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดมากกว่า 18,855 psi (1,326 ksc) โดยผู้วิจัยได้แนะนำว่าคอนกรีตกำลังอัดสูงกว่า 14,500 psi (1,019 ksc) ควรทำการเจียรปลาย การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้อยกว่าการเคลือบปลายตัวอย่าง ส่วนการเคลือบปลายตัวอย่างควรมีความหนาประมาณ 1/16 ถึง 1/8 นิ้ว สำหรับคอนกรีตกำลังสูง

Pistilli, M. F. and Willems, T. [16] พบว่าการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าความแปรปรวนน้อยสำหรับคอนกรีตกำลังอัด 10,000 psi (703 ksc) และคอนกรีตกำลังอัดที่สูงกว่า ผู้วิจัยได้เสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจียรปลายตัวอย่างควรเรียบและแตกต่างไม่เกิน 0.001 นิ้ว (0.025 มม.) และมีมุมเอียงไม่มากกว่า 3° กับแกนของตัวอย่าง

French and Mokhtarzadeh [17] ได้ทำการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทั้ง 3 วิธี คือ การเจียรปลายตัวอย่าง การใช้แผ่นยางรองกดและการใช้สารประกอบกำมะถันกำลังสูง สำหรับการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่สูงกว่า 14,500 psi (1,019 ksc) พบว่าการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าการใช้กำมะถันเคลือบปลาย 1% สำหรับช่วงกำลังอัดที่ 7,000 และ 12,000 psi (492 และ 844 ksc) การใช้แผ่นยางรองกดให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเจียรปลายตัวอย่าง

ในปี ค.ศ. 1994 Carino et al. [18] ได้ศึกษาผลกระทบของความแตกต่างด้านกำลังอัดคอนกรีต โดยศึกษาความแตกต่างวิธีการเตรียมปลายตัวอย่าง ความแตกต่างของขนาดตัวอย่าง ทรงกระบอก ชนิดของเครื่องทดสอบกำลังอัดและช่วงความเค้นตามแนวแกน พบว่าการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงกว่า 2.1% เมื่อเทียบกับการเคลือบด้วยกำมะถัน อย่างไรก็ตามการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดสูงถึง 6% ที่คอนกรีตกำลังอัด 13,000 psi (914 ksc) เมื่อเทียบกับการเคลือบด้วยกำมะถัน และพบว่ามีนัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกันระหว่างค่ากำลังอัดและวิธีการเตรียมปลายตัวอย่าง

Lobo, C L., Mullings, G. M., and Gaynor, R. D. [19] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างโดยการใช้กำมะถัน ซีเมนต์เพสท์ และการเจียรปลายตัวอย่างพบว่าการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่เคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันที่อายุการทดสอบ 2 ถึง 4 ชั่วโมงหลังจากทำการเคลือบแล้วนั้นให้ค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่าค่าที่ควรวัดได้ และค่ากำลังอัดจะลดลงระหว่าง 2-3% สำหรับความหนาของกำมะถัน 1/16 นิ้ว และจะลดลง 5-7% สำหรับความหนาของกำมะถัน 3/16 นิ้ว จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้กำมะถันเคลือบปลายตัวอย่างสามารถทำการทดสอบกับคอนกรีตกำลังสูงได้ถ้าความหนาของการเคลือบอยู่ในขอบเขตที่กำหนดและมีเวลาที่เพียงพอสำหรับการแข็งตัวของสารเคลือบปลายก่อนทำการทดสอบกำลังอัด

ACI 2002 [20] ได้เสนอแนะการเคลือบปลายตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตกำลังสูง ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C617 โดยการเคลือบปลายด้วยกำมะถันที่มีกำลังอัดก้อนลูกบาศก์ 8,000-10,000 psi (562-703 ksc) เหมาะสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงถึง 10,000 psi (703 ksc) แต่ต้องมีความหนาของกำมะถันไม่เกิน 1/16 นิ้ว ซึ่งเป็นความหนาสูงสุดที่สามารถเคลือบปลายตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 2005 Andrew T. Logan [8] ได้เลือกใช้การเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเจียรปลายในงานวิจัยคอนกรีตกำลังสูง โดยได้ทำการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างทั้ง 3 วิธี คือ การเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน และการใช้วัสดุรองกด พบว่าการเตรียมปลายตัวอย่างให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่แล้วมา โดยอ้างถึง ACI Committee 363 (1998) ได้เสนอรายงานผลการใช้กำมะถันเคลือบปลายตัวอย่างส่งผลต่อความแปรปรวนของกำลังอัดคอนกรีตที่สูงและให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่าค่าที่ควรวัดได้ และการใช้แผ่นยางรองกดจะใช้ทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดมากกว่า 19,000 psi (130 MPa) ตามที่ระบุใน ACI 363R-98 (1998) เมื่อทำการทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า 7,000 psi (50 MPa) จำเป็นต้องทำการทดสอบแผ่นยางรองกดที่เหมาะสมตามมาตรฐาน ASTM C 1231 และได้รายงานว่าการเจียรปลายตัวอย่างเหมาะกับการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดที่สูงกว่า 10,000 psi (70 MPa) การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าความแปรปรวนที่น้อยกว่าและให้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่สูงกว่า ซึ่งได้ถูกระบุวิธีนี้ในมาตรฐาน ACI 363R-98 ในประเทศฝรั่งเศส และจากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบการใช้แผ่นยางรองกด การใช้ทรายรองกดและการเจียรปลาย พบว่าผลสรุปเป็นไปตามงานวิจัยที่แล้วมา โดยการเจียรปลายให้ค่ากำลังอัดที่สูงที่สุด รวมถึงการวิบัติของแท่งตัวอย่างเป็นรูปทรงกรวย การใช้แผ่นยางรองกดสามารถทดสอบได้ดีที่กำลังอัดประมาณ 12,000 psi (83 MPa) หากเกินกว่านี้แผ่นยางรองกดจะเสียหายได้ง่ายและต้องทำการเปลี่ยนแผ่นยางเมื่อทำการทดสอบ 2-3 ตัวอย่าง ส่วนการใช้ทรายเติมในเบ้าเหล็กรองกดให้ค่าความเชื่อมั่นที่น้อยกว่าการเจียรปลายตัวอย่าง

ในปี ค.ศ. 2006 John Eggers and Sadi Torres [15] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อวิธีการเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูง โดยทำการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่าง 3 วิธีด้วยกัน คือ การเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างและการใช้แผ่นยางรองกด จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีนัยสำคัญที่แตกต่างกันของการเตรียมปลายตัวอย่างในช่วงกำลังอัด 6,000 psi 10,000 psi และ 14,000 psi (422 ksc 703 ksc และ 984 ksc) แต่แสดงนัยสำคัญที่กำลังอัด 8,000 และ 12,000 psi (562 และ 844 ksc) การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่านัยสำคัญของกำลังอัดที่ต่ำกว่าการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยสารประกอบทั้งสามชนิด ที่ช่วงกำลังอัด 12,000 psi (844 ksc) การเจียรปลายตัวอย่างให้นัยสำคัญของกำลังอัดต่ำกว่าการเคลือบปลายด้วยสารประกอบชนิดหนึ่งและการใช้แผ่นยางรองกด จากข้อมูลเชิงสถิติไม่สามารถระบุว่าควรใช้วิธีใดที่ดีที่สุด ที่ช่วงกำลังอัด 6,000 psi (422 ksc) การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่าการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 บทวิเคราะห์

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น ในการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตโดยทั่วไปนิยม 2 รูปแบบคือ แบบรูปทรงลูกบาศก์สี่เหลี่ยมและรูปทรงกระบอก ซึ่งแต่ละแบบจำเป็นต้องทำให้ผิวตัวอย่างคอนกรีตมีความเรียบและได้ระนาบ ขนานกับแนวแกน เพื่อให้ได้ค่าทดสอบเป็นไปอย่างเหมาะสมและถูกต้อง โดยวิธีการจัดการปรับปรุงผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้กันทั่วไปคือ การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยวัสดุเคลือบประสาน นั่นคือกำมะถัน ซึ่งต้องทำการหลอมเหลวด้วยความร้อน เทหล่อในแบบที่เตรียมไว้ และบ่มไว้ประมาณ 2-4 ชั่วโมงที่ให้กำมะถันแข็งตัว ค่าการทดสอบนั้นเป็นที่ยอมรับว่ามีความถูกต้อง เป็นวิธีที่สะดวกในการเตรียมปลายตัวอย่าง แต่สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังสูงนั้น กำมะถันจะให้ค่าของการทดสอบที่มีความแปรปรวนมากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการับกำลังของกำมะถันนั้นน้อยกว่าคอนกรีต อีกทั้งการต้มกำมะถันด้วยความร้อนจะมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดขึ้นเป็นมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะผู้ทำการทดสอบ

จึงได้มีผู้ใช้วิธีการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธีการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างเพื่อใช้เป็นตัวกระจายแรงจากเครื่องทดสอบสู่ผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตได้อย่างสม่ำเสมอ ในการใช้แผ่นยางรองปลายต้องมีเบ้าเหล็กรองแผ่นยางร่วมกันเพื่อไม่ให้แผ่นยางเสียรูปไปไม่สามารถทำหน้าที่ถ่ายแรงได้ การใช้แผ่นยางเป็นวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตที่สะดวกในการทดสอบอีกวิธีหนึ่ง ให้ค่าการทดสอบที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้ประเมินค่าในการออกแบบโครงสร้างได้ แต่จะมีค่าความแปรปรวนที่มากกว่าหากแผ่นยางแข็งเกินไปทำให้การกระจายแรงเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ หรือหากแผ่นยางอ่อนเกินไปก็จะทำให้แผ่นยางเสียรูปได้ง่าย สามารถนำไปใช้ทดสอบได้เพียงไม่กี่ตัวอย่างก็จะเกิดเสียรูปต้องเปลี่ยนแผ่นยางใหม่ สำหรับแผ่นยางนั้น หากนำเข้าจากต่างประเทศจะราคาที่ค่อนข้างสูง

วิธีการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการเจียรปลายตัวอย่างนั้น เป็นวิธีการทำให้ค่าการทดสอบมีความแปรปรวนน้อยกว่า โดยการใช้จานเจียรปลายตัวอย่างให้มีความเรียบและได้ระนาบ เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีใช้กันมีทั้งการเจียรตัวอย่างทั้งแนวตั้งและแนวนอน ตามแต่ผู้ออกแบบเครื่องนั้นๆ สำหรับราคาเครื่องเจียรในต่างประเทศมีราคาสูงหากนำเข้าจากต่างประเทศ

การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตมี 3 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ การเจียรปลาย การเคลือบปลายด้วยสารเชื่อมประสาน และการใช้วัสดุแผ่นยางรองกด พบว่าการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเจียรปลายให้ค่าความแปรปรวนที่น้อยกว่าและได้กำลังอัดเฉลี่ยที่สูงกว่าการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการอื่น โดยเฉพาะการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดสูง ACI 2003 ได้แนะนำวิธีการนี้ในการเตรียมปลายตัวอย่างที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
กรอบทฤษฎี

3.1 กล่าวนำ

กรอบทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัยการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก ด้วยการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้ การกำลังรับแรงอัดคอนกรีต ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการรับแรงอัดของคอนกรีต การทดสอบการรับแรงอัดคอนกรีต

3.2 กำลังอัดของคอนกรีต [22-23]

คุณสมบัติของคอนกรีตในขณะที่ยังอยู่ในสภาพเหลวจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ คุณสมบัติของคอนกรีตทั้ง 2 ลักษณะจะมีผลต่อกันและกัน การที่จะให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดีจะต้องมาจากการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวมีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วได้แก่ กำลัง ความทนทาน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

3.2.1 ธรรมชาติของกำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ กำลังของมอร์ต้า กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม

3.2.1.1 กำลังของมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยกำลังของมอร์ต้านี้ขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุนจะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ต้ามีผลกระทบอย่างมากกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดคละ ปริมาณ กำลัง ลักษณะผิว ขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่าง ๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังดึงน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนของกำลังดึงต่อกำลังอัดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

3.2.1.2 กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า แต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวมจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังของมอร์ต้า ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดให้ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้น เพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำใต้หินมากขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลง ขนาดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง

การเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

3.2.1.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวมหยาบ

แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ ในเนื้อมวลรวม

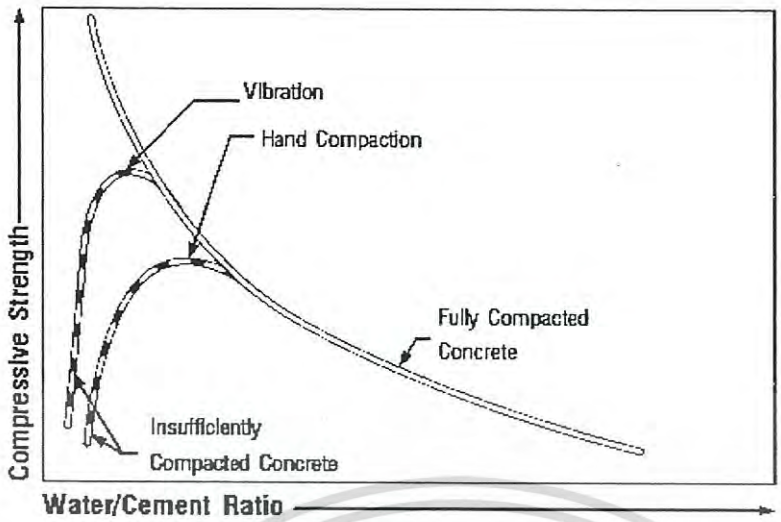
นอกจากนี้ทิศทางในการหล่อและทิศทางในการให้น้ำหนักจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังดึงมากกว่ากำลังอัดด้วยเหตุผลที่ว่าจะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมหยาบกับมอร์ต้าต่ำลง

3.2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวกับกำลังอัดของคอนกรีต

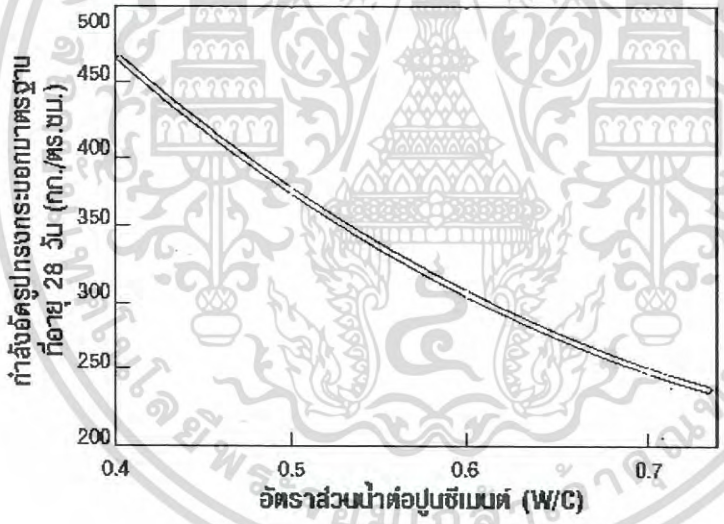
3.2.2.1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water to Cement Ratio)

กำลังของคอนกรีตที่แต่ละอายุที่บ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิตามกำหนด ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และระดับของการอัดแน่นคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และการอัดแน่นที่มีผลต่อกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน

Duff Abrams (พ.ศ. 2461) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีต พบว่า เมื่อคอนกรีตได้รับการอัดแน่นอย่างสมบูรณ์ (มีช่องว่างอากาศ หรือ Air Voids ประมาณ 1 %) กำลังอัดของคอนกรีตจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ กล่าวคือ ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่าจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำมากเกินไป (อาจมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมมากกว่า 530 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้ เนื่องจากการอัดแน่นของคอนกรีตอย่างสมบูรณ์ทำได้ยากขึ้นและปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ ยังอาจมีสาเหตุจากการหดตัวที่สูงจนเกิดการแตกร้าวขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมลดลง กำลังอัดของคอนกรีตจึงลดลงด้วย
โดยทั่วไป อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีตกำลังสูง มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 – 0.40

3.2.2.2 อัตราส่วน Gel/Space Ratio และความพรุน (Porosity)

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ไม่ได้เป็นตัวกำหนดกำลังอย่างถูกต้องมากเพียงพอนัก ทั้งนี้เพราะกำลังของคอนกรีตที่แต่ละอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น, คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์, อุณหภูมิในขณะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น, ปริมาณอากาศในคอนกรีต, การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำประสิทธิผลต่อปูนซีเมนต์, การเกิดการแตกร้าวที่เกิดจากการเยิ้ม, ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม, และคุณสมบัติของรอยต่อถ่ายแรงระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ (หรือซีเมนต์เพสต์กับมวลรวม)

ความพรุน (Porosity) ขององค์ประกอบของคอนกรีตทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ซีเมนต์เพสต์, มวลรวม, และรอยต่อถ่ายแรงระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวม (Transition Zone) คือ ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตกำลังสูงมากที่สุด กล่าวคือ กำลังของคอนกรีตมีผลกระทบมาจากปริมาตรช่องว่างทั้งหมดในคอนกรีต ซึ่งช่องว่างเหล่านี้ ได้แก่ ช่องว่างอากาศขนาดใหญ่ที่ถูกกักในคอนกรีต (Entrapped Air Voids), โพรงคาปิลลารี (Capillary Pores), โพรงเจล (Gel Pores), และอากาศที่ถูกกักกระจายในคอนกรีต (Entrained Air)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเข้มข้นของผลผลิตของแข็งจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ในช่องว่างในคอนกรีต หรืออัตราส่วน Gel/Space Ratio หรือใช้ในรูปของความพรุน (Porosity) จึงน่าจะถูกต้องในทางทฤษฎีมากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์แต่เพราะมีความซับซ้อนมากกว่า การประยุกต์ใช้งานจริงจึงยังคงนิยมใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและการควบคุมการผลิตคอนกรีตให้มีกำลังอัดและคุณสมบัติอื่นๆ ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลัง

เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตหลายปัจจัย [14] ซึ่งสามารถสรุปปัจจัยสำคัญและจัดแบ่งกลุ่มโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.3.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์

1. ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกันแต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้วอัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตจะแตกต่างไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

2. มวลรวม มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ อย่างไรก็ดีมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวดที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดคละของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนขนาดคละไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนคละที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่า ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน

3. น้ำ น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

3.2.3.2 การทำคอนกรีต

1. การชั่งตวงส่วนผสม

- การชั่งตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราส่วนผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

2. การผสมคอนกรีต การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้น้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

3. การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น จะมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงหรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสมก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

3.2.3.3 การบ่มคอนกรีต

1. ความชื้น จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำนั้นจะค่อยเป็นค่อยไป นับตั้งแต่ปูนซีเมนต์เริ่มผสมกับน้ำเป็นซีเมนต์เพสต์ และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถ้ามีความชื้นอยู่ตลอดเวลา ถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตจะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ในทางปฏิบัติเรามักจะบ่มคอนกรีตจนถึงอายุ 28 วัน ดังนั้นเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที

2. อุณหภูมิ ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่มก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

3. เวลาที่ใช้ในการบ่ม ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

3.2.3.4 การทดสอบ

การควบคุมคุณภาพคอนกรีตสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะทำในรูปของการชักตัวอย่างคอนกรีตสดมาทำก้อนตัวอย่าง โดยถือว่ากำลังของก้อนตัวอย่างเป็นตัวแทนของคอนกรีตที่หล่อเป็นโครงสร้าง ดังนั้นควรพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตดังต่อไปนี้

1. ขนาดและลักษณะของแท่งทดสอบ การใช้แท่งทดสอบที่ต่างขนาดและต่างลักษณะกันจะมีผลทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตเกิดความแตกต่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ผลของขนาดและลักษณะของก้อนตัวอย่างต่อกำลังอัด

ขนาดตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ (ซม.)	กำลังอัดสัมพัทธ์	ขนาดตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ (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

นอกจากนี้ ความสูงของก้อนตัวอย่างจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ต่อกำลังอัด

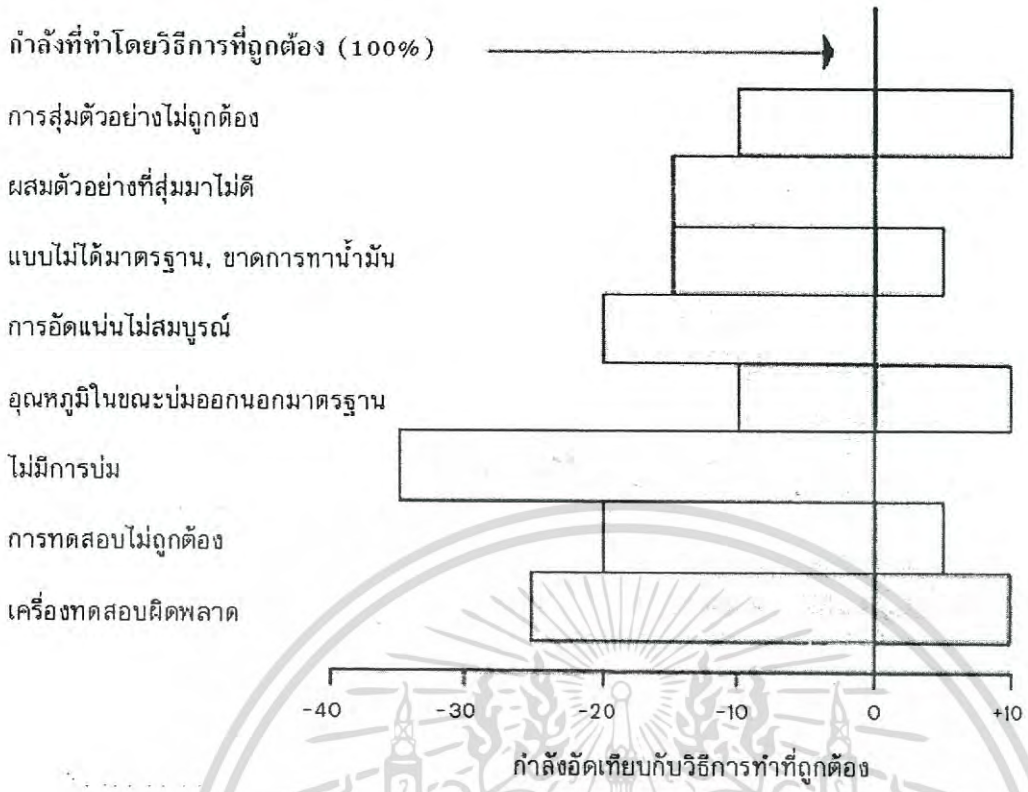
สัดส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/D)	ค่าปรับแก้ของกำลัง
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

2. *วิธีการทำตัวอย่าง* การทำให้คอนกรีตแน่นโดยการกระทุ้งด้วยเหล็ก จะให้ค่ากำลังต่ำกว่าคอนกรีตที่ได้รับการทำให้แน่นด้วยเครื่องเขย่า

3. *ความชื้นในแท่งทดสอบ* ก้อนตัวอย่างที่มีความชื้นจะให้กำลังอัดที่ต่ำกว่าก้อนตัวอย่างที่แห้ง เพราะการขยายตัวของซีเมนต์เพสท์ อันเนื่องมาจากการดูดซึมน้ำ

4. *อัตราการกด* ถ้าใช้อัตราการกดสูงทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงตามไปด้วย ดังนั้นจึงควรใช้อัตราการกดตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 1.43 – 3.47 กก./ตร.ซม./วินาที สำหรับก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก และ 1.12 – 2.72 กก./ตร.ซม./วินาที สำหรับก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 สิ่งที่ทำให้กำลังอัดผันแปรเนื่องจากการทำและทดสอบก้อนตัวอย่าง

ค่าผลของอัตราการกดแสดงในตารางที่ 3.3

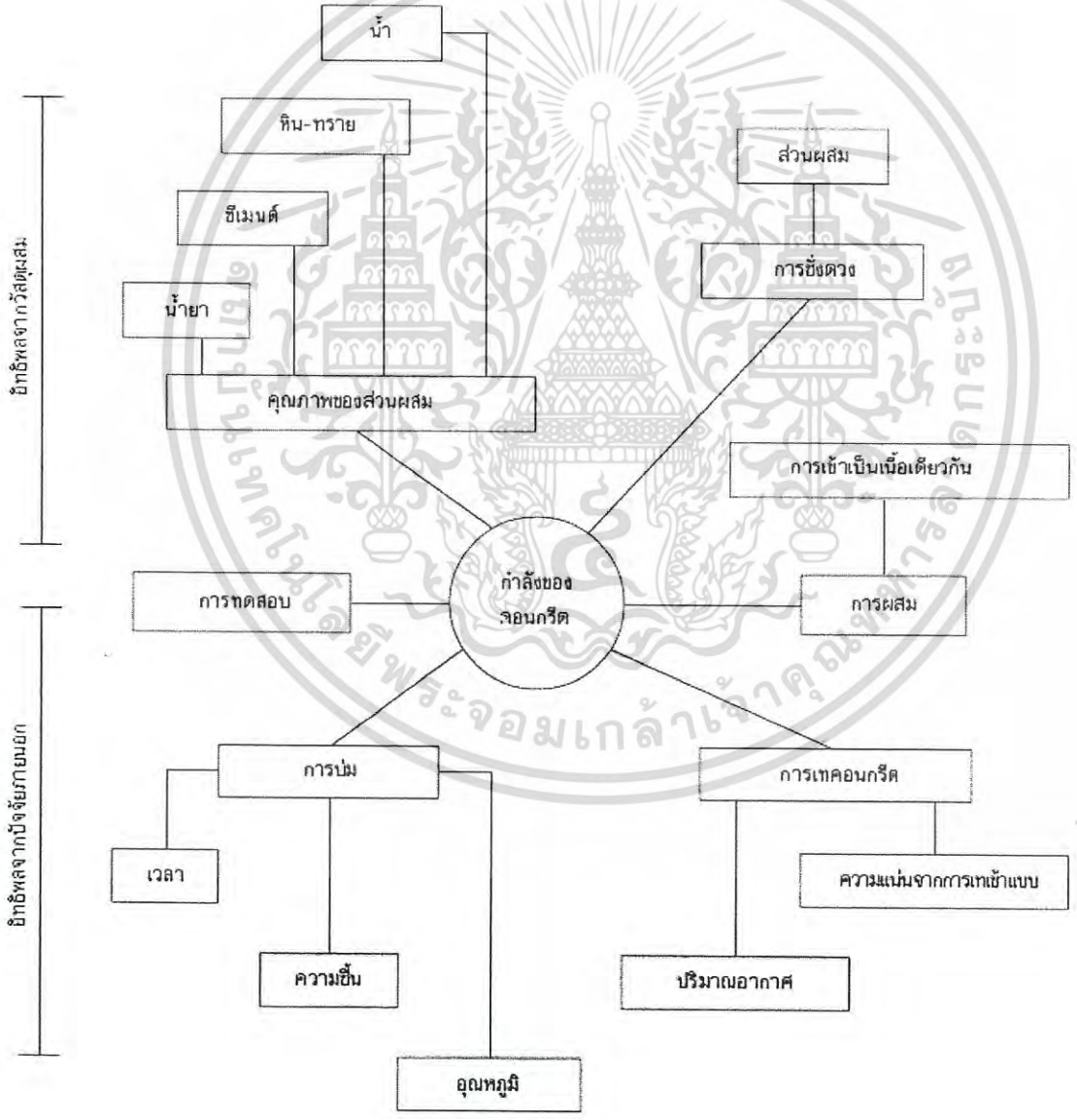
ตารางที่ 3.3 ผลของอัตราการกดต่อกำลังอัด

อัตราการกด				เปอร์เซ็นต์ของกำลังเทียบกับอัตราการทดสอบมาตรฐาน
นาที	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องทดสอบ น้ำหนักที่กดอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง จึงจะให้กำลังอัดที่ถูกต้องซึ่งจะเกิดได้ดังนี้

- ก้อนตัวอย่างต้องอยู่ตรงจุดกึ่งกลางและแกนของก้อนตัวอย่างต้องอยู่ในแนวดิ่ง
- แผ่นรองกดต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนของก้อนตัวอย่าง
- แผ่นรองกดต้องเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย
- แผ่นรองกดจะต้องเรียบเป็นระนาบ
- ถ้าต้องใช้วัสดุ Cap ก้อนตัวอย่าง ควรจะเลือกวัสดุที่มีกำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับของคอนกรีต



รูปที่ 3.4 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต

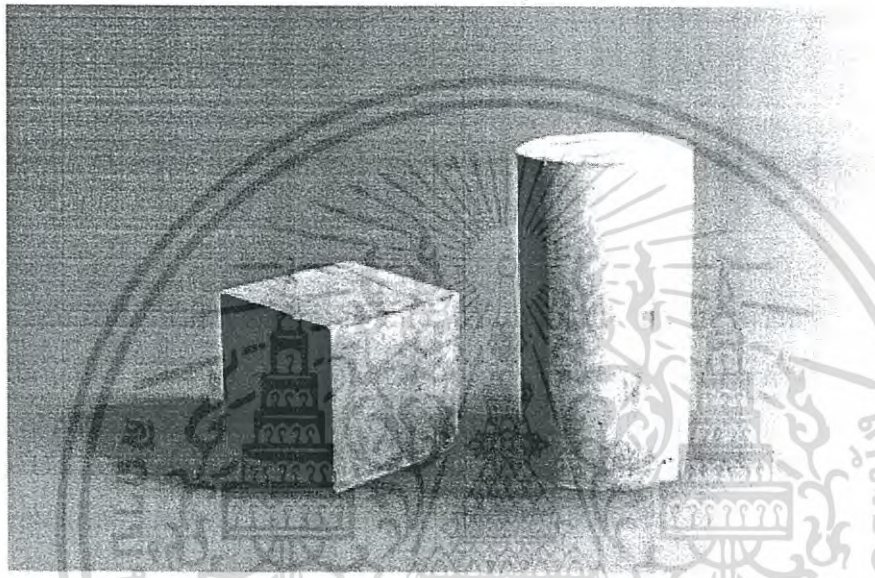
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก

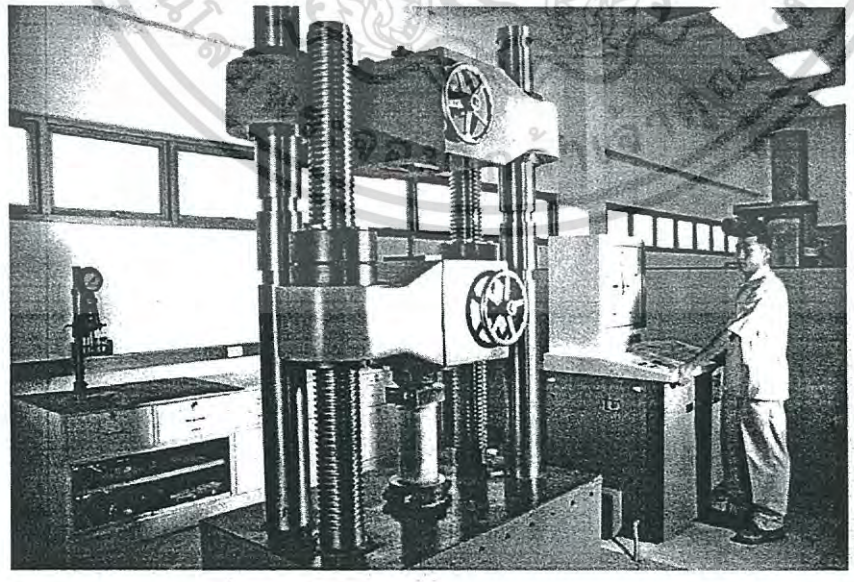
ก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย มี 2 รูปทรงคือ

1) รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ASTM C 192 ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

2) รูปทรงลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษ BS 1881 : PART 3 ขนาดที่ใช้คือขนาด 15 x 15 x 15 ซม.



รูปที่ 3.5 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก



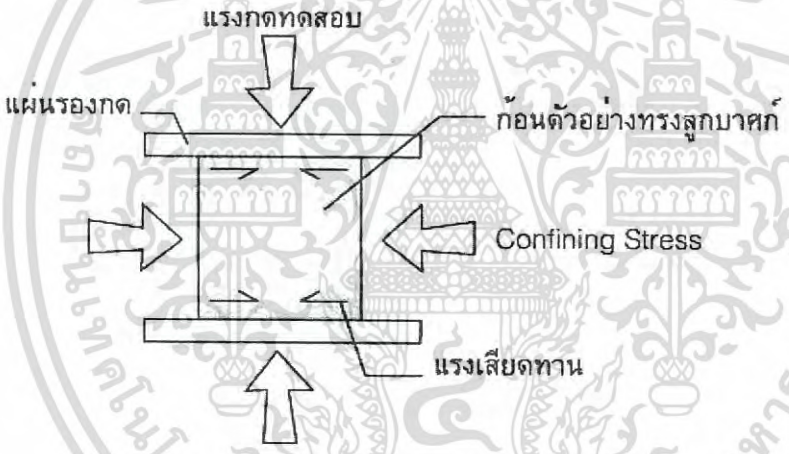
รูปที่ 3.6 การกดก้อนตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังอัดของทั้ง 2 รูปทรงที่ได้จากเครื่องทดสอบนี้จะให้ค่ากำลังอัดที่แตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

1) องค์ประกอบเรื่องความชะลูด กล่าวคือ รูปทรงกระบอกมีสัดส่วนความสูงต่อความกว้าง (Slenderness Ratio) มากกว่ารูปทรงลูกบาศก์ ซึ่งอัตราส่วนความชะลูดดังกล่าวส่งผลให้กำลังอัดรูปทรงกระบอกต่ำกว่ารูปทรงลูกบาศก์

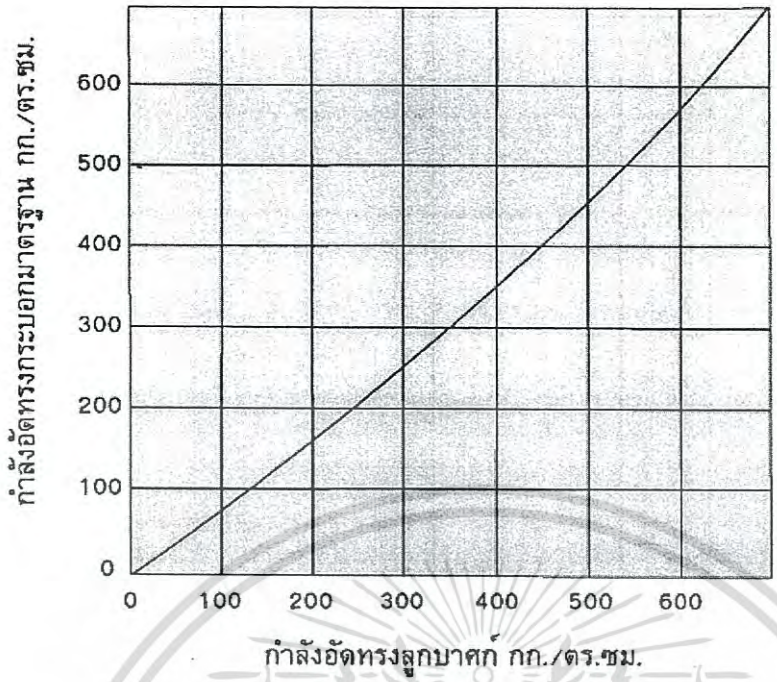
2) ขณะที่กดก้อนตัวอย่างนั้น ก้อนตัวอย่างแตกออกด้านข้าง ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกด แรงเสียดทานดังกล่าวจะก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้างของก้อนตัวอย่าง เรียกว่า Confining Stress ดังรูปที่ 3.7 โดยค่า Confining Stress นี้จะมีค่ามากถ้าผิวสัมผัสของก้อนตัวอย่างกับเครื่องกดมีค่ามาก ดังนั้นผลทดสอบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์จึงให้ค่าสูงกว่ารูปทรงกระบอก



รูปที่ 3.7 แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดซึ่งก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้างของก้อนตัวอย่าง (Confining Stress)

ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท.) ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การแปลงกำลังอัดลูกบาศก์เป็นกำลังอัดกระบอกมาตรฐาน

นอกจากนี้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ มอก. 213-2520 ได้เสนอชั้นคุณภาพคอนกรีต และกำลังของ 2 รูปทรงไว้ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอกตาม มอก. 213/2520

ชั้นคุณภาพ	การต้านทานแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	
	รูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.	รูปทรงกระบอก 15 x 30 ซม.
C 10/8	100	80
C 12.5/10	125	100
C 15/12	150	120
C 20/15	200	150
C 25/20	250	200
C 30/25	300	150
C 35/30	350	300
C 40/35	400	350
C 45/40	450	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การทำก้อนตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัด

คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวพอที่จะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเก็บก้อนตัวอย่าง และนำมาทดสอบตามเวลาต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้

ก้อนตัวอย่างในงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทย มีดังนี้

1) ตัวอย่างรูปลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.
2) ตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
3) ตัวอย่างรูปคานขนาด 15 x 15 x 60 ซม.

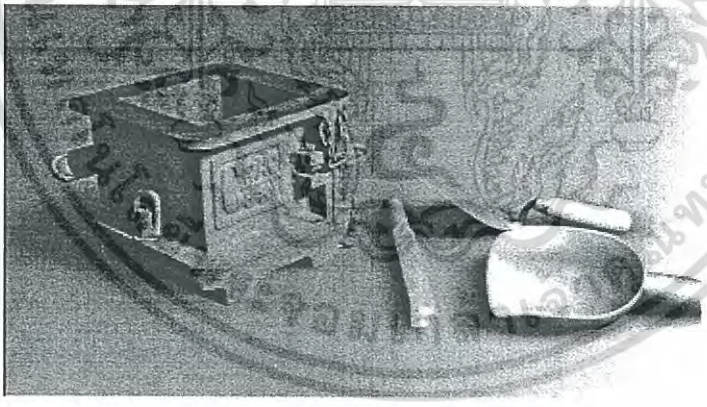
3.2.5.1. การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

มาตรฐานที่ใช้ BS 1881 : PART 3

Method of MAKING AND CURING TEST SPECIMENS

อุปกรณ์

1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.
2) เหล็กตำ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
3) ช้อนตัก เกรียงเหล็ก



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์

วิธีทำ

1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้นตำด้วยเหล็กตำ 35 ที
3) เมื่อตำครั้งสุดท้ายเสร็จ ปาดผิดหน้าให้เรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5.2. การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

มาตรฐานที่ใช้ ASTM C 192

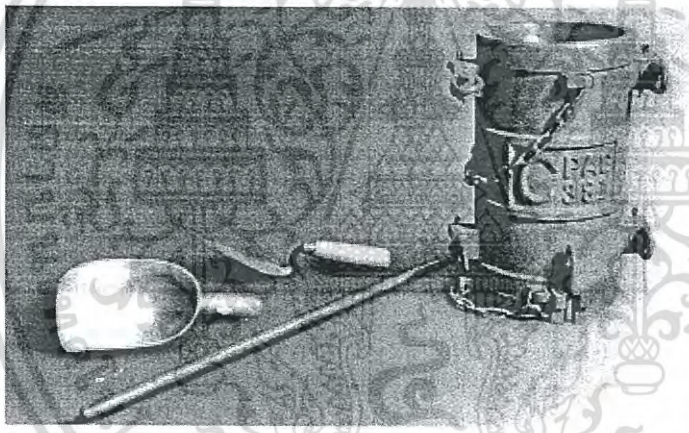
Standard Method of MAKING AND CURING CONCRETE TEST SPECIMENS IN THE LABORATORY

อุปกรณ์

1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
2) เหล็กตำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมน
3) ช้อนตัก เกรียงเหล็ก

วิธีทำ

1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้นตำด้วยเหล็กตำ 25 ที
3) เมื่อตำครั้งสุดท้ายเสร็จ ปาดผิดหน้าให้เรียบ



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงกระบอก

3.2.5.3. การทำตัวอย่างรูปคาน

มาตรฐานที่ใช้ ASTM C 192

อุปกรณ์

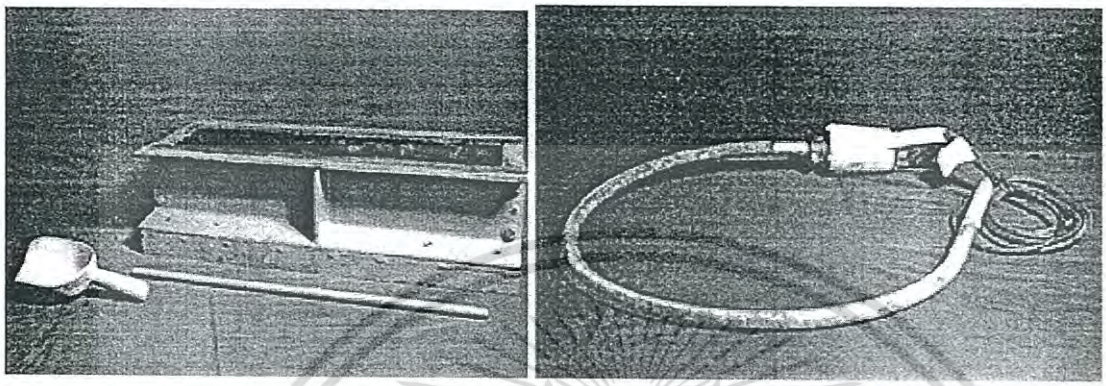
1) แบบหล่อรูปคาน ขนาด 15 x 15 x 60 ซม.
2) เหล็กตำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมนหรือ เครื่องจี้คอนกรีต
3) ช้อนตัก เกรียงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน

2) ตักคอนกรีตใส่ลงแบบ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้นตำด้วยเหล็กตำ 60 ที หลังจากนั้นปาดผิวหน้าให้เรียบ



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ทำตัวอย่าง รูปคาน

ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้กระสอบที่เปียกชื้นคลุมไว้ แล้วป้องกันน้ำระเหยออก ทิ้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถอดแบบออก เขียนรายละเอียดต่าง ๆ บนหน้าก้อนปูน เช่น วันที่ทำตัวอย่าง หมายเลขตัวอย่าง เป็นต้น จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มโดยการแช่น้ำ จนถึงเวลาที่จะทำการทดสอบ โดยทั่วไปจะทดสอบที่อายุคอนกรีต 7 วัน และ 28 วัน

เมื่อถึงกำหนดเวลาทดสอบ นำก้อนตัวอย่างขึ้นจากบ่อ บ่มทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ชั่งน้ำหนัก วัดขนาด จดบันทึกไว้ ถ้าเป็นตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์หรือรูปคาน นำไปทดสอบได้เลย แต่ถ้าเป็นตัวอย่างรูปทรงกระบอก หลังชั่งน้ำหนักแล้วต้องทำการเตรียมปลายตัวอย่าง เช่น การเคลือบปลายตัวอย่างหรือการเจียรปลายก้อนตัวอย่างทั้ง 2 ด้านเสียก่อน

3.2.6 การประเมินผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยงานก่อสร้าง คือ เพื่อประเมินผลและควบคุมให้แน่ในว่า คอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ แต่เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่มวลที่เกิดจากการผสมของวัตถุจนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นคอนกรีตจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นผสมและแม้แต่รุ่นผสมเดียวกันก็ยังมีคุณสมบัติที่ผันแปรกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนผสม การผสม การลำเลียง การเท การบ่ม และตัวอย่างคอนกรีต นอกจากการผันแปรอันเกิดจากลักษณะของคอนกรีตเองแล้ว คุณสมบัติของคอนกรีตยังถูกทำให้เปลี่ยนแปลงออกไปได้เนื่องจากวิธีการทดสอบ เพื่อหาคุณสมบัตินั้น ๆ อีกด้วย เช่น การหล่อแท่งตัวอย่าง การดูแล และการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต เป็นต้น สรุปแล้วคือ ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบตัวอย่างคอนกรีตจากสนามต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากกการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างและค่าผันแปรนี้ต้องอยู่ในขอบเขตและควบคุมนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางสถิติพร้อมกันกับความเข้าใจในลักษณะของคอนกรีตและการทดสอบคอนกรีตด้วย

3.2.5.1. ความผันแปรของกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีต

กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับการควบคุมทั้งวัตถุดิบ ขบวนการผลิต และขบวนการทดสอบ ซึ่งเมื่อสรุปจะได้ว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต มีค่าผันแปรอันเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

1) การผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต (ผันแปรในขบวนการผลิต)

2) การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ (ผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สรุปความผันแปรของกำลังอัด

การผันแปรในสมบัติของคอนกรีตเอง	การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ
การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ - ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ - ความชื้นในหินและทรายมีมาก การผันแปรในปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสม - ขนาดคละของหินและทราย - วัสดุผสมมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ การผันแปรในคุณภาพและอัตราส่วนผสมของวัสดุ - หิน. ทราย - ซีเมนต์	วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน - ปริมาณการกระทุ้ง - การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง - การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม - อุณหภูมิ - ความชื้น วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี - การหล่อฝา - การทดสอบกำลังอัด

3.2.5.2. การประเมินผล

เมื่อทดสอบกำลังอัดแล้วต้องดำเนินการประเมินผลโดยทำตามมาตรฐาน ACI 318 หรือมาตรฐาน ว.ส.ท. ซึ่งมีวิธีการประเมินดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

1) ค่าเฉลี่ยของกำลังอัด จากการทดสอบ 3 ครั้ง ติดต่อกันมากกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c')

2) ค่ากำลังอัดแต่ละครั้งต่ำกว่ากำลังอัดที่ต้องการ (f_c') ได้ไม่เกิน 30 กก./ตร.ซม.

หรืออาจจะประเมินตามข้อกำหนดของงาน โดยทั่วไปกำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์กำหนดต้องเข้าเกณฑ์ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดในแต่ละชุดต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c')

2) ค่ากำลังอัดแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 80 หรือ 85% ของค่ากำลังอัดที่กำหนด

3.2.7 สาเหตุที่กำลังอัดไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

การที่กำลังอัดของคอนกรีตได้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดนี้ อาจมีสาเหตุมาจากหลาย ๆ ประการอันได้แก่

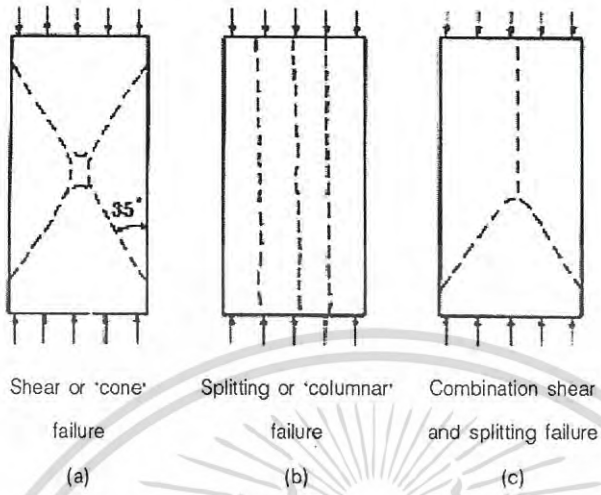
1) ใช้สัดส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม
2) ควบคุมปริมาณน้ำไม่ดีพอ
3) ควบคุมปริมาณฟองอากาศไม่ดี
4) การผสมไม่ดีพอ
5) มีสารอินทรีย์ต่าง ๆ มากเกินข้อกำหนด
6) ใช้หินทรายที่สกปรก
7) ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่ไม่มีประสิทธิภาพ
8) ไม่ได้ปรับความชื้นในมวลรวม
9) การอัดแน่นไม่ถูกต้อง
10) การบ่มไม่เพียงพอ
11) การลำเลียงและการทดสอบไม่ถูกต้อง
12) อุณหภูมิผันแปรไป

3.2.8 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ลักษณะการชำรุดแตกหักของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่รับแรงอัด มักแตกออกเป็นรูปกรวยคู่ (Shear Failure) โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 3.13 (a) โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกด อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ดังนั้นมุมของการแตกหัก จึงมีค่าเท่ากับ $45° - \frac{\theta}{2}$ เมื่อ θ เป็นมุมของความเสียดทานภายในของคอนกรีตซึ่งมีค่าประมาณ 20 องศา ดังนั้นระนาบของความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตจึงเบี่ยงประมาณ 35 องศา ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างอาจเป็นการแตกแบบ

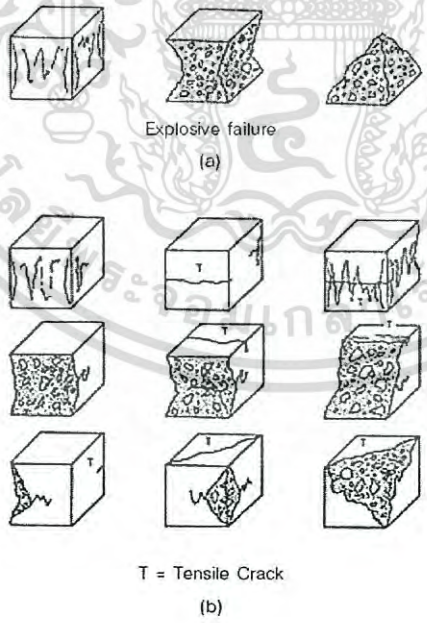
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกออก (Splitting Failure) ดังรูปที่ 3.12 (b) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการแตกของทั้ง 2 แบบ (Combination Shear and Splitting Failure) ดังรูปที่ 3.12 (c)



รูปที่ 3.12 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

ส่วนลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องจะแตกเป็นรูปปีรามิด ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 (a) ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องและ
(b) การแตกที่ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีต่าง ๆ

3.3.1 วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต [24-25]

วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายส่วนใหญ่เป็นการทดสอบอาศัยการประเมินจากผลการวัดค่าสมบัติต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของโครงสร้างหรือมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของการเสื่อมสภาพแบบต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อมเป็นส่วนใหญ่ หัวใจของการทดสอบแบบไม่ทำลาย คือ การเก็บข้อมูลการประเมินสภาพของโครงสร้างให้เพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างในระดับที่มากเกินไป วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายบางชนิดอาจต้องเจาะรูขนาดเล็กในโครงสร้างคอนกรีตหรืออาจทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสียหายในระดับหนึ่ง การตรวจสอบด้วยเทคนิคการทดสอบโดยไม่ทำลายสามารถประยุกต์ใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบคุณภาพของงานก่อสร้างใหม่
- การแก้ปัญหางานก่อสร้างในระหว่างการก่อสร้าง
- การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างเก่าเพื่อการวางแผนบำรุงรักษา
- การประเมินคุณภาพของงานซ่อมแซม

เทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลายแต่ละชนิดมีความสามารถตรวจสอบได้แตกต่างกัน ดังนั้นในการตรวจสอบโครงสร้างโดยทั่วไป ควรใช้เครื่องมือตรวจสอบมากกว่าหนึ่งชนิดเพื่อให้ข้อมูลที่วัดได้มีความสมบูรณ์ และวิเคราะห์ผลได้แม่นยำยิ่งขึ้น รวมถึงต้องเลือกวิธีการตรวจสอบที่เหมาะสมในการตรวจสอบโครงสร้าง

3.3.1.1. วิธีนับจำนวนครั้งการสะท้อน (Rebound Hammer, Schmidt Hammer)

มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

- มยผ. 1502-51 : มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound Hammer)
- ASTM C 805 : Standard test method for rebound number of hardened concrete
- BS 1881 – 202 : 1986 Testing concrete Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer

การทดสอบความแข็งของผิวโดยอาศัยหลักการของการสะท้อนกลับของพลังงานที่แตกต่างกันของวัตถุที่มีความแข็งของผิวต่างกัน โดยใช้ลูกเหล็กกลมเล็ก ๆ กระแทกผิวคอนกรีตแล้ววัดจำนวนครั้งของการสะท้อน (Rebound Number) ค่านี้จะเป็นอัตราส่วนกับโมดูลัสยืดหยุ่น

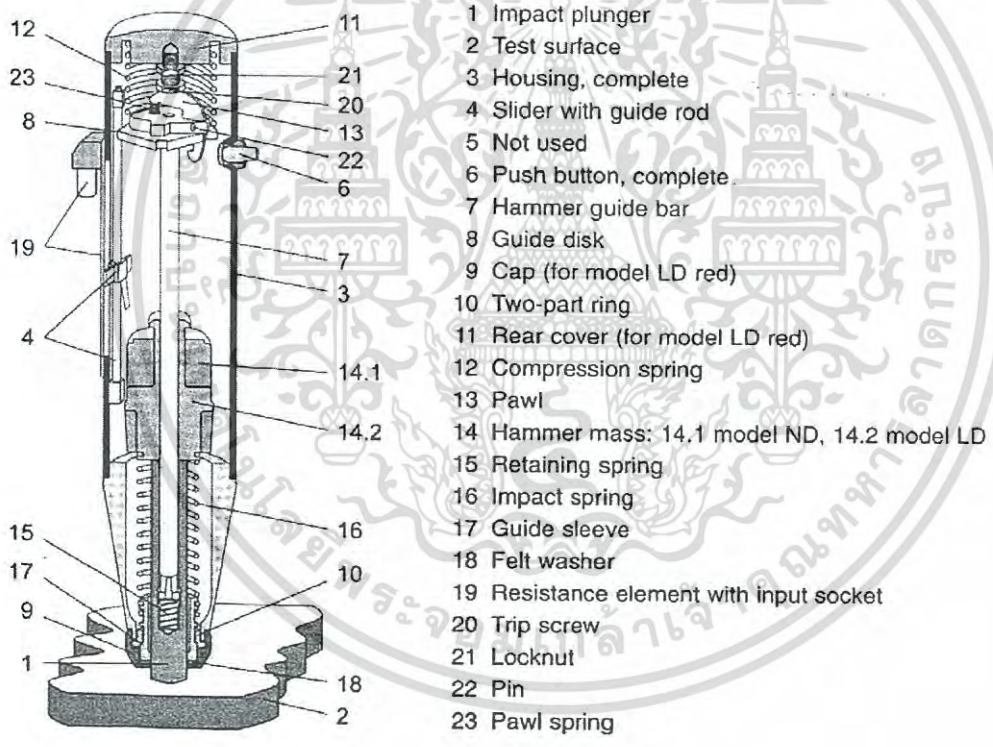
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>อุปกรณ์และส่วนประกอบของค้อนกระแทก</u>

1) ค้อนกระแทกแบบสมิดท์ มีส่วนประกอบหลัก คือ ตัวค้อนภายนอก (Body) แท่งเหล็ก (Plunger) ก้อนเหล็ก (Hammer) สปริง (Spring) สลัก (Latch) และช่องสไลด์ที่ใช้วัดระยะสะท้อนของก้อนเหล็ก (Indicator) ระยะสะท้อนของค้อนกระแทกวัดได้จากมาตราส่วนซึ่งติดกับค้อนโดยมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 100 เรียกว่า ค่าการสะท้อน (Rebound Number) รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของค้อนกระแทกแบบสมิดท์ (Schmidt's Rebound Hammer)

2) ก้อนหินขัด (Abrasive Stone) เป็นก้อนหินที่มีผิวหยาบและมีส่วนผสมของซิลิคอนคาร์ไบด์ หรือวัสดุเทียบเท่าอื่นๆ

3) ทั่งทดสอบ (Test Anvil) เป็นก้อนเหล็กทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150 มิลลิเมตรมีความแข็งของจุดรับการกระแทกเท่ากับ Brinell 500 หรือ Rockwell 52C และมีอุปกรณ์ที่ช่วยให้ค้อนกระแทกตั้งฉากกับจุดกระแทกขณะทดสอบ



รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบของค้อนกระแทกแบบสมิดท์ (Schmidt's Rebound Hammer)

โมดูลัสยืดหยุ่นนี้จะเป็นอัตราส่วนโดยประมาณกับกำลังต้านทานแรงอัด ดังนั้นกำลังต้านทานแรงอัดจึงสามารถคาดคะเนได้จากการที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนครั้งการสะท้อนกับกำลังต้านทานแรงอัด รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและค่าการสะท้อนที่วัดได้จากตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 15 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เนื่องจากวิธีการทดสอบด้วยค้อนกระแทกเป็นวิธีการวัดความแข็งของผิวคอนกรีต จึงไม่เหมาะสำหรับการวัดคอนกรีตที่มีอายุน้อยมากๆ ซึ่งยังไม่มีความแข็งเพียงพอ นอกจากนี้การใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและกำลังอัดที่อายุ 28 วันนั้นอาจจะไม่เหมาะกับการตรวจสอบโครงสร้างที่มีอายุมากๆ และควรมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนที่ได้จากโครงสร้างและค่ากำลังอัดที่ได้จากการเจาะเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างในกรณีดังกล่าว

4) ประเภทของมวลรวม และปูนซีเมนต์ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก โดยทั่วไปแล้วค่าการสะท้อน (Rebound Number) ของคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินปูน (Limestone) จะมีค่าน้อยกว่าค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินแม่น้ำซึ่งมีค่ากำลังอัดประลัยเท่ากัน ความแตกต่างนี้จะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) กับคอนกรีตธรรมดา นอกจากนี้การใช้หินชนิดเดียวกันจากคนละแหล่งอาจส่งผลให้ค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดเท่ากันมีค่าแตกต่างกันได้

5) ประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจส่งผลต่อค่าการสะท้อนที่วัดได้ โดยปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณอลูมินาสูงนั้นอาจมีกำลังอัดที่แท้จริงมากกว่าค่าที่แปรผลจากการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) ที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ดังนั้นจึงควรมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) สำหรับประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้เพื่อการประเมินกำลังอัดที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ

6) การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นในคอนกรีตมีผลกระทบต่อค่าการสะท้อนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างที่อยู่ในเขตการจราจรหนาแน่นและมีอายุการใช้งานมานาน อาจมีความลึกของชั้นที่เกิดคาร์บอเนชั่นในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ค่าการสะท้อนที่ได้นั้นอาจจะมีค่ามากเกินจริงได้ถึงร้อยละ 50 ซึ่งต้องมีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) สำหรับคอนกรีตที่มีคาร์บอเนชันสูงเป็นการเฉพาะ

7) ข้อแนะนำ หากโครงสร้างที่ทำการวัดมีความแข็งเกร็งน้อย เช่น เป็นโครงสร้างที่บางมากหรือ ไม่มีการยึดกับโครงสร้างข้างเคียงอย่างเพียงพอ การเทียบค่าการกระแทกเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความคลาดเคลื่อนสูง ในกรณีดังกล่าวผู้ทดสอบสามารถทำได้เพียงเปรียบเทียบความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของความแข็งแรงของคอนกรีตในบริเวณที่มีความแข็งเกร็งใกล้เคียงกันเท่านั้น

3.3.1.2. วิธีใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)

มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

- มยผ. 1504-51 : มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ASTM C 597 – 02 : Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete
- ASTM E 494 – 95 (2001) Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials
- BSI 98/105795 DC : prEn 13296 Testing Concrete Determination of ultrasonic pulse velocity

คลื่นอัลตราโซนิกสามารถใช้ในการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต (Uniformity of Concrete) เปรียบเทียบคุณภาพของคอนกรีตที่คนละตำแหน่งและใช้ในการประเมินคุณภาพของงานซ่อมแซมได้ด้วย นอกจากนี้ วิธีการทดสอบคอนกรีตโดยคลื่นอัลตราโซนิกนี้ ยังสามารถนำไปทดสอบหาความเปลี่ยนแปลง สมบัติของคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไปได้ โดยในกรณีนี้ต้องมีการทำสัญลักษณ์ตำแหน่งของการวัดอย่างชัดเจน

อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องทดสอบคอนกรีตโดยคลื่นอัลตราโซนิก

1) ตัวกำเนิดคลื่น (Pulse Generator) ซึ่งประกอบด้วยวงจรสำหรับกำเนิดคลื่นดลของความต่างศักย์ไม่น้อยกว่า 3 คลื่นต่อวินาที

2) ตัวส่งสัญญาณ (Transmitting Transducer) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นความต่างศักย์เป็นคลื่นกลที่มีความถี่สูง (30 ถึง 100 กิโลเฮิรตซ์) โดยตัวส่งสัญญาณนั้นมีส่วนประกอบหลักเป็นผลึกแร่ที่มีปฏิกิริยาทางกลกับความดันไฟฟ้า (Piezoelectric Material) และสร้างคลื่นดลแรก (Triggering Pulse) เพื่อเป็นสัญญาณเริ่มต้นของวงจรควบคุมเวลา

3) ตัวรับสัญญาณ (Receiving Transducer) ที่มีส่วนประกอบเหมือนกับตัวส่งสัญญาณ แต่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนคลื่นกลกลับเป็นคลื่นสัญญาณไฟฟ้า

4) ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งทำหน้าที่ขยายขนาดของสัญญาณ ให้มีความชัดเจนต่อการวิเคราะห์สัญญาณ โดยมีอัตราส่วนขยายสัญญาณคงที่ไม่เกิน 3 เท่าของสัญญาณดิบที่วัดได้

5) วงจรควบคุมเวลา (Time-Measuring Circuit) ซึ่งทำหน้าที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ตรวจรับได้กับเวลาที่เริ่มต้นส่งสัญญาณ โดยเวลาเริ่มต้นจะอ้างอิงกับคลื่นดลแรกซึ่งเป็นคลื่นที่เกิดภายในส่วนประมวลผล วงจรควบคุมเวลาเป็นตัวแสดงผลเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเคลื่อนที่ระหว่างตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ วงจรควบคุมเวลานี้ควรใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 40 องศาเซลเซียสได้โดยไม่มีความคลาดเคลื่อน

6) หน่วยแสดงผล (Display Unit) ของเครื่องทดสอบคอนกรีตด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งมี 2 รูปแบบหลักคือ แบบแสดงผลเป็นตัวเลข และแบบแสดงผลเป็นคลื่นที่ตัวรับสัญญาณตรวจจับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: การแสดงผลเป็นตัวเลขเป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากใช้งานง่าย ในขณะที่อุปกรณ์แสดงผลเป็นรูปคลื่น ช่วยให้ศึกษาอัตราการสูญเสียพลังงานของคลื่นกลในตัวกลางได้ แต่มีขั้นตอนการใช้ที่ยุ่งยากกว่ามาก

7) แท่งอ้างอิง (Reference Bar) เป็นของแข็งที่มีความยาวคงที่และให้ค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกคงที่ทำให้เวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้เคลื่อนที่ผ่านแท่งอ้างอิงมีค่าคงที่ แท่งอ้างอิงใช้เพื่อปรับแก้การตั้งค่าของเครื่องวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก

8) สายส่งสัญญาณ (Connecting Cables) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างตัวรับสัญญาณ หรือตัวส่งสัญญาณกับส่วนประมวลผล โดยสายส่งสัญญาณต้องมีคุณภาพสูง และทำให้คลื่นสูญเสียพลังงานน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีทดสอบโครงสร้างขนาดใหญ่

9) วัสดุเชื่อมสัญญาณ (Coupling Agent) เป็นวัสดุที่มีความหนืดสูง ซึ่งใช้เพื่อส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิกจากตัวส่งสัญญาณไปยังคอนกรีต หรือ จากคอนกรีตมายังตัวรับสัญญาณ โดยไม่สูญเสียพลังงาน กลไกหลักของวัสดุเชื่อมสัญญาณคือการแทนที่ช่องว่าง (อากาศ) ตรงผิวสัมผัสระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ และผิวคอนกรีต

รูปที่ 3.16 ชุดอุปกรณ์การวัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก

การทดสอบคอนกรีตด้วยคลื่นอัลตราโซนิก อาศัยการวัดความเร็วของคลื่นกลที่เคลื่อนที่ในคอนกรีตหลักการในการทำงานของเครื่องทดสอบโดยคลื่นอัลตราโซนิก คือ การปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกเข้าไปในคอนกรีต และจับเวลาที่คลื่นใช้ในการเคลื่อนที่จากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ โดยมีระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณคงที่ ค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกที่เคลื่อนที่ในคอนกรีตนั้น สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างตัวรับกับตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคอนกรีตและค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ดังสมการที่ 3.1

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \qquad (3.1)$$

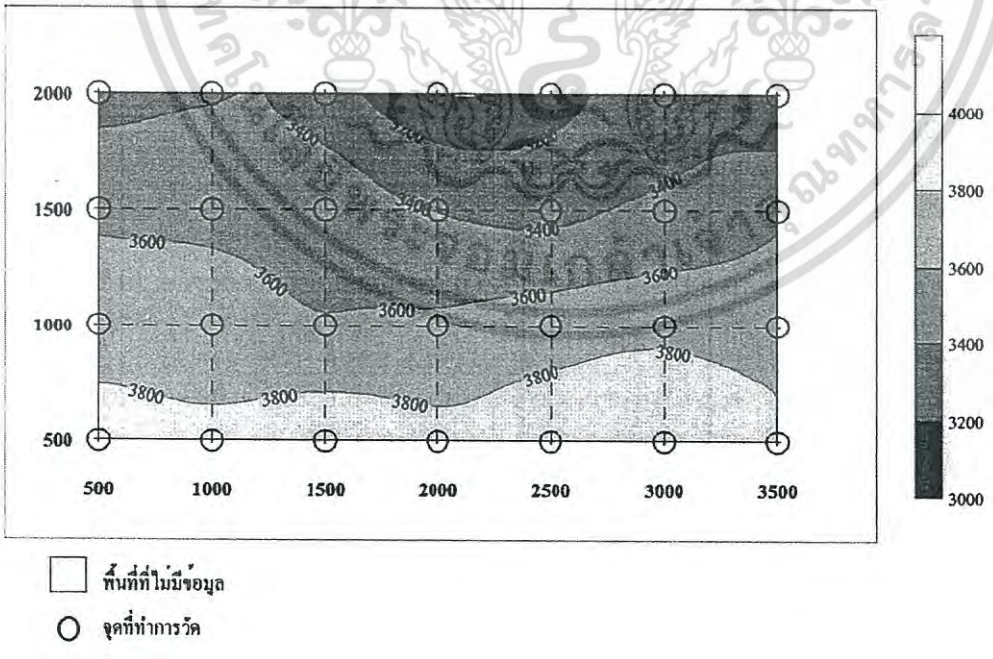
เมื่อ V = โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Elastic Modulus)

E = โมดูลัสความยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)

ρ = ความหนาแน่น (กก./ลบ.ซม.)

μ = อัตราส่วนปัวซองไดนามิก (Dynamic Poisson's Ratio)

รูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างผลการวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านกำแพงคอนกรีตขนาด 4 x 2 ตารางเมตรและมีความหนา 200 มิลลิเมตร โดยทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกทุกๆ ระยะ 500 มิลลิเมตร ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึง ความเร็วที่สูงกว่าของคอนกรีตที่อยู่ด้านล่างซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการแยกตัวของคอนกรีตในระหว่างการเทคอนกรีต นอกจากนี้ผลการทดสอบยังบ่งชี้ว่า โครงสร้างส่วนบนด้านขวาบน (พื้นที่ที่เป็นสีแดงสด) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่คลื่นอัลตราโซนิกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำสุด อาจจะมีความบกพร่องหรือความเสียหายภายในโครงสร้างบริเวณดังกล่าว



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour Map) ของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

1) ปริมาณความชื้นภายในคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการทดสอบ เนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในเนื้อคอนกรีต โดยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตที่อิ่มตัวจะมีค่ามากกว่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตที่แห้งอยู่ประมาณร้อยละ 5และการตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวจะมีความเปลี่ยนแปลงเชิงเปรียบเทียบน้อยกว่าคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะแห้ง

2) ขนาดของโครงสร้างที่ทดสอบไม่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกมากนักโดยเฉพาะในกรณีรูปร่างของโครงสร้างไม่ส่งผลต่อการจำแนกคลื่นที่เคลื่อนที่ตรงจากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ ดังนั้นขนาดของโครงสร้างที่เหมาะสมกับวิธีการทดสอบนี้จึงกำหนดด้วยความยาวคลื่นของคลื่นอัลตราโซนิก และควรจะมีค่าไม่น้อยกว่าความยาวคลื่นของคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้ทดสอบ

3) การวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคได้รับผลกระทบจากเหล็กเสริมที่อยู่ภายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้น การทดสอบควรหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่มีเหล็กเสริมวางตัวอยู่

3.3.1.3. วิธีการวัดความถี่กำทอน (Resonant Frequency Testing)

มาตรฐานที่ใช้

- ASTM C 215 : Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant frequencies of Concrete Specimens

วิธีทดสอบความถี่กำทอน (Resonant Frequency Testing) มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบพื้นฐาน (Fundamental Modes) ในห้องปฏิบัติการของการสั่นสะเทือนสำหรับการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ใช้ในงานสนามสำหรับตรวจหาช่องว่าง การลอกเป็นชั้น สิ่งเจือปน การเสื่อมสภาพ และใช้หลักการพื้นฐาน คือ สภาวะของความถี่กำทอน (Resonant Frequency) จะถูกทำให้เกิดขึ้นระหว่างผิวสะท้อนสองผิว พลังงานจะถูกใส่เข้าไปในระบบ โดยการใช้การกระแทกของค้อน หรือใช้ระบบ Oscillator Amplifier โดยการวางชิ้นวัสดุคอนกรีตบนแท่นสั่น ใช้อุปกรณ์ปรับความถี่ของการสั่นเพื่อหาความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกได้ตามสมการที่ 3.2

$$E_D = DW(fL_r)^2 \tag{3.2}$$

เมื่อ E_D = โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Elastic Modulus)

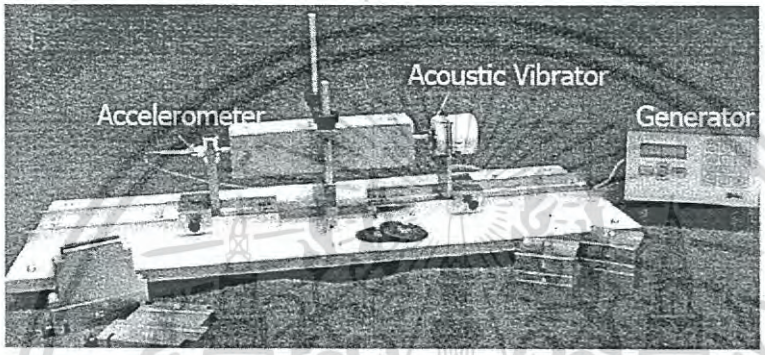
D = สัมประสิทธิ์ของชนิดการสั่น ลักษณะและสัดส่วนของชิ้นวัสดุทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W = น้ำหนักของชิ้นวัสดุทดสอบ (กก.)

fL_r = ความถี่เรโซแนนซ์ปฐมภูมิตามชนิดการสั่น (วินาที$^{-1}$)

วิธีการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิค (Dynamic Shearing Elastic Modulus) โมดูลัสแรงเฉือนยืดหยุ่นไดนามิค และอัตราส่วนปัวซองไดนามิค (Dynamic Poisson's Ratio) ของคอนกรีตด้วยความถี่กำทอน อุปกรณ์การทดสอบประกอบด้วยวงจรส่งคลื่นความถี่ (Oscillator) มาตรฐานแท่นสั่น และวงจรตรวจ (Pick Up) ความถี่เรโซแนนซ์ ของชิ้นวัสดุทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 อุปกรณ์การวัดความถี่เรโซแนนซ์

การใช้งาน

- ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกต่ออายุคอนกรีต ที่มีลักษณะรูปร่างคงที่
- ใช้ประมาณค่าความเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากการแข็งและหลอมตัว

ข้อควรระวัง

- เช่นเดียวกับวิธีการใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)

ข้อดี

- ผลการทดสอบมีค่าที่กระจายตัวน้อย (Dispersion)
- สามารถวัดผลออกมาในรูปของโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกของชิ้นวัสดุทดสอบเดียวกัน แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและความแข็งแรงต่อเวลาที่ผ่านไป

ข้อเสีย

- ไม่สามารถใช้กับวัสดุคอนกรีตของสิ่งก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.4. วิธีการวัดความต้านทานการทะลุทะลวง (Penetration Resistance Method)

มาตรฐานที่ใช้

- มยผ. 1503-51 : มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ
- ASTM C803/C803M-97 Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete

การทดสอบความต้านทานการทะลุของคอนกรีตด้วยหัวหยั่งทดสอบ สามารถใช้ประเมินกำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยมีสมมติฐานว่าความต้านทานการทะลุของคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแตกต่างกันไปสำหรับอุปกรณ์การทดสอบแต่ละแบบและต้องมีการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการทะลุของคอนกรีต ที่วัดได้จากเครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบกับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต

อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบ

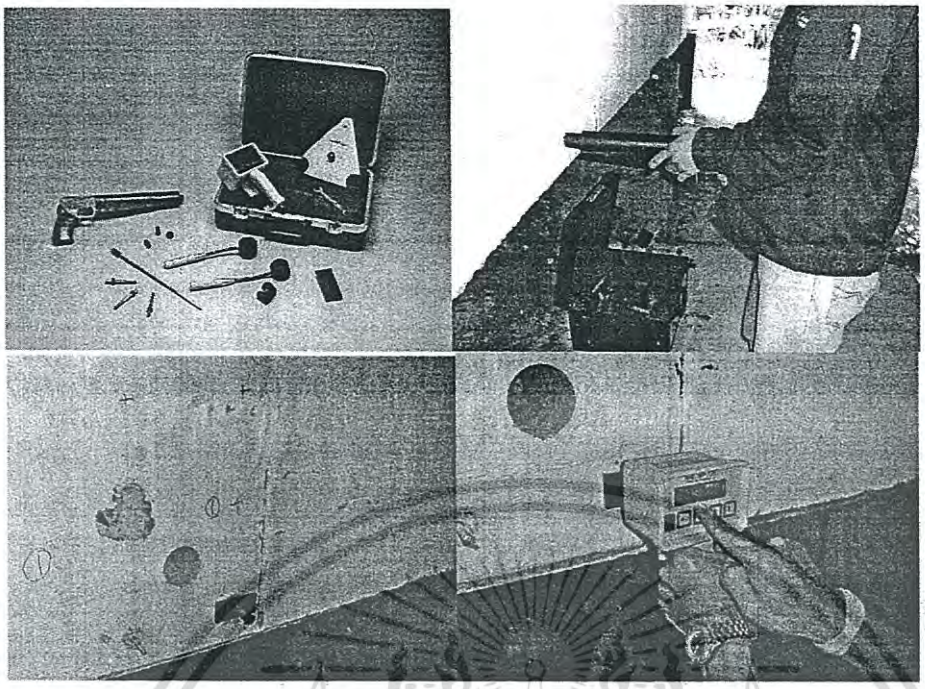
1) หัวหยั่งทดสอบ คือ แท่งโลหะอัลลอยที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นโคนทู่ซึ่งสามารถทะลุเข้าไปในคอนกรีตและปักอยู่ได้โดยไม่มีการเสียรูปทรง และปลายอีกข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อให้สามารถวัดระยะทะลุและดึงหัวหยั่งทดสอบออกจากโครงสร้างคอนกรีตด้วยเครื่องมือเฉพาะได้โดยสะดวก นอกจากนี้หัวหยั่งทดสอบควรมีความยาวคงที่ หรือแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยปรกติจะมีความแข็งอยู่ในช่วงระหว่าง Rockwell 44 HRC และ 48 HRC

2) เครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบเป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งผ่านพลังงานไปให้กับหัวหยั่งทดสอบได้อย่างคงที่ทุกครั้ง โดยให้ค่าความเร็วของ หัวหยั่งทดสอบ แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 3 นอกจากนี้เครื่องยิงต้องมีกลไกป้องกันการยิงหัวหยั่งทดสอบโดยมิได้ตั้งใจเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ

3) อุปกรณ์ยึดตำแหน่งเครื่องยิงทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งและทิศทางการยิงของหัวหยั่งทดสอบ โดยเครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบต้องถูกยึดกับโครงสร้างคอนกรีตอย่างมั่นคงโดยระดับของการยึดขึ้นอยู่กับพลังงานของเครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบที่ใช้

4) ชุดอุปกรณ์วัดระยะทะลุ ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์วัดความยาวที่มีความแม่นยำในระดับ 0.5 มิลลิเมตรและต้องมีช่วงการวัดที่เหมาะสมกับผลการทดสอบ และแผ่นเหล็กอ้างอิงที่ถูกยึดอยู่กับผิวคอนกรีตไม่น้อยกว่า 3 จุด ทุกจุดต้องอยู่ห่างจากกันเท่าๆกัน และอยู่ห่างจากจุดที่จะทำการยิงหัวหยั่งทดสอบไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

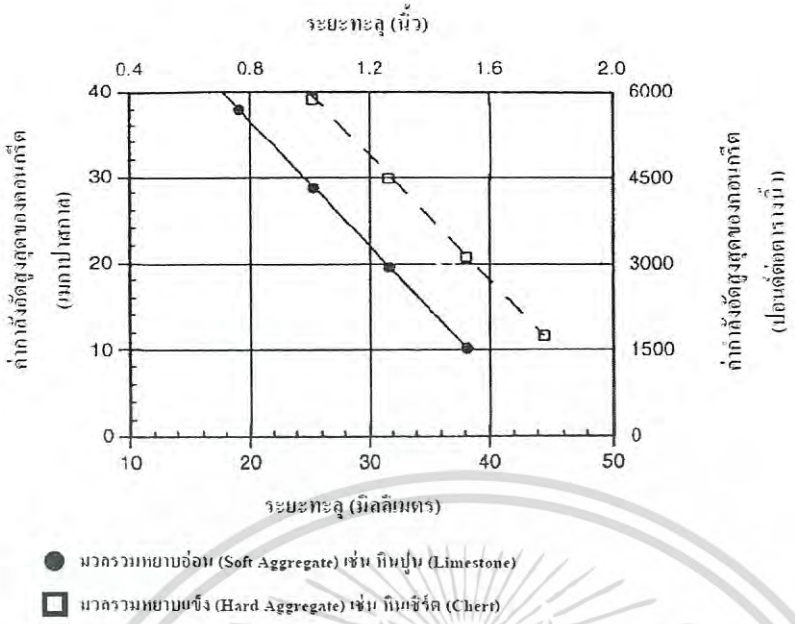


รูปที่ 3.19 ชุดทดสอบ Windsor HP Probe และการทดสอบ

หลักการของวิธีการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ คือ การให้พลังงานระดับคงที่จากเครื่องยิงไปยังแท่งเหล็กเพื่อให้เจาะทะลุเข้าในผิวคอนกรีต เพื่อตรวจสอบความต้านทานการทะลุของคอนกรีต (Penetration Resistance) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความยาวของแท่งเหล็กที่ทะลุเข้าไปในคอนกรีต หรือ ความลึกของรูที่เกิดจากการเจาะจากผิวคอนกรีต

รูปที่ 3.20 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต จากผลทดสอบ ในกรณีมวลรวมหยาบอ่อนกับมวลรวมหยาบแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

1) วิธีการทดสอบคอนกรีตด้วยการยิงหัวหยั่งทดสอบนี้จะทำให้บริเวณผิวคอนกรีตได้รับความเสียหายและจำเป็นต้องได้รับการซ่อมแซมในภายหลัง

2) ตำแหน่งของการยิงและตำแหน่งของมวลรวมหยาบที่อยู่ใกล้ผิวคอนกรีตมีผลต่อค่าการทะลุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่มวลรวมหยาบมีขนาดใหญ่ จะต้องเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับคอนกรีตในโครงสร้าง

3) ช่องว่างในคอนกรีตที่เกิดจากฟองอากาศส่งผลให้ค่าการทะลุที่วัดได้มีค่ามากเกินจริง ดังนั้นจึงควรสำรวจลักษณะของรูที่เกิดจากการยิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีค่าการทะลุที่ได้แตกต่างจากค่าอื่นมาก เพื่อประกอบการสรุปผล

4) ในกรณีที่ทำการทดสอบโครงสร้างที่มีลักษณะบาง หรือมีความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป เช่น คอนกรีตที่มีอายุน้อยกว่า 7 วันหรือคอนกรีตมวลเบา จะต้องมีการปรับพลังงานในการยิงให้เหมาะสมกับโครงสร้างนั้น ๆ และต้องใช้กราฟความสัมพันธ์สำหรับการแปลผลโดยเฉพาะ

3.3.1.5. วิธีการทดสอบโดยการดึงสลัก (Pullout Test)

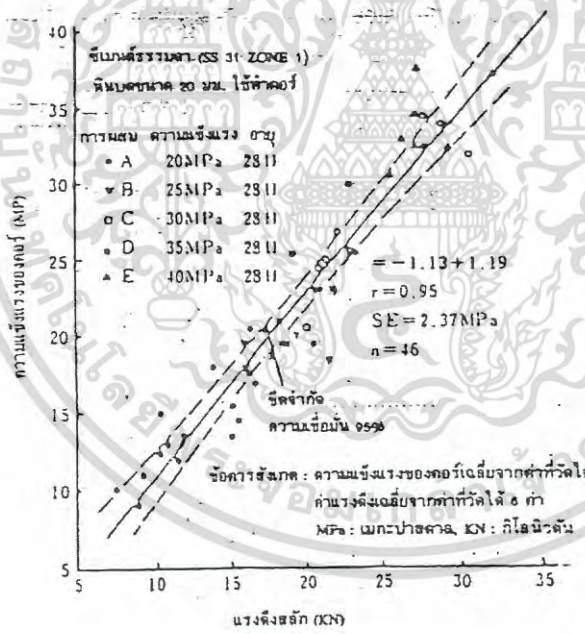
มาตรฐานที่ใช้

- ASTM C 900 : Standard Method for Pullout Strength of Hardened Concrete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

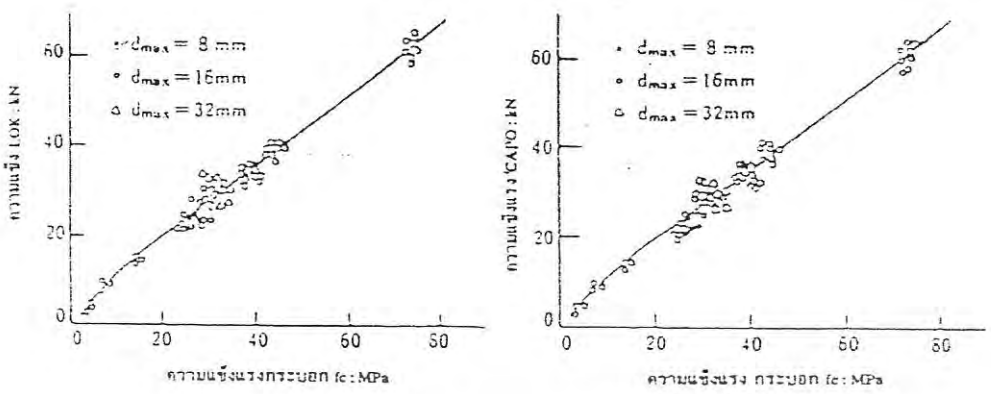
- BS 1881: Part 207, "Testing concrete, recommendations for the assessment of concrete strength by near-to-surface tests
- EN-ISO 8046-1994 (draft) : Testing concrete - determination of pull-out force

การทดสอบโดยการดึงสลัก โดยการวัดแรงดึงสลักทำด้วยเหล็กพิเศษที่ฝังในคอนกรีต แรงดึงนี้มีความสัมพันธ์กับกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear Strength) กำลังต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และกำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) จากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับกำลังต้านทานแรงอัดที่ได้สร้างไว้ล่วงหน้า ก็สามารถประมาณหากำลังต้านทานแรงอัดได้โดยง่าย ดังรูปที่ 3.21 และ 3.22



รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสลักกับความแข็งแรงของคอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

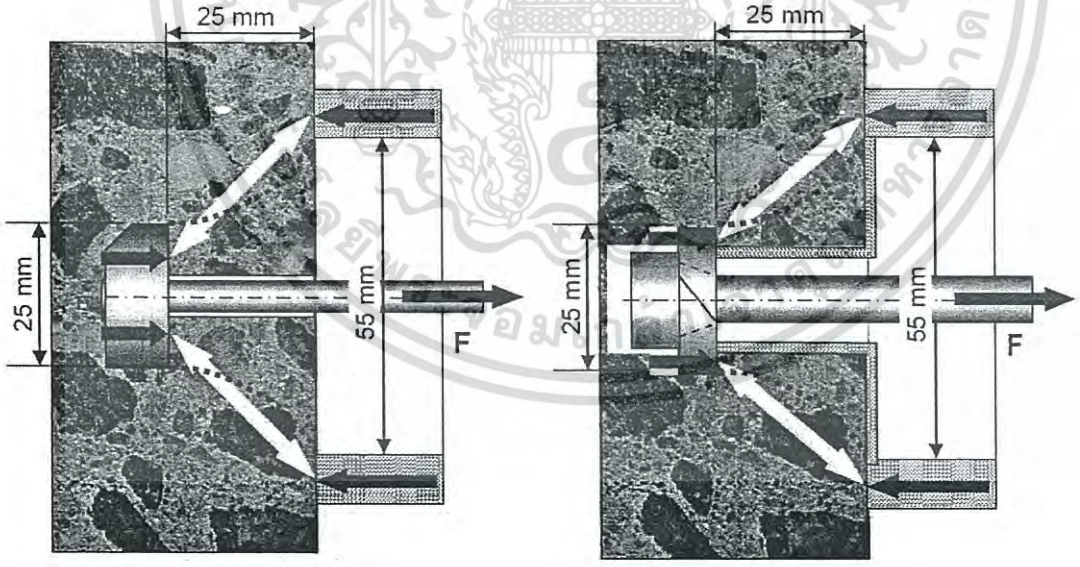


(ก) การทดสอบ LOK (ข) การทดสอบ CAPO

รูปที่ 3.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความแข็งแรงทดสอบมาตรฐาน

วิธีการทดสอบกำหนดไว้ใน ASTM C900 มาตรฐานวิธีการทดสอบกำลังในการดึงสลักในคอนกรีตแข็ง (Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete) ดังนี้

1) ในกรณีที่ติดตั้งสลักทำด้วยเหล็กพิเศษไว้ในกรอบคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วใช้แม่แรงดึงและวัดแรง (LOK-Test) ดังแสดงในรูปที่ 3.23 (ก)



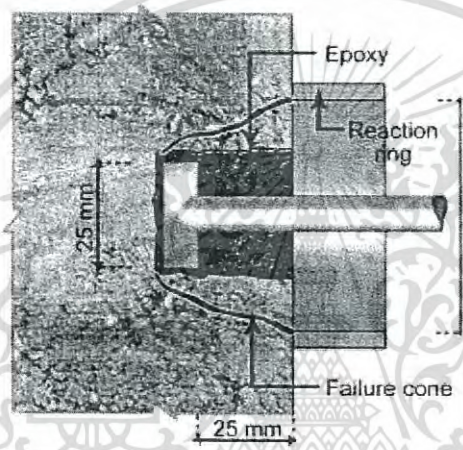
ก. ข.

รูปที่ 3.23 (ก) การทดสอบแบบ LOK-Test และ (ข) การทดสอบแบบ CAPO-Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ในกรณีที่ไม่ได้ฝังสลักไว้ก่อน จะมีวิธีการ 3 วิธีดังนี้

- การทดสอบคาโป (CAPO-Test) โดยการเจาะรูด้วยสว่าน แล้วคว้านปลายรูด้วยเครื่องกด (Milling) ทำให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่แน่นอน จากนั้นสวม CAPO INSERT จากด้านนอกและสอดสลักซึ่งมีแหวนขยายตัวติดอยู่ จากนั้นจึงดึงสลักและหาแรงดึงที่ใช้ในสลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.23 (ข)
- วิธีการทำให้สลักติดอยู่กับที่ด้วยอีพอกซี่เรซิน โดยการเจาะรูด้วยสว่านให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่แน่นอน ทำการสอดสลักและอุดช่องว่างด้วยอีพอกซี่เรซิน จากนั้นจึงดึงสลักและหาแรงดึงที่ใช้ในสลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การทดสอบสลักติดด้วยอีพอกซี่เรซิน

- วิธีการทำให้สลักติดอยู่กับที่ด้วยลิ่มผ่า (Split Wedge)

การใช้งาน

- ใช้ประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตที่มีอายุน้อยของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต โดยเฉพาะคอนกรีตหล่อจากแบบหรือประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตอัดแรง
- เป็นการประเมินคุณภาพคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมของโครงสร้างคอนกรีต

ข้อควรระวัง

- ลักษณะและสัดส่วนของสลักมีผลต่อแรงดึงออก
- เหมาะสำหรับคอนกรีตที่มีอายุน้อย

ข้อดี

- สามารถกำหนดจุดทดสอบได้อย่างมีแบบแผน

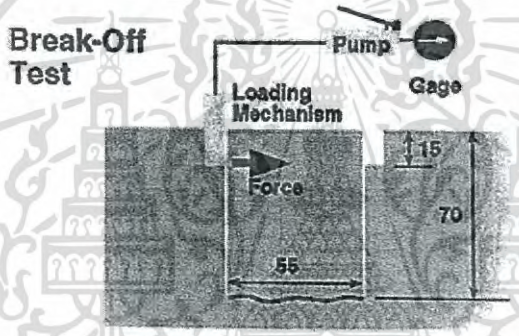
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย

- ต้องติดตั้งสลักบนกรอบก่อนเสมอ (CAPO-Test วิธีการนี้ไม่เป็นปัญหา)
- ต้องซ่อมแซมบริเวณที่ดึงสลัก
- ลักษณะสัดส่วนของสลักไม่มีมาตรฐานแน่นอน

3.3.1.6. การทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ (Break-off Test)

การทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ โดยการทำให้ผิวของคอนกรีตเป็นร่องลึกรอบ ๆ พอสมควร เกิดเป็นคอร์ขึ้น ใช้แรงในแนวระนาบดันคอร์ให้หักตามผิวของคอร์ แรงนี้จะสามารถนำไปคำนวณหาความเค้นในการหักงอสูงสุด ส่วนการประมาณกำลังต้านทานแรงอัด สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงหักงอกับกำลังต้านทานแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 วิธีการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์

จากรูปที่ 3.26 ฝังแบบรูปกระบอกกลมทำด้วยพลาสติก คอนกรีตประเภทใช้ฉาบหรือเทพื้น เพื่อทำให้เกิดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มม. ความยาว 70 มม. เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงแกะแบบออกมา จากนั้นใช้แรงกระทำบนผิวคอร์ด้วยอุปกรณ์ไฮดรอลิก เพื่อทำให้คอร์หัก แรงหักงอสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$f_b = \frac{M}{Z} = \frac{P_0 \times h}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{P_0 \times h}{\frac{\pi (55)^3}{32}} \qquad (3.3)$$

เมื่อ f_b = แรงที่ใช้ในการหักงอ

P_0 = แรงกระทำต่อคอร์ที่วัดได้จากโหลดเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

- เสาหรือกำแพงไม่สามารถฝังแบบไว้ล่วงหน้าได้ ดังนั้นหลังจากที่แข็งตัวจึงทดสอบด้วยวิธีขุดคอร์
- ใช้ประมาณค่ากำลังต้านทานแรงอัดของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต ตัดสินระยะเวลาของการถอดแบบ และควบคุมดูแลการบ่มคอนกรีตในระยะแรก

ข้อควรระวัง

- ชิ้นวัสดุทดสอบ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นวัสดุทดสอบน้อย ถ้าเม็ดขนาดของวัสดุโครงสร้างใหญ่จะทำให้ได้ค่าที่มีการกระจายตัวได้ง่าย
- คอนกรีตที่มีความแข็งแรงมากค่าผิดพลาดจะมากขึ้น

ข้อดี

- เนื่องจากเป็นการทดสอบความแข็งแรงภายในคอนกรีต ดังนั้นจึงไม่อิทธิพลของความชื้นแห้งบริเวณผิว
- สามารถเพิ่มจุดทดสอบได้อย่างมีแบบแผน

ข้อเสีย

- หลังจากการทดสอบแล้วต้องดึงคอร์ออกและซ่อมแต่งให้เรียบร้อย

3.3.1.7. การทดสอบโดยใช้วิธีดึงคอร์ให้หัก (Pull-off Test)

มาตรฐานที่ใช้

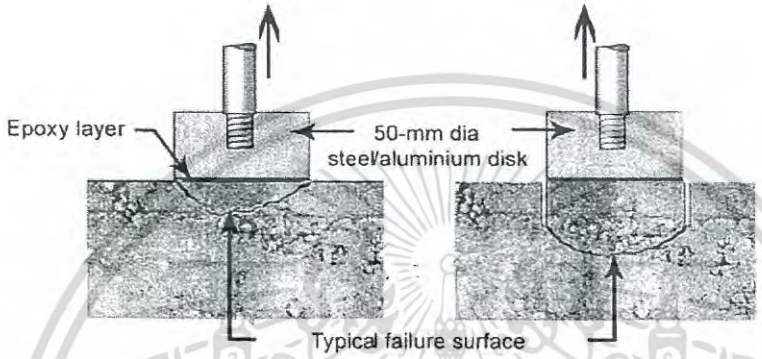
- ASTM C 1583 : Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)

วิธีการทดสอบนี้เป็นการวัดกำลังรับแรงดึงของโครงสร้างคอนกรีต โดยกำลังรับแรงอัดจะสัมพันธ์กับกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต ซึ่งหาจากกราฟความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงดึงของคอร์กับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้าก็จะสามารถหากำลังต้านแรงอัดได้ บางครั้งใช้ในการทดสอบการเชื่อมประสานกันระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ในงานซ่อมแซมคอนกรีต รายละเอียดการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.26 โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

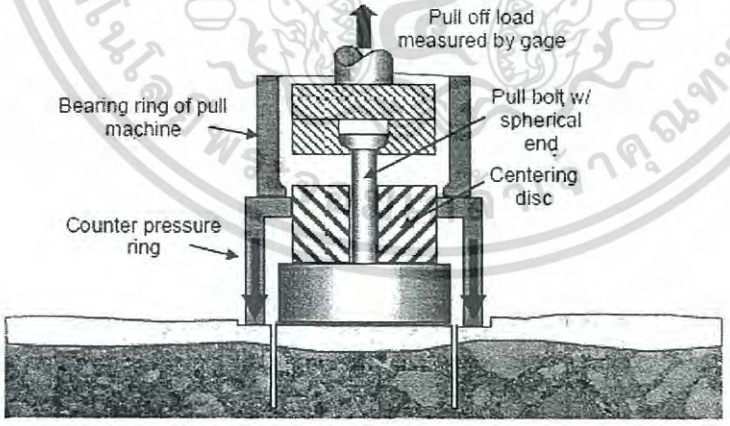
1) รูปแบบที่ 1 เป็นการเชื่อมยึดติดด้วยกาวระหว่างผิวสัมผัสของเครื่องมือทดสอบกับพื้นผิวคอนกรีต หลังจากนั้นทำการดึงเครื่องมือตามแนวแกนจนกระทั่งชิ้นส่วนคอนกรีตหลุดออกมา หากำลังต้านทานแรงดึง

2) รูปแบบที่ 2 โดยการทำคอร์ให้ลึกพอสมควร เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. จากนั้นทำการยึดติดด้วยกาวระหว่างเครื่องมือวัดและพื้นผิวคอนกรีตและทำการดึงขึ้นจากจุดแกนของคอร์ตามแนวแกนคอร์จนกระทั่งคอร์หัก หากำลังต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.26 วิธีการทดสอบ โดยวิธีดึงคอร์ให้หัก

วิธีการดึงคอร์นั้นกระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีแหวนดึงพิเศษดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.27 หรือสามารถดึงด้วยวิธีการใช้อีพอกซี่เรซิน เป็นการยึดให้คอร์และแผ่นเหล็กกลมติดกัน



รูปที่ 3.27 แสดงอุปกรณ์ทดสอบการดึงคอร์ให้หัก

การใช้งาน

- เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบ โดยวิธีการหักคอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง

- เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์

คุณสมบัติพิเศษ

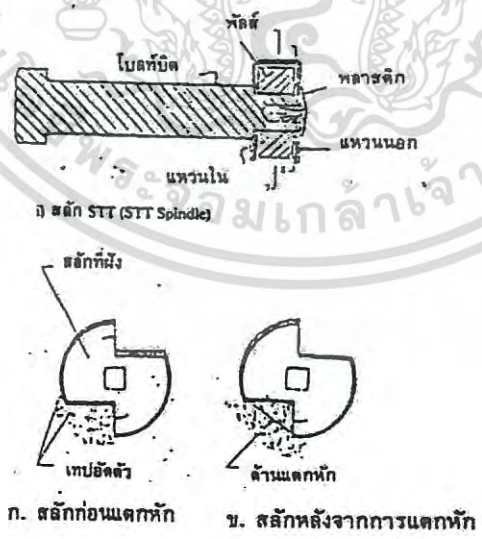
- เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ บริเวณที่แตกหักของคอนกรีตอาจจะใช้แรงยึดคอนกรีตกับปูนเข้าด้วยกัน

3.3.1.8. การทดสอบโดยวิธีใช้แรงบิด (Stool Torque Test: STT)

หลักการ

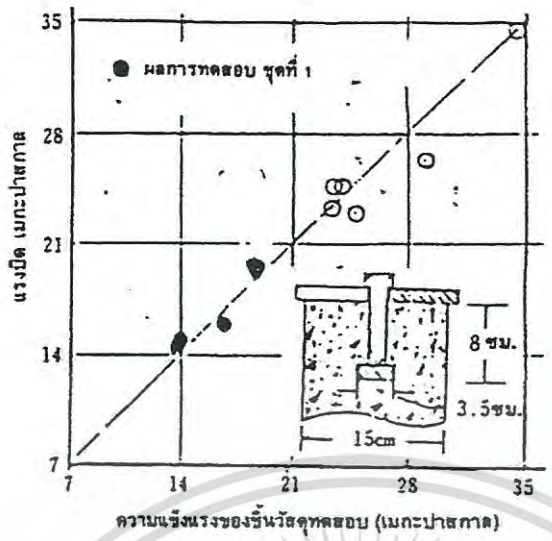
ใช้สลักพิเศษฝังเข้าไปในคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงใช้แรงจากภายนอกบิดสลัก แล้วหาแรงบิดดังกล่าว จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้าหน้านี้ จึงสามารถประมาณหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดได้

วิธีการดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.28 ฝังสลัก (Spindle) ไว้ในคอนกรีต ใช้มือหมุนที่จับจากภายนอกบิดให้สลักหักแล้วจึงหาค่าแรงบิด รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการทดสอบ



รูปที่ 3.28 แสดงการทดสอบการบิดให้แตกหัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความแข็งแรงของชิ้นวัสดุทดสอบ

การใช้งานเพื่อประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตสิ่งก่อสร้าง

ข้อควรระวัง

- เนื่องจากมีเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบด้วยวิธีนี้ไม่มาก ซึ่งควรพิจารณาการใช้งานเป็นพิเศษ

คุณสมบัติพิเศษ

- ทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตภายใน
- การแตกหักเกิดขึ้นภายในวัสดุ
- เมื่อดึงโบลท์บิดออกแล้ว ต้องซ่อมแซมรูที่ทำการทดสอบด้วย

3.3.1.9. การประมาณความแข็งแรงจากระดับที่แข็งตัว (Strength Estimation by Maturity)

มาตรฐานที่ใช้

- ASTM C 1074 : Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method
- SHRP C 376 : Manual on Maturity and Pullout for Highway Structures

ตามมาตรฐาน ASTM C 1074 [28] ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับเทคนิควิธีการประมาณค่าความแข็งว่า เป็นเทคนิควิธีการประมาณกำลังรับแรงของคอนกรีตบนสมมติฐานที่ว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการผสมที่ถูกต้องจะให้ค่ากำลังเทียบเท่าโดยที่มีดัชนีระดับความแข็งที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีความแข็ง เป็นตัวชี้วัดความแข็งสามารถคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิการแข็งตัวของปูนซีเมนต์โดยใช้ฟังก์ชั่นการแข็งตัว โดยดัชนีความแข็งแบ่งออกเป็น 2 ดัชนีด้วยกัน คือ

1) ดัชนีความแข็งด้านอุณหภูมิและเวลา [Temperature-Time Factor (TTF)] สามารถคำนวณหาค่าดัชนีได้จากสมการที่ 3.4

$$M(t) = \sum (T_a - T_0)\Delta t \tag{3.4}$$

เมื่อ $M(t)$ = ระดับความแข็งตัวของปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่อายุ t (^{0}C ชั่วโมง หรือ ^{0}C วัน)

T_a = อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา Δt ($^\circ$C)

T_0 = อุณหภูมิอ้างอิง ($^\circ$C)

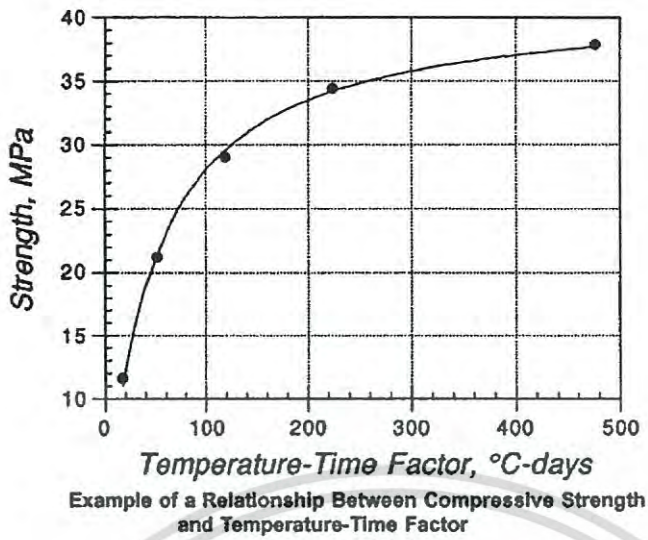
Δt = ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง (ชั่วโมง หรือ วัน)

การกำหนดอุณหภูมิอ้างอิง (Datum Temperature, T_0) สามารถกระทำได้ดังนี้

- โดยการกำหนดไว้ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา ซึ่งอุณหภูมิที่กำหนดนี้ไม่ส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีต
- อุณหภูมิอ้างอิงจะขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ น้ำยาผสมคอนกรีต อุณหภูมิของคอนกรีตขณะแข็งตัว
- มาตรฐาน ASTM C 1074 กำหนดอุณหภูมิอ้างอิงที่ 0 $^\circ$C สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I โดยไม่ใส่น้ำยาผสมเพิ่ม

ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของคอนกรีตกับระดับการแข็งตัว (Maturity) โดยวิธีนี้แสดงดังรูปที่ 3.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทางแรงอัดกับปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลา

2) ดัชนีความแข็งเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิจำเพาะ (Equivalent Age at a Specified Temperature)

การเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิจำเพาะ เป็นจำนวนของวันหรือชั่วโมงที่อุณหภูมิจำเพาะกำหนด โดยระดับความแข็งที่ได้รับจะเท่ากับระดับความแข็งที่เทียบกับช่วงระยะเวลาการบ่มที่อุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิจำเพาะ คำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$t_e = \sum e^{-Q\left(\frac{1}{T_a}-\frac{1}{T_s}\right)}\Delta t \qquad (3.5)$$

เมื่อ t_e = การเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิจำเพาะ T_s, (ชั่วโมงหรือวัน)

Q = พลังงานที่ถูกกระตุ้นต่อค่าคงที่ของก๊าซ (K)

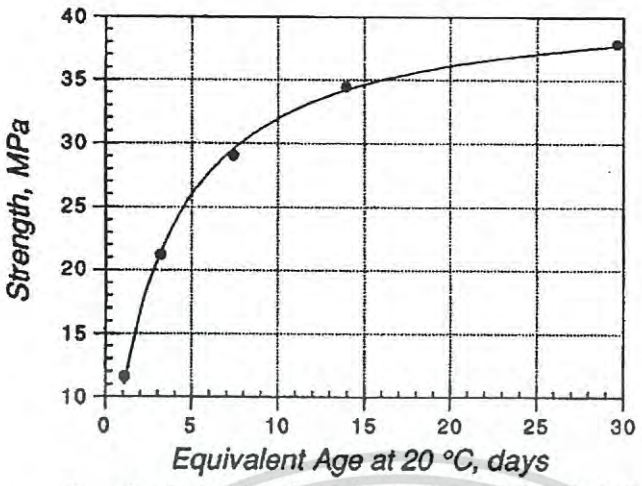
T_a = อุณหภูมิเฉลี่ยของคอนกรีตในช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง Δt , (K)

T_s = อุณหภูมิจำเพาะ (K)

Δt = ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง (ชั่วโมง หรือ วัน)

ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของคอนกรีตกับระดับการแข็งตัว (Maturity) โดยวิธีการเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิจำเพาะ แสดงดังรูปที่ 3.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับการเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิ 20 °C

<u>*วิธีการทดสอบ*</u> แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับระดับการแข็งตัว (Maturity) โดยทดสอบในห้องปฏิบัติการ
2) ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณวัดระดับการแข็งตัว (Maturity Sensors) ที่ชิ้นส่วนคอนกรีตหน้างาน
3) อ่านค่าระดับการแข็งตัวจากตัวส่งสัญญาณ
4) นำข้อมูลที่ได้หาความแข็งแรงของคอนกรีต

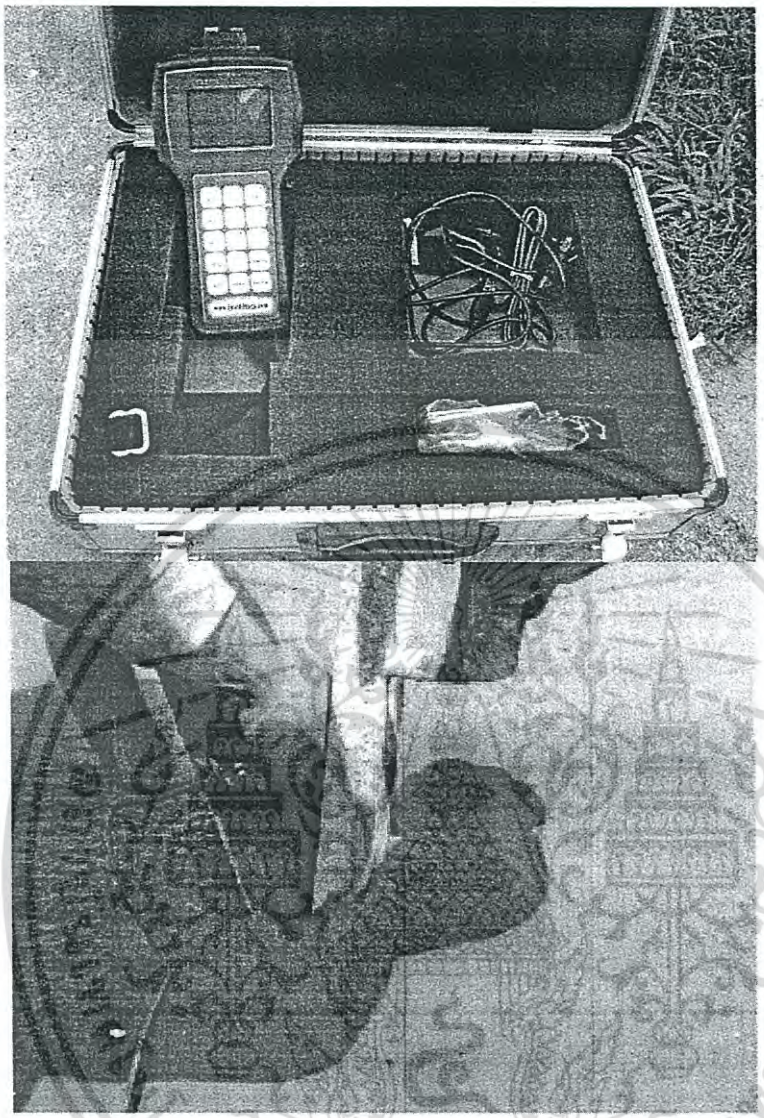
<u>ข้อดี</u>

1) การทดสอบทำได้ง่าย
2) ค่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบเชื่อถือได้แต่ต้องกระทำตามขั้นตอนที่ถูกต้อง
3) เหมาะสำหรับการประมาณกำลังของคอนกรีตหล่อในที่

<u>ข้อเสีย</u>

1) จำเป็นต้องสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับระดับการแข็งตัวในห้องปฏิบัติการก่อนนำไปทดสอบภาคสนาม
2) สัดส่วนผสมคอนกรีตต้องไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดสอบ
3) ไม่สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการบ่มได้
4) คอนกรีตที่ทำการทดสอบต้องได้รับการบ่มที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 แสดงภาพเครื่องมือทดสอบ ตัวอย่างการวัดวัดระดับการแข็งตัว (Maturity) และการวัด

3.3.1.10. วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายผสม (Combined Nondestructive Testing Method)

เป็นที่ยอมรับกันว่าการรวมวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย 2 ชนิดเข้าด้วยกัน จะทำให้ได้ความละเอียดกว่าวิธีการทดสอบแบบเพียงชนิดเดียว

ความคิดที่ใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายผสมนี้ ก็ต้องการที่จะให้ได้การประมาณค่าที่มีความละเอียดแน่นอนยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มตัวแปรต่าง ๆ ตามลำดับในสมการที่ใช้ในการประมาณค่าความแข็งแรง ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานกำลังอัดของคอนกรีต กับค่าที่วัดได้ในการทดสอบแบบไม่ทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) วิธีการทดสอบผสมแบบวัดจำนวนครั้งการสะท้อนกับความเร็วคลื่นอัลตร้าโซนิค วิธีการทดสอบแบบวัดจำนวนครั้งการสะท้อนและความเร็วเสียงนั้น ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ผ่านมา การทดสอบใช้วัสดุในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ โดยใช้อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ 3 ประเภท

สมการประมาณความแข็งแรง สามารถหาได้จากสมการใดสมการหนึ่งดังนี้

$$F_c = R + k_2 V_p + C \tag{3.6}$$

$$\log F_c = k_1 R + k_2 V_p + C \tag{3.7}$$

เมื่อ F_c = กำลังต้านทานแรงอัด

R = จำนวนครั้งการสะท้อน

V_p = ความเร็วเสียง

k_1, k_2, C = ค่าคงที่ของการทดลอง

สมการที่ได้จากการทดลองจากสมการ 3.6 แสดงไว้ในสมการ 3.8 และ 3.9 ซึ่งเป็นเพียงตัวอย่างที่จะต้องทำการพิสูจน์ทดลองกันต่อไป

คอนกรีตธรรมดา :

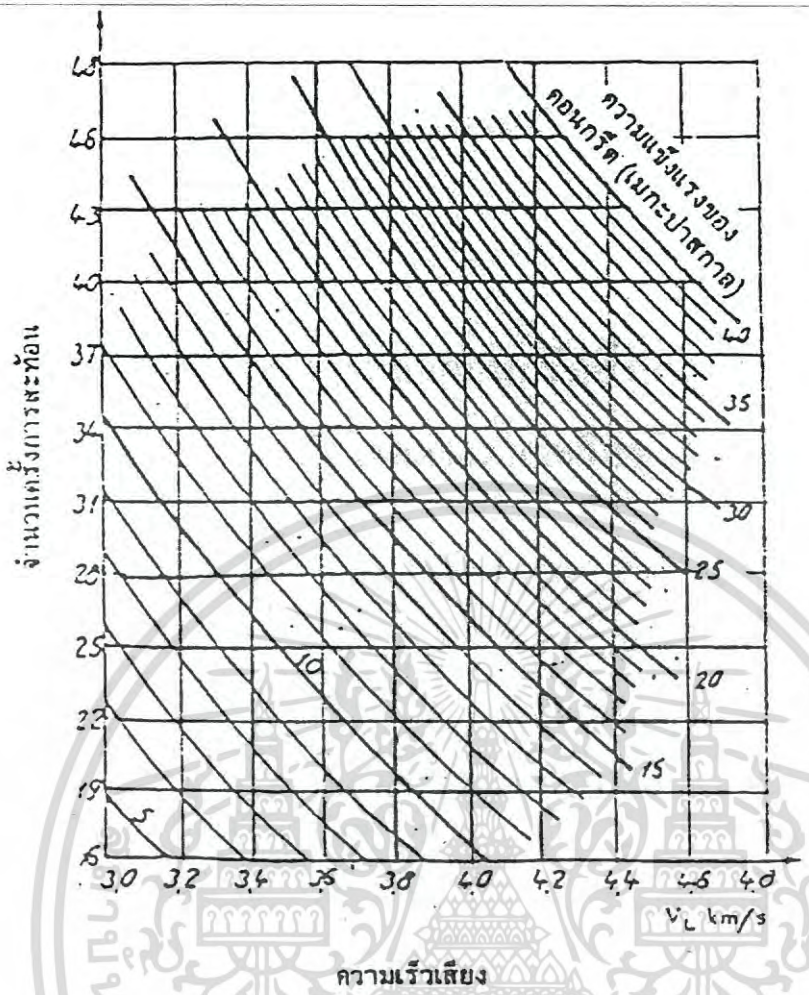
$$F_c = 8.2R + 269V_p - 1094\left(\frac{kg}{cm^2}\right) \tag{3.8}$$

คอนกรีตมวลเบา :

$$F_c = 4.1R + 344V_p - 1022\left(\frac{kg}{cm^2}\right) \tag{3.9}$$

รูปที่ 3.33 เป็นรูปแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและจำนวนครั้งการสะท้อนกับกำลังต้านทานแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของ ISO โดยความเร็วเสียงและจำนวนครั้งการสะท้อน (SONRER)

3.3.2 การทดสอบแบบทำลายเพื่อหาแรงต้านทานกำลังอัดคอนกรีต

3.3.2.1 การทดสอบแบบกำลังอัดโดยตรง โดยใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)

เป็นการทดสอบโดยใช้น้ำหนักกระทำต่อคอนกรีตจริง ๆ โดยที่คอนกรีตจะมีความสามารถในการรับกำลังอัดค่าต่าง ๆ กัน เมื่อคอนกรีตได้รับน้ำหนักจนไม่สามารถต้านทานแรงกดได้ คอนกรีตก็จะเกิดการพังวิบัติ

การทดสอบทำได้โดยการนำตัวอย่างคอนกรีตซึ่งอาจได้จากการหล่อคอนกรีตซึ่งแบ่งออกเป็นแบบ Cylinder และ Cube หรือได้จากการ Coring มาทำการรับน้ำหนักโดยตรงจากเครื่อง UTM จากนั้นนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาค่าแรงต้านทานกำลังอัดคอนกรีตจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad (3.10)$$

โดยที่ σ = ความสามารถในการรับแรงอัด (ksc)

P = น้ำหนักประลัย (kg.)

A = พื้นที่ที่รับน้ำหนัก (cm^2)

ข้อควรระวัง

1) ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบมีการบ่มชื้น หากเป็นตัวอย่างทดสอบรูปลูกบาศก์ต้องเช็ดผิวให้แห้งและทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง และหากเป็นตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกต้องเช็ดผิวให้แห้ง และเคลือบผิวหน้าตัวอย่างทดสอบ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงแล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง

2) ถ้าคอนกรีตในโครงสร้างขณะใช้งานอยู่ในลักษณะแห้ง ต้องผึ่งตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะไว้ให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 7 วันก่อนการทดสอบ ถ้าคอนกรีตในโครงสร้างขณะใช้งานอยู่ในลักษณะเปียก ให้แช่ตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะไว้ในน้ำอย่างน้อย 40 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบในขณะที่ตัวอย่างเปียก

3) การชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ ให้ชั่งน้ำหนักเฉพาะตัวอย่างทดสอบไม่รวมน้ำหนักของวัสดุที่เคลือบผิวหน้า

4) ควรมีการตรวจสอบเครื่องกดที่ใช้งานประจำสม่ำเสมออย่างน้อยปีละครั้ง หากสงสัยว่าเครื่องทดสอบอาจให้ผลทดสอบไม่ถูกต้อง หรือหลังจากการซ่อมหรือประกอบใหม่ให้ทำการตรวจสอบทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนผสมคอนกรีตในแต่ละช่วงกำลังอัด

วัสดุผสมคอนกรีต (ต่อ ลบ.ม.)	สัดส่วนผสมในแต่ละช่วงกำลังอัด			
	200	**300**	**400**	**HPC**
w/c ratio	0.62	0.48	0.38	0.25
ปูนซีเมนต์ (กก.)	323	417	527	420
น้ำ (ลิตร)	200	200	200	42
มวลรวมหยาบ (กก.)	1,064	1,064	1,064	1,300
มวลรวมละเอียด (กก.)	791	712	619	850
สารผสมเพิ่ม (ลิตร)	-	-	-	63
Slump (ซม.)	10	9	9	16
อายุของตัวอย่าง (วัน)	28	28	28	28
จำนวนตัวอย่าง (ก้อน)	**60**	**60**	**60**	**30**

4.2.2 การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตใช้เครื่องโม่ โดยการป้อนวัตถุดิบลงเครื่องผสมนั้นขั้นตอนดังนี้

1 เติมน้ำประมาณ 10% ลงในเครื่องผสมก่อนเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียน้ำเนื่องจากภายในโม่ผสมแห้ง ลดความคลาดเคลื่อนของส่วนผสม

2 ป้อนมวลรวม อันได้แก่ หินและทรายเข้าเครื่องผสม คลุกเคล้าให้เนื้อมวลรวมเข้ากันอย่างทั่วถึง

3 เริ่มเติมปูนซีเมนต์หลังจากป้อนมวลรวมเข้าไปแล้วประมาณ 10%

4 เติมน้ำ 80% ระหว่างป้อนวัสดุอื่น ๆ และเติมน้ำ 10% สุดท้ายเมื่อวัสดุอื่น ๆเข้าเครื่องหมดแล้ว

5 หากมีการใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทผง ควรผสมรวมกับปูนซีเมนต์ก่อน หากเป็นของเหลว ควรละลายน้ำยาผสมกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

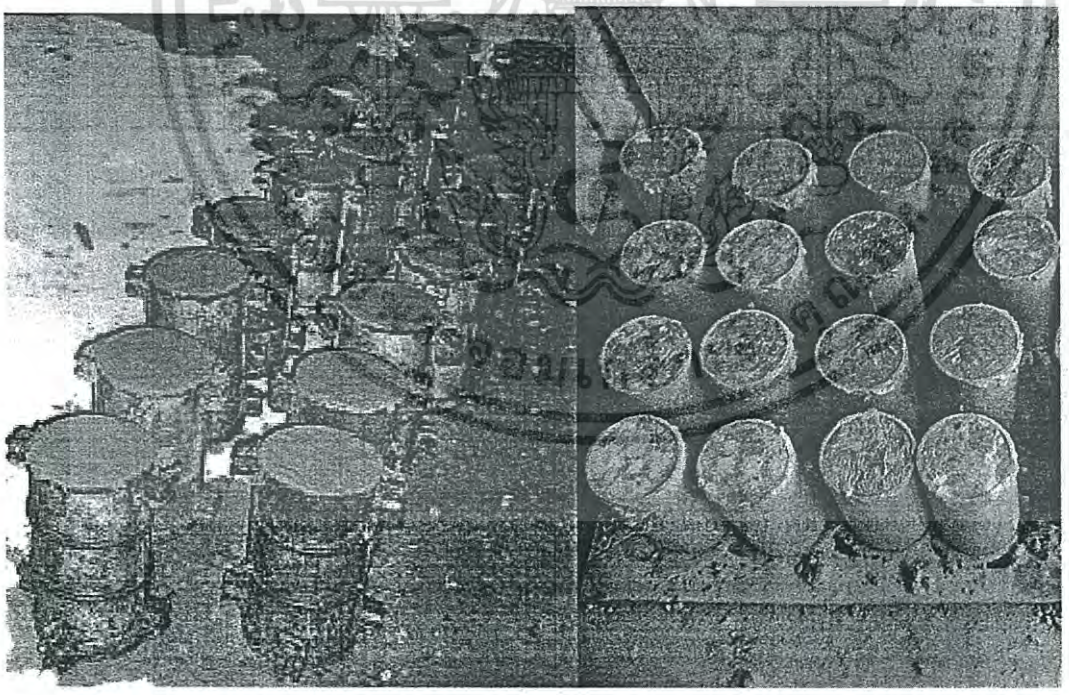
4.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบนั้นจะแบ่งออกเป็นตัวอย่างที่ได้จากการเทหล่อคอนกรีตลงให้แบบทรงกระบอก และการ Coring จากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้เทไว้เป็นก้อนขนาดใหญ่เนื้อวัสดุเดียวกัน

4.3.1 การเตรียมตัวอย่างด้วยการเทหล่อ

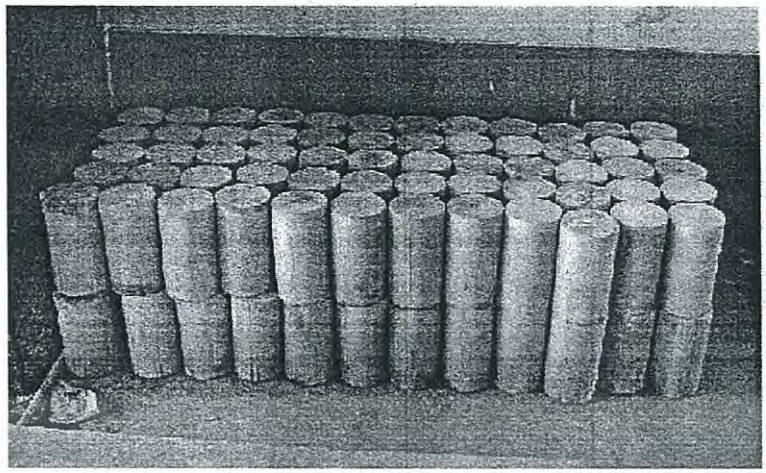
การเทหล่อตัวอย่างแต่ละช่วงกำลังอัด จะใช้คอนกรีตที่ผ่านการผสมโม่เดียวกันทั้ง 30 ก้อนตัวอย่าง โดยช่วงกำลังอัด 200, 300 และ 400 ksc ใช้แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C 192/C 192M-98 การหล่อคอนกรีตและการบ่มตัวอย่างคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 4.1และช่วงกำลังอัด 800 ksc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 15 ซม. จำนวนตัวอย่าง 30 ก้อนตัวอย่าง

ตัวอย่างคอนกรีตทิ้งไว้ที่ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการถอดแบบและบ่มตัวอย่างในบ่อน้ำบ่มลูกปูนเป็นเวลา 27 วัน นำก้อนตัวอย่างทั้งหมดผึ่งให้แห้ง และแบ่งก้อนตัวอย่างตามช่วงกำลังอัดเพื่อทำการเตรียมปลายตัวอย่างต่อไป ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการบ่มที่ 28 วัน

4.3.2 การเตรียมตัวอย่างด้วยการ Coring

การ Coring จากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้ออกแบบและผสมไว้แล้ว ส่วนผสมคอนกรีต วิธีการบ่มคอนกรีตจะเหมือนกันการเทหล่อคอนกรีต โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงกำลังอัดคอนกรีต คือ 200, 300 และ 400 ksc แต่ละช่วงแบ่งอย่างละ 30 ตัวอย่าง เมื่อทำการเทคอนกรีตเสร็จแล้ว ทำการบ่มคอนกรีตเป็นเวลา 27 วันก่อนนำขึ้นมาพักน้ำ จากนั้นจะทำการใช้เครื่อง Coring ตัดคอนกรีตออกเป็นก้อนตัวอย่างทรงกระบอกของเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. เป็นไปตามมาตรฐานการ Coring ตัวอย่างคอนกรีต ASTM C 42 ดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 แสดงภาพการเก็บตัวอย่างคอนกรีต โดยการCoring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเตรียมปลายตัวอย่าง

เมื่อตัวอย่างคอนกรีตได้รับการบ่มครบ 28 วันแล้ว นำมาคัดแยกตามช่วงกำลังอัดและในแต่ละช่วงกำลังอัดทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 ส่วนเพื่อทำการเตรียมปลายตัวอย่าง โดยทำการเจียรปลายตัวอย่าง 10 ก้อน ใช้การแผ่นยางรองปลายตัวอย่าง 10 ก้อน และที่เหลืออีก 10 ก้อนเตรียมปลายตัวอย่างโดยการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน รวมตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 180 ก้อนในการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างที่แตกต่างกัน การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด

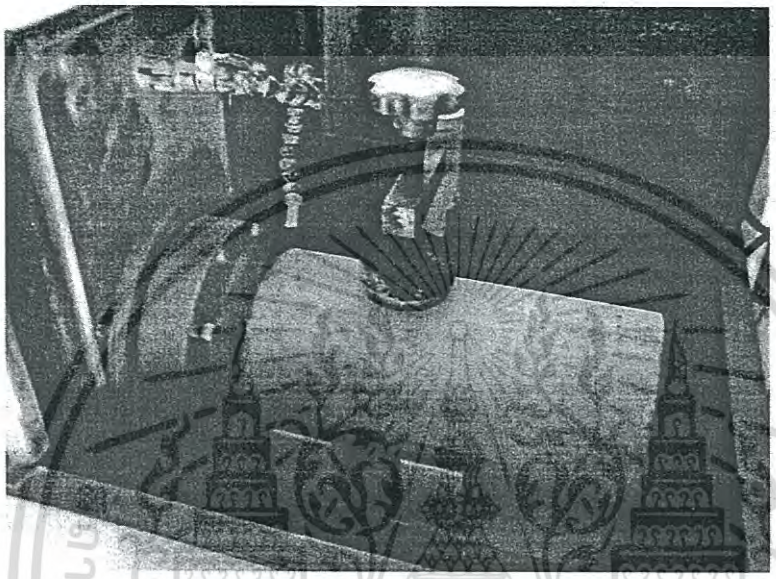
การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต		ช่วงกำลังอัด				
		200 ksc	300 ksc	400 ksc	800 ksc	รวม
ตัวอย่างจากการเทหล่อ	การเคลือบผิวด้วยกำมะถัน	10	10	10	10	40
	การใช้แผ่นยางรอง	10	10	10	10	40
	การเจียรปลาย	10	10	10	10	40
ตัวอย่างจากการ Coring	การเคลือบผิวด้วยกำมะถัน	10	10	10	-	30
	การใช้แผ่นยางรอง	10	10	10	-	30
	การเจียรปลาย	10	10	10	-	30
รวม		60	60	60	30	210

4.4.1 การเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลาย

การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตได้ใช้เครื่องเจียรปลาย โดยตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39/C 39M-99 มีความเรียบสม่ำเสมอและตั้งฉากกับแกนตัวอย่าง การเจียรปลายตัวอย่างนั้นกระทำเพียงด้านบนเพียงด้านเดียวเท่านั้น ส่วนด้านที่เหลือมีความเรียบสม่ำเสมอและตั้งฉากกับแกนตัวอย่างอยู่แล้ว เครื่องเจียรที่ประดิษฐ์ขึ้นมานี้จะมีอุปกรณ์จับยึดตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.4 ยึดตัวอย่างให้แน่นและชุดอุปกรณ์การเจียรจะทำการเจียรปลายตัวอย่างจากด้านหนึ่งสู่อีกด้านหนึ่ง ทำการเจียรผิววัสดุที่ไม่เรียบออกไปจนกระทั่งผิวปลายตัวอย่างมีความเรียบและตั้งฉากกับแกนตัวอย่าง การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตจะเจียรผิวออกประมาณไม่เกิน 2.00 มม. ระยะเวลาการเจียรปลายตัวอย่างใช้เวลาเพียง 3 – 4 นาทีต่อการเจียรปลายตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เพื่อการค้า

หนึ่งด้าน สังเกตได้ว่าการเจียรปลายตัวอย่างด้วยวิธีนี้ใช้เวลาน้อยมากและข้อดีของวิธีนี้ คือ เมื่อเจียรปลายตัวอย่างเสร็จเช็ดก้อนตัวอย่างให้แห้งและสามารถทำการทดสอบกำลังได้ทันที รูปที่ 4.5 แสดงก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลาย



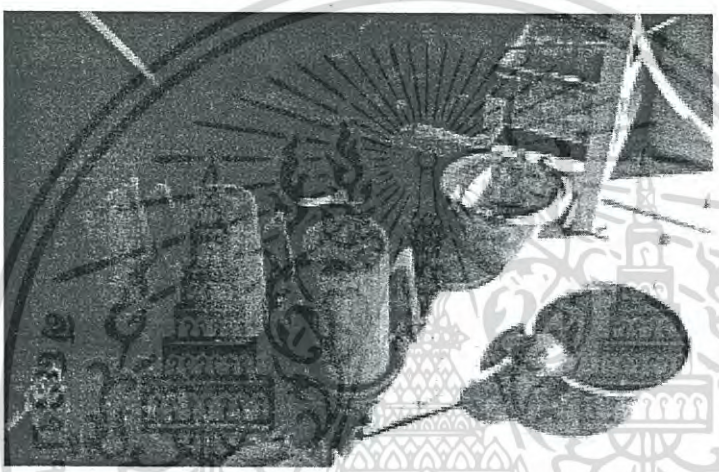
รูปที่ 4.4 อุปกรณ์การจับยึดตัวอย่างของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายด้วยเครื่องเจียร

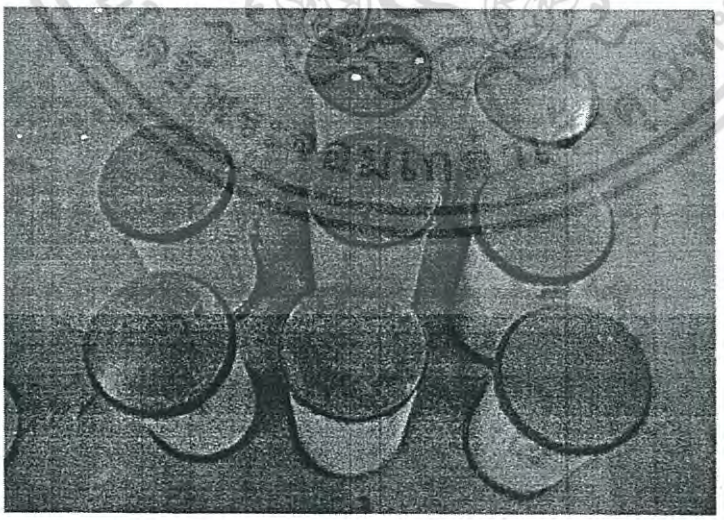
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน

เมื่อตัวอย่างทำการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน จำเป็นต้องทิ้งตัวอย่างไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบกำลังอัด ทั้งนี้เพื่อให้กำมะถันแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันดังแสดงในรูปที่ 4.6 กำมะถันสำหรับการเคลือบปลายใช้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ไม่ควรใช้กำมะถันนำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากจะมีเศษคอนกรีต ฝุ่น และทรายปนกลับมาทำให้คุณภาพของกำมะถันลดลง นอกจากนี้กำมะถันที่นำกลับมาใช้อีกหรือที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้มหลายครั้งจะมีกำลังลดต่ำลง วิธีการดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 617-98 รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน



รูปที่4.6 การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน

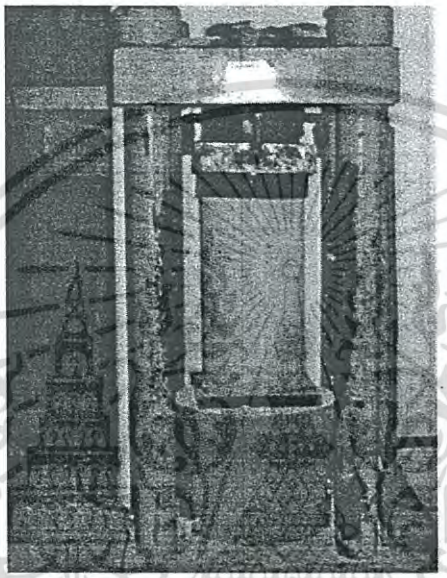


รูปที่ 4.7 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การใช้แผ่นยางรองในการทดสอบ

อ้างอิงมาตรฐานการทดสอบการกำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้วัสดุรองปลายตัวอย่าง ASTM C 1231 ระบุได้ว่าแผ่นยางควรมีความหนาประมาณ 12.50 มม. (คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 2.00 มม.) เบ้ากันยางเสียรูปควรทำด้วยวัสดุเหล็ก มีความลึกเบ้าอย่างน้อย 2 เท่าของความหนาแผ่นยาง เบ้าควรมีหน้าตัดอย่างน้อย 102% ของหน้าตัดตัวอย่างคอนกรีต ที่เหมาะสมคือ 107% ของหน้าตัดตัวอย่างคอนกรีต ดังรูปที่ 4.8 แสดงการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างในการทดสอบการรับแรงอัด

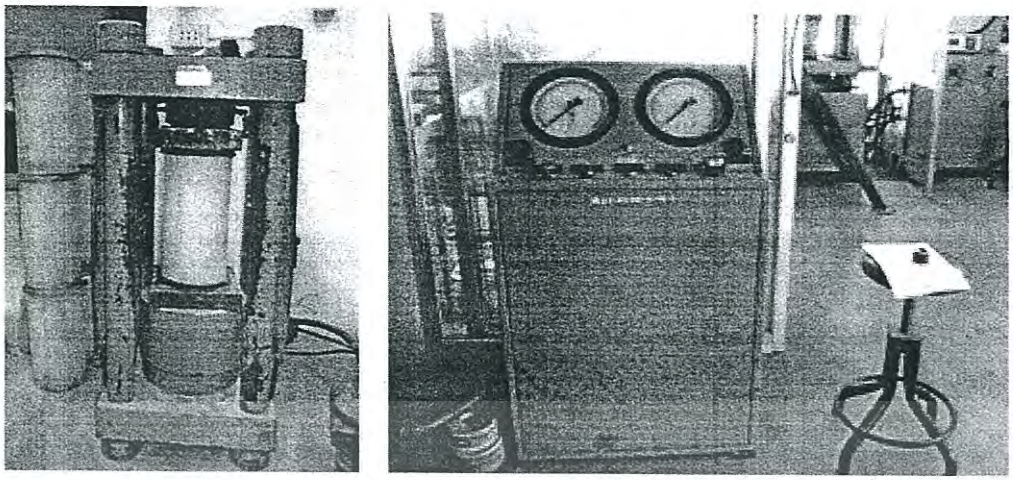


รูปที่ 4.8 แสดงการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับการทดสอบการรับแรงอัด

4.5 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกใช้เครื่องทดสอบแรงอัด (Compression Machine) โดยทำการกดตัวอย่างคอนกรีตจนพังทลาย การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตเป็นไปตาม ASTM C 39/C 39M-99 มาตรฐานวิธีการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก รูปที่ 4.9 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตจากการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธีต่าง ๆ โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบนั้น ได้มาจากการหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกและจากการคว้านตัวอย่างคอนกรีตเป็นทรงกระบอก (Coring) เพื่อเปรียบเทียบค่าของการทดสอบ ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ และวิเคราะห์ความเหมาะสมการเลือกใช้วิธีการเตรียมปลายสำหรับการทดสอบ

5.2 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบจะแบ่งผลออกเป็น 2 ส่วน คือค่าการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างจากการหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก และตัวอย่างที่ได้จากการ Coring คอนกรีตเป็นทรงกระบอก โดยจะเปรียบเทียบค่าการทดสอบด้วยวิธีการเตรียมปลายตัวอย่าง 3 วิธีด้วยกัน คือการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การเจียรปลายตัวอย่าง และการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่าง

5.2.1 ผลการทดสอบตัวอย่างที่เตรียมด้วยการหล่อคอนกรีตทรงกระบอก

ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของตัวอย่างที่เตรียมด้วยการเทหล่อคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. สำหรับคอนกรีตกำลังอัด 200 300 และ 400 ksc ตัวอย่างขนาด 7.5 ซม. สูง 15 ซม. สำหรับคอนกรีตกำลังอัดสูง 800 ksc โดยการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมด้วยการหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ช่วงกำลังอัด	การเตรียมปลายตัวอย่าง	Mean (ksc)	Std. Dev (ksc)	Coeff. Of Variance	Min. (ksc)	Max. (ksc)	Range (ksc)	จำนวน (ก้อน)
200 ksc	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	360	17.98	4.99%	340	388	48	10
	การเจียรปลาย	383	13.91	3.63%	363	406	43	10
	การใช้แผ่นยางรองปลาย	367	17.03	4.64%	341	396	55	10
300 ksc	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	444	54.89	12.37%	366	516	150	10
	การเจียรปลาย	450	14.35	3.19%	430	473	43	10
	การใช้แผ่นยางรองปลาย	470	31.18	6.63%	421	511	90	10
400 ksc	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	513	60.60	11.81%	440	595	156	10
	การเจียรปลาย	610	43.02	7.05%	550	693	143	10
	การใช้แผ่นยางรองปลาย	561	30.45	5.42%	521	616	95	10
800 ksc	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	650	83.69	12.88%	540	796	255	10
	การเจียรปลาย	843	35.54	4.21%	796	909	113	10
	การใช้แผ่นยางรองปลาย	804	48.27	6.00%	739	871	132	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 ผลการทดสอบตัวอย่างที่ได้จากการ Coring

ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของตัวอย่างที่เตรียมด้วยการคว้านตัวอย่างเป็นรูปทรงกระบอก (Coring) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. สำหรับคอนกรีตกำลังอัด 200 300 และ 400 โดยการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เตรียมด้วยการ Coring

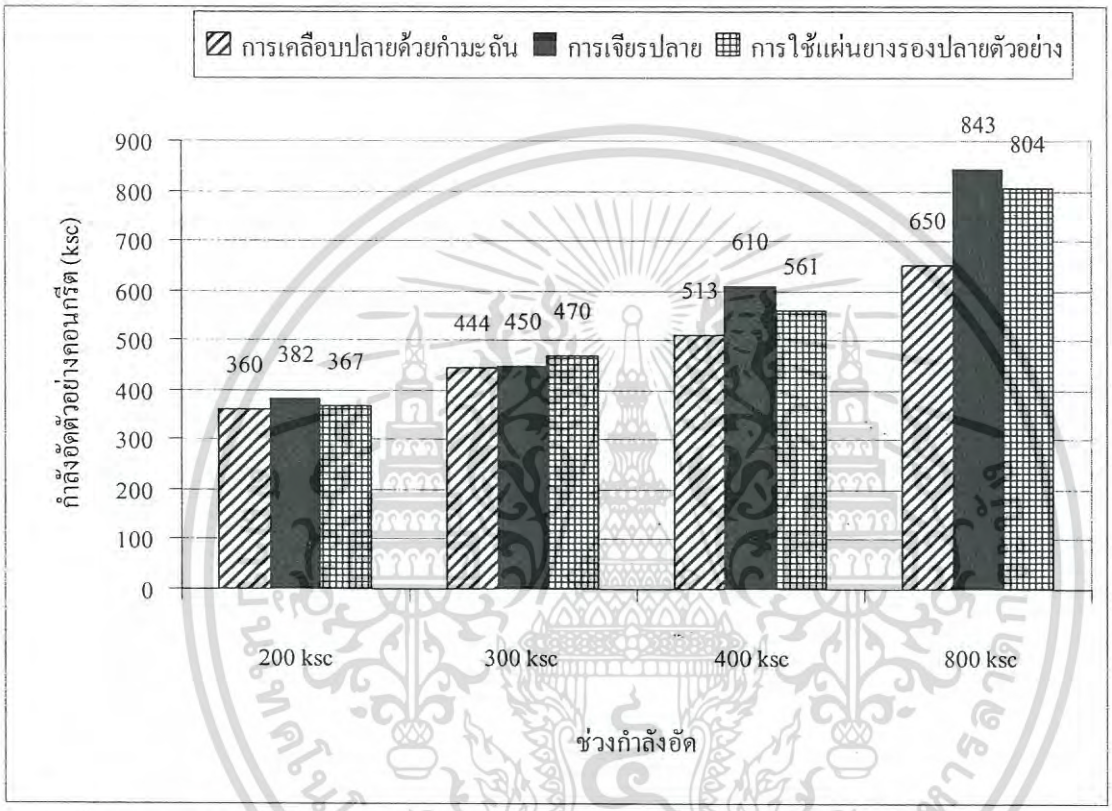
ช่วงกำลังอัด	การเตรียมปลายตัวอย่าง	Mean (ksc)	Std. Dev (ksc)	Coeff. Of Variance	Min. (ksc)	Max. (ksc)	Range (ksc)	จำนวน (ก้อน)
200 ksc	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	254	11.22	4.42%	238	274	36	10
	การเจียรปลาย	254	7.82	3.08%	243	264	21	10
	การใช้แผ่นยางรองปลาย	234	10.11	4.32%	218	252	34	10
300 ksc	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	358	24.93	6.97%	322	407	85	10
	การเจียรปลาย	370	11.54	3.12%	352	386	34	10
	การใช้แผ่นยางรองปลาย	301	20.45	6.79%	274	335	61	10
400 ksc	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	477	54.89	11.50%	384	548	164	10
	การเจียรปลาย	482	20.98	4.35%	453	507	54	10
	การใช้แผ่นยางรองปลาย	463	23.65	5.11%	420	496	76	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 บทวิเคราะห์

5.3.1 การเปรียบเทียบด้านกำลังอัด

5.3.1.1 ตัวอย่างที่ได้จากการหล่อคอนกรีต



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการหล่อในแบบรูปทรงกระบอก

จากผลการทดสอบค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกและตัวอย่างที่ได้จากการ Coring มีผลของการทดสอบค่าการรับกำลังอัดที่สอดคล้องกัน โดยแสดงเปรียบเทียบแต่ละวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังกราฟรูปที่ 5.1 สำหรับตัวอย่างที่ได้จากการเทหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดอย่างคอนกรีต

สำหรับ**คอนกรีตช่วงกำลัง 200 ksc** การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธีการเจียรปลายได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 382 ksc สูงกว่าการเตรียมปลายด้วยวิธีการเคลือบปลาย(360 ksc) อยู่ 18 ksc และมากกว่าการเตรียมปลายด้วยการใช้แผ่นยางรอง (367 ksc) อยู่ 15 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

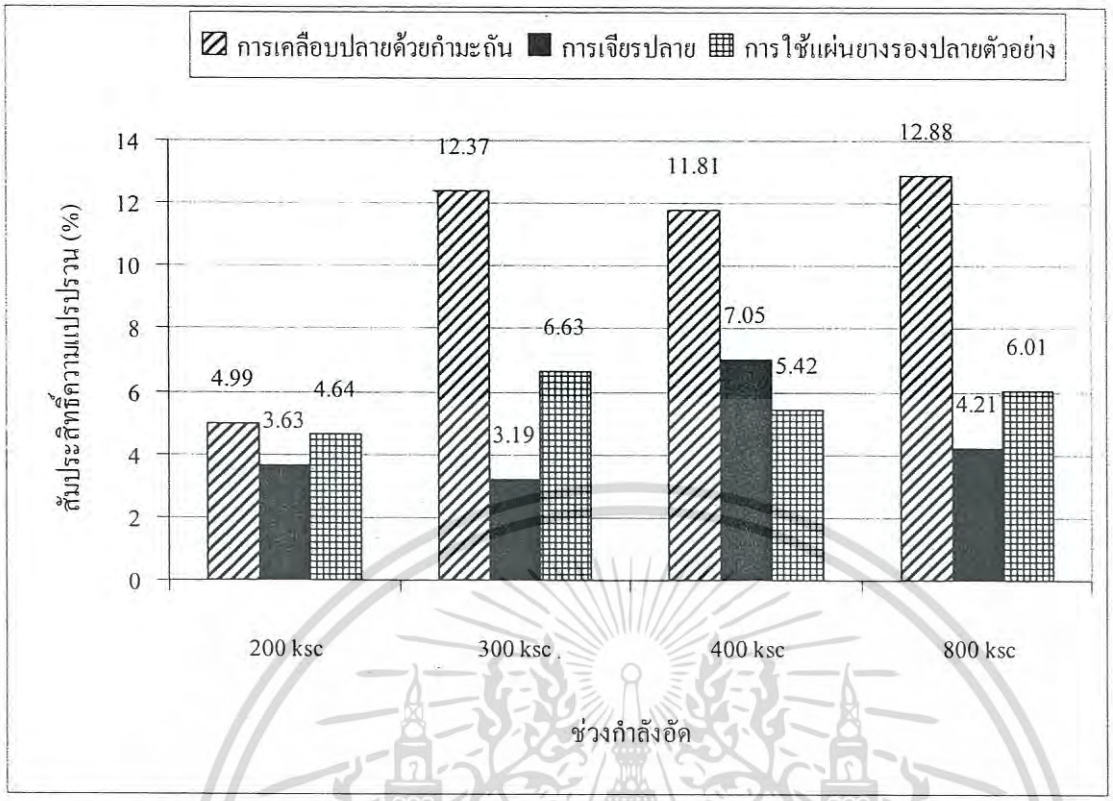
สำหรับ**คอนกรีตช่วงกำลังอัด 300 ksc** การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธีการเจียรปลายได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 450 ksc สูงกว่าการเตรียมปลายด้วยวิธีการเคลือบปลาย(444 ksc) อยู่ 6 ksc แต่น้อยกว่าการเตรียมปลายด้วยการใช้แผ่นยางรอง (470 ksc) อยู่ 20 ksc

สำหรับ**คอนกรีตช่วงกำลังอัด 400 ksc** การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธีการเจียรปลายได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 610 ksc สูงกว่าการเตรียมปลายด้วยวิธีการเคลือบปลาย(513 ksc) อยู่ 97 ksc และมากกว่าการเตรียมปลายด้วยการใช้แผ่นยางรอง (561 ksc) อยู่ 49 ksc

สำหรับ**คอนกรีตช่วงกำลังอัด 800 ksc** ซึ่งเป็นช่วงคอนกรีตกำลังสูง การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธีการเจียรปลายได้ค่ากำลังอัดเฉลี่ย 843 ksc สูงกว่าการเตรียมปลายด้วยวิธีการเคลือบปลาย(650 ksc) อยู่ 193 ksc และมากกว่าการเตรียมปลายด้วยการใช้แผ่นยางรอง (804 ksc) อยู่ 39 ksc

จะเห็นได้ว่าแนวโน้มตัวอย่างที่เตรียมปลายด้วยวิธีการเจียรปลายนั้นจะได้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการเคลือบปลายด้วยกำมะถันทุกช่วงกำลังอัด และมีค่ากำลังอัดมากการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการใช้แผ่นยางรองปลายเกือบทุกช่วงกำลังอัดยกเว้นที่ช่วงกำลังอัดคอนกรีต 300 ksc การใช้แผ่นยางรองปลายให้ค่าการทดสอบกำลังอัดสูงกว่าการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเคลือบด้วยกำมะถันทุกช่วงกำลังอัดคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด จากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเทหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของค่าการทดสอบกำลังรับแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่ได้จากการหล่อจากกราฟรูปที่ 5.2 จะพบว่าสำหรับคอนกรีตช่วงกำลัง 200 ksc (กำลังต่ำ) ค่าความแปรปรวนของตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมปลายด้วยกำมะถัน (4.99%) การเจียรปลายตัวอย่าง (3.63%) และการใช้แผ่นยางรองปลาย (4.64%) มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่การเตรียมปลายตัวอย่างโดยการใช้แผ่นยางรองปลายและการเคลือบด้วยกำมะถันนั้นมีค่าความแปรปรวนมากกว่าการเจียรปลายตัวอย่าง สำหรับช่วงกำลังอัดคอนกรีตที่สูงขึ้นคือ 300, 400 ksc และช่วงคอนกรีตกำลังสูง 800 ksc ค่าความแปรปรวนของการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายด้วยกำมะถันมีค่าสูงขึ้นถึง 12.37%, 11.81% และ 12.88% ตามลำดับ การเตรียมปลายด้วยการเจียรปลายมีค่าความแปรปรวน 3.19%,7.05% และ 4.21 % ตามลำดับซึ่งใกล้เคียงกับช่วงคอนกรีตกำลัง 200 ksc และการเตรียมปลายโดยการใช้แผ่นยางรองปลายให้ค่าความแปรปรวนในช่วงกำลังคอนกรีตที่ 300,400 และ 800 ksc เท่ากับ 6.63%, 5.42 และ 6.00 ซึ่งใกล้เคียงกันทุกช่วงกำลังอัดที่ทดสอบ

ปัจจัยของค่าความแปรปรวนสำหรับการเคลือบปลายด้วยกำมะถันนั้นอาจมีผลเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน ความสามารถการรับกำลังอัดของกำมะถัน

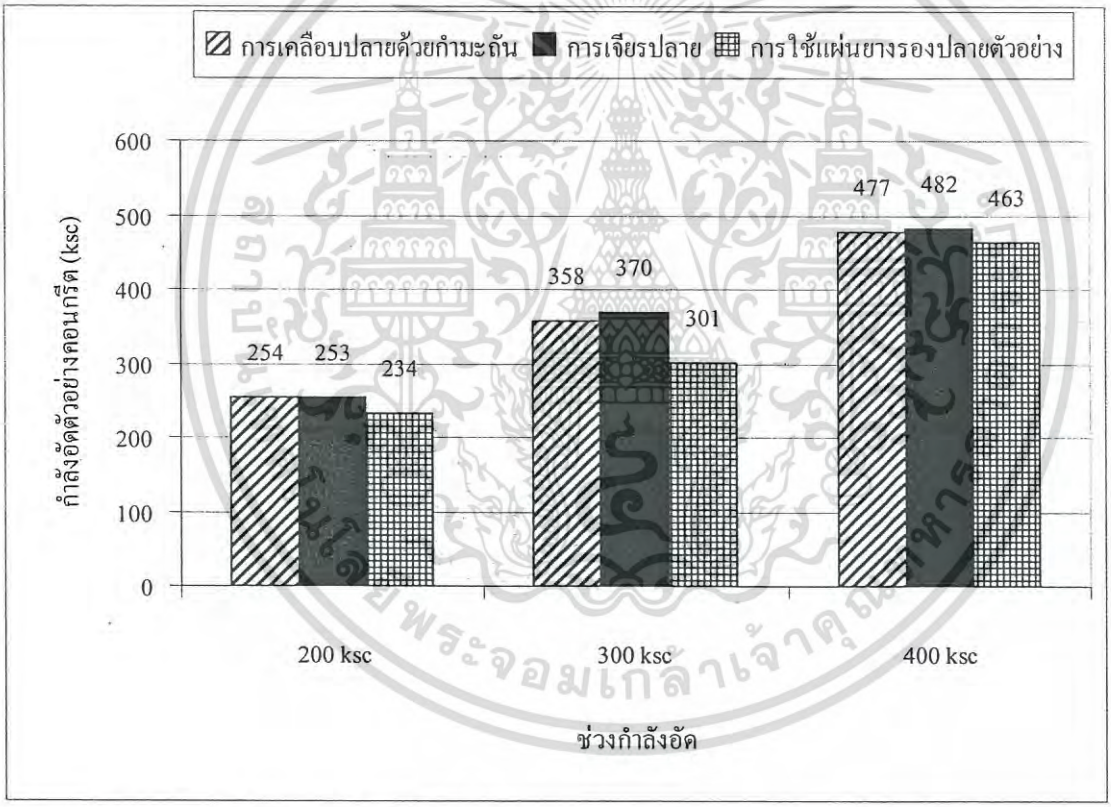
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาจากการเคลือบปลาย ส่งผลทำให้ค่าของผลการทดสอบมีความแปรปรวนมากขึ้นเมื่อกำลังอัดของคอนกรีตมากขึ้น

การเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการใช้แผ่นยางรองปลายให้ค่าความแปรปรวนที่มากกว่าการเจียรปลายเนื่องจากการค่าความผิดพลาดซึ่งเกิดการตัววัสดุแผ่นยางรองปลายตัวอย่างทดสอบ

จะเห็นได้ค่าความแปรปรวนของการเจียรนั้นมีค่าต่ำเนื่องจากการเป็นการทดสอบกับก้อนตัวอย่างโดยตรง ไม่มีความค่าผิดพลาดเนื่องจากวัสดุเคลือบปลายหรือวัสดุรองกด แต่ที่ช่วงกำลัง 300 ksc นั้น การเจียรปลายให้ค่าความแปรปรวนมาก เพราะเนื่องจากการค่าความผิดพลาดจากการทำตัวอย่างทดสอบ

5.3.1.2 ตัวอย่างที่ได้จาก Coring



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring

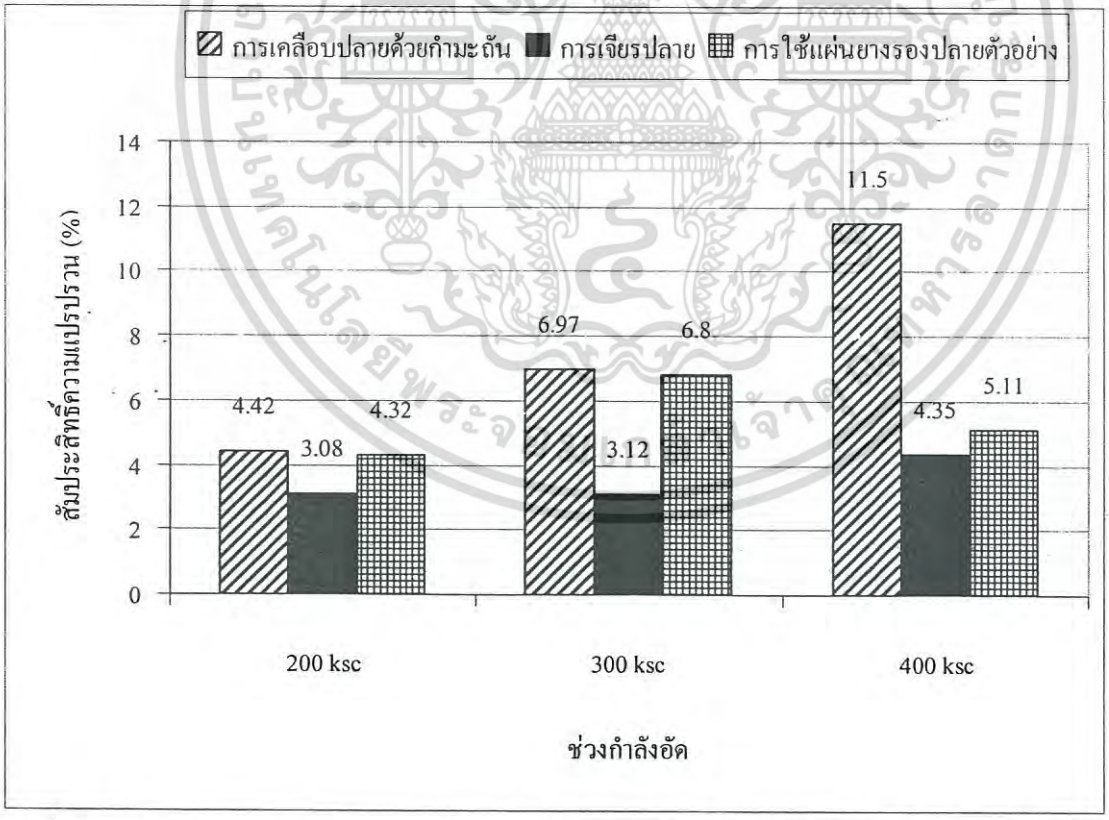
จากกราฟรูปที่ 5.3 สำหรับตัวอย่างที่ได้จากการ Coring ดังนี้ในช่วงกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตคอนกรีตกำลังต่ำ 200 ksc ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบกำลังอัดของการเคลือบปลายด้วยกำมะถันและการเจียรปลาย ได้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตใกล้เคียงกัน คือ 254 ksc และ 253 ksc แต่การใช้แผ่นยางรองได้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าคือ 234 ksc ที่ช่วงกำลังคอนกรีต 300 ksc การเจียรปลายให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยกำลังอัด 370 ksc ใกล้เคียงกับการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน 358 ksc แต่การใช้แผ่นยางรองได้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าคือ 301 ksc ที่ช่วงกำลังคอนกรีต 400 ksc การเจียรปลายให้เฉลี่ยกำลังอัด 482 ksc ใกล้เคียงกับการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน 477 ksc และใกล้เคียงกับการใช้แผ่นยางรองปลาย 463 ksc

จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ได้จากการเจียรปลาย จะสูงกว่าการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายด้วยกำมะถันและการใช้แผ่นยางรองปลาย สำหรับค่ากำลังอัดเฉลี่ยของการใช้แผ่นยางรองปลายนั้นได้ค่ากำลังอัดต่ำในช่วงกำลังอัดคอนกรีต 200 และ 300 ksc เนื่องจากแผ่นยางแข็งเกินไปทำให้การถ่ายแรงสู่ตัวอย่างคอนกรีตไม่เหมาะสม คอนกรีตเกิดการแตกเนื่องจาก Local Stress

การเตรียมปลายตัวอย่างโดยการเคลือบปลายด้วยกำมะถันให้ค่าการทดสอบต่ำกว่าการเตรียมปลายด้วยการเจียรทั้งนี้เนื่องจากกำลังรับแรงอัดของกำมะถันมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตจึงมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทดสอบได้มีค่าน้อยกว่าที่เป็นจริง และค่ากำลังอัดของการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าที่สูงกว่าการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่าง เนื่องจากแผ่นยางอาจมีความอ่อนแข็งที่ไม่เหมาะสมกับตัวอย่างคอนกรีตกำลังช่วงทดสอบ



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 5.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring ในแต่ละช่วงกำลังอัด ได้ค่ามีความสอดคล้องกันกับตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเทหล่อรูปทรงกระบอก คือ

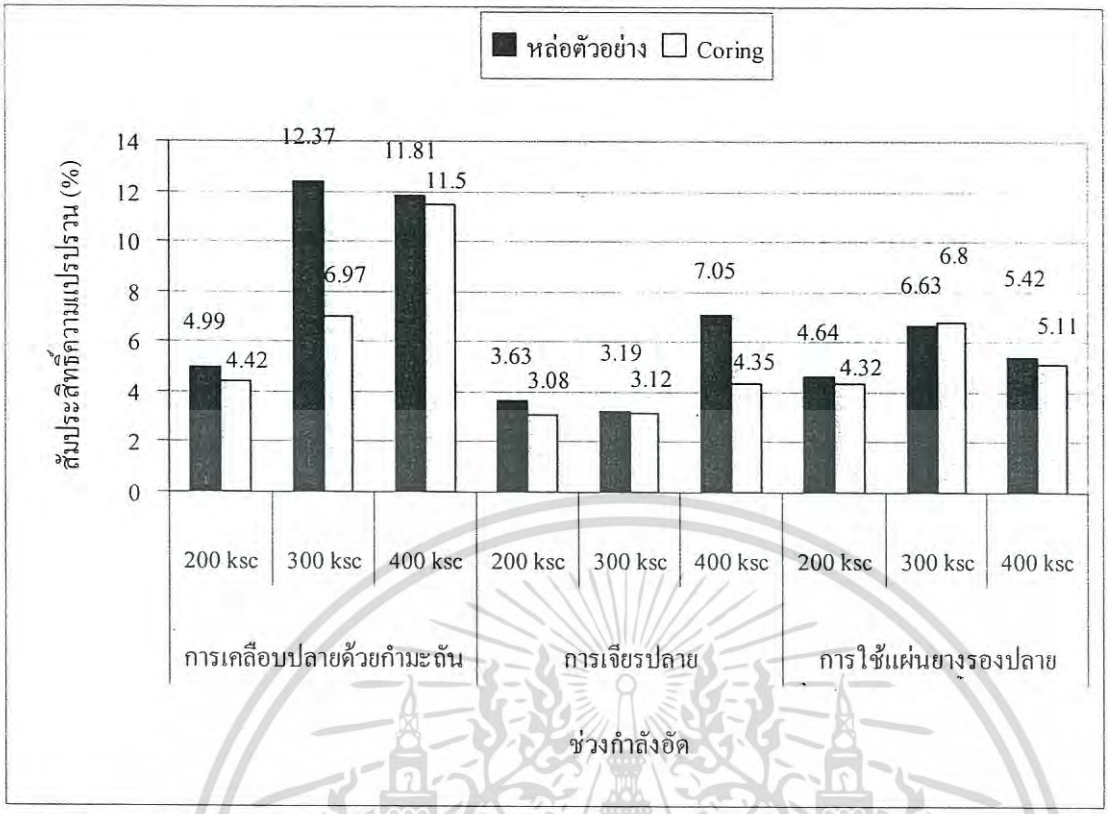
ที่คอนกรีตช่วงกำลัง 200 ksc ได้ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่างที่เตรียมด้วยการเจียรปลาย (3.08%) ต่ำกว่าการเคลือบปลาย (4.22%) อยู่ 1.14% และต่ำกว่าการใช้แผ่นยางรอง (4.32%) อยู่ 1.24% ซึ่งวิธีการเตรียมปลายทั้ง 3 วิธีให้ค่าความแปรปรวนที่ใกล้เคียงกัน

ที่คอนกรีตช่วงกำลัง 300 ksc ได้ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่างที่เตรียมด้วยการเจียรปลาย (3.12%) ต่ำกว่าการเคลือบปลาย (6.97%) และต่ำกว่าการใช้แผ่นยางรอง (6.8%) การเคลือบปลายด้วยกำมะถันมีความแปรปรวนสูงขึ้นเมื่อเทียบการช่วงกำลังอัดคอนกรีตต่ำ และแผ่นยางรองปลายให้ค่าความแปรปรวนสูงเนื่องจากการความผิดพลาดการตัววัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีต

ที่คอนกรีตช่วงกำลัง 400 ksc ได้ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่างที่เตรียมด้วยการเจียรปลาย (4.35%) ต่ำกว่าการเคลือบปลาย (11.5%) และต่ำกว่าการใช้แผ่นยางรอง (5.11%)

ทุกช่วงกำลัง ค่าความแปรปรวนจากวิธีการเจียรปลายจะต่ำกว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน และการใช้แผ่นยางรอง ที่สังเกตคือเมื่อช่วงกำลังอัดที่สูงขึ้นค่าความแปรปรวนของค่าการทดสอบตัวอย่างที่ได้จากการเคลือบปลายจะมีมากขึ้น และการใช้แผ่นยางรองค่าความแปรปรวนจะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องผลการทดสอบจากตัวอย่างที่ได้จากการเทหล่อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการเทหล่อและตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Coring

จากกราฟที่ 5.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนจากการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตในช่วงกำลังอัดต่าง ๆ เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ได้จากการหล่อคอนกรีต และตัวอย่างที่ได้จาก Coring จะพบว่าค่าความแปรปรวนแต่ละช่วงกำลังมีความสอดคล้องกัน ซึ่งพบว่าสำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่ำ 200 ksc การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน และการใช้แผ่นยางรอง ให้ค่าความแปรปรวนใกล้เคียงกับการเจียรปลายตัวอย่าง แต่เมื่อคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันมีค่าความแปรปรวนสูงขึ้น การใช้แผ่นยางรองก็มีค่าความแปรปรวนต่ำลงเมื่อคอนกรีตช่วงกำลังอัดสูงขึ้น แต่ตัวอย่างคอนกรีตจาก Coring ได้ค่าความแปรปรวนที่ต่ำกว่าคอนกรีตจากการหล่อตัวอย่าง ประเด็นอย่างหนึ่งนั่นคือค่าความแปรปรวนจากการหล่อตัวอย่างคอนกรีตซึ่งได้มีการแบ่งเทตัวอย่างละ 3 ชั้นแต่ละชั้นเท่ากัน การทำให้คอนกรีตแน่น การไล่อากาศ ความเป็นเนื้อเดียวกันไม่สมบูรณ์ อาจทำให้เกินค่าความผิดพลาดของในทดสอบได้ จึงได้มีการทำตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการคว้านคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอกจะก้อนคอนกรีตขนาดใหญ่ (ซึ่งมีเนื้อคอนกรีตที่เหมือนกัน ในช่วงตัวอย่างทดสอบนั้นๆ) เพื่อเป็นการตัดปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดเนื่องมาจากชิ้นตัวอย่างคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

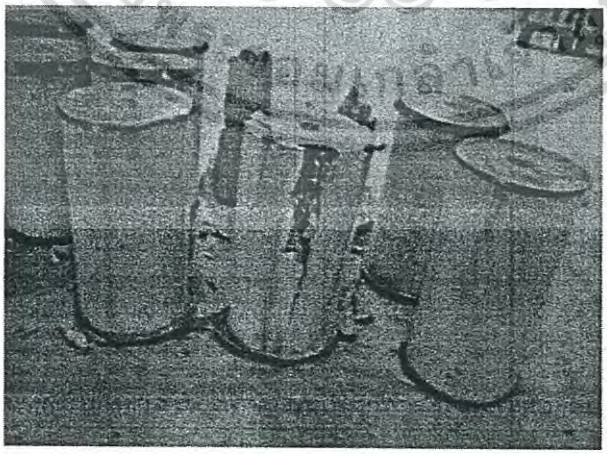
5.3.2 การเปรียบเทียบการวิบัติ

จากการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตพบว่า

ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับการเจียรปลายด้วยเครื่องเจียรมีการแตกของก้อนตัวอย่างเป็นแบบรูปกรวยและปีรามิด (Cone and Cone & Split) ซึ่งเป็นการแตกที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 5.6

รูปที่ 5.6 รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่าง โดยการเจียรปลาย

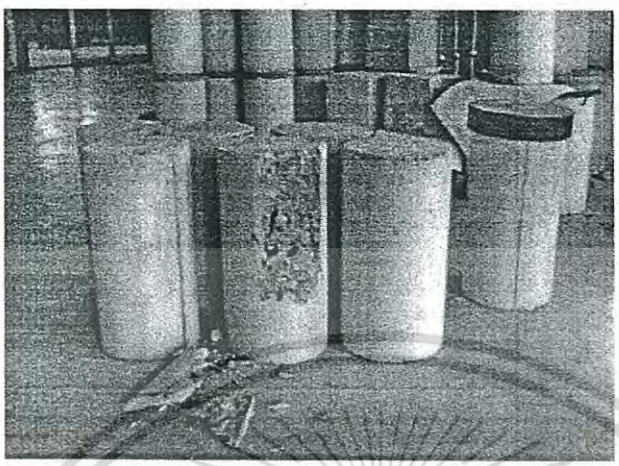
ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างได้รับการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันดังรูปที่ 5.7 เนื่องจากตัวสารเคลือบปลายกำมะถันนั้นแตกก่อน ทำให้การถ่ายแรงเป็นไปอย่างไม่เหมาะสม ซึ่งจะเกิดกับคอนกรีตที่มีกำลังสูง 800 ksc



รูปที่ 5.7 รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างได้ใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างคอนกรีตเนื่องจาก Local Stress ซึ่งจะเกิดกับคอนกรีตช่วงกำลังอัด 200 ksc (กำลังอัดต่ำ) ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่าง

5.3.3 การเปรียบเทียบด้านค่าใช้จ่ายการในการเตรียมปลาย

ราคาค่าดำเนินการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเจียรปลาย เท่ากับ 1.36 บาท/ก้อนตัวอย่าง ประกอบด้วย ค่าใบเจียรนัย (วัสดุภายในประเทศ) ใบละ 300 บาท สามารถใช้เจียรปลายตัวอย่างได้ 300 ตัวอย่าง เจียร 1 ด้าน เท่ากับ 1.0 บาท/ก้อนตัวอย่างค่าไฟฟ้าเกิดจากมอเตอร์ 2.5 แรงม้า (1863 วัตต์) ใช้เวลาเจียร 5 นาที เท่า 0.16 บาท/ก้อนตัวอย่าง ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ 0.20 บาท/ก้อนตัวอย่าง

ราคาค่าดำเนินการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการใช้กำมะถันเคลือบปลาย เท่ากับ 1.74 บาท/ก้อนตัวอย่าง ประกอบด้วย กำมะถันใช้เคลือบปลาย 20 บาท/กก. ซึ่ง 1 ก้อนใช้กำมะถัน 0.75 กก. เคลือบปลาย 1 ด้าน เท่ากับ 1.50 บาท/ก้อนตัวอย่าง ค่าไฟฟ้าเกิดจากการต้มกำมะถัน หม้อต้ม 1000 วัตต์ ใช้เวลาเคลือบปลาย 2 นาที เท่ากับ 0.04 บาท/ก้อนตัวอย่าง ค่าใช้จ่ายอื่นๆ 0.20 บาท/ก้อนตัวอย่าง

ราคาค่าดำเนินการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการใช้แผ่นยางรองปลาย เท่ากับ 10.2 บาท/ก้อนตัวอย่าง ประกอบด้วย แผ่นยางรองกด ราคาแผ่นละ 400 บาท ใช้ได้ 40 ก้อน เท่ากับ 10 บาท/ก้อนตัวอย่าง ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เท่ากับ 0.2 บาท/ก้อนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปค่าใช้จ่ายในการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตได้ดังตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการเจียรด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างต่ำที่สุดคือ 1.36 บาท/ก้อนตัวอย่าง รองมาคือการเคลือบปลายด้วยกำมะถันเท่ากับ 1.74 บาท/ต้องตัวอย่างและการใช้แผ่นยางรองปลายเท่ากับ 10.2 ต่อก้อนตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากการแผ่นยางรองกดนั้นเป็นวัสดุที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้ต้นทุนต่อก้อนตัวอย่างมีราคาสูง ส่วนเครื่องเจียรนั้นเป็นเครื่องที่ประดิษฐ์ขึ้นในประเทศโดยภาควิชาวิศวกรรมโยธา สจล. มีราคาต่อเครื่อง 120,000 บาท ซึ่งถูกกว่าเครื่องเจียรจากต่างประเทศ แต่เนื่องจากเป็นเครื่องประดิษฐ์ต้นแบบ ยังไม่ได้พัฒนาสู่ระบบการผลิตเครื่องในเชิงพาณิชย์ที่ทำให้ราคาเครื่องเจียรนั้นมีราคาถูกกว่านี้

ตารางที่ 5.3 สรุปค่าใช้จ่ายในการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

วิธีการเตรียมปลายตัวอย่าง	ค่าใช้จ่ายต่อก้อนตัวอย่าง (บาท)
การเจียรปลายด้วยเครื่องเจียร	1.36
การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	1.74
การใช้แผ่นยางรองปลาย	10.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่าง สำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต เพื่อเป็นแนวทางการเลือกใช้วิธีการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต สำหรับงานทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก และตัวอย่างที่ได้จากการคว้านคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอก (Coring)

การศึกษาวิจัยเริ่มจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับ การเปรียบเทียบวิธีเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงกำลังอัดจากวารสาร ตำราต่างประเทศ โดยเฉพาะเว็บไซด์ต่างประเทศ หลังจากทางภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ทำการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต ก็ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบวิธีการเตรียมปลายตัวอย่าง เบื้องต้นตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นเป็นตัวอย่างที่ได้จากการผสมคอนกรีตในเครื่องโม่และเทหล่อลงในแบบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์ 15 ซม. สูง 30 ซม. ซึ่งแบ่งส่วนผสมคอนกรีตออกเป็น 3 ช่วงกำลังอัดตามการใช้งานทั่วไปในประเทศไทย คือ 200, 300 และ 400 ksc อย่างละ 30 ตัวอย่าง และช่วงกำลังอัด 800 ksc ขนาดตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 15 ซม. จำนวน 30 ตัวอย่าง โดยก้อนตัวอย่างคอนกรีตทั้งหมด 120 ตัวอย่าง จะนำไปบ่มด้วยน้ำที่อายุ 28 วัน จากนั้นนำมาคัดแยกแบ่งการเตรียมปลายตัวอย่างทั้ง 3 รูปแบบ คือ การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การเจียรปลายตัวอย่าง และการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด วิธีการละ 10 ตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการทดสอบการรับแรงอัด และหลังจากนั้น ได้ทำการทดสอบซ้ำด้วยวิธีการเดิม ยกเว้นช่วงกำลังอัด 800 ksc โดยเปลี่ยนจากตัวอย่างเดิมที่ได้จากการผสมหล่อในแบบรูปทรงกระบอก เป็นตัวอย่างที่ได้จากการคว้านคอนกรีตก้อนใหญ่ Coring เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ซึ่งจากผลการทดสอบแรงอัดนำมาวิเคราะห์วิธีการทางสถิติเบื้องต้นสามารถสรุปได้ดังนี้

- การเตรียมตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายด้วยกำมะถันมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงกว่าการเจียรปลายตัวอย่างในทุกช่วงกำลังอัด โดยเฉพาะคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดที่สูงปานกลางและกำลังแรงอัดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับคอนกรีตกำลังต่ำ (200 ksc) การเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน และการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่าง ให้ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตใกล้เคียงกัน
- การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันไม่เหมาะสมที่จะใช้กับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูง เนื่องจากมีข้อจำกัดของกำลังรับแรงอัดของกำมะถันที่ต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ดังนั้นจึงควรใช้การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตหรือการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างแทน
- การใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ไม่เหมาะสมที่ใช้กับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำ เนื่องจากข้อจำกัดความแข็งของแผ่นยาง ไม่สามารถถ่ายแรงสู่ผิวหน้าตัดของตัวอย่างทดสอบได้อย่างเหมาะสม
- ความแปรปรวนของผลการทดสอบจากตัวอย่างที่ได้จากการหล่อนั้นมีผลมาจากตัวอย่างคอนกรีตแต่ละชุดอาจไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด (เนื่องจากวิธีการผสม การแบ่งเท การทำให้แน่นในแต่ละชั้น) ซึ่งสามารถตัดปัจจัยความผิดพลาดนี้ได้โดยการใช้ตัวอย่างที่หล่อเป็นก้อนเดียวกันแล้วมาคว้านเป็นตัวอย่างทรงกระบอกเพื่อให้ได้ค่าการทดสอบที่แม่นยำมากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่าง 3 วิธีการ คือการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้งานโดยทั่วไป การเตรียมปลายตัวอย่างโดยการใช้แผ่นยางรอง และการเจียรปลายตัวอย่าง ซึ่งทางภาควิชาได้ประดิษฐ์เครื่องไว้เพื่อทำการศึกษา ใช้ทดแทนวิธีการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของผู้ทดสอบและทำลายสิ่งแวดล้อม และเพื่อเป็นการเพิ่มองค์ความรู้ด้านการทดสอบกำลังด้วยการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตให้เพิ่มสูงขึ้น สำหรับประเทศไทย จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

- เครื่องที่ใช้ทดสอบกำลังอัดคอนกรีตนั้นได้มีการ Calibrate ค่าทดสอบอย่างสม่ำเสมอ ค่าของผลการทดสอบนั้นไม่จำเป็นต้องการมีการปรับแก้ค่าเนื่องจากความผิดของจากเครื่องทดสอบอีก
- ในคอนกรีตกำลังช่วง 300 ksc ผลของค่าความแปรปรวนของการใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างนั้นมีมากกว่าช่วงอื่นที่ทดสอบในงานวิจัย เนื่องจากการความแข็งของแผ่นยางอาจไม่เหมาะสมกับช่วงกำลังนั้น จึงควรศึกษาเกี่ยวกับการเลือกใช้แผ่นยาง ความแข็งที่เหมาะสมกับช่วงกำลังคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในคอนกรีตกำลังสูงขึ้นจะพบว่าค่าความแปรปรวนของการใช้กำมะถันนั้นมีการขึ้น เราควรจะศึกษาเกี่ยวกับใช้กำมะถันในประเทศไทยว่าเหมาะสมกับคอนกรีตช่วงกำลังใดบ้าง
- ในการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตในงานวิจัย เลือกใช้ตัวอย่างที่ได้จากการ Coring เพียงช่วงกำลังที่ใช้งานทั่วไป (200 – 400 ksc) เพื่อเปรียบเทียบความแปรปรวนเนื่องจากการทำตัวอย่างคอนกรีตเท่านั้น สำหรับคอนกรีตกำลังอัดสูง (800 ksc) นั้นควรทำการศึกษาเพิ่มเติม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] American society of testing and material, "ASTM C39/ C39 M – 99 : Standard Test Method for Compressive Strength of cylinder Concrete Specimens", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02, Philadelphia, 2000, pp.18-22.

[2] British Standards Institution, "BS 1881-108: Testing concrete. Method for making test cubes from fresh concrete" [Online]. Available: http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?doc_no=BS|1881_108_1983&product_id=1100501. 1983.

[3] American society of testing and material, "ASTM C31 / C31M - 09 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02, Philadelphia, 2000

[4] American society of testing and material, "ASTM C192 / C192M - 07: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory" Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02, Philadelphia, 2000, pp. 113-120.

[5] American society of testing and material, "ASTM C617 – 98: Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens" Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02, Philadelphia, 2000, pp. 300-304.

[6] American society of testing and material, "ASTM C1231 / C1231M - 09 Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders" Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02, Philadelphia, 2000, pp. 625-628.

[7] American society of testing and material, "ASTM C42 / C42M - 04 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete" " Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02, Philadelphia, 2000.

[8] Andrew T.logan, "Short-Tern Material Properties of High-Strength Concrete", M.S. Thesis B.S. North Carolina State University Department of Civil Engineering Structure, 2005.

[9] ไบรอัน แนพพ์.2542. กำมะถัน (Sulfur). แปลโดย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : นานมีบุ๊คส์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] GENEQ Inc. Scientific Instruments Distributor, "Concrete Cylinder End Grinder." [Online]. Available: http://www.geneq.com/catalog/en/rectifieuse_new2009.html. 2009.

[11] Hoskin Scientific Ltd., "Concrete Cylinder Grinder." [Online]. Avalable : http://www.myhoskin.com/pdfs/marui-spec-lowers.pdf. 2009.

[12] Gonnerman, H. F., "Effect of End Condition of Cylinder in Compression Tests of Concrete," ASTM Proceedings, Vol.24, Part II, 1924, pp. 1036-1065.

[13] Kennedy, T.B., "A limited Investigation of Capping Materials for Concrete Test Specimens," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 16, No. 2, November 1944, pp. 117-126.

[14] Werner, G., "The Effect of Capping Material on the Compressive Strength of Concrete Cylinders," ASTM Proceeding as, Vol. 58, 1958, pp.1166-1186.

[15] Lessard, M., Chaallal, O., and Aitcin, P-C, "Testing high-Strength Concrete Compressive Strength", ACI Materials Journal, Vol. 90, No.4, July 1993, pp. 303-307.

[16] Pistilli, M. F. and Willems, T., "Evaluation of Cylinder Size and Capping Method in Compressive Strength Testing of Concrete." Cement, Concrete, and Aggregates, CCAGDP, Vol.15, No.1, 1993, pp.59-69.

[17] French, C. W. and Mokhtarzadeh, A., "High-Strength Concrete: Effects of Materials, Curing and Test Procedures on Short-Term Compressive Strength," PCI Journal, Vol.38, No.3, May/June 1993, pp. 76-87.

[18] Carino, N.J., Guthrie, W. F., lagergren, E. S., and Mullings, G. M., "Effects of Testing Variables on the Strength of High-Strength (90 MPa) Concrete Cylinder," High Performance Concrete Special Publication No. SP-149, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, pp. 589 – 632.

[19] Lobo, C L., Mullings, G. M., and Gaynor, R. D. "Effect of Capping Materials and Procedures on the Measured Compressive Strength of High-Strength Concrete." Cement, Concrete, and Aggregates, CCAGPD, Vol. 16, No. 2, Dec. 1994, pp. 173-180.

[20] ACI Committee 214, "Evaluation of Strength Test Results of Concrete." ACI 214R-02, American Concrete Institute, 2002, p. 20.

[21] John Eggers and Sadi Torres, "Evaluation of Capping Systems for High-Strength Concrete Cylinder", This document is available throught the National Technical Information Service, Springfield, VA 21161, March 2006, p.96.

[22] ชัชวาล เศรษฐบุตร, บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด. คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology) พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ : คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค, 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด. "คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต (Standard Methods for Testing Aggregates and Concrete)" [Online]. Available: http://www.cpacacademy.com/s0106/index.php?pgid=0040. 2009.

[24] กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2551 มยผ. 1501-51 ถึง มยผ. 1507-51 : มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย. กรุงเทพ.

[25] บุญลือ ตุ่นทิมและหทัยจรี แสงประดิษฐ์. "การเปรียบเทียบการรับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบต่าง ๆ." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2538.

[26] American society of testing and material, "ASTM C33-99 : Standard Specification for Concrete Aggregates", Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, Philadelphia, 2000, pp. 10-17.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***18-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***200*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.62*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***20-Nov-08*** date of testing ***18-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***slufure capping compound***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	15.05	177.97	29.90	12.35	60958.21	342.53	2321.67
2	15.11	179.32	29.80	12.61	62079.51	346.20	2360.01
3	15.20	181.46	29.90	12.76	70336.39	387.62	2350.89
4	15.08	178.51	30.50	12.70	63394.50	355.13	2332.79
5	15.01	176.83	30.00	12.65	62079.51	351.06	2385.31
6	15.02	177.12	30.05	12.70	61750.55	348.65	2386.37
7	15.07	178.27	30.10	12.46	67651.28	379.48	2321.65
8	15.01	177.02	30.00	12.47	68061.66	384.48	2347.74
9	14.97	176.06	29.95	12.67	59822.81	339.80	2401.92
10	15.03	177.30	30.05	12.37	64825.75	365.62	2322.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***18-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***200*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.62*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***20-Nov-08*** date of testing ***18-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***ground end***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	15.06	178.11	29.90	12.68	65393.44	367.16	2380.66
2	15.00	176.81	29.80	12.51	69458.23	392.84	2373.74
3	15.12	179.53	29.80	12.54	70841.76	394.60	2343.75
4	15.28	183.45	30.10	12.90	68549.67	373.68	2336.05
5	15.09	178.75	29.80	12.64	64851.02	362.81	2372.03
6	15.04	177.71	29.85	12.76	67995.19	382.63	2404.56
7	15.09	178.89	29.80	12.41	72615.52	405.93	2328.13
8	14.99	176.48	29.95	12.51	69729.01	395.11	2365.89
9	15.17	180.79	29.85	12.76	67621.71	374.03	2365.19
10	15.08	178.49	30.00	12.44	67750.59	379.58	2322.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***18-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***200*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.62*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***20-Nov-08*** date of testing ***18-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***unbonded pads***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	15.19	181.29	30.00	12.70	64661.58	356.67	2335.10
2	15.04	177.68	29.85	12.36	67223.65	378.34	2330.97
3	15.01	176.97	29.90	12.48	61169.84	345.64	2359.25
4	15.21	181.63	30.10	13.17	69067.51	380.27	2408.66
5	15.09	178.72	29.95	12.72	66317.28	371.06	2376.35
6	15.25	182.53	30.00	12.87	65707.19	359.97	2350.06
7	15.11	179.29	30.20	12.74	65775.68	366.86	2352.33
8	15.01	176.95	29.95	12.32	60273.60	340.62	2325.05
9	15.19	181.29	30.10	13.12	68696.71	378.93	2404.31
10	15.09	178.72	30.15	12.75	70765.72	395.95	2365.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***20-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***200*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.62*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***22-Nov-09*** date of testing ***20-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***slufure capping compound***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.34	68.57	18.90	2.96	18790.60	274.02	2283.89
2	9.43	69.87	19.26	3.10	16602.90	237.62	2301.38
3	9.37	69.01	18.77	3.08	17794.50	257.84	2379.69
4	9.43	69.84	19.69	3.09	17877.40	255.97	2247.94
5	9.45	70.14	18.79	3.10	17801.30	253.80	2350.21
6	9.41	69.56	19.18	3.12	18710.50	268.98	2340.04
7	9.50	70.90	18.95	3.20	17775.50	250.72	2382.58
8	9.39	69.18	18.90	3.10	16983.40	245.51	2372.58
9	9.38	69.09	19.23	3.03	16734.90	242.23	2283.67
10	9.42	69.74	18.98	3.02	17705.90	253.89	2281.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***20-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***200*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.62*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***22-Nov-09*** date of testing ***20-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***ground end***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.38	69.06	18.94	3.00	17896.23	259.15	2289.57
2	9.49	70.69	18.94	2.99	17860.20	252.66	2234.03
3	9.43	69.83	19.11	3.06	18136.04	259.73	2296.19
4	9.46	70.21	19.00	2.97	17161.00	244.42	2224.83
5	9.44	69.95	19.30	3.00	16965.40	242.55	2225.28
6	9.43	69.83	19.06	3.00	18265.10	261.58	2257.36
7	9.44	69.93	19.06	3.00	18454.30	263.90	2254.02
8	9.44	70.03	19.06	3.00	17959.30	256.44	2250.67
9	9.43	69.83	19.06	3.00	17020.40	243.75	2257.36
10	9.44	70.05	19.06	3.00	17806.40	254.20	2250.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***20-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***200*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.62*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***22-Nov-09*** date of testing ***20-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***unbonded pads***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.37	68.98	18.94	3.00	16085.70	233.18	2292.01
2	9.49	70.79	18.94	2.99	16215.10	229.05	2230.74
3	9.42	69.72	19.11	3.06	15186.10	217.81	2299.60
4	9.46	70.32	19.00	2.97	15861.00	225.57	2221.54
5	9.43	69.87	19.30	3.00	15860.40	227.00	2227.64
6	9.41	69.49	19.06	3.01	16701.66	240.36	2274.46
7	9.48	70.58	19.20	3.00	17769.20	251.75	2215.15
8	9.40	69.34	18.96	2.99	16020.26	231.04	2273.59
9	9.41	69.50	18.98	2.91	16581.69	238.58	2205.24
10	9.46	70.32	19.02	3.02	17245.89	245.26	2256.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***20-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***300*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.48*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***22-Nov-08*** date of testing ***20-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***slufure capping compound***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	15.06	178.20	30.10	12.91	76520.55	429.40	2406.47
2	15.09	178.75	29.90	12.83	89581.24	501.16	2400.03
3	14.92	174.93	30.30	12.82	80893.46	462.44	2419.47
4	15.15	180.15	29.90	13.07	70658.98	392.23	2425.92
5	15.09	178.87	30.20	13.12	86849.33	485.56	2428.48
6	15.14	179.91	30.05	12.80	65848.68	366.01	2366.87
7	15.19	181.10	30.10	13.25	72986.32	403.02	2431.43
8	14.95	175.54	30.15	13.06	87137.41	496.40	2467.08
9	15.14	180.08	29.95	13.16	69714.81	387.14	2439.15
10	15.08	178.51	30.15	12.88	92071.01	515.78	2393.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***20-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***300*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.48*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***22-Nov-08*** date of testing ***20-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***ground end***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	14.99	176.36	29.90	12.87	75849.22	430.08	2440.83
2	14.98	176.29	30.00	12.76	81002.94	459.48	2412.11
3	15.23	182.08	29.80	13.21	79401.03	436.08	2434.03
4	15.10	178.98	29.80	12.84	78951.12	441.11	2408.08
5	15.09	178.84	29.85	12.91	82965.33	463.90	2418.69
6	15.12	179.62	29.80	12.98	78838.86	438.91	2424.71
7	15.04	177.71	29.90	13.21	81843.78	460.56	2486.17
8	15.22	181.86	29.95	13.04	80039.26	440.10	2393.50
9	14.98	176.31	29.80	12.80	80159.36	454.64	2435.21
10	14.97	175.98	29.90	12.92	83312.09	473.40	2454.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***20-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***300*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.48*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***22-Nov-08*** date of testing ***20-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***unbonded pads***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	15.04	177.61	30.10	12.92	77022.23	433.66	2416.16
2	14.96	175.77	29.95	12.95	86230.96	490.58	2460.48
3	15.00	176.67	30.20	12.88	88546.05	501.20	2414.27
4	15.08	178.58	30.05	13.06	81604.17	456.96	2434.24
5	15.10	178.96	30.10	12.94	75217.08	420.30	2401.29
6	15.19	181.32	30.10	13.18	87842.38	484.47	2414.44
7	15.12	179.53	30.00	12.88	81429.54	453.57	2391.06
8	14.97	176.03	30.20	12.94	79182.05	449.82	2434.65
9	15.02	177.12	30.15	13.25	88411.07	499.17	2481.45
10	15.20	181.53	30.10	12.89	92699.85	510.66	2359.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***22-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***300*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.48*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***24-Nov-09*** date of testing ***22-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***slufure capping compound***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.46	70.29	18.18	2.96	24172.20	343.91	2316.72
2	9.44	69.99	18.80	3.10	22542.60	322.08	2353.69
3	9.43	69.77	19.04	3.08	26928.10	385.97	2320.38
4	9.44	70.02	18.77	3.09	28491.80	406.91	2352.39
5	9.48	70.61	18.75	3.10	23201.30	328.57	2339.36
6	9.61	72.60	18.71	3.10	25455.21	350.63	2279.70
7	9.53	71.30	18.71	3.11	25548.97	358.31	2331.54
8	9.51	71.01	18.71	3.07	25502.58	359.16	2310.04
9	9.45	70.20	18.71	3.09	25200.75	359.00	2349.95
10	9.47	70.38	18.71	3.10	25401.39	360.94	2357.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***22-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***300*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.48*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***24-Nov-09*** date of testing ***22-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***ground end***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.44	70.02	18.17	2.96	25322.90	361.66	2329.16
2	9.47	70.49	18.78	3.13	24825.68	352.16	2361.39
3	9.45	70.17	17.96	3.09	27067.91	385.76	2449.78
4	9.37	68.98	17.61	3.11	26499.25	384.13	2562.34
5	9.50	70.91	18.02	3.11	27330.53	385.41	2435.43
6	9.39	69.24	17.83	3.09	25465.87	367.82	2505.33
7	9.43	69.90	18.56	3.07	25536.95	365.33	2363.80
8	9.38	69.12	18.65	3.08	25361.98	366.94	2388.51
9	9.49	70.72	18.69	3.07	25517.56	360.83	2320.19
10	9.45	70.09	18.96	3.09	26111.87	372.53	2324.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***22-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***300*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.48*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***24-Nov-09*** date of testing ***22-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***unbonded pads***

spec . no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.44	70.02	19.02	3.12	20735.60	296.14	2342.75
2	9.37	69.01	18.70	3.04	23110.00	334.86	2356.32
3	9.45	70.17	18.84	3.13	19182.60	273.38	2367.70
4	9.47	70.46	19.03	3.15	20921.30	296.90	2351.32
5	9.50	70.91	18.80	3.09	22496.60	317.25	2315.57
6	9.46	70.22	18.93	3.16	19405.97	276.38	2378.58
7	9.58	72.05	19.25	3.16	23159.46	321.43	2282.10
8	9.52	71.13	18.97	3.15	22411.55	315.06	2334.27
9	9.57	71.89	19.12	3.16	20392.83	283.65	2301.55
10	9.55	71.64	19.01	3.13	21193.81	295.84	2295.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***22-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***400*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.38*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***24-Nov-08*** date of testing ***22-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***slufure capping compound***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	15.03	177.42	29.50	13.00	84196.74	474.56	2483.40
2	15.08	178.51	29.00	13.01	102028.54	571.56	2513.72
3	14.96	175.68	29.95	12.95	102069.36	581.00	2461.61
4	15.17	180.72	29.00	13.17	97859.33	541.50	2513.71
5	15.05	177.78	29.00	12.83	79704.38	448.34	2489.18
6	15.11	179.32	29.95	13.32	98645.25	550.12	2480.77
7	15.22	181.98	30.00	13.13	108365.35	595.47	2404.06
8	15.04	177.75	30.10	12.96	78164.23	439.74	2423.01
9	15.15	180.17	30.00	13.15	82240.65	456.46	2433.61
10	15.04	177.56	29.90	12.94	83597.24	470.80	2437.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***22-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***400*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.38*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***24-Nov-08*** date of testing ***22-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***ground end***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	15.01	177.04	29.80	12.92	98304.03	555.25	2448.10
2	14.93	175.07	29.80	12.82	121296.01	692.85	2458.09
3	15.05	177.80	30.00	12.97	109832.95	617.73	2431.76
4	15.06	178.04	29.75	12.91	97961.34	550.23	2436.47
5	15.09	178.87	30.00	13.00	110253.22	616.40	2421.94
6	15.09	178.84	29.85	13.01	105806.56	591.62	2437.24
7	14.94	175.40	29.90	12.85	112410.79	640.89	2449.28
8	14.98	176.20	29.55	12.80	112001.67	635.66	2458.03
9	15.18	181.03	29.80	13.20	104491.58	577.21	2446.86
10	15.18	180.91	30.00	13.38	112126.75	619.79	2464.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***22-Dec-08***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***400*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.38*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***24-Nov-08*** date of testing ***22-Dec-08***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***unbonded pads***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	15.06	178.11	30.05	12.92	99032.75	556.03	2413.24
2	15.10	179.10	30.10	13.02	110356.89	616.17	2415.89
3	15.03	177.47	30.00	12.97	97899.03	551.64	2436.29
4	15.06	178.04	29.95	12.91	97003.55	544.85	2420.20
5	14.96	175.82	30.00	13.00	95047.23	540.59	2463.88
6	14.96	175.82	30.15	12.78	94628.53	538.21	2410.87
7	14.94	175.33	30.10	13.19	106579.95	607.89	2498.98
8	15.05	177.89	30.00	13.22	102481.04	576.08	2476.18
9	15.08	178.51	30.20	12.93	99991.47	560.15	2399.19
10	14.96	175.70	30.10	12.80	91614.54	521.42	2420.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***24-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***400*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.38*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***26-Nov-09*** date of testing ***24-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***slufure capping compound***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.47	70.46	19.05	3.14	36893.83	523.58	2341.40
2	9.50	70.88	18.84	3.10	27222.15	384.05	2319.87
3	9.44	70.02	18.85	3.13	26946.39	384.84	2370.95
4	9.44	69.96	18.86	3.11	35975.58	514.23	2358.07
5	9.43	69.84	19.06	3.15	34187.59	489.50	2367.83
6	9.52	71.19	19.00	3.22	32508.95	456.63	2377.43
7	9.42	69.64	18.70	2.74	33948.07	487.51	2103.83
8	9.59	72.29	18.97	3.20	36426.59	503.92	2330.78
9	9.48	70.53	18.28	3.07	38631.94	547.74	2384.17
10	9.55	71.65	18.60	2.99	34473.13	481.10	2243.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***24-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***400*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.38*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***26-Nov-09*** date of testing ***24-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***ground end***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.22	66.78	19.14	3.13	33671.11	504.22	2450.83
2	9.24	67.00	19.38	3.07	31459.98	469.58	2364.83
3	9.20	66.42	19.02	3.13	30050.97	452.41	2477.29
4	9.21	66.60	19.00	3.13	31853.67	478.27	2475.18
5	9.20	66.54	19.09	3.12	33420.78	502.24	2455.85
6	9.25	67.19	19.10	3.12	34038.48	506.61	2431.17
7	9.20	66.43	19.04	2.89	33614.34	506.01	2288.65
8	9.28	67.69	19.21	3.18	30945.56	457.16	2444.81
9	9.22	66.78	18.91	3.09	31354.73	469.50	2443.37
10	9.26	67.36	19.01	3.03	31957.36	474.45	2369.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต

location :	***KMITL***	Date of test:	***24-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***400*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.38*** slump test ***10*** cm.

date of casting ***26-Nov-09*** date of testing ***24-Dec-09***

conditions of specimens ***coring***

end conditions of specimens ***unbonded pads***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	9.44	70.02	19.21	3.12	31662.77	452.20	2319.34
2	9.44	70.05	19.86	3.04	33282.59	475.13	2185.49
3	9.42	69.72	19.17	3.13	29249.45	419.51	2341.54
4	9.45	70.17	19.12	3.15	34756.22	495.33	2349.92
5	9.45	70.17	19.12	3.09	34717.44	494.78	2300.73
6	9.45	70.14	19.19	3.02	32521.57	463.68	2243.77
7	9.45	70.14	19.34	3.06	32629.22	465.21	2252.17
8	9.45	70.08	19.42	3.16	30462.44	434.69	2321.95
9	9.44	69.96	19.48	3.10	32685.89	467.21	2273.23
10	9.44	70.02	19.38	3.08	32377.01	462.40	2269.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***24-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***800*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.25*** slump test ____ cm.

date of casting ***26-Nov-09*** date of testing ***24-Dec-09***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***slufure capping compound***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	7.66	46.12	15.30	1.78	27914.5	605.2	2,522.4
2	7.65	45.98	15.45	1.76	36578.8	795.5	2,490.2
3	7.73	46.93	15.25	1.78	25348.6	540.1	2,497.6
4	7.67	46.30	15.35	1.80	28733.4	620.6	2,535.3
5	7.63	45.74	15.40	1.78	35434.5	774.6	2,535.1
6	7.63	45.89	15.40	1.78	29468.4	642.1	2,522.8
7	7.69	46.54	15.35	1.78	26785.9	575.5	2,498.4
8	7.65	46.03	15.30	1.76	27055.3	587.8	2,510.3
9	7.64	45.89	15.45	1.78	30635.1	667.6	2,521.8
10	7.66	46.12	15.40	1.78	31823.2	689.9	2,510.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***24-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***800*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.25*** slump test cm.

date of casting ***26-Nov-09*** date of testing ***24-Dec-09***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***ground end***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	7.68	46.42	15.40	1.77	38278.85	824.46	2522.43
2	7.70	46.66	15.40	1.76	38234.16	819.36	2490.17
3	7.68	46.35	15.35	1.76	40286.29	869.08	2497.62
4	7.67	46.24	15.40	1.76	39467.42	853.40	2535.34
5	7.62	45.7	15.45	1.77	41542.80	908.83	2535.06
6	7.64	45.88	15.40	1.77	40671.28	886.35	2522.75
7	7.64	45.94	15.35	1.78	36556.34	795.74	2498.37
8	7.67	46.23	15.35	1.78	38216.94	826.63	2510.33
9	7.63	45.79	15.40	1.78	38404.26	838.57	2521.80
10	7.61	45.51	15.45	1.78	36968.61	812.24	2510.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE AND MATERIAL TESTING LABORATORY

	การทดสอบกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต
	compression strength test of concrete
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
project : การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าคอนกรีต การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยางสำหรับการทดสอบแรงอัดคอนกรีต	

location :	***KMITL***	Date of test:	***24-Dec-09***
test by : mr.paween and mr.wicharn		Cheched by : mr.wicharn kositcharoenkul	

ข้อมูลการทดสอบ

mixture design strength of concrete ***800*** ksc

conment portland type I

maximum nominal size of the coarse aggregate ***3/4*** inch.

water cement ratio (w/c) ***0.25*** slump test cm.

date of casting ***26-Nov-09*** date of testing ***24-Dec-09***

conditions of specimens ***casted in mold***

end conditions of specimens ***unbonded pads***

spec. no.	diameters (cm)	cross sectional area (cm2)	height of specimen (cm)	weight of specimen (kg)	ultimate load (kg)	comp strength (ksc)	weight per volume (kg/m3)
1	7.67	46.28	15.35	1.78	38076.85	822.59	2522.43
2	7.65	46.04	15.40	1.76	37846.12	821.89	2490.17
3	7.67	46.22	15.35	1.76	39864.10	862.33	2497.62
4	7.66	46.12	15.40	1.77	37649.12	816.33	2535.34
5	7.65	46.06	15.40	1.77	40123.53	871.12	2535.06
6	7.67	46.24	15.40	1.78	38154.60	825.13	2522.75
7	7.64	45.95	15.35	1.78	34263.15	745.63	2498.37
8	7.57	45.03	15.40	1.78	35896.14	797.143	2510.33
9	7.67	46.26	15.35	1.77	34254.42	740.40	2521.80
10	7.68	46.33	15.45	1.76	34215.95	738.41	2510.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธีทางสถิติ

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 200 ksc

ช่วงกำลังอัด						
200 ksc						
	ตัวอย่างจากการหล่อในแบบ			ตัวอย่างจากการ coring		
	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย	การใช้แผ่นยางรอง	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย	การใช้แผ่นยางรอง
mean	360.0568	382.8369	367.4330	254.06	253.84	233.9586
standard error	5.6858	4.3984	5.3828	3.54918	2.472191	3.1963
median	353.0979	381.1065	368.9624	253.85	255.32	232.1102
mode	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
standard deviation	17.9801	13.9089	17.0220	11.22349	7.817753	10.1076
sample variance	323.2845	193.4571	289.7490	125.9668	61.11726	102.1636
kurtosis	-1.4153	-1.0124	-0.4946	-0.12063	-1.39993	-0.2705
skew ness	0.5810	0.1762	-0.0872	0.449986	-0.42044	0.2886
range	47.8220	43.1156	55.3274	36.40	21.34	33.9391
minimum	339.7952	362.8096	340.6245	237.62	242.55	217.8062
maximum	387.6172	405.9252	395.9519	274.02	263.90	251.7453
sum	3600.5677	3828.3694	3674.3295	2540.59	2538.37	2339.5860
count	10	10	10	10	10	10
confidence level (95%)	11.1440	8.6207	10.5502	6.956265	4.845404	6.2646

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 300 ksc

ช่วงกำลังอัด						
300 ksc						
	ตัวอย่างจากการหล่อในแบบ			ตัวอย่างจากการ coring		
	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย	การใช้แผ่นยางรอง	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย	การใช้แผ่นยางรอง
mean	443.91313	449.82688	470.03910	357.54782	370.26	301.09
standard error	17.35917	4.53929	9.85949	7.88315	3.650113	6.465712
median	445.92032	447.87340	470.71628	358.65453	367.38	296.52
mode	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
standard deviation	54.89450	14.35451	31.17845	24.92872	11.54267	20.44638
sample variance	3013.40641	206.05183	972.09590	621.44114	133.2333	418.0543
kurtosis	-1.80778	-1.31887	-1.39463	0.69929	-1.03315	-1.04957
skew ness	-0.07001	0.23296	-0.24056	0.64100	0.209718	0.192694
range	149.76612	43.32624	90.35753	84.82869	33.60	61.48
minimum	366.00947	430.07848	420.30095	322.08473	352.16	273.38
maximum	515.77559	473.40472	510.65848	406.91342	385.76	334.86
sum	4439.13131	4498.26876	4700.39100	3575.47821	3702.58	3010.90
count	10	10	10	10	10	10
confidence level (95%)	34.02334	8.89685	19.32425	15.45070	7.154091	12.67256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 400 ksc

ช่วงกำลังอัด						
400 ksc						
	ตัวอย่างจากการหล่อในแบบ			ตัวอย่างจากการ coring		
	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย	การใช้แผ่นยางรอง	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย	การใช้แผ่นยางรอง
mean	512.95319	609.76448	561.30217	477.31	482.04	463.01
standard error	19.16237	13.60366	9.62923	17.35724	6.633009	7.479837
median	508.02796	617.06835	553.83354	488.51	476.36	464.45
mode	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
standard deviation	60.59673	43.01856	30.45031	54.88843	20.97542	23.65332
sample variance	3671.96384	1850.59618	927.22127	3012.74	439.9681	559.4795
kurtosis	-2.01088	0.22852	-0.04868	0.001456	-1.73497	0.102339
skew ness	0.11150	0.36523	0.88229	-0.91567	0.028373	-0.40586
range	155.73067	142.61478	94.74917	163.69	54.21	75.82
minimum	439.73551	550.23169	521.41741	384.05	452.41	419.51
maximum	595.46618	692.84647	616.16659	547.74	506.61	495.33
sum	5129.53191	6097.64479	5613.02172	4773.10	4820.44	4630.14
count	10	10	10	10	10	10
confidence level (95%)	37.55755	26.66269	18.87295	34.019557	13.000466	14.66021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 800 ksc

	ตัวอย่างจากการหล่อในแบบ		
	การเคลือบปลายด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย	การใช้แผ่นยางรอง
mean	649.87950	843.47020	804.10225
standard error	26.46600	11.23925	15.26464
median	631.32450	832.60500	819.11195
mode	#N/A	#N/A	#N/A
standard deviation	83.69283	35.54164	48.27104
sample variance	7004.48897	1263.20848	2330.09290
kurtosis	-1.65725	-1.68189	-2.44597
skew ness	0.71278	0.65268	-0.27216
range	255.44700	113.09300	132.70151
minimum	540.09000	795.74100	738.41958
maximum	795.53700	908.83400	871.12109
sum	6498.79500	8434.70200	8041.02249
count	10	10	10
confidence level (95%)	51.87240	22.02853	29.91815

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

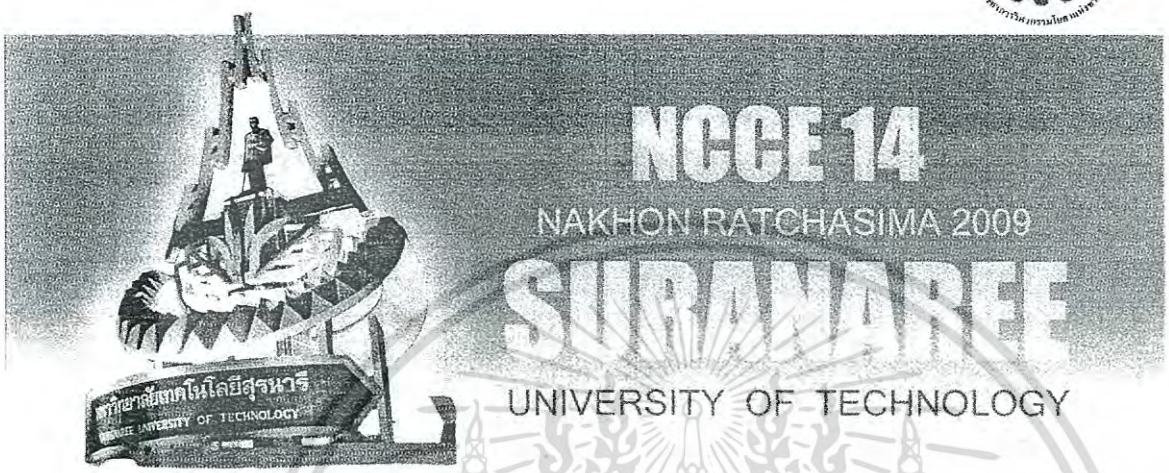
ภาคผนวก ข.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. วิชาญ โฆษิตเจริญกุล และแหลมทอง เหล่าคงถาวร. "การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน และการใช้แผ่นยาง สำหรับทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต." การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธากับยุคโลกาภิวัฒน์. หน้า1717-1722 นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 13 – 15 พฤษภาคม 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14

THE 14th NATIONAL CONVENTION ON CIVIL ENGINEERING



เล่ม 5
วิศวกรรมวัสดุก่อสร้าง

"เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธากับยุคโลกาภิวัฒน์"

13-15 พฤษภาคม 2552

ณ สุรสัมมนาคาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบการเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน และการใช้แผ่นยาง สำหรับทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต

Comparison of Capping Systems for Compressive Strength Concrete Testing: Ground Ends, Sulphur Caps, and Unbonded Neoprene Pads.

วิชาญ โฆษิตเจริญกุล (Vicharn Khositcharuenkun)[1]

แหลมทอง เหล่าคงถาวร (Laemthong Laokhongthavorn)[2]

[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
warnchit@hotmail.com

[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
lenook2000@gmail.com

บทคัดย่อ : ตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกนั้นต้องทำการเคลือบ (Capping) ปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างคอนกรีตเพื่อให้เรียบเป็นระนาบขนานกันและตั้งฉากกับแกนกลาง วิธีการที่นิยมคือ การเคลือบด้วยกำมะถัน แต่กำมะถันเป็นวัสดุที่มีพิษ เมื่อสูดดมมาก ๆ จะเข้าไปสะสมในร่างกายของผู้ทำการทดสอบ อีกประการกำลังรับแรงอัดของกำมะถันไม่มากจึงไม่สามารถนำมาใช้ Capping ตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลทดสอบกำลังรับแรงอัดสำหรับการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับการทดสอบกำลังอัด 3 วิธีด้วยกัน คือ (ก) การเคลือบด้วยกำมะถัน (ข) การใช้แผ่นยางรองกด และ (ค) การเจียรปลายด้านอย่าง สำหรับคอนกรีตกำลัง 200 ksc. 300 ksc. 400 ksc. และ 800 ksc. โดยการใช้ตัวอย่างไม่เดียวกันแบบละ 10 ตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังของคอนกรีตดังกล่าว จากผลการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตมีความแปรปรวนน้อยมากและให้กำลังอัดเฉลี่ยใกล้เคียงกับการใช้แผ่นยาง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันให้ค่าความแปรปรวนมาก และไม่เหมาะสำหรับคอนกรีตกำลังปานกลางและกำลังสูง

ABSTRACT : Concrete cylinder specimens for testing compressive strength need to cap the ends with capping compounds to get perpendicular of the ends surface to the axial and smoothness of the end surfaces. Traditionally, sulfur mortar capping is one of the most widely used methods in testing compressive strength of cylinder specimen. But toxicity of sulphur is harmful to the experimenters when they breathed in sulfur fog and sulphur capping is not of sufficient strength to use for the testing of the high strength concrete. Thus, the aim of this research is to compare alternatives in three end of specimen treatments for compression test were; (a) capping the cylinders with sulfur mortar, (b) using unbonded neoprene caps in steel plate retaining, (c) grinding the end surfaces , for 200 ksc., 300 ksc., 400 ksc. and 800 ksc. cylindrical concrete compressive strength. Ten specimens of each specimen end treatment methods of each concrete compressive strength were prepared from one batch. By results of this research have showed that grinding the cylinder ends treatment gives little variability in concrete compressive strength and the average

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

compressive strengths which are similar strength to unbonded neoprene pads treatment. Additionally, using sulfur mortar caps resulted in much variability and was not suitable for high strength concrete testing.

KEYWORDS : Compressive strength, concrete, capping, grinding

1. บทนำ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตซึ่งมีการเก็บตัวอย่างจากหน้างาน เป็นการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพื่อนำค่าที่ได้ไปอ้างอิงกับสภาวะการรับน้ำหนักของคอนกรีตในโครงสร้างจริงว่ามีกำลังตามที่วิศวกรได้ออกแบบไว้หรือไม่ รูปทรงของตัวอย่างคอนกรีตที่นิยมใช้ในการทดสอบเพื่อหากำลังอัดของคอนกรีตมี 2 รูปแบบ คือ รูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีข้อดีกว่าตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์หลายประการ เช่น การหล่อและการรับน้ำหนักในแนวตั้ง มีลักษณะการเทและการรับแรงของโครงสร้างคอนกรีตในสภาวะการใช้งานจริงโดยทั่วไป ดังนั้นมีความเสมือนจริงมากกว่าตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่มีทิศทางการเทและการทดสอบคอนกรีตที่ตั้งฉากกัน นอกจากนี้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกยังมีผลกระทบจากขนาดของหินน้อยกว่าและการกระจายของหน่วยแรงสม่ำเสมอกว่าตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ เนื่องจากการยึดรั้งที่ปลายตัวอย่างทั้งด้านบนและด้านล่างของก้อนตัวอย่างคอนกรีตในระหว่างการทดสอบที่น้อยกว่า

เนื่องจากการหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกผิวด้านบนของคอนกรีตจะไม่เรียบพอ ตามมาตรฐาน ASTM C617 [1] ระบุให้ผิวหน้าของคอนกรีตที่นำมาทดสอบจะต้องเรียบและมีความแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มิลลิเมตร และมีผิวหน้า 2 ด้านตรงข้ามขนานกัน ดังนั้นจึงนิยมใช้การเคลือบหัว (Capping) คอนกรีตซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ การใช้ซีเมนต์เพสต์ขัดเททับบนหัวคอนกรีตคอนเทเสร็จใหม่ ๆ การใช้กำมะถัน และการใช้ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงเคลือบหัวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การทดสอบคอนกรีตโดยไม่ทำให้ผิวหน้าเรียบจะทำให้ค่ากำลังที่ทดสอบได้มีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ผิวหน้าของคอนกรีตที่ไม่เรียบหรือเอียงเพียง 0.25 มิลลิเมตร อาจทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้ถึงร้อยละ 33 และจะลดลงมากเมื่อเป็นคอนกรีตกำลังสูง กำลังของวัสดุที่ใช้ทำการเคลือบหัวคอนกรีตควรเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ใช้ทำการทดสอบ ผิวเคลือบหัวคอนกรีตควรมีความหนาประมาณ 1.5 ถึง 3.0 มิลลิเมตร จึงจะไม่ส่งผลต่อพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีตภายใต้การทดสอบกำลังอัด นอกจากนี้ภายหลังการเคลือบหัวคอนกรีตแล้วจะต้องทิ้งให้วัสดุที่เคลือบผิวคอนกรีตแข็งตัว เช่น กำมะถัน ควรทิ้งให้แข็งตัวอย่างน้อย 2 ชั่วโมง มิฉะนั้นเมื่อทำการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตผิวเคลือบที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่จะแตกเสียหายก่อน เป็นผลให้กำลังอัดที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง โดยทั่วไปนิยมใช้กำมะถันเคลือบหัวคอนกรีตสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังไม่สูงมาก กำมะถันที่ใช้เคลือบผิวหน้าคอนกรีตไม่ควรนำกลับมาใช้อีก เพราะอาจมีเศษคอนกรีต ฝุ่น และทรายปะปนอยู่ทำให้คุณภาพของกำมะถันลดลง นอกจากนี้กำมะถันที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้มหลายครั้งจะมีกำลังลดลงด้วย รวมถึงไอระเหยจากการต้มกำมะถันให้เป็นของเหลวจัดเป็นก๊าซพิษที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงต่อผู้ทำการทดสอบ หากสูดดมหรือสัมผัสกับดวงตาเป็นประจำและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับการทดสอบกำลังอัด โดยวิธีการ Capping ด้วยกำมะถัน การใช้แผ่นยาง และการเจียรปลายตัวอย่าง สำหรับคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่าง ๆ

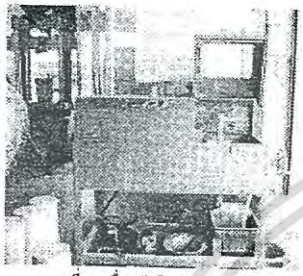
3. วิธีการศึกษา

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้ในการเปรียบเทียบนี้ใช้คอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัด (ตามการออกแบบส่วนผสม) เป็น 200 ksc. 300 ksc 400 ksc และ คอนกรีตกำลังสูง (800 ksc.) เพื่อให้ครอบคลุมกำลังรับแรงอัดตั้งแต่ต่ำ ปานกลาง และสูง

2. สำหรับกำลังรับแรงอัด 200 ksc. 300 ksc. และ 400 ksc. ใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด ∅ 0.15 ม. สูง0.30 ม. และขนาด ∅ 0.07 ม. สูง 0.15 ม. สำหรับคอนกรีตกำลังสูง โดยมีการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C617 และ C192 [2] จำนวนตัวอย่างและรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 1 โดยในแต่ละช่วงกำลังของคอนกรีตจะใช้คอนกรีตที่ผสมไม่เหมือนกันในการทดสอบ (อย่างน้อย 30 ตัวอย่าง) สำหรับคอนกรีตกำลังสูงมีการใส่สารผสมเพิ่ม (Admixture) เป็นสารลดน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) เพื่อเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต



ภาพที่ 1 เครื่องขัดผิวปลายตัวอย่างคอนกรีต

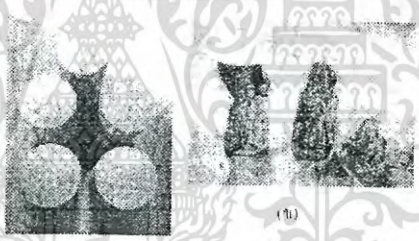
ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุผสมคอนกรีต (ต่อ ลบ.ม.)	สัดส่วนผสมคอนกรีตแต่ละช่วงกำลังอัด			
	200 ksc.	300 ksc.	400 ksc.	800 ksc.
w/c ratio	0.62	0.48	0.38	0.25
ปูนซีเมนต์ (กก.)	325	417	527	420
น้ำ (ลิตร)	200	200	200	42
มวลรวมหยาบ (กก.)	1,064	1,064	1,064	1,300
มวลรวมละเอียด (กก.)	991	712	619	886
สารผสมเพิ่ม (ลิตร)	-	-	-	63
Slump (ซม.)	10	9	8	16
อายุของตัวอย่าง (วัน)	28	28	28	28
จำนวนตัวอย่าง (ก้อน)	30	30	30	20

3. หลังจากที่บ่มคอนกรีตได้อายุครบ 28 วัน นำตัวอย่างคอนกรีตมาทำการเตรียมตัวอย่าง การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการ 3 รูปแบบ เพื่อวัตถุประสงค์ในการนำมาเปรียบเทียบกัน วิธีแรกใช้การขัดผิวปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้น ให้มีความเรียบและได้ระนาบเป็นไปตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM C39 (1996) [3] วิธีนี้มักถูกใช้กับคอนกรีตกำลังรับแรงสูง Johnson และ Mirza (1996) พบว่าตัวอย่างที่ได้รับการขัดผิวปลายตัวอย่างจะให้ค่า Yield Strength ที่สูงกว่าการเคลือบผิวด้วยกำมะถัน [4] วิธีที่ 2 ใช้ Bonded Cap ตาม ASTM C617 ซึ่งประกอบด้วยการใช้ Cement paste ยิปซั่มกำลังสูง หรือกำมะถันเคลือบผิวปลายตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ใช้กำมะถันเคลือบปลายตัวอย่าง และ วิธีสุดท้ายเป็นวิธีการ Unbonded Cap กับคอนกรีตที่มีกำลังต่ำ ตามมาตรฐาน ASTM 1231 [5] โดยใช้แผ่นยางแข็งรองหัวนิ่มแบบหล็กครอบปลายตัวอย่าง (Retaining Ring) เป็นวัสดุส่งถ่ายแรง ซึ่งแผ่นยางได้ถูกทดสอบให้มีคุณสมบัติตามที่มาตรฐานกำหนด โดยรายละเอียดของจำนวนตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในแต่ละวิธีเป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต	ช่วงกำลังอัดของคอนกรีต				รวม
	200 ksc.	300 ksc.	400 ksc.	800 ksc.	
การเจียรปลาย	10	10	10	10	40
การเคลือบผิวด้วยกำมะถัน	10	10	10	10	40
แผ่นยางรองหัว	10	10	10	-	30



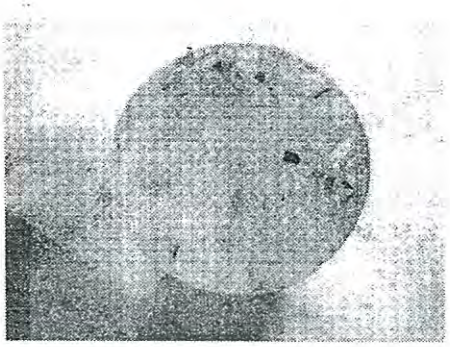
(ก) (ข)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างคอนกรีตที่ถูกเจียรปลาย (ก) ก่อนทดสอบ (ข) หลังทดสอบ

ส่วนคอนกรีตกำลังสูงจะทำการเตรียมปลายตัวอย่างเพียง 2 วิธีเท่านั้น คือ การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตและการเคลือบผิวด้วยกำมะถัน ทั้งนี้เพราะแผ่นยางแข็งไม่สามารถใช้กับคอนกรีตที่มีกำลังสูงมากๆ ได้

4. ทำการทดสอบคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C39 แล้วนำผลทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ค่าในเชิงสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3แสดงสภาพผิวปลายด้วอย่างคอนกรีตที่ถูกเจียรปลาย ออก ประมาณ 2 มม. จะมีความเรียบเสมอกันตลอดและตั้งได้ฉากกับแกนด้วอย่าง

4. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบกำลังอัดด้วอย่างคอนกรีตสามารถแสดงข้อมูลเชิงสถิติดังในตารางที่ 3 และนำค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยไปเขียนกราฟได้ดังภาพที่ 4 และนำค่าความแปรปรวนไปเขียนกราฟได้ดังภาพที่ 5

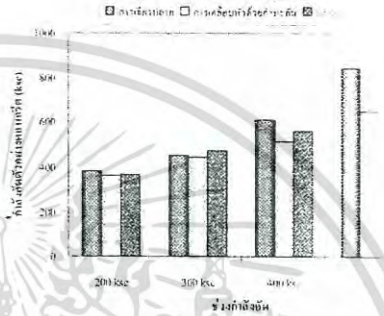
ตารางที่ 3 ข้อมูลเชิงสถิติของการทดสอบกำลังอัด

ช่วงกำลังอัด	ตัวแปรย่อย/ขนาดตัวอย่าง	Mean (ksc)	Std. Dev. (ksc)	Coeff. of Variance	Min (ksc)	Max (ksc)	Range (ksc)	จำนวน (ก้อน)
200 ksc	ตามเจียปลาย	383	13.89	3.63%	363	406	43	10
	การเคลือบปูนซีเมนต์ด้วยน้ำมันเครื่อง	360	18.41	5.11%	340	390	50	10
	แผ่นยางรองหน้า	367	17.03	4.64%	341	396	55	10
300 ksc	การเจียรปลาย	450	14.34	3.19%	436	473	43	10
	การเคลือบปูนซีเมนต์ด้วยน้ำมันเครื่อง	445	53.39	12.00%	376	516	140	10
	แผ่นยางรองหน้า	470	31.17	6.63%	420	511	90	10
400 ksc	การเจียรปลาย	610	42.63	6.99%	550	693	143	10
	การเคลือบปูนซีเมนต์ด้วยน้ำมันเครื่อง	513	60.61	11.82%	440	595	156	10
	แผ่นยางรองหน้า	561	30.45	5.42%	521	616	95	10
600 ksc	การเจียรปลาย	845	35.54	4.21%	796	909	113	10
	การเคลือบปูนซีเมนต์ด้วยน้ำมันเครื่อง	650	83.69	12.88%	540	796	255	10

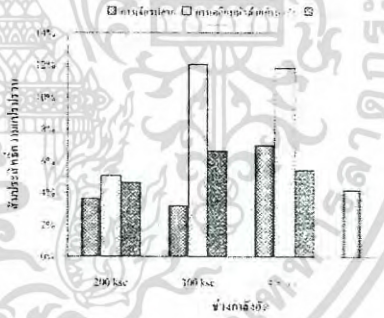
5. การวิเคราะห์ผลทดสอบ

มีรายละเอียดการวิเคราะห์ผลทดสอบดังรายละเอียดต่อไป

1. เนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตในแต่ละค่ากำลังถูกสร้างโม่ด้วยกัน ดังนั้นจึงถือเสมือนว่ามีเนื้อเดียวกันดังนั้นคุณสมบัติของตัวอย่าง จึงขึ้นกับการทำตัวอย่างและการทดสอบ ในงานวิจัยนี้พยายามควบคุมการทำตัวอย่างตามมาตรฐานที่สุดเพื่อให้สามารถนำตัวอย่างทดสอบมาเปรียบเทียบ



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดการเตรียมปลาย และช่วงกำลังอัด



ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด

2. จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาช่วงกำลังอัด 200 ksc และ 400 ksc พบว่าการเคลือบปลายด้วยน้ำมันเครื่องค่ากำลังอัดต่ำกว่าวิธีอื่น การเตรียมปลายด้วยแผ่นยางรองหน้าปลายให้ค่ากำลังอัดที่มากกว่าวิธีอื่น ยกเว้นช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรองแผ่นยางจะให้ค่ากำลังอัดที่มากที่สุด สำหรับคอนกรีตกำลังสูงที่มีการเปรียบเทียบเพียงสองวิธี คือ การเตรียมตัวอย่างด้วยการเจียรปลายและการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน ในการเตรียมตัวอย่างด้วยการเจียรปลายให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน

3. จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า สำหรับคอนกรีตกำลัง 200 ksc – 800 ksc. ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตทั้งสามวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อคอนกรีตกำลังสูงขึ้น ที่กำลัง 400 ksc. และ 800 ksc. การเตรียมตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายด้วยกำมะถันให้ค่ากำลังรับแรงอัดน้อยที่สุด ที่กำลัง [illegible] ksc. การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกันกับการใช้แผ่นยางรองหัวตัวอย่าง (610 ksc. และ 560 ksc. ตามลำดับ)

4. จากภาพที่ 5 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายด้วยตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด พบว่า การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงกว่าวิธีอื่น โดยเฉพาะช่วงกำลัง 300 ksc. 400 ksc และคอนกรีตกำลังสูง มีค่าความแปรปรวนสูงมากถึง 12.0% 8.2% และ 12.88% ตามลำดับ ซึ่งหมายถึง ผลทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะมีค่าแปรปรวนมาก ความแปรปรวนนี้จากการเจียรปลายตัวอย่างจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนต่ำกว่าวิธีอื่น และมีค่าเท่ากับ 3.63% 3.19% 6.90% และ 4.21% สำหรับคอนกรีตกำลัง 200 ksc 300 ksc 400 ksc และ 800 ksc ตามลำดับ ซึ่งการที่เคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันให้ค่าความแปรปรวนมากเนื่องจาก มีปัจจัยหลายอย่างจากการ Capping ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ได้แก่ ความสม่ำเสมอของการ Capping ความหนาต่ำสุดของการเคลือบปลายตัวอย่าง และที่สำคัญคือกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบ เมื่อดูค่า Range ในตารางที่ 4 พบว่า ค่าผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของผลทดสอบของการ Capping มีค่าเท่ากับ 50 ksc 140 ksc 156 ksc และ 255 ksc. สำหรับคอนกรีตกำลัง 200 ksc 300 ksc 400 ksc และ 800 ksc ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบสูงมาก สำหรับการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่า Range ต่ำสุด ยกเว้นที่คอนกรีตกำลัง 400 ksc. ที่การใช้แผ่นยางให้ค่า Range ต่ำสุด ซึ่งโดยปกติคอนกรีตยิ่งกำลังสูงขึ้นมากเท่าใด ค่าความแปรปรวนของผลทดสอบกำลังรับแรงอัดก็จะสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต การเตรียมตัวอย่าง และเตรียมปลายตัวอย่าง ถือเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง ดังนั้นการจำกัดความแปรปรวนของผลทดสอบด้วยการเลือกใช้วิธีการเตรียมปลายตัวอย่างที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มความแม่นยำให้กับผลทดสอบแรงอัดของคอนกรีต

5. จากผลทดสอบ แสดงให้เห็นว่าการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน เมื่อนำมาใช้กับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดปานกลางและกำลังสูง จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบจากค่าจริงมาก เมื่อเทียบกับวิธีอื่น สำหรับการทดสอบด้วยแผ่นยางให้ผลทดสอบใกล้เคียงกันกับการเจียรปลายตัวอย่าง แต่อย่างไรก็ตามการใช้แผ่นยางรองหัวตัวอย่างทดสอบไม่สามารถใช้ได้กับคอนกรีตกำลังสูงมากๆ เนื่องจากข้อจำกัดของความแข็งของยาง

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ความแปรปรวนของกำลังอัดกับวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อช่วงกำลังอัดมากขึ้น เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ได้แก่ กำลังของส่วนผสม การทำตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างทดสอบ และปัจจัยเหล่านี้จะมีผลมากขึ้นเมื่อกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

2. การเตรียมตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายด้วยกำมะถันมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงกว่าวิธีอื่นในทุกช่วงกำลังอัด

3. ในช่วงกำลังอัด 200, 300 และ 400 ksc การเจียรปลายตัวอย่างมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนต่ำกว่าวิธีอื่น ยกเว้นที่กำลังอัด 400 ksc การรองด้วยแผ่นยางให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนที่ต่ำกว่า

4. การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันไม่เหมาะสำหรับใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบคอนกรีตกำลังปานกลางและกำลังสูง

5. การใช้แผ่นยางรองปลายตัวอย่างให้ผลทดสอบใกล้เคียงกับการเจียรปลายตัวอย่างสำหรับคอนกรีตกำลัง 200 ksc - 400 ksc

6. สำหรับคอนกรีตที่ค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 200 ksc. การเตรียมปลายตัวอย่างทั้งสามแบบให้ค่าผลทดสอบใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับภูมิภาค (สกว.-สศอ.) ประจำปี 2550 และขอขอบคุณ หจก. ก. ไทยก่อสร้างวิศวการ ไชยา

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM C617-98 *Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*

[2] ASTM C192/C192M-98 *Standard practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*

[3] ASTM C39/ 39-05 *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

[4] Ali Mirza, S. and Johnson, C.D. (1996) Compressive Strength Testing of High Performance Concrete Cylinders Using Confined Caps. *Construction and Building Materials*, Vol. 10, No 8, pp. 589 – 595

[5] ASTM C1231 Standard Practice for Use of Unbonded Caps in *Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวิชาญ โฆษิตเจริญกุล
วัด เดือน ปีเกิด	26 กันยายน 2526 จังหวัดชลบุรี
ที่อยู่	29/29 หมู่ 6 ถนนบางนา-ตราด ตำบลบางเสาธง อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา2548	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการทำงาน	
พ.ศ. 2548 – 2549	ตำแหน่งวิศวกรโยธา ผู้ควบคุมงาน บริษัท
พ.ศ. 2549 – 2550	ตำแหน่งวิศวกรโยธา ผู้ควบคุมงาน บริษัท คาซ่าวิลล์ จำกัด
พ.ศ. 2550 – 2553	ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายขาย บริษัท อินเตอร์เคหะภัณฑ์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้