

การประดิษฐ์เครื่องบดตัวอย่างคอนกรีตเพื่อหาความแข็งแรงอัด
INVENTION OF CONCRETE SPECIMEN GRINDING MACHINE FOR
COMPRESSIVE STRENGTH

เออร์ซัน ยูโซฟ
AIRSUN YUSOF

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะเทคโนโลยีสุรนารี วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สาขาวิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2552
KMUTT-2009-EN-M 090-113

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด

INVENTION OF CONCRETE SPECIMEN GRINDING MACHINE FOR
COMPRESSIVE STRENGTH



แอซัน ยูโซะ
AIRSUN YUSOF

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...104502
วัน,เดือน,ปี... - 4 พ.ศ. 2552

b. 10450261
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2552
KMITL-2009-EN-M-090-113

**INVENTION OF CONCRETE SPECIMEN GRINDING MACHINE FOR
COMPRESSIVE STRENGTH**

AIRSUN YUSOF

**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**

2009

KMITL-2009-EN-M-090-113



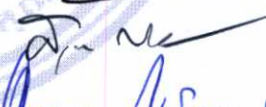
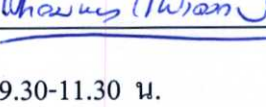

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด
Thesis Title Invention of Concrete Specimen Grinding Machine for Compressive Strength
นักศึกษา นายแชน ยูโซะ
รหัสประจำตัว 49061604
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-090-113

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.นันทวัฒน์	จรัสโรจน์ชนเดช	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญฤกษ์	
ผศ.ดร.สันติ	เจริญพรพัฒนา	
ผศ.สุพจน์	ศรีนิล	
ผศ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2552 เวลา 09.30-11.30 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 17 สิงหาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด
นักศึกษา	นายแอสัน ยูโษะ
รหัสนักศึกษา	49061604
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการ
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

บทคัดย่อ

ในการใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกสำหรับการทดสอบแรงอัดของคอนกรีต จำเป็นต้องทำการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน เพื่อให้ผิวตัวอย่างเรียบ ตั้งได้ฉากกับแกนของตัวอย่าง และขนานกับปลายด้านตรงข้าม แต่กัมมะถันเป็นวัสดุที่มีพิษ เมื่อสูดดมมาก ๆ จะเข้าไปสะสมในร่างกายของผู้ทำการทดสอบ ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้ทำการทดสอบในระยะยาว กอปรกับกำลังรับแรงอัดของกัมมะถันไม่มากจึงไม่สามารถนำมาใช้ กับตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูงได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต โดยใช้วัสดุและฝีมือแรงงานในท้องถิ่น แทนการนำเข้าเครื่องจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงมาก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกับการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน สำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc, 300 ksc, 400 ksc และ คอนกรีตกำลังสูง (800 ksc) จำนวนกำลังละ 10 ตัวอย่างต่อการเตรียมตัวอย่างทั้ง 2 วิธี จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสามารถผลิตภายในท้องถิ่นด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่ามากและลดอันตรายจากการใช้กัมมะถันในการเคลือบตัวอย่างคอนกรีต และให้ค่าความแปรปรวนของผลทดสอบกำลังรับแรงอัดน้อยมากและใช้ได้ดีสำหรับคอนกรีตกำลังต่ำถึงสูง ขณะที่การเคลือบปลายตัวอย่างกัมมะถันให้ความแปรปรวนสูงสำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดปานกลางและคอนกรีตกำลังสูง

Thesis Title	Invention of Concrete Specimen Grinding Machine for Compressive Strength
Student	Mr. Airsun Yusof
Student ID.	49061604
Degree	Master of Engineering
Program	Construction Engineering and Management
Year	2009
Thesis Advisor	Asst. Prof. Laemthong Laokhongthawarn

ABSTRACT

The used of concrete cylinder specimens for testing compressive strength need to cap the ends with sulfur mortar. Sulfur capping technique was used for perpendicularity of the ends with respect to the cylinder axis and flatness of the end surface. But toxicity of sulfur was hazardous for the experimenters when they breathed in and severe health problem in long-term. In addition, sulfur mortar capping was not of sufficient strength for use in the testing of the highest compressive strength concrete. The purpose of this study was to invent the concrete specimen grinding machine that were made in local area and compensated for order machines from abroad with very expensive cost. This study was determined effective of grinding machine compared to sulfur capping compounds for the 200 ksc, 300 ksc, 400 ksc and high strength concrete (800 ksc) levels. It was determined that 10 specimens per end condition. This research showed that the grinding machine can made in local area with very cheapness cost and reduces hazardous toxic from sulfur mortar capping specimen. In addition, grinding the cylinder ends leads to less variability and available for high strength concrete testing, while the using sulfur mortar caps may result in greater variability for medium and high strength concrete levels.

กิตติกรรมประกาศ

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

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยความกรุณาจาก ผศ. แผลมทอง เหล่าคงถาวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์นี้ โดยตลอดเวลาที่ท่านได้ให้ความช่วยเหลือ สั่งสอน แนะนำ รวมถึงการให้คำชี้แนะการแก้ปัญหา อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงพื้นฐานทางด้านภาษา และการนำเสนอผลงาน ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ซึ่งถือเป็นสิ่งมีค่าที่ข้าพเจ้าได้รับตลอดเวลาที่ทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ผศ.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็น และคำชี้แนะ ในการปรับปรุงงานวิจัยนี้ให้มีความเหมาะสมและมีคุณค่ามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณบรรดาคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณวิเชียร พานวงษ์ ตำแหน่ง ผู้จัดการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ก. ไทยธำรงวิศวกรรมโยธา ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องมือทดสอบวิศวกรรมโยธา ในการร่วมออกแบบ จัดทำ ประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมถึงคุณวิชาญ โหมยิตเจริญกุล นักศึกษาปริญญาโท ภาควิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการช่วยเหลือด้านข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย และคุณปวีณ เทียมราช นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการร่วมทดสอบและเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ เอาใจใส่และให้การสนับสนุนอย่างดีเสมอมา ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

แอสัน ยูโซะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ปัญหาทางานวิจัย.....	2
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.4 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 รูปแบบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	5
2.2.1 การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต (Ground ends).....	5
2.2.2 การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต (Bonded caps).....	7
2.2.3 การใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีต (Unbonded pads).....	8
2.3 การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	8
2.4 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	11
2.5 มาตรฐานการทดสอบเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	14
2.6 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตที่มีใช้ในต่างประเทศ.....	14
2.6.1 ความสามารถในการเจียรก้อนตัวอย่างคอนกรีต.....	15
2.6.2 ชุดอุปกรณ์การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	15
2.6.3 ระบบการกำจัดฝุ่นละออง.....	15
2.6.4 คุณสมบัติอื่น ๆ ของเครื่องจักร.....	15
2.6.5 ราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีใช้ในต่างประเทศ.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 บทวิเคราะห์.....	16
บทที่ 3 กรอบทฤษฎี.....	18
3.1 บทนำ.....	18
3.2 กำลั้งอัดของคอนกรีต.....	18
3.2.1 ธรรมชาติของกำลั้งอัดของคอนกรีต.....	18
3.2.2 หลักการและเหตุผลทางทฤษฎีที่มีผลต่อกำลั้งอัดของคอนกรีต.....	19
3.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลั้ง.....	21
3.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลั้งอัดก่อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก.....	27
3.2.5 การทำก้อนตัวอย่างและการทดสอบกำลั้งอัด.....	31
3.2.6 การประเมินผลการทดสอบ.....	33
3.2.7 สาเหตุที่กำลั้งอัดไม่เป็นไปตามข้อกำหนด.....	35
3.2.8 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต.....	35
3.3 การทดสอบกำลั้งอัดของคอนกรีตด้วยวิธีต่าง ๆ.....	37
3.3.1 วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อหากำลั้งต้านทานแรงอัดของคอนกรีต.....	37
3.3.2 การทดสอบแบบทำลายเพื่อหาแรงต้านทานกำลั้งอัดคอนกรีต.....	61
3.4 กำมะถัน (Sulfur).....	62
3.4.1 การใช้ประโยชน์.....	63
3.4.2 ความเป็นพิษต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม.....	63
3.4.3 ข้อมูลจำเพาะของกำมะถัน.....	64
บทที่ 4 การออกแบบและการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายคอนกรีต.....	65
4.1 บทนำ.....	65
4.2 องค์ประกอบเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	65
4.2.1 โครงกล่องเครื่องจักร.....	65
4.2.2 ใบเจียรชนิดหมุนกวาดได้ในแนวรัศมี.....	65
4.2.3 ลูกเบี้ยว.....	66
4.2.4 แท่นวางตัวอย่าง.....	66
4.2.5 ตัวเลื่อนปรับระยะเจียรนัย.....	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.6 ตัวล๊อคป้องกันการขยับของตัวอย่าง.....	66
4.2.7 ป้อนน้ำ.....	66
4.2.8 หัวฉีดน้ำชนิดข้ออ่อนปรับได้.....	66
4.2.9 มอเตอร์หมุนไฟฟ้า.....	66
4.2.10 Safety Guard.....	66
4.2.11 แผงวงจรควบคุมเครื่องจักร.....	66
4.3 การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่าง.....	67
4.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	70
4.5 หลักการทำงานและการบำรุงรักษาเครื่องเจียรปลาย.....	70
4.5.1 หลักการทำงานเครื่องเจียรปลาย.....	70
4.5.2 การบำรุงรักษาเครื่องเจียรปลาย.....	71
4.6 การศึกษาความคุ้มค่า ราคาและต้นทุนการใช้งาน.....	71
4.6.1 ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์ของเครื่องจักร.....	71
4.6.2 วัสดุสิ้นเปลือง.....	73
4.6.2 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างเครื่องเจียรและการเคลือบปลาย ด้วยกำมะถัน.....	73
บทที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต.....	76
5.1 บทนำ.....	76
5.2 การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต.....	76
5.2.1 วัสดุผสมคอนกรีต.....	76
5.2.2 การหล่อและการบ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีต.....	77
5.3 การเตรียมปลายตัวอย่าง.....	79
5.3.1 การเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลาย.....	79
5.3.2 การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน.....	80
5.4 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง.....	82
5.5 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต.....	83
5.6 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเจียรปลายคอนกรีต.....	85

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	89
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	89
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	90
บรรณานุกรม.....	92
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต.....	96
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต.....	107
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	114
ประวัติผู้เขียน.....	122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีใช้ในต่างประเทศ.....	16
3.1 ผลของขนาดและลักษณะของก้อนตัวอย่างต่อกำลังอัด.....	24
3.2 ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ต่อกำลังอัด.....	24
3.3 ผลของอัตราการกดต่อกำลังอัด.....	26
3.4 การเปรียบเทียบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอกตาม มอก. 213/2520.....	30
3.5 สรุปความผันแปรของกำลังอัด.....	34
4.1 ราคาค่าวัสดุและแรงงานในการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่าง.....	72
4.2 ต้นทุนใช้จ่ายในกระบวนการเตรียมปลายตัวอย่าง.....	74
5.1 สัดส่วนผสมคอนกรีตในแต่ละช่วงกำลังอัด.....	77
5.2 การเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด.....	79
5.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง.....	83
5.4 ข้อมูลการวิเคราะห์ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต.....	86
ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 200 ksc และ 300 ksc.....	105
ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 400 ksc และ 800 ksc.....	106
ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการสำหรับตัวอย่างคอนกรีต ขนาด \varnothing 150 x 300 มม.....	112
ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการสำหรับตัวอย่างคอนกรีต ขนาด \varnothing 70 x 150 มม.....	113

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต	6
2.2 อุปกรณ์ยึดจับและใบเจียรนัยปลายตัวอย่าง	6
2.3 อุปกรณ์เคลื่อนปลายตัวอย่างคอนกรีต	7
2.4 แผ่นยางรองกดและเป้าเหล็กสำหรับการทดสอบการใช้วัสดุรองกด	8
2.5 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง	12
2.6 การทำงานของชุดหัวเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง	12
2.7 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวนอน	13
2.8 ชุดอุปกรณ์การยึดจับตัวอย่างคอนกรีตแนวนอน	14
3.1 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และการอัดแน่นที่มีผลต่อกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต	20
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน	20
3.3 การบ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีต	23
3.4 สิ่งที่ทำให้กำลังอัดผันแปรเนื่องจากการทำและทดสอบก้อนตัวอย่าง	25
3.5 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต	27
3.6 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก	28
3.7 การกดก้อนตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบ	28
3.8 แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดซึ่งก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้างของก้อนตัวอย่าง (Confining Stress)	29
3.9 การแปลงกำลังอัดลูกบาศก์เป็นกำลังอัดกระบอกมาตรฐาน	30
3.10 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์	31
3.11 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงกระบอก	32
3.12 อุปกรณ์ทำตัวอย่าง รูปคาน	33
3.13 การแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก	36
3.14 (a) ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่ถูกต้องและ (b) การแตกที่ไม่ถูกต้อง	36
3.15 ส่วนประกอบของค้อนกระทบแบบสมิทท์ (Schmidt's Rebound Hammer)	38
3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับจำนวนครั้งการสะท้อน	39
3.17 ชุดอุปกรณ์การวัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 ตัวอย่างแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour Map) ของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก.....	43
3.19 อุปกรณ์การวัดความถี่เรโซแนนซ์.....	45
3.20 ชุดทดสอบ Windsor HP Probe.....	47
3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต.....	47
3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสลักกับความแข็งแรงของคอร์ด.....	49
3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความแข็งแรงทดสอบมาตรฐาน.....	49
3.24 (ก) การทดสอบแบบ LOK-Test และ (ข) การทดสอบแบบ CAPO-Test.....	50
3.25 การทดสอบสลักคีดด้วยอีพอกซีเรซิน.....	50
3.26 วิธีการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ด.....	51
3.27 วิธีการทดสอบโดยวิธีดึงคอร์ดให้หัก.....	53
3.28 แสดงอุปกรณ์ทดสอบการดึงคอร์ดให้หัก.....	54
3.29 แสดงการทดสอบการบิดให้แตกหัก.....	55
3.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความแข็งแรงของชิ้นวัสดุทดสอบ.....	55
3.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลา.....	57
3.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับการเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิ 20 °C.....	58
3.33 แสดงตัวอย่างการวัดวัดระดับการแข็งตัว (Maturity) ด้วยเครื่องมือวัด.....	59
3.34 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของ ISO โดยความเร็วเสียง และจำนวนครั้งการสะท้อน (SONRER).....	61
4.1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	67
4.2 รูปด้านหน้าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	68
4.3 แผงควบคุมการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	69
4.4 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตขณะทำการเจียรคอนกรีต.....	69
4.5 ชุดอุปกรณ์การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต.....	70
4.6 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ผลิตโดย บริษัท Humboldt จำกัด.....	73
4.7 กราฟ Break-Even Point ต้นทุนค่าใช้จ่ายระหว่างการเจียรปลายกับการเคลือบปลายด้วย กัมมะถัน.....	75
5.1 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก.....	78
5.2 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการบ่มที่ 28 วัน.....	78
5.3 อุปกรณ์การจับยึดตัวอย่างของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต.....	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลาด้วยเครื่องเจียร.....	80
5.5 การเคลือบปลาตัวอย่างด้วยกำมะถัน.....	81
5.6 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเคลือบปลาตัวอย่างด้วยกำมะถัน.....	81
5.7 Feeler Gage.....	82
5.8 การทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต.....	84
5.9 รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการเจียรปลา.....	84
5.10 รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการเคลือบปลาด้วยกำมะถัน.....	85
5.11 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดการเตรียมปลาตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด.....	87
5.12 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลาตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด.....	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตซึ่งทำการเก็บตัวอย่างจากหน้างาน เป็นการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพื่อนำค่าที่ได้ไปอ้างอิงกับสถานะการรับน้ำหนักคอนกรีตในโครงสร้างจริงว่ามีกำลังตามที่วิศวกรได้ออกแบบไว้หรือไม่ รูปทรงของตัวอย่างคอนกรีตที่นิยมใช้ในการทดสอบเพื่อหาลำดับของคอนกรีตมี 2 รูปแบบ คือ รูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีข้อดีกว่าตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์หลายประการ เช่น การหล่อและการรับน้ำหนักในแนวตั้ง มีลักษณะการเทและการรับแรงของโครงสร้างคอนกรีตในสถานะการใช้งานจริงโดยทั่วไป ดังนั้นมีความเสมือนจริงมากกว่าตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่มีทิศทางการเทและการทดสอบคอนกรีตที่ตั้งฉากกัน นอกจากนี้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกยังมีผลกระทบจากขนาดของหินน้อยกว่าและการกระจายของหน่วยแรงสม่ำเสมอกว่าตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ จากการยึดปลายตัวอย่างทั้งด้านบนและด้านล่างของก้อนตัวอย่างคอนกรีตในระหว่างการทดสอบที่น้อยกว่า

ด้วยการหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกผิวด้านบนของคอนกรีตจะไม่เรียบพอ ตามมาตรฐาน ASTM C 39/C 39M-99 [1] ระบุให้ผิวหน้าของคอนกรีตที่นำมาทดสอบจะต้องเรียบและมีความแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงนิยมใช้การเคลือบหัว (Capping) คอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 617-98 [2] มีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ การใช้ซีเมนต์เพสต์ชั้นเทพบนหัวคอนกรีตตอนเทเสร็จใหม่ ๆ การใช้กัมมะถัน หรือปูนปลาสเตอร์กำลังสูงเคลือบหัวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การทดสอบคอนกรีตโดยไม่ทำให้ผิวหน้าเรียบจะทำให้ค่ากำลังที่ทดสอบได้มีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ผิวหน้าของคอนกรีตที่ไม่เรียบหรือเอียงเพียง 0.25 มิลลิเมตร อาจทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้ถึงร้อยละ 33 และจะลดลงมากเมื่อเป็นคอนกรีตกำลังสูง กำลังของวัสดุที่ใช้ทำการเคลือบหัวคอนกรีตควรเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ใช้ทำการทดสอบ ผิวเคลือบหัวคอนกรีตควรมีความหนาประมาณ 1.5 ถึง 3.0 มิลลิเมตร จะไม่ส่งผลต่อพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีตภายใต้การทดสอบกำลังอัด นอกจากนี้ภายหลังการเคลือบหัวคอนกรีตแล้วจะต้องทิ้งให้วัสดุที่เคลือบผิวคอนกรีตแข็งตัว เช่น กัมมะถัน ควรทิ้งให้แข็งตัวอย่างน้อย 2 ชั่วโมง มิฉะนั้นเมื่อทำการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต ผิวเคลือบที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่ที่จะแตกเสียหายก่อน เป็นผลให้กำลังอัดที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง โดยทั่วไปนิยมใช้กัมมะถันเคลือบหัวคอนกรีตสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังไม่สูงมาก กัมมะถันที่ใช้เคลือบผิวหน้าคอนกรีตไม่ควรนำกลับมาใช้อีก เพราะอาจมีเศษคอนกรีต ผุ่น และ

ทรายปะปนอยู่ทำให้คุณภาพของกัมมะถันลดลง นอกจากนี้กัมมะถันที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้มแล้วหลายครั้งจะมีกำลัลดลงด้วย รวมถึงไอระเหยจากการต้มกัมมะถันให้เป็นของเหลวจัดเป็นก๊าซพิษที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงต่อผู้ทำการทดสอบ หากสูดดมหรือสัมผัสกับดวงตาเป็นประจำและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

จากปัญหาต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้จึงจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบทางเลือกการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับการทดสอบกำลังอัด และพัฒนาการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตโดยการขัดหรือเจียรผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต โดยประดิษฐ์จากวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ มีต้นทุนที่ต่ำมากและใช้ฝีมือแรงงานในท้องถิ่น เพื่อเป็นการพัฒนาการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่มีมาตรฐาน ได้ค่ากำลังถูกต้องเป็นที่ยอมรับทั้งในและต่างประเทศต่อไป

1.2 ปัญหาทางวิจัย

ในการทดสอบความต้านทานกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกนี้ ASTM C 617-98 (2000) ระบุให้ผิวหน้าของคอนกรีตที่นำมาทดสอบต้องเรียบและแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มม. อาจทำได้โดยการขัดผิวให้เรียบ แต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองและใช้เวลานาน [3] เนื่องจากต้องนำเข้าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างจากต่างประเทศ และในประเทศไทยยังไม่ได้นำวิธีการนี้มาใช้งานจริง ดังนั้นจึงนิยมใช้การเคลือบหัวคอนกรีต (Capping) ซึ่งมีอยู่ 3 แบบได้แก่ การใช้ซีเมนต์เพสต์ชั้นเททบบนหัวคอนกรีตคอนเทเสร็จใหม่ ๆ การใช้ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงเคลือบหัวคอนกรีต และโดยส่วนใหญ่ นิยมใช้กัมมะถันเคลือบหัวคอนกรีต กัมมะถันที่ใช้เคลือบไม่ควรนำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง เพราะจะมีเศษคอนกรีต ผุ่นและทราย ปนกลับมาทำให้คุณภาพของกัมมะถันลดลง และข้อเสียของกัมมะถันที่สำคัญคือ กัมมะถันเป็นวัตถุมีพิษหากผู้ทำการทดสอบไม่มีความระมัดระวังเพียงพอ จะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจได้ (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2549) ดังนั้นมาตรฐานฝรั่งเศส (ACI 363R-98) [4] ได้กำหนดอีกวิธีการหนึ่ง คือการเจียรปลายตัวอย่างทั้งสองด้านให้เรียบและขนานกัน แต่วิธีการนี้มาใช้ในประเทศไทย เนื่องจากต้องสั่งนำเข้าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างจากต่างประเทศในราคาเป็นล้านบาท ที่ศูนย์ทดสอบวัสดุของภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ให้บริการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตให้กับบริษัท และหน่วยงานอื่นเป็นจำนวนมาก ประมาณวันละเกือบ 200 ตัวอย่าง ทางผู้วิจัยได้สังเกตเห็นปัญหาสุขภาพของพนักงานทดสอบคอนกรีต เนื่องจากพิษของกัมมะถัน จึงได้มีวัตถุประสงค์ในการวิจัยประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตซึ่งเป็นเครื่องที่คิดขึ้นโดยใช้วัสดุและแรงงานที่มีในประเทศเป็นหลัก

1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับการทดสอบกำลังอัด โดยการเปรียบเทียบการเคลือบปลายด้วยก้ำมะถันกับการเจียรปลายตัวอย่างแท่งคอนกรีตทรงกระบอก
2. เพื่อประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต เพื่อใช้ในการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้วัสดุและฝีมือแรงงานในท้องถิ่น

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

งานวิจัยนี้สมมติฐานว่าการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัดสามารถทดแทนการนำเข้าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างจากต่างประเทศและมีราคาถูกมาก รวมถึงมีส่วนช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทดสอบคอนกรีตมีสุขภาพที่ดีขึ้นและลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด เป็นการวิจัยและพัฒนาการเลือกใช้วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต โดยการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ASTM C 39/C 39M-99: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylinder Concrete Specimens) ในช่วงกำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่แตกต่างกัน รวมถึงการเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูง (High strength concrete) โดยการเตรียมปลายตัวอย่างตัวอย่าง 2 วิธี คือ การเคลือบปลายตัวอย่าง (Capping) ด้วยก้ำมะถัน และการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

1.6 ขั้นตอนการวิจัย

1.6.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกด้วยการเจียรปลายและการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยก้ำมะถัน ศึกษาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต มาตรฐานเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง และเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในต่างประเทศ ด้านความสามารถในการใช้งานต่าง ๆ รวมถึงราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

1.6.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกำลังอัดของคอนกรีต มาตรฐานการเตรียมปลายตัวอย่าง การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเจียรปลาย

ตัวอย่าง รวมถึงศึกษาผลกระทบจากการใช้กำมะถันเป็นวัสดุเคลือบปลายตัวอย่างต่อร่างกายของผู้ทดสอบและสิ่งแวดล้อม

1.6.3 ทำการศึกษาองค์ประกอบหลักของเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง การออกแบบและประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่าง การศึกษาหลักการทำงานและการบำรุงรักษาเครื่องเจียรปลายที่ประดิษฐ์ขึ้น และการศึกษาความคุ้มค่า ราคาเครื่องเจียรและวัสดุสิ้นเปลือง

1.6.4 ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยทำการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตออกเป็น 4 ช่วงกำลังอัด ได้แก่ ช่วงกำลังอัดต่ำ (200 ksc) ช่วงกำลังอัดปานกลาง (300 ksc) ช่วงกำลังอัดสูง (400 ksc) และคอนกรีตกำลังสูง (800 ksc) หลังจากนั้นทำการผสมคอนกรีต หล่อ และบ่มตัวอย่างคอนกรีตแยกตามช่วงกำลังอัดที่ 28 วัน

1.6.5 ทำการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่าง โดยแบ่งการเตรียมปลายตัวอย่างออกเป็น 2 รูปแบบในแต่ละช่วงกำลังอัด คือ การเจียรปลายตัวอย่างและการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน หลังจากนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตัวอย่างคอนกรีต นำข้อมูลการทดสอบวิเคราะห์ทางสถิติ สรุปผลการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบแนวทาง วิธีการที่เหมาะสมของการเตรียมปลายตัวอย่างและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปเกี่ยวกับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากการศึกษาวารสารต่างประเทศ วิทยานิพนธ์ ตำราในประเทศ และเว็บไซต์ ประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมปลายตัวอย่างแท่งคอนกรีตสำหรับการทดสอบกำลังอัด และการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตในช่วงกำลังต่าง ๆ กับวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยการทบทวนวรรณกรรมนี้จะทำการศึกษานวคิดการเปรียบเทียบกำลังอัดโดยการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถันและการเจียรปลายตัวอย่างเป็นหลัก เพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์จุดแข็งและข้อจำกัดการเตรียมปลายตัวอย่างทั้งสองวิธี รวมถึงชี้ให้เห็นความจำเป็นที่ต้องมีการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้วัสดุและแรงงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น

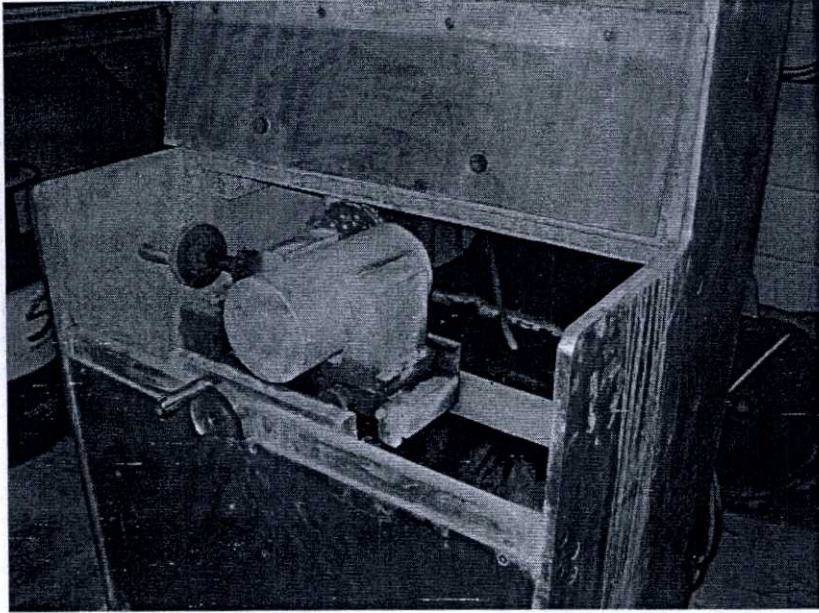
2.2 รูปแบบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตเป็นกระบวนการสำคัญในการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 39/C 39M-99 ซึ่งระบุให้ระนาบปลายตัวอย่างคอนกรีตตั้งฉากกับแนวแกนตัวอย่างไม่เกิน 5° (ประมาณ 3 มม. สำหรับแท่งตัวอย่างสูง 300 มม.) หรือ 1 มิลลิเมตรต่อระยะ 100 มิลลิเมตร รวมถึงปลายตัวอย่างต้องเรียบเสมอกันและแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มม. ซึ่งอาจทำได้โดยการเคลือบปลายตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C 617-98 หรือทำการขัดผิวให้เรียบเสมอกันก็ได้ การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตสามารถจำแนกได้ 3 วิธีใหญ่ ๆ [4] คือ การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต (Ground Ends) การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต (Bonded Caps) และการใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีต (Unbonded Pads)

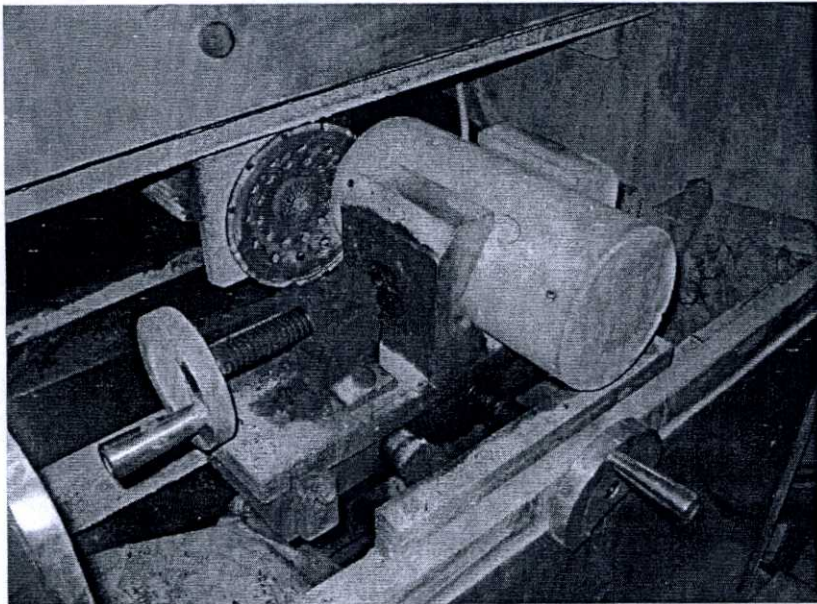
2.2.1 การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต (Ground Ends)

การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตเป็นการขัดปลายให้เรียบเสมอกันและระนาบตั้งฉากกับแนวแกนตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39/C 39M-99 โดยใช้เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2.1 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตจะถูกยึดแน่นด้วยตัวยึดในขณะที่ใบเจียรจะทำการขัดผิวส่วนที่ไม่เรียบออกไป ก้อนตัวอย่างจะไม่สามารถขยับเคลื่อนจากตัวยึดจับได้จนกระทั่งผิวปลายตัวอย่างเรียบเสมอกัน รูปที่ 2.2 แสดงระบบการเจียรปลายตัวอย่างของเครื่องเจียรปลายการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีนี้ใช้เวลาไม่มากนักและสามารถซ้อนกระบวนการทำงาน (Lapping

Method) ในขั้นตอนอื่นได้ ข้อดีของวิธีนี้คือ แท่งตัวอย่างสามารถทดสอบได้ทันทีเมื่อฉีกลายตัวอย่างเรียบร้อยแล้วและผู้ทำการทดสอบไม่ต้องเสี่ยงกับแก๊สพิษที่เกิดจากการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีอื่น



รูปที่ 2.1 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

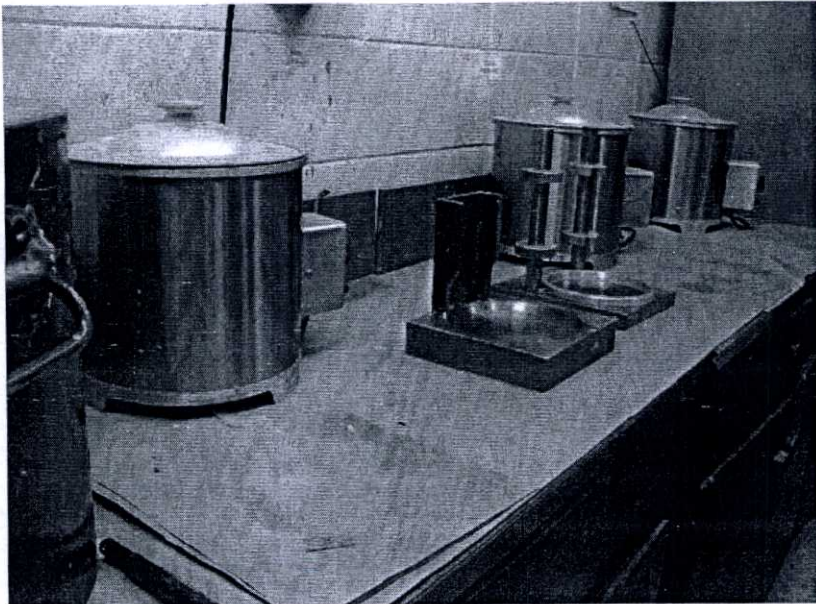


รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ยึดจับและใบเจียรนัยปลายตัวอย่าง

2.2.2 การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต (Bonded caps)

การเคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกได้มีระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM C 617-98 วัสดุที่นิยมใช้ในการเคลือบปลายตัวอย่างมี 3 ประเภท ได้แก่ การใช้ซีเมนต์เพสต์ชั้นเทพบนหัวคอนกรีตตอนเทเสร็จใหม่ ๆ การใช้กัมมะถัน และปูนพลาสติกกำลังสูงเคลือบหัวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว กำลังของวัสดุที่ใช้เคลือบหัวคอนกรีตควรเท่ากับหรือใกล้เคียงกับกำลังอัดของคอนกรีตที่ทดสอบ ผิวเคลือบหัวคอนกรีตควรบางประมาณ 1.5 ถึง 3 มม. ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมรับแรงของคอนกรีตภายใต้การทดสอบกำลังอัด นอกจากนี้ภายหลังจากการเคลือบหัวคอนกรีตแล้วต้องทิ้งให้วัสดุที่เคลือบคอนกรีตแข็งตัว เช่น ถ้าวัสดุเคลือบผิวเป็นกัมมะถันควรทิ้งให้แข็งตัวอย่างต่ำ 2 ชั่วโมง มิฉะนั้นเมื่อทดสอบการรับกำลังอัดคอนกรีตผิวเคลือบที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่ จะแตกเสียหายก่อนทำให้กำลังอัดที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง

โดยทั่วไปนิยมใช้กัมมะถันเคลือบหัวคอนกรีตสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังไม่สูงมาก กัมมะถันที่ใช้เคลือบผิวหน้าไม่ควรนำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง เพราะจะมีเศษคอนกรีต ผุ่น และทรายปนกลับมาทำให้คุณภาพของกัมมะถันลดลง นอกจากนี้กัมมะถันที่นำกลับมาใช้อีกหรือที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้มหลายครั้งจะมีกำลังต่ำลงดังนั้นจึงควรตรวจสอบว่ากัมมะถันที่ใช้ไม่มีปัญหาดังกล่าว ในการเคลือบด้วยกัมมะถันจะใช้แบบเหล็กผิวเรียบและแท่นสำหรับตั้งคอนกรีตให้ตรงดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์เคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต

การเคลือบหัวทำโดยการเทกัมมะถันเหลวซึ่งคิมที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส ลงบนแบบเหล็กที่ทาน้ำมันเครื่องบางๆเพื่อป้องกันกัมมะถันติดผิวหน้าแบบเหล็กจากนั้นจึงคว่ำหัวคอนกรีตที่ต้องการเคลือบลงบนกัมมะถันเหลวและให้ตั้งฉากกับผิวหน้าของแบบเหล็ก หลังจากนั้นรอให้กัมมะถันแข็งตัวซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 2 นาที สามารถดึงคอนกรีตที่มีกัมมะถันเคลือบหัวอยู่ ออกจากแบบ ส่วนการเคลือบโดยใช้ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงจะใช้แผ่นแก้วทาด้วยน้ำมันบางๆคอปูนปลาสเตอร์ลงให้เรียบบนผิวหน้าคอนกรีตที่ต้องการเคลือบหัว และเมื่อปูนปลาสเตอร์แข็งตัวจะสามารถเอาแผ่นแก้วออกได้

2.2.3 การใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีต (Unbonded Pads)

การใช้วัสดุรองปลายตัวอย่างคอนกรีตในประเทศไทยยังไม่นิยมแพร่หลายมากนัก เนื่องจากต้องสั่งวัสดุรองจากต่างประเทศ วัสดุรองกคที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นยางรับกำลังสูง และต้องมีเบ้าเหล็กสำหรับการทดสอบกรณีนี้โดยเฉพาะ วิธีการนี้ได้ถูกระบุในมาตรฐาน ASTM C 1231 [5] ใช้สำหรับการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดปานกลาง โดยวิธีการนี้ไม่เหมาะที่จะทำการทดสอบกับคอนกรีตกำลังอัดต่ำกว่า 1500 psi (10 Mpa) หรือคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า 7000 psi (50 Mpa) รูปที่ 2.4 แสดงแผ่นยางและเบ้าเหล็กสำหรับการทดสอบด้วยวิธีนี้ แผ่นยางที่ทำการทดสอบอาจเสียรูปได้เมื่อทำการทดสอบกับคอนกรีตกำลังสูงมาก และบางกรณีอายุของแผ่นยางอาจเสื่อมสภาพเร็วก่อนกำหนดในขณะที่ทำการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทั่วไป



รูปที่ 2.4 แผ่นยางรองกคและเบ้าเหล็กสำหรับการทดสอบการใช้วัสดุรองกค

2.3 การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

การทบทวนวรรณกรรมสำหรับงานวิจัยนี้เน้นการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยกัมมะถันและการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต โดยการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 617-98 ผิวหน้าคอนกรีตที่นำมาทดสอบต้องเรียบและแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มม. อาจทำได้โดยการขัดผิวให้เรียบ หรือการเคลือบปลายด้วยวัสดุอื่น ๆ เช่น ซีเมนต์เพสต์ ปูนพลาสติกหรือกำมะถัน ซึ่งเป็นวิธีการที่คิดค้นโดย Gonnerman ในปี ค.ศ.1920 โดยการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยซีเมนต์เพสต์ [6] หลังจากนั้นได้มีผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างในวิธีการต่าง ๆ กับช่วงกำลังอัดคอนกรีตที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดที่ถูกต้องน่าเชื่อถือ ทดแทนการใช้กำมะถันในการเคลือบปลาย ซึ่งเป็นวัสดุที่มีพิษและทำลายสิ่งแวดล้อม รวมถึงค้นหาวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างใหม่ๆ ที่เหมาะสม

ปี ค.ศ. 1944 Kennedy, T.B. [7] ได้พบข้อจำกัดของการใช้กำมะถันในการเคลือบปลายตัวอย่าง แท่งตัวอย่างคอนกรีตไม่สามารถพัฒนากำลังอัดในช่วงเวลาการบ่มโดยมีการเคลือบหัวตัวอย่าง การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการทดสอบในวันเดียวกันที่ทำการเคลือบและวันถัดไป ความหนาเฉลี่ยของกำมะถันเคลือบหัววัดได้ที่ 1/4 นิ้ว ผลสรุปแสดงให้เห็นว่าความหนาของกำมะถันที่น้อยกว่าจะส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบมีค่ามากกว่า และได้เสนอแนะว่าควรทำการเคลือบปลายตัวอย่างให้มีความหนาน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในปี ค.ศ. 1958 Werner [8] ได้สรุปว่าการใช้สารประกอบที่แตกต่างกันสำหรับการเคลือบปลายตัวอย่าง ส่งผลกระทบต่อค่าการทดสอบคอนกรีตกำลังสูงมากกว่าการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดต่ำ คอนกรีตกำลังสูงที่มีผิวปลายตัวอย่างหยาบ ไม่เรียบเสมอกันให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่าแท่งตัวอย่างที่มีผิวปลายเรียบ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดต่ำ และการใช้กำมะถันเคลือบปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดที่ลดลง 5%

ในปี ค.ศ. 1993 Lessard et al. [9] 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) หากต้องการทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดมากกว่า 18,855 psi (1,326 ksc) โดยผู้วิจัยได้แนะนำว่าคอนกรีตกำลังอัดสูงกว่า 14,500 psi (1,019 ksc) ควรทำการเจียรปลายการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้อยกว่าการเคลือบปลายตัวอย่าง ส่วนการเคลือบปลายตัวอย่างควรมีความหนาประมาณ 1/16 ถึง 1/8 นิ้ว สำหรับคอนกรีตกำลังสูง

Pistilli, M. F. and Willems, T. [10] พบว่าการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าความแปรปรวนน้อยสำหรับคอนกรีตกำลังอัด 10,000 psi (703 ksc) และคอนกรีตกำลังอัดที่สูงกว่า ผู้วิจัยได้เสนอแนะการเจียรปลายตัวอย่างควรเรียบและแตกต่างไม่เกิน 0.001 นิ้ว (0.025 มม.) และมีมุมเอียงไม่มากกว่า 3° กับแกนของตัวอย่าง

French and Mokhtarzadeh [11] ได้ทำการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทั้ง 3 วิธี คือ การเจียรปลายตัวอย่าง การใช้แผ่นยางรองกดและการใช้สารประกอบกำมะถันกำลังสูงสำหรับการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่สูงกว่า 14,500 psi (1,019 ksc) พบว่าการเจียรปลายตัวอย่าง

ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าการใช้กำมะถันเคลือบปลาย 1% สำหรับช่วงกำลังอัดที่ 7,000 และ 12,000 psi (492 และ 844 ksc) การใช้แผ่นยางรองกดให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเจียรปลายตัวอย่าง

ในปี ค.ศ. 1994 Carino et al. [12] ได้ศึกษาผลกระทบของความแตกต่างด้านกำลังอัดคอนกรีต โดยศึกษาความแตกต่างวิธีการเตรียมปลายตัวอย่าง ความแตกต่างของขนาดตัวอย่างทรงกระบอก 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. [13] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างโดยการใช้กำมะถัน ซีเมนต์เพสต์ และการเจียรปลายตัวอย่างพบว่าการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่เคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันที่อายุการทดสอบ 2 ถึง 4 ชั่วโมงหลังจากทำการเคลือบแล้วนั้นให้ค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่าค่าที่ควรวัดได้ และค่ากำลังอัดจะลดลงระหว่าง 2-3% สำหรับความหนาของกำมะถัน 1/16 นิ้ว และจะลดลง 5-7% สำหรับความหนาของกำมะถัน 3/16 นิ้ว จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้กำมะถันเคลือบปลายตัวอย่างสามารถทำการทดสอบกับคอนกรีตกำลังสูงได้ถ้าความหนาของการเคลือบอยู่ในขอบเขตที่กำหนดและมีเวลาที่เพียงพอสำหรับการแข็งตัวของสารเคลือบปลายก่อนทำการทดสอบกำลังอัด

ACI 2002 [14] ได้เสนอแนะการเคลือบปลายตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตกำลังสูง ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C617 โดยการเคลือบปลายด้วยกำมะถันที่มีกำลังอัดก่อนลูกบาศก์ 8,000-10,000 psi (562-703 ksc) เหมาะสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงถึง 10,000 psi (703 ksc) แต่ต้องมีความหนาของกำมะถันไม่เกิน 1/16 นิ้ว ซึ่งเป็นความหนาสูงสุดที่สามารถเคลือบปลายตัวอย่างได้

ในปี ค.ศ. 2005 Andrew T. Logan [4] ได้เลือกใช้การเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเจียรปลายในงานวิจัยคอนกรีตกำลังสูง โดยได้ทำการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาวิธีการเตรียมปลายตัวอย่างทั้ง 3 วิธี คือ การเจียรปลายตัวอย่าง การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน และการใช้วัสดุรองกด พบว่าการเตรียมปลายตัวอย่างให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่แล้วมา โดยอ้างถึง ACI Committee 363 (1998) ได้เสนอรายงานผลการใช้กำมะถันเคลือบปลายตัวอย่างส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของกำลังอัดคอนกรีตที่สูงและให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่าค่าที่ควรวัด และการใช้แผ่นยางรองกดจะใช้ทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดมากกว่า 19,000 psi (130 MPa) ตามที่ระบุใน ACI 363R-98 (1998) เมื่อทำการทดสอบคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า 7,000 psi (50 MPa) จำเป็นต้องทำการทดสอบแผ่นยางรองกดที่เหมาะสมตามมาตรฐาน ASTM C 1231 และได้รายงานว่าการเจียรปลาย

ตัวอย่างเหมาะกับการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดที่สูงกว่า 10,000 psi (70 MPa) การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าความแปรปรวนที่น้อยกว่าและให้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่สูงกว่า ซึ่งได้ถูกระบุวิธีนี้ในมาตรฐาน ACI 363R-98 ในประเทศฝรั่งเศส และจากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบการใช้แผ่นยางรองกด การใช้ทรายรองกดและการเจียรปลาย พบว่าผลสรุปเป็นไปตามงานวิจัยที่แล้วมา โดยการเจียรปลายให้ค่ากำลังอัดที่สูงที่สุด รวมถึงการวิบัติของแท่งตัวอย่างเป็นรูปทรงกรวย การใช้แผ่นยางรองกดสามารถทดสอบได้ดีที่ค่ากำลังอัดประมาณ 12,000 psi (83 MPa) หากเกินกว่านี้แผ่นยางรองกดจะเสียหายได้ง่ายและต้องทำการเปลี่ยนแผ่นยางเมื่อทำการทดสอบ 2-3 ตัวอย่าง ส่วนการใช้ทรายเติมในเบ้าเหล็กรองกดให้ค่าความเชื่อมั่นที่น้อยกว่าการเจียรปลายตัวอย่าง

ในปี ค.ศ. 2006 John Eggers and Sadí 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) แต่แสดงนัยสำคัญที่ค่ากำลังอัด 8,000 และ 12,000 psi (562 และ 844 ksc) การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าความสำคัญของกำลังอัดที่ต่ำกว่าการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยสารประกอบทั้งสามชนิด ที่ช่วงกำลังอัด 12,000 psi (844 ksc) การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่าความสำคัญของกำลังอัดต่ำกว่าการเคลือบปลายด้วยสารประกอบชนิดหนึ่งและการใช้แผ่นยางรองกด จากข้อมูลเชิงสถิติไม่สามารถระบุได้ว่าควรใช้วิธีใดที่ดีที่สุด ที่ช่วงกำลังอัด 6,000 psi (422 ksc) การเจียรปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่าการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการอื่น

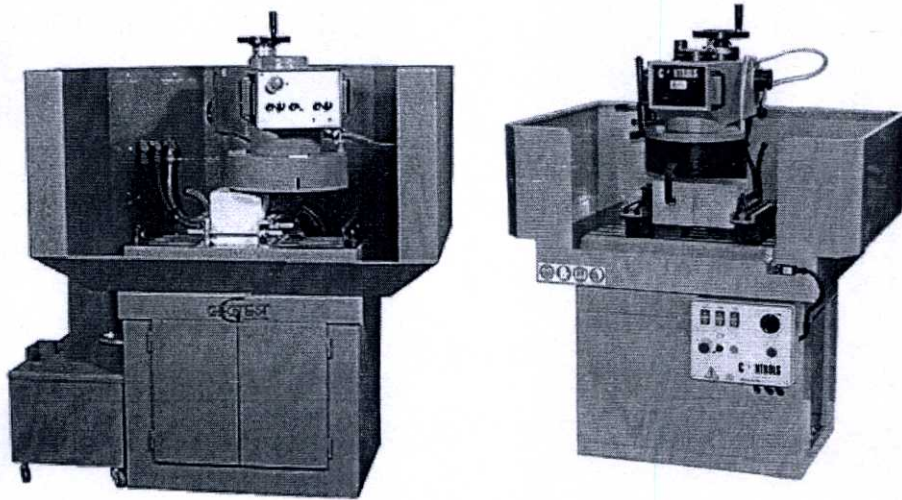
2.4 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

สำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบคอนกรีตในต่างประเทศนิยมใช้เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ฝรั่งเศส แคนาดา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ญี่ปุ่น ฮังการี เป็นต้น ซึ่งบางประเทศมีการระบุรายละเอียดในมาตรฐานการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตเพื่อใช้ปฏิบัติในประเทศของตน อย่างเช่น ประเทศฝรั่งเศสหรือฮังการี ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมปลายตัวอย่างโดยการเคลือบปลาย และการใช้วัสดุรองกดปลายตัวอย่างมีขีดความสามารถในการกดอัดกำลังคอนกรีตที่จำกัด รวมถึงการเคลือบปลายด้วยสารประกอบบางชนิด เช่น กำมะถัน จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ทดสอบและทำลายสิ่งแวดล้อม และเมื่อเคลือบปลายตัวอย่างเสร็จจำเป็นต้องพักตัวอย่างตามระยะเวลาที่มาตรฐานกำหนดหรือระยะเวลาการแข็งตัวของสารเคลือบนั้น ๆ

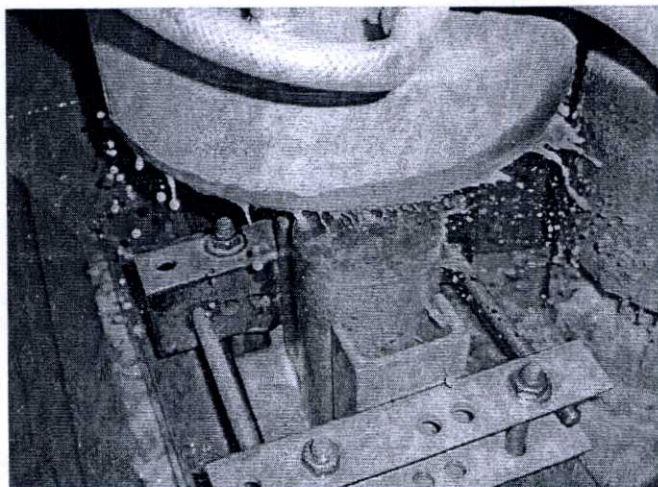
เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต สามารถแบ่งตามลักษณะการเจียรปลายตัวอย่างเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1. เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง

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



รูปที่ 2.5 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง



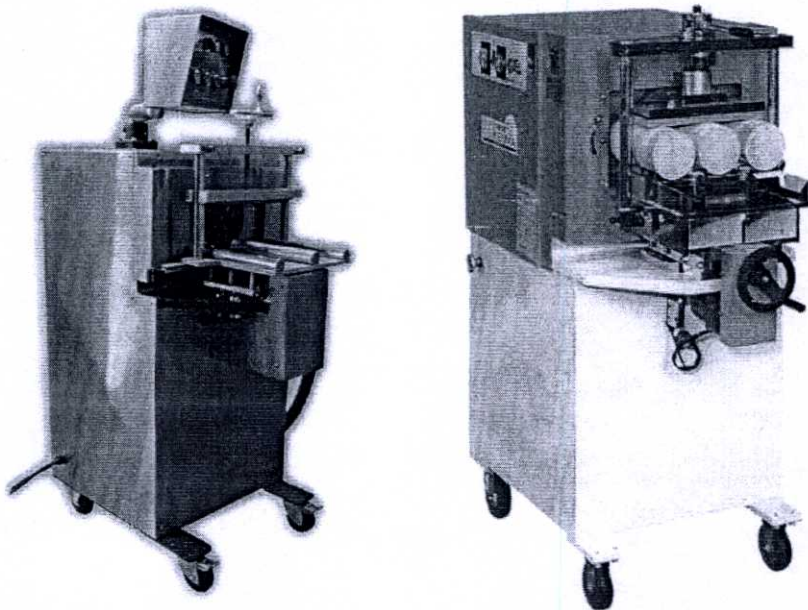
รูปที่ 2.6 การทำงานของชุดหัวเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง

กระบวนการเจียรปลายตัวอย่างจะทำงานจนกระทั่งได้ตัวอย่างที่เรียบ ขนานและตั้งฉากกับแกนของตัวอย่าง หลังจากนั้นให้ทำการกลับก้อนตัวอย่างเพื่อเจียรปลายตัวอย่างอีกด้านให้เรียบ ขนานและตั้งฉากกับแกนตัวอย่างเหมือนขั้นตอนแรก การเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีนี้สามารถทดสอบการรับแรงกดได้ทันที

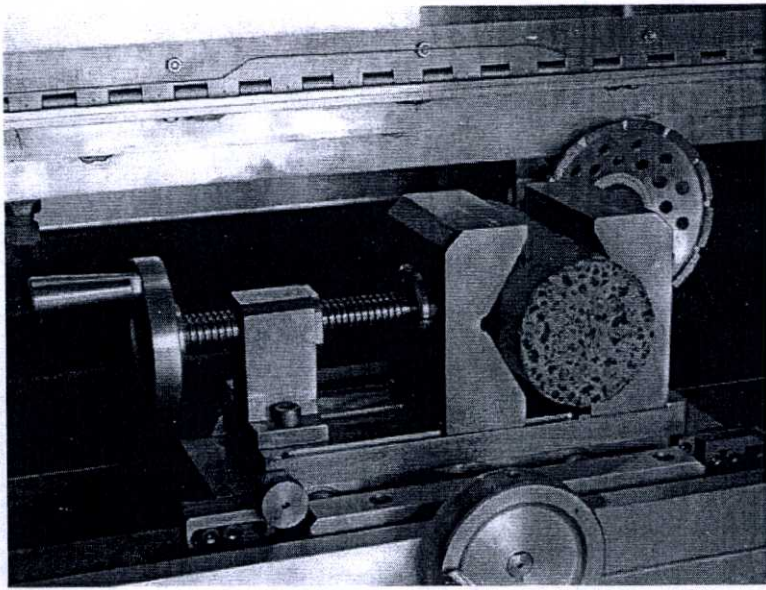
2. เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวอน

เครื่องเจียรปลายประเภทนี้มีหลักการการทำงานเหมือนกับเครื่องเจียรปลายตัวอย่างแนวตั้ง แตกต่างกันที่ชุดหัวเจียรและแท่นจับยึดตัวอย่างอยู่ในแนวอน ปัจจุบันเครื่องเจียรประเภทนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ข้อดีของเครื่องเจียรประเภทนี้ สามารถเจียรปลายตัวอย่างได้เรียบ ขนานกัน และตั้งฉากกับแกนตัวอย่างได้ดีกว่าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง เนื่องจากระบบการยึดตัวอย่างคอนกรีตจะยึดตามแนวอนของตัวอย่าง ทำให้การเจียรปลายสามารถควบคุมความเรียบ ขนานและตั้งฉากได้ดี รวมถึงผู้ผลิตสามารถพัฒนาเครื่องเจียรปลายประเภทนี้ให้มีความสามารถในการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตได้หลากหลายขนาดและมากกว่า 1 ก้อนในการเจียรแต่ละครั้ง ดังเช่น เครื่องเจียรปลายตัวอย่างของบริษัท GENEQ จำกัด [16], บริษัท Hoskin Scientific จำกัด [17] เป็นต้น ทำให้ประหยัดเวลาและต้นทุนในการทดสอบได้มาก

ในส่วนระบบการจัดการฝุ่นละออง ส่วนใหญ่เครื่องเจียรประเภทนี้จะใช้น้ำในการกำจัดฝุ่นละอองที่เกิดในกระบวนการเจียรตัวอย่างคอนกรีตเช่นเดียวกับเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวตั้ง



รูปที่ 2.7 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแนวอน



รูปที่ 2.8 ชุดอุปกรณ์การบีบอัดตัวอย่างคอนกรีตแนวนอน

2.5 มาตรฐานการทดสอบเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

มาตรฐานการทดสอบเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39/C 39M-99 โดยตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายต้องเรียบเสมอกันและแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มม. หนาปลายตัวอย่างคอนกรีตตั้งฉากกับแนวแกนตัวอย่างภาคเคลื่อนไม่เกิน 5° (ประมาณ 3 มม. สำหรับแท่งตัวอย่างสูง 300 มม.) หรือ 1 มิลลิเมตรต่อระยะ 100 มิลลิเมตร

จากการทบทวนวรรณกรรม เว็บไซต์ผู้ผลิตเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต พบว่าก่อนตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง [16-23] ได้แก่ ASTM C 31, ASTM C 39, ASTM C 192, ANSI, CSA A23.100/A23.200 และ BS EN 12390-2:2000 โดยเฉพาะมาตรฐาน ASTM C 39 ที่ระบุคุณสมบัติก่อนตัวอย่างคอนกรีตก่อนการทดสอบกำลังรับแรงอัดเป็นสำคัญ

2.6 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตที่มีใช้ในต่างประเทศ

เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตที่มีใช้ในต่างประเทศมีทั้งประเภทเครื่องเจียรปลายแนวตั้งและเครื่องเจียรปลายแนวนอน จากการทบทวนวรรณกรรม เว็บไซต์ผู้ผลิตเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต สามารถสรุปคุณสมบัติเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตได้ดังนี้

2.6.1 ความสามารถในการเจียรก้อนตัวอย่างคอนกรีต

เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตมีความสามารถที่แตกต่างกัน โดยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างแนวตั้งสามารถเจียรตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกและรูปทรงลูกบาศก์ ส่วนเครื่องเจียรปลายตัวอย่างแนวนอนสามารถเจียรตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกได้เพียงรูปทรงเดียว ส่วนจำนวนก้อนในการเจียรแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับชุดอุปกรณ์จับยึดตัวอย่างและชุดอุปกรณ์การเจียรที่ครอบคลุมรัศมีของจำนวนก้อนตัวอย่างได้เพียงพอ

2.6.2 ชุดอุปกรณ์การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

สำหรับเครื่องเจียรปลายตัวอย่างแนวตั้งชุดอุปกรณ์การเจียรปลายจะประกอบด้วยชุดหินขัดติดที่หัวเจียรขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13" (330 มม.) โดยหัวเจียรจะประกอบด้วยหินขัดจำนวน 8 ชั้น และความสูงของก้อนตัวอย่างต้องไม่มากกว่า 14.5" (370 มม.) ดังเช่น เครื่องเจียรปลายของบริษัท Controls จำกัด [18] บริษัท Promat Product Line จำกัด [19] และบริษัท Geotest จำกัด [20] ส่วนเครื่องเจียรปลายตัวอย่างแนวนอนชุดอุปกรณ์การเจียรจะใช้ใบเจียรกากเพชรในการขัดปลายตัวอย่าง

2.6.3 ระบบการกำจัดฝุ่นละออง

เครื่องเจียรปลายตัวอย่างทั้งประเภทเครื่องเจียรตัวอย่างแนวตั้งและแนวนอน จะมีระบบการกำจัดฝุ่นละอองโดยการใช้น้ำในการกำจัดฝุ่น มีมอเตอร์ปั้มน้ำเป็นตัวควบคุมระบบการไหลเวียนการกลับมาใช้ซ้ำของน้ำที่บรรจุในแทงก์น้ำ เพื่อประหยัดการใช้น้ำ แทงก์น้ำมีหน้าที่เก็บกักตะกอนที่เกิดจากเศษฝุ่นในการเจียรตัวอย่างคอนกรีต ดังนั้นจำเป็นต้องทำความสะอาดแทงก์น้ำทุกวัน เพื่อป้องกันการอุดตันของเศษฝุ่นที่อาจทำความเสียหายต่อปั้มน้ำได้

2.6.4 คุณสมบัติอื่น ๆ ของเครื่องจักร

กล่องโครงเครื่องจักร ส่วนใหญ่เครื่องเจียรต่างประเทศจะใช้แผ่นเหล็กสแตนเลสในการทำโครงเครื่องจักร เพื่อป้องกันการเกิดสนิมและแข็งแรง ทนทาน มีความสวยงาม ผู้ผลิตบางแห่งใช้แผ่นเหล็กเคลือบสีทำโครงเครื่องจักร

2.6.5 ราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีใช้ในต่างประเทศ

ราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีใช้ในต่างประเทศ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีใช้ในต่างประเทศ

ผู้ผลิต	รุ่น	ประเภทเครื่องเจียร	ความสามารถในการเจียรตัวอย่างคอนกรีต \varnothing 150 x 300 มม.	ราคา (\$)	ราคา (บาท)*
Hoskin Scientific Ltd. [17]	Marui Triple-HI Kenma	แนวนอน	ครั้งละ 3 ก้อน	18,539.00	648,865.00
Gilson Company Inc. [21]		แนวนอน	ครั้งละ 3 ก้อน	17,890.00	626,150.00
Rainhart Co. Ltd. [21]		แนวนอน	ครั้งละ 3 ก้อน	18,950.00	663,250.00
Humboldt Mfg. Co. [22]	H-2965	แนวนอน	ครั้งละ 1 ก้อน	18,600.00	651,000.00
	H-2966A	แนวนอน	ครั้งละ 1 ก้อน	12,800.00	448,000.00
M&L Testing Equipment (1995) [23]	DIAM-end	แนวนอน	ครั้งละ 1 ก้อน	18,000.00	630,000.00
Geotest Instrument Corp. [20]	C-1450	แนวตั้ง	ครั้งละ 2 ก้อน	15,250.00	533,750.00

*อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา จำนวนที่ 1 ดอลลาร์สหรัฐ เท่ากับ 35 บาทไทย

จากตารางราคาเครื่องเจียรที่มีใช้ในต่างประเทศพบว่า ช่วงระดับราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างอยู่ที่ 400,000 – 600,000 บาท โดยราคาเปลี่ยนแปลงตามความสามารถในการเจียรจำนวนก้อนตัวอย่างในแต่ละครั้งการเจียรเล็กน้อย

2.7 บทวิเคราะห์

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตมี 3 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ การเจียรปลาย การเคลื่อนปลายด้วยสารเชื่อมประสาน และการใช้วัสดุรองกด พบว่าการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเจียรปลายให้ค่าความแปรปรวนที่น้อยกว่าและได้กำลังอัดเฉลี่ยที่สูงกว่าการ

เตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการอื่น โดยเฉพาะการทดสอบคอนกรีตกำลังอัดสูง ACI 2003 ได้แนะนำวิธีการนี้ในการเตรียมปลายตัวอย่าง แต่สำหรับประเทศไทยเห็นว่าวิธีการนี้เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองและใช้เวลามาก [3] เนื่องจากต้องสั่งนำเข้าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีราคาสูงมากจากต่างประเทศ ช่วงระดับราคาตั้งแต่ 400,000 บาทขึ้นไปและยังไม่เคยมีผู้นำวิธีการนี้มาใช้งานจริง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการขาดองค์ความรู้ในการเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีการดังกล่าว

เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่มีใช้ในต่างประเทศแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการเจียร คือ เครื่องเจียรปลายตัวอย่างแนวนอนและแนวตั้ง โดยเครื่องเจียรแนวตั้งเหมาะสมสำหรับก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกและรูปทรงลูกบาศก์ ส่วนเครื่องเจียรปลายตัวอย่างแนวอนเหมาะสำหรับการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเพียงรูปทรงเดียว ความสามารถในการเจียรจำนวนก้อนตัวอย่างขึ้นอยู่กับการออกแบบชุดหัวเจียรและชุดอุปกรณ์ยึดจับตัวอย่างเป็นสำคัญ ส่วนตัวโครงเครื่องจักรประกอบด้วยวัสดุแผ่นเหล็กสแตนเลสและแผ่นเหล็กเคลือบสี ชุดหัวเจียรสำหรับเครื่องเจียรแนวนอนเป็นใบเจียรกากเพชร ส่วนเครื่องเจียรแนวตั้งเป็นชุดหินขัด โดยหัวเจียรหนึ่งหัวประกอบด้วยแผ่นหินขัดจำนวน 8 หัว และระบบการกำจัดฝุ่นจะใช้ละอองน้ำโดยมีมอเตอร์ปั้มน้ำเป็นตัวควบคุมการไหลเวียนของน้ำที่บรรจุในแทงก์น้ำด้านใต้เครื่องจักร และก้อนตัวอย่างคอนกรีตเมื่อผ่านการเจียรปลายด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39 เป็นสำคัญ

บทที่ 3

กรอบทฤษฎี

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปทฤษฎีและแนวความคิดสำหรับการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต ประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับกำลังรับแรงอัดคอนกรีต ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการรับแรงอัดของคอนกรีต การทดสอบการรับแรงอัดคอนกรีต และกำมะถันซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้สำหรับการเคลือบปลายตัวอย่างในการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต

3.2 กำลังอัดของคอนกรีต [24-25]

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่าง ๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสมอันได้แก่ ทราย หินหรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น แต่การนำคอนกรีตไปใช้งานต้องคำนึงถึงข้อจำกัดบางประการด้วย โดยข้อดีของคอนกรีต ได้แก่ สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามที่ต้องการได้ มีราคาถูก มีความทนทานสูง ทนไฟได้ดี ไม่ไหม้ไฟ สามารถเทหล่อได้ในสภาพที่ก่อสร้าง และสามารถทำให้ผิวสวยงามได้ ส่วนข้อด้อยของคอนกรีต ได้แก่ คอนกรีตมีความสามารถรับแรงดึงต่ำ มีความยึดตัวต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร และอัตรากำลังต่อน้ำหนักต่ำ

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

3.2.1 ธรรมชาติของกำลังอัดของคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

3.2.1.1 กำลังของมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังของมอร์ต้านี้ขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุนจะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ต้ามีผลกระทบอย่างมากกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดกะ ปริมาณ กำลัง ลักษณะผิว ขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่าง ๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังคิ่งน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนของกำลังคิ่งต่อกำลังอัดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

3.2.1.2 กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ความสามารถด้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า แต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวมจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังของมอร์ต้า ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดให้ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้น เพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำใต้หินมากขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลง ขนาดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง

การเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

3.2.1.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวมหยาบ

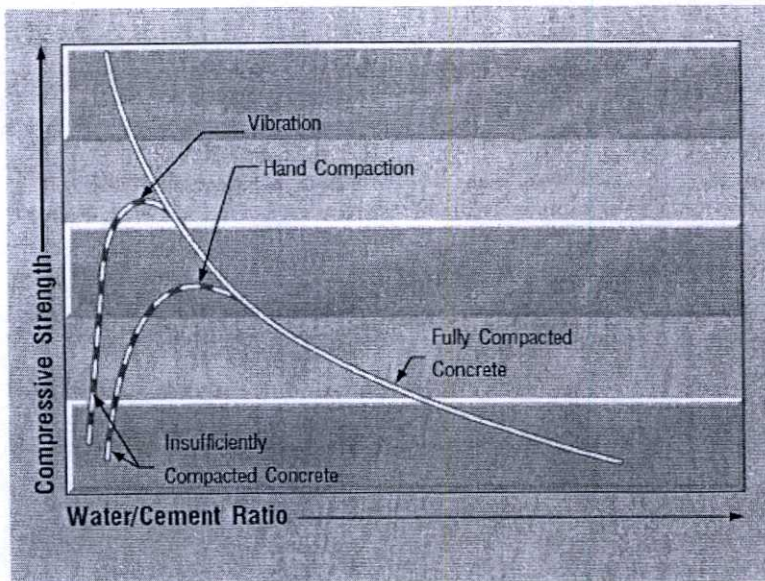
แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือ ปฏิกริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ ในเนื้อมวลรวม

นอกจากนี้ทิศทางในการหล่อและทิศทางในการให้น้ำหนักจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังคิ่งมากกว่ากำลังอัดด้วยเหตุผลที่ว่า จะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมหยาบกับมอร์ต้าต่ำลง

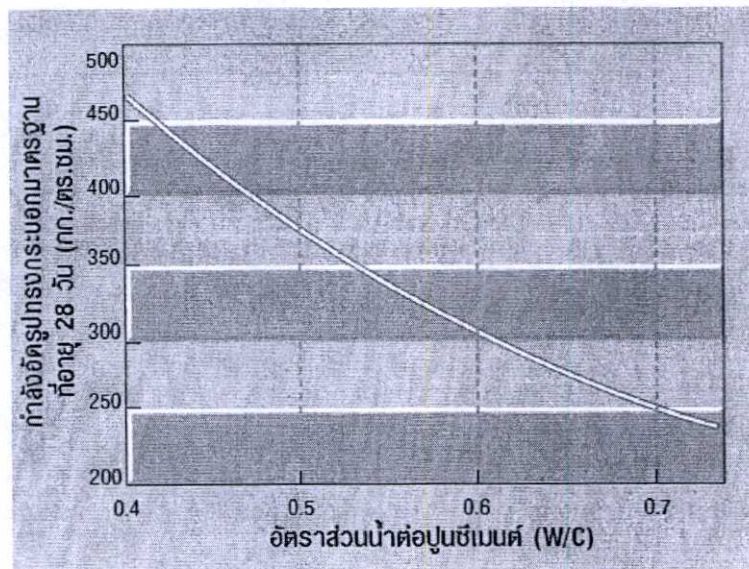
3.2.2 หลักการและเหตุผลทางทฤษฎีที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

3.2.2.1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water to Cement Ratio)

กำลังของคอนกรีตที่แต่ละอายุที่บ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิตามที่กำหนด ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และระดับของการอัดแน่นคอนกรีต



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 ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่าจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำมากเกินไป (อาจมีปริมาณปูนซีเมนต์ใน

ส่วนผสมมากกว่า 530 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้ เนื่องจากการอัดแน่นของคอนกรีตอย่างสมบูรณ์ทำได้ยากขึ้นและปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ ยังอาจมีสาเหตุจากการหดตัวที่สูงจนเกิดการแตกร้าวขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เฟสกับมวลรวมลดลง กำลังอัดของคอนกรีตจึงลดลงด้วย โดยทั่วไป อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีตกำลังสูง มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 – 0.40

3.2.2.2 อัตราส่วน Gel/Space Ratio และความพรุน (Porosity)

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ไม่ได้เป็นตัวกำหนดกำลังอย่างถูกต้องมากเพียงพอ ทั้งนี้ เพราะกำลังของคอนกรีตที่แต่ละอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชัน, คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์, อุณหภูมิในขณะที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน, ปริมาณอากาศในคอนกรีต, การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำประสิทธิผลต่อปูนซีเมนต์, การเกิดการแตกร้าวที่เกิดจากการเย็น, ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม, และคุณสมบัติของรอยต่อถ่ายแรงระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ (หรือซีเมนต์เฟสกับมวลรวม)

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

การหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเข้มข้นของผลผลิตของแข็งจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ในช่องว่างในคอนกรีต หรืออัตราส่วน Gel/Space Ratio หรือใช้ในรูปแบบของความพรุน (Porosity) จึงน่าจะถูกต้องในทางทฤษฎีมากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์แต่เพราะมีความซับซ้อนมากกว่า การประยุกต์ใช้งานจริงจึงยังคงนิยมใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและการควบคุมการผลิตคอนกรีตให้มีกำลังอัดและคุณสมบัติอื่นๆ ตามต้องการ

3.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลัง

เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตหลายปัจจัย [8] ซึ่งสามารถสรุปปัจจัยสำคัญและจัดแบ่งกลุ่มโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.3.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์

1. **ปูนซีเมนต์** เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก เพราะปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของ

ปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกันแต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตจะแตกต่างกันไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

2. *มวลรวม* มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพชร อย่างไรก็ดีมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อยซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวดที่มีผิวเกลี้ยงขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเท่าได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดละเอียดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนขนาดละเอียดไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนละเอียดที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเท่าได้เท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน

3. *น้ำ* น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำปูนหรือน้ำที่มีสารแวนอลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแวนอลอยนั้น

3.2.3.2 การทำคอนกรีต

1. การชั่งตวงส่วนผสม

- การชั่งตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราส่วนผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้
- อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

2. *การผสมคอนกรีต* การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้มีน้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพชรกระจายแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ได้

3. *การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่น* จะมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะที่ลำเลียงหรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีต

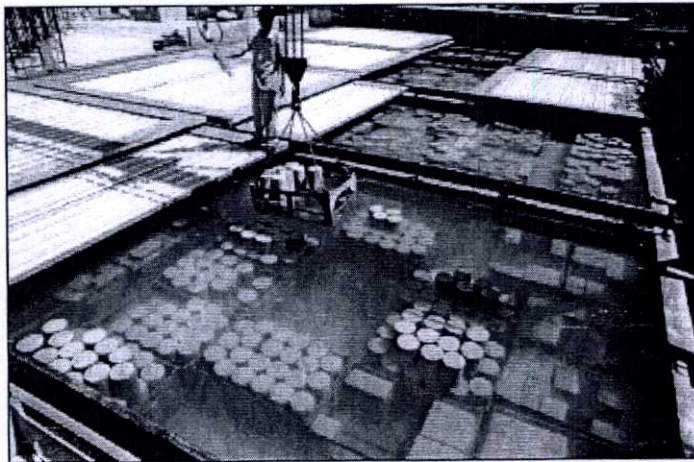
มีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสมก็สามารถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

3.2.3.3 การบ่มคอนกรีต

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

2. อุณหภูมิ ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะที่บ่มก็จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตถูกเร่งให้เร็วขึ้น ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิต่ำกว่า

3. เวลาที่ใช้ในการบ่ม ถ้าหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยาวนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 3.3 การบ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีต

3.2.3.4 การทดสอบ

การควบคุมคุณภาพคอนกรีตสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะทำได้ในรูปของการชักตัวอย่างคอนกรีตสดมาทำก้อนตัวอย่าง โดยถือว่ากำลังของก้อนตัวอย่างเป็นตัวแทนของคอนกรีตที่

หล่อเป็นโครงสร้าง ดังนั้นควรพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตดังต่อไปนี้

1. ขนาดและลักษณะของแท่งทดสอบ การใช้แท่งทดสอบที่ต่างขนาดและต่างลักษณะกันจะมีผลทำให้ค่ากำลังของคอนกรีตเกิดความแตกต่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลของขนาดและลักษณะของก้อนตัวอย่างต่อกำลังอัด

ขนาดตัวอย่างรูปทรง ลูกบาศก์ (ซม.)	กำลังอัด สัมพัทธ์	ขนาดตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์ (ซม.)		กำลังอัด สัมพัทธ์
		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

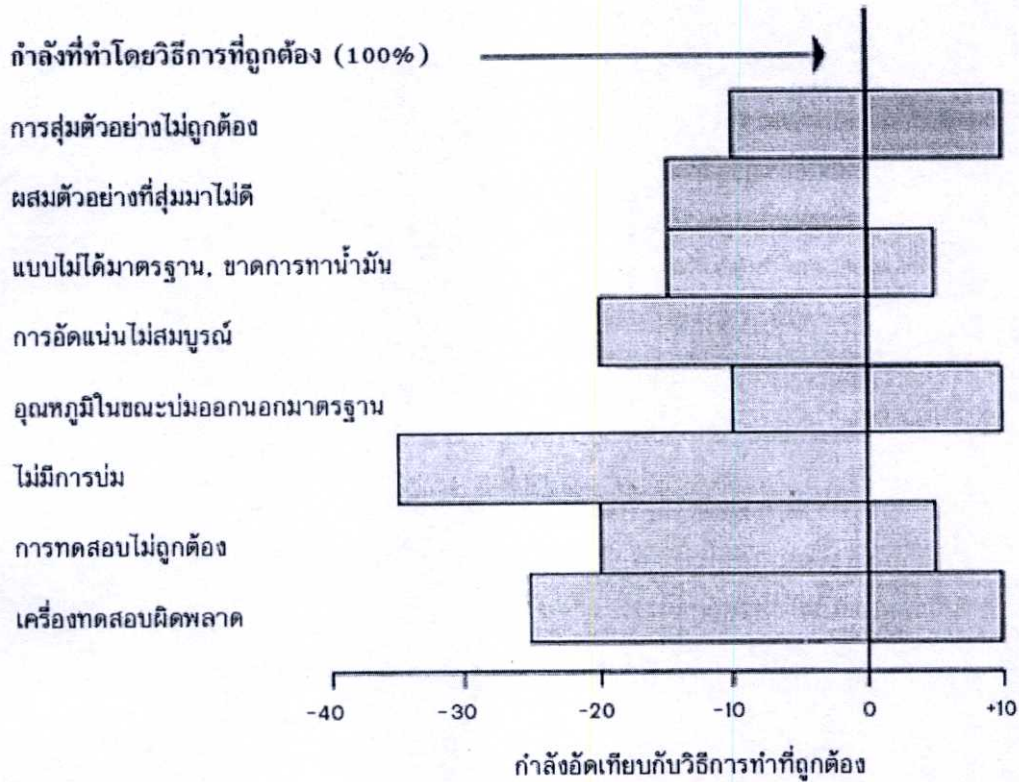
ตารางที่ 3.2 ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ต่อกำลังอัด

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 เพราะการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ 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



รูปที่ 3.4 สิ่งที่ทำให้กำลังอัดผันแปรเนื่องจากการทำและทดสอบก้อนตัวอย่าง

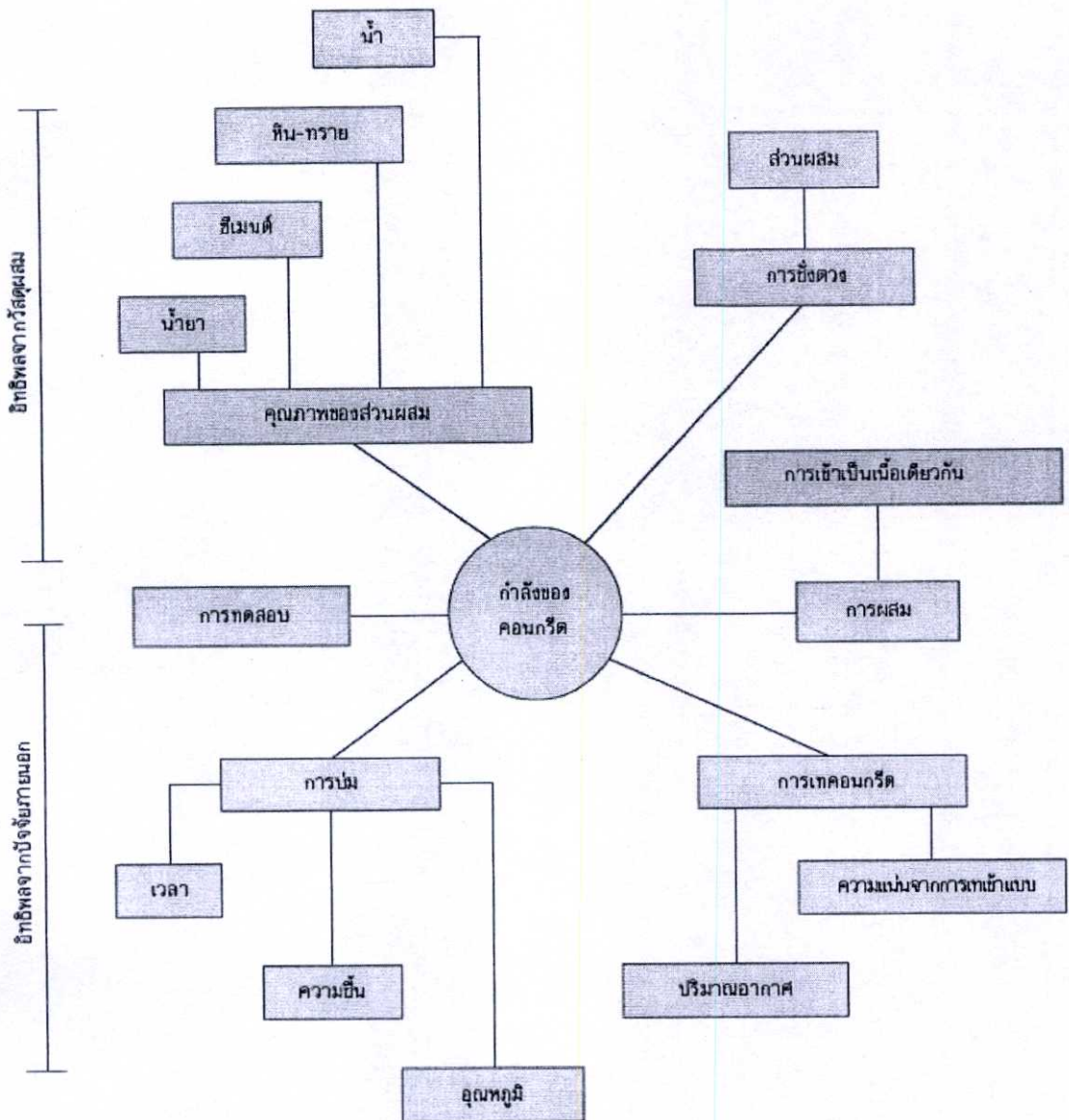
ค่าผลของอัตราการกดแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลของอัตราการกดต่อกำลังอัด

อัตราการกด				เปอร์เซ็นต์ของกำลังเทียบกับ อัตราการทดสอบมาตรฐาน
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

5. เครื่องทดสอบ น้ำหนักที่กดอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง จึงจะให้กำลังอัดที่ถูกต้องซึ่งจะเกิดได้ดังนี้

- ก้อนตัวอย่างต้องอยู่ตรงจุดกึ่งกลางและแกนของก้อนตัวอย่างต้องอยู่ในแนวตั้ง
- แผ่นรองกดต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนของก้อนตัวอย่าง
- แผ่นรองกดต้องเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย
- แผ่นรองกดจะต้องเรียบเป็นระนาบ
- ถ้าต้องใช้วัสดุ Cap ก้อนตัวอย่าง ควรจะเลือกวัสดุที่มีกำลังและ โมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับของคอนกรีต

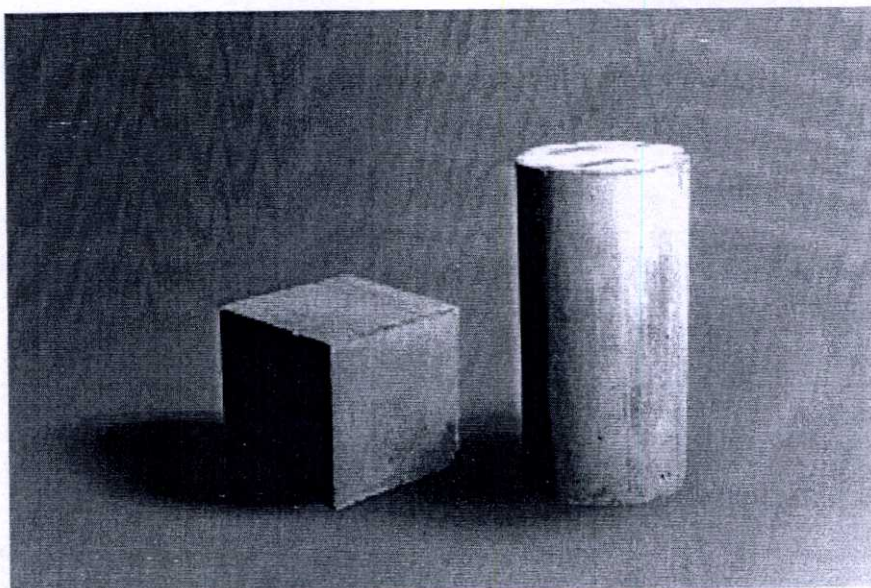


รูปที่ 3.5 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต

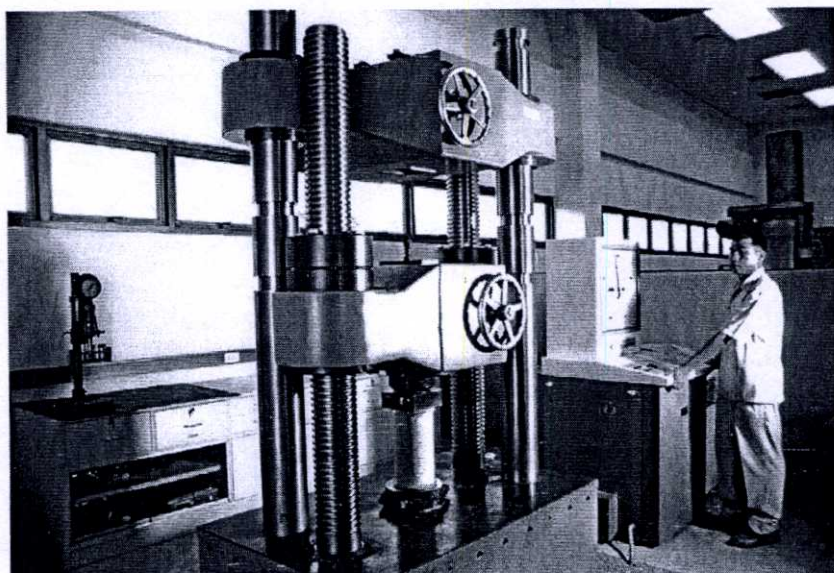
3.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอก

ก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย 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 3.6 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

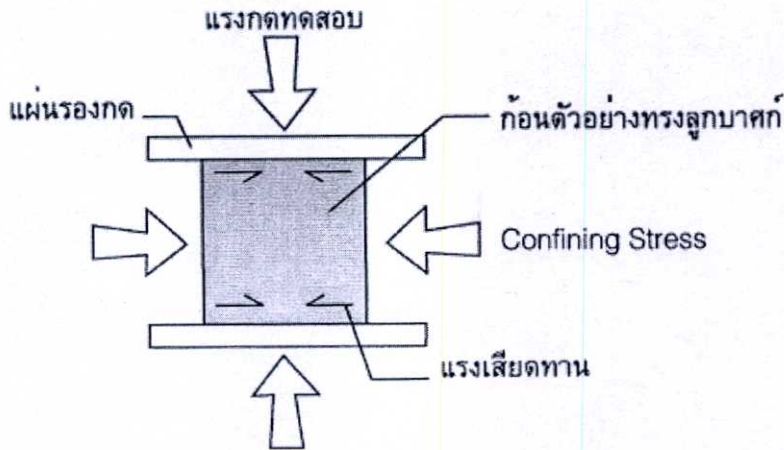


รูปที่ 3.7 การกดก้อนตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบ

กำลังอัดของทั้ง 2 รูปทรงที่ได้จากเครื่องทดสอบนี้จะให้ค่ากำลังอัดที่แตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

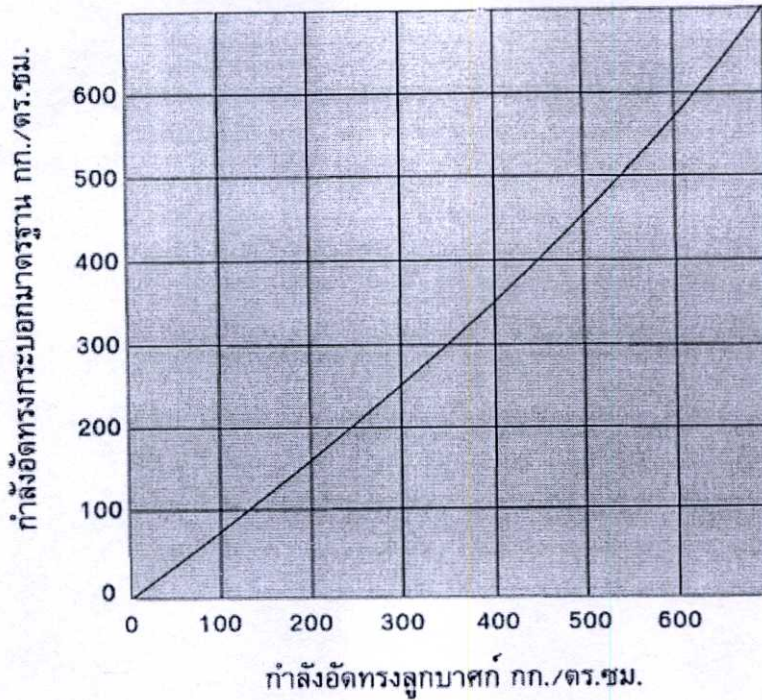
1) องค์ประกอบเรื่องความชะลูด กล่าวคือ รูปทรงกระบอกมีสัดส่วนความสูงต่อความกว้าง (Slenderness Ratio) มากกว่ารูปทรงลูกบาศก์ ซึ่งอัตราส่วนความชะลูดดังกล่าวส่งผลให้กำลังอัดรูปทรงกระบอกต่ำกว่ารูปทรงลูกบาศก์

2) ขณะที่กดก้อนตัวอย่างนั้น ก้อนตัวอย่างแตกออกด้านข้าง ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกด แรงเสียดทานดังกล่าวจะก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้างของก้อนตัวอย่าง เรียกว่า Confining Stress ดังรูปที่ 3.2 โดยค่า Confining Stress นี้จะมีค่ามากถ้าผิวสัมผัสของก้อนตัวอย่างกับเครื่องกดมีค่ามาก ดังนั้นผลทดสอบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์จึงให้ค่าสูงกว่ารูปทรงกระบอก



รูปที่ 3.8 แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดซึ่งก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้างของก้อนตัวอย่าง (Confining Stress)

ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท.) ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 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

3.2.5 การทำก้อนตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัด

คอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง นอกจากมีความเหลวพอที่จะเทได้แล้ว เมื่อเป็นคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วยังต้องสามารถรับกำลังอัดได้ตามต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเก็บก้อนตัวอย่าง 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.

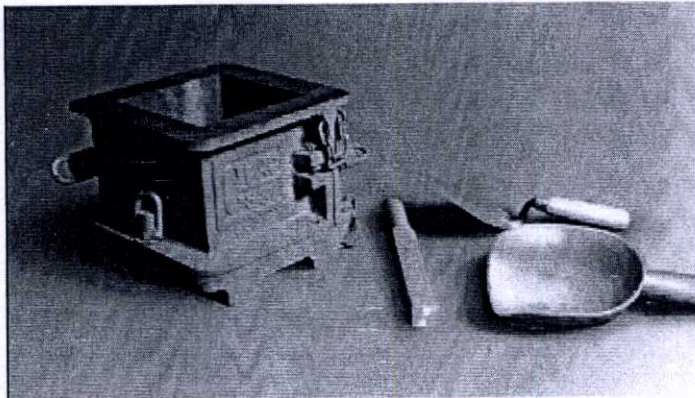
3.2.5.1. การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

มาตรฐานที่ใช้ BS 1881 : PART 3

Method of MAKING AND CURING TEST SPECIMENS

อุปกรณ์

- 1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.
- 2) เหล็กดำ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
- 3) ช้อนตัก เกรียงเหล็ก



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงลูกบาศก์

วิธีทำ

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้นตักด้วยเหล็กดำ 35 ที
- 3) เมื่อตักครั้งสุดท้ายเสร็จ ปาดผิบนํ้าให้เรียบ

3.2.5.2. การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

มาตรฐานที่ใช้ ASTM C 192

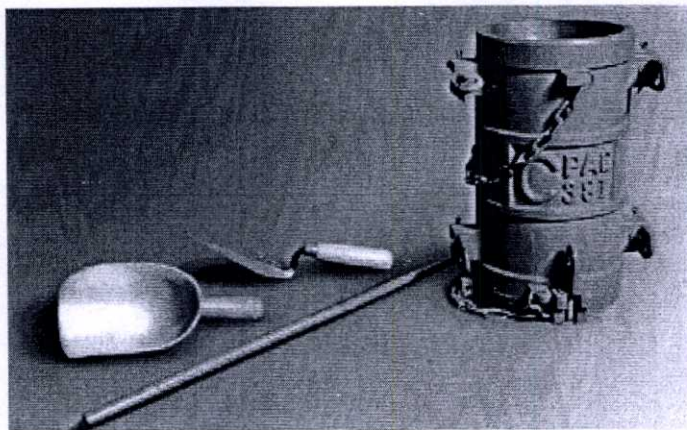
Standard Method of MAKING AND CURING CONCRETE TEST SPECIMENS IN THE LABORATORY

อุปกรณ์

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

วิธีทำ

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้นค้ำด้วยเหล็กค้ำ 25 ที
- 3) เมื่อตักครั้งสุดท้ายเสร็จ ปาดผิบนํ้าให้เรียบ



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ทำก้อนตัวอย่าง รูปทรงกระบอก

3.2.5.3. การทำตัวอย่างรูปคาน

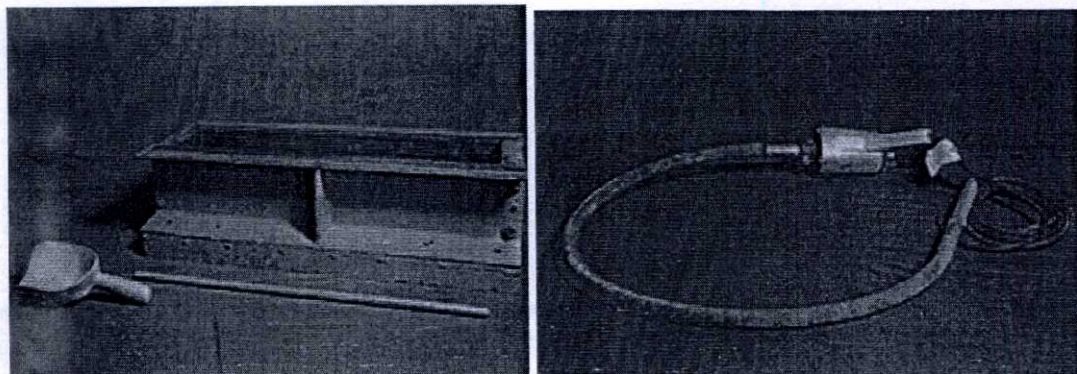
มาตรฐานที่ใช้ ASTM C 192

อุปกรณ์

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

วิธีทำ

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่ลงแบบ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้นตาดด้วยเหล็กด้า 60 ที่ หลังจากนั้นปาดผิวหน้าให้เรียบ



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ทำตัวอย่าง รูปคาน

ตัวอย่างคอนกรีตที่ทำเสร็จแล้ว ควรใช้กระสอบที่เปียกชื้นคลุมไว้ แล้วป้องกันน้ำระเหยออก ทั้งคอนกรีตไว้ในแบบประมาณ 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 การเคลือบปลายตัวอย่างหรือการเจียรปลายก่อนตัวอย่างทั้ง 2 ด้านเสียก่อน

3.2.6 การประเมินผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากหน่วยงานก่อสร้าง คือ เพื่อประเมินผลและควบคุมให้แน่ใจว่า คอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ แต่เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่มวลที่เกิดจากการผสมของวัสดุจนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นคอนกรีตจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นผสมและแม้แต่รุ่นผสมเดียวกันก็ยังมีคุณสมบัติที่ผันแปรกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนผสม การผสม การลำเลียง การเท การบ่ม และตัวอย่างคอนกรีต นอกจากการผันแปรอันเกิดจากลักษณะของคอนกรีตเองแล้ว คุณสมบัติของคอนกรีตยังถูกทำให้เปลี่ยนแปลงออกไปได้เนื่องจากวิธีการทดสอบ เพื่อหาคุณสมบัตินั้น ๆ อีกด้วย เช่น การหล่อแท่งตัวอย่าง การดูแล และการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต เป็นต้น สรุปแล้วคือ ในการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตจากสนามต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่

แตกต่างกันและค่าผันแปรนี้ต้องอยู่ในขอบเขตและควบคุมนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางสถิติพร้อมกันกับความเข้าใจในลักษณะของคอนกรีตและการทดสอบคอนกรีตด้วย

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
<p>การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์</p> <ul style="list-style-type: none"> - ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ - ความชื้นในหินและทรายมีมาก การผันแปรในปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสม - ขนาดคละของหินและทราย - วัสดุผสมมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอ <p>การผันแปรในคุณภาพและอัตราส่วนผสมของวัสดุ</p> <ul style="list-style-type: none"> - หิน, ทราย - ซีเมนต์ 	<p>วิธีการสูมตัวอย่างไม่เหมาะสม</p> <p>วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน</p> <ul style="list-style-type: none"> - ปริมาณการกระทุ้ง - การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง - การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด <p>การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิ - ความชื้น <p>วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี</p> <ul style="list-style-type: none"> - การหล่อฝ่า - การทดสอบกำลังอัด

3.2.5.2. การประเมินผล

เมื่อทดสอบกำลังอัดแล้วต้องดำเนินการประเมินผลโดยทำตามมาตรฐาน ACI 318 หรือมาตรฐาน ว.ส.ท. ซึ่งมีวิธีการประเมินดังนี้

ค่ากำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

1) ค่าเฉลี่ยของกำลังอัด จากการทดสอบ 3 ครั้ง คิดต่อกันมากกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c')

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

หรืออาจจะประเมินตามข้อกำหนดของงาน โดยทั่วไปกำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์กำหนด ต้องเข้าเกณฑ์ดังนี้

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) การลำเลียงและการทดสอบ ไม่ถูกต้อง
- 12) อุณหภูมิผันแปรไป

3.2.8 ลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างคอนกรีต

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

3.3 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีต่าง ๆ

3.3.1 วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อหาลำดับด้านทานแรงอัดของคอนกรีต [26-27]

วิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายส่วนใหญ่เป็นการทดสอบอาศัยการประเมินจากผลการวัดค่าสมบัติต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของโครงสร้างหรือมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของการเสื่อมสภาพแบบต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อมเป็นส่วนใหญ่ หัวใจของการทดสอบแบบไม่ทำลาย คือ การเก็บข้อมูลการประเมินสภาพของโครงสร้างให้เพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างในระดับที่มากเกินไป วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายบางชนิดอาจต้องเจาะรูขนาดเล็กในโครงสร้างคอนกรีตหรืออาจทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสียหายในระดับหนึ่ง การตรวจสอบด้วยเทคนิคการทดสอบโดยไม่ทำลายสามารถประยุกต์ใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบคุณภาพของงานก่อสร้างใหม่
- การแก้ปัญหาในงานก่อสร้างในระหว่างการก่อสร้าง
- การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างเก่าเพื่อการวางแผนบำรุงรักษา
- การประเมินคุณภาพของงานซ่อมแซม

เทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลายแต่ละชนิดมีความสามารถตรวจสอบได้แตกต่างกัน ดังนั้นในการตรวจสอบโครงสร้างโดยทั่วไป ควรใช้เครื่องมือตรวจสอบมากกว่าหนึ่งชนิดเพื่อให้ข้อมูลที่วัดได้มีความสมบูรณ์ และวิเคราะห์ผลได้แม่นยำยิ่งขึ้น รวมถึงต้องเลือกวิธีการตรวจสอบที่เหมาะสมในการตรวจสอบโครงสร้าง

3.3.1.1. วิธีนับจำนวนครั้งการสะท้อน (Rebound Hammer, Schmidt Hammer)

มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

- มยพ. 1502-51 : มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ (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

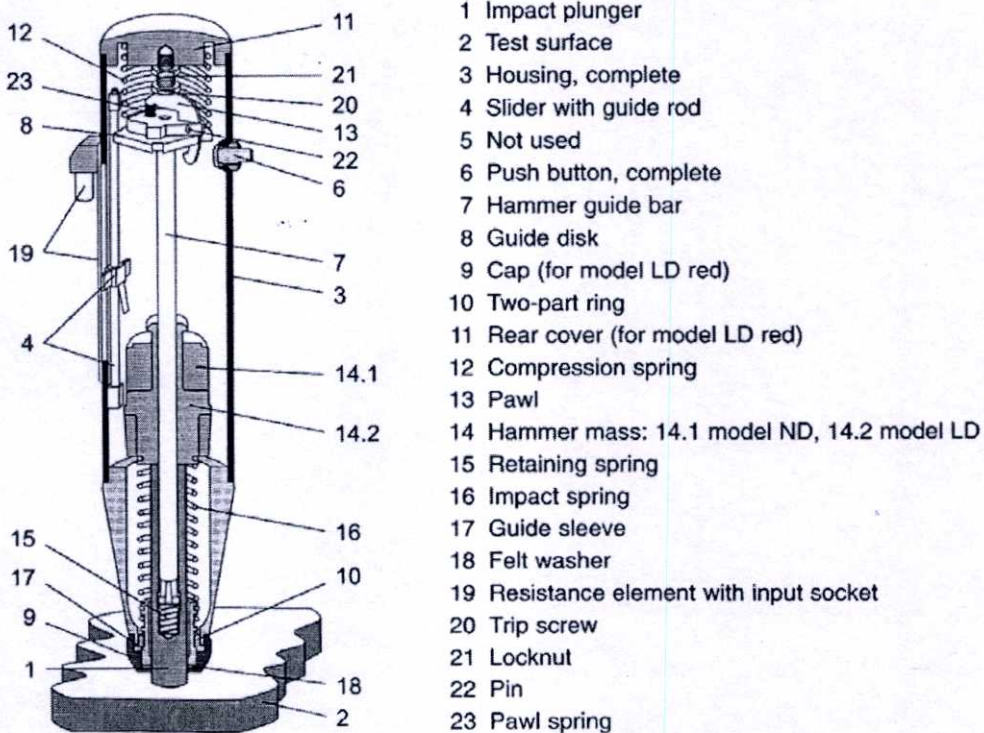
การทดสอบความแข็งของผิวโดยอาศัยหลักการของการสะท้อนกลับของพลังงานที่แตกต่างกันของวัตถุที่มีความแข็งของผิวต่างกัน โดยใช้ลูกเหล็กกลมเล็ก ๆ กระทบผิวคอนกรีต แล้ววัดจำนวนครั้งของการสะท้อน (Rebound Number) ค่านี้จะเป็นอัตราส่วนกับ โมดูลัสยืดหยุ่น

อุปกรณ์และส่วนประกอบของค้อนกระทบ

1) ก้อนกระแทกแบบสมิทท์ มีส่วนประกอบหลัก คือ ตัวค้อนภายนอก (Body) แท่งเหล็ก (Plunger) ก้อนเหล็ก (Hammer) สปริง (Spring) สลัก (Latch) และช่องสไลด์ที่ใช้วัดระยะสะท้อนของก้อนเหล็ก (Indicator) ระยะสะท้อนของก้อนกระแทกวัดได้จากมาตราส่วนซึ่งติดกับค้อนโดยมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 100 เรียกว่า ค่าการสะท้อน (Rebound Number) รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของก้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's Rebound Hammer)

2) ก้อนหินขัด (Abrasive Stone) เป็นก้อนหินที่มีผิวหยาบและมีส่วนผสมของซิลิคอนคาร์ไบด์ หรือวัสดุเทียบเท่าอื่นๆ

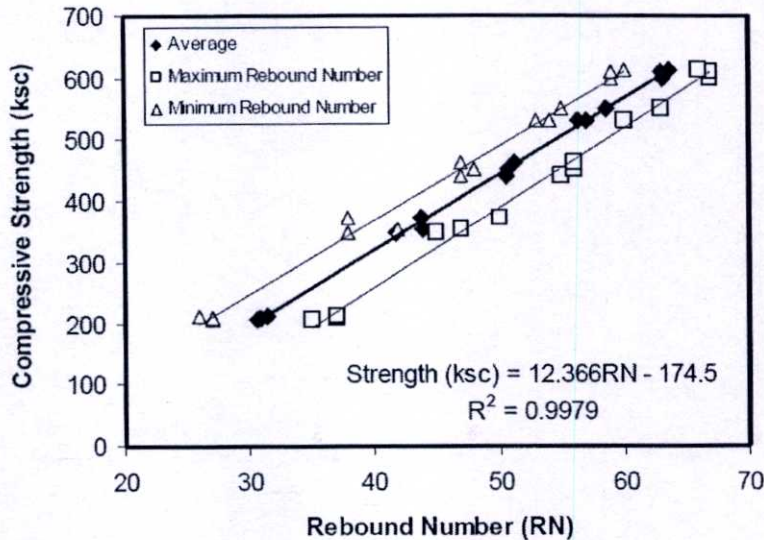
3) แท่งทดสอบ (Test Anvil) เป็นก้อนเหล็กทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150 มิลลิเมตรมีความแข็งของจุดรับการกระแทกเท่ากับ Brinell 500 หรือ Rockwell 52C และมีอุปกรณ์ที่ช่วยให้ก้อนกระแทกตั้งฉากกับจุดกระแทกขณะทดสอบ



รูปที่ 3.15 ส่วนประกอบของก้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's Rebound Hammer)

โมดูลัสยืดหยุ่นนี้จะเป็นอัตราส่วนโดยประมาณกับกำลังต้านทานแรงอัด ดังนั้นกำลังต้านทานแรงอัดจึงสามารถคาดคะเนได้จากการที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนครั้งการสะท้อนกับกำลังต้านทานแรงอัด รูปที่ 3.16 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตและค่าการสะท้อนที่วัดได้จากตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 15 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ โดยตัวอย่างทดสอบครอบคลุมกำลังอัดตั้งแต่ 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 600 กิโลกรัมต่อ

ตารางเซนติเมตร โดยมีการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและค่าการสะท้อนออกมาเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น



รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับจำนวนครั้งการสะท้อน

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

การทดสอบคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก เป็นวิธีการที่รวดเร็วและสะดวกในการทดสอบวัดกำลังอัดของคอนกรีต อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อจำกัดและมีผลกระทบจากตัวแปรหลายประการซึ่งผู้ดำเนินการตรวจสอบจำเป็นต้องคำนึงถึง ได้แก่ ความขรุขระของผิวโครงสร้าง ขนาดและความแข็งแรงของโครงสร้าง (Rigidity) อายุของตัวอย่างทดสอบ ประเภทของมวลรวม ประเภทของซีเมนต์ และคาร์บอนเนชันของผิวคอนกรีต (Carbonation)

1) ลักษณะของผิวคอนกรีต มีผลต่อการสะท้อนของคอนกรีต จึงกระทบโดยตรงต่อผลการทดสอบคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก กรณีผิวคอนกรีตขรุขระมากแท่งเหล็กของค้อนกระแทกอาจกระแทกและทำให้ผิวคอนกรีตแตก ค่าการสะท้อนที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นก่อนการทดสอบผิวโครงสร้างคอนกรีตที่มีความขรุขระควรขัดให้เรียบด้วยก้อนหินขัด

2) ขนาดของโครงสร้างที่ทดสอบ รวมถึงความแข็งแรง เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัดค่าการสะท้อน กรณีโครงสร้างที่ตรวจสอบมีขนาดเล็ก การเคลื่อนที่ของโครงสร้างระหว่างการกระทบจะทำให้ค่าการสะท้อนที่วัดได้นั้นมีค่าน้อยลงกว่าความเป็นจริง ระหว่างการตรวจสอบอาจจำเป็นต้องถ่วงหรือยึดโครงสร้างดังกล่าวให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

3) เนื่องจากวิธีการทดสอบด้วยค้อนกระแทกเป็นวิธีการวัดความแข็งของผิวคอนกรีต จึงไม่เหมาะสำหรับการวัดคอนกรีตที่มีอายุน้อยมากๆ ซึ่งยังไม่มี ความแข็งแรงเพียงพอ นอกจากนี้การ

ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและกำลังอัดที่อายุ 28 วันนั้นอาจจะไม่เหมาะกับการตรวจสอบโครงสร้างที่มีอายุมากๆ และควรมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนที่ได้จากโครงสร้างและค่ากำลังอัดที่ได้จากการเจาะเก็บตัวอย่างจากโครงสร้างในกรณีดังกล่าว

4) ประเภทของมวลรวม และปูนซีเมนต์ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตด้วยค้อนกระทบ โดยทั่วไปแล้วค่าการสะท้อน (Rebound Number) ของคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินปูน (Limestone) จะมีค่าน้อยกว่าค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่มีมวลรวมเป็นหินแม่น้ำซึ่งมีกำลังอัดประลัยเท่ากัน ความแตกต่างนี้จะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) กับคอนกรีตธรรมดา นอกจากนี้การใช้หินชนิดเดียวกันจากคนละแหล่งอาจส่งผลให้ค่าการสะท้อนของคอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่ากันมีค่าแตกต่างกันได้

5) ประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้ อาจส่งผลต่อค่าการสะท้อนที่วัดได้ โดยปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณอลูมินาสูงนั้นอาจมีกำลังอัดที่แท้จริงมากกว่าค่าที่แปรผลจากการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) ที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ดังนั้นจึงควรมีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) สำหรับประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้เพื่อการประเมินกำลังอัดที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ

6) การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนชั่นในคอนกรีตมีผลกระทบต่อค่าการสะท้อนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างที่อยู่ในเขตการจราจรหนาแน่นและมีอายุการใช้งานมานาน อาจมีความลึกของชั้นที่เกิดคาร์บอนชั่นในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ค่าการสะท้อนที่ได้นั้นอาจจะมีค่ามากเกินไปได้ถึงร้อยละ 50 ซึ่งต้องมีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและค่าการสะท้อน (Rebound Number) สำหรับคอนกรีตที่มีคาร์บอนชั่นสูงเป็นการเฉพาะ

7) ข้อเสนอแนะ หากโครงสร้างที่ทำการวัดมีความแข็งแรงน้อย เช่น เป็นโครงสร้างที่บางมากหรือ ไม่มีการยึดกับโครงสร้างข้างเคียงอย่างเพียงพอ การเทียบค่าการกระทบเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความคลาดเคลื่อนสูง ในกรณีดังกล่าวผู้ทดสอบสามารถทำได้เพียงเปรียบเทียบความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของความแข็งแรงของคอนกรีตในบริเวณที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงกันเท่านั้น

3.3.1.2. วิธีใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic Pulse Velocity)

มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

- มยพ. 1504-51 : มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic Pulse Velocity)
- 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 วิธีการทดสอบคอนกรีตโดยคลื่นอัลตราโซนิกนี้ยังสามารถนำไปทดสอบหาความเปลี่ยนแปลง สมบัติของคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไปได้ โดยในกรณีนี้ต้องมีการทำสัญลักษณ์ตำแหน่งของการวัดอย่างชัดเจน

อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องทดสอบคอนกรีตโดยคลื่นอัลตราโซนิก

- 1) ตัวกำเนิดคลื่น (Pulse Generator) ซึ่งประกอบด้วยวงจรสำหรับกำเนิดคลื่นของความต่างศักย์ไม่น้อยกว่า 3 คลื่นต่อวินาที
- 2) ตัวส่งสัญญาณ (Transmitting Transducer) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นความต่างศักย์เป็นคลื่นกลที่มีความถี่สูง (30 ถึง 100 กิโลเฮิรตซ์) โดยตัวส่งสัญญาณนั้นมีส่วนประกอบหลักเป็นผลึกแร่ที่มีปฏิกิริยาทางกลกับความดันไฟฟ้า (Piezoelectric Material) และสร้างคลื่นคลแรก (Triggering Pulse) เพื่อเป็นสัญญาณเริ่มต้นของวงจรควบคุมเวลา
- 3) ตัวรับสัญญาณ (Receiving Transducer) ที่มีส่วนประกอบเหมือนกับตัวส่งสัญญาณ แต่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนคลื่นกลกลับเป็นคลื่นสัญญาณไฟฟ้า
- 4) ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งทำหน้าที่ขยายขนาดของสัญญาณ ให้มีความชัดเจนต่อการวิเคราะห์สัญญาณ โดยมีอัตราส่วนขยายสัญญาณคงที่ไม่เกิน 3 เท่าของสัญญาณดิบที่วัดได้
- 5) วงจรควบคุมเวลา (Time-Measuring Circuit) ซึ่งทำหน้าที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ตรวจรับได้กับเวลาที่เริ่มต้นส่งสัญญาณ โดยเวลาเริ่มต้นจะอ้างอิงกับคลื่นคลแรก ซึ่งเป็นคลื่นที่เกิดภายในส่วนประมวลผล วงจรควบคุมเวลาเป็นตัวแสดงผลเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเคลื่อนที่ระหว่างตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ วงจรควบคุมเวลานี้ควรใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 40 องศาเซลเซียสได้โดยไม่มีความคลาดเคลื่อน
- 6) หน่วยแสดงผล (Display Unit) ของเครื่องทดสอบคอนกรีตด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งมี 2 รูปแบบหลักคือ แบบแสดงผลเป็นตัวเลข และแบบแสดงผลเป็นคลื่นที่ตัวรับสัญญาณตรวจจับได้

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 3.17 ชุดอุปกรณ์การวัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก

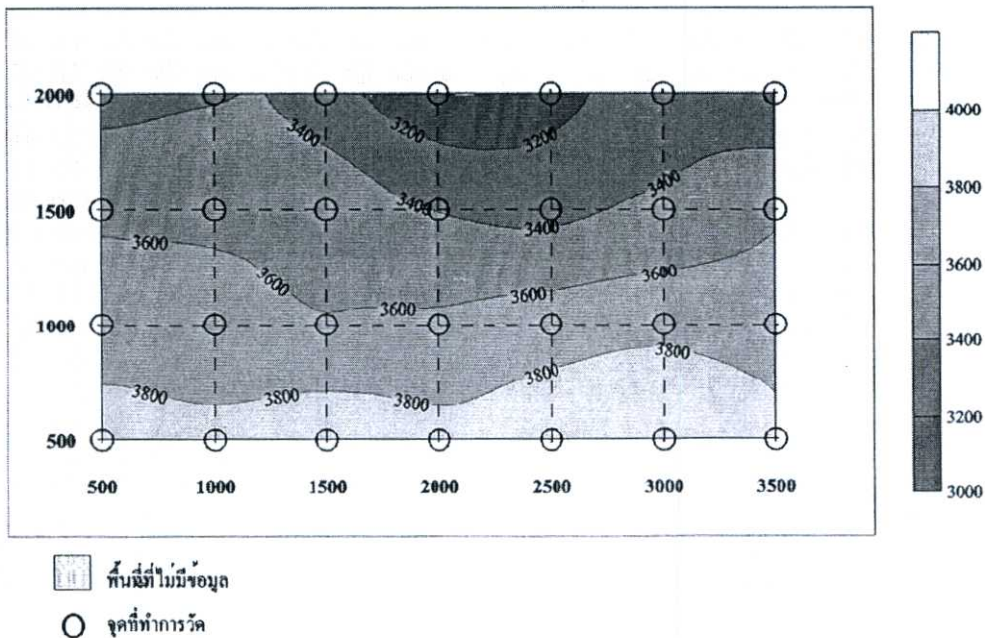
การทดสอบคอนกรีตด้วยคลื่นอัลตราโซนิก อาศัยการวัดความเร็วของคลื่นกลที่เคลื่อนที่ในคอนกรีตหลักการในการทำงานของเครื่องทดสอบโดยคลื่นอัลตราโซนิก คือ การปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกเข้าไปในคอนกรีต และจับเวลาที่คลื่นใช้ในการเคลื่อนที่จากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ โดยมีระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณคงที่ ค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกที่เคลื่อนที่ในคอนกรีตนั้น สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างตัวรับกับตัวส่ง

สัญญาณและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคอนกรีตและค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ดังสมการที่ 3.1

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

- 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 ความเร็วที่สูงกว่าของคอนกรีตที่อยู่ด้านล่างซึ่ง อาจจะเป็นผลมาจากการแยกตัวของคอนกรีตในระหว่างการเทคอนกรีต นอกจากนี้ผลการทดสอบยังบ่งชี้ว่า โครงสร้างส่วนบนด้านขวาบน (พื้นที่ที่เป็นสีแดงสด) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่คลื่นอัลตราโซนิกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำสุด อาจจะมีการบดหรือความเสียหายภายในโครงสร้างบริเวณดังกล่าว



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour Map) ของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

1) ปริมาณความชื้นภายในคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการทดสอบ เนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคในเนื้อคอนกรีต โดยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคในคอนกรีตที่อิมตัวจะมีค่ามากกว่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคในคอนกรีตที่แห้งอยู่ประมาณร้อยละ 5 และการตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะอิมตัวจะมีความเปลี่ยนแปลงเชิงเปรียบเทียบน้อยกว่าคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะแห้ง

2) ขนาดของโครงสร้างที่ทดสอบไม่ส่งผลกระทบต่อการตรวจวัดความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิคมากนัก โดยเฉพาะในกรณีรูปร่างของโครงสร้างไม่ส่งผลการจำแนกคลื่นที่เคลื่อนที่ตรงจากตัวส่งสัญญาณ ไปยังตัวรับสัญญาณ ดังนั้นขนาดของโครงสร้างที่เหมาะสมกับวิธีการทดสอบนี้จึงกำหนดด้วยความยาวคลื่นของคลื่นอัลตราโซนิค และควรจะมีค่าไม่น้อยกว่าความยาวคลื่นของคลื่นอัลตราโซนิคที่ใช้ทดสอบ

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

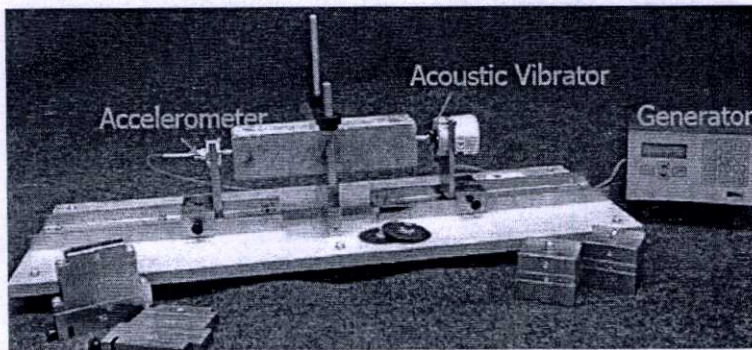
$$E_D = DW(fL_r)^2 \quad (3.2)$$

- เมื่อ E_D = โมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Elastic Modulus)
 D = สัมประสิทธิ์ของชนิดการสั่น ลักษณะและสัดส่วนของชิ้นวัสดุทดสอบ

W = น้ำหนักของชิ้นวัสดุทดสอบ (กก.)

fL_r = ความถี่เรโซแนนซ์ปฐมภูมิตามชนิดการสั่น (วินาที⁻¹)

วิธีการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิก (Dynamic Shearing Elastic Modulus) โมดูลัสแรงเฉือนยืดหยุ่นไดนามิก และอัตราส่วนปัวซองไดนามิก (Dynamic Poisson's Ratio) ของคอนกรีตด้วยความถี่กำหนด อุปกรณ์การทดสอบประกอบด้วยวงจรส่งคลื่นความถี่ (Oscillator) มาตรฐาน แท่นสั่น และวงจรตรวจ (Pick Up) ความถี่เรโซแนนซ์ ของชิ้นวัสดุทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 อุปกรณ์การวัดความถี่เรโซแนนซ์

การใช้งาน

- ตรวจสอบวัดการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกต่ออายุคอนกรีต ที่มีลักษณะรูปร่างคงที่
- ใช้ประมาณค่าความเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากการแข็งและหลอมตัว

ข้อควรระวัง

- เช่นเดียวกับวิธีการใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity)

ข้อดี

- ผลการทดสอบมีค่าที่กระจายตัวน้อย (Dispersion)
- สามารถวัดผลออกมาในรูปของโมดูลัสยืดหยุ่นไดนามิกของชิ้นวัสดุทดสอบเดียวกัน แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและความแข็งแรงต่อเวลาที่ผ่านไป

ข้อเสีย

- ไม่สามารถใช้กับวัสดุคอนกรีตของสิ่งก่อสร้าง

3.3.1.4. วิธีการวัดความต้านทานการทะลุทะลวง (Penetration Resistance Method)

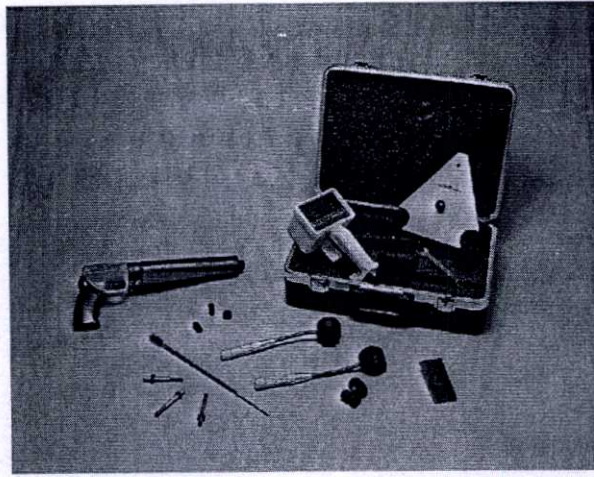
มาตรฐานที่ใช้

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

การทดสอบความต้านทานการทะลุของคอนกรีตด้วยหัวหยั่งทดสอบ สามารถใช้ประเมินกำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยมีสมมติฐานว่าความต้านทานการทะลุของคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแตกต่างกันไปสำหรับอุปกรณ์การทดสอบแต่ละแบบและต้องมีการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการทะลุของคอนกรีต ที่วัดได้จากเครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบ กับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต

อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบ

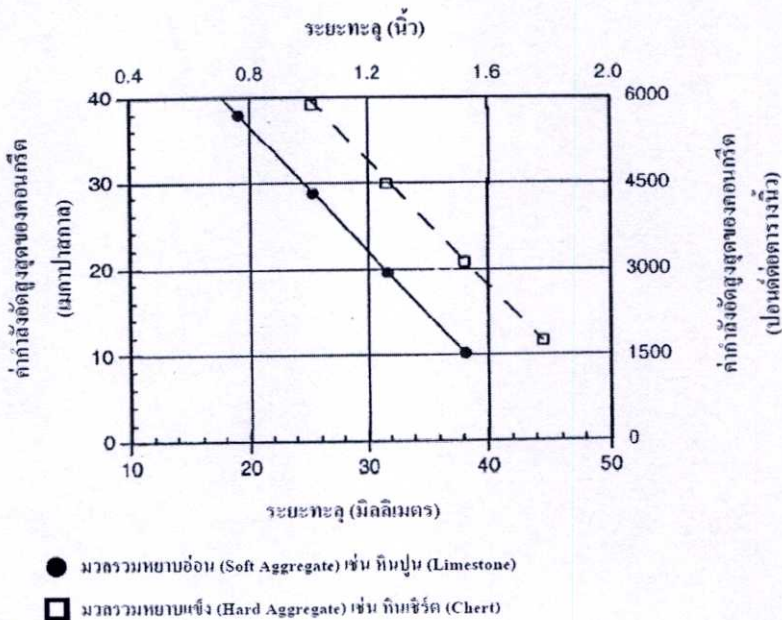
- 1) หัวหยั่งทดสอบ คือ แท่งโลหะอัลลอยที่มีปลายด้านหนึ่งเป็น โคนทู่ซึ่งสามารถทะลุเข้าไปในคอนกรีตและปักอยู่ได้โดยไม่มีการเสียรูปทรง และปลายอีกข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อให้สามารถวัดระยะทะลุและดึงหัวหยั่งทดสอบออกจากโครงสร้างคอนกรีตด้วยเครื่องมือเฉพาะได้โดยสะดวก นอกจากนี้หัวหยั่งทดสอบควรมีความยาวคงที่ หรือแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยปรกติจะมีความแข็งอยู่ในช่วงระหว่าง Rockwell 44 HRC และ 48 HRC
- 2) เครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบเป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งผ่านพลังงานไปให้กับหัวหยั่งทดสอบได้อย่างคงที่ทุกครั้ง โดยให้ค่าความเร็วของ หัวหยั่งทดสอบ แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 3 นอกจากนี้เครื่องยิงต้องมีกลไกป้องกันการยิงหัวหยั่งทดสอบ โดยมีได้ตั้งใจเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ
- 3) อุปกรณ์ยึดตำแหน่งเครื่องยิงทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งและทิศทางการยิงของหัวหยั่งทดสอบ โดยเครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบต้องถูกยึดกับโครงสร้างคอนกรีตอย่างมั่นคง โดยระดับของการยึดขึ้นอยู่กับพลังงานของเครื่องยิงหัวหยั่งทดสอบที่ใช้
- 4) ชุดอุปกรณ์วัดระยะทะลุ ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์วัดความยาวที่มีความแม่นยำในระดับ 0.5 มิลลิเมตรและต้องมีช่วงการวัดที่เหมาะสมกับผลการทดสอบ และแผ่นเหล็กอ้างอิงที่ถูกยึดอยู่กับผิวคอนกรีตไม่น้อยกว่า 3 จุด ทุกจุดต้องอยู่ห่างจากกันเท่าๆกัน และอยู่ห่างจากจุดที่จะทำการยิงหัวหยั่งทดสอบไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.20 ชุดทดสอบ Windsor HP Probe

หลักการของวิธีการยิงด้วยหัวยิงทดสอบ คือ การให้พลังงานระดับคงที่จากเครื่องยิงไปยังแท่งเหล็กเพื่อให้เจาะทะลุเข้าไปในผิวคอนกรีต เพื่อตรวจสอบความต้านทานการทะลุของคอนกรีต (Penetration Resistance) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความยาวของแท่งเหล็กที่ทะลุเข้าไปในคอนกรีต หรือ ความลึกของรูที่เกิดจากการเจาะจากผิวคอนกรีต

รูปที่ 3.21 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต จากผลทดสอบ ในกรณีมวลรวมหยาบอ่อนกับมวลรวมหยาบแข็ง



รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทะลุและค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

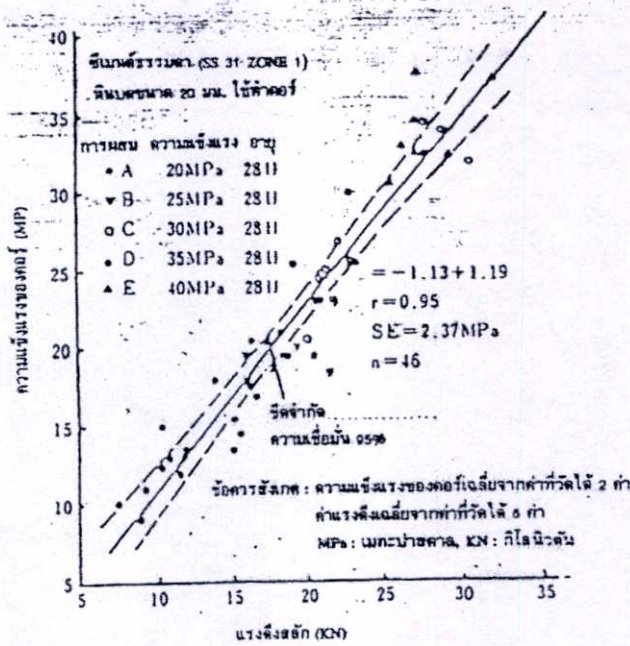
- 1) วิธีการทดสอบคอนกรีตด้วยการยิงหัวขั้วทดสอบนี้จะทำให้บริเวณผิวคอนกรีตได้รับความเสียหายและจำเป็นต้องได้รับการซ่อมแซมในภายหลัง
- 2) ตำแหน่งของการยิงและตำแหน่งของมวลรวมหยาบที่อยู่ใกล้ผิวคอนกรีตมีผลต่อค่าการทะลุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่มีมวลรวมหยาบมีขนาดใหญ่ จะต้องเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับคอนกรีตในโครงสร้าง
- 3) ช่องว่างในคอนกรีตที่เกิดจากฟองอากาศส่งผลให้ค่าการทะลุที่วัดได้มีค่ามากเกินไป ดังนั้นจึงควรสำรวจลักษณะของรูที่เกิดจากการยิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีค่าการทะลุที่ได้แตกต่างจากค่าอื่นมาก เพื่อประกอบการสรุปผล
- 4) ในกรณีที่ทำการทดสอบโครงสร้างที่มีลักษณะบาง หรือมีความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป เช่น คอนกรีตที่มีอายุน้อยกว่า 7 วันหรือคอนกรีตมวลเบา จะต้องมีการปรับพลังงานในการยิงให้เหมาะสมกับโครงสร้างนั้น ๆ และต้องใช้กราฟความสัมพันธ์สำหรับการแปลผล โดยเฉพาะ

3.3.1.5. วิธีการทดสอบ โดยการดึงสลัก (Pullout Test)

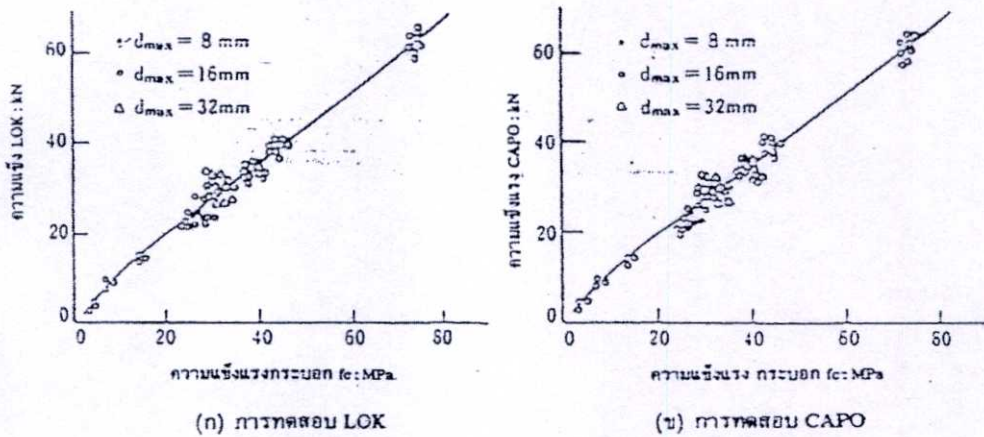
มาตรฐานที่ใช้

- ASTM C 900 : Standard Method for Pullout Strength of Hardened Concrete
- 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 ก็สามารถประมาณหาลำดับกำลังต้านทานแรงอัดได้โดยง่าย ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23



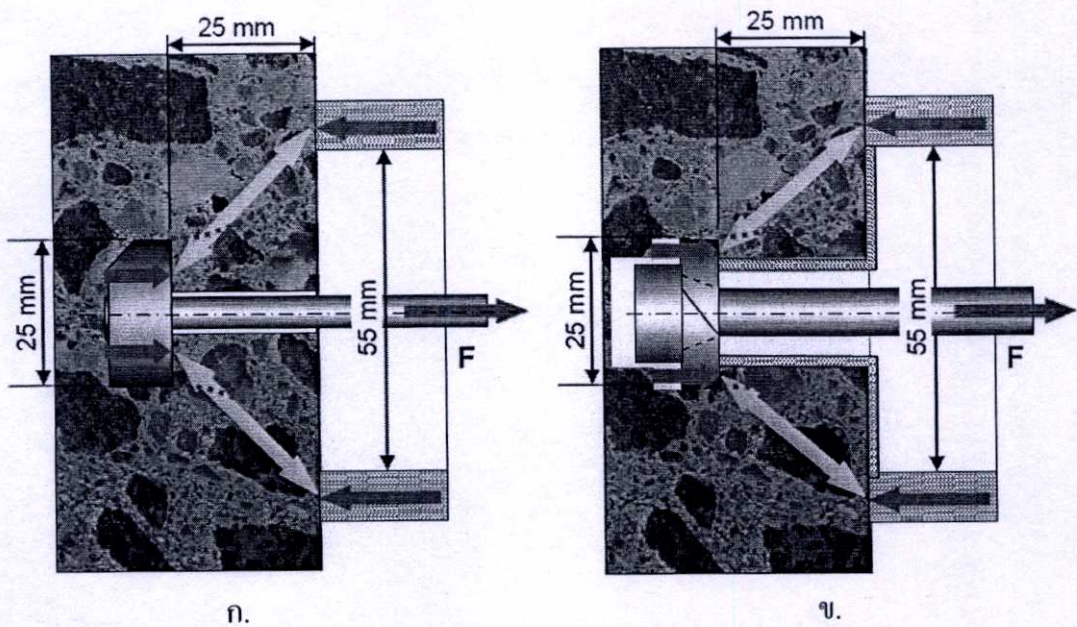
รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสลักกับความแข็งแรงของคอนกรีต



รูปที่ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความแข็งแรงทดสอบมาตรฐาน

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

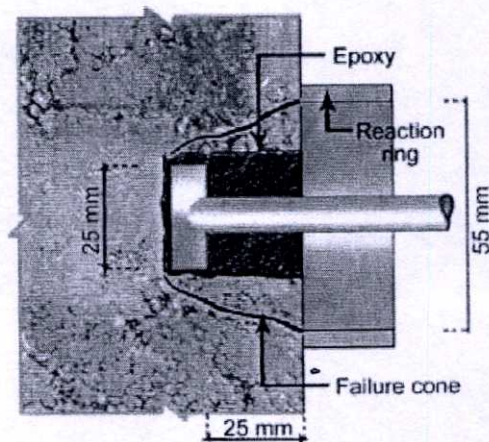
- 1) ในกรณีที่ติดตั้งสลักทำด้วยเหล็กพิเศษไว้ในกรอบคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วใช้แม่แรงดึงและวัดแรง (LOK-Test) ดังแสดงในรูปที่ 3.24 (ก)



รูปที่ 3.24 (ก) การทดสอบแบบ LOK-Test และ (ข) การทดสอบแบบ CAPO-Test

2) ในกรณีที่ไม่ได้ฝังสลักไว้ก่อน จะมีวิธีการ 3 วิธีดังนี้

- การทดสอบคาโป (CAPO-Test) โดยการเจาะรูด้วยสว่าน แล้วคว้านปลายรูด้วยเครื่องกัด (Milling) ทำให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่แน่นอน จากนั้นสวม CAPO INSERT จากด้านนอกและสอดสลักซึ่งมีแหวนขยายตัวติดอยู่ จากนั้นจึงดึงสลักและหาแรงดึงที่ใช้ในสลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.24 (ข)
- วิธีการทำให้สลักติดอยู่กับที่ด้วยอีพอกซีเรซิน โดยการเจาะรูด้วยสว่านให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่แน่นอน ทำการสอดสลักและอุดช่องว่างด้วยอีพอกซีเรซิน จากนั้นจึงดึงสลักและหาแรงดึงที่ใช้ในสลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การทดสอบสลักติดด้วยอีพอกซีเรซิน

- วิธีการทำให้สลักติดอยู่กับที่ด้วยลิ้มผ่า (Split Wedge)

การใช้งาน

- ใช้ประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตที่มีอายุน้อยของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต โดยเฉพาะคอนกรีตหล่อจากแบบหรือประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตอัดแรง
- เป็นการประเมินคุณภาพคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมของ โครงสร้างคอนกรีต

ข้อควรระวัง

- ลักษณะและสัดส่วนของสลักมีผลต่อแรงดึงออก
- เหมาะสำหรับคอนกรีตที่มีอายุน้อย

ข้อดี

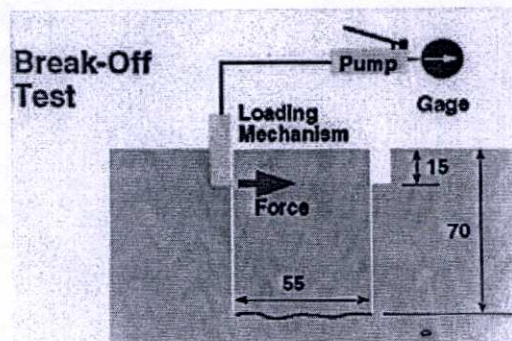
- สามารถกำหนดจุดทดสอบได้อย่างมีแบบแผน

ข้อเสีย

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

3.3.1.6. การทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ (Break-off Test)

การทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ โดยการทำให้ผิวของคอนกรีตเป็นร่องสี่กรอบ ๆ พอสมควร เกิดเป็นคอร์ขึ้น ใช้แรงในแนวระนาบดันคอร์ให้หักตามผิวของคอร์ แรงนี้จะสามารถนำไปคำนวณหาความเค้นในการหักงอสูงสุด ส่วนการประมาณกำลังต้านทานแรงอัด สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงหักงอกับกำลังต้านทานแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 วิธีการทดสอบ โดยวิธีการหักคอร์

จากรูปที่ 3.26 ฝั่งแบบรูปกระบอกกลมทำด้วยพลาสติก คอนกรีตประเภทใช้ฉาบหรือเทพื้น เพื่อทำให้เกิดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มม. ความยาว 70 มม. เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงแกะแบบออกมา จากนั้นใช้แรงกระทำบนผิวคอร์ด้วยอุปกรณ์ไฮดรอลิก เพื่อให้คอร์หัก แรงหักงอสามารถคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ f_b = แรงที่ใช้ในการหักงอ
 P_0 = แรงกระทำต่อคอร์ที่วัดได้จากโพลดเซล

การใช้งาน

- เสาค้ำหรือกำแพงไม่สามารถฝั่งแบบไว้ล่วงหน้าได้ ดังนั้นหลังจากที่แข็งตัวจึงทดสอบด้วยวิธีชุดคอร์
- ใช้ประมาณค่ากำลังต้านทานแรงอัดของสิ่งก่อสร้างคอนกรีต ตัดสินระยะเวลาของการถอดแบบ และควบคุมดูแลการบ่มคอนกรีตในระยะแรก

ข้อควรระวัง

- ชั้นวัสดุทดสอบ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของชั้นวัสดุทดสอบน้อย ถ้ามีขนาดของวัสดุโครงสร้างใหญ่จะทำให้ได้ค่าที่มีการกระจายตัวได้ง่าย
- คอนกรีตที่มีความแข็งแรงมากค่าผิดพลาดจะมากขึ้น

ข้อดี

- เนื่องจากการทดสอบความแข็งแรงภายในคอนกรีต ดังนั้นจึงไม่อิทธิพลของความชื้นแห่งบริเวณผิว
- สามารถเพิ่มจุดทดสอบได้อย่างมีแบบแผน

ข้อเสีย

- หลังจากการทดสอบแล้วต้องดึงคอร์ออกและซ่อมแต่งให้เรียบร้อย

3.3.1.7. การทดสอบโดยใช้วิธีดึงคอร์ให้หัก (Pull-off Test)

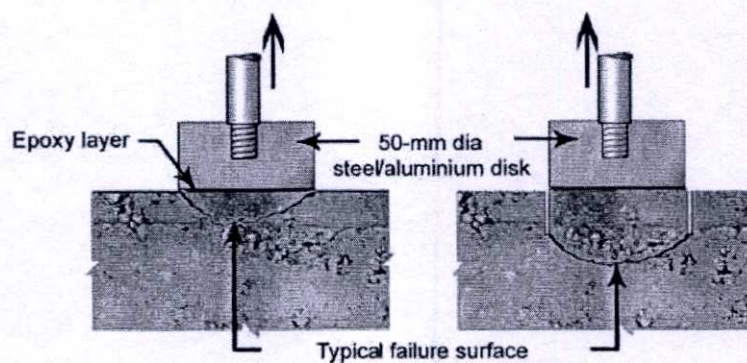
มาตรฐานที่ใช้

- 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 ซึ่งหากกราฟความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงดึงของคอร์ดกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้าก็จะสามารถหาลังต้านแรงอัดได้ บางครั้งใช้ในการทดสอบการเชื่อมประสานกันระหว่างคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตใหม่ในงานซ่อมแซมคอนกรีต รายละเอียดการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.27 โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

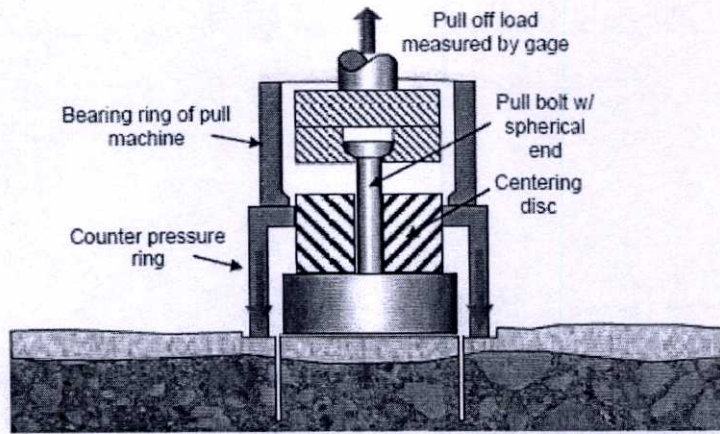
1) รูปแบบที่ 1 เป็นการเชื่อมยึดติดด้วยกาวระหว่างผิวสัมผัสของเครื่องมือทดสอบกับพื้นผิวคอนกรีต หลังจากนั้นทำการดึงเครื่องมือตามแนวแกนจนกระทั่งชิ้นส่วนคอนกรีตหลุดออกมา หากำลังต้านทานแรงดึง

2) รูปแบบที่ 2 โดยการทำการคอร์ดให้ลึกพอสมควร เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. จากนั้นทำการยึดติดด้วยกาวระหว่างเครื่องมือวัดและพื้นผิวคอนกรีตและทำการดึงขึ้นจากจุดแกนของคอร์ดตามแนวแกนจนกระทั่งคอร์ดหัก หากำลังต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.27 วิธีการทดสอบ โดยวิธีดึงคอร์ดให้หัก

วิธีการดึงคอร์ดนั้นกระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีแหวนดึงพิเศษดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.28 หรือสามารถดึงด้วยวิธีการใช้อุปกรณ์อื่น เช่น เป็นการยึดให้คอร์ดและแผ่นเหล็กกลมติดกัน



รูปที่ 3.28 แสดงอุปกรณ์ทดสอบการดึงคอร์ให้หัก

การใช้งาน

- เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์

ข้อควรระวัง

- เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์

คุณสมบัติพิเศษ

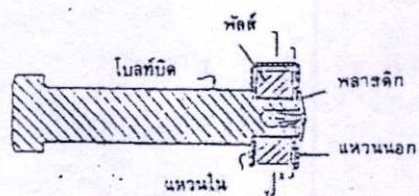
- เช่นเดียวกับหัวข้อการทดสอบโดยวิธีการหักคอร์ บริเวณที่แตกหักของคอนกรีตอาจจะใช้แรงยึดคอนกรีตกับปูนเข้าด้วยกัน

3.3.1.8. การทดสอบโดยวิธีใช้แรงบิด (Stool Torque Test: STT)

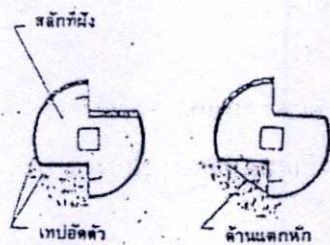
หลักการ

ใช้สลักพิเศษฝังเข้าไปในคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจึงใช้แรงจากภายนอกบิดสลักแล้วหาแรงบิดดังกล่าว จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกำลังต้านทานแรงอัดที่สร้างไว้ล่วงหน้าหน้านี้ จึงสามารถประมาณหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดได้

วิธีการดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.29 ฝังสลัก (Spindle) ไว้ในคอนกรีต ใช้มือหมุนที่จับจากภายนอกบิดให้สลักหักแล้วจึงหาค่าแรงบิด รูปที่ 3.30 แสดงตัวอย่างการทดสอบ



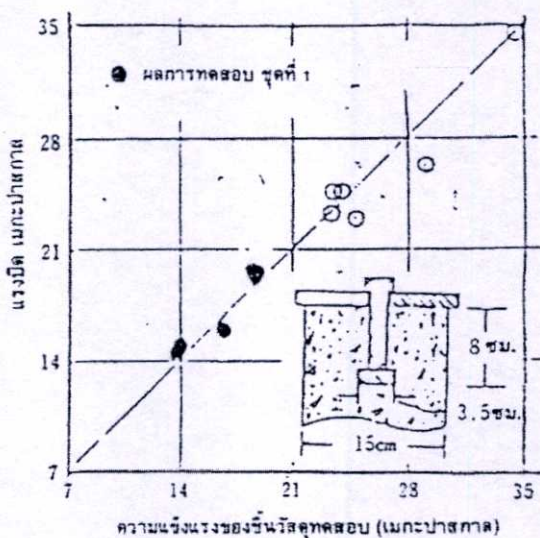
ก) สลัก STT (STT Spindle)



ก. สลักก่อนแตกหัก

ข. สลักหลังจากการแตกหัก

รูปที่ 3.29 แสดงการทดสอบการบิดให้แตกหัก



รูปที่ 3.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความแข็งแรงของชิ้นวัสดุทดสอบ

การใช้งานเพื่อประมาณความแข็งแรงของคอนกรีตสิ่งก่อสร้าง

ข้อควรระวัง

- เนื่องจากมีเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบด้วยวิธีนี้ไม่มาก ซึ่งควรพิจารณาการใช้งานเป็นพิเศษ

คุณสมบัติพิเศษ

- ทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตภายใน

- การแตกหักเกิดขึ้นภายในวัสดุ
- เมื่อคัง โบลท์บิดออกแล้ว 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] ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับเทคนิควิธีการประมาณค่าความแข็งแรง เป็นเทคนิควิธีการประมาณกำลังรับแรงของคอนกรีตบนสมมติฐานที่ว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการผสมที่ถูกต้องจะให้ค่ากำลังเทียบเท่าโดยที่มีดัชนีระดับความแข็งที่เท่ากัน ดัชนีความแข็ง เป็นตัวชี้วัดความแข็งสามารถคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ โดยใช้ฟังก์ชันการแข็งตัว โดยดัชนีความแข็งแบ่งออกเป็น 2 ดัชนีด้วยกัน คือ

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

$$M(t) = \sum (T_a - T_0) \Delta t \quad (3.4)$$

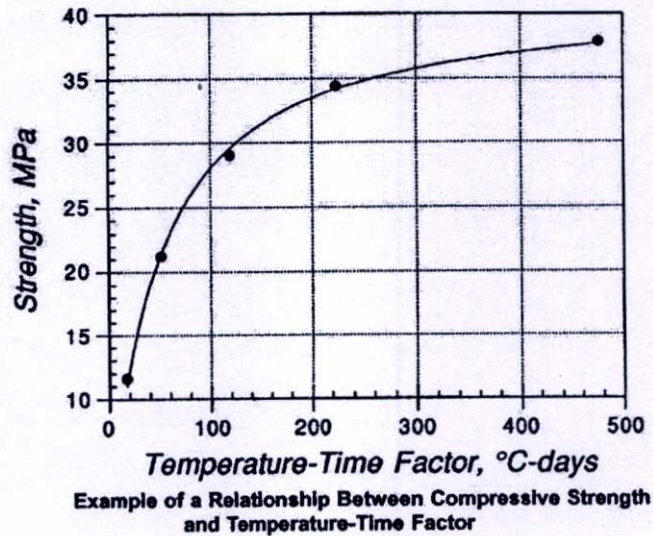
เมื่อ	$M(t)$	=	ระดับความแข็งตัวของปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่อายุ t ($^{\circ}\text{C}$ ชั่วโมง หรือ $^{\circ}\text{C}$ วัน)
	T_a	=	อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา Δt ($^{\circ}\text{C}$)
	T_0	=	อุณหภูมิอ้างอิง ($^{\circ}\text{C}$)
	Δt	=	ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง (ชั่วโมง หรือ วัน)

การกำหนดอุณหภูมิอ้างอิง (Datum Temperature, T_0) สามารถกระทำได้ดังนี้

- โดยการกำหนดไว้ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา ซึ่งอุณหภูมิที่กำหนดนี้ไม่ส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีต
- อุณหภูมิอ้างอิงจะขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ นำยาผสมคอนกรีต อุณหภูมิของคอนกรีตขณะแข็งตัว

- มาตรฐาน ASTM C 1074 กำหนดอุณหภูมิอ้างอิงที่ 0 °C สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I โดยไม่ใส่น้ำยาผสมเพิ่ม

ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของคอนกรีตกับระดับการแข็งตัว (Maturity) โดยวิธีนี้ แสดงดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลา

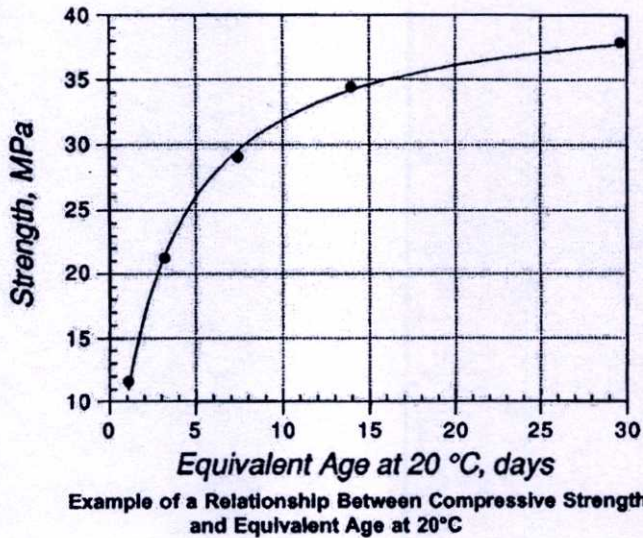
2) คำนวณความแข็งแรงเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิจำเพาะ (Equivalent Age at a Specified Temperature)

การเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิจำเพาะ เป็นจำนวนของวันหรือชั่วโมงที่อุณหภูมิจำเพาะกำหนด โดยระดับความแข็งแรงที่ได้รับจะเท่ากับระดับความแข็งแรงที่เทียบกับช่วงระยะเวลาการบ่มที่อุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิจำเพาะ คำนวณได้จากสมการที่ 3.5

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

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 3.32



รูปที่ 3.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับการเทียบเท่าอายุที่อุณหภูมิ 20 °C

วิธีการทดสอบ แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

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

ข้อดี

- 1) การทดสอบทำได้ง่าย
- 2) ค่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบเชื่อถือได้แต่ต้องกระทำตามขั้นตอนที่ถูกต้อง
- 3) เหมาะสำหรับการประมาณกำลังของคอนกรีตหล่อในที่

ข้อเสีย

- 1) จำเป็นต้องสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับระดับการแข็งตัวในห้องปฏิบัติการก่อนนำไปทดสอบภาคสนาม

- 2) สัดส่วนผสมคอนกรีตต้องไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดสอบ
- 3) ไม่สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการบ่มได้
- 4) คอนกรีตที่ทำการทดสอบต้องได้รับการบ่มที่ดี



รูปที่ 3.33 แสดงตัวอย่างการวัดระดับการแข็งตัว (Maturity) ด้วยเครื่องมือวัด

3.3.1.10. วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายผสม (Combined Nondestructive Testing Method)

เป็นที่ยอมรับกันว่าการรวมวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย 2 ชนิดเข้าด้วยกัน จะทำให้ได้ความละเอียดกว่าวิธีการทดสอบแบบเพียงชนิดเดียว

ความคิดที่ใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายผสมนี้ ก็ต้องการที่จะให้ได้การประมาณค่าที่มีความละเอียดแน่นอนยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มตัวแปรต่าง ๆ ตามลำดับในสมการที่ใช้ในการประมาณค่าความแข็งแรง ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานกำลังอัดของคอนกรีต กับค่าที่วัดได้ในการทดสอบแบบไม่ทำลาย

1) วิธีการทดสอบผสมแบบวัดจำนวนครั้งการสะท้อนกับความเร็วคลื่นอัลตราโซนิค วิธีการทดสอบแบบวัดจำนวนครั้งการสะท้อนและความเร็วเสียงนั้น ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ผ่านมา การทดสอบใช้วัสดุในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ โดยใช้อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ 3 ประเภท

สมการประมาณความแข็งแรง สามารถหาได้จากสมการใดสมการหนึ่งดังนี้

$$F_c = R + k_2 V_p + C \quad (3.6)$$

$$\log F_c = k_1 R + k_2 V_p + C \quad (3.7)$$

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

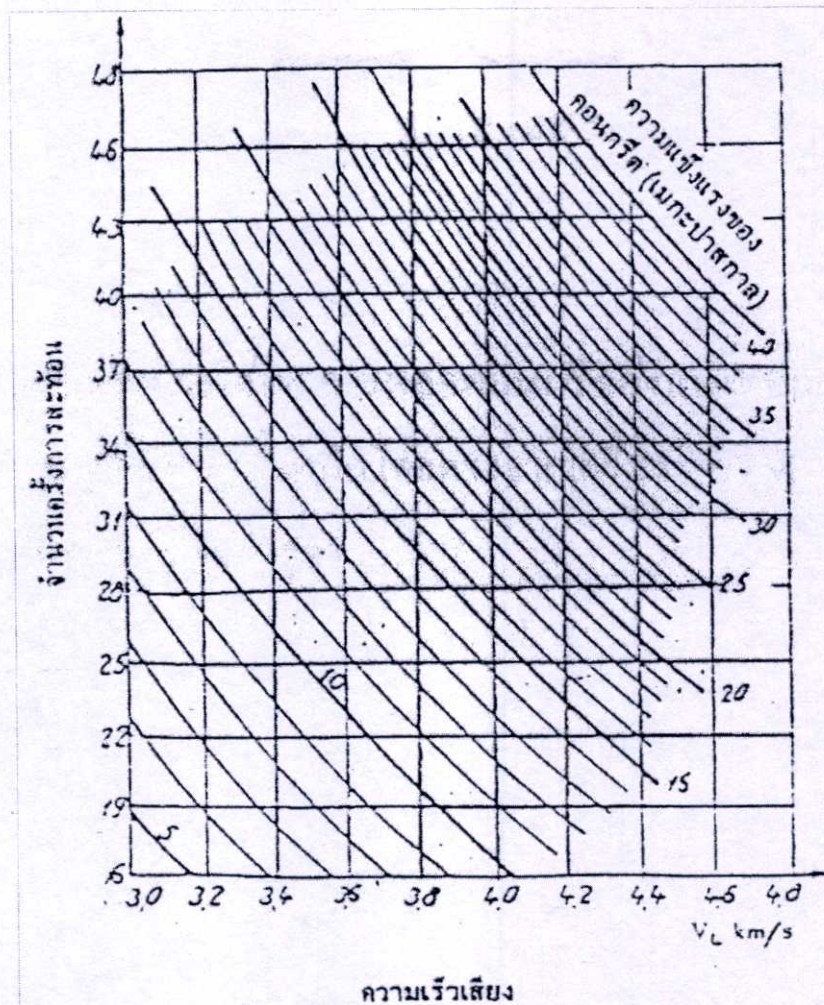
คอนกรีตธรรมดา :

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

คอนกรีตมวลเบา :

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

รูปที่ 3.34 เป็นรูปแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและจำนวนครั้งการสะท้อนกับกำลังต้านทานแรงอัด



รูปที่ 3.34 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตของ ISO โดยความเร็วเสียง และจำนวนครั้งที่การสะท้อน (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

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

โดยที่ σ = ความสามารถในการรับแรงอัด (ksc)
 P = น้ำหนักประลัย (kg.)
 A = พื้นที่ที่รับน้ำหนัก (cm²)

ข้อควรระวัง

- 1) ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบมีการบ่มขึ้น หากเป็นตัวอย่างทดสอบรูปลูกบาศก์ต้องเช็ดผิวให้แห้งและทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง และหากเป็นตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกต้องเช็ดผิวให้แห้ง และเคลือบผิวหน้าตัวอย่างทดสอบ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงแล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง
- 2) ถ้าคอนกรีตในโครงสร้างขณะใช้งานอยู่ในลักษณะแห้ง ต้องผึ่งตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะไว้ให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 7 วันก่อนการทดสอบ ถ้าคอนกรีตในโครงสร้างขณะใช้งานอยู่ในลักษณะเปียก ให้แช่ตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะไว้ในน้ำอย่างน้อย 40 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบในขณะที่ตัวอย่างเปียก
- 3) การชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ ให้ชั่งน้ำหนักเฉพาะตัวอย่างทดสอบ ไม่รวมน้ำหนักของวัสดุที่เคลือบผิวหน้า
- 4) ควรมีการตรวจสอบเครื่องกดที่ใช้งานประจำสม่ำเสมออย่างน้อยปีละครั้ง หากสงสัยว่าเครื่องทดสอบอาจให้ผลทดสอบไม่ถูกต้อง หรือหลังจากการซ่อมหรือประกอบใหม่ให้ทำการตรวจสอบทุกครั้ง

3.4 กำมะถัน (Sulfur) [29]

กำมะถัน มีสีเหลืองสดใส เป็นของแข็งที่ไม่มีรสและเป็นธาตุที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี กำมะถันในธรรมชาติเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ มากมายโดยเกี่ยวข้องกับการระเบิดของภูเขาไฟ และสีเหลืองสดใสของผลึกกำมะถันสามารถพบได้ในหินรอบ ๆ ภูเขาไฟและหินบริเวณน้ำพุร้อนที่พุ่งขึ้นจากใต้ดิน กำมะถันที่พบในหินส่วนใหญ่ในโลกมักเป็นพวกซัลไฟด์และยังพบในปริมาณเล็กน้อยในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตซึ่งสัมพันธ์กับยอดของกองเกลือคล้ายโดม

ธาตุกำมะถันเป็นอโลหะและไม่ละลายน้ำ ธาตุกำมะถันที่บริสุทธิ์มีกลิ่นเล็กน้อย กลิ่นที่คล้ายกับกำมะถัน คือ ไข่เน่า โดยเกิดจากสารประกอบหนึ่งของกำมะถันที่อยู่ในสถานะก๊าซที่ชื่อว่า ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารประกอบกำมะถันยังเป็นต้นเหตุของกลิ่นในกระเทียม มีสตาร์ด หอมหัวใหญ่ และกะหล่ำปลี สารประกอบของกำมะถันส่งกลิ่นน่ารังเกียจที่รุนแรงและคงอยู่นาน

3.4.1 การใช้ประโยชน์

กำมะถันเป็นธาตุที่มีประโยชน์ทางการแพทย์มาเป็นเวลานาน กำมะถันถูกใช้เป็นยาภายนอกในรูปของน้ำมันสำหรับผิวหนังและในรูปของควินเพื่ออบสถานที่ที่มีเชื้อโรค หรือใช้เป็นยาภายในที่เรียกว่า บริมส โคน “บริมส โคนและยาครอบจักรวาล” ใช้กันมากในช่วงสมัยพระนางวิกทอเรีย ปัจจุบันกลุ่มยาพวกซัลโฟนาไมด์ใช้เป็นยาขับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นกลุ่มยาชนิดหนึ่งที่สำคัญมากเพื่อใช้รักษาการติดเชื้อของระบบการย่อยอาหาร

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นก๊าซที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง นอกจากจะเกิดกรดเมื่อละลายน้ำ ยังใช้เป็นสารฟอกสีที่ดีมาก ใช้มากในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ และยังใช้ในโรงเก็บอาหารซึ่งช่วยในการรักษาคุณภาพของผลไม้และผักได้ การใช้กำมะถันในการผลิตกรดกำมะถันซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตปุ๋ยหลายชนิด การเติมกำมะถันในทางธรรมชาติเป็นผลทำให้ได้ยางที่มีความแข็งแรงขึ้น เรียกกระบวนการนี้ว่า การวัลคาไนซียง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเชื่อมระหว่างพันธะแบบโซ่ในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพอลิเมอร์ทั้งหมด รวมถึงการใช้กำมะถันในสงครามทั้งการผลิตดินปืนและก๊าซพิษ

สำหรับในวงการก่อสร้างนั้น ผงกำมะถันมีประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นวัสดุที่ช่วยเตรียมตัวอย่างปลายคอนกรีตทรงกระบอกในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต โดยคุณสมบัติของกำมะถันคือสามารถหลอมเหลวด้วยความร้อน และแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องปกติ ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าคอนกรีต เมื่อนำผงกำมะถันไปหลอมเหลวด้วยความร้อนแล้ว เทใส่แผ่นเหล็กที่เป็นแบบใช้เคลือบปลายตัวอย่างคอนกรีต จะได้ผิวหน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกที่มีความเรียบเป็นระนาบตามแบบของแผ่นเหล็ก เพื่อช่วยถ่ายแรงจากเครื่องทดสอบสู่หน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกได้อย่างเต็มที่ ทำให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

3.4.2 ความเป็นพิษต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นหนึ่งในก๊าซกำมะถันที่สำคัญที่สุด เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีความหนาแน่นสูง และมีกลิ่นเหม็นฉุน ถ้าได้รับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปริมาณมากจะทำให้หายใจไม่ออกเนื่องจากมีอากาศไม่เพียงพอ และแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถรวมตัวกับหยดน้ำเป็นฝนกรด ด้วยเหตุนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงจัดเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังเป็นอันตรายต่อเกษตรกรรม และยังกัดกร่อนอาคารที่สร้างด้วยหินปูนอีกด้วย

ควินเป็นสารผสมทั้งของแข็งขนาดเล็กและก๊าซชนิดต่าง ๆ เมื่อหายใจเอาซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้าไป ก๊าซชนิดนี้จะรวมตัวกับน้ำที่อยู่ในปากและคอ เพิ่มความเป็นกรดในบริเวณดังกล่าว และมักทำให้เกิดอาการระคายเคือง ถ้าเข้มข้นมากขึ้นอาจเกิดอาการเจ็บคอได้ เมื่อหายใจเอาควินเข้าไป บางส่วนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะจับตัวกันเป็นอนุภาคควินเล็ก ๆ ซึ่งสามารถผ่านตรงไปยัง

ปกติก่อนที่จะรวมตัวกับน้ำแล้วเปลี่ยนสภาพเป็นกรด ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงเป็นต้นเหตุปัญหา ระบบการหายใจ และอาจทำให้เกิดมะเร็งที่ปอดได้ อนุภาคของควันและซัลเฟอร์ไดออกไซด์เคย พบว่ามีความเข้มข้นสูงวิกฤตหมอกควันที่ลอนดอน ในปี ค.ศ. 1952 ทำให้ประชาชนประมาณ 4,000 คนเสียชีวิตภายใน 5 วัน เพราะไม่มีอากาศหายใจเพียงพอ เหตุการณ์นี้ทำให้ประเทศ อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ออกกฎหมายควบคุมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ สำคัญที่สุดในอากาศชนิดหนึ่ง คือก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากยานพาหนะ โดย ธรรมชาติซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แต่จะรวมตัวกับไนโตรเจน ไดออกไซด์แล้วเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ จะรวมตัวกับหยดน้ำฝนเป็นกรดซัลฟิวริกแล้วตก ลงมาเป็นฝนกรด

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซ จึงสามารถแพร่กระจายไปได้ไกลจากบริเวณที่ผลิต ซึ่ง หมายถึงว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งสามารถแพร่กระจายไปได้ไกล เป็นพัน ๆ กิโลเมตรตามทิศทางลม ซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจรวมตัวกับหยดน้ำในกลุ่มเมฆ ทำให้ เกิดฝนกรดที่เป็นอันตรายต่อต้นไม้ ภูมิที่ร้ายแรงที่สุด คือมลพิษที่เกิดขึ้นในประเทศหนึ่งสามารถ เป็นต้นเหตุของฝนกรดทำความเสียหายให้กับอีกประเทศหนึ่ง ดังเช่นกรณีที่เกิดขึ้นทั้งในทวีปยุโรป และอเมริกาเหนือ ในทวีปยุโรปใช้ถ่านหินในโรงไฟฟ้าในยุโรปตะวันออกทำให้เกิดมลพิษเป็นผล ให้ต้นไม้ในป่าดำของประเทศเยอรมนีตาย หรือมลพิษจากประเทศอังกฤษอาจจะทำให้ป่าใน ประเทศนอร์เวย์และประเทศสวีเดน ได้รับความเสียหาย มลพิษจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของ สหรัฐอเมริกาและภาคตะวันออกเฉียงใต้ในประเทศแคนาดาทำลายป่าในภาคตะวันออกของอเมริกา เหนือ

3.4.3 ข้อมูลจำเพาะของกำมะถัน

- เป็นของแข็งสีเหลืองคล้ายมันสำปะหลัง
- สัญลักษณ์เคมี คือ S
- ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ
- เป็นตัวนำไฟฟ้าและตัวนำความร้อนที่ไม่ดี
- พบได้ตามธรรมชาติในรูปของผลึก
- ว่องไวต่อปฏิกิริยาซึ่งจะรวมตัวได้กับธาตุอื่นเกือบทุกชนิด
- เลขอะตอม 6
- น้ำหนักอะตอมประมาณ 32
- หลอมเหลวที่ 119 °C เหนือกว่าจุดเดือดของน้ำเล็กน้อย
- อ่อนนุ่มและใช้เล็บบูดให้เป็นรอยได้
- ความหนาแน่น 2 กรัมต่อมิลลิเมตร ซึ่งประมาณ 2 เท่าของความหนาแน่นน้ำ

บทที่ 4

การออกแบบและการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายคอนกรีต

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างว่ามีองค์ประกอบที่สำคัญใดบ้าง หลังจากนั้นจะทำการออกแบบและประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่าง โดยร่วมกับผู้ประกอบการ การศึกษาการใช้งานเครื่องเจียรปลายตัวอย่างรวมถึงการบำรุงรักษา เครื่องเจียรให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น การศึกษาเกี่ยวกับความคุ้มค่า ราคาและต้นทุนการใช้ เพื่อให้ได้เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่สามารถเจียรตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C 39/C 39M-99

4.2 องค์ประกอบเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

จากการทบทวนวรรณกรรม เว็บไซต์ผู้ผลิตเครื่องเจียรปลายตัวอย่างพบว่า เครื่องเจียรปลาย ตัวอย่างมีองค์ประกอบดังแสดงในรูปที่ 4.1 องค์ประกอบของเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 โครงกล่องเครื่องจักร

เป็นโครงกล่องทำด้วยเหล็ก และแผ่นเหล็ก เพื่อยึดอุปกรณ์ต่างของเครื่องขัดผิวปลาย ตัวอย่างคอนกรีตไว้ด้วยกัน และเป็นตัวช่วยป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการทำงานของมอเตอร์ และใบเจียรนัยได้ เนื่องจากการทำงานของตัวเครื่องเป็นระบบเป็ยกซึ่งโครงเหล็กจะมีการทาสี ป้องกันการเกิดสนิมเหล็กเพื่อให้อายุการใช้งานยาวนาน

4.2.2 ใบเจียรนัยชนิดหมุนกวาดได้ในแนวรัศมี

ใบเจียรนัยเป็นใบขัดผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตให้มีความเรียบ ซึ่งอาจเป็นวัสดุชนิด Diamond Blade หรือวัสดุอื่น ๆ ที่เหมาะสมที่สามารถหาได้ในท้องถื่น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สามารถขัดหน้าตัดของผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5 – 15 ซม. หรือก่อน ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาดมาตรฐานได้ ซึ่งจะทำงานร่วมกับลูกเบี้ยวทำให้การขัดได้ทั่วทั้งหน้าตัด ของตัวอย่าง

4.2.3 ลูกเบียร์

ลูกเบียร์ทำหน้าที่ทำให้จุดหมุนของใบเจียร์เปลี่ยนตำแหน่งไปแต่อยู่ในแนวระดับ เพื่อให้ใบเจียร์นัยหมุนขัดตัวอย่างได้ทั่วทั้งหน้าตัดและได้ระนาบ

4.2.4 แท่นวางตัวอย่าง

แท่นวางตัวอย่างทรงกระบอกหรือลูกบาศก์ มีลักษณะเป็นเหล็กฉากหนาวางตั้งฉากกับระนาบของใบเจียร์นัย เป็นตัวบังคับให้ตัวอย่างอยู่ในแนวตั้งฉากกับระนาบของใบเจียร์นัยด้วย ซึ่งมีตัวเลื่อนแท่นวางตัวอย่างปรับระยะในการขัดผิว ทำให้ปลายผิวหน้าของตัวอย่างที่ขัดขนานกับผิวหน้าตัวอย่างอีกด้านที่มีความเรียบอยู่แล้ว

4.2.5 ตัวเลื่อนปรับระยะเจียร์นัย

ตัวเลื่อนปรับระยะเจียร์นัยเป็นตัวที่บังคับแท่นวางตัวอย่างให้เลื่อนเข้า-ออกสู่ใบเจียร์นัย ซึ่งอาจเป็นแบบปรับด้วยมือหมุน หรือแบบมอเตอร์ควบคุมอัตโนมัติก็ได้

4.2.6 ตัวล็อกป้องกันการขยับของตัวอย่าง

เป็นแขนเหล็กที่เหวี่ยงหมุนได้ โดยที่ปลายเข้าหนึ่งมีตัวช่วยกดไม่ให้ตัวอย่างคอนกรีตขยับออกไปจากแท่นรองตัวอย่าง ช่วยทำให้การขัดผิวปลายตัวอย่างมีระนาบที่สม่ำเสมอ

4.2.7 ป้อนน้ำ

เป็นเครื่องป้อนน้ำคอยสูบน้ำเลี้ยงให้กับเครื่องผิวปลายตัวอย่างคอนกรีต

4.2.8 หัวฉีดน้ำชนิดข้ออ่อนปรับได้

หัวฉีดน้ำจะคอยปล่อยน้ำเลี้ยงใบเจียร์นัยกับตัวอย่างคอนกรีตในระหว่างการทำงาน ลดความร้อนจากการขัดสี และลดฝุ่นที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน

4.2.9 มอเตอร์หมุนไฟฟ้า

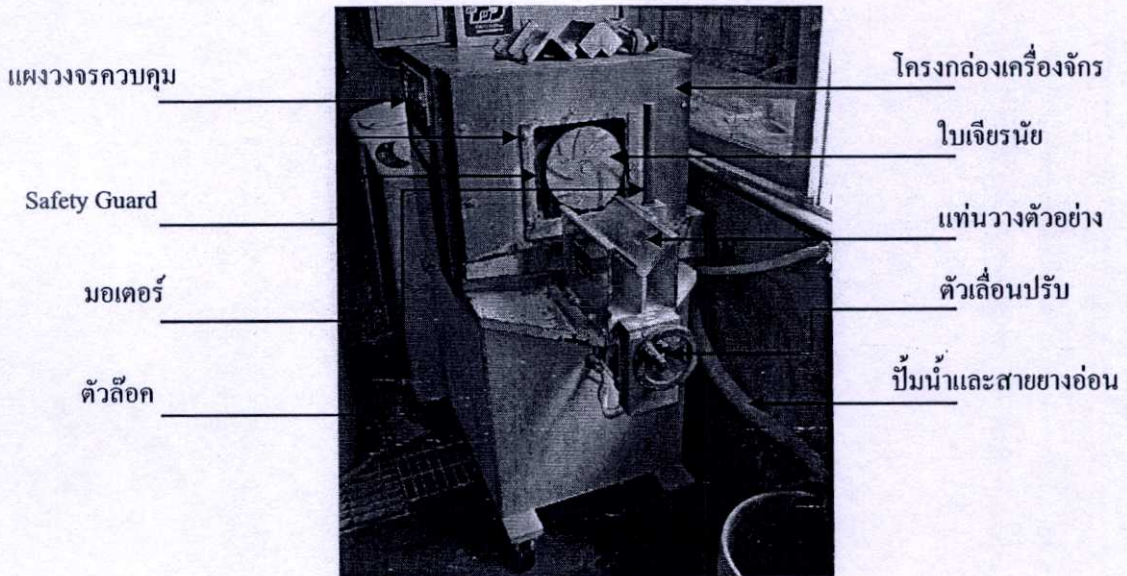
ช่วยบังคับหมุนใบเจียร์นัยให้หมุนไปตามแนวรัศมีการหมุน ซึ่งอาจมีตัวมอเตอร์หมุนอย่างน้อย 2 ตัวเพื่อปรับความเร็วในการหมุนให้เหมาะกับการใช้งาน

4.2.10 Safety Guard

ทำด้วยแผ่นพลาสติกใส สามารถมองเห็นการทำงานขณะเครื่องจักรทำงานได้ เป็นแผ่นช่วยป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากเศษปูนกระเด็น หรือแผ่นเจียร์นัยชำรุดได้

4.2.11 แผงวงจรควบคุมเครื่องจักร

เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องขัดผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตโดยรวม เช่นการเปิด-ปิดเครื่องจักร การควบคุมการปรับความเร็วในการหมุนใบเจียรนัย ปุ่มหยุดการทำงานในกรณีฉุกเฉิน และอื่น ๆ โดยระบบไฟฟ้าอาจใช้ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส 4 สาย



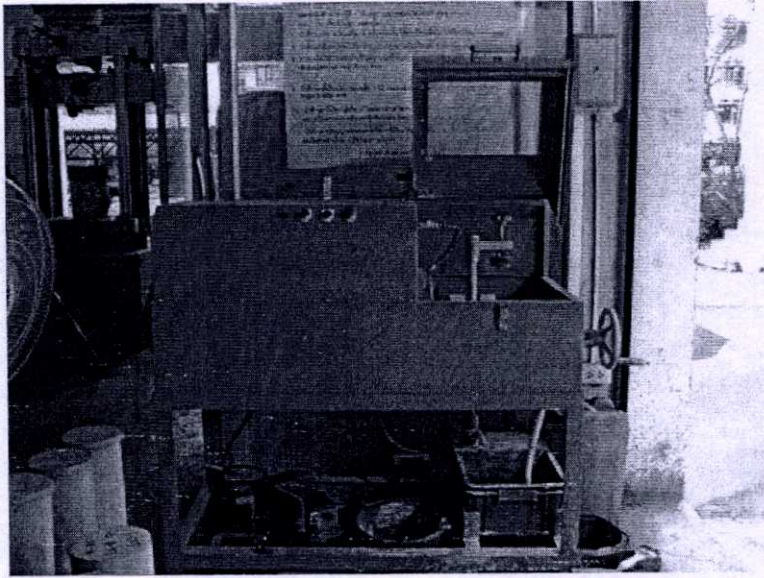
รูปที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

4.3 การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องเจียรปลายตัวอย่างถูกใช้เพื่อเป็นทางเลือกในการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก และใช้วัสดุและแรงงานในท้องถิ่น ทางผู้วิจัยได้ร่วมกับผู้ประกอบการที่มีความเชี่ยวชาญด้านเครื่องมือทดสอบวิศวกรรมโยธา ออกแบบและประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างโดยการทบทวนวรรณกรรมและข้อมูลองค์ประกอบเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง ซึ่งผู้ประกอบการได้เลือกรูปแบบเครื่องเจียรปลายตัวอย่างในแนวนอนในการประดิษฐ์ครั้งนี้ เนื่องจากระบบกลไกการทำงานการเจียรปลายง่ายและไม่ซับซ้อน สามารถใช้อุปกรณ์เชิงพาณิชย์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยและผลิตเครื่องเจียรปลายตัวอย่างได้ รวมถึงการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรทำได้ง่าย

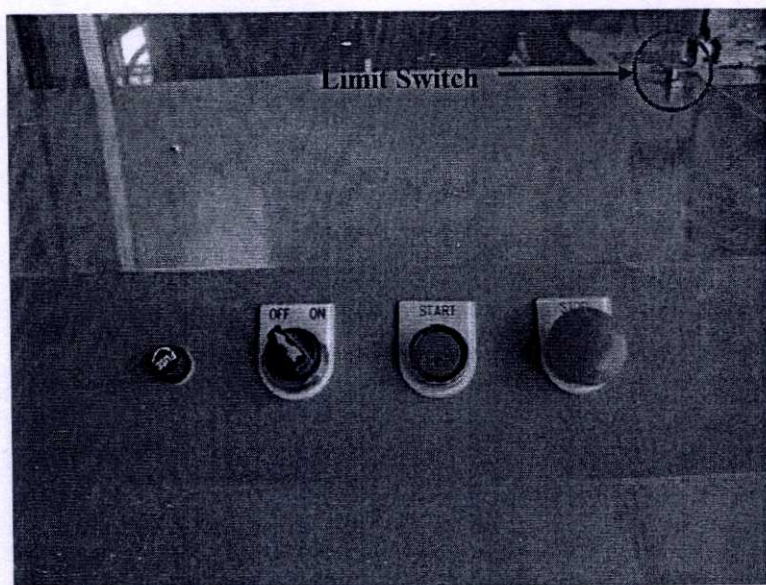
ลักษณะทางกายภาพเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้น เครื่องเจียรมีขนาดความกว้าง 120 ซม. ความสูง 120 ซม. และความหนา 60 ซม. ใช้ไฟฟ้า 240 V สำหรับมอเตอร์หินเจียรและมอเตอร์ปั้มน้ำ ฝาเปิด-ปิดกรูด้วยไฟเบอร์กลาสเพื่อใช้เป็น Safety Guard ในการป้องกันอันตรายจากเศษฝุ่นคอนกรีตและความเสียหายที่เกิดจากการเจียรคอนกรีตได้ รวมถึงการควบคุมขณะเจียรตัวอย่างคอนกรีต ความสามารถในการเจียรปลายใช้สำหรับการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตรูป

ทรงกระบอกครึ่งละ 1 ก้อนตัวอย่าง ระยะเวลาการเจียรปลายต่อด้านไม่เกิน 2 นาที รูปที่ 4.2 แสดงรูปด้านหน้าของเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

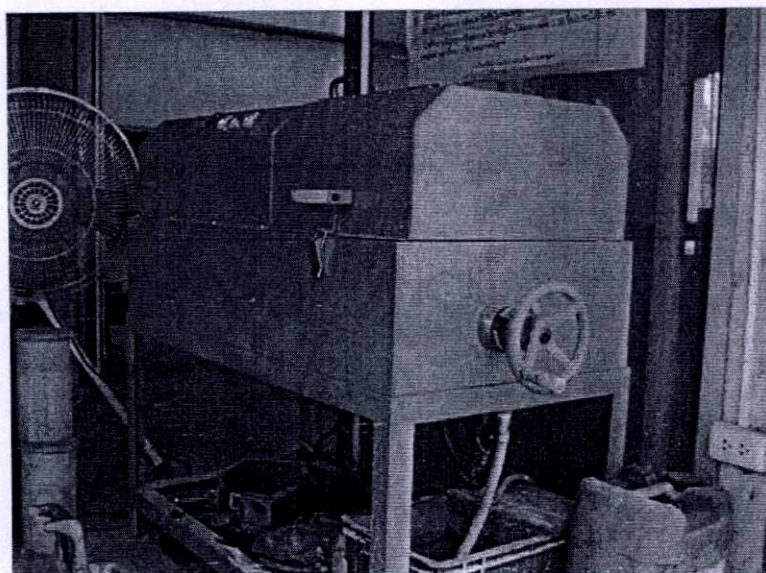


รูปที่ 4.2 รูปด้านหน้าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

จากรูปที่ 4.3 แสดงแผนควบคุมการทำงานของเครื่องเจียร เริ่มจากฟิวส์ควบคุมกระแสไฟรั่ว หรือไฟเกินขณะปฏิบัติงาน สวิตช์เปิด-ปิดการทำงานของเครื่องเจียร ปุ่ม Start (สีเขียว) เป็นปุ่มเดินเครื่องทำงาน และปุ่มสีแดงเป็น Emergency Stop สำหรับหยุดการทำงานของเครื่องเจียร รวมถึงการหยุดฉุกเฉินเมื่อเกิดอุบัติเหตุขณะปฏิบัติงาน ระบบการทำงานของเครื่องเจียรนี้ถูกออกแบบให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน โดยผู้ประกอบการได้ติดตั้ง Limit Switch หรือ Push Button Switch บนฝาด้านบนของเครื่องเจียร สวิตช์ตัวนี้ใช้ควบคุมเกี่ยวกับการเจียรปลายตัวอย่าง เมื่อผู้ปฏิบัติงานเปิดเครื่องทำงาน หากผู้ปฏิบัติงานเผลอหรือบังเอิญกดสวิตช์โดยที่ฝา Safety Guard ยังไม่ปิดสนิท เครื่องเจียรก็จะไม่ทำงานทันที ทั้งนี้ระบบจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อฝา Safety Guard ปิดทับ Limit Switch หรือ Push Button Switch ก่อน เครื่องเจียรจึงสามารถทำงานได้ และรูปที่ 4.4 แสดงเครื่องเจียรขณะทำการเจียรตัวอย่างคอนกรีต

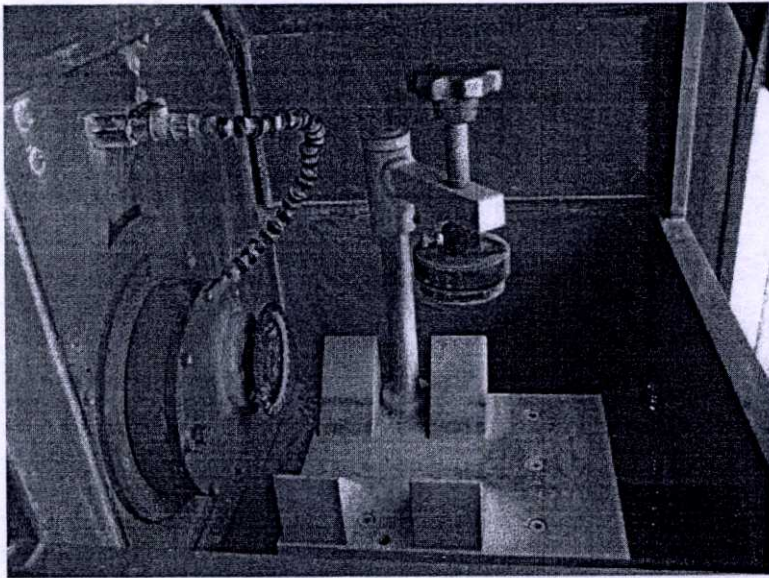


รูปที่ 4.3 แผงควบคุมการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ 4.4 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตขณะทำการเจียรคอนกรีต

รูปที่ 4.5 แสดงอุปกรณ์การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต ประกอบด้วยแท่นวางตัวอย่างรูปทรงกระบอก ปรับเลื่อนด้วยแท่นปรับระดับในแนวนอน ตัวล็อกตัวอย่างคอนกรีต ใบเจียรคอนกรีต และสายยางอ่อนสำหรับกำจัดฝุ่นที่เกิดจากการเจียรปลายตัวอย่าง ช่วยในการระบายความร้อน ลดการสึกหรอของใบเจียร น้ำที่ใช้ในการกำจัดฝุ่นเป็นระบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะช่วยลดการสิ้นเปลืองน้ำได้มาก



รูปที่ 4.5 ชุดอุปกรณ์การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

4.4 คุณสมบัติทางกายภาพของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต

- ขนาดเครื่องเจียร (กว้าง x ยาว x หนา)	1200 x 1200 x 600 มม.
- ขนาดใบเจียรคอนกรีต	100 มม.
- รัศมีหัวเจียร	200 มม.
- ขนาดความสูงตัวอย่างมากที่สุด	350 มม.
- ความสามารถในการเจียรตัวอย่าง	∅ 50 มม. - ∅ 150 มม.
- มอเตอร์ขับเคลื่อนใบเจียร	1,500 W
- มอเตอร์ปั้มน้ำ	400 W
- รวมกำลังมอเตอร์	1,900 W
- น้ำหนักเครื่อง	180 กก.
- ระยะเวลาการเจียรปลายของคอนกรีต	60 – 120 วินาที ต่อด้าน
- กำลังไฟฟ้า	230V / 8.5A / 50Hz

4.5 หลักการทำงานและการบำรุงรักษาเครื่องเจียรปลาย

4.5.1 หลักการทำงานเครื่องเจียรปลาย

ก่อนการเจียรปลายตัวอย่างต้องปรับสวิตช์เปิด-ปิด ในตำแหน่งปิดเสียก่อน เปิดฝา Safety Guard ออก ปรับระยะแท่นวางตัวอย่างให้ออกห่างจากใบเจียรโดยหมุนตัวเลื่อนปรับทิศทางทวนเข็มนาฬิกา นำก้อนตัวอย่างวางบนแท่นวางตัวอย่างในแนวอนนให้อยู่ตรงกลางแท่น หมุนตัวล็อก

ยึดตัวอย่างคอนกรีตให้แน่น หมุนปรับแทนเลื่อนตามแนวอนจนกระทั่งผิวปลายตัวอย่างสัมผัสกับใบเจียร

ข้อควรระวัง : อย่าปรับเลื่อนแทนตัวอย่างคอนกรีตให้แน่นแน่นกับหินเจียร เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายระหว่างการเจียรได้

เปิดวาล์วสายน้ำอ่อนที่อุปกรณ์การเจียร ปรับระดับหัวฉีดน้ำสายยางอ่อนให้เหมาะสมกับการเจียร โดยอยู่ระหว่างผิวปลายตัวอย่างและหินเจียร หลังจากนั้นปิดฝา Safety Guard พร้อมล็อกให้แน่นกับการสันสะเทือนเนื่องจากการทำงาน อาจทำให้ฝากระเด็นและระบบหยุดการทำงานได้ คลายสวิตช์ Emergency Switch ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ปรับสวิตช์เปิด-ปิด ให้อยู่ในตำแหน่งเปิด และเดินเครื่องโดยการกดปุ่ม Start (สีเขียว) เครื่องเจียรจะทำการเจียรจนกระทั่งตัวอย่างเรียบขนานและตั้งฉากกับแกนตัวอย่าง

เมื่อเจียรตัวอย่างเรียบร้อยแล้วให้ทำปิดสวิตช์หรือกดปุ่ม Emergency Switch ปิดฝา Safety Guard ปิดสวิตช์ปั้มน้ำ หลังจากนั้นคลายแทนปรับเลื่อนตัวอย่างออก ปลดล็อกตัวอย่างคอนกรีตแล้วยกตัวอย่างคอนกรีตออกจากเครื่องเจียร เช็ดตัวอย่างให้แห้งรอการทดสอบการรับแรงอัดต่อไป

4.5.2 การบำรุงรักษาเครื่องเจียรปลาย

เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตควรได้รับการหยุดน้ำมันสัปดาห์ละหนึ่งครั้ง บริเวณสกรู จุดปรับเลื่อน และทุกข้อต่อที่มีการหมุนเคลื่อนที่ กรณีที่ใช้งานหนักควรได้รับการหยุดน้ำมันสัปดาห์ละสองครั้ง

ภาชนะบรรจุน้ำสำหรับการกำจัดฝุ่นและการหล่อเย็น ควรทำความสะอาดก่อนการทำงานทุกวัน เพื่อกันการหมักหมมของตะกอนและป้องกันการอุดตันต่อปั้มน้ำด้วย

4.6 การศึกษาความคุ้มค่า ราคาและต้นทุนการใช้งาน

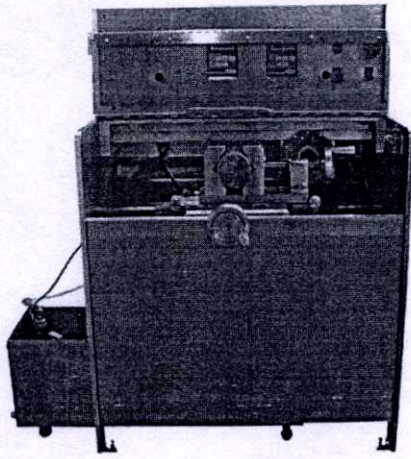
4.6.1 ราคาวัสดุอุปกรณ์ของเครื่องจักร

ราคาวัสดุประติษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

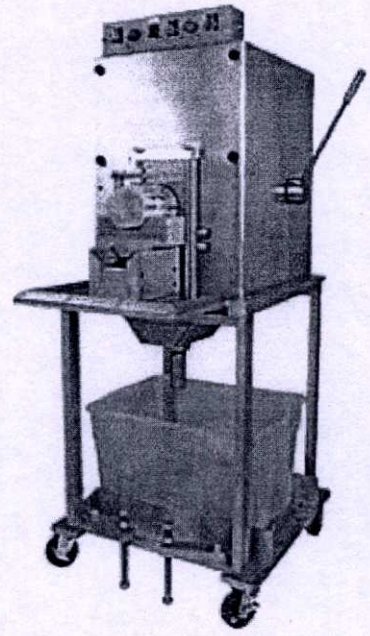
ตารางที่ 4.1 ราคาวัสดุและแรงงานในการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

รายการ	จำนวน	หน่วย	เป็นเงิน (บาท)
1. ค่าวัสดุและอะไหล่เครื่องเจียร			100,400.00
- มอเตอร์ 2 แรง	1	ตัว	
- มอเตอร์ ½ แรง	1	ตัว	
- ป้อนน้ำ	1	ตัว	
- ชุดลูกปืน	12	ชุด	
- ทองเหลืองชุดรางเลื่อน	1	ชุด	
- สแตนเลส	20	กิโลกรัม	
- เหล็กแผ่นหนา 10 มม.	8	ตร.ม.	
- เหล็กโครงสร้าง	56	กิโลกรัม	
- แผ่นเจียรคอนกรีต	6	แผ่น	
- แผ่นอะคริลิกใส	1	ตร.ม.	
- สายพาน	2	เส้น	
- สวิตช์ไฟฟ้า	2	ชุด	
- สายไฟฟ้า 10 ม.	2	เส้น	
- สายยางดูดน้ำขนาด ½ นิ้ว	10	เมตร	
2. ค่าแรงทำเครื่องเจียร+ค่าการตลาด			37,000.00
รวมเป็นเงิน			137,400.00

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการผลิตเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตใช้ต้นทุนเพียง 137,400.00 บาท หากเทียบกับราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตที่มีจำหน่ายต่างประเทศ (จากตารางที่ 2.1) ที่มีสัณฐานภาพเท่ากันแล้วพบว่า เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ผลิตโดย บริษัท Humboldt จำกัด [22] รุ่น H-2965 ราคา \$18,600.00 หรือ 651,000.00 บาท และรุ่น H-2966A ราคา \$12,800.00 หรือ 448,000.00 บาท ซึ่งโครงการนี้สามารถลดต้นทุนประมาณ 300,000 – 500,000 บาท โดยเครื่องเจียรรุ่นดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.6



(ก) รุ่น H-2965



(ข) รุ่น H-2966A

รูปที่ 4.6 เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ผลิตโดย บริษัท Humboldt จำกัด

4.6.1 วัสดุสิ้นเปลือง

วัสดุสิ้นเปลืองหลักของเครื่องขัดปลายตัวอย่างคอนกรีตนั้นคือ ใบเจียร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. ใบเจียรที่ใช้เป็นใบเจียรขัดหินธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างจากใบเจียรที่ใช้เครื่องเจียรปลายตัวอย่างนำเข้าจากต่างประเทศ จะเป็นใบเจียรกากเพชร มีราคาแพง แต่อายุการใช้งานจะนานกว่า ส่วนน้ำสำหรับการกำจัดเศษฝุ่นละอองจากการเจียรใช้เป็นระบบไหลเวียนกลับมาใช้ใหม่ ทำให้สามารถประหยัดทรัพยากรน้ำได้มาก

4.6.2 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างเครื่องเจียรและการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน

การเตรียมปลายตัวอย่างโดยวิธีการเจียรปลายด้วยเครื่องเจียรที่ประดิษฐ์ขึ้นมาใหม่ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับ การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน เพื่อให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการลงทุน และการใช้งานเครื่องเจียรปลาย โดยวิธี Break-Even Point หรือการหาจุดคุ้มทุน แต่ในกรณีนี้เป็น การหาจุดร่วมของต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการเตรียมปลายตัวอย่างทั้งสองวิธี ดังแสดงในตารางที่ 4.2

การเปรียบเทียบวิธีนี้จะทำการการเตรียมปลายคอนกรีตรูปทรงกระบอก ขนาด $\varnothing 150 \times 300$ มม. ทำการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละวิธีเพียงด้านเดียว จำนวน 200 ก้อนต่อวัน โดยกำหนดราคาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมราคา 137,500 บาท เป็น 170,000 บาท ทั้งนี้เป็น

ราคาที่คาดการณ์ในการขายจริง ส่วนไบเจียร์คอนกรีตสามารถเจียร์ก้อนตัวอย่างได้ 400 ก้อนต่อไบ และผงกำมะถันใช้ 200 กรัมต่อการเคลือบปลายหนึ่งด้าน

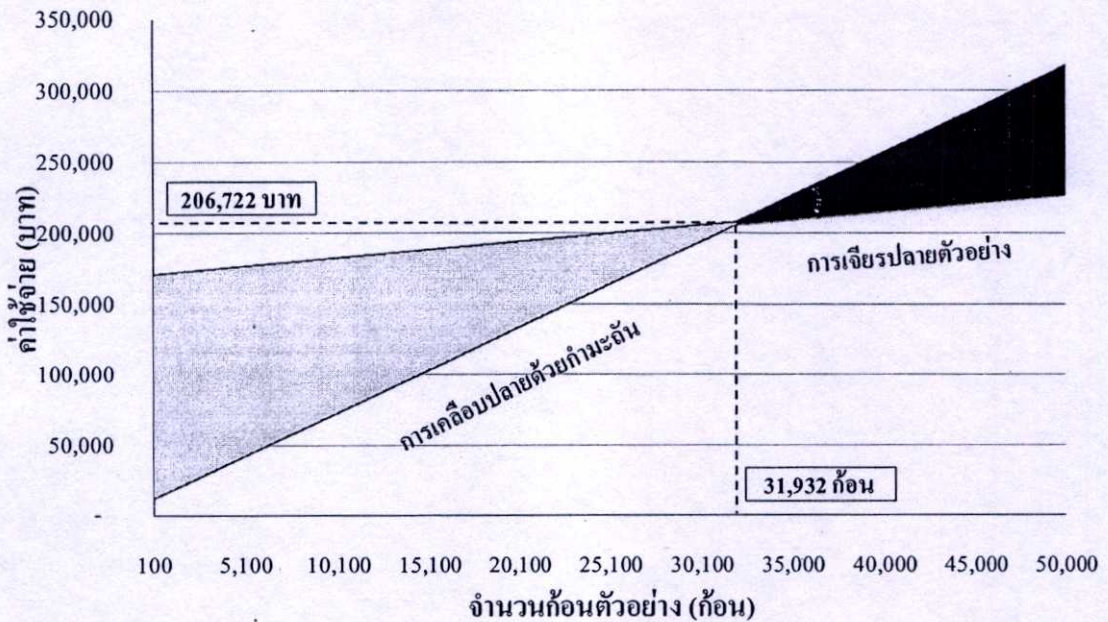
ตารางที่ 4.2 ต้นทุนใช้จ่ายในกระบวนการเตรียมปลายตัวอย่าง

รายการ	การเจียร์ปลายตัวอย่าง (บาท)		การเคลือบปลาย ด้วยกำมะถัน (บาท)	
	ต้นทุนคงที่	ต้นทุน ผันแปร (ต่อก้อน)	ต้นทุนคงที่	ต้นทุน ผันแปร (ต่อก้อน)
เครื่องเจียร์ปลายตัวอย่าง	170,000.00			
ไบเจียร์คอนกรีต ไบละ 380 บาท		0.95		
หม้อต้มกำมะถัน			8,500.00	
แท่นตัวอย่างเคลือบกำมะถัน			4,500.00	
ผงกำมะถัน กิโลกรัมละ 30 บาท				6.00
ค่าไฟฟ้า		0.13		0.07
ค่าน้ำประปา		0.07		
รวมต้นทุนใช้จ่าย	170,000.00	1.15	13,000.00	6.07

เมื่อนำต้นทุนที่ได้ไปคำนวณหาจุดคุ้มทุนหรือจุดรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการเตรียมปลายตัวอย่างทั้งสองวิธี สามารถหาจำนวนก้อนตัวอย่างที่ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเตรียมปลายตัวอย่างทั้งสองวิธีเท่ากันได้ดังนี้

Break-Even Concrete Cylinders (S) : ต้นทุนค่าใช้จ่ายการเจียร์ปลาย = ต้นทุนค่าใช้จ่ายการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน

$$\begin{aligned}
 170,000.00 + 1.15S &= 13,000.00 + 6.07S \\
 S &= 157,000/4.92 \\
 &= 31,932 \text{ ก้อนตัวอย่าง}
 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.7 กราฟ Break-Even Point ต้นทุนค่าใช้จ่ายระหว่างการเจียรปลายกับการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน

จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟ Break-Even Point ของต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเตรียมปลายตัวอย่างระหว่างการเจียรปลายด้วยเครื่องเจียรที่ประดิษฐ์ขึ้นกับการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน พบว่าจุดรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทั้งสองวิธีเท่ากับ 31,932 ก้อน โดยมีต้นทุนค่าใช้จ่ายเท่ากับ 206,722 บาท โดยพื้นที่แรเงาสีเทาแสดงต้นทุนค่าใช้จ่ายการเจียรปลายสูงกว่าการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน และพื้นที่แรเงาสีดำแสดงต้นทุนค่าใช้จ่ายการเคลือบปลายด้วยกำมะถันสูงกว่าการเจียรปลาย

การเจียรปลายตัวอย่างมีต้นทุนที่สูงกว่าการเคลือบปลายตัวอย่างในช่วงเริ่มต้นเนื่องจากการลงทุนในส่วนเครื่องจักรที่แพงกว่า แต่เมื่อพ้นจุด Break-Even Point แล้วการเคลือบปลายตัวอย่างจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เหตุเพราะต้องสั่งซื้อผงกำมะถันในการเตรียมตัวอย่างนั่นเอง หากคำนวณระยะเวลาจุดคุ้มทุนพบว่า การเจียรปลายให้จุดคุ้มทุนที่ระยะเวลา 160 วัน หรือ 5.32 เดือนเท่านั้น นับว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่ามากทั้งทางด้านประสิทธิภาพการทำงานและความปลอดภัยของผู้ทดสอบ

บทที่ 5

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต

5.1 บทนำ

หลังจากการออกแบบพัฒนาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตที่กล่าวไปในบทที่ 4 แล้ว เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถในการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตใช้งานจริง ดังนั้นในบทนี้จะทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงกำลังอัด เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการหล่อและบ่มตัวอย่างคอนกรีต การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทั้งสองรูปแบบ การทดสอบกำลังอัดในแต่ละวิธีการเตรียมปลายตัวอย่าง รวมถึงการสรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

5.2 การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตออกเป็น 5 ช่วงกำลังอัด โดยแต่ละช่วงกำลังอัดจะทำการเตรียมปลายตัวอย่างเพียงสองวิธี คือ การเตรียมปลายตัวอย่างด้วยการเจียรปลายและการเคลื่อนปลายด้วยกำมะถัน ช่วงกำลังอัดที่ได้ทำการออกแบบส่วนผสมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ช่วงกำลังอัดคอนกรีตทั่วไป ได้แก่ ช่วงกำลังอัดที่ 200, 300 และ 400 ksc และช่วงกำลังอัดคอนกรีตกำลังสูง 800 ksc

5.2.1 วัสดุผสมคอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทุกช่วงกำลังอัด วัสดุผสมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำที่มีคุณสมบัติตาม ASTM C 33-99 [28] วัสดุผสมหยาบใช้หินแกรนิตมีขนาดโตสุด 20 มม. (3/4") สารผสมเพิ่มใช้ในการผสมคอนกรีตช่วงกำลังอัด 800 ksc (คอนกรีตกำลังสูง) เพื่อเพิ่มความสามารถเทได้ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำมาก อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio) ได้ลดอัตราส่วนลงสำหรับการออกแบบช่วงกำลังอัดที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ เนื่องจากกำลังอัดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สัดส่วนผสมคอนกรีตในแต่ละช่วงกำลังอัด

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)	20	20	20	20

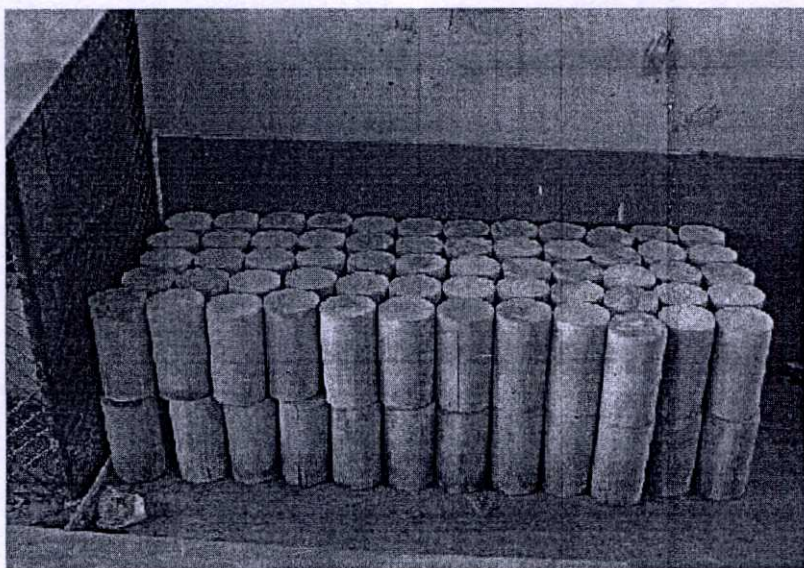
5.2.2 การหล่อและการบ่มก้อนตัวอย่างคอนกรีต

การหล่อตัวอย่างแต่ละช่วงกำลังอัด จะใช้คอนกรีตที่ผ่านการผสมไม่เคียวกันทั้ง 20 ก้อน ตัวอย่าง โดยช่วงกำลังอัด 200, 300 และ 400 ksc ใช้แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ส่วนช่วงกำลังอัด 800 ksc ใช้แบบหล่อท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C 192/C 192M-98 [31] การหล่อคอนกรีตและการบ่มตัวอย่างคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 5.1

ตัวอย่างคอนกรีตทิ้งไว้ที่ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการถอดแบบและบ่มตัวอย่างในบ่อน้ำบ่มลูกปูนเป็นเวลา 27 วัน นำก้อนตัวอย่างทั้งหมดผึ่งให้แห้ง และแบ่งก้อนตัวอย่างตามช่วงกำลังอัดเพื่อทำการเตรียมปลายตัวอย่างต่อไป



รูปที่ 5.1 การหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการบ่มที่ 28 วัน

5.3 การเตรียมปลายตัวอย่าง

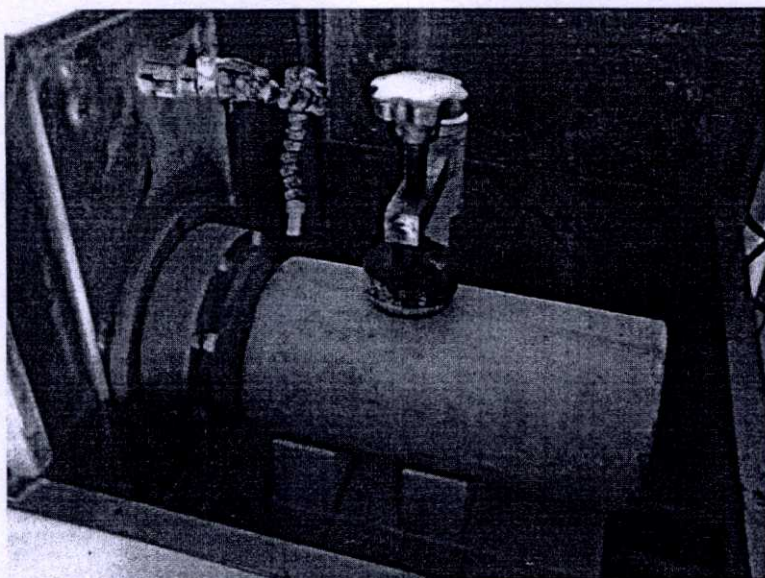
เมื่อตัวอย่างคอนกรีตได้รับการบ่มครบ 28 วันแล้ว นำมาคัดแยกตามช่วงกำลังอัดและในแต่ละช่วงกำลังอัดทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วนเพื่อทำการเตรียมปลายตัวอย่าง โดยทำการเจียรปลายตัวอย่าง 10 ก้อน และที่เหลืออีก 10 ก้อนเตรียมปลายตัวอย่างโดยการเคลือบปลายด้วยกัมมะถัน รวมตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 80 ก้อนในการเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างที่แตกต่างกัน การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด

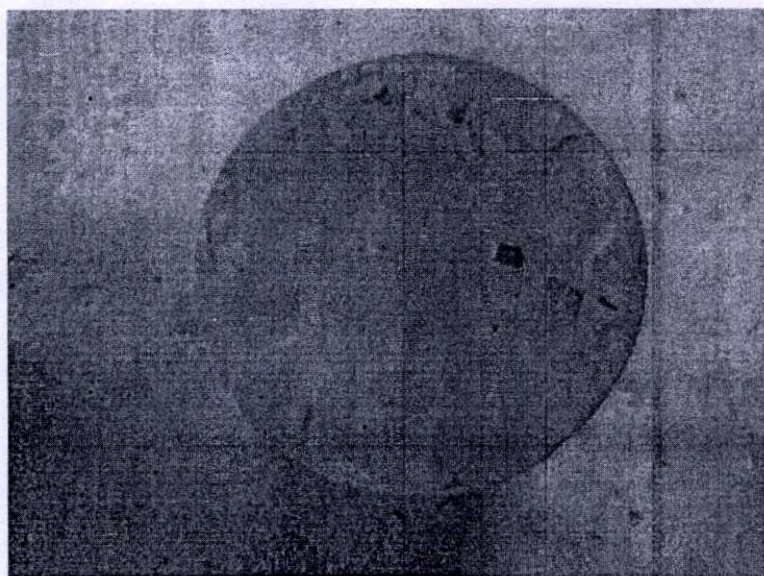
การเตรียมปลายตัวอย่าง คอนกรีต	ช่วงกำลังอัด				รวม
	200 ksc	300 ksc	400 ksc	คอนกรีตกำลังสูง 800 ksc	
การเจียรปลาย	10	10	10	10	40
การเคลือบผิวด้วยกัมมะถัน	10	10	10	10	40

5.3.1 การเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลาย

การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตได้ใช้เครื่องเจียรปลายที่ประดิษฐ์ในบทที่ 4 โดยตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39/C 39M-99 มีความเรียบสม่ำเสมอและตั้งฉากกับแกนตัวอย่าง การเจียรปลายตัวอย่างนั้นกระทำเพียงด้านบนเพียงด้านเดียวเท่านั้น ส่วนด้านที่เหลือมีความเรียบสม่ำเสมอและตั้งฉากกับแกนตัวอย่างอยู่แล้ว เครื่องเจียรที่ประดิษฐ์ขึ้นมาจะมีอุปกรณ์จับยึดตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 5.3 ยึดตัวอย่างให้แน่นและชุดอุปกรณ์การเจียรจะทำการเจียรปลายตัวอย่างจากด้านหนึ่งสู่อีกด้านหนึ่ง ทำการเจียรผิววัสดุที่ไม่เรียบออกไปจนกระทั่งผิวปลายตัวอย่างมีความเรียบและตั้งฉากกับแกนตัวอย่าง การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตจะเจียรผิวออกประมาณไม่เกิน 2 มม. ระยะเวลาการเจียรปลายตัวอย่างใช้เวลาเพียง 3 – 4 นาทีต่อการเจียรปลายตัวอย่างหนึ่งด้าน สังเกตได้ว่าการเจียรปลายตัวอย่างด้วยวิธีนี้ใช้เวลาน้อยมากและข้อดีของวิธีนี้ คือ เมื่อเจียรปลายตัวอย่างเสร็จเช็ดก้อนตัวอย่างให้แห้งและสามารถทำการทดสอบกำลังได้ทันที รวมถึงผู้ทำการทดสอบไม่ต้องสัมผัสกับไอระเหยที่เกิดจากการดมกัมมะถันได้ด้วยรูปที่ 5.4 แสดงก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลายที่ประดิษฐ์



รูปที่ 5.3 อุปกรณ์การจับยึดตัวอย่างของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต

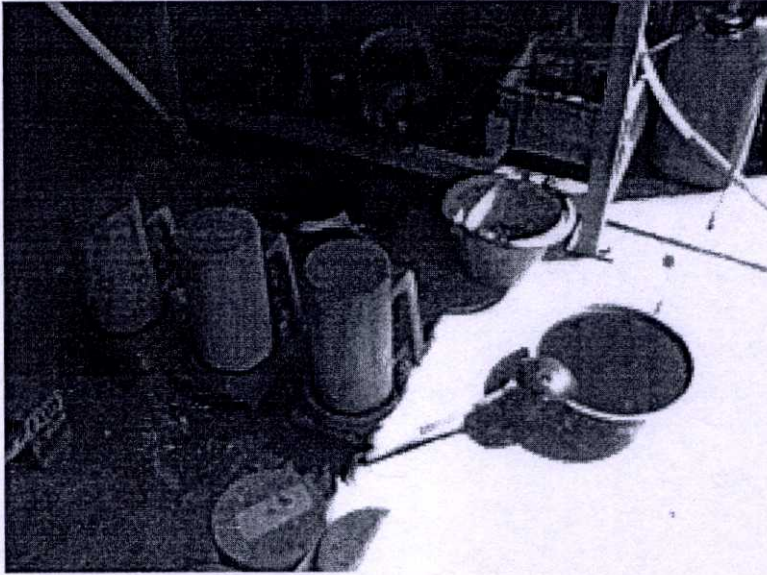


รูปที่ 5.4 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายด้วยเครื่องเจียร

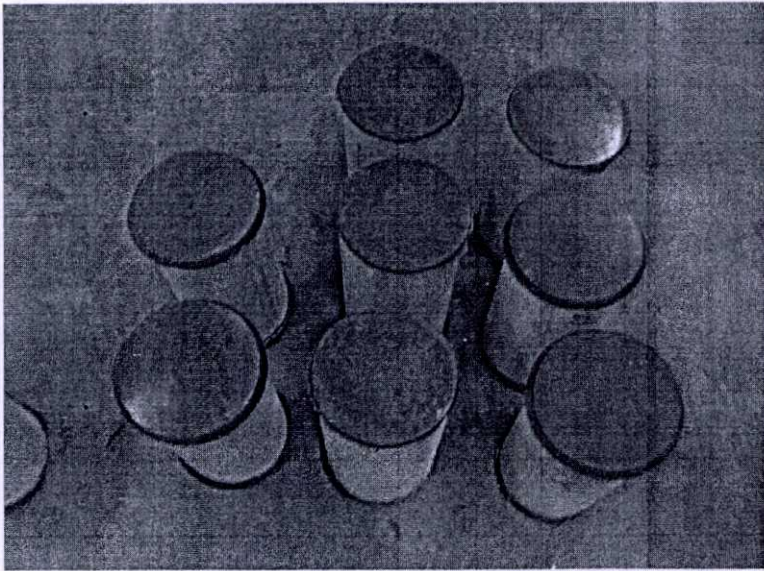
5.3.2 การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน

เมื่อตัวอย่างทำการเคลือบปลายด้วยกัมมะถัน จำเป็นต้องทิ้งตัวอย่างไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบกำลังอัด ทั้งนี้เพื่อให้กัมมะถันแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถันดังแสดงในรูปที่ 5.5 กัมมะถันสำหรับการเคลือบปลายใช้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ไม่ควรใช้กัมมะถันนำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากจะมีเศษคอนกรีต ฝุ่น และทรายปนกลับมาทำให้คุณภาพของกัมมะถันลดลง นอกจากนี้กัมมะถันที่นำกลับมาใช้อีกหรือที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้ม

หลายครั้งจะมีกำลังลดต่ำลง วิธีการดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 617-98 รูปที่ 5.6 แสดงตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเคลือบปลายด้วยกำมะถัน



รูปที่ 5.5 การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน

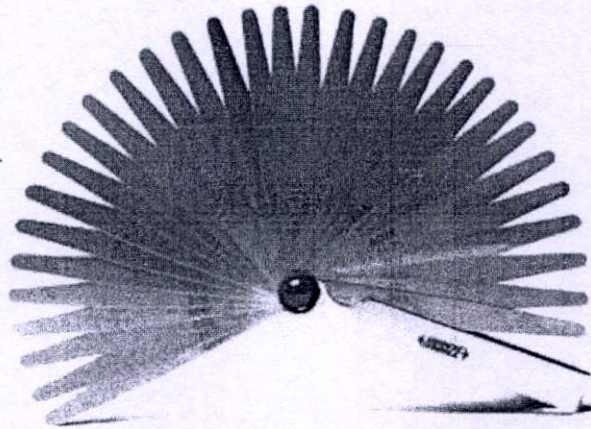


รูปที่ 5.6 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน

5.4 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 39 ซึ่งระบุให้ระนาบปลายตัวอย่างคอนกรีตตั้งฉากกับแนวแกนตัวอย่างไม่เกิน 5° (ประมาณ 3 มม. สำหรับแท่งตัวอย่างสูง 300 มม.) หรือ 1 มิลลิเมตรต่อระยะ 100 มิลลิเมตร รวมถึงปลายตัวอย่างต้องเรียบเสมอกันและแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มม. ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างจะทำการตรวจสอบที่ก้อนตัวอย่างคอนกรีตหลังจากผ่านการเจียรปลายแล้ว โดยแบ่งการตรวจสอบเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสอบระยะเจียรปลายตัวอย่างและการตรวจสอบความได้ฉากของก้อนตัวอย่างกับแนวแกน ซึ่งในขั้นตอนการตรวจสอบความได้ฉากนั้นจะใช้เหล็กฉากและเครื่องมือ Feeler Gage เป็นเครื่องมือวัดระยะช่องว่างระหว่างวัตถุตั้งแสดงในรูปที่ 5.7

METRIC FEELER GAGE



รูปที่ 5.7 Feeler Gage

ขั้นตอนการตรวจสอบตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการเจียรปลายดังแสดงในภาคผนวก ข โดยผลการตรวจสอบตัวอย่างคอนกรีตสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 5.3 จากตารางการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายพบว่า ระยะการเจียรปลายตัวอย่างเท่ากับ 2.367 มม. และ 1.500 มม. สำหรับคอนกรีต $\varnothing 150 \times 300$ มม. และ $\varnothing 70 \times 150$ มม. ตามลำดับ แสดงว่าเครื่องเจียรปลายมีประสิทธิภาพในการเจียรน้อยกว่า 3 มม. เทียบเท่าประสิทธิภาพเครื่องเจียรปลายจากต่างประเทศ

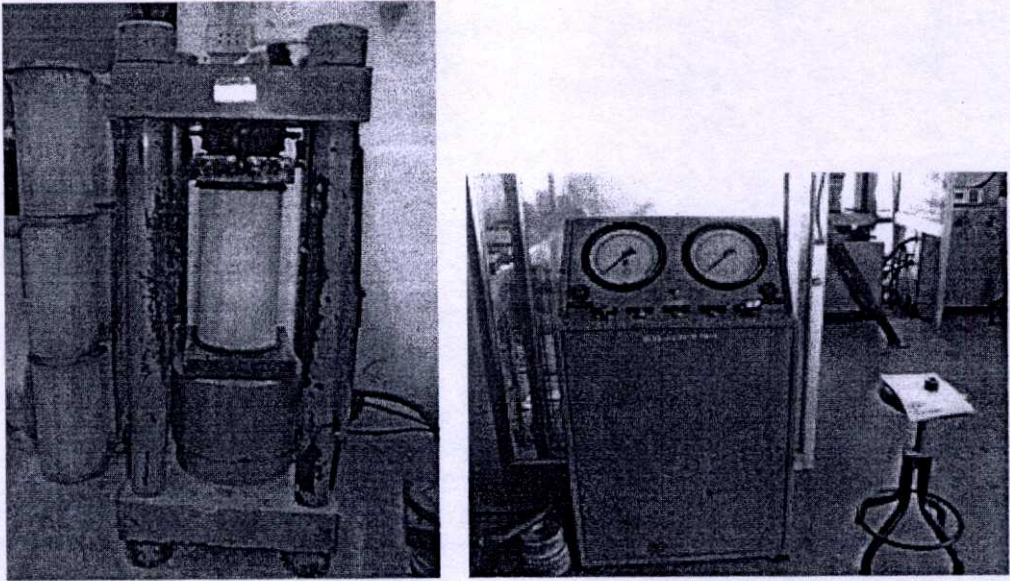
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ย	ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก	
	Ø 150 x 300 มม. ช่วงกำลังอัด 200 ksc, 300 ksc และ 400 ksc	Ø 70 x 150 มม. คอนกรีตกำลังสูง 800 ksc
ระยะการเจียรปลาย (มม.)	2.367	1.500
ความสูงเมื่อผ่านการเจียร (มม.)	296.30	152.50
L/D	1.966	1.990
ความได้ฉากกับแกนตัวอย่าง (มม.)	0.833	0.250
ความเรียบสม่ำเสมอ	ดีมาก	ดีมาก
จำนวนก้อนตัวอย่าง	30	10

เมื่อพิจารณาค่า L/D พบว่าคอนกรีต Ø 150 x 300 มม. และ Ø 70 x 150 มม. มีค่า L/D เท่ากับ 1.966 และ 1.990 ตามลำดับ โดยมีค่าปรับแก้กำลังอัดเท่ากับ 0.997 และ 0.999 ตามลำดับ จากค่าปรับแก้นี้หากเทียบกับตารางที่ 3.2 ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่อ กำลังอัดในบทที่ 3 พบว่าค่าปรับแก้มีค่าเทียบเท่า 1 ดังนั้นผลการทดสอบกำลังอัดสามารถใช้ค่า ทดสอบโดยตรง ส่วนการตรวจสอบความได้ฉากกับแกนตัวอย่าง พบว่าคอนกรีต Ø 150 x 300 มม. และ Ø 70 x 150 มม. มีค่าเบี่ยงเบนกับแกนตัวอย่าง เท่ากับ 0.833 มม. และ 0.250 มม. ตามลำดับ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39 ที่ระบุระยะเบี่ยงเบนกับแกนตัวอย่างไม่เกิน 5° หรือ เท่ากับ 3 มม. สำหรับตัวอย่างความสูง 300 มม. และ 1.5 มม. สำหรับตัวอย่างความสูง 150 มม. และ เมื่อตรวจสอบความเรียบเสมอกันหน้าตัดผิวตัวอย่างที่ผ่านการเจียรปลายด้วยเหล็กฉาก พบว่ามี ความเรียบสม่ำเสมอดีมาก เนื่องจากการทำงานของชุดอุปกรณ์การเจียรทำงานร่วมกับลูกเบี้ยวทำให้ การขัดผิวกระทำได้ดีทั่วทั้งหน้าตัดของตัวอย่าง

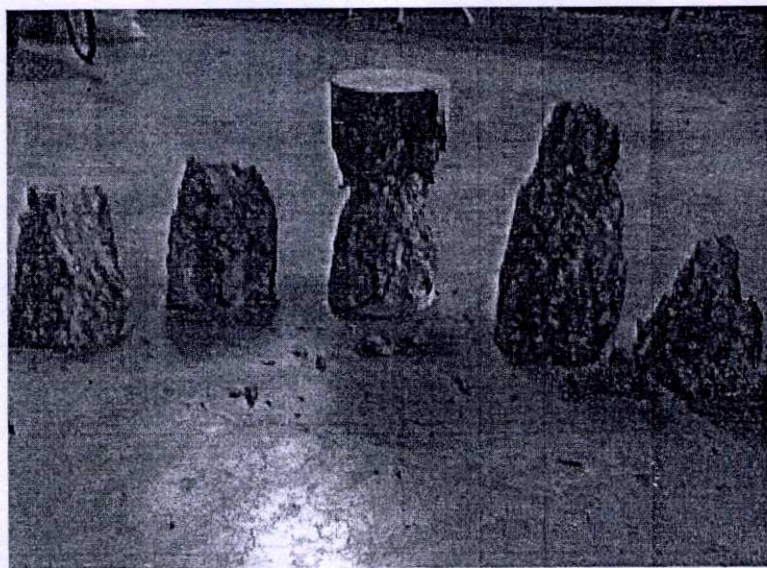
5.5 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกใช้เครื่องทดสอบแรงอัด (Compression Machine) โดยทำการกดตัวอย่างคอนกรีตจนพังทลาย การทดสอบกำลังรับแรงอัด คอนกรีตเป็นไปตาม ASTM C 39/C 39M-99 มาตรฐานวิธีการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่าง คอนกรีตรูปทรงกระบอก รูปที่ 5.8 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

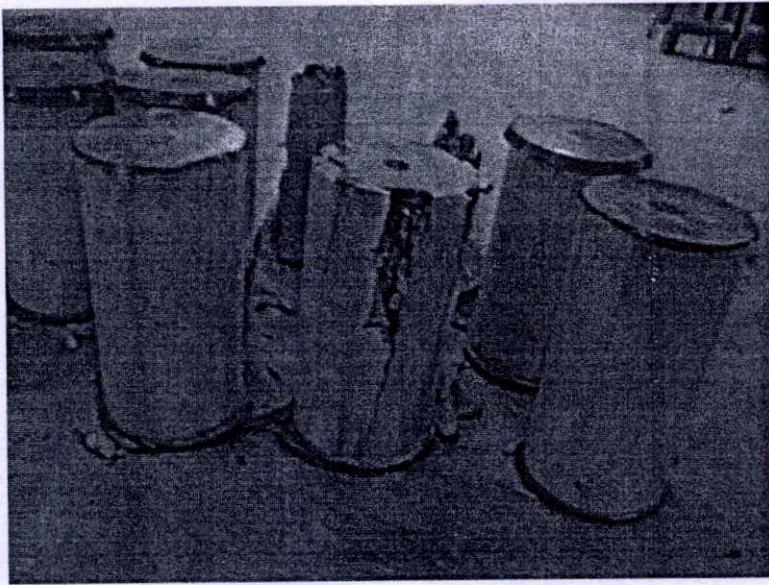


รูปที่ 5.8 การทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

จากการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตพบว่า ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับการเจียรปลาด้วยเครื่องเจียรมีการแตกของก้อนตัวอย่างเป็นแบบรูปกรวยและพีรามิด (Cone and Cone & Split) ซึ่งเป็นการแตกที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 5.9 ส่วนตัวอย่างที่ได้รับการเคลือบปลาด้วยกัมมะถันจะมีลักษณะการแตกของก้อนตัวอย่างเป็นแบบเส้นตรงผ่าขนานกับแนวตั้ง (Column) ซึ่งเป็นการแตกที่ไม่ดี ดังแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการเจียรปลา



รูปที่ 5.10 รูปแบบการแตกของก้อนตัวอย่างโดยการเคลือบปลายด้วยกัมมะถัน

5.6 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเจียรปลายคอนกรีต

เนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตในแต่ละค่ากำลังจำนวน 20 ตัวอย่าง ถูกผสมในโม้เดียวกัน และหล่อโดยกรรมวิธีตามมาตรฐาน จึงถือเสมือนว่าจะมีคุณสมบัติและค่ากำลังใกล้เคียงกัน จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตสามารถนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกับการเตรียมปลายตัวอย่างที่แตกต่างกัน

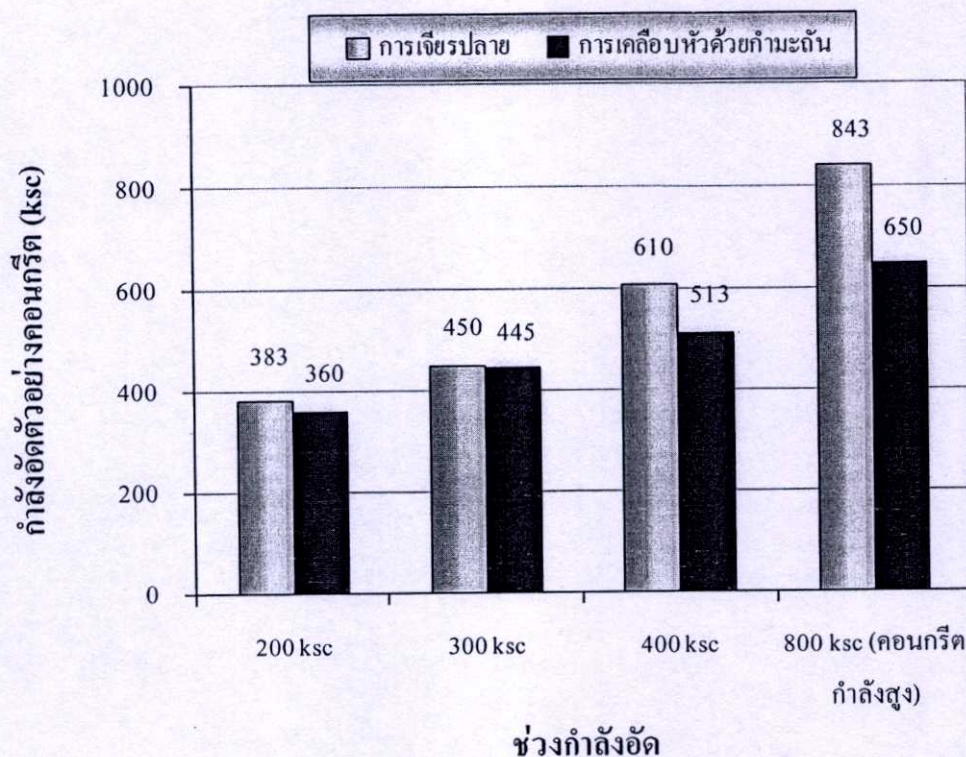
เมื่อนำผลการทดสอบการรับแรงอัดคอนกรีตโดยการจัดกลุ่มตามรูปแบบการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด ข้อมูลทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถจัดรูปแบบตารางดังแสดงในตารางที่ 5.4 จากตารางวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรที่ประดิษฐ์ให้กำลังอัดเฉลี่ยที่สูงกว่าการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถันทุกช่วงกำลังอัด โดยที่ช่วงกำลังอัด 300 ksc มีความแตกต่างระหว่างการเจียรปลายตัวอย่างกับการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถันน้อยที่สุด (5 ksc) และที่ช่วงกำลังอัด 800 ksc (คอนกรีตกำลังสูง) มีความแตกต่างระหว่างการเจียรปลายตัวอย่างกับการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถันมากที่สุด (194 ksc)

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลการวิเคราะห์ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ช่วงกำลัง อัด	การเตรียม ปลายตัวอย่าง	Mean (ksc)	Std. Dev (ksc)	Coeff. Of Variance	Min. (ksc)	Max. (ksc)	Range (ksc)	จำนวน (ก้อน)
200 ksc	การเจียรปลาย	383	13.89	3.63%	363	406	43	10
	การเคลือบหัว ด้วยกัมมะถัน	360	18.41	5.11%	340	390	50	10
300 ksc	การเจียรปลาย	450	14.34	3.19%	430	473	43	10
	การเคลือบหัว ด้วยกัมมะถัน	445	53.39	12.00%	376	516	140	10
400 ksc	การเจียรปลาย	610	42.63	6.99%	550	693	143	10
	การเคลือบหัว ด้วยกัมมะถัน	513	60.61	11.82%	440	595	156	10
800 ksc (คอนกรีต กำลังสูง)	การเจียรปลาย	843	35.54	4.21%	796	909	113	10
	การเคลือบหัว ด้วยกัมมะถัน	650	83.69	12.88%	540	796	255	10

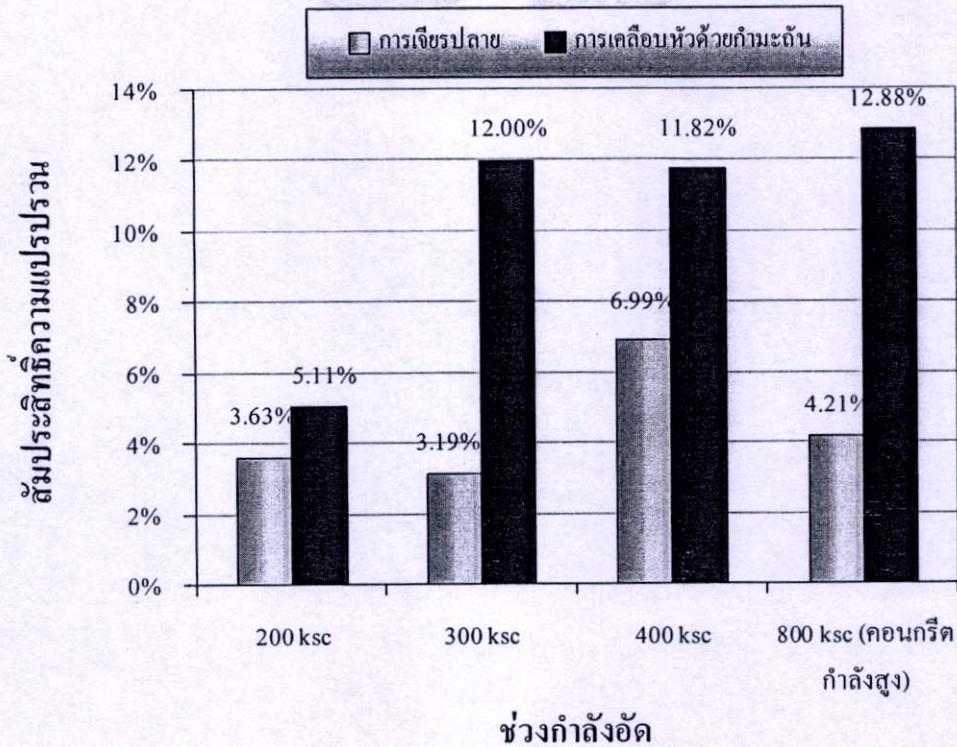
จากกราฟรูปที่ 5.11 แสดงกำลังอัดเฉลี่ยของรูปแบบการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด จะเห็นได้ว่าที่ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ำ (200 ksc – 300 ksc) กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตจากการเตรียมตัวอย่างทั้งการเจียรปลายตัวอย่างและการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตจะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน ประมาณ 5-15 ksc ซึ่งถือว่าการเจียรปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ให้ผลทดสอบใกล้เคียงกับการทดสอบด้วยการเตรียมตัวอย่างแบบเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน

จากกราฟรูปที่ 5.11 สำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 400 ksc และคอนกรีตกำลังสูง (800 ksc) การเตรียมตัวอย่างด้วยการเจียรปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยสูงกว่า การเตรียมตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายด้วยกัมมะถัน เท่ากับ 97 ksc และ 194 ksc ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากกำลังรับแรงอัดของกัมมะถันมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตจึงมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทดสอบได้มีค่าน้อยกว่าที่เป็นจริง และเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้ได้กับคอนกรีตที่มีกำลังสูง



รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด

จากกราฟรูปที่ 5.12 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด พบว่าสำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่ำ (200 ksc) การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน ให้ค่าความแปรปรวนใกล้เคียงกับการเจียรปลายตัวอย่าง แต่เมื่อคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันมีค่าความแปรปรวนสูงขึ้น สำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 300 ksc, 400 ksc และคอนกรีตกำลังสูง (800 ksc) มีค่าความแปรปรวนสูงถึง 12.0%, 11.82% และ 12.88% ตามลำดับ ขณะที่การเจียรปลายคอนกรีตมีความแปรปรวนเท่ากับ 3.19%, 6.99% และ 4.21% ตามลำดับ ซึ่งเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และความแปรปรวนต่ำกว่าการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน ทำให้ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีกำลังปานกลางและกำลังสูงมีค่าความแปรปรวนของผลทดสอบมาก เพราะมีปัจจัยหลายอย่างจากการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ได้แก่ ความสมบูรณ์ของการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน ความหนาต่ำสุดของการเคลือบปลายตัวอย่าง และที่สำคัญคือ กำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบ



รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเครื่องเยียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้นให้ค่าความแปรปรวนของการทดสอบต่ำ ซึ่งเครื่องเยียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ใช้วัสดุในท้องถิ่น โดยเฉพาะใบเยียรซึ่งแตกต่างจากเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศที่ต้องใช้ใบเยียรจากเพชร ซึ่งมีราคาแพงประมาณหลายพันบาทต่อใบ จากผลการทดลองใช้งานจริงพบว่าใบเยียรที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีราคาเพียงร้อยกว่าบาท และใช้งานได้ประมาณ 200 ตัวอย่างต่อหนึ่งใบเยียร และราคาของเครื่องยังต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องเยียรที่นำเข้าจากต่างประเทศหลายแสนบาทด้วย รวมถึงการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเครื่องเยียรปลายตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39 ทั้งทางด้านความได้มากกับแกนตัวอย่างและความเรียบสม่ำเสมอ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต ใช้ในการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้วัสดุและฝีมือแรงงานในท้องถิ่น รวมถึงศึกษาเปรียบเทียบทางเลือกการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับการทดสอบกำลังอัด โดยการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเจียรด้วยการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่มีการเตรียมปลายตัวอย่างที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงกำลังอัด

การศึกษาวิจัยเริ่มจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต องค์ประกอบเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง รูปแบบการเจียรปลายตัวอย่าง การบำรุงรักษา และปัจจัยด้านราคา รวมถึงการศึกษากระบวนการเจียรปลายตัวอย่าง การเปรียบเทียบการเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงกำลังอัดจากวารสาร ตำราต่างประเทศ โดยเฉพาะเว็บไซต์ต่างประเทศ หลังจากนั้นปรึกษากับผู้ประกอบการที่มีความชำนาญด้านเครื่องมือทดสอบวิศวกรรมโยธา ทำการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต นอกจากนั้นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างเป็นเรื่องที่จำเป็น โดยเริ่มจากขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งแบ่งส่วนผสมคอนกรีตออกเป็น 4 ช่วงกำลังอัด ได้แก่ ช่วงกำลังอัดต่ำ ปานกลาง สูง และคอนกรีตกำลังอัดสูง ตามลำดับ (200, 300, 400 และ 800 ksc) เมื่อผสมคอนกรีตตามสัดส่วนที่ออกแบบแล้วนำมาหล่อคอนกรีตโดยใช้โมเดิ้ลเดียวกันในแต่ละช่วงกำลังอัด จำนวน 20 ตัวอย่าง รวมก้อนตัวอย่างคอนกรีต 80 ก้อนตัวอย่าง บ่มด้วยน้ำที่อายุ 28 วัน จากนั้นนำมาคัดแยกแบ่งการเตรียมปลายตัวอย่างทั้งสองรูปแบบ คือ การเจียรปลายตัวอย่างและการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถันในแต่ละช่วงกำลังอัด วิธีการละ 10 ตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดทำการทดสอบการรับแรงอัด ซึ่งจากผลการทดสอบแรงอัดนำมาวิเคราะห์วิธีการทางสถิติสามารถสรุปได้ดังนี้

- เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถผลิตในต้นทุนที่ต่ำกว่า การนำเข้าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตจากต่างประเทศหลายแสนบาท
- เครื่องเจียรปลายตัวอย่างสามารถผลิตโดยใช้ฝีมือแรงงานและวัสดุในท้องถิ่นได้
- การเจียรปลายตัวอย่างสามารถลดค่าใช้จ่ายการดำเนินงานได้มากกว่าการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน โดยช่วงเริ่มแรกการเจียรปลายมีต้นทุนที่สูงกว่า แต่เมื่อผ่านจุดคุ้มทุนแล้วการเจียรปลายมีต้นทุนที่ต่ำกว่าการเคลือบปลายด้วยกัมมะถันมาก เนื่องจากต้นทุนฟันแปรมีค่าต่ำกว่าการเคลือบปลายด้วยกัมมะถันมาก

- การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39
- การเตรียมตัวอย่างด้วยการเคลื่อนปลายด้วยกำมะถันมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงกว่าการเจียรปลายตัวอย่างโดยใช้เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้นในทุกช่วงกำลังอัด โดยเฉพาะคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดปานกลางและคอนกรีตกำลังรับแรงอัดสูง
- สำหรับคอนกรีตกำลังต่ำการเจียรปลายตัวอย่างและการเคลื่อนปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันให้ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตใกล้เคียงกัน
- การเคลื่อนปลายตัวอย่างด้วยกำมะถันไม่เหมาะสมที่จะใช้กับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงปานกลางและกำลังรับแรงอัดสูง เนื่องจากมีข้อจำกัดของกำลังรับแรงอัดของกำมะถันที่ต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ดังนั้นจึงควรใช้การเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตแทน

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตเพื่อใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก เพื่อทดแทนหรือเป็นทางเลือกในการเตรียมปลายตัวอย่างนอกจากการเคลื่อนปลายตัวอย่างด้วยกำมะถัน ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของผู้ทดสอบและทำลายสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อพัฒนาเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตให้มีสภาพการทำงานที่สูงขึ้น รวมถึงเป็นการเพิ่มองค์ความรู้ด้านการทดสอบกำลังด้วยการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตให้เพิ่มสูงขึ้นสำหรับประเทศไทยที่ไม่มีการศึกษาในด้านนี้มาก่อน จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

- การทดสอบประสิทธิภาพเพิ่มเติมเครื่องเจียรปลายตัวอย่างให้มีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น ควรทำการทดสอบโดยการหล่อคอนกรีตหนึ่งชิ้นตัวอย่าง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ได้จากการเจาะคอนกรีตตัวอย่าง และนำมาคัดแยกทำการเจียรปลายและเคลื่อนปลายตัวอย่างที่ได้จากการเจาะคอนกรีต แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด นำข้อมูลที่ได้อธิบายผลสรุปต่อไป
- การขัดเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตควรไม่เกิน 2 – 3 มม. หากก้อนตัวอย่างจำเป็นต้องทำการเจียรมากกว่า 9 มม. ควรทำการเคลื่อนปลายตัวอย่างก่อน เนื่องจากจะสิ้นเปลืองการเจียรและระยะเวลาในการเจียรมานมากขึ้น หรืออาจเตรียมปลายตัวอย่างด้วยวิธีอื่น เช่น การเคลื่อนปลายด้วยสารเชื่อมประสานแทน โดยที่สารเชื่อมประสานต้องมีกำลังอัดที่สูงกว่าหรือเท่ากับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

- จากการใช้งานเครื่องเจียรปลายตัวอย่างระยะหนึ่งพบว่า การหมุนเวียนของน้ำสำหรับการกำจัดฝุ่นยังไม่สมบูรณ์มากนัก เนื่องจากภาชนะรองรับน้ำมีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ระบบการหมุนเวียนใช้น้ำจึงนำพาตะกอนขึ้นมาด้วย ลักษณะเช่นนี้อาจทำให้มอเตอร์ปั้มน้ำอุดตันได้ง่าย วิธีแก้ไข คือ การเพิ่มขนาดถังรองรับน้ำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพียงพอต่อการตกตะกอนของเศษฝุ่นละอองและการหมุนเวียนของน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างไม่มีปัญหา

บรรณานุกรม

- [1] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 39/C 39M-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] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 617-98: Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens", **Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 04.02, Philadelphia, 2000, pp.300-304.
- [3] ประชุม คำพูน. "การใช้แผ่นยางพาราเป็นวัสดุส่งถ่ายแรงในการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต", **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, 2550, หน้าที่ 3-9.
- [4] Andrew T. Logan, "**Short-Term Material Properties of High-Strength Concrete**", M.S. Thesis B.S. North Carolina State University Department of Civil Engineering Structures, 2005.
- [5] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 1231: 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.
- [6] Gonnerman, H. F., "Effect of End Condition of Cylinder in Compression Tests of Concrete," **ASTM Proceedings**, Vol. 24, Part II, 1924, pp. 1036-1065
- [7] 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.
- [8] Werner, G., "The Effect of Capping Material on the Compressive Strength of Concrete Cylinders," **ASTM Proceedings**, Vol. 58, 1958, pp. 1166-1186.
- [9] Lessard, M., Chaallal, O., and Aïtcin, P-C, "Testing High-Strength Concrete Compressive Strength", **ACI Materials Journal**, Vol 90, No. 4, July 1993, pp. 303-307.
- [10] Pistilli, M. F. and Willems, T., "Evaluation of Cylinder Size and Capping Method in Compression Strength Testing of Concrete." **Cement, Concrete, and Aggregates, CCAGDP**, Vol. 15, No. 1, 1993, pp. 59-69.
- [11] 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.

- [12] 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 Cylinders," **High-Performance Concrete Special Publication No. SP-149**, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, pp. 589-632.
- [13] 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.
- [14] ACI Committee 214, "Evaluation of Strength Test Results of Concrete," **ACI 214R-02**, American Concrete Institute, 2002, p. 20.
- [15] John Eggers and Sadi Torres, "**Evaluation of Capping Systems for High-Strength Concrete Cylinders**", This document is available through the National Technical Information Service, Springfield, VA 21161, March 2006, p. 96.
- [16] GENEQ Inc. Scientific Instruments Distributor, "Concrete Cylinder End Grinder." [Online]. Available : http://www.geneq.com/catalog/en/rectifieuse_new2009.html. 2009.
- [17] Hoskin Scientific Ltd., "Concrete Cylinder Grinder." [Online]. Available : <http://www.myhoskin.com/pdfs/marui-spec-lowres.pdf>. 2009.
- [18] Controls Group, "Grinding Machine" [Online]. Available : http://www.controls.it/products.php?code=49&page=Specimen_preparation_&_curing&product=62&prod_name=Grinding_machine. 2005.
- [19] Promat (HK) Limited., "Specimen Grinding Machine" [Online]. Available : <http://www.promat.hk>. 2004.
- [20] Geotest Instrument Corp., "C-1450 Concrete End Grinder" [Online]. Available : <http://www.geotestinst.com/Catalog/ItemInfo.phtml?id=C-1450>. 2009.
- [21] The Department of Administrative Services., "2181 of Department of Roads" [Online]. Available : <http://www.das.state.ne.us/materiel/purchasing/bidtab/2181of.pdf>. 2007.
- [22] Humboldt Mfg. Co., "Concrete Test Cylinder Grinders" [Online]. Available : <http://www.humboldtmfg.com/c-3-p-226-id-3.html>. 2009.
- [23] M&L Testing Equipment (1995) Inc., "DIAM-end Concrete Cylinder Grinder" [Online]. Available : <http://www.mltest.com/diamend.shtml>. 2009.
- [24] ชัชวาลย์ เสริมบุญบุตร, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด. **คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology)** พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ : คอนกรีตผสมเสร็จซีเมนต์, 2546.


- [25] บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด. “คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต (Standard Methods for Testing Aggregate and Concrete)” [Online]. Available : <http://www.cpacacademy.com/s0106/index.php?pgid=0040>. 2009.
- [26] กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2551. มยผ. 1501-51 ถึง มยผ. 1507-51 : มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย. กรุงเทพฯ.
- [27] บุญลือ คู่คุ้มและหทัยจรี แสงประดิษฐ์. “การเปรียบเทียบการรับกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีทดสอบต่าง ๆ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2538.
- [28] American Society for Testing and Materials, “ASTM C 1074-98: Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method”, **Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 04.02, Philadelphia, 2000, pp.300-304.
- [29] ไบรอัน แนพพ์. 2542. กำมะถัน (Sulfur). แปลโดย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : นานมีบุ๊คส์.
- [30] American Society for Testing and Materials, “ASTM C 33-99: Standard Specification for Concrete Aggregates”, **Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 04.02, Philadelphia, 2000, pp.10-17.
- [31] American Society for Testing and Materials, “ASTM C 192/C 192M-98: 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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

Concrete and Material Testing Laboratory


	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต COMPRESSION STRENGTH TEST OF CONCRETE	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด		
Location :	Date of Test : 18 December 2008	
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof	

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 200 ksc.
 Cement 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
 Ages of Specimens 28 days
 End Conditions of Specimens Sulfur Capping Compound

Spec. No.	Diameters (cm)	Cross Sectional Area (cm ²)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/m ³)
1.	15.053	177.966	29.90	12.354	60,958.206	342.527	2,321.273
2.	15.110	179.316	29.80	12.611	62,079.511	346.202	2,360.012
3.	15.200	180.290	29.90	12.755	70,336.391	390.129	2,366.125
4.	15.076	178.498	30.50	12.701	63,394.495	355.155	2,332.946
5.	15.005	176.832	30.00	12.654	62,079.511	351.065	2,385.315
6.	15.017	177.157	30.05	12.701	61,750.553	348.564	2,385.806
7.	15.066	178.315	30.10	12.458	67,651.284	379.392	2,321.101
8.	15.013	177.059	30.00	12.468	68,061.657	384.401	2,347.240
9.	14.972	176.096	29.95	12.665	59,822.805	339.717	2,401.369
10.	15.025	177.340	30.05	12.374	64,825.750	365.545	2,463.884

Concrete and Material Testing Laboratory


	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต COMPRESSION STRENGTH TEST OF CONCRETE
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด	
Location :	Date of Test : 20 December 2008
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 200 ksc.
 Cement 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
 Ages of Specimens 28 days
 End Conditions of Specimens Ground End

Spec. No.	Diameters (cm)	Cross Sectional Area (cm ²)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/m ³)
1.	15.059	178.107	29.90	12.678	65,393.442	367.158	2,380.667
2.	15.004	176.809	29.80	12.507	69,458.232	392.843	2,373.737
3.	15.119	179.530	29.80	12.539	70,841.761	394.596	2,343.741
4.	15.283	183.446	30.10	12.899	68,549.665	373.678	2,336.046
5.	15.086	178.747	29.80	12.635	64,851.023	362.809	2,372.030
6.	15.042	177.735	29.85	12.755	67,995.190	382.565	2,404.159
7.	15.092	178.930	29.80	12.411	72,615.520	405.832	2,327.595
8.	14.990	176.505	29.95	12.505	69,729.006	395.054	2,365.538
9.	15.172	180.813	29.85	12.764	67,621.711	373.987	2,364.900
10.	15.075	178.509	30.00	12.437	67,750.592	379.536	2,322.385

Concrete and Material Testing Laboratory


	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต COMPRESSION STRENGTH TEST OF CONCRETE
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด	
Location :	Date of Test : 20 December 2008
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 300 ksc.
 Cement Portland Type I
 Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate 3/4 inch.
 Water Cement Ratio (w/c) 0.48 Slump Test 9 cm.
 Date of Casting 22 Nov 08 Date of Testing 20 Dec 08
 Ages of Specimens 28 days
 End Conditions of Specimens Sulfur Capping Compound

Spec. No.	Diameters (cm)	Cross Sectional Area (cm ²)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/m ³)
1.	15.063	178.202	30.10	12.908	76,520.546	429.403	2,406.447
2.	15.086	178.747	29.90	12.827	89,581.235	501.162	2,400.022
3.	14.924	174.928	30.30	12.824	80,893.456	462.439	2,419.477
4.	15.145	180.148	29.90	13.067	70,658.981	392.227	2,425.913
5.	15.091	178.853	30.20	13.118	86,849.329	485.591	2,428.647
6.	15.135	179.939	30.05	12.796	65,848.677	375.950	2,366.488
7.	15.185	181.143	30.10	13.254	72,986.319	402.921	2,430.854
8.	14.950	175.567	30.15	13.057	87,137.413	496.320	2,466.682
9.	15.142	180.103	29.95	13.155	69,714.810	387.083	2,438.783
10.	15.076	178.554	30.15	12.881	92,071.013	515.648	2,392.724

Concrete and Material Testing Laboratory


	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต COMPRESSION STRENGTH TEST OF CONCRETE	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด		
Location :	Date of Test : 20 December 2008	
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof	

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 300 ksc.
 Cement Portland Type I
 Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate 3/4 inch.
 Water Cement Ratio (w/c) 0.48 Slump Test 9 cm.
 Date of Casting 22 Nov 08 Date of Testing 20 Dec 08
 Ages of Specimens 28 days
 End Conditions of Specimens Ground End

Spec. No.	Diameters (cm)	Cross Sectional Area (cm ²)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/m ³)
1.	14.985	176.361	29.90	12.871	75,849.215	430.079	2,440.836
2.	14.982	176.291	30.00	12.757	81,002.940	459.484	2,412.110
3.	15.226	182.080	29.80	13.207	79,401.025	436.078	2,434.029
4.	15.096	178.984	29.80	12.844	78,951.121	441.107	2,408.074
5.	15.090	178.842	29.85	12.912	82,965.330	463.903	2,418.687
6.	15.123	179.650	29.80	12.979	78,838.864	438.847	2,424.364
7.	15.042	177.747	29.90	13.210	81,843.784	460.451	2,485.589
8.	15.217	181.895	29.95	13.037	80,039.257	440.030	2,393.096
9.	14.983	176.343	29.80	12.795	80,159.356	454.565	2,434.814
10.	14.969	176.022	29.90	12.915	83,312.093	473.305	2,453.897

Concrete and Material Testing Laboratory


	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต COMPRESSION STRENGTH TEST OF CONCRETE
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด	
Location :	Date of Test : 22 December 2008
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 400 ksc.
 Cement Portland Type I
 Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate 3/4 inch.
 Water Cement Ratio (w/c) 0.38 Slump Test 9 cm.
 Date of Casting 24 Nov 08 Date of Testing 22 Dec 08
 Ages of Specimens 28 days
 End Conditions of Specimens Sulfur Capping Compound

Spec. No.	Diameters (cm)	Cross Sectional Area (cm ²)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/m ³)
1.	15.030	177.422	29.50	12.998	84,196.738	474.556	2,483.402
2.	15.076	178.510	29.00	13.013	102,028.542	571.556	2,513.720
3.	14.956	175.667	29.95	12.952	102,069.362	581.039	2,499.336
4.	15.169	180.718	29.00	13.174	97,859.327	541.503	2,513.727
5.	15.045	177.776	29.00	12.833	79,704.383	448.342	2,489.184
6.	15.110	179.340	29.95	13.323	98,645.250	550.046	2,480.436
7.	15.222	182.011	30.00	13.125	108,365.345	595.378	2,403.701
8.	15.044	177.787	30.10	12.964	78,164.232	439.651	2,422.549
9.	15.146	180.212	30.00	13.154	82,240.647	456.355	2,433.060
10.	15.036	177.588	29.90	12.942	83,597.242	470.737	2,437.343

Concrete and Material Testing Laboratory


	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต COMPRESSION STRENGTH TEST OF CONCRETE
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด	
Location :	Date of Test : 25 December 2008
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 400 ksc.
 Cement Portland Type I
 Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate 3/4 inch.
 Water Cement Ratio (w/c) 0.38 Slump Test 9 cm.
 Date of Casting 24 Nov 08 Date of Testing 22 Dec 08
 Ages of Specimens 28 days
 End Conditions of Specimens Ground End

Spec. No.	Diameters (cm)	Cross Sectional Area (cm ²)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/m ³)
1.	15.014	177.045	29.80	12.916	98,304.025	555.249	2,448.094
2.	14.930	175.069	29.80	12.824	121,296.008	692.847	2,458.091
3.	15.046	177.800	30.00	12.971	109,832.951	617.733	2,431.759
4.	15.056	178.057	29.75	12.905	97,961.335	550.168	2,436.195
5.	15.091	178.865	30.00	12.996	110,253.224	616.405	2,421.938
6.	15.090	178.882	29.85	13.011	105,806.556	591.488	2,436.687
7.	14.944	175.439	29.90	12.845	112,410.785	640.740	2,448.707
8.	14.978	176.231	29.55	12.798	112,001.674	635.539	2,457.550
9.	15.182	181.072	29.80	13.200	104,491.581	582.072	2,446.281
10.	15.177	180.950	30.00	13.377	112,126.753	619.656	2,464.217

Concrete and Material Testing Laboratory

	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต COMPRESSION STRENGTH TEST OF CONCRETE	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด		
Location :	Date of Test : 24 December 2008	
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof	

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete **800** (High Strength Concrete) ksc.

Cement Portland Type **I**

Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate **3/4** inch.

Water Cement Ratio (w/c) **0.25** Slump Test **16** cm.


Date of Casting **26 Nov 08** Date of Testing **24 Dec 08**

Ages of Specimens **28** days

End Conditions of Specimens **Sulfur Capping Compound**

Spec. No.	Diameters (cm)	Cross Sectional Area (cm ²)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/m ³)
1.	7.662	46.122	15.300	1.780	27,914.510	605.232	2,522.438
2.	7.651	45.980	15.450	1.769	36,578.791	795.537	2,490.178
3.	7.730	46.934	15.250	1.788	25,348.584	540.090	2,497.623
4.	7.677	46.303	15.350	1.802	28,733.373	620.551	2,535.346
5.	7.631	45.748	15.400	1.786	35,434.479	774.558	2,535.062
6.	7.643	45.894	15.400	1.783	29,468.446	642.098	2,522.753
7.	7.698	46.545	15.350	1.785	26,785.903	575.484	2,498.370
8.	7.655	46.032	15.300	1.768	27,055.308	587.750	2,510.331
9.	7.643	45.891	15.450	1.788	30,635.088	667.562	2,521.805
10.	7.663	46.125	15.400	1.783	31,823.160	689.933	2,510.119

Concrete and Material Testing Laboratory

	การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต COMPRESSION STRENGTH TEST OF CONCRETE
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด	
Location :	Date of Test : 24 December 2008
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete **800** (High Strength Concrete) ksc.
 Cement Portland Type **I**
 Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate **3/4** inch.
 Water Cement Ratio (w/c) **0.25** Slump Test **16** cm.
 Date of Casting **26 Nov 08** Date of Testing **24 Dec 08**
 Ages of Specimens **28** days
 End Conditions of Specimens **Ground End**

Spec. No.	Diameters (cm)	Cross Sectional Area (cm ²)	Height of Specimen (cm)	Weight of Specimen (kg)	Ultimate Load (kg)	Comp. Strength (ksc)	Weight per Volume (kg/m ³)
1.	7.687	46.429	15.400	1.779	38,278.853	824.460	2,522.438
2.	7.707	46.663	15.400	1.765	38,234.169	819.368	2,490.178
3.	7.682	46.355	15.350	1.768	40,286.296	869.082	2,497.623
4.	7.673	46.247	15.400	1.764	39,467.421	853.405	2,535.346
5.	7.628	45.710	15.450	1.771	41,542.802	908.834	2,535.062
6.	7.643	45.886	15.400	1.770	40,671.286	886.355	2,522.753
7.	7.647	45.940	15.350	1.782	36,556.342	795.741	2,498.370
8.	7.672	46.232	15.350	1.780	38,216.943	826.634	2,510.331
9.	7.635	45.797	15.400	1.786	38,404.265	838.576	2,521.805
10.	7.612	45.514	15.450	1.783	36,968.610	812.247	2,510.119

การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธีทางสถิติ

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 200 ksc และ 300 ksc

	ช่วงกำลังอัด			
	200 ksc		300 ksc	
	การเคลือบปลาย ด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย	การเคลือบปลาย ด้วยกำมะถัน	การเจียรปลาย
Mean	360.2697	382.8058	444.8744	449.7849
Standard Error	5.82181311782	4.39259691298	16.8825427140	4.53321901681
Median	353.11	381.0505	445.921	447.836
Mode	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Standard Deviation	18.4101895641	13.8906110880	53.3872876716	14.3352972255
Sample Variance	338.935079788	192.949076400	2850.20248493	205.500746544
Kurtosis	-1.27698581412	-1.02085156518	-1.93377221745	-1.32521859668
Skewness	0.62867095521	0.17553353223	-0.00182757986	0.23301989195
Range	50.412	43.023	139.698	43.226
Minimum	339.717	362.809	375.95	430.079
Maximum	390.129	405.832	515.648	473.305
Sum	3602.697	3828.058	4448.744	4497.849
Count	10	10	10	10
Confidence Level (95.0%)	13.1698562180	9.93674454969	38.1909648488	10.2548538484


ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับช่วงกำลังอัดที่ 400 ksc และ 800 ksc

	ช่วงกำลังอัด			
	400 ksc		800 ksc (คอนกรีตกำลังสูง)	
	การเคลื่อนปลาย ด้วยกัมมะถัน	การเจียรปลาย	การเคลื่อนปลาย ด้วยกัมมะถัน	การเจียรปลาย
Mean	512.9163	610.1897	649.8795	843.4702
Standard Error	19.1666648417	13.4803242922	26.4659951108	11.2392547675
Median	508.0295	617.069	631.3245	832.605
Mode	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Standard Deviation	60.6103160490	42.6285283611	83.6928250930	35.5416442682
Sample Variance	3673.61041156	1817.19143023	7004.48897205	1263.20847728
Kurtosis	-2.01152242248	0.34104764546	-0.38026744708	-0.40490491903
Skewness	0.11108327513	0.35896642527	0.71277840572	0.65267953600
Range	155.727	142.679	255.447	113.093
Minimum	439.651	550.168	540.09	795.741
Maximum	595.378	692.847	795.537	908.834
Sum	5129.163	6101.897	6498.795	8434.702
Count	10	10	10	10
Confidence Level (95.0%)	43.3580080701	30.4946120921	59.8702402881	25.4249606248

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต

Concrete and Material Testing Laboratory


	การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด	
Location :	Date of Test : 20 December 2008
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete..... **200** ksc.Cement 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**Ages of Specimens..... **28** daysEnd Conditions of Specimens..... **Ground End**

ลำดับ ที่	เส้นผ่า ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง ก่อน เจียรปลาย (ซม.)	ความสูง หลัง เจียรปลาย (ซม.)	ระยะเจียร ปลาย (มม.)	L/D	Perpendicular (มม.)	Planeness (มม.)
1.	15.059	29.90	29.60	3	1.966	1.0	0.0
2.	15.004	29.80	29.60	2	1.973	1.0	0.0
3.	15.119	29.80	29.40	4	1.945	0.5	0.0
4.	15.283	30.10	29.70	4	1.943	1.0	0.0
5.	15.086	29.80	29.60	2	1.962	0.5	0.0
6.	15.042	29.85	29.75	1	1.978	0.5	0.0
7.	15.092	29.80	29.70	1	1.968	1.0	0.0
8.	14.990	29.95	29.55	4	1.971	1.0	0.0
9.	15.172	29.85	29.65	2	1.954	0.5	0.0
10.	15.075	30.00	29.70	3	1.970	1.0	0.0

Concrete and Material Testing Laboratory

	การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด	
Location :	Date of Test : 20 December 2008
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 300 ksc.

Cement Portland Type I

Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate 3/4 inch.

Water Cement Ratio (w/c) 0.48 Slump Test 9 cm.


Date of Casting 22 Nov 08 Date of Testing 20 Dec 08

Ages of Specimens 28 days

End Conditions of Specimens Ground End

ลำดับ ที่	เส้นผ่า ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง ก่อน เจียรปลาย (ซม.)	ความสูง หลัง เจียรปลาย (ซม.)	ระยะเจียร ปลาย (มม.)	L/D	Perpendicular (มม.)	Planeness (มม.)
1.	14.985	29.90	29.70	2	1.982	1.5	0.0
2.	14.982	30.00	29.80	2	1.989	1.0	0.0
3.	15.226	29.80	29.60	2	1.944	1.0	0.0
4.	15.096	29.80	29.50	3	1.954	0.5	0.0
5.	15.090	29.85	29.75	1	1.972	0.5	0.0
6.	15.123	29.80	29.50	3	1.951	1.0	0.0
7.	15.042	29.90	29.80	1	1.981	1.0	0.0
8.	15.217	29.95	29.85	1	1.962	1.0	0.0
9.	14.983	29.80	29.50	3	1.969	0.5	0.0
10.	14.969	29.90	29.60	3	1.977	0.5	0.0

Concrete and Material Testing Laboratory


	การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด		
Location :	Date of Test : 25 December 2008	
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof	

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 400 ksc.
 Cement Portland Type I
 Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate 3/4 inch.
 Water Cement Ratio (w/c) 0.38 Slump Test 9 cm.
 Date of Casting 24 Nov 08 Date of Testing 22 Dec 08
 Ages of Specimens 28 days
 End Conditions of Specimens Ground End

ลำดับ ที่	เส้นผ่า ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง ก่อน เจียรปลาย (ซม.)	ความสูง หลัง เจียรปลาย (ซม.)	ระยะเจียร ปลาย (มม.)	L/D	Perpendicular (มม.)	Planeness (มม.)
1.	15.014	29.80	29.60	2	1.971	1.0	0.0
2.	14.930	29.80	29.60	2	1.983	0.5	0.0
3.	15.046	30.00	29.70	3	1.974	1.0	0.0
4.	15.056	29.75	29.55	2	1.963	1.0	0.0
5.	15.091	30.00	29.60	4	1.961	1.0	0.0
6.	15.090	29.85	29.75	1	1.972	1.0	0.0
7.	14.944	29.90	29.70	2	1.987	0.5	0.0
8.	14.978	29.55	29.25	3	1.953	1.0	0.0
9.	15.182	29.80	29.60	2	1.950	1.0	0.0
10.	15.177	30.00	29.70	3	1.957	0.5	0.0

Concrete and Material Testing Laboratory

	การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Project Name: การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด	
Location :	Date of Test : 24 December 2008
Test By : Mr.Paween and Mr.Aersun	Checked By : Mr.Aersun Yusof

ข้อมูลและผลการทดลอง

Mixture Design Strength of Concrete 800 (High Strength Concrete) ksc.

Cement Portland Type I

Maximum Nominal Size of the Coarse Aggregate 3/4 inch.

Water Cement Ratio (w/c) 0.25 Slump Test 16 cm.

Date of Casting 26 Nov 08 Date of Testing 24 Dec 08

Ages of Specimens 28 days

End Conditions of Specimens Ground End

ลำดับ ที่	เส้นผ่า ศูนย์กลาง (ซม.)	ความสูง ก่อน เจียรปลาย (ซม.)	ความสูง หลัง เจียรปลาย (ซม.)	ระยะเจียร ปลาย (มม.)	L/D	Perpendicular (มม.)	Planeness (มม.)
1.	7.687	15.400	15.20	2	1.977	0.5	0.0
2.	7.707	15.400	15.30	1	1.985	0.5	0.0
3.	7.682	15.350	15.25	1	1.985	0.5	0.0
4.	7.673	15.400	15.20	2	1.981	0.0	0.0
5.	7.628	15.450	15.35	1	2.012	0.0	0.0
6.	7.643	15.400	15.20	2	1.989	0.5	0.0
7.	7.647	15.350	15.15	2	1.981	0.0	0.0
8.	7.672	15.350	15.25	1	1.988	0.0	0.0
9.	7.635	15.400	15.20	2	1.991	0.5	0.0
10.	7.612	15.450	15.35	1	2.017	0.0	0.0

การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียรปลายคอนกรีต
โดยวิธีทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการสำหรับตัวอย่างคอนกรีต ขนาด \varnothing 150 x 300 มม.

	ตัวอย่างคอนกรีต ขนาด \varnothing 150 x 300 มม.		
	ระยะเจียรปลาย (มม.)	L/D	Perpendicular (มม.)
Mean	2.366666667	1.966027611	0.833333333
Standard Error	0.176057288	0.002356911	0.049904123
Median	2	1.968414057	1
Mode	2	1.971504307	1
Standard Deviation	0.964305479	0.012909336	0.273336137
Sample Variance	0.929885057	0.000166651	0.074712644
Kurtosis	-0.833089774	-0.827637187	-0.698647506
Skewness	0.158949267	-0.13924866	-0.050254108
Range	3	0.045717798	1
Minimum	1	1.943335733	0.5
Maximum	4	1.989053531	1.5
Sum	71	58.98082832	25
Count	30	30	30
Confidence Level (95.0%)	0.360077578	0.004820425	0.102065389

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการสำหรับตัวอย่างคอนกรีต ขนาด \varnothing 70 x 150 มม.

	ตัวอย่างคอนกรีต ขนาด \varnothing 70 x 150 มม.		
	ระยะเจียรปลาย (มม.)	L/D	Perpendicular (มม.)
Mean	1.5	1.990607713	0.25
Standard Error	0.166666667	0.004180029	0.083333333
Median	1.5	1.986477953	0.25
Mode	2	#N/A	0.5
Standard Deviation	0.527046277	0.013218414	0.263523138
Sample Variance	0.277777778	0.000174726	0.069444444
Kurtosis	-2.571428571	0.841003282	-2.571428571
Skewness	0	1.401020803	0
Range	1	0.03918843	0.5
Minimum	1	1.977364381	0
Maximum	2	2.016552811	0.5
Sum	15	19.90607713	2.5
Count	10	10	10
Confidence Level (95.0%)	0.377026193	0.009455884	0.188513097

ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. แอชัน ยูโซะ และ แหลมทอง เหล่าคงถาวร. “การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา กับยุคโลกาภิวัตน์. หน้า 1705-1710. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 13-15 พฤษภาคม 2552.

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14
 THE 14th NATIONAL CONVENTION ON CIVIL ENGINEERING



NCCE 14
 NAKHON RATCHASIMA 2009
SURANAREE
 UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

เล่ม **5**

วิศวกรรมวัสดุก่อสร้าง

“เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธากับยุคโลกาภิวัตน์”

13-15 พฤษภาคม 2552

ณ สุรสัมมนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 นครราชสีมา





การประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบการรับแรงอัด
Invention of Concrete Specimen Grinding Machine for Compressive Strength

แอซัน ยูโซ๊ะ (Aersun Yusof)¹

หม่อมทอง เหล่าคงถาวร (Laemthong Laokhongthavorn)²

¹นักศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 namoninc99@gmail.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 lenook2000@gmail.com

บทคัดย่อ : ในการใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกสำหรับการทดสอบแรงอัดของคอนกรีต จำเป็นต้องทำการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน เพื่อให้หัวตัวอย่างเรียบ ตั้งได้ฉากกับแกนของตัวอย่าง และขนานกับปลายด้านตรงข้าม แต่กัมมะถันเป็นวัสดุที่มีพิษ เมื่อสูดดมมาก ๆ จะเข้าไปสะสมในร่างกายของผู้ทำการทดสอบ ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้ทำการทดสอบในระยะยาว กอปรกับกำลังรับแรงอัดของกัมมะถันไม่มากจึงไม่สามารถนำมาใช้ กับตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูงได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้วัสดุและฝีมือแรงงานในท้องถิ่น แทนการนำเข้าเครื่องจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงมาก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกับเครื่องเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน สำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 200 ksc., 300 ksc., 400 ksc. และ คอนกรีตกำลังสูง (800 ksc) จำนวนกำลังละ 10 ตัวอย่างต่อการเตรียมตัวอย่างทั้ง 2 วิธี จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตสามารถผลิตภายในท้องถิ่นด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่ามากและลดอันตรายจากการใช้กัมมะถันในการเคลือบตัวอย่างคอนกรีต และให้ค่าความแปรปรวนของผลทดสอบกำลังรับแรงอัดน้อยมากและ ใช้ได้ดีสำหรับคอนกรีตกำลังต่ำถึงสูง ขณะที่การเคลือบปลายด้วยกัมมะถันให้ความแปรปรวนสูงสำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดปานกลางและ คอนกรีตกำลังสูง

ABSTRACT : The used of concrete cylinder specimens for testing compressive strength need to cap the ends with sulfur mortar. Sulfur capping technique was used for perpendicularity of the ends with respect to the cylinder axis and flatness of the end surface. But toxicity of sulfur was hazardous for the experimenters when they breathed in and severe health problem in long-term. In addition, sulfur mortar capping was not of sufficient strength for use in the testing of the highest compressive strength concrete. The purpose of this study was to invent the concrete specimen grinding machine that were made in local area and compensated for order machines from abroad with very expensive cost. This study was determined effective of grinding machine compared to sulfur capping compounds for the 200 ksc., 300 ksc., 400 ksc. and high strength concrete (800 ksc) levels. It was determined that 10 specimens per end condition. This research showed that the grinding machine can made in local area with very cheapness cost and reduces hazardous toxic from sulfur mortar capping specimen. In addition, grinding the cylinder ends leads to less variability and available for high strength concrete testing, while the using sulfur mortar caps may result in greater variability for medium and high strength concrete levels.

KEYWORDS : Compressive strength, Concrete, Capping

1. บทนำ

1. การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตซึ่งมีการเก็บตัวอย่างจากโรงงาน เป็นการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้น้ำค่าที่ได้ไปอ้างอิงกับสภาวะการรับน้ำหนักของคอนกรีตในโครงสร้างจริงว่ามีกำลังตามที่วิศวกรได้ออกแบบไว้หรือไม่ การหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเป็นหนึ่งในการที่นิยมใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM แต่เนื่องจากการหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีความยากของคอนกรีตจะไม่เรียบตามมาตรฐาน ASTM C617 [1] จะทำให้หัวหน้าของคอนกรีตที่นำมาทดสอบจะต้องเรียบและมีความแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มิลลิเมตร และมีผิวหน้า 2 ด้านตรงข้ามขนานกัน ดังนั้นจึงนิยมใช้การเคลือบผิว (Capping) คอนกรีตซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ การใช้ซีเมนต์ที่ผสมกับทรายบนผิวคอนกรีตคอนกรีตเสริมใยใหม่ ๆ การใช้กัมมันต์ และ การใช้ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงเคลือบผิวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การทดสอบคอนกรีตโดยไม่ทำให้ผิวหน้าเรียบจะทำให้กำลังที่ทดสอบได้มีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และจะคลาดมากเมื่อเป็นคอนกรีตกำลังสูง กำลังของวัสดุที่ใช้ทำการเคลือบผิวคอนกรีตควรเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ใช้ทำการทดสอบ นอกจากนี้ภายหลังการเคลือบผิวคอนกรีตแล้ว จะต้องทิ้งให้วัสดุที่เคลือบผิวคอนกรีตแข็งตัว เช่น กัมมันต์ ควรทิ้งให้แห้งตัวอย่างน้อย 2 ชั่วโมง มิฉะนั้นเมื่อทำการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต ผิวเคลือบที่ยังไม่แห้งตัวเต็มที่จะแตกเสียหายก่อนเป็นผลให้กำลังอัดที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง

2. การเคลือบผิวตัวอย่างทดสอบด้วยกัมมันต์เป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว และ ค่าใช้จ่ายไม่มาก แต่มีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถใช้ได้กับคอนกรีตที่มีกำลังสูงมากได้ เพราะกัมมันต์มีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตกำลังสูง และ กัมมันต์เป็นวัสดุที่มีพิษ เมื่อสูดดมมากๆ จะเข้าไปสะสมในร่างกายของผู้ทำการทดสอบ ทำให้มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้ทำการทดสอบในระยะยาว ดังนั้นการเคลือบตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกด้วยการเคลือบผิวด้วยตัวอย่างที่ไม่เรียบออกเพียง 1-3 มม. จึงเป็นวิธีการที่ได้ได้รับความนิยมในประเทศญี่ปุ่น อเมริกา และ ประเทศในโซนยุโรป โดยเฉพาะ การทดสอบกำลังของคอนกรีตกำลังสูง เนื่องจากสะดวก ง่าย และปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากเครื่องเคลือบผิวตัวอย่างที่ส่งมาจากต่างประเทศมีราคาแพง นอกจากนี้ อะไหล่และ ใบเจียรมีราคาแพง ใน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ ที่จะประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต โดยใช้วัสดุและแรงงานที่มีในประเทศเป็นหลัก

2. วิธีการศึกษา

1. ศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องจัดผิวปลายตัวอย่างคอนกรีต เพื่อให้ได้ตัวอย่างของคอนกรีตทรงกระบอกเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C617 โดยองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องจัดผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตมีดังนี้

- โครงกล่อเครื่องจักร

เป็นโครงกล่อทำด้วยเหล็ก และ แก่นเหล็ก เพื่อยึดอุปกรณ์ต่างของเครื่องจัดผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตไว้ด้วยกัน และเป็นตัวช่วยป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการทำงานของมอเตอร์และใบเจียร

- ใบเจียรชนิดหมุนควงได้ในแนวรัศมี

ใบเจียรเป็นใบจัดผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตให้มีความเรียบ ซึ่งอาจเป็นวัสดุชนิด Diamond Blade หรือวัสดุอื่นๆ ที่เหมาะสมที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น สามารถขัดหน้าผิวของผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5 - 15 ซม. หรือก่อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาดมาตรฐานได้

- แท่นวางตัวอย่าง

แท่นวางตัวอย่างทรงกระบอกหรือลูกบาศก์ให้อยู่ในแนวตั้งตามกึ่งกลางของใบเจียร

- หัวฉีดน้ำชนิดข้อต่อปรับได้

หัวฉีดน้ำจะคอยปล่อยน้ำเลี้ยงใบเจียรน้อยกับตัวอย่างคอนกรีตในระหว่างการทำงานลดความร้อนจากการขัดสี และลดฝุ่นที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน

- Safety Guard

ทำด้วยแท่นพลาสติกใส สามารถมองเห็นการทำงานขณะเครื่องจักรทำงานได้ เป็นแผ่นช่วยป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากเศษปูนกระเด็น หรือเศษเจียรน้อยเข้าสู่ได้

- แผงวงจรควบคุมเครื่องจักร

เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องจัดผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตโดยรวม

2. หล่อตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเจียร โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเคลือบผิวปลายตัวอย่างคอนกรีตด้วยกัมมันต์ โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 1 โดยใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด \varnothing 0.15 ม. สูง 0.30 ม.

สำหรับคอนกรีตกำลัง 200 ksc, 300 ksc และ 400 ksc. และขนาด ϕ 0.10 m. สูง 0.20 m. สำหรับคอนกรีตกำลังสูง (800 ksc.) การเตรียมตัวอย่างเป็นไปตาม ASTM C192 [2] โดยในแต่ละค่ากำลังของคอนกรีตได้ใช้คอนกรีตที่ผสมไม่เหมือนกันในการหล่อตัวอย่างทั้ง 20 ตัวอย่าง

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุผสมคอนกรีต (ต่อ ลบ.ม.)	สัดส่วนผสมคอนกรีตแต่ละช่วงกำลังอัด			
	200 ksc.	300 ksc.	400 ksc.	800 ksc.
ซีเมนต์ (กก.)	0.62	0.48	0.38	0.25
ปูนซีเมนต์ (กก.)	325	417	527	420
น้ำ (ลิตร)	200	200	200	42
มวลรวมทราย (กก.)	1,064	1,064	1,064	1,300
มวลรวมกรวด (กก.)	791	712	619	850
สารผสมเพิ่ม (ลิตร)	-	-	-	63
Slump (ซม.)	10	9	8	16
อายุของตัวอย่าง (วัน)	28	28	28	28
จำนวนตัวอย่าง (ตัวอย่าง)	20	20	20	20

สำหรับคอนกรีตกำลังสูง (800 ksc) มีการใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) เป็นสารลดน้ำจำนวนมาก (Superplasticizer) เพื่อเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต

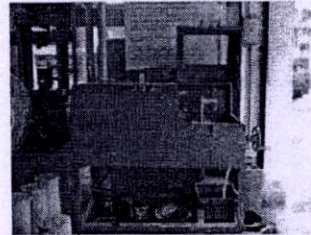
3. การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบแรงอัด
 ทิวปลายตัวอย่างคอนกรีตชิ้นที่ไม่เรียบจะถูกเจียรปลายออกประมาณ 1-3 มม. เพื่อให้ปลายตัวอย่างทั้งสองด้านเรียบและขนานกัน ซึ่งไม่ทำให้สัดส่วนของตัวอย่างแตกต่างจากที่กำหนดตามมาตรฐาน ASTM C617-98 ซึ่งโดยปกติแล้วทิวปลายด้านข้างของตัวอย่างจะเรียบและได้ฉากกับแกนของตัวอย่าง ตามแบบหล่อที่ค้ำมีคุณภาพ และ สัดส่วนเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ส่วนปลายด้านบนโดยปกติแล้ว จะถูกปาดเรียบเสมอขอบแบบ ดังนั้นโดยปกติจึงไม่จำเป็นต้องเจียรปลายตัวอย่างออกมากเกินกว่า 2 มม. แต่กรณีตัวอย่างถูกเตรียมมาไม่ดีหรือเช่นใช้แบบหล่อที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือการปาดแต่งหน้าตัวอย่างไม่ดี ก็อาจใช้วิธีการเกลือบปลายตัวอย่างแทน หรือใช้การเจียรปลายตัวอย่างแล้วเทียบกำลังส่วนขนาดของตัวอย่างตามที่ ACI กำหนดวิธีการเอาไว้

4. การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการ 2 รูปแบบ เพื่อวัตถุประสงค์ในการนำมาเปรียบเทียบกัน

4.1 การขัดทิวปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่าง

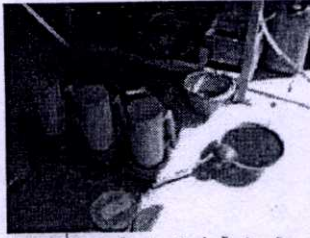
วิธีนี้ใช้การขัดทิวปลายตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประสิทธิภาพสูง ให้มีความเรียบและได้ระนาบ เป็นไปตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM C39 (1996) [3] จากภาพที่ 1 แสดงเครื่องมือเจียรปลายตัวอย่างที่ประสิทธิภาพสูง วิธีนี้มักถูกใช้กับคอนกรีตกำลังรับแรงสูง Johnson และ Mirza (1996) พบว่าตัวอย่างที่ได้รับการขัดทิวปลายตัวอย่างจะให้ค่า Yield Strength ที่สูงกว่าการเกลือบทิวด้วยกัมมะถัน [4] ข้อดีของวิธีการขัดทิวปลายตัวอย่างคือสามารถทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีตได้โดยตรงและลดอันตรายจากแรงสูดควมที่พื้นที่เกิดจากการ Capping ด้วยกัมมะถัน



ภาพที่ 1 เครื่องขัดทิวปลายตัวอย่างคอนกรีต

4.2 การเกลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถัน

วิธีนี้ใช้การ Bonded Cap ตาม ASTM C617 ซึ่งประกอบด้วยการใช้ Cement paste ฝึป่นกำลังสูง หรือกัมมะถันเคลือบทิวปลายตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ใช้กัมมะถันเคลือบปลายตัวอย่าง การเกลือบปลายตัวอย่างด้วยกัมมะถันควรทิ้งให้แห้งตัวอย่างต่ำ 2 ชั่วโมงก่อนการทดสอบกำลังอัด มิฉะนั้นเมื่อทดสอบการรับกำลังอัดคอนกรีตที่เคลือบที่ยังไม่แห้งตัวเต็มที่จะแตกเสียหายก่อนทำให้กำลังอัดที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ในการเคลือบด้วยกัมมะถันจะใช้แบบเหล็กทิวเรียบและแทนสำหรับตั้งคอนกรีตให้ตรงดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเคลือบปลายตัวอย่างด้วยกระดาษ

โดยรายละเอียดของจำนวนตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในแต่ละวิธี
เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเตรียมปลายตัวอย่างคอนกรีต

การเตรียมปลาย ตัวอย่างคอนกรีต	ช่วงกำลังอัดของคอนกรีต				รวม
	200 ksc.	300 ksc.	400 ksc.	500 ksc.	
การเจียรปลาย	10	10	10	10	40
การเคลือบผิวด้วย กระดาษ	10	10	10	10	40

5. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีตสามารถแสดงข้อมูล
เชิงสถิติดังในตารางที่ 3 และ นำค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยไปเขียน
กราฟได้ดังรูปที่ 3 และ นำค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนไป
เขียนกราฟแห่งได้ดังภาพที่ 4

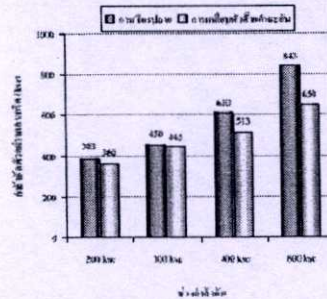
6. การวิเคราะห์ผล

มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- เนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตในแต่ละค่ากำลังจำนวน 20
ตัวอย่าง ถูกผสมในโมเดียวกัน และทดสอบโดยกรรมวิธีตาม
มาตรฐาน จึงถือเสมือนว่าจะมีคุณสมบัติและค่ากำลังใกล้เคียง
กัน
- ตัวอย่างที่ถูกเจียรปลายตัวอย่างทุกตัวอย่าง มีปลาย
ตัวอย่างทั้ง 2 ด้านที่ตรงข้ามกันขนาดกัน และได้ฉากกับแกน
ตัวอย่าง และปลายตัวอย่างถูกเจียรผิวออกเพียงไม่เกิน 2 มม.

ตารางที่ 3 ข้อมูลเชิงสถิติของผลการทดสอบกำลังอัด

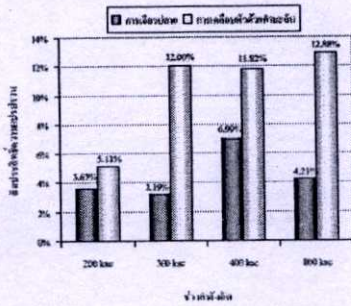
จำนวน ตัว	การเตรียม ปลายตัวอย่าง	Mean (ksc)	Std. Dev. (ksc)	Coeff. of Variation	Min (ksc)	Max (ksc)	Range (ksc)	St.D. (ksc)
200 ksc	การเจียรปลาย	283	12.89	4.60%	263	406	143	10
	การเคลือบผิว ด้วยกระดาษ	360	18.41	5.11%	340	399	59	10
300 ksc	การเจียรปลาย	450	14.54	3.19%	430	473	43	10
	การเคลือบผิว ด้วยกระดาษ	445	53.39	12.00%	376	516	140	10
400 ksc	การเจียรปลาย	610	42.61	6.99%	556	693	137	10
	การเคลือบผิว ด้วยกระดาษ	513	60.61	11.82%	440	585	145	10
500 ksc	การเจียรปลาย	843	35.54	4.21%	796	909	113	10
	การเคลือบผิว ด้วยกระดาษ	658	93.69	14.39%	540	796	255	10



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดการเตรียมปลายตัวอย่างในแต่ละ
ช่วงกำลังอัด

- จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าที่ค่ากำลังรับแรงอัดของ
คอนกรีตค่า (200 ksc. – 300 ksc.) เฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของ
คอนกรีตจากการเตรียมตัวอย่างทั้งการเจียรปลายและการ
Capping มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีต
ให้ค่าสูงกว่าการ Capping 5-15 ksc. ซึ่งถือว่าการเจียรปลาย
ตัวอย่างด้วยเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้นให้ผลทดสอบ
ใกล้เคียงกับการทดสอบด้วยเครื่องมือตัวอย่างแบบ Capping
- จากภาพที่ 3 ถ้าหวับคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 400 ksc.
และคอนกรีตกำลังสูง (500 ksc) การเตรียมตัวอย่างด้วยการเจียร
ปลายตัวอย่างให้ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยสูงกว่า การเตรียม
ตัวอย่างด้วย Capping เท่ากับ 97 ksc. และ 194 ksc. ตามลำดับ

ทั้งนี้เมื่อมองจากกำลังรับแรงอัดของก้านะดันมีค่าน้อยกว่าคอนกรีต จึงมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทดสอบได้มีค่าน้อยกว่าที่เป็นจริง และเครื่องเจียรปลายคอนกรีตที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้ได้กับคอนกรีตที่มีกำลังสูง



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบสิ้นประสิทธิผลความแปรปรวนการเคลือบปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด

5) จากรูปที่ 4 แสดงกราฟเปรียบเทียบสิ้นประสิทธิผลความแปรปรวนการเคลือบปลายตัวอย่างในแต่ละช่วงกำลังอัด พบว่าสำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัดต่ำ (200 ksc.) การ Capping ให้ค่าความแปรปรวนใกล้เคียงกับการเคลือบปลายตัวอย่าง แต่เมื่อคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น การ Capping มีค่าความแปรปรวนสูงขึ้น สำหรับคอนกรีตกำลังรับแรงอัด 300 ksc., 400 ksc. และ คอนกรีตกำลังสูง (800 ksc) มีค่าความแปรปรวนสูงถึง 12.0%, 11.82% และ 12.68% ตามลำดับ ขณะที่การเคลือบปลายคอนกรีตมีความแปรปรวนเท่ากับ 3.19%, 6.99% และ 4.21% ตามลำดับ ซึ่งเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และค่าความแปรปรวนต่ำกว่าการ Capping ทำให้ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีกำลังปานกลางและกำลังสูง มีค่าความแปรปรวนของผลทดสอบมาเพราะ มีปัจจัยหลายอย่างจากการ Capping ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ได้แก่ ความสมบูรณ์ของการ Capping ความหนาแน่นที่สุดของการเคลือบปลายตัวอย่าง และที่สำคัญคือกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบ

6) จากข้อ 5 จะเห็นได้ว่าเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้นให้ค่าความแปรปรวนของการทดสอบค่า ซึ่งเครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ใช้วัสดุในท้องถิ่น โดยเฉพาะใบเจียร ซึ่งแตกต่างจากเครื่องนำเข้าซึ่งใช้ใบเจียรจากเพชร ที่มี

ราคาแพง ประมาณหลายพันบาทต่อใบ จากผลการทดลองใช้งานจริงพบว่าใบเจียรที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีราคาถูกกว่ามาก และใช้งานได้ประมาณ 200 ตัวอย่างต่อหนึ่งใบเจียร และราคาของเครื่องยังต่ำกว่าเครื่องมือที่นำเข้าจากต่างประเทศหลายแสนบาทด้วย

7. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ได้ประดิษฐ์เครื่องเจียรปลายตัวอย่างโดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตกับการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยก้านะดัน ซึ่งเปรียบเทียบการเคลือบปลายตัวอย่างด้วยวิธีต่างๆ ในช่วงกำลังอัดที่ 200 ksc., 300 ksc., 400 ksc. และ คอนกรีตกำลังสูง (800 ksc) จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถผลิตในต้นทุนที่ต่ำกว่า การนำเข้าเครื่องมือเจียรปลายตัวอย่างคอนกรีตจากต่างประเทศหลายแสนบาท
2. เครื่องเจียรปลายตัวอย่างสามารถผลิตโดยใช้ฝีมือแรงงานและวัสดุในท้องถิ่นได้
3. การเคลือบตัวอย่างด้วยการเคลือบปลายด้วยก้านะดันมีสิ้นประสิทธิผลความแปรปรวนสูงกว่าการเคลือบปลายด้วยโพลีเอทิลีน เครื่องเจียรปลายตัวอย่างที่ประดิษฐ์ขึ้นในทุกช่วงกำลังอัด โดยเฉพาะ คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดปานกลางและ คอนกรีตกำลังรับแรงอัดสูง
4. สำหรับคอนกรีตกำลังต่ำการเจียรปลายตัวอย่างและการเคลือบปลายด้วยก้านะดันให้ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตใกล้เคียงกัน
5. การเคลือบปลายด้วยก้านะดันไม่เหมาะสมที่จะใช้กับคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงปานกลางและกำลังรับแรงอัดสูง เนื่องจากมีข้อจำกัดของกำลังรับแรงอัดของก้านะดันที่ต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ดังนั้นจึงควรใช้การเจียรปลายด้วยคอนกรีตแทน

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนา

อุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สทว.-สทว.) ประจำปี 2550 และ
ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้บริหาร สำนักงาน
กองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป
ขอขอบคุณ ผศ.ก. ไชยธีรารังสิตการ โยธา

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTM C617-98 *Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens.*
- [2] ASTM C192/C192M-05 *Standard practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.*
- [3] ASTM C39/C39-05 *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.*

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเอชัน ยูโซะ
วัน เดือน ปีเกิด	1 มีนาคม 2519 จังหวัดนราธิวาส
ที่อยู่	120 ซอยโต๊ะกอดอ ตำบลบางนาค อำเภอเมืองนราธิวาส จังหวัดนราธิวาส 96000
ประวัติการศึกษา	2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2547 – 2548	ตำแหน่งโฟร์แมน ผู้ควบคุมงาน บริษัท ยูนิค เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด
พ.ศ. 2548 – 2551	ตำแหน่งโฟร์แมน ฝ่ายผลิต บริษัท ชูจักรก่อสร้าง จำกัด
พ.ศ. 2548 – 2552	ตำแหน่งผู้วิจัย บริษัท สเปน คอนซัลแตนท์ จำกัด