



โครงการพิเศษ

การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในคอนกรีตโดยใช้กากเตาหลอมเหล็ก

USING GROUND GRANULAR BLAST FURNACE SLAG TO SUBSTITUTE
PORTLAND CEMENT IN CONCRETE MIXED DESIGN

นายเกียรติวัฒน์ ภัทรสุวรรณกุล 86014042

นายณัฐพงศ์ หรีอินดา 86014217

นายสรดล กิริติพงษ์วุฒิ 86014466

วัน เดือน ปี.....-2.คค 2541
เลขทะเบียน.....038455
เลขเรียกหนังสือ.....T ๑๑๕๖๕๑๒๕๓

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038455

**USING GROUND GRANULAR BLAST FURNACE SLAG TO SUBSTITUTE
PORTLAND CEMENT IN CONCRETE MIXED DESIGN**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อทำโครงการพิเศษ การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในคอนกรีต โดยใช้กากเตาหลอมเหล็ก

using ground granular blast furnace slag to substitute portland cement in concrete mixed design

นักศึกษา

นายเกียรติวัฒน์ ภัทรสุวรรณกุล รหัสประจำตัว 36014042

นายณัฐพงศ์ หรีจันดา รหัสประจำตัว 36014217

นายสรคด กิรติพงษ์วุฒิ รหัสประจำตัว 36014466

หลักสูตร

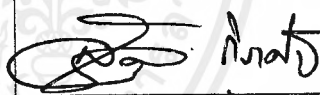

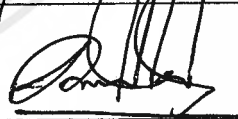
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา

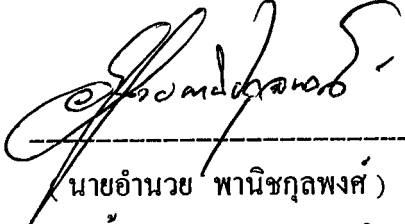
วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล	
อาจารย์ คมสัน มาลีสี	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(นายอำนวยการ พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชา วิศวกรรมโยธา

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในคอนกรีตโดยใช้กากเตาหลอมเหล็ก
 USING GROUND GRANULAR BLAST FURNACE SLAG TO SUBSTITUTE
 PORTLAND CEMENT IN CONCRETE MIXED DESIGN

โดย	นายเกียรติวัฒน์	ภัทรสุวรรณกุล
	นายฉัฐพงศ์	หรีจันดา
	นายสรตล	กิตติพงษ์วุฒิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุวัฒน์	ฉัตรเศรษฐ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาหาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของคอนกรีตอันได้แก่ คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด , แรงดึง , แรงดัด และแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของ กากเตาหลอมเหล็กและทำการเปรียบเทียบค่าการรับกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของกากเตาหลอมเหล็ก กับค่าการรับกำลังของคอนกรีตที่ผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

จากการทดสอบทางกลศาสตร์ของคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยกากเตาหลอมเหล็กด้วยอัตราส่วนแทนที่ต่างๆ โดยน้ำหนักและที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆกัน คอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยกากเตาหลอมเหล็ก25%มีค่าการรับกำลังดีที่สุด และคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานสูงจะมีการพัฒนากำลังได้เร็วกว่า

ABSTRACT

This special project study about mechanical properties of slag cement concrete . Compressive, Tensile, Flexural and Bonding strength are tested in order to compare slag cement concrete with portland cement concrete .

Testing slag cement concrete at various replacement and water/cementitious ratio .The greatest strengths are found with blends of 25 % slag and the higher water/cementitious ratio giving the faster the development of strength .

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ อาจารย์ สุวัฒน์ ภิรเศรษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และ เสนอแนะแนวทางในการทำโครงการพิเศษ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขเนื้อหาในหนังสือโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วง และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ได้แก่ อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล และ อาจารย์ कमสัน มาลีสี ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไข โครงการพิเศษนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

คณะจัดทำโครงการพิเศษขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้การช่วยเหลือแนะนำขณะทำการทดลองในโครงการพิเศษ

และขอขอบคุณ คุณทองศักดิ์ วงศ์อุทัย บริษัท เเรคมีกซ์ไพโอเนียร์ จำกัด ที่ช่วยอนุเคราะห์สารตัวอย่างกากเตาหลอมเหล็กในการผสมคอนกรีต

นายเกียรติวัฒน์ ภัทรสุวรรณกุล

นายณัฐพงศ์ หรีจันดา

นายสรดล กิริติพงษ์วุฒิ

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ขอบข่ายของการวิจัยในอดีต	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	3
1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ความรู้พื้นฐานของวัสดุที่ทำการวิจัย	4
2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	4
2.2.2 กากเตาหลอมเหล็ก	4
2.3 องค์ประกอบทางเคมี	6
2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง ซีเมนต์และ GGBS	8
2.5 ปฏิกริยาทางเคมี	10
2.6 ประโยชน์จากการใช้กากเตาหลอมเหล็กผสมในคอนกรีต	12
บทที่ 3 ปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวิจัยและวิธีการทดสอบวิจัย	13
3.1 กล่าวนำ	13
3.2 วัสดุที่ใช้ในโครงการ	13
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	13
3.4 ปริมาณวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	21

	หน้า
3.5 วิธีการทดสอบวิจัย	25
3.5.1 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)	25
3.5.2 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength)	29
3.5.3 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)	33
3.5.4 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (Bonding Strength)	36
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์	41
4.1 กล่าวนำ	41
4.2 ผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัด	41
4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด	61
4.4 ผลการทดสอบกำลังการรับแรงดัด	63
4.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด	70
4.6 ผลการทดสอบกำลังการรับแรงดึง	71
4.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง	78
4.8 ผลการทดสอบกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยว	79
4.9 วิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยว	86
4.10 วิเคราะห์โดยสรุป	87
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะ	88
5.1 กล่าวนำ	88
5.2 สรุปผลการทดสอบ	88
5.3 บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะ	89
ภาคผนวก ก	90
ภาคผนวก ข	93
ภาคผนวก ค	98
เอกสารอ้างอิง	106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	6
2.2	สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	7
2.3	องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และกากเตาหลอมเหล็ก	8
2.4	ลักษณะทางกายภาพของปูนซีเมนต์ และกากเตาหลอมเหล็ก	9
2.5	การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากเตาหลอมเหล็ก และกากเตาหลอมเหล็กที่ได้จากการวิเคราะห์	9
2.6	การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของกากเตาหลอมเหล็ก และกากเตาหลอมเหล็กที่ได้จากการวิเคราะห์	10
4.2.1-4.2.12	ค่ากำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสมที่เวลา 7 , 14 และ 28 วัน	42
4.2.13	แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมเปรียบเทียบกับค่า $W/(C+S)$	54
4.2.14-4.2.16	แสดงเปอร์เซ็นต์กำลังอัดของคอนกรีตผสมเทียบกับคอนกรีตล้วน	55
4.2.17-4.2.19	แสดงเปอร์เซ็นต์พัฒนากำลังของคอนกรีตที่ออกแบบกำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ	56
4.4.1-4.4.3	แสดงค่ากำลังรับแรงคดของตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสม	64
4.4.4	แสดงค่าความเค้นคดบ่มที่ 28 วันที่กำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ	67
4.4.5	เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงคดของคอนกรีตผสมกับคอนกรีตล้วน	67
4.6.1-4.6.3	แสดงค่ากำลังรับแรงดึงของตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสม	71
4.6.4	แสดงค่ากำลังรับแรงดึงที่ 28 วันที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมเชื่อมประสานต่าง ๆ	75
4.6.5	แสดงค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมกากเตาหลอมเหล็กเปรียบเทียบกับคอนกรีตล้วน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่าง ๆ	75
4.8.1-4.8.3	แสดงค่ากำลังของการรับแรงยึดเหนี่ยว ของตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสม	80
4.8.4	แสดงค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวที่ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่าง ๆ	83

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
3.1	เครื่องทดสอบกำลังคอนกรีต (UTM)	14
3.2	เครื่องมือสำหรับผสมคอนกรีต	15
3.3	แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ	15
3.4	เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 มม. สำหรับทดสอบแรงยึดเหนี่ยว	16
3.5	อุปกรณ์สำหรับหล่อหัว-ท้ายของตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก	16
3.6	การจัดเตรียมเตรียมปูนซีเมนต์และกากเตาหลอมเหล็ก	17
3.7	การผสมคอนกรีตด้วยเครื่องมือคอนกรีต	17
3.8	ตัวอย่างคอนกรีตทดสอบขณะอยู่ในแบบหล่อ	18
3.9	ตัวอย่างทดสอบหลังจากถอดแบบ	19
3.10	การบ่มตัวอย่างทดสอบในบ่อบ่ม	19
3.11	การชั่งตัวอย่างทดสอบ	20
3.12	การทดสอบกำลังรับแรงอัด	28
3.13	สภาพตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบการรับแรงอัด	29
3.14	การทดสอบกำลังรับแรงคด	32
3.15	สภาพตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบการรับแรงคด	32
3.16	การทดสอบกำลังรับแรงดึง	35
3.17	สภาพตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบการรับแรงดึง	35
3.18	การทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยว	39
3.19	สภาพตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบการรับแรงยึดเหนี่ยว	40
4.2.1	กราฟเส้นแสดงการพัฒนา กำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ออกแบบส่วนค่าการรับกำลัง 200 KSC	59
4.2.2	กราฟเส้นแสดงการพัฒนา กำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ออกแบบส่วนค่าการรับกำลัง 250 KSC	59
4.2.3	กราฟเส้นแสดงการพัฒนา กำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ออกแบบส่วนค่าการรับกำลัง 300 KSC	59
4.2.4	กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมกากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ที่ 7 วัน	60

รูปที่		หน้า
4.2.5	กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมกากเตา หลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ที่ 14 วัน	60
4.2.6	กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมกากเตา หลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ที่ 28 วัน	60
4.4.1	กราฟเส้นแสดงค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมกากเตา หลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก	68
4.4.2	กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังการรับแรงดัดของคอนกรีตผสม กากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ	69
4.6.1	กราฟเส้นแสดงค่ากำลังการรับแรงดึงของคอนกรีตผสมกากเตา หลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก	76
4.6.2	กราฟแท่งเปรียบเทียบค่ากำลังการรับแรงดึงของคอนกรีตผสมกาก เตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก	76
4.8.1	กราฟเส้นแสดงค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม กากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก	84
4.8.2	กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต ผสมกากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

Ground Granular Blast Furnace slag (GGBS) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By-Product) จากขบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาหลอม Slagที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากการรวมตัวของคัลเซียม ออกไซด์จากหินปูนกับซิลิกอนและอลูมินาจากแท่งเหล็กและถ่านโค้ก

มีการใช้ GGBS เป็นวัสดุเชื่อมประสานตั้งแต่ปี 1774 เมื่อ Lorient(13) ทำมอร์ตาร์โดยใช้ GGBS ผสมกับ lime ในปี 1862 Emil Langen(13) ได้เสนอวิธีการผลิตกากเตาหลอมจากเตาหลอมโลหะ ต่อมาเมื่อผลึกของ GGBS ได้ถูกตรวจสอบขึ้นโดย Michaelis , Prussing , Tetmayer , Prost , Feret และ Green (13)

Pasow(13) ผู้ซึ่งเสนอขบวนการ air granulation ได้มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเตาหลอมเหล็กเพื่อใช้เป็น hydraulic binder ในการพิจารณาเตาหลอมทำให้มีผลในทางเศรษฐศาสตร์ มีการใช้ Slag-lime Cement ครั้งแรกใน Germany ในปี 1865 ในประเทศฝรั่งเศส Slag cement ได้ใช้ครั้งแรกในปี 1889 ในงานก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนใต้ดิน ปัจจุบันมีการใช้ GGBS Slag ในการผลิตซีเมนต์ผสม มีค่าประมาณ 20 % ของการผลิตซีเมนต์ทั้งหมดในยุโรป

บันทึกข้อมูลการผลิต Portland Blast Furnace Slag Cement ครั้งแรกนั้นอยู่ในประเทศ Germany ในปี 1892 การผลิตครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาคือปี 1896 จนกระทั่งปี 1950 GGBS ได้ใช้ร่วมกับ Portland Cement ในลักษณะ Cementitious material ในวิธีการ 2 แบบ

- 1). แบบผลิตบดรวมกับ Portland Cement
- 2). แบบที่ใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์, ยิบซั่ม

ตั้งแต่ในปลายทศวรรษ 1950 การใช้ GGBS เป็นวัสดุเชื่อมประสานผสมใน Portland Cement Concrete ได้รับการยอมรับมากขึ้นในแอฟริกาใต้, ออสเตรเลีย, อังกฤษ, ญี่ปุ่น, แคนาดา และ อเมริกา การบดแยกกันของ GGBS และ Portland Cement มีข้อดี 2 ข้อคือ

- 1). วัสดุแต่ละชนิดสามารถบดได้ที่ความละเอียดที่เหมาะสม
- 2). อัตราส่วนสามารถจะปรับได้ โดยวัสดุทั้งสองจะผสมรวมกันในเครื่องผสมตาม

อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

GGBS ประกอบด้วยสารประกอบหลักคือซิลิกา, อลูมินา, แคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ GGBS จึงเป็นวัสดุที่นิยมใช้สำหรับเป็นวัสดุ cementitious แทนที่ปูนซีเมนต์ เนื่องจากช่วยทำให้คุณภาพของคอนกรีตดีขึ้น เช่น ช่วยทำให้ความร้อนจากปฏิกิริยาต่ำ ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานที่มีปัญหาแตกร้าวเนื่องจากความร้อน , ช่วยเพิ่มความทนทานต่อซัลเฟต , ลดปฏิกิริยา Alkali - Aggregate Reaction , ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น , มีความต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ดียิ่งขึ้น , เพิ่มกำลังอัดและกำลังคัดเป็นต้น

อีกประการหนึ่งในอนาคตงานก่อสร้างจะเจริญเติบโตสูง ความต้องการใช้ปูนซีเมนต์จะเพิ่มมากขึ้น การใช้ GGBS เป็นวัสดุ cementitious จะช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลง ช่วยให้ใช้ปูนซีเมนต์อย่างมีประสิทธิภาพ และได้คอนกรีตที่มีราคาถูกลง

1.2 ข้อสรุปของการวิจัยในอดีต

L.J. Murdock , K.M.Brook , J.D Dewar (13) ได้ร่วมทำการศึกษาโดยใช้ GGBS 30 - 85 % แทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต พบว่าการใช้ GGBS 65 % ประสบความสำเร็จมากในการใช้งานโครงสร้างคอนกรีต ในการใช้ GGBS ผสมมากกว่า 70 % ทำให้คอนกรีตมีประสิทธิภาพในการต้านทาน SULPHATE ดียิ่งขึ้น GGBS ได้ถูกนำไปใช้ในงานสะพาน งานโครงสร้างหลัก ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศอังกฤษ

Heikki Hukko , Risto Mannonen (9) ทำการใช้ GGBS ผสมกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และใส่สารเคมีผสมเพิ่ม รวมเรียกว่า F - cement ซึ่ง F - cement นี้ได้ให้ผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจ มีความสามารถในการเทสูง ถึงแม้ว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะมีค่าต่ำ การพัฒนากำลังขึ้นอยู่กับการบ่ม และ อุณหภูมิ คุณสมบัติที่ดีคือช่วยต่อต้านซัลเฟต มีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำ GGBS อาจผสมได้ในปริมาณที่สูงถึง 80 % ค่าอัตราส่วนของค่าการรับกำลังการคัดต่อ ค่าการรับกำลังการอัดของคอนกรีตที่ผสม GGBS ใกล้เคียงหรือมีค่าสูงกว่าของคอนกรีตล้วนเล็กน้อย

Hogan , Meusel (13) ได้ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วน GGBS ผสมในอัตราส่วน 30 , 40 ,50 % ของวัสดุที่เป็นตัวเชื่อมประสาน เขาได้ทดลองว่า ค่าการผสมที่เหมาะสมคือ 40 % ซึ่งจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานแตกต่างกัน ค่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมก็จะแตกต่างกันด้วย ค่ากำลังรับแรงอัดจะแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนผสมเปลี่ยนไปในอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเดียวกัน

V.M. Mahotra (5) ได้ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน 0.30-0.65 และใช้อัตราส่วนของ GGBS 25 - 65 % by weight ทุกส่วนผสมใช้สารกักกระจายฟองอากาศและบางส่วนใช้สารลดปริมาณน้ำใส่เพิ่มเข้าไปด้วย ใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด 102*203 มม..

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึง ใ้ตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปคานขนาด $89 \times 102 \times 406$ มม. สำหรับการทดสอบค่ากำลังการรับแรงคดโดยไม่คำนึงถึงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน ค่าการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตล้วนจะมีค่าสูงกว่าคอนกรีตที่ผสม GGBS ที่ 14 วันค่ากำลังต้านทานแรงคดของคอนกรีต มีค่าตั้งแต่ 42 -60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.56 ที่ 0.46 และ 0.56 ค่ากำลังรับแรงคดมีค่าใกล้เคียงมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าคอนกรีตล้วน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.38 คอนกรีตที่ผสม GGBS 65% ทั้งที่ผสมสารกักกระจายฟองอากาศ และ ทั้งที่ผสมสารกักกระจายฟองอากาศรวมกับสารลดปริมาณน้ำมีค่ากำลังต่ำกว่าคอนกรีตล้วน 20 %

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.3.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของคอนกรีตผสมในอัตราส่วนต่างๆ กับความแข็งแรงของคอนกรีตล้วน

1.3.2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ GGBS ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ ในส่วนผสมคอนกรีตว่ามีอัตรา ส่วนเท่าไรจึงจะทำให้มีความแข็งแรงมากที่สุดในการออกแบบกำลังของคอนกรีตแต่ละค่า

1.3.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติและข้อดีข้อเสียของคอนกรีตผสม GGBS

1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของคอนกรีตที่ผสม GGBS โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 , 14 และ 28 วัน และทดสอบกำลังรับแรงคด,แรงดึง และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ 28 วัน ทำการออกแบบค่าการรับกำลังไว้ 3 ค่าคือ 200 KSC , 250 KSC และ 300 KSC และทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS ในคอนกรีตด้วยอัตราส่วนแทนที่ 0 % 25 % , 50 % และ 75 % โดยน้ำหนัก

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์:GGBS

ในค่าการรับกำลังของการออกแบบแต่ละค่า โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติทางกลศาสตร์

1.5.2 ทำให้ทราบการพัฒนาำลังของคอนกรีตที่ผสม GGBS ในอัตราส่วนต่างๆเปรียบเทียบกับคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 %

1.5.3 เพื่อเป็นข้อมูลที่จะมีการนำไปใช้ประโยชน์หรืออ้างอิงได้ในการวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 กล่าวนำ

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่สำคัญในงานก่อสร้าง ปัจจุบันการศึกษาวัสดุศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีต ได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากโดยมีการวิจัย และพัฒนา วัสดุผสมคอนกรีต ซึ่งวัตถุประสงค์คือ ต้องการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตให้ดีขึ้น ทั้งคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว เช่น ความสามารถในการเทได้ และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เช่น กำลังอัด กำลังดึง ที่สำคัญคือ ต้องการได้คอนกรีตที่มีราคาเหมาะสมด้วย การใช้กากเตาหลอมเหล็ก(Ground Granular Blast Furnace Slag) ซึ่งเป็นของเหลือ(By-Product) นำมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีต นอกจากได้ประโยชน์โดยตรง คือปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นแล้ว ยังได้ประโยชน์ทางอ้อมคือเป็นการนำของเสีย(waste)มาใช้ ซึ่งจะช่วยขจัดปัญหาเรื่องมลภาวะด้วยคั้งนั้นผู้ท้าววิจัยจึงได้ทำการศึกษาว่ากากเตาหลอมเหล็กมีผลอย่างไรต่อคอนกรีตเพื่อนำมาเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ คุณสมบัติที่ได้เป็นอย่างไร โดยในบทนี้จะกล่าวถึง คุณสมบัติทางด้านกายภาพและคุณสมบัติทางด้านเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และ GGBS

2.2 ความรู้พื้นฐานของวัสดุที่ทำการวิจัย

2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลผลิตที่เกิดจากการเผาส่วน ผสมต่างๆจนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอะลูมิเนียมซิลิเกต

วัตถุดิบที่สำคัญซึ่งใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่หนึ่งให้ธาตุซิลิเคียม ได้แก่ หินปูน ดินสอพอง ดินปูนขาว ประเภทที่สองให้ธาตุซิลิกาและอะลูมินา ได้แก่ หินเชล ดินเหนียว หินชนวน

2.2.2 กากเตาหลอมเหล็ก (Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBS))

กากเตาหลอมเหล็กได้จากการหลอมเหล็ก โดยนำการเตาหลอมที่ลอยอยู่ส่วนบนผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิโดยใช้หัวฉีดน้ำที่มีความดันสูงทำการฉีดน้ำลงไป โดยใช้ปริมาณน้ำเป็น 10 เท่าของปริมาณกากเตาหลอมที่ไหลเข้าเพื่อลดอุณหภูมิจาก 1500 C ให้ลดลงน้อยกว่า 100 C

หลังจากการพ่นน้ำเข้าไปแล้วกากเตาหลอมที่หลอมละลายจะแปรสภาพเป็นผลึก ผ่านผลึกเข้าไปยังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Agitating tank เพื่อรวมกากเตาหลอมและควบแน่นไอน้ำ หลังจากนั้นจะผ่านขบวนการระเหยน้ำ ออกซึ่งน้ำในตอนแรกจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 40 C จะนำไปผ่าน Cooling tower เพื่อลดอุณหภูมิน้ำให้ เป็น 28 C เพื่อจะนำน้ำนั้นกลับมาใช้อีก กากเตาหลอมที่แห้งแล้วถูกนำไปใส่ยัง Hopper จากนั้น อาจนำไปเก็บไว้ใน Silo เพื่อผ่านกระบวนการทำให้แห้งอีกครั้ง และจะนำไปบดละเอียดโดยใช้ ขบวนการเหมือนกับการบดปูนซีเมนต์โดย Clinker

อีกขบวนการหนึ่งเรียกว่า air granulation กากเตาหลอมจะผ่านไปบน Plate ที่มีการสั่น ที่ ซึ่งกากเตาหลอมเหลวจะขยายตัวและเย็นลงโดยการฉีดน้ำ ต่อมาจะผ่านกากเตาหลอมไปยัง rotating finned drum ซึ่งจะกระจายกากเตาหลอมไปในอากาศทำให้กากเตาหลอมกลายเป็นเม็ดกลมๆ เล็กๆ ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ได้ส่วนผสมของแก้วสูง และสามารถใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานได้ ในอนุภาคที่มี ขนาดใหญ่ อาจใช้เป็นมวลรวมที่มี น้ำหนักเบา

เนื่องจากวัสดุเชื่อมประสานเป็นสารที่เป็นโลหะ จึงมีการใช้แม่เหล็กทำการดูด metallic iron ที่มีอยู่ในกากเตาหลอมก่อนการบดและหลังการบด

โดยทั่วไปแล้วกากเตาหลอมเหล็กจะถูกบดให้มีความละเอียดเกินค่าความละเอียดของพอร์ต แลนด์ซีเมนต์ คือที่ความละเอียดมากกว่า 3500 cm^2/g เพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น ในช่วงแรก

กากเตาหลอมประกอบด้วย ซิลิกาและอะลูมินา ซึ่งได้จากแร่เหล็กส่วนคัลเซียมและ แมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งได้จาก fluxing stone ความสามารถในการเป็นตัวเชื่อมประสานของ Slag ขึ้นอยู่กับส่วนผสมและอัตราการเย็นตัวของกากเตาหลอม เพื่อให้มีคุณสมบัติทางซีเมนต์มากที่สุด ต้องรีบทำให้กากเตาหลอมที่มีสภาพหลอมเหลวเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วที่สุดหลังจากออกจากเตา หลอม การทำให้ Slag เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วมีผลทำให้ขนาดผลึกเล็กลง และเปลี่ยนแปลงกากเตา หลอมที่อยู่ในสภาพหลอมเหลวให้มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดยิ่งขึ้น (โดยปกติเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4) ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้เรียกว่า GGBS การเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วทำให้ Slag จับตัวเป็นก้อนทำให้เป็นผลเสียต่อ คุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน ในเตาหลอมที่มีเทคโนโลยีทันสมัยจะมีค่าแปรเปลี่ยนในองค์ ประกอบของเหล็กและกากเตาหลอมที่ต่ำมาก คุณภาพของเหล็กที่ได้จะสัมพันธ์กับองค์ประกอบ ทางเคมีของน้ำเหล็ก และองค์ประกอบทางเคมีของ slag ดังนั้นในการควบคุมคุณภาพของเหล็กที่ หลอมผู้ผลิตจะทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของ slag อยู่ตลอดเวลา

ได้กล่าวการใช้ GGBS จะเพิ่มขึ้นในอนาคตเพราะปัจจุบันค่าใช้จ่ายในการผลิตและการใช้ จ่ายค่านพลังงานในการผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ได้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ

ในต่างประเทศมีการใช้ Blast Furnace Slag Cement กันอย่างแพร่หลาย โดยสามารถแบ่ง ตามมาตรฐาน ASTM ได้ดังนี้

1. Type I (SM) มีปริมาณ GGBS ผสมอยู่น้อยกว่า 25 % ของน้ำหนักทั้งหมด
2. Type IS มีปริมาณ GGBS ผสมอยู่ 25-75 %
3. Type S มีปริมาณ GGBS ผสมอยู่มากกว่า 75 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น-ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งข้อกำหนดนี้ก็อนุญาตให้มีการใช้ซีเมนต์ที่ได้จากขบวนการบด GGBS รวมกันกับ Portland Cement หรือ ซีเมนต์ที่ได้จากการบดแยกกัน และนำมาผสมกันเมื่อต้องการใช้งาน

2.3 องค์ประกอบทางเคมี

2.3.1 ออกไซด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์หลักได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90 % ของน้ำหนักซีเมนต์

ออกไซด์รองได้แก่ MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 และซัลเฟอร์

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60-70
SiO_2	17-25
Al_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0.5-6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1-5.5
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	0.5-1.3
TiO_2	0.1-0.4
P_2O_5	0.1-0.2
SO_3	1-3

ที่มา จากตารางที่ 2.2 Concrete Technology ชีวาลย์ เศรษฐบุตร

2.3.2 สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เมื่อนำส่วนผสมของปูนซีเมนต์แล้วออกไซด์ของธาตุซิลิเนียมซิลิกาอลูมิเนียมและเหล็ก จะทำปฏิกิริยารวมตัวกันได้สารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ดังตัวอย่างในตาราง

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต (Tricalcium silicate)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียม ซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียม อลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Alumiferite)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

ที่มา จากตารางที่ 2.3 Concrete Technology ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร

2.3.3 คุณสมบัติของสารประกอบ

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) C_3S เป็นสารประกอบ ที่มีรูปร่างเป็นผลึกหกเหลี่ยมมีสีเทาเข้ม จะทำให้ปูนซีเมนต์รับกำลังได้เร็ว จะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก ให้กำลังสูง การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_3S จะถูกกระทบโดยปริมาณยิบซั่ม โดยยิบซั่มจะช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ช้าลง และทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีสภาพพลาสติกมากขึ้น ปริมาณ C_3S ในปูนซีเมนต์มีประมาณ 35-55% แต่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้ความร้อนต่ำจะมีประมาณ C_3S น้อยกว่า 35 %

ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) C_2S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลมโดย C_2S มีอยู่หลายรูปแบบ มีเพียง $\beta\text{C}_2\text{S}$ เท่านั้นที่อยู่ตัว มีคุณสมบัติการยึดเกาะ เมื่อผสมน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปล่อยความร้อน 250 จูล ต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S ปริมาณ C_2S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีค่าประมาณ 15-35%

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) C_3A เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม สีเทาอ่อน เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดความร้อนจำนวนมาก ประมาณ 850 จูลต่อกรัม กำลังอัดค่อนข้างต่ำมีประโยชน์คือช่วยเร่งปฏิกิริยาไตรแคลเซียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมี C_3A อยู่ในปริมาณ 7-15%

เตตราคลอไรด์อะลูมิเนียม (C₄AF) C₄AF ทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมาก และก่อตัวในไม่ช้าที่ความร้อนที่เกิดขึ้นประมาณ 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C₄AF ก่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C₄AF อยู่ในปริมาณ 5-10%

2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และ กากเตาหลอม

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์และ GGBS

ออกไซด์	% โดยน้ำหนัก	
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ TYPE 1	GGBS
Si ₂ O	20	37
Al ₂ O ₃	5	11
Fe ₂ O ₃	3	0.3
CaO	65	40
MgO	1.1	7
SO ₃	2.4	0.3
Na ₂ O	0.2	0.4
K ₂ O	0.9	0.7
ออกไซด์อื่น	1.4	2.3
Loss of ignition	1.0	-
insoluble residue	0.0	-

ที่มา จากตารางที่ 6.1 Concrete Technology ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร

ปูนซีเมนต์ที่มีปูนขาว (CaO) อยู่มาก จะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาการก่อตัวช้าแต่จะได้ปูนซีเมนต์ที่มีกำลังสูงในระยะแรก ถ้าหากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดความไม่คงตัวขึ้น

ปูนซีเมนต์ที่มี SiO₂ และ Al₂O₃ อยู่มากจะเป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังสูง แต่ปูนซีเมนต์ที่มี SiO₂ มากเพียงอย่างเดียว จะเป็นปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาการก่อตัวช้า ซึ่งตรงข้ามกับปูนซีเมนต์ที่มี Al₂O₃ มากซึ่งจะทำให้การก่อตัวเร็วขึ้น

ถ้ามีปริมาณของแมกนีเซียม MgO อยู่มากในส่วนผสมของปูนซีเมนต์จะทำให้เกิดความไม่คงตัว

ตารางที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพของปูนซีเมนต์และ GGBS

คุณสมบัติ	ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ประเภท 1	GGBS
ความละเอียด คร.ชม./กรัม	3400	3500
ความหนาแน่น กิโลกรัม/ลบ.ม	1400	1200
ความถ่วงจำเพาะ กรัม/ลบ.ชม.	3.15	2.9
สี	เทา	ขาว

ที่มา จากตารางที่ 6.2 Concrete Technology ชัยวัฒน์ เศรษฐบุตร

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของGGBS และ GGBS ที่ได้จากการวิเคราะห์

ออกไซด์	% โดยน้ำหนัก	
	GGBS *	GGBSที่ได้จากการวิเคราะห์ **
Si ₂ O	37	32.61
Al ₂ O ₃	11	14.75
Fe ₂ O ₃	0.3	0.39
CaO	40	42.57
MgO	7	6.39
SO ₃	0.3	1.99
Na ₂ O	0.4	0.3
K ₂ O	0.7	0.6
ออกไซด์อื่น	2.3	0.1
Loss of ignition	-	0.25
insoluble residue	-	0.51

* ที่มา จากตารางที่ 6.2 Concrete Technology ชัยวัฒน์ เศรษฐบุตร

** ที่มา การวิเคราะห์สารจาก กรมวิทยาศาสตร์ และบริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของ GGBS และ GGBSที่ได้จากการวิเคราะห์

คุณสมบัติ	GGBS *	GGBSจากการวิเคราะห์ **
ความละเอียด ตร.ซม./กรัม	3500	4395
ความหนาแน่น กิโลกรัม/ลบ.ม	1200	1180
ความถ่วงจำเพาะ กรัม/ลบ.ซม.	2.9	2.87
สี	ขาว	ขาว

* ที่มา จากตารางที่ 6.2 Concrete Technology ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร

** ที่มา การวิเคราะห์สารจาก กรมวิทยาศาสตร์ และบริการ

2.5 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

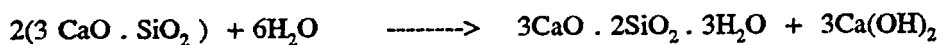
2.5.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) เป็นปฏิกิริยาหลักของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้เป็นสารเชื่อมประสานเพื่อพัฒนากำลังรับแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

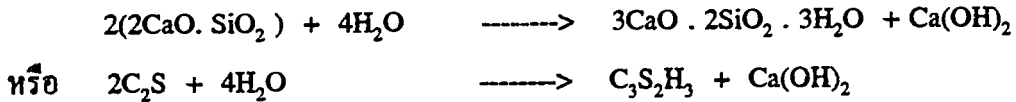
ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซิลิเกต (C₃S , C₂S)

ซิลิเกตจะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด Ca(OH)₂ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน

ไตรซิลิเกต



โคกัลเซียมซิลิเกต



ปฏิกิริยานี้จะดำเนินเรื่อยไป โดย CaO จะแยกตัวออกมาจากคัลเซียมซิลิเกต ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ไปเป็นคัลเซียมไฮดรอกไซด์ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ จนสารละลายนั้นอิ่มตัวด้วยคัลเซียมไฮดรอกไซด์ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ หรือสารประกอบคัลเซียมซิลิเกต ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ทำปฏิกิริยาไปจนหมดจากสารละลาย

สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันทั้ง 2 ส่วนคือ

1. คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, CSH) มีสูตรเคมีเป็น $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งเป็นสารเชื่อมประสาน

2. คัลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) คัลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระนี้สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีกถ้าหากมีธาตุที่เหมาะสมมาร่วมทำปฏิกิริยา $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมากคือมี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A จะเกิดขึ้นที่พื้นผิว ก่อให้เกิดการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์

ดังสมการ



เพื่อหน่วงปฏิกิริยาไม่ให้เกิดอย่างรวดเร็ว ซึ่งใส่ยิบซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เข้าไปในระหว่างขบวนการบดซีเมนต์ ยิบซัมจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดขึ้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C_3A ดังสมการ



ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_4AF นี้จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิบซัมและ

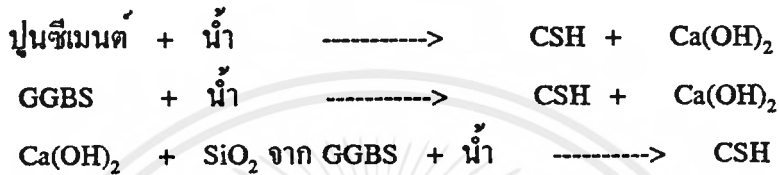
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ sulphoaluminate และ Sulphoferrite ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.5.2 ปฏิกริยาไฮเดรชันของ GGBS

เนื่องจาก GGBS มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีของ CaO เป็นจำนวนมาก ดังนั้นปฏิกริยาไฮเดรชันของ GGBS จะใกล้เคียงปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ทั่วไป แต่เกิดช้ากว่า หลังจากเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันแล้วจะเกิดปฏิกริยาระหว่าง SiO_2 ใน GGBS กับ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ จากปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์อีกครั้งตามสมการ



ปฏิกริยาไฮเดรชันของ GGBS อาจเร่งให้เร็วขึ้นโดยการบด GGBS ให้มีความละเอียดมากขึ้น

2.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ GGBS เป็นส่วนผสมของคอนกรีต

1. ปฏิกริยาของคอนกรีตที่ผสมกับ slag จะช้ากว่าคอนกรีตทั่วไป จึงทำให้ความร้อนจากปฏิกริยาดำ ทำให้เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานโครงสร้างที่มีปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน เช่น ฐานรากแผ่ขนาดใหญ่
2. คอนกรีตมีความทนทานต่อซัลเฟต น้ำทะเล และสารเคมีได้ดีซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในการก่อสร้าง สิ่งปลูกสร้างที่ต้องสัมผัสกับน้ำทะเล
3. ลดปฏิกริยา Alkali - Aggregate Reaction ในคอนกรีตที่ชื้นหินที่ทำปฏิกริยากับ Alkali ในปูนซีเมนต์
4. ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น มีความต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ดี (Low Permeability) ทำให้เหมาะที่จะใช้ในงานก่อสร้างสระน้ำ ดังเก็บน้ำ
5. เพิ่มกำลังรับแรงอัด และ กำลังดัด (Flexural Strength) ที่คอนกรีตอายุมากกว่า 28 วัน

ข้อคำนึงการใช้ GGBS

1. เวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่ผสมด้วย GGBS จะช้ากว่าคอนกรีตทั่วไป
2. กำลังอัดในช่วงต้นจะพัฒนาช้า และการบ่มจะมีผลอย่างมากต่อกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ปริมาณวัสดุ - อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวิจัย

และ

วิธีการทดสอบวิจัย

3.1 กล่าวนำ

ในการทำงานโครงการวิจัยได้มีการเตรียมปริมาณวัสดุที่ใช้ในโครงการงานวิจัยจากการออกแบบปฏิภาคส่วนผสม ส่วนอุปกรณ์และวิธีการทดสอบได้อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM

3.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งผลิตขึ้นโดยมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15-2514/2517 ประเภท 1 และมาตรฐานอเมริกัน ASTM C 150-71 Type 1 ซึ่งในการวิจัยนี้ ใช้ปูนตราช่างของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัดมหาชน ประมาณ 7 ถุง

2 กากเตาหลอม (GGBS) นำมาจากบริษัท เเรคติกไฟโอเนียร์ จำกัด บางละมุง ชลบุรี ซึ่งทางบริษัทได้ทำการบดอย่างดี และได้รับการวิเคราะห์สารประกอบจาก กรมวิทยาศาสตร์บริการ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติ และชนิดของกากเตาหลอม เพื่อสามารถกำหนดแนวทางที่ใช้ในการวิจัย จึงจะสามารถนำมาใช้งานได้

3 ทราช ทราชที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป มีลักษณะเป็นทรายหยาบ เม็ดอนุภาคมีเหลี่ยมมุม มีขนาดต่างๆ กันตั้งแต่หลายมิลลิเมตรจนถึงฝุ่นทรายก่อนนำไปใช้ จะผึ่งในร่มให้แห้งสนิทก่อน

4 หิน หินที่ใช้เป็นหินปูนขนาด 25 มิลลิเมตร ที่ใช้ในการก่อสร้าง

5 น้ำประปา

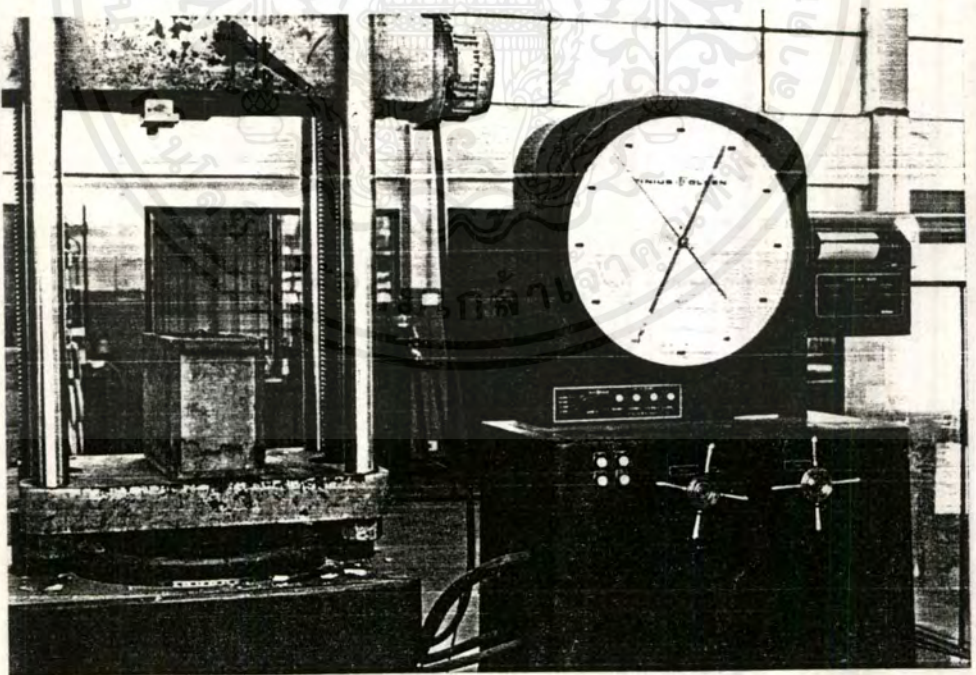
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวิจัย

1. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm. สูง 30 cm.

2. แบบหล่อคอนกรีตรูปลูกบาศก์ ขนาด 15 cm. x 15 cm. x 15 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงแปดเหลี่ยม ขนาด 15 cm. x 15 cm. x 60 cm.
4. น้ำมันทาแบบ
5. เครื่องไม้ผสมคอนกรีต
6. เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 16 mm. สำหรับกระทุ้งคอนกรีต
7. เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาวเส้นละ 1.00 เมตร จำนวน 36 เส้น สำหรับการทดสอบแรงยึดเหนี่ยว
8. พลั่วตักคอนกรีต
9. เครื่องเหล็ก , กิม และ ค้อน
10. กำมะถันผง และหม้อต้มสำหรับหล่อหัวท้ายแท่งคอนกรีต
11. เครื่องหล่อหวมก (Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
12. เครื่องทดสอบคอนกรีต (Universal Testing Machine)
(สำหรับรายการ 6-17 ใช้สำหรับเตรียมคอนกรีต และทดสอบ)
13. เครื่องร่อนและตะแกรงร่อนเบอร์ต่าง ๆ
14. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์
15. ถาดพลาสติกและถาดสังกะสี

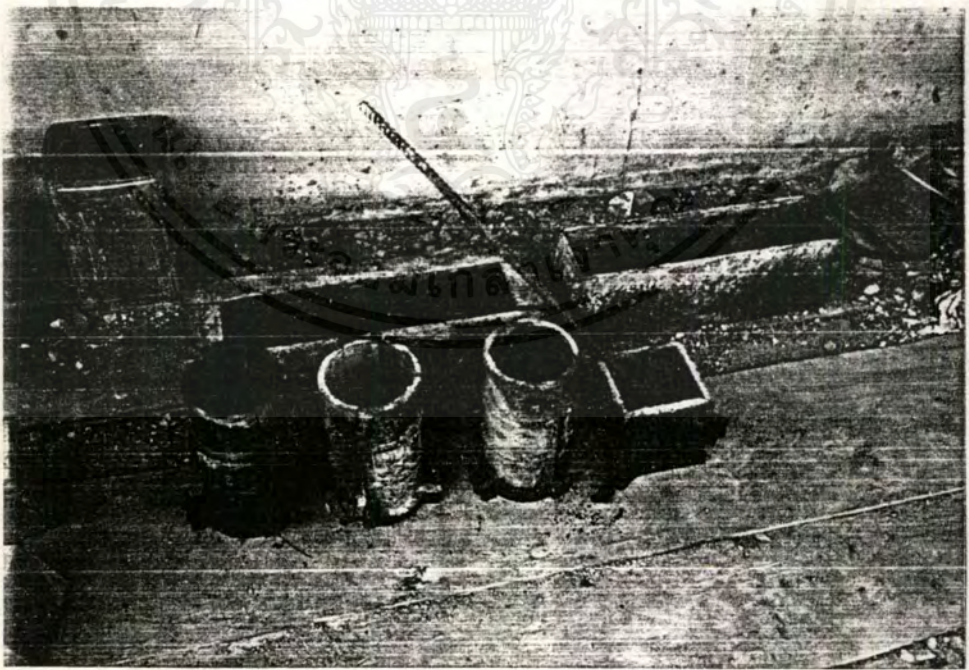


รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบกำลังคอนกรีต (UTM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

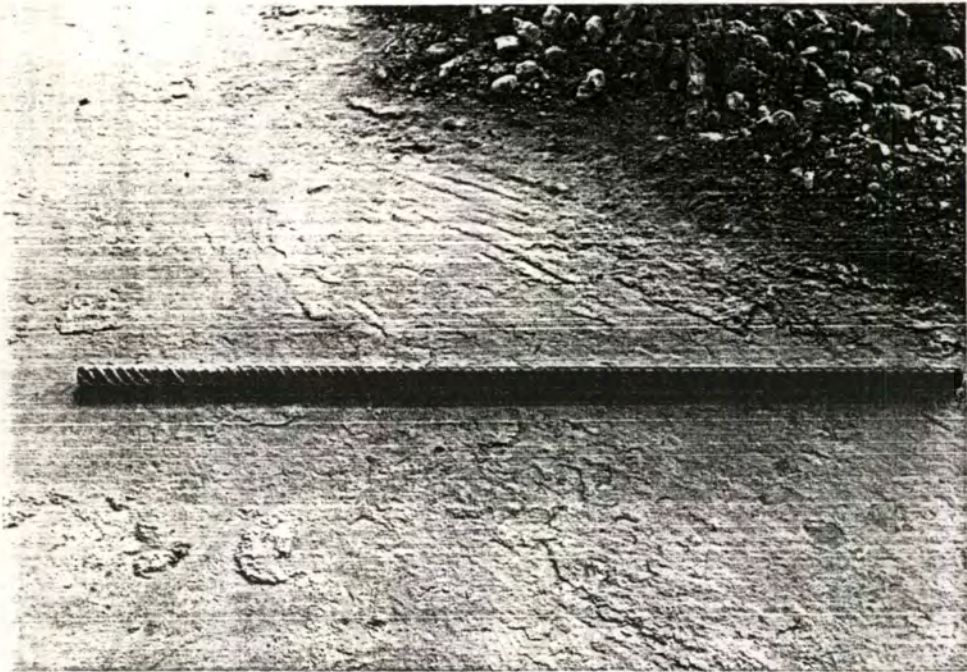


รูปที่ 3.2 เครื่องมือสำหรับผสมคอนกรีต

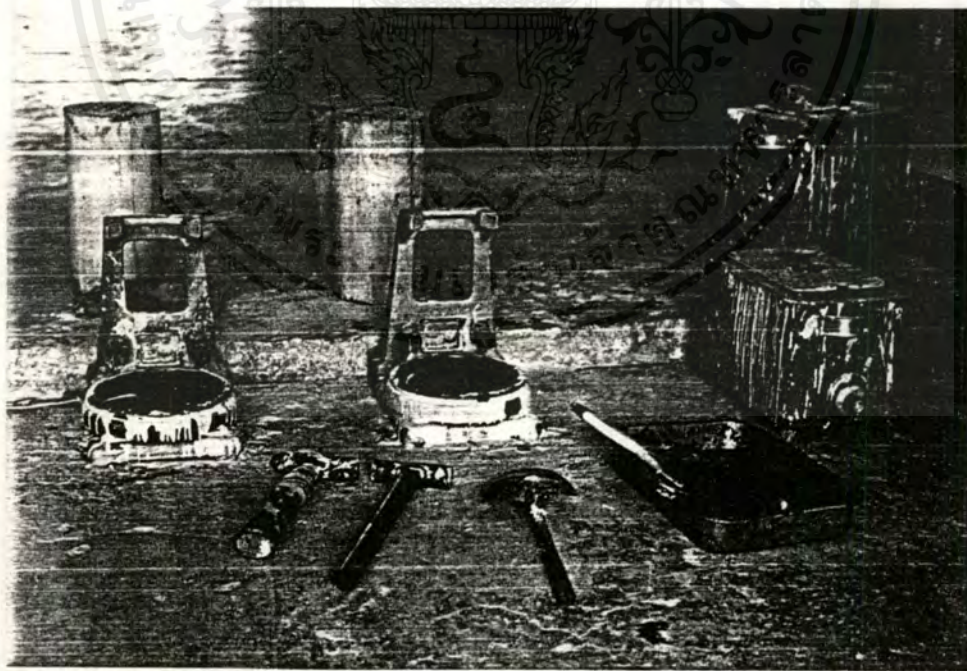


รูปที่ 3.3 แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

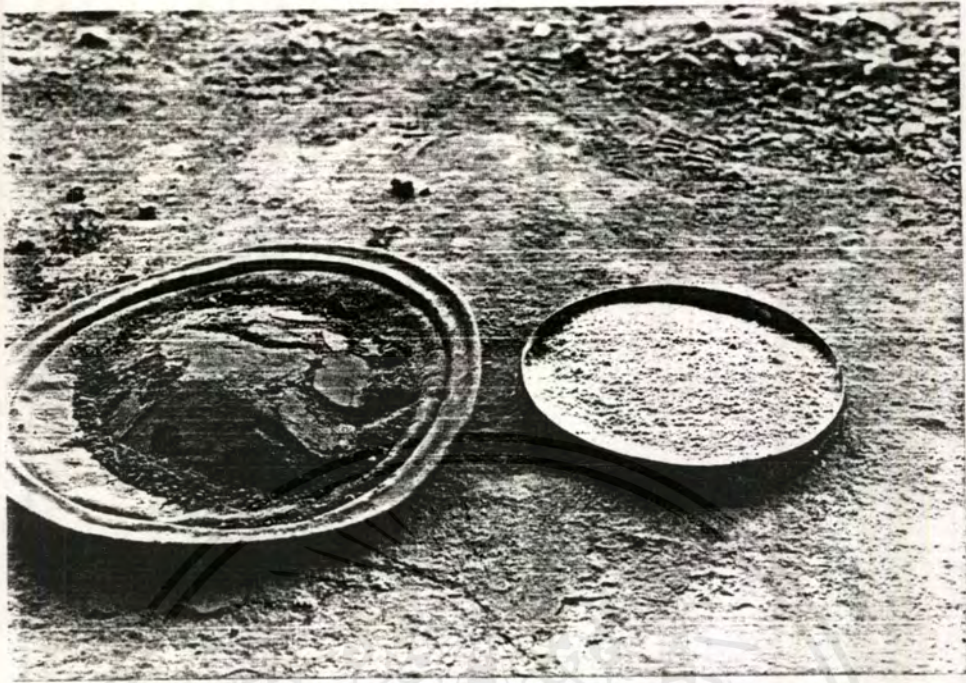


รูปที่ 3.4 เหล็กขอยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. สำหรับทดสอบแรงยึดเหนี่ยว



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์สำหรับหล่อหัว-ท้ายของตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การจัดเตรียมปูนซีเมนต์และกากเตาหลอมเหล็ก



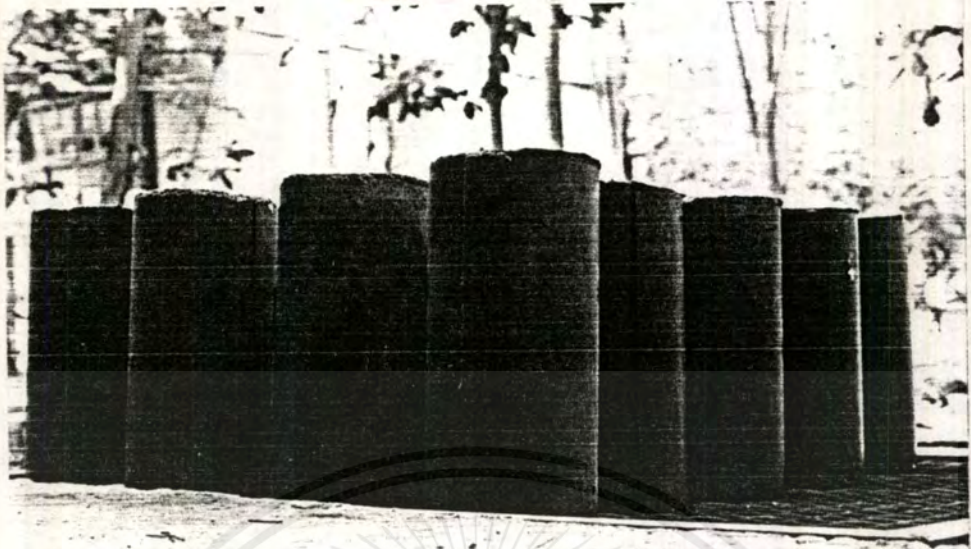
รูปที่ 3.7 การผสมคอนกรีตด้วยเครื่องโม่คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

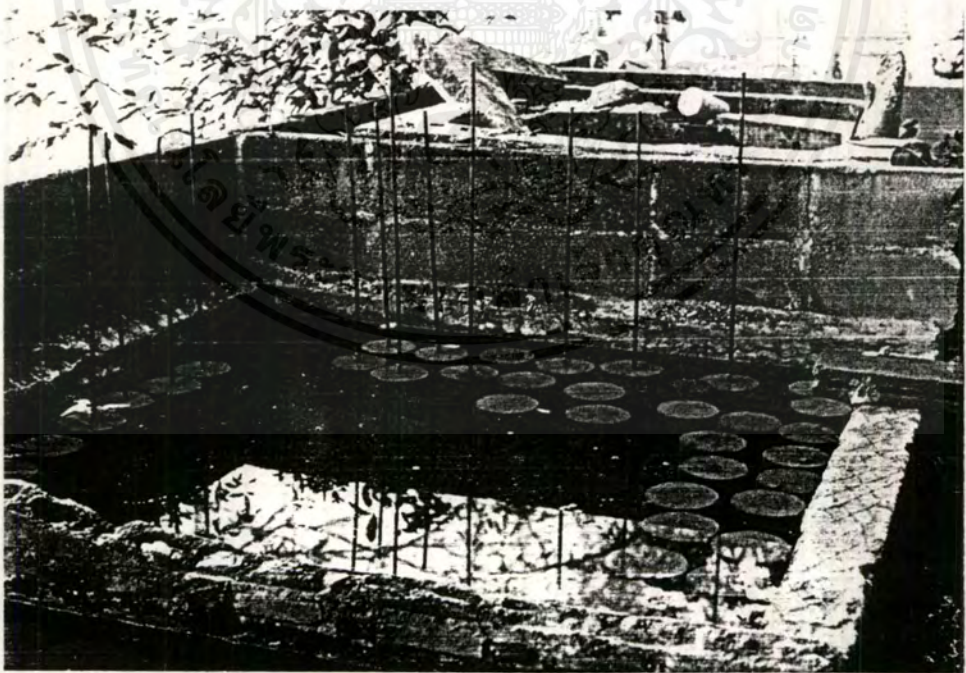


รูปที่ 3.8 ตัวอย่างคอนกรีตทดสอบขณะอยู่ในแบบหล่อ

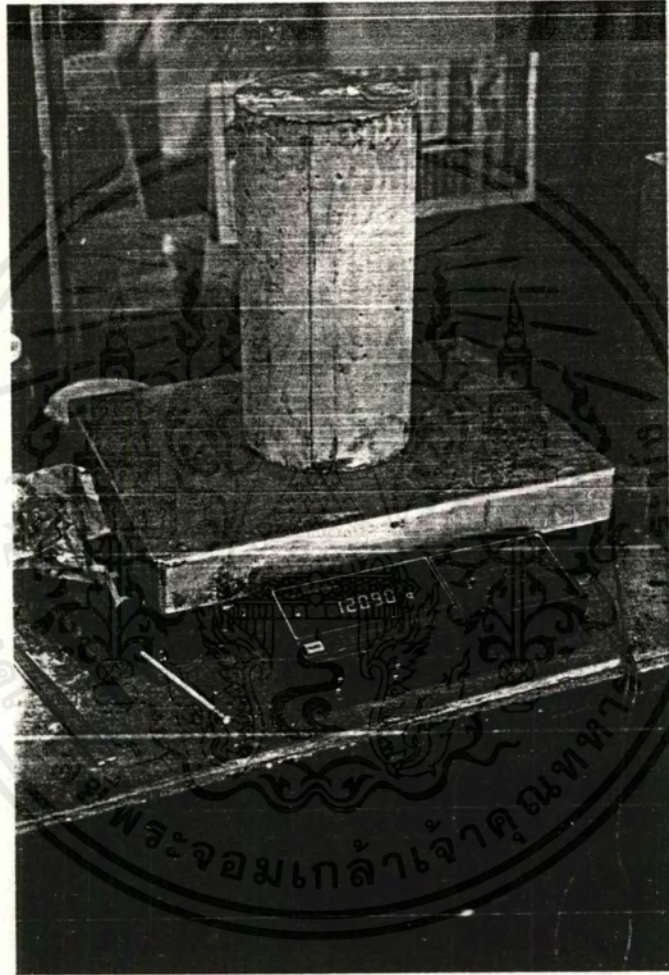
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างทดสอบหลังจากถอดแบบ



รูปที่ 3.10 การบ่มตัวอย่างทดสอบในบ่อบ่ม



รูปที่ 3.11 การชั่งตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ปริมาณวัสดุที่ใช้ในโครงการวิจัย

3.4.1	สำหรับคอนกรีต STRENGTH	=	200	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS	=	100 : 0	
	W/(C+S) Ratio	=	0.70	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์		36.59	kg.
	GGBS		-	kg.
	น้ำ		23.55	kg.
	หิน		136.88	kg.
	ทราย		109.78	kg.

3.4.2	สำหรับคอนกรีต STRENGTH	=	200	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS	=	75 : 25	
	W/(C+S) Ratio	=	0.70	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์		27.44	kg.
	GGBS		9.15	kg.
	น้ำ		23.55	kg.
	หิน		136.88	kg.
	ทราย		109.78	kg.

3.4.3	สำหรับคอนกรีต STRENGTH	=	200	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS	=	50 : 50	
	W/(C+S) Ratio	=	0.70	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์		18.30	kg.
	GGBS		18.30	kg.
	น้ำ		23.55	kg.
	หิน		136.88	kg.
	ทราย		109.78	kg.

3.4.4	สำหรับคอนกรีต STRENGTH	=	200	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS	=	25 : 75	
	W/(C+S) Ratio	=	0.70	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	9.15	kg.
	GGBS	27.44	kg.
	น้ำ	23.55	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	109.78	kg.
3.4.5	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	250	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	100 : 0	
	W/(C+S) Ratio =	0.62	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	41.32	kg.
	GGBS	-	kg.
	น้ำ	23.69	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	105.71	kg.
3.4.6	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	250	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	75 : 25	
	W/(C+S) Ratio =	0.62	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	30.99	kg.
	GGBS	10.33	kg.
	น้ำ	23.69	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	105.71	kg.
3.4.7	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	250	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	50 : 50	
	W/(C+S) Ratio =	0.62	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	20.66	kg.
	GGBS	20.66	kg.
	น้ำ	23.69	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	105.71	kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8	สำหรับคอนกรีต STRENGTH	=	250	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS	=	25 : 75	
	W/(C+S) Ratio	=	0.62	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์		10.33	kg.
	GGBS		30.99	kg.
	น้ำ		23.69	kg.
	หิน		136.88	kg.
	ทราย		105.71	kg.

3.4.9	สำหรับคอนกรีต STRENGTH	=	300	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS	=	100 : 0	
	W/(C+S) Ratio	=	0.55	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์		46.58	kg.
	GGBS		-	kg.
	น้ำ		23.86	kg.
	หิน		136.88	kg.
	ทราย		101.17	kg.

3.4.10	สำหรับคอนกรีต STRENGTH	=	300	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS	=	75 : 25	
	W/(C+S) Ratio	=	0.55	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์		34.94	kg.
	GGBS		11.65	kg.
	น้ำ		23.86	kg.
	หิน		136.88	kg.
	ทราย		101.17	kg.

3.4.11	สำหรับคอนกรีต STRENGTH	=	300	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS	=	50 : 50	
	W/(C+S) Ratio	=	0.55	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์		23.29	kg.
	GGBS		23.29	kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ	23.86	kg.
หิน	136.88	kg.
ทราย	101.17	kg.

3.4.12 สำหรับคอนกรีต STRENGTH = 300 KSC
อัตราส่วน CEMENT : GGBS = 25 : 75

W/(C+S) Ratio = 0.55

ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	11.65	kg.
GGBS	34.94	kg.
น้ำ	23.86	kg.
หิน	136.88	kg.
ทราย	101.17	kg.

จากปริมาณวัสดุข้างต้นสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้
ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 200 KSC

W/(C+S) = 0.70

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์ (กก)	GGBS (กก)	หิน (กก)	ทราย (กก)	น้ำ (กก)
คอนกรีตล้วน	36.59	0	136.88	109.78	23.55
คอนกรีตผสมGGBS 25 % โดยน้ำหนัก	27.44	9.15	136.88	109.78	23.55
คอนกรีตผสมGGBS 50 % โดยน้ำหนัก	18.30	18.30	136.88	109.78	23.55
คอนกรีตผสมGGBS 75 % โดยน้ำหนัก	9.15	27.44	136.88	109.78	23.55

ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 250 KSC

W/(C+S) = 0.62

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์ (กก)	GGBS (กก)	หิน (กก)	ทราย (กก)	น้ำ (กก)
คอนกรีตล้วน	41.32	0	136.88	105.71	23.69
คอนกรีตผสมGGBS 25 % โดยน้ำหนัก	30.99	10.33	136.88	105.71	23.69
คอนกรีตผสมGGBS 50 % โดยน้ำหนัก	20.66	20.66	136.88	105.71	23.69
คอนกรีตผสมGGBS 75 % โดยน้ำหนัก	10.33	30.99	136.88	105.71	23.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 300 KSC

$$W/(C+S) = 0.55$$

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์ (กก)	GGBS (กก)	หิน (กก)	ทราย (กก)	น้ำ (กก)
คอนกรีตล้วน	46.58	0	136.88	101.17	23.86
คอนกรีตผสมGGBS 25 % โดยน้ำหนัก	34.94	11.65	136.88	101.17	23.86
คอนกรีตผสมGGBS 50 % โดยน้ำหนัก	23.29	23.29	136.88	101.17	23.86
คอนกรีตผสมGGBS 75 % โดยน้ำหนัก	11.65	34.94	136.88	101.17	23.86

รวมปริมาณ	ปูนซีเมนต์	ที่ใช้ทั้งหมด	311.24	kg.
	GGBS	ที่ใช้ทั้งหมด	186.75	kg.
	น้ำ	ที่ใช้ทั้งหมด	284.40	kg.
	หิน	ที่ใช้ทั้งหมด	1642.56	kg.
	ทราย	ที่ใช้ทั้งหมด	1266.64	kg.
แต่ละอัตราส่วนผสมใช้เหล็กข้อย้อย 20 mm.	ยาว	1.00 m.	จำนวน	12 เส้น
รวมปริมาณ	เหล็กข้อย้อย	ที่ใช้ทั้งหมด	36	เมตร

3.5 วิธีการทดสอบวิจัย

3.5.1 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ก) การเตรียมวัสดุผสมและแบบหล่อ

1. ตรวจสอบวัสดุผสมทั้งหมดที่ใช้ตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้แล้ว (วัสดุผสม , ซีเมนต์ , กากเตาหลอม , หิน , ทราย และน้ำ)
2. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันที่ด้านผิวในคอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
3. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. สำหรับคอนกรีตที่ให้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตรงกลางที่เทออกจากเครื่องผสมใหม่ ๆ

2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบและใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้นเมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉย ๆ ประมาณ 24 ชั่วโมงจึงถอดแบบออก นำตัวอย่างทดสอบไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุการที่ต้องการทดสอบ (ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด มี 3 ตัวอย่าง)

ค) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังของตัวอย่างทดสอบ ให้ทดสอบโดยเร็วที่สุดหลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัว-ท้าย ของตัวอย่างทดสอบว่าแบนราบหรือไม่ ระบุว่าดิ่งกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5 องศา (หรือประมาณ 3 มิลลิเมตร) หากไม่อยู่ในขอบเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหมวกหัว-ท้ายเสียก่อน

มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

Standard test method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete

Specimen

มาตรฐาน ASTM C39-86

1. ขอบเขต

1.1 วิธีการทดสอบครอบคลุมการทดสอบตัวอย่างทดสอบหล่อทดสอบรูปทรงกระบอก และตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกที่ได้จากการเจาะพื้นคอนกรีต

1.2 หน่วยมาตรฐานที่ใช้เป็นหน่วย ปอนด์นิ้ว

2. เอกสารอ้างอิง

มาตรฐานจาก ASTM

C31 การบ่มคอนกรีตในสนาม

C42 การเจาะและการทดสอบคอนกรีตที่ได้จากการเจาะพื้น และ Sawed Beam

C192 การบ่มตัวอย่างทดสอบในห้องทดลอง

C617 การหล่อหมวกตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C873 วิธีการทดสอบตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกแบบหล่อในที่ในแบบรูปทรงกระบอก

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 เครื่องทดสอบ (Universal Machine Testing) ควรมีกำลังที่เพียงพอในการกด

3.2 เครื่องทดสอบต้องมี Bearing Block ที่มีผิวเรียบเงา

4. ตัวอย่างทดสอบ

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ค่า ทำมุมซึ่งกันและกันที่ตรงกลางของตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก โดยวัดให้ละเอียดถึง 0.025 เซนติเมตร

ควรวัดขนาดความยาวเมื่ออัตราส่วน ความยาวของตัวอย่างทดสอบต่อ เส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าน้อยกว่า 1.8 หรือมากกว่า 2.2

ควรทำการหล่อหวมก ที่หัวท้ายของตัวอย่างทดสอบเมื่อระนาบดังกล่าวเอียงมากกว่า 0.5 % หรือประมาณ 3 มิลลิเมตร

5. วิธีการทดสอบ

5.1 นำตัวอย่างทดสอบวางกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด

5.2 เปิดเครื่องทดสอบในการทดสอบต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมออัตราที่ใช้คือ 1.4-3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที

5.3 กดแท่งตัวอย่างจนกระทั่งถึงขีดจำกัดประลัย แล้ว บันทึกค่าน้ำหนักและตรวจสอบรอยแตก

6. การคำนวณ

6.1 การคำนวณหาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ได้จาก

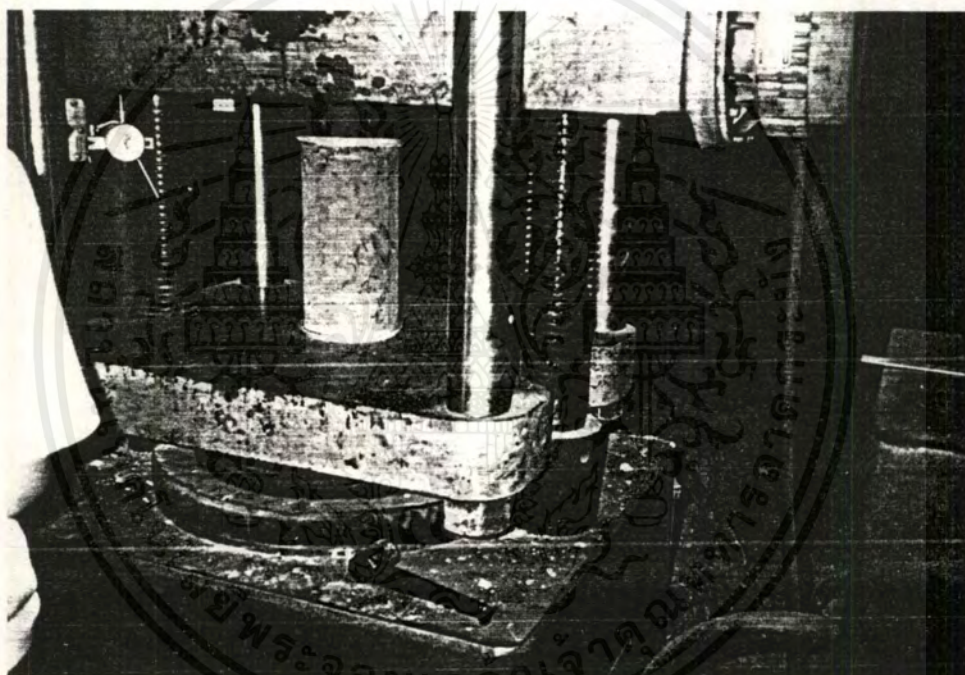
กำลังอัดประลัยของคอนกรีต = น้ำหนักกดประลัย / พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ

6.2 ถ้าอัตราส่วนของความยาวของตัวอย่างทดสอบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1.8 ต้องพิจารณาทำการคูณปรับแก้ ที่แสดงในตารางเข้ากับกำลังอัดของคอนกรีต

$\frac{L}{D}$	1.75	1.5	1.25	1.00
FACTOR	0.98	0.96	0.93	0.87

7. ผลรายงาน

- 7.1 เส้นผ่านศูนย์กลาง และ ความยาวของตัวอย่างทดสอบ
- 7.2 ขนาดพื้นที่หน้าตัด ในหน่วย ตารางนิ้วหรือ ตารางฟุต
- 7.3 ค่าน้ำหนักมากที่สุดใน หน่วยปอนด์ หรือนิวตัน
- 7.4 ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต
- 7.5 ชนิดของรอยแตก
- 7.6 อายุของแท่งคอนกรีต
- 7.7 ลักษณะของตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.12 การทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 3.13 สภาพตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบการรับแรงอัด

3.5.2 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงคดของคอนกรีต

- ก) การเตรียมวัสดุผสม , แบบหล่อ และตัวอย่างทดสอบ เหมือนกับการทดสอบกำลังรับแรงอัด
- ข) การทดสอบกำลังรับแรงคด

มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงคดของคอนกรีต

Standard Test Method for flexural Strength of Concrete (Using Simple beam with third-point loading)

ตามมาตรฐาน ASTM C78-84

1. ขอบเขต

1.1 วิธีการทดสอบนี้ได้ครอบคลุมการพิจารณากำลังต้านทานการคดงของการทดสอบคานแบบกจุดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 หน่วยมาตรฐานที่ใช้คือ หน่วย ปอนด์-นิ้ว

2. เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM

C31 การทำการบ่มคอนกรีตในสนาม

C192 การทำการบ่มคอนกรีตในห้องทดลอง

E4 การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือทดสอบ

3. เครื่องมืออุปกรณ์

3.1 เครื่องมือ ควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง ตามมาตรฐาน ASTM E4 ก่อน หัวกดต้องได้ระนาบกับผิวคอนกรีต เพื่อไม่ให้เกิดการเอียงศูนย์ขึ้น เมื่อทำการกดเครื่องกดจะต้องมีกำลังเพียงพอ

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการกดต้องมีระยะห่างที่คงที่ เมื่อทำการกด

3.3 แรงปฏิกิริยา ควรมีทิศทางขนานกับทิศทางของแรงที่กด ตลอดเวลา อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดที่น้ำหนักกระทำและจุดรองรับ ต่อความลึกของคานไม่ควรน้อยกว่า 1

4. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C31 และ C192 หน้าตัดของคานที่ทำการกดจะต้องเรียบ

5. วิธีการทดสอบ

5.1 พลิกคานเรียบขึ้น วางในตำแหน่งตรงกลาง Bearing Block กำหนดตำแหน่ง จุดที่กดให้ตรงกับเครื่องมือกด คานวางบนจุดรองรับโดยมีระยะห่างจากปลายคานถึงจุดรองรับอย่างน้อย 1 นิ้ว

5.2 ดำเนินการกดโดยเพิ่มแรงอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งคานทดสอบหัก

5.3 วัดขนาดหน้าตัด 3 ค่า ที่จุดตรงกลาง และ ด้านริมสองด้าน หลัง จาก หักแล้ว

5.4 คำนวณหาค่าเฉลี่ย ความกว้าง และ ค่าเฉลี่ยความยาว บันทึกตำแหน่งของรอยแตกของคาน

6. การคำนวณ

ถารอยแตก แรกภายในช่วงกลาง ที่แบ่งเป็น 3 ส่วน (Middle Third) คำนวณค่า โมดูลัสของการแตกร้า ดังนี้

$$R = \frac{Pl}{bd^2}$$

ถารอยแตกหักที่ผิวรับแรงดึงอยู่นอกช่วงกลาง แต่ไม่เบี่ยงเบนเกินไปกว่า 5 % ของความ ยาวช่วงคาน หาค่าโมดูลัสแตกร้าจาก

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

โดยทั้งสองสมการดังกล่าว

R = โมดูลัสแตกร้า

L = ความยาวช่วงของคานระหว่างที่รองรับ

a = ระยะเฉลี่ยของรอยหักที่วัดตรงผิวรับแรงดึงถึงจุดรองรับคานใกล้

b = ความยาวเฉลี่ยของคานที่จุดแตกหัก

d = ความลึกเฉลี่ยของคานที่จุดแตกหัก

ถารอยแตกหักที่ผิวรับแรงดึง อยู่ภายนอกช่วงกลางมากกว่า 5 % ผลที่ได้ไม่สามารถนำมา คำนวณได้ถูกต้อง

7. ผลรายงาน

7.1 ความกว้างเฉลี่ย

7.2 ความลึกเฉลี่ย

7.3 ความยาวของ SPAN

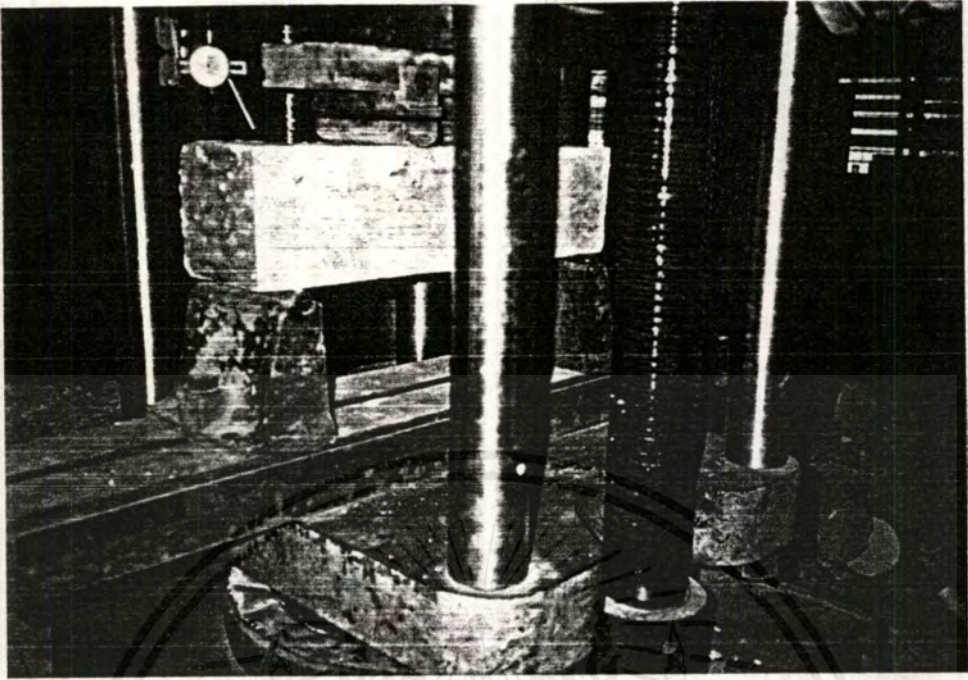
7.4 ค่าน้ำหนักกดมากที่สุด

7.5 ค่าโมดูลัสการแตกร้า

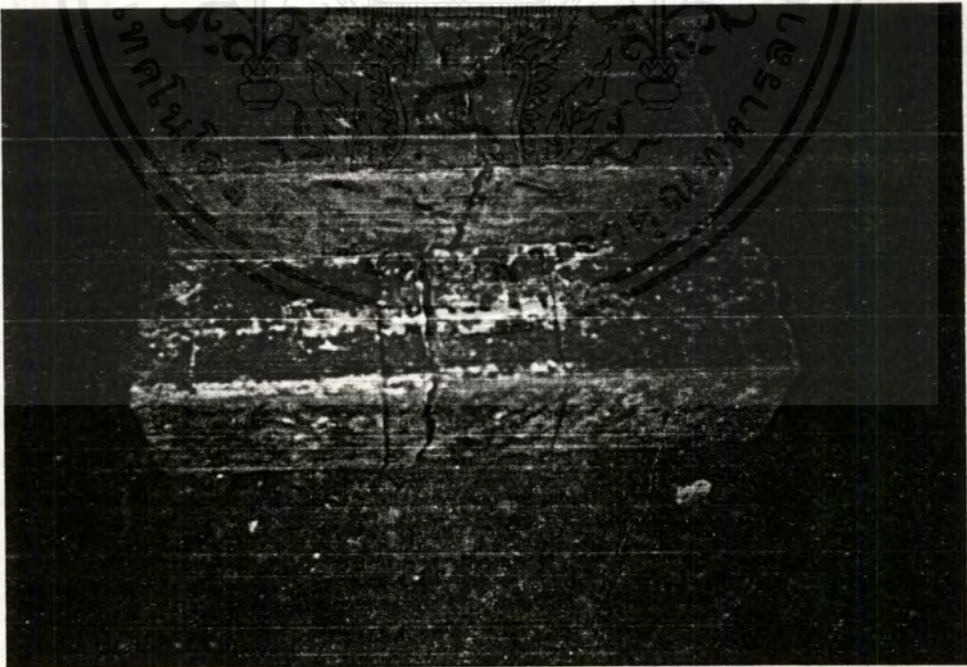
7.6 การบ่ม

7.7 รูปร่างของตัวอย่างทดสอบ

7.8 อายุของตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.14 การทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 3.15 สภาพตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบการรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

ก) การเตรียมวัสดุผสม , แบบหล่อ , และตัวอย่างทดสอบ เหมือนกับการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ข) การทดสอบกำลังรับแรงดึง

มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงดึงคอนกรีตรูปทรงกระบอก

Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete

Specimen

ตามมาตรฐาน ASTM C496-86

1. ขอบเขต

1.1 วิธีการทดสอบนี้ได้ครอบคลุมการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตของตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก และตัวอย่างทดสอบที่ได้จากการเจาะพื้น

1.2 หน่วยมาตรฐานที่ใช้ในมาตรฐาน ใช้ค่า นิ้ว-ปอนด์

2. เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM

C31 การทดสอบการบ่มตัวอย่างทดสอบในสนาม

C39 วิธีการทดสอบแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก

C42 วิธีการเจาะและการทดสอบ Drilled Cored และ Sawed beam

C192 วิธีการทดสอบการบ่มตัวอย่างทดสอบในห้องทดลอง

3. อุปกรณ์การทดสอบ

3.1 เครื่องทดสอบ เครื่องทดสอบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ C39 และเป็นชนิดที่มีกำลังอัดเพียงพอที่จะทำให้ได้กำลังตามอัตราการกด

3.2 แผ่น Bearing Plate ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางหรือขนาดมิติที่ใหญ่ที่สุดของพื้นที่ผิวสัมผัสรองรับบน หรือพื้นที่ผิวสัมผัสรองรับส่วนล่างมีขนาดเล็กกว่า ความยาวของตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกที่จะทดสอบจะต้องใช้ แผ่น Bearing Plate วางบนชิ้นทดสอบซึ่งต้องมีความกว้างอย่างน้อย 2 นิ้ว แผ่น Bearing Plate จะต้องมีความยาวมากกว่าชิ้นงานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผ่น Bearing Strip แผ่นไม้อัด วางประกอบด้านบนและด้านล่าง ซึ่งมีความหนา 1/8 นิ้ว และกว้าง 1 นิ้ว มีความยาวกว่าตัวอย่างทดสอบเล็กน้อย

4. ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบหล่อเป็นรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C192 หรือตัวอย่างทดสอบที่ได้จากการเจาะพื้น ตามมาตรฐาน ASTM C42

5. วิธีการทดสอบ

5.1 กำหนดตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางให้ยาวจรดหัว-ท้ายของตัวอย่างทดสอบหรือใช้อุปกรณ์ Aligning jig

5.2 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก โดยวัดเฉลี่ย 3 ค่า คือที่จุดกึ่งกลาง และ ปลายทั้ง 2 ด้าน วัดความยาวของตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกอย่างน้อย 2 ค่า แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

5.3 วางตัวอย่างทดสอบบนอนบนเครื่อง นำไม้วางรองตรงกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบทั้งบนและล่าง

5.4 เพิ่มน้ำหนักกดด้วยอัตราการกดคงที่จนกระทั่งคอนกรีตถึงจุดประลัย บันทึกค่าน้ำหนักประลัย

6. การคำนวณ

การคำนวณหาค่ากำลังรับแรงดึงแบบ Splitting tensile ของคอนกรีต

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

T = กำลังดึง kg/cm^2

P = ค่าน้ำหนักกดสูงสุด kg

l = ความยาวของก้อนตัวอย่างทรงกระบอก cm.

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง cm.

7. ผลรายงาน

7.1 ความยาว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบทรงกระบอก

7.2 น้ำหนักกดมากที่สุด

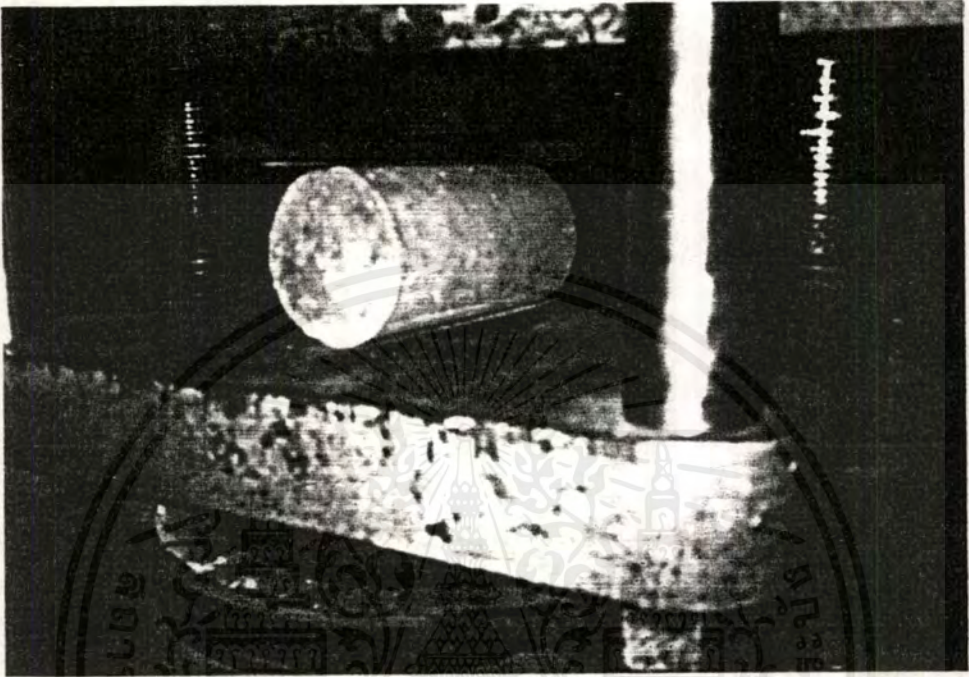
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ค่ากำลังดึง

7.4 อายุของตัวอย่างทดสอบ

7.5 การบ่มตัวอย่างทดสอบ

7.6 ชนิดของรอยแตก



รูปที่ 3.16 การทดสอบกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 3.15 สภาพตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบการรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 ขั้นตอนการทดสอบแรงยึดเหนี่ยว

ก) การเตรียมวัสดุผสม , แบบหล่อ และตัวอย่างทดสอบเหมือนกับการเตรียมการทดสอบแรงอัด แบบลูกบาศก์ แต่จะมีการฝังเหล็กข้ออ้อย 20 มิลลิเมตร ลงไปในตัวอย่างทดสอบละ 1 เส้น โดยฝังลงในตัวอย่างทดสอบประมาณ 15 เซนติเมตร

ข) การทดสอบแรงยึดเหนี่ยว

มาตรฐานการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต

Standard Test method for Comparing Concrete on the basis Developed with Reinforced Steel

1. ขอบเขต

1.1 วิธีการทดสอบนี้เป็นการเปรียบเทียบกำลังของแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กกับคอนกรีต

1.2 ค่าหน่วยที่ใช้เป็นหน่วยมาตรฐาน คือ หน่วย ปอนด์-นิ้ว

2. เอกสารอ้างอิง

มาตรฐานอ้างอิง ASTM

A370 วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของผลิตภัณฑ์เหล็ก

A615 รายละเอียดข้อกำหนดของเหล็กข้ออ้อย สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

C39 วิธีการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก

C138 วิธีการทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก ปริมาณอากาศของคอนกรีต

C143 วิธีการทดสอบหาค่าการยุบตัวสำหรับคอนกรีต

C173 วิธีการทดสอบหาปริมาณอากาศของคอนกรีตสดโดยวิธีปริมาตร

C192 วิธีการบ่มคอนกรีตในห้องทดลอง

C231 วิธีการทดสอบหาปริมาณอากาศโดยวิธีความดัน

C293 วิธีการทดสอบกำลังดึงของคาน โดยวิธีกดจุดเดียว

C511 รายละเอียดข้อกำหนดสำหรับ ความชื้นของห้อง บ่อเก็บน้ำที่ใช้ในการทดสอบ ไฮโดรลิกซีเมนต์ และ ไฮดรอลิกคอนกรีต

C607 วิธีการหล่อหวมกคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ข้อเสนอแนะการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบนี้ได้ออกค้ดแปลงเพื่อใช้ในจุดประสงค์งานวิจัย โดยสภาวะต่างๆ กัน วิธีนี้อาจใช้ในผลิตภัณฑ์อย่างอื่น ที่ต้องการหาค่า การยึดเหนี่ยวซึ่งมีการปฏิบัติใกล้เคียงกับการหาค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง เหล็กและคอนกรีต

3. อุปกรณ์การทดสอบ

3.1 แบบหล่อสำหรับแรงยึดเหนี่ยว ขนาดแบบหล่อ 6x6x6 นิ้ว หรือ 150 x150x150 mm. ซึ่งจะใช้ทดสอบการยึดเหนี่ยวของเหล็กในแนวตั้ง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด อุปกรณ์ที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของเหล็กเสริม Dial Gage ควรมีความละเอียด อย่างน้อย 0.001 นิ้ว (0.025 mm.)

3.3 เครื่องมือทดสอบ ระบายผิวของคอนกรีต ควรจะวางอยู่บนผิวของ Bearing Plate ที่มีขนาดอย่างน้อย 6x6 ตารางนิ้ว และหนาอย่างน้อย 3/4 นิ้ว และมีรูเพื่อให้เหล็กผ่านได้

4. ตัวอย่างทดสอบ

4.1 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กและคอนกรีตในแนวตั้ง ขนาดตัวอย่างทดสอบเป็นลูกบาศก์ 6 นิ้ว ใช้เหล็กข้ออ้อย No. 6 ที่มีขนาดความยาวที่เหมาะสมกับเครื่องทดสอบ โดยผิวเหล็กให้อยู่ในแนวตั้งอยู่กึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบโดยให้ความลึกเท่ากับ ความสูงของตัวอย่างทดสอบ ขนาดความยาวที่เหลืต้องมีระยะเพียงพอที่จะวางผ่าน Bearing Block และจุดรองรับของเครื่องทดสอบเพื่อใช้ตัวยึดจับ เหล็กยึดได้เพียงพอ

4.2 คอนกรีตที่หล่อในแบบลูกบาศก์ 6 นิ้วแบ่งใส่คอนกรีตเป็น 2 ชั้นให้หนาเท่า ๆ กัน ทำการกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง

4.3 ทำการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กและคอนกรีตที่ 28 วัน

5. วิธีการทดสอบ

5.1 ติดตั้งตัวอย่างทดสอบในเครื่องทดสอบ เพื่อให้ผิวของคอนกรีตด้านที่มีเหล็กฝังได้สัมผัสกับผิวหน้าของแท่งระบายเหล็กของเครื่องทดสอบ แผ่นระบายเหล็กจะต้องวางอยู่บนจุดรองรับ เพื่อที่จะถ่ายแรงปฏิกิริยาจากแผ่นระบายเหล็ก ไปยังตัวถ่วงน้ำหนักของเครื่องทดสอบ แท่งเหล็กทดสอบจะวางทะลุผ่านแผ่นระบายเหล็กและตัวรองรับ และยึดจับเพื่อดึงโดยตัวยึดจับของเครื่องทดสอบ

5.2 วัดระยะระหว่างผิวหน้าของคอนกรีตและตัวยึดจับอย่างระมัดระวัง บันทึกค่าให้ค่าใกล้เคียง 0.1 นิ้ว (2.5 mm.) บันทึกค่าเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่า elongation ซึ่งได้จากอัตราส่วนของระยะที่เหล็กยึดค้อออกต่อระยะที่วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 เพิ่มแรงดึงที่อัตราไม่เกิน 5000 lbf/min หรือที่ อัตราเร็วของการเพิ่มน้ำหนักไม่เกิน 0.05 in/min ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องทดสอบและค่ากลางที่ใช้ปรับค่าหรือควบคุมความเร็ว

5.4 อ่านและบันทึกค่าการเพิ่มน้ำหนักโดยใช้ dial gage 2 ตัวเพื่อทำการอ่านโดยที่ dial gage ต้องมีความละเอียดเพียงพอที่จะอ่านได้โดยจะอ่านอย่างน้อย 15 ครั้ง ในการยืด 0.01 นิ้ว

5.5 ดำเนินการเพิ่มน้ำหนักและอ่านค่าน้ำหนักจนกระทั่ง เหล็กถึงจุดประลัย , คอนกรีตที่หุ้มแตกแยกออก หรือ เหล็กมีการยืดตัวอย่างน้อย 0.1 นิ้ว

6. การคำนวณ

6.1 คำนวณหาค่าแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กกับคอนกรีตที่ระยะต่าง ๆ คำนวณจากค่าแรงดึงส่วนด้วยพื้นที่ผิวสัมผัสของเหล็กที่ผิวอยู่ในคอนกรีต สำหรับเหล็ก No. 6 ข้อย่อยจะมีระยะฝั่ง 6 นิ้ว (150 mm.) พื้นที่ผิวสัมผัสที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ 14.14 ตารางนิ้ว (90 cm^2)

6.2 คำนวณระยะเลื่อนไถลของเหล็กจากการอ่านค่าเฉลี่ยของ Dial Gage 2 ตัว คำนวณหาค่า elongation ของเหล็กที่มีระยะจากผิวหน้าของคอนกรีตถึงจุดที่มีการติดตั้ง Dial Gage สำหรับการคำนวณค่า elongation ที่ค่าพื้นที่หน้าตัดของเหล็ก No. 6 มีค่าเท่ากับ 0.44 in^2 (284 mm^2) และค่า Modulus of elasticity มีค่าประมาณ $2.9 \times 10^7 \text{ Psi}$ (200 Gpa)

7. ผลรายงาน

รายงานควรจะมีเนื้อหาข้อมูลเป็นสิ่งเพิ่มเติมในการศึกษาการทดลองเหล่านี้ ดังนี้

7.1 คุณสมบัติของคอนกรีต

7.1.1 คุณสมบัติของส่วนผสมคอนกรีต

7.1.2 ชนิดและปริมาณของปูนซีเมนต์ มวลรวม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

7.1.3 ชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่ม

7.1.4 การทดสอบการรับแรงอัดที่ 28 วันของตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก ตามการทดลอง C39

7.1.5 ปริมาณอากาศที่อยู่ในคอนกรีตสด

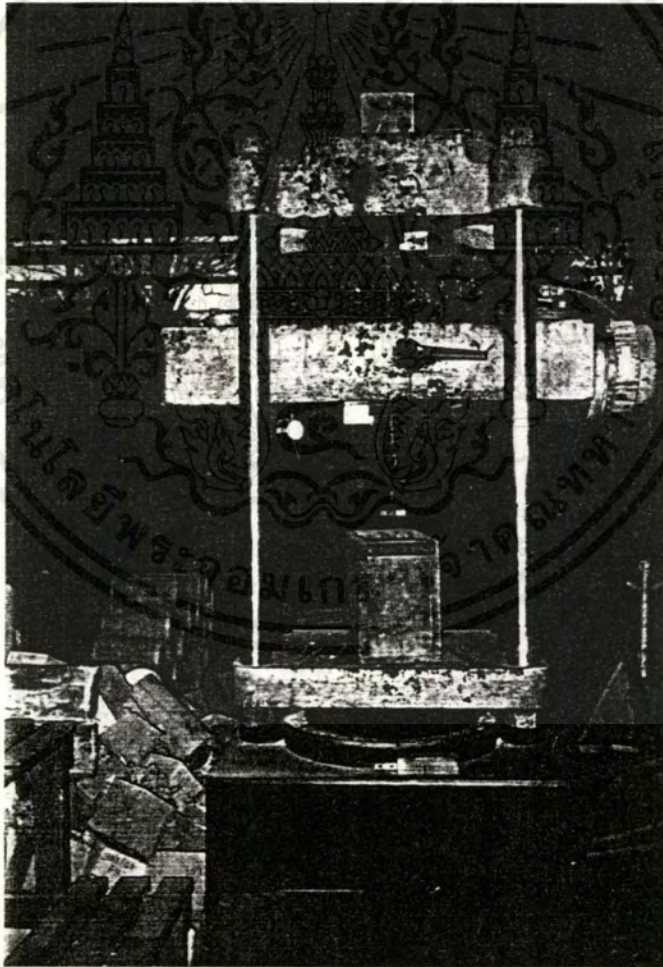
7.1.6 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

7.1.7 ความคงตัวของคอนกรีต

7.2 คุณสมบัติของเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7.2.1 ขนาดหน้าตัด น้ำหนักต่อความยาว 1 ฟุต
- 7.2.2 ค่ากำลังประลัยของเหล็กเสริม
- 7.3 วิธีการผสมคอนกรีต และการหล่อคอนกรีต
- 7.4 การบ่มคอนกรีต
 - 7.4.1 อายุของการบ่ม
 - 7.4.2 สภาพแวดล้อมของการบ่ม
- 7.5 วิธีการ
 - 7.5.1 วิธีการเคลือบผิวหน้าคอนกรีต ระยะห่างของผิวหน้าคอนกรีตและจุดยึดจับที่ติดตั้งตั้งอุปกรณ์วัด
 - 7.5.2 ชนิดของเครื่องทดสอบที่ใช้
 - 7.5.3 อัตราการเพิ่มน้ำหนัก



รูปที่ 3.18 การทดสอบกำลังรับแรงอัดเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ผลการทดลอง

8.1 ผลการทดลองจะแสดงค่ากำลังสูงสุดของการยืดเหนียว

8.2 การบันทึกค่าระหว่าง แรงยืดเหนียว และระยะเลื่อนไถล ระยะเลื่อน

ไถล ควรมีค่าไม่เกิน 0.01 in (0.25 mm)



รูปที่ 3.19 สภาพตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบการรับแรงยืดเหนียว

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกำลังการรับแรงของคอนกรีตผสมที่มี ส่วนผสมของกากเตาหลอมเหล็ก 0% , 25% , 50% และ 75% ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดหลังเวลา การบ่มที่ 7 วัน , 14 วัน และ 28 วัน, ทดสอบกำลังการรับแรงดัด , ทดสอบกำลังการรับแรงดึง และ ทดสอบกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวหลังเวลาการบ่มที่ 28 วัน โดยแบ่งผลการทดสอบคุณสมบัติทาง ด้านกำลังการรับแรงและการวิเคราะห์ผลออกเป็น 9 หัวข้อใหญ่ ๆ ดังนี้

4.2 ผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัด(ความเค้นอัด) ของคอนกรีตในส่วนผสมต่าง ๆ 4 ส่วนผสม ทดสอบกำลังการรับแรงอัด หลังจากระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน , 14 วัน และ 28 วัน รวมผลการ ทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 108 ตัวอย่าง โดยที่ผลการทดสอบจะนำเสนอในรูปของตารางข้อมูล และ กราฟเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 4.2.1 - 4.2.12 ค่ากำลังการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสมที่เวลา 7 , 14 และ 28 วัน

ตารางที่ 4.2.13 กราฟแสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมที่อัตราต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 4.2.14-4.2.16 แสดงเปอร์เซ็นต์กำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเทียบ คอนกรีตล้วน

ตารางที่ 4.2.17-4.2.19 แสดงเปอร์เซ็นต์พัฒนากำลังของคอนกรีตที่ออกแบบกำลังรับ น้ำหนักต่าง ๆ

รูปที่ 4.2.1 - 4.2.3 กราฟเส้นแสดงการพัฒนากำลังการรับแรงอัดของส่วนผสม ต่าง ๆ กันตั้งแต่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

รูปที่ 4.2.4 - 4.2.6 กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังอัดที่เปอร์เซ็นต์แทนที่ GGBS ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก

COMPRESSION STRENGTH

ตารางที่ 4.2.1

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนต้ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังต้ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แห่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประสิทธิภาพ (kg)	ความทน ประสิทธิภาพ (ksc)	Average (ksc)
0%	1	7	13011.00	13251.00	1.84	1.42	30.15	15.15	180.18	181.37	31200.00	173.16	162.42
	2	7	12950.00	13125.00	1.35		30.15	15.25	182.56		25260.00	138.36	
	3	7	13110.00	13251.00	1.08		30.15	15.20	181.37		31870.00	175.72	
0%	1	14	13060.00	13150.00	0.69	1.04	30.20	15.07	178.28	177.50	34500.00	193.52	189.36
	2	14	13160.00	13257.00	0.74		30.15	14.89	174.04		33120.00	190.30	
	3	14	13123.00	13345.00	1.69		30.25	15.15	180.18		33200.00	184.27	
0%	1	28	13000.00	13150.00	1.15	1.28	30.20	15.13	179.63	179.53	37800.00	210.43	201.92
	2	28	12993.00	13141.00	1.14		30.50	15.09	178.80		35100.00	196.31	
	3	28	13110.00	13311.00	1.53		30.15	15.15	180.18		35855.00	199.00	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ภาดเตาหลอม (GGBS) = 100 : 0

องศาแม่กำลังรับน้ำหนัก 200 KSC , W/(C+S) = 0.70

COMPRESSION STRENGTH

ตารางที่ 4.2.2

%เมตาเทีย GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง รับแรง (kg)	ความเค้น รับแรง (ksc)	Average (ksc)
25%	1	7	13040.00	13201.00	1.23		31.15	15.08	178.51		25320.00	141.84	
	2	7	12940.00	13050.00	0.85	1.19	30.15	15.05	177.80	178.59	25680.00	144.43	152.07
	3	7	13011.00	13203.00	1.48		30.20	15.12	179.46		30500.00	169.95	
25%	1	14	12950.00	13150.00	1.54		30.12	15.15	180.18		28910.00	160.45	
	2	14	12991.00	13113.00	0.94	1.44	30.14	15.23	182.08	180.57	31520.00	173.11	163.00
	3	14	13012.00	13250.00	1.83		30.25	15.12	179.46		27895.00	155.44	
25%	1	28	13164.00	13451.00	2.18		30.16	15.08	178.51		37500.00	210.07	
	2	28	13216.00	13421.00	1.55	2.17	30.22	15.15	180.18	178.99	42120.00	233.77	220.07
	3	28	13113.00	13478.00	2.78		30.13	15.07	178.28		38575.00	216.38	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ปากตาหอม (GGBS) = 75 : 25

ออกเทนกำลังรับน้ำหนัก 200 KSC , W/(C+S) = 0.70

ตารางที่ 4.2.3

COMPRESSIVE STRENGTH

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง		น้ำหนักตัวอย่าง แห้ง	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง		พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง รับแรง (kg)	ความรับ แรง (ksc)	Average (ksc)
			ก่อนบ่ม (g)	หลังบ่ม (g)					ความสูง	เส้นกลาง (cm)					
50%	1	7	12930.00	13121.00	1.48	1.39	30.20	15.06	178.09	178.93	20700.00	116.23	138.56		
	2	7	12965.00	13119.00	1.19		30.10	15.13	179.70		25845.00	143.82			
	3	7	13125.00	13321.00	1.49		30.15	15.10	178.99		27855.00	155.63			
50%	1	14	12741.00	12945.00	1.60	1.59	30.10	15.04	177.62	179.66	32160.00	181.07	173.49		
	2	14	13101.00	13351.00	1.91		30.35	15.13	179.77		31200.00	173.55			
	3	14	12985.00	13150.00	1.27		30.24	15.21	181.61		30120.00	165.85			
50%	1	28	13190.00	13371.00	1.37	1.52	30.03	15.17	180.58	180.53	37470.00	207.50	204.07		
	2	28	13001.00	13201.00	1.54		30.17	15.12	179.37		34560.00	192.68			
	3	28	13125.00	13341.00	1.65		30.12	15.21	181.65		38515.00	212.03			

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ภาวเตาหลอม (GGBS) = 50 : 50

ออกแทนกำลังรับน้ำหนัก 200 KSC , W/(C+S) = 0.70

ตารางที่ 4.2.4

COMPRESSIVE STRENGTH

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประดัด (kg)	ความทนทาน ประดัด (ksc)	Average (ksc)
75%	1	7	13091.00	13301.00	1.60	1.49	30.26	15.15	180.18	180.02	23160.00	128.54	125.17
	2	7	12588.00	12758.00	1.35		30.30	15.05	177.80		23700.00	133.29	
	3	7	13273.00	13475.00	1.52		30.45	15.23	182.08		20700.00	113.68	
75%	1	14	12976.00	13177.00	1.55	1.31	30.18	15.13	179.60	179.04	28620.00	159.35	150.56
	2	14	13090.00	13251.00	1.23		30.00	15.09	178.63		25560.00	143.09	
	3	14	12883.00	13031.00	1.15		30.13	15.10	178.89		26700.00	149.25	
75%	1	28	13206.00	13415.00	1.58	1.62	30.30	15.25	182.56	181.76	25980.00	142.31	170.94
	2	28	12922.00	13127.00	1.59		30.10	15.20	181.37		32100.00	176.99	
	3	28	12931.00	13150.00	1.69		30.23	15.20	181.37		35100.00	193.53	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ภาคน้ำหนัก (GGBS) = 25 : 75

ออกเทนกำลังรับน้ำหนัก 200 Ksc , W/(C+S) = 0.70

ตารางที่ 4.2.5

COMPRESSIVE STRENGTH

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	ผลร้อยละ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แห่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ปลาย (kg)	ความเค้น ปลาย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	7	13043.00	13149.00	0.81		30.20	15.12	179.46		31620.00	176.19	
	2	7	13178.00	13287.00	0.83	1.09	30.10	15.11	179.18	179.17	37200.00	207.62	204.30
	3	7	13456.00	13675.00	1.63		30.45	15.10	178.87		40980.00	229.11	
0%	1	14	13122.00	13351.00	1.75		30.03	15.13	179.70		44760.00	249.08	
	2	14	12932.00	13125.00	1.49	1.68	30.03	15.08	178.44	178.50	45960.00	257.56	239.14
	3	14	13047.00	13284.00	1.82		30.13	15.03	177.36		37380.00	210.76	
0%	1	28	13015.00	13277.00	2.01		29.87	15.20	181.37		50400.00	277.89	
	2	28	13339.00	13517.00	1.33	1.45	30.33	15.13	179.58	180.97	49140.00	273.64	253.86
	3	28	13079.00	13211.00	1.01		30.17	15.23	181.96		38220.00	210.04	

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (OPC) : ภาหเตาหลอม (GGBS) = 100 : 0

คอนกรีตอัดแรง 250 KSC , W/(C+S) = 0.62

COMPRESSION STRENGTH

ตารางที่ 4.2.6

%เมทริกซ์ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	ผลรีดเค้น การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประสิทธิภาพ (kg)	ความแข็งแรง ประสิทธิภาพ (ksc)	Average (ksc)
25%	1	7	13300.00	13516.00	1.62		30.25	15.14	179.82		35800.00	199.09	
	2	7	13067.00	13277.00	1.61	1.53	30.30	15.07	178.32	178.59	22740.00	127.52	188.93
	3	7	13036.00	13213.00	1.36		30.15	15.04	177.62		42660.00	240.18	
25%	1	14	13073.00	13261.00	1.44		30.17	15.06	178.14		39000.00	218.93	
	2	14	12899.00	13014.00	0.89	1.32	30.00	15.09	178.77	178.75	40680.00	227.55	226.56
	3	14	13241.00	13456.00	1.62		30.10	15.12	179.34		41820.00	233.18	
25%	1	28	13097.00	13222.00	0.95		29.93	15.18	180.77		48300.00	267.19	
	2	28	13121.00	13341.00	1.68	1.73	30.00	15.30	183.76	181.57	39600.00	215.50	245.48
	3	28	13231.00	13571.00	2.57		30.10	15.15	180.18		45720.00	253.75	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ภาคทดสอบ (GGBS) = 75 : 25

ออกแบกกำลังรั้งน้ำหนัก 250 KSC , W/(C+S) = 0.62

ตารางที่ 4.2.7
COMPRESSIVE STRENGTH

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง		น้ำหนักตัวอย่าง หลังอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แพ่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² *cm)	Average (cm ² *cm)	กำลัง ประจักษ์ (kg)	ความเค้น ประจักษ์ (ksc)	Average (ksc)
			ก่อนอบ (g)	การดูดน้ำ (g)										
50%	1	7	12627.00	12811.00	1.46	1.46	1.38	30.15	15.04	177.47	177.47	35760.00	201.49	165.11
	2	7	13040.00	13210.00	1.30	1.30		30.20	15.10	178.99	178.99	27560.00	153.98	
	3	7	13070.00	13250.00	1.38	1.38		30.10	15.13	179.77	179.77	25145.00	139.87	
50%	1	14	12873.00	13001.00	0.99	0.99	1.47	30.70	15.02	177.14	177.14	30940.00	174.66	177.01
	2	14	13154.00	13354.00	1.52	1.52		30.10	15.15	180.20	180.20	33060.00	183.46	
	3	14	13205.00	13457.00	1.91	1.91		30.05	15.16	180.44	180.44	31200.00	172.91	
50%	1	28	13083.00	13281.00	1.51	1.51	1.73	30.40	15.13	179.58	179.58	44520.00	247.91	216.27
	2	28	12811.00	13093.00	2.20	2.20		30.00	15.10	178.96	178.96	36760.00	205.40	
	3	28	12921.00	13111.00	1.47	1.47		30.46	15.06	178.02	178.02	34800.00	195.49	

ปูนซีเมนต์ไฮดรตเมนต์ (OPC) : ภาาตาหยม (GGBS) = 50 : 50

ขกแทนกำลังรับน้ำหนัก 250 KSC , W/(C+S) = 0.62

ตารางที่ 4.2.8

COMPRESSIVE STRENGTH

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² *cm)	Average (cm ² *cm)	กำลัง ปลาย (kg)	ความต้าน ปลาย (ksc)	Average (ksc)
75%	1	7	12970.00	13171.00	1.55	1.65	30.30	15.12	179.34	179.11	25400.00	141.63	148.34
	2	7	13163.00	13341.00	1.35		30.40	15.12	179.46		27300.00	152.12	
	3	7	13145.00	13415.00	2.05		30.40	15.08	178.51		27005.00	151.28	
75%	1	14	13123.00	13326.00	1.55	1.56	30.13	15.11	179.11	178.35	30600.00	170.85	167.96
	2	14	13031.00	13251.00	1.69		30.25	15.05	177.71		26160.00	147.21	
	3	14	13073.00	13261.00	1.44		30.35	15.07	178.23		33120.00	185.83	
75%	1	28	12781.00	12987.00	1.61	1.61	29.97	15.03	177.21	178.69	42600.00	240.39	205.99
	2	28	13146.00	13412.00	2.02		30.17	15.15	180.20		30520.00	169.37	
	3	28	12957.00	13111.00	1.19		30.00	15.09	178.66		37200.00	208.22	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ภาาเตาหลอม (GGBS) = 25 : 75

จกแทนที่ังรังก้ากั 250 KSC , W/(C+S) = 0.62

ตารางที่ 4.2.9

COMPRESSIVE STRENGTH

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา บ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แห้งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	7	12924.00	13175.00	1.94		30.20	15.10	178.99		42150.00	235.49	
	2	7	13148.00	13245.00	0.74	1.31	30.15	15.16	180.29	179.82	47855.00	265.43	250.46
	3	7	13078.00	13241.00	1.25		30.13	15.15	180.18		45125.00	250.45	
0%	1	14	13174.00	13300.00	0.96		30.27	15.11	179.30		48165.00	268.63	
	2	14	13071.00	13279.00	1.59	1.55	30.17	15.13	179.79	179.25	49785.00	276.90	278.19
	3	14	13200.00	13479.00	2.11		30.27	15.09	178.66		51640.00	289.05	
0%	1	28	13100.00	13341.00	1.84		13.10	15.20	181.37		56895.00	313.70	
	2	28	13170.00	13459.00	2.19	2.05	13.17	15.15	180.18	181.17	55415.00	307.56	297.88
	3	28	13013.00	13288.00	2.11		13.01	15.23	181.96		49560.00	272.36	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ภาตาหอย (GGBS) = 100 : 0

ขมแทนที่ซีเมนต์ 300 KSC , W/(C+S) = 0.55

COMPRESSIVE STRENGTH

ตารางที่ 4.2.10

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนเทม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังเทม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประลัย (kg)	ความหนึ่ ประลัย (ksc)	Average (ksc)
25%	1	7	13216.00	13417.00	1.52	1.63	30.18	15.12	179.41	178.55	37580.00	209.46	214.21
	2	7	13013.00	13293.00	2.15		30.30	15.04	177.66		39560.00	222.67	
	3	7	12846.00	13003.00	1.22		30.23	15.08	178.56		37585.00	210.49	
25%	1	14	13052.00	13274.00	1.70	1.77	30.18	15.07	178.37	179.66	41235.00	231.17	245.48
	2	14	13199.00	13431.00	1.76		30.23	15.09	178.77		43235.00	241.84	
	3	14	13011.00	13253.00	1.86		30.17	15.22	181.82		47895.00	263.42	
25%	1	28	13159.00	13311.00	1.16	1.47	13.16	15.25	182.56	181.96	51250.00	280.73	285.42
	2	28	13227.00	13497.00	2.04		13.23	15.23	181.96		48755.00	267.94	
	3	28	13263.00	13425.00	1.22		13.26	15.20	181.37		55785.00	307.58	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ภาตาหอม (GGBS) = 75 : 25

ขอมเมกั้รับน้ำหนัก 300 KSC , W/(C+S) = 0.55

ตารางที่ 4.2.11

COMPRESSIVE STRENGTH

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก้อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง บดบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แห่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประดัด (kg)	ความเค้น ประดัด (ksc)	Average (ksc)
50%	1	7	13126.00	13377.00	1.91	1.58	30.20	15.08	178.51	178.81	34560.00	193.60	203.21
	2	7	12962.00	13117.00	1.20		30.15	15.09	178.63		37855.00	211.92	
	3	7	13229.00	13443.00	1.62		30.30	15.11	179.30		36595.00	204.10	
50%	1	14	13319.00	13615.00	2.22	1.50	30.30	15.10	179.01	178.26	44565.00	248.95	239.84
	2	14	13132.00	13315.00	1.39		30.35	15.05	177.80		43560.00	244.99	
	3	14	12895.00	13009.00	0.88		30.30	15.06	177.97		40145.00	225.57	
50%	1	28	13227.00	13465.00	1.80	1.75	13.23	15.23	181.96	182.16	44565.00	244.91	261.43
	2	28	13135.00	13451.00	2.41		13.14	15.25	182.56		48755.00	267.06	
	3	28	12981.00	13115.00	1.03		12.98	15.23	181.96		49550.00	272.31	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : กากเตาหลอม (GGBS) = 50 : 50

ออกเทนกำลังรับน้ำหนัก 300 KSC , W/(C+S) = 0.55

ตารางที่ 4.2.12

COMPRESSIVE STRENGTH

%แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)
75%	1	7	13232.00	13551.00	2.41	2.15	30.80	15.09	178.68	179.28	37895.00	212.08	200.49
	2	7	12122.00	12519.00	3.28		30.30	15.12	179.46		35415.00	197.34	
	3	7	13086.00	13187.00	0.77		30.30	15.13	179.70		34510.00	192.04	
75%	1	14	13420.00	13615.00	1.45	1.68	30.40	15.16	180.34	178.75	41560.00	230.45	229.97
	2	14	12972.00	13211.00	1.84		30.35	15.02	177.17		40230.00	227.07	
	3	14	13044.00	13271.00	1.74		30.37	15.09	178.73		41535.00	232.39	
75%	1	28	13162.00	13417.00	1.94	1.68	13.16	15.10	179.04	178.91	45650.00	254.98	257.69
	2	28	13134.00	13413.00	2.12		13.13	15.03	177.21		43520.00	245.58	
	3	28	13117.00	13245.00	0.98		13.12	15.16	180.48		49185.00	272.52	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) : ปากตาหตอม (GGBS) = 25 : 75

จกนบมกัถ้งร้งกัถ้ง 300 KSC , W/(C+S) = 0.56

ตารางที่ 4.2.13

แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมเปรียบเทียบกับค่า $W/(C+S)$

$W/(C+S) = 0.70$	ตารางค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสม		
ส่วนผสม	ค่าความเค้นอัด (KSC)		
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : กากเตาหลอม	บ่มที่ 7 วัน	บ่มที่ 14 วัน	บ่มที่ 28 วัน
100 : 0	162.42	189.36	201.92
75 : 25	152.07	163.00	220.07
50 : 50	138.56	173.49	204.07
25 : 75	125.17	150.56	170.94

$W/(C+S) = 0.62$	ตารางค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสม		
ส่วนผสม	ค่าความเค้นอัด (KSC)		
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : กากเตาหลอม	บ่มที่ 7 วัน	บ่มที่ 14 วัน	บ่มที่ 28 วัน
100 : 0	204.30	239.14	253.86
75 : 25	188.93	226.56	245.48
50 : 50	165.11	177.01	216.27
25 : 75	148.34	167.96	205.99

$W/(C+S) = 0.55$	ตารางค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสม		
ส่วนผสม	ค่าความเค้นอัด (KSC)		
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : กากเตาหลอม	บ่มที่ 7 วัน	บ่มที่ 14 วัน	บ่มที่ 28 วัน
100 : 0	250.46	278.19	297.88
75 : 25	214.21	245.48	285.42
50 : 50	203.21	239.84	261.43
25 : 75	200.49	229.97	257.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.14

แสดง เปอร์เซ็นต์ กำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเทียบคอนกรีตฉั่วน

ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 200 KSC , $W/(C+S) = 0.70$

ส่วนผสม	บ่มที่ 7 วัน		บ่มที่ 14 วัน		บ่มที่ 28 วัน	
	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %
คอนกรีตฉั่วน	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โดยน้ำหนัก	93.63	-6.37	86.27	-13.73	108.99	8.99
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	85.31	-14.69	91.62	-8.38	101.06	1.06
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	77.07	-22.93	79.51	-20.49	84.66	-15.34

ตารางที่ 4.2.15

แสดง เปอร์เซ็นต์ กำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเทียบคอนกรีตฉั่วน

ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 250 KSC , $W/(C+S) = 0.62$

ส่วนผสม	บ่มที่ 7 วัน		บ่มที่ 14 วัน		บ่มที่ 28 วัน	
	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %
คอนกรีตฉั่วน	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โดยน้ำหนัก	92.48	-7.52	94.74	-5.26	96.70	-3.30
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	80.82	-19.18	74.02	-25.98	85.19	-14.81
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	72.61	-27.39	70.24	-29.76	81.14	-18.86

ตารางที่ 4.2.16

แสดง เปอร์เซ็นต์ กำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเทียบคอนกรีตฉั่วน

ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 300 KSC , $W/(C+S) = 0.55$

ส่วนผสม	บ่มที่ 7 วัน		บ่มที่ 14 วัน		บ่มที่ 28 วัน	
	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่าง %
คอนกรีตฉั่วน	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โดยน้ำหนัก	85.53	-14.47	88.24	-11.76	95.82	-4.18
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	81.13	-18.87	86.21	-13.79	87.76	-12.24
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	80.05	-19.95	82.67	-17.33	86.51	-13.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.17

แสดง % พัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบกำลังเท่ากับ 200 KSC , $W/(C+S)=0.70$

คอนกรีตล้วน

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	162.42	80.44	80.44
14	189.36	93.78	93.78
28	201.92	100	100

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 25 % โดยน้ำหนัก

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	152.07	69.1	75.31
14	163	74.07	80.73
28	220.07	100	108.99

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 50 % โดยน้ำหนัก

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	138.56	67.90	68.62
14	173.49	85.01	85.92
28	204.07	100.00	101.06

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 75 % โดยน้ำหนัก

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	125.17	73.22	61.99
14	150.56	88.08	74.56
28	170.94	100.00	84.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.18

แสดง % พัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบกำลังเท่ากับ 250KSC , $w/(C+S)=0.62$

คอนกรีตล้วน

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	204.30	80.48	80.48
14	239.14	94.20	94.20
28	253.86	100	100

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 25 % โดยน้ำหนัก

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	188.93	76.96	74.42
14	226.56	92.29	89.25
28	245.48	100.00	96.7

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 50 % โดยน้ำหนัก

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	165.11	76.34	65.04
14	177.01	81.85	69.73
28	216.27	100.00	85.19

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 75 % โดยน้ำหนัก

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	148.34	72.01	58.43
14	167.96	81.54	66.16
28	205.99	100.00	81.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.19

แสดง % พัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบกำลังเท่ากับ 300 KSC , $W/(C+S)=0.55$

คอนกรีตล้วน

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	250.46	84.08	84.08
14	278.19	93.39	93.39
28	297.88	100	100

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 25 % โดยน้ำหนัก

ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	214.21	75.05	71.91
14	245.48	86.01	82.41
28	285.42	100	95.82

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 50 % โดยน้ำหนัก

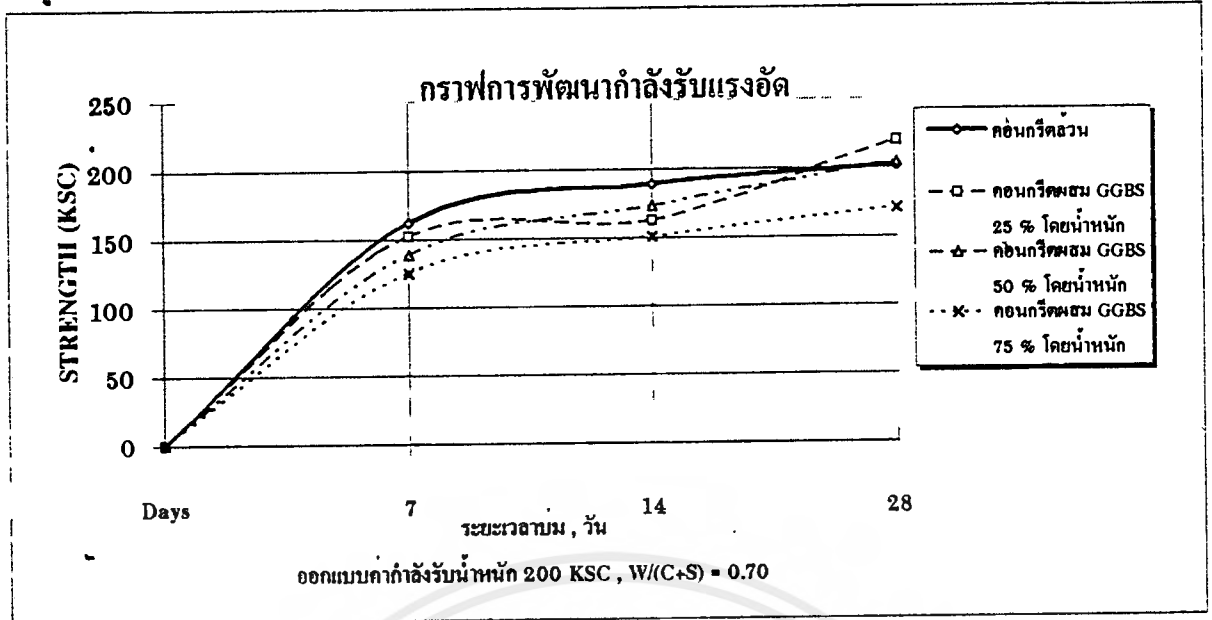
ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	203.21	77.73	68.22
14	239.84	91.74	80.52
28	261.43	100.00	87.76

คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS 75 % โดยน้ำหนัก

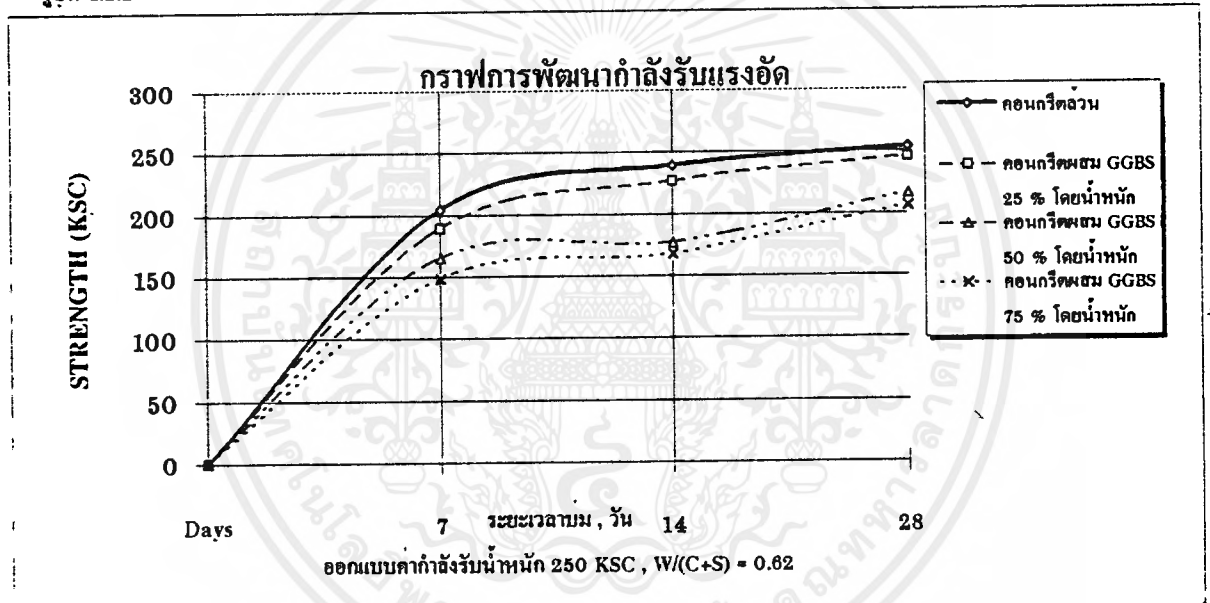
ระยะเวลาบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด	% พัฒนากำลัง	% พัฒนากำลังเทียบกับคอนกรีตล้วนที่ 28 วัน
7	200.49	77.80	67.31
14	229.97	89.24	77.20
28	257.69	100.00	86.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

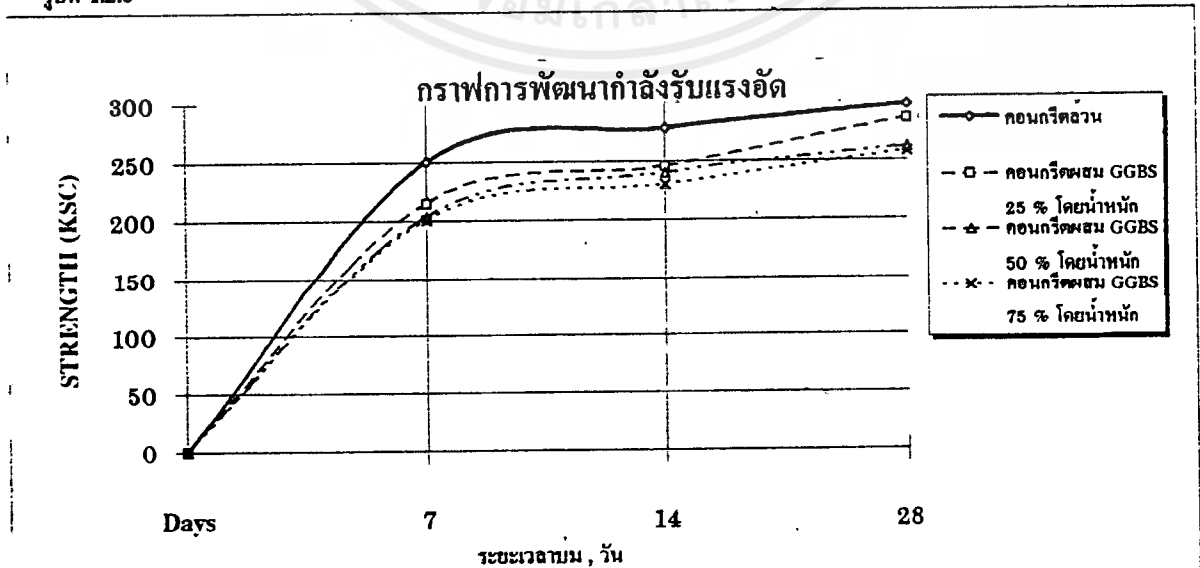
รูปที่ 4.2.1



รูปที่ 4.2.2



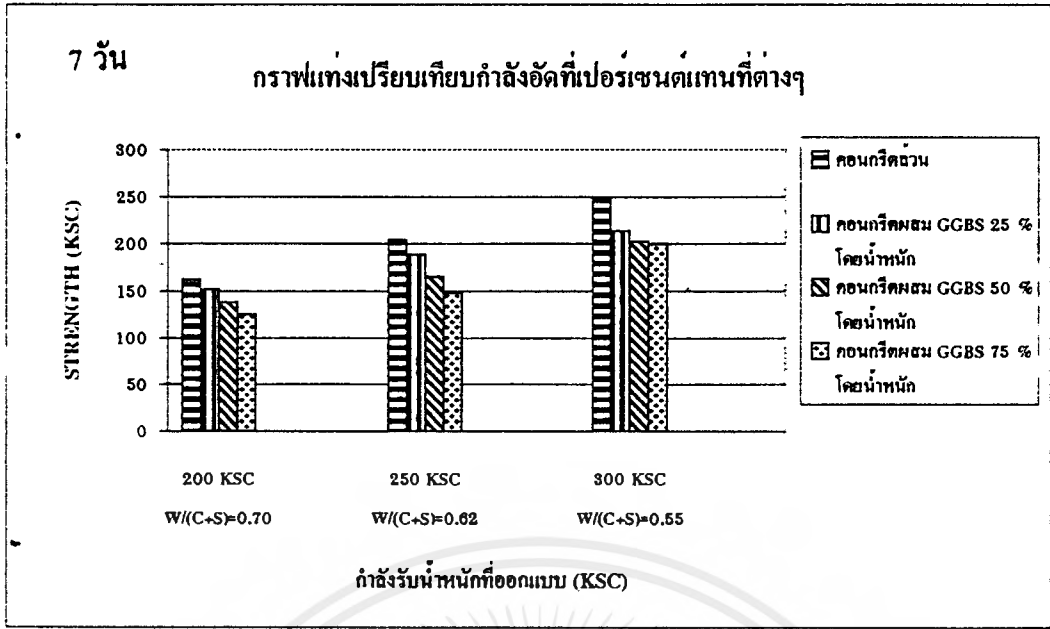
รูปที่ 4.2.3



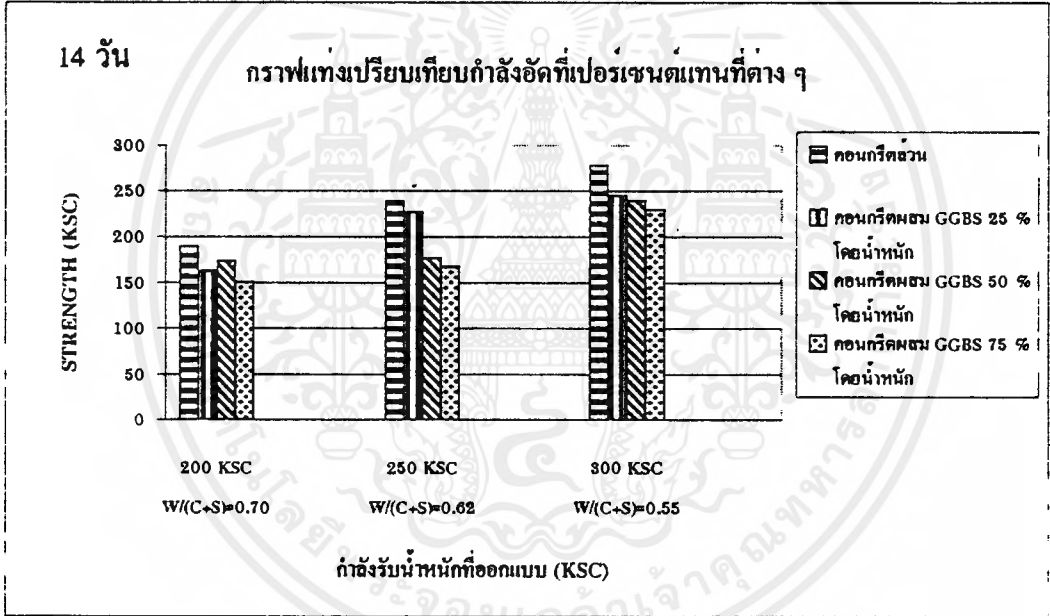
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ออกแบบค่ากำลังรับน้ำหนัก 300 KSC , $W/(C+S) = 0.55$ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

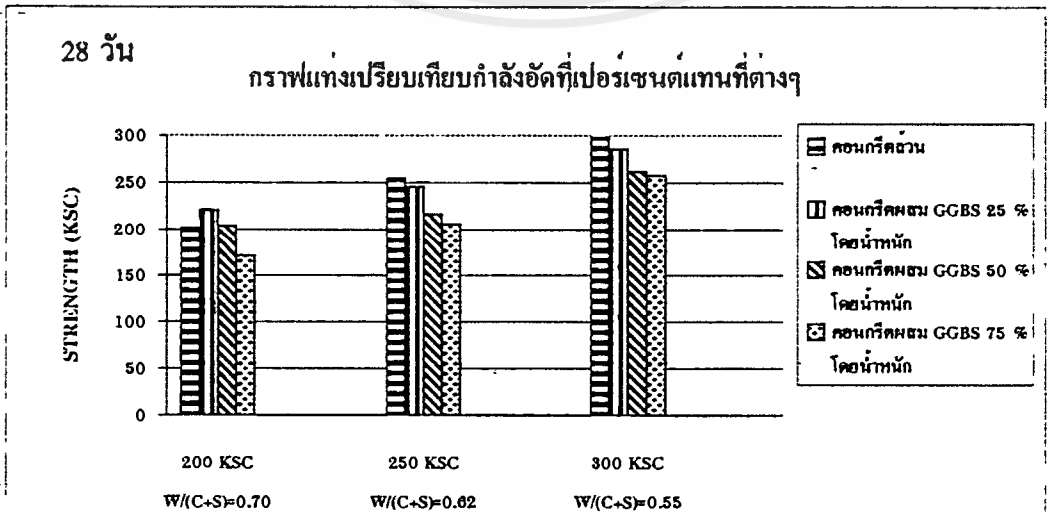
รูปที่ 4.2.4



รูปที่ 4.2.5



รูปที่ 4.2.6



4.3 การวิเคราะห์ผลการรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ

4.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 7 วัน ที่ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน ค่าการรับกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด โดยที่คอนกรีตที่มีส่วนผสมของ GGBS 25 % , 50 % , 75 % มีค่ากำลังการรับแรงอัดรองลงมาตามลำดับ

4.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 14 วัน ที่ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน ค่าการรับกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด โดยที่คอนกรีตที่มีส่วนผสมของ GGBS 25 % และ GGBS 50 % มีค่ากำลังการรับแรงอัดรองลงมาโดยที่ค่าอัตราส่วนทั้งสองให้ค่ากำลังที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่อัตราส่วนผสม GGBS 75 % ให้ค่าน้อยที่สุดแต่ก็มีค่าแตกต่างจากคอนกรีตผสม GGBS ที่ส่วนผสมอื่นไม่มากนัก

4.3.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.7 นั้นค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มี GGBS ผสมอยู่ 25 % มีค่าการรับแรงอัดสูงสุด ส่วนคอนกรีตที่มี GGBS ผสมอยู่ 50 % มีค่าการรับกำลังที่สูงกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% อยู่เล็กน้อย

ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานอื่น คือ ที่ 0.62 และ 0.55 ค่ากำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ผสมอยู่ 100 % ยังคงมีค่าสูงสุด แต่ค่าการรับกำลังนั้นมีค่าไม่แตกต่างจาก คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 25 % มากนัก คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 50% และ 75 % มีค่ากำลังอัดน้อยกว่าตามลำดับ

4.3.4 การพิจารณาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน 0.7 โดยเทียบระหว่างคอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% และคอนกรีตที่มี GGBS 25 % ในการบ่มที่ 7 วันคอนกรีตที่มีอัตราส่วน GGBS 25 % มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตที่ผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 100% อยู่ 6.37% เมื่อบ่มที่ 14 วันค่าการรับกำลังยังคงน้อยกว่าอยู่ 13.73 % เมื่อบ่มที่ 28 วัน กำลังคอนกรีตกลับเพิ่มขึ้นมากกว่าอยู่ 8.99%

คอนกรีตที่มี GGBS ผสมอยู่ 50 % ในช่วงแรกคือที่ 7 วัน และ 14 วัน ค่าการรับกำลังน้อยกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% อยู่ 14.69 % และ 8.38 % ตามลำดับ เมื่อผ่านไป 28 วัน กำลังของคอนกรีตที่ผสม GGBS มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าคอนกรีตผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 100 % เท่ากับ 1.06 %

คอนกรีตที่มี GGBS ผสมอยู่ 75 % ในการทดสอบที่ 7 , 14 และ 28 วัน นั้นมีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % ทั้งสิ้นโดยมีค่าน้อยกว่าเท่ากับ 22.93 % , 20.49 % , 15.34 % ตามลำดับ

4.3.5 การพิจารณาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.62 โดยเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% และ คอนกรีต ที่ผสม GGBS 25 % ในการทดสอบที่ 7 , 14 และ 28 วัน คอนกรีตที่ผสม GGBS 25 % มีค่าการรับกำลังน้อยกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ทั้งสิ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าเท่ากับ 7.52 % , 5.26 % และ 3.30 % ตามลำดับ

ในการทดสอบที่ 7 , 14 และ 28 วัน คอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสม GGBS 50 % มีค่าการรับกำลังน้อยกว่าคอนกรีตผสมปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ทั้งสิ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าเท่ากับ 19.19 % , 25.98 % และ 14.81 % ตามลำดับ

ในการทดสอบที่ 7 , 14 และ 28 วัน คอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสม GGBS 75 % มีค่ากำลังน้อยกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ทั้งสิ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าเท่ากับ 27.39 % , 29.76 % และ 18.86 % ตามลำดับ

4.3.6 การพิจารณาเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.55 โดยเปรียบเทียบคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% และ คอนกรีตที่ผสม GGBS

ในการทดสอบที่ 7 , 14 และ 28 วัน คอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสม GGBS 25 % มีค่ากำลังน้อยกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ทั้งสิ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าเท่ากับ 14.47% , 11.76 % และ 4.18 % ตามลำดับ

ในการทดสอบที่ 7 , 14 และ 28 วัน คอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสม GGBS 50 % มีค่ากำลังน้อยกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ทั้งสิ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าเท่ากับ 18.87 % , 13.79 % และ 12.24 % ตามลำดับ

ในการทดสอบที่ 7 , 14 และ 28 วัน คอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสม GGBS 75 % มีค่ากำลังน้อยกว่าคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ทั้งสิ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าเท่ากับ 19.95 % , 17.33 % และ 13.49 % ตามลำดับ

4.3.7 สาเหตุที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.7 ให้ค่ากำลังของคอนกรีตที่ผสม GGBS 25 % และ 50 % สูงกว่าคอนกรีต 100 % ในขณะที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานอื่น ๆ ค่ากำลังของคอนกรีตที่ผสม GGBS ยังมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % เป็นสาเหตุเพราะค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อ GGBS แตกต่างกัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่ำจะมีการพัฒนากำลังที่ต่ำ อาจเป็นเพราะว่า GGBS ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

จากการพิจารณากราฟและค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังคอนกรีตระหว่างคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % และคอนกรีตที่มี GGBS แล้ว คอนกรีตที่มี GGBS

ผสมอยู่ 25 % ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน 0.62 และ 0.55 มีแนวโน้มที่จะพัฒนากำลังได้สูงกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % ในระยะเวลาการบ่มที่ยาวนานขึ้น ส่วนคอนกรีตที่มี GGBS ผสมอยู่ที่อัตราส่วน 50 % และ 75 % เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแล้ว ค่าความแตกต่างมีค่าแคบลง อาจคาดคะเนได้ว่าที่ระยะเวลาการบ่มที่ระยะเวลานานมากอาจจะเป็นที่ 60 , 90 วัน หรือ 1 ปี อาจมีการพัฒนากำลังได้ใกล้เคียงหรือสูงกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % ซึ่งผลการวิจัยในอดีตก็ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าผสม GGBS ในอัตราส่วน มาก คอนกรีตนั้นก็ควรใช้เวลาในการบ่มนานมากขึ้น

4.4 ผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัด (ความเค้นอัด) ของคอนกรีตในส่วนผสมต่าง ๆ 4 ส่วนผสม ทดสอบกำลังอัด หลังจากระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน รวมผลการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด ตัวอย่าง โดยที่ผลการทดสอบจะนำเสนอในรูปแบบของตารางข้อมูลและกราฟเปรียบเทียบดังนี้

- | | |
|------------------------|--|
| ตารางที่ 4.4.1 - 4.4.3 | แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสม |
| ตารางที่ 4.4.4 | แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน |
| ตารางที่ 4.4.5 | เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมกับคอนกรีตล้วน |
| รูปที่ 4.4.1 | กราฟเส้นแสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมจากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก |
| รูปที่ 4.4.2 | กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมจากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ |

ตารางที่ 4.4.1

FLEXURAL STRENGTH

เปอร์เซ็นต์ แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความกว้าง แท่งตัวอย่าง (cm)	ความสูงแท่ง ตัวอย่าง (cm)	ความยาว แท่งตัวอย่าง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประลัย (kg)	ความต้าน ประลัย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	28	34517	34795	0.81	1.19	15.40	15.13	50	70.53	70.4076	1905	27.01	29.15
	2	28	35159	35678	1.48		15.73	15.07	50	71.43		2400	33.60	
	3	28	34179	34615	1.28		15.17	15.11	50	69.26		1860	26.86	
25%	1	28	34789	34988	0.57	0.77	14.77	14.97	50	66.16	65.4284	2610	39.45	34.32
	2	28	34589	34875	0.83		14.33	15.43	50	68.28		2415	35.37	
	3	28	35169	35487	0.90		15.30	14.22	50	61.85		1740	28.13	
50%	1	28	34158	34561	1.18	1.05	14.40	15.40	50	68.30	69.3674	1995	29.21	33.56
	2	28	34026	34511	1.43		15.33	15.30	50	71.79		2535	35.31	
	3	28	35648	35846	0.56		16.40	14.40	50	68.01		2460	36.17	
75%	1	28	34188	34615	1.25	1.02	15.50	15.90	50	78.37	74.4792	1875	23.92	28.90
	2	28	34179	34611	1.26		15.20	15.27	50	70.91		2055	28.98	
	3	28	34599	34789	0.55		15.57	15.43	50	74.15		2505	33.78	

ออกแบบกำลังรับน้ำหนัก 200 KSC , $w/(C+S) = 0.70$

ตารางที่ 4.4.2

FLEXURAL STRENGTH

เปอร์เซ็นต์ แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความกว้าง แท่งตัวอย่าง (cm)	ความสูงแท่ง ตัวอย่าง (cm)	ความยาว แท่งตัวอย่าง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	28	35164	35611	1.27	1.21	15.05	15.10	50	68.63	70.9946	2265	33.00	31.09
	2	28	34185	34489	0.89		15.23	15.40	50	72.25		2400	33.22	
	3	28	34113	34611	1.46		15.40	15.30	50	72.10		1950	27.05	
25%	1	28	34453	34913	1.34	0.96	15.37	15.00	50	69.15	71.5422	2250	32.54	30.10
	2	28	34876	35156	0.80		15.47	15.10	50	70.53		2070	29.35	
	3	28	34864	35127	0.75		15.80	15.40	50	74.94		2130	28.42	
50%	1	28	35618	35914	0.83	1.22	15.40	15.20	50	71.16	72.2125	1650	23.19	25.26
	2	28	34568	34987	1.21		15.03	15.30	50	70.38		1860	26.43	
	3	28	34124	34677	1.62		15.23	15.70	50	75.10		1965	26.17	
75%	1	28	34558	34956	1.15	1.32	15.27	15.33	50	71.79	71.266	1995	27.79	24.76
	2	28	34121	34511	1.14		15.27	15.23	50	70.85		1650	23.29	
	3	28	34111	34678	1.66		15.47	15.17	50	71.16		1650	23.19	

ออกแรงก้ำึงรับน้ำหนัก 250 KSC , $W/(C+S) = 0.62$

ตารางที่ 4.4.8

FLEXURAL STRENGTH

เปอร์เซ็นต์ แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนัก ตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความกว้าง แท่งตัวอย่าง (cm)	ความสูง ตัวอย่าง (cm)	ความยาว แท่งตัวอย่าง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลัง ประลัย (kg)	ความ แข็งแรง (ksc)	Average (ksc)
0%	1	28	34155	34651	1.45	1.28	15.50	15.30	50	72.57	72.5752	2850	39.27	40.04
	2	28	34132	34450	0.93		15.73	15.37	50	74.31		2940	39.57	
	3	28	34112	34611	1.46		15.27	15.23	50	70.85		2925	41.28	
25%	1	28	36154	36750	1.65	1.43	15.00	14.97	50	67.20	71.5733	2250	33.48	38.16
	2	28	34516	35106	1.71		15.37	15.60	50	74.79		3450	46.13	
	3	28	34778	35100	0.93		15.53	15.30	50	72.72		2535	34.86	
50%	1	28	34102	34561	1.35	1.60	15.00	15.43	50	71.45	71.3778	1890	26.45	28.47
	2	28	34113	34751	1.87		15.27	15.30	50	71.47		2055	28.75	
	3	28	34115	34652	1.57		15.15	15.33	50	71.21		2150	30.19	
75%	1	28	34789	35012	0.64	0.95	15.37	15.27	50	71.64	71.1676	2640	36.85	29.98
	2	28	34157	34513	1.04		15.30	15.30	50	71.63		1860	25.97	
	3	28	34516	34915	1.16		15.20	15.20	50	70.24		1905	27.12	

ออกแบบกำลังรับน้ำหนัก 300 KSC , $w/(C+S) = 0.55$

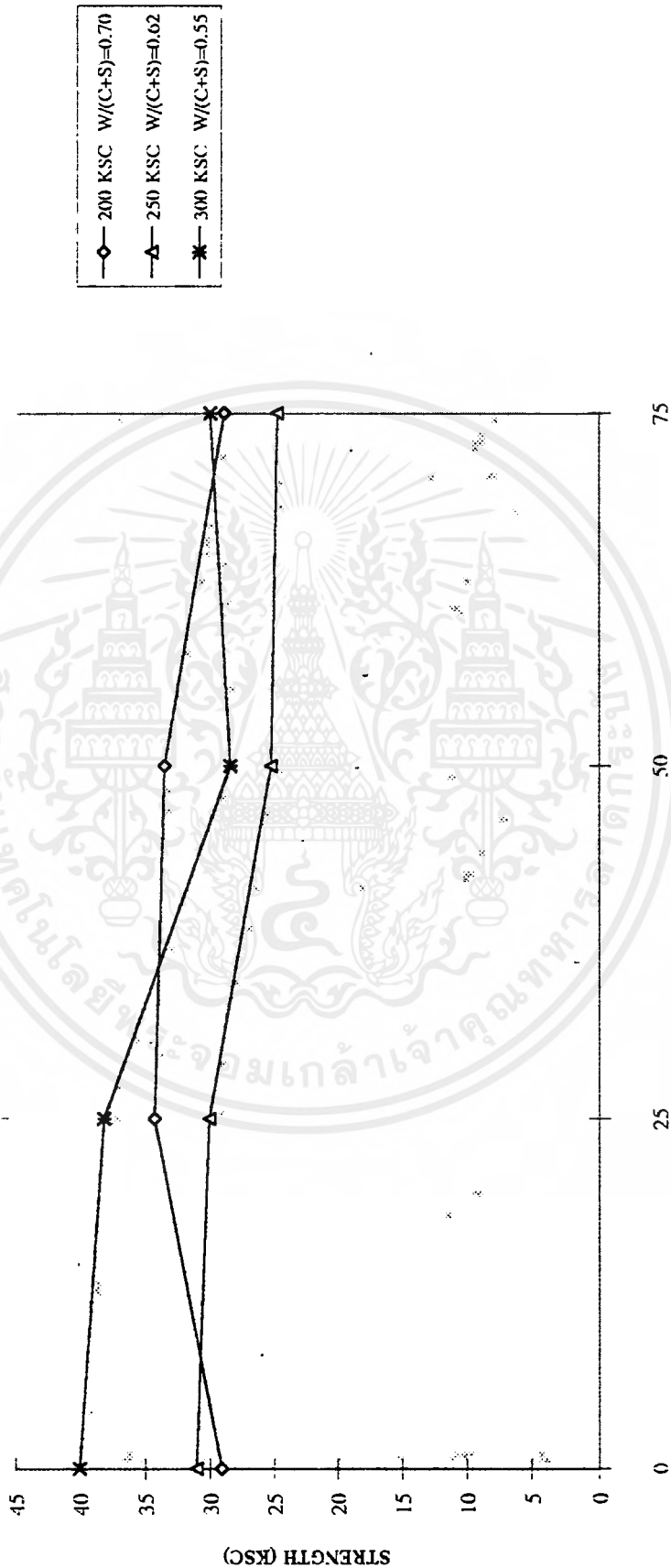
ตารางที่ 4.4.4 ตารางแสดงค่าความเค้นตัด (KSC) บ่ม 28 วัน ที่กำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ

ชื่อคอนกรีต	ค่าความเค้นตัด (KSC) บ่มที่ 28 วัน		
	200 KSC	250 KSC	300 KSC
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ภาคน้ำหนัก			
คอนกรีตผิว	29.15	31.09	40.04
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โยคน้ำหนัก	34.32	30.10	38.16
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โยคน้ำหนัก	33.56	25.26	28.47
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โยคน้ำหนัก	28.9	24.76	29.98

ตารางที่ 4.4.5 ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสม เทียบกับคอนกรีตผิวที่กำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ

บ่มที่ 28 วัน	ค่าความเค้นตัด (KSC)					
	200 KSC		250 KSC		300 KSC	
ชื่อคอนกรีต	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ภาคน้ำหนัก						
คอนกรีตผิว	100	0	100	0	100	0
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โยคน้ำหนัก	117.74	17.74	96.82	-3.18	95.3	-4.7
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โยคน้ำหนัก	115.13	15.13	81.25	-18.75	71.1	-28.9
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โยคน้ำหนัก	99.14	-0.86	79.64	-20.36	74.88	-25.12

กราฟแสดงกำลังการรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเปรียมเทียบกับค่า $W/(C+S)$ ต่างๆ



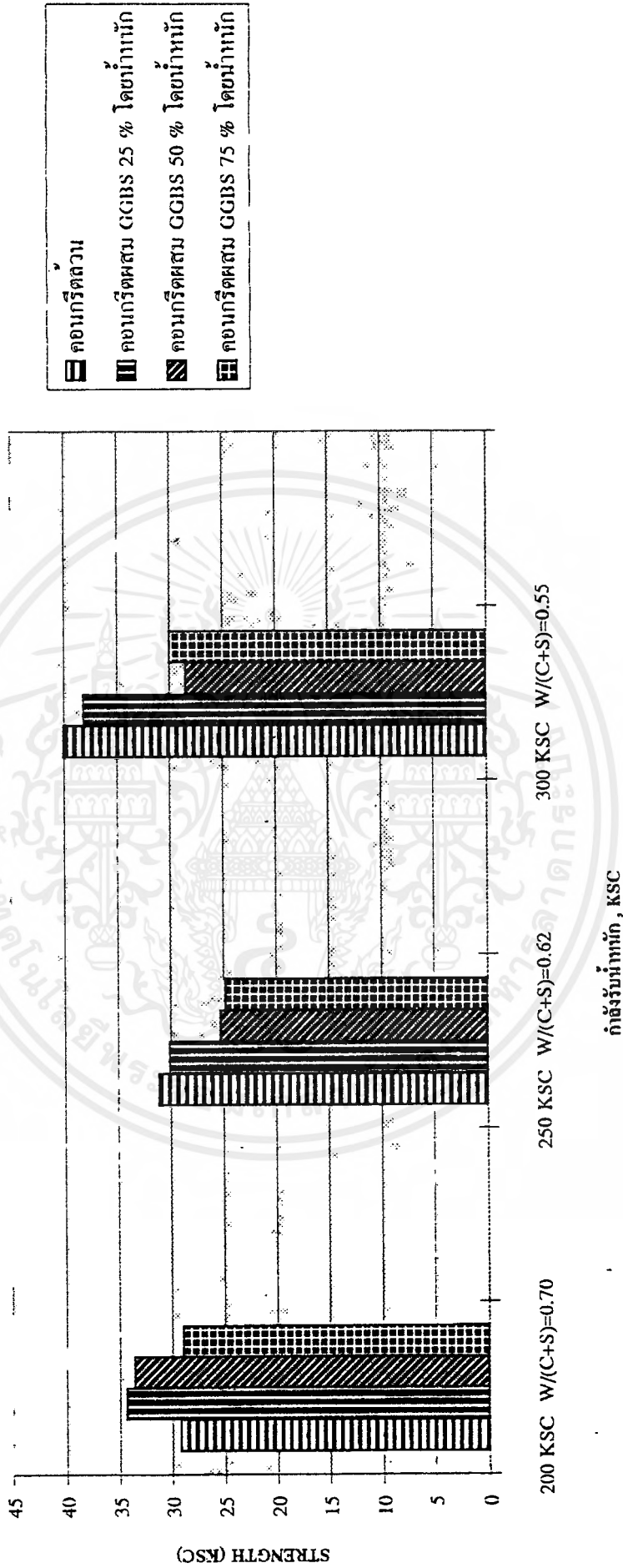
โปรแกรมแทนที่ GGBS โดยน้ำหนัก

วันที่ 28 วัน

รูปที่ 4.4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่ากำลังการรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเบรียบเทียบกับ W/(C+S) ต่าง ๆ



รูปที่ 4.4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์การทดสอบการรับแรงดัดของตัวอย่างทดสอบ

4.5.1 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของแท่งตัวอย่าง ที่การบ่ม 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.7 คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 25 % ให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด และคอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 50 % ให้ค่ากำลังที่น้อยกว่ารองลงมา คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % และคอนกรีตที่ผสม GGBS 75 % มีค่ากำลังรับแรงดัดใกล้เคียงกัน

ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสม GGBS 25% , 50 % มีค่าสูงกว่ากำลังของคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % อยู่ 17.74 % , 15.13 % ตามลำดับ

ส่วนคอนกรีตที่ผสม GGBS 75 % มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อยู่ 0.86 %

4.5.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของแท่งตัวอย่าง ที่การบ่ม 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.62 คอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % ให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด และมีค่าต่ำลงตามลำดับเมื่อลดอัตราปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลงค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % และ GGBS 25 % มีค่าใกล้เคียงกันและ ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสม GGBS 50 % และ 75 % มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสม GGBS 25% , 50 % , 75 % มีค่าต่ำกว่ากำลังของคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % อยู่ 3.18 % , 18.75 % , 20.36 % ตามลำดับ

4.5.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของแท่งตัวอย่าง ที่การบ่ม 28 วัน ที่อัตราส่วน น้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.55 คอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % ให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด และมีค่าต่ำลงตามลำดับเมื่อลดอัตราปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลงค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % และ GGBS 25 % มีค่าใกล้เคียงกัน และค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสม GGBS 50 % และ 75 % มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่ากำลังการรับแรงดัดของคอนกรีตผสม GGBS 25% , 50 % , 75 % มีค่าต่ำกว่ากำลังของคอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % อยู่ 4.70 % , 28.90 % , 25.12 % ตามลำดับ

4.5.4 จากกราฟที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในกำลังการรับแรงดัดของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่แต่ละอัตราส่วน

ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน 0.55 และ 0.62 มีลักษณะกราฟคล้ายกันคือ การรับกำลังของคอนกรีตที่ผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % มีค่าการรับแรงดัดสูงสุดและการรับกำลังของคอนกรีตที่ผสม GGBS 25 % มีค่ารองลงมา แต่ในการรับกำลังของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเป็น 0.7 กลับมีลักษณะกราฟที่ไม่เป็นไปในลักษณะนั้น คอนกรีตที่ส่วนผสม GGBS ที่ 25 % , 50 % มีความสามารถในการรับแรงดัดมากกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ต

แลนด์ 100 % สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นก็จะมีความหลากหลาย ๆ การสรุปในเรื่องความสามารถในการรับแรงอัดคือมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมพอดีต่อ GGBS จะเป็นปัจจัยสำคัญทำให้กำลังของคอนกรีตแตกต่างกัน และอาจเป็นเพราะว่าระบบการยึดเหนี่ยวในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ , กากเตาหลอม และมวลรวมมีระบบที่ดีกว่าด้วยรูปร่างอนุภาคและพื้นที่ผิวของอนุภาคกากเตาหลอม การบ่มจะมีผลอย่างมากต่อการรับแรงอัดของคอนกรีต

4.6 ผลการทดสอบกำลังการรับแรงดึง

ผลการทดสอบกำลังการรับแรงดึง (ความเค้นดึง) ของคอนกรีตในส่วนผสมต่าง ๆ 4 ส่วนผสม ทดสอบกำลังการรับแรงดึง หลังจากระยะเวลาที่ 28 วัน รวมผลการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 36 ตัวอย่าง โดยที่ผลการทดสอบจะนำเสนอในรูปแบบตารางข้อมูลและกราฟเปรียบเทียบดังนี้

- | | |
|------------------------|--|
| ตารางที่ 4.6.1 - 4.6.3 | แสดงค่ากำลังรับแรงดึงของตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสม |
| ตารางที่ 4.6.4 | แสดงค่ากำลังรับแรงดึงที่ 28 วันที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมเชื่อมประสานต่าง ๆ |
| ตารางที่ 4.6.5 | แสดงค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมกากเตาหลอมเหล็กเปรียบเทียบกับคอนกรีตล้วน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่าง ๆ |
| รูปที่ 4.6.1 | กราฟเส้นแสดงค่ากำลังการรับแรงดึงของคอนกรีตผสมกากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก |
| รูปที่ 4.6.2 | กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังของแรงดึงของคอนกรีตผสมกากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก |

TENSILE STRENGTH

เปอร์เซ็นต์แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงเมทังตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² *cm)	Average (cm ² *cm)	กำลังประลัย (kg)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	28	12802.00	12964.00	1.27	1.20	30.00	15.15	713.57	718.39	16200.00	22.70	19.94
	2	28	12750.00	12894.00	1.13		30.03	15.20	716.64		18.50		
	3	28	13070.00	13226.00	1.19		30.23	15.28	724.97		18.62		
25%	1	28	12642.00	12752.00	1.19	1.18	29.67	15.20	708.04	710.58	21300.00	30.08	28.99
	2	28	12715.00	12859.00	1.13		30.00	15.25	718.28		34.25		
	3	28	12622.00	12776.00	1.22		29.56	15.20	705.42		22.62		
50%	1	28	12833.00	12990.00	1.22	1.20	30.36	15.30	729.28	725.21	24180.00	33.16	26.80
	2	28	12958.00	13123.00	1.27		30.26	15.28	725.69		30.59		
	3	28	12691.00	12831.00	1.10		30.10	15.25	720.67		16.65		
75%	1	28	12723.00	12868.00	1.14	1.30	30.25	15.18	720.70	722.92	22200.00	30.80	26.87
	2	28	12740.00	12885.00	1.14		30.33	15.20	723.80		29.10		
	3	28	12785.00	12991.00	1.61		30.50	15.13	724.26		20.71		

ออกแบบกำลังรับน้ำหนัก 200 KSC , $W/(C+S) = 0.70$

TENSILE STRENGTH

ตารางที่ 4.8.2

เปอร์เซ็นต์แทนที่ GCBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูง แผลงตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² cm)	Average (cm ² cm)	กำลังประลัย (kg)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	28	12950.00	13115.00	1.27		30.13	15.23	720.20		13800.00	19.16	
	2	28	13130.00	13323.00	1.47	1.27	30.10	15.23	719.49	720.13	13200.00	18.35	21.24
	3	28	12971.00	13108.00	1.06		30.20	15.20	720.69		18900.00	26.22	
2.5%	1	28	12750.00	12948.00	1.55		30.20	15.10	715.95		16900.00	23.60	
	2	28	12940.00	13078.00	1.07	1.22	30.17	15.28	723.46	721.07	26820.00	37.07	31.78
	3	28	12911.00	13044.00	1.03		30.33	15.20	723.80		25086.00	34.66	
50%	1	28	12722.00	12904.00	1.43		30.37	15.18	723.56		14220.00	19.65	
	2	28	12895.00	13038.00	1.11	1.37	30.27	15.15	719.99	721.81	13260.00	18.42	16.98
	3	28	12715.00	12914.00	1.57		30.30	15.18	721.89		9300.00	12.88	
75%	1	28	12650.00	12803.00	1.21		30.08	15.15	715.54		18000.00	25.16	
	2	28	12688.00	12833.00	1.14	1.31	30.07	15.23	718.77	718.73	10200.00	14.19	17.80
	3	28	12544.00	12742.00	1.58		30.30	15.18	721.89		10140.00	14.05	

ออกแบบกำลังรับน้ำหนัก 260 KSC , W/(C+S) = 0.62

TENSILE STRENGTH

ตารางที่ 4.6.3

เปอร์เซ็นต์แทนที่ GCBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงแท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² *cm)	Average (cm ² *cm)	กำลังประลัย (kg)	ความต้านประลัย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	28	12753.00	12999.00	1.93		30.17	15.15	717.61		16860.00	23.49	
	2	28	13013.00	13218.00	1.58	1.51	30.33	15.30	728.56	720.86	16980.00	23.31	27.94
	3	28	12795.00	12925.00	1.02		30.12	15.15	716.42		26520.00	37.02	
25%	1	28	13011.00	13176.00	1.27		30.17	15.30	724.71		24360.00	33.61	
	2	28	12789.00	12958.00	1.32	1.20	29.93	15.23	715.42	722.02	21600.00	30.19	31.90
	3	28	12985.00	13117.00	1.02		30.27	15.28	725.93		23160.00	31.90	
50%	1	28	12853.00	13020.00	1.30		30.33	15.25	726.18		15060.00	20.74	
	2	28	12654.00	12818.00	1.30	1.38	30.40	15.05	718.31	723.47	21120.00	29.40	22.22
	3	28	12878.00	13078.00	1.55		30.27	15.28	725.93		12000.00	16.53	
75%	1	28	12841.00	13069.00	1.78		30.30	15.20	723.08		20700.00	28.63	
	2	28	12701.00	12908.00	1.63	1.65	30.03	15.18	715.46	720.54	15300.00	21.38	23.48
	3	28	13015.00	13216.00	1.54		30.40	15.15	723.08		14760.00	20.41	

ออกแบบกำลังรับน้ำหนัก 300 KSC , W/(C+S) = 0.55

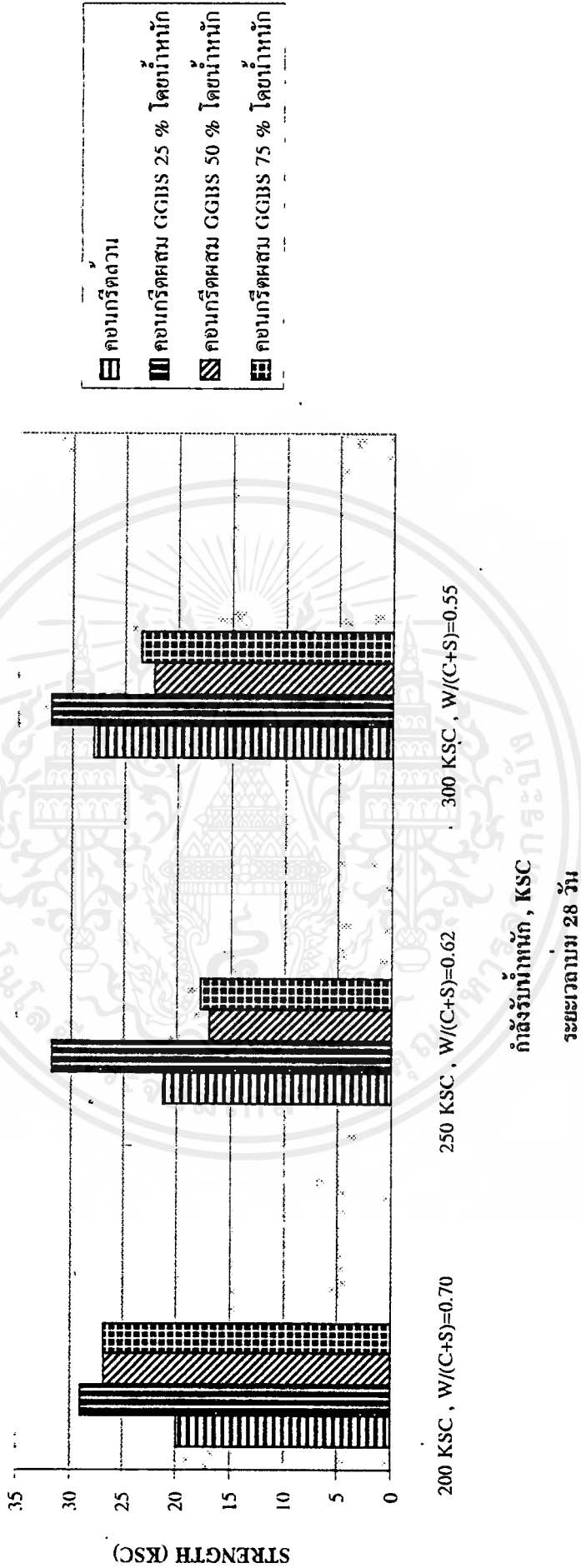
ตารางที่ 4.0.4 ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงดึง (KSC) ปมที่ 28 วัน ที่กำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ

ส่วนผสม	ค่ากำลังรับแรงดึง (KSC) ปมที่ 28 วัน		
	200 KSC	250 KSC	300 KSC
คอนกรีตล้วน	19.94	21.24	27.94
คอนกรีตผสม GGBS 2.5 % โดยน้ำหนัก	28.99	31.78	31.9
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	26.8	16.98	22.22
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	26.87	17.8	23.48

ตารางที่ 4.0.5 ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสม เทียบกับคอนกรีตล้วนที่ กำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ

บมที่ 28 วัน	ค่ากำลังรับแรงดึง (KSC)					
	200 KSC		250 KSC		300 KSC	
ส่วนผสม	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %
คอนกรีตล้วน	100	0	100	0	100	0
คอนกรีตผสม GGBS 2.5 % โดยน้ำหนัก	145.39	45.39	149.62	49.62	114.17	14.17
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	134.40	34.40	79.94	-20.06	79.53	-20.47
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	134.75	34.75	83.80	-16.20	84.04	-15.96

กราฟแสดงค่ากำลังการรับแรงดึงของคอนกรีตผสมเปรียบเทียบกัน W/(C+S) ต่าง ๆ



รูปที่ 4.6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การวิเคราะห์กำลังรับแรงดึงของตัวอย่างทดสอบ

4.7.1 การทดสอบการรับกำลังแรงดึงของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วันที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.7 คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 25% ให้ค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด โดยที่คอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % มีค่ากำลังรับแรงดึงต่ำที่สุดส่วนคอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS ที่ 50 % และ 75 % มีค่ากำลังการรับแรงดึงใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกำลังของคอนกรีตที่ผสม GGBS กับคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % แล้วคอนกรีตที่ผสม GGBS 25 % มีค่ากำลังการรับแรงดึงสูงกว่า 45.39 % คอนกรีตที่ผสม GGBS 50 % มีค่ากำลังการรับแรงดึงสูงกว่า 34.40 % คอนกรีตที่ผสม GGBS 75 % มีค่ากำลังการรับแรงดึงสูงกว่า 34.75 %

4.7.2 การทดสอบการรับกำลังแรงดึงของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วันที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.62 คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 25% ให้ค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 50 % มีค่ากำลังแรงดึงต่ำที่สุดแต่มีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตที่มีส่วนผสมของ GGBS ที่ 75 % เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังของคอนกรีตผสม GGBS กับ คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % แล้วคอนกรีตที่ผสม GGBS 25 % มีค่าสูงกว่าถึง 49.62 % ส่วนคอนกรีตที่ผสม GGBS 50 % และ 75 % มีค่าน้อยกว่าถึง 20.06 และ 16.2 % ตามลำดับ

4.7.3 การทดสอบการรับกำลังแรงดึงของตัวอย่างทดสอบที่การบ่ม 28 วันที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.55 มีผลเหมือนกับที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.62 เมื่อทำการเปรียบเทียบกำลังการรับแรงดึงของคอนกรีตผสม GGBS และคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % แล้วคอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 25 % มีค่าสูงกว่า 14.17 % คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 50 % และ 75 % มีค่าต่ำกว่าคอนกรีต 100 % ถึง 20.47 % และ 15.96 ตามลำดับ

4.7.4 ในการทดสอบกำลังการรับแรงดึง ลักษณะของกราฟ 4.6.1 ที่แสดงกำลังการรับแรงดึงของคอนกรีตมีลักษณะคล้ายกราฟที่ 4.4.1 ที่แสดงกำลังการรับแรงดึงของคอนกรีตคือที่คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.55 และ 0.62 จะมีลักษณะกราฟคล้ายกัน แต่ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.7 มีลักษณะแตกต่างคือ เมื่อคอนกรีตมีอัตราส่วนผสม GGBS สูงคือที่ 50 % และ 75 % จะมีค่าการรับกำลังมากกว่าคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม 100 % และมากกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมเดียวกันแต่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงมีลักษณะคล้ายกับการทดสอบการรับแรงดัด เพราะการทดสอบกำลังรับแรงดัดก็เป็นวิธีการทดสอบการรับแรงดึงวิธีหนึ่งแต่จะแสดงค่าออกมาในค่าโมเมนต์การแตกร้าว

4.8 ผลการทดสอบกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยว

ผลการทดสอบกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยว (ความเค้นยึดเหนี่ยว) ของคอนกรีตในส่วนผสมต่าง ๆ 4 ส่วนผสม ทดสอบกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยว หลังจากระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน รวมผลการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 36 ตัวอย่าง โดยที่ผลการทดสอบจะนำเสนอในรูปตารางข้อมูลและกราฟเปรียบเทียบดังนี้

- ตารางที่ 4.8.1 - 4.8.3 แสดงค่ากำลังของการรับแรงยึดเหนี่ยว ของตัวอย่างทดสอบทุกส่วนผสม
- ตารางที่ 4.8.4 แสดงค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวที่ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่าง ๆ
- ตารางที่ 4.8.5 แสดงค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสมกากเตาหลอมเหล็กเทียบกับคอนกรีตล้วนที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่าง ๆ
- รูปที่ 4.8.1 กราฟเส้นแสดงค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสมกากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก
- รูปที่ 4.8.2 กราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสมกากเตาหลอมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ โดยน้ำหนัก

BONDING STRENGTH

ตารางที่ 4.8.1

ความถี่ %แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงแท่ง ตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² *cm)	Average (cm ² *cm)	กำลังประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	28	10325	10450	1.21	1.37	14.07	2	88.34	85.13	4530	51.28	49.58
	2	28	10355	10540	1.79		13.20	2	82.90		3765	45.42	
	3	28	10340	10455	1.11		13.40	2	84.15		4380	52.05	
25%	1	28	10327	10515	1.82	1.69	14.37	2	90.22	94.13	5235	58.02	50.60
	2	28	10415	10557	1.36		15.23	2	95.66		5670	59.27	
	3	28	10318	10512	1.88		15.37	2	96.50		3330	34.51	
50%	1	28	10416	10586	1.63	1.25	15.20	2	95.46	96.99	3360	35.20	40.20
	2	28	10213	10319	1.04		15.73	2	98.80		3150	31.88	
	3	28	10319	10429	1.07		15.40	2	96.71		5175	53.51	
75%	1	28	10325	10456	1.27	1.43	15.93	2	100.06	97.48	3585	35.83	33.63
	2	28	10322	10457	1.31		15.23	2	95.66		3405	35.59	
	3	28	10411	10589	1.71		15.40	2	96.71		2850	29.47	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ภาคเทาหอย

ออกแบบกำลังรับน้ำหนัก 200 KSC , $W/(C+S) = 0.70$

BONDING STRENGTH

ประเภทที่ %แทนที่ GGBS	ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์ การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงแห่ง ตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² *cm)	Average (cm ² *cm)	กำลังประลัย (kg)	ความเค้น ประลัย (ksc)	Average (ksc)
0%	1	28	10355	10511	1.51	1.45	15.43	2	96.92	97.13	5430	56.03	51.90
	2	28	10318	10502	1.78		15.00	2	94.20		4725	50.16	
	3	28	10345	10455	1.06		15.97	2	100.27		4965	49.51	
2.5%	1	28	10325	10512	1.81	1.49	15.57	2	97.76	98.42	5520	56.46	57.53
	2	28	10310	10451	1.37		15.83	2	99.43		5280	53.10	
	3	28	10323	10455	1.28		15.62	2	98.07		6180	63.01	
5%	1	28	10333	10515	1.76	1.68	14.70	2	92.32	96.43	2940	31.85	47.08
	2	28	10317	10517	1.94		15.57	2	97.76		5625	57.54	
	3	28	10314	10451	1.33		15.80	2	99.22		5145	51.85	
7.5%	1	28	10326	10425	0.96	1.32	16.00	2	100.48	97.34	4275	42.55	42.11
	2	28	10331	10458	1.23		15.27	2	95.88		4680	48.81	
	3	28	10316	10498	1.76		15.23	2	95.66		3345	34.97	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : กากเตาหลอม

ออกแบบกำลังรับน้ำหนัก 250 KSC , W/(C+S) = 0.62

BONDING STRENGTH

ตารางที่ 4.8.3

ตัวอย่าง	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างก่อนบ่ม (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังบ่ม (g)	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ (%)	Average (%)	ความสูงแท่งตัวอย่าง (cm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	พื้นที่รับแรง (cm ² ·cm)	Average (cm ³ ·cm)	กำลังประลัย (kg)	ความเค้นประลัย (ksc)	Average (ksc)
GCBS	28	10319	10518	1.93	1.63	15.53	2	97.55	97.06	6000	61.51	57.05
	28	10317	10455	1.34		15.37	2	96.50		6840	70.88	
	28	10289	10457	1.63		15.47	2	97.13		3765	38.76	
0%	28	10315	10478	1.58	1.57	15.07	2	94.62	92.04	5115	54.06	60.91
	28	10401	10589	1.81		15.67	2	98.39		5895	59.92	
	28	10321	10457	1.32		13.23	2	83.10		5715	68.77	
25%	28	10332	10459	1.23	1.48	14.23	2	89.38	89.73	6375	71.32	70.28
	28	10318	10488	1.65		14.77	2	92.74		6150	66.32	
	28	10317	10479	1.57		13.87	2	87.08		6375	73.20	
50%	28	10322	10453	1.27	1.13	10.50	2	65.94	76.41	4035	61.19	58.77
	28	10320	10421	0.98		11.50	2	72.22		3675	50.89	
	28	10325	10444	1.15		14.50	2	91.06		5850	64.24	

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ภาคเตาหลอม

ออกแบบกำลังรับน้ำหนัก 300 KSC , W/(C+S) = 0.55

ตารางที่ 4.8.4 ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (KSC) บ่ม 28 วัน ที่ กำลังรับน้ำหนัก ต่าง ๆ

ส่วนผสม	ค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (KSC) บ่มที่ 28 วัน		
	200 KSC	250 KSC	300 KSC
คอนกรีตล้วน	49.58	51.90	57.05
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โดยน้ำหนัก	50.60	57.53	60.91
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	40.20	47.08	70.28
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	33.63	42.11	58.77

ตารางที่ 4.8.5 ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม เทียบกับคอนกรีตล้วนที่กำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ

ส่วนผสม	ค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (KSC)					
	W/(C+S) = 0.70			W/(C+S) = 0.62		
	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %	% เทียบกับ 100 : 0	ผลต่างของ %
คอนกรีตล้วน	100.00	0.00	100.00	0.00	100	0
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โดยน้ำหนัก	102.06	2.06	110.85	10.85	106.77	6.77
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	81.08	-18.92	90.71	-9.29	123.19	23.19
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	67.83	-32.17	81.14	-18.86	103.01	3.01

กราฟแสดงกำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม

เปรียบเทียบกับค่ากำลังรับน้ำหนัก ต่างๆ



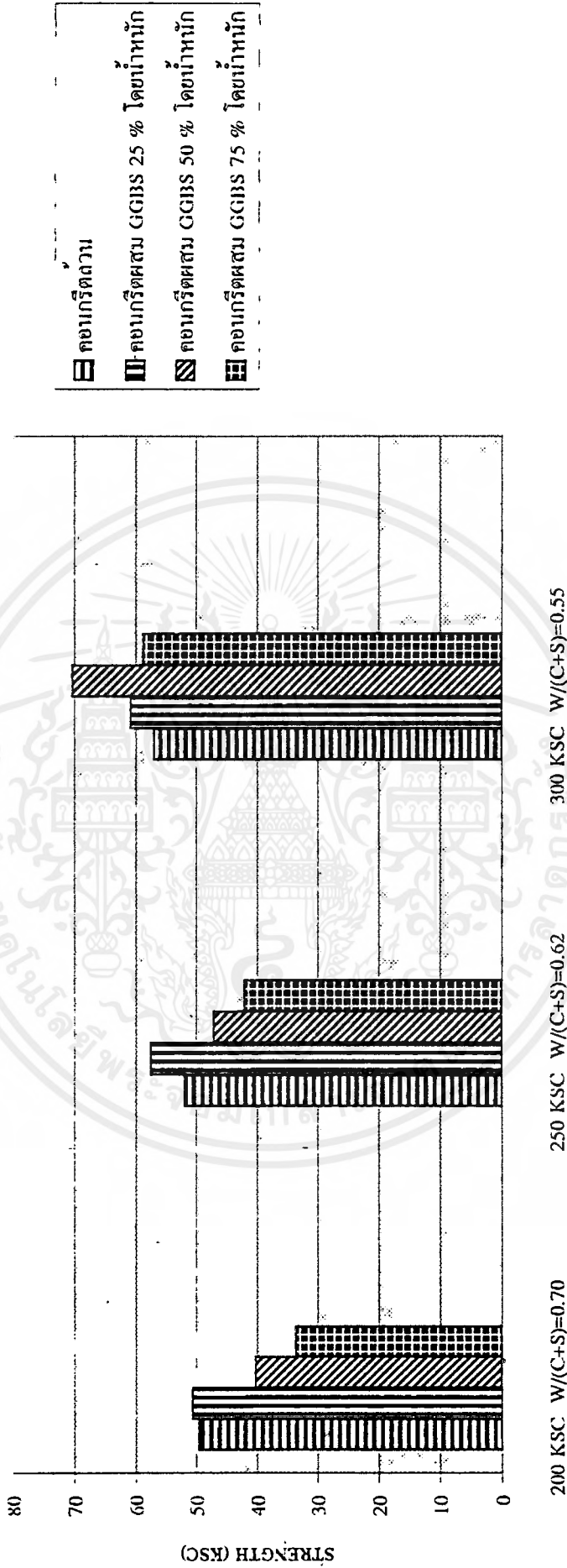
ปวงชนแทนที่ กรม โดยนัก

ระยะเวลาที่ 28 วัน

รูปที่ 4.8.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม
เปรียบเทียบกัน กำลังรับน้ำหนักต่าง ๆ



กำลังรับน้ำหนัก, KSC
วันที่ 28 วัน

4.9 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการรับแรงยึดเหนี่ยวของตัวอย่างทดสอบ

4.9.1 การทดสอบหาค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.70 ค่าการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่มี GGBS ผสม 25 % มีค่าแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด โดยที่ คอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ 100 % คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 50% และ 75 % มีค่ารองลงมาตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบ กำลังของคอนกรีตผสม GGBS และคอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % แล้วค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม GGBS 25 % มีค่าสูงกว่า 2.06 % ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม GGBS ที่ 50 % และ 75 % มีค่าต่ำกว่าคอนกรีต 100 % ถึง 18.92 % และ 32.17 % ตามลำดับ

4.9.2 การทดสอบหาค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.62 ค่าการรับกำลังแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่มี GGBS ผสม 25 % มีค่าแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดโดยที่ คอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ 100 % คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 50% และ 75 % มีค่ารองลงมาตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบ กำลังของคอนกรีตผสม GGBS และคอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % แล้วค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม GGBS 25 % มีค่าสูงกว่า 10.85 % ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม GGBS ที่ 50 % และ 75 % มีค่าต่ำกว่าคอนกรีต 100 % ถึง 9.29 % และ 18.86 % ตามลำดับ

4.9.3 การทดสอบหาค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.55 ค่าการรับกำลังแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่มี GGBS ผสมอยู่ 50 % มีค่าแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดในขณะที่ คอนกรีตมีส่วนผสม GGBS 25 % และ 75 % และคอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % มีค่าน้อยลงตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบ ค่ากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตผสม GGBS และ คอนกรีตที่มีส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 50 % มีค่าสูงกว่า 23.19 % คอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS 25 % และ 75 % มีค่าสูงกว่า เท่ากับ 6.77 % และ 3.01 %

4.9.4 จากการวิเคราะห์กราฟ 4.8.1 กราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายกันยกเว้นที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน 0.55 ค่ากำลังการรับแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตที่ผสม GGBS 50 % และ GGBS 75 % มีค่าการรับแรงที่สูงกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ 100 % ซึ่งอาจมีผลมาจากข้อผิดพลาดจากการทดลองเพราะค่าที่ได้น่าจะมีความสัมพันธ์ต่อกำลังการรับแรงดึงและการรับแรงดัด

4.10 การวิเคราะห์โดยสรุป

การพัฒนากำลังของคอนกรีตที่ผสม GGBS มีปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

4.10.1 ความละเอียด เป็นตัวแปรสำคัญที่จะประเมินคุณภาพของคอนกรีตที่ผสม GGBS โดยปกติค่าความละเอียดมีค่าอยู่ในช่วง $2750-6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ เนื่องจาก GGBS ที่ใช้มีความละเอียดปานกลาง คือที่ $4395 \text{ cm}^2/\text{g}$ การเกิดปฏิกิริยาจึงอาจไม่เร็วมากนัก ถ้ายังมีความละเอียดมากเท่าใดก็ยิ่งเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันมากและเพิ่มกำลังได้เร็วเท่านั้น แต่อาจมีปัญหาเนื่องจากอุณหภูมิที่จะเพิ่มสูงขึ้น

4.10.2 ค่า Activity Index จากการทดสอบปรากฏว่า GGBS ที่นำมาทดสอบอยู่ใน Grade 80 ซึ่งเป็นระดับต่ำสุดของ Grade ทั้งหมดซึ่งแบ่งออกเป็น 3 Grade ได้แก่ Grade 80,100,120 ตามมาตรฐาน ASTM C 989 ในกรณีนี้หากเตาหลอมเหล็กมีค่า Activity Index ต่ำดังนั้นการพัฒนากำลังจะช้ากว่าค่าจากเตาหลอมเหล็กที่มีค่า Activity Index สูง

4.10.3 การบ่ม การบ่มจะมีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตที่ผสม GGBS โดยเฉพาะเมื่อผสม GGBS ในปริมาณมาก อาจจะต้องใช้เวลาในการบ่มที่นานกว่าเพื่อให้ได้กำลังตามที่ต้องการ ในโครงการวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาการบ่มนานที่สุดเท่ากับ 28 วัน ดังนั้นที่การบ่มที่ระยะเวลานานกว่านี้ จะทำให้ค่าการรับกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นอีก ควรทำการบ่มในสภาพชื้นจะทำให้การพัฒนา กำลังดีขึ้น

4.10.4 อัตราส่วนแทนที่ และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน มีผลอย่างมากในกำลังของคอนกรีต จากผลการทดลองที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.70 มีลักษณะกราฟที่แตกต่างไปจากกราฟอื่น คอนกรีตที่ผสม GGBS นั้นมีค่าการรับกำลังค่อนข้างสูง ใกล้เคียงหรือสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % มีสาเหตุมาจากความเหมาะสมของอัตราส่วนแทนที่และปริมาณน้ำ การใช้ปริมาณน้ำมากทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง GGBS และน้ำได้รวดเร็วในช่วงต้น และถ้ามีปริมาณ GGBS ผสมอยู่มาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็จะมีการพัฒนาช้า คุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสม GGBS มีค่าแปรเปลี่ยนมากเนื่องการบ่มและอัตราส่วนแทนที่ ดังนั้นเป็นการดีที่จะตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตโดยการทดสอบผสมหลายๆ ค่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน เพื่อหาค่าได้ละเอียดยิ่งขึ้น อัตราส่วนแทนที่ที่นิยมใช้คือ 30-70 % โดยน้ำหนักขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ บทวิจารณ์ และข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของคอนกรีตที่มีส่วนผสม GGBS เปรียบเทียบกับคอนกรีตล้วน รวมทั้งอัตราส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วย GGBS เพื่อเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานในการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

5.2 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองสรุปได้ว่า GGBS เป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้โดยมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการบ่ม ผลการทดสอบการรับแรงอัดที่คอนกรีตผสม GGBS จะทำให้กำลังในช่วงแรกต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % หลังจากการบ่มที่ 28 วัน ในคอนกรีตที่ผสม GGBS ที่อัตราส่วน 25 % และ 50 % มีการพัฒนากำลังได้ใกล้เคียงหรือสูงกว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % เล็กน้อย โดยในคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสม 25% นั้นมีแนวโน้มการพัฒนากำลังได้สูงกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100% ในระยะเวลาการบ่มที่ยาวนานขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะสมกับงานที่ต้องการกำลังสูง และการใช้งานที่ไม่ต้องการการรับกำลังของคอนกรีตที่เร็ววันัก เช่น งานเขื่อน , งานตอม่อสะพาน คอนกรีตที่ผสม GGBS ยังมีกำลังดัดที่ใกล้เคียงกับกำลังการรับแรงดัดของคอนกรีตที่มีส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 100 % ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการรับแรงดัด เช่น พื้นถนนและพื้นสนามบิน ในด้านกำลังการรับแรงดึงและแรงยึดเหนี่ยวนั้นคอนกรีตที่ผสม GGBS มีกำลังการรับแรงดึงที่สูงกว่า จึงนิยมใช้คอนกรีตผสม GGBS ในงานคอนกรีตอัดแรง ดังเก็บน้ำ คสล. ดังนั้นคอนกรีตที่มี อัตราส่วนผสม GGBS ที่ 25 % มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้งานในโครงสร้างที่ต้องการรับกำลังสูง โดยการพิจารณากำลังของคอนกรีตไม่เป็นปัญหาต่อการก่อสร้าง ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้

ในกรณีที่มีอัตราส่วนผสม GGBS อื่นๆคือที่ 50 % และ 75 % ก็สามารถนำมาใช้ในโครงสร้างที่ไม่ต้องการการรับกำลังในช่วงแรกมากนัก เพราะมีการพัฒนากำลังที่ช้ามาก

5.3 บทวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

5.3.1 วิจารณ์ผลการทดสอบ

เนื่องจากผู้ทำการวิจัย ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างเพียง 3 ตัวอย่างทดสอบ ดังนั้นผลการทดสอบที่ออกมาจึงมีความละเอียดความถูกต้องน้อยกว่าการทดสอบที่หลาย ๆ ตัวอย่างทดสอบ และไม่สามารถทำค่าทางสถิติได้เพราะตัวอย่งมีน้อยซึ่งจะทำให้ความแปรปรวนของข้อมูลมาก

เนื่องจากไม่ได้ปรับค่าอัตราส่วนน้ำและความชื้นของมวลรวมทุกครั้งเมื่อทำการทดสอบ ดังนั้นผลที่ออกมาจึงค่าเปลี่ยนแปลงไปบ้าง

จากการทดลองนี้ใช้ GGBS ผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในเครื่องผสมคอนกรีต ผลที่ได้ อาจมีความแตกต่างจากคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่บดรวมกับ GGBS

5.3.2 ข้อเสนอแนะ

ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ถ้าใช้อัตราส่วนที่ผสม GGBS สูง ควรมีการปรับแก้ค่าปริมาตร ที่เปลี่ยนไป เนื่องจากความแตกต่างในค่าของความถ่วงจำเพาะของ GGBS ที่มีค่าประมาณ 2.85 - 2.94 และค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 3.15 เนื่องจากผู้ทำวิจัยได้ทำการแทนที่ GGBS เป็นอัตราส่วนโดยไม่ได้คำนึงถึงปริมาตรที่เปลี่ยนไป ก็อาจทำให้ค่าการรับกำลังเปลี่ยนไปบ้างเล็กน้อย ขอเปรียบเทียบการออกแบบโดยพิจารณาจากความถ่วงจำเพาะของ GGBS กับการออกแบบในโครงการวิจัยได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

คุณสมบัติของ GGBS มีค่าแปรเปลี่ยนมาก เป็นการศึกษาที่จะตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีต โดยการทดสอบผสม เปรอ์เซนต์ GGBS หลาย ๆ ค่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเดียวกัน เพื่อหาอัตราส่วนที่สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างที่ดีที่สุด โดยต้องคำนึงถึงคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของคอนกรีตที่ผสม GGBS ด้วย เช่น ความสามารถในการเทได้ , คุณสมบัติในการต้านสารเคมี ควรมีการพิจารณากำลั้งของคอนกรีตเมื่อองค์ประกอบของ GGBS เปลี่ยนไป ข้อมูลที่มีอยู่ในอดีตที่ใช้ GGBS คนละชนิดกัน ก็ไม่สามารถนำมาใช้ได้ เพราะขงกต่อการประมาณค่า

ควรมีการทดสอบหาคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อใช้ GGBS ที่เป็นผลึก นำมาใช้เป็นมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

ควรทำการทดสอบคอนกรีตที่ผสม GGBS ในการบ่มที่ยาวนานกว่า 28 วัน เช่นทดสอบที่ 60 วัน , 90 วัน หรือ 1 ปี จะให้ค่าการพัฒนากำลังที่มีค่าละเอียดขึ้น

ควรมีการทดสอบคุณสมบัติอื่นๆเช่น คุณสมบัติของคอนกรีตสดในด้านความสามารถในการเท ระยะเวลาการก่อตัว การย้้ม การสูญเสียการยุบตัว , คุณสมบัติในการต้านทานสารเคมี , CREEP , SHRINKAGE , PERMEABILITY เพื่อข้อมูลจะได้มีความละเอียดยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ในปัจจุบันขบวนการผลิตเหล็กในประเทศไทยทั้งหมดที่ผลิตได้จะเป็นการผลิตจากกากเตาหลอมเป็นส่วนใหญ่ การผลิตเหล็กโดยวิธีนี้จะทำให้เกิดกากเตาหลอมซึ่งเป็นของเหลือ (By Product) จากการผลิตเหล็กโดยวิธีใช้เตาหลอมจะทำให้เกิดปัญหาทางมลพิษและปัญหาการกำจัดที่ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอากากของเหลือมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในการช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตบางอย่าง อีกทั้งยังเป็นการนำของเสีย (Waste) มาใช้ซึ่งจะช่วยขจัดปัญหามลภาวะไปในตัวด้วย

ปริมาณกากเตาหลอม

ปริมาณของการผลิตเหล็กเตาหลอม มีปริมาณ 3,690,000 ตันต่อปี ปริมาณกากเตาหลอม (Blast Furnace Slag) ที่เกิดจากขบวนการผลิตเหล็กมีปริมาณ 258,300 ตันต่อปี

แนวโน้มของกากเตาหลอมในอนาคตเนื่องจากในแต่ละปีประเทศไทยเสียค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเหล็กเป็นจำนวนมาก ทางรัฐจึงตระหนักถึงการขาดดุลในแต่ละปี ดังนั้นทางรัฐจึงได้ส่งเสริมการลงทุนในอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นจาก 329,000 ตัน ในปี 2529 เป็น 3,166,900 ในปี 2539 หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 20 ต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเนื่องจากกากเตาหลอมเป็นของเสียที่เหลือจากการผลิตเหล็กตัวกากเตาหลอมจึงไม่มีมูลค่า แต่ถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุนจริง ๆ จะเป็นค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และการบดละเอียดเป็นส่วนใหญ่

ค่าใช้จ่ายในการบดละเอียดในการนำกากเตาหลอมมาใช้งาน ประมาณ 100 บาท ต่อ ปริมาณกากเตาหลอม 1 ตัน

ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อใช้ GGBS แทนปูนซีเมนต์

ราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	1.70 บาท/กิโลกรัม
ราคาของ GGBS (ค่าขนส่ง , บดละเอียด ฯลฯ)	0.30 บาท/กิโลกรัม

ตาราง ก แสดงราคาของปูนซีเมนต์เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย GGBS ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ โดยน้ำหนัก

คอนกรีตที่ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 200 KSC

	ปูนซีเมนต์ (kg/m^3)	กากเตาหลอม (kg/m^3)	ราคารวม (บาท / m^3)
คอนกรีตล้วน	278.57	0	473.569
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โดยน้ำหนัก	208.929	69.643	376.072
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	139.286	139.286	278.572
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	69.643	208.929	181.072

คอนกรีตที่ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 250 KSC

	ปูนซีเมนต์ (kg/m^3)	กากเตาหลอม (kg/m^3)	ราคารวม (บาท / m^3)
คอนกรีตล้วน	314.561	0	534.754
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โดยน้ำหนัก	235.887	78.629	424.597
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	157.258	157.258	314.516
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	78.629	235.887	204.435

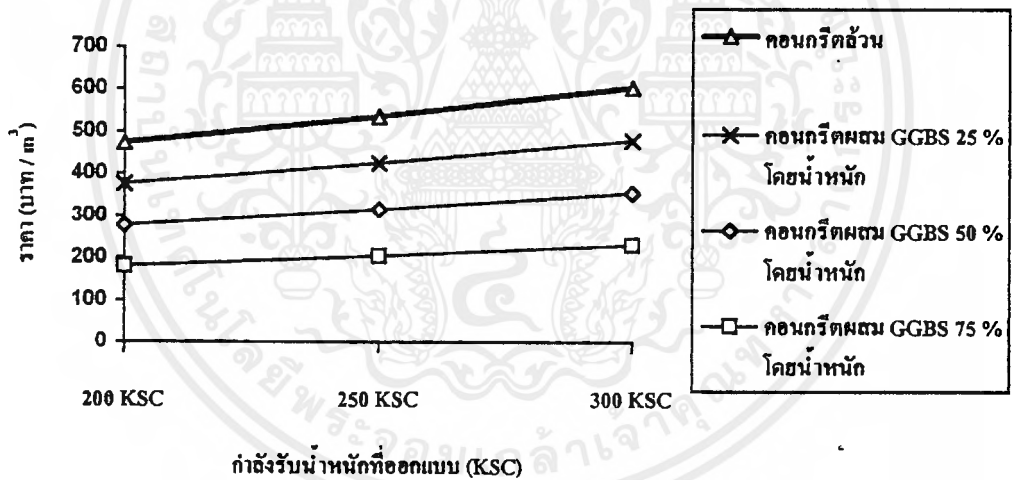
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตที่ออกแบบกำลังรับน้ำหนักที่ 300 KSC

	ปูนซีเมนต์ (kg/m^3)	กากเตาหลอม (kg/m^3)	ราคารวม (บาท / m^3)
คอนกรีตล้วน	354.545	0	602.727
คอนกรีตผสม GGBS 25 % โดยน้ำหนัก	265.909	88.636	478.636
คอนกรีตผสม GGBS 50 % โดยน้ำหนัก	177.273	177.273	354.546
คอนกรีตผสม GGBS 75 % โดยน้ำหนัก	88.636	265.906	230.453

รูปที่ ก.1

แสดงกราฟเปรียบเทียบราคาปูนซีเมนต์ผสม (บาท / ลูกบาศก์เมตร)



ภาคผนวก ข

โปรแกรมการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตในโครงการวิจัย

ในการทำโครงการวิจัยผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาทฤษฎีในการคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต (Mixed design) จนมีความเข้าใจ และเนื่องจากในการทำวิจัย มีการผสมคอนกรีตในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ กันมากมาย ทำให้ใช้เวลาในการทำการคำนวณในแต่ละส่วนผสม ผู้ทำการวิจัยจึงได้ใช้ความรู้ทางคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต โดยใช้ ภาษาเบสิก ในการทำการคำนวณขึ้น โดยตัวโปรแกรมจะเนื้อหาดังนี้

Program Mixed design by Soradol Kiratipongvut

```

10  ' MIXED DESIGN.....Program by Soradol Kiratipongvut
20  ' USE FOR DESIGN AGGRIGATE OF CONCRETE
30  ' DESIGN STRENGTH AT 150-450 KSC BY ACI CODE
40  INPUT "SPACIFIC GRAVITY OF CEMENT = ?" ; GRC
50  INPUT " MAX SIZE OF ROCK = ?" ; MR
60  INPUT " SPACIFIC GRAVITY OF ROCK = ?" ; GR
70  INPUT " MOISTURE OF ROCK = ?" ; MRO
80  INPUT " ABSORBTION OF ROCK = ?" ; ABR
90  INPUT " DRY DENSITY OF ROCK = ?" ; D
100 INPUT "SPACIFIC GRAVITY OF SAND = " ; GRS
110 INPUT " MOISTURE OF SAND = ?" ; MS
120 INPUT " ABSORBTION OF SAND = ?";ARS
130 INPUT "FINESS MODULOUS = ?" ; FM
140 INPUT "SLUMP      1) 3-5 CM. , 2) 8-10 CM , 3) 15-18 CM = ?" ; SL
150 INPUT "1) NON AIR , 2) AIR ENTRAINING=?"; C
160 IF C=1 THEN 180
170 IF C=2 THEN 420
180 IF SL=1 AND MR=10 THEN WA=205 : A=3
190 IF SL=1 AND MR=12.5 THEN WA=200: A=2.5
200 IF SL=1 AND MR=12.5 THEN WA=185 : A=2.0
210 IF SL=1 AND MR=25 THEN WA=180 : A=1.5
220 IF SL=1 AND MR=40 THEN WA=160 : A=1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

230 IF SL=1 AND MR=50 THEN WA=155 : A=0.5
 240 IF SL=1 AND MR=75 THEN WA=145 : A=0.3
 250 IF SL=1 AND MR=150 THEN WA=125 : A=0.2
 260 IF SL=2 AND MR=10 THEN WA=225 : A=3
 270 IF SL=2 AND MR=12.5 THEN WA=215 : A=2.5
 280 IF SL=2 AND MR=20 THEN WA=200 : A=2.0
 290 IF SL=2 AND MR=25 THEN WA=195 : A=1.5
 300 IF SL=2 AND MR=40 THEN WA=175 : A=1
 310 IF SL=2 AND MR=50 THEN WA=170 : A=0.5
 320 IF SL=2 AND MR=75 THEN WA=160 : A=0.3
 330 IF SL=2 AND MR=150 THEN WA=140 : A=0.2
 340 IF SL=3 AND MR=10 THEN WA=240 : A=3
 350 IF SL=3 AND MR=12.5 THEN WA=230 : A=2.5
 360 IF SL=3 AND MR=20 THEN WA=210 : A=2.0
 370 IF SL=3 AND MR=25 THEN WA=205 : A=1.5
 380 IF SL=3 AND MR=40 THEN WA=185 : A=1
 390 IF SL=3 AND MR=50 THEN WA=180 : A=0.5
 400 IF SL=3 AND MR=75 THEN WA=170 : A=0.3
 410 GOTO 650
 420 IF SL=1 AND MR=10 THEN WA=180 : A=8
 430 IF SL=1 AND MR=12.5 THEN WA=175 : A=7
 440 IF SL=1 AND MR=12.5 THEN WA=165 : A=6
 450 IF SL=1 AND MR=25 THEN WA=160 : A=5
 460 IF SL=1 AND MR=40 THEN WA=145 : A=4.5
 470 IF SL=1 AND MR=50 THEN WA=140 : A=4.0
 480 IF SL=1 AND MR=75 THEN WA=135 : A=3.5
 490 IF SL=1 AND MR=150 THEN WA=120 : A=3.0
 500 IF SL=2 AND MR=10 THEN WA=200 : A=8
 510 IF SL=2 AND MR=12.5 THEN WA=190 : A=7
 520 IF SL=2 AND MR=20 THEN WA=180 : A=6
 530 IF SL=2 AND MR=25 THEN WA=175 : A=5
 540 IF SL=2 AND MR=40 THEN WA=160 : A=4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

550 IF SL=2 AND MR=50 THEN WA=155 : A=4.0
560 IF SL=2 AND MR=75 THEN WA=150 : A=3.5
570 IF SL=2 AND MR=150 THEN WA=135 : A=3
580 IF SL=3 AND MR=10 THEN WA=215 : A=8
590 IF SL=3 AND MR=12.5 THEN WA=205 : A=7
600 IF SL=3 AND MR=20 THEN WA=190 : A=6
610 IF SL=3 AND MR=25 THEN WA=185 : A=5
620 IF SL=3 AND MR=40 THEN WA=170 : A=4.5
630 IF SL=3 AND MR=50 THEN WA=165 : A=4
640 IF SL=3 AND MR=75 THEN WA=160 : A=3.5
650 INPUT "STRENGTH OF CONCRETE = ?" ; ST
660 IF C=1 THEN 680
670 IF C=2 THEN 750
680 IF ST >= 150 AND ST < 200 THEN WC = 0.8-(ST-150)*0.1/50
690 IF ST >=200 AND ST <250 THEN WC = 0.7-(ST-200)*0.08/50
700 IF ST >=250 AND ST < 300 THEN WC= 0.62-(ST-250)*0.07/50
710 IF ST >=300 AND ST <350 THEN WC=0.55-(ST-300)*0.07/50
720 IF ST >= 350 AND ST <400 THEN WC= 0.48-(ST-350)*0.05/50
730 IF ST >= 400 AND ST <= 450 THEN WC=0.43-(ST-400)*0.05/50
740 GOTO 800
750 IF ST >= 150 AND ST < 200 THEN WC = 0.71-(ST-150)*0.1/50
760 IF ST >=200 AND ST <250 THEN WC = 0.61-(ST-200)*0.08/50
770 IF ST >=250 AND ST < 300 THEN WC= 0.53-(ST-250)*0.07/50
780 IF ST >=300 AND ST <= 350 THEN WC=0.46-(ST-300)*0.06/50
790 GOTO 800
800 PAUSE "-W/C = " ; WC
810 IF MR=10 THEN 890
820 IF MR = 12.5 THEN 930
830 IF MR = 20 THEN 970
840 IF MR = 25 THEN 1010
850 IF MR = 40 THEN 1050
860 IF MR = 50 THEN 1090

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

870  IF MR = 75   THEN 1130
880  IF MR = 150  THEN 1170
890  IF FM >= 2.4 AND FM < 2.6 THEN R= 0.5-(FM-2.4)*0.02/0.2
900  IF FM >= 2.6 AND FM < 2.8 THEN R= 0.48-(FM-2.6)*0.02/0.2
910  IF FM >= 2.8 AND FM < = 3 THEN R= 0.46-(FM-2.8)*0.02/0.2
920  GOTO 1210
930  IF FM >= 2.4 AND FM < 2.6 THEN R= 0.59-(FM-2.4)*0.02/0.2
940  IF FM >= 2.6 AND FM < 2.8 THEN R= 0.57-(FM-2.6)*0.02/0.2
950  IF FM >= 2.8 AND FM < = 3 THEN R= 0.55-(FM-2.8)*0.02/0.2
960  GOTO 1210
970  IF FM >= 2.4 AND FM < 2.6 THEN R= 0.66-(FM-2.4)*0.02/0.2
980  IF FM >= 2.6 AND FM < 2.8 THEN R= 0.64-(FM-2.6)*0.02/0.2
990  IF FM >= 2.8 AND FM < = 3 THEN R= 0.62-(FM-2.8)*0.02/0.2
1000 GOTO 1210
1010 IF FM >= 2.4 AND FM < 2.6 THEN R= 0.71-(FM-2.4)*0.02/0.2
1020 IF FM >= 2.6 AND FM < 2.8 THEN R= 0.69-(FM-2.6)*0.02/0.2
1030 IF FM >= 2.8 AND FM < = 3 THEN R= 0.67-(FM-2.8)*0.02/0.2
1040 GOTO 1210
1050 IF FM >= 2.4 AND FM < 2.6 THEN R= 0.76-(FM-2.4)*0.02/0.2
1060 IF FM >= 2.6 AND FM < 2.8 THEN R= 0.74-(FM-2.6)*0.02/0.2
1070 IF FM >= 2.8 AND FM < = 3 THEN R= 0.72-(FM-2.8)*0.02/0.2
1080 GOTO 1210
1090 IF FM >= 2.4 AND FM < 2.6 THEN R= 0.78-(FM-2.4)*0.02/0.2
1100 IF FM >= 2.6 AND FM < 2.8 THEN R= 0.76-(FM-2.6)*0.02/0.2
1110 IF FM >= 2.8 AND FM < = 3 THEN R= 0.74-(FM-2.8)*0.02/0.2
1120 GOTO 1210
1130 IF FM >= 2.4 AND FM < 2.6 THEN R= 0.81-(FM-2.4)*0.02/0.2
1140 IF FM >= 2.6 AND FM < 2.8 THEN R= 0.79-(FM-2.6)*0.02/0.2
1150 IF FM >= 2.8 AND FM < = 3 THEN R= 0.77-(FM-2.8)*0.02/0.2
1160 GOTO 1210
1170 IF FM >= 2.4 AND FM < 2.6 THEN R= 0.87-(FM-2.4)*0.02/0.2
1180 IF FM >= 2.6 AND FM < 2.8 THEN R= 0.85-(FM-2.6)*0.02/0.2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1190 IF FM >= 2.8 AND FM <= 3 THEN R= 0.83-(FM-2.8)*0.02/0.2
1200 GOTO 1210
1210 CE = WA / WC
1220 WR=D*R
1230 VS=1-(WA/1000+CE/(GRC*1000)+WR/(GR*1000)+A/100)
1240 WS=GRS*VS*1000
1250 WA =WA-(MS-ARS)*WS/100-(MRO-ABR)*WR/100
1260 WR=WR+(MRO-ABR)*WR/100
1270 WS=WS+(MS-ARS)*WS/100
1280 PAUSE " CEMENT = " ; CE ;
1290 PAUSE "WATER = " ;WA
1300 PAUSE " ROCK = " ; WR ;
1310 PAUSE "SAND = " ; WS
1320 INPUT " USE CYLINDER = ? " ; CY
1330 INPUT " USE CUBE = ? " ; CU
1340 INPUT " USE BEAM = ? " ;BE
1350 V1 = PI *(0.15^2)*0.3/4*CY
1360 V2 = 0.15^3*CU
1370 V3 = 0.15*0.15*0.6*BE
1380 S=1.15*(V1+V2+V3)
1390 CE= CE*S
1400 WA=WA*S
1410 WR=WR*S
1420 WS=WS*S
1430 PAUSE " CEMENT = " ; CE ; "WATER = " ; WA
1440 PAUSE "ROCK = " ; WR ; "SAND= " ; WS
1450 INPUT " USE AGAIN Y/N" ; A$
1460 IF A$="Y" OR A$="y" THEN 10
1470 END

```

ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบปริมาณวัสดุที่เปลี่ยนไปเมื่อพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะของ GGBS ในการออกแบบคอนกรีต

จากตัวอย่างการ Mixed design คอนกรีตในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าความถ่วงจำเพาะของ GGBS ไม่ได้นำมาพิจารณาในการออกแบบเพราะปริมาณ GGBS ที่ใช้มีไม่มากนัก การที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วย GGBS ในน้ำหนักที่เท่ากันมีผลทำให้ปริมาตรของวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในส่วนนี้จึงทำการเปรียบเทียบปริมาณที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะของ GGBS และปริมาตรรวมเมื่อทำการคำนวณปริมาณทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในการทำการวิจัย ซึ่งแสดงได้ดัง ตัวอย่างข้างล่าง

ตัวอย่าง การออกแบบคอนกรีตที่กำลังอัดประลัย 200 KSC ที่เปอร์เซ็นต์แทนที่ GGBS เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์เมื่อพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะของ GGBS ในการออกแบบ

ข้อมูลเดิม

ปูนซีเมนต์		
- ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์	3.15	
GGBS		
- ความถ่วงจำเพาะของ GGBS	2.87	
หิน		
- วัสดุผสมหยาบขนาดโตสุด	25	mm.
- ความถ่วงจำเพาะ	2.68	
- ค่าความชื้น	0.031	%
- หน่วยน้ำหนักแห้ง (ความหนาแน่น)	1597.7	kg/m ³
- การดูดซึมน้ำ	1.42	%
ทราย		
- ความถ่วงจำเพาะ	2.62	
- ค่าความชื้น	1.21	%
- ค่าโมดูลัสความละเอียด	2.887	
- การดูดซึมน้ำ	2.22	%

กรณีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : GGBS = 75 : 25

1. เลือกใช้ค่าความขรุขระ 8-10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คอนกรีตไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศและจากตาราง 3.3 เมื่อขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 25 มิลลิเมตร ค่าความยุบตัว 8-10 เซนติเมตร จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ 195 ลิตร/ลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต

3. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ออกแบบที่กำลังอัดประลัย 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.70

$$\begin{aligned} 4. \text{ ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ} &= \frac{195}{0.70} \\ &= 278.571 \quad \text{kg/m}^3 \text{ คอนกรีต} \end{aligned}$$

5. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบจากตาราง 3.6 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.887 และขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 25 มิลลิเมตร จะได้ปริมาณของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น

$$\begin{aligned} &= 0.6613 \quad \text{m}^3/\text{m}^3 \text{ ของคอนกรีต} \\ \text{หน่วยน้ำหนักของหิน} &= 1597.7 \quad \text{kg/m}^3 \\ \text{ดังนั้น น้ำหนักของวัสดุหยาบที่ใช้} &= 0.6613 * 1597.7 \\ &= 1056.559 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

6. หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด (ทราย)

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

$$\text{ปริมาตรของน้ำ} = \frac{195}{1000} = 0.195 \quad \text{m}^3$$

$$\text{ปริมาตรของซีเมนต์} = \frac{278.571}{3.15 * 1000} * 0.75 = 0.06632 \quad \text{m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของ GGBS} &= \frac{278.571 * 0.25}{(2.87 * 1000)} \\ &= 0.0243 \quad \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ} = \frac{1056.559}{2.68 * 1000} = 0.394 \quad \text{m}^3$$

$$\text{ปริมาตรของฟองอากาศ} = 0.015 * 1 = 0.015 \quad \text{m}^3$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย} = 0.69462 \quad \text{m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้} &= 1 - 0.69462 \\ &= 0.30538 \quad \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักของทราย} = 0.30538 * 2.62 * 1000$$

$$= 800.0956 \quad \text{kg/m}^3$$

7. ปรับส่วนผสมเนื่องจากการดูดซึมน้ำและความชื้น

$$\text{ทรายดูดซึมน้ำ} = 2.22 \quad \%$$

$$\text{หินดูดซึมน้ำ} = 1.42 \quad \%$$

ความชื้นของทราย	=	6 %	
ความชื้นของหิน	=	0.031 %	
ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มทราย	=	$800.0956 \times (6/100)$	
	=	48.00574	kg
ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มหิน	=	$1056.559 \times (0.031/100)$	
	=	0.328	kg
ปริมาณน้ำที่ทรายดูดซึม	=	$800.0956 \times (2.22/100)$	
	=	17.762	kg
ปริมาณน้ำที่หินดูดซึม	=	$1056.559 \times (1.42/100)$	
	=	15.003	kg
เพราะฉะนั้น ไซปูนซีเมนต์	=	278.571×0.75	
	=	208.928	kg/m ³
ใช้ GGBS	=	278.571×0.25	
	=	69.643	kg/m ³
น้ำ	=	$195 + 17.762 + 15.003 - 48.00574 - 0.328$	
	=	179.4313	kg/m ³
หิน	=	$1056.559 + (0.031 - 1.42) \times 1056.559 / 100$	
	=	1041.883	kg/m ³
ทราย	=	$800.0956 + (6 - 2.22) \times 800.0956 / 100$	
	=	830.339	kg/m ³
ส่วนผสมนี้ (CEMENT : GGBS)	=	(75 : 25)	โดยน้ำหนัก
การทดสอบประกอบควย			

- การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

แบบทรงกระบอก (ขนาด $\phi 15 \times 30$ cm ³)	3	ตัวอย่าง/ชุด
ระยะเวลาบ่ม	7, 14, 28	วัน
∴ มี	$3 \times 3 = 9$	ตัวอย่าง

- การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต

แบบลูกบาศก์ (ขนาด $15 \times 15 \times 15$ cm ³)	3	ตัวอย่าง/ชุด
ระยะเวลาบ่ม	28	วัน
∴ มี	$3 \times 1 = 3$	ตัวอย่าง

- การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทรงกระบอก (ขนาด $\phi 15 \times 30 \text{ cm}^3$)	3	ตัวอย่าง/ชุด
ระยะเวลาบ่ม	28	วัน
\therefore มี	$3 \times 1 = 3$	ตัวอย่าง

- การทดสอบกำลังรับแรงค้ำของคอนกรีต

แบบคาน (ขนาด $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$)	3	ตัวอย่าง/ชุด
ระยะเวลาบ่ม	28	วัน
\therefore มี	$3 \times 1 = 3$	ตัวอย่าง

$$\therefore \text{รวมปริมาตรตัวอย่างทดสอบ} = 12 \times 0.005301 + 3 \times 0.003375 + 3 \times 0.0135$$

$$= 0.114 \text{ m}^3$$

$$\text{การผสมเพื่อปริมาณคอนกรีต 15 \%} = 0.114 \times 1.15$$

$$= 0.1311 \text{ m}^3$$

ดังนั้น ไซปูนซีเมนต์	$= 0.1311 \times 0.75 \times 278.571$	$= 27.39 \text{ kg.}$
GGBS	$= 0.1311 \times 0.25 \times 278.571$	$= 9.13 \text{ kg.}$
หิน	$= 0.1311 \times 1041.883$	$= 136.59 \text{ kg.}$
ทราย	$= 0.1311 \times 830.339$	$= 108.85 \text{ kg.}$
น้ำ	$= 0.1311 \times 179.4313$	$= 23.523 \text{ kg.}$

จากตัวอย่างในการออกแบบ เมื่อพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะของ GGBS ในการออกแบบจะมีผลทำให้

$$\text{ปริมาณของทรายมีค่าลดลงจากเดิมเท่ากับ} = 109.65 - 108.85$$

$$= 0.8 \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาณของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ} = 23.523 - 23.49$$

$$= 0.033 \text{ kg}$$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะของ GGBS ในการออกแบบคอนกรีตในโครงการวิจัยทั้งหมดจะสรุปปริมาณที่เปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

1. สำหรับคอนกรีต STRENGTH	$= 200$	KSC
อัตราส่วน CEMENT : GGBS	$= 100 : 0$	
W/C Ratio	$= 0.70$	
ไซปริมาณ ปูนซีเมนต์	36.59	kg.
GGBS	-	kg.
น้ำ	23.55	kg.
หิน	136.88	kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ทราย	109.78	kg.
2.	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	200	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	75 : 25	
	W/C Ratio =	0.70	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	27.44	kg.
	GGBS	9.15	kg.
	น้ำ	23.58	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	109.01	kg.
3.	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	200	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	50 : 50	
	W/C Ratio =	0.70	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	18.30	kg.
	GGBS	18.30	kg.
	น้ำ	23.60	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	108.24	kg.
4.	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	200	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	25 : 75	
	W/C Ratio =	0.70	
	ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	9.15	kg.
	GGBS	27.45	kg.
	น้ำ	23.63	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	107.47	kg.
5.	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	250	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	100 : 0	
	W/C Ratio =	0.62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ไซ้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	41.32	kg.
	GGBS	-	kg.
	น้ำ	23.69	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	105.71	kg.
6.	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	250	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	75 : 25	
	W/C Ratio =	0.62	
	ไซ้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	30.99	kg.
	GGBS	10.33	kg.
	น้ำ	23.73	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	104.84	kg.
7.	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	250	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	50 : 50	
	W/C Ratio =	0.62	
	ไซ้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	20.66	kg.
	GGBS	20.66	kg.
	น้ำ	23.76	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	103.97	kg.
8.	สำหรับคอนกรีต STRENGTH =	250	KSC
	อัตราส่วน CEMENT : GGBS =	25 : 75	
	W/C Ratio =	0.62	
	ไซ้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	10.33	kg.
	GGBS	30.99	kg.
	น้ำ	23.79	kg.
	หิน	136.88	kg.
	ทราย	103.10	kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. สำหรับคอนกรีต STRENGTH = 300 KSC
อัตราส่วน CEMENT : GGBS = 100 : 0
W/C Ratio = 0.55
ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์ 46.58 kg.
GGBS - kg.
น้ำ 23.86 kg.
หิน 136.88 kg.
ทราย 101.17 kg.
10. สำหรับคอนกรีต STRENGTH = 300 KSC
อัตราส่วน CEMENT : GGBS = 75 : 25
W/C Ratio = 0.55
ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์ 34.93 kg.
GGBS 11.64 kg.
น้ำ 23.89 kg.
หิน 136.88 kg.
ทราย 100.19 kg.
11. สำหรับคอนกรีต STRENGTH = 300 KSC
อัตราส่วน CEMENT : GGBS = 50 : 50
W/C Ratio = 0.55
ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์ 23.29 kg.
GGBS 23.29 kg.
น้ำ 23.93 kg.
หิน 136.88 kg.
ทราย 99.21 kg.
12. สำหรับคอนกรีต STRENGTH = 300 KSC
อัตราส่วน CEMENT : GGBS = 25 : 75
W/C Ratio = 0.55
ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์ 11.65 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GGBS	34.94	kg.
น้ำ	23.97	kg.
หิน	136.88	kg.
ทราย	98.23	kg.

ปริมาณวัสดุต่าง ๆ นี้คำนวณหาจากวิธีการ Mix Design

รวมปริมาณ	ปูนซีเมนต์	ที่ใช้ทั้งหมด	311.24	kg.
	GGBS	ที่ใช้ทั้งหมด	186.75	kg.
	น้ำ	ที่ใช้ทั้งหมด	284.98	kg.
	หิน	ที่ใช้ทั้งหมด	1642.56	kg.
	ทราย	ที่ใช้ทั้งหมด	1250.92	kg.

จากผลรวมของปริมาณทั้งหมดเมื่อพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะในการออกแบบ
จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบวิจัยมีค่าเพิ่มขึ้น

$$= 284.98 - 284.4$$

$$= 0.58 \text{ kg}$$

$$\text{มี \% เพิ่มขึ้นของน้ำ} = 0.58 \times 100 / 284.4$$

$$= 0.204 \%$$

จะมีผลทำให้ปริมาณทรายที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบวิจัยมีค่าลดลง

$$= 1266.64 - 1250.92$$

$$= 15.72 \text{ kg}$$

$$\text{มี \% ลดลงของทราย} = 15.72 \times 100 / 1266.64$$

$$= 1.24 \%$$

∴ สรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาค่าความถ่วงจำเพาะของ GGBS ในการออกแบบคอนกรีต

จะทำให้ปริมาณน้ำของส่วนผสมเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.204 %

ปริมาณทรายลดลงจากเดิม 1.24 %

เอกสารอ้างอิง

- 1 ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร , คอนกรีตเทคโนโลยี ,ของ บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง , 2536 .
- 2 พลสันต์ พุกะทรัพย์ ,รณะนัฐ วาณิชชินชัย , การลดปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ใน คอนกรีต โดยใช้ขี้เถ้าแกลบและขี้เถ้าลอย ,โครงการวิจัยปริญญาตรี ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ , 2536
- 3 ผ.ศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ , ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 4 วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีตเทคโนโลยี , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , ตุลาคม 2529
- 5 V.M. MALHOTRA, Fly Ash Silica Fume Slag&Other Mineral By Product in Concrete Vol II , 1983
- 6 TAKETO UTOMO and KAZUSUKE KOBAYASHI ,Strength and Durability of Slag-Gypsum Cement Concrete , 1983
- 7 DELLA M ROY and RIA MELEK , Hydration of slag Cement , Progress in Cement and Concrete , Mineral Admixtures in Cement and Concrete Volume 4
- 8 Concrete Technology and Design Volume 3 , , Slags and Slag cements by M. Regourd Properties of fresh and Hardened Concrete incorporating Slag Cement by P.J.wainwright Cement Replacement Materials Surrey University Press
- 9 Heikki Hukko and Pisto Mannonen , Nordic Concrete No1 Research ,The Nordic Concrete Federation 1982 , Chemical and Mechanical Properties of Alkali- Activated Blast Furnace Slag
- 10 Rilem Symposium , Tensile Strength Investigation of Fresh and Hardening Concrete , On the Experimental Research of Field Testing Of Concrete , October 5th-7th ,1964
- 11 Masatane Kokubu , Studies On Materials for Concrete Structure, April 1975
- 12 Lars - Olof Nilsson , Durability of Concrete Aspects of Admixtures and Industrial By Products , International seminar , April 1986 pp 5-38
- 13 ACI Committee 226 , ACI Manual of Concrete Practice part 1 ,Material and General Properties of Concrete , Ground Granulated Blast Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete , 1995
- 14 Concrete Library International no.11, Japan Society of Civil Engineers ,pp 1-58, 1988
- 15 ASTM C 595 M -95, "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements" ,1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- 16 ASTM C 989 - 88 , “Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag For Use in Concrete and Mortars” ,1988
- 17 ASTM C 39 - 86 , “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens” , 1988
- 18 ASTM C 78-84 , “Standard Test Method For Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third- Point Loading)” ,1988
- 19 ASTM C 496-86 , “Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens” ,1988
- 20 ASTM C 234-86 , “Standard Test Method for Comparing Concretes on the Basis of the Bond Developed With Reinforced Steel ” , 1988



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้