



รายงานการวิจัย

โครงการ

"การลดปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีตโดยใช้ FLY ASH "



อาจารย์ศิลปชัย จานสุวรรณ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา SPECIAL PROJECT ประจำปีการศึกษา 2532
ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หน้าอนุมัติ

ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้มอบรายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

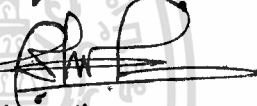
()

อาจารย์สุรัตน์ หวังเจริญ
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง

กรรมการวัดผลการปฏิบัติงาน

()


อาจารย์ศุภชัย จามสุวรรณ

()

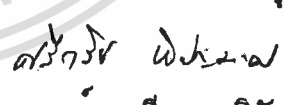
ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

()

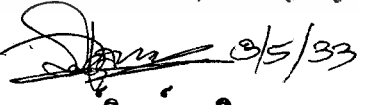
อาจารย์ตวงเจิน ศรีนิล

()

อาจารย์อำนาจ พานิชกุลพงศ์

()

อาจารย์คณศรีกฤษ หิรัญมาญ์

( ๑/๕/๓๓)

อาจารย์วิมลย์ วุฒิชาน

()

อาจารย์เกษม อนันตกุล

กิตติกรรมประกาศ

การทำรายงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าได้รับความอนุเคราะห์จากท่านช่อมุด รวมทั้งคำชี้แนะต่าง ๆ ด้านการนำโครงการวิจัยนี้ จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน จึงขอขอบพระคุณผู้มีรายนามต่อไปนี้ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

อาจารย์กิลปชัย จานสุวรรณ

- อาจารย์ที่ปรึกษาและให้คำชี้แนะในการทำโครงการ

อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล

- อาจารย์ผู้ให้ข้อมูลและคำชี้แนะในการทำโครงการ

คุณสุรสิงห์ ชำนาญเสื่อ

- เจ้าหน้าที่ประจำโรงโม่ทำแม่เมาะผู้ให้วัสดุและท่านช่อมุด

คณะเจ้าหน้าที่ประจำ SHOP

- ผู้ให้ความสะดวกในการทำโครงการวิจัย

คณะเพื่อน ๆ และน้อง ๆ

- ให้ความร่วมมือด้านกำลังกายในการทำโครงการวิจัย

คุณสุวรีย์ ช่างน้อย

- ผู้พิมพ์รายงานฉบับนี้ขึ้น

และตลอดจนผู้ให้ความร่วมมือทุกคนด้วย

ธนิต วิชานศิริวัฒน์

พิเชษฐ์ เลาทพจนาน

ผู้ประกาศกิตติกรรม

หน้าปกประกายความคิด

ตามหลักสูตรของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ของภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง รุ่นที่ 9 หลักสูตรวิศวกรรมการก่อสร้าง ซึ่งจะต้องมีการทำโครงการวิจัยขึ้น ซึ่งในตอนแรกทางคณะผู้จัดทำได้มีการส่งหัวข้อเรื่อง "รอยต่อของคอนกรีตโค้งสำเร็จรูป" แก่คณะกรรมการของอาจารย์ ซึ่งในหัวข้อนี้ไม่นานเนื่องจากทางคณะอาจารย์เห็นว่าเรื่องนี้ได้มีการวิจัยกันมาแล้ว จึงทำให้คณะผู้จัดทำต้องมีการหาหัวข้อเรื่องใหม่ ซึ่งช่วงนั้นเป็นช่วงหยุดเรียน เนื่องจากมีการแข่งขันกีฬาประเพณี อเกี๋ยง ทางคณะผู้จัดทำคือ นายพิเชษฐ์ เลาทพจนาน ได้ไปเที่ยวที่จังหวัดลำปาง และได้มีโอกาสเข้าไปเที่ยวที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ เพื่อหารู้นี้ ซึ่งก็คือ คุณสุรสิงห์ ชำนาญเสื่อ เจ้าหน้าที่ยังของโรงไฟฟ้า แม่เมาะ และได้เห็นเต้าดำนหินลิกไนต์ที่เหลือเป็นจำนวนมากและทางพนักงานของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ได้นำเอาที่เหลือมาผสมกับน้ำและใช้รากเพื่อมาหญ้าที่ขึ้นในสนาม และเมื่อได้ผสมน้ำนั้นแห้งจะมีลักษณะแข็งและคล้ายกับคอนกรีต ซึ่งจุดนี้เองทำให้ เมื่อพิเชษฐ์กลับขึ้นมาที่กรุงเทพฯ และทราบว่าโครงการวิจัยที่ส่งไปครั้งแรกนั้นไม่นาน จึงได้ปรึกษากับท่านอาจารย์สุพจน์ ศรีนิล ว่าจะมีการวิเคราะห์เรื่องเต้าดำนหินที่เหลือนี้ในครั้งแรกคิดว่าจะมีการนำเต้าดำนหินมาเผาและนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ ซึ่งทางอาจารย์สุพจน์ โชควัฒนาแนะนำว่าจะนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ได้เลย โดยไม่ต้องผ่านลบกปริมมาลง เนื่องจากเต้าดำนหินนี้มีลักษณะเป็นผงละเอียดแล้ว ไม่จำเป็นต้องนำไปเผาอีก และทางโรงไฟฟ้าเคยมีโครงการกับบริษัทปูนซีเมนต์ไทย ในการจะนำเต้าดำนหินมาผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อเป็นการนำวัสดุทิ้งที่มีจำนวนมากและไม่ได้ใช้ประโยชน์ทำให้เกิดประโยชน์ และลดปัญหาการขาดแคลนของปูนซีเมนต์ รวมถึงการลดการกักตุนก่อสร้างลง

ดังนั้น ทางคณะผู้จัดทำจึงได้มีการวิจัยโครงการนี้ขึ้นโดยหัวข้อที่วิจัย จะมีการทดลองซีเมนต์เฟสท์, ความแข็งแรงของคอนกรีตปกติกับคอนกรีตที่ผสม FLY ASH และแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมว่ามีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งทางคณะผู้จัดทำก่อนขอพบพระคุณผู้พี่ให้คำแนะนำ และความร่วมมือ รวมถึงท่านอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำจนทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ธนิต วิชาญศิริวัฒน์
พิเชษฐ์ เลาทพจนาน
คณะผู้จัดทำ

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา SPECIAL PROJECT ในหลักสูตรของ
ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็น
เป็นผลงานการวิจัยของนักศึกษา ในหัวข้อ "โครงการการลดปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต โดยใช้
FLY ASH " ซึ่ง FLY ASH นี้เป็นผลิตภัณฑ์ส่วนที่เหลือจากการเผาด่านหินของการไฟฟ้า
ซึ่งในวันหนึ่ง ๆ จะมีเหลือเป็นจำนวนมาก ประมาณ 30-40 ตันต่อวัน และมีการเผาด่านหินใช้
ทุกวันและเป็นระยะเวลาาน ทำให้เกิดปัญหาเผาด่านหินเหลือเป็นจำนวนมาก และไม่มีให้นำ
ไปใช้ประโยชน์ และเผาด่านหินที่เหลือนี้ก็มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ปอซโซลาน จึงมีการนำเผาด่านหินเหล่านี้มาทดลองวิจัยว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมเพียงใดในการ
ผสมแทนปูนซีเมนต์ ซึ่งในรายงานฉบับนี้ก่อนจะกล่าวเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

- หัวข้อที่ 1 จะกล่าวถึงสาเหตุและจุดเริ่มต้นในการคิดที่จะทำโครงการนี้ขึ้น
- หัวข้อที่ 2 จะกล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัย
- หัวข้อที่ 3 จะกล่าวถึง - คุณสมบัติทั่วไป ของ FLY ASH
- คุณสมบัติทั่วไป ของปูนซีเมนต์ การรับแรงอัด,
แรงดึงของซีเมนต์เพสต์, การรับแรงอัดแรงดึงของ
คอนกรีต และแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็ก
- ความยาวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน
- หัวข้อที่ 4 จะเป็นการกล่าวถึง วิธีในการทำ Mix Design และวิธีการทำ
Mix Design ที่ใช้ในโครงการนี้
- หัวข้อที่ 5 กล่าวถึงวิธีในการทำการทดลองว่าจะมีการทดลองตัวอย่างซีเมนต์เพสต์
ในการรับแรงอัดและแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ของปูนซีเมนต์ปกติว่าแตกต่าง
จากการผสม FLU ASH เข้าไปอย่างไร ซึ่ง FLY ASH
ที่ใช้นี้จะนำมาจาก 2 สถานที่ด้วยกันคือ จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ
จ.ลำปาง และจากโรงไฟฟ้า จ.กระบี่ และจะมีการทดลองถึงความ

คอนกรีตธรรมดา กับ คอนกรีตผสม FLY ASH ว่ามีผลแตกต่างกัน
อย่างไร

หัวข้อที่ 6 จะกล่าวถึง ผลในการทดลองทั้งหมด และจะมีการนำมาสรุปเป็นกราฟ
ว่าระหว่างคอนกรีตธรรมดากับคอนกรีตผสม FLY ASH ให้ผลแตก
ต่างกันอย่างไร

หัวข้อที่ 7 จะเป็นการกล่าวสรุปถึงผลงานการวิจัยว่าเป็นอย่างไร และมีข้อผิดพลาด
อะไรบ้างในการทดลอง

หัวข้อที่ 8 เป็นภาพถ่ายจากการทดลอง แสดงถึงวิธีและผลรวมถึงลักษณะของข้อที่
ของคอนกรีต

สุดท้ายนี้หวังว่าผลงานการวิจัยโครงการนี้จะสามารถมีประโยชน์ต่อสังคมได้บ้าง
เนื่องจากปัญหาที่ประสบอยู่ในปัจจุบันนี้ว่าปูนซีเมนต์มีการขาดแคลน และประโยชน์ที่สนใจหรือ
ต้องการมีความรู้ในขั้นนี้ และทางผู้วิจัยโครงการนี้ก็อยากที่จะให้การทดลองนี้กันต่อไป เพื่อจะ
ได้นำมาไขปริศนาอันจริง ๆ ในงานก่อสร้าง และควรจะมีการนำ FLY ASH มาเขารวม
กับปูนว่าจะมีผลต่อคอนกรีตอย่างไรบ้าง และหากรายงานนี้มีข้อผิดพลาด ณ ที่ใดก็ขออภัย ณ
ที่นี้ด้วย

ธนิต วิธานศิริวัฒน์

พิเชษฐ์ เลาทพจนาน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

หน้าอเนกมิตติ	ก
หน้ากิตติกรรมประกาศ	ข
หน้าประกายความคิด	ค
ขอบเขตของโครงการวิจัย	1
วัตถุประสงค์	2
ทฤษฎี	3
การหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต	19
วิธีหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธี ACI	28
ขั้นตอนการคำนวณ HIX DESIGN	35
วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
วิธีการทดลอง	40
ผลการทดลอง	52
สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง	113
ภาพถ่ายขั้นตอนการทดลอง	ง
บรรณานุกรม	จ

ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ จะศึกษาถึงความแข็งแรงของคอนกรีตคือ **COMPRESSIVE STRENGTH, TENSILE STRENGTH, BOND STRENGTH** ในกรณีที่ใช้ **FLY ASH** จากแม่เมาะ และกระบี่ ในปริมาณต่าง ๆ นำไปลด **CEMENT** ในส่วนผสมคอนกรีต และวิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมของ **FLY ASH** ในปริมาณที่เหมาะสมที่จะไปลด **CEMENT** ในคอนกรีตและเปรียบเทียบอัตราส่วนผสม **FLY ASH** ที่เหมาะสมของแหล่งผลิตที่แม่เมาะ และกระบี่



วัตถุประสงค์

- เพื่อหาวัสดุหินที่ระโช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในบางส่วน
- เพื่อทดสอบการใช้ในเชิงสัดส่วน FLY ASH ในปูนซีเมนต์ว่าสัดส่วนเท่าไร
จึงจะให้ความแข็งแรงที่เหมาะสมในการใช้งาน
- เพื่อเปรียบเทียบระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติกับปูนซีเมนต์ผสม FLY
ASH ลงไปว่ามีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างไร
- เพื่อเป็นการนำวัสดุหินที่มีเป็นจำนวนมากและไม่ได้ใช้ประโยชน์มาพัฒนาและ
ปรับปรุงให้เกิดประโยชน์ขึ้น



ทฤษฎี

เถ้าถ่านหิน FLY ASH มีลักษณะแร่ธาตุทางเคมีคล้ายกับปูนซีเมนต์ เช่น จาก การวิจัยของ AIT ได้แยกแร่ธาตุทางเคมีของ FLY ASH มี $Ca(OH)_2$, C_2S , C_3S เป็นต้น ซึ่ง FLY ASH จะสามารถนำมาเผาและรวมกับปูนซีเมนต์ได้เป็นปูนซีเมนต์ปอซโซลาน หรือปูนซีเมนต์ปอซโซลจนา ซึ่งคำว่าปอซโซลาน (POZZOLAN) หมายถึง วัสดุที่มีส่วนประกอบ เคมีส่วนใหญ่คือ ซิลิกา และ อะลูมินา ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่ เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดและมีความชื้นอยู่ด้วยจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิปกติเมื่อเกิดเป็นสารประกอบซึ่งมีคุณสมบัติ ในการยึดประสาน

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (PORTLAND POZZOLAN CEMENT)

หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ได้จากกา รผสมอย่างสม่ำเสมอ ระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับ ปอซโซลันละเอียด โดยการบดปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับปอซโซลานผสมกัน มีปริมาณ ของปอซโซลาน ซึ่งจะได้มาจากธรรมชาติหรือเป็นวัสดุทำเทียม ประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของปอซโซลานที่ใช้อยู่ระหว่าง 15-40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์สำเร็จรูป ดังนั้น ราคาจึงถูกกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานให้คอนกรีตที่มีกา รขยายตัวน้อย แต่มีความ ทึมน้ำสูงให้ความร้อนในการรวมตัวกับน้ำต่ำ เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา จึงเหมาะ สำหรับการก่อสร้างคอนกรีตและมอดัการกร เกิดความแข็งแรงช้า เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับน้ำ อย่างช้า แต่ความต้านแรงอัดจะเท่ากับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติ ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบพวกซัลเฟตได้อีกด้วย ซึ่งปูนซีเมนต์ปอซโซลานก็อาจแบ่ง เป็นประเภทและชนิดต่าง ๆ ได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานธรรมดา แบ่งออกเป็น 6 ชนิด คือ :

- 1.1 ชนิด IP ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป
- 1.2 ชนิด IP (MS) ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ทนซัลเฟตปานกลาง
- 1.3 ชนิด IP (MH) ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ให้ความร้อนปานกลาง

เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

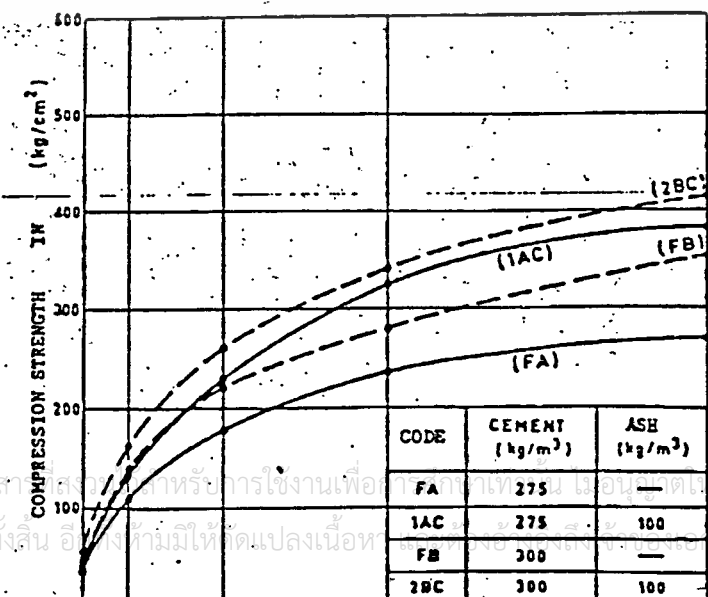
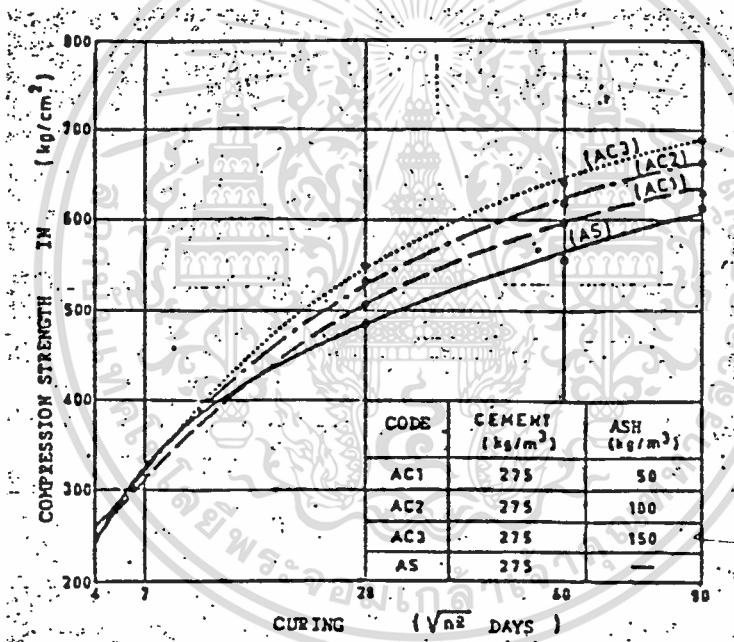
- 1.4 ชนิด P ใช้ในงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการกำลังสูงในช่วงแรก
 - 1.5 ชนิด P (MS) ใช้ในงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการกำลังสูงในช่วงแรกทนซัลเฟตปานกลาง
 - 1.6 ชนิด P (LH) ใช้ในงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการกำลังสูงในช่วงแรกให้ความร้อนต่ำเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานคักแปลง แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ
- 2.1 ชนิด I (PM) ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป
 - 2.2 ชนิด I (PM)-MS ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ทนซัลเฟตปานกลาง
 - 2.3 ชนิด I (PM)-MH ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ให้ความร้อนปานกลางเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ เป็นผลผลิตชนิดหนึ่งที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่าง ๆ จนรวมตัวผสมกันสุกพอๆ มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอะลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยากังกล่าวเรียกว่า ไฮเดรชัน (hydration) คำรับของชื่อปูนซีเมนต์ที่เรียกกันว่า "ปอร์ตแลนด์" นี้ได้มาจากการตั้งชื่อของนายโจเซฟ แอสปคิน โคโยท์ในปี ค.ศ. 1824 เขาได้ทำการจดทะเบียนวิธีการผลิตปูนซีเมนต์อย่างหนึ่ง ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนและดินเหนียว และเมื่อนำมาบดจะได้เนื้อปูนซีเมนต์สีเหลือง-เทา คล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ประเทศอังกฤษ เขาจึงตั้งชื่อว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในตอนแรกนี้ยังมีคุณภาพต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาส่วนผสมดังกล่าวใช้ความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังรวมตัวไม่ดี

การใช้ FLY ASH ในงานคอนกรีต

1. ใช้แทนส่วนที่เป็นอนุภาคที่ละเอียดของทราย (as a replacement of the fine part of sand) โดยการเพิ่ม FLY ASH ลงไปในส่วนผสมคอนกรีตแล้วพิจารณาเห็นว่า FLY ASH นี้แทนส่วนที่เป็นอนุภาคที่ละเอียดของทรายก็จะได้คอนกรีตที่มี strength สูงขึ้นและมีความทนน้ำดีขึ้น เพราะ FLY ASH จะไปแทรกอยู่ตามช่องว่างต่าง ๆ ในคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความพรุนน้อยลงดังเช่น การวิจัยของ ENEL LABARATORIES ประเทศอิตาลี ได้ทำการทดลองผสมคอนกรีตแล้วเพิ่มปริมาณ FLY ASH ในปริมาณต่าง ๆ ได้ผลดังนี้



๒. ใช้ FLY ASH แทนบางส่วนของซีเมนต์ (as a partial replacement of cement) โดยการลดซีเมนต์ลงปริมาณครึ่ง แล้วเพิ่ม FLY ASH เข้าไปแทนที่ในปริมาณที่เท่ากันซึ่งพิจารณาเสมือนว่า FLY ASH นี้มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับซีเมนต์ ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำ FLY ASH ไปแทนที่ซีเมนต์ได้บางส่วน (15% - 40%) แต่จะทำให้ได้คอนกรีตที่มี strength ในระยะแรกต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่เมื่อคอนกรีตมีอายุหลังจาก 60 วันไปแล้ว strength จะมีค่าใกล้เคียงกัน

๗ (๗ ๒๑ ๓๐



ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในทางก่อสร้างทางวิศวกรรม ปัจจุบัน โภยที่เมื่อผสมกับหิน กรวด หทราย และน้ำควยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งและทนทานคล้ายหิน ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีตได้แก่ ฐานราก ค่อม่อ เขื่อน กำแพงกันดิน พื้น และ ถนน เมื่อเสริมด้วยเหล็กเสริมจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับพื้น หลังคา สะพาน อาคาร อุโมงค์ และอื่น ๆ หรือเมื่อผสมรวมกับทรายและปูนขาวจะเป็นปูนฉาบสำหรับทากรอกอิฐหรือหิน เป็นต้น

วัตถุดิบ วัตถุดิบที่สำคัญซึ่งใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบด้วย สารออกไซค์ของ ธาตุซิลิเนียม ซิลิกอน เหล็ก และอะลูมิเนียม โดยมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

วัตถุดิบที่ใช้นี้อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่ให้ธาตุซิลิเนียม ได้แก่ หินปูน (Limestone) หินสอพอง (Chalk) หินปูนขาว (Marl) และประเภทที่ให้ ธาตุซิลิกอนและอะลูมิเนียม ได้แก่ หินเชล (Shale) หินเหนียว (Clay) หินชนวน (Slate)

นอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบอย่างอื่นอีก อาทิเช่น (ก) แร่เหล็ก (Iron Ore) ใช้เพื่อเพิ่มปริมาณเหล็กให้ได้ตามต้องการในกรณีหินเชลหรือหินเหนียวที่มีปริมาณของเหล็กต่ำ (ข) ยิปซั่ม (Gypsum) ใช้เพื่อเป็นสารหน่วงการก่อตัวโดยผสมรวมกับปูนเม็ดจากเตาเผา

ตาราง 1 สัดส่วนของออกไซค์ในปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซค์ของธาตุต่าง ๆ	เปอร์เซ็นต์
ปูนขาว (CaO)	60-65
ซิลิก้า (SiO ₂)	20-24
อะลูมิน่า (Al ₂ O ₃)	4-8
เหล็ก (Fe ₂ O ₃)	2-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เมื่อเว้าวัตถุของปูนซีเมนต์ซึ่งได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุซิลิเกต เซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม และเหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ใน ปูนเม็ดในรูปของผลึกละเอียดมาก สารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หลังจากการเผาแล้วได้แก่

1. ไทรคัลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate)
2. ไดคัลเซียมซิลิเกต (Bicalcium silicate)
3. ไทรคัลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate)
4. เทตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium aluminoferrite)

ตารางที่ 2 ซึ่งได้ให้ชื่อของสารประกอบเหล่านี้ตามอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ โดยให้ชื่อของออกไซด์ของธาตุโคควาของธาตุนั้นเพียงตัวเดียวกล่าวคือ CaO ชื่อเหลือตัว C; SiO₂ ชื่อเหลือตัว S; Al₂O₃ ชื่อเหลือตัว A และ Fe₂O₃ ชื่อเหลือตัว F

ตารางที่ 2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรคัลเซียมซิลิเกต	3 CaO . SiO ₂	C ₃ S
ไดคัลเซียมซิลิเกต	2 CaO . SiO ₂	C ₂ S
ไตรคัลเซียมอลูมิเนต	3 CaO . Al ₂ O ₃	C ₃ A
เทตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์	4 CaO . Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

นอกจากนี้แล้วยังมีสารประกอบอื่น ๆ อีกที่ได้หลังจากการเผา เช่น MgO, TiO₂, Mn₂O₃, K₂O และ Na₂O ซึ่งปะปนอยู่เป็นจำนวนน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักของปูนซีเมนต์



จำนวนเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบเหล่านี้ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ชนิดหนึ่ง ๆ ไม่เท่ากัน ประเภทของปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับจำนวนของสารประกอบเหล่านี้ สารประกอบ C_3S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้เร็ว สารประกอบ C_2S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงในระยะหลัง สารประกอบ C_3A ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงเร็ว สารประกอบ C_4AF ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงในระยะหลัง และยังมีเป็นตัวแทนเวลาให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวและแข็งตัวตามต้องการ

อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

จำนวนของสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ ทำให้คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เปลี่ยนแปลงไปเช่น ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงเร็วหรือช้า ระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวอาจเร็วขึ้นหรือช้าลง ความร้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์อาจสูงหรือต่ำ เป็นต้น

สารประกอบไตรซิลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดซิลเซียมซิลิเกต (C_2S) ซึ่งผสมรวมกันเป็นปริมาณเท่ากับ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณปูนซีเมนต์ทั้งหมด จะเป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ กล่าวคือ ถ้ามี C_3S ผสมอยู่มาก และมี C_2S ผสมอยู่น้อย จะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงหรือกำลังสูงในระยะแรก (**High-early Strength**) และให้ปริมาณความร้อนมาก แต่ในทางตรงกันข้ามถ้ามี C_2S ผสมอยู่มาก และมี C_3S ผสมอยู่น้อยจะได้ปูนซีเมนต์ที่มีความแข็งแรงหรือกำลังช้า และปริมาณความร้อนน้อย สารประกอบไตรซิลเซียมอัลูมิเนต (C_3A) จะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ตลอดจนความร้อนที่เกิดขึ้น ถ้าปูนซีเมนต์มี C_3A ผสมอยู่น้อย ความร้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำก็จะน้อย แต่ช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัยสูงกว่า มีรอยแตกร้าว (**cracking**) น้อยกว่า มีความคงทนต่อปฏิกิริยาของกรดและเกลือซัลเฟตดีกว่า ปูนซีเมนต์ที่มี C_3A ผสมอยู่มาก

ถ้ามีปริมาณของปูนขาว (CaO) อยู่ในปูนซีเมนต์มากจะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาการก่อตัวช้า (**Slow-setting**) แต่จะได้ปูนซีเมนต์ที่มีกำลังสูงในระยะแรก ถ้าหากมีปริมาณของปูนขาวนี้มากเกินไปจะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีความไม่คงตัว (**Unsoundness**)

ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณของซิลิกา SiO_2 (silica) และอลูมินา Al_2O_3 (alumina) อยู่มากจะเป็นปูนซีเมนต์ที่ให้อำนาจสูง แต่ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณของซิลิกาสูงเพียงอย่างเดียว จะเป็นปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาการก่อตัวช้า ซึ่งตรงกันข้ามกับปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณของอลูมินามากซึ่งทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเร็วขึ้น

ออกไซด์ของเหล็ก Fe_2O_3 (iron oxide) ร่วมกับปูนขาวและซิลิกาจะมีประโยชน์ต่อปูนซีเมนต์ที่มีซิลิกาสูง คือ ทำให้ปริมาณของไฮดรอกไซด์เชื่อมอลูมินาตกลง แต่ปูนซีเมนต์ที่มี Fe_2O_3 มากเกินไปจะแข็งทำให้ยากขึ้น

ถ้ามีปริมาณของแมกนีเซีย (magnesia) อยู่มากในส่วนผสมของปูนซีเมนต์ จะทำให้เกิดความไม่คงตัว (unsoundness)

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (ม.อ.ก. 15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภทคือ

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือที่ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตราย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราหุณาภาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงกันดินหนา ๆ หล่อหุ้มคอนกรีตขนาดใหญ่ ค่อม่อสะพาน เป็นต้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราหุณาภาคเจ้าเสือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่า ชูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อเบ้แข็งละเอียดกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วนและโดยการเติมสารอื่น โดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้สูงขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะแข็งเร็ว หรือร้อนเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้นและคานที่ตอกตอกแบบเร็ว เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตรา เอราวัณ ตราหอนาคสีแคง และตราสามเพชร

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหยาบ เช่น เจริญ เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะแข็งตัว

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ทนทานซัลเฟตได้สูง สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีค่า (Alkaline) สูง มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทดังกล่าวข้างต้นอาจมีทั้งชนิดกระจายกักห้องอากาศ หรือไม่กระจายกักห้องอากาศ ปูนซีเมนต์ชนิดกระจายกักห้องอากาศจะมีสารสำหรับกระจายกักห้องอากาศผสมอยู่ด้วย ซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในเนื้อคอนกรีตมาก ทำให้ทนความเย็นได้ดี นอกจากนี้ยังทำให้ใช้น้ำผสมน้อยลง เพราะมีฟองอากาศอยู่ด้วยช่วยให้แห้ง เป็นผลให้กำลังคอนกรีตติดตามไปด้วย สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกันให้ข้อกำหนดสำหรับปูนซีเมนต์ชนิดกระจายกักห้องอากาศ 3 ประเภทคือ ประเภท IA, IIA และ IIIA ซึ่งตรงกับประเภทที่หนึ่ง สอง และสามตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ

สารประกอบ	ประเภท หนึ่ง	ประเภท สอง	ประเภท สาม	ประเภท สี่	ประเภท ห้า
ไตรซิลเซียมซิลิเกต : C_3S	49	46	56	30	43
ไดซิลเซียมซิลิเกต : C_2S	25	29	15	46	36
ไตรซิลเซียมอะลูมิเนต : C_3A	12	6	12	5	4
โทคราซิลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ : C_4AF	8	12	8	13	12

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่น

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กากเตาถลุง (Portland-blastfurnace Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ทำขึ้นโดยการรวมเบสตะกอนเตาถลุง (blastfurnace slag) กับ ปูนเม็ดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเข้าด้วยกันจนเป็นผงละเอียด และมีปริมาณผสมอยู่ด้วยจำนวนหนึ่ง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้ความแข็งแรงหรือกำลังในระยะแรกเท่ากับกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (ประเภทหนึ่ง) แต่ในระยะหลังอาจจะสูงกว่าเล็กน้อย เหมาะสำหรับใช้กับงานก่อสร้างทั่วไป ประเภทเดียวกันกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา หากแต่ราคาถูกกว่า

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานา (Portland pozzolana Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ทำขึ้นจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ธรรมดา กับ สารจำพวกปอซโซลานิก (Pozzolanic) ปอซโซลาน (Pozzolan) ที่ได้จากธรรมชาติ หรือเป็นวัสดุทำเทียม ประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของของปอซโซลานที่ใส่อยู่ระหว่าง 15-50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์สำเร็จรูป ดังนั้นราคาจึงถูกกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานาให้คอนกรีตที่มีการขยายตัวน้อยแต่มีความรับน้ำสูง ให้ความร้อนในการรวมตัวกับน้ำต่ำเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา จึงเหมาะสำหรับการก่อสร้างคอนกรีตหยาบ มีอัตราการเกิดความแข็งแรงช้า เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้า ๆ แต่ความต้านทานแรงอัดจะเท่ากับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบพวกซัลเฟตไดออกไซด์อีกด้วย จึงเหมาะสำหรับงานอาคารคอนกรีตในทะเล ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปูนซีเมนต์อลูมินาสูง (High-Alumina-Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่

ผลิตจากกา รหลอมส่วนผสมของหินปูนหรือซอลต์คัมสารที่มีอลูมินามาก เช่น บอกไซท์ (Bauxite) จนกลายเป็นปูนเม็กล้วนคิให้ละเอียด ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังเร็ว แต่ให้ความร้อนมาก คอนกรีตที่ผสมกับปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีความแข็งแรงภายในเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับความแข็งแรง 28 วัน ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ภายหลัง 24 ชั่วโมง จนถึงประมาณ 2 เท่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบพวกซัลเฟตอีกด้วย จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นคอนกรีตในน้ำทะเลและในที่ที่ต้องการความแข็งแรงในเวลาสั้น

ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง (Super-sulphated Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่

ได้จากส่วนผสมของเม็ดตะกรันเตาถลุง คัลเซียมซัลเฟต และปูนซีเมนต์หรือปูนเม็กล้วนเข้าด้วยกัน มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลและสารพวกซัลเฟตได้เป็นอย่างดี และยังทนทานต่อการคละและน้ำมัน นอกจากนี้ ยังให้ปริมาณความร้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยากับน้ำต่ำอีกด้วย

ปูนซีเมนต์ขยายตัว (Expanding Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดส่วนผสมของปูนเม็กล้วน ยิบซั่มและเม็ดตะกรันเตาถลุงให้เข้ากันทั่วถึง แตกต่างจากปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ ตรงที่เมื่อก่อตัวและแข็งตัวมันจะขยายตัวออกก่อน เป็นการลดรอยแตกร้าวอันเนื่องมาจากการหดตัวของคอนกรีต

ปูนซีเมนต์งานก่อ (Masonry Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ทำขึ้นจากปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์ธรรมดาชนิดอื่น ๆ เช่น ยิบซั่ม ฝุ่นปูนขาว ดินสอพอง ดิน ทาลค์ (talc) เป็นต้น เพื่อให้ได้ปูนก่อก่อที่มีคุณสมบัติบ่มง่าย และมีความแข็งแรงเหมาะสำหรับงานก่อหิน กอิอิฐ

ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดปูนเม็กล้วน

ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาชนิดอื่น ๆ ประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเนื้อซีเมนต์จึงมากขึ้นและมีราคาแพง มีลักษณะแข็งตัวช้า ไม่ยัดหรือหดตัวมาก เหมาะกับงานก่ออิฐถือปูน ทำถนนเทพื้น ทอม่อ หล่อภาชนะคอนกรีต หล่อท่อ กระเบื้องมุงหลังคา งานอาคาร 2 ถึง 3 ชั้น

เอกลีกรัด หรืองานที่ไม่ต้องการกำลังมาก ไค้แก่ก้า ปูนซีเมนต์ตราเสือ ทรายเฝ้า และทรายกอนทรีย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ความต้องการที่เป็นข้อกำหนด เพื่อการทดสอบตามมาตรฐานใหม่คุณสมบัติเทียบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ดังนี้

1. ความละเอียด (Fineness) (ASTM C115-58 or C204-55) เป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Hydration) ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะทำให้เกิดกำลังได้เร็วเพียง 7 วันที่สามารถรับกำลังได้เต็มที่
2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) (ASTM C188-44, C204-55) การทดลองซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่าอยู่ในค่าเฉลี่ยประมาณ 3.12 ถึง 3.16 แต่ปูนซีเมนต์ตราเสือ 2.90, ตราเอราวัณ และตราช้าง 3.05 ค่าเหล่านี้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed Design)
3. ความอยู่ตัว (Soundness) (ASTM C151-60) เป็นการทดสอบทางกายภาพ โดยการหาความสามารถในการแข็งตัวของซีเมนต์เฟลสต์ (Hardened Cement Paste) ที่คงอยู่ในสภาพรูปปริมาตร ภายหลังจากการก่อตัวแล้ว
กรรมวิธีทดลองด้วย "Auto-Clave" พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีการขยายตัวไม่มากกว่า 0.8 เปอร์เซ็นต์
4. เวลาของการก่อตัว (Time of Setting) (ASTM C266-58T or C191-58) การก่อตัวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของปูนซีเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับเวลา เป็นความจำเป็นที่จะต้องให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวหนานพอที่จะทำการเท แฉงผิว ในชวงเวลาดังกล่าวจึงต้องกระทำงานให้เสร็จก่อน

การทดลองการก่อตัวได้แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคือ การก่อตัวครั้งแรก (Initial Set) การทดสอบแบบไวแคท (Vicat) ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 45 นาที แต่การทดสอบแบบกิลลเมอร์ (Gillmore) ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 60 นาที ส่วนการก่อตัวครั้งสุดท้าย (Final Set) เกิดขึ้นไม่เกินกว่า 10 ชั่วโมง แต่ปูนซีเมนต์ตราช้างหรือตราเสือมีเวลาการก่อตัวครั้งแรก

แรก 90 นาที นับว่าใช้ประโยชน์ที่จะลดเสียงคอนกรีตหรือปูนก่อ แม้กระทั่งการแตงได้นานขึ้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กำลัง (Strength)(ASTM C109-58) หมายถึง ความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive Strength) ของปูนซีเมนต์ในลักษณะที่เป็นคอนกรีตประการหนึ่งกับการทดสอบกำลังอัดด้วยก้อนฉาบของมอร์ตาร์ (Mortar) ความมาตรฐาน ASTM.C.109 โดยนำก้อนตัวอย่างทดลองไปทดสอบอายุ 7 และ 28 วัน ผลลัพธ์จะเป็นการรับกำลังต่อหน่วยพื้นที่ เช่น ปอน์ตต่อตารางนิ้ว หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นต้น

ส่วนการทดสอบการรับแรงดึง (Tensile Strength) หลอมมอร์ตาร์บรีเกต (Briquettes) เป็นรูปโค้งหัวใหญ่มน 2 ซัง เพื่อการจับยึด ตอนกลางมีพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว มีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM.C.190-58 และ B.S.12 กำลังดึงต่อหน่วยพื้นที่เช่นเดียวกัน

6. ความร้อนที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยากับน้ำ (Heat of Hydration) เป็นความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ในปูนซีเมนต์ธรรมดา (Normal) ชนิดมีค่าอยู่ระหว่าง 85-100 แคลอรีต่อกรัม ส่วนปูนซีเมนต์ (Low-Heat) ชนิด IV เกิดความร้อนขึ้นประมาณ 60-70 แคลอรีต่อกรัม เมื่อเกิดความร้อนสะสมมากขึ้นเป็นอันตรายต่อคอนกรีต จึงได้มีการควบคุมความร้อน โดยใช้น้ำแข็งผสมทำให้มวลรวมเย็นลง แต่ในการหล่อคอนกรีตเชื่อนี้ใหญ่ ๆ ใช้ท่อน้ำเย็น (Cooling Pipe) วิ่งผ่าน นอกจากนี้จะต้องปรับจำนวนไตรแคลเซียมซัลเฟตและไตรแคลเซียมอลูมิเนตด้วย เป็นต้น

7. การทดสอบความชื้นเหลว (Consistency Test) โดยการทดลองใส่น้ำลงไป 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์จำนวน 500 กรัม แล้วนำเครื่องทดลองไวแควต้านที่เรียง plunger ฆ่าปล่อยชนซีเมนต์เพื่อที่ให้มีในเวลา 30 วินาที อ่านค่าทรุกตัว (Penetration) เป็นมิลลิเมตร จากนั้นเพิ่มน้ำขึ้น 1-2 ลูกบาศก์เซนติเมตร จนกระทั่งรวมน้ำทั้งสิ้นที่ทดลองผสมประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ นำค่ามาเขียนกราฟเส้นนอนเป็นระยะการทรุกตัวของ Plunger คำนวณเป็นจำนวนน้ำลูกบาศก์เซนติเมตร (cc.) ให้ลากเส้นจากส่วนการทรุกตัวที่ 10 มิลลิเมตร ไปสัมผัสกับโค้งในกราฟ แล้วชี้คี่เส้นฉากไปทางเส้นตั้งที่แสดงจำนวนน้ำที่ใส่คือเป็นเปอร์เซ็นต์ จากนั้นก็คี่จำนวนน้ำตั้งแล้วหารด้วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ (มาตราเดียวกัน) คูณด้วย 100 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่พอคี่ สำหรับความ

ขั้น แล้วที่พอเหมาะเพื่อความแข็งแรงมากที่สุด การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวแล้วยังมีการทดสอบเพื่อทราบคุณสมบัติอื่น ๆ อีก เช่น

Loss on Ignition, Insoluble Residue เป็นต้น

คอนกรีต

คอนกรีต เป็นวัสดุเปรียบเสมือนหินที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้งานเป็นโครงสร้าง ทราบกันทั่วไปว่าได้จากการผสมซีเมนต์ซึ่งเป็นตัวประสาน กับทราย หินหรือกรวดซึ่งเป็นวัสดุผสมและ กับน้ำซึ่งจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ทำให้ซีเมนต์มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานแทรกตามเม็ดทรายและ ก้อนหิน รวมตัวกันเป็นก้อนคอนกรีตในแบบหล่อ และจะแข็งตัวเมื่ออายุประมาณ 24 ชั่วโมง ทน แรงอัดได้ดีขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุ

เนื้อคอนกรีตอาจแยกออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ วัสดุผสม (aggregates) และซีเมนต์เพสต์ (paste) โดยทั่วไปวัสดุผสมยังแบ่งออกเป็นสองพวกคือ วัสดุผสมละเอียด และวัสดุผสมหยาบ วัสดุผสมละเอียดหมายถึง วัสดุที่มีขนาดเล็กที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อน มาตรฐานเบอร์ 4 ได้ซึ่งได้แก่ ทราย ส่วนวัสดุผสมหยาบหมายถึง วัสดุผสมที่มีก้อนโตไม่ผ่าน ตะแกรงร่อนมาตรฐาน เบอร์ 4 ได้แก่ หินหรือกรวด ซีเมนต์เพสต์หรือที่เรียกว่า เพสต์ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ และอากาศ

ในเนื้อคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ใช่สารกระจายกักฟองอากาศจะมีปริมาณของซีเมนต์เพสต์ ประมาณ 25 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณของปูนซีเมนต์ 7 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 14 ถึง 21 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างประมาณ $\frac{1}{2}$ ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นปริมาณของวัสดุผสม สำหรับเนื้อคอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ จะมี ฟองอากาศแทรกอยู่ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 1.1

เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีวัสดุผสมอยู่ประมาณ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตร ทั้งหมด ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุผสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง วัสดุผสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมของ คอนกรีต ต้องแข็งแรงรับแรงอัดได้ดี ทนทาน ไม่ขยายตัวมาก และสะอาดโดยไม่มีสารจำพวกที่ จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีต นอกจากนี้วัสดุผสมต้องมีส่วนขนาดละเอียด (Gradation) ที่ดี เพื่อช่วยให้ได้คอนกรีตมีเนื้อแน่น สม่ำเสมอ มีช่องว่าง (void) น้อยซึ่งจะทำให้เปลี่ยน ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนต์พิเศษน้อยลง และราคาถูก

ในเนื้อคอนกรีตซีเมนต์พิเศษซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยจะไปเคลือบหรือหุ้มเม็ดทรายและก้อนหินทั้งหมดและยึดให้ติดเข้าด้วยกันเป็นก้อนแข็ง รวมทั้งจะไปอุดตามช่องว่างระหว่างเม็ดหินและทรายอีกด้วย ทำให้มีเนื้อแน่นขึ้น ฉะนั้น ความแข็งแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์พิเศษนี้ด้วย

คุณภาพของซีเมนต์พิเศษขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (water-cement ratio) ที่ใช้ในส่วนผสม ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เรียกว่า ไฮเดรชัน (hydration) ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำขึ้นอยู่กับ เวลา อุณหภูมิและความชื้น ปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรก ๆ และช้าลงตามลำดับในตอนหลัง ๆ ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำในส่วนผสมอาจต้องใช้น้ำมากกว่าที่ต้องการเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีอย่างสมบูรณ์ และให้คอนกรีตเหลว ทำงานง่าย แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพของคอนกรีตในการต้านทานต่อแรงอัด ตลอดจนความทนทานจะลดลง ดังนั้น จึงต้องใช้ปริมาณน้ำให้พอเหมาะพอดี

สารเคมีผสมเพิ่ม (admixture) ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงเนื้อคอนกรีตให้ดีขึ้นนั้นต้องใช้ในอัตราที่พอเหมาะตามคำแนะนำของผู้ผลิต มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดผลเสียหรือเกิดผลในทางตรงกันข้าม

สัดส่วนการผสมของคอนกรีตจะช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีความชื้นเหลวง่ายในการทำงาน และทำให้คอนกรีตที่แข็งตัวมีกำลังและความคงทนตามที่ต้องการ ปริมาณวัสดุสำหรับส่วนผสมค่าหนึ่งควรจะมีค่าเสมอในการผสมแต่ละครั้ง และตัววัสดุเองก็ควรจะมีค่าเสมอ และมีคุณภาพดีด้วย อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะใช้สัดส่วนการผสมให้ดีเพียงใด ถ้าการผสม การลำเลียง การเท การทำให้แน่น ตลอดจนการบ่มคอนกรีตทำได้ไม่ดีพอแล้ว ก็จะไม่ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามต้องการ การผสมควรจะมีค่าให้ทั่ว พอที่จะกระจายวัสดุต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ และกระจายซีเมนต์พิเศษไปบนผิวของวัสดุผสมโดยทั่วถึง การลำเลียง การเท และการเขย่าคอนกรีตต้อง

พยายามไม่ให้เกิดการแยกตัว และในการเขย่าควรทำให้ทั่วถึงเพื่อจะได้ทำให้คอนกรีตไหลลงไปในที่ที่ต้องการได้ทั้งหมด มิฉะนั้นจะทำให้เกิดปัญหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมทุกส่วนของแบบเพื่อขับไล่อากาศและเพื่อไม่ให้หินรวมกันเป็นกระจุก รวมทั้งทำให้ยึดหน่วง
กับเหล็กหรือคอนกรีตใด ๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Design)

เป็นการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของส่วนประกอบแต่ละอย่างของคอนกรีตสำหรับงานหนึ่ง ๆ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีความชื้นเหลวพอเหมาะและสะดวกในการทำงาน และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว มีกำลัง และความทนทานตามต้องการในราคาที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับใช้ในงานเล็ก ๆ ที่ถือว่าไม่สำคัญมากนัก อาจกำหนดได้โดยอาศัยข้อมูลหรือสถิติต่าง ๆ ที่ได้ปฏิบัติมาแล้วเป็นเกณฑ์ เช่น ใช้คอนกรีต 1 : 2 : 4 โดยปริมาตรหรือโดยน้ำหนัก ซึ่งหมายถึง ใช้น้ำซีเมนต์ 1 ส่วน หิน 2 ส่วน และ หิน 4 ส่วน เป็นต้น แต่ในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่สำคัญ ควรออกแบบหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตที่จะใช้ตามสภาพของงาน ทั้งนี้เพื่อให้ได้กำลังของคอนกรีตที่ต้องการ และในราคาประหยัด

การหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต อาจทำได้โดยใช้วิธีทดลองผสม หรือใช้วิธีของ ACI ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาก แต่ในการผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่คำนวณได้นั้น จะให้ได้ผลตามความต้องการย่อมเป็นไปได้ ทั้งนี้เพราะวัสดุที่ใช้อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม และคุณสมบัติอาจไม่ตรงตามที่คำนวณ การหาสัดส่วนส่วนผสมที่ดีที่สุด นอกจากการคำนวณอย่างถี่ถ้วนแล้วต้องทำการทดลองผสมจริงด้วย เพื่อตรวจสอบและคอยปรับสัดส่วน จนกว่าจะได้ผลเป็นที่พอใจ

นอกจากนี้ การทดลองในห้องปฏิบัติการ ก็อาจให้ผลไม่ตรงกับการนำไปผสมใช้งานต่าง ๆ เหตุผลเนื่องจากเครื่องผสมในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป มีขนาดและลักษณะแตกต่างจากที่ทำเพื่อใช้งานจริง ๆ อนึ่ง ในการปฏิบัติงานจริง ๆ ยังมีผลเนื่องจากการลำเลียง การเท และสภาวะอากาศสิ่งเหล่านี้ล้วนมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งสิ้น ดังนั้นการหาสัดส่วนส่วนผสมที่ใช้ทั้งความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีต รวมไปถึงข้อมูลจากการทดลองด้วย

องค์ประกอบในการพิจารณาหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต

การหาปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต ควรคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ต่อไปนี้

กำลัง (Strength)

กำลัง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต กำลังของคอนกรีตมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงค้ำ กำลังรับแรงเฉือน และกำลังยึดเหนี่ยว เป็นต้น แต่ที่ทองการและสำคัญที่สุดเพื่อใช้พิจารณาเลือกสัดส่วนการผสมคอนกรีตก็คือ กำลังรับแรงอัด เพราะกำลังรับแรงอย่างอื่นของคอนกรีต (ที่กล่าวแล้วข้างต้น) เป็นสัดส่วนกับกำลังรับแรงอัด โดยทั่วไป จะกำหนดค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาหนึ่ง เช่น เมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน เป็นต้น ค่าเฉลี่ยนี้ควรให้มีความสูงกว่าที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างประมาณ 15 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์หรือที่เรียกว่า (water-cement ratio) มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตก็จะต่ำ ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์น้อยลง ค่ากำลังรับแรงอัดก็จะสูงขึ้น ในการผสมคอนกรีต ถ้าสามารถรักษ้อัตราส่วนนี้ไว้คงที่แล้ว แม้ส่วนผสมอื่น ๆ จะเปลี่ยนไปบ้าง กำลังของคอนกรีตจะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ฉะนั้นจึงอาจกำหนดกำลังของคอนกรีตได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำและซีเมนต์ที่ใช้

ความทนทาน (Durability)

โดยทั่วไป คอนกรีตที่มีกำลังพอสมควรในภาวะปกติ จะมีความทนทานเป็นที่น่าพอใจ แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เปิดเผยรุนแรงต่าง ๆ เช่น โครงอาคารในน้ำทะเล ความทนทานจะน้อยลง อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ก็มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต สถาบันคอนกรีตของอเมริกันก็ได้ให้ตารางอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถเทคได้ (Workability)

คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ ควรมีความชื้นเหลือพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบได้สะดวก หรือที่เรียกว่า มีความสามารถเทคได้นั่นเอง สัดส่วนผสมที่ทำให้คอนกรีตเหลวเกินไป มีผลให้เกิด การแยกตัวในขณะลำเลียงและเท อีกทั้งทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง ไม่คงทนถาวรและมีโอกาส แตกกร้าวได้ง่าย

ความสามารถเทคขึ้นอยู่กับขนาดของหน้าตัดที่จะเทคอนกรีต และระยะห่างของ เหล็กเสริม ถ้าหน้าตัดแคบและมีเหล็กมุดมุดจาก คอนกรีตจะต้องมีความสามารถเทคสูง เพื่อ ความสะดวกในการทำงาน ความชื้นเหลือที่พอเหมาะนี้ใช้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตเป็นเครื่อง กำหนดแนวทางที่ใช้เป็นมาตรการหาความชื้นเหลือหรือเทียบว่ามีน้ำมากน้อยแค่ไหนนั้นดูได้จาก ระยะการยุบตัวของคอนกรีตขณะยังเหลืออยู่ การวัดระยะการยุบตัวสำหรับคอนกรีตที่ใช้ในงาน ต่าง ๆ นั้น ควรทำเป็นประจำ เพื่อจะได้เนื้อคอนกรีตที่มีคุณภาพที่สม่ำเสมอกันตลอด

ขนาดโตะสุดของวัสดุผสม

ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ความกว้างของหน้าตัดที่จะเทคอนกรีต และระยะห่าง ของเหล็กเสริมจะเป็นตัวกำหนดขนาดโตะสุดของวัสดุผสมที่จะใช้ โดยทั่วไปจะพยายามใช้วัสดุผสม ที่มีขนาดโตะที่สุดเท่าที่จะยอมให้ได้ ทั้งนี้เพราะการใช้วัสดุผสมที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ จะทำให้ผิว ที่สัมผัสกับซีเมนต์ตอหนึ่งหน่วยน้ำหนักน้อยลง นั่นคือ ปริมาณซีเมนต์ที่จะใช้ก็น้อยลงด้วย ทำให้ ลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมลงด้วย เป็นเหตุให้กำลังของคอนกรีตสูงขึ้นและได้คอนกรีตราคา ประหยัด อย่างไรก็ตาม ขนาดโตะสุดของวัสดุผสมไม่ควรโตกว่าสามในสี่ส่วนของระยะห่างของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม และต้องไม่เกินกว่า $\frac{1}{5}$ เท่าของคานแคบที่สุดของโครงสร้างที่จะเท

นอกจากนี้ การเลือกขนาดโตะสุดของวัสดุผสม ยังจะต้องพิจารณาไปถึง ความ สะดวกและความสามารถในการขนส่งวัสดุมายังสถานที่ผสมและเท ตลอดจนต้องคำนึงถึงราคา ด้วย วัสดุผสมขนาดโตะ ๆ จะทำให้ต้องใช้บริเวณเกินพินกว้างมากตลอดจนการจัดบริเวณ เมื่อ ทำการผสมก็จะยุ่งยากขึ้น ซึ่งไม่เป็นการประหยัดสำหรับงานขนาดเล็ก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนขนาดคละและลักษณะของวัสดุผสม

ส่วนขนาดคละของหินและทรายมีผลต่อสัดส่วนการผสม ส่วนผสมที่มีทรายหนามาก จะทำให้ทำงานยาก แต่ถ้ามีทรายละเอียดอยู่มากก็ทำให้ไม่ประหยัด ถ้าส่วนคละของหินไม่ดี จะต้องใช้ทรายมากขึ้นเพื่อช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น ถ้าทรายขาดขนาดใดขนาดหนึ่งไป จะทำให้แต่งหน้ายากเพราะทรายละเอียดจะต้องไปอุดตามช่องว่าง การกระจายขนาดควรรักษาไว้ได้ข้อกำหนดมาตรฐาน เพื่อจะได้คอนกรีตที่เหลวมีความสามารถเทได้ โดยใช้ปริมาณน้ำผสมน้อยลงและได้กำลังตามต้องการ

ลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุผสม อาทิเช่น ลักษณะผิว รูปร่าง ความละเอียด ความชื้น ความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก ตลอดจนสิ่งที่เจือปนมากับวัสดุผสม มีผลโดยตรงกับอัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมต่อซีเมนต์ ในการคำนวณหาสัดส่วนผสม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ถึงชนิดและประเภทของวัสดุผสม

ทรายที่เหมาะสมสำหรับทำคอนกรีตต้องมีเมล็ดกลมและสะอาด ขนาดของทรายมีผลต่อปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต ถ้ามีขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 50 มากเกินไป (เกินกว่า 45 เปอร์เซ็นต์) จะทำให้เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้ามีทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 มากเกินไป ปริมาณฟองอากาศจะลดลง ทรายที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100 จะเป็นตัวเพิ่มความบึกเหนียวของคอนกรีต และช่วยไม่ให้ฟองอากาศต้องสูญเสียไปในระหว่างการผสม เท และแต่งหน้าคอนกรีต

หินที่มีลักษณะเป็นแน่นอนแบบาง ไม่เหมาะที่ใช้ทำคอนกรีต หินที่มีผิวขรุขระจะต้องการนำในส่วนผสมมากขึ้น

ปริมาณของวัสดุผสมในคอนกรีต

ในการทำคอนกรีต มักเลือกใช้ปริมาณของวัสดุผสมให้สูง แต่อยู่ในเกณฑ์ที่จะเท และทำงานง่ายโดยใช้ปริมาณน้ำผสมให้ต่ำ และให้ได้กำลังคอนกรีตออกมาตามต้องการ หินและทรายที่ใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับ ขนาดโตสุดของวัสดุผสมนั้น และค่าด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดของทราย

อัตราส่วนระหว่างทรายต่อหิน เป็นสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง ส่วนผสมที่มีทรายมากเกินไป (หินน้อย) จะช่วยให้ทำงานง่าย แต่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวง่าย ไม่ทนทานและไม่ประหยัด ส่วนผสมที่มีหินมากเกินไป (ทรายน้อย) จะทำให้คอนกรีตเป็นรูโพรง เนื้อไม่แน่น และทำงานยาก อัตราส่วนระหว่างทรายต่อหินควรอยู่ระหว่าง 33 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ สำหรับส่วนผสมที่ใช้ปูนซีเมนต์มากเกินไปจะทำให้คอนกรีตแตกร้าวง่ายไม่ทนทานและไม่ประหยัด

คุณสมบัติของวัสดุผสม

หินและทรายที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีต ควรมีความสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรง (Strength) วัสดุผสมจะต้องมีความสามารถรับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ตองกา ของคอนกรีต หินที่ใส่ทำคอนกรีตโดยทั่วไปได้ เป็นหินที่มีใ้ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงโดยสภาพดินฟ้าอากาศจะดีพอสำหรับผสมทำคอนกรีต เพราะกำลังรับแรงอัดของหินทั่วไปสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก ความแข็งแรงอัดของหินมีค่าประมาณ 700 ถึง 3,500 กก./ซม.²

2. ความทนทานต่อการสึกกร่อน (Abrasion Resistance) เป็นตัวชี้ถึงคุณภาพของหินที่จะนำมาผสมทำคอนกรีตในงานที่ต้องทนต่อแรงกระแทกและเสียดสีมาก ๆ เช่น ทำพื้นหรือถนนคอนกรีตที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกมาก ๆ การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติข้อนี้โดยทั่วไปนิยมใช้วิธี Los Angeles Abrasion Test ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของหินที่สูญหายไปในการทดสอบกับขีดกำหนดตามความต้องการที่ระบุไว้

เครื่องชกสีลอสแอนเจลิส (Los Angeles Abrasion Machine)

ประกอบด้วยกลองทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 70 ซม. และยาว 50 ซม. ตั้งตามยาวบนเพลลาแนวอนเพลลาหนึ่งและมีชั้นหนึ่งชั้นกว้าง 8.75 ซม. อยู่ภายในจากปลายถึงปลาย กลองจะหมุน 500 รอบด้วยอัตราเร็ว 30-35 รอบต่อนาที ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยกรวดหรือหินที่ได้จัดขนาดตามต้องการ 5,000 กรัม วัสดุสำหรับชกสีได้แก่ ลูกกลมเหล็กหลอมจำนวนหนึ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 38 มม. วัสดุส่งไปในกลอง การสึกหรอคิดเป็นร้อยละคือ การคำนวณค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ผ่านคะแนนมาตรฐานอเมริกันเบอร์ 12 ภายหลังจากการทดสอบ

วัสดุผสมหยาบที่ใช้ในงานคอนกรีตต้องมีการสึกหรอในการทดสอบลอสแอนเจลิส ไม่เกินร้อยละ 40

3. ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับความพรุน และอำนาจการดูดซึมของวัสดุผสม วัสดุผสมต้องมีรูพรุนพอที่จะดูดซับน้ำ มีช่องว่างพอที่จะให้น้ำแข็งขยายตัวได้ในอากาศหนาว มิฉะนั้น จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

4. ความคงตัวต่อปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Stability) วัสดุผสมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำซีเมนต์ วัสดุผสมในบางท้องถิ่นที่มีสารเคมีผสมอยู่ในเนื้อดินจะทำปฏิกิริยากับก้างในน้ำซีเมนต์เกิดเป็นรู และขยายตัวทำให้เกิดรอยร้าวทั่วไปในคอนกรีต ในกรณีที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุผสมเหล่านี้จะต้องใช้กับปูนซีเมนต์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของก้างต่ำ (Low-alkali Cement)

5. ลักษณะรูปร่างและผิว (Particle Shape and Surface Texture) มีความสำคัญต่อการควบคุม "ความสามารถเทได้" ของคอนกรีตที่ผสมใหม่ ๆ วัสดุผสมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแฉะเหลี่ยมคม วัสดุผสมที่เป็นแผ่นแบนหรือรีขี้นยาว (Flat and Elongated Particles) ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพราะต้องการน้ำในส่วนผสมมากกว่าวัสดุผสมที่มีก้อนกลมหรือรูปลูกบาศก์เพื่อให้ได้ "ความสามารถเทได้" เท่า ๆ กัน ทำให้เปลืองซีเมนต์ลวกกำลัง และแรงยึดเหนี่ยวภายในก้อนคอนกรีต ปกติยอมให้มีวัสดุผสมแบบนี้ไม่เกินกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของวัสดุผสมที่ใช้วัสดุผสมก้อนกลมช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีก้อนเป็นแฉะเป็นมุม แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนกับซีเมนต์เพสต์ต่ำกว่าวัสดุผสมที่มีผิวหยาบหรือค้ำจะช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

6. ความสะอาด (Cleanliness) วัสดุผสมต้องสะอาด มีสารที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด สารเหล่านี้ได้แก่ เบล็อกหอย ฐาน้อย ถ่านหิน ถ่าน เศษไม้ ก้อนดิน โคลนเลน ดุงพลาสติก ปูน หรือผงละเอียด (Silt) สิ่งเหล่านี้จะลดความทนทานและแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต บางครั้งอาจทำให้คอนกรีตแตกร้าว มีกำลังต่ำ แข็งตัวช้า หรือไม่แข็งเลย เกิดรอยเปื้อนหรือหลุดออกไปเป็นรูโพรง ปริมาณของสิ่งเจือปนที่จะเป็น

อันตรายต่อคอนกรีต ต้องไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 . .

ตารางที่ 1 ปริมาณของสิ่งเจือปนในวัสดุผสมที่ยอมให้

สิ่งสกปรกที่เจือปน	เปอร์เซ็นต์ที่ยอมให้สูงสุดโดยน้ำหนัก	
	ในวัสดุผสมละเอียด	ในวัสดุผสมหยาบ
กินเหนียว	1.00	0.25
ฝุ่นหรือผงละเอียด (silt) ที่ลอคตะแกรงเบอร์ 200		
1. คอนกรีตที่รับแรงเสียดสี	5.0	1.0
2. คอนกรีตทั่วไป	5.0	1.0
ฉานหินหรือลิกไนท์		
1. ในงานที่อวดผิวหน้า	0.5	0.5
2. คอนกรีตทั่วไป	1.0	1.0
วัสดุอ่อน (เช่น รากไม้ เศษไม้)	—	5.0

การซัดสิ่งสกปรกที่เจือปนทำได้หลายวิธี เช่น ล้างน้ำ หรือร่อนผ่านตะแกรง การร่อนจะช่วยให้แยกสิ่งสกปรกชิ้นใหญ่ ๆ (เช่น เปลือกหอย ชานอ้อย ใบไม้ รากไม้ ถุง หลาสติ๊ก) ออกได้

วิธีง่าย ๆ ในการตรวจเพื่อหาความสะอาดของทราย ทำได้โดยหยิบทรายขึ้นมา แล้วดูหรือขยี้บนฝ่ามือ ถ้าปรากฏว่ามีเชื้อดินแยกออกหรือมีสีติดฝ่ามือ ก็แสดงว่าเป็นทรายที่ไม่สะอาดพอ

สารอินทรีย์จากพืชที่เจือปนอยู่ในทราย เช่น ตะไคร่น้ำ ใบไม้เน่า ฯลฯ เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เพราะจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเสียไปด้วย โดยอาจทำให้มีแรงยึดเกาะหรือไม่แข็งแรงก็ได้ และบางทีจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงอย่างมาก การตรวจปริมาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอินทรีย์ในทรายอย่างคร่าว ๆ อาจใช้วิธีวัดความเข้มของสี (Colorimetric Test) ซึ่งทำได้โดยเข้ทรายชั้นลงในน้ำยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ชั้น 3% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบสีของน้ำยากับสีมาตรฐาน ทรายที่ปราศจากสารอินทรีย์จะให้สีของสารละลายบิสหรือสีเหลืองอ่อน ๆ แต่ถ้าสารละลายให้สีระหว่างสีเหลืองอ่อนกับสีน้ำตาล ก็ควรจะสงสัยในคุณภาพไว้ก่อน แต่ถ้าสีเข้มแสดงว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มาก ซึ่งไม่ควรนำมาใช้ นอกจากจะล้างเอาสารอินทรีย์ออกเสียก่อน การทดสอบนี้ควรทำทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนไปใช้ทรายแหล่งใหม่

7. ความลึกลับ ของขนาดหรือส่วนขนาดกละ (Gradation) วัสดุผสมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตต้องมีความลึกลับของขนาดตามเกณฑ์กำหนด ซึ่งจะช่วยให้เรียงตัวกันได้แน่น และมีช่องว่างน้อย ช่วยให้ทำงานได้ง่าย ปริมาณซีเมนต์ที่จะต้องใช้น้อยลง คือ เพียงพอที่จะเคลือบผิววัสดุผสมทั้งหมด และเติมเต็มช่องว่างที่เหลืออยู่เพื่อเชื่อมให้วัสดุผสมยึดติดกัน ทำให้คอนกรีตมีราคาถูกลง การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติข้อนี้ทำได้โดยใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Gradation Test)

ตารางที่ 2 - เกณฑ์กำหนดส่วนขนาดละเอียดของวัสดุผสม (ASTM C 33)

ตะแกรงขนาด	การย่อยละเอียดที่ทางบนตะแกรงขนาดต่าง ๆ				
	ทราย	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง $\frac{3}{4}$ นิ้ว	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 1 นิ้ว	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 2 นิ้ว
2 นิ้ว				0	0-5
$1\frac{1}{2}$ นิ้ว			0	0-5	-
1 นิ้ว		0	0-5	-	30-65
$\frac{3}{4}$ นิ้ว		0-10	-	30-65	-
$\frac{1}{2}$ นิ้ว		-	40-75	-	70-90
$\frac{3}{8}$ นิ้ว	0	45-80	-	70-90	-
เบอร์ 4	0-5	90-100	90-100	95-100	95-100
เบอร์ 8	0-20	95-100	95-100		
เบอร์ 16	15-50				
เบอร์ 30	40-75				
เบอร์ 50	70-90				
เบอร์ 100	90-98				

วิธีหาปริมาณส่วนผสมคอนกรีต ACI

การคำนวณหาปริมาณส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปซึ่งหล่อในที่ อาจจะเป็น เป็นชั้น ๆ ตามวิธีการซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI 211.1-70) ดังต่อไปนี้ ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงและถูกต้อง ทั้งนี้จะต้องทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียดและเปอร์เซ็นต์การดูดซึม เป็นต้น อีกทั้งวัสดุผสมต้องมีขนาดคล้อยอยู่ในพิสัยที่กำหนดด้วย

1. เลือกค่าความยวบยัที่เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่าความยวบยัต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และให้ได้ความชื้นเหลือพอทำงานได้สะดวก ในกรณีที่มีได้กำหนดค่าความยวบยัมาให้ ค่าความยวบยัที่เหมาะสมกับประเภทของงานเลือกใช้ได้จากตารางที่ 1

2. เลือกขนาดโกลุคของวัสดุผสม

ขนาดโกลุคของวัสดุผสม ไม่ควรเกินกว่า $\frac{1}{5}$ ของส่วนแคบที่สุดของแบบ หรือ $\frac{1}{3}$ ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ $\frac{3}{4}$ ของขนาดความห่างของเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด

ขนาดโกลุคของวัสดุผสมหลายที่ เหมาะสมกับประเภทการใช้งานอาจเลือกได้จาก ตารางที่

3. ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3 ให้ปริมาณน้ำที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตเพื่อให้ได้ค่าการยวบยัตามที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโกลุค รูปร่างและส่วนขนาดคล้อยของวัสดุผสม ในตารางดังกล่าวยังให้ค่าปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมคอนกรีตที่ไม่มีสารทำให้เกิดฟองอากาศ และปริมาณฟองอากาศที่ควรจะมีในส่วนผสมคอนกรีต เมื่อใส่สารทำให้เกิดฟองอากาศ

4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะที่คอนกรีตนั้นถูกนำออกไปใช้งาน และกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์

ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตสำหรับวัสดุผสมที่จะใช้ผสมทำคอน-

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับประเภทงาน และสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ส่วนตารางที่ 5 ให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ต้องการ และให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนดังกล่าวที่ค่าที่สุด ซึ่งหาได้จาก 2 ตารางนี้

5. ค่าแนวปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ในคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรย่อมหาได้ซึ่งเท่ากับ ปริมาณน้ำจากชั้นที่ 3 หักด้วยอัตราส่วนจากชั้นที่ 4 อย่างไรก็ตาม ถ้ากำหนดปริมาณซีเมนต์ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตมาให้ก็ให้เลือกใช้ค่าที่มากที่สุดจากที่คำนวณได้หรือที่กำหนดให้

6. ค่าแนวปริมาณวัสดุผสมหยาบ

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น ในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งแตกต่างตามค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายที่ใช่และขนาดโคที่ที่สุดของหินที่ใช่ ปริมาณของวัสดุผสมหยาบคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับ ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบนั้น

7. ประมาณปริมาณวัสดุผสมละเอียด

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ของส่วนผสมจนถึงลำดับที่ 6 แล้ว ปริมาณของวัสดุผสมละเอียดจะหาได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณเนื้อแท้ของวัสดุผสมละเอียด} = \text{ปริมาณของคอนกรีต} - \text{ปริมาณเนื้อแท้ของส่วนผสมต่าง ๆ (ยกเว้นทราย)}$$

โดยที่ ปริมาณเนื้อแท้ (ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มีช่องว่างในเนื้อ) ของวัสดุคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ และน้ำหนักของวัสดุ กล่าวคือ

$$\text{ปริมาณเนื้อแท้} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}}$$

8. ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

ตามปกติ วัสดุผสมที่ใช้งานจริงจะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะฉับตัวและผิวแห้ง ฉะนั้น จึงต้องแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่เอกลดลงเป็นผลของวัสดุผสมที่ชื้นนั้น การคำนวณน้ำหนักน้ำที่เพิ่มเข้าในส่วนผสมนี้ ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิมาและลบน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน ในกรณีที่วัสดุผสมแห้งกว่าสภาวะขี้ตัวและผิวแห้ง จะต้องเติ้ส่วนผสมเช่นเดียวกันในทรงตรงกันข้าม

9. การปรับส่วนผสมด้วยการทดลองผสม

สัดส่วนของผสมต่าง ๆ ที่คำนวณแล้วเป็นเกณฑ์โดยประมาณทั้งสิ้น ซึ่งจะต้องตรวจสอบดูด้วย ถึงผลที่ได้ทั้งในค่ากำลังของคอนกรีตและความยากง่ายในการทำงานโดยการทดลองผสมจริง จากนั้นตรวจสอบดูหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาตรที่ใช้และปริมาณอากาศ แล้วจึงปรับส่วนผสมต่าง ๆ ให้เหมาะสมอีกครั้งหนึ่ง

ถ้าต้องการให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 ซม. จะต้องเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในส่วนผสม 2 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะมีผลให้กำลังของคอนกรีตน้อยลงหรือมากขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้นถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังคงเดิม จะต้องปรับปริมาณปูนซีเมนต์หรือหินและทรายรวมไปด้วย

ถ้าต้องการให้คอนกรีตที่มีสารกระจายก็ฟองอากาศมีปริมาณของอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 เปอร์เซ็นต์ จะต้องลดหรือเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม 3 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 1 ค่าความขุดตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	ค่าความขุดตัว (ซม.)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

*อาจเพิ่มได้อีก 2 ซม. สำหรับการทำคอนกรีตให้แน่นตัวโดยวิธีการอื่น ที่นอกเหนือไปจากการใช้เครื่องสั่น (Vibrator)

ตารางที่ 2 ขนาดโศศของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ขนาดความหนาของ โครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโศศของวัสดุผสม							
	คาน ผนังและเสา คสล.		ผนังคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีต รับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0—15.0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	12.5-20	$\frac{3}{4}$	20	$\frac{3}{4}$ —1	20—25	$\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{2}$	20—40
15.0—30.0	$\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{2}$	20—40	$1\frac{1}{2}$	40	$1\frac{1}{2}$	40	$1\frac{1}{2}$ —3	40—75
30.0—75.0	$1\frac{1}{2}$ —3	40—75	3	75	$1\frac{1}{2}$ —3	40—75	3	75
มากกว่า 75.0	$1\frac{1}{2}$ —3	40—75	6	150	$1\frac{1}{2}$ —3	40—75	3—6	75—150

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม. ³ สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	$\frac{3}{8}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{4}$ "	1"	$1\frac{1}{2}$ "	2"	3"	6"
	(10 มม.)	(12.5 มม.)	(20 มม.)	(25 มม.)	(40 มม.)	(50 มม.)	(75 มม.)	(150 มม.)
	คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ							
3 — 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 — 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 — 18	240	230	210	205	185	180	170	—
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ค่าความขรุขระ (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม. ³ สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	$\frac{3}{8}$ (10 มม.)	$\frac{1}{2}$ (12.5 มม.)	$\frac{3}{4}$ (20 มม.)	1" (25 มม.)	$1\frac{1}{2}$ (40 มม.)	2" (50 มม.)	3" (75 มม.)	6" (150 มม.)

คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ

3 — 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 — 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 — 18	215	205	190	185	170	165	160	—
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

หมายเหตุ ปริมาณน้ำที่แสดงนี้เป็นปริมาณสูงสุดสำหรับหินที่มีรูปร่างดี ช่วยให้ทำงานง่ายและลดต้นทุนค่าวัสดุที่กำหนด
ถ้าจำเป็นต้องเพิ่มน้ำในส่วนผสม จะต้องเพิ่มปูนซีเมนต์ เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์คงที่
นอกจากผลการทดลองแสดงว่าคอนกรีตมีกำลังสูงเกินต้องการ
ถ้าส่วนผสมต้องการน้ำน้อยกว่ากำหนด ยังไม่ควรลดปริมาณปูนซีเมนต์นอกจากผลการทดลองแสดง
ว่าคอนกรีตให้กำลังสูงกว่าต้องการ

ตารางที่ 4 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้
สำหรับคอนกรีตในสภาวะเป็ดแผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือมีการเบียดแข็งและการละลาย ของน้ำสลักกันบ่อย ๆ (เฉพาะคอนกรีต กระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำเค็ม หรือถูกกับซัลเฟต
โครงสร้างบาง ๆ ที่มีเหล็กหุ้ม บางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.50	0.45*

*ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (ประเภทสองหรือประเภทห้า) อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นี้ได้อีก 0.05

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน (กก./ซม. ²)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	—
400	0.43	—
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน $\phi 15 \times 30$ ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ตารางที่ 6 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโคสดูของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่าง ๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
$1\frac{1}{2}$ " (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
$\frac{3}{4}$ " (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
$1\frac{1}{2}$ " (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการคิด Mix Design

จากการทดลอง เราจะสามารถหาค่าได้ดังนี้:-

ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ 3.15

หิน

- วัสดุผสมหยาบขนาดโคสลุค 40 มม.

- ความถ่วงจำเพาะ 2.53

- ค่าความชื้น 1.3 %

- หน่วยน้ำหนักแห้ง 1347.76 กก./ลบ.ม.

ทราย

- ความถ่วงจำเพาะ 2.18

- ค่าความชื้น 3.5 %

- ค่าสัมประสิทธิ์ความละเอียด 2.80

1. เราเลือกใช้ค่าความยวบตัว 8-10 เซนติเมตร

2. คอนกรีตไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศและจากตารางที่ 3 เมื่อขนาดโคสลุคของวัสดุผสมหยาบเป็น 40 มิลลิเมตร ค่าความยวบตัว 8-10 เซนติเมตร จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ 175 ลิตร/ลูกบาศก์เมตร ของคอนกรีต

3. คอนกรีตต้องการออกแบบกำลังอัดเฉลี่ย 210 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร จากตารางที่ 5 จะหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักได้

$$= 0.62 + \frac{(0.70-0.62) \times (250-210)}{(250-200)}$$

$$= 0.62 + 0.064$$

$$= 0.684$$

4. ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ = 175

0.684

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาที่มีการนำไปใช้

= 255.85 กก./ลบ.ม. ของคอนกรีต

5. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบจากตารางที่ 6 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.80 และขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 40 มิลลิเมตร จะได้ปริมาณของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้ง และอึกแน่น

$$\text{อึกแน่น} = 0.72 \text{ ลบ.เมตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต}$$

$$\text{หน่วยน้ำหนักของหิน} = 1347.76 \text{ กก./ลบ.เมตร}$$

$$\text{กึ่งแน่น น้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่ใช้} = 0.72 \times 1347.76$$

$$= 970.40 \text{ กก./ลบ.เมตรของคอนกรีต}$$

6. หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

ปริมาณเนื้อแห้งของส่วนผสม :

$$\text{ปริมาตรของน้ำ} = \frac{175}{1000} = 0.175 \text{ ลบ.เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของซีเมนต์} = \frac{255.85}{3.15 \times 1000} = 0.081 \text{ ลบ.เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ} = \frac{970.40}{2.53 \times 1000} = 0.384 \text{ ลบ.เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของช่องอากาศ} = 0.01 \times 1 = 0.010 \text{ ลบ.เมตร}$$

$$\text{กึ่งแน่น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย} = 0.65 \text{ ลบ.เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้} = 1 - 0.65$$

$$= 0.35 \text{ ลบ.เมตร}$$

$$\text{น้ำหนักของทราย} = 2.18 \times 0.35 \times 1000$$

$$= 763 \text{ กก.}$$

7. ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น

$$\text{ทรายมีความชื้น} \quad 3.5 \%$$

$$\text{หินมีความชื้น} \quad 1.3 \%$$

$$\text{ปริมาณน้ำที่หุ้มห่อทราย} = 763 \times 0.035 = 26.705 \text{ กก.}$$

$$\text{ปริมาณน้ำที่หุ้มห่อหิน} = 970.40 \times 0.013 = 12.615 \text{ กก.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รวมปริมาณน้ำที่เก็บมาการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ 39.32 กก. โยชนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ส่วนผสมของคอนกรีตใน 1 ลบ.เมตร ได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์	256 กก.
น้ำ(175-39.32).....	136 กก.
ทราย(763 + 26.705).....	790 กก.
หิน(970.40 + 39.32).....	1010 กก.



วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ก) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงและแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

1. ซีเมนต์ ประมาณ 7,000-7,200 กรัม สำหรับการทดสอบ 36 ตัวอย่าง

2. FLY ASH จากแม่เมาะ 1,400-1,500 กรัม สำหรับการทดสอบ 36

ตัวอย่าง

3. FLY ASH จากกระบี่ 1,400-1,500 กรัม สำหรับการทดสอบ 36

ตัวอย่าง

4. ทรายที่หนาตะแกรง เบอร์ 20 และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 30

5. ตะแกรงเบอร์ 20 และ 30

6. คาชั่ง

7. Briquet Gans Molde ทำด้วยวัสดุที่ซีเมนต์ไม่ยึดเกาะ เช่น

ทองเหลือง ภายในมีช่องสำหรับบรรจุซีเมนต์มอร์ตาร์รูปโค้ง รี และคอคเล็กตรงกลาง

8. กระจกแก้วทวงน้ำ

9. เกวียงเหล็ก

10. เครื่องผสมมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM

11. เครื่องทดสอบกำลังดึง ที่มีความสามารถในการให้แรงดึงต่อตัวอย่างโดยต่อเนื่องในอัตรา 600 ± 25 ปอนด์ต่อนาที

12. ถุงมือยาง

13. แบบหล่อออกมาตึกขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม. ทำด้วยวัสดุที่ซีเมนต์ไม่ยึดเกาะ

14. หลอดแก้วกระหุงหรือวัสดุอื่นที่ไม่ถูกซึมน้ำ ไม่สึกหรอเมื่อถูกเสียดสี และไม่เปราะหักง่าย อาทิ แห้งยางแข็ง ไม้ ที่มีขนาดหน้าตัดประมาณ 13-25 มม. และมีความยาวประมาณ 120 ถึง 150 มม. หน้าตัดของปลายที่ใช้กระหุงต้องตั้งฉากกับแกนยางของแท่ง

15. เครื่องทดสอบกำลังอัด อาจเป็นแบบไฮดรอลิกหรือแบบเกลียวหมุนโยกด้วย

มือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไปต่อกับกรมการให้ผลพร้อมแบบกรวย (FLOW TABLE) หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแรงอัด, แรงดึง และแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ประมาณ 450 กก.
2. หินที่มีขนาดประมาณ 40 มม. จำนวน 1,750 กก.
3. ทราย จำนวน 1,350 กก.
4. FLY ASH จากแม่เมาะ 75 กก.
5. FLY ASH จากกระบี่ 75 กก.
6. เหล็กเส้นกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 1 เมตร จำนวน 108 ท่อน
7. เครื่องมือทดสอบ (Universal Testins Machine)
8. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6" และสูง 12"
9. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
10. เครื่องผสมคอนกรีต
11. เครื่องมืออัดเส้นผ่าศูนย์กลาง
12. เครื่องหล่อหมวก (Capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
13. ไม้รองทำค้ำไม้อัดหนา $\frac{1}{8}$ " กว้างประมาณ 1" มีความยาวเท่ากับความยาวของแท่งตัวอย่างหรือยาวกว่าเล็กน้อย และเมื่อใช้ทดสอบครั้งหนึ่งแล้วไม่ควรใช้กับตัวอย่างอื่นอีก
14. เครื่องมือวัดเวจเนียร์

หัวข้อการทดสอบ

หัวข้อที่ 1 การทดสอบซีเมนต์มอร์ต้า (TEST FOR STRENGTH OF HYDRAULIC CEMENT MORTAR)

- 1.1 การทดสอบหาค่าดึงรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า (Test for Compressive of Hydraulic Cement Mortar)
- 1.2 การทดสอบหาค่าดึงรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้า (Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortar)
 - ซีเมนต์มอร์ต้าปกติ
ทดสอบที่ 7 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง
 - * - ซีเมนต์มอร์ต้าโดยใช้ FLY ASH ผสมแทนซีเมนต์ 20 เปอร์เซ็นต์
ทดสอบที่ 7 วัน FLY ASH จากแม่เมาะ จำนวน 3 ตัวอย่าง
FLY ASH จากกระบี่ จำนวน 3 ตัวอย่าง

หัวข้อที่ 2 การทดสอบคอนกรีต (Test for Strength and Bonding of Cylindrical Concrete Specimen)

- 2.1 การทดสอบหาค่าดึงรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า
- 2.2 การทดสอบหาค่าดึงรับกำลังดึงของคอนกรีต
- 2.3 การทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต

โดยการทดสอบแต่ละอย่าง จะมีการทดสอบ :

- คอนกรีตโดยใช้ปูนซีเมนต์ 100% ทดสอบที่ 3, 7, 14, 28 วัน วันละ 3 ตัวอย่าง
- คอนกรีตโดยผสม FLY ASH จากแม่เมาะ และ กระบี่ แทน โดยลดปูนซีเมนต์ลง โดยทดสอบที่ 3, 7, 14, 28 วัน วันละ 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการ ทดสอบหากำลังรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortar) ASTM : C 190-72

1. เตรียมซีเมนต์มอร์ตาร์ตามมาตรฐาน จากซีเมนต์ 1 ส่วนและทรายมาตรฐาน 3 ส่วน โดยน้ำหนัก ใช้เปอร์เซ็นต์ของน้ำเปรียบเทียบกับอัตราน้ำที่พอเหมาะกับความชื้นเหลือของปูนซีเมนต์ จากตารางที่แสดงในหน้าถัดไป

เปอร์เซ็นต์น้ำที่เหมาะสม
สำหรับปูนซีเมนต์

เปอร์เซ็นต์น้ำที่คงการ
สำหรับซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วน 1:3

15	9.0
16	9.2
17	9.3
18	9.5
19	9.7
20	9.8
21	10.0
22	10.2
23	10.3
24	10.5
25	10.7
26	10.8
27	11.0
28	11.2
29	11.3
30	11.5

หรือหากเปอร์เซ็นต์น้ำที่ตองการสำหรับซีเมนต์ ไม่เป็นไปตามตารางข้างบนหรือ อัตราส่วนของซีเมนต์ก่อทรายเปลี่ยนแปลงไป ก็อาจคำนวณหาได้จากสมการ

$$y = \frac{2}{3} \frac{P}{n+1} + K$$

- เมื่อ
- y = เปอร์เซนต์น้ำที่ตองการสำหรับซีเมนต์ mortar
 - P = เปอร์เซนต์น้ำที่เหมาะสมกับความชื้นเหลือของซีเมนต์
 - n = สัดส่วนของทรายเมื่อเทียบกับซีเมนต์ 1 หน่วยโดยน้ำหนัก
 - K = ค่าคงที่สำหรับทรายมาตรฐาน เท่ากับ 6.5

2. การผสมซีเมนต์ mortar อาจผสมได้ 2 วิธี คือ

2.1 ผสมด้วยมือ ให้คลุกเคล้าซีเมนต์และทรายเข้าด้วยกันบนภาชนะหรือพื้นที่สะอาด ราบเรียบ และไม่ถูกขังน้ำ เมื่อผสมกันได้ที่แล้วให้เกลี่ยรวมกันเป็นกอง และทำแฉกตรงกลาง ค่อย ๆ รินน้ำด้วยปริมาณที่คำนวณหรือเปรียบเทียบได้ ลงตรงกลางแฉก ใช้เกรียงเหล็กตีส่วนผสมผสมรอบนอกเข้าไปในแฉกให้หมดภายใน 30 วินาที แล้วจึงปล่อยให้ส่วนผสมถูกขังน้ำอีก 30 วินาที แล้วจึงใช้มือที่สวมถุงยางผสมคลุกเคล้าให้เป็น mortar ภายในเวลาประมาณ 90 วินาที

2.2 ผสมด้วยเครื่องผสม mortar มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- เทน้ำทั้งหมดลงในหม้อผสม
- เติซีเมนต์ตามลงไป แล้วเปิดสวิตช์เดินเครื่องด้วยความเร็วต่ำ ($140 \pm 5 \text{ rpm}$) เป็นเวลา 30 วินาที
- เติทรายที่เตรียมไว้ลงไปให้หมดผสมช้า ๆ โดยที่ยังคงเดินเครื่องด้วยความเร็วเท่าเดิม เททรายให้หมดภายใน 30 วินาที
- หยุดเครื่อง และเปลี่ยนเป็นความเร็วปานกลาง ($285 \pm 10 \text{ rpm}$) เดินเครื่องทิ้งไว้ 1 นาที
- หยุดเครื่องอีก เพื่อพัก mortar ไว้ 90 วินาที โดยที่ภายใน 15

วินาทีแรก ให้รับปากส่วนที่ละเอียดต่าง ๆ หม้อผสมลงให้หมด แล้วปิดฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ มีอายุการใช้งานไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อครบเวลาพัก จึงเดินเครื่องต่อด้วยความเร็วปานกลางเท่าเดิมต่อไปอีก 30 วินาที เป็นอันจบกระบวนการผสมมอร์ต้า

3. การบรรจุซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบ

3.1 ก่อนบรรจุซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบ ให้ทาเคลือบผิวค้ำที่สัมผัสซีเมนต์ด้วยน้ำมันพืชบาง ๆ เตรียมไว้ก่อน จึงค่อย ๆ อัดซีเมนต์มอร์ต้าลงไปในที่เดิม โดยไม่ต้องออกแรงกดใด ๆ เมื่อเต็มแล้วจึงใช้หัวแม่มือกดลงไป โดยออกแรงประมาณ 6-9 กก. จำนวน 12 ครั้งต่อช่องแบบ ซีเมนต์มอร์ต้าจะล้นขอบแบบขึ้นมาเล็กน้อย ใช้เกรียงเหล็กปาดแต่งให้เรียบ

3.2 นำแผ่นโลหะที่ทำน้ำมันพืชแล้วหรือแผ่นกระจก มาปิดประกบปากแบบไว้แล้วพลิกแบบกลับเอาค้ำกลางขึ้น และอัดซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธีการเดิม

3.3 จากนั้นจึงเอาน้ำขุ่นน้ำพอนมา ๆ มาปิดคลุม ตั้งทิ้งไว้ 20-24 ชั่วโมง จึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปแช่ในน้ำสะอาดให้ครบอายุตามต้องการ

4. เมื่อต้องการทดสอบตัวอย่างที่อายุครบกำหนด ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยึ่งให้ผิวแห้งแล้วจึงนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องทดสอบ นำค่าที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐานที่แสดงไว้ในหน้าถัดไป

อายุ	ประเภทซีเมนต์		
	1	2	3
1 วันในอากาศชื้น (ps1)			275
1 วันในอากาศชื้น 2 วันในน้ำ (ps1)	150	125	375
1 วันในอากาศชื้น 6 วันในน้ำ (ps1)	275	250	-
1 วันในอากาศชื้น 27วันในน้ำ (ps1)	350	325	-

ขั้นตอนการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์-mortar (Test for Compressive strength of Hydraulic Cement Mortar) ASTM : C 109-70

1. ตรวจสอบการเรียงขนาดของเม็ดทราย โดยใช้วิธีการร่อนทรายผ่านตะแกรง 4 ขนาด คือ เบอร์ 100, 50, 30 และ 16 โดยจะต้องมีเปอร์เซ็นต์คางบนตะแกรงประมาณ 98 ± 2 , 75 ± 5 , 2 ± 2 และ 0 ตามลำดับ หลังจากนั้นให้นำตัวอย่างมาทำการแบ่งสี่ (quatering) เพื่อให้ได้ตัวอย่างจำนวนตามต้องการ
2. การเตรียมอัตราส่วนของซีเมนต์และทรายมาตรฐาน ปกติใช้อัตราส่วน 1:2.75 และใช้ปริมาณ(w/c ratio)=0.485 เป็นจุดเริ่มต้น
3. ผสมซีเมนต์ mortarc ด้วยเครื่องผสม ตามหลักการเกี่ยวกับวิธีทดสอบที่นำมา
4. เสริมแล้วนำซีเมนต์ mortarc มาหาค่าการไหล เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม ปฏิบัติเช่นเกี่ยวกับการหาค่าความชื้น เหลวของซีเมนต์ mortarc หรือจะหาจากสมการหาเปอร์เซ็นต์น้ำที่เหมาะสมที่ปรากฏอยู่ในการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงกึ่งของซีเมนต์ mortarc ก็ได้เช่นกัน
5. เมื่อได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมแล้ว ให้ผสมซีเมนต์ mortarc ใหม่ เพื่อบรรจุลงในแบบหล่อหลังจากขลิมน้ำมันในช่องแบบจนทั่วแล้ว จึงใส่ซีเมนต์ mortarc ลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงแบบ (1") แล้วใช้แท่งกระทุ้งมาตรฐาน กระทุ้งให้ได้ 32 ครั้งภายในเวลา 10 วินาที โดยแบ่งการกระทุ้งเป็น 4 รอบ ดังแสดงในรูป

1	2	3	4
8	7	6	5

รอบที่ 1 และ 3

4	5
3	6
2	7
1	8

รอบที่ 2 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากนั้นใส่ซีเมนต์มอร์ตาลลงในแบบที่หล่อจนเต็ม และกระทุ้งอีก 32 ครั้ง ภายใน 10 วินาที โดยแบ่งเป็น 4 รอบเช่นเดียวกัน เสร็จแล้วปลุกผิวหน้าให้เรียบ ใช้น้ำชุบน้ำพอมากคลุม และตั้งทิ้งไว้เฉย ๆ เป็นเวลา 24 ชม. จึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปต้มในน้ำ

7. ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างที่อายุ 24 ชม., 3 วัน, 7 วัน, และ 28 วัน ตามลำดับ การนำแท่งตัวอย่างขึ้นจากน้ำหากนำขึ้นมาก่อนเวลาทดสอบ 24 ชม. ให้คลุมด้วยผ้าหมากไว้จนถึงเวลาทดสอบ เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง ปัดเม็กรทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวหน้าออก ข้อควรระวังก็คือ จะต้องให้ผิวหน้าเรียบจริง ๆ หากโค้งหรือไม่สม่ำเสมอเพียงเล็กน้อย ให้ฝนกระดาษทรายน้ำละเอียด ถ้าโค้งหรือขรุขระมากให้ทิ้งไปไม่นำมาทดสอบ

8. การทดสอบนับจากการให้แรงอัดเพิ่มในแท่งทดสอบจนกระทั่งแตก จะต้องอยู่ภายในช่วงเวลา 20-80 วินาที



ขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต (Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen) ASTM : C 39-72

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรั้งแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรั้งให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยก หรือแบบหลุดขณะ เทคอนกรีตหรือ กระทุ้ง เพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องมือผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลาง ที่ไหลออกมาจากเครื่องมือใหม่ ๆ
2. เทคอนกรีตตั้งกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปากผิวหน้าให้เรียบ
3. ทั้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉย ๆ ประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่ม โดยแช่ในถังน้ำ จนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุดควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ค) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีต ให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำ เมื่อครบอายุก่อนทดสอบควรตรวจสอบระนาบหน้าท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5 องศา (หรือประมาณ 3 มม.) หากไม่อยู่ใน

ง) การคำนวณ

ค่าความเค้นอัดประลัยของแท่งคอนกรีตจะหาได้จากสูตร

$$f = P/A$$

โดยที่

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ $= \frac{\pi D^2}{4}$

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เฉลี่ยจากการวัดสองทิศทางตั้งฉากกัน ที่กึ่งกลาง
ความสูงของแท่งตัวอย่าง



ขั้นตอนการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต (Test for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens) ASTM : C 496-71

- ก) การเตรียมแบบหล่อและการเตรียมแท่งตัวอย่าง เหมือนกับการเตรียมการทดสอบกำลังอัด
- ข) การทดสอบกำลังดึง
1. ชีตแนวเส้นผ่าศูนย์กลางให้ยาวจรดหัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง
 2. วัดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง เฉลี่ยจากการวัด 3 ค่าคือ ที่กึ่งปลายทั้งสอง และที่กึ่งกลางของแท่งตัวอย่าง พร้อมกับวัดความยาวเฉลี่ยจาก 2 ด้านตามแนวที่ขีดไว้
 3. วางแท่งคอนกรีตนอนบนเครื่องบด ให้แนวเส้นที่ลากไว้อยู่ด้านบนและล่าง นำไม้อรงมารองตรงเส้นทั้งด้านบนและล่าง ให้กึ่งกลางของไม้อรงตรงแนวเส้น จากนั้นจึงให้แรงกระทำจนกระทั่งคอนกรีตปริแตก
- ค) การคำนวณ
- กำลังดึงปริแตกของคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$T = 2P / WDL$$

ขั้นตอนการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต (Test for Bondline of Cylindrical Concrete with Reintorcins Stool)

- ก) การเตรียมแบบหล่อและเตรียมแท่งตัวอย่าง เหมือนกับการเตรียมการทดสอบอัด แต่จะมีการฝังเหล็กเส้นกลม 12 มม. ลงไปแท่งตัวอย่างละ 1 เส้น โดยฝังในลึกลงในแท่งคอนกรีต ประมาณ 20 มม.
- ข) การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแท่งตัวอย่างคอนกรีตกับเหล็กเส้น
- นำเอาแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่เตรียมไว้มานำก้านปลายคอนกรีตที่มีเหล็กเส้นฝังไว้ยึดกับตุ้มน้ำหนักให้แน่น
 - ให้แรงดึงจนกระทั่งจุดประลัยอ่านค่าบันทึกไว้
 - ให้แรงดึงต่อไปจนกระทั่งเหล็กหลุดออกจากแท่งคอนกรีต
 - วัดความยาวของเหล็กที่ฝังไว้ในคอนกรีตและวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้นเฉลี่ยการวัด 3 ค่า บันทึกไว้
- ค) การคำนวณ
- แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็ก จะหาได้จากสูตร
$$U = \frac{P}{\pi D L}$$

การเตรียมคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ

- ข้อมูลจากการทดลองทำ Mix Design ต่อคอนกรีต 1 ลบ.เมตร
- | | |
|------------|-----------|
| ปูนซีเมนต์ | 256 กก. |
| น้ำ | 136 กก. |
| ทราย | 790 กก. |
| หิน | 1,010 กก. |

- การเตรียมคอนกรีตสำหรับแต่ละอัตราส่วน อัตราส่วนละ 36 ตัวอย่าง
- | | |
|--|-------------|
| ทดสอบแรงอัดที่ 3, 7, 14, 28 วัน (วันละ 3 ตัวอย่าง) | 12 ตัวอย่าง |
| ทดสอบแรงดึงที่ 3, 7, 14, 28 วัน (วันละ 3 ตัวอย่าง) | 12 ตัวอย่าง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบแรงยึดเหนี่ยวที่ 3, 7, 14, 28 วัน (วันละ 3 ตัวอย่าง) 12 ตัวอย่าง
 . . . รวมทั้งหมด 36 ตัวอย่าง

3. การทดสอบใช้โมลตัวอย่างขนาดมาตรฐาน เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. มีปริมาตร = $0.075 \times 0.075 \times 0.3$

$$= 0.0053 \text{ ลบ.เมตร/ 1 ตัวอย่าง}$$

แต่ละส่วนผสมใช้ 36 โมล

$$\therefore \text{แต่ละส่วนผสมใช้คอนกรีต} = 36 \times 0.0053$$

$$= 0.19 \text{ ลบ.เมตร}$$

4. สำหรับคอนกรีตอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 100%

ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 48.86 กก.

ใช้ปริมาณน้ำ 25.96 กก.

ใช้ปริมาณทราย 150.77 กก.

ใช้ปริมาณหิน 192.76 กก.

5. สำหรับคอนกรีตอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 10% (ใช้ FLY ASH จากแม่เมาะ หรือกระบี่แทน)

ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์ 43.97 กก.

ใช้ปริมาณ น้ำ 25.96 กก.

ใช้ปริมาณ ทราย 150.77 กก.

ใช้ปริมาณ หิน 192.76 กก.

ใช้ปริมาณ 4.89 กก.

6. สำหรับคอนกรีตอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 20% (ใช้ FLY ASH จากแม่เมาะ หรือกระบี่แทน)

ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์ 39.08 กก.

ใช้ปริมาณ น้ำ 29.96 กก.

ใช้ปริมาณ ทราย 150.77 กก.

ใช้ปริมาณ หิน	192.76 กก.
ใช้ปริมาณ	9.77 กก.

7. สำหรับคอนกรีตอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 30% (ใช้ FLY ASH จากแม่เมาะ หรือกระบี่แทน)

ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	34.2 กก.
ใช้ปริมาณ น้ำ	25.96 กก.
ใช้ปริมาณ หรพ	150.77 กก.
ใช้ปริมาณ หิน	192.76 กก.
ใช้ปริมาณ	14.66 กก.

8. สำหรับคอนกรีตอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 40% (ใช้ FLY ASH จากแม่เมาะ หรือกระบี่แทน)

ใช้ปริมาณ ปูนซีเมนต์	29.32 กก.
ใช้ปริมาณ น้ำ	25.96 กก.
ใช้ปริมาณ หรพ	150.77 กก.
ใช้ปริมาณ หิน	192.76 กก.
ใช้ปริมาณ	19.54 กก.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลซีเมนต์มอร์ต้าอายุ 7 วัน

PERCENT	COMPRESSION (ksc)	TENSION (ksc)
คอนกรีต 100%	128	27.4
ผสม FLY ASH กระดาษ 20%	98	17.6
ผสม FLY ASH แม่เมาะ 20%	104	19.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM

CONCRETE 100%

SLUMP

9.5 cm.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.127	30.05	12.729	3	28140	156.58	2356.97
2	COMPRESSION	15.297	30.15	13.249	3	28980	157.69	2391.08
3	COMPRESSION	15.056	30.35	13.142	3	27840	156.37	2432.17
4	TENSILE	15.118	30.00	12.957	3	21120	29.65	2405.99
5	TENSILE	15.397	30.10	12.957	3	18660	25.63	2311.94
6	TENSILE	15.172	30.10	12.679	3	21060	29.36	2329.93
7	BONDING	1.198	22.60		3	3840	45.14	-
8	BONDING	1.184	20.50		3	3315	43.47	42.74
9	BONDING	1.188	21.10		3	3120	39.62	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM CONCRETE 100%

SLUMP 9.5 cm.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Ages	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume
1	COMPRESSION	15.069	30.20	12.853	7	35220	197.48	2386.38
2	COMPRESSION	15.057	30.15	12.594	7	32280	181.29	2345.90
3	COMPRESSION	15.036	30.10	12.772	7	32580	183.48	2389.67
4	TENSILE	15.000	30.00	12.847	7	22600	32.26	2423.30
5	TENSILE	15.100	30.25	12.569	7	25500	35.54	2320.23
6	TENSILE	15.150	30.10	12.759	7	23160	32.33	2351.45
7	BONDING	1.180	19.54		7	3465	47.83	-
8	BONDING	1.140	22.60		7	3705	45.77	46.78
9	BONDING	1.120	20.16		7	3315	46.73	-

PROJECT FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM CONCRETE 100X

SLUMP 9.5 cm.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
:	:	Diameter :	height :	Days :	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.009	30.20	12.784	14	39960	225.86	2392.58
2	COMPRESSION	15.070	29.89	12.765	14	38040	213.27	2394.30
3	COMPRESSION	15.049	30.15	12.911	14	39180	220.27	2407.51
4	TENSILE	15.100	30.00	12.874	14	23620	33.48	2396.34
5	TENSILE	15.230	30.00	12.568	14	27480	38.29	2299.62
6	TENSILE	15.198	30.20	12.700	14	28140	39.03	2318.11
7	BONDING	1.160	17.05		14	3225	51.90	-
8	BONDING	1.140	20.85		14	3465	46.40	49.18
9	BONDING	1.160	22.60		14	4125	49.23	-

PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM : CONCRETE 100%

SLUMP : 9.5 cm

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Weight per Volume
:	:	Diameter :	height :	Days :	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu.m.
1	: COMPRESSION :	15.150 :	30.00 :	12.922 :	28 :	41820 :	231.99 :	2389.42 :
2	: COMPRESSION :	15.013 :	30.10 :	12.883 :	28 :	41100 :	232.18 :	2417.83 :
3	: COMPRESSION :	15.200 :	30.00 :	12.933 :	28 :	41400 :	228.15 :	2375.75 :
4	: TENSILE :	15.069 :	30.15 :	13.006 :	28 :	26400 :	36.99 :	2418.79 :
5	: TENSILE :	14.986 :	30.10 :	12.857 :	28 :	29580 :	41.75 :	2421.65 :
6	: TENSILE :	15.786 :	30.00 :	12.874 :	28 :	28560 :	38.39 :	2192.59 :
7	: BONDING :	1.190 :	20.20 :	:	28 :	3990 :	52.83 :	- :
8	: BONDING :	1.170 :	21.30 :	:	28 :	3915 :	50.00 :	51.77 :
9	: BONDING :	1.198 :	22.10 :	:	28 :	4365 :	52.47 :	- :

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM KRABI 10%

SLUMP 10 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm. Diameter height	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg./cu.m.
1	COMPRESSION	15.056 : 30.25	12.168	3	21780	139.18		2370.64
2	COMPRESSION	15.186 : 30.00	12.931	3	23220	128.20	135.97	2379.77
3	COMPRESSION	15.164 : 30.20	12.896	3	23380	140.53		2364.45
4	TENSILE	15.075 : 30.25	12.775	3	17220	24.04		2366.09
5	TENSILE	15.158 : 30.05	12.685	3	14580	20.38	21.19	2339.23
6	TENSILE	15.284 : 30.15	12.639	3	13660	19.15		2284.87
7	BONDING	1.196 : 20.68		3	2670	34.37		-
8	BONDING	1.194 : 21.06		3	2310	29.24	32.26	-
9	BONDING	1.188 : 21.45		3	2655	33.16		-

PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM KRABI 10%

SLUMP 10 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg./cu.m.
1	COMPRESSION	15.067	30.05	12.664	7	28080	157.49	2353.65
2	COMPRESSION	15.036	30.00	12.649	7	29760	167.60	2374.55
3	COMPRESSION	15.267	30.15	12.788	7	23820	162.90	2316.96
4	TENSILE	15.127	30.10	12.769	7	18840	26.34	2360.45
5	TENSILE	15.085	30.00	12.587	7	20640	29.04	2366.31
6	TENSILE	15.027	30.05	12.785	7	21840	30.79	2398.95
7	BONDING	1.194	20.68		7	3165	40.80	-
8	BONDING	1.196	20.83		7	3315	42.35	-
9	BONDING	1.186	21.75		7	3240	39.98	-

PROJECT * FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART *

SAMPLE FROM KRAB1 10%

SLUMP 10 CH.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume Kg/cu. m.
1	COMPRESSION	15.056	30.05	12.784	14	32520	182.66	2389.53
2	COMPRESSION	15.115	30.00	12.847	14	31860	177.56	2386.48
3	COMPRESSION	15.023	30.05	12.683	14	32820	185.15	2361.08
4	TENSILE	15.072	30.10	12.771	14	25920	36.37	2378.08
5	TENSILE	15.027	30.20	12.856	14	25320	35.52	2400.29
6	TENSILE	15.256	30.00	12.648	14	27300	37.97	2306.37
7	BONDING	1.194	19.63		14	3360	45.63	-
8	BONDING	1.186	21.48		14	3165	39.54	42.96
9	BONDING	1.188	21.70		14	3540	43.70	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM KRAB1 10%

SLUMP 10 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
:	:	Diameter	height	Days	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu.m.
1	:COMPRESSION	15.148	30.15	12.795	28	40680	225.73	2354.79
2	:COMPRESSION	15.073	30.00	12.768	28	39900	223.61	2305.13
3	:COMPRESSION	15.205	30.00	12.852	28	39180	215.78	2359.32
4	: TENSILE	15.118	30.20	12.994	28	27900	38.90	2396.94
5	: TENSILE	14.982	30.05	12.556	28	26160	36.99	2370.54
6	: TENSILE	15.241	30.10	12.984	28	29340	40.72	2364.42
7	: BONDING	1.194	19.23		28	3465	48.03	-
8	: BONDING	1.192	21.28		28	3195	40.09	46.61
9	: BONDING	1.198	20.42		28	3975	51.72	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM ERABI 20X

SLUMP 11 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kc.	Age Days	Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.185	30.15	12.798	3	21240	117.28	2343.88
2	COMPRESSION	15.056	30.27	12.744	3	19440	109.19	2364.65
3	COMPRESSION	15.284	30.29	12.760	3	20280	110.54	2296.35
4	TENSILE	15.155	30.04	12.677	3	13860	19.38	2339.59
5	TENSILE	15.188	30.29	12.739	3	15300	21.17	2332.55
6	TENSILE	15.068	30.19	12.785	3	14580	20.41	2375.32
7	BONDING	1.197	22.48		3	2145	25.38	-
8	BONDING	1.139	21.84		3	2475	30.34	-
9	BONDING	1.193	20.76		3	2295	29.49	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM KRABI 20%

SLUMP 11 CM.

Specimen No.	Type of Structure	Dimension cm.	Diameter	height	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.196	30.35	15.015	7	26280	144.90	2364.49		
2	COMPRESSION	15.046	30.18	12.869	7	24680	138.70	2397.93	141.32	
3	COMPRESSION	15.047	30.16	12.749	7	24960	140.37	2377.44		
4	TENSILE	15.146	30.28	12.847	7	17640	24.49	2355.17	26.62	
5	TENSILE	15.128	30.16	12.748	7	20700	28.88	2351.26		
6	TENSILE	15.063	30.06	12.787	7	18840	26.49	2387.13		
7	BONDING	1.195	21.18		7	3105	39.05	-		
8	BONDING	1.189	20.34		7	2655	34.94	-	36.72	
9	BONDING	1.194	20.78		7	2820	36.17	-		

PROJECT - FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM KRABI 20X

SLUMP 11 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Diameter	height	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Kscr.	Average Strength Kscr.	Weight per Volume Kg./cu.m.
1	COMPRESSION	15.024	30.05	12.740	14	31330	177.01		2391.46	
2	COMPRESSION	15.067	30.11	12.733	14	30660	171.95	173.21	2391.00	
3	COMPRESSION	15.154	30.30	12.976	14	30730	170.66		2374.63	
4	TENSILE	15.053	30.04	12.860	14	22560	31.76		2405.26	
5	TENSILE	15.246	30.19	12.735	14	23830	33.03	34.79	2310.96	
6	TENSILE	15.187	30.25	12.759	14	28560	39.58		2328.28	
7	BONDING	1.195	20.36		14	3315	43.37		-	
8	BONDING	1.195	20.64		14	3105	40.07	41.41	-	
9	BONDING	1.183	21.07		14	3195	40.81		-	

PROJECT "FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART"

SAMPLE FROM RABBIT 20%

SLUMP 11 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Asc.	Average Strength Asc.	Weight per Volume Kg./cu.m.
1	COMPRESSION	15.186 : 30.05	12.784	28	38100	210.35		2348.80
2	COMPRESSION	15.238 : 30.15	12.735	28	40500	220.35	215.91	2298.13
3	COMPRESSION	15.066 : 30.25	12.878	28	33840	216.73		2387.89
4	TENSILE	14.964 : 30.00	12.524	28	23280	33.01		2373.66
5	TENSILE	15.164 : 30.00	12.742	28	29040	40.64	38.30	2351.79
6	TENSILE	15.065 : 30.05	12.740	28	29340	41.26		2378.47
7	BONDING	1.196 : 20.28		28	3645	47.83		-
8	BONDING	1.198 : 20.61		28	3135	40.41	44.33	-
9	BONDING	1.188 : 21.65		28	3615	44.73		-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM ERABI 30%

SLUMP 12.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Diameter	height	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Slr length Ksc.	Average Slr length Ksc.	Weight per Volume Kg./cu.m.
1	COMPRESSION	15.047	30.10	12.768	3	14580	81.99			2385.43
2	COMPRESSION	15.175	29.98	12.749	3	15840	87.58	84.04		2351.24
3	COMPRESSION	15.118	29.88	12.648	3	14820	82.56			2358.10
4	TENSILE	15.076	30.10	12.763	3	11220	15.74			2375.33
5	TENSILE	15.217	29.85	12.756	3	15900	22.28	18.85		2449.75
6	TENSILE	15.161	30.06	12.762	3	13260	18.52			2351.40
7	BONDING	1.195	20.17		3	2175	28.72			-
8	BONDING	1.188	22.38		3	1980	23.70	26.85		-
9	BONDING	1.194	21.74		3	2295	28.14			-

PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM KRABI 30X

SLUMP 12.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg./cu.m.
1	COMPRESSION	15.064	30.15	7	21306	119.51		2374.24
2	COMPRESSION	15.084	30.27	7	22020	123.22	119.24	2378.34
3	COMPRESSION	15.270	30.07	7	21060	115.00		2318.24
4	TENSILE	15.148	30.10	7	16020	22.37		2352.07
5	TENSILE	15.083	30.15	7	17940	25.11	23.90	2367.33
6	TENSILE	15.074	30.02	7	17220	24.23		2370.10
7	BONDING	1.196	21.29	7	1920	24.00		-
8	BONDING	1.189	20.75	7	2310	29.80	28.15	-
9	BONDING	1.198	20.67	7	2385	30.65		-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM EBABI 30X

SLUMP 12.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.186 : 30.26	12.859	14	29150	150.99		2318.01
2	COMPRESSION	15.039 : 30.35	12.995	14	27900	157.07	159.19	2410.50
3	COMPRESSION	15.259 : 30.17	12.858	14	28620	156.50		2332.35
4	TENSILE	15.185 : 30.05	12.985	14	17220	24.03		2519.55
5	TENSILE	15.017 : 30.27	12.983	14	21900	30.67	29.14	2380.59
6	TENSILE	15.118 : 30.08	12.772	14	21240	29.73		2365.39
7	BOHNDING	1.195 : 19.96		14	2505	33.43		-
8	BOHNDING	1.185 : 20.56		14	2805	36.64	34.47	-
9	BOHNDING	1.192 : 22.58		14	2820	33.35		-

PROJECT "FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART"

SAMPLE FROM KRABI 30%

SLUMP 12.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg./cu.m.
1	COMPRESSION	15.065	30.05	12.785	28	34680	194.56	2386.87
2	COMPRESSION	15.164	30.27	12.750	28	36900	204.32	2332.24
3	COMPRESSION	15.147	30.24	12.895	28	35320	195.45	2366.45
4	TENSILE	15.085	30.15	12.786	28	23320	32.50	2372.83
5	TENSILE	15.265	30.17	12.862	28	25860	35.75	2329.51
6	TENSILE	15.166	30.19	12.763	28	26280	36.54	2340.47
7	BONDING	1.195	20.46		28	3390	44.13	-
8	BONDING	1.198	20.75		28	2925	37.45	39.71
9	BONDING	1.186	22.19		28	3105	37.56	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM KRABI 40X

SLUMP 13.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.075 : 30.05	12.746	3	14040	78.66		2376.43
2	COMPRESSION	15.064 : 30.10	12.697	3	11220	62.95	71.60	2366.81
3	COMPRESSION	15.084 : 30.00	12.683	3	13080	73.20		2365.80
4	TENSILE	15.260 : 30.00	12.740	3	10200	14.18		2321.93
5	TENSILE	15.166 : 30.05	12.663	3	10560	14.75	13.18	2332.71
6	TENSILE	15.063 : 30.14	12.693	3	7560	10.60		2363.24
7	BONDING	1.186 : 19.85		3	1170	15.82		-
8	BONDING	1.194 : 20.68		3	1695	21.85	10.39	-
9	BONDING	1.198 : 21.66		3	1440	17.50		-

PROJECT - FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART -

SAMPLE FROM ERABI 40%

SLUMP 13.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.035 : 30.15	12.684	7	18720	105.44		2369.58
2	COMPRESSION	15.146 : 30.00	12.648	7	17220	95.58	102.78	2339.99
3	COMPRESSION	15.116 : 30.10	12.738	7	19260	107.32		2358.15
4	TENSILE	15.160 : 30.10	12.659	7	15840	22.10		2329.94
5	TENSILE	15.087 : 30.15	12.653	7	15300	21.41	20.98	2347.53
6	TENSILE	15.204 : 30.00	12.739	7	13920	19.43		2338.88
7	BONDING	1.194 : 20.64		7	2145	27.70		-
8	BONDING	1.188 : 20.26		7	1710	22.61	24.96	-
9	BONDING	1.196 : 23.26		7	2145	24.55		-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLES FROM ERAB1 40%

SLUMP 13.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg/cm.c.
1	COMPRESSION	15.024 : 30.05	12.733	14	27120	152.98		2390.15
2	COMPRESSION	15.137 : 30.00	12.683	14	26640	148.04	152.60	2349.26
3	COMPRESSION	15.052 : 30.15	12.774	14	27900	156.79		2381.01
4	TENSILE	15.162 : 30.15	12.759	14	18720	26.07		2343.83
5	TENSILE	15.103 : 30.10	12.698	14	15560	23.19	24.25	2354.79
6	TENSILE	15.129 : 30.00	12.769	14	16740	23.48		2367.79
7	BONDING	1.188 : 20.56		14	1845	24.04		-
8	BONDING	1.194 : 21.29		14	2640	33.06	28.35	-
9	BONDING	1.192 : 20.63		14	2160	27.96		-

PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM

KRABI 40%

SLUMP

13.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Weight Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg./cu.m.
1	COMPRESSION	15.046	30.05	12.752	28	29520	166.03	2386.72
2	COMPRESSION	15.157	30.10	12.756	28	30240	167.60	2348.72
3	COMPRESSION	15.167	30.05	12.740	28	28860	159.73	2346.46
4	TENSILE	15.194	30.00	12.768	28	19140	26.73	2347.29
5	TENSILE	15.087	30.01	12.736	28	21960	30.87	2373.71
6	TENSILE	15.237	30.03	12.773	28	21840	30.39	2332.65
7	BONDING	1.196	21.26		28	3045	38.12	-
8	BONDING	1.194	21.76		28	3390	41.53	-
9	BONDING	1.198	22.64		28	3165	37.14	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM

HAE HOH 10*

SLUMP

10.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Ages Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.190	30.25	12.747	3	27180	149.99	2325.41
2	COMPRESSION	15.074	30.10	12.668	3	25380	142.21	2358.28
3	COMPRESSION	15.016	30.10	12.728	3	26280	148.40	2387.79
4	TENSILE	15.286	30.05	12.774	3	15480	21.45	2316.35
5	TENSILE	15.207	30.00	12.695	3	19260	26.88	2329.88
6	TENSILE	15.165	30.19	12.686	3	17700	24.62	2326.80
7	BONDING	1.198	20.88		3	2820	35.88	-
8	BONDING	1.197	20.64		3	2685	34.59	33.59
9	BONDING	1.193	21.65		3	2460	30.31	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM HAE HOH 10%

SLUMP 10.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Weight per Volume
:	:	Diameter	height	Days	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu.m.
1	: COMPRESSION	: 15.196	: 30.15	: 12.749	: 7	: 30720	: 169.38	: 2331.53
2	: COMPRESSION	: 15.065	: 30.15	: 12.695	: 7	: 27960	: 156.87	: 2362.36
3	: COMPRESSION	: 15.286	: 30.00	: 12.657	: 7	: 31860	: 173.61	: 2298.96
4	: TENSILE	: 15.076	: 30.05	: 12.661	: 7	: 23340	: 32.80	: 2360.27
5	: TENSILE	: 15.076	: 30.00	: 12.748	: 7	: 19260	: 27.11	: 2380.32
6	: TENSILE	: 15.116	: 30.18	: 12.790	: 7	: 24420	: 34.08	: 2361.80
7	: BONDING	: 1.194	: 20.28	:	: 7	: 3465	: 45.54	:
8	: BONDING	: 1.198	: 21.45	:	: 7	: 3180	: 39.39	: 41.07
9	: BONDING	: 1.198	: 21.86	:	: 7	: 3150	: 38.28	:

PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART
 SAMPLE FROM : HAE HOH 103
 SLUMP : 10.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm. Diameter : height	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume Kg/cu. m.
1	COMPRESSION	15.064 : 30.10 : 12.746	14	33240	186.50		2376.23
2	COMPRESSION	15.275 : 30.22 : 12.758	14	35680	195.79	186.75	2303.75
3	COMPRESSION	15.267 : 30.27 : 12.774	14	32580	177.97		2305.25
4	TENSILE	15.175 : 30.00 : 12.749	14	22560	31.55		2349.67
5	TENSILE	15.011 : 30.05 : 12.649	14	26880	37.94	35.45	2378.48
6	TENSILE	15.175 : 30.18 : 12.732	14	26520	36.87		2332.82
7	BONDING	1.197 : 21.82	14	4440	54.11		-
8	BONDING	1.198 : 21.65	14	3840	47.12	49.14	-
9	BONDING	1.194 : 19.74	14	3420	46.18		-

PROJECT FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM HAE KHU 103

SLUMP 10.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Ages	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
:	:	:	Kg.	Days	kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.064	30.05	12.784	28	39120	219.50	2387.05
2	COMPRESSION	15.185	30.28	12.756	28	37860	208.72	2326.16
3	COMPRESSION	15.028	30.17	12.739	28	37980	214.12	2380.50
4	TENSILE	15.086	32.35	13.105	28	27240	35.53	2266.34
5	TENSILE	15.047	30.27	12.756	28	29220	40.84	2370.18
6	TENSILE	15.167	30.00	12.748	28	26040	36.43	2351.97
7	BONDING	1.197	19.73		28	3990	53.77	-
8	BONDING	1.198	20.37		28	3645	47.54	50.60
9	BONDING	1.198	22.65		28	4305	50.49	-

PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM HAE HOH 203

SLUMP 12 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
		Diameter	height	Days	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu. m.
1	COMPRESSION	15.196	30.05	12.785	3	22020	121.41	2345.89
2	COMPRESSION	15.065	30.28	12.776	3	23580	132.28	2367.26
3	COMPRESSION	15.088	30.17	12.746	3	22260	124.50	2362.90
4	TENSILE	15.038	30.08	12.688	3	16440	23.14	2375.29
5	TENSILE	15.275	30.38	12.983	3	16500	22.64	2332.34
6	TENSILE	15.184	30.18	12.697	3	19140	26.59	2323.68
7	BONDING	1.189	20.17		3	2505	33.24	-
8	BONDING	1.197	20.73		3	2160	27.71	29.57
9	BONDING	1.193	21.76		3	2265	27.77	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM HAE MOH 20x

SLUMP 12 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Ages	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
1	COMPRESSION	15.035	30.02	12.773	7	26040	146.67	2396.38
2	COMPRESSION	15.167	30.39	12.759	7	24720	136.82	2324.04
3	COMPRESSION	15.126	30.28	12.698	7	25740	143.24	2333.99
4	TENSILE	15.175	30.29	12.739	7	19860	27.51	2325.54
5	TENSILE	15.004	30.17	12.748	7	19320	27.18	2390.20
6	TENSILE	14.995	30.19	12.716	7	17820	25.06	2385.41
7	BONDING	1.196	20.67		7	2760	35.53	-
8	BONDING	1.194	21.56		7	3270	40.43	39.60
9	BONDING	1.187	20.75		7	3315	42.83	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM

MAE MOH 20%

SLUMP

12 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Diameter	height	Kg.	Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume	Kg/cu. ft.
1	COMPRESSION	15.185	30.18	12.688	14	32580	179.90				2321.81
2	COMPRESSION	15.173	30.29	12.745	14	29820	164.92	172.20			2327.25
3	COMPRESSION	15.075	30.06	12.693	14	30660	171.78				2365.76
4	TENSILE	15.274	30.38	12.694	14	20700	28.40				2280.80
5	TENSILE	15.130	30.06	12.745	14	25380	35.52	33.32			2357.90
6	TENSILE	15.229	30.00	12.785	14	25860	36.03				2339.63
7	BONDING	1.188	21.96		14	3510	42.82				-
8	BONDING	1.195	20.53		14	4155	53.90	48.31			-
9	BONDING	1.194	20.15		14	3645	48.22				-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM

HAE MOH 20%

SLUMP

12 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Age Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.146	30.27	12.795	28	36780	204.15	2346.17
2	COMPRESSION	15.127	30.26	12.773	28	38700	215.34	2348.71
3	COMPRESSION	15.026	30.00	12.588	28	35760	201.66	2366.17
4	TENSILE	15.147	30.05	12.795	28	23220	32.48	2362.94
5	TENSILE	15.285	30.00	12.863	28	28560	39.65	2336.69
6	TENSILE	15.085	30.28	12.798	28	26160	36.46	2364.86
7	BONDING	1.195	22.50		28	3975	47.05	-
8	BONDING	1.185	21.85		28	4305	52.92	51.33
9	BONDING	1.194	19.47		28	3945	54.01	-

PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM HAF-HOH 30%

SLUMP 14 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Height per Volume Kg/cu. m.
1	COMPRESSION	15.186	30.05	12.748	3	21120	116.61	2342.18
2	COMPRESSION	15.037	30.26	12.673	3	18720	105.41	2358.30
3	COMPRESSION	15.185	30.16	12.640	3	17880	98.73	2314.18
4	TENSILE	15.088	30.00	12.753	3	17220	24.22	2377.59
5	TENSILE	15.275	30.05	12.738	3	15660	21.72	2313.15
6	TENSILE	15.106	30.18	12.742	3	15480	21.62	2356.14
7	BONDING	1.196	20.46		3	2115	27.51	-
8	BONDING	1.198	21.56		3	2160	26.62	-
9	BONDING	1.194	20.56		3	2415	31.31	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM HAE MOH 30%

SLUMP 14 CH.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
:	:	Diameter	height	Days	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu.m.
1	: COMPRESSION	15.118	30.05	12.759	7	22980	128.02	2365.34
2	: COMPRESSION	15.053	30.12	12.684	7	21960	123.39	2366.28
3	: COMPRESSION	15.107	30.00	12.664	7	21240	118.50	2355.07
4	: TENSILE	15.274	30.05	12.739	7	16260	22.55	2313.64
5	: TENSILE	15.066	30.10	12.728	7	15060	21.15	2372.36
6	: TENSILE	15.074	30.17	12.638	7	19020	26.63	2347.47
7	: BONDING	1.198	20.64		7	2820	36.30	-
8	: BONDING	1.187	19.76		7	2640	35.79	37.26
9	: BONDING	1.194	21.86		7	3255	39.69	-

PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM HAE MOH 30%

SLUMP 14 CH.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
:	:	Diameter	height	Days	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu. m.
1	COMPRESSION	15.165	30.05	12.668	14	27780	153.40	2327.79
2	COMPRESSION	15.204	30.19	12.784	14	25980	143.10	2332.57
3	COMPRESSION	15.163	30.16	12.769	14	28860	159.82	2344.27
4	TENSILE	15.026	30.27	12.775	14	18720	26.20	2379.66
5	TENSILE	15.077	30.28	12.697	14	17820	24.85	2349.08
6	TENSILE	15.277	30.18	12.783	14	23640	32.65	2311.18
7	BONDING	1.198	20.75		14	3645	46.67	-
8	BONDING	1.193	19.85		14	3330	44.75	-
9	BONDING	1.197	22.47		14	3990	47.21	-

PROJECT • FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM MAE HOH 30%

SLUMP 14 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height Kg.	Ages Days	Ultimate Load Kg.	Strength Ksc.	Average Strength Ksc.	Weight per Volume Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.188	30.15	12.687	28	35760	197.39	2322.76
2	COMPRESSION	15.116	30.26	12.697	28	34320	191.24	2338.13
3	COMPRESSION	15.085	30.05	12.773	28	34740	194.38	2378.31
4	TENSILE	15.285	30.00	12.684	28	21840	30.32	2304.17
5	TENSILE	15.064	30.17	12.683	28	22980	32.19	2358.41
6	TENSILE	15.178	30.18	12.759	28	22260	30.94	2336.96
7	BONDING	1.195	20.88		28	3645	46.49	-
8	BONDING	1.198	20.67		28	4260	54.75	50.71
9	BONDING	1.193	21.78		28	4155	50.90	-

PROJECT " FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART "

SAMPLE FROM

HAE HOH 40%

SLUMP

15.5 CH.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Weight per Volume
:	:	Diaweter	height	Kg.	Days	Kg.	Ksc.	Ksc.
:	:	:	:	:	:	:	:	kg/cu.w.
1	COMPRESSION	15.196	30.15	12.758	3	19260	106.20	2333.17
2	COMPRESSION	15.074	30.25	12.684	3	16260	91.11	2349.55
3	COMPRESSION	15.239	30.00	12.749	3	17040	93.43	2329.98
4	TENSILE	15.006	30.15	12.680	3	16680	23.47	2378.00
5	TENSILE	15.164	30.05	12.749	3	14040	19.62	2349.17
6	TENSILE	15.206	30.19	12.771	3	15480	21.47	2329.57
7	BONDING	1.198	20.37		3	1605	20.93	-
8	BONDING	1.196	21.85		3	1680	20.46	22.02
9	BONDING	1.198	20.68		3	1920	24.67	-

PROJECT * FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART *

SAMPLE FROM MAE HOH 40%

SLUMP 15.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Ages	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
:	:	:	:	:	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu. m.
1	: COMPRESSION	: 15.007	: 30.10	: 12.685	: 7	: 20520	: 116.01	: 2382.57
2	: COMPRESSION	: 15.022	: 30.05	: 12.758	: 7	: 20640	: 116.46	: 2395.48
3	: COMPRESSION	: 15.174	: 30.27	: 12.784	: 7	: 19740	: 109.16	: 2335.42
4	: TENSILE	: 15.037	: 30.00	: 12.668	: 7	: 16680	: 23.54	: 2377.80
5	: TENSILE	: 15.275	: 30.05	: 12.752	: 7	: 14640	: 20.30	: 2315.70
6	: TENSILE	: 15.263	: 30.18	: 12.758	: 7	: 16260	: 22.48	: 2310.82
7	: BONDING	: 1.196	: 21.48	:	: 7	: 2745	: 34.01	:
8	: BONDING	: 1.194	: 20.24	:	: 7	: 2820	: 37.14	: 36.49
9	: BONDING	: 1.188	: 20.76	:	: 7	: 2970	: 38.33	:

PROJECT - FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM

MAE HOH 40%

SLUMP

15.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Ages	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Height per Volume
:	:	Diameter	height	Days	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu.m.
1	COMPRESSION	15.036	30.15	12.759	14	26460	149.02	2383.28
2	COMPRESSION	15.286	30.10	12.668	14	26280	143.20	2293.32
3	COMPRESSION	15.176	30.23	12.740	14	27300	150.92	2329.84
4	TENSILE	15.006	30.05	12.704	14	15960	22.53	2390.43
5	TENSILE	15.141	30.05	12.682	14	18660	26.11	2343.96
6	TENSILE	14.983	30.18	12.762	14	20340	28.64	2398.74
7	BONDING	1.196	20.16		14	3765	49.70	-
8	BONDING	1.198	20.75		14	2655	33.99	42.70
9	BONDING	1.196	21.31		14	3555	44.39	-

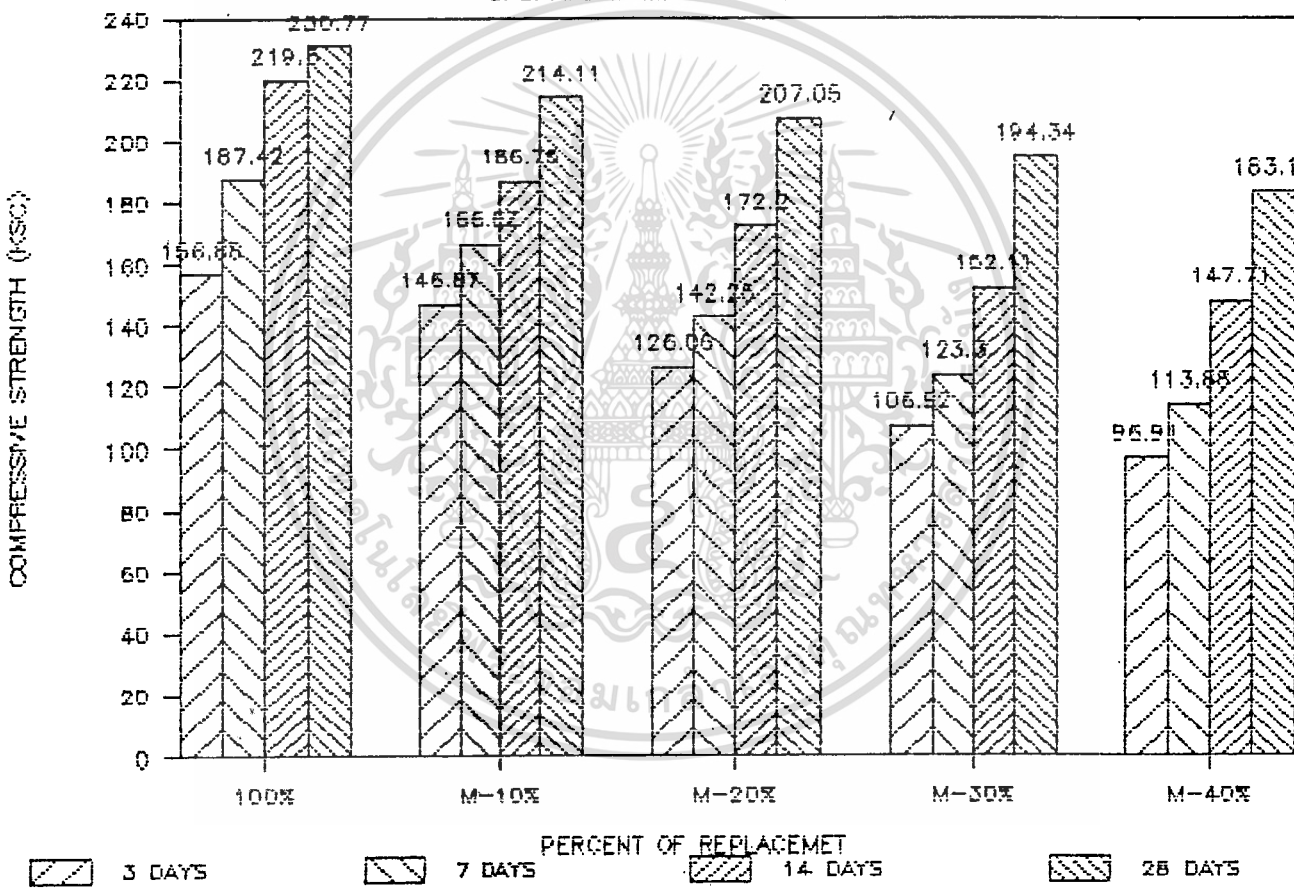
PROJECT : FLY ASH AS A REPLACEMENT OF CEMENT PART

SAMPLE FROM : HEA HOH 40%
 SLUMP : 15.5 CM.

Specimen NO.	Type of Structure	Dimension cm.	Height	Age	Ultimate Load	Strength	Average Strength	Weight per Volume
:	:	Diometer	height	Days	Kg.	Ksc.	Ksc.	Kg/cu. m.
1	COMPRESSION	15.016	30.00	12.748	28	32700	184.65	2399.51
2	COMPRESSION	15.175	30.05	12.680	28	31920	176.49	2333.07
3	COMPRESSION	15.116	30.10	12.727	28	33780	188.23	2356.06
4	TENSILE	15.275	30.15	12.669	28	18660	25.79	2292.99
5	TENSILE	15.075	30.06	12.659	28	22560	31.69	2359.11
6	TENSILE	15.027	30.18	12.748	28	20880	29.32	2382.10
7	BONDING	1.196	20.64		28	3705	47.77	-
8	BONDING	1.198	21.48		28	4215	52.13	49.87
9	BONDING	1.188	21.75		28	4035	49.70	-

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

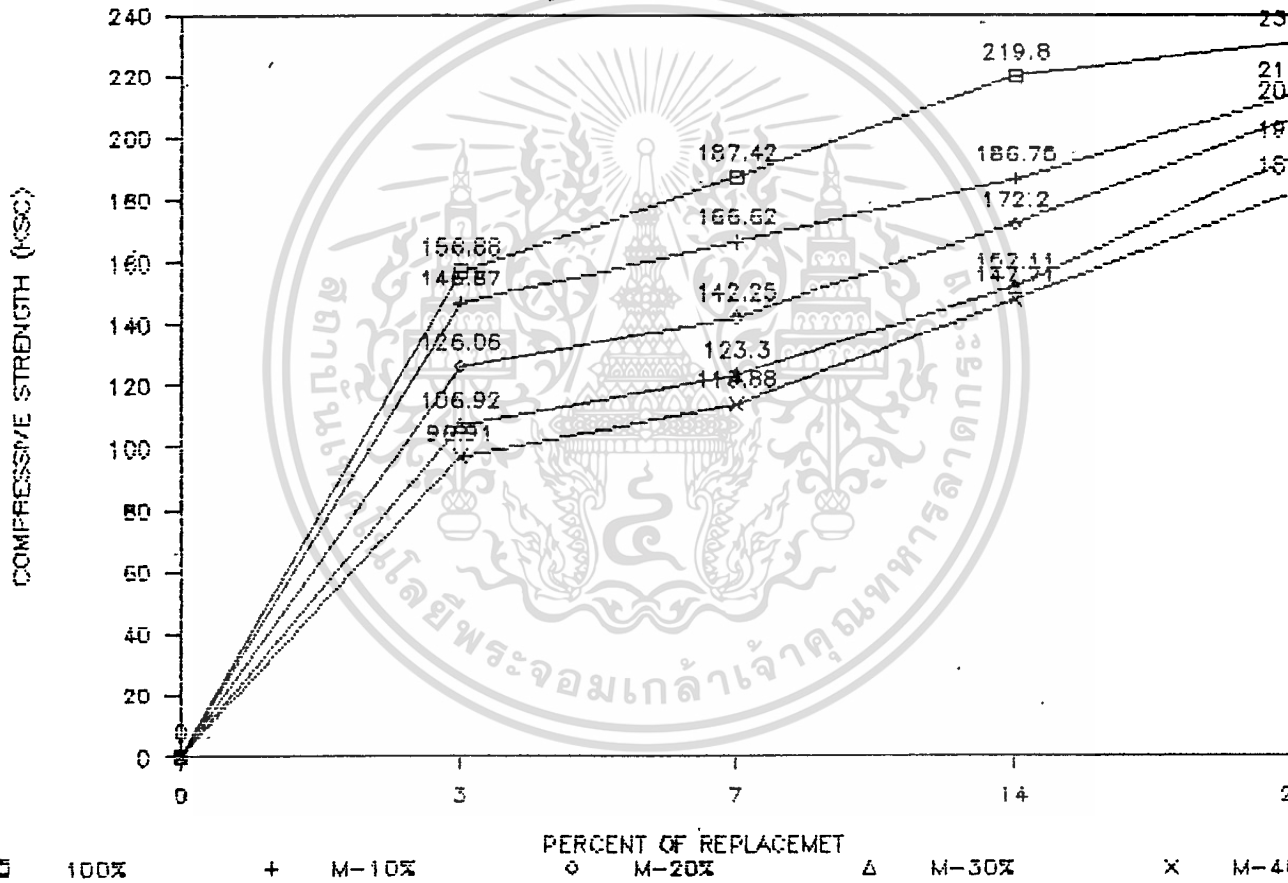
GPC. AND MAEMOH FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

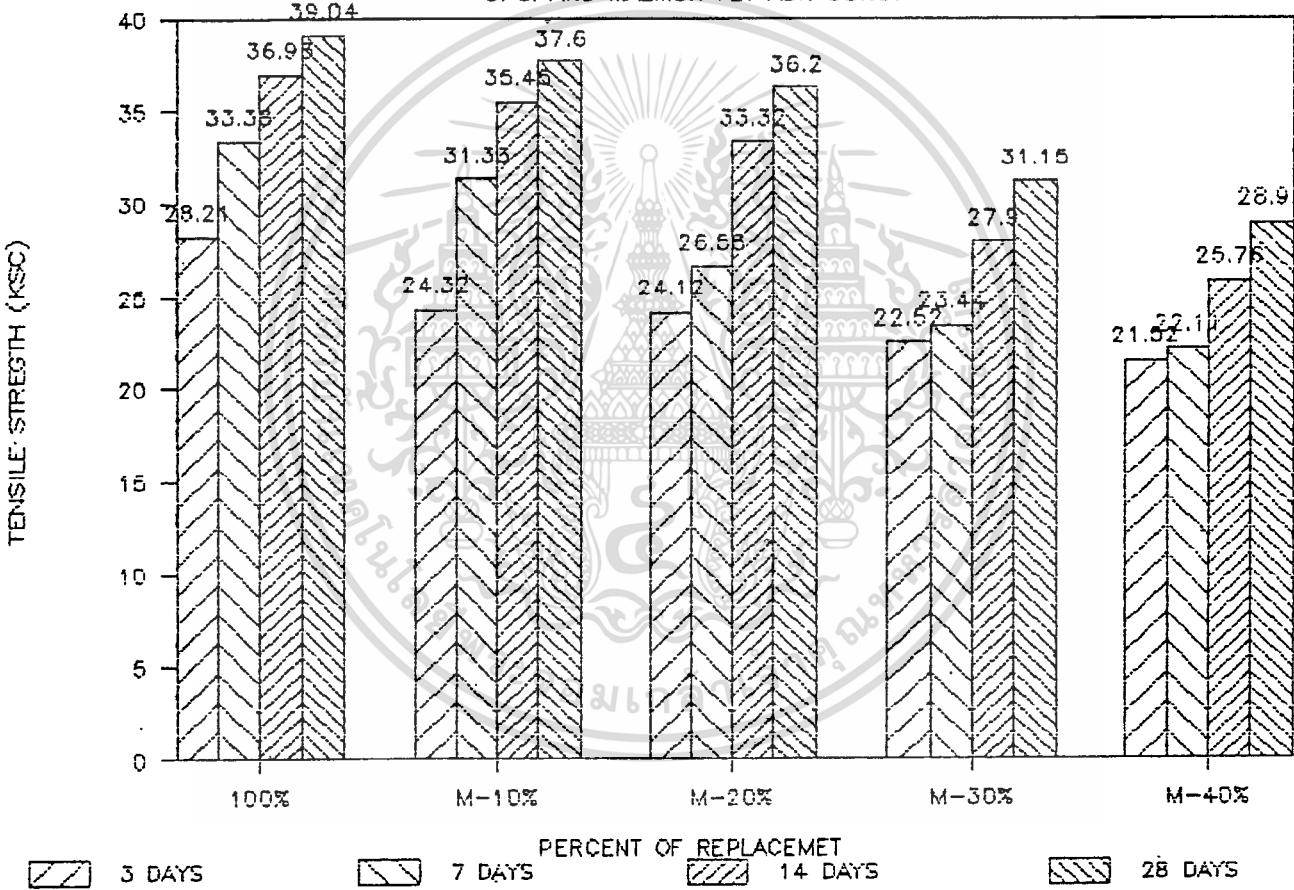
OPC AND MAEMOH FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF TENSILE STRENGTH

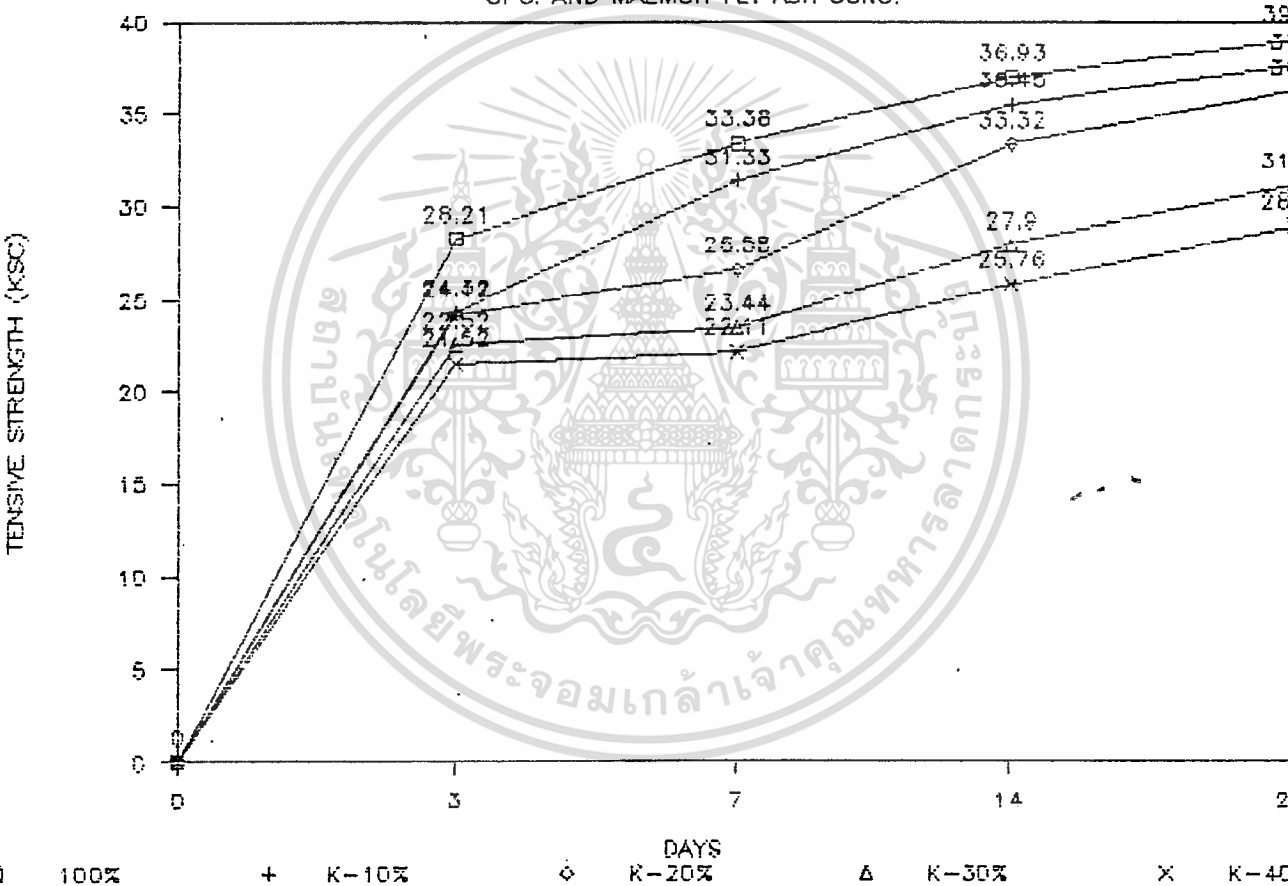
OPC. AND MAEMOH FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

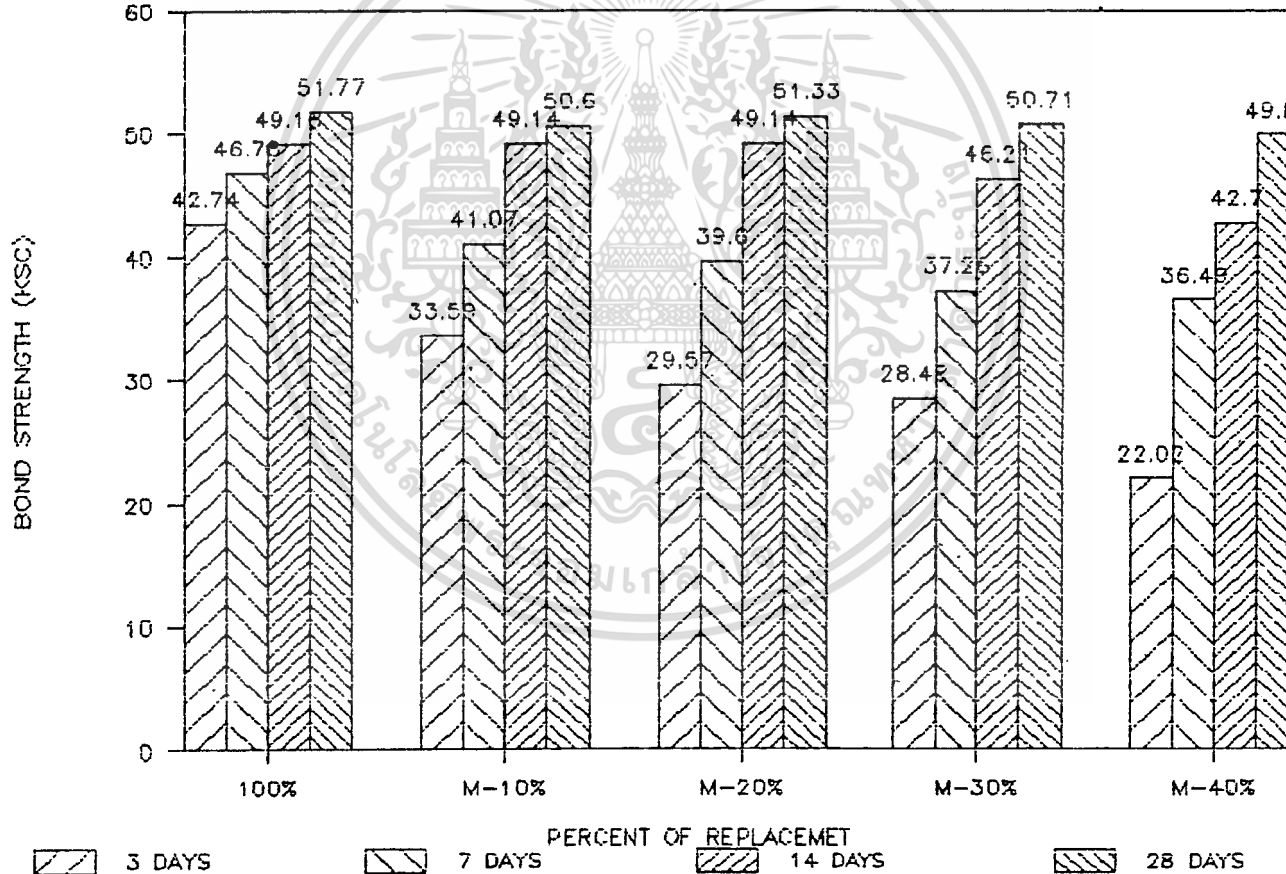
DEVELOPMENT OF TENSILE STRENGTH

OPC. AND MAEMOH FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

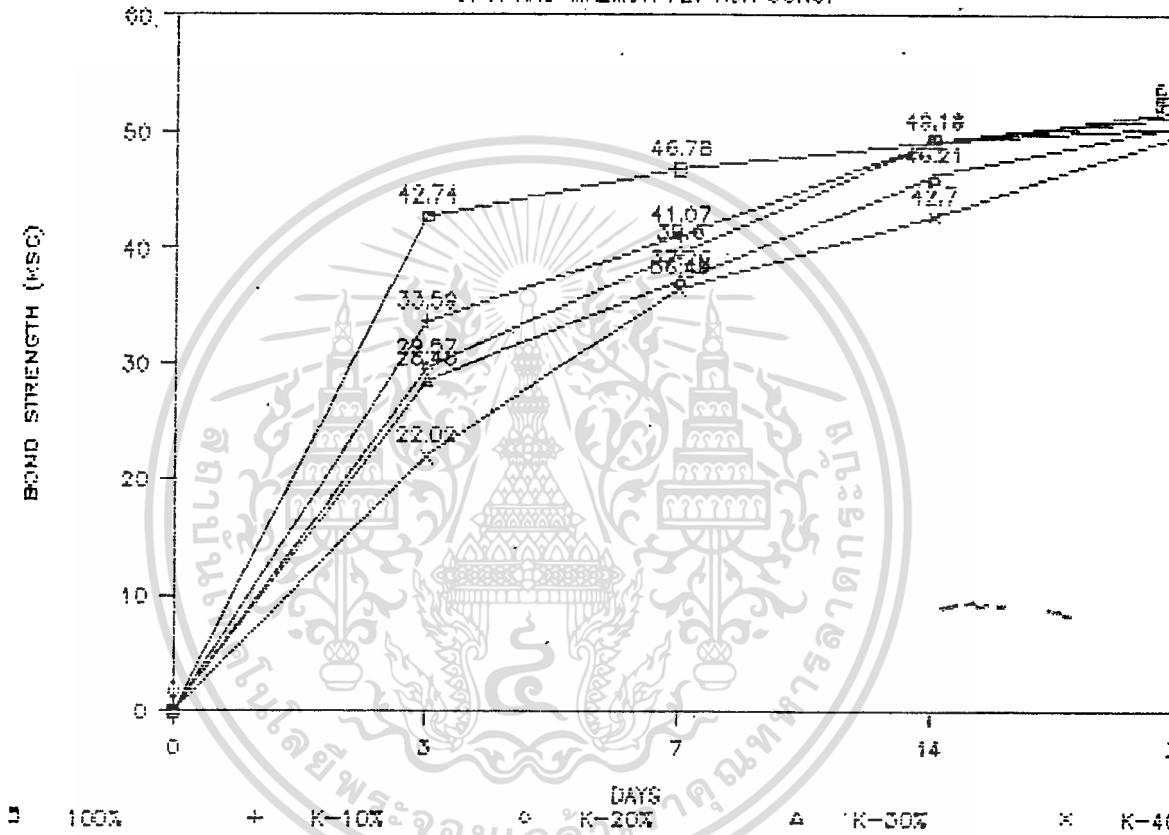
DEVELOPMENT OF BOND STRENGTH OPC. AND MAEMOH FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF BOND STRENGTH

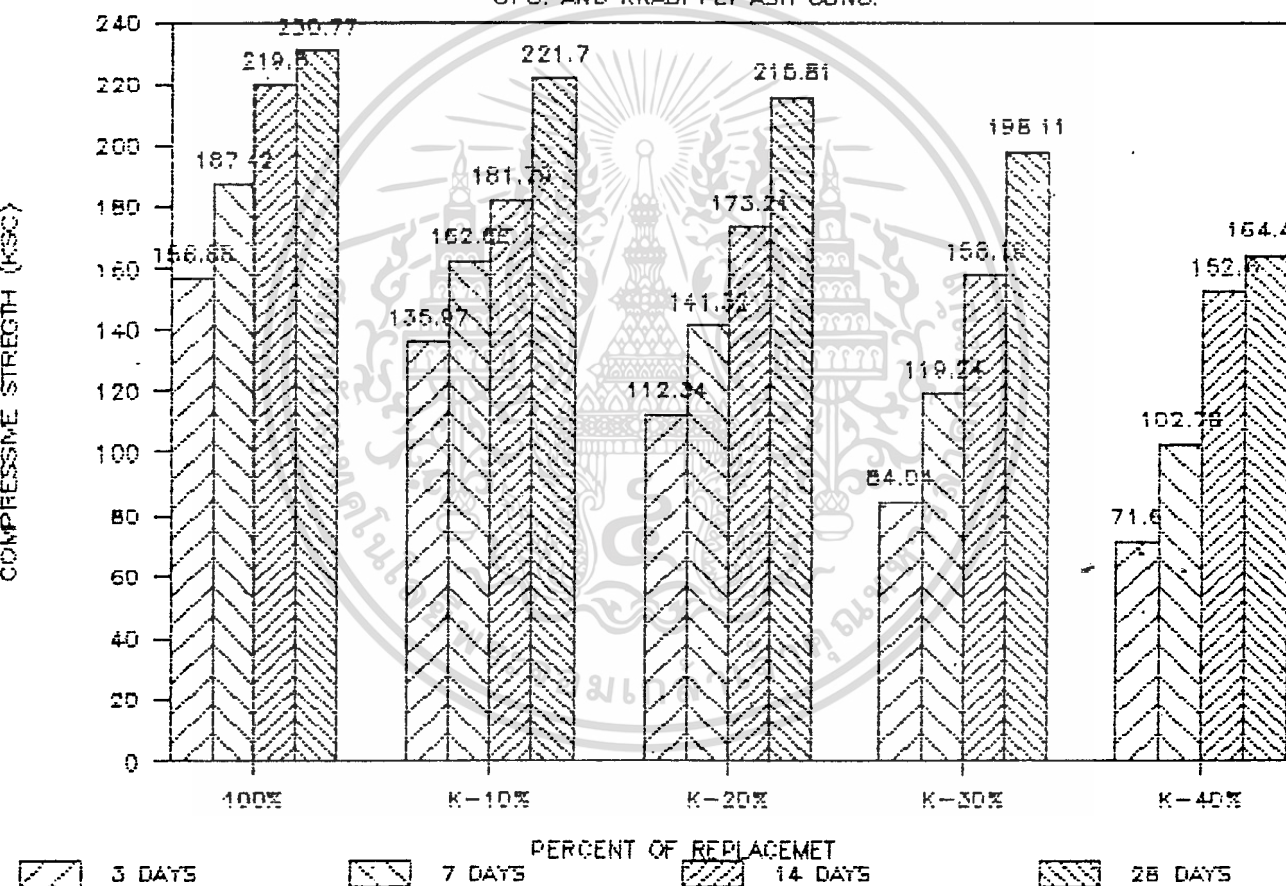
OPC. AND MAEMOH FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

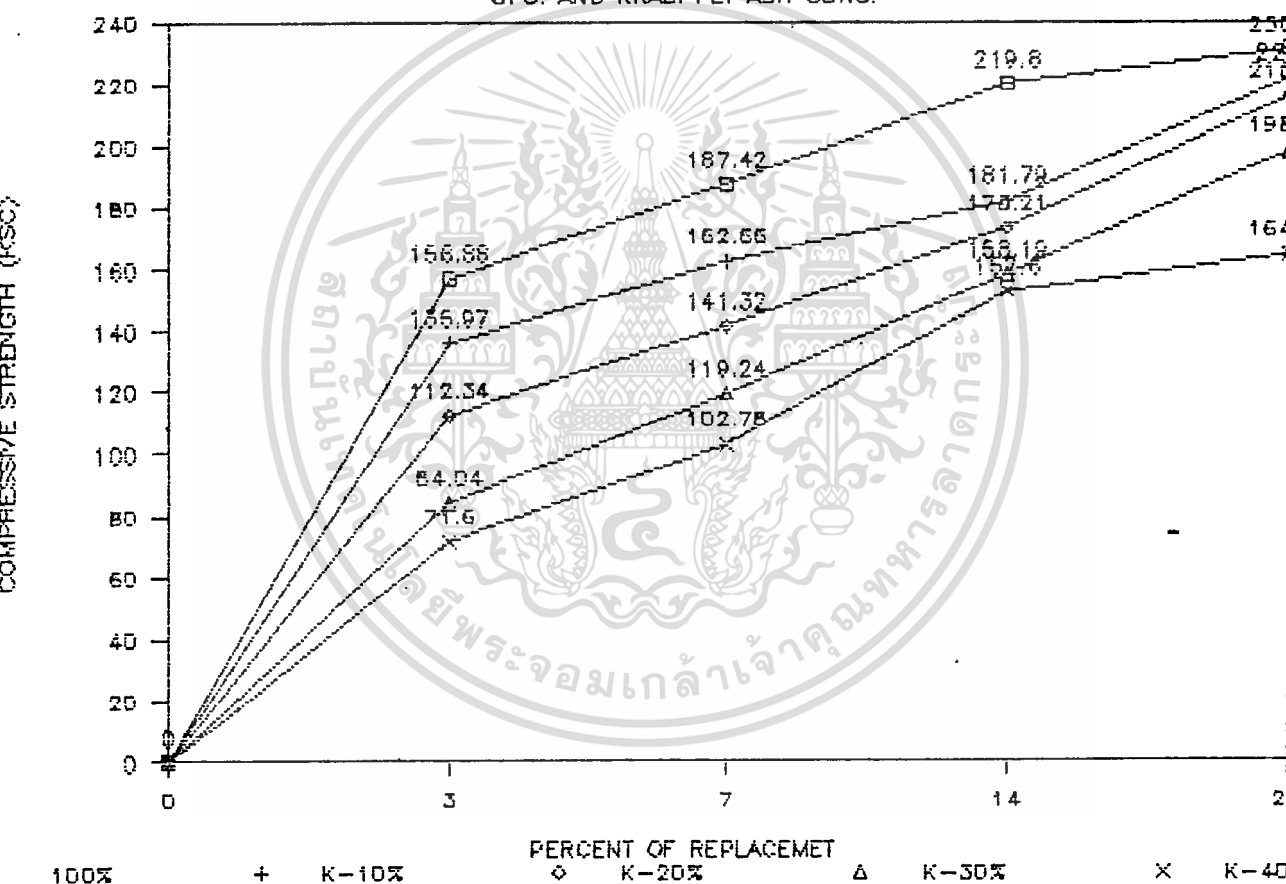
OPC. AND KRABI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

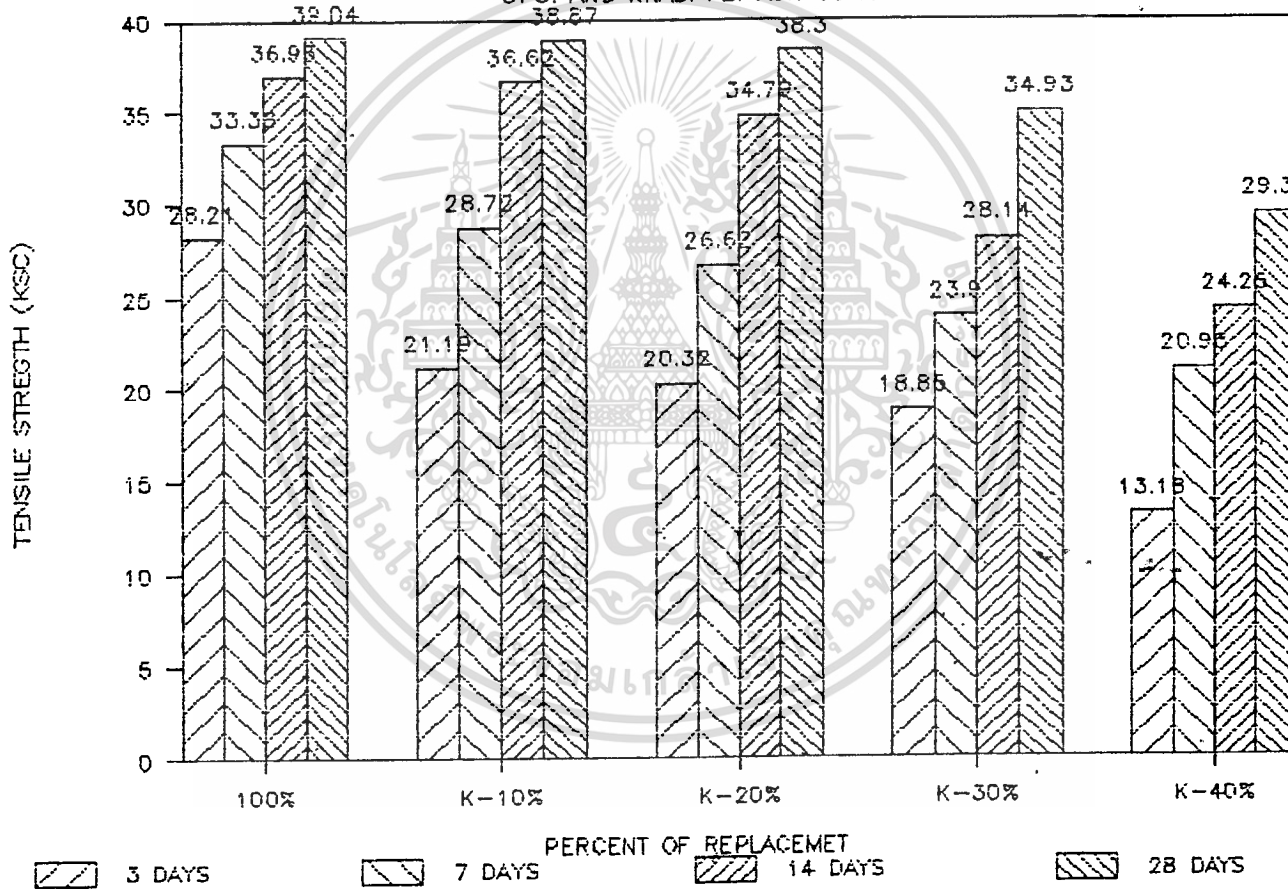
GPC. AND KRABI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF TENSILE STRENGTH

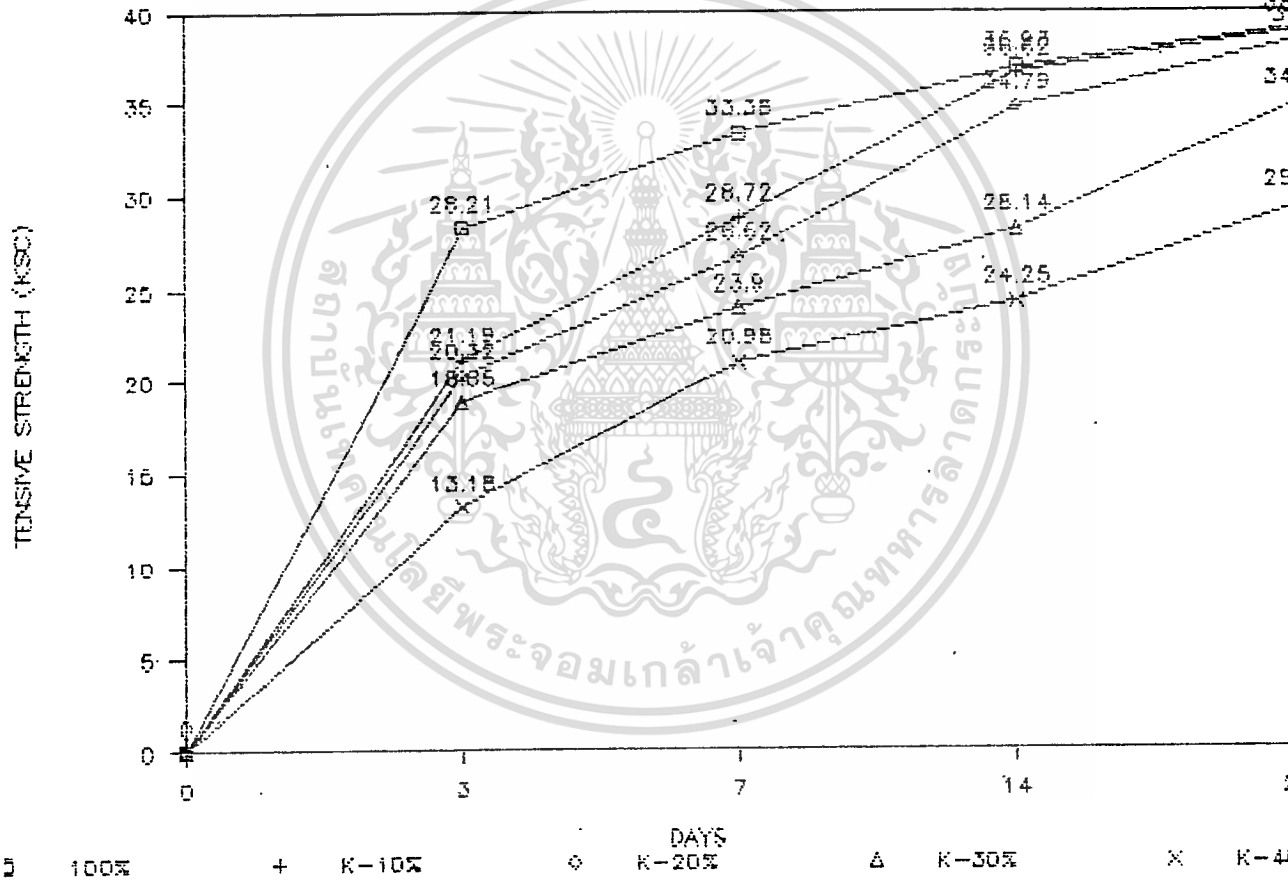
OPC. AND KRABI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF TENSILE STRENGTH

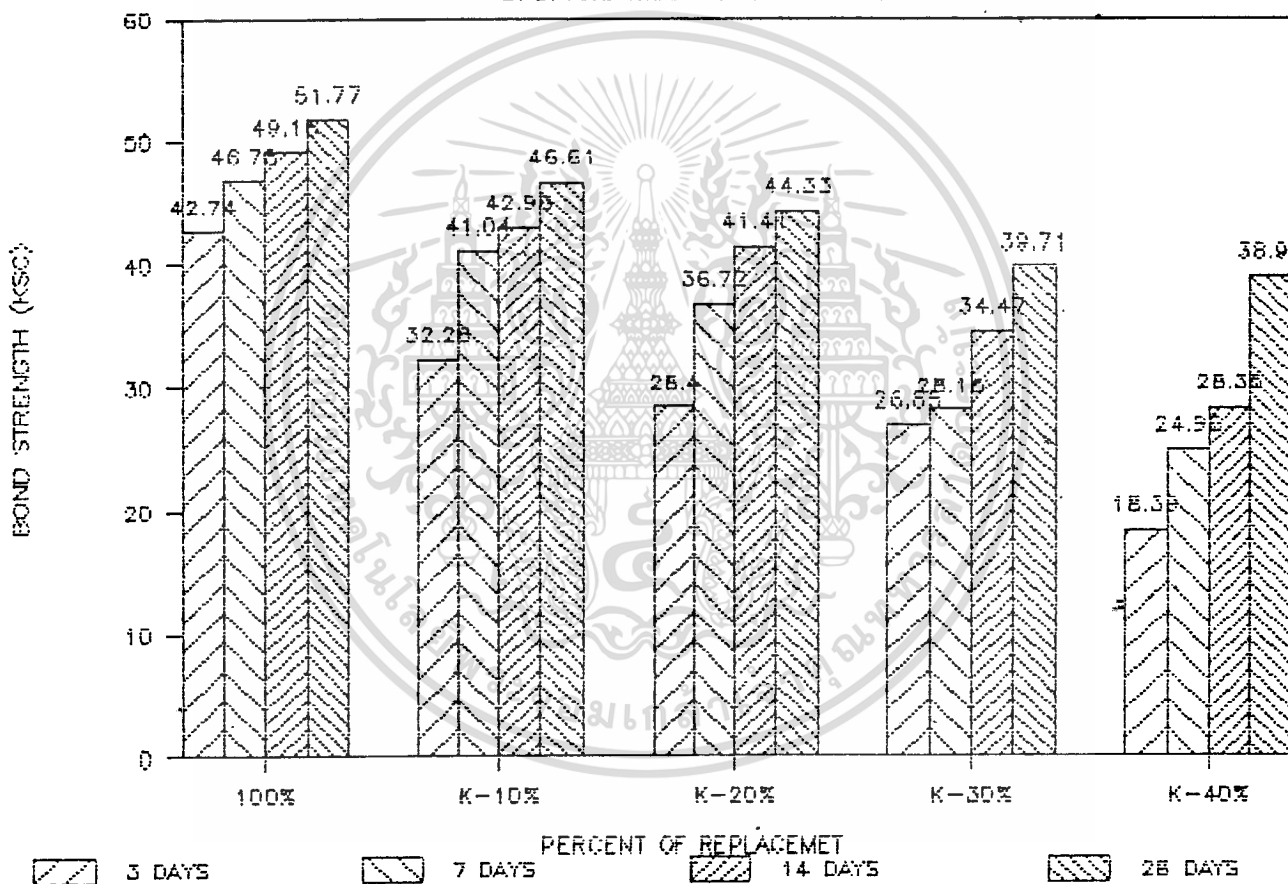
GPC. AND KRABI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF BOND STRENGTH

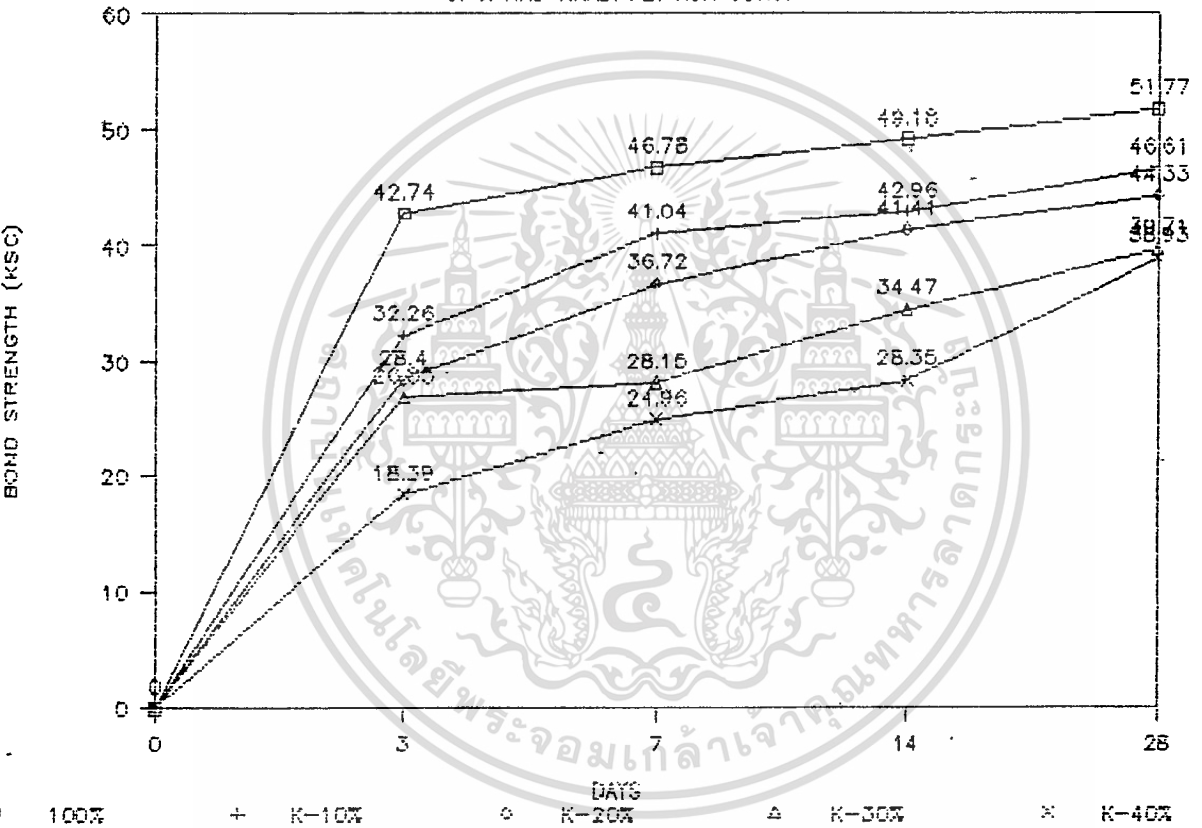
OPC. AND KRABI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF BOND STRENGTH

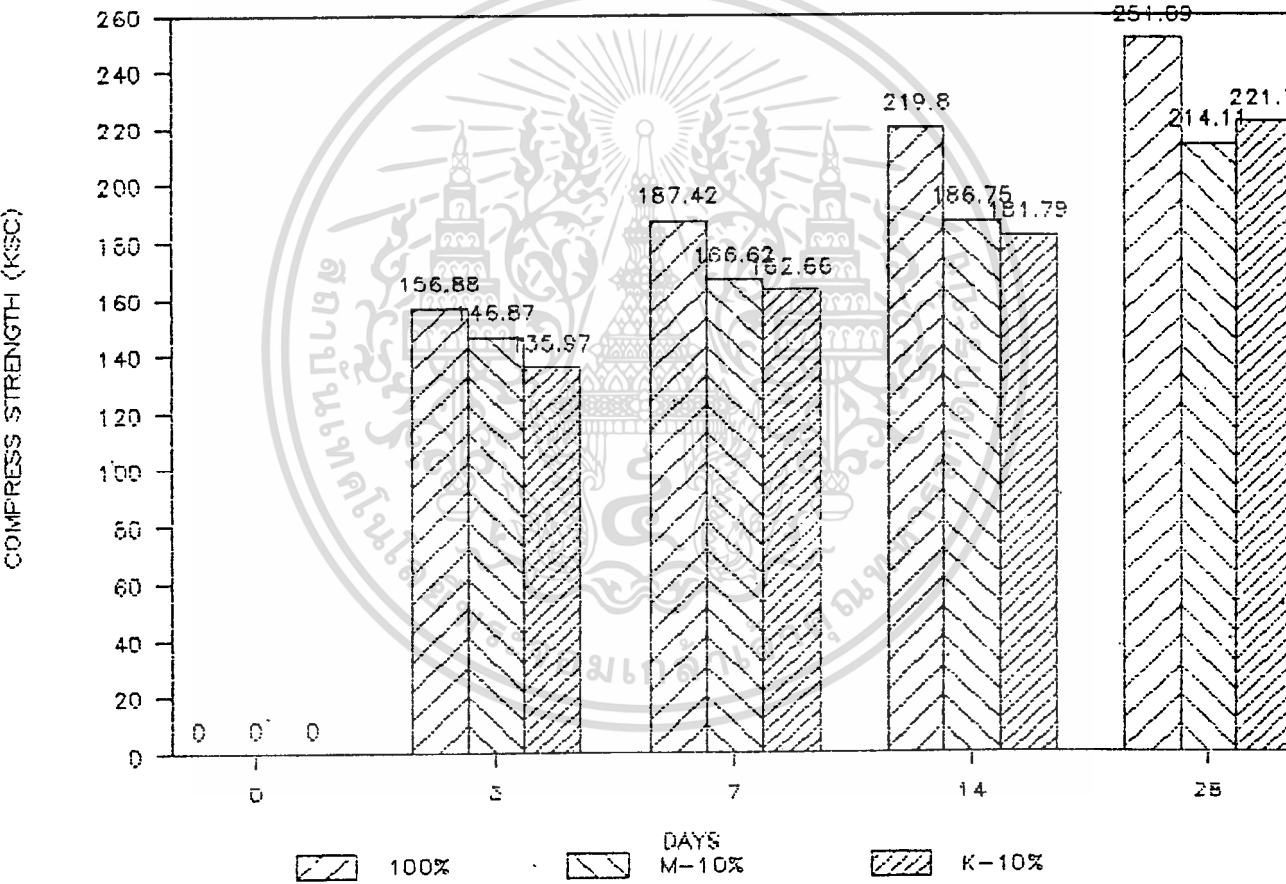
OPC. AND KRABI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

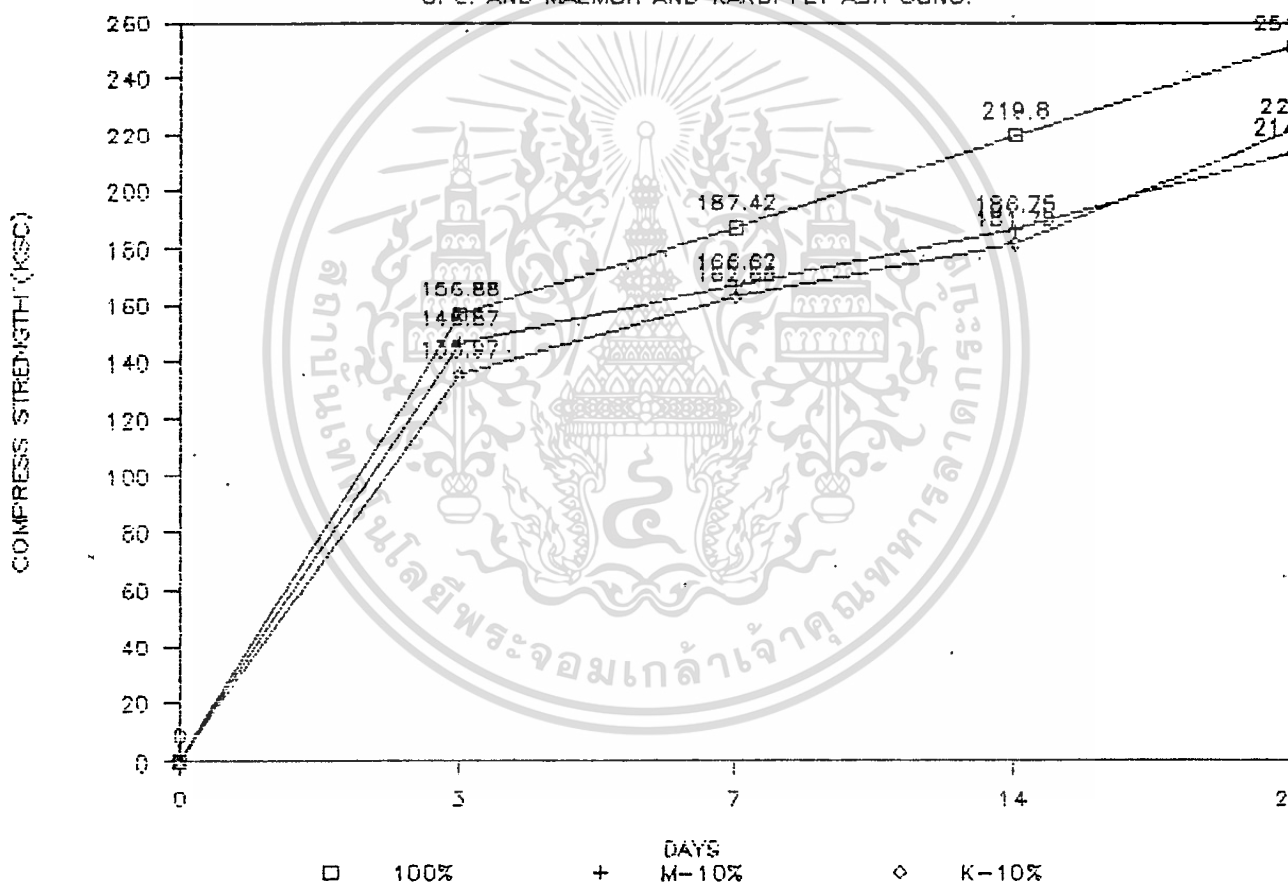
OPC. AND MAEMOH AND KARBI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

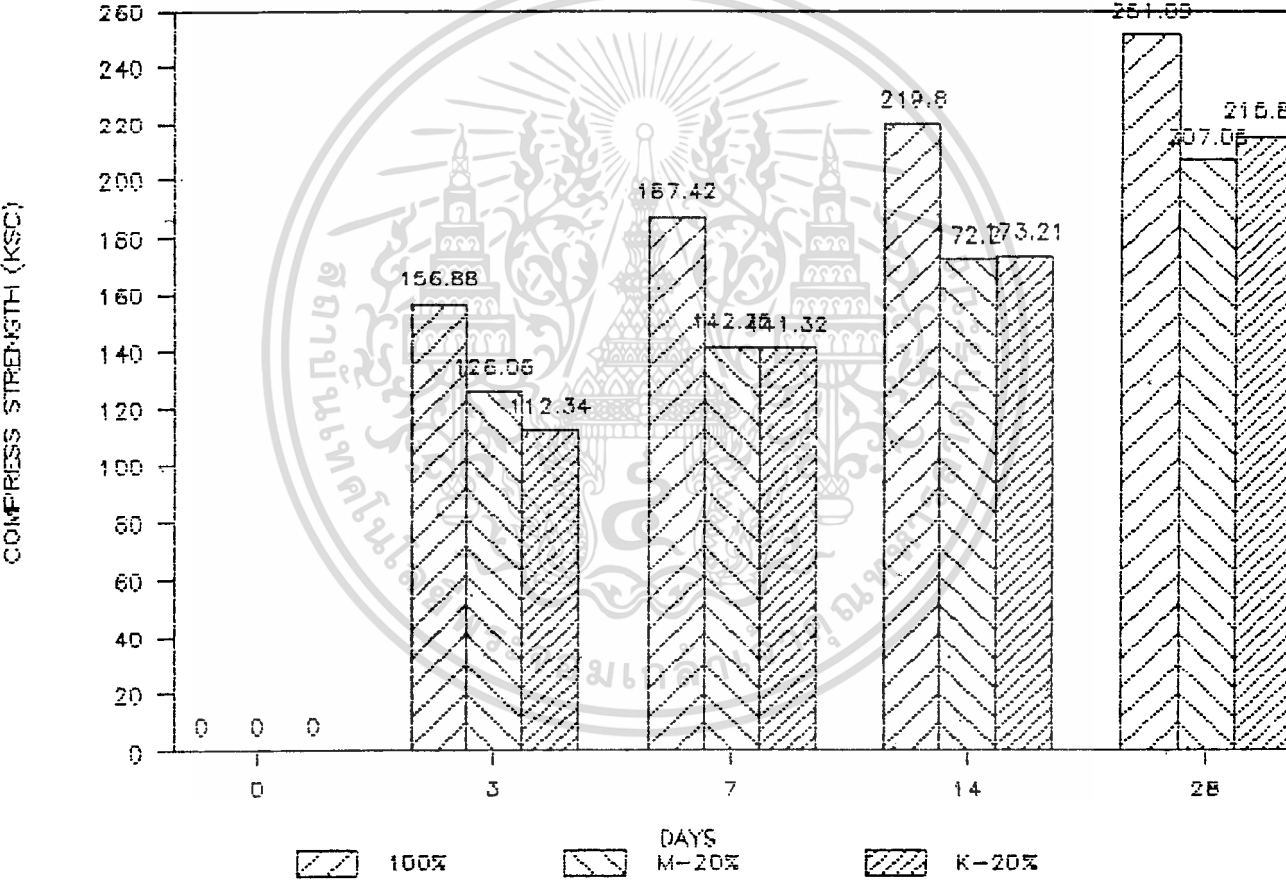
OFC. AND MAEMOH AND KARBI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

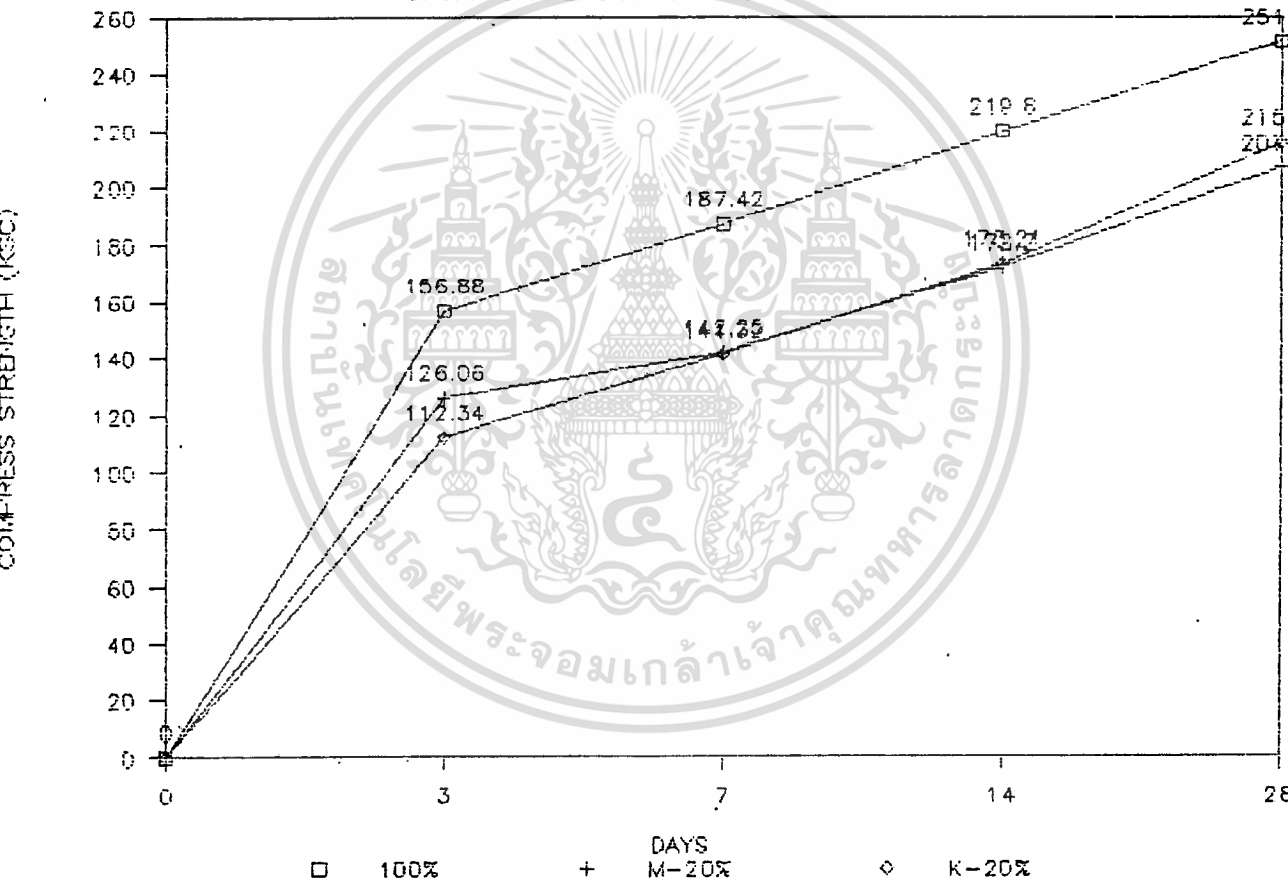
OPC. AND MAEMOH AND KARBI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

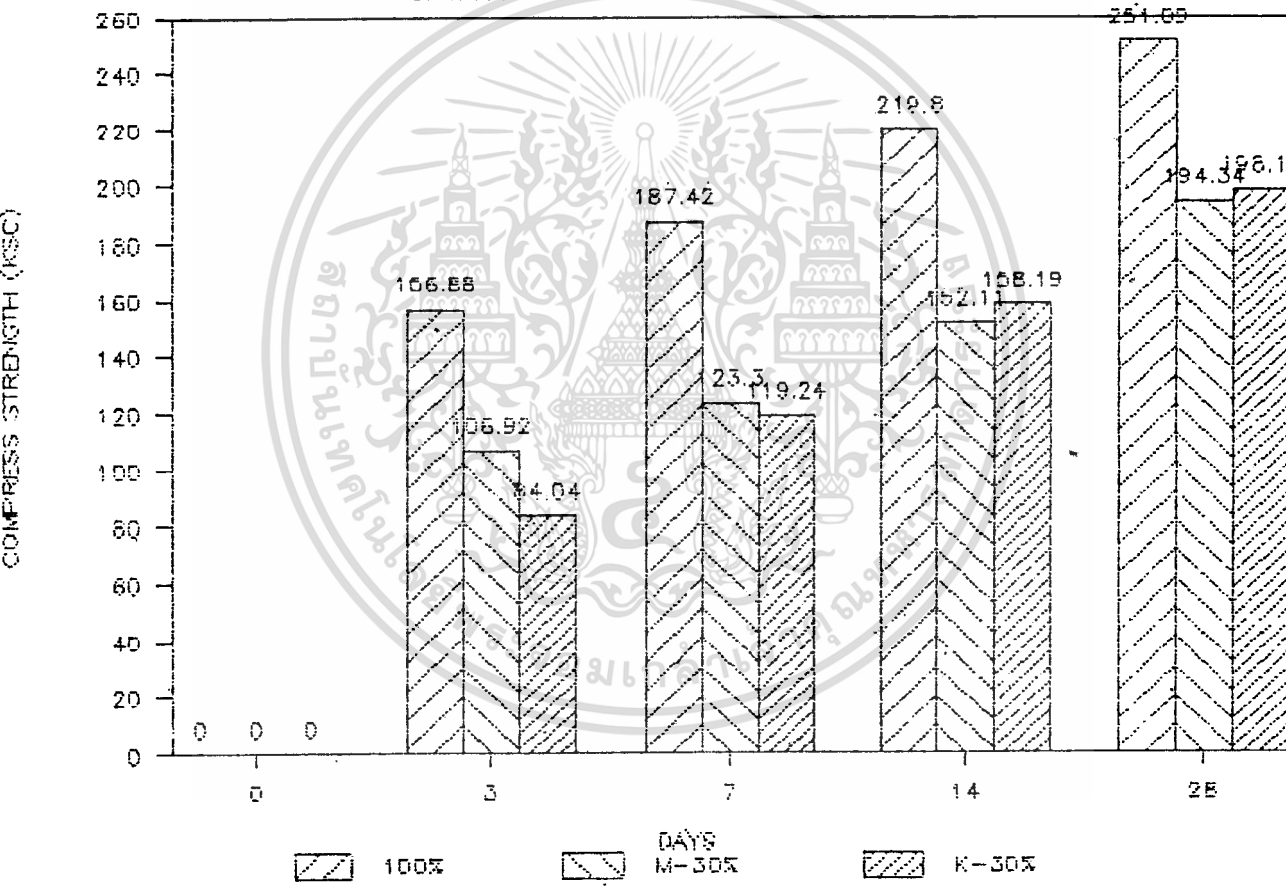
OPC. AND MAEMOH AND KARBI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

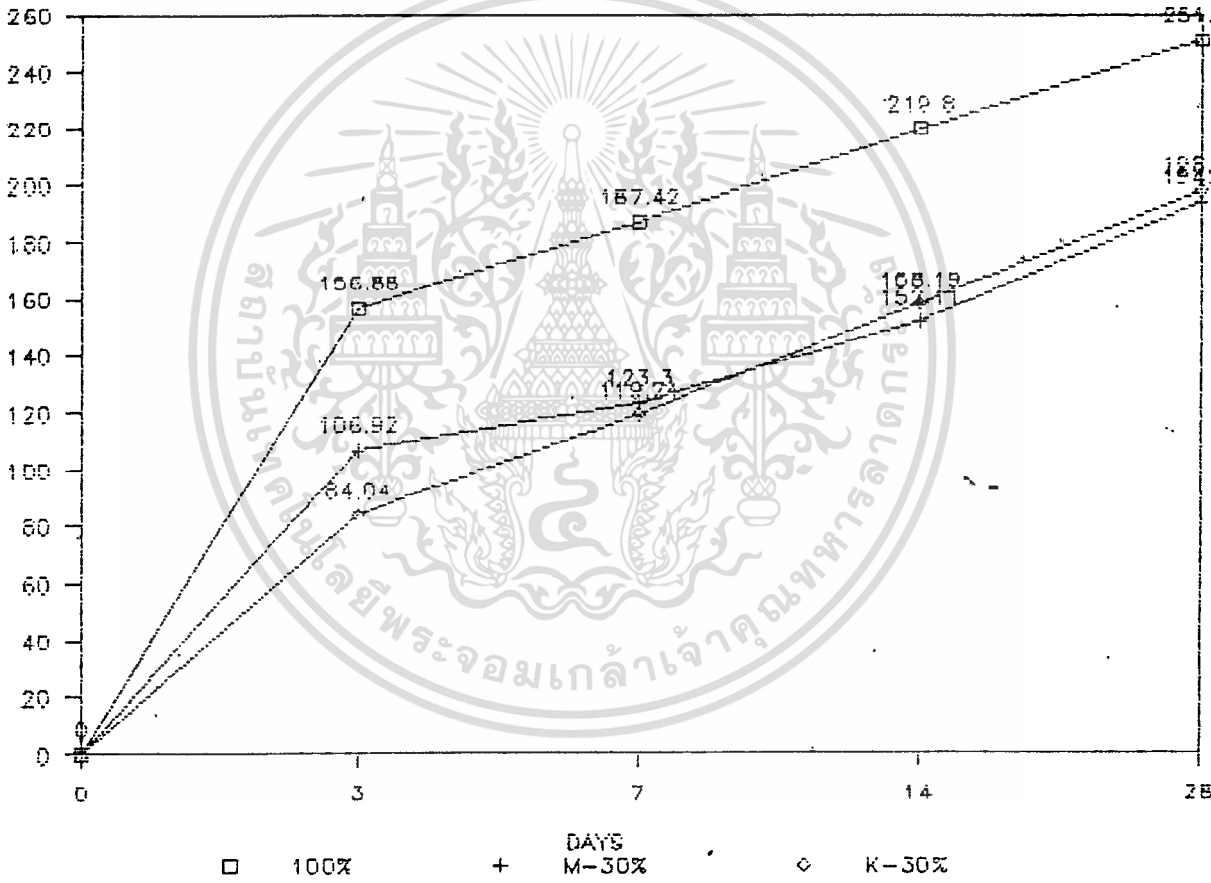
OPC. AND MAEMOH AND KARBI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

OPC. AND MAEMOH AND KARBI FLY ASH CONC.

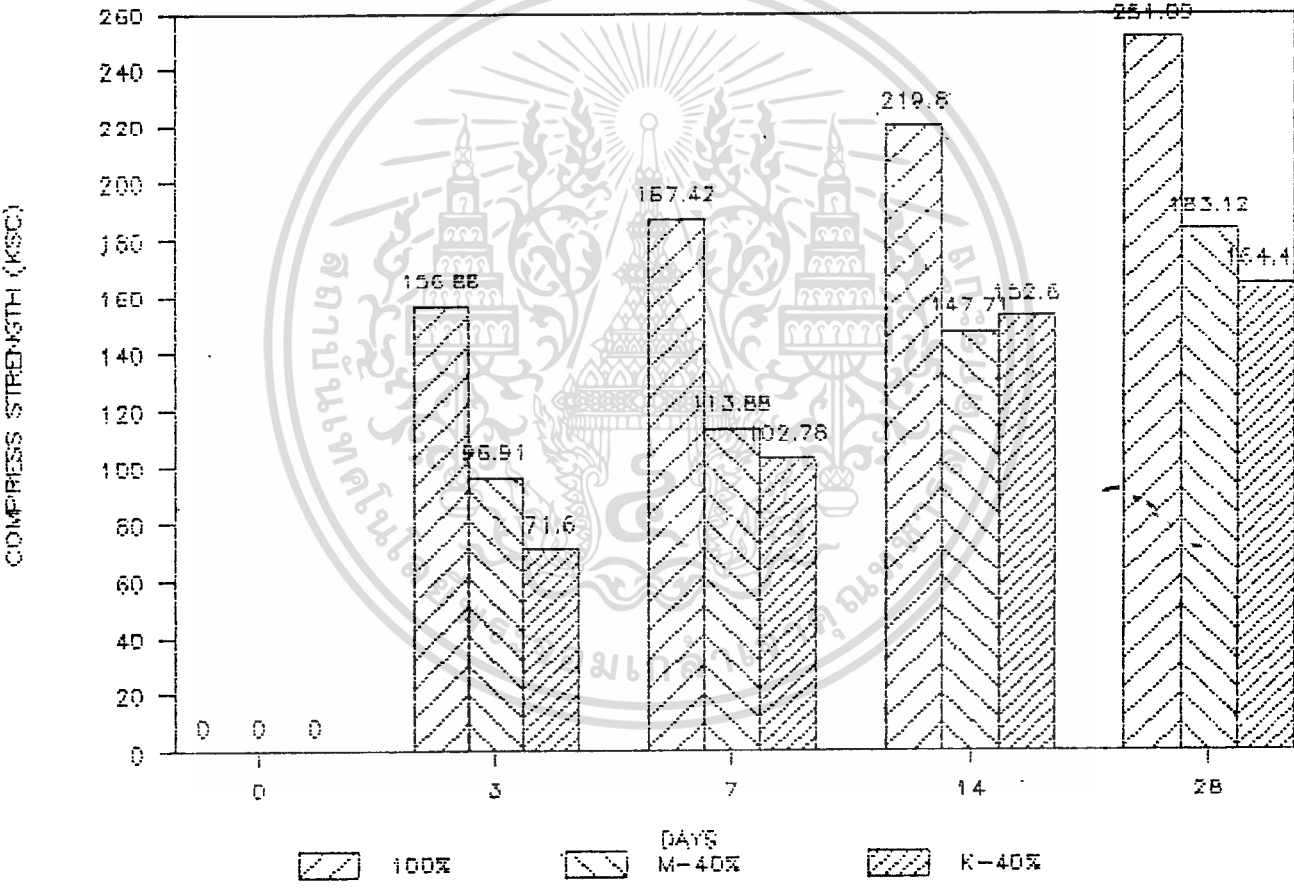


□ 100% + DAYS M-30% ◊ K-30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

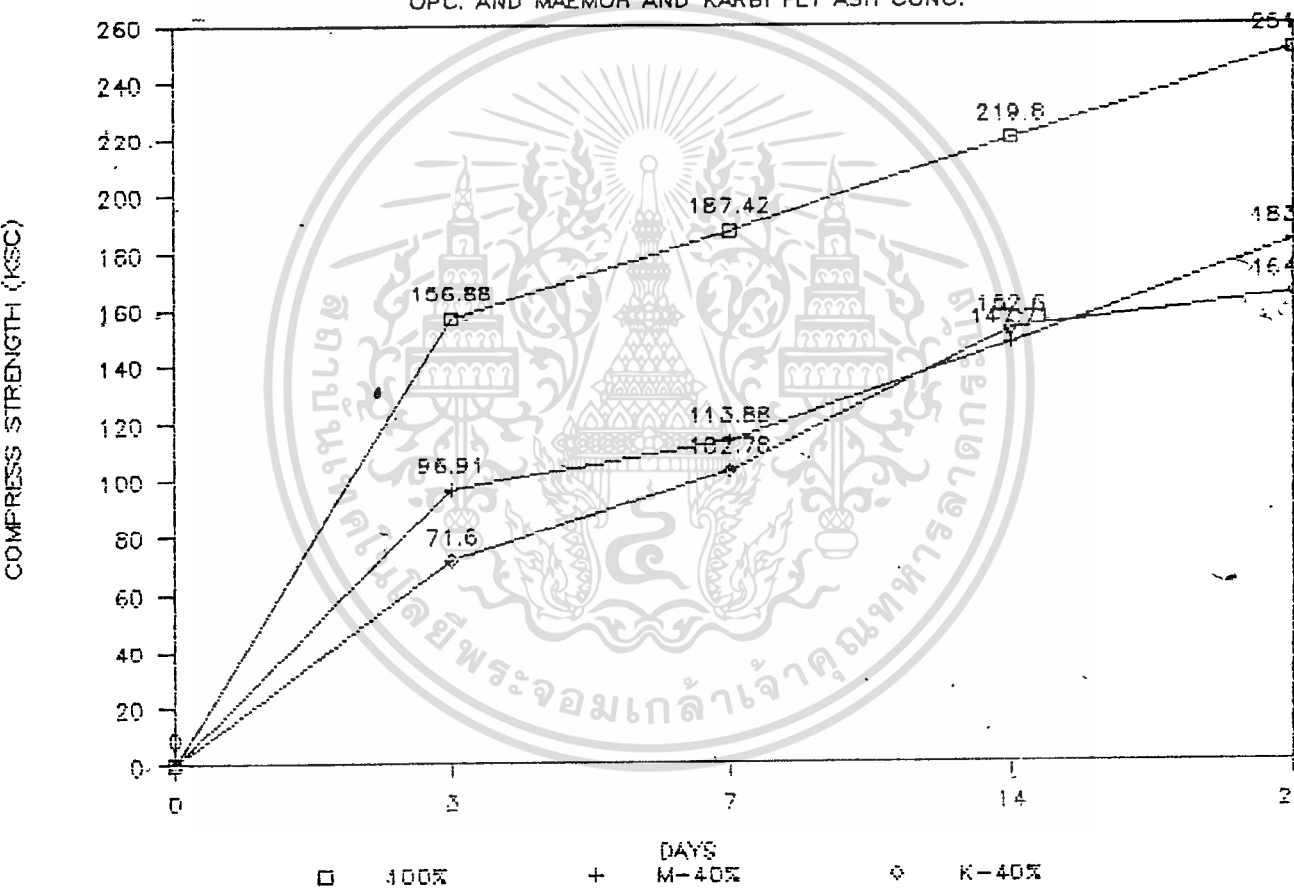
OPC. AND MAEMOH AND KARBI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH

OPC. AND MAEMOH AND KARBI FLY ASH CONC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวาง การ รับกำลังแรงอัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปูนซีเมนต์ในส่วนต่าง ๆ

TYPE OF CONCRETE	STRENGTH OF AGES			
	3 days	7 days	14 days	28 days
CONCRETE 100%	100 %	100 %	100 %	100 %
KRABI 10%	86.67 %	86.79 %	82.71 %	96.07 %
KRABI 20%	71.61 %	75.40 %	78.80 %	93.52 %
✓ KRABI 30%	53.57 %	63.62 %	71.97 %	85.85 %
/ KRABI 40%	45.64 %	54.84 %	69.43 %	71.26 %

TYPE OF CONCRETE	STRENGTH OF AGES			
	3 days	7 days	14 days	28 days
CONCRETE 100%	100 %	100 %	100 %	100 %
MAEMOH 10%	93.62 %	88.90 %	84.96 %	92.78 %
MAEMOH 20%	80.35 %	75.90 %	78.34 %	89.72 %
✓ MAEMOH 30%	68.15 %	65.79 %	69.20 %	84.21 %
/ MAEMOH 40%	61.77 %	60.76 %	67.20 %	79.35 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง การรับกำลังแรงดึงเป็นเปอร์เซ็นต์ของปูนซีเมนต์ที่ต่างกัน

TYPE OF CONCRETE	STRENGTH OF AGES			
	3 days	7 days	14 days	28 days
CONCRETE 100%	100 %	100 %	100 %	100 %
KRABI 10%	75.12 %	86.04 %	99.16 %	99.56 %
KRABI 20%	72.03 %	79.75 %	94.21 %	98.10 %
KRABI 30%	66.82 %	71.60 %	76.20 %	89.47 %
KRABI 40%	46.72 %	62.85 %	65.66 %	75.13 %

TYPE OF CONCRETE	STRENGTH OF AGES			
	3 days	7 days	14 days	28 days
CONCRETE 100%	100 %	100 %	100 %	100 %
MAEMOH 10%	86.21 %	93.86 %	95.99 %	96.31 %
MAEMOH 20%	85.50 %	79.63 %	90.22 %	92.73 %
MAEMOH 30%	79.83 %	70.22 %	75.55 %	79.79 %
MAEMOH 40%	76.29 %	66.24 %	69.75 %	74.10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง การรับกำลังแรงซีกเห็ดขาวเป็นเปอร์เซ็นต์ของปูนซีเมนต์ลึคส่วนค่าง ๆ

TYPE OF CONCRETE	STRENGTH OF AGES			
	3 days	7 days	14 days	28 days
CONCRETE 100%	100 %	100 %	100 %	100 %
KRABI 10%	75.48 %	87.73 %	87.35 %	90.03 %
KRABI 20%	66.45 %	78.50 %	84.20 %	85.63 %
KRABI 30%	62.82 %	60.18 %	70.09 %	76.70 %
KRABI 40%	43.03 %	53.36 %	57.65 %	75.20 %

TYPE OF CONCRETE	STRENGTH OF AGES			
	3 days	7 days	14 days	28 days
CONCRETE 100%	100 %	100 %	100 %	100 %
MAEMOH 10%	78.59 %	87.79 %	99.92 %	97.74 %
MAEMOH 20%	69.19 %	84.65 %	99.92 %	99.15 %
MAEMOH 30%	66.64 %	79.65 %	93.96 %	97.95 %
MAEMOH 40%	51.52 %	78.00 %	86.82 %	96.33 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปเปรียบเทียบค่าการยุบตัว (SLUMP)

PERCENT	TYPE OF FLY ASH	SLUMP (CM.)
คอนกรีต 100%	-	9.5
10%	กระบี่	10
	แม่เมาะ	10.5
20%	กระบี่	11
	แม่เมาะ	12
30%	กระบี่	12.5
	แม่เมาะ	14
40%	กระบี่	13.5
	แม่เมาะ	15.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลผลผลการทดลองทั้งหมด เราสามารถที่จะนำมาผลิตกราฟ ได้ตั้ง กราฟข้างที่ไว้ ซึ่งจากกราฟเราสามารถจะนำมาสรุปได้ในหลายกรณีดังนี้

1. สรุปในด้านของค่าการยุบตัว ค่าการยุบตัวของคอนกรีตจากตารางสรุปค่า SLUMP เราจะสังเกตเห็นได้ว่าคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ 100% จะมีค่าการยุบตัว 9.5 cm. แต่คอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH ลงไปจะทำให้มีค่าการยุบตัวสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมี เปอร์เซนต์ของ FLY ASH มากก็ยิ่งทำให้มีค่าการยุบตัวสูงจึงทำให้คอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH จะมีความสามารถในการเทคอนกรีตง่าย และถ้าเรามีการเปรียบเทียบกันระหว่าง คอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH จากแม่เมาะ หรือจากกระบี่ลงไปจะเห็นได้ว่า คอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH จากแม่เมาะจะให้ค่าการยุบตัวที่สูงกว่า กระบี่ ทำให้สรุปได้ว่า คอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH จากแม่เมาะจะมีความสามารถในการทำงาน สูงกว่าคอนกรีตที่ผสม FLY ASH จากกระบี่

2. สรุปในด้านของกำลังรับแรงอัด จากการทดลองเราจะเห็นว่า คอนกรีตปกติจะมีค่ากำลังการรับแรงอัดได้สูงกว่าคอนกรีตที่ผสม FLY ASH และจะสังเกตเห็นว่าเมื่อมีการผสมโดยการเพิ่มสัดส่วนของ FLY ASH ลงไปมาก จะยิ่งทำให้กำลังรับแรงอัดลดต่ำลง และถ้าเราพิจารณาจากกราฟเส้นระหว่างแกนแนวตั้ง เป็นกำลังรับแรงอัด และแนวนอนเป็นเวลา (วัน) จะเห็นว่ากราฟเส้นของคอนกรีตธรรมดาในช่วง 3-7 วัน แรกกราฟจะมีความชันมาก ซึ่งแสดงว่าในช่วงนี้กำลังการรับแรงอัดจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและ หลังจาก 14 วันแล้วกราฟจะมีความชันน้อยลงซึ่งแสดงว่ากำลังการรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นช้า และถ้าเราเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ผสม FLY ASH จะเห็นว่าในช่วงแรกกราฟจะมีความชันน้อย และในเวลาต่อมากกราฟจะมีความชันขึ้นอีกซึ่งสรุปได้ว่า ในช่วงแรกกำลังรับแรงอัดจะขึ้นในสัดส่วนที่ช้าและในเวลาต่อมาก็จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งติดกับคอนกรีตปกติจะมีการเพิ่มกำลังเร็วในช่วง 7 วันแรกและหลังจากนั้นการเพิ่มกำลังจะน้อยและถ้าเรามีการเปรียบเทียบกันระหว่างคอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH จากแม่เมาะ กับคอนกรีตที่ผสม FLY ASH จากกระบี่จะเห็นว่าในสัดส่วน FLY ASH 10%-30% ในช่วง 14 วันแรกกำลังรับแรงอัดของแม่เมาะจะสูงกว่าของกระบี่ และหลัง 14 วันไป กำลังรับ

แรงยึดของกระเบื้องจะสูงขึ้นและที่ 28 วันกำลังรับแรงยึดของคอนกรีตที่ผสม FLY ASH จากกระเบื้องจะขึ้นสูงกว่า FLY ASH จากแม่เมาะและในสัดส่วน FLY ASH 40% ในช่วง 14 วันแรกกำลังรับแรงยึดของคอนกรีตที่ผสม FLY ASH จากแม่เมาะจะขึ้นสูงกว่าจากกระเบื้อง และเมื่อที่ 14 วันคอนกรีตที่ผสม FLY ASH จากกระเบื้องจะสูงกว่าจากผสมด้วย FLY ASH จากแม่เมาะและเมื่อที่ 28 วันคอนกรีตผสม FLY ASH จากแม่เมาะก็จะขึ้นสูงกว่ากระเบื้องอีก

3. สรุปในด้านของกำลังรับแรงดึงและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก จากการทดลองในด้านกำลังรับแรงดึงลักษณะของกราฟจะคล้ายกับกำลังรับแรงยึดคือ สำหรับคอนกรีตปกติในช่วง 14 วันแรกกราฟจะขึ้นขึ้นและหลังจาก 14 วัน ถึง 28 วันกำลังรับแรงดึงจะเพิ่มในอัตราที่น้อยกว่าในช่วงแรก และสำหรับคอนกรีตที่ผสม FLY ASH ลงไปในช่วง 14 วันแรกกำลังรับแรงดึงจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากกว่าในช่วงแรกส่วนแรงยึดเหนี่ยวจากกราฟจะเห็นได้ว่าระหว่างคอนกรีตปกติกับคอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH จะมีกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวที่ไม่ต่างกันนักซึ่งแสดงว่า FLY ASH จะมีส่วนที่ไม่ลดแรงยึดเหนี่ยวน้อยมาก และลักษณะกราฟของแรงยึดเหนี่ยวในช่วงแรกจะขึ้นเร็วและช่วงหลังจะขึ้นช้าซึ่งผิดกับกำลังรับแรงยึด และแรงดึง

จากการทดลองและวิเคราะห์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของ FLY ASH จากแม่เมาะ จะอยู่ที่ 10% - 20% ซึ่งในช่วงนี้กำลังรับแรงยึดจะใกล้เคียงกับที่เราคำนวณ MIX DESIGN และกำลังรับแรงดึง และยึดเหนี่ยวก็เพียงพอกับค่าที่ยอมรับ ส่วนสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับ FLY ASH จากกระเบื้องอยู่ที่ 10% และคอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH จะมีความสามารถในการทำงานสูงและง่ายในการเทคอนกรีตเนื่องจากมีค่า SLUMP สูงและการเพิ่มกำลังรับแรงยึดและแรงดึงในช่วงแรกจะช้าและในช่วงหลังจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งตรงกับทางทฤษฎีที่ หลัง 28 วันไปแล้วกำลังของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอร์ตโซลันจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึง 60 วัน และในด้านของราคาจะสรุปได้ดังนี้

ราคาเปรียบเทียบของคอนกรีตปกติกับคอนกรีตที่มีการผสม FLY ASH

ราคาของ ปูนซีเมนต์	= 2	บาท/กก.
ราคาค่าขนส่งจากกระบี่	= 0.5	บาท/กก.
ราคาค่าขนส่งจากแม่เมาะ	= 0.4	บาท/กก.

- สำหรับ คอนกรีต 100%

ใช้ปูนซีเมนต์	= 256	kg/m ³	
	= 512		bahit/m ³

- สำหรับคอนกรีตที่ผสม FLY ASH จากกระบี่ 20%

ใช้ปูนซีเมนต์	= 205	kg/m ³	= 410	bahit/m ³
ค่าขนส่ง	= 51	kg/m ³	= 26	bahit/m ³
			= 436	bahit/m ³
ลดลงจากคอนกรีตปกติ			= 76	bahit/m ³
			= 15 %	

- สำหรับคอนกรีตที่ผสม FLY ASH จากแม่เมาะ 10%

ใช้ปูนซีเมนต์	= 230	kg/m ³	= 460.00	bahit/m ³
ค่าขนส่ง	= 26	kg/m ³	= 10.40	bahit/m ³
			= 470.40	bahit/m ³
ลดลงจากคอนกรีตปกติ			= 41.60	bahit/m ³
			= 8 %	

จากการวิเคราะห์ผลทั้งหมดจะเห็นว่าเราสามารถจะนำ FLY ASH เข้ามาผสมเพื่อลดปูนซีเมนต์ในคอนกรีตลงได้สำหรับงานที่ต้องมีการเทคอนกรีตหลา และงานที่ไม่ต้องการรับกำลังเร็ว และจะเป็นการประหยัดราคาค่าก่อสร้างลงได้ด้วย แต่จากการทดลองเราจะมี การทดลองที่ 28 วันเท่านั้นดังนั้นหากมีผู้สนใจในด้านนี้ ควรจะมีการทำการทดลอง ถึง 60 วันเพื่อศึกษาว่าเมื่อคอนกรีตที่ผสม FLY ASH มีอายุถึงแล้วจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มีการรับกำลังอย่างไรบ้างและจากการทดลองนี้ก็ยังมียอดผิดพลาดอยู่ เช่น ในการทดลองไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

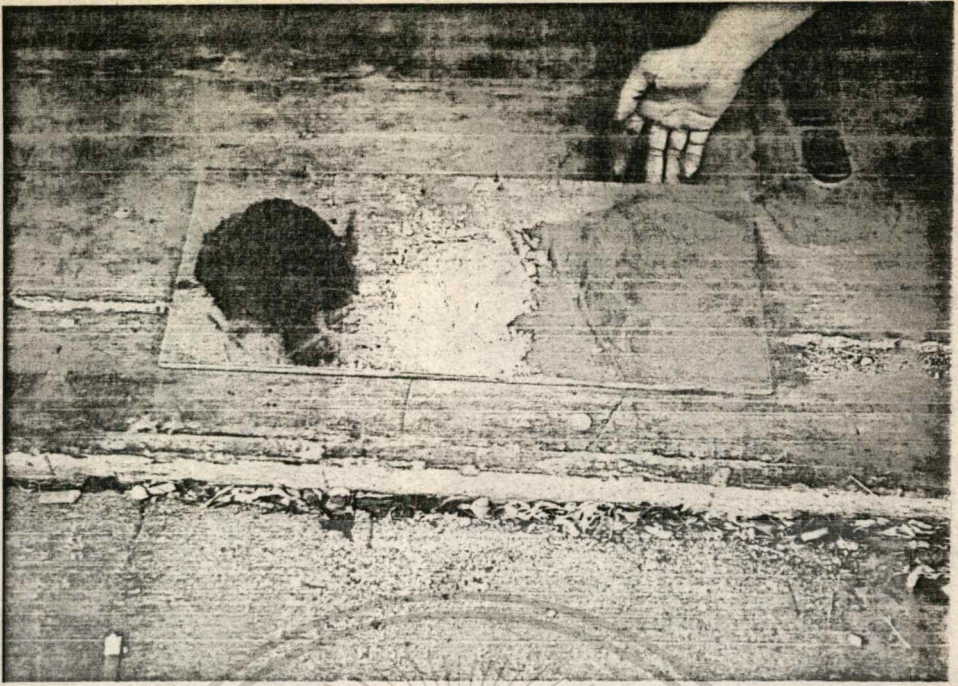
เรื่องแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กจะเห็นว่าภายหลังการทดลองแท่งคอนกรีตจะมีรอยร้าวที่หัวเนื่องจากการดึงเหล็กไม่ได้ในแนวตั้ง และทำย่นีหากวางงานนี้ขึ้นข้อ
 ผิดพลาดประการใดก็ขออภัย ณ ที่นี้ด้วย



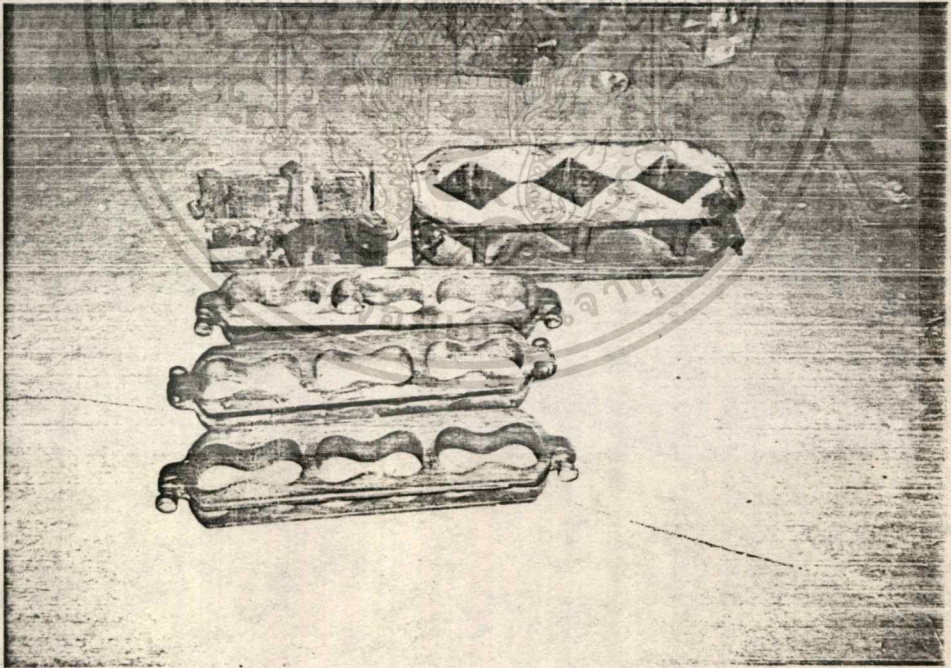
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

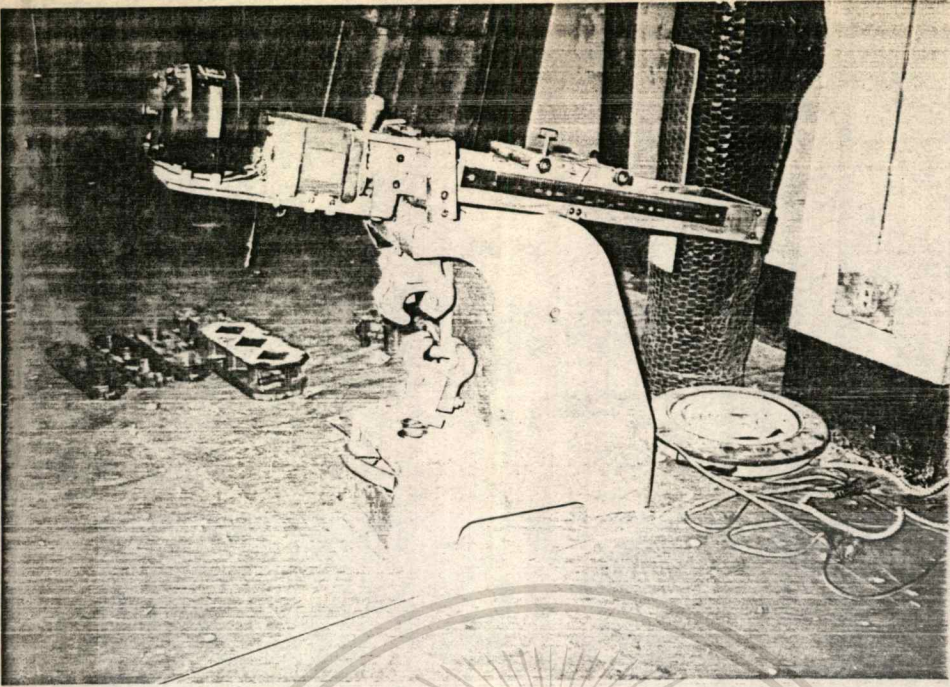


ภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง จากกระบี่ (ซ้าย), ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (กลาง) และ จากแม่เมาะ (ขวา)

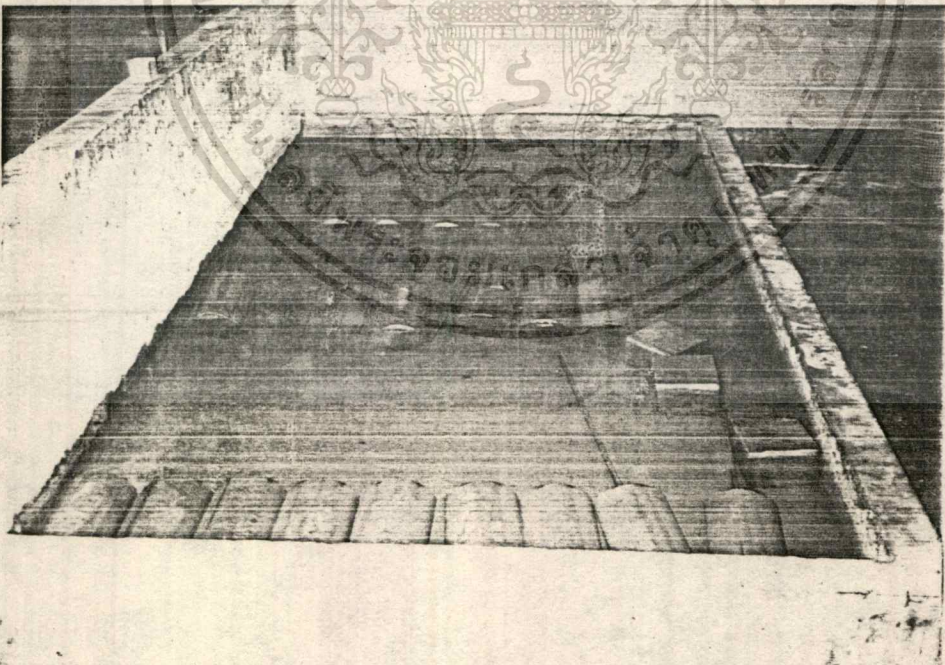


แบบหล่อ สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด และแรงดึง ของซีเมนต์มอร์ตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้า



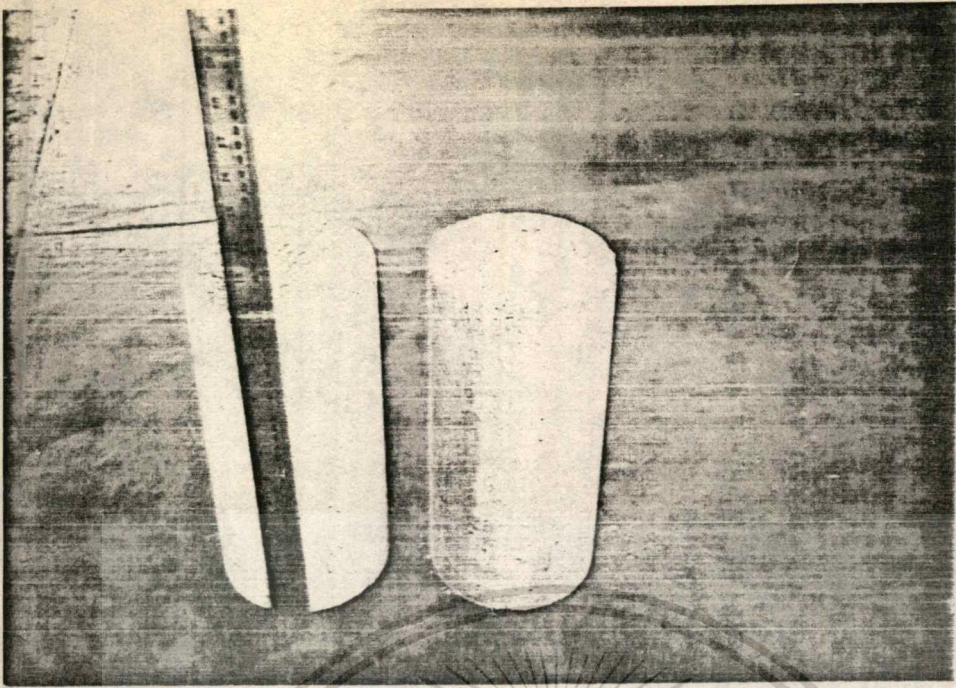
การบ่มแท่งคอนกรีตทดสอบ แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกจะนำมาทดสอบ

แรงอัดและแรงดึง ส่วนแท่งคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมไว้จะนำมาทดสอบ

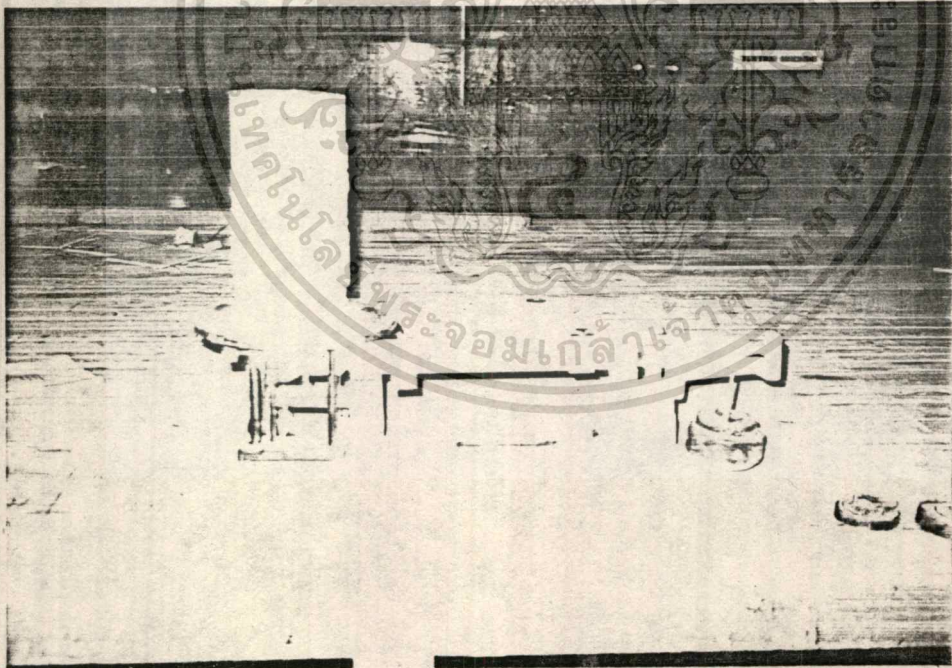
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แรงยึดเหนี่ยว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

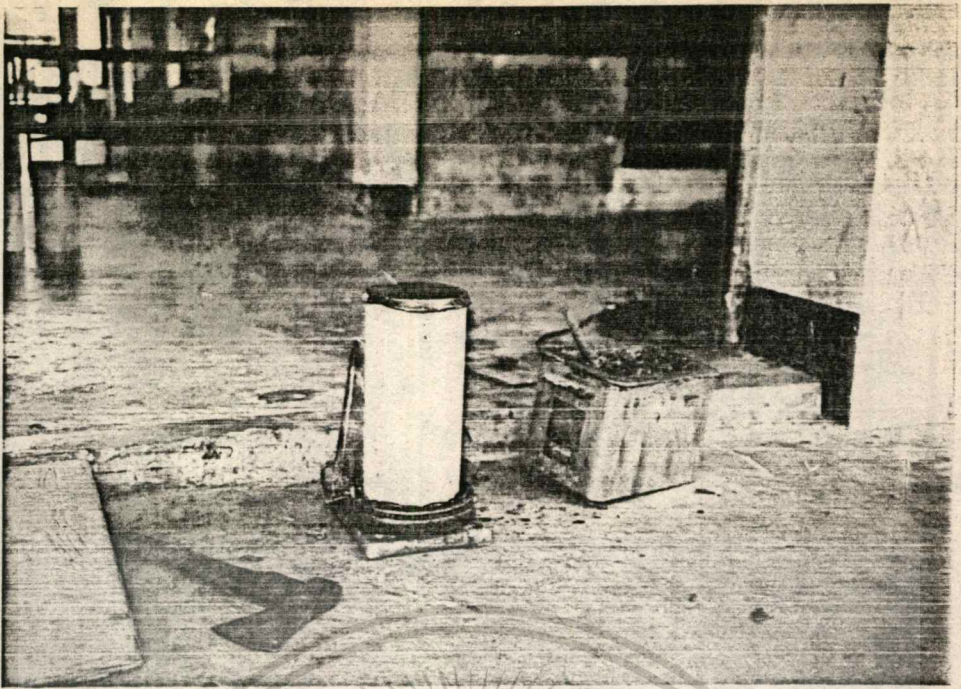


การ วัคซีนากของแท่งคอนกรีตทดสอบ

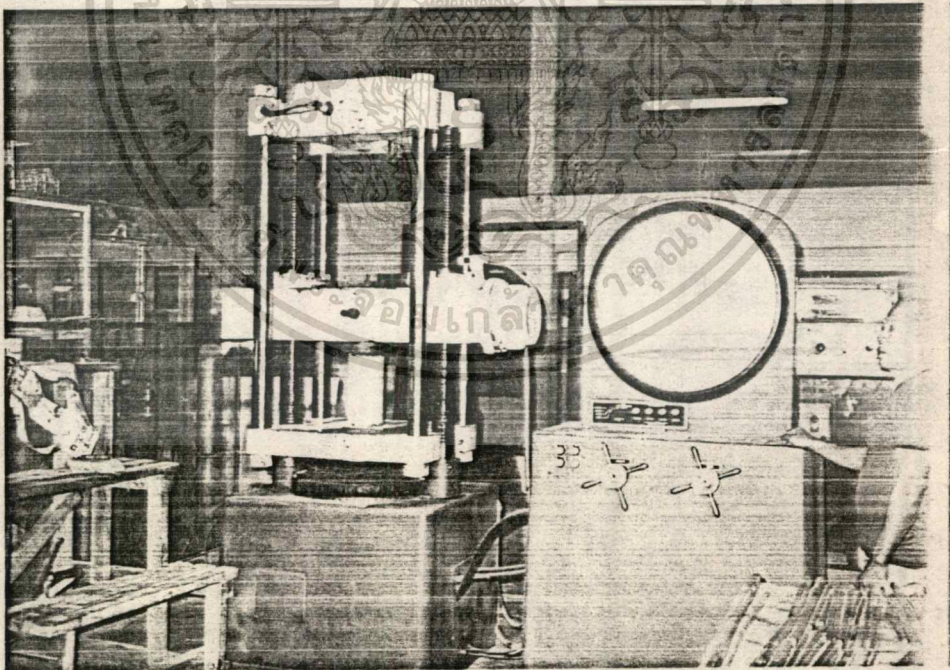


การ รั้งน้ำหนักของแท่งคอนกรีตทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

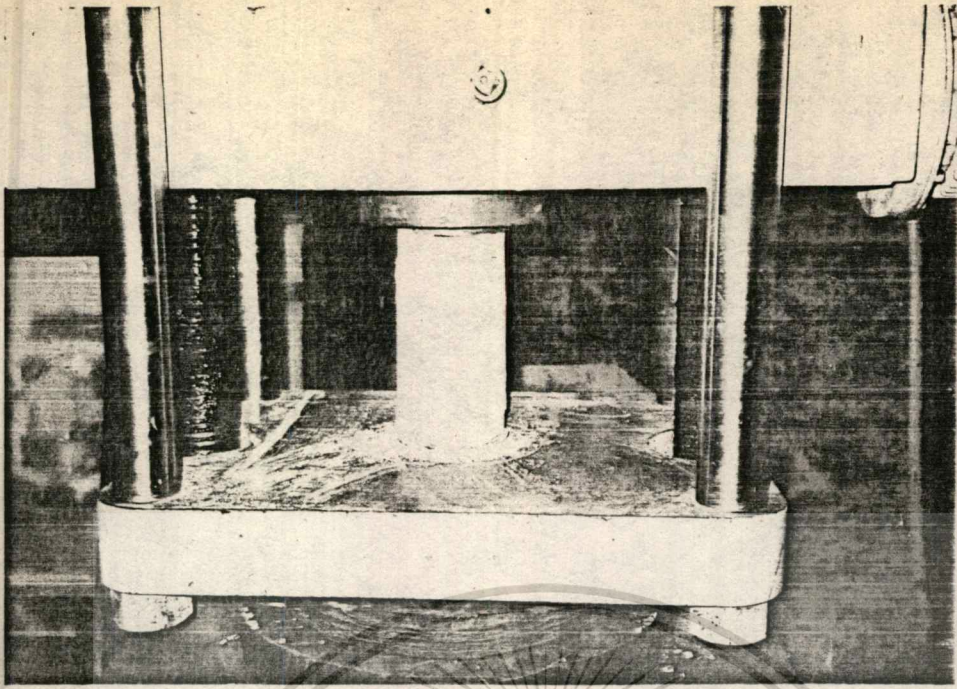


การหลอมที่ปลายทั้งสองของแท่งคอนกรีตด้วยกำมะถัน ก่อนที่จะนำไป
ทดสอบการรับแรงอัด

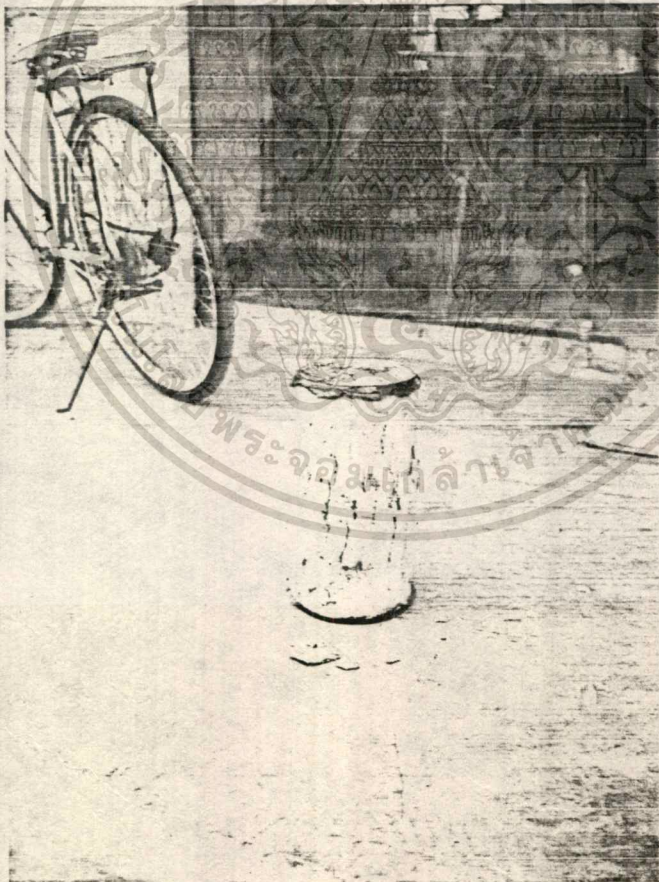


- เครื่องมือในการทดสอบการรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

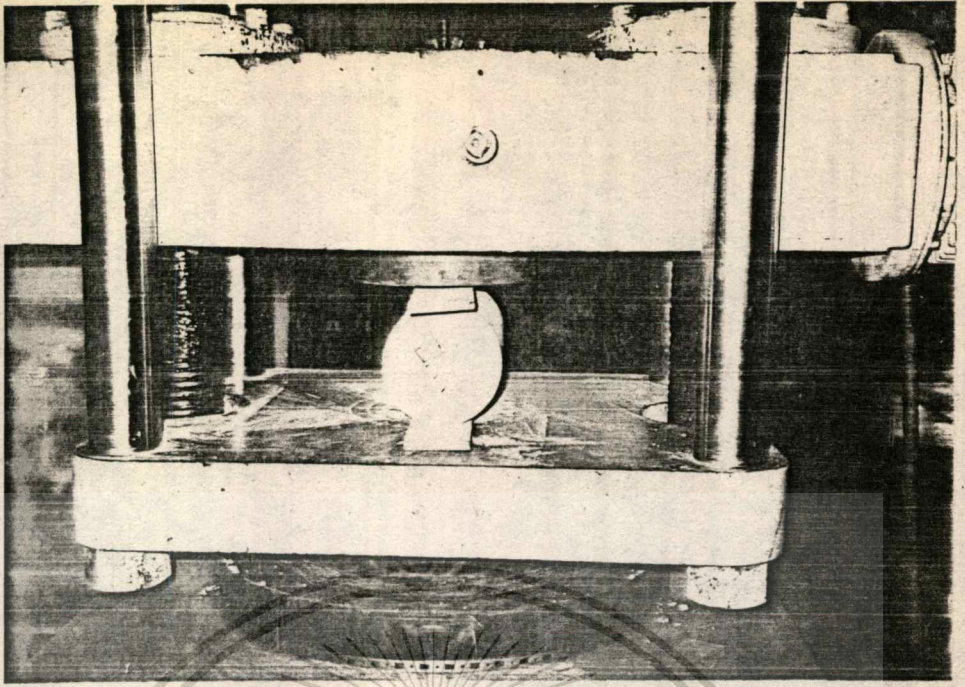


การอัดแท่งคอนกรีตทดสอบ

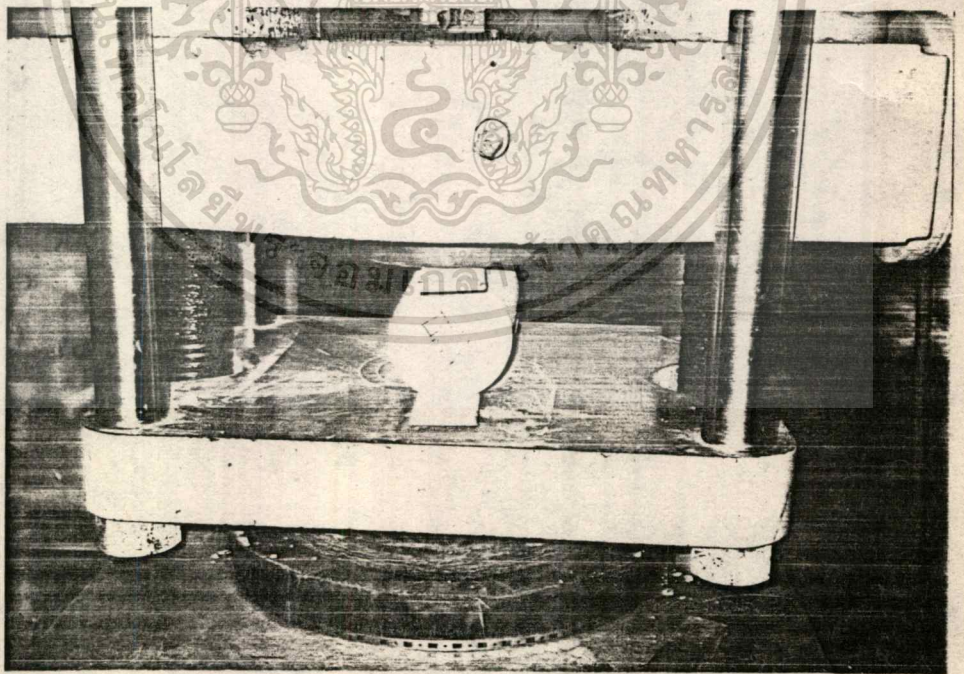


แสดงการแตกของแท่งคอนกรีตทดสอบเนื่องจากแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

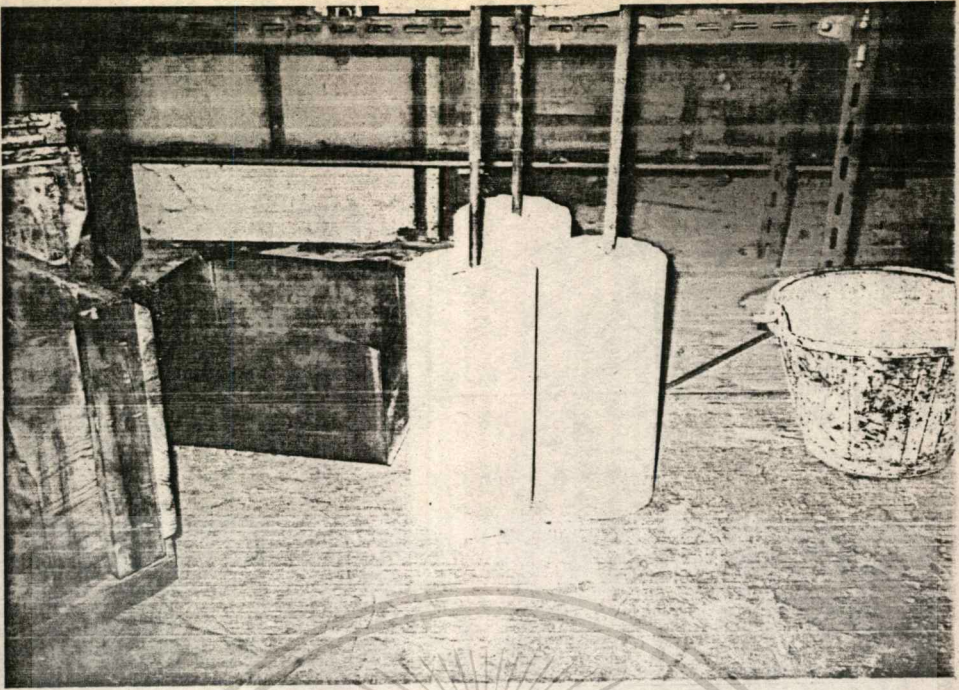


การทดสอบการรับแรงดึงของคอนกรีต โดยการวางแท่งคอนกรีตตามแนวนอน แล้วใช้ไม้หนา ๑ ซม. รองทั้งด้านบนและด้านล่าง แล้วจึงทำการกด

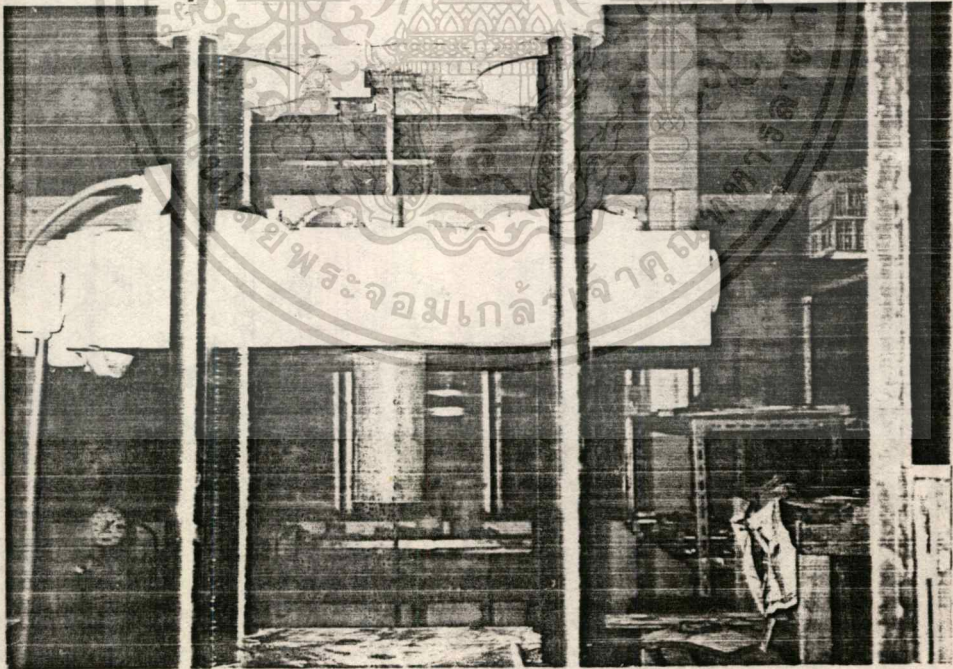


การทดสอบการรับแรงดึงของคอนกรีต จะสังเกตเห็นรอยแตกของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

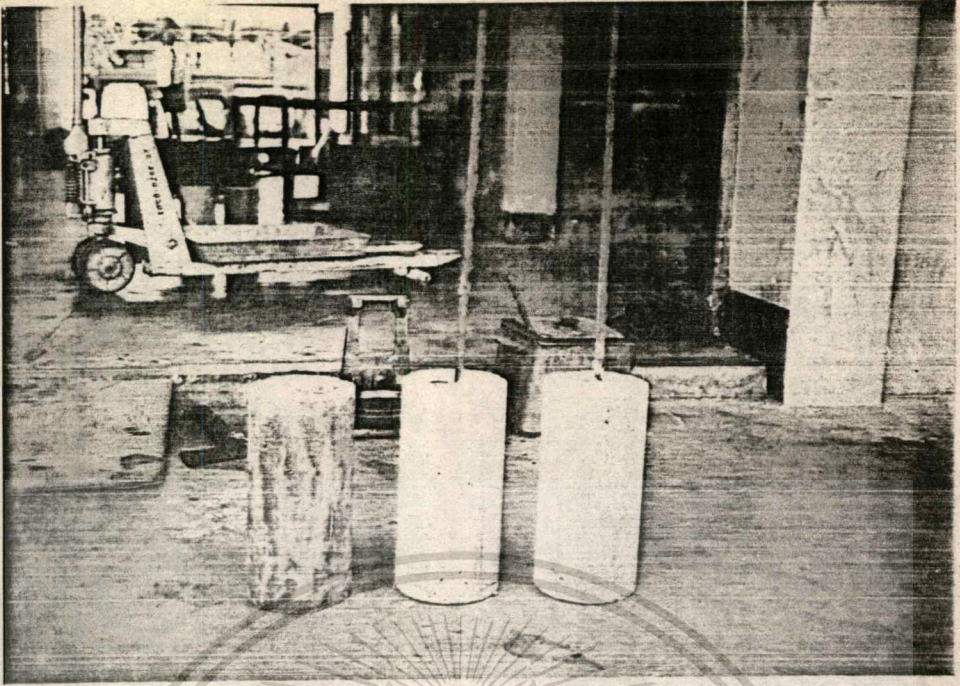


-แห่ง คอนกรีตที่ทำการฝังเหล็กเส้น เพื่อที่จะนำมาทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว

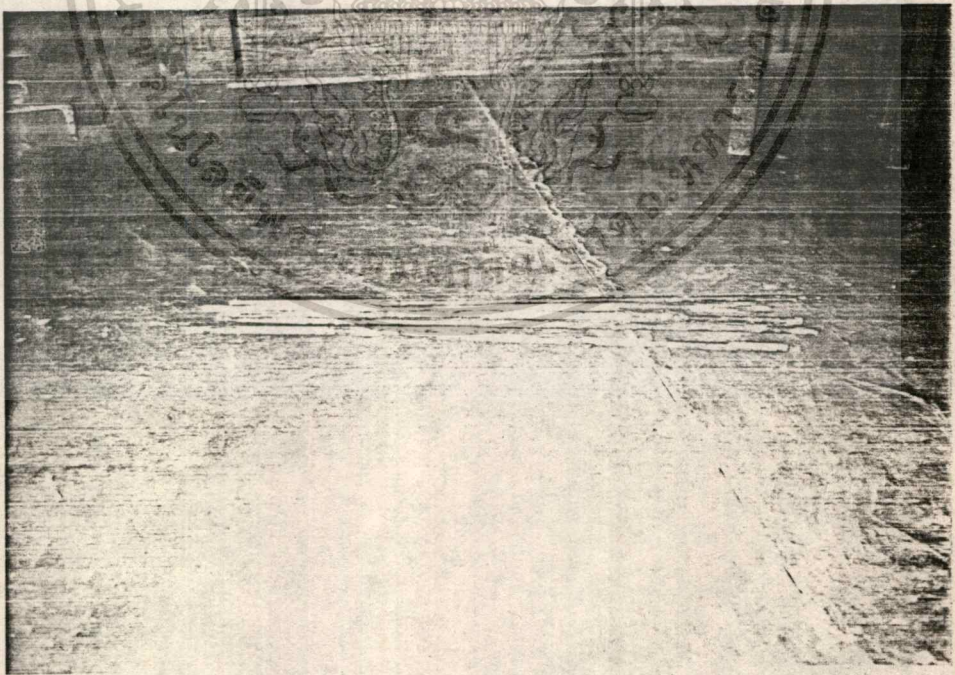


-การทดสอบหาแรงยึดเหนี่ยว โดยดึงเหล็กเสริมให้ครู่กออกจากคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การเปรียบเทียบแท่งคอนกรีตที่ค้ำเหล็กเสริมออกแล้ว (ซ้าย), แท่งคอนกรีตที่ค้ำเหล็กเสริมจนครบ (กลาง) และแท่งคอนกรีตที่ยังไม่ได้ทำการค้ำเหล็ก(ขวา)



เหล็กเสริมที่ฝังไว้ในคอนกรีตเมื่อค้ำออกแล้ว จะต้องนำมาวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และระยะที่ฝังอยู่ในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. หนังสือคอนกรีตเทคโนโลยี ของ วินิต ชอวิเชียร
2. หนังสือปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี ของ ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ
3. หนังสือปฏิบัติการและควบคุมงานคอนกรีต ของ พิภพ สุนทรสมัย
4. เอกสาร "เรื่องของคอนกรีต" ของ บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด
5. เอกสาร "เทคนิควิทยาคอนกรีต" ของ บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด

