



เรื่อง

การ เปรียบเทียบกำลังอัดและกำลัง เนิอนของคอนกรีตกำลังสูง  
ซึ่งผลิตโดยปูนซีเมนต์ type I กับปูนซีเมนต์ type III



จัดทำโดย

- 1. นาย เอกชัย นิมพงษ์ศักดิ์ 31.1416 4H
- 2. นาย สุรชัย ศิริอาชารุ่งโรจน์ 31.1379 4H

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สุวัฒน์ ศิริ เศรษฐ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

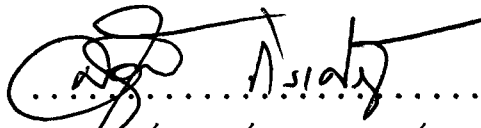
## หน้าอนุมัติ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


กรรมการวัดผลโครงการ :

  
.....  
(อาจารย์ สุวัฒน์ ภิระเศรษฐ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

  
.....  
(อาจารย์ ศิลชัย จานสุวรรณ)

กรรมการ

  
.....  
(อาจารย์ วิบูลย์ วุฒิจันทร์)

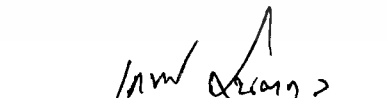
กรรมการ

  
.....  
(อาจารย์ สุรัตน์ หวังเจริญ)

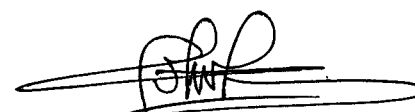
กรรมการ

  
.....  
(อาจารย์ สพจน์ ศรีนิล)

กรรมการ

  
.....  
(อาจารย์ เกษม อมันตกุล)

กรรมการ

  
.....  
(ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ)

กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

..... *ศรีกรร ภิรม* ..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ศรีกรรภิรม หิรัญมาศ)

..... *อำนวยการ ภาณุกุลพงศ์* ..... กรรมการ  
(อาจารย์ อำนวยการ ภาณุกุลพงศ์)

..... *ดร.แดง เจริญสุวรรณ* ..... กรรมการ  
(ผศ. ดร.แดง เจริญสุวรรณ)

..... *ศกดิ์ชัย สถานพงศ์* ..... กรรมการ  
(อาจารย์ ศกดิ์ชัย สถานพงศ์)

..... *สกล ห่อวโนทยาน* ..... กรรมการ  
(อาจารย์ สกล ห่อวโนทยาน)

..... *จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง* ..... กรรมการ  
(อาจารย์ จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาเปรียบเทียบถึงกำลังอัดประลัย และกำลังเฉือนของคอนกรีตกำลังสูง โดยใส่สาร superplasticizer ลงในเนื้อคอนกรีต ระหว่างปูนซีเมนต์ type1 กับปูนซีเมนต์ type3 สัดส่วนที่ใช้ผลิตคอนกรีตกำลังสูงนั้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.3 , อัตราส่วนผสมน้ำยา มีค่าเท่ากับ 1.0%, 1.2%, 1.5%, 2.0% โดยน้ำหนักซีเมนต์ และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์แปรผันค่าดังนี้ 450, 500 และ 550 ก.ก./ม<sup>3</sup> โดยมีปริมาณทราย 600 ก.ก./ม<sup>3</sup> และหิน 1200 ก.ก./ม<sup>3</sup> เป็นค่าคงที่ จะได้เป็นอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1:1.33:2.67, 1:1.2:2.4, 1:1.09:2.18 สำหรับการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 อย่างคือ 1)การทดสอบแรงอัด จะหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน แล้วนำมาทดสอบหาค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วันและ 28 วัน 2)การทดสอบแรงเฉือน จะหล่อคอนกรีตรูปคาน หน้าตัด 10\*20 ซม. ยาว 1.0ม. เสริมเหล็กกลางเป็นเหล็กข้ออ้อย  $\Phi$  12 จำนวน 2 เส้น เพื่อกันการแตกร้าวเนื่องจากแรงดึงในเนื้อคอนกรีต แล้วนำมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตเฉพาะที่ 28 วัน

ผลการวิจัย บ่งชี้ว่า กำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งผลิตโดยปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 3 จะสูงกว่าโดยปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่อายุ 7 วัน 39.47 % แต่เมื่ออายุครบ 28 วัน ค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ทั้ง 2 ประเภทจะใกล้เคียงกัน โดยที่ผลิตโดยปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 สูงกว่า และปริมาณสารเคมี Zentriment F ที่ทำให้ได้ค่ากำลังอัดสูงสุดคือ 1.0 % และปริมาณปูนซีเมนต์ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรที่ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดคือ 500 ก.ก. (strength = 682.63 ksc., ประเภทที่ 3 อายุ 28 วัน ค่าใช้จ่าย = 1393 บาทต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร) ส่วนกำลังรับแรงเฉือนของคานที่ไม่เสริมเหล็กปลอก จะเพิ่มขึ้นตามกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น โดยจะคิดเป็น 5 % ของกำลังอัด สมการคำนวณของมาตรฐาน ACI ให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำกว่าถึง 53.84 % สำหรับกำลังอัดของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นโดยปริมาณการเสริมเหล็กตามยาวมีค่าสูง แต่สมการของ Zsutty ยังคงสามารถคำนวณกำลังรับแรงเฉือน ณ จุดแตกร้าวแนวทแยงและ ณ จุดประลัยของคานคอนกรีตเสริมเหล็กใช้คอนกรีตกำลังสูงมากได้ในด้านปลอดภัยอย่างน่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ กลุ่มของผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อ.สุวัฒน์ ภิระเศรษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์

ผู้เขียนขอขอบคุณ เพื่อนๆบางท่านและรุ่นน้องที่ดี ที่ได้ช่วยเหลือทั้งด้านให้คำแนะนำ, ให้ยืมหนังสือบางเล่มและช่วยออกแรงในการทำแบบหล่อทดสอบ ซึ่งทำให้ผลงานที่ได้สำเร็จออกมาด้วยดี แม้จะเป็นเพียงช่วงเวลาอันสั้น แต่มันก็เป็นช่วงเวลาที่น่ารัก มีน้ำ สุก อ่อน เพลีย ใช้เงินเปลือง แต่พอเมื่องานสำเร็จสมบูรณ์ กลุ่มผมรู้สึกภาคภูมิใจ ดีใจ ซึ่งใจสุด ๆ อย่างยิ่ง เพราะว่า ในที่สุด ในที่สุด ... มันก็สำเร็จได้ด้วยมือของเรา

ท้ายสุดนี้ คุณประโยชน์อันพึงจะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ กลุ่มผู้เขียนขอมอบให้แก่ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ทุกท่าน เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณในการอบรมให้การศึกษาแก่ผู้เขียนตลอดมา

เอกชัย & สุรัชย์  
นิมพงษ์ศักดิ์ ศิริอาชารุ่งโรจน์  
311416 311379

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญ	
รายการตารางประกอบ	1
รายการรูปประกอบ	3
สัญลักษณ์	
บทที่ 1 บทนำ	5
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.2 ขอบเขตการวิจัย	6
1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา	6
บทที่ 2 คอนกรีตกำลังสูง	13
2.1 คอนกรีตกำลังสูง	13
2.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	26
2.3 การเปรียบเทียบกำลังที่เกิดขึ้นสำหรับปูนซีเมนต์ 5 ชนิด	40
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	41
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	41
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	44
บทที่ 4 การดำเนินการทดสอบ	50
4.1 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทราย	50
4.2 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของหิน	51
4.3 การหาส่วนขนาดคละของทราย	52
4.4 การหาส่วนขนาดคละของหิน	52
4.5 การทดสอบกำลังดึงของเหล็ก	53
4.6 การหาความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่างทดสอบ	53
4.7 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	53
4.8 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต	54
บทที่ 5 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	59
5.1 ผลการทดสอบ	59
5.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	62

	หน้า
บทที่ 6 บทสรุป	108
บรรณานุกรม	109
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำคอนกรีตกำลังสูง	115
ภาคผนวก ข. คุณสมบัติของสาร superplasticizer (zentrament F)	120



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการตารางประกอบ

- ตารางที่ 2.1 ปริมาตรร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ
- ,, 2.2 การรับกำลังเป็นเปอร์เซ็นต์ของปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆ
- ,, 4.1 จำนวนตัวอย่างที่หล่อทดสอบกำลังรับแรงอัด
- ,, 4.2 จำนวนตัวอย่างที่หล่อทดสอบกำลังรับแรงเฉือน
- ,, 5.1-5.4 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type I ที่ 7 วัน โดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 450 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.5-5.8 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type I ที่ 7 วัน โดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 500 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.9-5.12 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type I ที่ 7 วัน โดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 550 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.13-5.16 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type III ที่ 7 วันโดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 450 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.17-5.20 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type III ที่ 7 วันโดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 500 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.21-5.24 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type III ที่ 7 วันโดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 550 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.25-5.28 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type I ที่ 28 วัน โดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 450 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.29-5.32 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type I ที่ 28 วัน โดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 450 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.33-5.36 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type I ที่ 28 วัน โดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 450 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.37-5.40 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type III ที่ 28 วันโดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 450 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.41-5.44 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type III ที่ 28 วันโดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 450 กก./1 M<sup>3</sup>
- ,, 5.45-5.48 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type III ที่ 28 วันโดย ปริมาตรซีเมนต์คงที่ = 450 กก./1 M<sup>3</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตารางที่ 5.49-5.52 แสดงค่ากำลังเฉือน ปูนซีเมนต์ type I ที่ 28 วัน
- ,, 5.53-5.56 แสดงค่ากำลังเฉือน ปูนซีเมนต์ type III ที่ 28 วัน
- ,, 5.57 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติ และ กำลังรับแรงดึงของหน้าตัด เหล็กเสริม
- ,, 5.58 การทดสอบผลมคอนกรีตโดยสัดส่วนผสมต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ type I ที่ 7 วัน)
- ,, 5.59 การทดสอบผลมคอนกรีตโดยสัดส่วนผสมต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ type I ที่ 28 วัน)
- ,, 5.60 การทดสอบผลมคอนกรีตโดยสัดส่วนผสมต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ type III ที่ 7 วัน)
- ,, 5.61 การทดสอบผลมคอนกรีตโดยสัดส่วนผสมต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ type III ที่ 28 วัน)
- กราฟที่ 5.1-5.3 ค่ากำลังรับแรงอัด & ปริมาณสาร Zentrament F ทดสอบ ที่อายุ 7 วัน
- ,, 5.4-5.6 ค่ากำลังรับแรงอัด & ปริมาณสาร Zentrament F ทดสอบ ที่อายุ 28 วัน
- ,, 5.7-5.10 ค่ากำลังรับแรงอัด & ปริมาณซีเมนต์ ทดสอบที่อายุ 7 วัน (ปริมาณสาร Zen<sub>4</sub> = 1.0% , 1.2% , 1.5% , 2.0% )
- ,, 5.11-5.14 ค่ากำลังรับแรงอัด & ปริมาณซีเมนต์ ทดสอบที่อายุ 28 วัน (ปริมาณสาร Zen<sub>4</sub> = 1.0% , 1.2% , 1.5% , 2.0% )
- ,, 5.15 ค่ากำลังรับแรงเฉือน & ปริมาณสาร Zentrament F ทดสอบที่อายุ 28 วัน (ปริมาณปูนซีเมนต์/1M<sup>3</sup> = 500 กก.)
- ,, 5.16 ปริมาณคละของหิน
- ,, 5.17 ปริมาณคละของทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการรูปประกอบ

		หน้า	
รูปที่	2.1	บรรดาอาคารสูงในเมืองซีแอตเติล	13
,,	2.2	อาคารออกแบบโดยบริษัท Skilling ward Magnusson Barkshire Inc.	14
,,	2.3	อาคาร Two Union Square	15
,,	2.4	การปั๊มคอนกรีตที่เหลวมาก	16
,,	2.5	เสาคอนกรีตกำลังสูง อาคาร Two Union Square	17
,,	2.6	อาคาร อินเทอร์เน็ต	19
,,	2.7	การสร้างชั้นใต้ดิน	21
,,	2.8	ร่างคอนกรีตที่ออกแบบพิเศษ	32
,,	2.9	ทางเข้าออกสำหรับรถผสมคอนกรีต	33
,,	2.10	แสดงการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าคอนกรีต	36
,,	2.11	แสดงการแตกร้าวขณะเป็นส่วนผสม	36
,,	2.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหลังผสม-กำลังอัดของ คอนกรีต	37
,,	3.1	สารเคมี Zentriment F	42
,,	3.2	เหล็กข้ออ้อย ๕ 12 ที่ใช้ในการทดสอบ	42
,,	3.3	กำมะถัน ใช้ในการ capped หัวแท่งคอนกรีตทดสอบ	43
,,	3.4	น้ำมันหล่อลื่น ใช้ในการทาแบบ	43
,,	3.5	ไม้ผสมคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ	45
,,	3.6	แบบหล่อขึ้นตัวอย่าง ทดสอบกำลังรับแรงอัด	45
,,	3.7	แบบหล่อขึ้นตัวอย่าง ทดสอบกำลังรับแรงเฉือน	46
,,	3.8	ตะแกรงร่อนทราย, หินและเครื่องเขย่า	46
,,	3.9	กระบอกตวงขนาด 100 cc. และ 1000 cc.	47
,,	3.10	เครื่องมือวัด ฟุตเหล็ก, ไมโครมิเตอร์	47
,,	3.11	เครื่องมือชั่ง น.น. วัสดุที่มีน้ำหนักไม่มาก	48
,,	3.12	เครื่องมือชั่ง น.น. วัสดุที่มีน้ำหนักมาก	48
,,	3.13	เครื่อง Universal Testing Machine	49
,,	3.14	ตลับไอน้ำที่ใช้ในการทดสอบ	49
,,	4.1	แสดงการ capped หัวแท่งคอนกรีตก่อนทดสอบกำลังอัด	57

,, 4.2	แสดงการบ่มชิ้นตัวอย่างในน้ำ	57
,, 4.3	แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine	58
,, 4.4	แสดงการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยเครื่อง Universal Testing Machine	58
,, 5.1	ลักษณะการชำรุดของแท่งคอนกรีตรับแรงอัด	60
,, 5.2	การแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนในคาน	62
,, 5.3	การวิบัติของคานช่วงการเฉือนยาวมาก	63
,, 5.4	การวิบัติของคานช่วงการเฉือนสั้น	64
,, 5.5	การวิบัติของคานคก	66



## บทที่ 1 บทนำ

ในอดีตคอนกรีตกำลังสูงไม่มีความจำเป็นมากนัก เพราะโครงสร้างต่างๆ ยังมีขนาดช่วงสั้น และมีวัสดุอื่นๆ ที่สามารถใช้ได้เพียงพอ เช่น เมื่อสมัยสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง กำลังอัดของคอนกรีตโดยปกติธรรมดาจะอยู่ในช่วงประมาณ 200 กก/ช.ม.<sup>2</sup> เมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องลดขนาดโครงสร้างลงและเพื่อความประหยัด คอนกรีตที่ผลิตก็เริ่มพัฒนาให้ได้กำลังสูงถึง 500 กก/ช.ม.<sup>2</sup> ในปัจจุบันการก่อสร้างทั่วไปจะมีกำลังอยู่ระหว่าง 300-500 กก/ช.ม.<sup>2</sup> หรือถ้าเป็นคอนกรีตที่ใช้กับการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง จะมีค่าสูงถึง 450 กก/ช.ม.<sup>2</sup> โดย ACI Committee-363<sup>(1)</sup> ได้ให้ค่านิยามไว้ว่า คอนกรีตกำลังสูงคือคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดสูงกว่า 632 กก/ช.ม.<sup>2</sup>

คอนกรีตกำลังสูงได้เริ่มมีการพัฒนา<sup>(2)</sup> โดยการลดค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ลดลงต่ำ ทำให้เกิดปัญหาในการทำงาน เนื่องจากความสามารถในการเทลดต่ำลง (workability) จึงได้มีการใช้สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อใช้ในการเพิ่มความสามารถในการเทคอนกรีต<sup>(3)</sup> ในกรณีที่ต้องลดปริมาณน้ำลงมาก

กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ได้พัฒนามาตามลำดับ จนในปัจจุบันสามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัดเฉลี่ยเมื่อ 28 วันได้เกินกว่า 1500 กก/ช.ม.<sup>2</sup>

<sup>(4)</sup> จึงสามารถทำให้น้ำคอนกรีตกำลังสูงไปใช้ในงานก่อสร้างตึกสูงและสะพานช่วงยาว <sup>(5,6)</sup> ได้มากขึ้น โดยสามารถลดขนาดโครงสร้าง ทำให้เบาลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัด หรือในอุตสาหกรรมคอนกรีตอัดแรง และยังเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุสำหรับงานหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ทฤษฎีและมาตรฐาน ที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่ใช้คอนกรีตธรรมดาทางด้านกำลังรับแรงเฉือน จะสามารถใช้ได้ปลอดภัยหรือมีข้อจำกัดเพียงใด เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับคอนกรีตกำลังสูงมาก

### 1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดและกำลังเฉือนของคอนกรีตกำลังสูง ที่ผลิตโดยปูนซีเมนต์ type 1 กับ ปูนซีเมนต์ type 3
- เพื่อศึกษาการผลิตคอนกรีตกำลังสูง
- เพื่อทราบ อัตราส่วน ปริมาณซีเมนต์ : ทราย : หิน ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คอนกรีตกำลังสูงตามต้องการ โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อย

เอกสารเพื่อศึกษาการแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนของคอนกรีตกำลังสูง  
ไม่วารณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ขอบเขตการวิจัย

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาเปรียบเทียบ กำลังอัดและกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตกำลังสูง ที่ทำโดยปูนซีเมนต์ type1 กับปูนซีเมนต์ type3 ว่ามีผลเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไรบ้าง โดยใช้สารประเภท superplasticizer ที่ชื่อ zentrament F เป็นสารลดน้ำและเพิ่มกำลังของคอนกรีต และใช้ค่าปริมาณปูนซีเมนต์ ต่อ  $m^3$  , อัตราส่วนต่างๆ , ขนาดเปอร์เซ็นต์คละของมวลรวม ให้ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อให้ได้คอนกรีตกำลังสูง

การผสมคอนกรีต มีองค์ประกอบของการแปรเปลี่ยน ดังนี้

- เวลาผสม 1 นาทีสำหรับผสมซีเมนต์เพสต์ แล้วใส่สารเคมีและผสมต่ออีก 1 นาที
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) โดยน้ำหนัก เท่ากับ 0.3
- ปริมาณของสาร zentrament F เท่ากับ 1%, 1.2%, 1.5%, 2.0% ลิตรต่อซีเมนต์ 100 ก.ก.

- ปริมาณของปูนซีเมนต์ type1 ที่ใช้เท่ากับ 450, 500, 550 ก.ก./ $m^3$
- ปริมาณของปูนซีเมนต์ type3 ที่ใช้เท่ากับ 450, 500, 550 ก.ก./ $m^3$
- ปริมาณของทรายที่ใช้คงที่ เท่ากับ 600 ก.ก./ $m^3$
- ปริมาณของหินที่ใช้คงที่ เท่ากับ 1200 ก.ก./ $m^3$
- ระยะเวลาในการถอดแบบ เท่ากับ 24 ชม.
- ระยะเวลาการบ่มหลังจากถอดแบบ แบ่งเป็น 7 วันและ 28 วัน
- ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบกำลังอัด เท่ากับ 5 ตัวอย่าง/หัวข้อ และปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบกำลังรับแรงเฉือน เท่ากับ 5 ตัวอย่าง/หัวข้อ
- รูปร่างคอนกรีตที่หล่อ แบ่งเป็น

1 รับกำลังแรงอัด เป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C192

2 รับกำลังแรงเฉือน เป็นรูปคาน มีหน้าตัด 10\*20 ซม. ยาว 1.0ม.

จากนั้นทำการทดสอบหาความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต

## 1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

คอนกรีตกำลังสูง

คอนกรีตกำลังสูงที่ใช้ปูนซีเมนต์ portland เป็นตัวเกาะประสาน ทำได้โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ การลดสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ให้น้อยลง ซึ่งเป็นผลให้ความสามารถในการเทลดลง จึงจำเป็นต้องใช้ไม่วางกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องผสมสารเคมีเพิ่ม ประเภทที่ให้ความหล่อลื่นสูง (superplasticizer) เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเทให้สูงขึ้น โดยคุณภาพของวัสดุและส่วนผสมต่างๆ ต้องควบคุมอย่างละเอียด

ซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีตกำลังสูงมากนี้ Perenchio <sup>(7)</sup> พบว่า ซีเมนต์ที่มีความละเอียด (fineness) มากที่สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ จะให้น้ำปูน (Cement Paste) ในส่วนผสมคอนกรีตที่มีกำลังสูง ซึ่งซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากนี้จะเหมาะสำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลังสูงในเวลาอันสั้น นอกจากนี้ยังพบว่า ซีเมนต์ชนิดที่ 3 ซึ่งมีส่วนผสมของ Tricalcium Silicate ( $C_3S$ ) สูงและความละเอียดมากจะให้กำลังคอนกรีตสูงสุด เมื่อสัดส่วนผสมอื่นใกล้เคียงกัน Saucier, Smith และ Tynes <sup>(8)</sup> พบว่า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 จะเหมาะสมกว่าชนิดที่ 3 เนื่องจากชนิดที่ 3 จะต้องการน้ำปริมาณมากกว่า เพื่อให้ได้การไหลที่เท่ากัน และนอกจากนี้ยังแข็งตัวเร็วในที่มีอากาศร้อน

Klieger <sup>(9)</sup> ได้ทำการวิจัยเรื่อง Early High Strength Concrete for Prestressing และได้สรุปผลเกี่ยวกับความสำคัญของปริมาณน้ำในคอนกรีตไว้ว่า กำลังอัดของคอนกรีตสูงสุดก็ต่อเมื่อใช้น้ำในการผสมให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และในระหว่างการบ่ม นอกจากจะต้องป้องกันไม่ให้น้ำระเหยไปแล้ว ยังต้องเพิ่มน้ำให้เพียงพออีกด้วย ต่อมา Gilkey <sup>(10)</sup> ได้พยายามที่จะผลิตคอนกรีตกำลังสูงขึ้นมา โดยทดลองเกี่ยวกับสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์เพื่อสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ จะได้ลดลงและลดขนาดโตสุดของมวลรวมลงด้วย จะทำให้กำลังของคอนกรีตสูงขึ้น The Concrete Society <sup>(11)</sup> ได้ศึกษาปฏิกิริยาของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับน้ำ พบว่าจะเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ประมาณ 0.25 ซึ่งส่วนผสมของคอนกรีตจึงไม่ควรใช้สัดส่วนต่ำกว่านี้ Freedman <sup>(12)</sup> แนะนำว่าการผลิตคอนกรีตกำลังสูงควรใช้สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในช่วง 0.3-0.4 โดยสัดส่วนที่ต่ำกว่านี้จะทำให้กำลังคอนกรีตสูงขึ้นแต่ทำงานได้ยาก Perenchio <sup>(7)</sup> พบว่า สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำสุดที่จะทำให้ส่วนผสมมีความสามารถในการเทคือ 0.3 และสัดส่วนนี้ก็เพียงพอสำหรับปฏิกิริยาของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับน้ำ

ผลกระทบจากมวลรวมมีความสำคัญเช่นกัน Thoman <sup>(13)</sup> ได้ทำการวิจัย เกี่ยวกับมวลรวมที่มีลักษณะโครงสร้างของผิว (Texture Surface) ที่ต่างกันโดยใช้กรวดหินทรายและหินบะซอลต์ (Basalt) ที่มีขนาดโตสุดเท่ากับ 3/4" โดยสัดส่วนอื่นคงที่ พบว่าคอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมของหินบะซอลต์จะให้กำลังสูงสุด โดยให้เหตุผลว่า หินบะซอลต์มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่า ซึ่งจะมีความสามารถพัฒนาแรงยึดเกาะระหว่างเนื้อปูนทราย (Cement Paste) กับหินได้สูง Gold Hect <sup>(14)</sup> Weymouth

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Mcgreary<sup>(16)</sup> กล่าวในทำนองเดียวกันว่า ขนาดคละของมวลรวมจะมีความสำคัญน้อยลงในคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์สูง walker<sup>(17)</sup> ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของขนาดโตสุดที่มีต่อกำลังคอนกรีต กล่าวว่า ส่วนผสมที่ใช้มวลรวมขนาดเล็กกลงจะทำให้ต้องการปริมาณน้ำสูงขึ้น เป็นผลให้การหดตัว (Shrinkage) เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับกำลังของคอนกรีตและยังกล่าวอีกว่า กำลังของคอนกรีตมีผลมาจากกำลังของปูนทราย (Mortar) แรงยึดเกาะ (Bond) ระหว่างปูนก่อกับมวลรวมหยาบและความแข็งของมวลรวมหยาบ Saycier, Smith และ Tynes<sup>(8)</sup> ได้ทดลองใช้ทรายธรรมชาติ และทรายที่ผลิตจากโรงงานเป็นส่วนผสมของคอนกรีต พบว่า ในส่วนผสมที่มีทรายหยาบและปริมาณซีเมนต์เท่ากัน ทรายธรรมชาติจะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่า เมื่อการยุบตัวเท่ากันเพราะทรายธรรมชาติมีลักษณะกลมและผิวเรียบมากกว่า Cordon และ Gillespie<sup>(18)</sup> ได้ค้นคว้าเกี่ยวกับตัวแปรของมวลรวมที่มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูง (Lean Mix) จะให้กำลังสูงสุดเมื่อใช้มวลรวมขนาดโต แต่ในขณะเดียวกันคอนกรีตที่มีสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ (Rich Mix) จะให้กำลังสูงสุดเมื่อใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมเล็กๆ Mather<sup>(10)</sup> ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีน้ำหนักมาก เช่น แมกเนไทท์ (Magnetite) หรืออิลมิไนท์ (Ilmenite) ที่มีขนาดโตสุดครึ่งนิ้วเป็นส่วนผสมโดยมีปริมาณซีเมนต์เท่ากับ ๕๘๐ กก/ม<sup>๓</sup> และใช้สัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ ๐.๓ จะทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าสูงถึง ๗๗๐ กก/ซ.ม.<sup>๒</sup> ที่อายุ ๒๘ วัน Morgan<sup>(๒๐)</sup> ค้นพบว่า ทรายที่มีลักษณะกลมมน จะทำให้กำลังคอนกรีตสูงกว่าทรายที่มีลักษณะผิวขรุขระและแฉ่มุม Perenchio<sup>(๗)</sup> วิจัยพบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ต่ำประมาณ ๐.๓ และส่วนผสมอื่นค่อนข้างคงที่แล้ว หินที่มีขนาดโตสุด ๓/๘" จะให้กำลังคอนกรีตสูงที่สุดมากกว่า ๙๐๐ กก/ซ.ม.<sup>๒</sup> และยังพบว่าสัดส่วนจำนวนคละของมวลรวมหยาบและละเอียดนั้นไม่มีผลต่อกำลังคอนกรีตในช่วงแรก Freedman<sup>(๑๒)</sup> แนะนำว่า ทรายที่เหมาะสมกับการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดระหว่าง ๒.๗ ถึง ๓.๒ ปริมาณคละควรเป็นไปตาม ASTM C-๓๓

สารผสมคอนกรีตลดปริมาณน้ำ (water Reducing Admixture) หรือสารเพิ่มความเหนียว (Plasticizer Admixture) ที่มีสารประกอบหลักพวกไฮดรอกซิล (Hydroxyl) คาร์บอกซิล (Carboxyl) เมท็อกซี (Methoxy) และกลุ่มของกรดซัลโฟนิค (Sulphonic Acid Groups) ช่วยลดปริมาณน้ำได้ประมาณ ๕-๑๕ % และสามารถเพิ่มความเหนียวให้แก่คอนกรีต จะทำให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้น Gaynor<sup>(๑๓)</sup> ได้นำเอาส่วนผสมคอนกรีต (Admixture) ที่มีลิกนินเป็นสารหลักมาใช้กับงานคอนกรีต เพื่อทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการทนสูง แต่ยังมีปัญหาเกี่ยวกับอัตราส่วนที่ใช้ Saucier, ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Smith และ Lynes <sup>(๑)</sup> กล่าวว่า เมื่อใช้ในอัตรามากกว่าผู้ผลิตแนะนำจะทำให้คอนกรีตกำลังลดลง ในอายุเริ่มแรก แต่เมื่อมีอายุนานไป จะไม่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต Dorson และ Parkas <sup>(๒)</sup> แนะนำว่า การใช้สารผสมให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้น ควรจะเติมสารผสมลงในคอนกรีตภายหลังจากซีเมนต์ผสมกับน้ำแล้ว และ Gaynor <sup>(๒)</sup> พบว่า การใช้สารผสมคอนกรีตชนิดที่กักฟองอากาศ (Air-Entrained Admixture) จะมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงในอัตราที่สูงมาก เมื่อเทียบกับปริมาณฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น Blick, Peterson และ Michael <sup>(๒๓)</sup> ค้นพบว่า เมื่อใช้สารผสมในอัตราที่สูงกว่าผู้ผลิตแนะนำไว้ควรจะทำการทดสอบผสมกับคอนกรีต แล้วหาคุณสมบัติเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่เติมสารผสม และยังเตือนว่าเมื่อใช้สารผสมคอนกรีตจำพวก ลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulphonate) ที่อัตราสูงกว่าปกติจะทำให้เกิดฟองอากาศ มากกว่า ๖% เป็นผลให้กำลังของคอนกรีตลดลง Yamamoto และ Uhira <sup>(๒๔)</sup> ได้ทดลองเกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารผสมในอัตราสูง พบว่าการใช้สารผสมคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพและประหยัด ควรจะใช้ในอัตราต่ำกว่า 1% โดยน้ำหนักซีเมนต์ Rixom <sup>(๒๕, ๒๖)</sup> พบว่าปริมาณที่ใช้ในอัตราปกติ (Normal Dosage) จากการแนะนำของผู้ผลิต จะสามารถลดน้ำได้ถึง 10% กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นถึง 25% ที่อายุ 7 และ 28 วันตามลำดับ โดยที่คอนกรีตนั้น ออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 มีค่าการยุบตัว 76 มม. จะให้ประสิทธิภาพมากที่สุดที่อัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์ 6.5-7.0 ส่วนสารผสมคอนกรีตประเภท ลดน้ำในอัตราสูง (High Range Water Reducing Admixture) หรือสารผสมเพิ่มความไหลื่นสูง (Superplasticizer Admixture) ที่มีสารเคมีหลักพวกพอร์มาลดีไฮด์ และเขายังพบว่าเมื่อใช้สารนี้ จะสามารถลดปริมาณน้ำได้สูงกว่าประเภทแรกถึง 10 เท่า Hewlett <sup>(๒๗)</sup> พบว่าจะสามารถลดปริมาณน้ำได้ 20-33% โดยกำลังของคอนกรีตจะสูงขึ้นนี้ขึ้นกับชนิดของซีเมนต์ มวลรวมและอุณหภูมิ เช่นเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ 400 กก/ม<sup>3</sup> อัตราสารเคมี 4 ลิตร/ม<sup>3</sup> จะลดปริมาณน้ำได้ 24% กำลังของคอนกรีตจะสูงขึ้น 87% และ 53% ที่อายุ 7 และ 28 วัน แต่ถ้าใช้ปริมาณซีเมนต์ 500 กก/ม<sup>3</sup> จะลดปริมาณน้ำได้ 27% กำลังที่เพิ่มจะเปลี่ยนเป็น 54% และ 37% ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเพิ่มของกำลังคอนกรีตจะสูงที่อายุน้อยและปริมาณซีเมนต์ต่ำ

สำหรับคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ของคอนกรีตกำลังสูงมากนั้นจะแตกต่างไปจากคอนกรีตธรรมดา Thoman และ Warren <sup>(๒๘)</sup> พบว่าคอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำ เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด (stress) และความเครียด (strain) จะมีความชันน้อยลง ในขณะที่เส้นกราฟของคอนกรีตกำลังสูงจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีความชันมากไปจนถึงระดับหน่วยแรงอัดประมาณ 50-60 % ของกำลังอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ ภายใต้งานวิจัยใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) จะแปรตามมวลรวมที่ใช้ โดยมวลรวมที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างกัน จะให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่างกัน และพบว่า โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น (๘.๐) Petera (๒๘) ได้ทำการหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตกำลังสูงพบว่า โมดูลัสความยืดหยุ่นและกำลังดึงแยกตัว จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับกำลังอัดคอนกรีต และยังพบว่า คอนกรีตกำลังสูงจะมีความต้านทานตอกำลังแบกทาน (Bearing strength) สูงกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่สัดส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) ของคอนกรีตธรรมดาและกำลังสูงจะอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.23 และเช่นเดียวกัน Petera (๒๘) เกี่ยวกับเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียด และกล่าวว่า สาเหตุที่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตกำลังสูง มีค่าสูงเนื่องจากความแข็งแรงของปูนก่อและแรงยึดเกาะระหว่างปูนก่อกับมวลรวมที่สูงกว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยมาก จะมีค่าอยู่ระหว่าง  $4.0-5.0 \times 10^5$  กก/ซ.ม.<sup>๒</sup> (๘.๒๘.๓๐.๓๑.๓๒.๓๓) และค่าความเครียดสูงสุดมีค่าประมาณ 0.002-0.003 Freedman (๑๒) ได้สรุปผลจากงานวิจัยเกี่ยวกับการคืบตัว และการหดตัวในคอนกรีตว่า ทั้งการคืบตัวและการหดตัวของคอนกรีตจะลดลงเมื่อคอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติในการยึดเกาะกันกับเหล็กเสริมยังดีขึ้นในคอนกรีตกำลังสูง (๑)

การวิจัยคอนกรีตกำลังสูงในประเทศไทย ก็มีเช่นกัน โดยสุพรรณ (๓๐) ได้วิจัยเกี่ยวกับ การผลิตและศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้สารผสมคอนกรีตเพิ่มความไหลื่น (plasticizer) ซึ่งได้จากน้ำเสียของขบวนการฟอกเยื่อกระดาษ ซึ่งมีสารหลักทางเคมีของลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulphonate) โดยใช้หินขนาดโตสุด 3/4" มีค่าโมดูลัสความละเอียด ๘.๕๕ สัดส่วนของหินตามมวลรวมหยาบ ทั้งหมด ๘๒% ทรายที่ใช้ มีโมดูลัสความละเอียด ๒.๘๘ สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ระหว่าง 0.26-0.321 ใช้สารผสมคอนกรีตไม่เกิน ๘% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และปูนซีเมนต์เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๓ สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3 เมื่อใช้ซีเมนต์ ๕๕0 กก/ม<sup>๓</sup> จะทำให้กำลังของคอนกรีตเมื่ออายุ ๒๘๗ วัน มีค่าสูงกว่า 700 กก/ซ.ม.<sup>๒</sup>

สกุล (๓๑) ได้ทดลองผสมเพื่อทำคอนกรีตกำลังสูงไปใช้งานวิจัยเกี่ยวกับ คานคอนกรีตอัดแรงทำด้วยคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ 3 ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มความไหลื่น ที่มี Lignosulphonate Acid และ Naphthalene เป็นสารพื้นฐาน หินที่ใช้มีขนาดโตสุด 1/2" สัดส่วนคละ 4.97 ส่วนทรายมีค่าโมดูลัสความละเอียด 3.10 และมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์อยู่ในช่วง 0.23-0.40 พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงนั้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ควรใช้ประมาณ 0.25 หินที่ใช้มีปริมาณ 1500 กก. ในคอนกรีต 1 ม<sup>๓</sup> ส่วนสารผสมคอนกรีตที่มี Naphthalene เป็นสาร

ไม่ว่ากรรมใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นฐานในอัตรา 0.8% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์จะช่วยให้การไหลลื่นดีพอ สัดส่วนผสมคอนกรีตนี้ จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มากกว่า 900 กก/ช.ม.<sup>2</sup>

มานิต<sup>(32)</sup> ได้ทดลองผสมคอนกรีตกำลังสูงไปใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับ พฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำจากคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้หินขนาดโตสุด 1/2" มีค่าโมดูลัสความละเอียดเป็น 6.52 ทราบที่ใช้มีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.87 และปริมาณคละ เป็นไปตามขีดจำกัดของ ASTM C-33 โดยใช้ น้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มความไหลลื่นสูงที่มีสารประกอบของ Naphthalene การทดลองผสมใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก 2.378% และอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน มีค่า 1.00, 1.33 และ 2.17 ตามลำดับ จะให้กำลังคอนกรีตสูงประมาณ 780-890 กก/ช.ม.<sup>2</sup>

ฐิติ<sup>(33)</sup> ทำงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของเหล็กเสริมทิศทางขวาง ต่อพฤติกรรมของเสาคอนกรีตทำจากคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้สัดส่วนการผสมตามมานิต<sup>(32)</sup> โดยได้เปลี่ยนแปลงบางอย่างเพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ โดยใช้หินขนาดโตสุด 1/2" มีค่าโมดูลัสความละเอียด 6.34 ทราบที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด 2093 ใช้ น้ำยาผสมคอนกรีต เพื่อเพิ่มความไหลลื่น มีสารหลัก คือ Naphthalene Sulphate ที่มีชื่อว่า Sulphonated Naphthalene Formaldehyde Condensates โดยใช้ในอัตรา 1.9% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ดังนั้นส่วนผสมคอนกรีตใน 1 ม<sup>3</sup> คือ ซีเมนต์ : ทราย : หิน : น้ำ : น้ำยาผสม 575:765:1245:138:10.94 กก. ซึ่งทำให้กำลังคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ประมาณ 800 กก/ช.ม.<sup>2</sup>

ปรีชา<sup>(34)</sup> ก็ได้ทดลองผสมคอนกรีตกำลังสูง ไปใช้ในงานวิจัยพฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตกำลังสูงเสริมด้วยลวดกำลังสูง โดยได้ใช้อัตราส่วน ซีเมนต์: ทราย: หิน 1.00:1.33:2.15 โมดูลัสความละเอียดของทราย 2.95 ขนาดโตสุดของหิน 1/2" ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.24 และอัตราส่วนผสมน้ำยา 2.4% โดยน้ำหนักซีเมนต์ ได้กำลังคอนกรีตที่อายุ 70 วันเท่ากับ 646 กก/ช.ม.<sup>2</sup> โดยน้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้มีสารหลักคือ Naphthalene Acid

ในส่วนของพฤติกรรมการตัด Bloem และ Gaynor<sup>(35)</sup> กับ Rognon, ursella และ Coppetti<sup>(4)</sup> พบว่าเมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังตัดประลัยอย่างมาก โดย Rognon, ursella และ Coppetti กล่าวว่า ผลของโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังทางกลที่สูงกว่าของคอนกรีตกำลังสูง จะไม่มีผลเสียต่อความเหนียว (ductility) ของคาน Nedderman<sup>(36)</sup> ได้ศึกษาการกระจายของหน่วยแรงอัดในรูปของการกระจายเป็นรูปสี่เหลี่ยมของคอนกรีตที่มีกำลังอัดในช่วง 550-1000 กก/ช.ม.<sup>2</sup> และได้นำมาใช้ค่า Parameter สำหรับคานคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า 800 กก/ช.ม.<sup>2</sup>

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนข้อบัญญัติ AC1 (318-71) แต่ Wang shah และ Naaman <sup>(๓๗)</sup> กล่าวว่าในทางตรงกันข้าม ข้อบัญญัติของ AC1 (318-71) สามารถทำนายน้ำหนักประลัยของคานคอนกรีตเสริมเหล็กทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงได้ใกล้เคียงเพียงพอแล้ว Leslie, Rajagopalan และ Everard <sup>(๓๘)</sup> ทำการทดลองคานคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีกำลังอัดของคอนกรีต ๕๖๒-๘๒๖ กก/ซ.ม.<sup>๒</sup> แนะนำให้ใช้หน่วยแรงอัดเป็นรูปสามเหลี่ยมจะให้ผลที่ปลอดภัยกว่าการวิเคราะห์แบบอื่น และเนื่องจากคอนกรีตกำลังสูงจะมีความเปราะ (brittle) กว่าคอนกรีตธรรมดาจึงทำให้สูญเสียสภาพพลาสติกเมื่อกำลังสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 คอนกรีตกำลังสูง

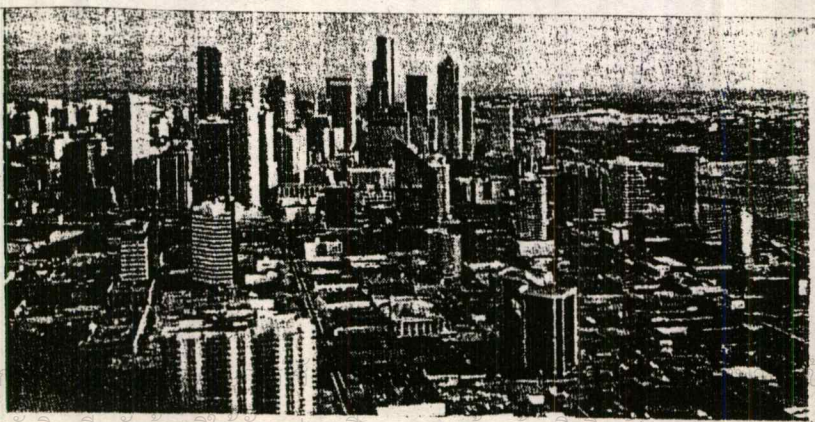
### การเลือกใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง ในการสร้างอาคารที่เร็วที่สุด

"นับวันการใช้คอนกรีตกำลังสูง ซึ่งมีกำลังอัดเกินกว่า 600 กก./ตร.ซม. ก็ยิ่งได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นตามลำดับ จนแทบจะกล่าวได้ว่า ในช่วงระยะเวลานี้ เป็น ทศวรรษแห่งการพัฒนาการใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง"

จากการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางในหลายสถาบัน ทั่วโลก จึงทำให้สามารถนำคอนกรีตกำลังสูง มาประยุกต์ใช้ในโครงสร้างของอาคาร เพื่อนอกจากจะ ทำให้มีความทนทานสูงเป็นพิเศษแล้ว ยังช่วยลดขนาดของโครงสร้างลงได้ อันนำไปสู่ การลดน้ำหนักชิ้นส่วนของโครงสร้าง และประหยัดวัสดุพื้นฐาน ประหยัดแรงงาน ตลอดจน ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายโดยรวม และที่สำคัญที่สุด คือการใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง จะ ทำให้การก่อสร้างเสร็จเร็วขึ้นเป็นอย่างมาก ดังนั้น การก่อสร้างอาคารสูงในต่างประเทศ จึงนิยมใช้คอนกรีตกำลังอัดสูงเป็นอย่างยิ่ง

อาคาร Two Union Square อาคารสูง 58 ชั้น และอาคาร Pacific First Center ซึ่งสูง 44 ชั้น ในเมือง ซีแอตเติล (Seattle) รัฐวอชิงตัน ในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นสองอาคารที่ได้รับการยกย่อง ว่าเป็นผลงานการออกแบบทางวิศวกรรมที่เป็นผลงานเด่นแห่งทศวรรษนี้ โดยเป็นอาคารที่ก่อสร้างเร็วที่สุด คือสามารถสร้างได้ถึง 4 ชั้นภายใน 1 ลับดาห์ และยังเป็นอาคารที่ออกแบบให้ใช้กำลังอัดสูงที่สุดถึง 14,000 psi. 1,000 ksc. อาคารนี้ออกแบบทางวิศวกรรมโยธา โดย บริษัท Skilling ward Magnusson Barkshire Inc. ซึ่งมีชื่อเสียงเป็นที่ยอมรับ ตลอดจนมีผลงานที่ได้รับรางวัลการออกแบบทางวิศวกรรมโยชามากมาย

รูปที่ 2.1 ▶



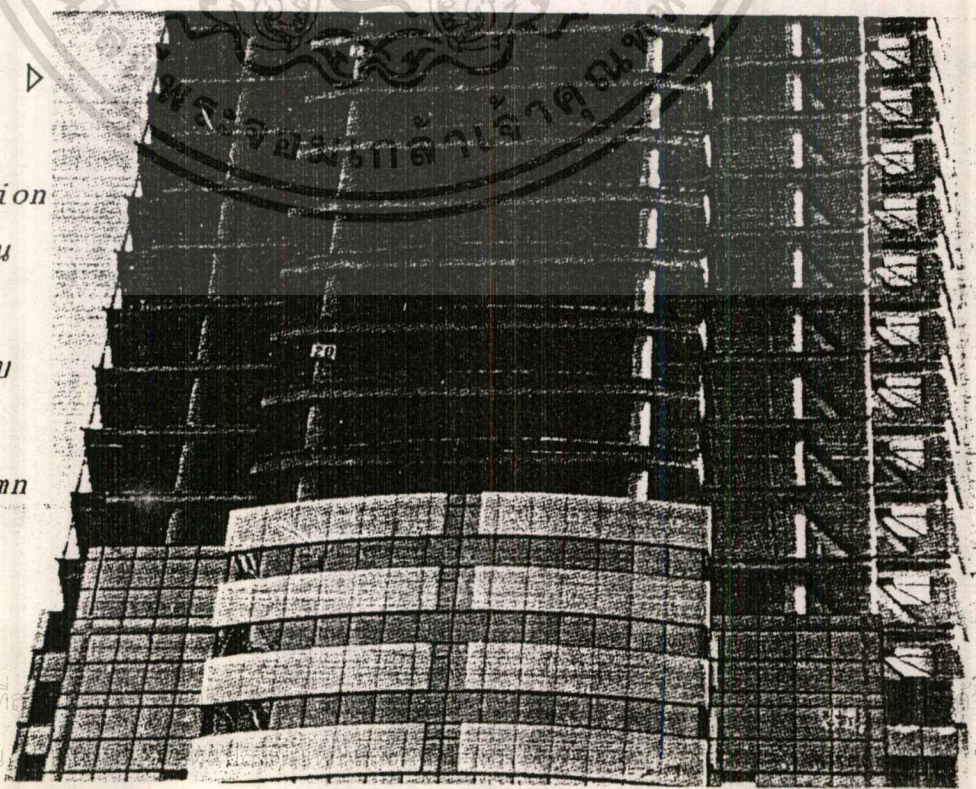
บรรดาอาคารสูงในเมือง ซีแอตเติล (Seattle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิศวกรรมโยชานี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลึกทั้งหมามีเหตุผลเพียงพอที่จะต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ประโยชน์ด้านการค้า

เนื่องจากอาคาร Two Union Square นี้ จัดได้ว่าเป็นอาคารที่  
 ค่อนข้างสูง จึงอาจได้รับผลกระทบจากแรงลมได้ ผู้ออกแบบจึงได้วางเงื่อนไข  
 การออกแบบอาคารให้ผู้ที่อยู่อาศัยบนอาคารได้เพียง 1% รู้สึก หรือเห็นการไหวของอา  
 คาร์ใน 10 ปี ดังนั้น การออกแบบจึงจำเป็นต้องเลือกใช้คอนกรีตที่มีค่า Stiffness  
 สูง โดยออกแบบคอนกรีตให้มีค่า Modulus of Elasticity ( $E$ ) สูงกว่า  
 คอนกรีตปกติที่ใช้อยู่ถึง 2 เท่า ซึ่งค่า  $E$  นี้ จะผันแปรโดยตรงกับกำลังอัด  
 ของคอนกรีต สำหรับในส่วนของโครงสร้างอาคาร ได้กำหนดให้ใช้เสาหลักกลางอาคาร  
 4 ต้น แต่ละต้นมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร และเสาโดยรอบอีก 14 ต้น มีเส้นผ่าศูนย์กลาง  
 กลางต้นละ 1.2 เมตร เสาทั้งหมดนี้ เป็น Composite Column ด้านนอกเป็น  
 ปลูกเหล็ก (Thin wall Steel Shell) หนา 16 มิลลิเมตร ยาวท่อนละ 7.2  
 เมตร ส่วนด้านในใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง ไม่มีเหล็กเสริม (Reinforce Steel)  
 เหมือนเสาอาคารทั่ว ๆ ไป แต่ยังมี Shallow Shear Studs อยู่ทุก ๆ 30 เซนติ  
 เมตร สำหรับคานของอาคารเป็นคานเหล็ก พื้นอาคารใช้ Metal Deck วางพาดบน  
 คาน แล้วเทคอนกรีตบนพื้น Metal Deck เมื่อเทคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว จะมีการพ่นปิด  
 ส่วนที่เป็นโครงสร้างเหล็กทั้งหมดด้วยวัสดุกันไฟ (Fire Proofing)

รูปที่ 2.2 ▷

อาคาร Two Union  
 Square สูง 58 ชั้น  
 ขณะทำการก่อสร้าง  
 มองเห็นเสาโดยรอบ  
 อาคาร ซึ่งเป็น  
 Composite Column  
 และพื้นอาคารเป็น  
 Metal Deck วาง  
 บนคานเหล็ก



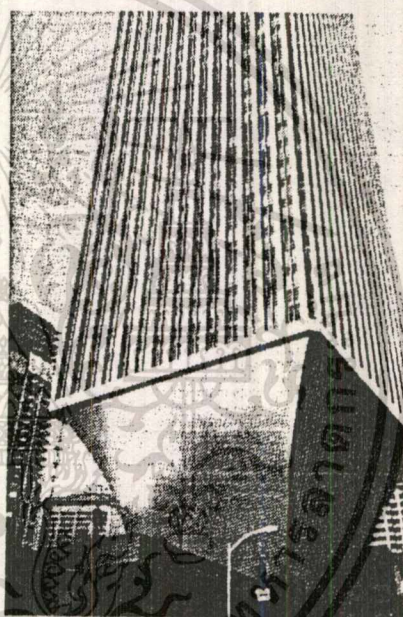
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่  
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น

จากการวิเคราะห์ของวิศวกรโครงสร้าง ถ้ำสร้างอาคาร ๒๘ ชั้น โดยใช้ Steel frame ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด จะใช้เหล็ก 110-130 กิโลกรัม/ตารางเมตร แต่การที่อาคาร Two Union Square ออกแบบในลักษณะดังกล่าว และใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง จึงทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับโครงอาคาร (Frame Cost) มีค่าลดลงถึง 30% เมื่อเทียบกับการออกแบบโดยใช้โครงอาคารเหล็กทั้งหมด

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การพิจารณาเลือกใช้ คอนกรีตกำลังอัดสูงนั้น นับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการออกแบบที่สมบูรณ์แบบ ประกอบกับ มีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย จึงทำให้สามารถก่อสร้างอาคาร ได้เร็วที่สุดถึง 4 ชั้น ต่อ 1 สัปดาห์ แต่สิ่งที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นก็คือ ทำอย่างไรจึงจะ

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ให้ได้ตรงตามกำลังอัด ที่กำหนดไว้ถึง 1,000 ksc. ซึ่งทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการ คัดเลือกวัสดุ และการกำหนดส่วนผสมคอนกรีตตลอดจน ควบคุมคุณภาพคอนกรีตในทุกขั้นตอน และในท้ายที่สุด รวมถึงควบคุมการเทคอนกรีตด้วย

สำหรับในรายละเอียดทั้งหมดของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ให้ได้ตรงตามกำลังอัด 1,000 ksc. นั้น จะได้นำเสนอต่อไป



รูปที่  
2.3

หนึ่งในอาคารที่ออกแบบโดยบริษัท

Skilling ward Magnusson Barkshire Inc.

### การออกแบบคอนกรีตกำลังอัดสูง ในการก่อสร้างอาคารที่เร็วที่สุด

ในหัวข้อที่แล้วมา ทำให้เราทราบถึงการออกแบบในส่วนโครงสร้างของอาคาร Two Union Square แล้ว ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัด (fc') สูงถึง 1,000 ksc. อันเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบที่สมบูรณ์แบบที่สุดของอาคารนี้ จนทำให้สามารถก่อสร้างอาคารได้เร็วที่สุด

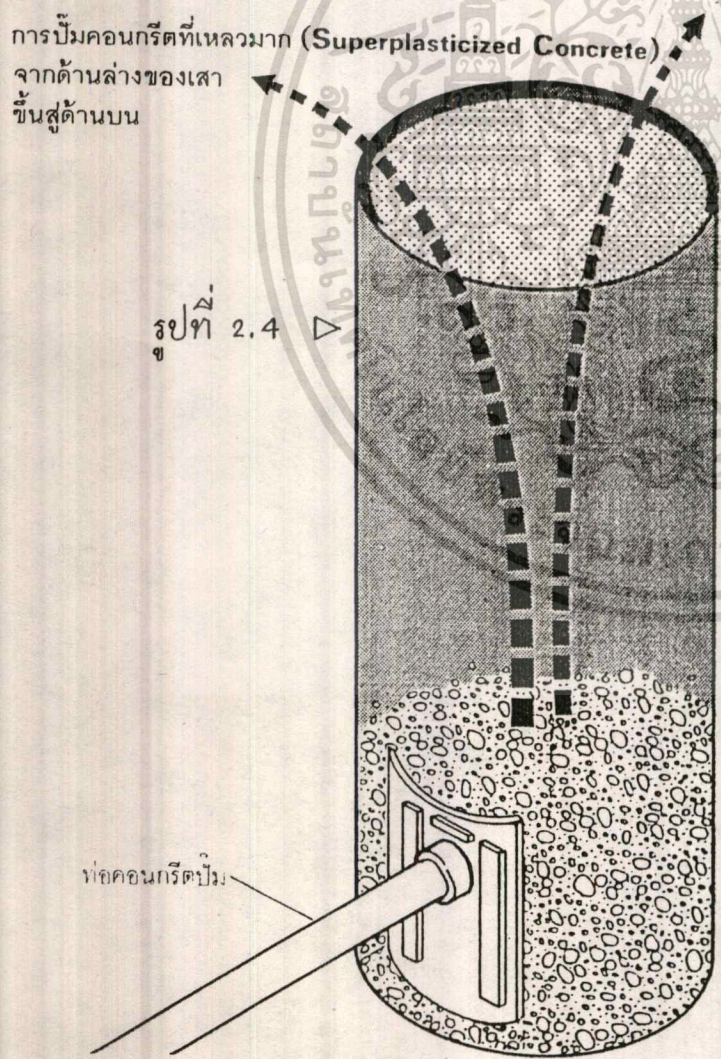
การออกแบบ "คอนกรีตกำลังอัดสูง" สำหรับอาคารนี้ เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ส่วนส่วนผสม และสัดส่วนการผสมตังน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปูนซีเมนต์** เลือกใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ปริมาณ 560 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร หิน ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงนั้น หินนับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณมากที่สุด ในมวลคอนกรีต และคุณสมบัติของหินมีผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตมาก อาคารนี้จึงเลือกใช้กรวด (Strong Glacial Aggregate) ขนาด 3/8 นิ้ว ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีความแข็งมาก ในปริมาณ 1,125 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

**ทราย** จะเป็นส่วนเสริมในช่องว่างของหิน และเป็นส่วนประกอบสำคัญของ Cement Paste ทำหน้าที่ยึดเกาะหินเข้าด้วยกัน ทรายที่จะนำมาผสมคอนกรีตกำลังอัดสูงนั้นจะต้องนำมาล้างฝุ่นออกให้สะอาด และให้มีความชื้นน้อยที่สุด รวมทั้งทรายควรมีความหยาบกว่าปกติ โดยมีค่า F.M. 3.20 ในที่นี้ใช้ปริมาณทราย 655 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร



**น้ำยาผสมคอนกรีต** ใช้เพื่อเพิ่มการไหลลื่นของคอนกรีต และช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยที่พยายามให้คอนกรีตมีความหนาแน่นมากขึ้นด้วย ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต น้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้ในอาคารนี้ มีด้วยกัน 2 ชนิดคือ น้ำยาลดน้ำ (water Reducing) และน้ำยาลดน้ำปริมาณมาก (Superplasticizer)

และนอกจากนี้ ยังเลือกใช้ Microsilica ในปริมาณ 56 ลิตร / ลูกบาศก์เมตร ทำปฏิกิริยาก่อให้เกิดกาวเชื่อมประสานระหว่างมวลต่างๆ และอุดประสานช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ จึงทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่สูงขึ้นอย่างมาก จากส่วนผสมทั้งหมดนี้ จะได้คอนกรีตที่มีค่ายบตัวมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 20 เซนติเมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปส่วนผสมคอนกรีตต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับอาคาร Two Union Square

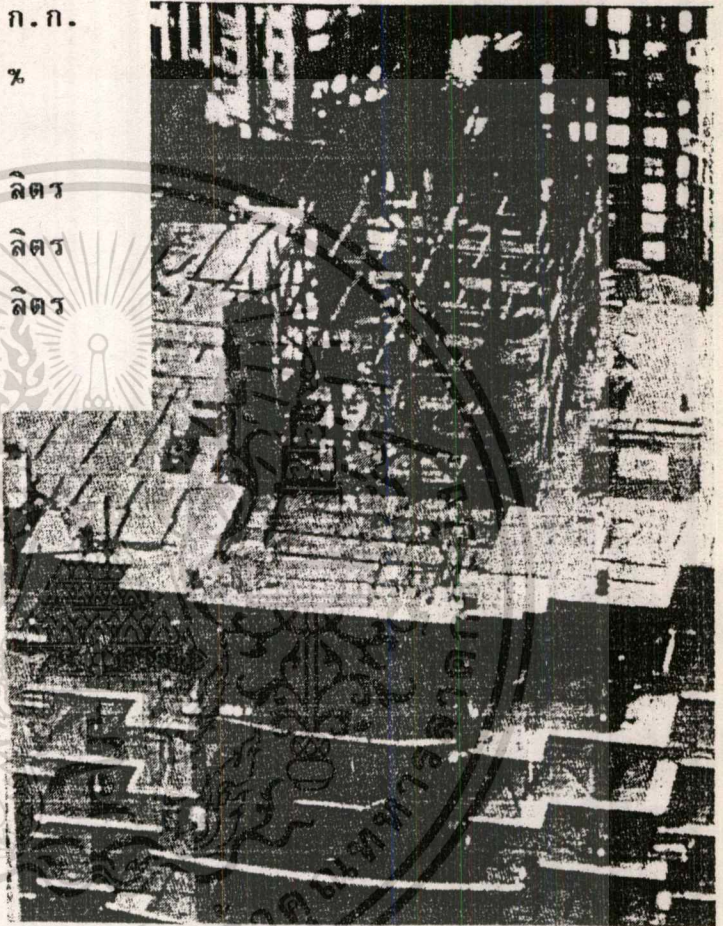
ปูนซีเมนต์	560 ก.ก.
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	0.22
หิน	1,125 ก.ก.
ทราย	655 ก.ก.
อัตราส่วนทรายต่อมวลรวม	37 %
น้ำยาผสมคอนกรีต	
- น้ำยาลดน้ำ	2.5 ลิตร
- น้ำยาลดน้ำปริมาณมาก	10.4 ลิตร
Microsilica	56 ลิตร

#### การเทคอนกรีตกำลังอัดสูง

คอนกรีตกำลังสูงนี้ใช้เฉพาะในส่วน  
ของเสาหลักของอาคาร 4 ต้น การเท  
คอนกรีตเสา ของอาคารนี้ มีวิธีการทำ  
งานที่แตกต่างจากงานเทเสาของอาคาร  
ทั่ว ๆ ไป หลายประการ เช่น

1. ใช้คอนกรีตปั๊ม ปั๊มคอนกรีตจาก  
ด้านล่างของเสาขึ้นไปด้านบน ในการเท  
คอนกรีตเสาหลัก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  
3 เมตร จะเทคอนกรีตแต่ละครั้ง จนได้  
ความสูง 7.2 เมตร ปริมาณคอนกรีตใน  
การปั๊มแต่ละครั้ง ประมาณ 50 ลูกบาศก์  
เมตร เมื่อเทคอนกรีตเสร็จ จะเชื่อมปิด  
บริเวณด้านล่างของเสาที่ต่อท่อคอนกรีตปั๊ม

2. ไม่มีการฉีดเข้าคอนกรีตในเสา  
การปั๊มคอนกรีตจากด้านล่าง ขึ้นไปด้านบน ทำให้คอนกรีตที่เทในเสา อัดแน่น และไม่มี  
ฟองอากาศ



รูปที่ 2.5  
รูปตัด

เสาหลักขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร  
จำนวน 4 ต้น ที่ใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง  
1,000 ksc.

จากการออกแบบคอนกรีตที่เหลวมาก และ  
ทำให้คอนกรีตที่เทในเสา อัดแน่น และไม่มี

#### การควบคุมคุณภาพของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผู้ใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ผ่านการคัด  
การใช้คอนกรีตกำลังอัดสูงมาก จะต้องมี การควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวดใน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุก ๆ ขั้นตอน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลง จากการควบคุมคุณภาพโดยทั่ว ๆ ไป ที่สำคัญมี 4 ประการ คือ

1. เปลี่ยนขนาดก้อนตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลง คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10x20 เซนติเมตร จากเดิมที่ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15x30 เซนติเมตร
2. ใช้การขัดผิวหน้าก้อนตัวอย่าง (Grinding) แทนการ Cap ด้วย Capping Compound ที่ใช้ทั่ว ๆ ไป ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าก้อนตัวอย่าง
3. บ่มก้อนตัวอย่างในน้ำปูน (Lime water) แทนการบ่มใน Fog Room เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิ ได้ดีกว่า ทำให้ความแปรผัน ของกำลังอัดคอนกรีตน้อย
4. เก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตเพิ่มจาก 3 ก้อน ทุก ๆ 50 ลูกบาศก์เมตร เป็น 18 ก้อน ทุก ๆ 70 ลูกบาศก์เมตร เพื่อนำมาทดสอบที่อายุคอนกรีต 7, 28, 56, 81, 182 และ 365 วัน

ผลการทดสอบกำลังอัดเฉลี่ยที่อายุคอนกรีต 56 วัน ได้ค่ากำลังอัดสูงถึง 1,330 ksc. ซึ่งสูงกว่าที่ออกแบบไว้ 1,000 ksc.

#### คอนกรีตกำลังอัดสูงในประเทศไทย

ที่ผ่านมาในประเทศไทย มีการใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง เฉพาะงานคอนกรีตอัดแรงเท่านั้น อันได้แก่ งานเสาเข็ม, คานสะพาน, พylon เจริญรูป เป็นต้น โดยได้ใช้กันมาเป็นเวลานานมาแล้ว และเป็นที่ยอมรับกันมากในคุณภาพและประสิทธิภาพของคอนกรีตกำลังอัดสูงนี้ แต่ในปัจจุบัน คอนกรีตกำลังอัดสูง ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในเชิงวิศวกรรม คือ ทำให้โครงสร้างอาคารที่มีความทนทาน (durability) สูงขึ้น ขนาดโครงสร้าง เช่น เสา, คาน มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้น้ำหนักรวมของโครงสร้างอาคารลดลง เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างฐานราก รวมทั้งยังได้ประโยชน์ในทางอ้อม คือ ได้พื้นที่ใช้สอยที่เพิ่มขึ้นมา เพราะขนาดเสา, คาน เล็กลง คาดว่าในอนาคตอันใกล้ นี้ จะมีการนำคอนกรีตกำลังสูง มาใช้ในงานก่อสร้างมากยิ่งขึ้น เพราะทุกฝ่ายได้ตระหนักถึงความสำคัญ และให้ความสนใจกันอย่างจริงจัง

ล่าสุด คอนกรีตผสมเสิร์จ ซีเมนต์ ได้พัฒนาคอนกรีต ให้มีกำลังอัดสูงถึง 820 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และยังมีแนวโน้มที่จะพัฒนาคอนกรีตกำลังอัดสูงต่อไป

#### เทคโนโลยีการก่อสร้างขึ้นที่ดินที่ลึกที่สุด

"เขาวราช" ท่าเลทองของธุรกิจแหล่งหนึ่งของกรุงเทพฯ ที่ประสบกับปัญหาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การกอสร้างอาคารธุรกิจบนถนนสายนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงปัญหาใน อาคาร "อินเตอร์เนชั่นแนล เทรคเซ็นเตอร์" หรือในชื่อที่เราๆ รู้จักกันว่า "อินเตอร์เทรดฯ" อาคารศูนย์รวมธุรกิจนานาชาติสูง 31 ชั้น อาคารล่าสุดบนถนนสายนี้ จึงสร้างที่จอดรถเพียงพอต่อความต้องการ

อาคาร "อินเตอร์เทรดฯ" เป็นอาคารแห่งแรก และแห่งเดียวในประเทศไทย ในปัจจุบันที่สร้างที่จอดรถชั้นใต้ดินที่ลึกที่สุด ถึง 6 ชั้น หรือลึกลงไปประมาณ 18 เมตร และในแง่ของการก่อสร้าง นับเป็นประวัติศาสตร์ในวงการก่อสร้างไทย ที่ได้นำเอาเทคโนโลยีใหม่ล่าสุด คือ การสร้างผนังกันดิน (diaphragm wall) และ Top Down Construction มาใช้เป็นครั้งแรก งานก่อสร้างในครั้งนี้ จึงนับว่าเป็นกรณีตัวอย่างที่ควรจะศึกษาเป็นอย่างยิ่ง สำหรับขั้นตอนการก่อสร้างที่สำคัญ และน่าสนใจ มีดังนี้ ผนังกันดิน..... เทคโนโลยีล่าสุดของไทย

สำหรับงานก่อสร้างส่วนแรก ของอาคารอินเตอร์เทรดฯ นี้ ได้เลือกใช้เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ แทนการใช้เสาเข็มตอก เพื่อขจัดปัญหาความเสียหายของอาคารข้างเคียง เสาเข็มเจาะที่ใช้มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 1.5 เมตร เมื่องานเสาเข็ม เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนสำคัญต่อไป คือ การสร้างผนังกันดิน (diaphragm wall) รอบบริเวณอาคารแทนการตอกแผ่นเหล็กกันดิน (Sheet pile) เหมือนการก่อสร้างอาคารทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 2.6

อาคาร อินเตอร์เทรด...

เอกสารนี้... ไม่ว่า... ประโยชน์ด้านการค้า... ครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างผนังกันดิน (Diaphragm wall) นี้ เป็นเทคโนโลยีล่าสุดในวงการก่อสร้างของไทย เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการก่อสร้างชั้นใต้ดิน และป้องกันมิให้เกิดปัญหาอาคารข้างเคียงทรุดหรือร้าว อีกทั้งยัง ทำหน้าที่รับน้ำหนักโครงสร้างของอาคารด้วย โดยผนังกันดินนี้ จะเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความหนา 80 เซนติเมตร วิธีการก่อสร้างผนังกันดินนี้ ใช้วิธีเดียวกับการทำเสาเข็มเจาะ คือ ใช้หัวเจาะขุดดินลงไปถึงระดับความลึก ที่คำนวณไว้คือที่ 26 เมตรและ 50 เมตร ในขณะที่ขุดดิน ต้องใส่สารละลายเบนโทไนท์ ลงในหลุมที่เจาะ เพื่อป้องกันดินด้านข้างพัง จากนั้นจึงลงเหล็กเสริมและท่อเทรมมี ซึ่งคอนกรีตที่เทจะต้องเหลวมาก และต้องเทคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ต้นจนจบ

**การก่อสร้างชั้นใต้ดินที่ลึกที่สุด**

การก่อสร้างชั้นใต้ดิน ของอาคารอินเตอร์เทรดฯ ใช้ระบบการก่อสร้างแบบ Top Down Construction คือสร้างจากพื้นดินลง ไปทีละชั้นจนถึงความลึกของชั้นสุดท้าย แล้วจึงทำฐานรากเป็นลำดับต่อมา โดยมีวิธีการก่อสร้างดังนี้

เมื่องานเสาเข็มเจาะ และผนังกันดินเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็เริ่มทำ Plat Form เพื่อให้การขุดดินและการลำเลียงดิน ทำได้โดยสะดวก จากนั้นก็สร้างพื้นชั้นใต้ดินที่ 1 (B1) โดยเว้นช่องเปิดขนาด 4x4 เมตร จำนวน 3 ช่อง เพื่อทำการขุดดินชั้นต่อ ๆ ไป โดยเว้นพื้นชั้นใต้ดิน ชั้นที่ 2 (B2) ไว้ แล้วใช้รถ Back Hoe ขนาดเล็ก ขุดดินลึกลงไปประมาณ 6 เมตร เพื่อทำพื้นชั้นใต้ดินชั้นที่ 3 (B3) และใช้วิธีการเดียวกันนี้ จนกระทั่งถึงชั้นที่ 5 (B5)

เมื่อทำพื้นชั้นใต้ดิน ชั้นที่ 5 (B5) เสร็จแล้วก็จะขุดดินลงไปอีก 6 เมตร เพื่อทำฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ โดยจะเทคอนกรีตหนาถึง 3 เมตร ส่วนบนของฐานรากนี้ จะใช้เป็นพื้นห้องใต้ดินชั้นที่ 6 (B6) หลังจากนั้นก็จะกลับมาทำพื้นชั้นใต้ดินชั้นที่ 2 (B2) และชั้นที่ 4 (B4) แล้วทำเชิงลาด เพื่อเชื่อมต่อระหว่างชั้น ก็เป็นอันเสร็จสิ้น การสร้างชั้นใต้ดินที่มีความลึกถึง 18 เมตรนี้

งานคอนกรีตสำหรับฐานรากที่มีขนาดใหญ่ และมีความหนาถึง 3 เมตร และใช้ปริมาณคอนกรีตถึง 5,000 ลูกบาศก์เมตร นับว่าเป็นงานสำคัญอีกส่วนหนึ่ง เพราะคอนกรีตที่ใช้ จะต้องมีความสมบัติพิเศษ คือ เหลวพอที่จะไหลผ่านราง และท่อลงสู่ฐานรากที่อยู่ลึกถึง 18 เมตร โดยไม่มีการแยกตัว และต้องใช้ปูนซีเมนต์น้อยที่สุด เพื่อลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อันเป็นการป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยทั้งนี้ เนื่องมาจากคอนกรีตนั้น จะต้องมีกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 280 กิโลกรัม/ตร.ซม. หรือกำลังอัดรูปทรงกระบอก 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. และมีค่ายุบตัวมากกว่า 20 เซนติเมตร

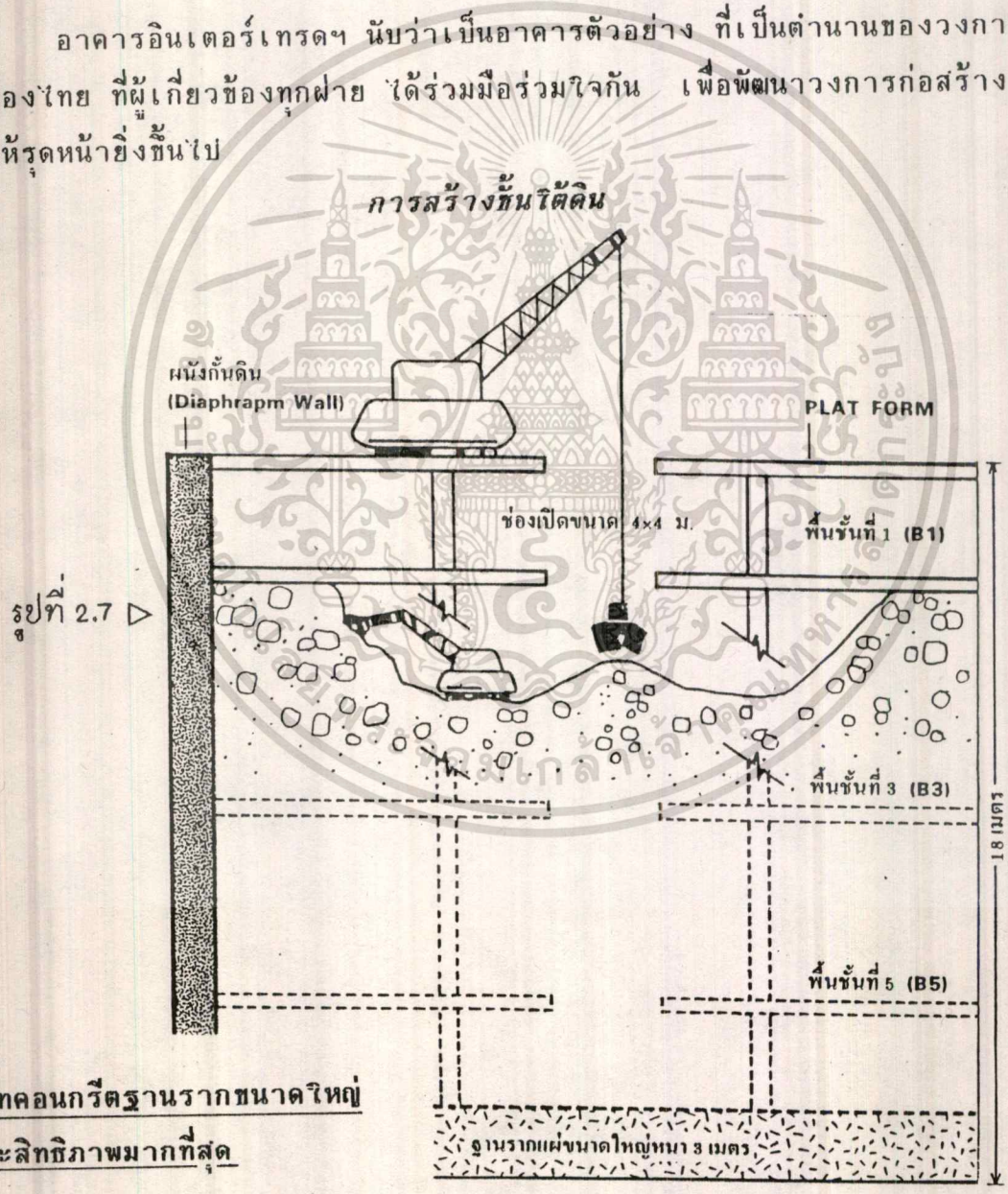
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรับทราบเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งแพค จึงได้พัฒนาส่วนผสมคอนกรีต เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนด โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ 325 กิโลกรัม/ลบ.เมตร และใช้น้ำยาผสมคอนกรีต ชนิดพิเศษ Superplasticizer ช่วยทำให้คอนกรีตเหลว แต่ได้กำลังอัดตามต้องการ

ในเรื่องของการบ่มคอนกรีต ก็ใช้วิธีพิเศษ ที่แตกต่างจากการบ่มคอนกรีตโดยทั่ว ๆ ไป คือ ใช้กระสอบชื้น ๆ และพลาสติกคลุมทั่วบริเวณ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเนื้อคอนกรีต และอุณหภูมิภายนอก ไม่ให้แตกต่างกันเกินไป อันจะทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

อาคารอินเตอร์เทรตฯ นับว่าเป็นอาคารตัวอย่าง ที่เป็นตำนานของวงการก่อสร้างของไทย ที่ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ได้ร่วมมือร่วมใจกัน เพื่อพัฒนาวงการก่อสร้างของไทย ให้รุดหน้ายิ่งขึ้นไป



**การเทคอนกรีตฐานรากขนาดใหญ่ ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด**

ปัจจุบัน ที่ดินมีราคาสูงขึ้นอย่างมาก เจ้าของอาคาร จำเป็นต้องใช้ประโยชน์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในที่อื่นโดยมิได้รับอนุญาต จากที่ดินนนทบุรีเดิมที โดยพยายามสร้างอาคารให้สูงขึ้น อาคารสูงเหล่านั้น ส่วนใหญ่ ผนวกกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

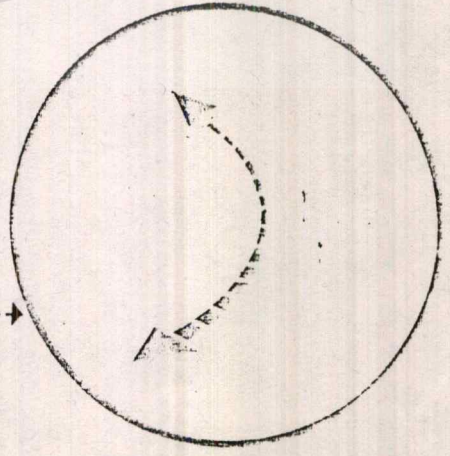
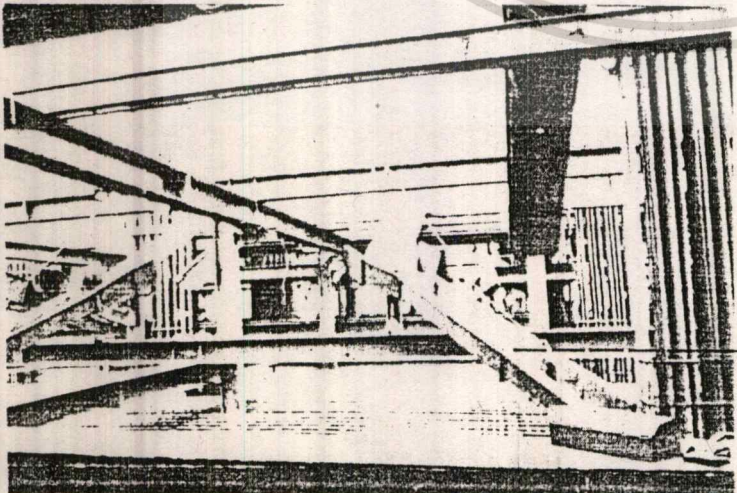
วิศวกรผู้ออกแบบ จะเลือกออกแบบเป็นฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ (MAT-FOUNDATION) การเตรียมงานก่อนการเทคอนกรีตฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ของอาคาร ซีทีไอ พลาซ่า ซึ่งมีการเตรียมงานได้ดีที่สุดโครงการหนึ่ง โดยแบ่งเป็นขั้นตอนการเตรียมงานหลักๆ 4 ขั้นตอนคือ **การเตรียมสถานที่ให้รถเข้าเทคอนกรีต**

ผู้รับเหมา ได้เตรียมสถานที่ให้รถคอนกรีตผสมเสร็จเข้าเทคอนกรีตอย่างดีมาก กล่าวคือ ผู้รับเหมาได้ทำถนน โดยรอบของฐานราก ที่มีขนาด 26 x 42 เมตร ขึ้น โดยใช้รถดัดดินจนแน่น หลังจากนั้น ได้ใช้แผ่นเหล็กปูอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้รถวิ่งบนแผ่นเหล็กนี้

นอกจากนี้ ผู้รับเหมา ยังได้ออกแบบ และจัดทำสะพานเหล็กกว้าง 4 เมตร อีก 4 แห่ง เพื่อให้รถผสมคอนกรีตเข้าไปเทได้อย่างสะดวก และทั่วถึง และยังได้มีการจัดทำเครื่องหมายจราจรไว้ทั่วบริเวณการก่อสร้าง เพื่อให้รถผสมคอนกรีตวิ่งเข้าออกได้อย่างมีระบบ

**การเตรียมอุปกรณ์ลำเลียงคอนกรีต**

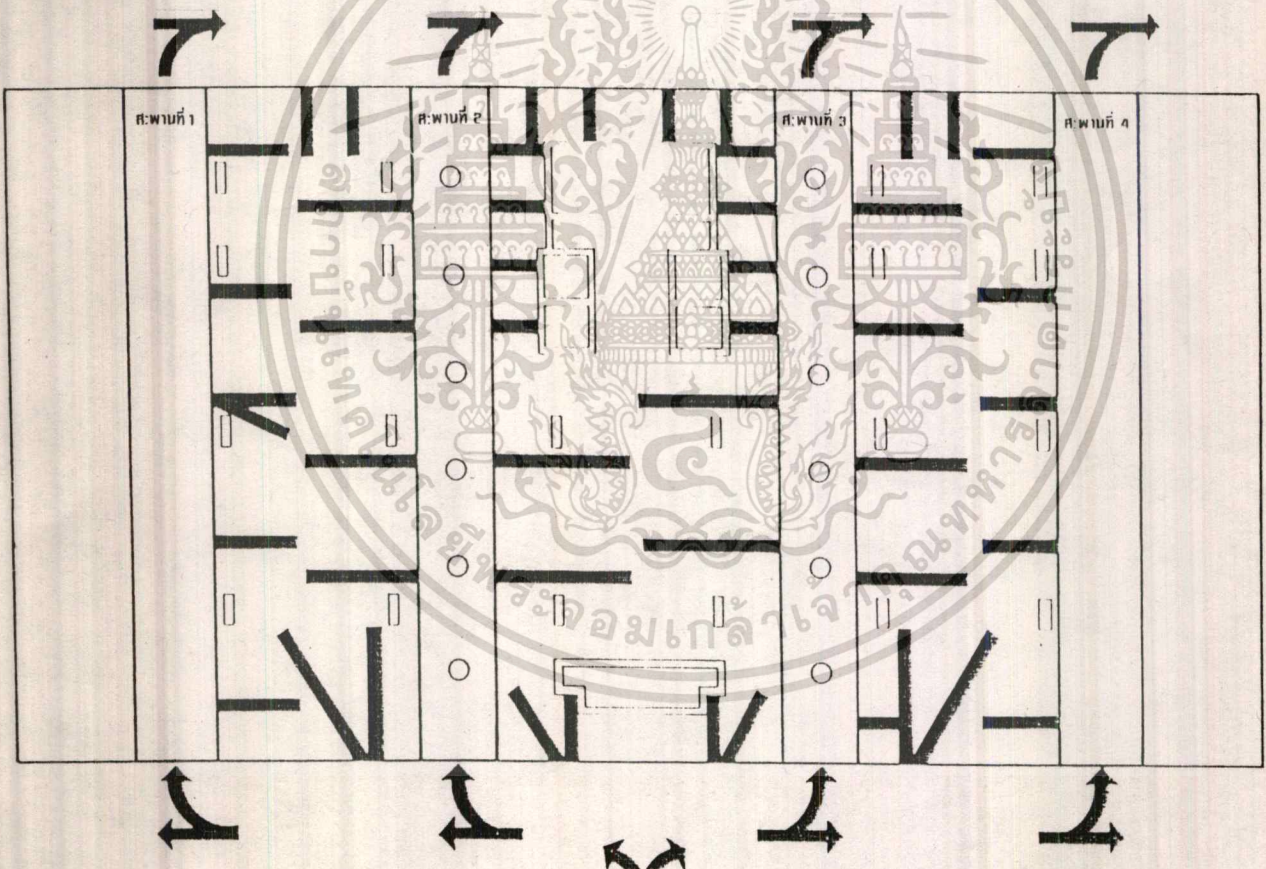
การลำเลียงคอนกรีต สำหรับงานฐานรากขนาดใหญ่ โดยทั่วไปทำได้ 2 วิธี คือ การลำเลียงผ่านรางหรือท่อ และการลำเลียงโดยคอนกรีตปั๊ม งานนี้ผู้รับเหมาเลือกวิธีลำเลียงผ่านราง หรือท่อ โดยกำหนดจำนวน และตำแหน่งของราง หรือท่อ อย่างเหมาะสม ทำให้การเทคอนกรีตเป็นไปอย่างรวดเร็ว จำนวนรางและท่อลำเลียงคอนกรีต มีทั้งสิ้น 60 แห่ง โดยเป็นรางที่ทำจากซีทีไฟล์ (Sheet pile) 48 แห่ง กระจายทั่วไป รอบ ๆ ฐานราก และบนสะพานทั้ง 4 สะพาน รางแต่ละแห่ง จะมีเลขหมายกำกับไว้เป็นอย่างดี เพื่อบอกให้คนขับรถคอนกรีตผสมเสร็จเข้าเทได้อย่างสะดวกและถูกต้อง



รูปที่ 2.8 วัสดุนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานพิเศษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในโครงการค้า  
รูปที่ 2.8 วัสดุนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานพิเศษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในโครงการค้า  
รูปที่ 2.8 วัสดุนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานพิเศษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในโครงการค้า

นอกจากนี้ บางบริเวณ ผู้รับเหมาฯ ยังได้ทำรางลำเลียงคอนกรีต ต่อจาก ซีพไพล์ โดยรางนี้ มีจุดเด่น 2 ประการ คือ สามารถหมุนได้ 180 องศา รวมทั้งสามารถเพิ่มหรือลดความยาวได้ โดยการพับ หรือยืดปลายรางได้ในขณะเทคอนกรีต คอนกรีตจะไหลจากรางซีพไพล์ไปสู่รางที่หมุนได้นี้ คนงานจะหมุนรางให้เทคอนกรีตได้ทั่วบริเวณเมื่อเทบริเวณใกล้ ๆ เติมแล้ว ก็จะมีรางชั้น 1 ช่วง เพื่อเทคอนกรีตในบริเวณใกล้ ๆ ต่อไป วิธีการนี้ มีประสิทธิภาพมาก ไม่ต้องใช้คนงานจำนวนมาก ในการเทคอนกรีตจากปลายรางซีพไพล์ สู่บริเวณอื่น ๆ โดยรอบ

นอกจากรางที่ทำจากซีพไพล์แล้ว บริเวณใต้สะพาน ได้มีการติดตั้งท่อ ด้านบน เป็นกรวยสำหรับลำเลียงคอนกรีต อีก 12 แห่ง เพื่อสะดวกในการลำเลียงคอนกรีตสู่บริเวณใต้สะพาน



รูปที่ 2.9 ทางเข้าออก สำหรับรถผสมคอนกรีต ตำแหน่งรางและท่อเทคอนกรีต

#### การเตรียมคนงานและเครื่องจักรคอนกรีต

การเตรียมกำลังพล และอุปกรณ์ที่เหมาะสม ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่จะทำให้งานเทคอนกรีตฐานรากขนาดใหญ่ มีประสิทธิภาพมากที่สุด งานนี้ได้เตรียมคนงานไว้ทั้งสิ้น 60 คน วิศวกร และหัวหน้างานอีก 10 คน และได้เตรียมอุปกรณ์จักรคอนกรีตไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(vibrator) จำนวน 24 หัวจึง นอกจากนี้ ยังมีการเตรียมพนักงานประจำทาวเวอร์  
เครน อีก 1 คน ไว้ใช้ในกรณีฉุกเฉินด้วย

**การเตรียมงานของผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ**

การเทฐานรากขนาดใหญ่เช่นนี้ จำเป็นต้องเทคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง ตั้ง  
แต่ต้นจนจบ ดังนั้น ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ จะต้องเตรียมทั้งจำนวนโรงงาน วัตถุประสงค์  
และรถผสมคอนกรีตอย่างเพียงพอ รวมทั้งยังต้องสำรองโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ ถ้ามี  
ปัญหา หรืออุปสรรค ณ โรงงานใดโรงงานหนึ่ง ก็ใช้โรงงานสำรองนี้ ส่งคอนกรีต เพื่อ  
ความต่อเนื่องในการจัดส่งคอนกรีต

งานที่ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ ต้องจัดเตรียมโรงงานไว้ทั้งสิ้น 5 โรงงาน  
และสำรองไว้ 2 โรงงาน จำนวนรถผสมคอนกรีตผสมเสร็จ 50 คัน และได้เตรียมทีม  
งานที่ประกอบด้วยวิศวกร หัวหน้างาน และพนักงานควบคุมคุณภาพ ทั้งสิ้น 5 คน พร้อม  
วิทยุติดต่อสื่อสาร ที่จะประสานงานระหว่างหน่วยงานก่อสร้าง โรงงาน ศูนย์จ่ายงาน  
และรถผสมคอนกรีต ได้อย่างครอบคลุมทุกฝ่าย

นอกจากการเตรียมงานก่อนการเทคอนกรีตที่ตีแล้ว การเลือกวัน และเวลา  
ที่จะเทคอนกรีต ก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ โดยปกติแล้ว การเทฐานรากขนาดใหญ่ จะ  
เทคอนกรีต เวลากลางคืน หรือในวันหยุดราชการ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจราจร โครงการ  
นี้เลือกเทคอนกรีตในวันเสาร์ โดยเริ่มตั้งแต่ 8.30 น. และในวันเทคอนกรีต ผู้รับ  
เหมาได้จัดพนักงานไว้ที่ประตูทางเข้า เพื่อบอกคนขับรถผสมคอนกรีต ให้นำคอนกรีตเข้า  
เทในรางที่กำหนด การเทคอนกรีต 1 คัน (ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เมตร) ใช้เวลา  
เพียงประมาณ 3-5 นาที เท่านั้น การเตรียมงานที่ตีดังกล่าว ส่งผลให้การเทคอนกรีต  
เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมาก ทำให้อัตราการเทคอนกรีตสูงสุด ถึง 260 ลูกบาศก์  
เมตร/ชั่วโมง นับว่าเป็นอัตราที่สูงมาก

**คอนกรีตพิเศษสำหรับงานก่อสร้างเร่งด่วน**

"งานเร่งด่วน" ดูเหมือนว่าจะ เป็นคำที่บรรดาทั้งหลายคุ้นเคยกันดี ในแง่ที่  
ต้องเร่งระดมกำลังคนงาน เพื่อให้งานนั้นเสร็จทันความต้องการ ทว่า ในงานบางอย่าง  
เช่น "งานคอนกรีตเวลา" เป็นสิ่งกำหนดการแล้วเสร็จ และการใช้งานของงานนั้น  
โดยตรง ทำให้การเร่งระดมแรงงานกันเพียงเท่านั้น เพราะว่างานคอนกรีตโดยทั่วไป  
เช่น พื้นถนน พื้นอาคาร จะต้องใช้เวลาภายหลังการเทถึง 28 วัน จึงจะเปิดใช้งานได้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยให้ไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า  
หากแต่ในปัจจุบัน ความก้าวหน้าทางคอนกรีตเทคโนโลยี ได้พัฒนาจนทำให้สามารถ  
แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลิตคอนกรีตพิเศษ สำหรับงานเร่งด่วนได้ ซึ่งคอนกรีตประเภทนี้ สามารถใช้งานได้**  
**ภายหลังการเทเพียง 7 วัน 3 วัน 24 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง**

คอนกรีตพิเศษ สำหรับงานเร่งด่วนนี้ ไม่ใช่เป็นสิ่งแปลกใหม่ในวงการก่อสร้างแต่อย่างใด เพราะมีกานำมาใช้งานอยู่เสมอ ๆ เช่น เมื่อกรมทางหลวงซ่อมผิวจราจรบริเวณใต้สะพานลอยสุทธิสาร ก็ได้มีการใช้คอนกรีตพิเศษ ซึ่งทำให้เปิดใช้งานได้ภายหลังการเทเพียง 18 ชั่วโมงเท่านั้น และล่าสุดทางคอนกรีตผสมเสร็จ ซีแพค ได้นำมาใช้งานเทพื้นถนน ทางเข้าโรงงานประกอบรถยนต์ "สามมิตรมอเตอร์" ตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรสาคร เป็นโรงงานประกอบรถยนต์ และรถจักรยานยนต์ที่ใหญ่ที่สุดรายหนึ่งของประเทศไทย โดยงานเทพื้นถนนนี้ใช้คอนกรีตที่สามารถเปิดให้รถบรรทุกวิ่งได้ภายหลังการเทเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น นับว่าเป็นคอนกรีตที่เปิดใช้งานในเวลาที่น่า้อยมาก พึงดูน่าสนใจไม่น้อย

ต่อไปนี้จะขอพูดถึงรายละเอียดของคอนกรีตที่ใช้ในงานนี้ ว่าเป็น "คอนกรีตพิเศษสำหรับงานเร่งด่วน" นี้ พิเศษอย่างไร

#### **คุณสมบัติของคอนกรีตที่พืงมี**

การเทพื้นถนนทางเข้าโรงงานครั้งนี้ ใช้ปริมาณคอนกรีตทั้งหมด 170 ลูกบาศก์เมตร เพื่อให้ในกาเทถนนกว้าง 6.5 เมตร ยาว 130 เมตร และหนา 20 เซนติเมตร ในขณะที่เป็นคอนกรีตสด จะต้องมีมวลแห้งเพียงพอที่จะทำงานได้ โดยต้องมีค่ายุบตัวอยู่ในช่วง 7.5 (+, - 2.5 เซนติเมตร) และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะต้องมีกำลังอัดในรูปทรงลูกบาศก์ ไม่น้อยกว่า 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. ที่อายุคอนกรีต 24 ชั่วโมง

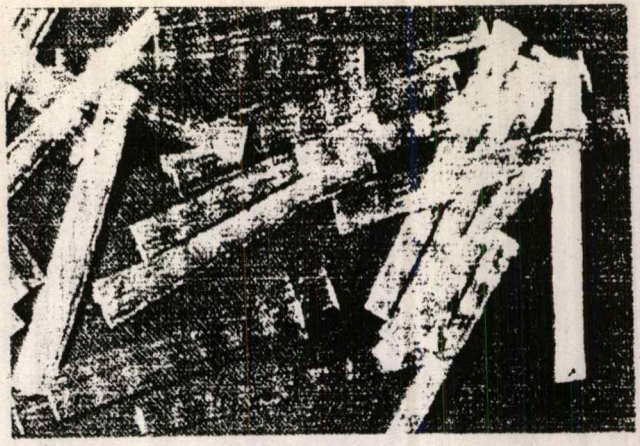
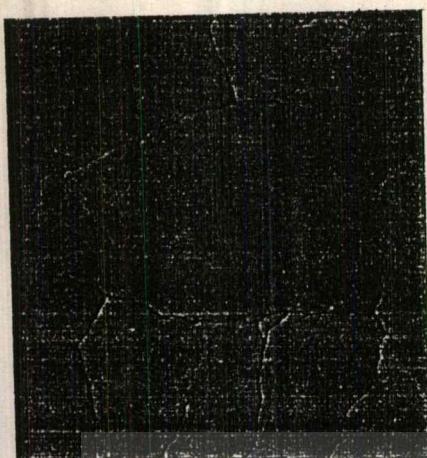
#### **สำคัญที่ส่วนผสมคอนกรีต**

จากคุณสมบัติและข้อกำหนดดังกล่าว จึงจำเป็นต้องพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตขึ้นมาเป็นพิเศษ เงื่อนไขที่นำมาพิจารณาเป็นประเด็นแรก คือ เงื่อนไขด้านกำลังอัด คอนกรีตพิเศษนี้ ต้องมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ต่ำมาก ถึง 0.36 โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 450 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

จากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และปริมาณปูนซีเมนต์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ปริมาณน้ำที่ใช้เพียง 160 ลิตร/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งน้ำจำนวนนี้ ไม่สามารถทำให้คอนกรีตแห้งพอที่จะทำงานได้ จึงต้องใช้น้ำยาผสมคอนกรีต ประเภทที่ลดน้ำจำนวนมาก (super plasticizer) ช่วยลดน้ำได้ 15 - 30 % ทำให้คอนกรีตนี้แห้ง โดยมีค่ายุบตัวประมาณ 10 เซนติเมตร เหมาะสมที่จะนำไปใช้

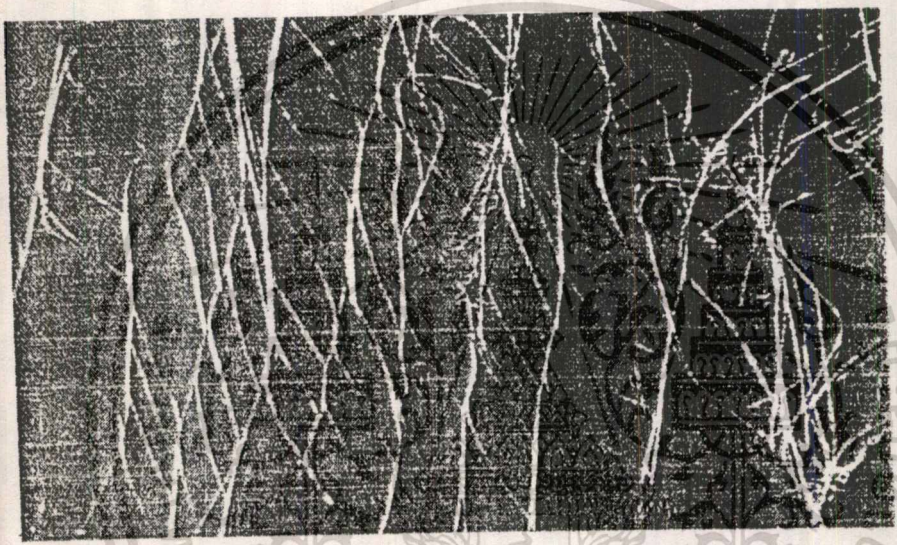
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลักษณะเส้นใย Polypropylene, ก่อนการผสม.

รูปที่ 2.10 ฎี แสดงการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าคอนกรีต



▷ รูปที่ 2.11

ขณะเป็นส่วนผสม

การป้องกันการแตกร้าว

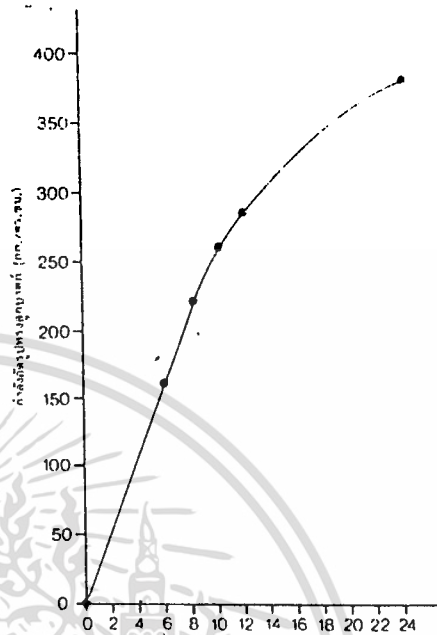
คอนกรีตที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากถึง 450 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร นี้ จะเกิดการหดตัวมาก ก่อให้เกิดการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าคอนกรีต (Plastic Shrinkage Crack) เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว จึงได้ใส่เส้นใย polypropylene ขนาดความยาว 20 มิลลิเมตร ผสมเข้ากับส่วนผสมคอนกรีตอื่น ๆ

เส้นใยนี้ ขณะก่อนผสม จะอยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่ม แต่เมื่อนำมาผสมเป็นส่วนผสมคอนกรีตแล้วจะถูกหิน ทราาย ตีแตกกระจาย ออกเป็นเส้นใยเดี่ยว ผสมอยู่ในส่วนผสมของคอนกรีต โดยจะทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวคอนกรีต ไม่ทำให้เกิดการแตกร้าว บริเวณผิวหน้า

การควบคุมคุณภาพของคอนกรีต

การควบคุมคุณภาพของคอนกรีต ได้มีการทำก้อนตัวอย่างจำนวน ๖ ก้อน เพื่อนำมาทดสอบที่อายุคอนกรีต 1 วัน จากผลการทดสอบกำลังอัด ได้ค่าเฉลี่ย 300 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากำลังอัดที่ต้องการ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ หสน อักทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความก้าวหน้าของคอนกรีตเทคโนโลยีในเมืองไทย มิได้หยุดยั้งแต่เพียงเท่านั้น มีการวิจัยและพัฒนาส่วนผสมของคอนกรีต ที่มีประสิทธิภาพสูง ตรงตามข้อกำหนด และความต้องการของการใช้งาน ในประเภทต่าง ๆ ซึ่งต้องสอดคล้องกับสภาพการณ์ก่อสร้างในปัจจุบัน ล่าสุด คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค ผู้นำด้านคอนกรีตเทคโนโลยีรายหนึ่งของไทย ได้พัฒนาส่วนผสมคอนกรีตพิเศษสำหรับงานเร่งด่วน ให้สามารถเปิดใช้งานได้ ภายใน 12 ชั่วโมง โดยได้กำลังอัด 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (ดังแสดงในกราฟ)



รูปที่ 2.12 ▷

รูป กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหลังผสม-กำลังอัดคอนกรีต.

### พัฒนาการอีกขั้น สำหรับวงการก่อสร้าง จากซีแพค

คอนกรีตกำลังอัดสูง (High Strength Concrete) คือ คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า  $500 \text{ kg/cm}^2$  ขึ้นไป ซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ ต่อการก่อสร้างอาคารสูงเป็นอย่างมาก นับตั้งแต่ช่วยลดขนาดของโครงสร้าง เช่น เสา คาน ให้มีขนาดเล็กกว่าเดิม เป็นต้น ทำให้เกิดพื้นที่ใช้สอยเพิ่มขึ้นมา ช่วยให้โครงสร้างอาคารมีความทนทานสูงขึ้น สามารถรับแรงอัดได้มาก นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่าย ในการก่อสร้างฐานรากลงอีกด้วย การก่อสร้างอาคารสูงในต่างประเทศ จึงนิยมใช้คอนกรีตกำลังอัดสูงกันเป็นอย่างมาก

สำหรับประเทศไทยเรา ซีแพค คือ รายแรกที่นำคอนกรีตกำลังอัดสูงเข้ามาใช้ โดยนำออกแนะนำในการสัมมนาเรื่อง เทคโนโลยี คอนกรีตกำลังอัดสูง ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2533 ซึ่งขณะนั้น กำลังอัดคอนกรีต รูปลูกบาศก์ ที่ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 830 ksc. แต่ในปัจจุบัน ซีแพคสามารถผลิตคอนกรีตกำลังอัดสูงได้ถึง 1,100 ksc. และได้นำมาใช้เทเสา อาคารสำนักงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าใหญ่ของซีแพค ที่ทางขอนแก่น เมื่อประมาณปลายเดือนสิงหาคม 2534 ที่ผ่านมาเอง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุบังเอิญและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM) และนำสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (ม.อ.ก.15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น ประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภท คือ

**ประเภทหนึ่ง** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใด ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่ว ๆ ไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือที่ความร้อนที่เกิดจากความร้อนรวมตัวกับน้ำ จะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตราย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพานาคลีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว

**ประเภทสอง** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงดินหนา ๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อสะพาน เป็นต้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพานาคลีเขียว

**ประเภทสาม** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High-early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่า ซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก ๆ มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วน และโดยการเติมสารอื่น ๆ โดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะให้ในเวลาอันรวดเร็ว หรือต้องการรีบแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต, ถนน, พื้นและคานที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ, ตราพานาคลีแดง, และตราสามเพชร

**ประเภทสี่** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำที่สุด ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้ ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหนา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะแข็งตัว

**ประเภทห้า** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภททนซัลเฟตได้สูง (Sulfate - Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาลงาม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทดังกล่าวข้างต้น อาจมีทั้งชนิดกระจายกักฟองอากาศ หรือไม่กระจายกักฟองอากาศ ปูนซีเมนต์ชนิดกระจายกักฟองอากาศจะมีสารสำหรับกระจายกักฟองอากาศผสมอยู่ด้วย ซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในเนื้อคอนกรีตมาก ทำให้ทนความเย็นได้ดี นอกจากนี้ ยังทำให้ใช้น้ำผสมน้อยลงด้วย เพราะมีฟองอากาศอยู่ด้วย ช่วยให้เทคอนกรีตได้ง่าย และเป็นผลให้กำลังอัดคอนกรีตดีตามไปด้วย สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกันให้ข้อกำหนดสำหรับปูนซีเมนต์ชนิดกระจายกักฟองอากาศ 3 ประเภท คือ ประเภท 1A, 11A, และ 111A ซึ่งตรงกับประเภทที่ หนึ่ง สอง และ สาม ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ

สารประกอบ	ประเภท หนึ่ง	ประเภท สอง	ประเภท สาม	ประเภท สี่	ประเภท ห้า
ไทรซิลเซียมซิลิเกต : $C_3S$ (รับกำลังได้เร็ว)	49	46	56	80	43
ไดซิลเซียมซิลิเกต : $C_2S$ (ให้กำลังระยะหลัง)	25	29	15	46	36
ไทรซิลเซียมอลูมิเนต : $C_3A$ (ถ้ามีน้อย ความร้อนที่เกิดก็น้อยด้วย)	12	6	12	5	4
เตตราซิลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ : $C_4AF$	8	12	8	13	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเปรียบเทียบกำลัง สำหรับปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ชนิด

ได้มีการทดสอบ ด้วยอัตราส่วนผสมคอนกรีต, กรรมวิธี และอยู่ในสภาพเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ เป็นการเปรียบเทียบปริมาณของกำลัง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นในการใช้ปูนซีเมนต์แต่ละชนิด ตามอายุของคอนกรีต 1, 7, 28 วัน และ 3 เดือน เป็นลำดับ โดยยึดถือกำลังที่เกิดขึ้นในปูนซีเมนต์ธรรมดา ชนิด 1 7 ให้มีปริมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ กำลังอัดที่เกิดขึ้นกับปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ จะแตกต่างกัน ไปตามอายุ แต่จะเท่ากัน เมื่อคอนกรีตมีอายุได้ประมาณ 3 เดือน

ตารางที่ 2.2 การรับกำลังเป็นเปอร์เซ็นต์ของปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆ

ชนิดของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์	กำลังอัดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบชนิด 1			
	1 วัน	7 วัน	28 วัน	3 เดือน
ชนิด 1 Normal	100	100	100	100
11 Modified	75	85	90	100
111 High-Early Strength	190	120	110	100
1V Low-Heat	55	55	75	100
V Sulfate-Resistant	65	75	85	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

#### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. บูนซีเมนต์ type1 ใช้บูนซีเมนต์ตราช้าง ซึ่งเป็นบูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่ง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 15)

2. บูนซีเมนต์ type3 ใช้บูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ซึ่งเป็นบูนซีเมนต์ประเภทที่สาม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งเป็นบูนซีเมนต์ชนิดแห้งตัวเร็วและเกิดแรงสูงเร็วกว่าประเภทที่หนึ่ง (มอก. 15)

3. ทราย ทรายที่ใช้ในการหล่อแท่งคอนกรีตทดสอบใช้ทรายหยาบ นำไปวิเคราะห์หาปริมาณคละและโมดูลัสความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C136-80 ดังแสดงในรูปที่ 5.17 พบว่าปริมาณคละเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C33-80 และมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.70

4. หิน หินที่ใช้ในการหล่อแท่งคอนกรีตทดสอบใช้หินเบอร์หนึ่ง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณคละและโมดูลัสความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C136-80 ดังแสดงในรูปที่ 5.16 พบว่าปริมาณคละเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C33-80 และมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 6.50

5. น้ำ น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ใช้น้ำประปา

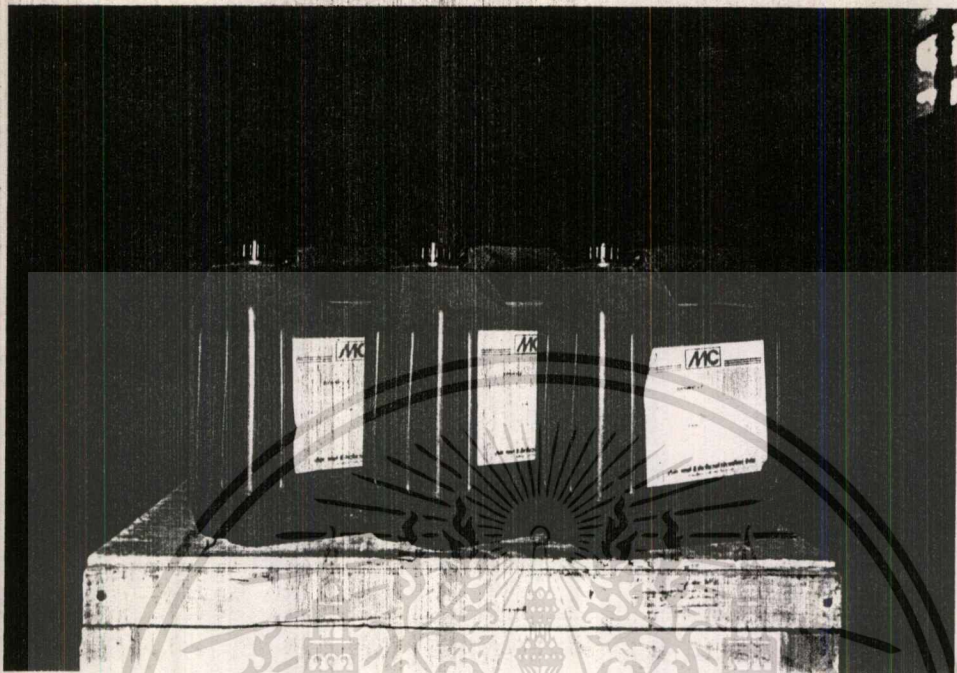
6. สารเคมี ZENTRAMENT F เป็นสารประเภท superplasticizer ใช้เป็นสารเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สถานะของเหลว มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.2 ส่วนมาตรฐานเป็นไปตาม BS 5075 , ASTM C-494 TYPE A AND RF การใช้งานทั่วไปใช้ผสมคอนกรีตเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงอัดทำให้คอนกรีตมี workability ดีขึ้น , ลดน้ำในคอนกรีต (รายละเอียดดูเพิ่มเติมจากภาคผนวก )

7. เหล็ก ใช้เหล็กข้ออ้อย เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. (Ø 12) ความยาว 1.05ม. จำนวน 2 เส้น/1 คาน กำลังดึงคลากสูงสุดของเหล็ก ไม่น้อยกว่า 2400 กก/ท.ม.<sup>2</sup>

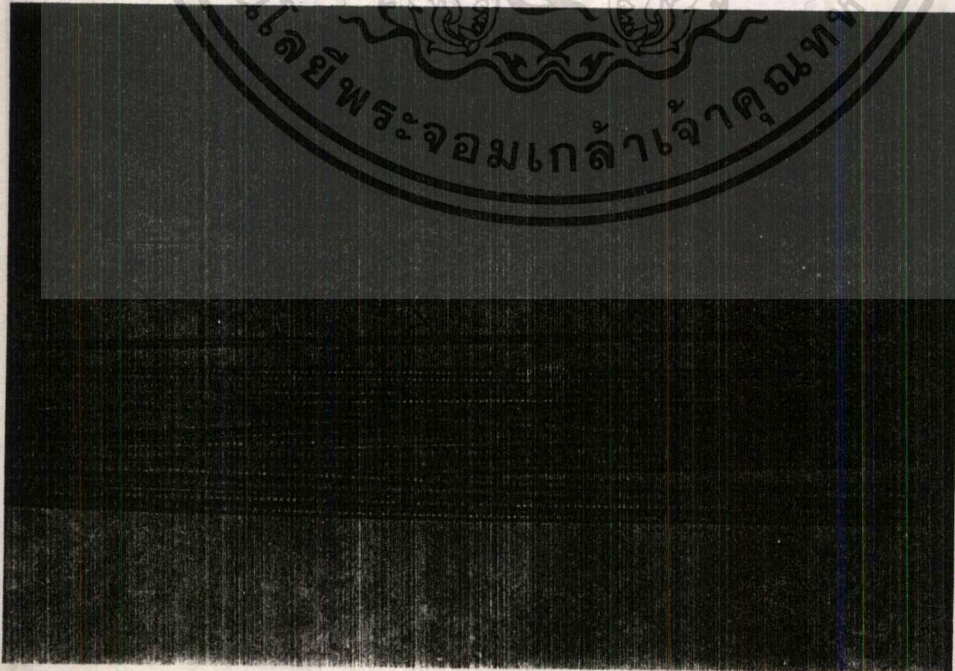
8. กัมมะถัน เป็นของแข็ง นำมาหลอมละลายกับน้ำ ใช้ในการ capping หัวแท่งคอนกรีตทดสอบ เพื่อให้ผิวหน้าเรียบ เพื่อใช้ทดสอบหา strength โดยวิธีทดสอบแบบทำลายด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

9. น้ำมันหล่อลื่น ใช้ในการทาแบบ เพื่อสะดวกและง่ายในการถอดแบบ ทำให้แท่งคอนกรีตทดสอบและแบบคานที่หล่อไม่ติดข้างแบบ

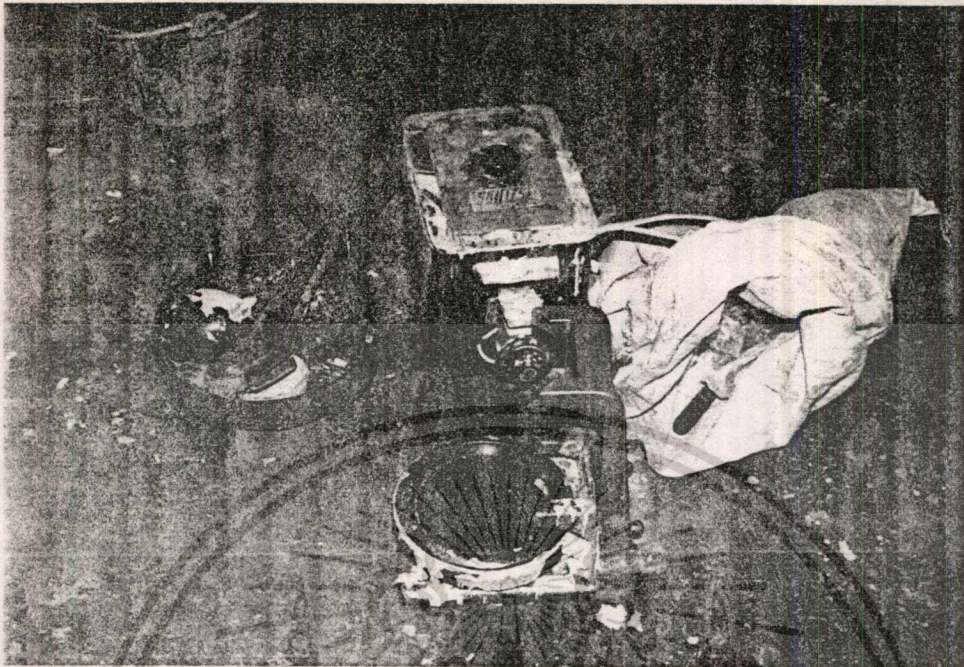
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 สารเคมี ZENTRAMENT F



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งรูปที่ 3.2 เหล็กขัดอ้อย ๕๑ 12 ที่ใช้ในกิจกรรมทดสอบเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กำมะถัน ใช้ในการ capping หัวแท่งคอนกรีตทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.4 น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในถั่วแบบ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. โม่ผลิตคอนกรีต เป็นโม่ผสมชนิดเอียง Tilting Drum Mixer มีถังผสมเป็นรูปกรวย จะหมุนในลักษณะเอียง เทคอนกรีตได้เป็นกลุ่มก้อน มีการแยกตัวของคอนกรีตน้อย และสามารถทำความสะอาดและกำหนดจำนวนการผสมได้สะดวก ใบพายในโม่มีรูปร่างคล้ายพัดทำให้กระทบวัสดุได้ทั่วถึง เดินเครื่องด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 2 เฟส ความจุคอนกรีตประมาณ 7 ล.บ. ฟุต ความเร็วของถังหมุน 25 รอบ/นาที มอเตอร์ 5 แรงม้า

#### 2. แบบหล่อขึ้นตัวอย่าง ทดสอบรับกำลังอัด

แบบหล่อที่ใช้หล่อแท่งคอนกรีตเป็นแบบหล่อมาตรฐาน ASTM C-192 ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

#### 3. แบบหล่อขึ้นตัวอย่าง ทดสอบกำลังรับแรงเฉือน

แบบหล่อที่ใช้หล่อดานคอนกรีต เป็นไม้อัดแผ่นหนา 1 ซม. ทำเป็นรูปกล่อง ขนาดหน้าตัด \* ความยาว เท่ากับ (10\*20)\*(100) ซม. ไม้ประกบข้างแบบเป็นไม้ 2"x2" ห่างกันเป็นระยะ 50 ซม. ไม้ยึดแบบเป็นไม้ 1"x1" ห่างกันเป็นระยะ 50 ซม.

#### 4. ตะแกรงร่อนทราย , หิน

ตะแกรงร่อนทรายใช้เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50, 100 และ pan

ตะแกรงร่อนหินใช้เบอร์ 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 3/16" และ pan

#### 5. กระจกตวง

กระจกตวงขนาด 150 cc ใช้ตวงสารเคมี ZENTRAMENT F

กระจกตวงขนาด 1000 cc ใช้ตวงน้ำเพื่อผสมกับสารเคมี ZENTRAMENT F

6. เครื่องมือวัด ใช้ฟุตเหล็ก, ไมโครมิเตอร์ เพื่อวัดขนาดของขึ้นตัวอย่างทดสอบที่หล่อก่อนจะทดสอบรับกำลังแรงอัด

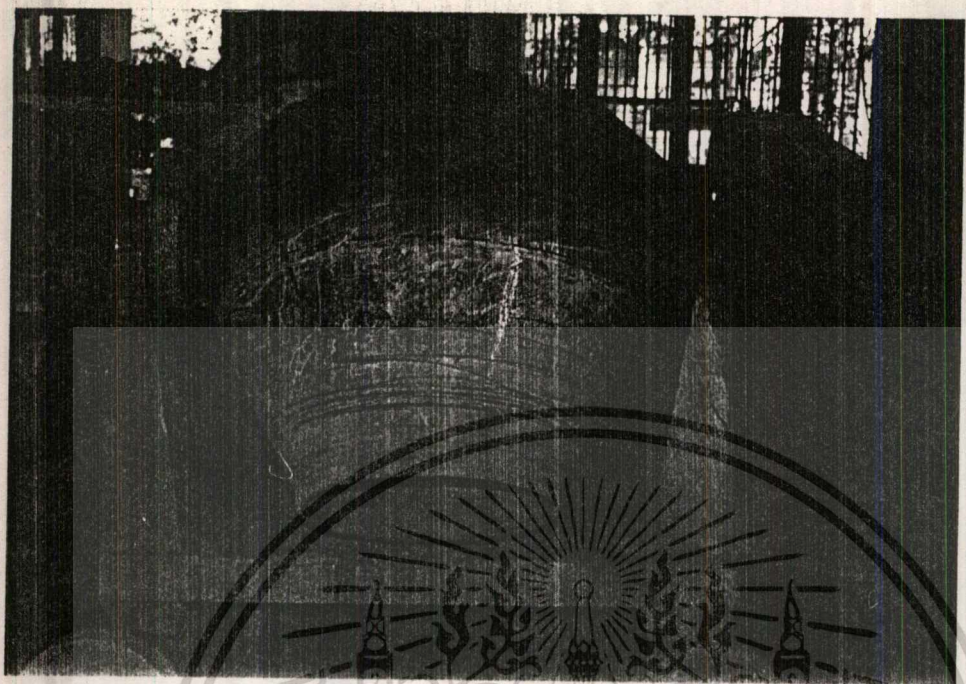
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้ทั้งแบบตาชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งวัสดุที่มีน้ำหนักไม่มาก และเครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งวัสดุที่มีน้ำหนักมาก

#### 8. เครื่อง Universal Testing Machine

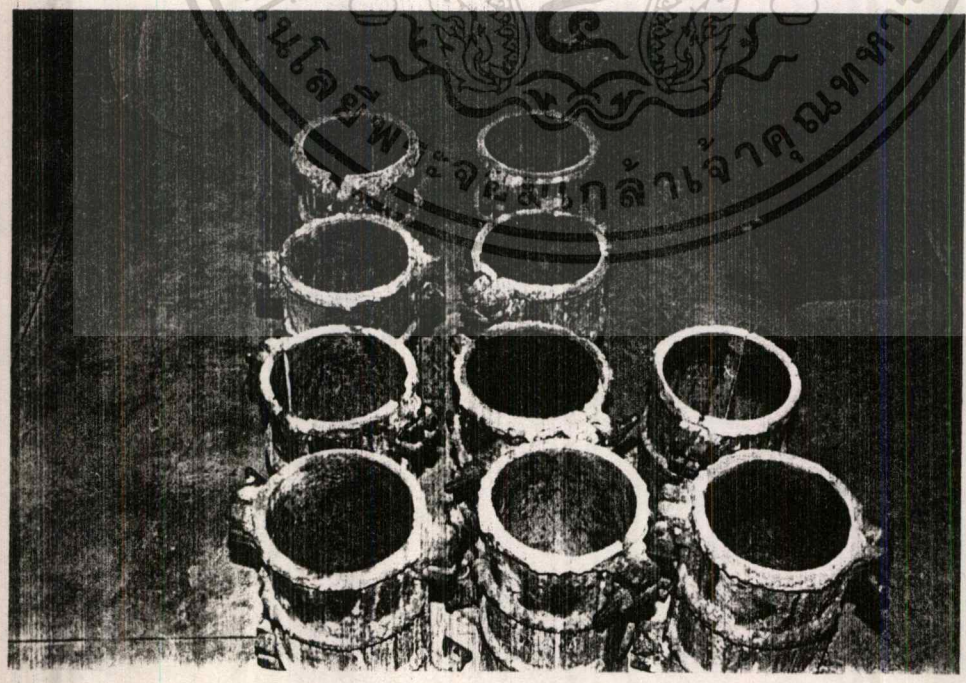
เครื่อง Universal Testing Machine ขนาด 150 ตัน มีระบบการทำงานแบบไฮดรอลิกส์ควบคุมความเร็วด้วยพวงมาลัยบังคับด้วยมือ สามารถใช้หากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่สูงมากเกินไปได้ โดยมีความละเอียดสูง

#### 9. ตู้อบไอน้ำ ใช้ในการทดลอง วัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

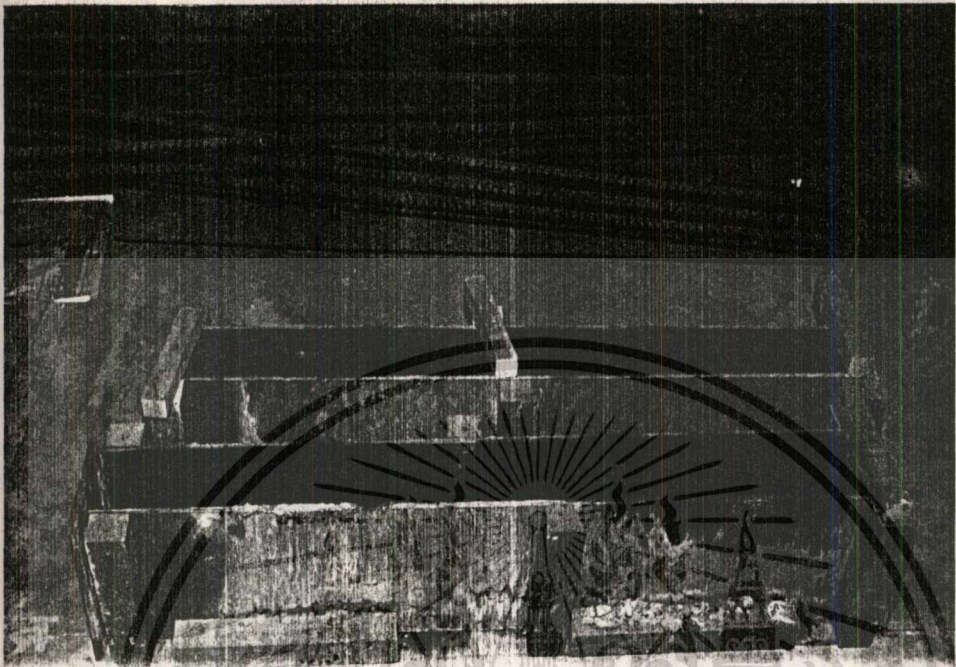
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



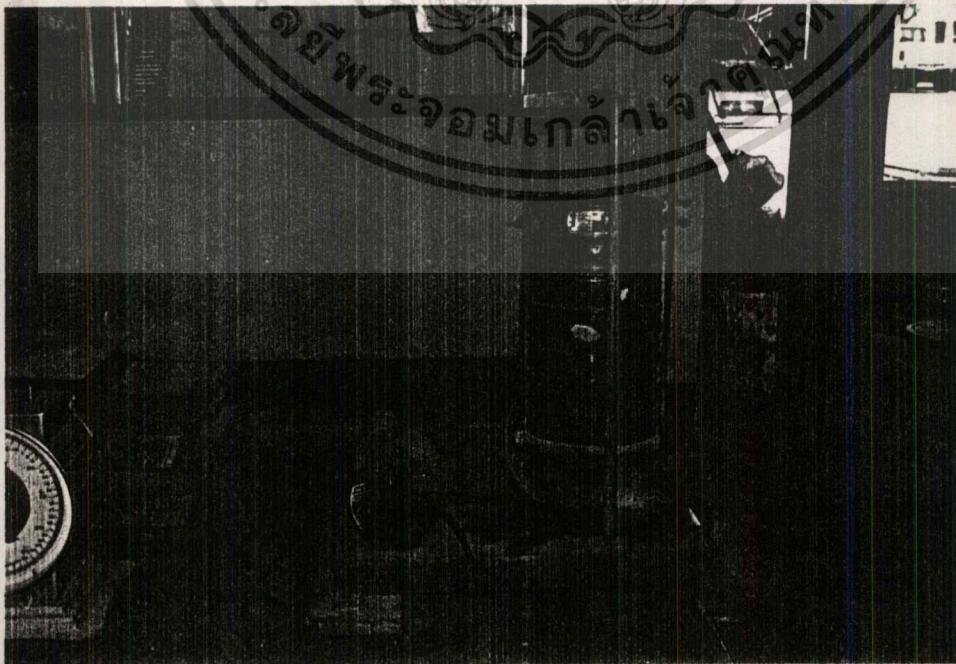
รูปที่ 3.5 โม่ผสมคอนกรีตที่ใช้ในกาารทดสอบ



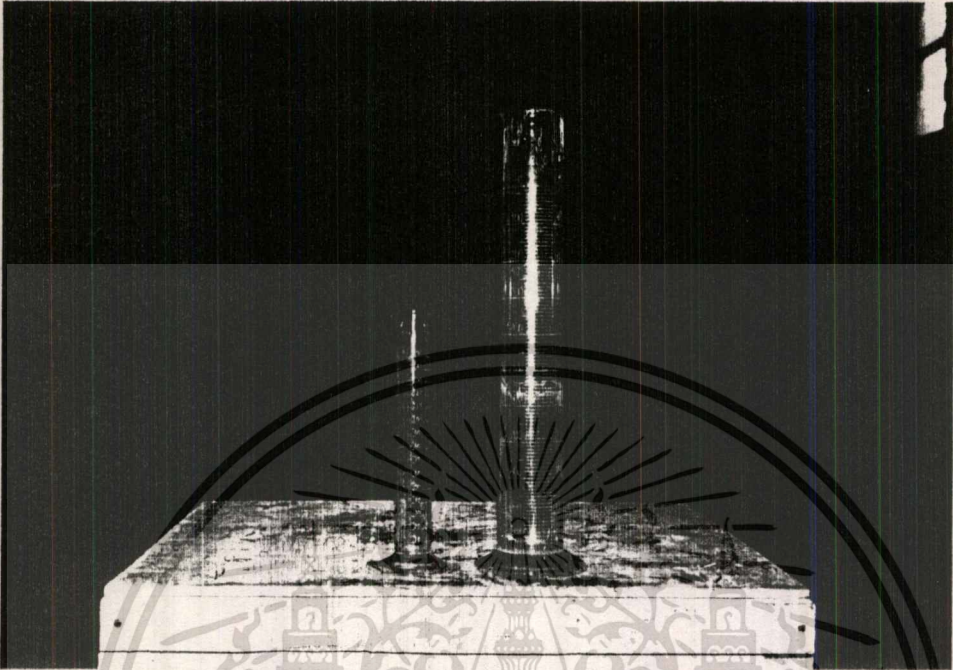
เอกสารนี้เป็นเอกสาร รูปที่ 3.6 ไ้แบบหล่อขึ้นตัวอย่งารทดสอบกั่วลิ่งรับแรงอัดมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



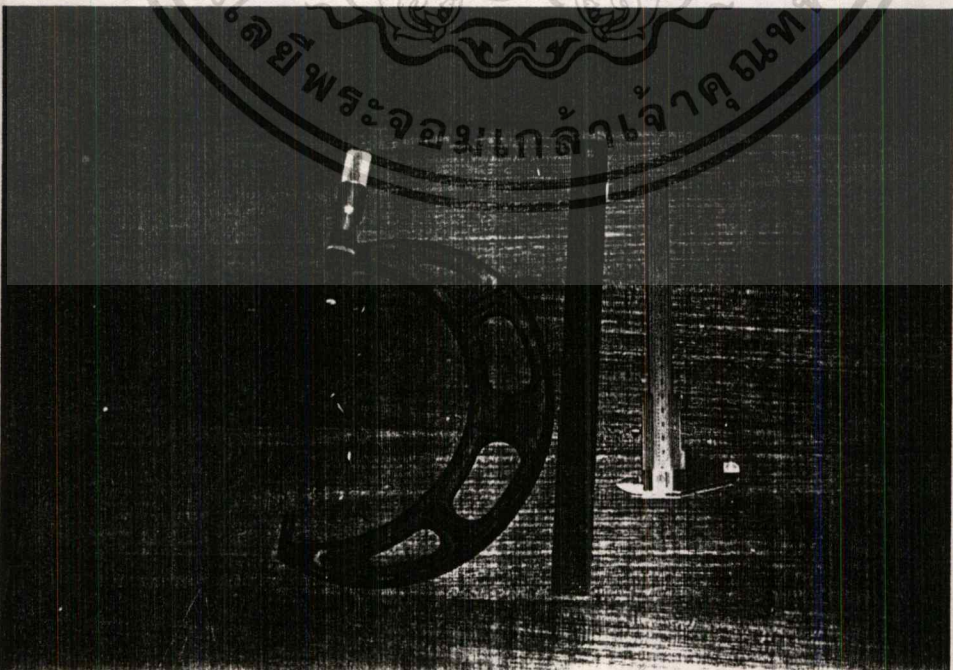
รูปที่ 3.7 แบบหล่อชิ้นตัวอย่าง ทดสอบกำลังรับแรงเฉือน



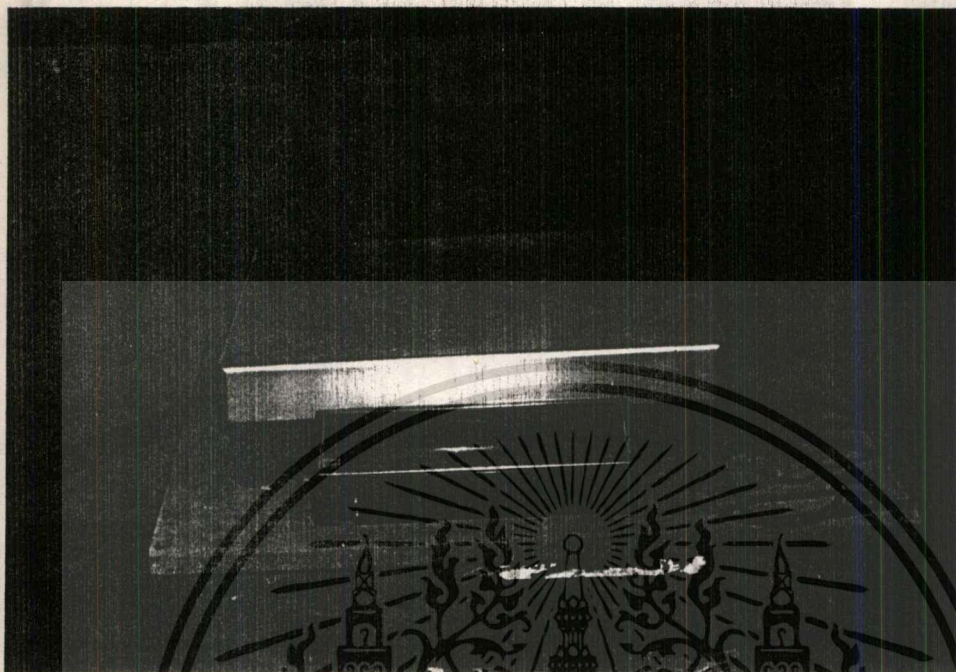
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับภารเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น **รูปที่ 3.8 ตะแก็งร้อนทราย, หินอ และเครื่องเขย่า** สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



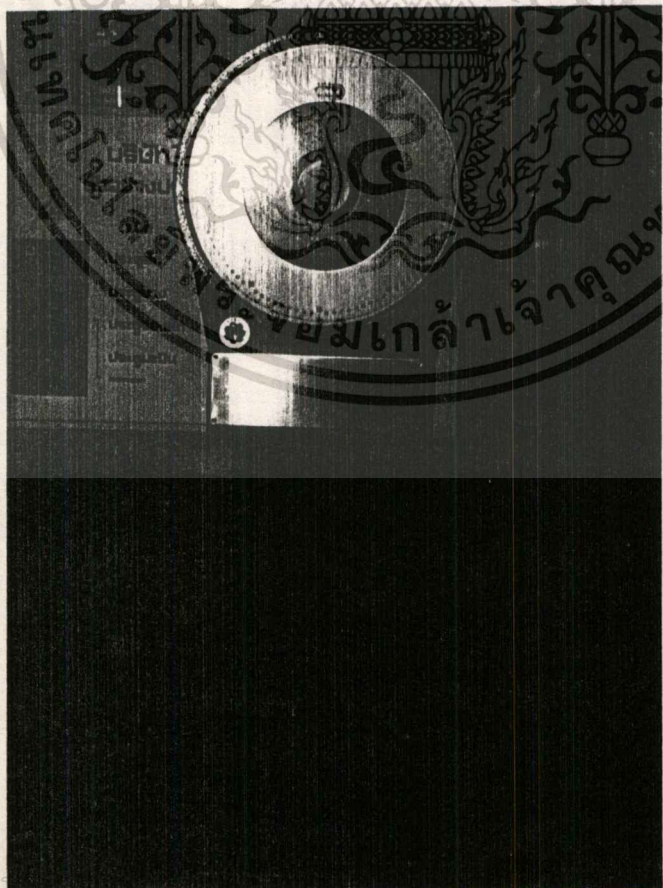
รูปที่ 3.9 กระบอกตวงขนาด 100 cc และ 1000 cc



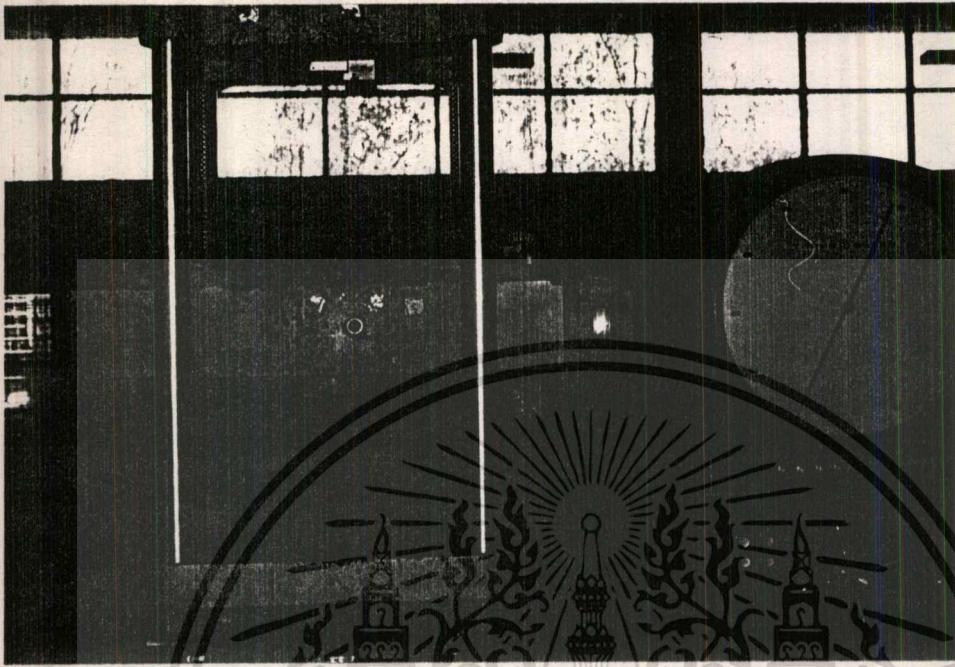
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกรูปที่ 3.10 เครื่องมือวัดค่า พุดเหล็ก, ไมโครมิเตอร์ สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



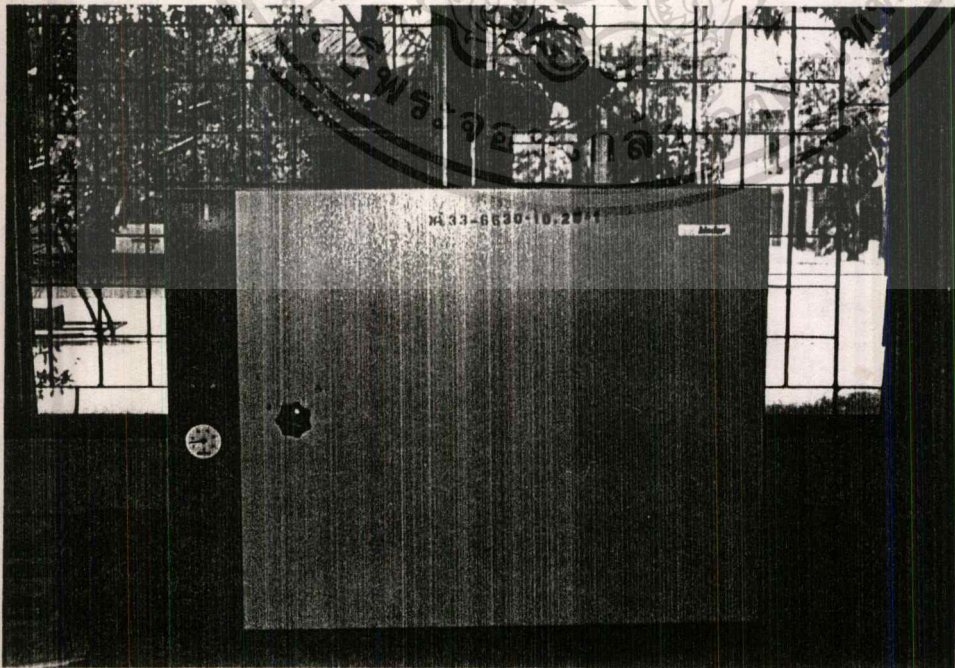
รูปที่ 3.11 เครื่องมือซึ่งน้ำหนักวัสดุที่ม้น้ำหนักไม่มาก



เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้นรูปที่ 3.12 เครื่องมือซึ่งน้ำหนักวัสดุที่ม้น้ำหนักมาก เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 เครื่อง Universal Testing Machine



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกรูปที่ 3.14 ตู้อบไดนาโมใช้ในการทดสอบเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 การดำเนินการทดสอบ

การทดสอบหลักจะเป็นการหล่อแท่งคอนกรีตและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก - แล้วนำมาทดสอบการรับแรงอัดและแรงเฉือน ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ เท่ากับ 0.3 ปริมาตรทรายและหินต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรคงที่ คือ 600 ก.ก. และ 1200 ก.ก. ตามลำดับ แล้วหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร และปริมาณเปอร์เซ็นต์สาร ZENTRAMENT F ที่ใส่ลงในคอนกรีต เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูง เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่าง ปูนซีเมนต์ type 1 กับปูนซีเมนต์ type 3 โดยแบ่งเป็นที่ระยะเวลา 7 วัน กับ 28 วัน ดั่งมีตัวแปรที่สำคัญในการทดสอบคือ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 450 ก.ก., 500 ก.ก. และ 550 ก.ก. ปริมาณสาร ZENTRAMENT F เท่ากับ 1.0%, 1.2%, 1.5%, 2.0% ลิตรต่อซีเมนต์ 100 ก.ก. เวลาที่กำหนดจะทดสอบคือ 7 วัน และ 28 วัน (ยกเว้นคาน ซึ่งใช้ทดสอบรับแรงเฉือน จะทดสอบที่ 28 วันอย่างเดียว) สำหรับประเภทการรับกำลังอัด จะใช้ 5 ตัวอย่าง/หัวข้อ ส่วนประเภทการรับกำลังเฉือน จะใช้ 3 ตัวอย่าง/หัวข้อ จากนั้นนำไปบ่มจนครบอายุที่ 7 วันและ 28 วัน แล้วนำมาหาค่าความหนาแน่น และค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุครบ 7 วันกับ 28 วัน และค่ากำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตที่อายุครบ 28 วัน ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ขนาด 150 ตัน แล้วนำผลที่ได้วิเคราะห์ประเมินกำลังของคอนกรีต ปูนซีเมนต์ type 1 ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นปูนซีเมนต์ตราช้าง ส่วนปูนซีเมนต์ type 3 ใช้ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ

### 4.1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทราย

- 1 แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน ซึ่งน้ำหนักและบันทึกค่าแทนด้วย B
- 2 นำทรายส่วนหนึ่งเข้าเตาอบให้แห้งสนิท ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงปกติ จึงนำไปชั่งน้ำหนักใหม่และบันทึกค่าแทนด้วย A
- 3 เทน้ำที่ทรายอุณหภูมิลงในขวดพิกโนมิเตอร์ ให้สูงประมาณ  $\frac{3}{4}$  ของขวด นำทรายส่วน B เติมลงไป เขย่าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็มพอดีปากขวด พร้อมกับทำให้ไม่มีอากาศเหลือเลย แล้วจึงปิดฝาแก้ว นำไปชั่งและบันทึกค่าแทนด้วย P

4 จากนั้นจึงนำค่าต่างๆ มาคำนวณ ดังต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{A}{\frac{w}{C} + \frac{B}{A} - \frac{P}{A}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (เมื่อวัตถุแห้งสนิท)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{array}{l} \text{ความถ่วงจำเพาะ} \\ \text{(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)} \end{array} = \frac{B}{w_c + B - w}$$

$$\text{อัตราการดูดซึม} = \frac{B - A}{B} * 100 \%$$

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

$w_c$  = น้ำหนักชนิดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบ  
เต็มปากขวด

w = น้ำหนักชนิดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

#### 4.2 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของหิน

1 เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดลอง ด้วยการล้างให้ทั่วถึง เพื่อให้ฝุ่นผงและเศษวัสดุอื่น ๆ ที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชม.

2 จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 ชม.

3 นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงบนผ้าผืนใหญ่ ๆ ที่สามารถดูดซับน้ำได้ กลิ้งวัสดุไปมาเพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิวของวัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวจะชื้นอยู่ก็ตามหรือถ้าวัสดุเป็นก้อนใหญ่มาก อาจจับมาเช็ดเป็นก้อน ๆ ไปก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดการระเหยหายไประหว่างน้ำขณะอยู่ในขั้นตอนนี้

4 วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่า อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (saturated surface-dry) ให้นำวัสดุขึ้นชั่งน้ำหนัก เพื่อบันทึกไว้ แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลาด และทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันที และบันทึกค่าไว้เช่นกัน

5 หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง 100-110 องศา ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปรกติ อีกประมาณ 1-3 ชม. จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

6 จากนั้นให้นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาความวัดถูประสงค์ ดังต่อไปนี้

$$\begin{array}{l} \text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม} \\ \text{(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)} \end{array} = \frac{A}{B - C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม} = \frac{B}{B - C}$$

(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม} = \frac{A}{A - C}$$

(เมื่อวัตถุแห้งสนิท)

$$\text{อัตราการดูดซึม} = \frac{B - A}{A} * 100 \%$$

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ใช้ในอากาศ หลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ใช้ในอากาศ ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ใช้ในน้ำ

#### 4.3 การหาส่วนขนาดละเอียดของมวลของทราย

1 เตรียมทรายสำหรับทดสอบ ด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปรกติควรเป็นทรายที่แห้งหากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

2 เตรียมชุดของตะแกรง ด้วยการทำความสะอาด ไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่องซึ่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาด และบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับ พร้อมถาดรองอยู่ล่างสุด

3 ตะแกรงสำหรับทดสอบ คือ เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100

4 ค่อย ๆ เททรายที่เตรียมพร้อมไว้แล้ว ลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิท แล้วนำเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

5 ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่าง ๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่าง ๆ กัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่ง และจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิกต์ความละเอียดต่อไป

#### 4.4 การหาส่วนขนาดละเอียดของมวลของหิน

1 เตรียมหินสำหรับการทดลอง หากเป็นหินขนาดเล็ก คือมีขนาดโตสุดไม่เกิน  $1\frac{1}{2}$ " ให้ใช้ประมาณ 5 กก. แต่หากเป็นหินใหญ่ ควรใช้ประมาณ 20 กก.

2 ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทราย ตั้งแต่ข้อ 2-4

3 ตะแกรงสำหรับทดสอบ คือ เบอร์ 2",  $1\frac{1}{2}$ ", 1",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ",  $\frac{3}{16}$ "

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การทดสอบการรับแรงดึงของเหล็ก

เหล็กเสริมตามยาวที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เป็นเหล็กข้ออ้อยผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

มอก. 24 - 2527 SM-24 ซึ่งกำหนดให้กำลังคลากมีค่าไม่น้อยกว่า 2,400 กก/ซม<sup>2</sup> กำลังรับแรงดึงประลัยมีค่าไม่น้อยกว่า 3,900 กก/ซม<sup>2</sup> และค่ายืดตัวในช่วง 20 ซม. ไม่น้อยกว่า 21 % เหล็ก ๕ 12 ทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80 โดยลุ่มตัวอย่างมาทดสอบ 5 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ โดยมีกำลังคลาก 2808.97 กก/ซม<sup>2</sup> กำลังรับแรงดึงประลัย 4472.76 กก/ซม<sup>2</sup> ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น  $2.0E+06$  กก/ซม<sup>2</sup> และค่าการยืดหดตัวในระยะ 20 ซม. 20.70 cm

#### 4.6 การหาความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ

นำตัวอย่างทดสอบไปชั่งน้ำหนักและวัดความสูง (h) พร้อมทั้งวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) คำนวณหาความหนาแน่นจาก

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างทดสอบ (ลบ. ซม.)}}$$

$$\text{โดยที่ปริมาตรของชิ้นตัวอย่างทดสอบ} = d^2 h / 4$$

#### 4.7 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1 ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในเทคอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

2 ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยก หรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีตหรือกระทั่งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต

1 สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องมือผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตรงกลางที่เทออกมาจากเครื่องมือใหม่ ๆ

2 เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระแทกให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแบบแล้วจึงปิดผิวหน้าให้เรียบ

เมื่อวารณิตยสารนี้เสร็จสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ทั้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉย ๆ ประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่ม โดยแช่ในถังบ่ม จนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ ตัวอย่างคอนกรีตที่จะนำมาทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ค) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีต ให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุก่อนทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ ระนาบดังกล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5 องศา (หรือประมาณ 3 มม.) หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน

ง) การคำนวณ

ค่าความเค้นอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

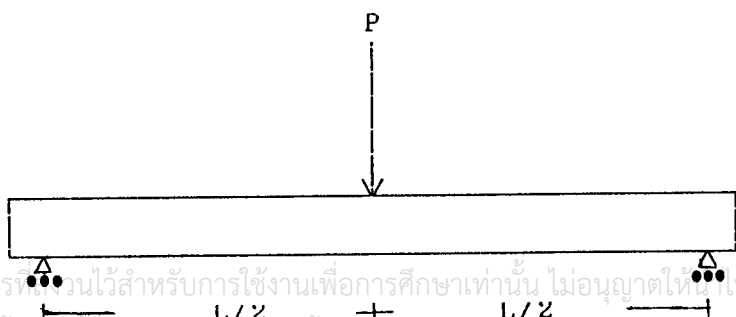
$$f = P/A$$

โดยที่ P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง  
 A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ =  $\pi D^2 / 4$   
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เฉลี่ยจากการวัดสองทิศทางตั้งฉากกัน ที่กึ่งกลางความสูงของแท่งตัวอย่าง

4.8 การทดสอบกำลังเฉือนของคอนกรีต

ตัวอย่างทดสอบเป็นคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 10\*20 ซม.<sup>2</sup> ยาวทั้งหมด 1 เมตร ช่วงคานยาว 90 ซม. มีความลึกประสิทธิผล (D) เท่ากับ 17 ซม. ในการหาค่าปริมาณเหล็กเสริมตามยาว เพื่อให้ได้คานทดสอบวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน จึงเสริมด้วยเหล็กเส้นแนวยาว ขนาด 12 มม. จำนวน 2 เส้น

การทดสอบ ให้จัดตัวอย่างคานที่จะทดสอบ วางบนจุดที่รองรับ พร้อมกับแรงกระทำที่กึ่งกลางคาน ดังแสดงในรูป



ตาราง 4.1 จำนวนตัวอย่างที่หล่อทดสอบกำลังรับแรงอัด

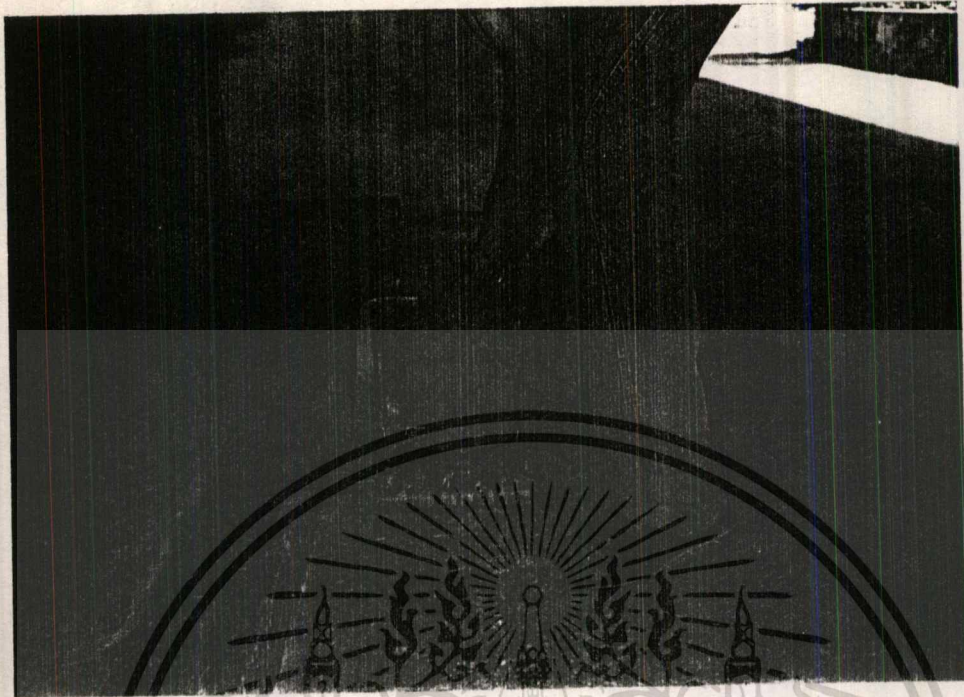
ปริมาณทรายและ ที่ใช้คงที่ (ต่อคอนกรีต 1- ลูกบาศก์เมตร )	เวลาที่ใช้ ในการบ่ม เพื่อทดสอบ	ปริมาณสาร ZENTRAMENT <sup>F</sup>	AMOUNT OF SAMPLE REQUIRE					
			AMOUNT OF CEMENT (KG) IN - CONCRETE 1 M <sup>3</sup>					
			450		500		550	
			TYPE 1	TYPE 3	TYPE 1	TYPE 3	TYPE 1	TYPE 3
ทราย = 600 กก. หิน = 1200 กก.	7 วัน	1.0 %	5	5	5	5	5	5
		1.2 %	5	5	5	5	5	5
		1.5 %	5	5	5	5	5	5
		2.0 %	5	5	5	5	5	5
	28 วัน	1.0 %	5	5	5	5	5	5
		1.2 %	5	5	5	5	5	5
		1.5 %	5	5	5	5	5	5
		2.0 %	5	5	5	5	5	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

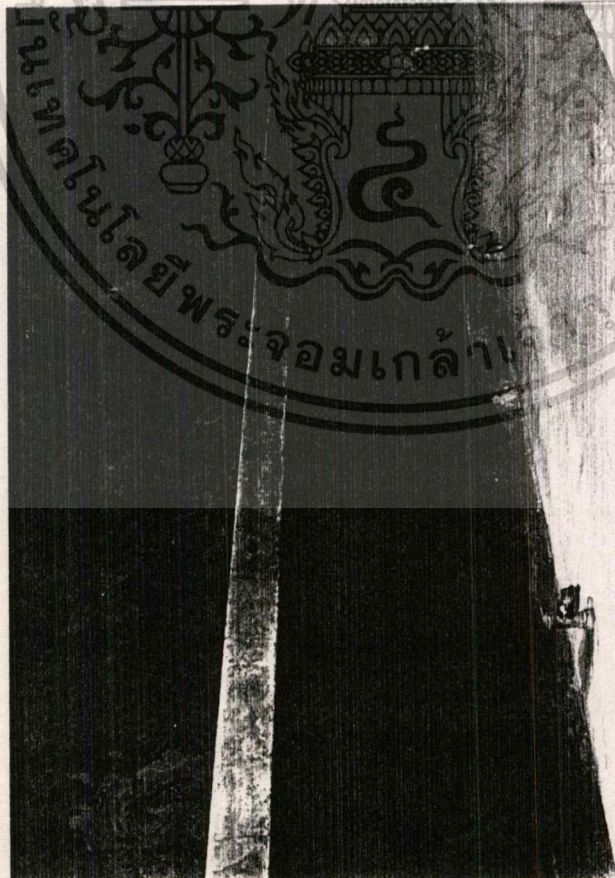
ตาราง 4.2 จำนวนตัวอย่างที่หล่อทดสอบกำลังรับแรงเฉือน

ปริมาณทรายและ ที่ใช้คงที่ (ต่อคอนกรีต 1- ลูกบาศก์เมตร )	เวลาที่ใช้ ในการบ่ม เพื่อทดสอบ	ปริมาณสาร ZENTRAMENT F	AMOUNT OF SAMPLE REQUIRE	
			AMOUNT OF CEMENT (KG) IN - CONCRETE 1 M <sup>3</sup>	
			500	
			TYPE 1	TYPE 3
ทราย = 600 กก. หิน = 1200 กก.	28 วัน	1.0 %	3	3
		1.2 %	3	3
		1.5 %	3	3
		2.0 %	3	3

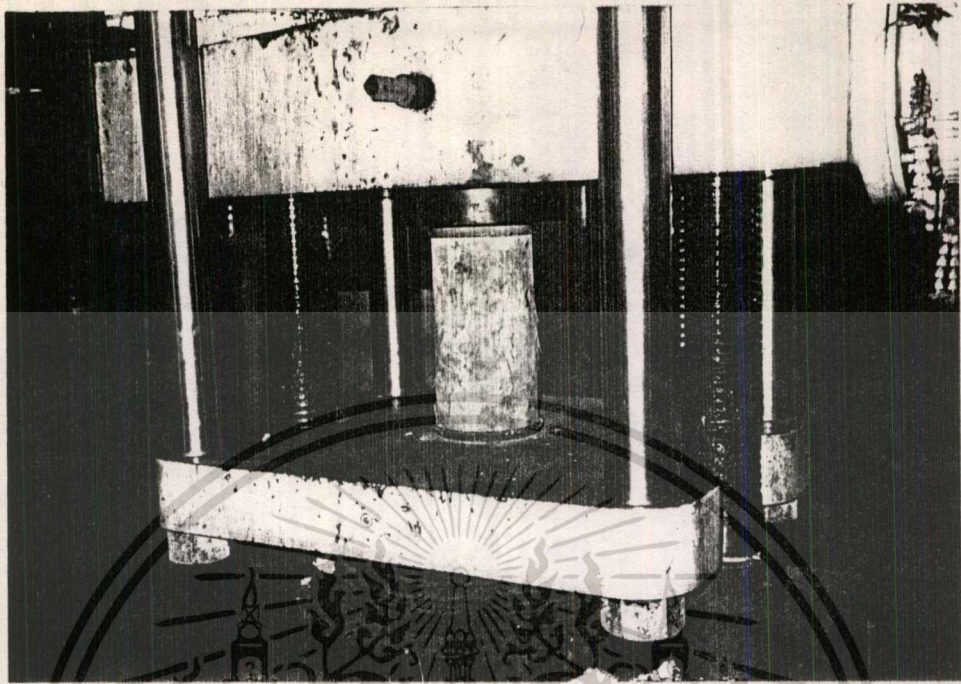
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



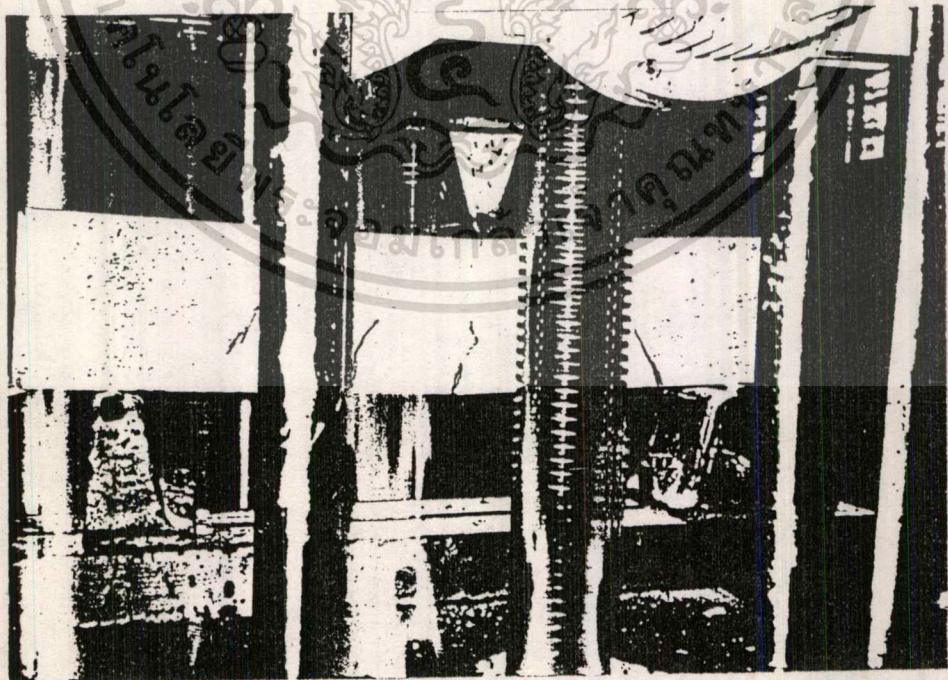
รูปที่ 4.1 แสดงการ CAPPED หัวแท่งคอนกรีตก่อนทดสอบกำลังอัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.2 แสดงการบ่มชิ้นตัวอย่างในน้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.4 แสดงการทดสอบกำลังเฉือนด้วยเครื่อง Universal Testing Machine  
 ไม่ควรเผยแพร่ทางสื่อสังคมออนไลน์ หากพบการละเมิดลิขสิทธิ์ กรุณาแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 ผลการทดสอบและ การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

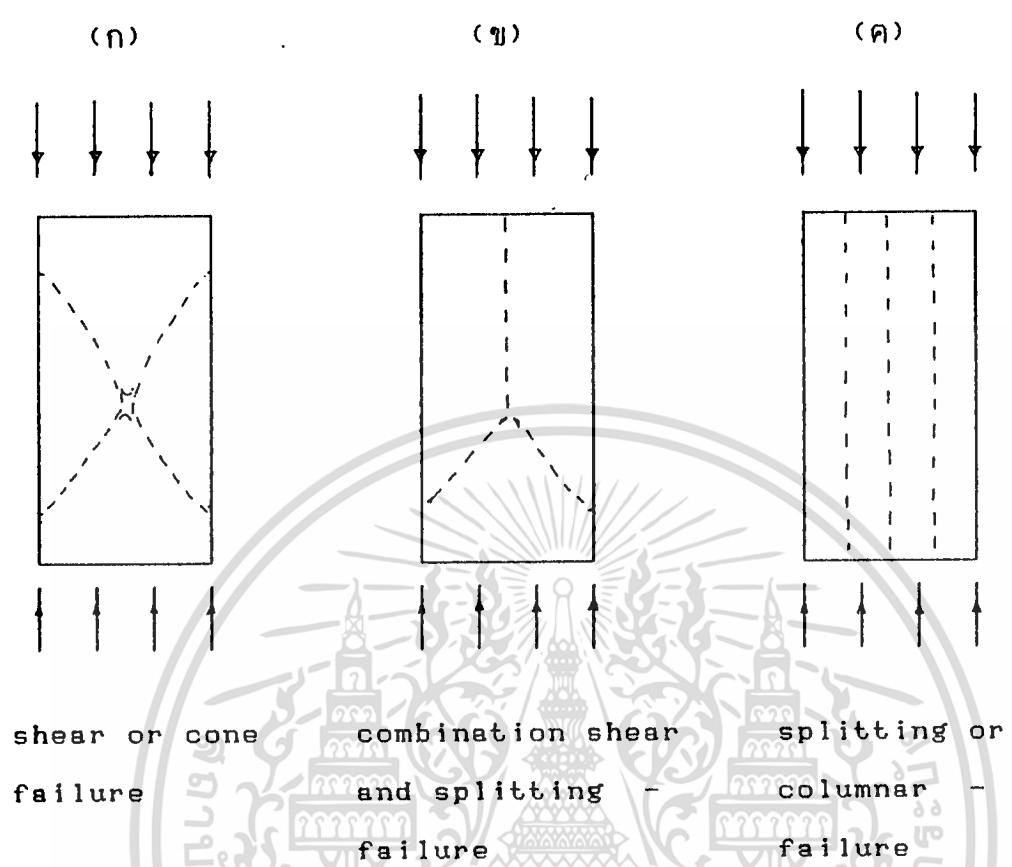
### 5.1 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5.1-5.12 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type I ที่ 7 วัน , ตารางที่ 5.13-5.24 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type III ที่ 7 วัน , ตารางที่ 5.25-5.36 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type I ที่ 28 วัน , ตารางที่ 5.37-5.48 แสดงค่ากำลังอัดของปูนซีเมนต์ type III ที่ 28 วัน , ตารางที่ 5.49-5.52 แสดงค่ากำลังเฉือนของปูนซีเมนต์ type I ที่ 28 วัน , ตารางที่ 5.53-5.56 แสดงค่ากำลังเฉือนของปูนซีเมนต์ type III ที่ 28 วัน , ตารางที่ 5.57 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติ และกำลังรับแรงดึงของหน้าตัดเหล็กเสริม , ตารางที่ 5.58-5.61 ผลการทดสอบผลมคอนกรีตโดยลัดส่วนผลมต่างๆกัน

กราฟที่ 5.1-5.3 ค่ากำลังรับแรงอัด & ปริมาณสาร Zentriment F ทดสอบ ที่อายุ 7 วัน , กราฟที่ 5.4-5.6 ค่ากำลังรับแรงอัด & ปริมาณสาร Zentriment F ทดสอบที่อายุ 28 วัน , กราฟที่ 5.7-5.10 ค่ากำลังรับแรงอัด & ปริมาณซีเมนต์ ทดสอบ ที่อายุ 7 วัน , กราฟที่ 5.11-5.14 ค่ากำลังรับแรงอัด & ปริมาณซีเมนต์ ทดสอบที่อายุ 28 วัน , กราฟที่ 5.15 ค่ากำลังรับแรงเฉือน & ปริมาณสาร Zentriment F ทดสอบที่อายุ 28 วัน ( ปริมาณปูนซีเมนต์ /  $1M^3 = 500$  กก.) , กราฟที่ 5.16 ปริมาณคละของหิน , กราฟที่ 5.17 ปริมาณคละของทราย

ลักษณะการชำรุดแตกหักของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูงรับแรงอัด มีลักษณะเหมือน การชำรุดแตกหักของคอนกรีตที่รับแรงอัดทั่วไป คือ แตกออกเป็นรูปกรวยคู่โดยมีปลายกรวยอยู่ที่กึ่งกลางของทรงกระบอก ดังรูปที่ 5.1(ก) โดยเกิดจากการถูกเฉือนในระนาบที่เอียงกับแรงกด อันเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุผสมและความเสียดทานภายใน ดังนั้นมุมของการแตกหัก จึงมีค่าเท่ากับ  $45-\phi/2$  เมื่อ  $\phi$  เป็นมุมของความเสียดทานภายในของคอนกรีต ซึ่งมีค่าประมาณ 20 องศา ดังนั้นระนาบของความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีต จึงเอียงประมาณ 35 องศา ดังแสดงในรูป ลักษณะการชำรุดของชิ้นตัวอย่าง อาจเป็นการแตกหรือแยกออก ดังเช่นในรูป 5.1(ค) หรืออาจเป็นการรวมของลักษณะการชำรุดของทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ดังในรูปที่ 5.1(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ลักษณะการชำรุดของแท่งคอนกรีตรับแรงอัด

ส่วนการระเบิดแตกหักของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตกำลังสูง จะมีความรุนแรงกว่าชิ้นตัวอย่างคอนกรีตธรรมดา เพราะค่ารับกำลังแรงอัดที่สูงกว่านั่นเอง

ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน ของคานคอนกรีตกำลังสูง ที่เสริมแต่เหล็กทางยาว เมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำต่อคาน รอยแตกร้าวเนื่องจากแรงคัตที่เห็นด้วยตาเปล่าจะเกิดขึ้นในช่วงแรงคัต (Flexural Span) ที่น้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยประมาณ 3.5-4.0 ตัน จากนั้น คอนกรีตบริเวณผิวล่างรับแรงดึงจะเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากแรงคัตเพิ่มจำนวนมากขึ้น และจะกระจายเข้าสู่ช่วงแรงเฉือน (Shear Span) และขยายความยาวของรอยแตกร้าวไปในทิศทางมุ่งสู่กึ่งกลางความลึกคาน ต่อจากนั้นรอยแตกร้าวเนื่องจากแรงคัตจะเริ่มเบี่ยงเบนจากแนวตั้งทำมุมกับแกนราบของคาน โดยมีทิศทางมุ่งสู่จุดที่น้ำหนักกระทำ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยถึงประมาณ 6.2 ตัน รอยแตกร้าวในแนวทแยงก็ผ่านกึ่งกลางความลึกคาน โดยปลายของรอยแตกร้าว จะอยู่ที่ระยะ 1 ใน 3 ความลึกคานจากผิวบนกับแนวเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามยาว และน้ำหนักจะตกลงเล็กน้อย ต่อมาเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกกระทำเข้าไปอีก รอยแตกร้าวแนวทแยงจะชัดเจนขึ้น พร้อมกับขยายความยาวออกไปตามแนวเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึงมากขึ้น คาบถึงจุดวิบัติที่น้ำหนักประลัยเฉลี่ย 6.4 ตัน

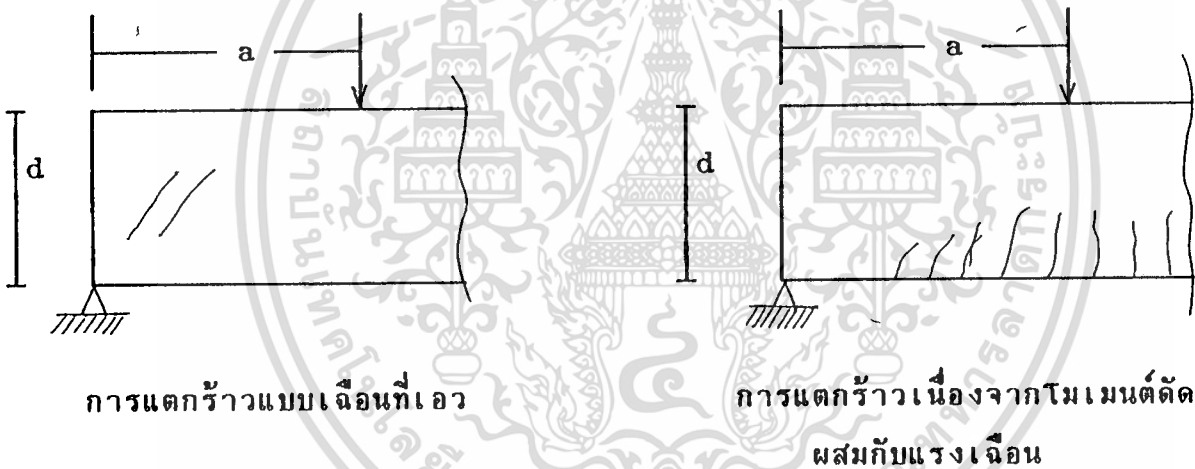


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

### - ลักษณะการวิบัติเนื่องจากการเฉือนในคานที่ไม่มีเหล็กเสริมตามขวาง

ในการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีเหล็กเสริมตามขวาง พบว่าการแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือน มีสองชนิดคือการแตกร้าวแบบเฉือนที่เอว (web shear crack) และการแตกร้าวแบบการดัดผสมกับการเฉือน (flexure shear crack) การแตกร้าวแบบเฉือนที่เอว มักพบในคานที่มีส่วนเอวบาง เช่นคานรูปตัวไอ รอยร้าวชนิดนี้เกิดขึ้นที่กลางคาน บริเวณผิวสะเทินและใกล้กับจุดรองรับ ส่วนการแตกร้าวแบบการดัดผสมกับการเฉือน เกิดขึ้นในช่วงคานที่มีทังโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนซึ่งห่างจากจุดรองรับ การแตกร้าวจะเริ่มต้นจากรอยร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่ผิวล่างของคาน รอยร้าวนี้เมื่อเคลื่อนตัวสูงขึ้น จะเบนออกเป็นรอยร้าวทแยง (ดูรูปที่ 5.2)



รูปที่ 5.2 การแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนในคาน

การวิบัติเนื่องจากการเฉือนแต่ละชนิดเป็นผลมาจาก ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงตามแนวแกน เราทราบแล้วว่าหน่วยแรงเฉือน  $v = V/bd$  และหน่วยแรงตามแนวแกน  $f = M/bd^2$  เนื่องจากเราไม่ทราบฟังก์ชันของหน่วยแรงกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงเขียนได้ในรูปของ

$$f = k_1 M / bd^2$$

$$\text{และ } v = k_2 V / bd$$

โดยที่  $k_1$  และ  $k_2$  เป็นค่าคงที่ซึ่งไม่ทราบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

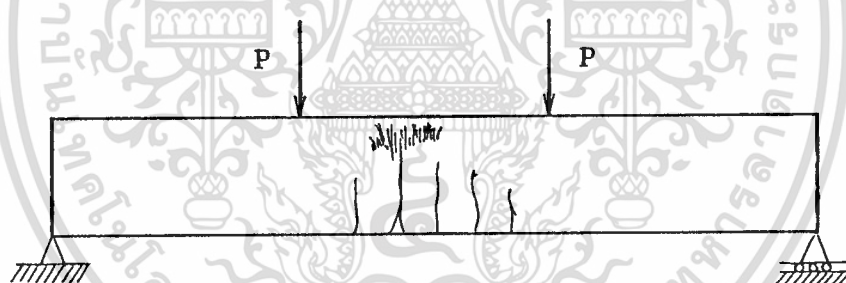
$$f/v = k_1 M / bd^2 = k_2 a/d$$

$$k_2 V / bd$$

ค่า  $a$  คืออัตราส่วนของ  $M/V$  ในคานช่วงเดี่ยวยุทธศาสตร์ซึ่งมีแรงกระทำเป็นระยะเท่าๆกัน จากกึ่งกลางคาน ค่า  $a$  เท่ากับระยะจากจุดรองรับถึงตำแหน่งของแรงกระทำเรียกว่า ช่วงการเฉือน  $d$  คือค่าความลึกประสิทธิภาพผลของคาน จะเห็นได้ว่าอัตราส่วน  $a/d$  เป็นพารามิเตอร์สำคัญเกี่ยวกับพฤติกรรมการณ์เฉือนของคาน การวิบัติของคานซึ่งมี  $a/d$  ต่างๆกัน จะมีลักษณะการวิบัติต่างกันดังต่อไปนี้

- คานช่วงการเฉือนยาวมาก

ในคานที่มีช่วงการเฉือนที่ยาวมาก ซึ่ง  $a/d = 6$  การวิบัติเกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ตัดแต่เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 5.3 การวิบัติของคานช่วงการเฉือนยาวมาก

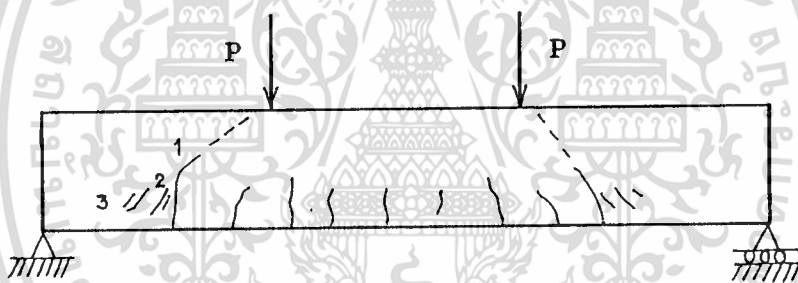
เมื่อโมเมนต์ตัดเนื่องจากแรงกระทำตามขวาง มีค่าสูงกว่ากำลังตัดของคานที่จุดแตกร้าว จะเกิดรอยร้าวกระจายในช่วงโมเมนต์ตัดสูงสุดตอนกลางคาน โดยรอยร้าวเริ่มต้นจากผิวล่างของคาน เมื่อแรงกระทำมีค่ามากขึ้นรอยร้าวจะเคลื่อนตัวสูงขึ้น ที่กำลังประลัยจะมีรอยร้าววิกฤตที่เคลื่อนตัวเข้าไปในบริเวณหน่วยแรงอัด พร้อมกับคอนกรีตด้านบนของคานเกิดการอัดตัว

- คานช่วงการเฉือนยาว

ในคานช่วงการเฉือนยาว มีอัตราส่วน  $a/d = 3$  หรือ  $4$  เมื่อโมเมนต์ตัดเพิ่มขึ้นสูงกว่ากำลังตัดของคานที่จุดแตกร้าว จะเกิดรอยร้าวในแนวตั้งบริเวณกลางคานเช่นเดียวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คานช่วงการเฉือนยาวมาก ต่อมารอยร้าวในแนวตั้งจะแผ่กระจายมายังบริเวณช่วงการเฉือน รอยร้าวในแนวตั้งนี้ เมื่อเคลื่อนตัวสูงขึ้นจะถูกอิทธิพลของหน่วยแรงเฉือน ทำให้รอยร้าวเริ่มเบนออกในแนวทแยงมุม รอยร้าวที่วิกฤตซึ่งเกิดที่ระยะประมาณ  $d$  จากแรงกระทำจะเคลื่อนตัวเร็วกว่ารอยร้าวอื่นๆ เมื่อเคลื่อนตัวเข้าไปในบริเวณส่วนที่รับหน่วยแรงอัดจะชะลอตัวหยุดนิ่งอยู่ชั่วคราวที่จุด 1 เมื่อแรงเฉือนมีค่าสูงขึ้น จะเกิดรอยร้าวแขนงที่จุด 2 เคลื่อนที่ต่อจากรอยร้าวแรกลงมาทางด้านล่าง ลงมาถึงระดับเหล็กเสริม และเริ่มเคลื่อนตัวตามแนวเหล็กเสริมไปยังจุดรองรับ ขณะเดียวกันอาจจะเกิดรอยร้าวแขนงเล็กๆ ที่จุด 3 เนื้อเหล็กเสริม หลังจากนั้นรอยร้าวใหญ่ซึ่งหยุดอยู่ที่จุด 1 ในที่สุดจะเคลื่อนตัวถึงผิวบนทำให้เกิดวิบัติอย่างรวดเร็ว การวิบัติลักษณะนี้เรียกว่าการวิบัติเนื่องจากแรงดึงในแนวทแยงมุม หรือ diagonal tension failure



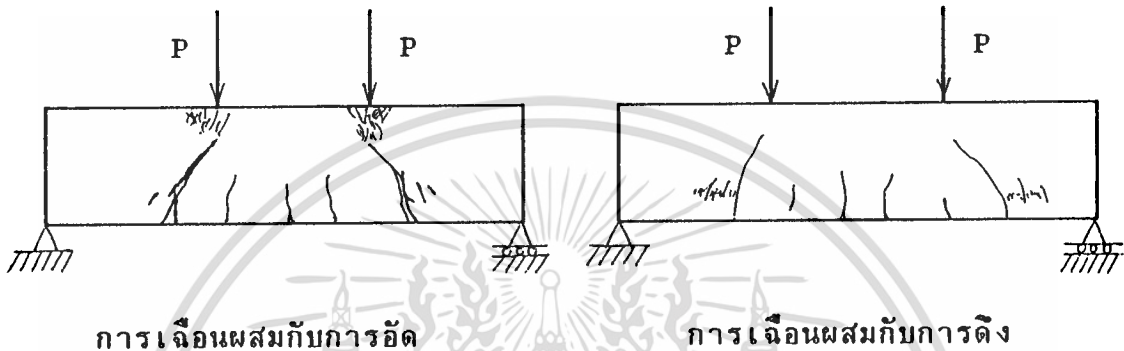
รูปที่ 5.4 การวิบัติของคานช่วงการเฉือนยาว

#### -คานช่วงการเฉือนสั้น

คานช่วงการเฉือนสั้น มีอัตราส่วน  $a/d$  ยาวกว่า 1 แต่สั้นกว่า 2.5 การวิบัติเนื่องจากการเฉือนเริ่มต้นคล้ายกับคานช่วงการเฉือนยาว รอยร้าวทแยงมุมวิกฤตจะเคลื่อนตัวเข้าไปถึงบริเวณที่รับแรงอัดแล้วหยุดอยู่ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นคอนกรีตส่วนที่อยู่ระหว่างรอยร้าวกับแรงกระทำและแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับจะมีลักษณะเหมือนโครงสร้างโค้ง (arch) โดยมีเหล็กเสริมทำหน้าที่เป็นเหล็กยึดตึง (tie) โครงสร้างโค้งของคอนกรีตนี้ทำให้คานรับแรงตามขวางได้เพิ่มขึ้นมากกว่าขณะที่เกิดรอยร้าวทแยงมุมวิกฤต เมื่อแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นรอยร้าวแขนงจะเริ่มเกิดตอนล่างของรอยร้าวทแยงมุมวิกฤต และเคลื่อนตัวมายังระดับเหล็กและเคลื่อนตัวตามแนวเหล็กเสริมไปสู่จุดรองรับ ขณะเดียวกันจะเกิดรอยร้าวแขนงเฉพาะแห่งเหนือระดับเหล็กเสริม ผลของรอยร้าวแขนงเคลื่อนตัวตามเหล็กเสริมทำให้เหล็กเสริมเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยึดเกาะกับคอนกรีต และในที่สุดการวิบัติเกิดขึ้นเนื่องจากการยึดเหล็กเสริมที่จุดรองรับ (anchorage failure) เราเรียกการวิบัติแบบนี้ว่า การวิบัติแบบการเฉือนผสมกับการดึง (shear tension failure)



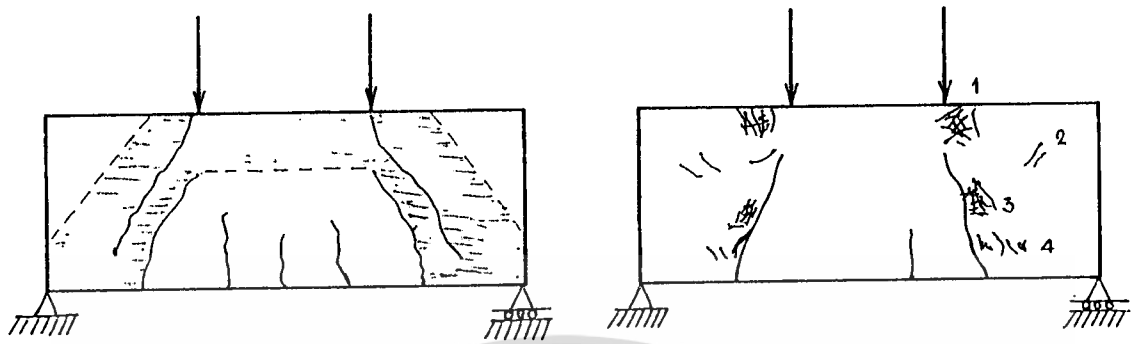
รูปที่ 5.4 การวิบัติของคานช่วงการเฉือนสั้น

ในบางครั้ง แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ เป็นตัวขยับยังไม่ให้รอยร้าวเคลื่อนตัวตามเหล็กเสริมเข้าใกล้จุดรองรับ ดังนั้นการวิบัติของการยึดเหล็กเสริมจึงไม่เกิดขึ้น ในกรณีนี้การวิบัติสุดท้ายเกิดขึ้นเนื่องจากคอนกรีตเหนือรอยร้าวทแยงมุม विकฤตใกล้เคียงกับแรงกระทำตามขวางด้านบนเกิดการอัดระเบิด ในขณะที่รอยร้าวทแยงมุม विकฤตมีความกว้างมากขึ้น การวิบัติลักษณะนี้เรียกว่า การวิบัติแบบการเฉือนผสมกับการอัด (shear compression failure)

#### - คานค้ำ

คานค้ำคือคานที่มีอัตราส่วน  $a/d$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เนื่องจากแรงตามขวางและแรงปฏิกิริยามีระยะใกล้กัน เมื่อเกิดรอยร้าวทแยงมุม विकฤตส่วนของคอนกรีตระหว่างแรงภายนอกรอยร้าวจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างโค้งแบบมีแรงดึงยึด (tied arch) โดยที่โครงคานค้ำมีความชันมากกว่าในคานช่วงการเฉือนสั้น การวิบัติสุดท้ายอาจเป็นลักษณะใดลักษณะหนึ่งดังนี้คือ เกิดการแยกตัวตามแนวทแยงมุม เกิดการวิบัติของการยึดเหล็กตามยาว การวิบัติเนื่องจากการกดเหนือจุดรองรับ การอัดระเบิดใต้แรงตามขวางโครงคานค้ำก่อนการวิบัติมีลักษณะเหมือนเสา ซึ่งรับแรงเชื่อมต่อที่ปลาย ดังนั้นการวิบัติของโครงคานค้ำอาจมีลักษณะระเบิดบริเวณตอนกลางของโครง และเกิดการแตกร้าวแขนงทแยงมุมตรงข้ามกับบริเวณที่อัดระเบิดที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 การวิบัติของคานเล็ก

- 1 การอัดระเบิดไตแรงตามขวาง
- 2 รอยร้าวแขนง
- 3 การอัดระเบิดของโครง
- 4 การวิบัติของการยึดเหล็กตามยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.1

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kgc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.97	30.15	13.32	70900	401.21	2.51
2	7	15.06	30.11	13.20	67650	382.82	2.46
3	7	14.95	30.03	13.11	66660	377.22	2.49
4	7	15.02	30.05	13.27	69050	390.74	2.49
5	7	14.93	30.07	13.09	67150	379.99	2.49
AVERAGE						386.40	2.49

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.2

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kgc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.99	30.15	13.09	65800	372.35	2.46
2	7	15.01	29.81	12.85	62200	351.98	2.44
3	7	15.03	30.04	13.14	68500	387.63	2.47
4	7	14.98	29.94	12.92	64050	362.45	2.45
5	7	15.05	30.03	13.21	69150	391.31	2.47
AVERAGE						373.14	2.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER-CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.3

SPBC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg/c)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	15.01	30.05	12.97	66120	374.16	2.44
2	7	15.05	30.08	12.95	62720	354.92	2.42
3	7	14.94	29.98	12.88	67360	381.18	2.45
4	7	14.96	30.02	12.89	64850	366.98	2.44
5	7	15.03	29.96	13.03	68200	385.93	2.45
AVERAGE						372.63	2.44

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER-CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.4

SPBC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg/c)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.99	30.02	12.81	62860	355.72	2.42
2	7	15.02	29.97	12.89	64000	362.17	2.43
3	7	15.01	29.99	12.96	66000	373.48	2.44
4	7	15.03	30.04	12.83	63850	361.32	2.41
5	7	14.98	30.02	12.79	61900	350.28	2.42
AVERAGE						360.59	2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.5

SPEC. No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		COMPRESSIVE STRENGTH (KGS)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)	(KG)	(KG)		
1	7	15.05	30.09	13.25	72000	407.44	2.48
2	7	15.08	30.05	13.51	79000	447.05	2.52
3	7	15.09	29.97	13.38	77650	439.41	2.50
4	7	15.04	29.99	13.32	74550	421.87	2.50
5	7	14.98	30.12	13.47	79700	451.01	2.54
AVERAGE						433.35	2.51

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.6

SPEC. No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		COMPRESSIVE STRENGTH (KGS)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)	(KG)	(KG)		
1	7	15.06	29.73	13.18	70650	399.80	2.49
2	7	15.09	30.06	13.24	68000	384.80	2.46
3	7	15.02	29.85	13.29	73920	418.30	2.51
4	7	15.04	29.97	13.26	71050	402.06	2.49
5	7	14.98	30.11	13.13	69850	395.27	2.47
AVERAGE						400.05	2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.7

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		COMPRESSIVE STRENGTH (Kec)	DENSITY ( $\rho/cm^3$ )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)	(kg)	(kg)		
1	7	15.03	29.97	13.05	65800	372.35	2.45
2	7	15.01	29.91	13.18	70050	396.40	2.49
3	7	14.98	30.02	13.13	67000	379.14	2.48
4	7	15.02	29.95	13.11	67750	383.39	2.47
5	7	14.99	30.06	13.02	64850	366.98	2.45
AVERAGE						379.65	2.47

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.8

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		COMPRESSIVE STRENGTH (Kec)	DENSITY ( $\rho/cm^3$ )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)	(kg)	(kg)		
1	7	15.09	30.02	13.11	65400	370.09	2.44
2	7	15.15	29.83	13.18	65660	371.56	2.45
3	7	15.07	29.95	12.99	63200	357.64	2.43
4	7	15.02	30.09	13.05	62150	351.70	2.45
5	7	15.09	30.06	13.22	69750	394.70	2.46
AVERAGE						369.14	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.9

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMPRESSIVE STRENGTH (kpc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)				
1	7	14.94	29.92	12.95	70000	396.12	2.47
2	7	14.91	30.04	13.02	72000	407.44	2.48
3	7	14.95	30.01	13.11	74250	420.17	2.49
4	7	14.97	29.95	13.05	71950	407.15	2.48
5	7	14.95	29.98	12.98	70750	400.36	2.47
AVERAGE						406.25	2.48

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.10

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMPRESSIVE STRENGTH (kpc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)				
1	7	14.95	29.98	12.88	66500	376.31	2.45
2	7	15.01	30.03	13.18	73750	417.34	2.48
3	7	15.01	30.08	13.06	65000	367.82	2.45
4	7	14.96	29.94	13.02	70150	396.97	2.47
5	7	14.99	30.05	13.05	69250	391.88	2.46
AVERAGE						390.06	2.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.11

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)				
1	7	14.96	30.05	12.97	69700	394.42	2.46
2	7	15.01	30.04	12.99	68000	384.80	2.44
3	7	14.99	29.96	13.04	71500	404.61	2.47
4	7	15.04	29.95	12.91	63850	361.32	2.43
5	7	15.03	30.02	12.95	64550	365.28	2.43
AVERAGE						382.09	2.44

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.12

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)				
1	7	15.02	29.98	12.98	67100	379.71	2.44
2	7	15.03	30.05	12.85	63000	356.51	2.41
3	7	15.03	29.96	13.03	70000	396.12	2.45
4	7	15.01	30.06	12.96	67500	381.97	2.44
5	7	14.99	30.07	12.89	64850	366.98	2.43
AVERAGE						376.26	2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.13.

SPBC No.	AGE (Days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.95	29.87	13.16	97000	548.91	2.51
2	7	14.98	29.81	13.29	100250	567.30	2.53
3	7	14.97	29.85	13.27	99500	563.06	2.53
4	7	14.99	29.95	13.31	98700	558.53	2.52
5	7	15.01	29.98	13.23	95550	540.70	2.49
AVERAGE						555.70	2.52

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.14

SPBC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.89	30.03	13.22	98600	557.96	2.53
2	7	14.99	29.85	13.11	95300	539.29	2.49
3	7	14.98	29.89	13.19	97300	550.61	2.50
4	7	14.97	30.01	13.12	92500	523.44	2.48
5	7	14.95	29.92	13.04	93350	528.25	2.48
AVERAGE						539.91	2.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.15

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	15.03	29.85	13.02	90900	514.39	2.46
2	7	14.99	30.02	13.18	95650	541.27	2.49
3	7	14.95	29.93	13.05	92500	523.44	2.48
4	7	15.01	30.04	13.18	94500	534.76	2.48
5	7	15.02	29.95	13.07	91800	519.48	2.46
AVERAGE						526.67	2.47

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.16

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.97	30.07	12.96	88500	500.81	2.45
2	7	15.02	30.11	13.21	92200	521.75	2.48
3	7	14.98	29.95	13.05	91450	517.50	2.47
4	7	15.01	30.03	12.91	89450	506.18	2.43
5	7	15.03	30.01	12.99	90050	509.58	2.44
AVERAGE						511.16	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.17

SPCC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		COMPRESSIVE STRENGTH	DENSITY
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)	(kg.)	(kg.)	(kg/sq.)	(g/cm <sup>3</sup> )
1	7	14.96	29.94	13.45	106700	603.80	2.56
2	7	14.94	29.91	13.22	104550	591.63	2.52
3	7	14.95	29.98	13.29	105000	594.18	2.53
4	7	14.97	29.94	13.21	99500	563.06	2.51
5	7	14.93	29.97	13.27	100500	568.71	2.53
AVERAGE						584.28	2.53

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.18

SPCC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		COMPRESSIVE STRENGTH	DENSITY
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)	(kg.)	(kg.)	(kg/sq.)	(g/cm <sup>3</sup> )
1	7	15.01	29.93	13.28	98750	558.81	2.51
2	7	14.92	29.91	13.36	101000	571.54	2.55
3	7	14.96	29.88	13.17	95000	537.59	2.51
4	7	14.98	30.01	13.32	99650	563.90	2.52
5	7	14.94	29.93	13.26	96450	545.80	2.53
AVERAGE						555.53	2.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER-CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.19

SPEC No	AGE (Days)	DIMENSION		WEIGHT (Kg.)	ULTIMATE LOAD (Kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (Ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.88	30.01	13.16	95500	540.42	2.52
2	7	15.01	29.91	13.21	96500	546.08	2.50
3	7	14.94	29.96	13.24	99500	563.06	2.52
4	7	14.97	29.93	13.05	92500	523.44	2.48
5	7	15.01	29.95	13.13	94750	536.18	2.48
AVERAGE						541.83	2.50

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER-CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.20

SPEC No	AGE (Days)	DIMENSION		WEIGHT (Kg.)	ULTIMATE LOAD (Kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (Ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.93	29.89	12.89	89300	505.33	2.46
2	7	15.02	29.84	13.09	92750	524.86	2.48
3	7	14.94	30.03	13.15	93850	531.08	2.50
4	7	14.97	30.06	13.06	90150	510.14	2.47
5	7	14.91	29.93	12.98	91500	517.78	2.48
AVERAGE						517.84	2.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.21

SPBC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.99	29.88	13.15	94250	533.35	2.49
2	7	14.94	29.96	13.18	96500	546.08	2.51
3	7	14.96	29.92	13.25	99200	561.36	2.52
4	7	15.01	29.91	13.23	98700	558.53	2.50
5	7	14.98	30.01	13.19	92750	524.86	2.49
AVERAGE						544.83	2.50

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.22

SPBC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	7	14.93	29.91	13.07	94000	531.93	2.50
2	7	14.97	29.87	13.12	95000	537.59	2.50
3	7	15.03	29.95	13.15	92850	525.42	2.47
4	7	15.01	30.03	13.11	93250	527.69	2.47
5	7	14.96	29.99	13.01	91750	519.20	2.47
AVERAGE						528.37	2.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200

WATER - CEMENT RATIO = 0.3

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L

TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.23

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)				
1	7	15.01	29.97	13.02	90450	511.84	2.46
2	7	14.95	30.05	13.16	95150	538.44	2.49
3	7	14.96	29.98	13.09	92100	521.18	2.48
4	7	15.03	29.94	13.06	89500	506.47	2.46
5	7	14.98	30.01	13.12	93000	526.27	2.48
AVERAGE						520.84	2.47

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200

WATER - CEMENT RATIO = 0.3

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L

TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.24

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg)	ULTIMATE LOAD (kg)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm)	HEIGHT (cm)				
1	7	15.01	29.92	13.06	90250	510.71	2.47
2	7	14.97	29.98	12.91	88500	500.81	2.45
3	7	14.98	30.02	12.96	89650	507.32	2.45
4	7	14.95	30.05	12.89	86750	490.90	2.44
5	7	15.03	29.97	13.08	91500	517.78	2.46
AVERAGE						505.50	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.25

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY ( $\rho/cm^3$ )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.04	29.88	13.10	111450	630.68	2.47
2	28	14.99	30.08	13.05	109850	621.62	2.46
3	28	14.95	30.02	13.25	117000	662.08	2.51
4	28	15.01	29.96	13.18	115000	650.77	2.49
5	28	14.97	30.04	13.12	113550	642.56	2.48
AVERAGE						641.54	2.48

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.26

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY ( $\rho/cm^3$ )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.01	30.07	13.02	107250	606.91	2.45
2	28	14.99	29.94	13.16	115000	650.77	2.49
3	28	14.96	30.04	12.89	103550	585.97	2.44
4	28	15.02	29.83	13.01	110750	626.72	2.46
5	28	14.98	30.09	13.13	119500	676.23	2.48
AVERAGE						629.32	2.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER-CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.27

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kgf)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.01	30.11	12.93	101200	572.68	2.43
2	28	14.99	30.09	13.15	117050	662.37	2.48
3	28	15.04	29.97	12.89	105850	598.99	2.42
4	28	14.97	30.03	13.02	110150	623.32	2.46
5	28	15.07	29.91	13.10	112450	636.34	2.46
AVERAGE						618.74	2.45

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER-CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.28

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kgf)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.02	29.99	12.91	107550	608.61	2.43
2	28	14.99	30.04	12.85	104250	589.93	2.42
3	28	15.02	30.01	13.10	110150	623.32	2.46
4	28	15.04	29.97	12.86	102900	582.30	2.42
5	28	14.97	30.02	12.89	105750	598.42	2.44
AVERAGE						600.52	2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.29

SPBC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.97	30.05	13.17	112050	634.07	2.49
2	28	15.01	29.98	13.24	116950	661.80	2.50
3	28	14.98	29.92	13.15	115000	650.77	2.49
4	28	14.96	29.95	13.31	120300	680.76	2.53
5	28	14.94	29.98	13.25	119500	676.23	2.52
AVERAGE						660.73	2.51

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.30

SPBC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.98	30.11	13.24	116350	658.41	2.49
2	28	15.04	29.97	13.10	109600	620.21	2.46
3	28	15.06	29.85	13.12	111050	628.41	2.47
4	28	14.97	30.02	13.28	113500	642.28	2.51
5	28	15.01	29.83	13.16	115000	650.77	2.49
AVERAGE						640.02	2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 531

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)	(kg.)	(kg.)		
1	28	15.02	30.05	13.06	107150	606.35	2.45
2	28	14.97	29.98	12.97	109500	619.64	2.46
3	28	15.03	29.95	13.13	110500	625.30	2.47
4	28	15.01	29.92	13.14	112700	637.75	2.48
5	28	14.99	30.02	13.06	110000	622.47	2.47
AVERAGE						622.30	2.47

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.32

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)	(kg.)	(kg.)		
1	28	15.04	30.03	12.94	102750	581.45	2.43
2	28	15.02	30.04	13.16	110450	625.02	2.47
3	28	14.97	29.93	12.95	107400	607.76	2.46
4	28	15.01	30.01	12.97	104800	593.05	2.44
5	28	14.98	29.99	13.07	110500	625.30	2.47
AVERAGE						606.52	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.33

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg/cm <sup>2</sup> )	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.96	29.98	12.98	109500	619.64	2.46
2	28	15.02	30.01	13.23	113750	643.69	2.49
3	28	14.96	30.03	13.11	112950	639.17	2.48
4	28	15.04	29.96	13.05	107650	609.17	2.45
5	28	14.92	29.95	13.06	115000	650.77	2.49
AVERAGE						632.49	2.48

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.34

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kg/cm <sup>2</sup> )	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.97	30.05	13.11	112750	638.03	2.48
2	28	15.02	29.94	13.09	110900	627.57	2.47
3	28	15.04	29.88	13.06	108250	612.57	2.46
4	28	14.91	30.07	12.98	110150	623.32	2.47
5	28	14.99	30.02	12.95	105800	598.71	2.44
AVERAGE						620.04	2.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.35

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.02	30.02	13.02	110250	623.89	2.45
2	28	15.05	29.95	13.06	109000	616.81	2.45
3	28	15.02	29.98	12.89	105200	595.31	2.43
4	28	15.01	30.04	13.09	112500	636.62	2.46
5	28	14.99	30.01	12.85	104850	593.33	2.43
AVERAGE						613.19	2.44

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.36

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.01	30.04	12.88	105000	594.18	2.42
2	28	15.07	29.99	12.99	108500	613.98	2.43
3	28	15.04	29.97	12.91	102400	579.47	2.42
4	28	15.06	29.85	13.03	110650	626.15	2.45
5	28	14.98	30.02	12.89	107050	605.78	2.44
AVERAGE						603.91	2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.37

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (knc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.95	30.02	12.97	110600	625.87	2.46
2	28	15.01	29.95	13.12	116500	659.26	2.48
3	28	14.96	30.05	13.31	123750	700.28	2.52
4	28	14.94	29.92	13.14	119500	676.23	2.51
5	28	14.99	29.93	13.28	122500	693.21	2.51
AVERAGE						670.97	2.50

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.38

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (knc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.95	29.93	13.09	115400	653.03	2.49
2	28	15.03	29.96	13.11	110850	627.28	2.47
3	28	14.98	29.91	13.15	118500	670.57	2.49
4	28	15.01	29.85	13.21	121500	687.55	2.50
5	28	14.93	30.08	13.05	113500	642.28	2.48
AVERAGE						656.14	2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.39

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kps)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.99	29.92	13.02	116500	659.26	2.47
2	28	15.01	30.01	13.19	112450	636.34	2.48
3	28	14.95	29.97	12.97	111550	631.24	2.47
4	28	15.07	29.93	13.17	119500	676.23	2.47
5	28	15.03	29.85	12.94	109250	618.23	2.44
AVERAGE						644.26	2.47

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 450:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.40

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kps)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.03	30.01	13.21	117000	662.08	2.48
2	28	14.98	30.07	13.09	113500	642.28	2.47
3	28	15.01	30.15	13.18	113550	642.56	2.47
4	28	14.93	30.03	12.89	111850	632.94	2.45
5	28	15.04	29.95	12.95	106500	602.67	2.43
AVERAGE						636.51	2.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.41

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY ( $\text{g/cm}^3$ )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.01	30.03	13.22	115000	650.77	2.49
2	28	14.97	29.96	13.26	124000	701.70	2.51
3	28	14.91	29.91	13.05	116850	661.24	2.50
4	28	14.94	29.89	13.15	121850	689.53	2.51
5	28	14.99	30.01	13.32	125450	709.90	2.52
AVERAGE						682.63	2.51

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.42

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY ( $\text{g/cm}^3$ )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.97	29.99	13.04	112500	636.62	2.47
2	28	15.03	30.01	13.21	119500	676.23	2.48
3	28	14.97	29.93	13.18	121500	687.55	2.50
4	28	15.02	29.96	13.31	124650	705.38	2.51
5	28	15.01	29.86	13.07	116750	660.67	2.47
AVERAGE						673.29	2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.43

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kpc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.03	29.97	13.09	120250	680.48	2.46
2	28	14.98	29.93	13.05	109850	621.62	2.47
3	28	14.92	29.87	13.11	123950	701.41	2.51
4	28	15.01	29.91	13.01	118500	670.57	2.46
5	28	14.89	30.01	12.96	114500	647.94	2.48
AVERAGE						664.41	2.48

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.44

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kpc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.96	29.93	13.09	112500	636.62	2.49
2	28	15.03	30.06	13.16	118200	668.88	2.47
3	28	14.98	30.03	12.99	110750	626.72	2.45
4	28	15.11	29.84	13.07	109750	621.06	2.44
5	28	14.92	29.89	12.91	115000	650.77	2.47
AVERAGE						640.81	2.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.45

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.98	30.01	13.13	113250	640.86	2.48
2	28	15.03	29.92	13.09	109500	619.64	2.47
3	28	14.92	29.85	13.02	115700	654.73	2.49
4	28	14.94	29.96	13.18	121500	687.55	2.51
5	28	14.96	29.88	12.99	109250	618.23	2.47
AVERAGE						644.20	2.49

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.46

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.94	29.93	12.93	106000	599.84	2.46
2	28	15.01	30.05	13.11	109550	619.93	2.47
3	28	14.99	29.95	13.21	117500	664.91	2.50
4	28	14.97	29.87	13.02	113500	642.28	2.48
5	28	14.93	29.92	13.05	110850	627.28	2.49
AVERAGE						630.85	2.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.47

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kps)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	14.98	29.94	12.95	105250	595.59	2.45
2	28	15.03	30.02	12.98	109650	620.49	2.44
3	28	14.94	29.83	12.89	100300	567.58	2.46
4	28	14.89	29.88	12.91	119000	673.40	2.48
5	28	15.01	30.05	13.05	114500	647.94	2.45
AVERAGE						621.00	2.46

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 550:600:1200  
 WATER - CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.48

SPEC No.	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	COMPRESSIVE STRENGTH (kps)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		DIAMETER (cm.)	HEIGHT (cm.)				
1	28	15.02	29.88	12.93	106400	602.10	2.44
2	28	15.03	29.97	12.97	101500	574.37	2.44
3	28	14.98	29.98	13.03	114500	647.94	2.47
4	28	14.96	30.02	13.12	111850	632.94	2.49
5	28	15.08	30.06	13.07	109500	619.64	2.43
AVERAGE						615.40	2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200

WATER - CEMENT RATIO = 0.3

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L

TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 1

TABLE 5.49

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		SHEAR STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		SECTION (cm.)	LENGTH (cm.)	(kg.)	(kg.)		
1	28	202.505	100.5	50.80	6825	33.70	2.50
2	28	206.04	100.3	51.05	6700	32.52	2.47
3	28	207.545	100.4	50.95	6550	31.56	2.45
AVERAGE						32.59	2.47

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L

TABLE 5.50

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		SHEAR STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		SECTION (cm.)	LENGTH (cm.)	(kg.)	(kg.)		
1	28	207.05	100.2	50.35	6300	30.43	2.43
2	28	201.96	100.4	50.30	6450	31.94	2.48
3	28	202.98	100.5	50.10	6250	30.79	2.46
AVERAGE						31.05	2.45

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L

TABLE 5.51

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		SHEAR STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		SECTION (cm.)	LENGTH (cm.)	(kg.)	(kg.)		
1	28	205.03	100.5	49.95	6050	29.51	2.42
2	28	200.97	100.4	49.90	6400	31.85	2.47
3	28	207.03	100.2	50.05	6200	29.95	2.41
AVERAGE						30.43	2.44

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L

TABLE 5.52

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT ULTIMATE LOAD		SHEAR STRENGTH (ksc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		SECTION (cm.)	LENGTH (cm.)	(kg.)	(kg.)		
1	28	207.545	100.3	50.20	6150	29.63	2.41
2	28	205.02	100.6	50.30	6250	30.48	2.44
3	28	206.55	100.2	50.20	6000	29.05	2.43
AVERAGE						29.72	2.43

QUANTITY OF CEMENT:SAND:GRAVEL IN 1 M = 500:600:1200  
 WATER-CEMENT RATIO = 0.3  
 ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1 % L  
 TYPE OF CEMENT : PORTLAND TYPE 3

TABLE 5.53

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	SHEAR STRENGTH (kpc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		SECTION (cm.)	LENGTH (cm.)				
1	28	202.505	100.2	49.75	6650	32.84	2.45
2	28	203.04	100.3	50.25	6800	33.49	2.47
3	28	201.545	100.25	50.30	6850	33.99	2.49
AVERAGE						33.44	2.47

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.2 % L  
 TABLE 5.54

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	SHEAR STRENGTH (kpc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		SECTION (cm.)	LENGTH (cm.)				
1	28	201.96	100.5	50.10	6650	32.93	2.47
2	28	204.05	100.2	50.25	6600	32.35	2.46
3	28	202.98	100.6	49.80	6450	31.78	2.44
AVERAGE						32.35	2.45

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 1.5 % L  
 TABLE 5.55

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	SHEAR STRENGTH (kpc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		SECTION (cm.)	LENGTH (cm.)				
1	28	204.03	100.25	50.05	6400	31.37	2.45
2	28	204.015	100.4	50.20	6450	31.62	2.45
3	28	202.04	100.2	49.20	6250	30.93	2.43
AVERAGE						31.31	2.44

ZENTRAMENT F IN 100 KG. CEMENT = 2.0 % L  
 TABLE 5.56

SPEC No	AGE (days)	DIMENSION		WEIGHT (kg.)	ULTIMATE LOAD (kg.)	SHEAR STRENGTH (kpc)	DENSITY (g/cm <sup>3</sup> )
		SECTION (cm.)	LENGTH (cm.)				
1	28	204.575	100.3	49.80	6200	30.31	2.43
2	28	205.02	100.5	50.20	6500	31.70	2.44
3	28	207.545	100.1	50.25	6400	30.84	2.42
AVERAGE						30.95	2.43

NO.	TYPE	WEIGHT PER METRE (Kg)	SECTION AREA (cm <sup>2</sup> )	YIELD STRENGTH (Kg/cm <sup>2</sup> )	TENSILE STRENGTH (Kg/cm <sup>2</sup> )	ELONGATION IN 20 cm. (%)	MODULUS OF ELASTICITY (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	SD-24 Ø 12 mm.	0.880	1.130	2857.14	4501.78	20.75	2.00E+06
2	SD-24 Ø 12 mm.	0.880	1.130	2821.15	4392.86	21.25	2.00E+06
3	SD-24 Ø 12 mm.	0.878	1.130	2918.15	4458.31	20.00	2.00E+06
4	SD-24 Ø 12 mm.	0.882	1.130	2688.17	4480.29	21.00	2.00E+06
5	SD-24 Ø 12 mm.	0.880	1.130	2760.25	4530.55	20.50	2.00E+06
AVERAGE		0.880	1.130	2808.97	4472.76	20.70	2.00E+06

ตารางที่ 5.57 ผลการตรวจสอบสมบัติและกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.58 การทดสอบผสมคอนกรีตโดยสัดส่วนผสมต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ type I)

MIXTURE NO.	CEMENT RATIO BY WEIGHT CEMENT SAND GRAVEL	W/C RATIO BY WEIGHT	ADMIXTURE RATIO (%)	AGE (DAYS)	f <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	REMARK
1	1.00:1.33:2.67	0.30	0.00	7	283.72	FROM (*)
2	1.00:1.33:2.67	0.30	1.00	7	386.40	
3	1.00:1.33:2.67	0.30	1.20	7	373.14	
4	1.00:1.33:2.67	0.30	1.50	7	372.63	
5	1.00:1.33:2.67	0.30	2.00	7	360.59	
6	1.00:1.20:2.40	0.30	0.00	7	291.50	FROM (*)
7	1.00:1.20:2.40	0.30	1.00	7	433.35	
8	1.00:1.20:2.40	0.30	1.20	7	400.05	
9	1.00:1.20:2.40	0.30	1.50	7	379.65	
10	1.00:1.20:2.40	0.30	2.00	7	369.14	
11	1.00:1.09:2.18	0.30	0.00	7	282.81	FROM (*)
12	1.00:1.09:2.18	0.30	1.00	7	406.25	
13	1.00:1.09:2.18	0.30	1.20	7	390.06	
14	1.00:1.09:2.18	0.30	1.50	7	382.09	
15	1.00:1.09:2.18	0.30	2.00	7	376.26	

\* หมายถึง ใช้ผลจากการทดสอบแยกต่างหากภายหลังโดยใช้ค่าเฉลี่ย 3 ถิ่นตัวอย่าง

ตารางที่ 559 การทดสอบผสมคอนกรีตโดยสัดส่วนผสมต่าง ๆ กัน (ปูนซีเมนต์ type I)

MIXTURE NO.	CEMENT RATIO BY WEIGHT CEMENT SAND GRAVEL	W/C RATIO BY WEIGHT	ADMIXTURE RATIO (%)	AGE (DAYS)	FC (Kg/cm <sup>2</sup> )	REMARK
1	1.00:1.33:2.67	0.30	0.00	28	485.67	FROM (*)
2	1.00:1.33:2.67	0.30	1.00	28	641.54	
3	1.00:1.33:2.67	0.30	1.20	28	629.32	
4	1.00:1.33:2.67	0.30	1.50	28	618.74	
5	1.00:1.33:2.67	0.30	2.00	28	600.52	
6	1.00:1.20:2.40	0.30	0.00	28	498.25	FROM (*)
7	1.00:1.20:2.40	0.30	1.00	28	660.73	
8	1.00:1.20:2.40	0.30	1.20	28	640.02	
9	1.00:1.20:2.40	0.30	1.50	28	622.30	
10	1.00:1.20:2.40	0.30	2.00	28	606.52	
11	1.00:1.09:2.18	0.30	0.00	28	499.16	FROM (*)
12	1.00:1.09:2.18	0.30	1.00	28	632.49	
13	1.00:1.09:2.18	0.30	1.20	28	620.04	
14	1.00:1.09:2.18	0.30	1.50	28	613.19	
15	1.00:1.09:2.18	0.30	2.00	28	603.91	

\* หมายถึง ค่าที่ได้จากการทดสอบแยกต่างหากภายหลังโดยใช้ค่าเฉลี่ย 3 วันตัวอย่าง

ตารางที่ 5.00 การทดสอบผสมคอนกรีตโดยสัดส่วนผสมต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ type III)

MIXTURE NO.	CEMENT RATIO BY WEIGHT CEMENT : SAND : GRAVEL	W/C RATIO BY WEIGHT	ADMIXTURE RATIO (%)	AGE (DAYS)	FC (Kg/cm <sup>2</sup> 3)	REMARK
1	1.00:1.33:2.67	0.30	0.00	7	394.63	FROM (*)
2	1.00:1.33:2.67	0.30	1.00	7	555.70	
3	1.00:1.33:2.67	0.30	1.20	7	539.91	
4	1.00:1.33:2.67	0.30	1.50	7	526.67	
5	1.00:1.33:2.67	0.30	2.00	7	511.16	
6	1.00:1.20:2.40	0.30	0.00	7	402.74	FROM (*)
7	1.00:1.20:2.40	0.30	1.00	7	584.28	
8	1.00:1.20:2.40	0.30	1.20	7	555.53	
9	1.00:1.20:2.40	0.30	1.50	7	541.83	
10	1.00:1.20:2.40	0.30	2.00	7	517.84	
11	1.00:1.09:2.18	0.30	0.00	7	392.27	FROM (*)
12	1.00:1.09:2.18	0.30	1.00	7	544.88	
13	1.00:1.09:2.18	0.30	1.20	7	528.37	
14	1.00:1.09:2.18	0.30	1.50	7	520.84	
15	1.00:1.09:2.18	0.30	2.00	7	505.50	

\* หมายถึง ใช้ผลจากการทดสอบแยกต่างหากภายหลังโดยใช้ค่าเฉลี่ย 3 ชั้นตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

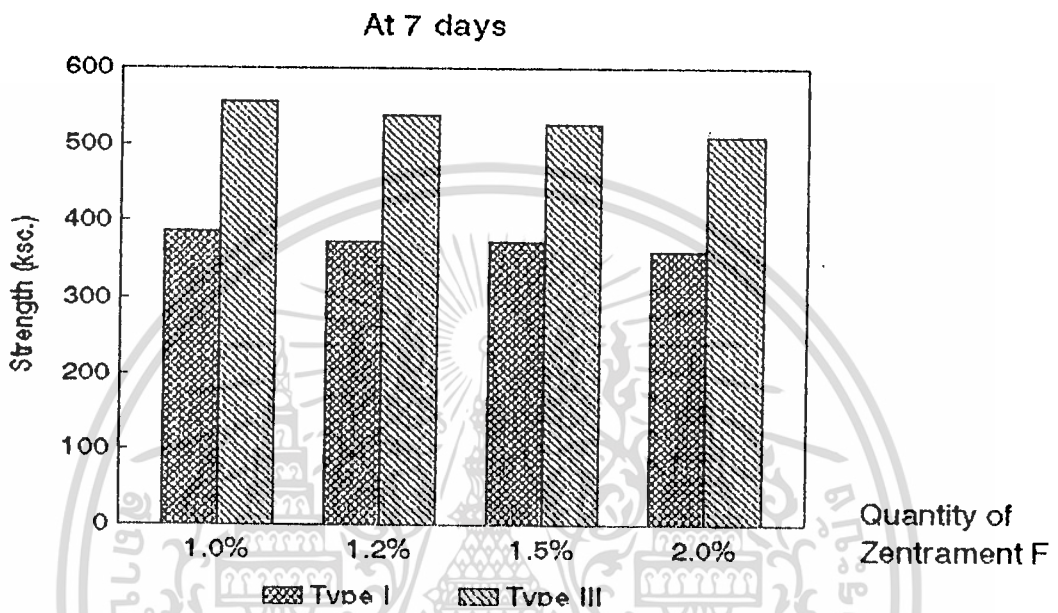
ตารางที่ 5.01 การทดสอบผสมคอนกรีตโดยสัดส่วนผสมต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ type III)

MIXTURE NO.	CEMENT RATIO BY WEIGHT CEMENT SAND GRAVEL	W/C RATIO BY WEIGHT	ADMIXTURE RATIO (%)	AGE (DAYS)	$f_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	REMARK
1	1.00:1.33:2.67	0.30	0.00	28	501.02	FROM (*)
2	1.00:1.33:2.67	0.30	1.00	28	670.97	
3	1.00:1.33:2.67	0.30	1.20	28	656.14	
4	1.00:1.33:2.67	0.30	1.50	28	644.26	
5	1.00:1.33:2.67	0.30	2.00	28	636.51	
6	1.00:1.20:2.40	0.30	0.00	28	505.31	FROM (*)
7	1.00:1.20:2.40	0.30	1.00	28	682.63	
8	1.00:1.20:2.40	0.30	1.20	28	673.29	
9	1.00:1.20:2.40	0.30	1.50	28	664.41	
10	1.00:1.20:2.40	0.30	2.00	28	640.81	
11	1.00:1.09:2.18	0.30	0.00	28	496.38	FROM (*)
12	1.00:1.09:2.18	0.30	1.00	28	644.20	
13	1.00:1.09:2.18	0.30	1.20	28	630.85	
14	1.00:1.09:2.18	0.30	1.50	28	621.00	
15	1.00:1.09:2.18	0.30	2.00	28	615.40	

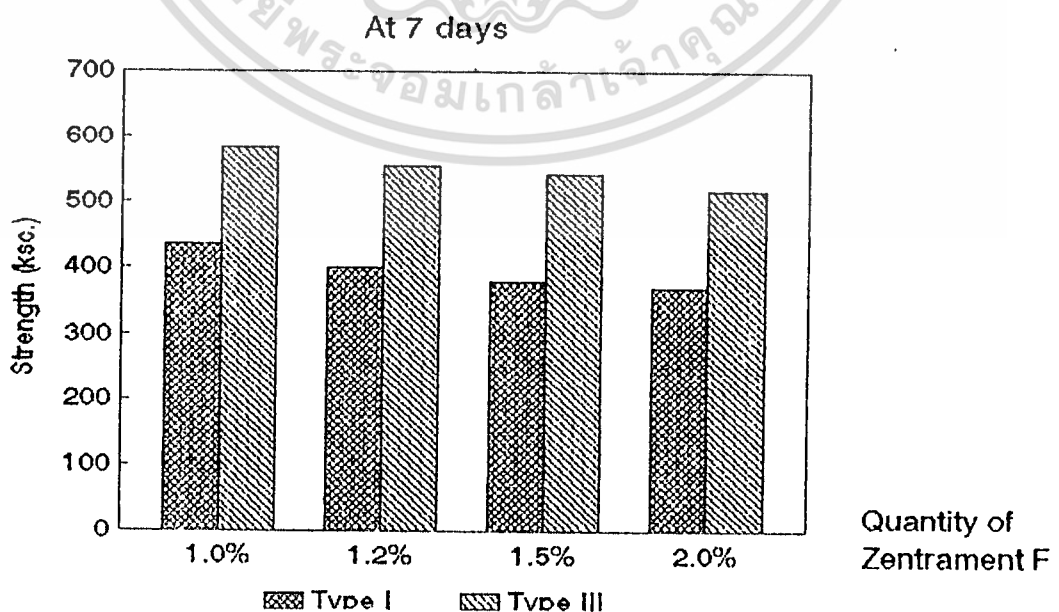
\* หมายถึง ouse ผลจากการทดสอบแยกต่างหากภายใต้ค่าเฉลี่ย 3 ชั้นตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.1 (strength & Quantity of Zentrament F)  
Quantity of cement = 450 Kg./1 M<sup>3</sup>

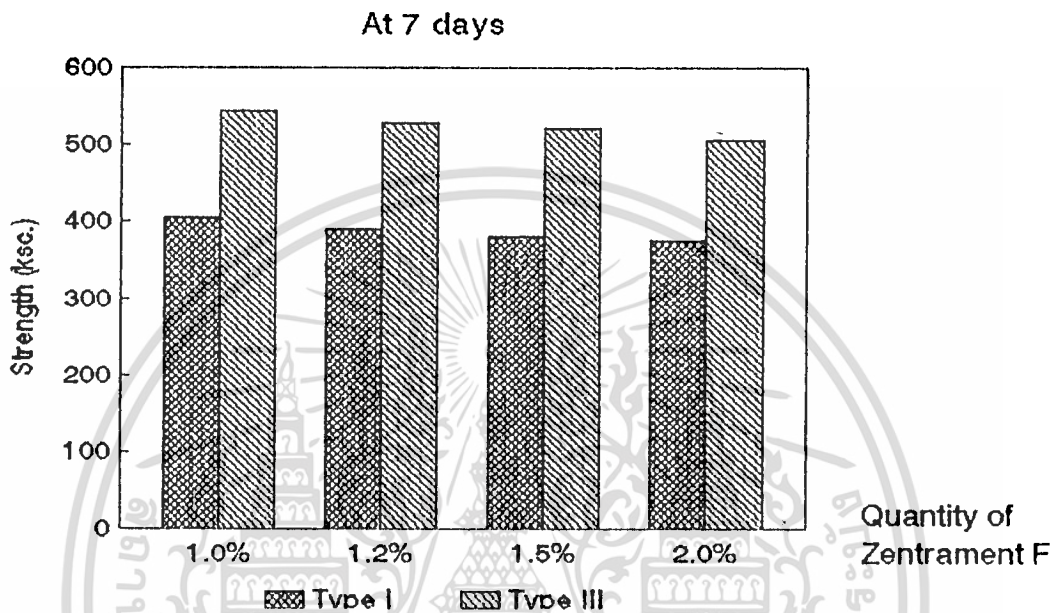


Graph No.2 (strength & Quantity of Zentrament F)  
Quantity of cement = 500 Kg./1 M<sup>3</sup>

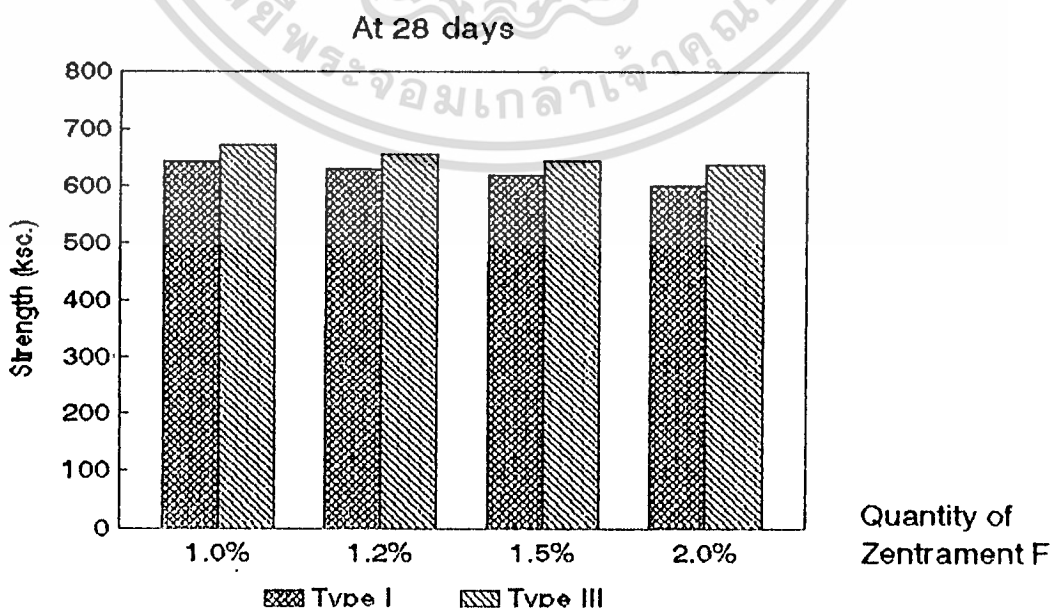


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.3 (strength & Quantity of Zentrament F)  
Quantity of cement = 550 Kg./1 M<sup>3</sup>

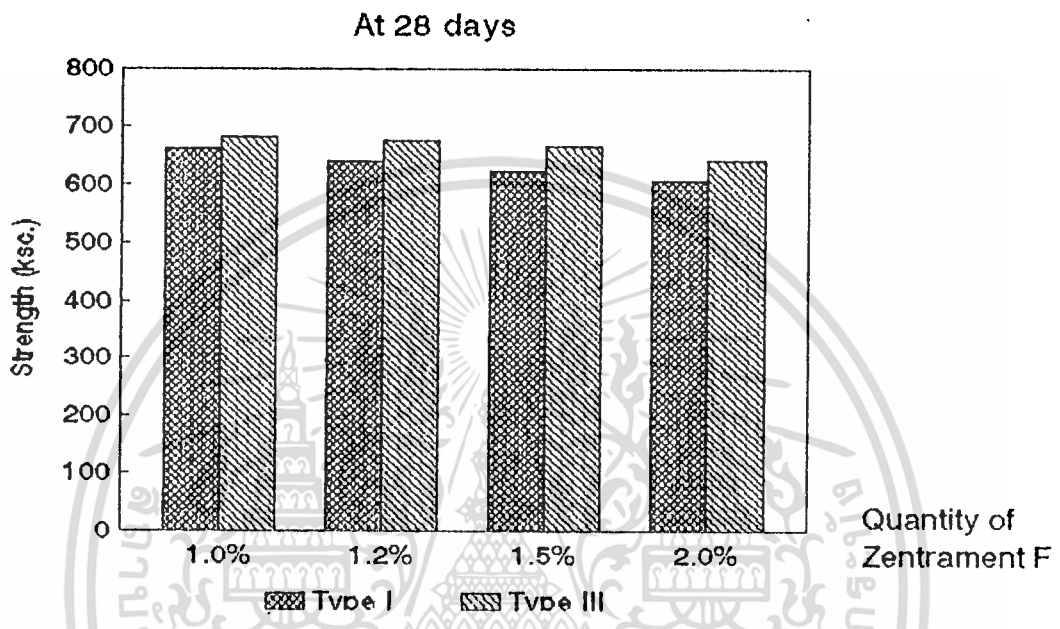


Graph No.4 (strength & Quantity of Zentrament F)  
Quantity of cement = 450 Kg./1 M<sup>3</sup>

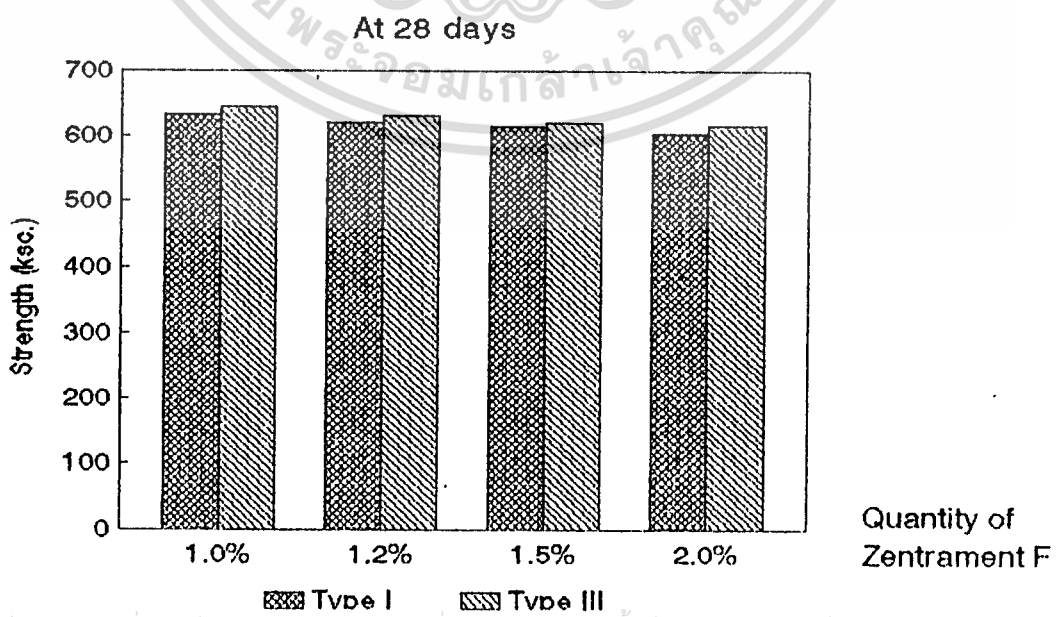


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.5 (strength & Quantity of Zentrament F)  
Quantity of cement = 500 Kg./1 M<sup>3</sup>

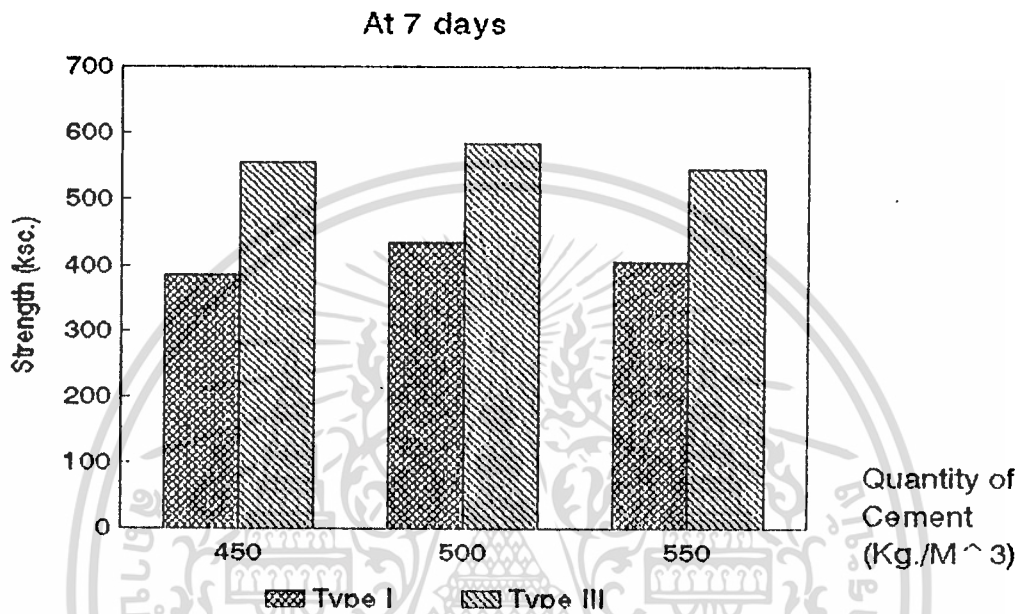


Graph No.6 (strength & Quantity of Zentrament F)  
Quantity of cement = 550 Kg./1 M<sup>3</sup>

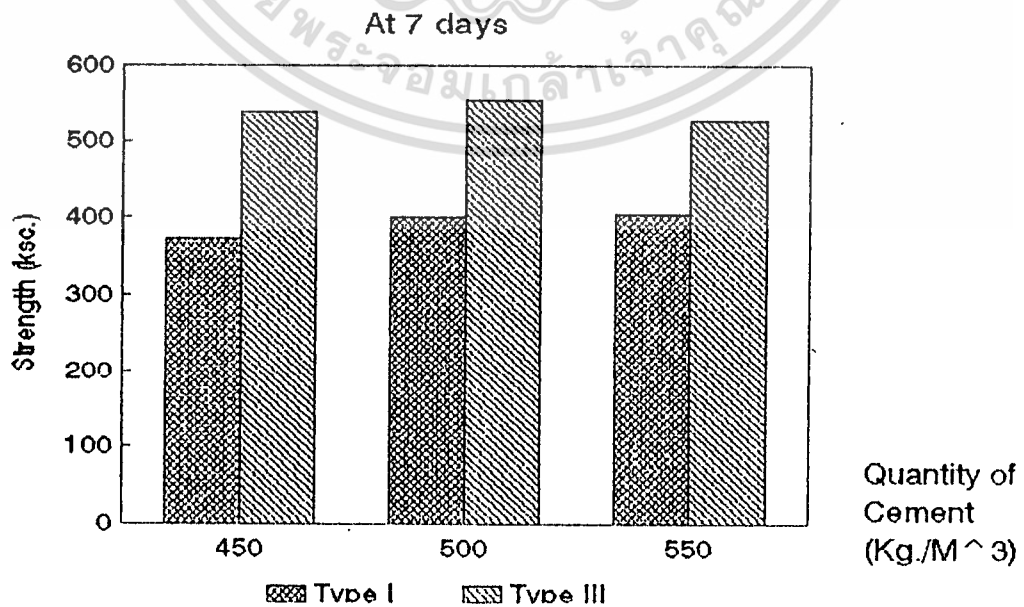


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.7 ( strength & Quantity of Cement )  
Quantity of Zentrment F = 1.0 % L

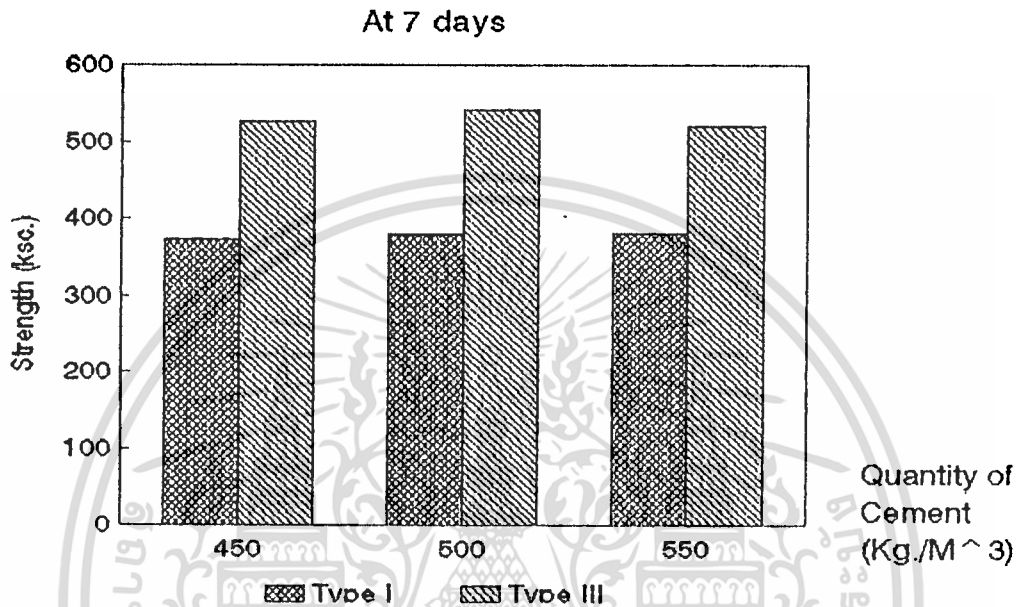


Graph No.8 ( strength & Quantity of Cement )  
Quantity of Zentrment F = 1.2 % L

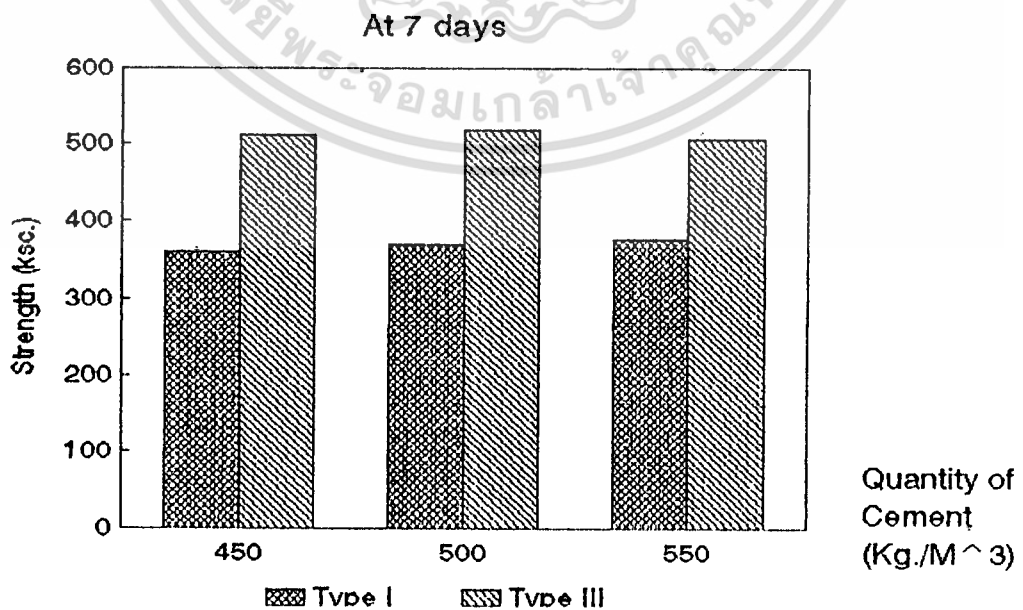


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.9 ( strength & Quantity of Cement )  
Quantity of Zentrment F = 1.5 % L

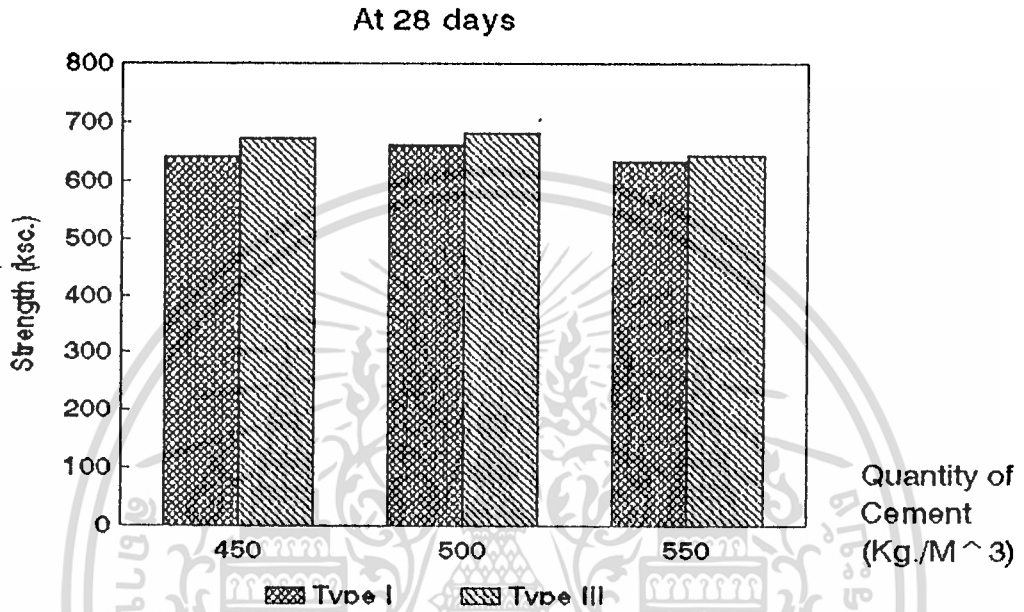


Graph No.10 ( strength & Quantity of Cement )  
Quantity of Zentrment F = 2.0 % L

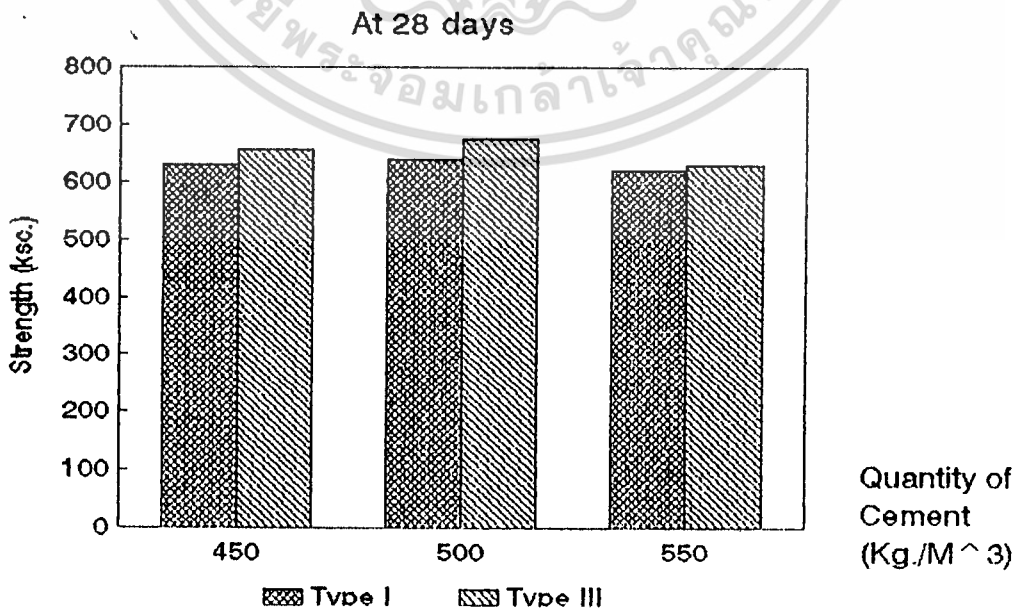


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.11 ( strength & Quantity of Cement )  
Quantity of Zentrment F = 1.0 % L

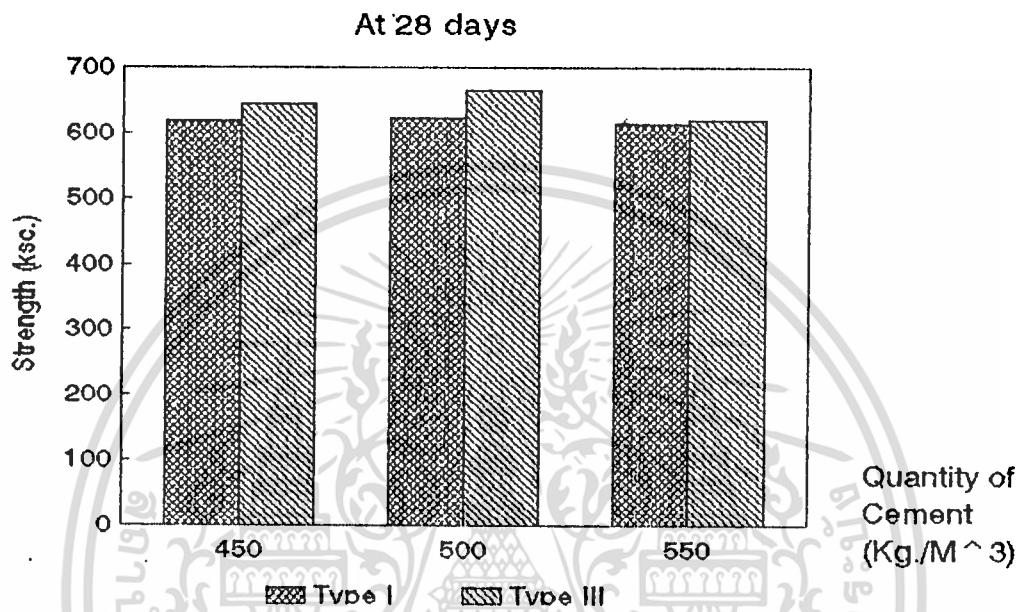


Graph No.12 ( strength & Quantity of Cement )  
Quantity of Zentrment F = 1.2 % L

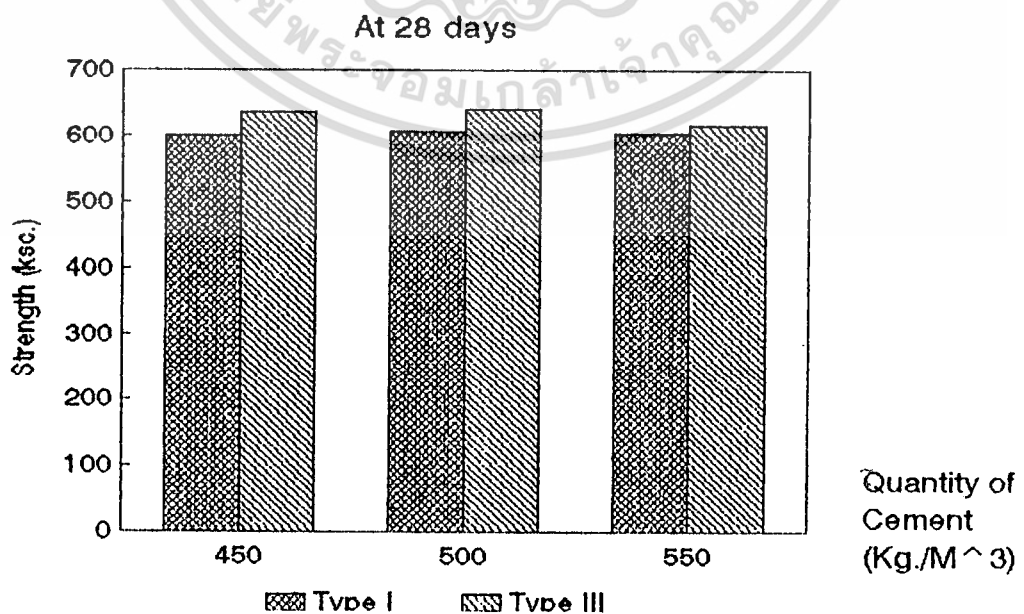


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.13 ( strength & Quantity of Cement )  
Quantity of Zentriment F = 1.5 % L

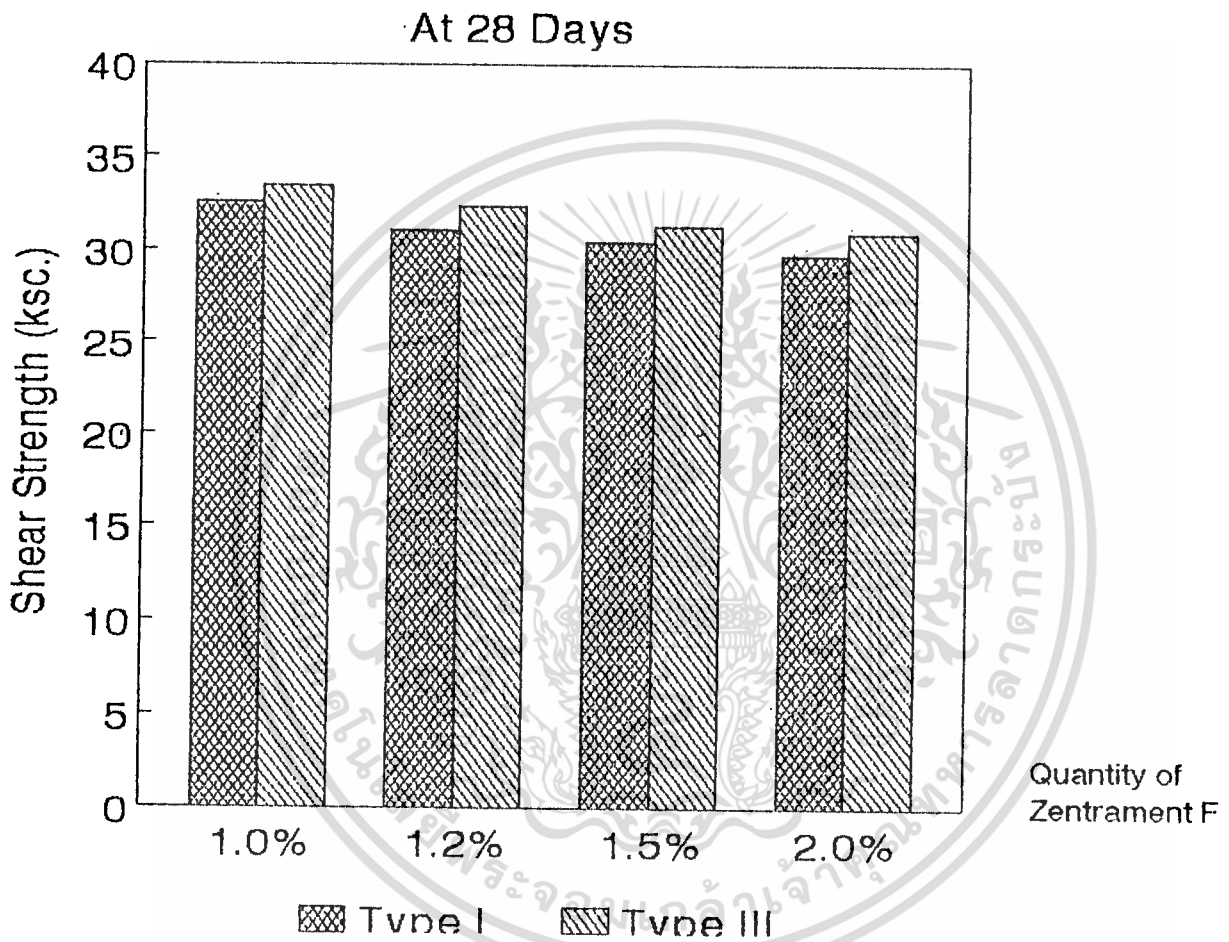


Graph No.14 ( strength & Quantity of Cement )  
Quantity of Zentriment F = 2.0 % L



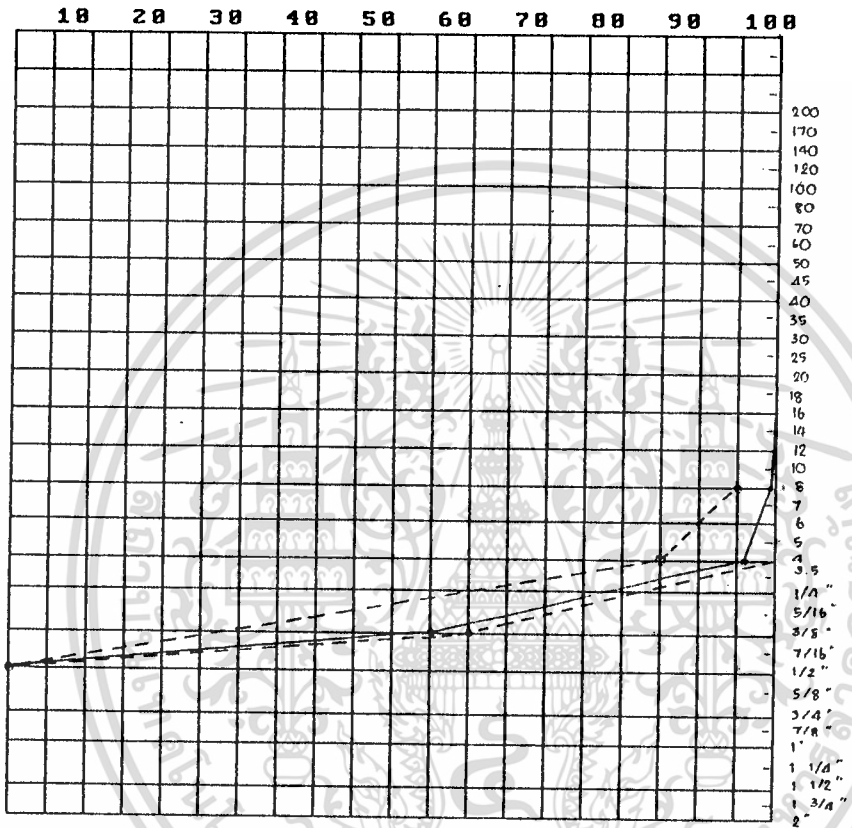
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.15 (Shear Strength & Quantity of Zentrament F)  
Quantity of Cement = 500 KG./1 M<sup>3</sup>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

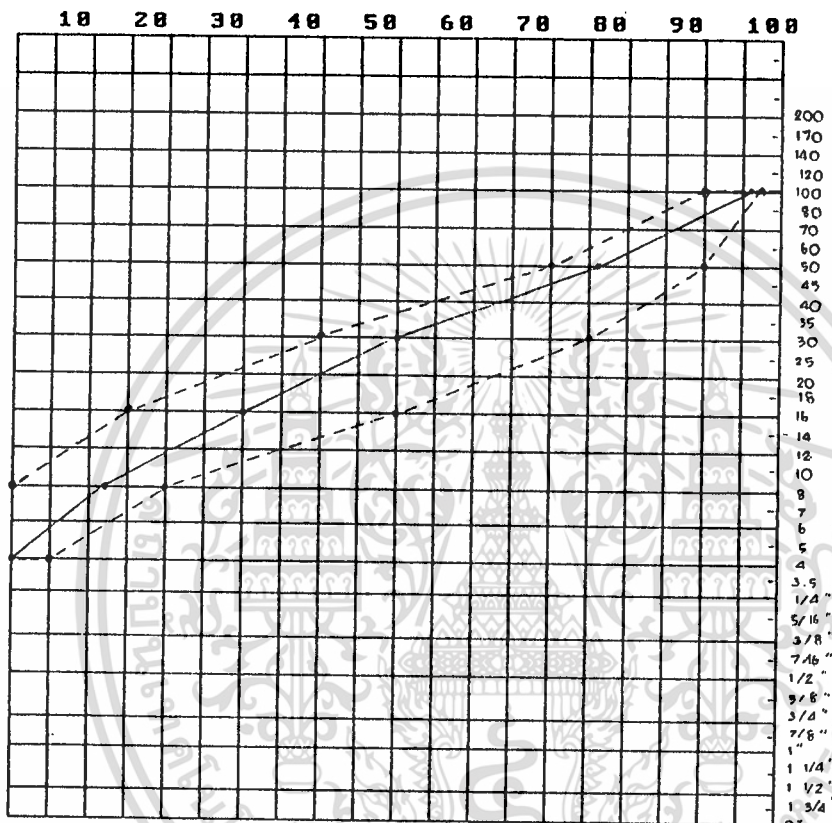
Graph No.16% PERCENT ACCUMULATED



—— USED GRAVELS  
 - - - - RANGE ASSIGNED BY ASTM C33-88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph No.17 x PERCENT ACCUMULATED



—— USED SAND  
 --- RANGE ASSIGNED BY ASTM C33-88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6 บทสรุป

จากผลการทดสอบในการศึกษา กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตกำลังสูงเปรียบเทียบระหว่างที่ผลิตด้วยปูนซีเมนต์ type I กับปูนซีเมนต์ type III ที่อายุ 7 วันและ 28 วัน ผลสรุปที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตโดยปูนซีเมนต์ type III จะสูงกว่าที่ผลิตโดยปูนซีเมนต์ type I ที่อายุ 7 วันเฉลี่ยประมาณ 39.47 %

2. กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตโดยปูนซีเมนต์ type III จะใกล้เคียงที่ผลิตโดยปูนซีเมนต์ type I ที่อายุ 28 วัน (strength เฉลี่ย = 630 ksc.)

3. ปริมาณน้ำยา Zentriment F ที่ใส่ในเนื้อคอนกรีต ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดคือ 1.0 % โดยน้ำหนักซีเมนต์ และจะเรียงลำดับจากผลที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดจากสูงไปหาน้อยดังนี้ 1.2 %, 1.5 %, 2.0 % ตามลำดับ

4. ปริมาณปูนซีเมนต์ (ก.ก.) ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตรเนื้อคอนกรีต ที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดคือ 500 ก.ก. ส่วนปริมาณปูนซีเมนต์ 450 และ 550 ก.ก. ต่อ 1 ม<sup>3</sup> ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกัน แต่กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 500 ก.ก. ต่อ 1 ม<sup>3</sup> 8.1 %

5. คอนกรีตส่วนผสมค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดและให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงมาก คือใช้น้ำยา Zentriment F = 1.0 % และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อ 1 ม<sup>3</sup> = 450 ก.ก. จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงถึง 641.54 ksc. โดยเสียค่าใช้จ่าย = 1134 บาท / 1 ม<sup>3</sup>

6. กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตกำลังสูง คิดเป็น 5 % ของกำลังรับแรงอัด และจะมีค่าแปรผันตรงตามค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น

7. กำลังรับแรงเฉือน ณ จุดแตกร้าวแนวทแยงหรืออีกนัยหนึ่งกำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมเหล็กปลอกในมาตรฐาน ACI ค่าที่ได้จากการทดสอบจะให้ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณโดยสมการของ ACI (318-83) ( $V_c = 0.53 f'_c b*d$ ) ประมาณ 116 %

8. กำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กใช้คอนกรีตกำลังสูงมากที่ไม่เสริมเหล็กปลอก โดย  $f'_c$  อยู่ในช่วง 620-955 ksc. สำหรับคานที่  $b/d < 2.5$  และใช้หน้ากระทำโดยตรง  $Z_{sutly}$  เสนอสมการ  $V_{uo} = 10.22 \left( \frac{f'_c}{a} \right)^{1.3} b d \left( \frac{2.5}{a/d} \right)$  ซึ่งให้ค่าที่ กว่าจากการทดสอบ ประมาณ 55.70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. ACI Commitee 363 , "State-of-the -Art Report on High-Strength Concrete", ACI Journal, July-August 1984, pp.364-411.
2. Collier, J.L. ,"Variations of Compressive Strength of Concrete within the Water-Cement Ratio Low", American Society for Testing and Materials, Proceedings Vol.30,Part2 , 1930
3. Gaynor, R., "Tests of Water-Reducing retarders",National Ready -Mixed Concrete Associated Publication, No. 108, Aug. 1962
4. Tognon ,G. Ursella, P.and Coppetti, G., "Design and Properties of Concrete with Strength Over 1500 kgf/cm<sup>2</sup>", ACI Journal, May-June, 1980, pp. 171-176.
5. "High-Strength Concrete in Chicago High-Rise Buildings" , Task Force Report No. 5 , Chicago Commitee on high-Rise Buildings, Feb. 1977, 63 pp.
6. "Concrete Beats Steel by 29%" , Engineering News-Record , Vol 206, May 14, 1981, P. 16.
7. Perenchio ,W.F.,"An Evaluation of Some of the Factors Involved in Proceeding Very High Strength Concrete", Portland Cement Association, Bulletin No. RD 014-1973.
8. Saucier, Kenneth L.; Smith , Eugene F., and Tynes, William D., "High-Compressive Strength Concrete : Delvelopment of Concrete Mixtures", U.S. Air Force Weapon Laboratory RTD-TDR-63-3114 (February 1964).
9. Klieger ,Paul,"Early High-Strength Concrete for Prestressing", Portland Cement Association, R & D Bulletin 91(1958).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Gilkey, H.J., "Water-Cement Ratio Versus Strength-Another Look", Journal of the American Concrete Institute, ACI, Vol. 54, April. 1961, pp. 1287-1312.
11. The Concrete Society, "The Science of Admixtures", Proceedings of A Symposium, Nov. 1969.
12. Freedman, S., "High Strength Concrete", Publication No.15176, Portland Cement Association, 1971 (Reprint from Modern Concrete, 1970-1971), 19 pp.
13. Thoman, W.H. and Wareen, R., "Ultimate Strength and Modulus of Elasticity of High Strength Portland Cement Concrete", ACI Journal, Vol. 30, Jan-Feb. 1934, pp. 231-238.
14. Gold Beck, A.T., "Gradation and Charactor of Aggregated As A Factor in Workability", ACI Journal, Vol. 24, 1928.
15. Weymouth, L.A.G., "Effects of Particle Interference in Mortars and Concretes", Rock Products, Feb., 1933.
16. McGreary, R.K., "Mechanical Packing of Spherical Psrticles", ACI Journal, Vol. 44, Oct. 1961.
17. Walker, s. and Bloem, D., "Effect of Aggregate Size on Properties of Concrete", ACI Journal, Vol. 57, Sept. 1960.
18. Cordon, W.A. and Gillespie, H.A., " Variables in Concrete Aggregates of Portland Cement Paste which Influence the Strength of Concrete", ACI Journal, Vol. 60, AuG. 1963, pp. 1029-1055; March 1964, 1981-1998.
19. Mather, K., "High Strength High Density Concrete", ACI Journal, Vol. 61, Aug. 1965, pp. 951-962.
20. Morgan, Austin H., "High-Strength Ready-Mixed Concrete", Paper Presented to 41st Annual Convention of the National Ready-Mixed Concrete Association, Jan. 1971, 18 pp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. Dodson ,V.H.;and Farkas,E., "Delayed Addition of Set Retarding Admixtures of Portland Cement Concrete", ASTM Reprint No. 77, 1964.
22. Gaynor , Richard D., " High-Strength Air-Entrained Concrete ", National Ready-Mixed Concrete Associate Joint Research Laboratory Publication 17, March 1968.
23. Blick, R.L., Petersen, C.F. and Michael , W.E.," Proportioning and Controlling High Strength Concrete ", Paper for Presentation to ACI Annual Convention, 1972.
24. Yamamoto , Y. and Ohira, K.,"On Effective Use of Highly Water-Reducing Admixtures in Concrete " , Annual Technical Report, Vol. 30, Cement Association of Japan, 1976.
25. Rixom, M.R., "Chemical Admixtures for Concrete",First Edition, 1978.
26. Rixom , M. R., "Concrete Admixtrues; Use and Application", The Cement Admixtures Association, 1977.
27. Hewlett , P.C., " Superplasticizing Admixtures in Concrete " , Cement and Concrete Association, June 1978.
28. Perera,K.J.W.,"Mechanical Properties of High Strength Concrete" ,Master's Thesis,Asian Institute of Technology,Bangkok, Thailand, Aug. 1979.
29. Nilson , A.H.; Carrasquillo, R.L.;and Slate, F.O., "Properties of High Strength Concrete Subject to Short-Term Loads" ,ACI Journal, May-June 1981, pp. 171-178.
30. สุพรรณ ตีร์วัชรินทร์, "การศึกษาคอนกรีตกำลังสูงมาก", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
31. สกุล พจนารถ, "พฤติกรรมการตัดของคานคอนกรีตอัดแรงทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก" ,วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. มานิต ศิวกุล, "พฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
33. ฐิติ จัตราทอง, "ผลของเหล็กเสริมทางขวางต่อพฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก ที่รับน้ำหนักตามแนวแกน", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
34. ปรีชา ภาวสุทธีวงศ์, "พฤติกรรมการตัดของคานทำด้วยคอนกรีตกำลังอัดสูงมาก และเสริมด้วยลวดกำลังดึงสูง", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
35. Bloem, D.L., and Gaynor, R.D. "Effects of Aggregate Properties on strength of Concrete", ACI Journal, Proceedings V. 60, Oct. 1963, pp. 1429-1455.
36. Nedderman, H., "Flexural-Stress Distribution in Very-High Strength Concrete", Master's Thesis, The Faculty of the Graduate School, The University of Texas at Arlington, 1973.
37. Wang, P.T., Shah, S.P. and Naaman, A.E., "High-Strength Concrete in Ultimate Strength Design", Journal of Structure Division, ASCE, Vol. 104, ST 11, Nov. 1978, pp. 1761-1773.
38. Leslie, Keith E., Rajagopalan, K.S., and Everade, Noel J., "Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams", ACI Journal, Proceedings V. 73, sept. 1976, pp. 517-521.
39. Zia, P., "Review of ACI Code for Design with High-Strength Concrete", Concrete International, Aug. 1983, pp. 16-20.
40. Hognestad, E., "What Do we Know About Diagonal Tension and Web Reinforcement in Concrete", Bulletin No. 3, Circular Series No. 64, University of Illinois Engineering Experiment Station, March 1952, 47 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

41. Mathey, R.G. and Watstein, D., "Shear strength of Beams Without Web Reinforcement Contain Deformed Bars of Different Yield Strengths", ACI Journal, Proceedings, V.60, No.2, Feb. 1963, pp. 183-206.
42. Rajagopalan, K.S., and Ferguaon, P.M., "Exploratory Shear Tests Emphasizing Percentage of Longitudinal Steel", ACI Journal, Proceedings, V.65, No.8, Aug.1968, pp.634-638.
43. Palaskas, M.N., Attiogbe, E.K., and Darwin, D., "Shear Strength of Lightly Reinforced T-Beam", ACI Journal, Proceedings, V.78, Nov-Dec.1981, pp.447-455.
44. Bresler, B., and Scordelis, A.C., "Shear Strength of Reinforced Concrete Veams", ACI Jionnal, Proceedings, V.60, No.1, Jan. 1963, pp. 51-72.
45. Zsutty, T.C., "Beam Shear Strength Prediction by Analysis of Existing Data" ACI Journal, Proceedings, V.65, No.11. Nov. 1968, pp. 942-951.
46. Kani, G.N.J., "How Safe Are Our Large Reinforced Concrete Beams", ACI Journal, Vol. 64, Mar. 1967, pp. 128-141.
47. Kani, G.N.J., "Basic Facts Concernings Shear Failure", ACI Journal Vol. 63, June 1966, pp. 675-692.
48. Hiranmas, S., "Shear Capacity of High Strength Concrete Beams", Master's Thesis, The Faculty of The Graduate School, The University of Texas at Arlington, Aug. 1974.
49. Mphonde, A.G., and Frantz, G.C., "Shear Tests of High and Low Strength Concrete Beams Without Stirrups", ACI Kournal Proceedings, V.81, July-August 1984, pp.350-357.
50. Kani, G.N.J., "Rational Theory for The Function of Web Reinforcement", ACI Journal, Proceedings Vol. 66, No. 3, Mar. 1969, pp. 185-197.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

51. American Society for Testing Material,  
 ASTM C 33-80 Standard Specification for Concrete Aggregate.  
 ASTM C 39-72 Compressive Strength of Cylindrical Concrete  
 (1979) Specimens.  
 ASTM C136-80 Sieve or Screen Analysis of Fine and Coarse  
 Aggregates.  
 ASTM C498-80 Standard Specifications for Chemical Admixtures  
 for Concrete.  
 ASTM C496-71 Splitting Tensile Strength of Cylindrical  
 (1979) Concrete specimens.  
 ASTM A370-80 Methods and Definitions for Mechanical Testing  
 of Steel Products.
52. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced  
 Concrete (ACI 318-83), " American Concrete Institute,  
 Detroit, 1983, 111 Pages.
53. ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย , "พฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็ก" , ภาควิชาวิศวกรรม  
 โยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2528 , หน้า 141-163
54. วินิต ช่อวิเชียร , "คอนกรีตเทคโนโลยี" , พิมพ์ครั้งที่ 7 , 2529
55. สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร , "คอนกรีตเสริมเหล็ก" , พิมพ์ครั้งที่ 7 , 2530
56. เอกสาร "คอนกรีตกำลังสูงโดย Ready-mixed" ของบริษัททีแพค , 2533-2534
57. เอกสาร "น้ำยาผสมคอนกรีต superplasticizer (Zentriment F)" ของบริษัท  
 หลุยส์ เลียวโนเวนส์ (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการทำคอนกรีตกำลังสูง

การเปรียบเทียบราคาคอนกรีตของแต่ละส่วนผสม ต่อ 1 M<sup>3</sup>

ปูนซีเมนต์ type I

cement 450  
kg/m<sup>3</sup>

% zen-F	ราคา Zen-F	ราคาหิน	ราคาทราย	รวมราคาต่อ m <sup>3</sup>
1.0	216	103	50	1134
1.2	259	103	50	1177
1.5	324	103	50	1242
2.0	432	103	50	1350

cement 500  
kg/m<sup>3</sup>

% zen-F	ราคา Zen-F	ราคาหิน	ราคาทราย	รวมราคาต่อ m <sup>3</sup>
1.0	240	103	50	1243
1.2	288	103	50	1291
1.5	360	103	50	1363
2.0	480	103	50	1483

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cement 550  
kg/m<sup>3</sup>

% zen-F	ราคา Zen-F	ราคาหิน	ราคาทราย	รวมราคาต่อ m <sup>3</sup>
1.0	264	103	50	1352
1.2	316	103	50	1405
1.5	396	103	50	1484
2.0	528	103	50	1616

ปูนซีเมนต์ type III

cement 450  
kg/m<sup>3</sup>

% zen-F	ราคา Zen-F	ราคาหิน	ราคาทราย	รวมราคาต่อ m <sup>3</sup>
1.0	216	103	50	1269
1.2	259	103	50	1312
1.5	324	103	50	1377
2.0	432	103	50	1485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cement 500  
kg/m<sup>3</sup>

% zen-F	ราคา Zen-F	ราคาหิน	ราคาทราย	รวมราคาต่อ m <sup>3</sup>
1.0	240	103	50	1393
1.2	288	103	50	1681
1.5	360	103	50	1513
2.0	480	103	50	1633

cement 550  
kg/m<sup>3</sup>

% zen-F	ราคา Zen-F	ราคาหิน	ราคาทราย	รวมราคาต่อ m <sup>3</sup>
1.0	264	103	50	1517
1.2	316	103	50	1570
1.5	396	103	50	1649
2.0	528	103	50	1781

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีคิดราคาคอนกรีตต่อ 1 m<sup>3</sup>

ความหนาแน่นทราย 2377 kg/m<sup>3</sup>

ความหนาแน่นหิน 2672 kg/m<sup>3</sup>

ราคาทราย 200 B/m<sup>3</sup>

ราคาหิน 230 B/m<sup>3</sup>

ใช้หิน 1200 kg/m<sup>3</sup>

ซีเมนต์ 1 m<sup>3</sup> มีหิน 1200/2672 = 0.44896 m<sup>3</sup>

คิดเป็นเงิน 0.44896 \* 230 = 103 บาท

ใช้ทราย 600 kg/m<sup>3</sup>

ซีเมนต์ 1 m<sup>3</sup> มีทราย 600/2377 = 0.2523 m<sup>3</sup>

คิดเป็นเงิน 0.2523 \* 200 = 50 บาท

ซีเมนต์ type 1 ถุงละ 85 บาท

ซีเมนต์ type 2 ถุงละ 100 บาท

Zentrment-F 48 บาท ต่อ 1 ลิตร

1. ซีเมนต์ type I 550 kg Zentrment-F 2.0 %

ใช้ซีเมนต์ type I 550/50 = 11 ถุง

เป็นเงิน 11 \* 85 = 935 บาท

ใช้หินเป็นเงิน = 103 บาท

ใช้ทรายเป็นเงิน = 50 บาท

ใช้ Zentrment-F 550 \* 2/100 = 11 ลิตร

เป็นเงิน 11 \* 48 = 528 บาท

รวมเป็นค่าใช้จ่ายต่อคอนกรีต 1 m<sup>3</sup> = 1616 บาท

2. ซีเมนต์ type II 550 kg Zentrment-F 2.0 %

ใช้ซีเมนต์ type I 550/50 = 11 ถุง

เป็นเงิน 11 \* 100 = 1100 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ดินเป็นเงิน	= 103	บาท
ใช้ทรายเป็นเงิน	= 50	บาท
ใช้ Zentriment-F 550 * 2/100	= 11	ลิตร
เป็นเงิน 11 * 48	= 528	บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายต่อคอนกรีต 1 m <sup>3</sup>	=1781	บาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติสาร Zentrament F

สาร Zentrament F เป็นสาร super-plasticizer ใช้ผลิตคอนกรีตให้มีความรับแรงได้สูงในช่วงแรกและช่วงสุดท้าย โดยทั่วไปเหมาะสำหรับ งานก่อสร้างถนน และชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ

-ประโยชน์

สาร Zentrament F ช่วยในเรื่อง workability และ คุณสมบัติการไหลได้ดีขึ้น โดยไม่ต้องเพิ่มน้ำแล้วทำให้เสียกำลัง ยังช่วยให้รับกำลังได้เร็วขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญในงานก่อสร้างปัจจุบันนี้

สาร Zentrament F ส่วนใหญ่ใช้ในงานก่อสร้างถนน ช่วยให้ผิวหน้าเปิดรับการจราจรได้เร็วขึ้น และสารนี้ยังเหมาะสมสำหรับการซ่อมแซมผิวหน้าถนนที่เสียหาย หรือการขยายถนนให้กว้างด้วย

สาร Zentrament F เหมาะพิเศษสำหรับงานอุตสาหกรรมคอนกรีตหล่อสำเร็จ งานไม้แบบ สามารถถอดออกได้เร็วและช่วยลดค่าใช้จ่าย

-การทดสอบ

ชี้ให้เห็นว่า หลังจาก 5 ชม. แล้วคอนกรีต (set strength = 350 ksc.) จะมีความรับแรงสูงถึงประมาณ 280 ksc. คิดเป็น 70% ของกำลังรับแรงอัดสุดท้าย

Results of tests conducted on concrete using Zentrament F(BV) admixture :

1. For high early strength concrete/cement saving

Description of mix	Dosage-% cement wt.	Cement kg/m <sup>3</sup>	w/c	Slump cm	Compressive strength – N/mm <sup>2</sup>		
					1 day	3 days	28 days
Reference	—	375	0.47	5	11	25	44
Increase in strength	1.0 %	375	0.43	5	17	27	47
	1.5 %	375	0.41	6	17	28	50
	2.0 %	375	0.40	5	18	30	55
Cement saving	1.0 %	340	0.47	7	16	25	46
	1.5 %	325	0.47	8	15	24	44

Concrete: B 35 (DIN 1045)

Aggregate: A/B 32 Natural

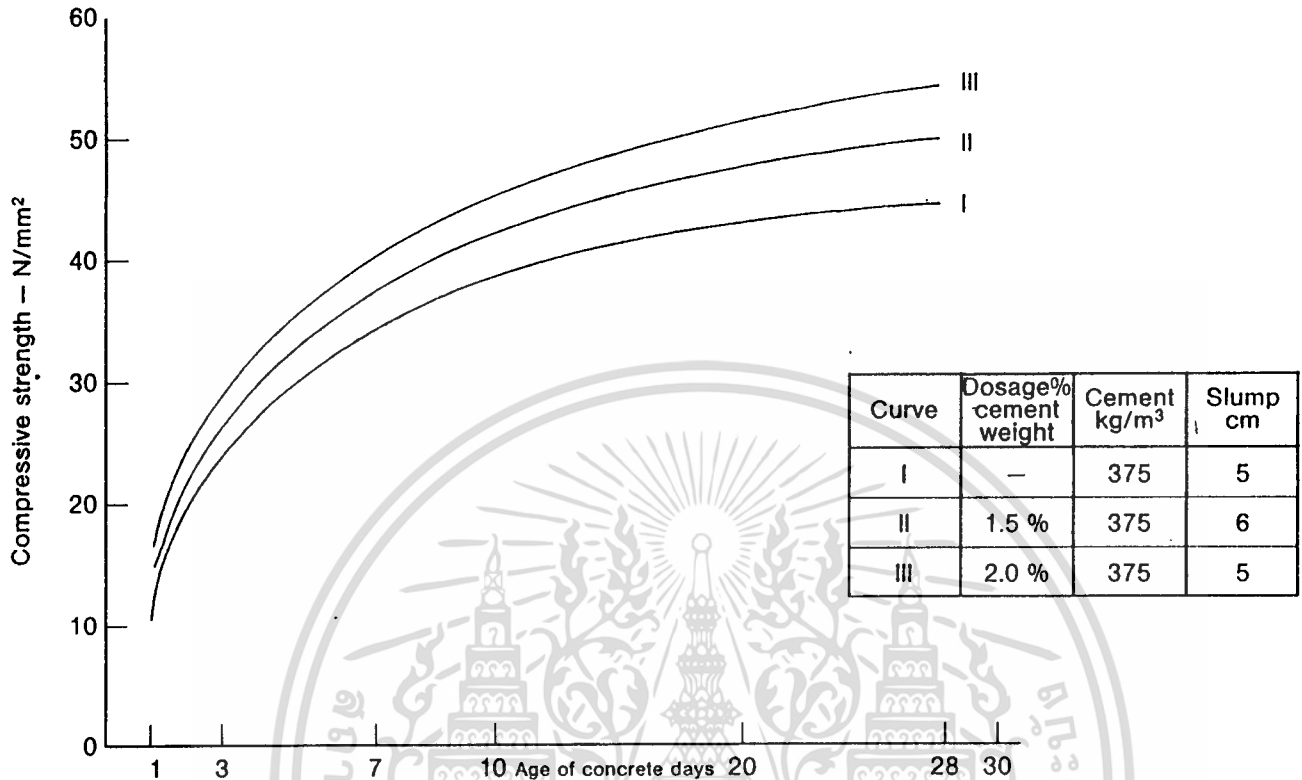
Cement: PC 35 F

Temperature: Room temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

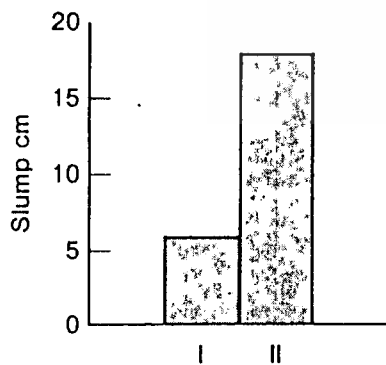
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph showing increase in early and final compressive strength using Zentriment F (BV) -- (from table no. 1):



Note. รูปบนนี้เป็น guideline ทั่วไป แต่ผลจริงขึ้นกับปริมาณซีเมนต์ , ชนิดของส่วนขนาดคละ , อุณหภูมิ อื่นๆ จึงจำเป็นต้องทดสอบก่อนงานคอนกรีตจริงที่ site

## 2. Workability agent for flow concrete:



No.	Description of mix	Dosage% cement weight	Cement kg/m <sup>3</sup>	w/c	Slump cm
I	Reference	—	290	0.6	6.5
II	Plasticised	1.3 %	290	0.6	18.5

Concrete: B 25 (DIN 1045)

Cement: PC 35 F

Aggregate: Natural A/B 32

Temperature: Room temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Technical data

<b>Name:</b>	<b>Zentrament F (BV) liquid</b>	<b>Appearance:</b>	Brown liquid
<b>Type of admixture:</b>	Concrete plasticizer/Flow agent, Chloride free	<b>Consumption:</b>	Flow concrete 0.8-1.6 % High early strength 1.5-3.0 % Figures are on the basis of cement weight
<b>Test mark:</b>	PA VII-I/275 ASTM C 494	<b>Storage:</b>	Store in original sealed containers. Protect from direct sunlight and frost
<b>Supervisory body:</b>	Official Research and Materials Testing Institute, Otto-Graf-Institute, Stuttgart, West Germany	<b>Packing:</b>	Drums 220 kg net.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้