

พฤติกรรมของเหล็กเสริมพิเศษที่มีต่อเสายาว

THE EFFECT OF EXTRA REINFORCEMENT
ON A SLENDER COLUMN



ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า


ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ พดตีกรรมของเหล็กเสริมพิเศษที่มีต่อเสาคาน
 นักศึกษา น.ส. มาลิน เชื้อธนะภิญโญ 33100299
 น.ส. อูมา สิบญะเรือง 33100529
 หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
 ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ อ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์ อ.สกุล น่อวโนทยาน	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(อ. สุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 24 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมของเหล็กเสริมพิเศษที่มีต่อเสายาว

THE EFFECT OF EXTRA REINFORCEMENT ON A SLENDER COLUMN

โดย น.ส. มาลิน เชื้อชนะภิญญา 33100299

น.ส. อูมา สีนุญเรือง 33100529

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ศิริวิวัฒน์ ไชยชนะ

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของเสา จากที่ทราบแล้วว่าเสาสั้นสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าเสายาว ซึ่งมีขนาดหน้าตัดและเหล็กเสริมยื่นเท่ากัน นั่นเนื่องมาจากว่า เสาจะเกิดการวิบัติอันมีสาเหตุมาจากการโก่งงอบริเวณช่วงกึ่งกลางของเสา ก่อนที่เสาจะเสียหายเนื่องจากความเค้นภายในเสามีขนาดเกิน proportional limit ของวัสดุที่ใช้ทำเสาตั้งเช่นเกิดในเสาสั้น ดังนั้นในการทำให้เสายาวสามารถรับน้ำหนักได้เท่ากับเสาสั้น จะต้องมีการเสริมเหล็กเสริมพิเศษเพื่อป้องกันการโก่งงอ จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ไม่จำเป็นจะต้องเสริมเหล็กเสริมพิเศษตลอดความยาวเสา โดยเสริมเพียงช่วงที่เสายาวจะเกิดการโก่งงอ คือ ช่วงกลางเสาเท่านั้น ก็จะทำให้เสายาวรับเท่ากับเสาสั้น และผลการเปลี่ยนแปลงความยาวของเหล็กเสริมพิเศษช่วงกึ่งกลางเสานั้นไม่มีผลต่อการรับน้ำหนัก

ABSTRACT

This project shows how a slender column will be acted after loading. From the point of view, with the same cross sectional area and longitudinal bars, a slender column may fail under an axial load of less than a stocky one will fail. In this case, collapse is caused by buckling, by sudden lateral displacement of the member between its ends, with consequent overstressing of steel and concrete, before causing the collapse by both concrete and steel are stressed to their maximum carrying capacity and give way by crushing and yielding. Therefore, in remaining the same load as a short column, the extra reinforcement is required. And from the conclusions shows that no need to add the extra reinforcement all along the length of its column but only about the middle of a slender column.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาบัตรนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ตลอดจน ประสิทธิภาพและความรู้ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำปริญญาบัตรจนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิชัย นิมิตยงสกุล , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย และ คุณชลัษ् เชนพันธ์ อาจารย์ภาควิชาคณะวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย สำหรับคำแนะนำต่างๆ ในระหว่างขั้นตอนการทำการทดลอง รวมถึง staff ผู้มีหน้าที่ช่วยงานในห้องทดลองภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ผู้เขียนขอขอบพระคุณนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา และ เพื่อนๆ น้องๆ ภาควิชาอื่นๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจ ซึ่งเป็นพลังขับเคลื่อนที่สำคัญ จนกระทั่งทำให้รายงานการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ขึ้น

ผู้เขียนยังใคร่ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบปริญญาบัตรทุกท่านที่ได้ สละเวลาอันมีค่า กรุณาตรวจ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง อันเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญ ที่ทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้มีความสมบูรณ์ขึ้น

ท้ายสุดนี้ ความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายอันพึงได้รับจากปริญญาบัตรนี้ ขอมอบให้บุคคลที่สำคัญยิ่งของผู้เขียน อันได้แก่ บิดา มารดา ผู้อุปการะ และครูอาจารย์ทุกท่าน เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณที่ได้ให้การอบรมศึกษา แก่ผู้เขียนจนได้รับความสำเร็จขั้นต้นในชีวิตทุกวันนี้

น.ส. อูมา สีบุญเรือง

น.ส. มาลิน เชื้อธนะภิญโญ

สารบัญ

หน้าอหมัดิ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
บทนำ.....	1
บทที่ 1 ความรู้ทั่วไปในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีทั่วไปของเสา.....	18
2.1 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	18
2.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสา.....	19
2.3 ทฤษฎีอัสติค.....	20
2.4 ทฤษฎีกำลังประลัย.....	24
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ.....	33
3.1 โครงเหล็ก.....	34
3.2 งานคอนกรีต.....	34
3.3 แบบหล่อคอนกรีต.....	37
บทที่ 4 อุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	48
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	51
บทที่ 6 วิเคราะห์ สรุปผล ข้อผิดพลาด และคำแนะนำ.....	105
ภาคผนวก A การทดสอบเพื่อประกอบการ mix design.....	109
B Mix Design.....	124
C ภาพประกอบ.....	127
D ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสา ในวันต่าง ๆ.....	144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

วัตถุประสงค์ และ ขอบข่ายการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

วัตถุประสงค์และขอบข่ายงานทดลอง

ในปัจจุบันงานก่อสร้างมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นมาก ไม่ว่าจะมองไปที่ไหนจะพบหน่วยงานก่อสร้างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นในกรุงเทพฯ บริเวณปริมณฑล หรือหัวเมืองต่างจังหวัด เช่น เชียงใหม่ พัทยา การก่อสร้างที่เกิดขึ้นแทบทั้งหมดเป็นงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการนำเอาคอนกรีตและเหล็กเสริมมาหล่อรวมกันในลักษณะที่ทำให้ส่วนของอาคารนั้นๆ เช่น เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก คานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกร่วมกัน โดยอาศัยแนวคิดที่ว่าคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดได้ดี แต่ต้านทานแรงดึงได้ต่ำมาก ส่วนเหล็กเสริมเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงและแรงอัดได้ดีพอๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบในด้านคุณสมบัติและค่าใช้จ่ายแล้ว จึงนำเอาจุดเด่นของวัสดุทั้งสองชนิดมาใช้ คือ ให้คอนกรีตรับแรงอัด และให้เหล็กเสริมรับแรงดึง

สาเหตุที่การก่อสร้างมีการเจริญเติบโตอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องมาจากว่าความต้องการที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นในขณะที่พื้นที่มีน้อยลงทุกวัน ฉะนั้นการทำให้ส่วนประกอบของอาคารมีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้สอยให้มากที่สุดจึงจำเป็น เสาจึงมีการลดขนาดหน้าตัดให้เล็กที่สุด ซึ่งเมื่อเทียบกับความสูงของเสาแล้ว เสาสั้นจะกลายเป็นเสายาวไป และเป็นที่ยอมรับแล้วว่าเสายาวสามารถรับน้ำหนักได้ลดลง เนื่องจากเกิดการ buckling ในช่วงกึ่งกลางของเสา จึงต้องมีการเสริมเหล็กเสริมพิเศษป้องกันการ buckling

วัตถุประสงค์ในการทดลองนี้เพื่อศึกษาว่า เราสามารถเสริมเหล็กเสริมพิเศษเพียงช่วงกึ่งกลางเสาโดยไม่ต้องเสริมตลอดความยาวเสา แล้วจะสามารถนำมาใช้กับงานก่อสร้างจริงได้ และเป็นการช่วยประหยัดปริมาณเหล็กเสริมอีกด้วย

ขอบข่ายในการทดลองมีดังนี้

1. ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัย 250 กก/ซม^2 ในการทดลอง และปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนปอร์ตแลนด์ประเภท 3
2. ศึกษาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสายาว 2 เมตร ซึ่งเสริมเหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น ที่ตำแหน่งช่วงกึ่งกลางเสาโดยมีความยาวของเหล็กเสริมดังนี้
 - เหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. 4 เส้นเสริมช่วงกึ่งกลางเสาโดยมีความยาว 1.00 เมตร
 - เหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. 4 เส้นเสริมช่วงกึ่งกลางเสาโดยมีความยาว 1.20 เมตร
 - เหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. 4 เส้นเสริมช่วงกึ่งกลางเสาโดยมีความยาว 1.40 เมตร
 - เหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. 4 เส้นเสริมช่วงกึ่งกลางเสาโดยมีความยาว 1.60 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในวงจำกัดเท่านั้น เมื่อผู้ใดประสงค์จะนำเอกสารไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. 4 เส้นเสริมช่วงกึ่งกลางเสาโดยมีความยาว 1.80 เมตร
- เหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. 4 เส้นเสริมช่วงกึ่งกลางเสาโดยมีความยาว 2.00 เมตร

และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับความสามารถในการรับน้ำหนักของเสายาวที่เสริมเหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร 4 เส้นตลอดความยาวเสา และเสาสั้นยาว 60 เซนติเมตร ที่เสริมเฉพาะเหล็กยื่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร 4 เส้นตลอดความยาวเสา

ผลที่คาดว่าจะได้จากการทดลอง

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการที่เสายาวสามารถรับน้ำหนักได้น้อยกว่าเสาสั้นที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากันและเสริมเหล็กยื่นที่มีขนาดและจำนวนเท่ากันนั้น เป็นผลเนื่องมาจากเสายาวเกิดการ buckling ขึ้น ในการทดลองนี้จึงใส่เหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ขนาดความยาวต่างๆ กันไว้ที่ตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดการ buckling เพื่อศึกษาการรับน้ำหนักของเสาที่เปลี่ยนแปลงไป และคาดว่าผลจากการเพิ่มเหล็กเสริมพิเศษเข้าไปนั้น จะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าการที่เสายาวรับน้ำหนักได้น้อยเนื่องจากเกิดการ buckling บริเวณช่วงกลางเสาจริง เมื่อเปลี่ยนแปลงความยาวของเหล็กเสริมพิเศษ ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาน่าจะคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งจะต้องติดตามผลการทดลองที่แท้จริงต่อไป จึงจะทราบว่าผลที่คาดไว้ตรงกับผลที่เกิดขึ้นจริงหรือไม่ และก็นำผลที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการก่อสร้างจริงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย

บทที่ 1

ความรู้ทั่วไปเรื่องเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ความรู้ทั่วไปเรื่องเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.1 คอนกรีตเสริมเหล็ก

เป็นที่รู้จักกันดีว่าความแข็งแรงของคอนกรีต เปรียบเสมือนแท่งหินที่ได้รับการประดิษฐ์ขึ้นมาโดยฝีมือมนุษย์ จากส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย และหินแข็งหรือกรวด ด้วยสัดส่วนที่เหมาะสมและผสมกับน้ำเพื่อให้มีสภาพเหนียวข้น ก่อนถูกจัดเทเข้าสู่แบบหล่อเพื่อให้ได้รูปทรงตามต้องการ หลังจากนั้นปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นและส่วนผสมดังกล่าวก็จะค่อย ๆ แข็งตัวและเป็นคอนกรีตในที่สุด คอนกรีตล้วน (plain concrete) มีความสามารถในการต้านทานกำลังอัดได้สูง แต่มีความต้านทานกำลังดึงต่ำมาก ด้วยเหตุนี้ในโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป จึงจำเป็นต้องมีเหล็กเส้นเสริมฝังอยู่ภายในคอนกรีตในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อช่วยรับแรงดึงหรือแรงเฉือนที่เกิดขึ้นโดยที่คอนกรีตล้วนไม่สามารถรับได้หรือรับได้ต่ำ วัสดุผสมดังกล่าวนี้ เรียกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete) คาบภายใต้การโก่งดัดจำเป็นต้องเสริมเหล็กในบริเวณที่เกิดแรงดึง (Tension zone) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเหล็กเสริมยังมีความสามารถต้านทานแรงอัดได้ใกล้เคียงกับความสามารถต้านทานแรงดึง ดังนั้นเหล็กเสริมจึงถูกนำไปใช้ในการเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดของโครงสร้างคอนกรีตอื่น ๆ ด้วย เช่น ในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือบริเวณเกิดแรงอัด (Compression zone) ภายในคาน

เหล็กเสริมและคอนกรีตสามารถประสานงานกันได้ดีด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ

1. มีการยึดเกาะระหว่างผิวเหล็กเสริมกับคอนกรีตที่อยู่โดยรอบเป็นอย่างดี ป้องกันไม่ให้เกิดการเลื่อนไถลจากตำแหน่งของเหล็กเสริม
2. คอนกรีตที่มีส่วนผสมที่ดีจะป้องกันไม่ให้ความชื้นหรือน้ำซึมผ่านทำให้เกิดสนิมในเหล็กเสริม
3. มีอัตราการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิใกล้เคียงกัน คือประมาณ 0.000010 ถึง 0.000013 สำหรับคอนกรีตและ 0.000012 สำหรับเหล็กเสริมต่อ $^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัสดุผสมคอนกรีต

1.2.1 ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิววัสดุผสมละเอียด มีคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวและยึดเกาะวัสดุผสมให้รวมตัวเป็นมวลก้อนแข็ง โดยมีน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร หรือสิ่งก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป นิยมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมของสารจำพวกหินปูนกับดินเหนียวในอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นปูนเม็ดแล้วบดให้เป็นผงละเอียด

1.2.2 มวลรวมละเอียด ได้แก่ทราย และหินหรือกรวด ทรายจัดเป็นจำพวกมวลรวมละเอียด ที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตส่วนมากเป็นทรายน้ำจืด มีความสะอาด มีเม็ดกลมแข็งแรง มีขนาดไม่ละเอียดจนเกินไป และควรมีค่าพิถีความละเอียด (fineness modulus) อยู่ระหว่าง 2.00 ถึง 3.50 ส่วนหินที่นำมาผสมคอนกรีต จัดเป็นพวกมวลรวมหยาบ เป็นหินแข็งที่ย่อยจากภูเขา ไม่ผุกร่อนหรือมีสารอินทรีย์เจือปน และควรมีขนาดละเอียดใหญ่ปะปนและมีค่าพิถีความละเอียดระหว่าง 5.5 - 8

1.2.3 น้ำ เป็นสิ่งสำคัญที่จะไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ทำให้กลายเป็นสารที่มีความเหนียวข้น เพื่อทำหน้าที่เคลือบผิววัสดุหรือมวลรวม ตามปกติ น้ำที่ใช้ผสมจะต้องสะอาดและดื่มได้

1.2.4 สารผสมเพิ่ม เป็นสารที่ผสมเพิ่มลงไปในการผสมคอนกรีต ซึ่งอาจจะก่อนหรือระหว่างคลุกเคล้าก็ได้ ทั้งนี้เพื่อความจำเป็นในการที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น เพื่อเร่งกำลังต้านทานให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อหวังให้คอนกรีตมีระยะเวลาก่อตัวช้าขึ้น หรือเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานกรดต่าง เป็นต้น

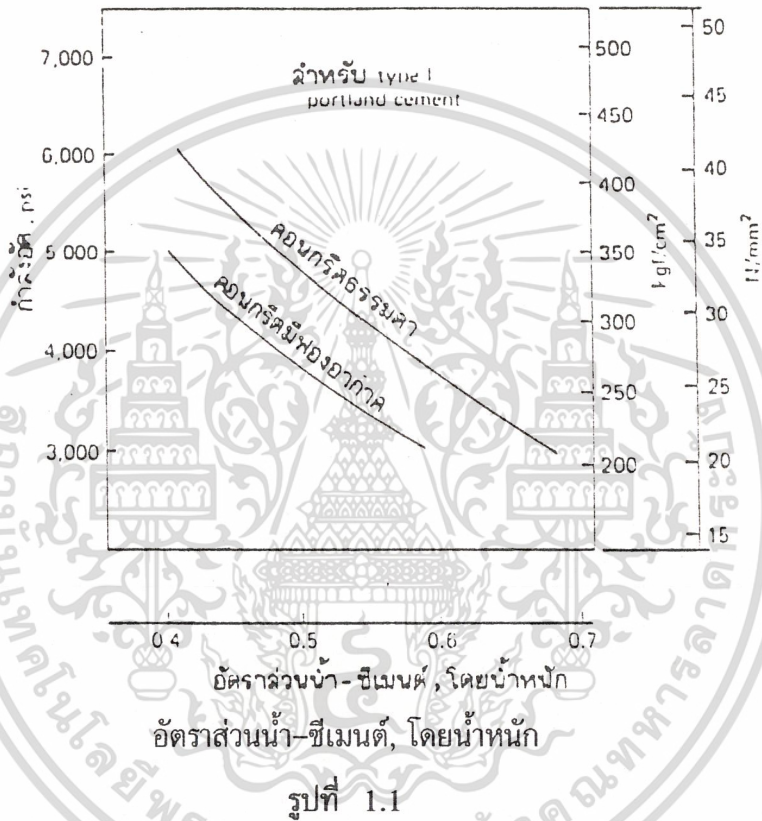
ปัจจุบัน สารผสมเพิ่มได้ถูกนำมาใช้ผสมกับคอนกรีตอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม ควรปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตแต่ละชนิดนั้น ๆ อย่างถูกต้อง

1.3 กำลังอัดของคอนกรีต

กำลังของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย หิน น้ำหรือสารผสมเพิ่มอื่น ๆ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (the ratio of water to cement) เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กำลังของคอนกรีต เช่น เมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ผลการทดลองจะได้คอนกรีตที่มีกำลังสูง แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูง ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 1.1

คอนกรีตที่มีปริมาณน้ำที่เหมาะสม นอกจากจะทำให้กำลังของคอนกรีตสูงแล้ว ยังให้ความสามารถในการทำงาน (workability) ได้ดีเช่นกัน ซึ่งจะวัดได้จากการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตสด (slump test) คอนกรีตที่ชื้นและแห้งจนเกินไป จะมีการยุบตัวต่ำทำให้ความสามารถในการทำงานต่ำลงด้วย คอนกรีตที่มีน้ำมากเกินไป มีการยุบตัวสูงถึงแม้จะมีความสามารถในการทำงานได้ดีแต่ก็มีกำลังต่ำ ในโครงสร้างอาคารทั่วไป ค่ายุบตัวของคอนกรีตควรอยู่ในราว 7.5 – 10 ซม.



กำลังอัดของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดโดยสัญลักษณ์ f'_c ซึ่งหมายถึงความถึง กำลัง อัด ปร ะ ลัย (ultimate compressive strength) ของคอนกรีตที่ทำการทดสอบให้รับแรงอัดโดยตรงเมื่อมีอายุ 28 วัน โดยการหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างตามแบบมาตรฐานอเมริกาเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. และสูง 30 ซม. หรือแบบมาตรฐานของอังกฤษ ซึ่งเป็นรูปลูกบาศก์มีขนาดวัดแต่ละด้านเท่ากับ 15 ซม. ผลจากการทดลองกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างทั้งสองแบบ ได้ผลแตกต่างกันคือ กำลังอัดของก้อนทรงกระบอกมีค่าประมาณ 83% ของกำลังอัดลูกบาศก์ และพบว่าที่จุดประลัยคอนกรีตตัวอย่างทั้งสองแบบแตกเป็นมุมต่างกัน คือแบบทรงกระบอกแตกเป็นมุม 60° ส่วนแบบลูกบาศก์แตกเป็นมุม 45° อย่างไรก็ตามค่า 83%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าดังกล่าวก็ไม่ใช่จริงเสมอไป ดังตารางที่ 1.1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 เทียบแรงประลัยแท่งลูกบาศก์และแท่งทรงกระบอก

แรงประลัย (ลูกบาศก์) kg/cm ²	แรงประลัย (ทรงกระบอก) kg/cm ²	อัตราส่วน เปรียบเทียบ	ผลแตกต่างของ แรงประลัย kg/cm ²
133	100	0.75	33
200	166	0.83	34
267	227	0.85	40
333	287	0.86	46
400	354	0.885	46
466	433	0.93	33

1.4 กำลังดึงของคอนกรีต

กำลังดึงของคอนกรีต เป็นคุณสมบัติสำคัญประการหนึ่ง ที่ใช้ควบคุมขนาดของรอยร้าวในคอนกรีต กำลังดึงของคอนกรีตหาได้จากการทดสอบทางอ้อม ที่เรียกว่า การทดสอบกำลังปริแตก (split - cylinder test) คือ การนำตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาวางนอนในแท่นทดลอง แล้วเพิ่มแรงอัดให้แก่กระจายตลอดแนวยาว จนกระทั่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกปริแตกออกเป็นสองส่วน กำลังดึงที่คำนวณได้จะเป็นค่าประมาณโดยเทียบกับกำลังอัดอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15% กำลังดึงโดยการทดสอบจากการปริแตกกำหนดเป็นสัญลักษณ์ f_{ct} มีค่าเทียบกับ $\sqrt{f'_c}$ ดังนี้

$$f_{ct} = 1.59\sqrt{f'_c} \text{ ถึง } 1.855\sqrt{f'_c} \text{ กก./ชม.}^2 \text{ สำหรับคอนกรีตธรรมดา}$$

$$f_{ct} = 1.33\sqrt{f'_c} \text{ ถึง } 1.59\sqrt{f'_c} \text{ กก./ชม.}^2 \text{ สำหรับคอนกรีตมวลเบา}$$

มาตรฐานของ ACI กำหนดให้ใช้ค่ากำลังดึงของคอนกรีต, f_{ct} เท่ากับ $1.776\sqrt{f'_c}$ กก./ชม.² สำหรับคอนกรีตธรรมดา และเท่ากับ $1.51\sqrt{f'_c}$ กก./ชม.² สำหรับคอนกรีตมวลเบา

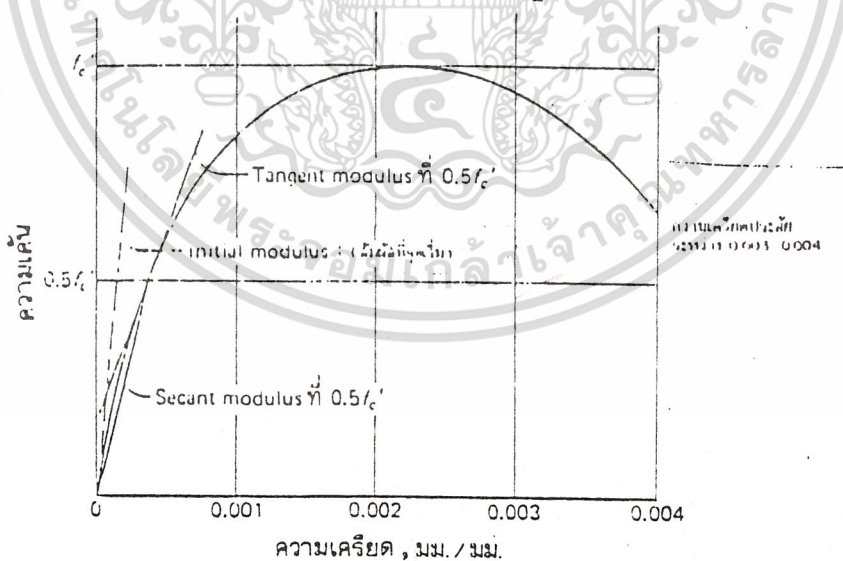
นอกจากนี้ยังมีการหาค่ากำลังของคอนกรีตโดยอ้อมได้อีกวิธีหนึ่งคือ จากการทดสอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ใช้ให้เข้าไปใช้เป็นการค้า การรับแรงดัดของคานคอนกรีต ค่าที่ได้เรียกว่า โมดูลัสแตก ร้าว (modulus of rupture) นำไปใช้

ใช้ สัญลักษณ์เป็น f_r ซึ่งคำนวณจากสมการ $f = Mc/I$ จะได้ค่ากำลังดึงของคอนกรีตสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังปริแตกคือประมาณ $1.99\sqrt{f'_c}$ กก./ซม.² สำหรับคอนกรีตธรรมดา และค่าดังกล่าวเหลือเพียง 75% สำหรับคอนกรีตมวลเบา

อย่างไรก็ตาม ค่ากำลังดึงของคอนกรีตที่ได้จากการทดลองทั้งสองวิธีมิใช่เป็นค่าที่ถูกต้องแท้จริงสำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตดังกล่าว

1.5 โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของคอนกรีต

โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของคอนกรีต, E_c เป็นค่าแสดงคุณสมบัติการยืดหดตัวของคอนกรีตแตกต่างกับโมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของเหล็ก เนื่องจากค่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามกำลังของคอนกรีตซึ่งขึ้นอยู่กับอายุ คุณสมบัติของซีเมนต์ และมวลรวมคละหรืออัตราการกระทำของแรง รวมทั้งชนิดและขนาดของโครงสร้างด้วย ทั้งนี้จะเห็นได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดดังแสดงในรูปที่ 1.2 ที่เห็นได้ชัดเจนว่ากราฟเป็นเส้นโค้ง ค่า E_c เป็นอัตราส่วนของความเค้นกับความเครียด ดังนั้นที่ความเค้นต่างกัน ค่า E_c จะต่างกันด้วย



รูปที่ 1.2

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่นำไปใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สำหรับน้ำหนักของคอนกรีต, w ที่อยู่ระหว่าง 1442 ถึง 2482 กก./ม.³ ค่าโมดูลัสไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้แห่งความยืดหยุ่นอาจคำนวณจากสมการเอ็มไพริคอล ดังนี้

$$E_c = 4270w^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad \text{กก./ชม.}^2$$

หรือสำหรับคอนกรีตที่มีน้ำหนักธรรมดา คือ 2323 กก./ม.³ ให้คำนวณจาก

$$E_c = 15,100 \sqrt{f'_c} \quad \text{กก./ชม.}^2$$

1.6 การควบคุมคุณภาพคอนกรีต

ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดค่าแรงอัดประลัยของคอนกรีตเฉพาะโครงสร้างนั้นไว้ (specified compressive strength) คือค่า f'_c ที่อายุครบ 28 วัน อาจเทียบโดยแท่งตัวอย่างมาตรฐานของอเมริกาหรืออังกฤษ ดังนั้นในทางปฏิบัติจำเป็นจะต้องมีการเก็บตัวอย่างของคอนกรีตที่หล่อทุกวัน หรือตามกำหนด ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่ไม่สามารถจะคาดการณ์หรือเดาค่าคุณสมบัติหรือกำลังในการผสมแต่ละครั้งได้เลย

การที่จะควบคุมคอนกรีตให้ได้คุณภาพตามต้องการ จะต้องได้ค่ากำลังอัดจากผลเฉลี่ยของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง ที่เก็บไปทดสอบจำนวนไม่ต่ำกว่า 3 ก้อน ในแต่ละชุดมีค่าเกินกว่าค่า f'_c ที่ระบุเฉพาะ และกำลังอัดของแต่ละก้อนอาจจะต่ำกว่าค่า f'_c ที่ระบุเฉพาะได้ไม่เกิน 15% หรืออาจมีเงื่อนไขอื่น ๆ อีกแล้วแต่ความเหมาะสมของงาน

1.7 เกณฑ์กำหนดมาตรฐาน

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องยึดกฎเกณฑ์หรือขอบเขตจากมาตรฐานที่กำหนดในแต่ละท้องถิ่น ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้กฎเกณฑ์ของ ACI (the American Concrete Institute) เป็นมาตรฐาน สำหรับประเทศไทย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ออกมาครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2515 โดยได้อิงหลักการจาก ACI - code เป็นส่วนใหญ่ และดัดแปลงรายละเอียดบางประการให้เหมาะสมกับสภาพของประเทศไทย

1.8 ข้อกำหนดความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในทฤษฎีอิลาสติก ได้มีข้อกำหนดความปลอดภัยที่คิดเทียบส่วนจากน้ำหนักบรรทุก ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สำหรับใช้กับวัสดุที่จะนำมาคำนวณออกแบบ เรียกว่า ส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) ในทฤษฎี



กำลังประลัย ก็มีข้อกำหนดความปลอดภัยเช่นเดียวกัน เรียกว่า Load Factor ซึ่งแยกออกเป็นสอง
แฟคเตอร์ คือ แฟคเตอร์สำหรับการรับน้ำหนักประลัย, U และแฟคเตอร์ลดสำหรับการรับกำลัง
ประลัย, O ตัวอย่างการรับน้ำหนักประลัยของโครงสร้างที่มีเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่กับน้ำหนัก
บรรทุกจร ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดไว้ ตามสมการข้างล่าง ดังนี้

$$U = 1.7D + 2.0L \quad \text{-----} (1)$$

ซึ่ง

$$U = \text{น้ำหนักประลัย}$$

$$D = \text{น้ำหนักบรรทุกคงที่ภายใต้สภาวะใช้งาน}$$

$$L = \text{น้ำหนักบรรทุกจรภายใต้สภาวะใช้งาน}$$

ส่วนแฟคเตอร์ลดสำหรับการรับกำลังประลัยของโครงสร้าง, ϕ ที่ใช้ในการออกแบบ
กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

	แฟคเตอร์ลด, ϕ
(ก) สำหรับการดัด ที่มีหรือไม่มีแรงดึงตามแกน	0.90
(ข) สำหรับแรงดึงตามแกน	0.90
(ค) สำหรับแรงเฉือนและแรงบิด	0.85
(ง) สำหรับโครงสร้างรับแรงอัด เสริมเหล็กปลอกเกลียว	0.75
(จ) สำหรับโครงสร้างรับแรงอัด เสริมเหล็กปลอกเดี่ยว	0.70
(ฉ) สำหรับแรงกด	0.70
(ช) สำหรับการดัดในคอนกรีตล้วน	0.65

มาตรฐานยังได้กำหนดความปลอดภัยสำหรับการรับน้ำหนักประลัยของโครงสร้าง ที่
นอกเหนือจากสมการ (1) ดังต่อไปนี้

สำหรับโครงสร้างที่คิดแรงลมร่วมด้วยกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร

$$U = 0.75(1.7D + 2L + 2W) \quad \text{-----} (2)$$

ซึ่ง $W = \text{แรงลม}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาระดับชั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หรือสำหรับสภาวะที่แรงลมสูง และไม่มีน้ำหนักบรรทุกจรในอาคารที่ใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U = 0.9D + 1.3W \quad \text{-----} (3)$$

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้ใช้ค่า U ที่ให้ค่าสูงสุดระหว่างสมการ (2) และ (3) แต่อย่างไรก็ตาม จะต้องไม่ต่ำกว่าค่า U ที่ได้จากสมการ (1)

นอกจากนี้มาตรฐานของ ACI (318 - 77) ยังได้กำหนดการใช้ค่า U ในกรณีอื่น ๆ ต่อไปนี้

หากจำเป็นต้องคิดแรงในแนวราบที่เกิดจากแผ่นดินไหว, H ก็ให้ใช้

$$U = 1.4D + 1.7L + 1.7H \text{ -----(4)}$$

หรืออาจแปลงให้เข้ามาตรฐานสำหรับประเทศไทยจะได้

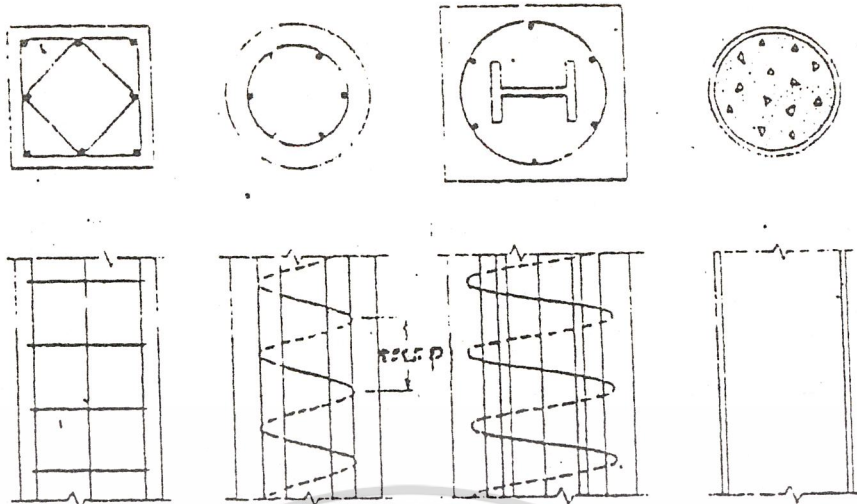
$$U = 1.7D + 2L + 2H \text{ -----(5)}$$

1.9 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เสา โดยปรกติหมายถึงชิ้นส่วนโครงสร้างที่ใช้ในการรับแรงอัดตามแกน ที่มีอัตราส่วนระหว่างความสูงกับขนาดที่น้อยที่สุดของหน้าตัดเสาดังแต่ 3 ขึ้นไป สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงอัดที่สั้นกว่านี้อาจไม่จำเป็นต้องมีเหล็กเสริมหรือไม่ก็ออกแบบคล้ายฐานรากไปเลย เสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งได้เป็นสองประเภท ประเภทแรกคือ เสา ปลูก เดี่ยว (tied column) หน้าตัดอาจเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส, สี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือกลม เป็นต้น โดยที่เหล็กเสริมเอกซิงเป็นเหล็กในเสา จะถูกจัดหรือถูกบังคับให้อยู่ในตำแหน่งด้วยเหล็กรัดพันรอบที่แยกเดี่ยวแต่ละชิ้น หรือที่เรียกว่าเหล็กปลอกเดี่ยว ด้วยระยะห่างประมาณ 20 ถึง 40 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 1.3 (ก) อีกประเภทหนึ่งคือ เสาปลอกเกลียว (spirally column) ส่วนใหญ่หน้าตัดจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับหน้าตัดกลมเท่านั้น เหล็กเสริมยีนจะถูกจัดแนวเป็นวงกลมและบังคับด้วยเหล็กรัดเป็นเกลียวต่อเนื่องกันตลอดความยาวเสา โดยมีระยะห่างของเกลียวระหว่าง 5 ถึง 7.5 ซม. เรียกกันว่าเหล็กปลอกเกลียว ดังแสดงในรูปที่ 1.3 (ข) ส่วนเสาที่แสดงในรูปที่ 1.3 (ค) และ (ง) ไม่จัดเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะอาจประกอบไปด้วยเสาที่ใช้เหล็กรูปหรือเหล็กหล่อเป็นแกนและหุ้มด้วยคอนกรีต หรืออาจจะมีเหล็กยีนพร้อมด้วย

เหล็กปลอกเดี่ยวหรือปลอกเกลียวหุ้มโดยรอบเหล็กแกน เป็นการเสริมกำลังอีกก็ได้ (รูป ค.) อีก

ประเภทหนึ่งใช้ท่อเหล็กขนาดตามต้องการเป็นตัวเสาและเทคอนกรีตกรอกลงไปตรงกลางท่อ ปรกติเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อาจมีเหล็กเสริมยีนหรือไม่ก็ได้เช่นกัน (รูป ง.) ทั้งสองประเภทหลังนี้ (ค. และ ง.) เรียกว่า เสาประกอบเสริมเหล็กรูป (composite column)



ก)เสาปลอกเดี่ยว ข)เสาปลอกเกลียว ค)เสาประกอบ (เสริมเหล็กปลอกเกลียวรอบแกนเสริมเหล็กรูป) ง)เสาประกอบ (ท่อเหล็กหล่อเทคอนกรีตเป็นแกน)

รูปที่ 1.3

1.10 พฤติกรรมของเสารับน้ำหนักตามแกน

เมื่อคอนกรีตและเหล็กเสริมยื่นในเสาร่วมกันช่วยรับแรงอัดกระทำ จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของการรับภาระของวัสดุทั้งสองจะไม่คงที่ แต่จะแปรเปลี่ยนไปอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่แรงยังคงกระทำอยู่ แรกทีเดียวค่าความเค้นในเหล็กเสริมจะเท่ากับ E_s/E_c เท่าของค่าความเค้นในคอนกรีตเป็นไปตามหลักการของทฤษฎีอีลาสติก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป การล้าและหดตัวของเสาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดความเค้นในเหล็กเสริมสูงกว่าที่ได้รับในตอนแรก เนื่องจากการเคຍเทแรงบางส่วนที่คอนกรีตเคยรับไว้เข้าสู่เหล็กเสริม ซึ่งประเด็นนี้ในทฤษฎีอีลาสติกไม่ได้คำนึงถึง แต่ในทฤษฎีกำลังประลัยจำเป็นต้องพิจารณา อย่างไรก็ตาม ผู้ทำการทดลองในเรื่องพฤติกรรมของเสารับน้ำหนักตามแกน ได้ให้สมการสำหรับรับน้ำหนักประลัยใช้งาน, P_n ไว้ดังนี้

$$P_n = k_c f_c A_c + f_y A_{st} + k_s f_{sy} A_{sp}$$

ที่

$$P_n = \text{กำลังรับน้ำหนักประลัยใช้งานสำหรับเสาปลอกเดี่ยว (หากตัดค่า}$$

$k_s f_{sy} A_{sp}$ ออกไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_n = \text{กำลังรับน้ำหนักคลากของเสาปลอกเกลียว}$$

k_c = ค่า ส.ป.ส. (0.85) ซึ่งเป็นค่าแตกต่างของกำลังคอนกรีตที่ทดสอบจากเสา
เรียวยาวกับที่ทดสอบโดยแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก

f'_c = กำลังคอนกรีตที่ทดสอบจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก เมื่ออายุครบ
28 วัน

A_c = พื้นที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีต หมายถึงพื้นที่ทั้งหมดของเสาปลอกเดี่ยว
และพื้นที่แกนกลางที่อยู่ภายในปลอกเกลียวของเสาปลอกเกลียว

A_{st} = ปริมาณเหล็กเสริมยื่น

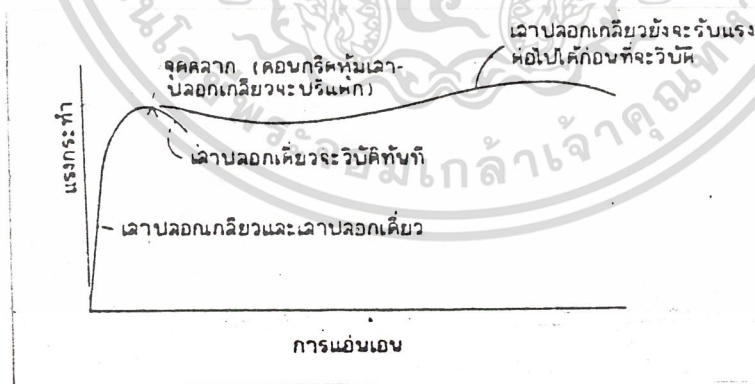
f_y = กำลังคลากของเหล็กเสริมยื่น

k_s = ค่าคงที่ มีค่าตั้งแต่ 1.5 ถึง 2.5 หรือค่าเฉลี่ยที่ 1.95

f_{sy} = กำลังคลากของเหล็กปลอกเกลียว

A_{sp} = ปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวต่อหน่วยความยาวเสา

พิจารณารูปที่ 1.4 ที่แสดงให้เห็นกราฟเปรียบเทียบการเกิดความเครียดในเสาปลอก
เดี่ยวกับเสาปลอกเกลียว ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเสาปลอกเดี่ยวจะพังทะลายทันทีที่น้ำหนัก
กระทำสูงเกินกำลังคลากของเสา การพังทะลายจะเป็นลักษณะของการฉีกขาดเนื่องจากแรงเฉือนใน
แนวเฉียง และอาจมีการโก่งงอของเหล็กยื่นในเสาด้วย จากกราฟจะเห็นว่าจุดคลากกับกำลังประลัย



การแอ่นเอน

รูปที่ 1.4

เสาปลอกเดี่ยวมีค่าเดียวกัน ส่วนเสาปลอกเกลียวนั้นเมื่อรับน้ำหนักถึงจุดคลาก เสาอาจเกิดแตกร้าว
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ขึ้น และผิวคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเกลียวอาจหลุดกระเทาะออกไปหมด เหลือเพียงแกนเหล็กยื่นและ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เหล็กปลอกเกลียวห่อหุ้มอยู่ ถึงจุดนี้พบว่าเสายังคงรับน้ำหนักได้ต่อเนื่องจากแกนเหล็กลูกตั้งกล่าว

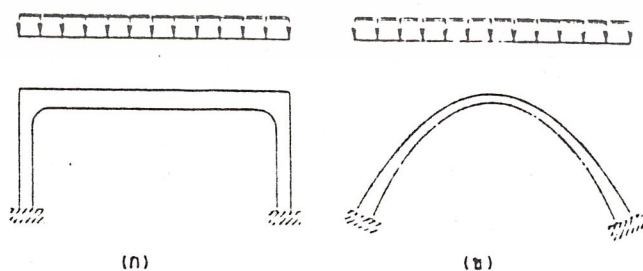
จนกระทั่งถึงจุดประลัยที่แท้จริงของเสา ในช่วงนี้ปรากฏว่าเหล็กปลอกเกลียวการถ่ายทอดแรงให้ช่วยรับกำลังในเสาด้วย

อย่างไรก็ตาม ถือว่าเสาทั้งสองประเภทรับกำลังที่จุดประลัยเดียวกัน แต่จะต้องวัดค่าปลอดภัยในเสาปลอกเดี่ยวให้สูงกว่า อันเนื่องมาจากการพังทะลายทันทีทันใดของตัวมัน

1.11 พฤติกรรมของเสาที่รับแรงดัดกระทำร่วมกับแรงอัดตามแกน

ชิ้นส่วนโครงสร้างอาจเกิดแรงกระทำพร้อมกันทั้งแรงตามแกนและแรงดัดได้หลายทาง ซึ่งเป็นเรื่องธรรมดาเหลือเกินที่เสาอาคารจะมีโมเมนต์ดัดกระทำแทบทุกต้น โมเมนต์ดังกล่าวเกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่ไม่เท่ากันในพื้นที่อยู่แต่ละฟากของเสา หรือเกิดจากแรงกระทำเอียงศูนย์ เช่น น้ำหนักแครง ในอาคารอุตสาหกรรม เป็นต้น

โดยทั่วไปโครงสร้างคอนกรีต มักจะหล่อเป็นเนื้อเดียวกันตลอดโครง อาทิ โครงข้อแข็ง (rigid frame) และโค้งตั้ง (arch) ดังแสดงในรูปที่ 1.5 เป็นโครงสร้างที่รับแรงกระทำร่วมทั้งแรงดัดและแรงตามแกน ชิ้นส่วนทางดิ่งในโครงข้อแข็ง และหน้าตัดบริเวณใกล้ที่รองรับของโครงสร้างโค้งตั้ง จะรับแรงกระทำตามแกนมากกว่าแรงดัด ในขณะที่ชิ้นส่วนทางราบของโครงข้อแข็ง และหน้าตัดของโค้งตั้งใกล้ ๆ จุดยอด จะรับแรงดัดมากกว่าแรงตามแกน โดยทั่วไปแรงตามแกนมักจะเป็นแรงอัด แต่ก็มีบางโครงสร้างที่แรงตามแกนเป็นแรงดึง



รูปที่ 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 โครงข้อแข็งและโค้งตั้งคอนกรีตเสริมเหล็ก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงอัดตามแกนกระทำกับแรงดัดในหน้าตัดชิ้นส่วนที่มีค่าอัตราส่วนความเรียว (slenderness ratio) ต่ำ ๆ กำลังสูงสุดที่จะเกิดบนหน้าตัดอาจเป็น (1) กำลังอัดกระจายสม่ำเสมอบนหน้าตัด ซึ่งจะให้ความหมายว่าความเครียดอัดในคอนกรีตสูงถึงค่า 0.003 ก่อนที่เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดคานงอ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า "แรงดึงเป็นหลัก" (tension controls) จุดประสงค์ของบทนี้ก็คือการวิเคราะห์ออกแบบหน้าตัดโครงสร้างรับแรงอัดกระทำที่มีค่ากำลังประลัย อยู่ในลักษณะใดลักษณะหนึ่งของทั้งสองดังกล่าวซึ่งอาจเรียกลักษณะทั้งสองนี้ว่า "ช่วง"

1.12 ผลกระทบเนื่องจากความยาวของเสา

ตามที่ได้กล่าวแล้วว่า หากโครงสร้างรับแรงอัดที่มีความยาวไม่เกิน 3 เท่าของขนาดหน้าตัดที่น้อยที่สุดนั้น การออกแบบอาจพิจารณาเป็นฐานขนาดใหญ่ได้ แต่สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ยาวขึ้นกว่านั้น ผลของอัตราส่วนความเรียว (อัตราส่วนของความยาวต่อรัศมีจายเรชั่น, r) จะต้องถูกนำมาพิจารณา เป็นที่ทราบกันดีว่าการอพับด้านข้างของเสาจะทำหน้าที่ควบคุมกำลังรับน้ำหนักของตัวมันเอง ขนาดของอัตราส่วนความเรียวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะการค้ำยันและสภาพยึดรั้งของปลายเสา โดยเริ่มจากเสาที่มีการยึดปลายเป็นแบบข้อหมุนทั้งสองปลาย ซึ่งไม่สามารถที่จะต้านทานการหมุนที่จะเกิดที่ปลายเสาได้เลย ให้ถือความยาวของเสาเป็นความสูงอิสระ, L_u จะได้ความสูงประสิทธิผลของเสาเท่ากับ kL_u โดยที่ k เป็นสัมประสิทธิ์ความสูงประสิทธิผลที่ขึ้นอยู่กับสภาพยึดรั้งที่ปลายเสา

แฟคเตอร์ตัวสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาสำหรับค่า k ก็คือพิจารณาว่าโครงสร้างแรงอัดนั้นได้มีการค้ำยัน (braced) อย่างเพียงพอสำหรับที่จะต้านทานการโยกทางด้านข้างหรือไม่ โครงสร้างมีค้ำยันดังกล่าว ค่า k จะมีค่า ≤ 1.0 แต่ถ้าโครงสร้างดังกล่าวไม่มีการค้ำยัน ค่า k ก็จะมีค่า > 1.0

กรณีที่เป็นเสาสั้นหรือเสามีการค้ำยันอย่างเพียงพอ หรือเมื่อผลของความเรียวมีส่วนมากที่จะทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาลดลงไม่เกิน 5% อัตราส่วนความเรียวดังกล่าวก็ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา หากค่า

$$\frac{kL_u}{r} < 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M_1 และ M_2 เป็นค่าโมเมนต์หัวเสาค่าน้อยและค่ามากตามลำดับ และถ้าโครงสร้าง
เสาไม่มีการต้านสำหรับการโย้ด้านข้าง ผลของอัตราส่วนความเร็วอาจไม่ต้องนำมาพิจารณา ถ้า

$$\frac{kL_u}{r} < 22$$

1.13 เหล็กเสริมตามขวาง (ปลอกเดี่ยว)

เหล็กเสริมตามขวางในเสาหรือที่เรียกว่าเหล็กปลอก ซึ่งแบ่งเป็นเหล็กปลอกเดี่ยว
และปลอกเกลียว จะมีหน้าที่ยึดบังคับให้เหล็กเสริมยืนอยู่ตามตำแหน่งอย่างมั่นคง และมีระยะห่างพอ
ควรที่จะไม่ให้เหล็กเสริมยืงดงกล่าว เกิดการโก่งงอภายในระยะช่วงของเหล็กปลอก

มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดมาตรฐานการเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวไว้ดังต่อไปนี้

1. เหล็กเสริมยืนทุกเส้นจะต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6
มม. พันโดยรอบ
2. ระยะเรียงของเหล็กปลอกต้องไม่ห่างเกิน 16 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ของเหล็กเสริมยืน หรือ 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก หรือขนาดเล็กที่สุดของหน้า
ตัดเสานั้น
3. ต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กเสริมยืนทุกมุม และสลัดกับเหล็กเสริมยืน
อื่น ๆ เส้นเว้นเส้น โดยมีมุมของเหล็กปลอกโตไม่เกิน 135 องศา และเหล็กเสริมยืนเส้นที่ถูกยึดไว้
ต้องห่างกันไม่เกิน 15 ซม.
4. หากจัดเหล็กเสริมยืนเรียงกันเป็นวงกลม อาจใช้เหล็กปลอกพันให้ครบรอบวง
นั้นก็ได้

1.14 พิกัดสำหรับเหล็กเสริมยืน

พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมยืนในเสา มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดไว้จะต้องไม่น้อย
กว่า 0.01 และไม่มากกว่า 0.08 ของพื้นที่หน้าตัดเสาทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวอาจลด

ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ได้ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดเสาทั้งหมดมีขนาดมากเกินความจำเป็น แต่อย่างน้อยที่
ไม่สุดจะไม่มีในกรณีใดที่ยอมให้ค่า P_g ต่ำกว่า 0.005 ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการพังทลายอย่างทันทีไปใช้

ทันใดของคอนกรีตเสาที่เกือบจะเหมือนเป็นคอนกรีตล้วน ส่วนขีดจำกัดสูงนั้น กำหนดไว้เพื่อไม่ให้มีเหล็กเสริมยื่นมากเกินไปที่จะทำให้ระยะห่างของเหล็กเสริมเหลือน้อยมากหรือแทบจะชิดกัน หน้าตัดเสาที่ใหญ่มีช่องว่างมากค่า P_g อาจจะสูงกว่า 0.08 ไปเล็กน้อยก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างของเหล็กเสริมยื่นที่มีอยู่ว่าจะเพิ่มเติมได้มากน้อยแค่ไหน

1.15 กำลังรับน้ำหนักสูงสุดตามแกน

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าโอกาสที่เสาจะรับน้ำหนักตามแกนอย่างแท้จริงนั้นแทบจะไม่มี ทั้งนี้เนื่องจากสภาพต่าง ๆ มากมายที่ได้กล่าวแล้วทั้งสิ้น มาตรฐาน ว.ส.ท. จึงมีข้อกำหนดสำหรับการออกแบบโครงสร้างที่รับแรงอัดตามแกน ให้สามารถรับโมเมนต์ตามระยะเยื้องศูนย์กลาง, e ซึ่งเป็นระยะสัมพันธ์กับโมเมนต์สูงสุดที่จะเกิดขึ้นพร้อมกันกับสภาวะของแรงกระทำนี้ ค่า e จะวัดจากแกนหลัก (principal axis) แต่ละด้านของเสา จะต้องมามีค่าไม่น้อยกว่า 0.05h สำหรับเสาปลอกเกลียวหรือเสาประกอบเสริมเหล็กรูป และไม่น้อยกว่า 0.10h สำหรับเสาปลอกเดี่ยว แต่ต้องไม่น้อยกว่า 3 ซม. ไม่ว่ากรณีใด โดยที่ h คือขนาดหน้าตัดเสาในแต่ละด้านที่วัด

มาตรฐาน ACI (1977) กำหนดเพิ่มเติมว่า สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลของความเฉื่อยอาจจะเลยได้นั้น กำลังรับน้ำหนักประลัยใช้งานตามแกน, P_n สูงสุดไม่เกิน $0.80P_o$ สำหรับเสาปลอกเดี่ยว และ $0.85P_o$ สำหรับเสาปลอกเกลียว P_o คือ ค่าที่ได้จากสมการ (9.5.1) และ (9.5.2) หรือเมื่อเสามีอัตราส่วนความยาวที่สูงจนต้องนำมาพิจารณา ระยะ e ต่ำสุดที่จะนำมาคิดโมเมนต์เท่ากับ $(0.6 + 0.03h)$

1.16 การโก่งของเสา

เสาเรียงยาว (slender columns) ที่ทำหน้าที่รับแรงกดในแนวแกนตามความยาวขณะมีแรงกดกระทำ เสาจะสั้นลงและถ้าเพิ่มแรงกดขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าหนึ่ง เสาจะเริ่มโก่งออกทางด้านข้าง และถ้าลดแรงกดลงเสาก็กลับอยู่ในสภาพตรงเหมือนเดิม ภาวะของเสาในลักษณะนี้เรียกว่า stable และแรงที่ทำให้เสากเกิดการโก่ง (buckling) เรียกว่า แรงวิกฤติ (critical load หรือ buckling load) ดังนั้นแรงวิกฤติก็คือ แรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้เสากเกิดการโก่ง โดยปกติแรงวิกฤตินี้จะทำให้เกิดความเค้นในเสา ซึ่งมีค่าน้อยกว่า proportional limit ของวัสดุที่ใช้ทำเสาเสมอ อย่างไรก็ตามเมื่อเสามีความยาวมากขึ้นอีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการโก่งแล้ว เสานั้นก็ไม่สามารถใช้งานได้ตามที่ต้องการ ฉะนั้นในการออกแบบเสาเรียวยาวขนาดของแรงจึงถูกจำกัดด้วยแรงวิกฤติแทนที่จะจำกัดด้วยความเค้นอ่อนตัวของวัสดุที่ใช้ทำเสา

ค่าของแรงวิกฤติหรือความเค้นวิกฤติที่เกิดขึ้นในเสา จะขึ้นอยู่กับขนาดของเสา ความยาว การยึด ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเสา และสภาพของเสาก่อนที่ถูกแรงกระทำ

สำหรับเสาที่มีขนาดสั้นมาก การโก่งจะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นเสาจะเสียหาย เนื่องจากความเค้นภายในเสามีขนาดเกิน *proportional limit* ของวัสดุที่ใช้ทำเสาในกรณีที่เสามีความยาวปานกลาง ความเสียหายอาจจะเนื่องมาจากการโก่งหรือความเค้นมีขนาดเกิน *proportional limit* ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเรียวยาว (*slenderness ratio*) ของเสาและวัสดุที่ใช้ทำเสา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี Elastic และ ทฤษฎีกำลังประลัยของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีอีลาสติกและทฤษฎีกำลังประลัยของเสา

2.1 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เสาเป็นส่วนของอาคารในแนวตั้งที่รับแรงอัด หรือทั้งแรงอัดและแรงดัดรวมกันที่ได้จากการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากคานหรือแผ่นพื้นไว้คาน เสาคอนกรีตเสริมเหล็กอาจมีรูปตัดกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีเหล็กเสริมชนิดเหล็กยื่นใช้ช่วยคอนกรีตรับน้ำหนักและเหล็กเสริมทางข้างชนิดปลอกเกลียว ซึ่งพันต่อเนื่องกันรอบเหล็กยื่นที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม เรียกว่าเสาปลอกเกลียว เหล็กเสริมทางข้างอาจเป็นชนิดปลอกเดี่ยวพันรอบเหล็กยื่นที่วางในตำแหน่งขอบของรูปสี่เหลี่ยมเว้นเป็นระยะ เรียกว่า เสาปลอกเดี่ยว เหล็กเสริมข้างทางนี้ ช่วยให้เสา คสล. รับน้ำหนักดีขึ้น ประเภทของเสาอาจแยกออกเป็น เสาสั้นและเสายาว เสาสั้นหมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลุดน้อยไม่เกินพิกัดที่จะทำให้เสานั้นแตกร้าโดยการโก่งเดาะ เสายาวหมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลุดมาก ประมาณค่าเท่ากับ 60 หรือมากกว่า ความสามารถในการรับน้ำหนักจะน้อยกว่าเสาสั้นขนาดเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการโก่งเดาะของเสา

จากการทดลองของเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยว ที่มีขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมเท่ากันโดยให้รับน้ำหนักตามแนวแกน พบว่าที่จุดคานของเสาทั้งเสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยวจะมีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการโก่งตัวหรือหดตัว (deformation) เหมือนกัน แต่เมื่อเสารับน้ำหนักเกินกว่าจุดนี้ เสาปลอกเดี่ยวจะขรุขระก่อนโดยคอนกรีตที่หุ้มจะหลุดแตกโดยแรงเฉือนในแนวทแยง และเหล็กเสริมตามยาวจะบิดเบี้ยวด้วยการโก่งเดาะ โดยมีค่าน้ำหนักประลัยเท่ากับค่าน้ำหนักที่ทำให้เสาสู่จุดคาน ส่วนเสาปลอกเกลียว เมื่อน้ำหนักเลยจุดคานคอนกรีตที่หุ้มอยู่จะหลุดแตกออก แต่เหล็กปลอกที่พันอยู่โดยรอบจะช่วยต้านทานการแตกของคอนกรีตภายในได้ ทำให้เสาปลอกเกลียวรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้อีกมีน้ำหนักประลัยสูงกว่าเสาปลอกเดี่ยว แต่อย่างไรก็ตาม การโก่งตัวได้มากขึ้นจะไม่ถือว่าเสานี้เหมาะในการใช้งานอีก ดังนั้นส่วนของน้ำหนักประลัยที่เพิ่มขึ้นจะถือเป็นแต่เพียงข้อดีของเสาปลอกเกลียวเท่านั้น คือมีความปลอดภัยสูงกว่า และถือว่าเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยวรับน้ำหนักประลัยได้เท่ากัน ซึ่งความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้จากการรวมกำลังรับน้ำหนักที่ได้จากส่วนของคอนกรีตและของเหล็กเสริม การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับเสา

ก) อัตราส่วน h/c ความสูงของเสาระหว่างชั้นต่อด้านแคบของเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสากลมไม่ควรเกิน 15 มิฉะนั้นแล้วจะต้องลดกำลังรับน้ำหนักของเสาดังจะกล่าวต่อไป

ข) เนื้อที่หน้าตัดเหล็กยื่นของเสาต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่เกิน 0.08 ของเนื้อที่หน้าตัดเสา A_g และมีขนาดไม่เล็กกว่า 12 มม. เสาเหลี่ยมต้องมีเหล็กยื่นอย่างน้อย 4 เส้น และเสากลมอย่างน้อย 6 เส้น

ค) ช่องว่างระหว่างเหล็กยื่นของเสาต้องไม่น้อยกว่า $1\frac{1}{2}$ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กหรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของวัสดุผสมหยาบใหญ่สุดหรือ 4 ซม.

ง) ปลอกเกลียวต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าที่คำนวณจาก

$$P_s = 0.45 \left[\frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{f'_c}{f_y}$$

เมื่อ P_s = อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียวกับปริมาตรของแกนเสา วัสดุที่ขอบนอกของเหล็กปลอกเกลียว

f_y = กำลังคลากของเหล็กปลอกเกลียว แต่ไม่เกิน 4200 กก./ซม.2

A_c = เนื้อที่หน้าตัดแกนคอนกรีตภายในศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียว

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเสาปลอกเกลียว

จ) เสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยว คอนกรีตหุ้มเหล็กที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับแกนคอนกรีต หนาไม่น้อยกว่า 3 ซม. หรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าขนาดวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด

ฉ) เสาปลอกเดี่ยว ต้องใช้เหล็กปลอกไม่เล็กกว่า 6 มม. ระยะห่างไม่เกิน 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยื่น หรือ 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก และไม่ห่างกันมากกว่าด้านแคบของเสา

ช) เหล็กปลอกเกลียวของเสาต้องพันต่อเนื่องสม่ำเสมอมีระยะห่างไม่เกิน 7 ซม. และไม่แคบกว่า 3 ซม. หรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าขนาดวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่เล็กกว่า 6 มม.

ซ) เสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดมากกว่าความต้องการในการรับน้ำหนักมาก ๆ การหาปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยที่สุดนี้ยอมให้ใช้ A_g เพียงครั้งเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งาน การต่อเหล็กยื่นในเสา อาจต่อโดยวิธีทาบหรือเมื่อขนาดเหล็กยื่นโตกว่า 25 มม การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม การต่อเหล็กยื่นให้ต่อที่พื้นชั้นล่างของชั้นนั้น ๆ เมื่อต้องตัดเหล็กเยื้องกันที่

รอยต่อ ความลาดเอียงต้องไม่เกิน 1 ต่อ 6 เมื่อเทียบกับแกนของเสา เหล็กส่วนบนและล่างของส่วนที่ตั้ง ต้องขนานกับแกนเสา และต้องมีเหล็กยึดในแนวราบอย่างพอเพียง

2.3 ทฤษฎีอีลาสติก

การคำนวณออกแบบ โดยวิธีทฤษฎีอีลาสติก (Working Stress Method) เริ่มใช้กันในประเทศตั้งแต่ปี ค.ศ. 1900 จนกระทั่งในปี 1963 ได้มีการเสนอทฤษฎีในการออกแบบใหม่ที่เรียกว่า ทฤษฎีกำลังประลัย และเป็นที่ยอมรับปฏิบัติมาจนกระทั่งปัจจุบัน

ทฤษฎีอีลาสติก เป็นการคำนวณออกแบบให้โครงสร้างสามารถต้านทานแรงกระทำต่าง ๆ ได้ภายใต้สภาวะการใช้งาน โดยมีค่าหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในวัสดุอยู่ภายในช่วงยืดหยุ่น และไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของวัสดุแต่ละชนิดนั้น ๆ ตามส่วนปลอดภัยที่ได้กำหนดไว้ตายตัว อาทิเช่น กำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ระบุเฉพาะของแต่ละงาน คือ f_c' หรือกำลังดึงคลากของเหล็กเสริม

เสาเสริมเหล็กปลอกเดี่ยว

เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในอาคารทั่ว ๆ ไป มักเป็น เสาสั้น ที่จัดเป็นเสาสั้นนั้น เสาต้องสูงไม่เกิน 10 เท่าของความหนาแน่นที่น้อยที่สุด เสาหลักในตึกทั่วไป อย่างน้อยต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. หรือถ้าเป็นเสาสี่เหลี่ยมก็ควรหนาไม่ต่ำกว่า 20 ซม. และพื้นที่หน้าตัดรวมไม่น้อยกว่า 600 ตาราง ซม. เสาที่ไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้น อาจมีขนาดหนาเพียง 15 ซม. ก็ได้

เสาเสริมเหล็กปลอกนี้เป็นเสาที่เราเห็นทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยเหล็กเสริมทางตั้ง และมีเหล็กปลอกผูกแยกเป็นระยะ ๆ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยื่น ต้องไม่น้อยกว่า 1% ของหน้าตัดคอนกรีต และไม่มากกว่า 8% ของหน้าตัดเสา ขนาดของเหล็กเล็กสุด = # 5 Ø 15 มม. จำนวนเหล็กเสริมทางตั้งไม่น้อยกว่า 4 เส้น สำหรับเสาเสริมเหล็กปลอกเดี่ยว และไม่น้อยกว่า 6 เส้น สำหรับ *เสาเสริมเหล็กปลอกพันเกลียวรอบ (SPIRAL)*

เหล็กปลอกเดี่ยว มีหลักเกณฑ์ดังนี้คือ ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า # 2 (Ø 6 มม.) ต้องมีระยะห่างของปลอกไม่เกิน 16 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กยื่น และไม่เกิน 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวมันเอง กับไม่เกินขนาดแคบสุดของเสา

เมื่อมีเหล็กยื่นมากกว่า 4 เส้น จำนวนเหล็กปลอกต้องเพิ่มขึ้นเพื่อรัดให้เหล็กอยู่ใน

ตำแหน่งที่ออกแบบไว้ กับไม่ให้เหล็กทรนขณะเทคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักโดยปลอดภัยสำหรับเสาสั้น นั้นคำนวณได้จาก

$$P = 0.85 [A_g (0.25f_c' + f_s P_g)] \quad **$$

ในที่นี้

P = น้ำหนักมากที่สุด ที่เสาสั้นรับได้โดยปลอดภัย (กิโลกรัม)

A_g = พื้นที่หน้าตัดรวมของเสา (ตารางเซนติเมตร)

f_c = แรงเค้นอัดประลัยของคอนกรีตเมื่อ 28 วัน ของแท่งกลมมาตรฐาน

(กก./ซม.2)

f_s = 40% ของแรงเค้นจุดย่น (yield - point) แต่ไม่เกิน 2,100 กก./ซม.2

= แรงเค้นอัดโดยปลอดภัยของเหล็กย่น (กก./ซม.2)

$$P_g = \text{อัตราส่วนของเหล็กต่อพื้นที่หน้าตัดรวมของเสา} = \frac{A_{st}}{A_g}$$

A_{st} = พื้นที่หน้าตัดรวมของเหล็กย่น (ตาราง ซม.)

เสาเสริมเหล็กปลอกพันเป็นเกลียว (Spiral Column)

เสาคอนกรีตชนิดนี้มีเหล็กย่นเรียงเป็นวงกลม อย่างน้อยต้องมี 6 เส้นขนาดไม่เล็กกว่า # 5 นอกจากนี้ยังมีเหล็กพันโดยรอบติดต่อกันไปตลอดมีระยะถี่มากเพื่อเป็นแหวนรัดคอนกรีตที่อยู่แกนกลาง นอกจากนี้ยังไม่ให้เหล็กย่นงอออกด้านข้างเมื่อเสารับน้ำหนักมาก ๆ

เสาชนิดนี้เดิมนิยมใช้เฉพาะในเสากลม แต่ในปัจจุบันเนื่องจากมีข้อดีในการรับน้ำหนักมากกว่าใช้เหล็กปลอกธรรมดา จึงได้นิยมใช้กับเสาจตุรัสแม้กับเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็มีผู้ใช้กันมากขึ้น จำนวนเปอร์เซ็นต์ของเหล็กเสริมต้องอยู่ในเกณฑ์ 1-8% ของหน้าตัดเสา น้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยคำนวณได้จากสูตร

$$P = A_g (0.25 f_c' + f_s P_g)$$

ในที่นี้

P = น้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยที่ศูนย์กลางเสานั้น (กิโลกรัม)

A_g = พื้นที่หน้าตัดของเสา (ตาราง ซม.)

f_c' = แรงประลัยของคอนกรีตเมื่อ 28 วัน แบบทรงกระบอก (กก./ซม.2)

f_s = 0.4 f_y แรงกดโดยปลอดภัยของเหล็กย่น (กก./ซม.2)

P_g = อัตราส่วนของเหล็ก (A_{st}) ต่อหน้าตัดเสา (A_g)

A_{st} = พื้นที่หน้าตัดรวมของเหล็กย่น (ตาราง ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของเหล็กกรัดรอบที่พันเป็นเกลียวโดยตลอดนั้นต้องไม่น้อยกว่าค่าตามสูตร

$$P_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_y}$$

P_s = อัตราส่วนของปริมาตรเหล็กกรัดรอบต่อปริมาตรของคอนกรีตที่อยู่ภายในวงแหวน (ผิวนอกถึงผิวนอกของเหล็กกรัดรอบ)

A_g = พื้นที่หน้าตัดรวมของเสา (ตาราง ซม.)

A_c = พื้นที่หน้าตัดเฉพาะคอนกรีตที่อยู่ภายในวงแหวนเหล็กกรัดรอบ (ตาราง ซม.)

f_c' = แรงประลัยของคอนกรีตทรงกระบอกเมื่อ 28 วัน (กก./ซม.²)

f_y = แรงที่ขีดล้าของเหล็ก บางทีเรียกชื่อยึด (yield point stress) ของเหล็กกรัดรอบ (กก./ซม.²)

นอกจากนี้ เหล็กกรัดรอบต้องมีระยะถี่ไม่น้อยกว่า $\frac{1}{6}$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางของวงแหวน ช่องว่างไม่กว้างเกินกว่า 7.5 ซม. ไม่แคบกว่า 3.5 ซม. หรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของหินที่โตที่สุดในคอนกรีตที่ใช้เทเสานั้น และเหล็กกรัดรอบนี้ต้องผูกให้แน่นไม่ให้หลวมหลุดอันทำให้ระยะผิดไปจากที่คำนวณในขณะหล่อคอนกรีต เสานี้ต้องมีคอนกรีตหุ้มโดยรอบไม่น้อยกว่า 3.8 ซม. และคอนกรีตต้องหล่อพร้อมกันกับภายในเหล็กกรัดรอบด้วย

เสายาว (Long Column)

ในการปฏิบัติ แม้ทั่วไปเราจะพบเสาสั้นเป็นส่วนมาก แต่ก็ยังมีบ่อยเหมือนกันที่จะพบเสายาว เพราะสถาปนิก หรือ เจ้าของอาคารต้องการเสาเล็ก ๆ หรือเพราะความจำเป็นอื่น ๆ เราจำเป็นต้องสนองความประสงค์นี้

ACI ฉบับเดิม (1956) ได้กำหนดเสาสั้นมีส่วนสูงไม่เกิน 10 เท่าด้านแคบของเสา ถ้าเสายาวกว่านี้ก็จัดเป็นเสายาว และให้ใช้กำลัง 70% ของเสาสั้นโดยลดตามสัดส่วน ทั้งนี้โดยมีข้อกำหนดว่า ห้ามมิให้สูงกว่า 20 เท่าของด้านแคบของเสา ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ

$$\text{สูตรสำหรับเสาเหล็กพันเกลียวรอบ } P = A_g (0.225 f_c' + 0.4 f_s P_g)$$

ส่วนเสามีเหล็กปลอก

$$P = 0.80 A_g (0.225 f_c' + 0.4 f_s P_g)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันวิชาการได้ก้าวหน้ามากขึ้น ACI ฉบับล่าสุด (1963) ได้อนุญาตให้คำนวณเสาได้กว้างขวางยิ่งขึ้น โดยกำหนดสูตรเสาสั้น ๆ

$$\text{เสากลม} \quad P = A_g(0.25 f_c' + f_s P_g)$$

$$\text{เสามีเหล็กปลอก} \quad P = 0.85 A_g (0.25 f_c' + f_s P_g)$$

$$*f_s = 0.4 f_y$$

นอกจากนี้บังคับให้ตัวประกอบ R มาคูณค่า P ที่ได้จากสูตรเสานั้น จึงเป็นน้ำหนักโดยปลอดภัยของเสานั้น

ในที่นี้จะกล่าวถึงการหาค่า R ของเสาที่เวลารับน้ำหนักแล้วงอโค้งทางเดียวและการต่อต้านแรงลมหรือแผ่นดินไหว เป็นหน้าที่ของกำแพงตึกหรือลิฟท์ทั้งหมด (SHEAR WALL, LIFT CORE) ปลายเสาทั้งบนและล่างยึดติดคาน

$$R = 1.07 - 0.008 \frac{h}{r} \leq 1.00$$

ค่าของ R นี้ ใช้น้อยกว่า 1.00 เสมอ ถ้ามากกว่า 1 ให้ใช้ค่า 1.00 และ $P = RP$

ในที่นี้

R = ตัวคูณน้ำหนักปลอดภัยของเสาสั้น

P' = น้ำหนักปลอดภัยของเสา (กิโลกรัม)

P = น้ำหนักปลอดภัยของเสาสั้นตามสูตร (กิโลกรัม)

h = ความสูง หรือ ความยาวของเสา (ซม.)





r = radius of gyration มีค่า = 0.3 T (ความหนาของเสา) สำหรับ

เสาเหลี่ยม และ 0.25 D สำหรับเสากลม

ถ้าจะใช้สูตรนี้สำหรับเสาลักษณะอื่น ๆ แล้ว ความสูงของเสาต้องคิดเท่ากับ Kh โดยค่า K ตามทฤษฎี = 2.0 แต่ AISC แนะนำให้ใช้ 2.10 เพื่อเป็นแนวทางในการหาค่า K ได้คัดลอกตารางค่า K จาก AISC ฉบับล่าสุด (1963) ลงพิมพ์ไว้ด้วย จากตารางค่า K นี้ สูตรที่ให้ไว้ในหน้า 70 เหมาะสมกับกรณี ที่ 4 ที่ค่าของ K = 1.00 เท่านั้น

ส่วนเสาแบบอื่น ๆ นั้น ค่า K มิได้มีค่าเป็น 1.0 จึงจำต้องแก้ไขใช้ Kh แทน h ในสูตร และ h/r ไม่เกิน 100

ตารางแสดงค่า K สำหรับเสาลักษณะต่าง ๆ

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code	   	Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free				

2.4 ทฤษฎีกำลังประลัย

การออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัยเป็นวิธีหาขนาดของโครงสร้างในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยอาศัยกำลังประลัยของวัสดุที่ใช้ ค่าของแรงปฏิกิริยาต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการกระทำของน้ำหนักประลัยใช้งานซึ่งใช้ออกแบบ อาจจะหาได้โดยวิเคราะห์จากทฤษฎีอีลาสติก ทฤษฎีกำลังประลัยแตกต่างไปจากทฤษฎีอีลาสติก ก็คือ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กและคอนกรีตมีค่ามากกว่าที่ขีดยืดหยุ่น โดยเฉพาะค่าของหน่วยแรงในคอนกรีตจะไม่ใช่สัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดหดตัวที่เกิดขึ้น อีกทั้งในการคำนวณโดยอาศัยทฤษฎีกำลังประลัย น้ำหนักที่ใช้ออกแบบจะเป็นน้ำหนักประลัยซึ่งได้จากการคูณน้ำหนักใช้งานด้วยตัวคูณน้ำหนักส่วนปลอดภัย

เหตุผลของการใช้ทฤษฎีกำลังประลัยในการออกแบบ คือ

1. ทฤษฎีกำลังประลัยให้ค่าความหมายได้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมตามความเป็นจริงของวัสดุ เนื่องจากคำนึงถึงความไม่เป็นสัดส่วนกันของหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัวของวัสดุเมื่อน้ำหนักกระทำมีค่าสูง ๆ

2. เนื่องจากสามารถทราบค่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ได้แน่นอนกว่าน้ำหนักจร ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ตัวคูณส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) ตัวเดียวกันทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักจรเหมือนในทฤษฎีอีลาสติก ซึ่งทฤษฎีกำลังประลัยจะแยกตัวคูณส่วนปลอดภัยไว้แต่ละอย่าง

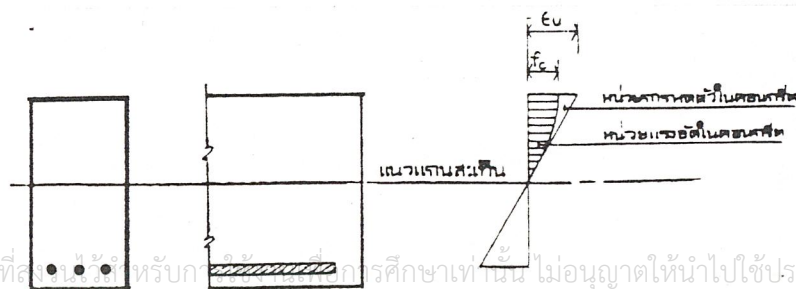
3. การใช้ทฤษฎีอีลาสติกในการคำนวณออกแบบเสา เป็นการดัดแปลงมาจากทฤษฎีกำลังประลัย ซึ่งทฤษฎีอีลาสติกไม่ได้ให้พฤติกรรมตามความเป็นจริง
4. การใช้ทฤษฎีกำลังประลัยคำนวณหาลำรับน้ำหนักของเสาให้ผลหรือค่าที่ถูกต้องกว่าการใช้ทฤษฎีอีลาสติก
5. การคำนวณหาลำรับประลัยในคอนกรีตอัดแรง ต้องใช้ทฤษฎีกำลังประลัย

สมมุติฐานของทฤษฎีกำลังประลัย

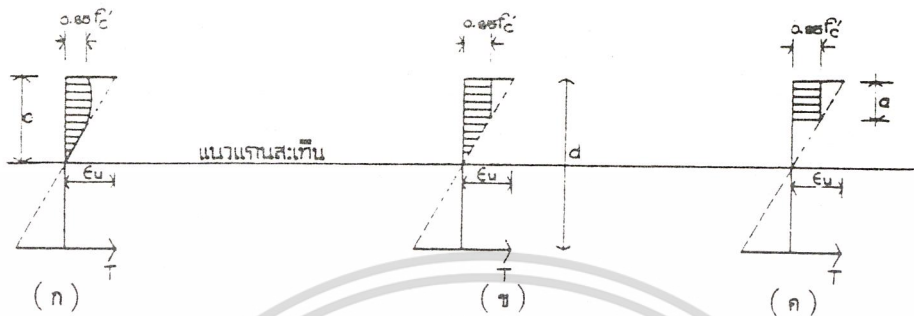
สมมุติฐานการคำนวณโดยทฤษฎีกำลังประลัยมีดังนี้

1. ระนาบของหน้าตัดก่อนและหลังที่มีการดัดยังคงเหมือนเดิม
2. ณ กำลังประลัย หน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวไม่เป็นสัดส่วนกัน
3. หน่วยการยืดหดตัวที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทินและหน่วยการยืดหดตัวในเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับหน่วยการยืดหดตัวของคอนกรีต ณ ตำแหน่งเดียวกัน
4. ไม่คำนวณออกแบบให้คอนกรีตรับแรงดึง
5. หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตที่รองรับแรงอัด ณ กำลังประลัยมีค่าเท่ากับ 0.003
6. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ 2.04×10^6 กก./ซม.²
7. หน่วยแรงอัดที่มากที่สุดที่คอนกรีตมีค่าเท่ากับ $0.85 f_c$
8. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมมีค่ามากที่สุดเท่ากับกำลังจุดคาน f_y ถึงแม้ว่าหน่วยการยืดตัวจะให้ค่าสูงกว่าค่าที่ให้กำลังคานก็ตาม

นอกจากสมมุติฐานดังกล่าวแล้ว การสมมุติเกี่ยวกับรูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีความสำคัญยิ่ง (รูปที่ 1.6) โดยอาจจะสมมุติให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสี่เหลี่ยมคางหมูหรือรูปโค้งพาราโบลาโบว์ หรือรูปอื่นใดก็ได้ที่ให้ผลการคำนวณที่สามารถคาดหมายกำลังประลัยได้ถูกต้องใกล้เคียงกับผลการทดลอง



การสมมุติรูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีตที่ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง มีอยู่สามแบบคือ รูป โค้งพาราโบลา รูปสี่เหลี่ยมคางหมู และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดในคอนกรีต

ในที่นี้จะสมมุติการแผ่ของหน่วยแรงอัดของคอนกรีตให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตามรูปที่ 1.7 (ค)) โดยให้ขนาดของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตมีค่าเป็น $0.85 f'_c$ รูปของการแผ่หน่วยแรงอัดสมมุติจะล้อมรอบโดยขอบของหน้าตัดและเส้นตรงที่ลากขนานกับแกนสะเทินมีระยะห่างจากการที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดมีระยะ $a = k_1 c$ โดยที่ c เป็นระยะจากขอบที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดถึงแกนสะเทินโดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับแกนสะเทิน การสมมุติแบบนี้ทำให้ง่ายและสะดวกในการคำนวณ สำหรับค่าของ k_1 นั้นจะมีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับกำลังอัดคอนกรีต f'_c ที่มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 280 กก./ซม.^2 และค่าจะลดลงตามลำดับในอัตรา 0.05 สำหรับกำลังอัดในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 70 กก./ซม.^2 เมื่อคอนกรีตมีค่า f'_c สูงกว่า 280 กก./ซม.^2 ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

การจัดน้ำหนักบรรทุก

มาตรฐาน ว.ส.ท. และข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครได้กำหนด น้ำหนักประลัย U ที่ใช้ในการออกแบบไว้ดังนี้

1. สำหรับอาคารที่ไม่ได้คิดรับแรงลม หรือแรงแผ่นดินไหว

$$U = 1.7D + 2.0L$$

2. สำหรับอาคารที่คิดรับแรงลมด้วย

$$U = 0.75 (1.7D + 2.0L + 2.0W)$$

หรือ $U = 0.9D + 1.3W$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับใช้เฉพาะที่อาคารเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้	U	=	น้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ
	D	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน
	L	=	น้ำหนักบรรทุกจรที่กำหนดบวกด้วยแรงกระแทก
	W	=	แรงลม

ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย

สำหรับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริงในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องลดค่าลงทั้งนี้เพราะในการก่อสร้างอาจมีคุณภาพของงานแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย มาตรฐาน ว.ส.ท. จึงใช้ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย ϕ คูณเข้ากับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริง ซึ่งจะได้กำลังประลัยที่ใช้งาน กล่าวคือ ถ้า M'_u เป็นแรงดัดประลัยของส่วนอาคารที่คำนวณได้จริงและ M_u เป็นแรงดัดประลัยที่ใช้งาน ดังนั้น $M_u = \phi M'_u$

ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย ϕ นี้ จะขึ้นอยู่กับ ความสำคัญของโครงสร้างและลักษณะการขำรดของโครงสร้าง ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าของตัวคูณลดค่ากำลังประลัยไว้ดังนี้

$$\begin{aligned}\phi &= 0.90 \text{ สำหรับการดัด} \\ &= 0.85 \text{ สำหรับแรงดึงทแยง} \\ &= 0.75 \text{ สำหรับส่วนอาคารรับแรงอัดเสริมเหล็กปลอกเกลียว} \\ &= 0.70 \text{ สำหรับส่วนอาคารรับแรงอัดเสริมเหล็กปลอกเดี่ยว}\end{aligned}$$

กำลังรับน้ำหนักตามแกน

จากการทดลองของเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยว ที่มีขนาดหน้าตัดและปริมาตรเหล็กเสริมเท่ากันโดยให้รับน้ำหนักตามแนวแกน พบว่าเสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยวรับน้ำหนักประลัยได้เท่ากัน แต่เสาปลอกเกลียวทนแรงอัดได้ดีกว่า

ที่จุดประลัย คอนกรีตในเสาจะรับน้ำหนักได้เพียง 85% ของน้ำหนักที่ใช้ในการหากำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ความสามารถในการรับน้ำหนักตามแกนของเสาได้จากการรวมกำลังรับน้ำหนักที่เป็นส่วนของคอนกรีตและของเหล็กเสริม ดังนี้คือ

$$\text{น้ำหนักประลัย } P'_u = 0.85 f'_c A_c + f_y A_{st}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในเมื่อ f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 A_c = เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตทั้งหมด

f_y = กำลังจุดกลางของเหล็กเสริม

A_{st} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทั้งหมด

มาตรฐาน ว.ส.ท. ใช้ตัวคูณลดค่า ϕ สำหรับเสาปลอกเดี่ยวเท่ากับ 0.7 และสำหรับเสาปลอกเกลียวเท่ากับ 0.75

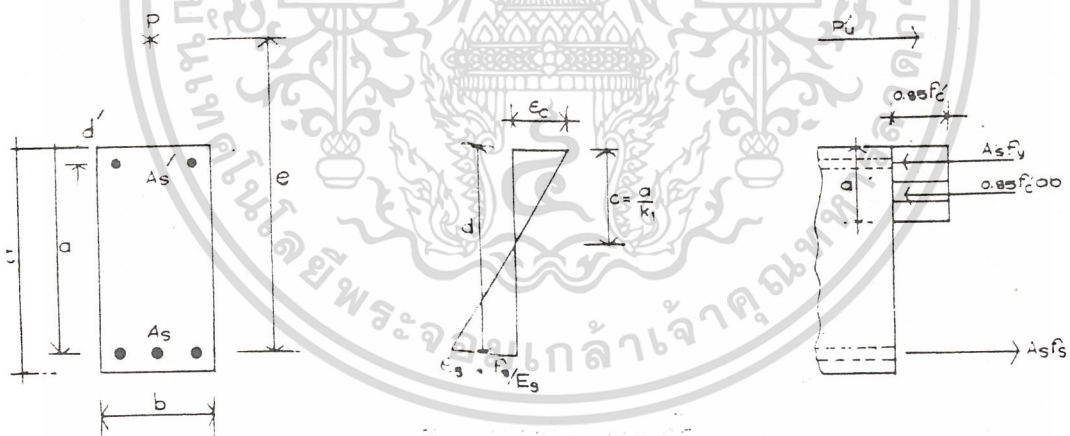
กำลังรับน้ำหนักตามแกนและแรงดัด

หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเรียงเหล็กยื่นในหน้าตัด

พิจารณาเสาสั้นซึ่งมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีเหล็กยื่นในด้านรับแรงอัด A'_s และด้านรับแรงดึง A_s เรียงขนานกับแกนดัด รับแรงอัดกระทำเยื้องศูนย์กลาง P ตามรูป การกระจายหน่วยการยืดและหดตัวและหน่วยแรง ณ จุดประลัย เป็นไปตามรูป 1.8 (ข) และ (ค)

ในรูป (ค) สมมุติว่า ณ จุดประลัย คอนกรีตรับแรงอัดมีค่าหน่วยการหดตัวสูงสุด 0.003 หน่วยหดตัวนี้ทำให้เหล็กเสริมรับแรงอัดมีค่าถึงจุดกลาง นั่นคือ $\epsilon_c = \epsilon_u = 0.003$ และ f'_s

f_y



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 1.8 เสารับน้ำหนักตามแกนและแรงดัดพร้อมกัน

จากการสมดุลย์ของแรง (ในรูป (ค)) จะได้

$$P'_u = 0.85 f'_c ab + A'_s f_y - A_s f_s$$

จากโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึง A_s จะได้

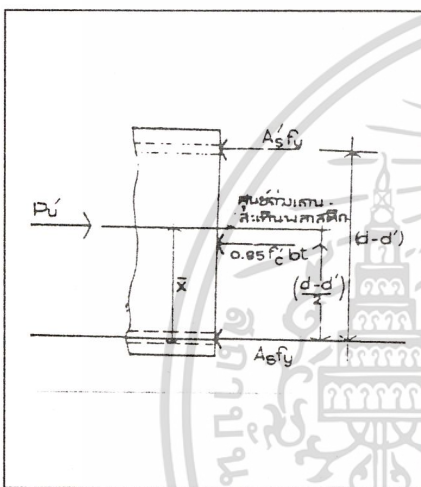
$$P'_u e' = 0.85 f'_c ab (d - a/2) + A'_s f_y (d - d')$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทั้งสองนี้เป็นสมการทั่วไปที่แสดงถึงความสมดุลย์ของแรงบนหน้าตัดของเสา รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อรับน้ำหนักตามแกนและแรงดัดพร้อมกัน ณ จุดประลัย โดยที่เหล็กเสริม A_s จะรับแรงดึง และบางส่วนของคอนกรีตรับแรงอัด

ศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก

พิจารณาหน้าตัดเสาในรูปที่ 1.8 (ก) โดยมีจำนวนเหล็กเสริม A_s และ A'_s ถ้าเสารับน้ำหนักตาม



แนวแกนคือน้ำหนักกระทำผ่านศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก หน่วยการยึดและหดตัวของเหล็กเสริมและของคอนกรีตจะมีค่าเท่ากันหมด คือที่จุดประลัย หน่วยการหดตัวของคอนกรีตจะเป็น 0.003 ดังนั้น ทั้งเหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัดจะถึงจุดคลาก ณ จุดประลัยนี้ จากการสมดุลย์ของแรงบนหน้าตัดนี้ (รูปที่ 1.9)

รูปที่ 1.9 ศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก

จะได้

$$P'_u = 0.85 f'_c bt + A'_s f_y + A_s f_y \quad (1)$$

$$\text{และ } P'_u x = 0.85 f'_c bt \frac{(d - d')}{2} + A'_s f_y (d - d') \quad (2)$$

แทนค่า P'_u จากสมการ (1) ลงในสมการ (2) จะได้ระยะจากศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติกถึงศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริม A_s นั่นคือ

$$x = \frac{0.85 f'_c bt (d - d') + A'_s f_y (d - d')}{0.85 f'_c bt + A'_s f_y + A_s f_y}$$

ซึ่งเป็นสมการสำหรับใช้หาแนวศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก

ในกรณีของหน้าตัดสมมาตร (คือ $A_s = A'_s$) แนวศูนย์ถ่วงแกนสะเทินพลาสติก จะ

ทับแนวศูนย์ถ่วงของหน้าตัดพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังรับน้ำหนักประลัย

เมื่อเสารับน้ำหนักมีระยะเยื้องศูนย์กลางมาก หรือรับโมเมนต์ดัดมาก เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดคลากก่อนที่คอนกรีตจะรับแรงอัดจนหน่วยการหดตัวถึงค่าที่จุดประลัย การชำรุดของเสาแบบนี้จะเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก ในทางกลับกัน ถ้าระยะเยื้องศูนย์กลางที่มีค่าน้อย หรือเสารับโมเมนต์ดัดน้อย คอนกรีตจะถูกอัดแตกก่อนที่เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดคลาก การชำรุดแบบนี้จะเป็นแบบแรงอัดเป็นหลัก สำหรับที่สภาวะสมดุล เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคลากพร้อม ๆ กับคอนกรีตถูกอัดแตก ณ จุดประลัย ระยะเยื้องศูนย์กลางและน้ำหนักที่กระทำที่สภาวะนี้จะเป็น e'_b และ P'_b ตามลำดับ

ณ สภาวะสมดุล

คอนกรีตจะหดตัวโดยมีหน่วยการหดตัวสูงสุดคือ $\epsilon_c = \epsilon_u = 0.003$ ในขณะเดียวกัน เหล็กเสริมรับแรงดึงมีค่าถึงจุดคลากกล่าวคือ $\epsilon_s = \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$ จากรูปการกระจายของหน่วยการยืดและหดตัว ระยะจากขอบบนของส่วนรับแรงอัดถึงแกนสะเทินมีค่าเท่ากับ

$$c_b = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y + \epsilon_u} d = \frac{0.003}{f_y/E_s + 0.003} d$$

สำหรับหน้าตัดสมมาตร ($A_s = f_y$) จากการสมดุลของแรงในรูปที่ 1.8 (ค) จะได้

$$k_1 c_b = a_b = \frac{P'_u}{0.85 f'_c b}$$

แทนค่า c_b จากสมการ จะได้น้ำหนักประลัย ณ สภาวะสมดุล หรือน้ำหนักสมดุล

Pub

$$P'_b = 0.85 k_1 f'_c b d \frac{0.003}{f_y/E_s + 0.003}$$

ระยะเยื้องศูนย์กลาง ณ สภาวะสมดุล e'_b จะคำนวณได้จากสมการ โดยแทนค่า P'_u ด้วย P'_b และแทน a ด้วย a_b ซึ่งจะหาค่าของ e'_b ได้ ความสามารถรับน้ำหนักประลัยของโครงสร้างจะอยู่ในช่วงแรงดึงเป็นหลักเมื่อ P'_u มีค่าน้อยกว่า P'_b (หรือ e' มีค่ามากกว่า e'_b) และความ

สามารถรับน้ำหนักประลัยของโครงสร้างจะอยู่ในช่วงแรงอัดเป็นหลัก เมื่อ P'_u มีค่ามากกว่า P'_b (หรือ e' มีค่าน้อยกว่า e'_b) ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหน้าตัดอยู่ในช่วงแรงดึงเป็นหลัก กล่าวคือ $e' > e'_b$ เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดคลากก่อนที่คอนกรีตจะถูกอัดแตก ในกรณีนี้ $f_s = f_y$ และถ้า $A_s = A'_s$ (สำหรับหน้าตัดสมมาตร) จะได้

$$A_s f_y = A'_s f_y$$

จากการสมดุลย์ของแรงและโมเมนต์ในรูปที่ 1.8 (ข) และ (ค)

$$P'_u = 0.85 f'_c a b \quad (1)$$

$$P'_u e' = P'_u (d - a/2) + A'_s f_y (d - d') \quad (2)$$

จากสมการ (1) จะได้ $a = \frac{P'_u}{0.85 f'_c b}$

แทนค่าของ a นี้ลงในสมการ (2) จะได้สมการกำลังสอง (Quadratic equation)

$$P_u'^2 + (e' - d) P_u' - A'_s f_y (d - d') = 0$$

$$2 \times 0.85 f'_c b$$

หารตลอดด้วย d แล้วแก้สมการ จะได้น้ำหนักประลัยสำหรับกรณีระยะเยื้องศูนย์กลาง

มาก ๆ คือ

$$P_u' = 0.85 f'_c b d \left[-\left(\frac{e'}{d} - 1\right) + \sqrt{\left(\frac{e'}{d} - 1\right)^2 + 2pm(1 - d'/d)} \right]$$

ในเมื่อ $m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$

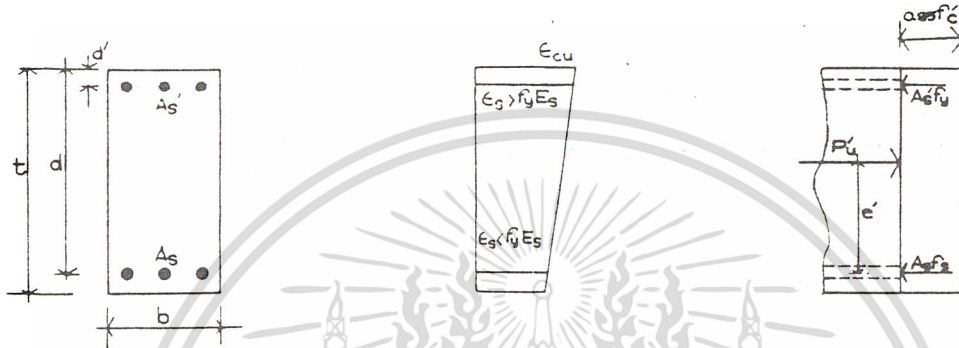
เมื่อหน้าตัดอยู่ในช่วงแรงอัดเป็นหลัก กล่าวคือ $e' < e'_b$ คอนกรีตจะถูกอัดแตกก่อน $\epsilon_u = 0.003$ ส่วนเหล็กเสริมรับแรงดึงไม่ถึงจุดคลาก $f_s < f_y$ จากรูปการกระจายหน่วยการยึดหดตัวในรูปที่ 1.8 (ข) เมื่อ $\epsilon_c = \epsilon_u$ จะได้

$$c = \frac{\epsilon_u}{f_s/E_s + \epsilon_u} d \quad (1)$$

ซึ่งหาค่าหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมได้ $f_s = E_s \epsilon_u \frac{d - c}{c} = E_s \epsilon_u \frac{d - a/k_1}{a/k_1}$ (2)

ถ้าแทนค่า f_s นี้ลงในสมการ (1) และพยายามกำจัดค่า a จากสมการ (1) และ (2) จะได้สมการกำลังสาม เมื่อแก้สมการกำลังสามนี้ก็ได้น้ำหนักประลัยสำหรับกรณีระยะเยื้องศูนย์กลางน้อย ๆ กรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่าน้อยมาก ระยะจากขอบรับแรงอัดถึงแกนสะเทิน c อาจเกินกว่าค่าความลึก t ของเสา ดังนั้นตลอดหน้าตัดของเสาจะรับแต่หน่วยแรงอัด และแรงในเหล็กเสริม A_s จะเป็นแรงอัด ตามรูปที่ 2.0



รูปที่ 2.0

จากการสมดุลย์ของแรงและโมเมนต์ตัดจะได้

$$P_u' = 0.85 f_c' b t + A_s' f_y + A_s f_s$$

$$P_u' e' = 0.85 f_c' b t (d - t/2) + A_s' f_y (d - d')$$

ในกรณีที่แรงอัด P มีค่าเป็นศูนย์ เหลือแต่โมเมนต์ตัดกระทำเพียงอย่างเดียว การคำนวณหากำลังประลัยของเสานี้จะได้ค่าโมเมนต์ตัดประลัย $M'o$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับที่หาได้ในเรื่องของคานที่มีทั้งเหล็กเสริม A_s และ A_s'

บทที่ 3

การเตรียมตัวอย่างในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้ คือ

หน้าตัด	: 10 X 10 cm
ความสูง	: 0.50 m. และ 2.00 m.
เหล็กแกน	: 4 \varnothing 6 mm.
เหล็กปลอก	: \varnothing 3 mm.
เหล็กเสริมพิเศษ	: 4 \varnothing 9 mm. ขนาดความยาว 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80 และ 2.00 เมตร
f'_c	: 250 KSC

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดหน้าตัด 10 X 10 เซนติเมตร เสาสั้นจะมีความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร โครงหลักประกอบด้วยเหล็กแกนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น มีเหล็กปลอกเดี่ยวซึ่งทำจากเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ทำการผูกทุก ๆ ระยะ 3.75 เซนติเมตร สำหรับเสาสั้นจะไม่มีเหล็กเสริมพิเศษ ทั้งหมดจำนวน 5 ต้น

ส่วนเสายาวเป็นเสาขนาดหน้าตัดเดียวกับเสาสั้น คือ 10 X 10 เซนติเมตร มีความสูงโดยประมาณแล้ว 2.00 เมตร โครงเหล็กประกอบด้วยเหล็กแกนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น มีเหล็กปลอกเดี่ยวซึ่งทำจากเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ทำการผูกทุก ๆ ระยะ 4.50 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 5 ต้น

และเสายาวนี้จะมีการเสริมด้วยเหล็กเสริมพิเศษ เป็นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น ด้วยความยาวต่าง ๆ กัน คือ 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80 และ 2.00 เมตร เสริมที่ตรงกลางของลำของเสา ประเภทละ 5 ต้น โดยในการผูกจะทำการผูกติดกับเหล็กแกนเสา คือ เหล็กเส้นขนาด 6 mm. ที่กล่าวแล้วข้างต้น อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานคอนกรีตนั้นวัสดุที่ใช้ต้องได้รับการคัดเลือกมาอย่างดี คือ หินที่ใช้ต้องเป็นหินขนาดเสา คือเป็นหินเบอร์ 1 ส่วนทรายที่ใช้ต้องนำมาทำการร่อนเพื่อให้เศษกรวด ไม้ใบ หญ้าแห้ง ออกหมดเสียก่อน เนื่องจากเสาที่ทำการทดลองนั้นเป็นเสาขนาดหน้าตัดเล็ก และนอกจากนั้นปูนซีเมนต์ที่ใช้ก็เป็นแบบปูนประเภทที่ 3 คือ ชนิดแห้งเร็ว

3.1 โครงเหล็กเสริมคอนกรีต

เนื่องจากความต้านทานของคอนกรีตต่อแรงดึงมีเพียงร้อยละ 10 ของความต้านทานต่อแรงอัดเท่านั้น ดังนั้นลำพังคอนกรีตเองจึงไม่สามารถรับแรงดึงได้สูง แต่โดยเหตุที่เหล็กเป็นวัสดุที่ต้านทานต่อแรงดึงและแรงอัดได้ดี อีกทั้งยังมีสัมประสิทธิ์การยึดหดตัวเท่า ๆ กับคอนกรีต ดังนั้นการใช้เหล็กเส้นหรือเหล็กท่อนร่วมกับคอนกรีตโดยหล่ออยู่ในเนื้อคอนกรีตในลักษณะที่ให้คอนกรีตรับแรงอัด และเหล็กรับแรงดึงจึงได้ผลดี

การใช้เหล็กเสริมร่วมกับคอนกรีตในลักษณะดังกล่าว เรียกว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก การที่ให้คอนกรีตห่อหุ้มเหล็กนี้ จะทำให้เหล็กทนทานต่อความร้อนและการเป็นสนิมผุกร่อนได้ดี ช่วยให้เหล็กมีความต้านทานต่อแรงดึงได้เต็มที่ ดังนั้นคอนกรีตเสริมเหล็กจึงมีความต้านทานต่อแรงต่าง ๆ ที่กระทำได้ดีกว่าคอนกรีตล้วนเพียงอย่างเดียว

เหล็กปลอกในเสาใช้เพื่อช่วยยึดเหล็กเสริมเอกให้ย่นได้ในแนวตรง และช่วยต้านทานการขยายตัวทางข้างของเสาเมื่อถูกแรงอัด ทำให้รับแรงอัดได้ดีขึ้น

ในเสาปลอกเดี่ยว เหล็กย่นทุกเส้นจะต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 mm. พันโดยรอบโดยมีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่ห่างกว่า 16 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กย่นหรือ 48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กปลอก หรือด้านแคบที่สุดของเสานั้น ต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กย่นตามมุมทุกมุม

3.2 งานคอนกรีต

3.2.1 วัสดุผสมคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิววัสดุผสมละเอียด มีคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวและยึดเกาะวัสดุผสมให้รวมตัวเป็นมวลก้อนแข็ง โดยมีน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ สำหรับปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร หรือสิ่งก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป นิยมใช้ปูนซีเมนต์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมของสารจำพวกหินปูนกับดินเหนียวในอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นปูนเม็ดแล้วบดให้เป็นผงละเอียด

มวลรวมละเอียด ได้แก่ทราย และหินหรือกรวด ทรายจัดเป็นจำพวกมวลรวมละเอียด ที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต ส่วนมากเป็นทรายน้ำจืด มีความสะอาด มีเม็ดกลมแข็งแรง มีขนาดไม่ละเอียดจนเกินไป และควรมีค่าพิกัดความละเอียด (fineness modulus) อยู่ระหว่าง 2.00 ถึง 3.50 ส่วนหินที่นำมาผสมคอนกรีต จัดเป็นพวกมวลรวมหยาบ เป็นหินแข็งที่ย่อยจากภูเขา ไม่ผุกร่อนหรือมีสารอินทรีย์เจือปน และควรมีขนาดละเอียดใหญ่ปะปนกันและมีค่าพิกัดความละเอียดระหว่าง

5.5 – 8

น้ำ เป็นสิ่งสำคัญที่จะไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ทำให้กลายสภาพเป็นสารที่มีความเหนียวขึ้น เพื่อทำหน้าที่เคลือบผิววัสดุผสมหรือมวลรวม ตามปรกติ น้ำที่ใช้ผสมจะต้องสะอาดและดื่มได้

3.2.2 การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีต เป็นการนำวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม และน้ำมาผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตที่สม่ำเสมอและมีความชื้นเหลวที่เหมาะสม อันจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี โดยน้ำจะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เป็นซีเมนต์เพสต์ และกระจายไปเคลือบหรือหุ้มอนุภาคของวัสดุผสม ซึ่งเมื่อแห้งจะแข็งและยึดติดกันแน่น การผสมไม่ทั่วถึงกันดีจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ ไม่ได้กำลังตามต้องการอันเป็นผลร้ายต่องาน

ข้อสำคัญในขั้นต้นของการผสมคือ ต้องตรวจดูให้วัสดุผสม (ทั้งหยาบและละเอียด) ให้สะอาดเสียก่อน ถ้าไม่สะอาดก็ต้องร่อน หรือล้างออกและควรปล่อยให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปใช้ ข้อสองก็ต้องระวังในการตวงวัดปริมาณวัสดุให้ถูกต้องตามส่วน รวมทั้งน้ำด้วย

3.2.3 การลำเลียงคอนกรีต

การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมหรือจากจุดที่ผสมไปยังจุดที่จะเทลงแบบ ควรกระทำในลักษณะที่จะให้ได้คอนกรีตที่สม่ำเสมอก่อนเทลงแบบ โดยเสียค่าความยุบตัวน้อยที่สุด วิธี

การลำเลียงคอนกรีตขึ้นอยู่กับชนิดของงาน เช่นงานเล็ก ๆ นิยมลำเลียงคอนกรีตโดยใช้กะบะล้อเข็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อย่างไรก็ตาม การลำเลียงคอนกรีตมีอยู่หลายวิธี ซึ่งอาจใช้รางส่ง กะเช้า รถบรรทุก สายพาน หรือเครื่องมือวิธีการต่าง ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ มือที่ใช้ความดันและบีบ แต่ข้อสำคัญที่ควรระมัดระวังและเอาใจใส่ขณะลำเลียงคอนกรีตก็คือ อย่านำให้

เนื้อคอนกรีตเกิดการแตกตัว หรือมีการสูญเสียน้ำในส่วนผสมซึ่งเป็นเหตุให้คอนกรีตแห้งหรือกระด้างเกินไป

เวลาที่ใช้ในการลำเลียงคอนกรีตก็เป็นเรื่องที่สำคัญเช่นกัน การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมไปถึงงานที่เทคอนกรีตจะต้องไม่กินเวลามากจนเกินไปจนทำให้คอนกรีตแข็งตัวเสียก่อน

3.2.4 การเทคอนกรีต

การเทคอนกรีต นับเป็นงานที่สำคัญตอนหนึ่ง เพราะมีผลต่อกำลังความแข็งแรงของโครงสร้างมาก ถ้าหากควบคุมการเทไม่ดีแล้ว อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ส่วนของอาคารได้ ถึงแม้ทำการผสมคอนกรีตนั้นดีเพียงไรก็ตาม

การเทคอนกรีตที่ดีคือ ต้องพยายามเทให้ได้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ ไม่เกิดการแตกตัว ต้องทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น ไม่มีช่องว่างหรือรูโพรงเหมือนรังผึ้ง นอกจากนี้ยังรวมถึงการป้องกันไม่ให้แบบและเหล็กเสริมเคลื่อนที่ การให้การยึดเหนี่ยวที่ดีระหว่างชั้นต่าง ๆ ของคอนกรีตมีรอยร้าวน้อยที่สุด และให้มีรูปลักษณะสวยงาม มีผิวเรียบของโครงสร้างเมื่อถอดแบบแล้วด้วยคอนกรีตที่เทโดยถูกวิธีจะมีความทนทาน และมีอายุยืนยาวกว่า

การเทคอนกรีตจะต้องกระทำในช่วงเวลาที่คอนกรีตยังไม่เริ่มก่อตัวและสามารถไหลลงไปในช่วงระหว่างเหล็กเสริมได้ ห้ามใช้คอนกรีตที่เริ่มก่อตัวแล้ว แม้แต่เพียงบางส่วนหรือคอนกรีตที่มีวัตถุอื่นปะปนอยู่ หรือคอนกรีตที่ทำให้เหลวใหม่ หรือคอนกรีตที่ผสมใหม่หลังจากผ่านการก่อตัวครั้งแรกไปแล้ว

3.2.5 การทำคอนกรีตให้แน่น

ในขณะที่กำลังเทคอนกรีตอยู่หรือภายหลังการเทคอนกรีตแล้ว จะต้องทำคอนกรีตให้มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ โดยให้คอนกรีตไหลเข้าไปทุกซอกทุกมุมและหุ้มเหล็กเสริมโดยตลอด เพื่อป้องกันไม่ให้มีโพรงอากาศและเกิดรูพรุนในเนื้อคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว ทำให้ได้โครงสร้างที่มีความมั่นคงแข็งแรงมีกำลังรับน้ำหนักได้เต็มที่ มีการยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริมดี มีผิวเรียบเมื่อถอดแบบ ลดการหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตกันน้ำซึมได้ดี โพรงอากาศในคอนกรีตจะเป็นเหตุให้กำลังของคอนกรีตลดลง

การกระทุ้งคอนกรีตด้วยมือ สำหรับคอนกรีตที่ค่อนข้างแห้งควรใช้เครื่องมือที่มีหน้า

แบน ๆ และหนักบดตรงผิวหน้า จนกระทั่งน้ำปูนปรากฏเป็นแผ่นบาง ๆ ชั้นที่ผิวหน้านั้น แสดงว่าช่องว่างในคอนกรีตนั้นเต็มหมดแล้ว สำหรับคอนกรีตที่เหลวพอเทได้ ควรกระทุ้งให้ลึกถึงชั้นที่เท และเลยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในชั้นคอนกรีตข้างใต้ชั้นนั้นด้วย การใช้พลั่วตบตามหน้าหรือใกล้ ๆ กับแบบตั้งจะช่วยให้ผิวของคอนกรีตเรียบและลดรูซึ่งเกิดจากฟองอากาศด้วย

3.2.6 การบ่มคอนกรีต

การบ่มหรือบำรุงคอนกรีต เป็นการควบคุมและป้องกันมิให้น้ำที่เหลือนจากการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ระเหยออกมาจากคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อและแข็งตัวแล้ว เร็วเกินไป เพื่อให้ได้คุณสมบัติในการรับแรงตามต้องการ

หลังจากเทคอนกรีต และทิ้งไว้จนผิวหน้าคอนกรีตหมาดแข็งปราศจากรอยแล้วจะต้องทำการบ่มทันทีด้วยวิธีที่ถูกต้อง โดยปกคลุมมิให้ถูกแดดหรือลมร้อน และมีให้ถูกรบกวนหรือสะท้อนโดยเฉพาะภายในระยะ 24 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติตามต้องการ ทั้งเป็นการป้องกันการสูญเสียน้ำจากคอนกรีตที่เทใหม่ ๆ มิฉะนั้นคอนกรีตจะเกิดการหดตัวเร็ว ทำให้เกิดแรงดึงที่ผิวที่กำลังจะแห้ง เป็นผลให้เกิดรอยร้าวที่ผิวคอนกรีต ช่วงระยะเวลาที่ป้องกันและรักษาความชื้นนี้ไว้ภายหลังจากเทคอนกรีตลงแบบหล่อแล้วเรียกว่าระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต (curing period)

การใช้วัสดุเปียกขึ้นคลุม (Wet Covering) อาจใช้ผ้าใบ กระสอบ หรือวัสดุอื่นอื่นคลุมให้ทั่ว แล้วรดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ ข้อสำคัญคือ การคลุมต้องคลุมเหลื่อมกันให้มากและต้องรดน้ำให้เปียกชุ่มอยู่เสมอ ควรคลุมทันทีที่คอนกรีตแข็งตัว วิธีนี้ได้ผลดีมากถ้าคอยตรวจให้น้ำชุ่มอยู่เสมอ ราคาถูก คลุมได้ทั้งแนวตั้งและแนวราบ

3.3 แบบหล่อคอนกรีต

แบบสำหรับหล่อคอนกรีตหรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า "แบบ" นั้น เป็นส่วนประกอบสำคัญอีกสิ่งหนึ่งของงานคอนกรีต ใช้เป็นโครงสร้างชั่วคราวสำหรับรับน้ำหนักคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวและให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ แบบหล่อคอนกรีตต้องได้ฉากได้เหลี่ยม ได้ตั้งและมีรูปร่าง แนวมและระดับตรงตามลักษณะของส่วนอาคารที่ปรากฏในแบบก่อสร้าง ต้องมีค้ำยันไว้อย่างแข็งแรง ไม่บิดเบี้ยวหรือโก่งเนื่องจากแรงใด ๆ ที่มากระทำ ผิวของแบบต้องเรียบ ต้องไม่มีรูหรือรอยร้าวที่จะปล่อยให้ น้ำปูนซึมออกไปได้มากนัก และต้องถอดแบบออกได้ง่ายโดยไม่ทำความเสียหายให้กับเนื้อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

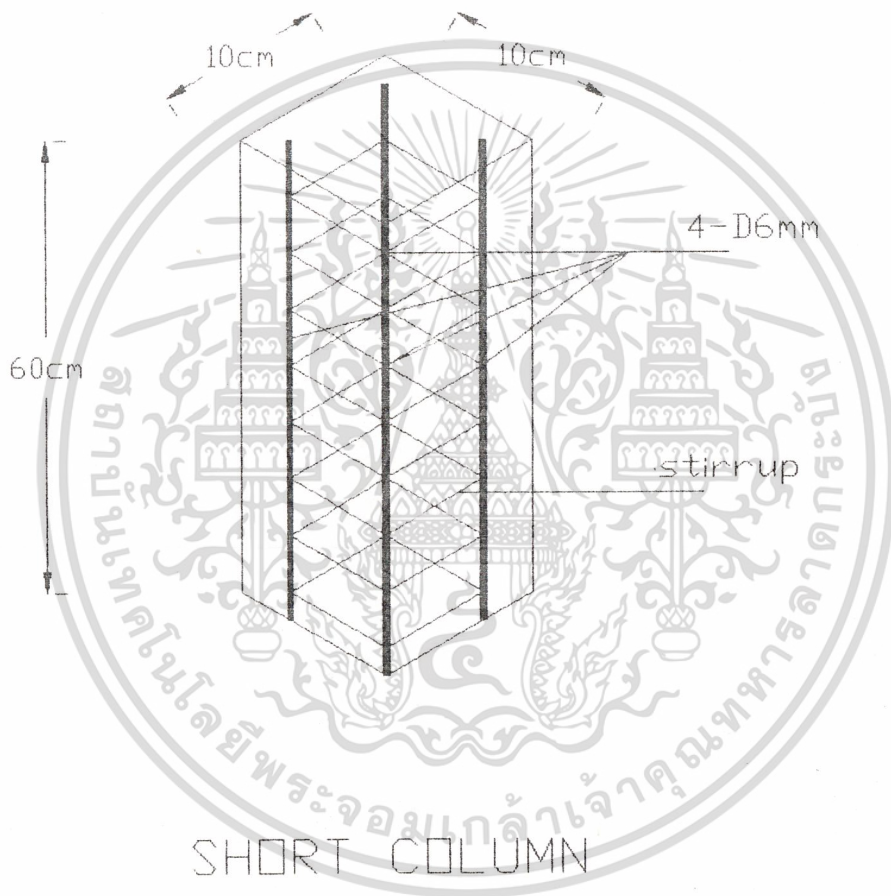
ด้านความมั่นคงแข็งแรง แบบต้องมั่นคงแข็งแรง สามารถรับคอนกรีตที่เทบรรจุได้โดยไม่เคลื่อนไหวแอ่นโก่งหรือปองและบิดเบี้ยว และนอกจากจะให้สามารถรับน้ำหนักของคอนกรีตได้แล้ว ยังจะต้องเผื่อน้ำหนักอื่น ๆ ในขณะปฏิบัติงาน เช่นน้ำหนักของคอนกรีตและเครื่องมือเครื่องใช้ไม่จำเป็นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ในการทำงาน แรงกระแทกและแรงสั่นสะเทือนอื่น ๆ อีกด้วย

การประกอบและติดตั้งแบบไม้ควรให้ยุ่งยากและซับซ้อน เพราะจะทำให้ลำบากแก่ การรื้อออกในภายหลัง ตะปูที่ใช้ยึดในการติดตั้งแบบ ซึ่งจะต้องถอนออกในขณะถอดแบบ ควรใช้ ตะปูตอกแบบโดยเฉพาะ ซึ่งเป็นตะปูหัวสองชั้น เพราะจะช่วยให้ถอนได้ง่าย ขณะถอดแบบต้องระวัง อย่าให้เครื่องมือที่เป็นโลหะถูกกับเนื้อคอนกรีต เพราะจะทำให้คอนกรีตเป็นรอยหรือแตกเสียหายได้

ก่อนเทคอนกรีต ควรทำผิวของแบบหล่อให้เปียกหรือทาด้วยน้ำมัน หรือฉาบด้วย วัสดุบางอย่างเสียก่อน ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานของไม้แบบสูงขึ้น ช่วยให้คอนกรีตกับไม้แบบแยก จากกันและทำให้ถอดแบบออกได้ง่าย ไม่มีเศษคอนกรีตติดอยู่กับแบบ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผิวหน้า เรียบร้อยสวยงาม การฉาบน้ำนี้ไม่ควรทำให้หนาจนทำให้ผิวคอนกรีตต่างประอะเปื้อน หรือก่อให้เกิดรู โพรงเล็ก ๆ ที่ผิวหน้าคอนกรีต น้ำมันที่ใช้ทาแบบนี้ใช้ได้ทั้งปิโตรเลียม แชลแลค น้ำมันพืช ซึ่งแล้ว แต่ชนิดของแบบหล่อ

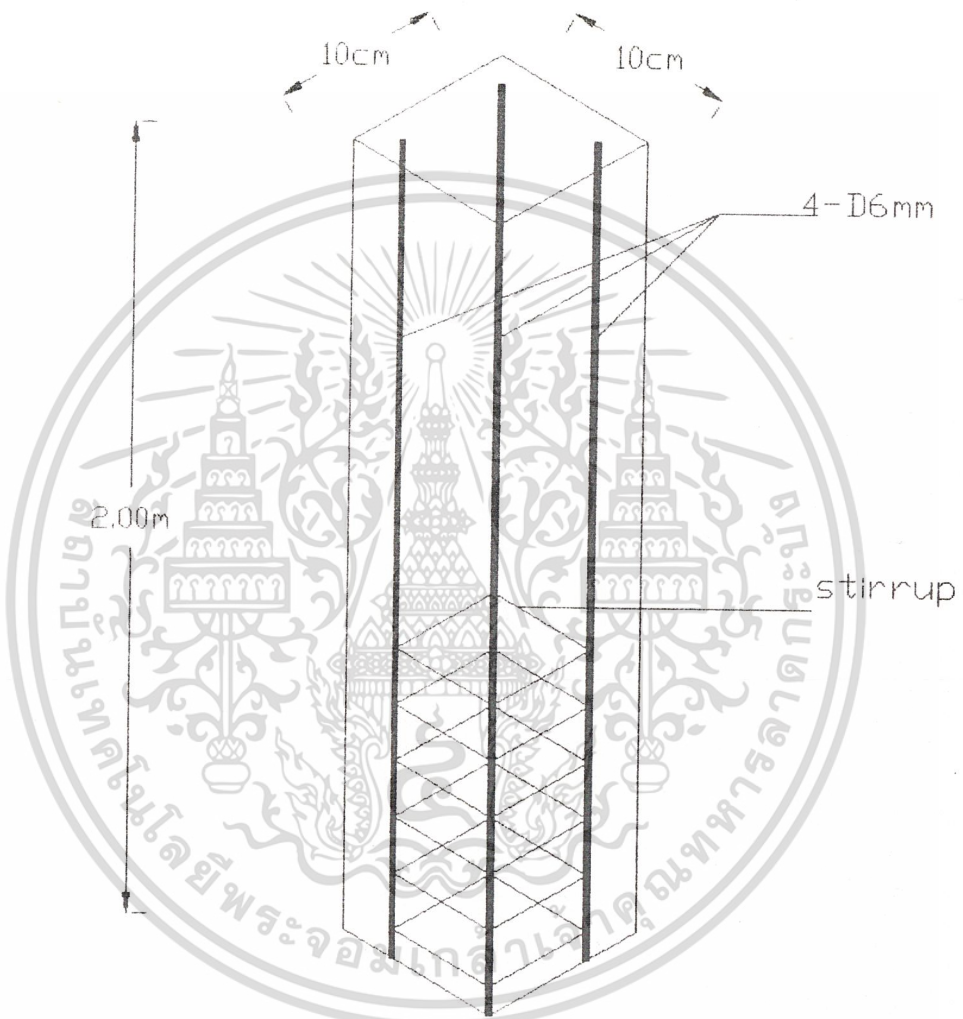
เมื่อถอดแบบออกแล้วก็ควรทำความสะอาดไม้แบบโดยแปรงด้วยแปรงลวด และทา น้ำมันเพื่อเก็บไว้ใช้ในงานต่อไป ควรเก็บไม้แบบไว้ในโรงเก็บ อย่าปล่อยให้ตากแดดและฝน เพราะ จะบิดงอเสียรูป นอกจากนี้ยังป้องกันการทำลายจากปลวกหรือสัตว์ชนิดอื่น ๆ





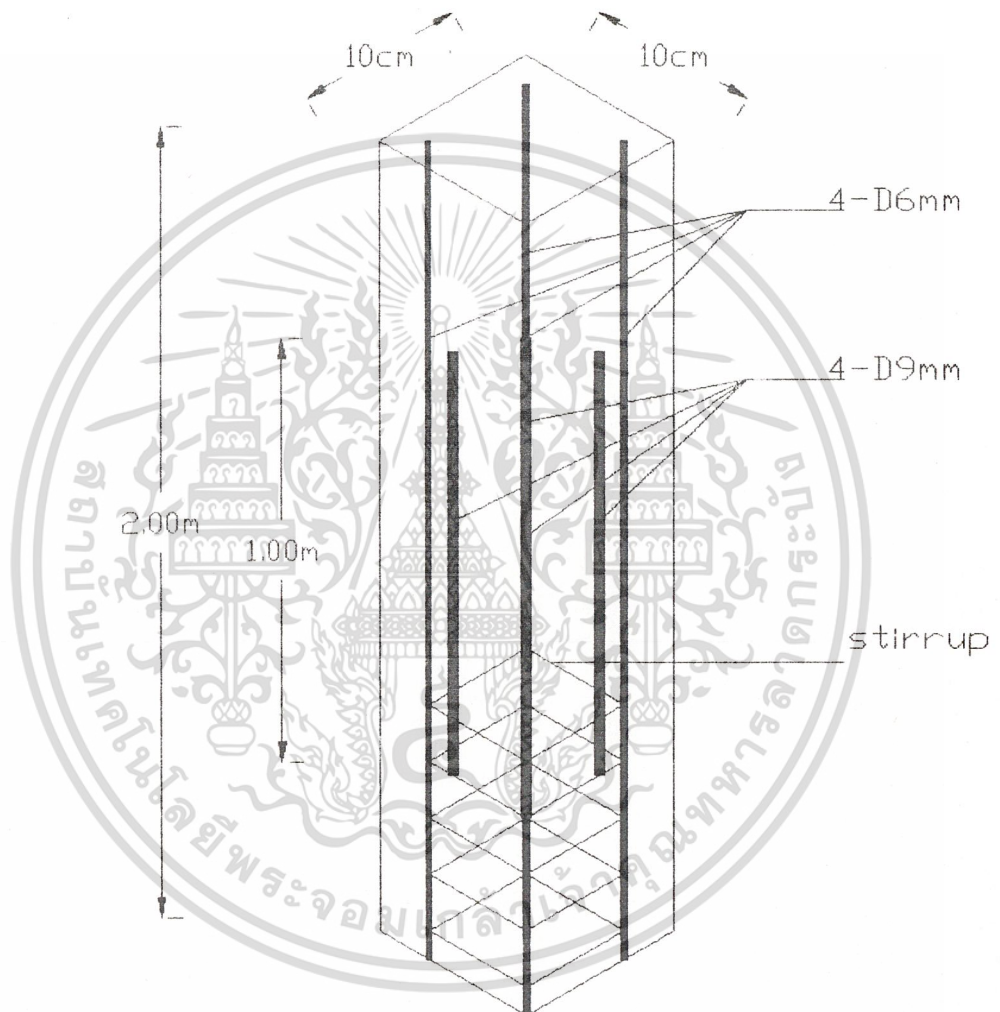
SHORT COLUMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



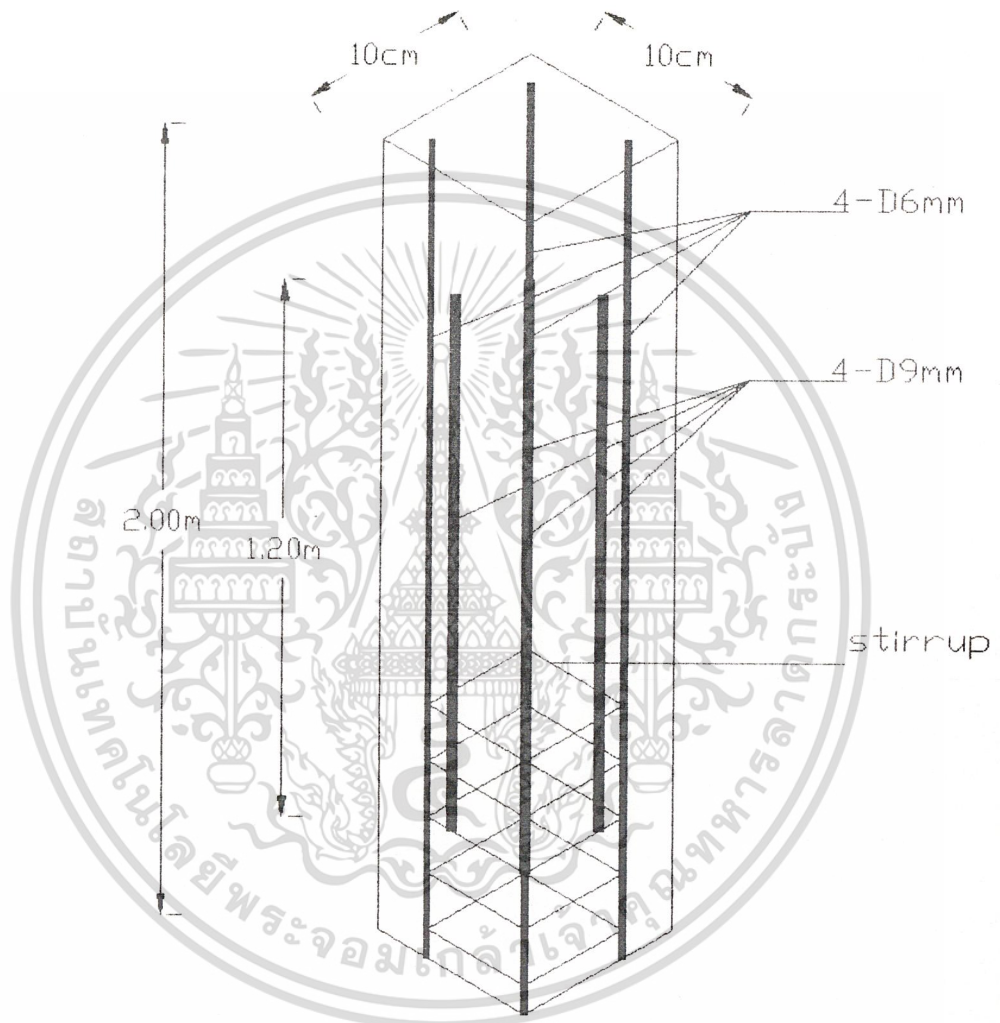
LONG COLUMN WITH NO EXTRA REINFORCEMENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



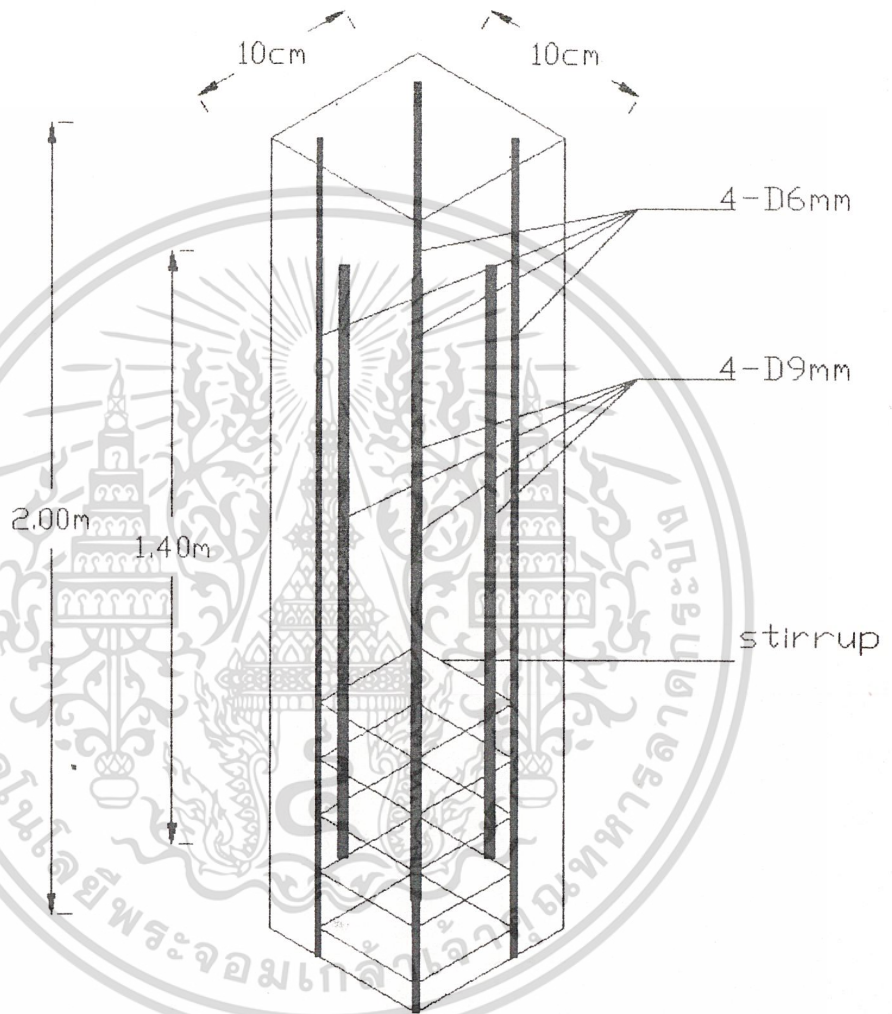
LONG COLUMN WITH EXTRA REINFORCEMENT LENGTH 1M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



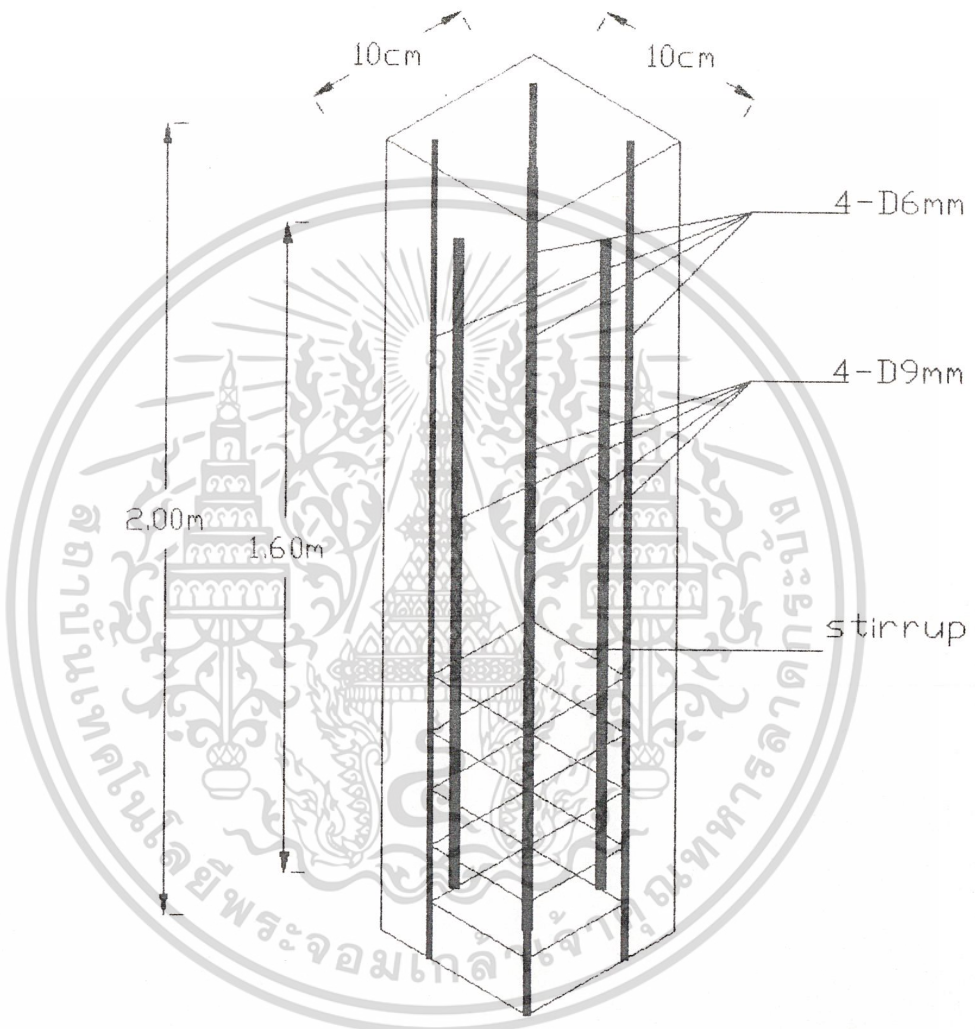
LONG COLUMN WITH EXTRA REINFORCEMENT LENGTH 1.20M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



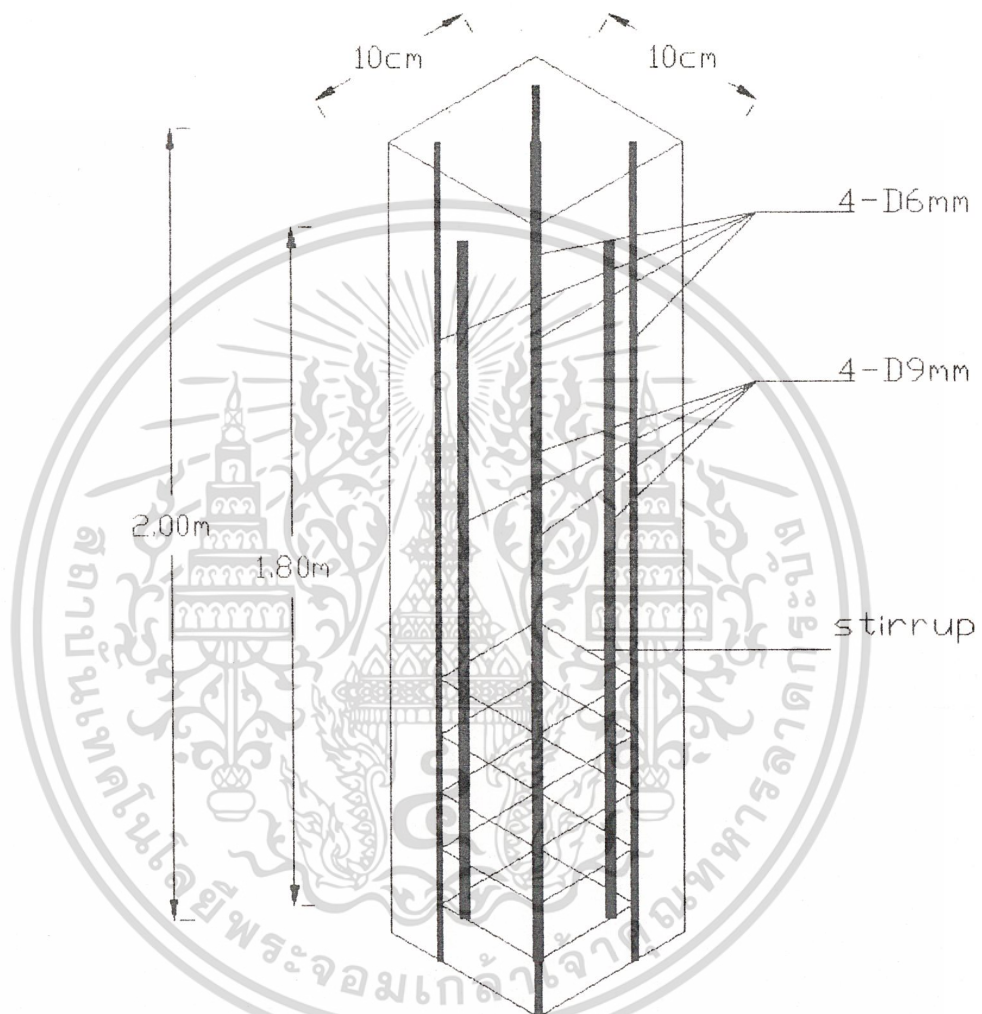
LONG COLUMN WITH EXTRA REINFORCEMENT LENGTH 1.40M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



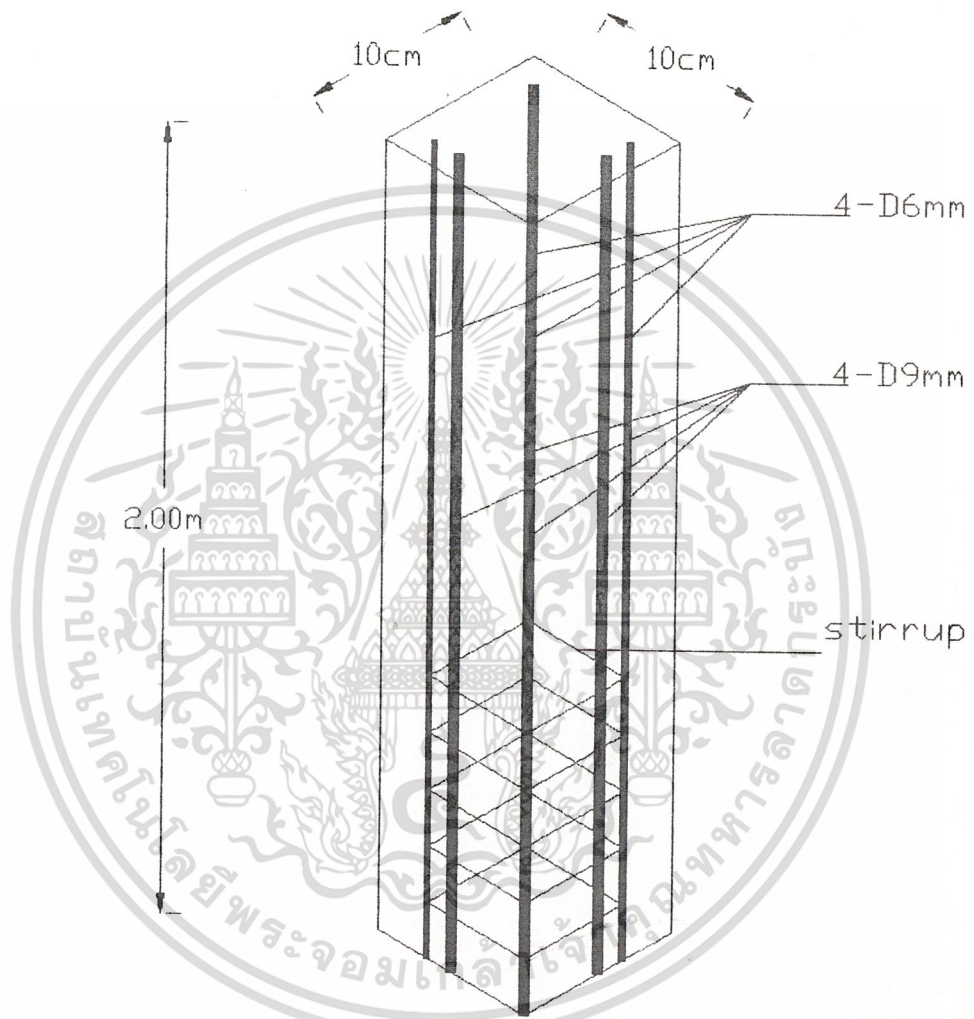
LONG COLUMN WITH EXTRA REINFORCEMENT LENGTH 1.60M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



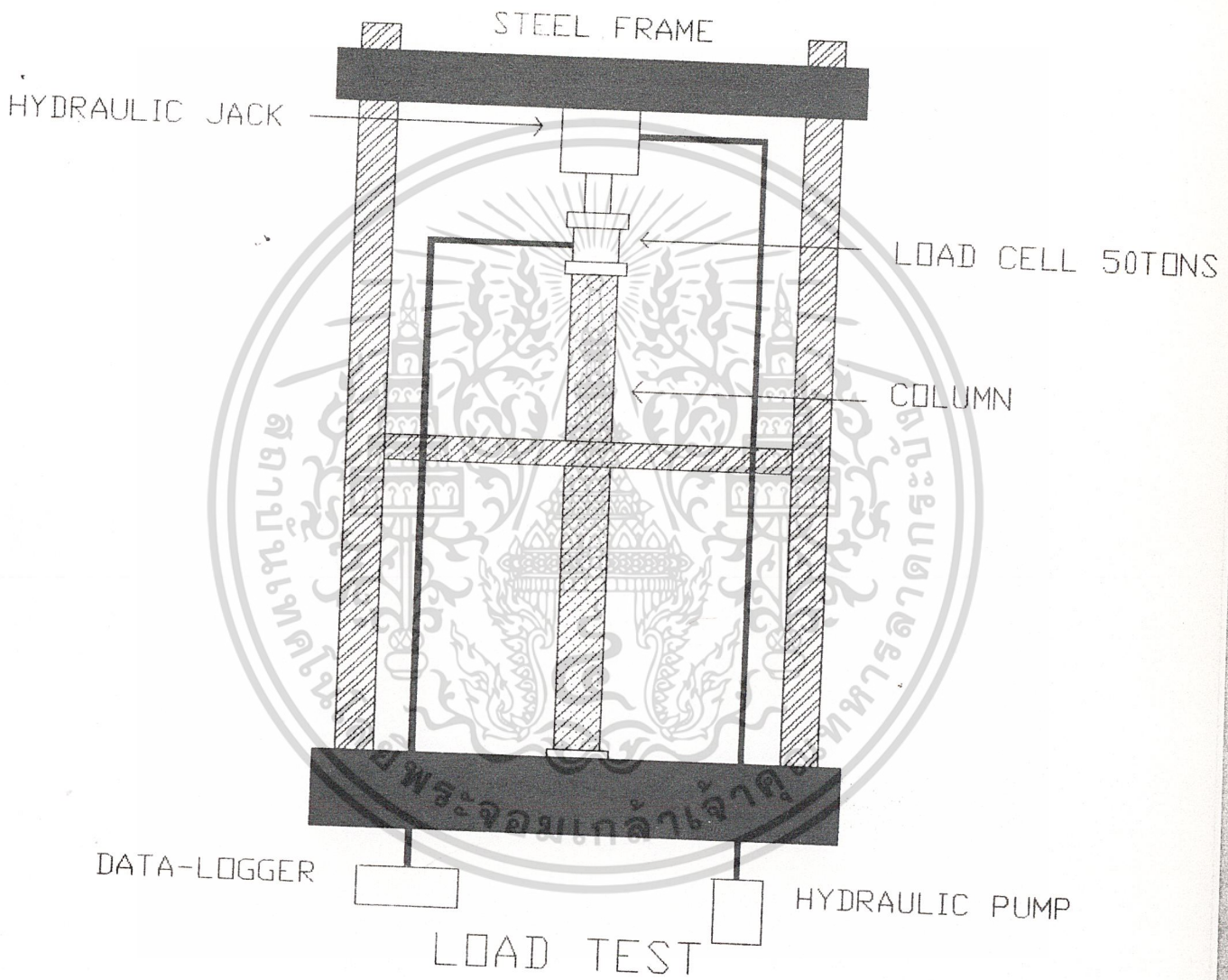
LONG COLUMN WITH EXTRA REINFORCEMENT LENGTH 1.80M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LONG COLUMN WITH EXTRA REINFORCEMENT LENGTH 2.00M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเสายาว

1. ชุดเครื่องกด Hydraulic Jack ซึ่งประกอบไปด้วย
 - Hydraulic Jack
 - dial Gauge
 - Load Cell
 - Hydraulic Pump
 - Steel Frame
 - Data Logger
2. Computer

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเสาสั้น

1. Universal Testing Machine
2. Dial Gauge

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ขั้นตอนก่อนดำเนินการทดสอบ

1.1 หลังจากบ่มคอนกรีตในอากาศจนได้อายุประมาณ 9 วัน ในการทดสอบนี้สิ่งที่สำคัญที่สุด คือจะต้องควบคุมหัวท้ายของตัวอย่างทดสอบให้เรียบและได้ระดับ และสามารถบังคับให้ตัวอย่างทดสอบอยู่ในแนวตั้ง ในการเตรียมผิวหัวท้ายของตัวอย่างทดสอบที่มีเหล็กเสริมยื่นเป็นตัวแปรรจะฉาบหัวเสาให้เรียบและได้ระดับ โดยใช้ปูนปลาสเตอร์ซึ่งสามารถทนแรงอัดได้ หลังจากฉาบแล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

1.2 ทำการติดตั้งที่ครอบหัวเสา เพื่อกันไม่ให้หัวเสาเกิดการเคลื่อนตัวขณะกด โดยอาจเชื่อมที่ครอบหัวเสาที่หัวและท้ายของเครื่อง Hydraulic Jack เลย และในขณะที่ทดลองควรมีแผ่นยางหนารองที่หัวและท้ายของเสา โดยให้อยู่ภายในที่ครอบหัวเสา เพื่อช่วยในการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายน้ำหนักและช่วยให้เสาได้รับแรงเท่ากันทั้งหน้าตัด

1.3 ติด hinge ball ที่หัวและที่ท้ายของเสา เพื่อให้สภาพยึดรั้งที่ปลายเสาเป็นแบบข้อหมุน

1.4 ติดตั้งท่อนเหล็กเข้ากับ frame บริเวณกลางเสาโดยการเชื่อม เพื่อป้องกันเสาล้มลงมาขณะที่เสาเกิดการวิบัติ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้

1.5 ในการวัดการโก่งงอของเสา จะใช้ dial gauge แบบหน้าปัทม์ที่อ่านค่าได้ละเอียด 0.01 มม. ตำแหน่งที่วัดจะวัดที่กึ่งกลางความยาวเสา โดยใช้ขายึด gauge ให้แน่นกับท่อนเหล็กซึ่งติดกับ frame เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น สำหรับตัวอย่างทดสอบนี้จะติดตั้ง 2 ด้าน

1.6 ติดตั้ง computer เข้ากับ portable data logger ซึ่งเป็นตัวเก็บข้อมูลการรับน้ำหนักจากเครื่องกดชุด Hydraulic Jack และระยะการโก่งตัวจาก Dial Gauge โดยมีการตั้งโปรแกรมให้มีการบันทึกข้อมูลทุกๆ น้ำหนักบรรทุก 500 กิโลกรัม จนกระทั่งถึงน้ำหนักประลัย

2. ขั้นตอนดำเนินการทดสอบสำหรับเสายาว

2.1 set เครื่อง Hydraulic Jack ให้มีระยะห่างของหัวกดและฐานรองรับมากกว่า 2.00 เมตรเล็กน้อย

2.2 นำเสาสูง 2.00 เมตรที่ทำการเจียรหัวและท้ายเรียบเสมอกันแล้ว มาติดตั้งที่ตัวเครื่อง โดยจัดให้อยู่ในแนวตั้งที่สุด แล้วทำการเลื่อนตัว load cell ให้ลงมาชิดหัวเสา เมื่อดูด้วยตาเปล่าเสาจะอยู่ในแนวตั้งได้ระดับ แล้วใช้ลูกน้ำตาไก่ตรวจสอบให้ได้ระดับดีที่สุด

2.3 เปิดเครื่อง Hydraulic Jack ถ่ายน้ำหนักลงเสา โดยค่อยๆ ถ่ายน้ำหนักอย่างช้าๆ ขณะนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการบันทึกข้อมูล

2.4 เมื่อน้ำหนักที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์เพิ่มมากขึ้นถึงค่าๆ หนึ่งและเริ่มจะคงที่ให้ถ่ายน้ำหนักช้าลงอีก จนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกที่ปรากฏบนหน้าจอลดลงแล้วจึงหยุดการถ่ายน้ำหนัก ขณะนั้นเสาจะรับน้ำหนักถึงจุดวิบัติแล้ว

2.5 เลื่อน load cell ขึ้นและนำเสาออกมาเพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายของเสา จากนั้นก็ทำการติดตั้งเสาต้นใหม่ทำการทดสอบซ้ำเดิม

3. ขั้นตอนดำเนินการทดสอบสำหรับเสาสั้น

3.1 ปรับเครื่อง Universal Testing Machine โดยเลื่อนเข็มบนหน้าปัทม์ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์

3.2 นำเสาสั้นที่ได้ทำการเจียรหัวเสาให้เนื้อคอนกรีตและปลายเหล็กเรียบเสมอกันแล้วทำการ cap หัวและท้ายเสาด้วยกำมะถันเพื่อแน่ใจว่า แรงที่กดลงมาจะกระจายทั่วหน้าตัดเสา

3.3 นำเสาที่ทำการ cap หัวเสาแล้วมาติดตั้งบนเครื่อง Universal Testing Machine ค่อยๆ เลื่อน load cell ให้ลงมาจนชิดหัวเสา ทำการติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดการโก่ง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวของเสาบริเวณช่วงกึ่งกลางของเสา

3.4 เริ่มเปิด load ให้น้ำหนักค่อยๆ กดลงบนหัวเสาอย่างช้าๆ ขณะนี้จะต้องคอยสังเกตค่าบนหน้าปัทม์ และค่าบน Dial Gauge ด้วย เมื่อเพิ่มน้ำหนักกดลงบนหัวเสาจนถึงค่าๆ หนึ่ง เข็มบนหน้าปัทม์เริ่มตกลง ให้หยุดการเพิ่มน้ำหนัก และค่าสูงสุดที่อ่านได้จากหน้าปัทม์คือ ค่าน้ำหนักประลัยที่เสาสามารถรับได้เมื่อเสาวิบัติ

3.5 บันทึกค่าน้ำหนักประลัย และค่าการโก่งตัวของเสาจาก Dial Gauge และ ลักษณะการวิบัติของเสา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

เสาสั้น การทดสอบเสาสั้นที่มีการเสริมเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น และเสามีความสูง 60 เซนติเมตร เมื่อเราเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine กดลงบนเสาตัวอย่างจำนวน 4 ต้น พบว่าในช่วงแรกของการเพิ่มน้ำหนักนั้น จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในเสา จนกระทั่งเพิ่มน้ำหนักบรรทุกประมาณ 20 ต้น เสาจะเริ่มเกิดรอยร้าวขึ้นที่บริเวณหัวเสา และเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นอีก รอยร้าวจะขยายลงในแนวตั้ง จนกระทั่งเสาเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 25.612 ต้น ลักษณะการวิบัติของเสาคอนกรีตจะแตกจากหัวเสาเป็นแนวขนานไปกับความสูงของเสา จนมองเห็นเหล็กเสริมยื่นได้อย่างชัดเจน การเกิดการวิบัติของเสาสั้นจากตัวอย่างทดสอบ 4 ตัวอย่างนั้น พบว่า 3 ตัวอย่างมีลักษณะการแตกร้าวที่เหมือนกัน แต่มี 1 ตัวอย่างที่มีรอยแตกร้าวจากหัวเสาแต่เป็นแนวเฉียงลงมาจากขอบของเสา จากการอ่านค่า Dial Gauge ที่ติดอยู่กลางของเสา พบว่าไม่เกิดการโก่งงอใดๆ ทั้งสิ้นและค่า Maximum Load ที่อ่านได้จากเครื่อง Universal Testing Machine ในเสาทั้ง 4 ต้น มีดังนี้ คือ 23.900 , 25.520 , 26.010 , 27.020 ตัน ตามลำดับ

เสายาว การทดสอบเสายาวที่มีเหล็กเสริมยื่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น และมีความยาวเหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้นเป็นตัวแปร เนื่องจากตัวอย่างทดสอบในกลุ่มนี้มีขนาดหน้าตัดเท่ากันคือ 10*10 เซนติเมตร มีความสูง 2 เมตร การจัดเตรียมการทดสอบจึงเหมือนกัน โดยการใช้เครื่องมือชุด Hydraulic Jack ค่อยๆ เพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเป็นขั้นๆ ในแต่ละขั้นจะหยุดอ่านค่าต่างๆ คือ ค่าน้ำหนักบรรทุก และค่าการโก่งตัวในแนวแกน x และแนวแกน y ในช่วงกึ่งกลางเสา โดยค่าข้อมูลจะผ่านเข้ามาใน Portable Data Logger จากนั้นจะเก็บข้อมูลที่ได้อ่านในคอมพิวเตอร์ ตลอดจนบันทึก รอยร้าวที่เกิดขึ้น

เมื่อเราเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นโดยใช้เครื่องกดชุด Hydraulic Jack กดลงบนเสา ตัวอย่างพบว่าในช่วงแรกเสามีการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และข้อมูลที่อ่านจาก Dial Gauge มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ทั้งทางแกน x และแกน y เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นอีกจะเริ่มพบรอยแตกร้าวเล็กๆ ที่บริเวณช่วงกึ่งกลางเสา และเมื่อเพิ่มแรงกดขึ้นเรื่อยๆ ทำให้รอยแตกร้าวขยายใหญ่ขึ้น พื้นที่หน้าตัดของเสาลดลง ในขณะที่น้ำหนักที่กระทำลงมากับเสาเท่าเดิม ทำให้เกิดการ overstressed ขึ้นที่บริเวณหน้าตัดที่เกิดรอยร้าว และถ้ายังคงเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นอีกจนถึงจุดหนึ่ง พบว่าข้อมูลการรับน้ำหนักของเสาที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์เริ่มจะคงที่ รอยแตกร้าวบนผิวเสาเริ่มเห็นชัดมากขึ้น เราจะเพิ่มน้ำหนักที่กดลงบนเสาให้ช้าลงอีก ซึ่งจะพบว่าข้อมูลการรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน นโมอนุญาติเห็นาไปเซชระเยชชนคานการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักที่ปรากฏบนจอกอมพิวเตอร์

เริ่มลดลง แล้วจึงเกิดการวิบัติของเสาขึ้น เราถือว่าข้อมูลสูงสุดที่ปรากฏบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักประลัยของเสาแต่ละต้น

บริเวณที่เกิดการแตกร้าวส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ โดยที่คอนกรีตหุ้มเหล็กจะแตกออกจนมองเห็นเหล็กเสริมยื่นได้อย่างชัดเจน รอยแตกร้าวลึกเข้าไปเกินเปลือกหุ้มเหล็ก โดยมีความลึกประมาณ 2.5-5 เซนติเมตร และเหล็กเสริมยื่นมีการโก่งงอเกิดขึ้น

สำหรับเสายาวที่ไม่มีการเสริมเหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น จะสามารถรับน้ำหนักประลัยได้น้อยกว่าเสายาวที่มีเหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้ 19.440 , 19.470 , 18.310 , 14.010 ตัน โดยมีค่าเฉลี่ย 17.807 ตัน และข้อมูลของเสายาวเสริมเหล็กพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ขนาดความยาวต่างๆ มีดังนี้

เสาเสริมเหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. ยาว 1.00 เมตรช่วงกึ่งกลางเสา $P_u = 24.477$ ตัน

เสาเสริมเหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. ยาว 1.20 เมตรช่วงกึ่งกลางเสา $P_u = 25.713$ ตัน

เสาเสริมเหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. ยาว 1.40 เมตรช่วงกึ่งกลางเสา $P_u = 23.520$ ตัน

เสาเสริมเหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. ยาว 1.60 เมตรช่วงกึ่งกลางเสา $P_u = 23.625$ ตัน

เสาเสริมเหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. ยาว 1.80 เมตรช่วงกึ่งกลางเสา $P_u = 22.722$ ตัน

เสาเสริมเหล็กเสริมพิเศษ 9 มม. ยาว 2.00 เมตรช่วงกึ่งกลางเสา $P_u = 25.227$ ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 2

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 93.12.23

Extra Reinforcement length 0.00 m.

 $f_c' = 250 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 11:30:10	0.00	0.00	0.00
94.02.06 11:30:17	0.49	0.19	0.02
94.02.06 11:30:25	0.99	0.39	0.03
94.02.06 11:30:29	1.50	0.56	0.02
94.02.06 11:30:32	1.97	0.66	0.04
94.02.06 11:30:345	2.50	0.41	0.12
94.02.06 11:30:49	2.97	0.36	0.12
94.02.06 11:30:53	3.49	0.30	0.13
94.02.06 11:30:56	4.03	0.28	0.16
94.02.06 11:31:00	4.49	0.28	0.21
94.02.06 11:31:02	5.00	0.30	0.23
94.02.06 11:31:05	5.34	0.34	0.28
94.02.06 11:31:09	6.13	0.41	0.41
94.02.06 11:31:12	6.58	0.45	0.47
94.02.06 11:31:14	7.07	0.52	0.57
94.02.06 11:31:16	7.63	0.65	0.62
94.02.06 11:31:19	8.09	0.74	0.70
94.02.06 11:31:22	8.68	0.88	0.81
94.02.06 11:31:25	9.22	1.00	0.89
94.02.06 11:31:28	9.63	1.08	0.94
94.02.06 11:31:30	10.18	1.18	1.01
94.02.06 11:31:33	10.67	1.27	1.07
94.02.06 11:31:36	11.21	1.39	1.16
94.02.06 11:31:39	11.70	1.49	1.25
94.02.06 11:31:42	12.16	1.57	1.31
94.02.06 11:31:45	12.80	1.72	1.42
94.02.06 11:31:47	13.34	1.80	1.48
94.02.06 11:31:50	13.75	1.89	1.58
94.02.06 11:31:53	14.20	1.97	1.67
94.02.06 11:31:56	14.79	2.05	1.78
94.02.06 11:31:59	15.30	2.11	1.88
94.02.06 11:32:03	15.77	2.20	1.99
94.02.06 11:32:06	16.28	2.28	2.08
94.02.06 11:32:08	16.69	2.35	2.16
94.02.06 11:32:11	17.08	2.42	2.25
94.02.06 11:32:13	17.59	2.49	2.33
94.02.06 11:32:16	18.03	2.56	2.41
94.02.06 11:32:18	18.47	2.65	2.51
94.02.06 11:32:24	19.44	2.76	2.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 3

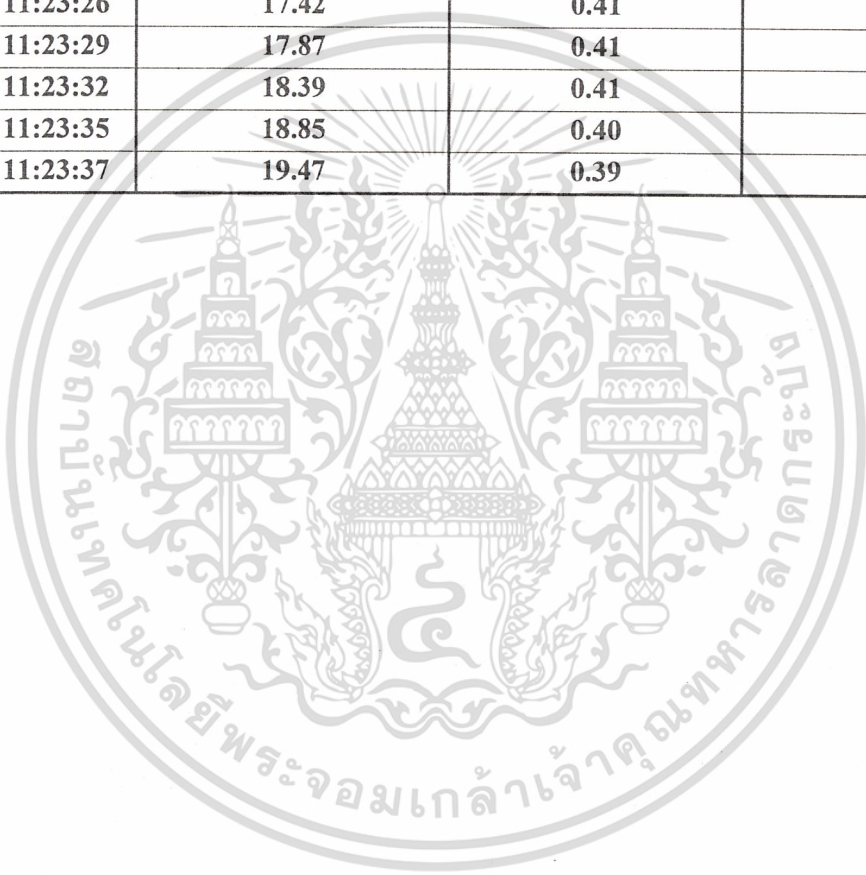
Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 93.12.23

Extra Reinforcement length 0.0 m.

 $f_c' = 250$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 11:21:45	0.00	0.00	0.00
94.02.06 11:21:57	0.53	0.35	0.16
94.02.06 11:22:55	11.41	0.35	1.67
94.02.06 11:22:58	11.90	0.35	1.70
94.02.06 11:23:00	12.39	0.35	1.80
94.02.06 11:23:03	13.03	0.36	1.82
94.02.06 11:23:06	13.48	0.36	1.84
94.02.06 11:23:26	17.42	0.41	2.18
94.02.06 11:23:29	17.87	0.41	2.21
94.02.06 11:23:32	18.39	0.41	2.25
94.02.06 11:23:35	18.85	0.40	2.28
94.02.06 11:23:37	19.47	0.39	2.32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 4

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 93.12.23

Extra Reinforcement length 0.0 m.

 $f_c' = 250$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 11:14:19	0.00	0.01	0.00
94.02.06 11:14:27	0.35	0.21	0.08
94.02.06 11:14:39	1.92	0.67	
94.02.06 11:14:51	3.89	1.38	0.85
94.02.06 11:14:53	4.38	1.50	
94.02.06 11:15:00	5.75	1.82	1.44
94.02.06 11:15:16	8.40	2.16	2.14
94.02.06 11:15:19	8.99		
94.02.06 11:15:29	10.62	2.48	2.57
94.02.06 11:15:32	11.16	2.54	2.64
94.02.06 11:15:35	11.65	2.60	2.72
94.02.06 11:15:38	12.21	2.65	2.78
94.02.06 11:15:40	12.29	2.66	2.81
94.02.06 11:15:43	13.04	2.71	2.88
94.02.06 11:15:46	13.57	2.76	2.95
94.02.06 11:15:49	14.17	2.83	3.04
94.02.06 11:15:53	14.58	2.90	3.09
94.02.06 11:15:56	15.14	2.99	3.17
94.02.06 11:16:00	15.69	3.07	3.30
94.02.06 11:16:04	16.64	3.21	3.43
94.02.06 11:16:07	17.08	3.27	3.53
94.02.06 11:16:11	17.72	3.37	3.62
94.02.06 11:16:14	18.31	3.47	3.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 5

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 93.12.23

Extra Reinforcement length 0.0 m.

 $f_c' = 250$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 11:37:28	0.00	0.00	0.00
94.02.06 11:37:58	1.86	0.10	0.22
94.02.06 11:38:31	2.06	0.09	0.21
94.02.06 11:38:35	2.74	0.16	0.24
94.02.06 11:38:37	3.12	0.19	0.30
94.02.06 11:38:41	3.69	0.27	0.32
94.02.06 11:38:44	4.26	0.34	0.34
94.02.06 11:38:46	4.72	0.42	0.37
94.02.06 11:38:49	5.26	0.49	0.42
94.02.06 11:38:51	5.78	0.57	0.49
94.02.06 11:38:54	6.31	0.65	0.57
94.02.06 11:38:56	6.85	0.73	0.58
94.02.06 11:38:59	7.32	0.79	0.57
94.02.06 11:39:01	7.84	0.87	0.57
94.02.06 11:39:04	8.32	0.92	0.74
94.02.06 11:39:06	8.94	0.99	0.79
94.02.06 11:39:09	9.31	1.03	0.84
94.02.06 11:39:12	9.87	1.09	0.85
94.02.06 11:39:15	10.38	1.12	0.87
94.02.06 11:39:18	10.84	1.16	0.88
94.02.06 11:39:21	11.29	1.19	1.01
94.02.06 11:39:24	11.87	1.23	1.03
94.02.06 11:39:27	12.34	1.27	1.04
94.02.06 11:39:30	12.80	1.32	1.04
94.02.06 11:39:33	13.30	1.33	1.05
94.02.06 11:39:37	13.73	1.30	1.08
94.02.06 11:39:43	14.01	1.05	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 6

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.05

Extra Reinforcement length 2.00 m.

 $f_c' = 24.4 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 09:15:59	0.62	8.01	3.41
94.02.06 09:16:01	0.00	0.00	0.00
94.02.06 09:16:05	0.60	0.12	0.37
94.02.06 09:16:10	0.94	0.20	0.39
94.02.06 09:16:15	1.48	0.31	0.44
94.02.06 09:16:19	2.10	0.37	0.51
94.02.06 09:16:24	2.56	0.38	0.57
94.02.06 09:16:28	2.92	0.36	0.60
94.02.06 09:16:34	3.53	0.30	0.66
94.02.06 09:16:41	4.18	0.20	0.72
94.02.06 09:16:44	4.52	0.15	0.89
94.02.06 09:16:49	5.11	0.12	0.91
94.02.06 09:16:51	5.49	0.09	0.94
94.02.06 09:16:54	5.90	0.07	0.97
94.02.06 09:17:00	6.73	0.04	1.05
94.02.06 09:17:02	7.29	0.04	1.11
94.02.06 09:17:05	7.76	0.02	1.13
94.02.06 09:17:08	8.37	0.01	1.17
94.02.06 09:17:10	8.92	0.01	1.20
94.02.06 09:17:13	9.59	0.01	1.20
94.02.06 09:17:16	10.21	0.02	1.21
94.02.06 09:17:17	10.07	0.02	1.23
94.02.06 09:17:20	10.92	0.02	1.24
94.02.06 09:17:22	11.51	0.01	1.26
94.02.06 09:17:25	12.29	0.02	1.30
94.02.06 09:17:26	12.00	0.03	1.31
94.02.06 09:17:29	12.91	0.03	1.35
94.02.06 09:17:32	13.71	0.03	1.40
94.02.06 09:17:33	13.40	0.03	1.40
94.02.06 09:17:37	14.22	0.04	1.44
94.02.06 09:17:40	14.87	0.05	1.49
94.02.06 09:17:42	14.91	0.04	1.43
94.02.06 09:17:45	15.82	0.05	1.48
94.02.06 09:17:50	16.18	0.06	1.52
94.02.06 09:17:54	16.64	0.06	1.55
94.02.06 09:17:57	17.15	0.05	1.57
94.02.06 09:18:01	17.75	0.06	1.61
94.02.06 09:18:04	18.19	0.07	1.67
94.02.06 09:18:07	18.76	0.08	1.70
94.02.06 09:18:10	19.32	0.09	1.73
94.02.06 09:18:13	19.91	0.09	1.76
94.02.06 09:18:16	20.48	0.10	1.78
94.02.06 09:18:19	20.96	0.11	1.81
94.02.06 09:18:22	21.48	0.13	1.87
94.02.06 09:18:25	21.99	0.13	1.93
94.02.06 09:18:28	22.54	0.13	1.99
94.02.06 09:18:30	23.13	0.13	2.06

94.02.06 09:18:33	23.64	0.13	2.13
94.02.06 09:18:36	24.06	0.13	2.18
94.02.06 09:18:39	24.62	0.13	2.16
94.02.06 09:18:41	25.08	0.15	2.27
94.02.06 09:18:44	25.58	0.16	2.35
94.02.06 09:18:47	26.04	0.17	2.39
94.02.06 09:18:50	26.50	0.16	2.49
94.02.06 09:18:53	26.94	0.16	2.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 7

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.05

Extra Reinforcement length 2.00 m.

 $f_c' = 24.4 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 08:57:46	0.62	9.19	3.74
94.02.06 08:57:48	0.00	0.00	0.00
94.02.06 08:57:57	0.53	0.29	0.03
94.02.06 08:58:05	0.99	0.32	0.06
94.02.06 08:58:12	1.52	0.31	0.13
94.02.06 08:58:17	2.01	0.32	0.22
94.02.06 08:58:21	2.48	0.31	0.30
94.02.06 08:58:25	2.89	0.32	0.44
94.02.06 08:58:31	3.53	0.34	0.50
94.02.06 08:58:34	4.02	0.36	0.54
94.02.06 08:58:37	4.38	0.38	0.56
94.02.06 08:58:41	5.13	0.43	0.56
94.02.06 08:58:44	5.57	0.44	0.62
94.02.06 08:58:47	5.95	0.45	0.65
94.02.06 08:58:50	6.37	0.45	0.69
94.02.06 08:58:53	6.86	0.45	0.75
94.02.06 08:58:56	7.39	0.45	0.79
94.02.06 08:58:59	7.92	0.45	0.85
94.02.06 08:59:02	8.48	0.44	0.88
94.02.06 08:59:04	9.13	0.43	0.94
94.02.06 08:59:07	9.71	0.42	0.98
94.02.06 08:59:10	10.31	0.41	1.00
94.02.06 08:59:13	10.84	0.37	1.07
94.02.06 08:59:15	11.34	0.34	1.10
94.02.06 08:59:18	11.85	0.30	1.12
94.02.06 08:59:20	12.03	0.27	1.20
94.02.06 08:59:23	12.81	0.26	1.19
94.02.06 08:59:27	13.37	0.22	1.20
94.02.06 08:59:29	13.70	0.20	1.22
94.02.06 08:59:32	14.01	0.17	1.22
94.02.06 08:59:37	14.56	0.14	1.23
94.02.06 08:59:41	15.09	0.08	1.24
94.02.06 08:59:43	15.51	0.05	1.25
94.02.06 08:59:46	16.12	0.00	1.26
94.02.06 08:59:49	16.82	0.06	1.27
94.02.06 08:59:53	17.28	0.11	1.26
94.02.06 08:59:54	17.70	0.15	1.25
94.02.06 08:59:57	18.19	0.19	1.25
94.02.06 09:00:01	18.63	0.24	1.24
94.02.06 09:00:05	19.09	0.27	1.26
94.02.06 09:00:08	19.62	0.31	1.26
94.02.06 09:00:12	20.15	0.36	1.27
94.02.06 09:00:16	20.61	0.41	1.26
94.02.06 09:00:20	21.15	0.45	1.26
94.02.06 09:00:24	21.71	0.51	1.34
94.02.06 09:00:27	22.18	0.55	1.41
94.02.06 09:00:30	22.69	0.59	1.44

94.02.06 09:00:33	23.29	0.66	1.51
94.02.06 09:00:36	23.80	0.73	1.51
94.02.06 09:00:38	23.95	0.76	1.51
94.02.06 09:00:42	24.75	0.80	1.50
94.02.06 09:00:45	25.17	0.87	1.50
94.02.06 09:00:48	25.86	0.90	1.50
94.02.06 09:00:50	26.24	0.92	1.50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 8

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.05

Extra Reinforcement length 2.00 m.

 $f_c' = 24.4 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 08:46:59	0.57	8.21	4.59
94.02.06 08:47:01	0.01	0.01	0.00
94.02.06 08:49:05	0.55	0.08	0.25
94.02.06 08:49:14	1.06	0.23	0.35
94.02.06 08:49:21	1.52	0.34	0.32
94.02.06 08:49:28	2.01	0.43	0.31
94.02.06 08:49:38	2.40	0.58	0.32
94.02.06 08:49:49	3.02	0.85	0.36
94.02.06 08:49:54	3.49	0.95	0.34
94.02.06 08:49:58	3.90	1.02	0.28
94.02.06 08:50:03	4.61	1.08	0.17
94.02.06 08:50:07	4.98	1.10	0.04
94.02.06 08:50:12	5.60	1.15	0.02
94.02.06 08:50:16	5.90	1.16	0.03
94.02.06 08:50:21	6.67	1.24	0.05
94.02.06 08:50:24	7.14	1.31	0.08
94.02.06 08:50:27	7.71	1.40	0.11
94.02.06 08:50:29	7.89	1.43	0.12
94.02.06 08:50:33	8.56	1.52	0.18
94.02.06 08:50:37	9.13	1.58	0.24
94.02.06 08:50:41	8.89	1.63	0.30
94.02.06 08:50:42	10.21	1.65	0.34
94.02.06 08:50:45	10.61	1.67	0.37
94.02.06 08:50:50	11.39	1.72	0.43
94.02.06 08:50:52	11.82	1.75	0.47
94.02.06 08:50:54	12.36	1.79	0.53
94.02.06 08:50:57	12.98	1.83	0.58
94.02.06 08:51:00	13.55	1.86	0.63
94.02.06 08:51:02	13.91	1.88	0.68
94.02.06 08:51:04	13.99	1.90	0.69
94.02.06 08:51:06	14.86	1.93	0.73
94.02.06 08:51:08	15.36	1.95	0.79
94.02.06 08:51:11	15.94	1.99	0.85
94.02.06 08:51:13	16.44	2.00	0.90
94.02.06 08:51:15	16.93	2.02	0.96
94.02.06 08:51:18	17.55	2.04	1.02
94.02.06 08:51:20	17.93	2.06	1.07
94.02.06 08:51:23	18.24	2.07	1.12
94.02.06 08:51:25	18.70	2.08	1.17
94.02.06 08:51:28	19.16	2.11	1.22
94.02.06 08:51:31	19.65	2.12	1.25
94.02.06 08:51:34	20.14	2.13	1.31
94.02.06 08:51:38	20.73	2.12	1.35
94.02.06 08:51:41	21.33	2.11	1.42
94.02.06 08:51:43	21.97	2.11	1.48
94.02.06 08:51:46	22.48	2.09	1.54
94.02.06 08:51:49	23.13	2.04	1.62

Test No. 10

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.05

Extra Reinforcement length 2.00 m.

 $f_c' = 24.4 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 09:01:59	0.49	4.99	3.49
94.02.06 09:06:34	0.16	1.72	0.66
94.02.06 09:06:40	0.78	10.91	3.09
94.02.06 09:06:41	0.00	0.00	0.00
94.02.06 09:06:53	0.81	0.06	0.28
94.02.06 09:07:00	1.27	0.09	0.44
94.02.06 09:07:05	1.46	0.12	0.63
94.02.06 09:07:11	2.32	0.20	0.86
94.02.06 09:07:16	2.79	0.31	1.08
94.02.06 09:07:23	3.38	0.44	1.37
94.02.06 09:07:36	3.92	0.57	1.66
94.02.06 09:07:40	4.18	0.62	1.79
94.02.06 09:07:45	4.79	0.70	2.02
94.02.06 09:07:50	5.44	0.77	2.23
94.02.06 09:07:53	5.73	0.81	2.30
94.02.06 09:07:58	6.52	0.89	2.51
94.02.06 09:08:01	6.69	0.92	2.58
94.02.06 09:08:04	7.43	0.96	2.74
94.02.06 09:08:06	7.99	1.04	3.01
94.02.06 09:08:09	8.46	1.09	3.18
94.02.06 09:08:11	9.02	1.15	3.19
94.02.06 09:08:14	9.59	1.18	3.18
94.02.06 09:08:17	10.23	1.21	3.17
94.02.06 09:08:20	10.82	1.28	3.10
94.02.06 09:08:23	11.31	1.31	3.18
94.02.06 09:08:25	11.78	1.34	3.18
94.02.06 09:08:28	12.37	1.37	3.17
94.02.06 09:08:31	12.67	1.39	3.18
94.02.06 09:08:33	12.88	1.42	3.18
94.02.06 09:08:35	13.83	1.48	3.17
94.02.06 09:08:38	14.45	1.52	3.17
94.02.06 09:08:41	14.62	1.54	3.17
94.02.06 09:08:43	14.74	1.56	3.18
94.02.06 09:08:46	15.64	1.60	3.18
94.02.06 09:08:48	16.30	1.63	3.18
94.02.06 09:08:51	16.57	1.63	3.17
94.02.06 09:08:54	17.16	1.63	3.17
94.02.06 09:08:57	17.69	1.63	3.17
94.02.06 09:08:59	17.96	1.65	3.17
94.02.06 09:09:01	18.65	1.68	3.18
94.02.06 09:09:04	19.16	1.71	3.18
94.02.06 09:09:07	19.76	1.73	3.18
94.02.06 09:09:08	19.79	1.73	3.18
94.02.06 09:09:11	20.60	1.72	3.17
94.02.06 09:09:14	21.23	1.72	3.17
94.02.06 09:09:17	21.82	1.73	3.17
94.02.06 09:09:20	22.48	1.72	3.18

94.02.06 09:09:23	22.57	1.70	3.17
94.02.06 09:09:25	22.75	1.69	3.18
94.02.06 09:09:30	23.25	1.64	3.17
94.02.06 09:09:32	23.28	1.63	3.17
94.02.06 09:09:34	23.29	1.61	3.17
94.02.06 09:09:36	23.87	1.60	3.17
94.02.06 09:09:42	24.60	1.51	3.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 12

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 94,01,04

Extra Reinforcement length 1.80 m.

 $f_c' = 24.3 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 10:22:39	0.08	0.44	0.33
94.02.06 10:22:41	0.09	0.44	0.33
94.02.06 10:22:54	0.58	0.04	0.76
94.02.06 10:23:03	1.11	0.26	0.97
94.02.06 10:23:09	1.60	0.36	1.19
94.02.06 10:23:12	2.06	0.52	1.31
94.02.06 10:23:16	2.61	0.71	1.32
94.02.06 10:23:19	3.25	0.91	1.33
94.02.06 10:23:22	3.69	1.04	1.37
94.02.06 10:23:24	4.15	1.20	1.36
94.02.06 10:23:27	4.65	1.37	1.40
94.02.06 10:23:29	5.28	1.55	1.51
94.02.06 10:23:32	5.85	1.71	1.57
94.02.06 10:23:35	6.26	1.81	1.60
94.02.06 10:23:38	6.72	1.91	1.62
94.02.06 10:23:40	7.14	2.01	1.67
94.02.06 10:23:43	7.66	2.13	1.71
94.02.06 10:23:47	8.09	2.24	1.73
94.02.06 10:23:51	8.84	2.41	1.81
94.02.06 10:23:53	9.09	2.54	1.88
94.02.06 10:23:56	9.69	2.68	4.89
94.02.06 10:24:00	10.16	2.81	1.94
94.02.06 10:24:03	10.49	2.88	1.99
94.02.06 10:24:07	11.19	3.02	2.08
94.02.06 10:24:09	11.75	3.13	2.14
94.02.06 10:24:12	12.27	3.24	2.24
94.02.06 10:24:16	12.85	3.23	2.29
94.02.06 10:24:19	13.34	3.35	2.31
94.02.06 10:24:21	13.57	3.41	2.23
94.02.06 10:24:23	14.33	3.56	2.37
94.02.06 10:24:27	14.97	3.71	2.43
94.02.06 10:24:30	15.41	3.84	2.52
94.02.06 10:24:33	15.95	3.99	2.61
94.02.06 10:24:35	16.17	4.08	2.64
94.02.06 10:24:38	16.95	4.22	2.70
94.02.06 10:24:41	17.49	4.41	2.80
94.02.06 10:24:44	18.00	4.60	2.87
94.02.06 10:24:46	18.06	4.68	2.92
94.02.06 10:24:48	18.93	4.87	3.06
94.02.06 10:24:52	19.48	5.07	3.19
94.02.06 10:24:56	20.01	5.31	5.31
94.02.06 10:24:59	20.43	5.50	3.42
94.02.06 10:25:02	20.84	5.68	3.53
94.02.06 10:25:05	21.20	5.85	3.64
94.02.06 10:25:08	21.80	6.00	3.72
94.02.06 10:25:11	22.05	6.21	3.87

94.02.06 10:25:19	22.59	6.40	4.04
94.02.06 10:25:28	23.98	6.40	4.24
94.02.06 10:25:31	24.90	6.41	4.36
94.02.06 10:25:34	24.73	6.40	4.56
94.02.06 10:25:28	25.12	6.40	4.69
94.02.06 10:25:44	25.88	6.40	5.01
94.02.06 10:25:48	26.30	6.40	5.12
94.02.06 10:25:55	26.73	6.39	5.71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 13

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.04

Extra Reinforcement length 1.80 m.

 $f_c' = 24.3 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 10:32:06	0.01	8.58	5.77
94.02.06 10:34:56	0.62	0.55	0.33
94.02.06 10:35:01	1.11	0.38	0.30
94.02.06 10:35:05	1.65	0.23	0.30
94.02.06 10:35:09	2.14	0.10	0.28
94.02.06 10:35:14	2.61	0.00	0.28
94.02.06 10:35:17	2.99	0.08	0.28
94.02.06 10:35:21	3.66	0.23	0.28
94.02.06 10:35:25	4.20	0.38	0.28
94.02.06 10:35:28	4.47	0.48	0.29
94.02.06 10:35:32	5.13	0.65	0.29
94.02.06 10:35:36	5.62	0.79	0.29
94.02.06 10:35:40	6.09	0.92	0.26
94.02.06 10:35:43	6.58	1.05	0.16
94.02.06 10:35:46	7.09	1.18	0.01
94.02.06 10:35:50	7.60	1.31	0.02
94.02.06 10:35:54	8.09	1.44	0.02
94.02.06 10:35:59	8.69	1.59	0.02
94.02.06 10:36:02	9.23	1.76	0.01
94.02.06 10:36:06	9.63	1.86	0.01
94.02.06 10:36:10	10.13	1.99	0.00
94.02.06 10:36:14	10.64	2.09	0.01
94.02.06 10:36:18	11.16	2.19	0.03
94.02.06 10:36:22	11.69	2.30	0.02
94.02.06 10:36:25	11.63	2.55	0.01
94.02.06 10:36:28	13.14	2.67	0.01
94.02.06 10:36:31	13.61	2.77	0.02
94.02.06 10:36:35	14.12	2.87	0.00
94.02.06 10:36:38	14.63	2.98	0.01
94.02.06 10:36:41	15.17	3.08	0.01
94.02.06 10:36:48	15.67	3.18	0.01
94.02.06 10:36:51	16.18	3.27	0.01
94.02.06 10:36:53	16.75	3.37	0.01
94.02.06 10:36:57	17.13	3.47	0.02
94.02.06 10:37:00	17.72	3.59	0.00
94.02.06 10:37:03	18.18	3.69	0.01
94.02.06 10:37:07	18.76	3.80	0.08
94.02.06 10:37:10	19.17	3.88	0.20
94.02.06 10:37:13	19.66	3.97	0.20
94.02.06 10:37:16	20.19	4.02	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 14

Date of Tested 94,01,04

Date of Casted 94.01.05

Extra Reinforcement length 1.80 m.

 $f_c' = 24.3 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 10:13:37	0.58	9.09	3.37
94.02.06 10:13:39	0.00	0.00	0.00
94.02.06 10:13:53	0.63	0.02	0.24
94.02.06 10:14:01	1.17	0.27	0.37
94.02.06 10:14:08	1.66	0.44	0.44
94.02.06 10:14:13	2.15	0.60	0.49
94.02.06 10:14:18	2.68	0.73	0.50
94.02.06 10:14:21	3.04	0.82	0.53
94.02.06 10:14:26	3.72	0.97	0.58
94.02.06 10:14:29	4.16	1.07	0.62
94.02.06 10:14:32	4.62	1.17	0.62
94.02.06 10:14:34	5.10	1.29	0.63
94.02.06 10:14:39	5.77	1.48	0.62
94.02.06 10:14:42	6.27	1.63	0.62
94.02.06 10:14:45	6.75	1.78	0.62
94.02.06 10:14:48	7.21	1.92	0.65
94.02.06 10:14:52	7.74	2.08	0.67
94.02.06 10:14:55	8.24	2.21	0.67
94.02.06 10:14:59	8.71	2.34	0.77
94.02.06 10:15:02	9.17	2.48	0.87
94.02.06 10:15:08	9.84	2.68	0.85
94.02.06 10:15:12	10.26	2.83	0.85
94.02.06 10:15:15	10.84	2.97	0.85
94.02.06 10:15:18	11.31	3.10	0.85
94.02.06 10:15:23	11.67	3.23	0.84
94.02.06 10:15:26	12.19	3.37	0.85
94.02.06 10:15:30	12.67	3.50	0.89
94.02.06 10:15:34	13.19	3.66	0.92
94.02.06 10:15:38	13.66	3.79	0.94
94.02.06 10:15:42	14.22	3.94	0.99
94.02.06 10:15:47	14.76	4.05	1.03
94.02.06 10:15:51	15.27	4.17	1.05
94.02.06 10:15:55	15.72	4.30	1.11
94.02.06 10:15:59	16.20	4.43	1.20
94.02.06 10:16:03	16.74	4.57	1.29
94.02.06 10:16:07	17.26	4.70	1.35
94.02.06 10:16:11	17.73	4.80	1.40
94.02.06 10:16:15	18.23	4.89	1.46
94.02.06 10:16:19	18.75	4.91	1.48
94.02.06 10:16:23	19.34	4.71	1.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 15

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.04

Extra Reinforcement length 1.80 m.

 $f_c' = 24.3 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 10:05:19	0.03	1.12	2.85
94.02.06 10:05:21	0.01	1.12	2.86
94.02.06 10:05:47	0.49	1.26	2.53
94.02.06 10:05:53	0.96	1.37	2.52
94.02.06 10:05:58	1.58	1.49	2.48
94.02.06 10:06:01	1.89	1.52	2.49
94.02.06 10:06:10	2.56	1.54	2.49
94.02.06 10:06:13	3.05	1.57	2.48
94.02.06 10:06:17	3.58	1.59	2.40
94.02.06 10:06:21	4.07	1.65	2.39
94.02.06 10:06:25	4.59	1.77	2.39
94.02.06 10:06:27	5.08	1.85	2.36
94.02.06 10:06:30	5.42	1.89	2.29
94.02.06 10:06:34	6.11	2.00	2.29
94.02.06 10:06:36	6.70	2.09	2.26
94.02.06 10:06:39	7.16	2.16	2.20
94.02.06 10:06:41	7.60	2.22	2.13
94.02.06 10:06:44	8.10	2.28	2.09
94.02.06 10:06:47	8.61	2.40	2.09
94.02.06 10:06:49	9.15	2.48	2.03
94.02.06 10:06:52	9.61	2.57	2.02
94.02.06 10:06:55	10.08	2.64	1.98
94.02.06 10:06:58	10.59	2.72	1.98
94.02.06 10:07:00	11.11	2.82	1.92
94.02.06 10:07:04	11.65	2.91	1.93
94.02.06 10:07:07	12.16	3.01	1.94
94.02.06 10:07:08	12.40	3.09	1.93
94.02.06 10:07:11	13.14	3.17	1.92
94.02.06 10:07:14	13.68	3.26	1.93
94.02.06 10:07:37	17.54	4.26	1.39
94.02.06 10:07:40	18.75	4.73	1.39
94.02.06 10:07:43	19.01	4.49	1.36
94.02.06 10:07:44	19.24	4.59	1.34
94.02.06 10:07:49	19.97	4.72	1.18
94.02.06 10:07:52	20.58	4.86	1.14
94.02.06 10:07:55	21.12	4.99	1.07
94.02.06 10:07:58	21.68	5.14	0.96
94.02.06 10:08:01	22.00	5.26	0.91
94.02.06 10:08:04	22.36	5.38	0.83
94.02.06 10:08:07	22.69	5.47	0.76
94.02.06 10:08:11	23.02	5.60	0.62
94.02.06 10:08:19	23.67	5.81	0.35
94.02.06 10:08:23	24.19	5.86	0.25
94.02.06 10:08:27	24.62	5.86	0.20
94.02.06 10:08:30	24.14	5.87	0.14
94.02.06 10:08:32	24.63	5.87	0.12

Test No. 16

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.03

Extra Reinforcement length 1.60 m.

 $f_c' = 23.9 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.04 11:29:34	0.11	5.97	2.17
94.02.04 13:14:31	0.02	0.52	0.35
94.02.04 13:14:35	0.00	0.52	0.35
94.02.04 13:14:36	0.00	0.52	0.35
94.02.04 13:14:52	0.55	0.68	0.47
94.02.04 13:15:02	1.07	0.83	0.61
94.02.04 13:15:10	1.58	0.96	0.74
94.02.04 13:15:17	2.01	1.07	0.84
94.02.04 13:15:25	2.58	1.17	0.97
94.02.04 13:15:34	3.06	1.24	1.06
94.02.04 13:15:48	3.53	1.32	1.16
94.02.04 13:16:02	4.04	1.40	1.31
94.02.04 13:16:10	4.56	1.49	1.29
94.02.04 13:16:23	5.07	1.51	1.36
94.02.04 13:16:32	5.60	1.55	1.44
94.02.04 13:16:40	6.03	1.56	1.52
94.02.04 13:16:50	6.52	1.56	1.60
94.02.04 13:17:01	7.06	1.62	1.66
94.02.04 13:17:10	7.55	1.67	1.75
94.02.04 13:17:19	8.04	1.73	1.87
94.02.04 13:17:28	8.54	1.79	1.95
94.02.04 13:17:38	9.03	1.80	2.09
94.02.04 13:17:46	9.53	1.80	2.16
94.02.04 13:17:53	10.02	1.79	2.28
94.02.04 13:18:00	10.55	1.81	2.46
94.02.04 13:18:09	11.08	1.81	2.43
94.02.04 13:18:17	11.57	1.81	2.44
94.02.04 13:18:26	12.09	1.84	2.43
94.02.04 13:18:33	12.59	44.00	2.44
94.02.04 13:18:42	13.06	1.86	2.43
94.02.04 13:18:48	13.52	1.86	2.43
94.02.04 13:18:56	14.10	1.86	2.43
94.02.04 13:19:04	14.54	1.86	2.43
94.02.04 13:19:13	15.04	1.87	2.44
94.02.04 13:19:21	15.54	1.90	2.43
94.02.04 13:19:29	16.03	1.94	2.43
94.02.04 13:19:36	16.54	1.97	2.43
94.02.04 13:19:44	17.20	1.98	2.42
94.02.04 13:19:49	17.62	1.99	2.42
94.02.04 13:19:57	18.09	2.02	2.43
94.02.04 13:20:04	18.56	2.02	2.43
94.02.04 13:20:12	19.11	2.01	2.43
94.02.04 13:20:17	19.55	2.01	2.42
94.02.04 13:20:25	20.09	2.01	2.44
94.02.04 13:20:34	20.58	2.01	2.43
94.02.04 13:20:45	21.05	1.93	2.44

94.02.04 13:20:54	21.53	1.86	2.43
94.02.04 13:21:03	22.01	1.75	2.43
94.02.04 13:21:22	22.56	1.36	2.42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 18

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.03

Extra Reinforcement lengt 1.60 m.

 $f_c' = 23.9 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.04 11:24:49	0.01	3.21	2.82
94.02.04 11:25:09	0.44	7.04	2.39
94.02.04 11:25:12	0.00	0.00	0.00
94.02.04 11:25:32	0.58	0.52	0.30
94.02.04 11:25:38	1.21	0.89	0.54
94.02.04 11:25:41	1.60	1.03	0.62
94.02.04 11:25:46	2.03	1.12	0.64
94.02.04 11:25:52	2.53	1.19	0.65
94.02.04 11:25:59	3.10	1.26	0.66
94.02.04 11:26:04	3.57	1.30	0.66
94.02.04 11:26:11	4.00	1.33	0.64
94.02.04 11:26:16	4.57	1.33	0.61
94.02.04 11:26:21	5.02	1.34	0.58
94.02.04 11:26:26	5.54	1.36	0.53
94.02.04 11:26:32	6.04	1.38	0.48
94.02.04 11:26:38	6.56	1.40	0.42
94.02.04 11:26:42	7.05	1.42	0.38
94.02.04 11:26:47	7.50	1.44	0.33
94.02.04 11:26:52	8.09	1.47	0.29
94.02.04 11:26:56	8.60	1.50	0.26
94.02.04 11:27:00	9.06	1.53	0.23
94.02.04 11:27:04	9.55	1.57	0.22
94.02.04 11:27:08	10.03	1.58	0.21
94.02.04 11:27:12	10.61	1.62	0.20
94.02.04 11:27:16	11.21	1.68	0.22
94.02.04 11:27:19	11.54	1.72	0.21
94.02.04 11:27:24	12.10	1.78	0.22
94.02.04 11:27:27	12.59	1.83	0.22
94.02.04 11:27:30	13.03	1.86	0.22
94.02.04 11:27:34	13.54	1.89	0.22
94.02.04 11:27:39	14.10	1.94	0.22
94.02.04 11:27:43	14.49	1.98	0.22
94.02.04 11:27:48	15.21	2.05	0.22
94.02.04 11:27:51	15.57	2.09	0.21
94.02.04 11:27:57	16.20	2.14	0.22
94.02.04 11:28:00	16.58	2.18	0.22
94.02.04 11:28:05	16.97	2.22	0.22
94.02.04 11:28:09	17.61	2.27	0.22
94.02.04 11:28:14	18.13	2.33	0.21
94.02.04 11:28:17	18.60	2.38	0.21
94.02.04 11:28:22	19.14	2.45	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 20

Date of Tested 94.02.06

Date of Casted 94.01.03

Extra Reinforcement lengt 1.60 m.

 $f_c' = 23.9 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.04 13:49:07	0.01	0.01	0.01
94.02.04 13:50:22	0.52	0.13	0.05
94.02.04 13:51:23	0.58	0.14	0.06
94.02.04 13:51:50	1.10	0.22	0.05
94.02.04 13:52:06	1.60	0.29	0.04
94.02.04 13:52:18	2.09	0.33	0.03
94.02.04 13:52:29	2.62	0.36	0.01
94.02.04 13:52:37	3.10	0.37	0.01
94.02.04 13:52:47	3.67	0.37	0.02
94.02.04 13:52:58	4.09	0.39	0.04
94.02.04 13:53:12	4.60	0.40	0.06
94.02.04 13:53:25	5.11	0.42	0.08
94.02.04 13:53:37	5.62	0.44	0.09
94.02.04 13:53:46	6.13	0.47	0.10
94.02.04 13:53:59	6.62	0.48	0.11
94.02.04 13:54:07	7.12	0.47	0.13
94.02.04 13:54:16	7.60	0.48	0.12
94.02.04 13:54:26	8.11	0.47	0.14
94.02.04 13:54:36	8.61	0.47	0.15
94.02.04 13:54:42	9.11	0.45	0.17
94.02.04 13:54:51	9.60	0.42	0.17
94.02.04 13:54:58	10.13	0.39	0.19
94.02.04 13:55:08	10.64	0.36	0.20
94.02.04 13:55:16	11.14	0.32	0.20
94.02.04 13:55:20	11.62	0.30	0.23
94.02.04 13:55:27	12.11	0.26	0.24
94.02.04 13:55:45	12.65	0.17	0.25
94.02.04 13:55:52	13.12	0.14	0.26
94.02.04 13:56:05	13.64	0.09	0.29
94.02.04 13:56:19	14.14	0.02	0.31
94.02.04 13:56:25	14.61	0.02	0.33
94.02.04 13:56:35	15.11	0.08	0.35
94.02.04 13:56:44	15.62	0.15	0.38
94.02.04 13:56:54	16.15	0.24	0.41
94.02.04 13:56:58	16.62	0.30	0.41
94.02.04 13:57:07	17.11	0.39	0.45
94.02.04 13:57:17	17.60	0.48	0.51
94.02.04 13:57:27	18.11	0.55	0.55
94.02.04 13:57:37	18.72	0.63	0.59
94.02.04 13:57:41	19.12	0.67	0.64
94.02.04 13:57:49	19.61	0.73	0.69
94.02.04 13:57:58	20.13	0.82	0.76
94.02.04 13:58:08	20.64	0.90	0.83
94.02.04 13:58:12	21.09	0.96	0.87
94.02.04 13:58:22	21.62	1.05	0.97
94.02.04 13:58:29	22.13	1.11	1.02

94.02.04 13:58:38	22.63	1.22	1.15
94.02.04 13:59:14	23.14	1.44	1.17
94.02.04 13:59:28	23.61	1.52	1.17
94.02.04 13:59:44	24.14	1.63	1.17
94.02.04 13:59:54	24.71	1.75	1.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 22

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.12.28

Extra Reinforcement length 1.40 m.

 $f_c' = 235 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 10:50:32	0.00	0.00	0.00
94.02.06 10:50:45	0.52	0.40	0.02
94.02.06 10:50:55	1.01	0.58	0.07
94.02.06 10:50:59	1.48	0.76	0.05
94.02.06 10:51:04	2.02	0.94	0.06
94.02.06 10:51:09	2.55	1.07	0.06
94.02.06 10:51:13	3.10	1.22	0.06
94.02.06 10:51:16	3.62	1.36	0.07
94.02.06 10:52:11	14.51	4.86	0.24
94.02.06 10:52:25	16.62	5.03	0.39
94.02.06 10:52:35	18.18	5.04	0.46
94.02.06 10:52:45	19.58	5.04	0.51
94.02.06 10:52:49	20.20	5.05	0.58
94.02.06 10:52:57	21.46	5.05	0.74
94.02.06 10:53:01	22.00	5.05	0.82
94.02.06 10:53:05	22.54	5.05	0.92
94.02.06 10:53:35	26.01	5.04	1.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 23

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.12.28

Extra Reinforcement length 1.40 m.

 $f_c' = 235$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 10:58:54	0.01	0.00	0.01
94.02.06 10:59:05	0.98	0.52	0.04
94.02.06 10:59:09	1.53	0.70	0.04
94.02.06 10:59:11	1.94	0.83	0.04
94.02.06 10:59:16	2.48	1.04	0.03
94.02.06 10:59:19	2.95	1.19	0.02
94.02.06 10:59:23	3.53	1.33	0.03
94.02.06 10:59:27	3.98	1.45	0.04
94.02.06 10:59:31	4.51	1.60	0.11
94.02.06 10:59:48	17.60	4.79	0.29
94.02.06 10:59:52	18.18	4.96	0.29
94.02.06 10:59:56	18.67	4.99	0.25
94.02.06 11:01:00	19.11	4.99	0.22
94.02.06 11:01:05	19.63	5.00	0.20
94.02.06 11:01:09	20.04	5.00	0.18
94.02.06 11:01:13	20.61	5.00	0.16
94.02.06 11:01:17	21.14	5.00	0.13
94.02.06 11:01:21	21.51	5.00	0.10
94.02.06 11:01:25	21.92	5.00	0.08
94.02.06 11:01:35	21.30	5.00	0.03
94.02.06 11:01:37	20.87	4.99	0.02
94.02.06 11:01:39	21.50	5.00	0.06
94.02.06 11:01:46	22.05	4.99	0.15
94.02.06 11:01:49	22.35	5.00	0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 24

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.12.28

Extra Reinforcement length 1.40 m.

 $f_c' = 235 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 10:42:52	0.00	0.00	0.00
94.02.06 10:43:03	0.45	0.03	0.01
94.02.06 10:43:10	0.98	0.03	0.12
94.02.06 10:43:13	1.48	0.02	0.14
94.02.06 10:43:17	2.10	0.10	0.14
94.02.06 10:43:21	2.16	0.17	0.14
94.02.06 10:43:23	3.05	0.22	0.15
94.02.06 10:43:26	3.44	0.25	0.13
94.02.06 10:43:30	4.23	0.33	0.13
94.02.06 10:43:32	4.72	0.38	0.13
94.02.06 10:43:35	5.12	0.43	0.13
94.02.06 10:43:37	5.80	0.48	0.14
94.02.06 10:43:40	6.29	0.52	0.14
94.02.06 10:43:42	6.86	0.57	0.15
94.02.06 10:43:45	7.35	0.59	0.16
94.02.06 10:43:46	7.45	0.60	0.17
94.02.06 10:43:49	8.14	0.16	0.12
94.02.06 10:43:52	8.66	0.62	0.22
94.02.06 10:43:55	9.12	0.63	0.22
94.02.06 10:43:58	9.69	0.65	0.25
94.02.06 10:44:01	10.23	0.65	0.28
94.02.06 10:44:04	10.67	0.66	0.33
94.02.06 10:44:07	11.21	0.67	0.34
94.02.06 10:44:10	11.72	0.67	0.38
94.02.06 10:44:12	12.14	0.67	0.43
94.02.06 10:44:15	12.60	0.67	0.46
94.02.06 10:44:18	13.11	0.66	0.51
94.02.06 10:44:21	13.61	0.64	0.58
94.02.06 10:44:24	14.20	0.64	0.63
94.02.06 10:44:27	14.71	0.63	0.69
94.02.06 10:44:30	15.28	0.64	0.74
94.02.06 10:44:33	15.87	0.63	0.77
94.02.06 10:44:36	16.44	0.64	0.80
94.02.06 10:44:38	17.02	0.64	0.83
94.02.06 10:44:41	17.57	0.63	0.87
94.02.06 10:44:44	18.01	0.61	0.92
94.02.06 10:44:45	17.91	0.60	0.96
94.02.06 10:44:48	18.58	0.58	1.01
94.02.06 10:44:51	19.97	0.55	1.08
94.02.06 10:44:55	19.60	0.50	1.15
94.02.06 10:44:58	19.97	0.46	1.22
94.02.06 10:45:03	20.76	0.41	1.37
94.02.06 10:45:06	21.20	0.37	1.45
94.02.06 10:45:09	21.72	0.32	1.55
94.02.06 10:45:12	22.12	0.27	1.66
94.02.06 10:45:16	21.40	0.20	1.73
94.02.06 10:45:18	22.20	0.19	1.79

Test No. 25

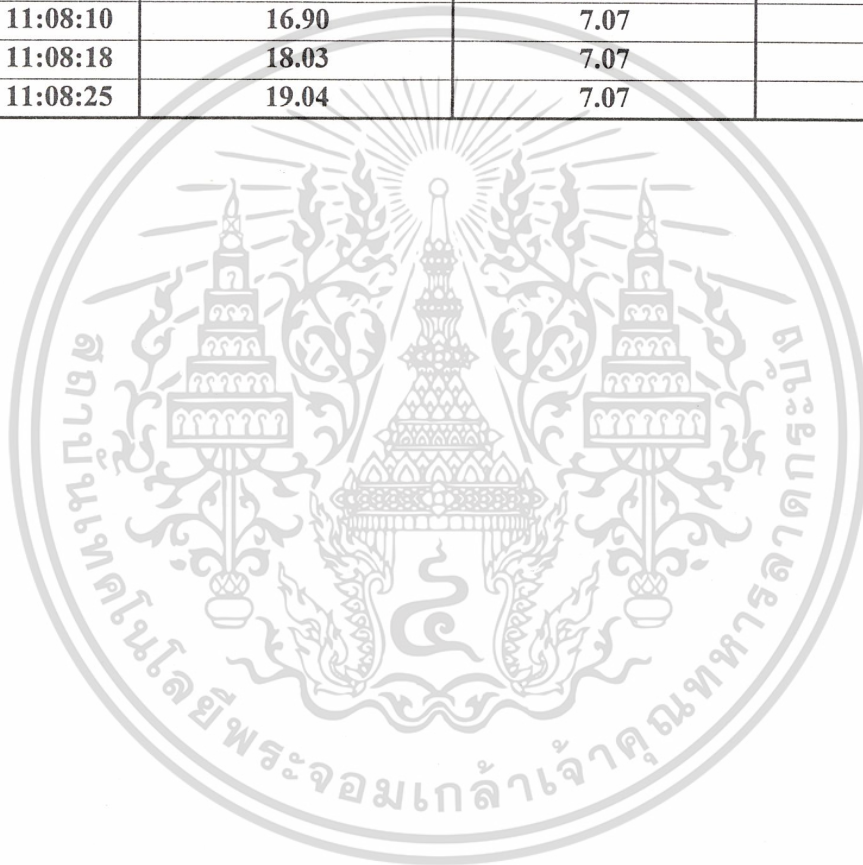
Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.12.28

Extra Reinforcement length 1.40 m.

 $f_c' = 235 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 11:06:18	0.47	0.39	0.04
94.02.06 11:06:23	0.81	0.54	0.03
94.02.06 11:06:27	1.38	0.97	0.03
94.02.06 11:07:43	12.94	7.08	0.61
94.02.06 11:07:49	13.91	7.08	0.61
94.02.06 11:07:56	14.81	7.07	0.72
94.02.06 11:08:03	15.84	7.07	0.73
94.02.06 11:08:10	16.90	7.07	0.73
94.02.06 11:08:18	18.03	7.07	0.73
94.02.06 11:08:25	19.04	7.07	0.94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 26

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.12.27

Extra Reinforcement length 1.20 m.

 $f_c' = 252$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 08:04:43	0.57	8.21	4.59
94.02.06 08:04:44	0.00	0.00	0.01
94.02.06 08:04:50	0.47	0.05	0.09
94.02.06 08:04:59	0.98	0.06	0.17
94.02.06 08:05:04	1.40	0.04	0.27
94.02.06 08:05:12	1.96	0.03	0.38
94.02.06 08:05:17	2.38	0.00	0.45
94.02.06 08:05:22	2.92	0.05	0.50
94.02.06 08:05:30	3.53	0.15	0.57
94.02.06 08:05:35	4.02	0.26	0.62
94.02.06 08:05:41	4.49	0.33	0.61
94.02.06 08:05:47	4.98	0.44	0.62
94.02.06 08:05:53	5.49	0.52	0.60
94.02.06 08:05:58	6.00	0.60	0.60
94.02.06 08:06:03	6.55	0.71	0.58
94.02.06 08:06:15	6.99	0.91	0.60
94.02.06 08:06:21	7.53	1.04	0.59
94.02.06 08:06:26	8.01	1.19	0.58
94.02.06 08:06:30	8.43	1.35	0.59
94.02.06 08:06:37	9.02	1.64	0.76
94.02.06 08:06:41	9.53	1.76	0.79
94.02.06 08:06:45	10.02	1.94	0.80
94.02.06 08:06:49	10.46	2.07	0.82
94.02.06 08:06:54	11.13	2.25	0.85
94.02.06 08:06:57	11.57	2.37	0.91
94.02.06 08:07:01	12.00	2.48	0.97
94.02.06 08:07:05	12.49	2.60	1.02
94.02.06 08:07:09	12.94	2.72	1.10
94.02.06 08:07:15	13.71	2.85	1.22
94.02.06 08:07:18	14.28	2.94	1.30
94.02.06 08:07:21	14.60	3.01	1.37
94.02.06 08:07:24	15.17	3.12	1.46
94.02.06 08:07:27	15.56	3.19	1.53
94.02.06 08:07:30	16.05	3.29	1.47
94.02.06 08:07:34	16.46	3.39	1.54
94.02.06 08:07:38	17.02	3.49	1.61
94.02.06 08:07:41	17.51	3.56	1.66
94.02.06 08:07:45	18.08	3.56	1.75
94.02.06 08:07:48	18.57	3.74	1.83
94.02.06 08:07:52	19.06	3.80	1.92
94.02.06 08:07:55	19.58	3.88	1.89
94.02.06 08:07:58	20.07	3.95	1.92
94.02.06 08:08:02	20.55	4.01	1.92
94.02.06 08:08:05	21.09	4.07	1.92
94.02.06 08:08:08	21.50	4.13	1.91
94.02.06 08:08:11	21.99	4.22	1.91
94.02.06 08:08:17	22.54	4.35	1.92

94.02.06 08:08:21	23.06	4.45	1.92
94.02.06 08:08:24	23.47	4.53	1.91
94.02.06 08:08:28	23.98	4.64	1.92
94.02.06 08:08:32	24.59	4.80	1.91
94.02.06 08:08:35	25.06	4.95	1.92
94.02.06 08:08:38	25.47	5.14	1.92
94.02.06 08:08:43	26.12	5.35	1.92
94.02.06 08:08:46	26.56	5.54	1.92
94.02.06 08:08:52	27.09	5.61	1.91
94.02.06 08:08:57	27.48	5.62	1.92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 27

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.12.27

Extra Reinforcement length 1.20 m.

 $f_c' = 252$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 08:18:26	0.58	10.36	3.59
94.02.06 08:18:28	0.00	0.00	0.00
94.02.06 08:18:32	0.11	0.01	0.11
94.02.06 08:18:40	0.50	0.03	0.05
94.02.06 08:18:42	0.62	0.02	0.07
94.02.06 08:18:49	1.03	0.03	0.10
94.02.06 08:18:55	1.61	0.04	0.13
94.02.06 08:19:00	2.17	0.02	0.11
94.02.06 08:19:04	2.68	0.04	0.09
94.02.06 08:19:10	3.20	0.14	0.06
94.02.06 08:19:15	3.67	0.25	0.08
94.02.06 08:19:21	4.08	0.34	0.08
94.02.06 08:19:27	4.49	0.43	0.09
94.02.06 08:19:32	5.11	0.57	0.09
94.02.06 08:19:36	5.64	0.67	0.07
94.02.06 08:19:40	6.01	0.75	0.05
94.02.06 08:19:44	6.63	0.86	0.06
94.02.06 08:19:48	7.11	0.93	0.05
94.02.06 08:19:52	7.57	1.00	0.03
94.02.06 08:19:56	8.14	1.09	0.03
94.02.06 08:20:01	8.61	1.16	0.02
94.02.06 08:20:05	9.18	1.23	0.02
94.02.06 08:20:10	9.84	1.31	0.01
94.02.06 08:20:12	10.18	1.36	0.00
94.02.06 08:20:15	10.56	1.41	0.01
94.02.06 08:20:19	11.24	1.18	0.04
94.02.06 08:20:21	11.73	1.53	0.08
94.02.06 08:20:24	12.04	1.57	0.14
94.02.06 08:20:28	12.78	1.64	0.16
94.02.06 08:20:30	13.29	1.67	0.18
94.02.06 08:20:34	13.76	1.71	0.25
94.02.06 08:20:36	14.24	1.76	0.30
94.02.06 08:20:39	14.73	1.81	0.35
94.02.06 08:20:41	15.20	1.84	0.40
94.02.06 08:20:44	15.67	1.87	0.43
94.02.06 08:20:47	16.12	1.89	0.47
94.02.06 08:20:50	16.59	1.91	0.49
94.02.06 08:20:53	16.98	1.91	0.50
94.02.06 08:20:57	17.82	1.91	0.51
94.02.06 08:21:00	18.31	1.89	0.54
94.02.06 08:21:03	18.81	1.85	0.55
94.02.06 08:21:06	19.27	1.81	0.56
94.02.06 08:21:08	19.62	1.77	0.57
94.02.06 08:21:11	19.99	1.72	0.59
94.02.06 08:21:16	20.84	1.64	0.62
94.02.06 08:21:18	21.27	1.58	0.67

94.02.06 08:21:21	21.89	1.54	0.69
94.02.06 08:21:23	22.31	1.50	0.75
94.02.06 08:21:26	22.79	1.46	0.82
94.02.06 08:21:29	23.26	1.39	0.91
94.02.06 08:21:32	23.77	1.30	1.03
94.02.06 08:21:34	24.24	1.19	1.17
94.02.06 08:21:37	24.60	1.07	1.31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 28

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.12.27

Extra Reinforcement length 1.20 m.

 $f_c' = 252$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 07:54:53	0.63	7.00	0.17
94.02.06 07:54:55	0.00	0.02	6.23
94.02.06 07:55:09	0.62	0.37	6.23
94.02.06 07:55:16	1.04	0.65	5.19
94.02.06 07:55:23	1.56	1.02	5.92
94.02.06 07:55:32	2.12	1.45	5.92
94.02.06 07:55:38	2.55	1.76	5.93
94.02.06 07:55:46	3.02	2.08	5.94
94.02.06 07:55:54	3.58	2.37	5.93
94.02.06 07:55:58	4.12	2.67	5.94
94.02.06 07:56:02	4.64	2.96	5.96
94.02.06 07:56:07	5.11	3.22	6.00
94.02.06 07:56:10	5.59	3.50	6.04
94.02.06 07:56:16	6.09	3.77	6.05
94.02.06 07:56:21	6.55	3.88	6.05
94.02.06 07:56:25	7.12	4.10	6.06
94.02.06 07:56:29	7.68	4.35	6.06
94.02.06 07:56:32	8.07	4.53	6.07
94.02.06 07:56:37	8.60	4.75	6.08
94.02.06 07:56:42	9.07	4.95	6.10
94.02.06 07:56:53	9.48	4.58	6.29
94.02.06 07:56:59	10.20	4.61	6.27
94.02.06 07:57:02	10.70	4.67	6.26
94.02.06 07:57:05	11.03	4.70	6.25
94.02.06 07:57:11	11.62	4.81	6.22
94.02.06 07:57:14	12.03	4.86	6.22
94.02.06 07:57:19	12.90	5.00	6.22
94.02.06 07:57:21	13.29	5.04	6.21
94.02.06 07:57:24	13.65	5.08	6.21
94.02.06 07:57:26	13.99	5.12	6.21
94.02.06 07:57:31	14.76	5.21	6.21
94.02.06 07:57:33	15.18	5.25	6.20
94.02.06 07:57:37	15.66	5.31	6.21
94.02.06 07:57:40	16.10	5.35	6.21
94.02.06 07:57:43	16.69	5.41	6.22
94.02.06 07:57:46	17.15	5.44	6.22
94.02.06 07:57:50	17.80	5.52	6.23
94.02.06 07:57:25	18.21	5.56	6.26
94.02.06 07:57:55	18.70	5.58	6.29
94.02.06 07:57:58	19.19	5.59	6.33
94.02.06 07:58:01	19.71	5.58	6.43
94.02.06 07:58:05	20.07	5.51	6.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทาง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 29

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.12.27

Extra Reinforcement length 1.20 m.

 $f_c' = 252$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 08:35:03	0.57	9.77	6.21
94.02.06 08:35:04	0.01	0.07	0.27
94.02.06 08:35:14	0.52	0.02	0.76
94.02.06 08:35:20	1.04	0.14	0.91
94.02.06 08:35:24	1.66	0.28	1.10
94.02.06 08:35:27	2.17	0.36	1.21
94.02.06 08:35:31	2.64	0.45	1.36
94.02.06 08:35:34	3.00	0.50	1.43
94.02.06 08:35:37	3.54	0.62	1.54
94.02.06 08:35:41	4.16	0.78	1.68
94.02.06 08:35:44	4.57	0.82	1.79
94.02.06 08:35:48	4.92	0.88	1.86
94.02.06 08:35:53	5.50	1.00	1.96
94.02.06 08:35:58	6.08	1.16	2.05
94.02.06 08:36:03	6.68	1.28	2.11
94.02.06 08:36:06	7.01	1.33	2.13
94.02.06 08:36:10	7.68	1.43	2.18
94.02.06 08:36:12	7.94	1.48	2.20
94.02.06 08:36:17	8.68	1.60	2.28
94.02.06 08:36:20	9.02	1.63	2.30
94.02.06 08:36:23	9.45	1.64	2.31
94.02.06 08:36:26	9.97	1.67	2.32
94.02.06 08:36:29	10.41	1.71	2.32
94.02.06 08:36:33	11.19	1.75	2.32
94.02.06 08:36:35	11.59	1.78	2.33
94.02.06 08:36:38	12.04	1.80	2.33
94.02.06 08:36:42	12.78	1.81	2.33
94.02.06 08:36:44	13.12	1.80	2.32
94.02.06 08:36:47	13.50	1.80	2.32
94.02.06 08:36:54	14.35	1.79	2.31
94.02.06 08:36:57	15.00	1.78	2.34
94.02.06 08:37:00	15.45	1.77	2.37
94.02.06 08:37:02	15.95	1.75	2.39
94.02.06 08:37:05	16.46	1.73	2.41
94.02.06 08:37:08	16.93	1.70	2.42
94.02.06 08:37:10	17.42	1.68	2.43
94.02.06 08:37:12	17.44	1.66	2.44
94.02.06 08:37:14	18.23	1.65	2.47
94.02.06 08:37:18	18.81	1.62	2.47
94.02.06 08:37:20	19.32	1.58	2.46
94.02.06 08:37:23	19.91	1.55	2.47
94.02.06 08:37:26	20.37	1.51	2.48
94.02.06 08:37:28	21.04	1.47	2.48
94.02.06 08:37:31	21.45	1.42	2.47
94.02.06 08:37:32	21.43	1.40	2.47
94.02.06 08:37:34	22.20	1.35	2.47

94.02.06 08:37:38	22.56	1.27	2.45
94.02.06 08:37:43	22.95	1.20	2.43
94.02.06 08:37:48	23.70	1.09	2.43
94.02.06 08:37:51	24.11	1.03	2.45
94.02.06 08:37:55	24.49	0.95	2.48
94.02.06 08:38:01	25.06	0.84	2.54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 30

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.01.06

Extra Reinforcement length 1.00 m.

 $f_c' = 250 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 09:43:38	0.53	1.80	3.42
94.02.06 09:43:43	1.07	10.39	4.00
94.02.06 09:43:44	0.00	0.00	0.00
94.02.06 09:43:55	0.57	0.03	0.18
94.02.06 09:44:02	1.04	0.14	0.33
94.02.06 09:44:10	1.48	0.22	0.46
94.02.06 09:44:25	2.04	0.20	0.59
94.02.06 09:44:31	2.48	0.31	0.72
94.02.06 09:44:36	2.95	0.38	0.83
94.02.06 09:44:42	3.59	0.46	0.90
94.02.06 09:44:47	4.13	0.53	0.97
94.02.06 09:44:51	4.61	0.58	1.00
94.02.06 09:44:54	4.92	0.63	1.00
94.02.06 09:45:00	5.60	0.72	1.00
94.02.06 09:45:03	6.14	0.76	1.00
94.02.06 09:45:06	6.67	0.81	0.99
94.02.06 09:45:09	7.22	0.84	0.98
94.02.06 09:45:12	7.71	0.89	0.99
94.02.06 09:45:15	8.24	0.94	0.98
94.02.06 09:45:18	8.81	0.99	0.97
94.02.06 09:45:19	8.99	1.02	0.97
94.02.06 09:45:23	9.63	1.06	0.97
94.02.06 09:45:26	10.21	1.12	0.97
94.02.06 09:45:29	10.69	1.18	0.96
94.02.06 09:45:33	11.33	1.24	0.95
94.02.06 09:45:36	11.90	1.29	0.95
94.02.06 09:45:39	12.31	1.34	0.94
94.02.06 09:45:42	12.91	1.39	0.94
94.02.06 09:45:45	13.53	1.43	0.93
94.02.06 09:45:48	14.02	1.46	0.93
94.02.06 09:45:51	14.60	1.49	0.92
94.02.06 09:45:52	14.50	1.50	0.92
94.02.06 09:45:54	15.38	1.55	0.93
94.02.06 09:45:58	15.84	1.58	0.93
94.02.06 09:46:01	16.25	1.61	0.93
94.02.06 09:46:04	16.84	1.63	0.92
94.02.06 09:46:07	17.42	1.66	0.91
94.02.06 09:46:10	17.98	1.69	0.91
94.02.06 09:46:13	18.41	1.73	0.91
94.02.06 09:46:15	18.88	1.75	0.91
94.02.06 09:46:19	19.45	1.79	0.91
94.02.06 09:46:22	20.01	1.82	0.89
94.02.06 09:46:25	20.05	1.86	0.89
94.02.06 09:46:28	20.84	1.89	0.88
94.02.06 09:46:30	21.30	1.93	0.88
94.02.06 09:46:33	21.76	1.96	0.88
94.02.06 09:46:36	22.30	2.00	0.87

94.02.06 09:46:39	22.80	2.03	0.88
94.02.06 09:46:42	23.28	2.05	0.87
94.02.06 09:46:44	23.75	2.08	0.87



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 31

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.01.06

Extra Reinforcement length 1.00 m.

 $f_c' = 250$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 09:53:23	2.45	0.17	0.25
94.02.06 09:53:28	2.91	0.15	0.32
94.02.06 09:53:32	3.51	0.11	0.34
94.02.06 09:53:37	4.05	0.07	0.34
94.02.06 09:53:40	4.46	0.07	0.40
94.02.06 09:53:45	5.15	0.10	0.45
94.02.06 09:53:48	5.62	0.13	0.45
94.02.06 09:53:51	5.96	0.14	0.44
94.02.06 09:53:57	6.57	0.19	0.45
94.02.06 09:53:59	7.11	0.24	0.48
94.02.06 09:54:02	7.61	0.32	0.49
94.02.06 09:54:05	8.17	0.39	0.51
94.02.06 09:54:08	8.76	0.49	0.50
94.02.06 09:54:10	9.22	0.57	0.49
94.02.06 09:54:13	9.84	0.66	0.48
94.02.06 09:54:15	9.94	0.72	0.48
94.02.06 09:54:17	10.69	0.78	0.47
94.02.06 09:54:20	11.24	0.87	0.47
94.02.06 09:54:23	11.73	0.94	0.47
94.02.06 09:54:26	12.27	0.99	0.47
94.02.06 09:54:29	12.78	1.05	0.47
94.02.06 09:54:32	13.25	1.10	0.45
94.02.06 09:54:34	13.70	1.15	0.46
94.02.06 09:54:37	14.30	1.20	0.42
94.02.06 09:54:40	14.86	1.26	0.40
94.02.06 09:55:08	13.94	1.27	0.37
94.02.06 09:55:15	14.78	1.27	0.34
94.02.06 09:55:20	15.35	1.29	0.31
94.02.06 09:55:21	15.56	1.32	0.30
94.02.06 09:55:24	16.33	1.36	0.26
94.02.06 09:55:28	16.92	1.40	0.23
94.02.06 09:55:31	17.29	1.42	0.21
94.02.06 09:55:35	17.98	1.46	0.19
94.02.06 09:55:38	18.44	1.48	0.15
94.02.06 09:55:41	19.03	1.49	0.12
94.02.06 09:55:42	19.03	1.50	0.09
94.02.06 09:55:45	19.58	1.50	0.06
94.02.06 09:55:47	20.09	1.48	0.02
94.02.06 09:55:51	20.60	1.42	0.03
94.02.06 09:55:54	21.12	1.36	0.10
94.02.06 09:55:57	21.66	1.26	0.16
94.02.06 09:55:59	22.13	1.12	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No. 32

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.01.06

Extra Reinforcement length 1.00 m.

 $f_c' = 250$ ksc

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 09:34:41	1.04	0.72	0.62
94.02.06 09:34:48	1.55	0.65	0.68
94.02.06 09:34:51	1.96	0.57	0.70
94.02.06 09:35:02	2.56	0.41	0.75
94.02.06 09:35:08	3.07	0.35	0.77
94.02.06 09:35:13	3.51	0.32	0.76
94.02.06 09:35:18	4.05	0.32	0.73
94.02.06 09:35:23	4.62	0.33	0.69
94.02.06 09:35:26	5.01	0.35	0.69
94.02.06 09:35:32	5.62	0.38	0.69
94.02.06 09:35:36	6.09	0.40	0.68
94.02.06 09:35:40	6.54	0.42	0.68
94.02.06 09:35:44	7.11	0.44	0.69
94.02.06 09:35:48	7.65	0.47	0.69
94.02.06 09:35:51	8.22	0.50	0.69
94.02.06 09:35:53	8.42	0.53	0.68
94.02.06 09:35:56	9.10	0.56	0.68
94.02.06 09:35:59	9.64	0.61	0.68
94.02.06 09:36:02	10.18	0.64	0.66
94.02.06 09:36:05	10.62	0.67	0.64
94.02.06 09:36:08	11.11	0.70	0.63
94.02.06 09:36:11	11.73	0.73	0.59
94.02.06 09:36:15	12.16	0.76	0.57
94.02.06 09:36:18	12.68	0.78	0.54
94.02.06 09:36:19	13.11	0.80	0.51
94.02.06 09:36:22	13.73	0.84	0.48
94.02.06 09:36:25	14.24	0.88	0.45
94.02.06 09:36:28	14.71	0.93	0.40
94.02.06 09:36:31	15.22	0.97	0.36
94.02.06 09:36:33	15.51	1.01	0.33
94.02.06 09:36:35	16.28	1.07	0.29
94.02.06 09:36:38	16.79	1.14	0.25
94.02.06 09:36:42	17.93	1.22	0.22
94.02.06 09:36:45	10.05	1.30	0.19
94.02.06 09:36:46	17.96	1.33	0.18
94.02.06 09:36:49	18.80	1.41	0.14
94.02.06 09:36:52	19.16	1.51	0.10
94.02.06 09:36:55	19.58	1.61	0.06
94.02.06 09:36:58	20.04	1.71	0.03
94.02.06 09:37:02	20.43	1.81	0.00
94.02.06 09:37:08	21.20	2.00	0.08
94.02.06 09:37:11	21.59	2.12	0.12
94.02.06 09:37:13	21.90	2.20	0.15
94.02.06 09:37:16	22.44	2.32	0.18
94.02.06 09:37:21	23.05	2.51	0.17
94.02.06 09:37:26	23.60	2.70	0.20

Test No. 33

Date of Tested 94,02,06

Date of Casted 93.01.06

Extra Reinforcement length 1.00 m.

 $f_c' = 250 \text{ ksc}$

DATE & TIME	TOTAL APPLIED LOAD (tf)	DEFLECTION (mm.)	
		DIAL GAUGE 1	DIAL GAUGE 2
94.02.06 09:26:38	0.60	0.61	0.58
94.02.06 09:26:40	0.01	0.01	0.00
94.02.06 09:26:53	0.98	0.28	0.07
94.02.06 09:27:00	1.55	0.34	0.11
94.02.06 09:27:05	2.10	0.43	0.13
94.02.06 09:27:09	2.53	0.47	0.33
94.02.06 09:27:13	3.07	0.54	0.34
94.02.06 09:27:17	3.71	0.59	0.34
94.02.06 09:27:19	3.89	0.63	0.35
94.02.06 09:27:24	4.57	0.70	0.33
94.02.06 09:27:28	5.21	0.80	0.31
94.02.06 09:27:31	5.59	0.84	0.30
94.02.06 09:27:34	6.13	0.91	0.29
94.02.06 09:27:37	6.54	1.00	0.28
94.02.06 09:27:40	7.01	1.05	0.27
94.02.06 09:27:43	7.63	1.15	0.25
94.02.06 09:27:46	8.20	1.22	0.24
94.02.06 09:27:48	8.61	1.26	0.21
94.02.06 09:27:51	9.07	1.32	0.21
94.02.06 09:27:54	9.67	1.38	0.21
94.02.06 09:27:57	10.28	1.44	0.20
94.02.06 09:27:59	10.85	1.50	0.19
94.02.06 09:28:02	11.42	1.54	0.18
94.02.06 09:28:05	12.06	1.06	0.19
94.02.06 09:28:08	12.62	1.64	0.18
94.02.06 09:28:10	13.17	1.69	0.18
94.02.06 09:28:12	12.99	1.69	0.19
94.02.06 09:28:14	13.78	1.74	0.17
94.02.06 09:28:17	14.28	1.79	0.17
94.02.06 09:28:21	15.00	1.86	0.15
94.02.06 09:28:24	15.63	1.90	0.13
94.02.06 09:28:27	16.21	1.94	0.09
94.02.06 09:28:29	15.94	1.95	0.09
94.02.06 09:28:31	16.72	1.99	0.06
94.02.06 09:28:34	17.28	2.03	0.03
94.02.06 09:28:38	17.85	2.05	0.02
94.02.06 09:28:41	18.39	2.06	0.06
94.02.06 09:28:44	19.03	2.08	0.09
94.02.06 09:28:48	19.53	2.09	0.14
94.02.06 09:28:51	20.17	2.09	0.15
94.02.06 09:28:54	20.71	2.10	0.14
94.02.06 09:28:55	20.43	2.10	0.15
94.02.06 09:28:58	21.27	2.10	0.14
94.02.06 09:29:01	21.74	2.07	0.15
94.02.06 09:29:04	22.53	1.96	0.15
94.02.06 09:29:07	22.71	1.91	0.15

94.02.06 09:29:11	23.02	1.86	0.14
94.02.06 09:29:15	23.52	1.80	0.14
94.02.06 09:29:19	24.08	1.75	0.14
94.02.06 09:29:23	24.67	1.70	0.15
94.02.06 09:29:26	25.09	1.65	0.15
94.02.06 09:29:30	25.57	1.55	0.15
94.02.06 09:29:34	26.01	1.36	0.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No.	Date & Time	Total Applied Load	Deflection (mm.)	
			Dial Gauge 1	Dial Gauge 1
36	94.02.07 11:25:17	23.900	0.00	0.00
37	94.02.07 11:32:24	25.530	0.00	0.00
38	94.02.07 11:46:52	26.010	0.00	0.00
39	94.02.07 11:58:12	27.020	0.00	0.00

ตารางแสดงการทดสอบเสาด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

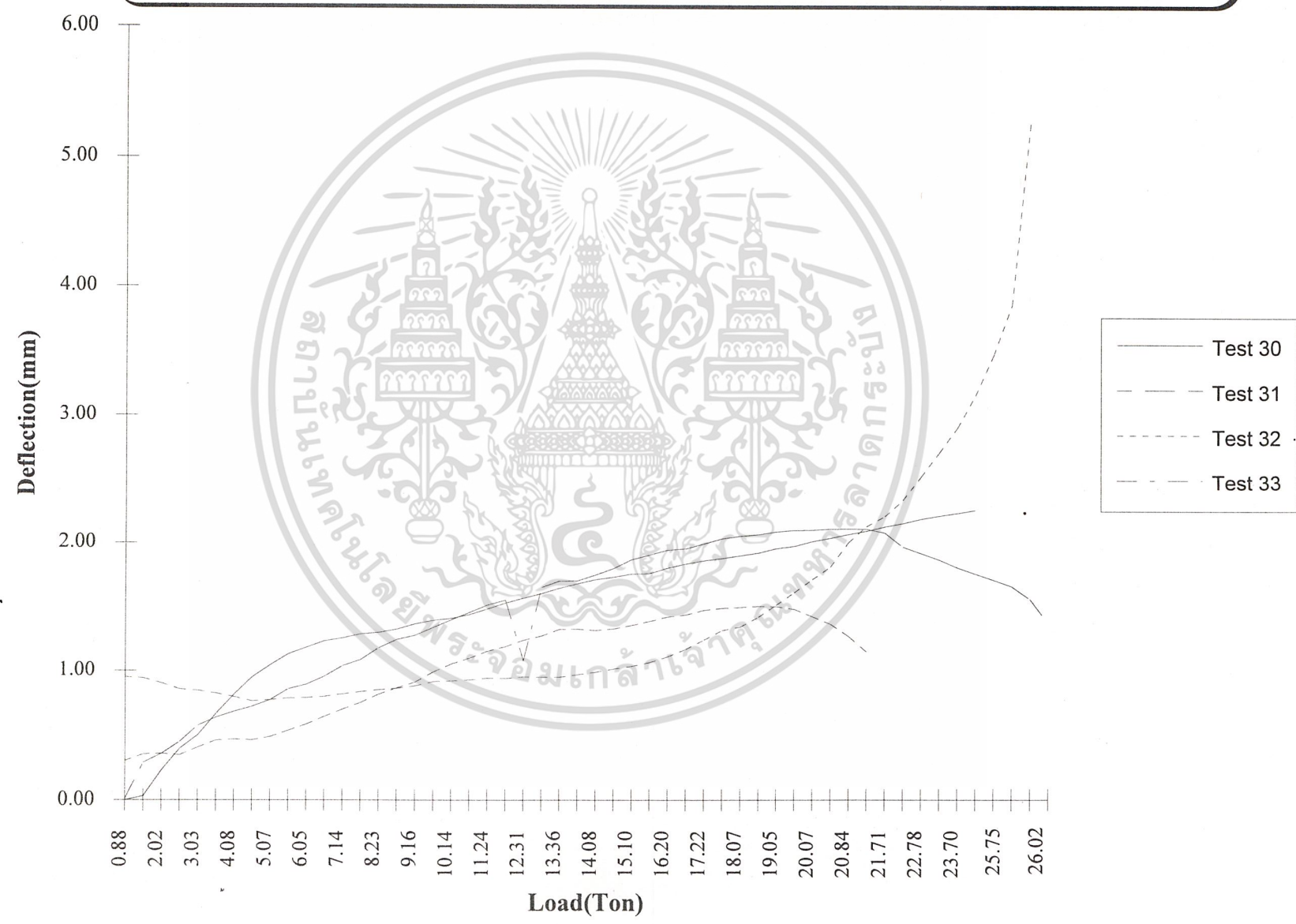


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

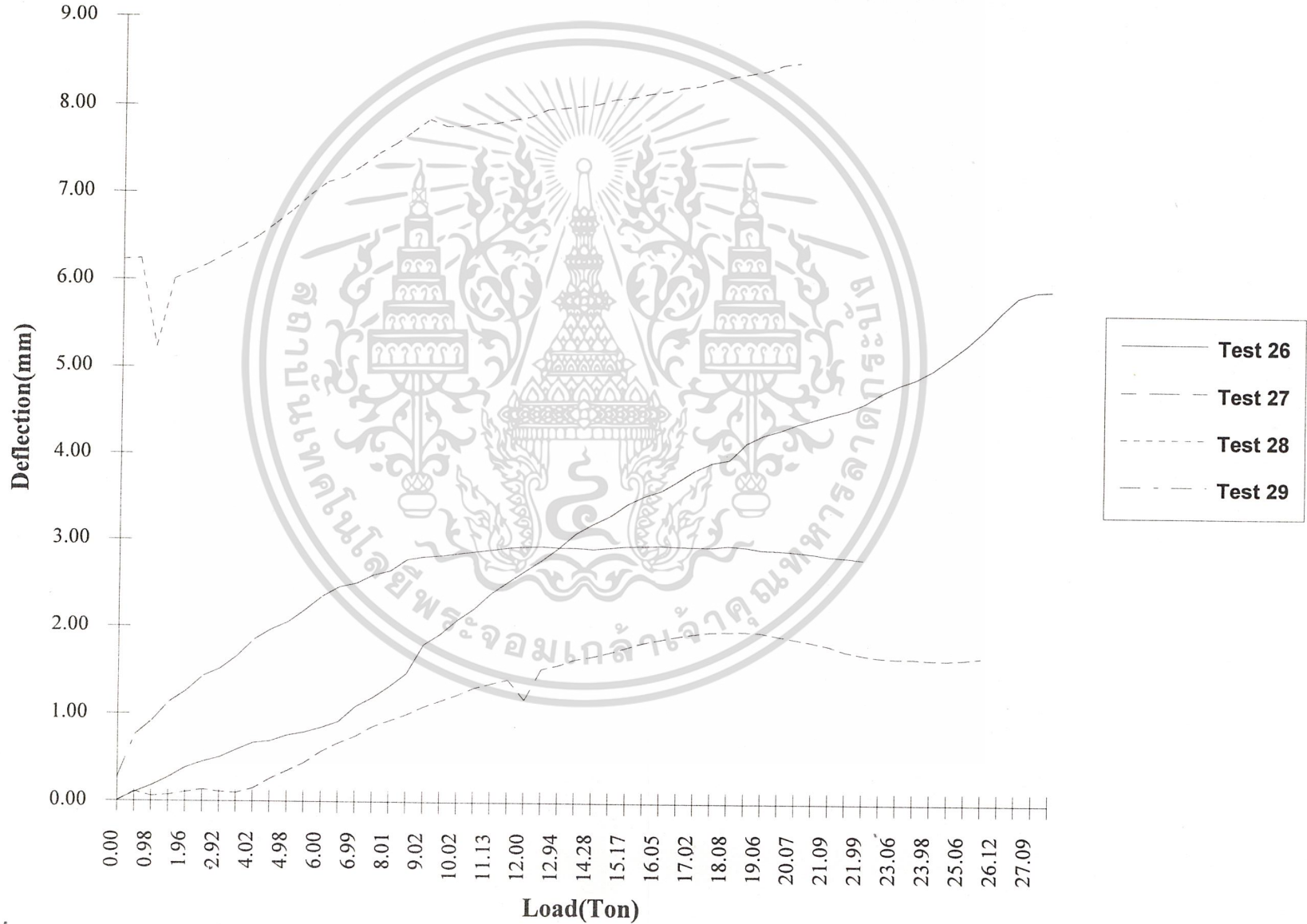
กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
 Extra Reinforcement length..0.00..m.



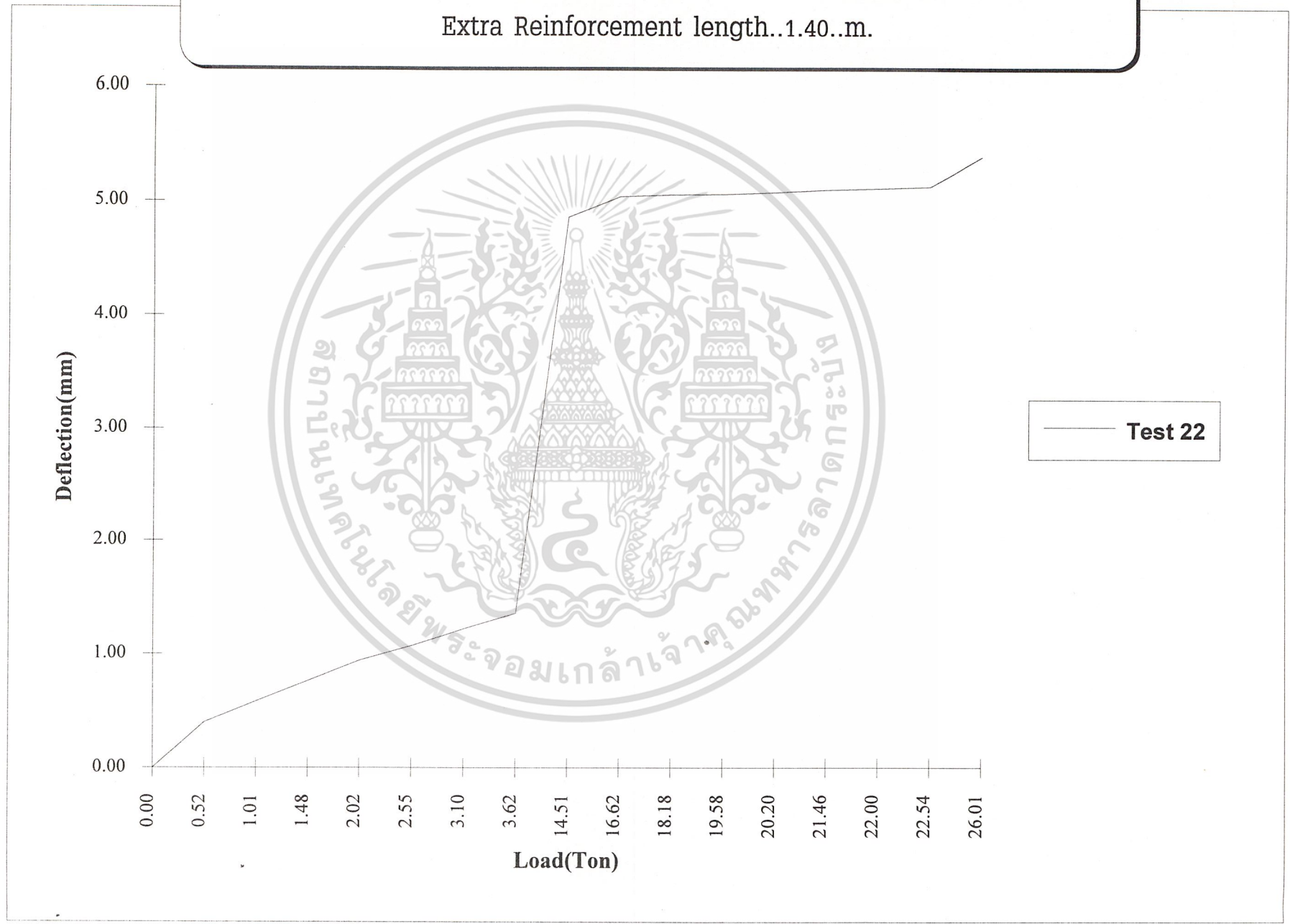
กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
Extra Reinforcement length..1.00..m.



กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
Extra Reinforcement length..1.20..m.

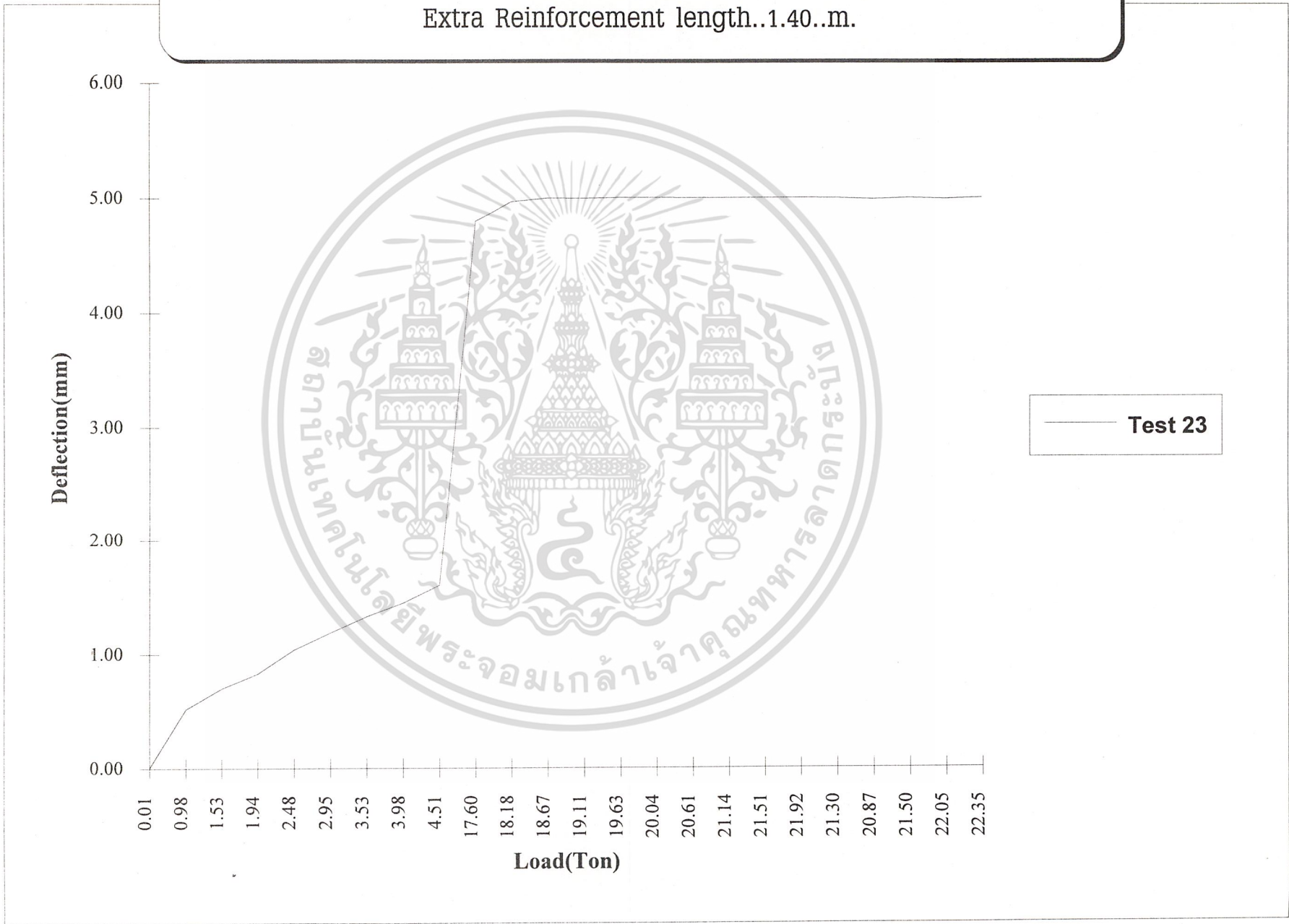


กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
Extra Reinforcement length..1.40..m.



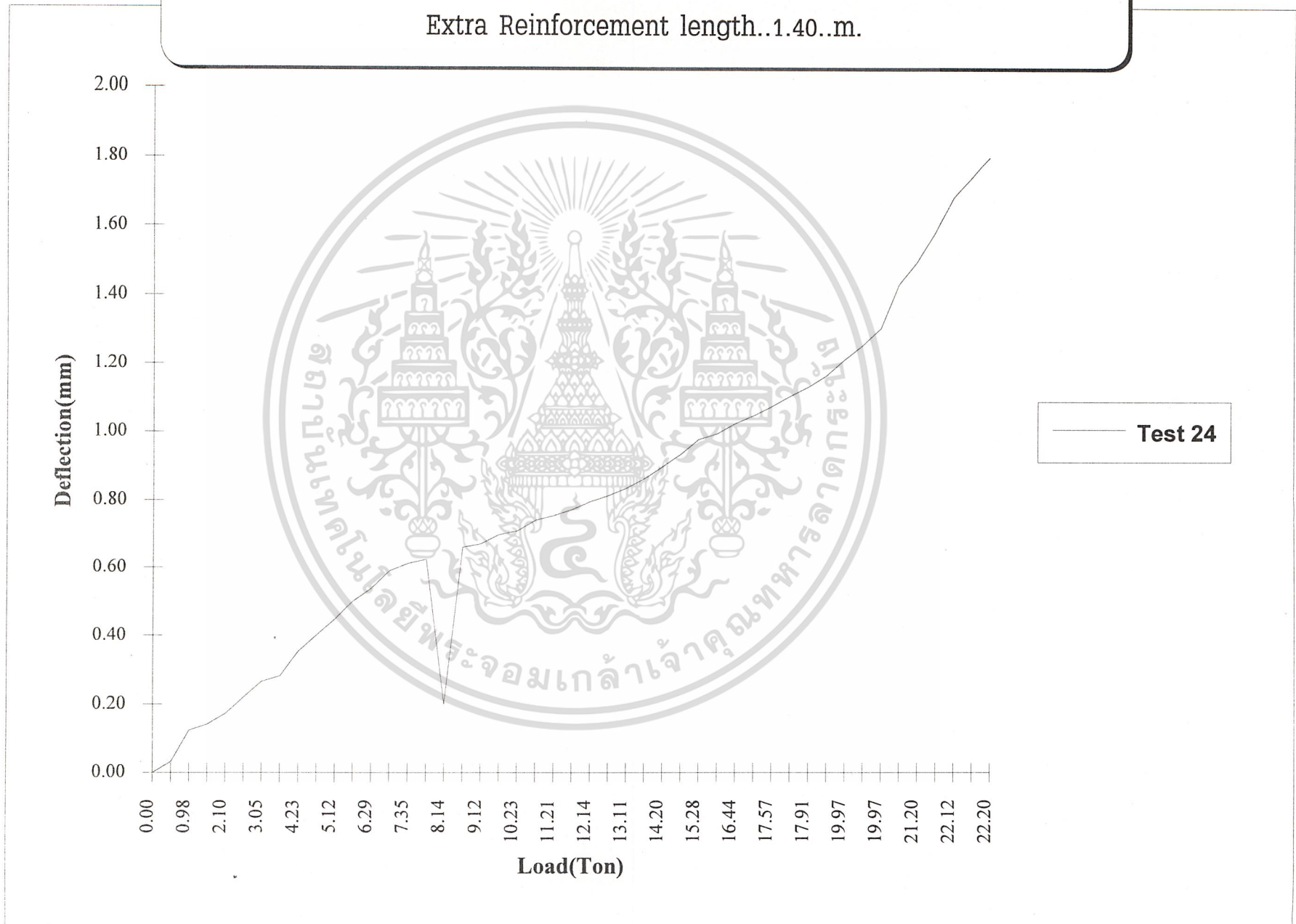
— Test 22

กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
Extra Reinforcement length..1.40..m.

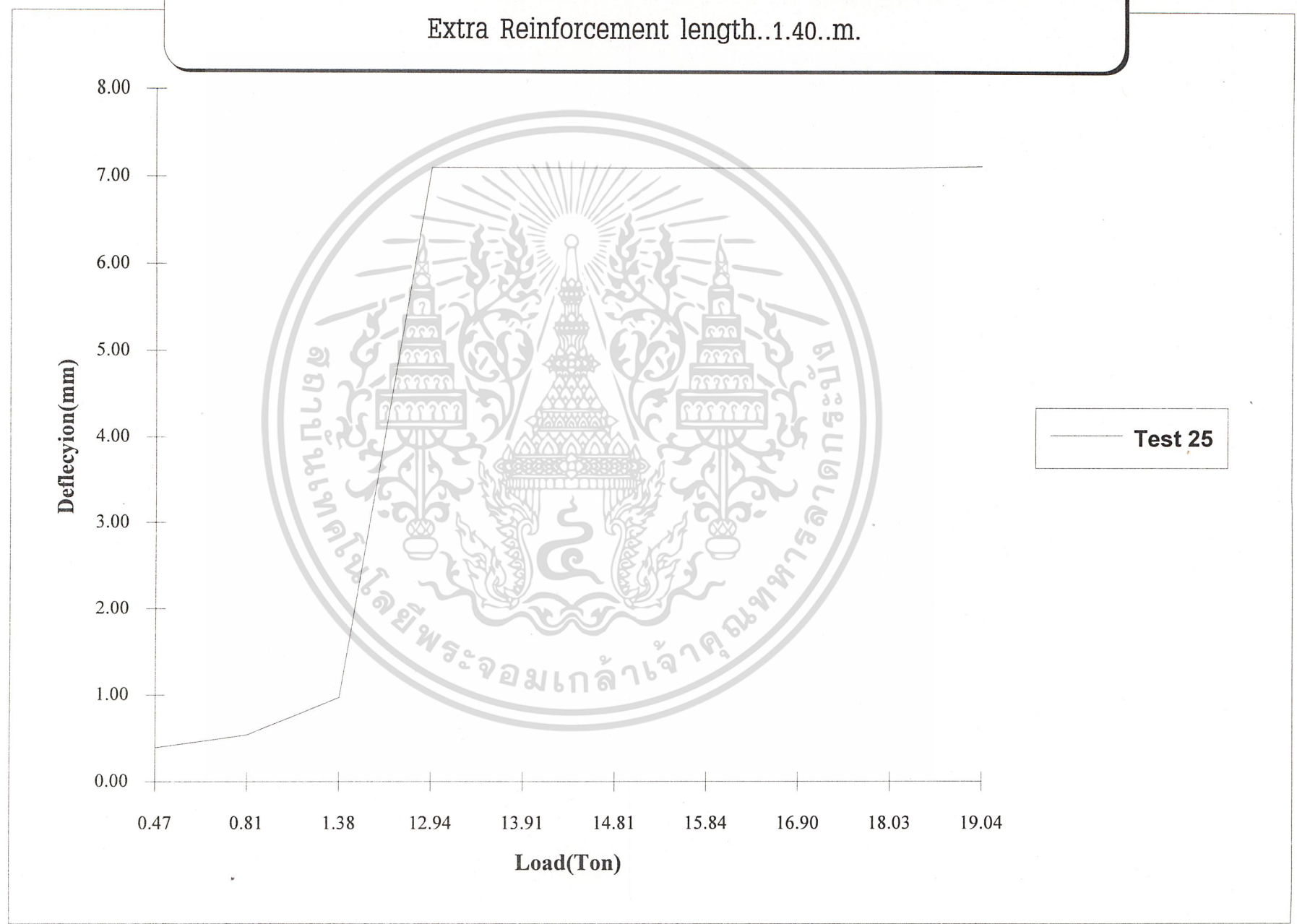


— Test 23

กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
Extra Reinforcement length..1.40..m.



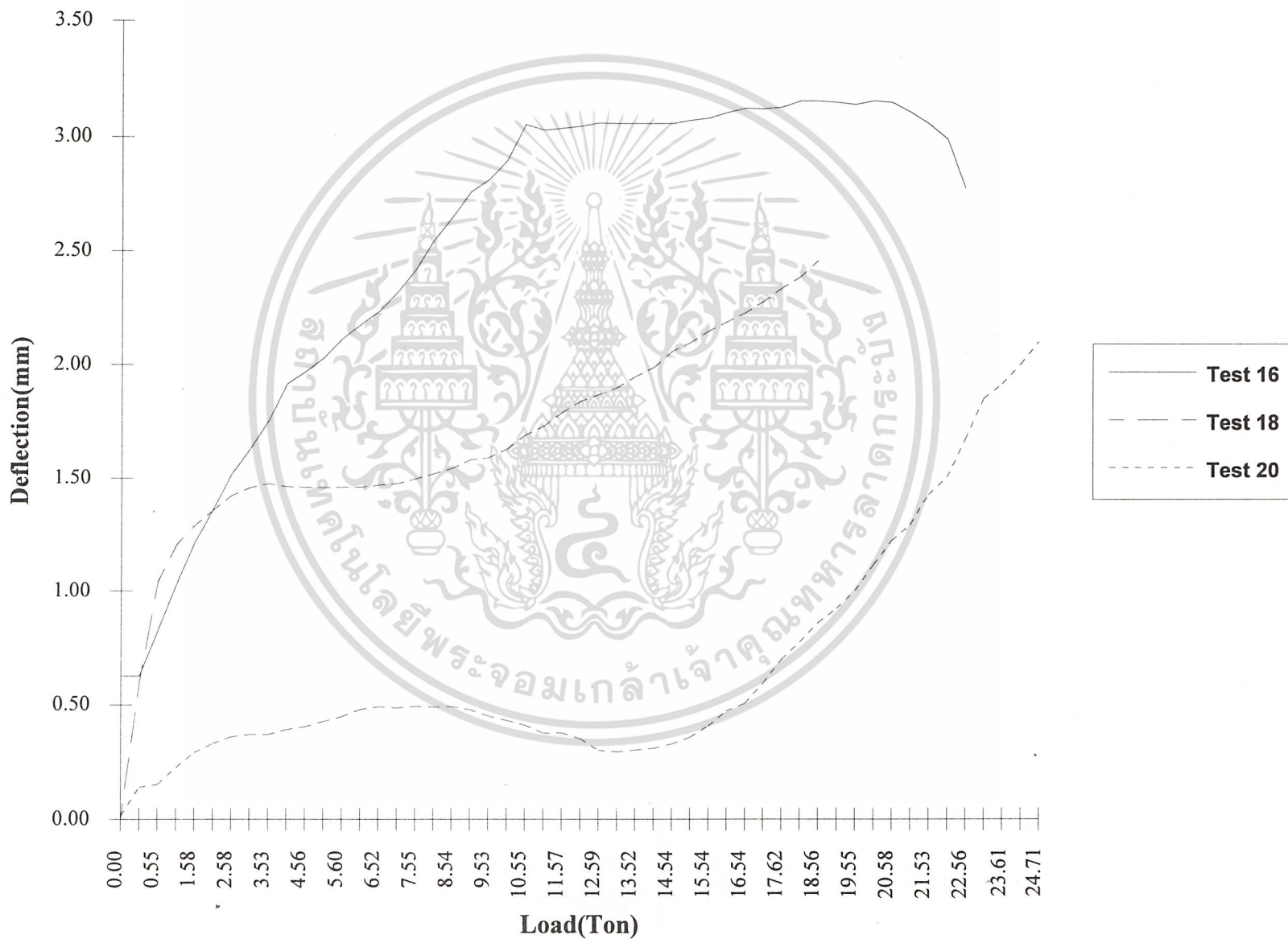
กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
Extra Reinforcement length..1.40..m.



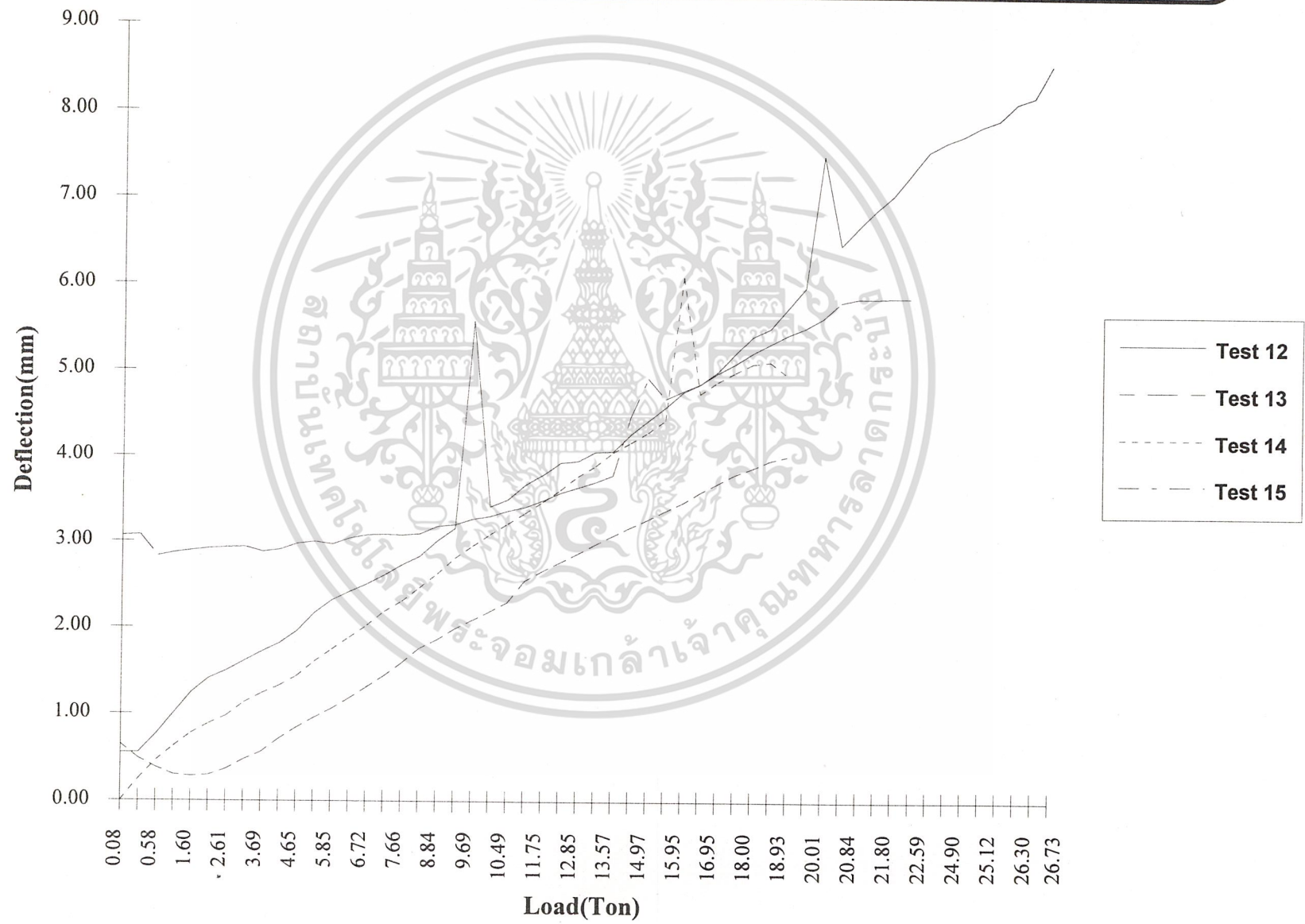
— Test 25

กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี

Extra Reinforcement length..1.60..m.



กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
Extra Reinforcement length..1.80..m.



กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load & Deflection ของเสาที่มี
Extra Reinforcement length..2.00..m.



type	Extra Reinforcement (m)	MAXIMUM LOAD (TON)				AVERAGE load (TON)
		1	2	3	4	
1. Short column		23.900	25.520	26.010	27.020	25.612
2. Long column	1. Ø 9 mm no extra reinforcement	19.440	19.470	18.310	14.010	17.807
	2. Ø 9 mm w/extra reinforcement 1.00 m. long	22.130	26.020	23.750	26.010	24.477
	3. Ø 9 mm w/extra reinforcement 1.20 m. long	27.480	25.060	20.070	24.600	25.713
	4. Ø 9 mm w/extra reinforcement 1.40 m. long	22.350	19.040	22.200	26.010	23.520
	5. Ø 9 mm w/extra reinforcement 1.60 m. long	-	22.560	24.710	19.140	23.625
	6. Ø 9 mm w/extra reinforcement 1.80 m. long	26.730	24.630	20.190	19.340	22.722
	7. Ø 9 mm w/extra reinforcement 2.00 m. long	26.240	23.130	24.600	26.940	25.227

ตารางข้อมูลสรุปผลการทดลองแบ่งตามประเภทของเสา คือ เสาสั้นและเสายาว โดยเสายาวจะเสริมเหล็กเสริมพิเศษ
ขนาดต่าง ๆ ดังระบุไว้ที่ช่วงกลางของเสา

Extra Reinforcement : คือเหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ขนาดยาวตามระบุ เสริมบริเวณกลางเสา

Maximum Load : ค่า Load สูงสุดที่เสาแต่ละต้นสามารถรับได้ โดยแยกตามแต่ละประเภทของเสาตามจำนวนตัวอย่างการทดสอบ

Average Load : ค่าเฉลี่ยของเสาแต่ละประเภทที่สามารถรับได้

OF EXTRA REINFORCEMENT	Average Maximum Load From Testing (Ton)	Ultimate Load From Theory (Ton)
umm	25.6125	25.449
umm		
mm no extra reinforcement	17.8075	17.712
mm w/extra reinforcement 1.00 m. long	24.4775	24.297
mm w/extra reinforcement 1.20 m. long	25.713	24.416
mm w/extra reinforcement 1.40 m. long	23.52	23.410
mm w/extra reinforcement 1.60 m. long	23.635	23.647
mm w/extra reinforcement 1.80 m. long	22.7225	23.883
mm w/extra reinforcement 2.00 m. long	25.2275	23.942

ตารางเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบ และค่าที่ได้จากการคำนวณ

XTRA REINFORCEMENT :

คือ เหล็กเสริมพิเศษเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร
ขนาดยาวตามระบุตำแหน่งที่เสริมบริเวณกลางเสา

MAXIMUM LOAD :

ค่า load เฉลี่ยของเสาแต่ละประเภทที่ได้รับ

LOAD :

ค่า load ที่เสารับได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test No.	Extra Reinforcement	Maximum Load (tf)	Deflection x axis (mm)	Deflection y axis (mm)	Point of Failure (cm)
2	Diameter 9mm 0m	19.440	2.76	2.75	-42
3	Diameter 9mm 0m	19.470	0.39	2.32	-18
4	Diameter 9mm 0m	18.310	3.47	3.71	+1
5	Diameter 9mm 0m	14.010	1.05	1.10	+21
6	Diameter 9mm 2.00m	26.940	0.16	2.16	+12
7	Diameter 9mm 2.00m	26.240	0.92	1.50	-28
8	Diameter 9mm 2.00m	23.130	2.04	1.62	-14
10	Diameter 9mm 2.00m	24.600	1.51	3.17	-9
12	Diameter 9mm 1.80m	26.730	6.39	5.71	-39
13	Diameter 9mm 1.80m	20.190	4.02	0.19	-30
14	Diameter 9mm 1.80m	19.340	4.71	1.58	-14
15	Diameter 9mm 1.80m	24.630	5.87	0.12	-11
16	Diameter 9mm 1.60m	22.560	1.36	2.42	-21
18	Diameter 9mm 1.60m	19.140	2.45	0.24	-18
20	Diameter 9mm 1.60m	24.710	1.75	1.17	+16
22	Diameter 9mm 1.40m	26.010	5.04	1.94	+21
23	Diameter 9mm 1.40m	22.350	5.00	0.16	+12
24	Diameter 9mm 1.40m	22.200	0.19	1.79	-46
25	Diameter 9mm 1.40m	19.040	7.07	0.94	-13
26	Diameter 9mm 1.20m	27.480	5.63	1.92	+20
27	Diameter 9mm 1.20m	24.600	1.07	1.31	+13
28	Diameter 9mm 1.20m	20.070	5.51	6.52	+48
29	Diameter 9mm 1.20m	25.060	0.84	2.54	-12
30	Diameter 9mm 1.00m	23.750	2.08	0.87	-11
31	Diameter 9mm 1.00m	22.130	1.12	0.25	-29
32	Diameter 9mm 1.00m	26.020	2.70	0.20	-7
33	Diameter 9mm 1.00m	23.010	1.36	0.15	+11
36	SHORT COLUMN	23.900	0.00	0.00	-
37	SHORT COLUMN	25.520	0.00	0.00	-
38	SHORT COLUMN	26.010	0.00	0.00	-
39	SHORT COLUMN	27.020	0.00	0.00	-

Remark

- Extra reinforcement Diameter 9mm
- Deflection whice is upper the middle point of the column = +
- Deflection whice is lower the middle point of the column = -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิเคราะห์ สรุปผล ปัญหา ข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิเคราะห์ สรุปผล ข้อผิดพลาด และคำแนะนำ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

เสาสั้น จากผลการทดลองที่ได้ เสาสั้นสามารถรับน้ำหนักประลัยได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 25.612 ตัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงจากการคำนวณได้ คือ

$$\begin{aligned} P &= 0.85 A_s f_c + f_y A_s \\ &= 0.85(100)(250) + (3716)(1.13) \\ &= 25.449 \text{ ton} \end{aligned}$$

เสายาว จากผลการทดลองเสายาวที่มีเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น แต่ไม่มีเหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตรนั้น สามารถรับน้ำหนักประลัยประมาณ 17.807 ตัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงจากการคำนวณได้ดังนี้

$$P = [0.85 A_s f_c + f_y A_s] * R$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } R &= 1.23 - 0.008L_u/r \\ &= 1.23 - 0.008(200)/0.3(10) \\ &= 0.696 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } P &= 0.696[0.85(100)(250) + (3716)(1.13)] \\ &= 17.712 \text{ ton} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเสายาวที่มีการเสริมทั้งเหล็กเสริมยืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร และเหล็กเสริมพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น ตลอดความยาวของเสา ซึ่งสามารถรับน้ำหนักประลัยได้สูงสุดจากการทดลองประมาณ 25.227 ตัน ซึ่งน้ำหนักที่รับได้จากการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} P &= [0.85A_s f_c + f_y A_{s_v}] * R \\ &= [0.85(100)(250) + (3716)(1.13 + 2.546)] * 0.696 \\ &= 24.297 \text{ ton} \end{aligned}$$

พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง และเสายาวที่เสริมเหล็กพิเศษขนาดความยาว 1, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80 เมตร ที่กึ่งกลางเสา สามารถรับน้ำหนักได้ 24.477, 25.713, 23.520, 23.625, 22.722 ตัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาสั้น และความสามารถในการรับน้ำหนักของเสายาวที่มีการเสริมเหล็กพิเศษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ตลอดความยาวของเสา

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

1. เสายาว สามารถรับน้ำหนักได้น้อยกว่าเสาสั้นที่มีขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมเท่ากัน
2. การที่จะเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของเสายาวให้สามารถรับน้ำหนักได้ใกล้เคียงกับเสาสั้นซึ่งมีขนาดหน้าตัดเสาเท่ากันนั้น จะต้องเสริมเหล็กเสริมพิเศษเพิ่มเข้าไป จึงทำให้เสายาวสามารถรับน้ำหนักบรรทุกประลัยได้เท่ากับเสาสั้นขนาดหน้าตัดเดียวกัน
3. จากการทดลองพบว่า การเสริมเหล็กเสริมพิเศษในเสายาวเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกให้เท่ากับเสาสั้นขนาดหน้าตัดเดียวกันนั้น ไม่จำเป็นจะต้องเสริมตลอดความสูงของเสา จากการทดลองนี้กำหนดให้ความยาวของเหล็กเสริมพิเศษไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวเสาทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อผิดพลาด

ในการทดลองครั้งนี้ พบว่ามีข้อผิดพลาดบางประการเกิดขึ้น ทำให้เป็นอุปสรรคในการดำเนินการทดลองในขั้นต่อไป ซึ่งในงานก่อสร้างจริงจะต้องมีความละเอียดรอบคอบและระมัดระวังข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในทุกๆ จุด เพราะถ้าเกิดความผิดพลาดใดๆ ขึ้นมาแล้ว นั่นหมายความว่าปัญหาต่างๆ จะตามมาแน่นอน ข้อผิดพลาดที่จะกล่าวต่อไปนี้จะเป็นแนวทางในการป้องกันการผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในการก่อสร้างจริง

1. ในการทำ formwork เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ formwork ทำมาจากไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร ข้อควรระวังเริ่มแรกคือ จะต้องตัดชิ้นส่วนประกอบของ formwork ให้ได้ขนาดพอดีกับแบบที่ออกไว้ เมื่อประกอบเสร็จแล้วจะต้องได้รูปทรงที่ถูกต้อง ไม่บิดเบี้ยว และจะต้องพิจารณาความทนทานของไม้อัด คือ เมื่อใช้ไปหลายครั้งแล้วจะทำให้ไม้แบบเกิดการบิดเบี้ยว เนื่องจากการขยายตัวและหดตัวที่ไม่เท่ากันของไม้อัด ทำให้เสาที่หล่อออกมามีขนาดผิดพลาดหรือหย่อนท้องช้าง เมื่อนำไปกดด้วยเครื่องกดชุด hydraulic jack เกิดโมเมนต์ตัดขึ้นซึ่งมีผลทำให้ผลการทดลองผิดพลาด

2. การผูกเหล็กจะต้องผูกเหล็กให้เหล็กขยียดแน่นที่แต่ละมุมของเหล็กปลอก และเหล็กขยียดต้องตัดให้ตรงไม่โก่งงอ เนื่องจากว่าเหล็กขยียดที่โก่งงออยู่ก่อนที่จะได้รับการทดสอบนั้นจะทำให้ค่าผลการทดลองที่ผิดพลาดทำให้เสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่หล่อออกมาความสามารถรับน้ำหนักประลัยได้ลดลง

3. ขั้นตอนในการผสมคอนกรีตมีความสำคัญเช่นกัน เช่นในการชั่งน้ำหนักเพื่อทำการตวงส่วนผสม การหกรของส่วนผสม ซึ่งทำให้ส่วนผสมผิดพลาด กำลังอัดประลัยของคอนกรีตลดลง มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กลดลงด้วย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึง workability ในการเทคอนกรีตด้วย คือ คอนกรีตที่ผสมออกมาแล้วจะต้องมีความสะดวกในการไหล

4. ในขั้นตอนการหล่อเสาคอนกรีตมีความสำคัญ เช่นในการกระทุ้งคอนกรีตและการไล่ฟองอากาศ ควรเทคอนกรีตเป็นชั้นๆ และกระทุ้งให้พอเหมาะ ให้มวลรวมของคอนกรีตกระจายอย่างทั่วถึงและไม่เกิดช่องว่างขึ้นในเสา การที่กระทุ้งคอนกรีตมากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมแยกตัว

5. การบ่มคอนกรีตหลังจากแกะแบบแล้วจะต้องบ่มให้ผิวคอนกรีตมีความเปียกชื้นตลอดเวลา โดยใช้กระสอบทรายคลุมและพรมน้ำให้เปียกชื้นสม่ำเสมอจนครบจำนวนวันบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อเราปมคอนกรีตจนครบกำหนด จะทำการกดเสาโดยใช้เครื่องกดชุด hydraulic jack ทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา แต่จุดสำคัญที่สุดจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ หัวและท้ายของเสาจะต้องเรียบสม่ำเสมอ เพื่อให้น้ำหนักที่กดลงมากระจายสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดเสา ถ้าหน้าตัดเสาไม่เรียบได้ระดับจะก่อให้เกิดปัญหาโดยการเจาะหัวเสาด้วยเครื่องเจาะ หรือถ้าหากหน้าตัดเสามีความชันน้อยมากไม่จำเป็นต้องทำการเจาะ ก็ให้หล่อปูนปลาสเตอร์ทำให้เสาได้ระดับเดียวกัน

7. การหล่อเสาในการทดลองนี้เป็นการหล่อในแนวนอนซึ่งไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริง มีผลให้ข้อมูลในการทดลองมีความผิดพลาด

ข้อเสนอแนะ

1. ในขณะที่หล่อเสาเพื่อใช้ในการทดสอบไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กให้เหล็กชั้นโพล์ออกมาพอดีกับระดับหน้าตัดของเสา แต่ควรเสริมให้มียะหิมคอนกรีตประมาณ 2 เซนติเมตร เพราะหากต้องการเสริมเหล็กชั้นโพล์กับระดับหน้าตัดของเสานั้นเป็นเรื่องยากที่จะตัดเหล็กให้เรียบพอดีชอบ
2. การผูกเหล็กชั้นโพล์ติดกับเหล็กปลอกไม่ควรจัดเหล็กปลอกให้จุด weak อยู่ในแนวเดียวกัน แต่ควรมีการสลับให้จุด weak อยู่สลับกันตลอดช่วงความยาวของเสา
3. ระยะห่างของเหล็กปลอกจะต้องห่างพอเหมาะ ไม่ควรผูกให้ชิดกันเกินไปเพราะทำให้ลด workability ในการเทคอนกรีต และไม่ควรมีเหล็กปลอกให้ห่างกันเกินไปเพราะทำให้เหล็กชั้นโพล์ออกได้ง่ายขณะเพิ่มน้ำหนักทดสอบ
4. ถ้าจะนำผลที่ได้จากการทดลองนี้ไปใช้งานจริง การเลือกขนาดความยาวของเหล็กเสริมพิเศษในช่วงกึ่งกลางเสาจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น ในทางปฏิบัติการรับน้ำหนักของเสาส่วนมากจะมีโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ ความยาวของเหล็กเสริมพิเศษจะต้องพิจารณาส่วนที่รับโมเมนต์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก A

การทดลองเพื่อประกอบการ Mix Design



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก A

การทดสอบเพื่อประกอบการ MIX DESIGN

A.1 การทดสอบหาส่วนคละของมวลรวมละเอียดและมวลหยาบ

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดของมวลรวมละเอียดโดยใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐาน สำหรับหาค่าพิกัดความละเอียด (Finness Modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิกิริยาโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือมวลรวมยิ่งหยาบ ค่าพิกัดความละเอียดยิ่งสูงขึ้น

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมละเอียด คือ ทราย
2. มวลรวมหยาบ คือ หิน
3. ตะแกรงมาตรฐานขนาด เบอร์ 4,8,16,30,50, และ 100 สำหรับทราย
4. ตะแกรงมาตรฐานขนาด $3 \frac{1}{2}$ ", 3", $2 \frac{1}{2}$ ", 2", $1 \frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", และ $\frac{3}{16}$ " สำหรับหิน
5. เครื่องเขย่าตะแกรง
6. ตาชั่งขนาดใหญ่
7. เตาอบ

ขั้นตอนการทดลอง

ก. การหาส่วนขนาดคละของทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบ ด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปรกติควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน
2. เตรียมชุดของตะแกรง ด้วยการทำความสะอาด ไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่อง ชั่งน้ำหนักทุกขนาด และบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับ พร้อมถาดรองอยู่ล่างสุด
3. ค่อยๆ เททรายที่เตรียมไว้แล้ว ลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิท แล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที
4. ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่างๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่ง และจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

ข. การหาส่วนขนาดคละของหิน

1. เตรียมหินสำหรับทดลอง

2. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของทราย ตั้งแต่ข้อ 2-4

ผลการทดสอบ

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างบนตะแกรง (g)	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
# 4	15.75	3.15	3.15
8	64.15	12.83	15.98
16	151.90	30.38	46.36
30	186.50	37.30	83.66
50	71.85	14.37	98.03
100	7.70	1.54	99.57
pan	2.15	0.43	-
	500.00	100.00	346.75

$$\begin{aligned} \text{Finess Modulus ของทราย} &= 346.75/100 \\ &= 3.4675 \end{aligned}$$

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างบนตะแกรง (g)	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
3 1/2"	1294	49.884	49.884
4	1081	41.673	91.557
8	219	8.443	100.000
16	0	0.000	100.000
30	0	0.000	100.000
50	0	0.000	100.000
100	0	0.000	100.000
	2594	100.000	641.441

$$\begin{aligned} \text{Finess Modulus} &= 641.441/100 \\ &= 6.41441 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึ่มของมวลละเอียด

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึ่มของมวลละเอียด ภายใต้สภาวะอิมตัว ผิวแห้ง นอกจากนี้หินหรือกรวดที่มีขนาดเล็กไม่เกิน 3/4" ก็สามารถใช้วิธีนี้ทดสอบได้เช่นกัน

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ทรายที่อยู่ในสภาวะอิมตัวผิวแห้ง
2. พิกโนมิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยขวดโพลีเอทิลีนขนาดบรรจุ 1 ควอต ที่มีฝาแก้วในแนวราบสนิทแน่นกับปากขวด

3. ตาชั่ง
4. ที่วัดอุณหภูมิ
5. เตารอบ
6. โถแก้วกันความชื้น

ขั้นตอนการทดลอง

1. แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าแทนด้วย B
2. นำทรายส่วนหนึ่งเข้าเตารอบให้แห้งสนิท ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาใส่ในโถกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติ จึงนำไปชั่งน้ำหนักใหม่และบันทึกค่าแทนด้วย A

3. เทน้ำที่ทรายอุณหภูมิลงในขวดพิกโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ 3/4 ของขวดนำทรายส่วน B เดิมลงไป เขย่าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็มพอดีปากขวด พร้อมทั้งทำให้ไม่มีอากาศเหลืออยู่เลยเช่นเดียวกัน แล้วจืดปิดฝาแก้ว นำไปชั่งและบันทึกค่าแทนด้วย W

4. จากนั้นจึงนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ความถ่วงจำเพาะ} &= \frac{A}{W_c + B - W} \\ \text{(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)} & \\ \text{ความถ่วงจำเพาะ} &= \frac{B}{W_c + B - W} \\ \text{(ภายใต้สภาวะอิมตัวผิวแห้ง)} & \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ซั่งหลักจากผ่านการอบแห้งสนิท

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิมตัวผิวแห้ง

W_c = น้ำหนักขวดพิกโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำหนักเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปาก

ขวด

W = น้ำหนักขวดพิกโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

ผลการทดสอบ

ความถ่วงจำเพาะ(เมื่อวัสดุผิวแห้ง)	=	$584 / (1333 + 600 - 1695)$
	=	2.45
ความถ่วงจำเพาะ(สภาวะอิมตัวผิวแห้ง)	=	$600 / (1333 + 600 - 1695)$
	=	2.52
อัตราการดูดซึม	=	$\frac{600 - 584}{600} * 100$
	=	2.66 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.3 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึ่มของมวลรวมหยาบ

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึ่มของมวลรวมหยาบ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. มวลรวมหยาบ
2. ตะกร้าลวด
3. เตาดอบ
4. ตาชั่งขนาดใหญ่
5. โถแก้วกันความชื้น

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดลอง ด้วยการล้างให้ทั่วถึง เพื่อให้ฝุ่นผงหรือวัสดุอื่น ๆ ที่ติดกับผิวหลุดออกจนหมด แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชั่วโมง
2. จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 ชั่วโมง
3. นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงบนผ้าผืนใหญ่ที่สามารถดูดซับน้ำได้ กลิ้งวัสดุไปมาเพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตเห็นตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิวของวัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวจะยังชื้นอยู่ก็ตาม หรือถ้าวัสดุเป็นก้อนใหญ่มาก อาจจับมาเช็ดเป็นก้อนๆ ก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดการระเหยหายไปของน้ำขณะอยู่ในขั้นตอนนี้
4. วัสดุที่จับขึ้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่า อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (saturated surface dry) ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนัก เพื่อบันทึกไว้ แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวด และทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันที และบันทึกค่าไว้เช่นกัน
5. หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาดอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง 100-110 องศา ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาใส่ในโถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติอีกประมาณ 1-3 ชั่วโมง จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง
6. จากนั้นให้นำค่าต่างๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

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

$$(\text{ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ})$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{B}{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง) ที่การศึกษา B - C ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ความถ่วงจำเพาะ} &= \frac{B}{A - C} \\ \text{(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)} & \\ \text{อัตราการดูดซึ่ม} &= \frac{B - A}{A} \times 100 \% \end{aligned}$$

โดยที่

A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศ หลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศ ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

C = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

ผลการทดลอง

$$\begin{aligned} \text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ} &= 4931 / (4955 - 3050) \\ \text{(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)} &= 2.59 \\ \text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ} &= 4955 / (4955 - 3050) \\ \text{(ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)} &= 2.60 \\ \text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ} &= 4931 / (4931 - 3050) \\ \text{(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)} &= 2.62 \\ \text{อัตราการดูดซึ่ม} &= (4955 - 4931) * 100 / 4931 \\ &= 0.487 \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.4 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมหยาบต่อหน่วยปริมาตร ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. มวลรวมหยาบ
2. ตาชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.3% ของน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
3. เหล็กกระทุ้ง
4. ภาชนะสำหรับวัดหน่วยน้ำหนัก อาจเป็นภาชนะโลหะรูปทรงกระบอก

ขั้นตอนการทดลอง

ก. การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

1. เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็ม และทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส
2. วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก โดยเทียบจำตาราง
3. หาค่าแฟคเตอร์ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำด้วยน้ำหนักของ

น้ำใน

ภาชนะ

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	กก/ม ³
15.6	999.01
18.3	998.53
21.1	997.97
23.0	997.53
23.9	997.32
26.7	996.60
29.4	995.80

ข. การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่นโดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง

1. เทมวลรวมสำหรับทดสอบลงในภาชนะให้สูงประมาณ 1/3 เท่า และเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบและใช้เหล็กกระทุ้งให้เกิดบดถึงกัน โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้งเสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวขอบบนของภาชนะ อย่าให้บวมหรือโปนเป็นอันขาดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าว เพื่อคำนวณน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแท้โดยชั่งให้ได้ความละเอียดถึง 0.1% แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3 ของข้อ ก. จะได้ค่าน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดแน่น

ผลการทดลอง

	น้ำหนักภาชนะ	1.3 กิโลกรัม
	น้ำหนักภาชนะ + น้ำ	22.3 กิโลกรัม
ดังนั้น	น้ำหนักน้ำ	$22.3 - 1.3 = 21.3$ กิโลกรัม
	น้ำหนักภาชนะ + หิน	34.0 กิโลกรัม
ดังนั้น	น้ำหนักหิน	$34.0 - 1.3 = 32.7$ กิโลกรัม
	แฟคเตอร์ของภาชนะ	$= 994.92/21 = 47.377$
ดังนั้น	หน่วยน้ำหนักของหิน	$= 32.7 * 47.377 = 1549.23$ กก./ม ³



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.5 การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาอัตราของปริมาณความชื้นทั้งหมดที่อยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับซึ่งผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด
2. ตาชั่ง
3. เตาเผา
4. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง
5. แท่งเหล็ก สำหรับคนมวลรวม

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมขึ้นที่จะนำมาทดสอบ แล้วเทลงภาชนะบรรจุนำไปใส่หรือวางบนเตาเผา ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะๆ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึงกัน

2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวม จะหาได้จากสูตร

$$P = 100 * (W - D) / D$$

โดยที่

P = ปริมาณความชื้น %

W = น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา

D = น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

ผลการทดลอง

หิน

ก่อนเข้าเตาอบ

น้ำหนักถาด = 432 g

น้ำหนักถาด+หิน = 2789 g

ดังนั้น น้ำหนักหิน = 2789 - 432 = 2457 g

หลังเข้าเตาอบ

น้ำหนักถาด = 247 g

น้ำหนักถาด+หิน = 2603 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ตั้งนั้น} \quad \text{น้ำหนักหิน} &= 2702 - 247 = 2455 \text{ g} \\
 \text{ตั้งนั้น} \quad \text{P} &= 100 * (2457 - 2455) / 2455 \\
 &= 0.082 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ทราย} \quad \text{ก่อนเข้าเตาอบ} \\
 \quad \text{น้ำหนักถาด} &= 432 \text{ g} \\
 \quad \text{น้ำหนักถาด+ทราย} &= 982 \text{ g} \\
 \text{ตั้งนั้น} \quad \text{น้ำหนักทราย} &= 982 - 432 = 550 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{หลังเข้าเตาอบ} \\
 \quad \text{น้ำหนักถาด} &= 247 \text{ g} \\
 \quad \text{น้ำหนักถาด + ทราย} &= 786 \text{ g} \\
 \text{ตั้งนั้น} \quad \text{น้ำหนักทราย} &= 786 - 247 = 539 \text{ g} \\
 \text{ตั้งนั้น} \quad \text{P} &= 100 * (550 - 539) / 539 \\
 &= 2.04 \%
 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.6 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

วัตถุประสงค์

ต้องการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐาน ASTM

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. แท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องผสมคอนกรีต
6. เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
7. เครื่องหล่อห่มวก หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดสอบ

ก. การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว
2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยก หรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข. การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ ๆ
2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อคอนกรีตเต็มแล้วจึงปาดผิวหน้าให้เรียบ
3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉยๆ ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก นำแท่งคอนกรีตไปบ่ม โดยแช่ในถังบ่ม จนถึงอายุที่ต้องการทดสอบ

ค. การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีต ให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนทดสอบควรตรวจสอบหน้าหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ ซึ่งด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบดิ่งกล่าวไม่ควรเอียงมากเกินกว่า 0.5 องศา หากไม่ได้อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน

ง. การทดสอบ

ค่าความเค้นอัดประลัยของแท่งคอนกรีตจะหาได้จากสูตร

$$f = P/A$$

โดยที่

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ $D^2/4$

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ยจากการวัดสองทิศทางตั้งฉากกัน ที่

กึ่ง

กลางความสูงของแท่งตัวอย่าง

ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำ Mix Design
CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions(cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg)	Compressive Strength	Remark
		Cross Section	Height							KSC	
1	250 KSC	14.873	29.80	12.464	11	14 ธ.ค. 36	21 ธ.ค. 36	7	40,200	227.50	
2	250 KSC	14.855	29.51	12.351	11	14 ธ.ค. 36	21 ธ.ค. 36	7	40,740	230.54	
3	250 KSC	14.805	29.82	12.422	11	14 ธ.ค. 36	21 ธ.ค. 36	7	40,860	231.22	
4	250 KSC	14.903	30.10	12.648	11	14 ธ.ค. 36	21 ธ.ค. 36	7	40,890	231.39	
5	250 KSC	14.743	30.00	12.402	11	14 ธ.ค. 36	21 ธ.ค. 36	7	41,880	236.99	

TYPE OF SAMPLE

CUBE

CYLINDER

TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

A.7 การทดสอบ Tensile Of Steel

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาว่าเหล็กแท่งนั้นจะมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการหล่อเสาตามมาตรฐาน ACI

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม.
2. เครื่องมือทดสอบการดึงเหล็ก (Universal Testing Machine)
3. ปากกา
4. ไม้บรรทัด
5. เวอร์เนีย

ขั้นตอนการการทดสอบ

1. ทำความสะอาดเหล็ก โดยการขัดฝุ่นออกให้หมด เลือกเส้นที่มีสนิมไม่มากนัก หรือปราศจากสนิมก็จะดี
2. ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก ความยาว แล้วคำนวณหาพื้นที่ผิวของเหล็กแต่ละแท่งที่นำมาทดสอบ
3. ทำเครื่องหมายไว้บนแท่งเหล็กทุกแท่ง โดยมีระยะห่างระหว่างเครื่องหมายประมาณ 3 เซนติเมตร
4. นำเข้าเครื่อง Universal Testing Machine เพื่อหาค่ากำลังจุดคลากและกำลังดึงประลัยและหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดหด
5. บันทึกผลการทดสอบ

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TENSILE TEST OF STEEL

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Type of steel		Length (cm)	Weight (kg)	Diameter (mm)	Cross Sectional Area(cm ²)	Load		Tensile Stress		Gauge length (cm)	Elongation		Remark
	R.B.	D.B.					Yield (kg)	Ultimate (kg)	Yield (KSC)	Ultimate (KSC)		(cm)	(%)	
1	6 SR 24	-	92.90	205	5.86	0.2697	930	1320	3448.28	4894.33	3.00	4.00	33.33	
2	6 SR 24	-	93.20	204	6.03	0.2855	900	1620	3152.36	5674.26	3.00	4.00	33.33	
3	6 SR 24	-	93.20	200	5.94	0.2771	1260	1500	4547.10	5413.21	3.00	4.10	36.67	

TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

ภาคผนวก B

การทดลองผสม Mix Design วิธี ACI



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก B

การทดลองผสม Mix Design วิธี ACI

การคำนวณหาปริมาณส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไปซึ่งหล่อในที่อาจจะดำเนินเป็นขั้นตอนตามวิธีการซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI 211.1-70) ดังต่อไปนี้ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอนและไม่เปลี่ยนแปลงและถูกต้อง ทั้งนี้จะต้องทราบถึงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วงน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียดและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ เป็นต้น อีกทั้งวัสดุผสมต้องมีขนาดคละอยู่ในพิสัยที่กำหนดด้วย

1. เลือกค่าความยวบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่าความยวบตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และให้ได้ความชื้นเหลวพอทำงานได้สะดวก ในกรณีที่มีได้กำหนดค่าความยวบตัวมาให้ ค่าความยวบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน เลือกใช้ได้จากตารางแสดงค่าความยวบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้าง

2. เลือกขนาดโตนุสของวัสดุผสม

ขนาดโตนุสของวัสดุผสม ไม่ควรเกินกว่า 1/5 ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบ ขนาดโตนุสของวัสดุผสมหยาบที่เหมาะสมกับประเภทการใช้งานอาจเลือกได้จากตารางแสดงขนาดโตนุสของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

3. ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

จากตารางแสดงปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยวบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตนุส รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม ในตารางดังกล่าวยังให้ค่าปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมคอนกรีตที่ไม่มีสารทำให้เกิดฟองอากาศและปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อใส่สารทำให้เกิดฟองอากาศ

4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะที่คอนกรีตนั้นถูกนำออกไปใช้งาน และกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตสำหรับวัสดุผสมที่จะใช้ผสมคอนกรีต ก็ให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์จากตารางแสดงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดผิวยานแรง โดยให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับประเภทงาน หรือตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยจะให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ในคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรย่อมหาได้ซึ่งเท่ากับ ปริมาณน้ำจากชั้นที่ 3 ทหารด้วยอัตราส่วนจากชั้นที่ 4 อย่างไรก็ดี ถ้ากำหนดปริมาณซีเมนต์ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตมาให้ก็ให้เลือกใช้ค่ามากที่สุดจากที่คำนวณได้หรือที่กำหนดให้

6. คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ

จากตารางแสดงปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตในสภาพแห้งและอัดแน่น ในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งแตกต่างกันตามค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายที่ใช้และขนาดโดที่สูงสุดของหินที่ใช้ ปริมาณของวัสดุผสมหยาบคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัสดุผสมหยาบคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบนั้น

7. ปริมาณปริมาณวัสดุผสมละเอียด

เมื่อได้ค่าต่างๆ ของส่วนผสมจนถึงลำดับที่ 6 แล้ว ปริมาณของวัสดุผสมละเอียดจะหาได้ดังนี้

ปริมาณเนื้อแท้ของวัสดุผสมละเอียด = ปริมาตรของคอนกรีต - ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสมต่างๆ (ยกเว้นทราย)

โดยที่ ปริมาตรเนื้อแท้ (ซึ่งเป็นปริมาตรที่ไม่มีช่องว่างในเนื้อ) ของวัสดุคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ และน้ำหนักวัสดุ กล่าวคือ

$$\text{ปริมาตร เนื้อแท้} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ} \times \text{หน่วยน้ำหนักน้ำ}}$$

8. ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

ตามปกติ วัสดุผสมที่ใช้งานจริงจะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิมพัลและผิวแห้ง ฉะนั้น จึงต้องแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่ติดมาและลดน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน ในกรณีที่วัสดุผสม แห้งกว่าสภาวะอิมพัลและผิวแห้ง จะต้องแก้ส่วนผสมเช่นเดียวกันในทางตรงกันข้าม

MIX DESIGN

FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG BANGKOK, THAILAND, TEL, 3269974

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

* MIX DESIGN BY ACI METHOD *

PROJECT NAME : EFFECT OF EXTRA REINFORCEMENT ON SLENDER COLUMN ENGINEER

LOCATION : CIVIL ENG. KMITL. DATE : 22/12/1993
TIME : 14.00

CYLINDER STRENGTH : 250 KSC.

REQUIRED SLUMP : 8 - 10 CM.

INGREDIENTS : COARSE AGGREGATE - MAXIMUM SIZE : 12.50 MM.
UNIT WEIGHT : 1550 KG/M³
SPECIFIC GRAVITY : 2.52
FINE AGGREGATE - FINENESS MODULUS : 3.467
SPECIFIC GRAVITY : 2.60

CEMENT - TYPE III

TYPE OF CONCRETE : NON-AIR-ENTRAINED CONCRETE

BATCH WEIGHTS PER CUBIC METRE OF CONCRETE :-

WATER = 224 KG.

CEMENT = 308 KG.

FINE AGGREGATE = 828 KG.

COARES AGGREGATE = 867 KG.

PRODURTIONS BY WEIGHT :- CEMENT : FINE AGGREGATE: COARES AGGREGATE

1 : 2.69 : 2.81

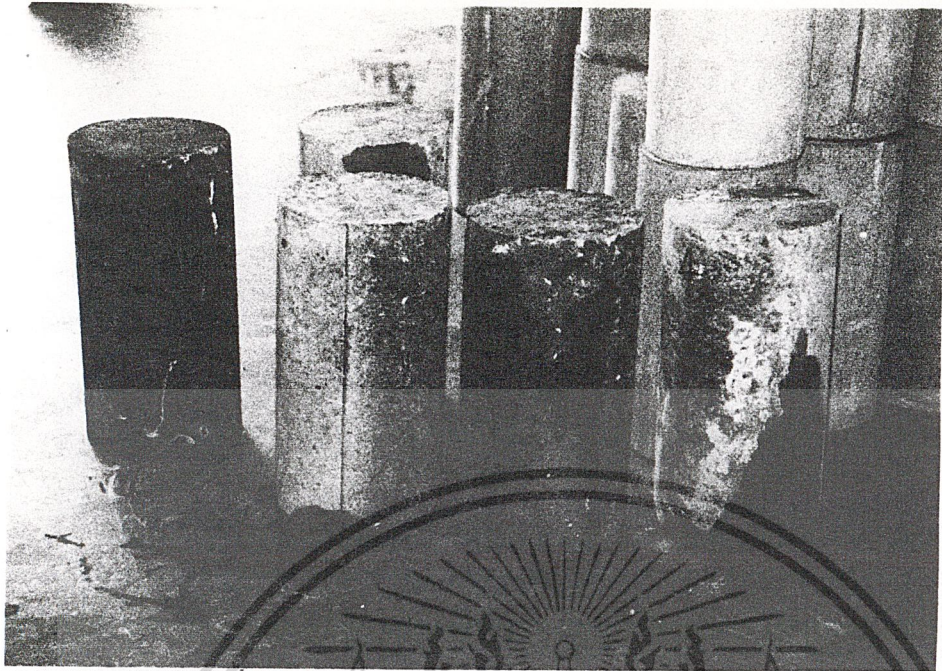
[W/C RATIO = 0.70]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

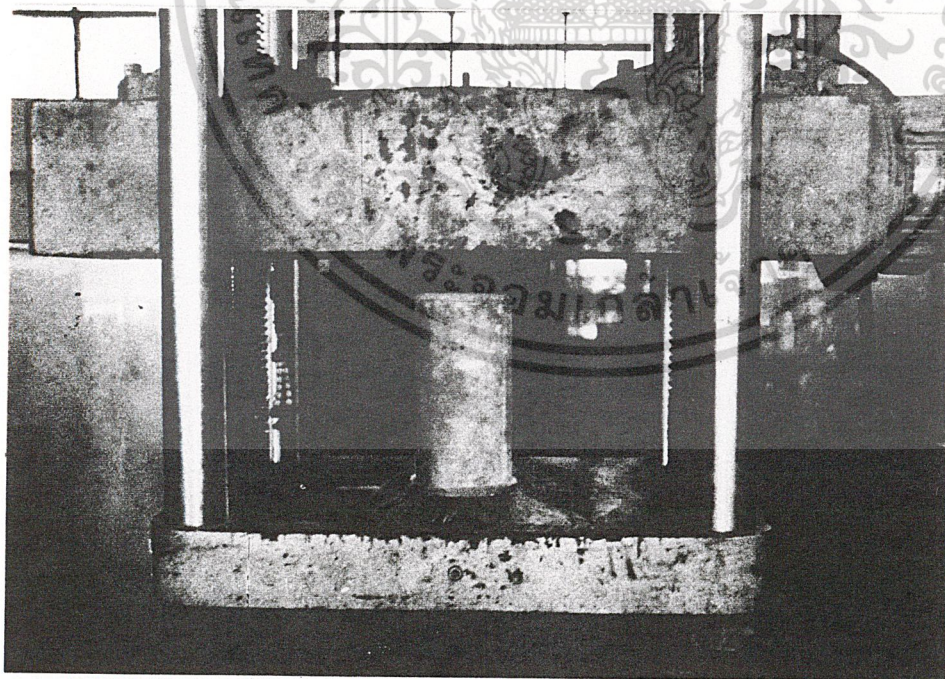
ภาคผนวก C

รูปประกอบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

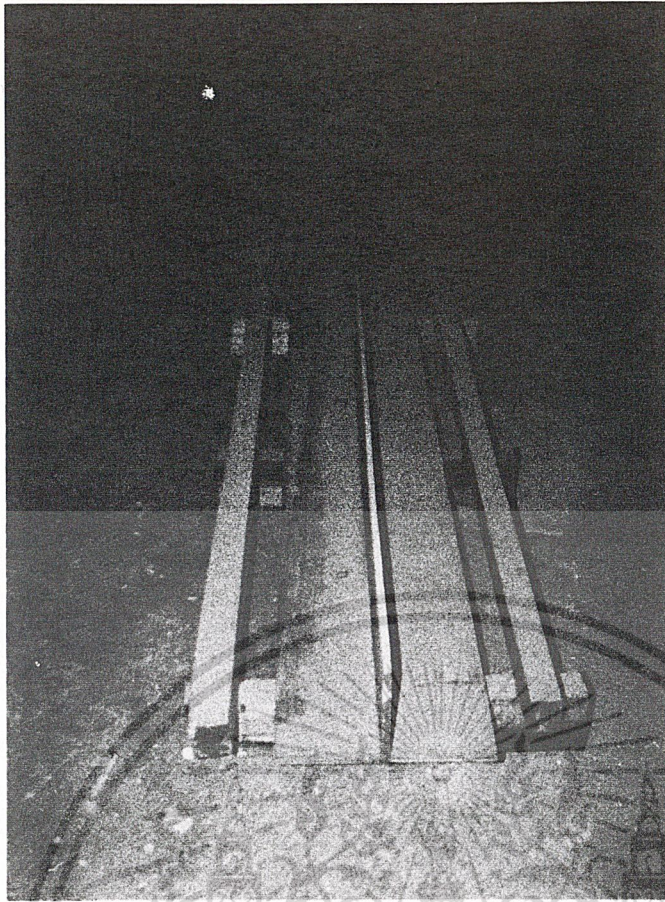


รูปที่ 1 แสดงแท่งคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบหลังการ Mix Design

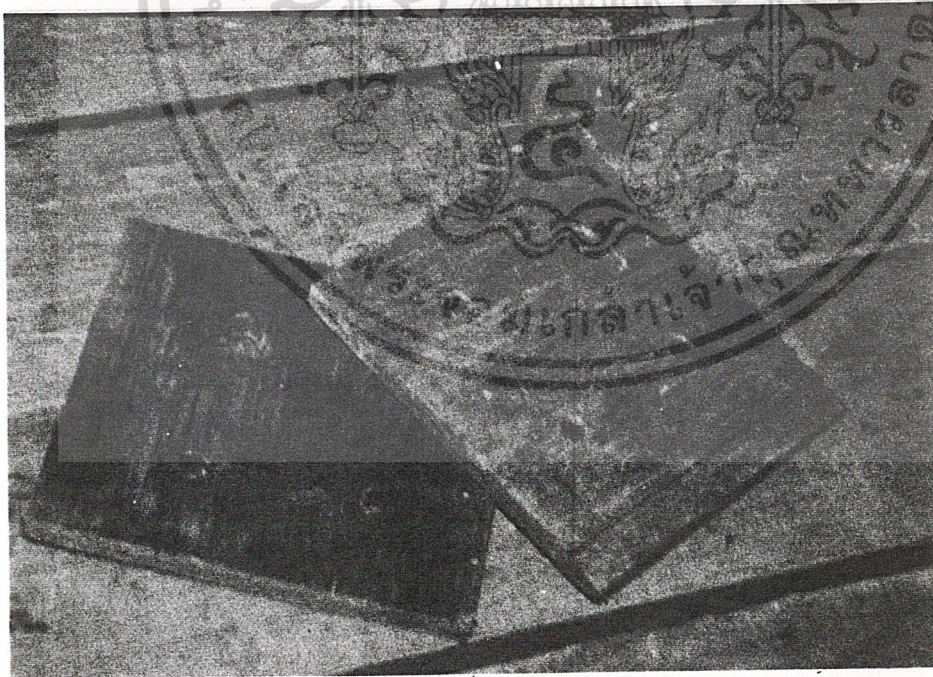


รูปที่ 2 ขณะทำการทดสอบลูกปุ่นเพื่อการทำ Mix Design

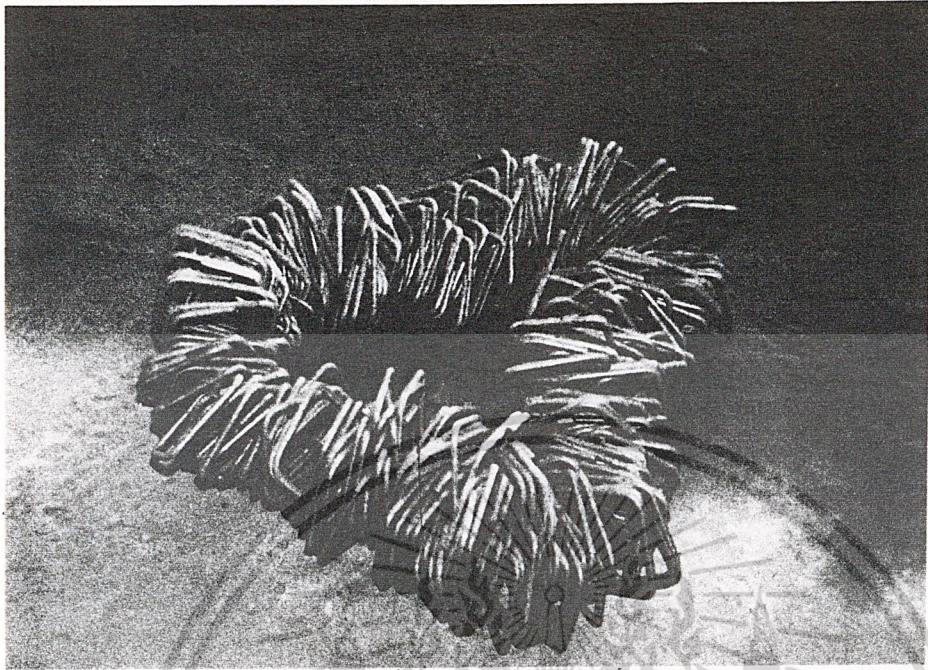
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของ formwork โดยคร่าวๆ



รูปที่ 4 แผ่นปิดหัวท้ายของ formwork เเจาะรูเพื่อให้เหล็กแกนสามารถสอดผ่านออกได้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

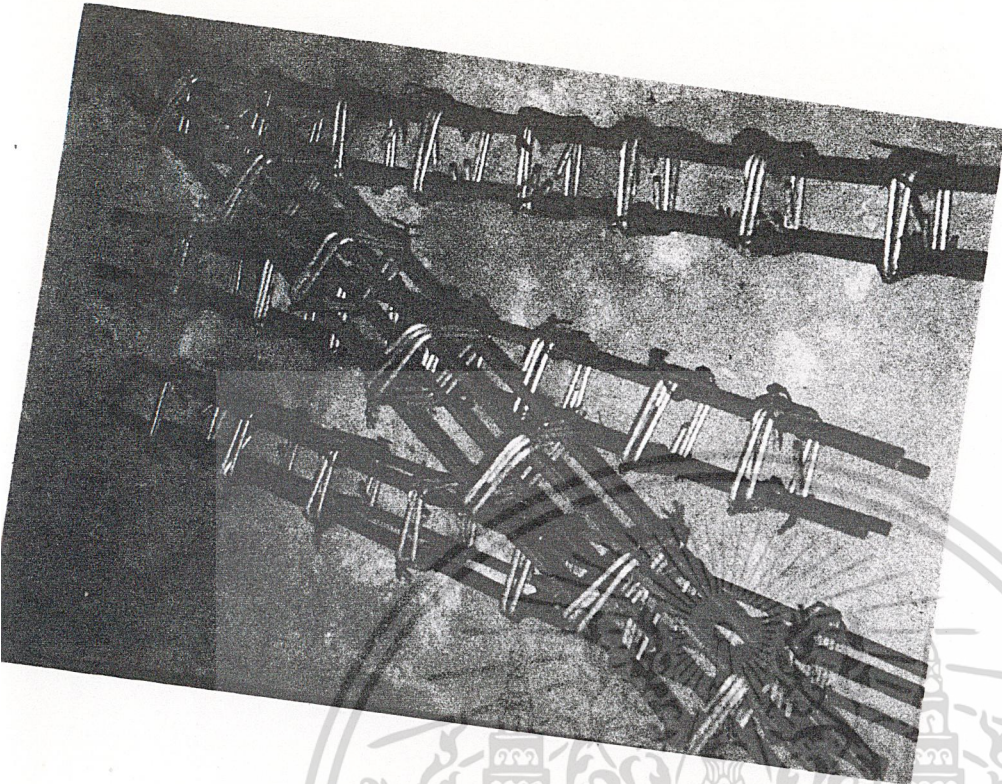


รูปที่ 5 แสดงเหล็กปลอกเดี่ยว



รูปที่ 6 รูปแสดงขณะทำการผูกเหล็กปลอกกับเหล็กแกน

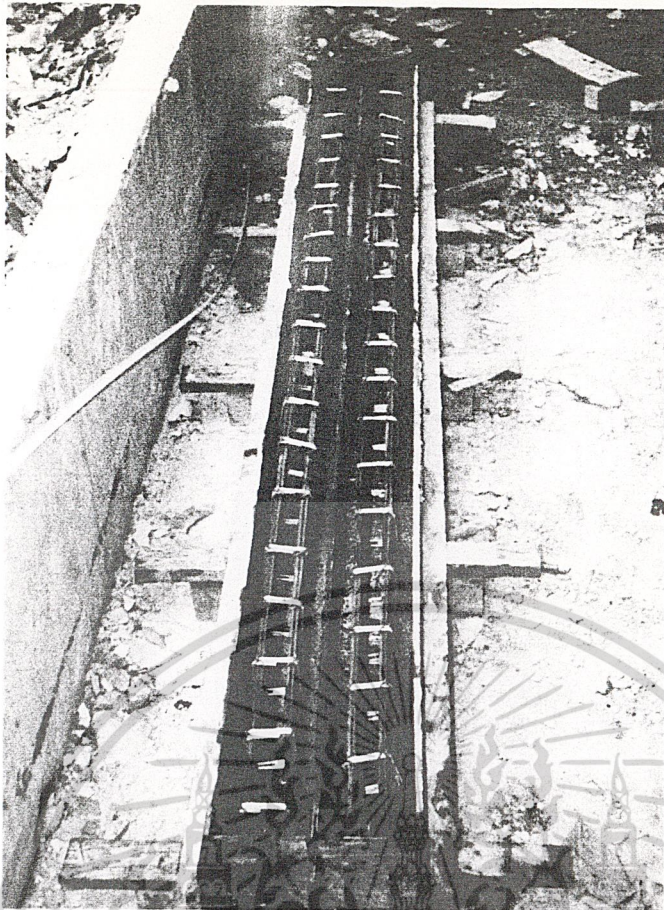
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 แสดงโครงแกนเหล็กของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก



ที่ 8 แสดงการประกอบ formwork ติดตั้งหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คัดลอกแบบต้นร่าง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

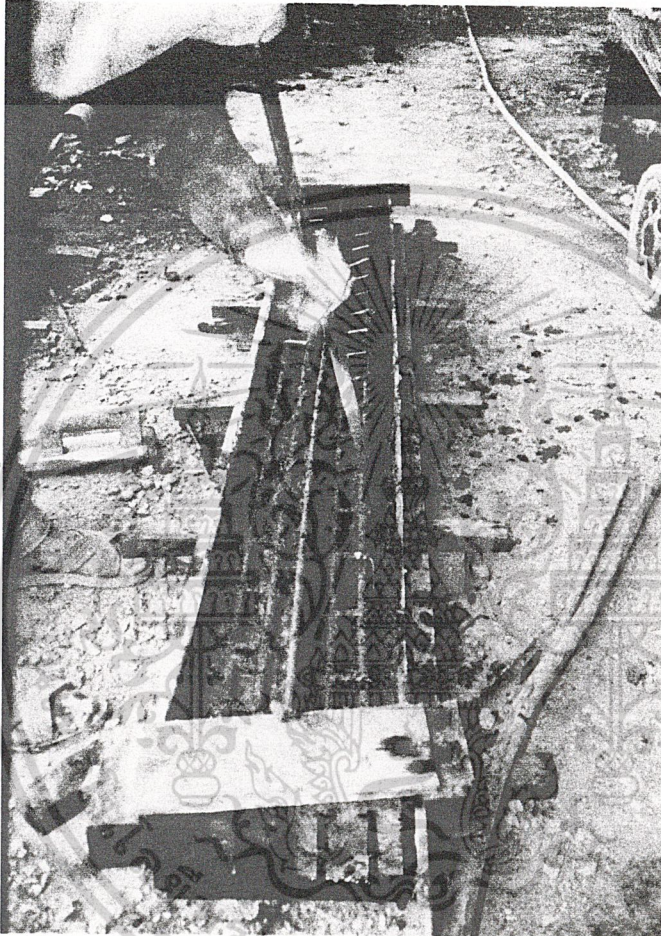


รูปที่ 9 แสดงการประกอบ formwork และโครงเสาช้ำด้วยกัน



รูปที่ 10 แสดงการไม่ส่วนผสมคอนกรีตที่ได้จากการทำ Mix Design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แสดงการเทคอนกรีตลงใน formwork ที่ประกอบพร้อมทำไม้แบบพร้อมแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงการกระแทกคอนกรีต



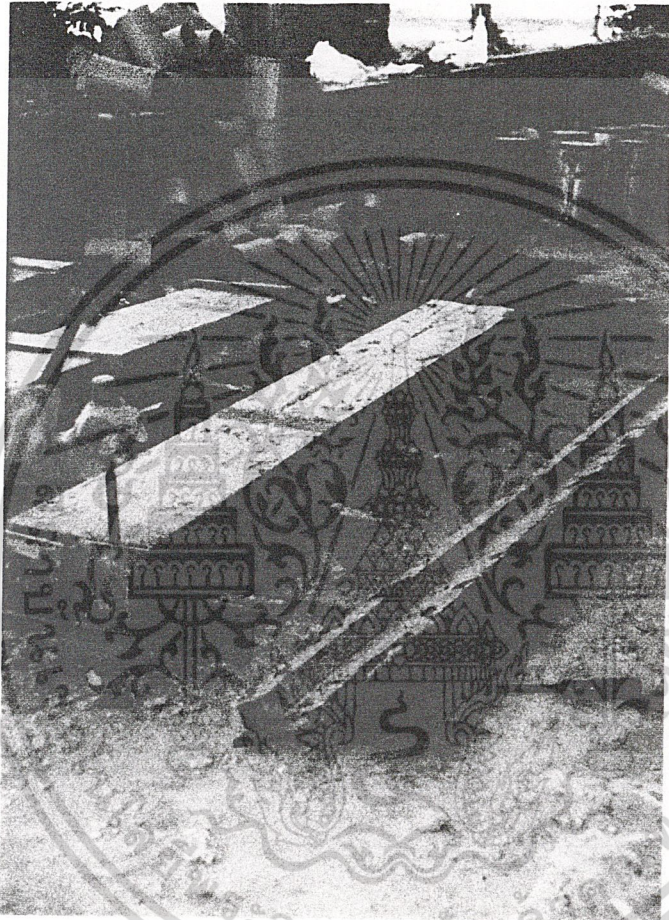
รูปที่ 13 เมื่อเทคอนกรีตเรียบร้อยแล้วพร้อมรัดปากแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 เมื่อเทคอนกรีตเรียบร้อยแล้วพร้อมรัดปากแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

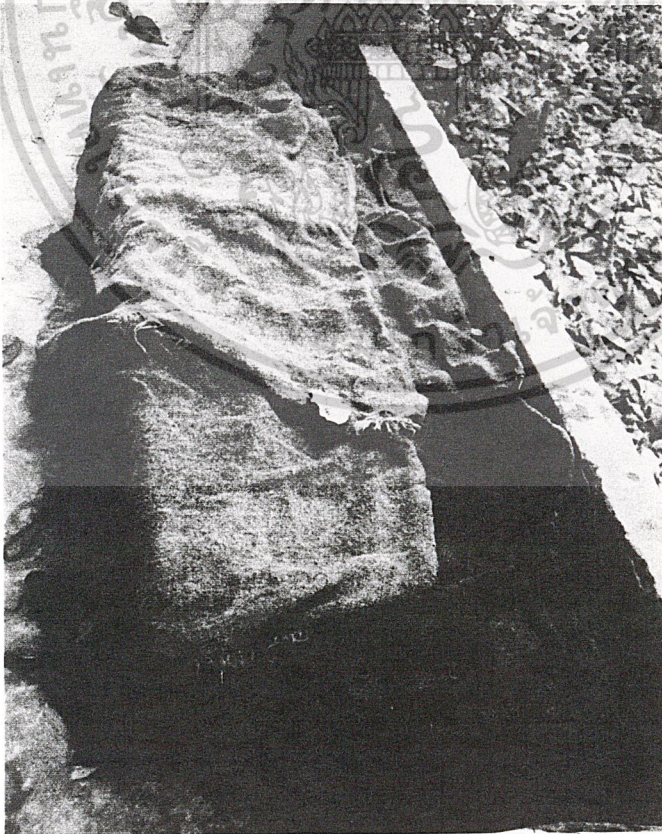


รูปที่ 15 แสดงการถอดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่พร้อมทำการบ่มแล้ว



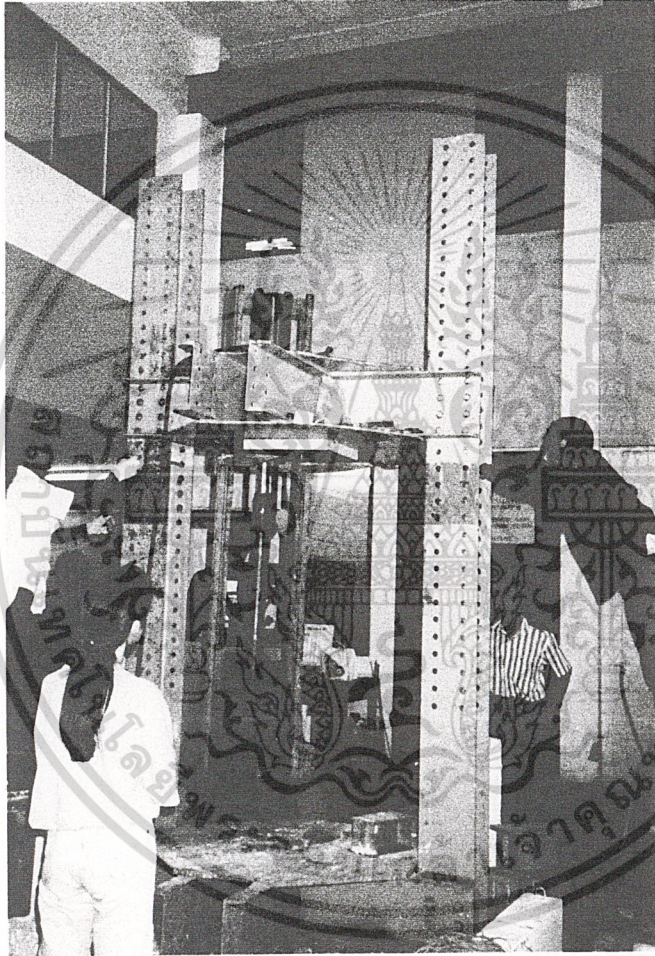
รูปที่ 17 แสดงขณะทำการบ่มคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



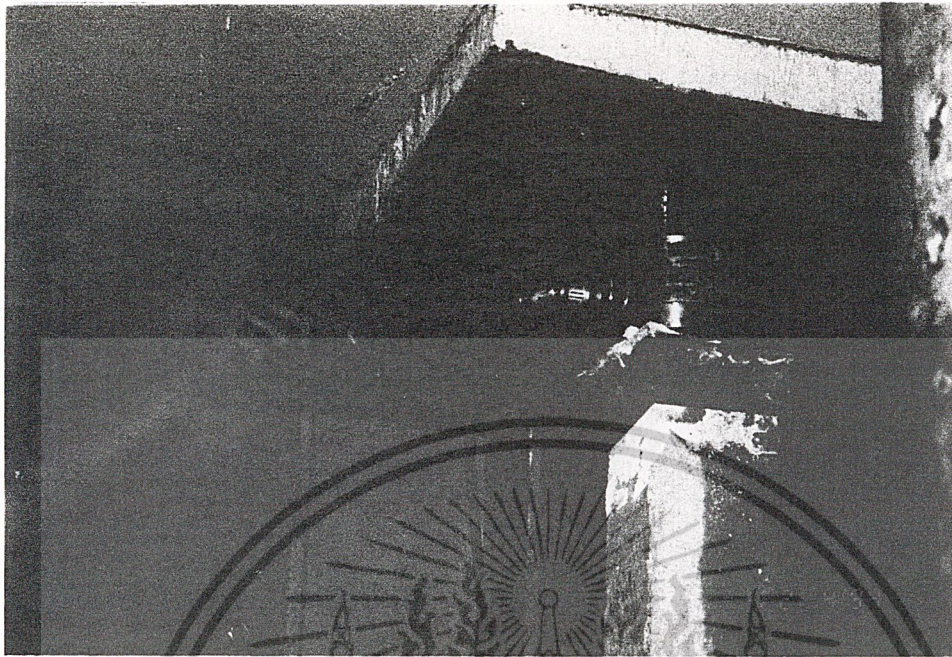
รูปที่ 18 แสดงชุดเครื่องกล Hydranlic Jack พร้อมกับ Steel Frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

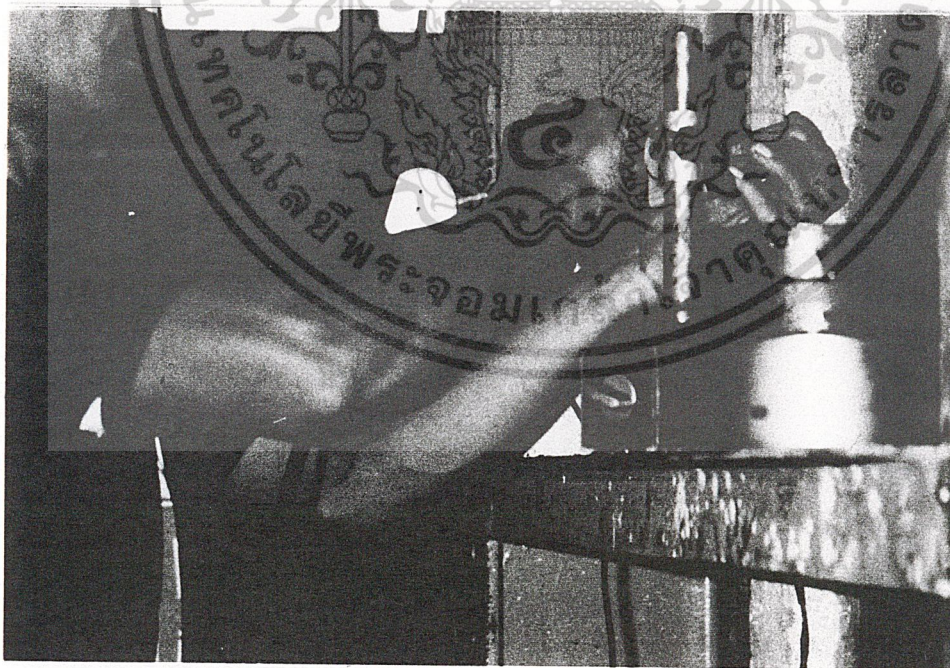


รูปที่ 19 ขณะทำการเลื่อนตัว Steel Frame ด้านบนเพื่อทำการติดตั้งเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

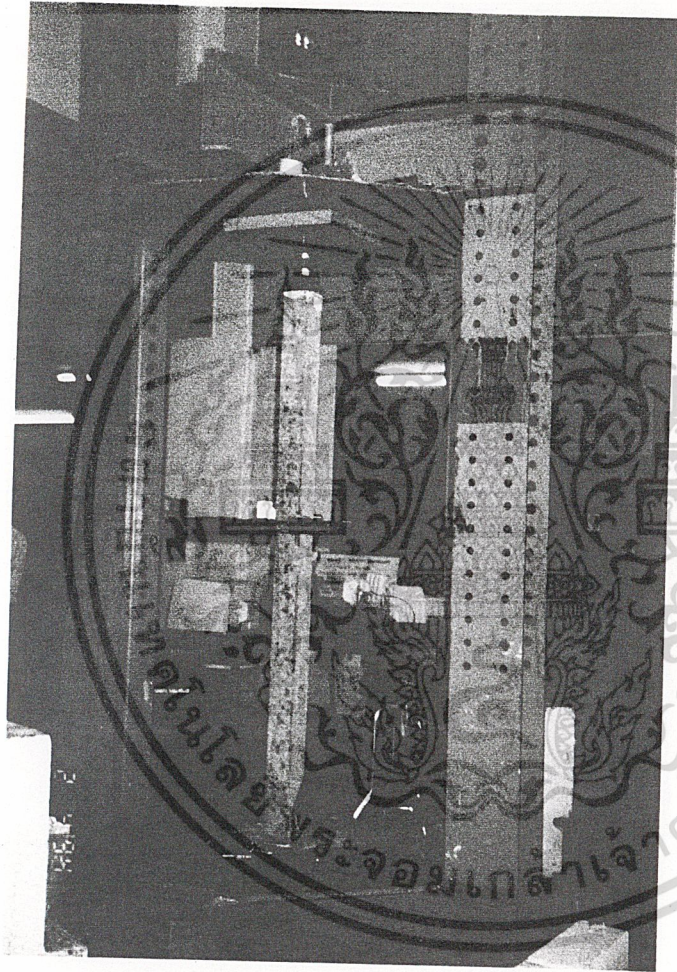


รูปที่ 20 แสดงขณะทำการติดตั้ง Load Cell



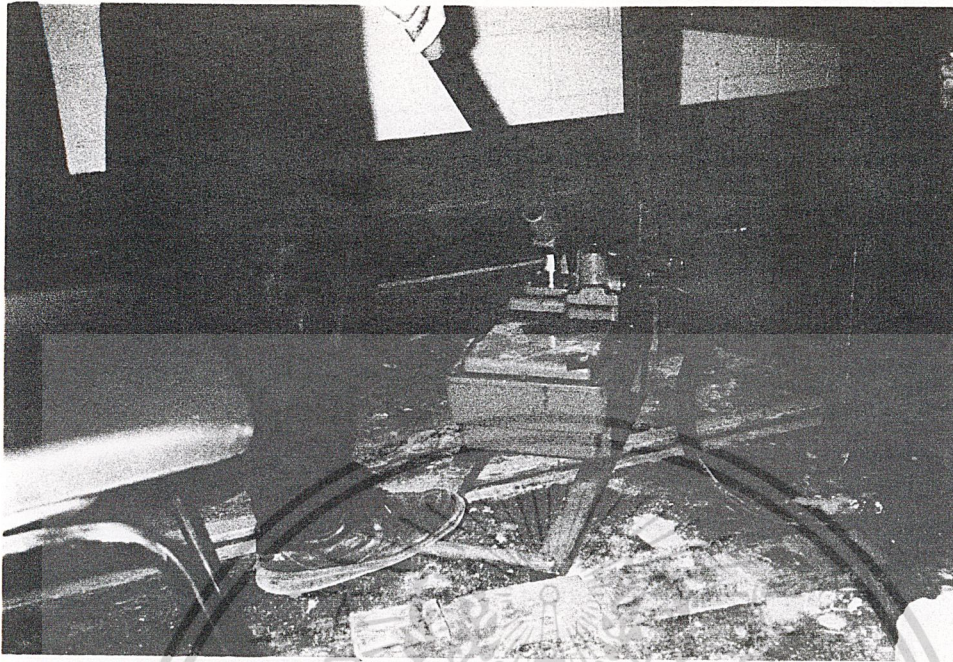
รูปที่ 21 แสดงทำการติดตั้ง Dial Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 แสดงขณะทำการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

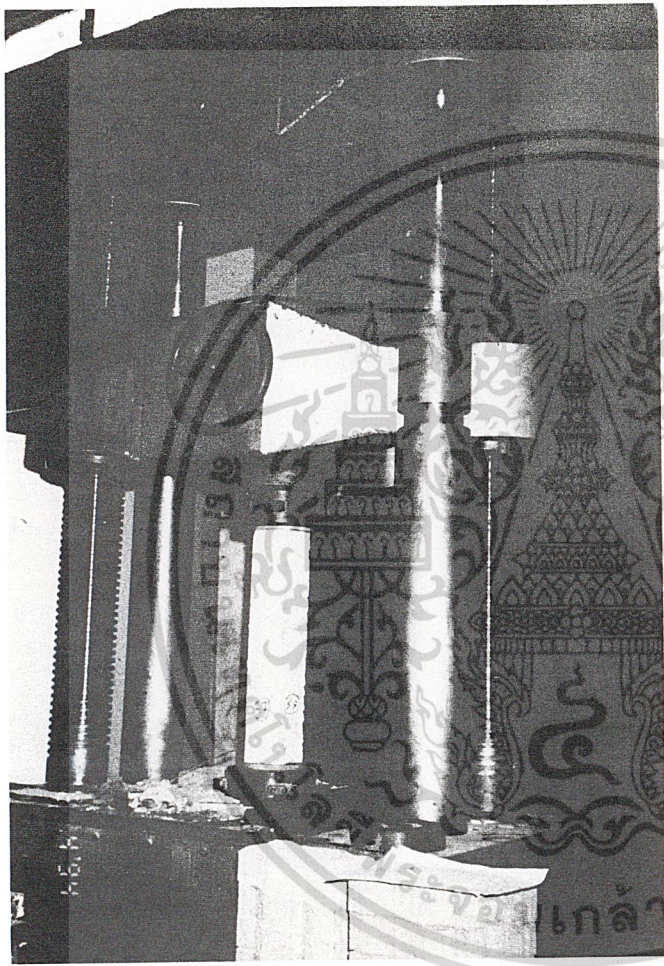


รูปที่ 23 แสดงเครื่อง Hydranlic เมื่อทำการเพิ่ม Load



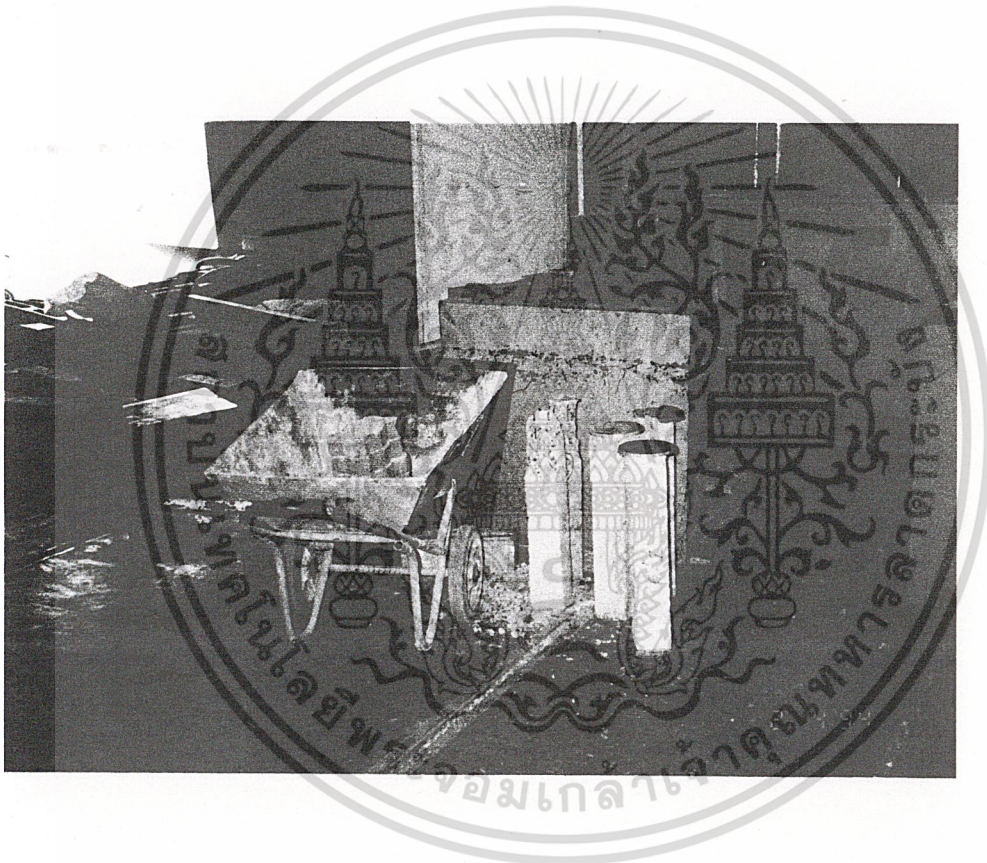
รูปที่ 24 แสดงการแตกของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 แสดงการใช้เครื่องมือ Universal Testing Machine ทำการทดสอบเสาต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 แสดงการพังทลายของเสาต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก D

การทดลองกำลังอัดคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสาในวันที่ 23 ธันวาคม 2536

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions(cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg)	Compressive Strength	Remark
		Cross Section	Height							KSC	
1	250 KSC	14.963	29.90	12.412	10.50	23 ธ.ค. 36	30 ธ.ค. 36	7	44,260	250.46	
2	250 KSC	14.871	28.95	12.501	10.50	23 ธ.ค. 36	30 ธ.ค. 36	7	44,080	249.44	
3	250 KSC	14.99	30.01	12.012	10.50	23 ธ.ค. 36	30 ธ.ค. 36	7	44,260	250.46	

TYPE OF SAMPLE

CUBE

CYLINDER

TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสาในวันที่ 27 ธันวาคม 2536

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions(cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg)	Compressive Strength	Remark
		Cross Section	Height							KSC	
1	250 KSC	14.873	29.75	12.542	11.50	27 ธ.ค. 36	3 ม.ค. 37	7	45,160	255.55	
2	250 KSC	14.962	29.90	12.612	11.50	27 ธ.ค. 36	3 ม.ค. 37	7	44,200	250.12	
3	250 KSC	14.790	30.10	12.460	11.50	27 ธ.ค. 36	3 ม.ค. 37	7	44,230	250.29	

TYPE OF SAMPLE



CUBE



CYLINDER

TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสาในวันที่ 28 ธันวาคม 2536

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions(cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg)	Compressive Strength	Remark
		Cross Section	Height							KSC	
1	250 KSC	14.890	29.25	12.621	10	28 ธ.ค. 36	4 ม.ค. 37	7	41,160	232.92	
2	250 KSC	14.910	29.91	12.420	10	28 ธ.ค. 36	4 ม.ค. 37	7	41,760	236.31	
3	250 KSC	14.810	29.50	12.415	10	28 ธ.ค. 36	4 ม.ค. 37	7	41,940	237.33	

TYPE OF SAMPLE CUBE CYLINDER TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสาในวันที่ 3 มกราคม 2537

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions(cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg)	Compressive Strength	Remark
		Cross Section	Height							KSC	
1	250 KSC	14.980	29.90	12.463	11	3 ม.ค. 37	10 ม.ค. 37	7	41,600	235.41	
2	250 KSC	14.672	29.83	12.321	11	3 ม.ค. 37	10 ม.ค. 37	7	42,320	239.48	
3	250 KSC	14.700	29.95	12.640	11	3 ม.ค. 37	10 ม.ค. 37	7	42,680	241.52	

TYPE OF SAMPLE



CUBE



CYLINDER

TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสาในวันที่ 4 มกราคม 2537

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions(cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg)	Compressive Strength	Remark
		Cross Section	Height							KSC	
1	250 KSC	14.632	29.70	12.465	10	4 ม.ค. 37	11 ม.ค. 37	7	42,920	242.88	
2	250 KSC	14.946	29.90	12.602	10	4 ม.ค. 37	11 ม.ค. 37	7	43,340	245.25	
3	250 KSC	14.830	30.10	12.523	10	4 ม.ค. 37	11 ม.ค. 37	7	42,800	242.20	

TYPE OF SAMPLE



CUBE



CYLINDER

TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสาในวันที่ 5 มกราคม 2537

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions(cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg)	Compressive Strength	Remark
		Cross Section	Height							KSC	
1	250 KSC	14.870	29.93	12.465	9.50	5 ม.ค. 37	12 ม.ค. 37	7	43,340	245.25	
2	250 KSC	14.900	29.80	12.312	9.50	5 ม.ค. 37	12 ม.ค. 37	7	43,820	247.97	
3	250 KSC	14.860	29.80	12.561	9.50	5 ม.ค. 37	12 ม.ค. 37	7	42,320	239.48	

TYPE OF SAMPLE



CUBE



CYLINDER

TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อเสาในวันที่ 6 มกราคม 2537

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

Project The effect of extra reinforcement in a long column

Engineer Uma Seeboonruang

Malynn Cheauthanapinyo

Specimen No.	Code of Structure	Dimensions(cm)		Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg)	Compressive Strength	Remark
		Cross Section	Height							KSC	
1	250 KSC	14.981	29.90	12.462	10.50	6 ม.ค. 37	13 ม.ค. 37	7	43,880	248.31	
2	250 KSC	14.876	29.75	12.416	10.50	6 ม.ค. 37	13 ม.ค. 37	7	44,000	248.99	
3	250 KSC	14.821	30.15	12.522	10.50	6 ม.ค. 37	13 ม.ค. 37	7	44,140	249.78	

TYPE OF SAMPLE



CUBE



CYLINDER

TEST AT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG