พฤติกรรมของเสาสั้นเมื่อเสริมเหล็กเกินมาตรฐาน ว.ส.ท. (8%)

โดย

นายไพศาล ลอยลาวัลย์

นายสมคิด ฉัตรสุวรรณกิจ

ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

หน้าอนุมัติ

ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี–พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับรายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

.....

(อาจารย์ สุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง

กรรมการวัดผลการวิจัย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล)

..... กรรมการ

(อ.ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ วิบูลย์ วุฒิญาณ)

..... กรรมการ

(อ.ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ เกษม อมันตกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ศักดิ์ชัย สถานุพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

เนื่องจากเสาเป็นส่วนที่รับน้ำหนักของอาคาร เพื่อถ่ายลงไปสู่รากฐาน ดังนั้น เสาจึงเป็นส่วนของอาคารที่มีความจำเป็นต้องรับน้ำหนักจากอาคารให้ได้ เมื่อน้ำหนักจากอาคารมีขนาดมาก เช่น ในอาคารสูงต่าง ๆ จำเป็นจะต้องใช้เสาที่มีขนาดหน้งตัดใหญ่มาก และเหล็กที่เสริมก็ต้องมีปริมาณมากเหมือนกัน เพื่อจะได้ลดขนาดของเสาลงได้บ้าง ซึ่ง ว.ส.ท. กำหนดไว้ว่าให้เสริมเหล็กได้มากที่สุดเป็นปริมาณ 8% ของพื้นที่หน้าตัดเสา เพื่อการทำงานที่สะดวกแต่บางโอกาส เช่น ที่จุดต่อของเสา ถ้าแต่ละส่วนเสริมเหล็กเกิน 4% แล้วนำมาต่อเหล็กทาบกัน จะทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมเกิน 8% ซึ่งเป็นที่ทราบดีอยู่แล้วว่า คอนกรีตเป็นส่วนที่รับแรงอัดได้ดี ถ้ามีขนาดหน้าตัดน้อยลงไปและระยะหุ้มของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมอยู่เหลือน้อยลงจะทำให้เสารับแรงได้น้อยลงไป แต่เหล็กเสริมที่เพิ่มขึ้นก็จะมีส่วนทำให้รับกำลังได้มากขึ้นเหมือนกัน ผู้วิจัยเองก็ต้องการจะทราบและหาข้อสรุปเกี่ยวกับการเสริมเหล็กในเสาปลอกเดี่ยวเกิน 8% รวมทั้งพฤติกรรมการพังทลายด้วย

สุดท้ายนี้ หวังว่ารายงานฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านและเกี่ยวข้องกับวงการก่อสร้างไม่มากก็น้อย อย่างไรก็ดี รายงานฉบับนี้อาจมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง จึงขออภัยมา ณ. ที่นี้ด้วย จึงได้ทำงานวิจัยนี้ขึ้น

ไพศาล ลอยลาวัลย์

สมคิด ฉัตรสุวรรณกิจ

ผู้เขียน

เมษายน 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ สุรัตน์ หวังเจริญ ที่ช่วยกรุณาเปิดโรงปฏิบัติการให้เพื่อทำการทดลอง งานวิจัยนี้จนสำเร็จ และขอขอบคุณ อ.อำนวย พานิชกุลพงศ์ อ.สุพจน์ ศรีนิล ที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับอุปสรรคในการทำงานวิจัยนี้ ช่วยแก้ไขจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ คุณอิดริส จิตต์อารี ที่ช่วยพิมพ์รายงานฉบับนี้ ตั้งแต่ต้นจนจบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	
	ลักษณะและรูปร่างรายละเอียดของเสา	1
	ข้อกำหนดในการออกแบบเสา	13
บทที่ 2	การหาคุณสมบัติวัสดุ	
	การหาความถ่วงจำเพาะซีเมนต์	15
	การหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด	17
	การหาความถ่วงจำเพาะของทราย	19
	การหาความถ่วงจำเพาะของหิน	21
	การหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม	23
บทที่ 3	การทดลอง	
	วัตถุประสงค์	26
	ทฤษฎีเสา	26
	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	29
	การคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต	30
	ขั้นตอนการทดลอง	35
	ผลการทดลอง	37
	กราฟแสดงผลการทดลอง	42
	กราฟเปรียบเทียบกำลังของเสาที่ทดสอบได้กับกำลังทางทฤษฎี	50
	กราฟแสดงผลการลดกำลังของเสาเมื่อเสริมเหล็กเกิน 8%	52
	รูปแบบการพังทลาย	53
	รูปถ่ายการทำการทดลอง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 บทวิเคราะห์

วิเคราะห์ผลการทดลอง 57

พฤติกรรมของเสาจากการทดลอง 62

บทที่ 5 บทสรุป

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะการนำไปใช้งาน 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

เสา เป็นองค์อาคารที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างสู่ฐานรองรับแบบหนึ่ง โดยปกติองค์อาคารที่เรียกว่าเสา มีความยาวมากกว่า 4 เท่า ของส่วนที่มีความกว้างมากสุด

รูปร่างของเสาอาจเป็นรูปอะไรก็ได้ ขึ้นอยู่กับความสวยงามตามความต้องการของสถาปนิกโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว รูปร่างเสาที่ประหยัดที่สุดคือ เสาที่มีรูปร่างสมมาตร (Symmetry) ง่ายต่อการประกอบแบบก่อสร้าง เช่น รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือผืนผ้า เสากลม และเสารูปร่างพิเศษอื่น ๆ จะแพงกว่าเสาสี่เหลี่ยมเพราะทำไม้แบบยาก ขนาดของเสาอาจถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้เกิดความสวยงามและประหยัดมากกว่า จะถูกกำหนดตามความต้องการในการรับน้ำหนักอย่างเดียว ในกรณีที่เป็นอาคารหลายชั้น และเสามีจำนวนมาก หากออกแบบให้ขนาดเสาเท่า ๆ กันจำนวนมากก็จะทำให้ประหยัดไม้แบบและเวลาในการก่อสร้าง ทั้งนี้เป็นเพราะผู้ทำการก่อสร้างสามารถจะเตรียมไม้แบบสำหรับเสาขนาดหนึ่ง ๆ ได้มาก และใช้ได้หลาย ๆ ครั้ง โดยไม่ต้องทำไม้แบบใหม่หากเสาลดขนาดทุก ๆ ชั้น ไม้แบบก็จะใช้ได้ชั้นเดียว และถ้าเสาในชั้นนั้นมีขนาดเดียวกันจำนวนน้อย การทำไม้แบบจำนวนมากย่อมไม่ประหยัดค่าก่อสร้างและการทำไม้แบบจำนวนน้อยใช้หมุนเวียนกันย่อมไม่ประหยัดเวลา

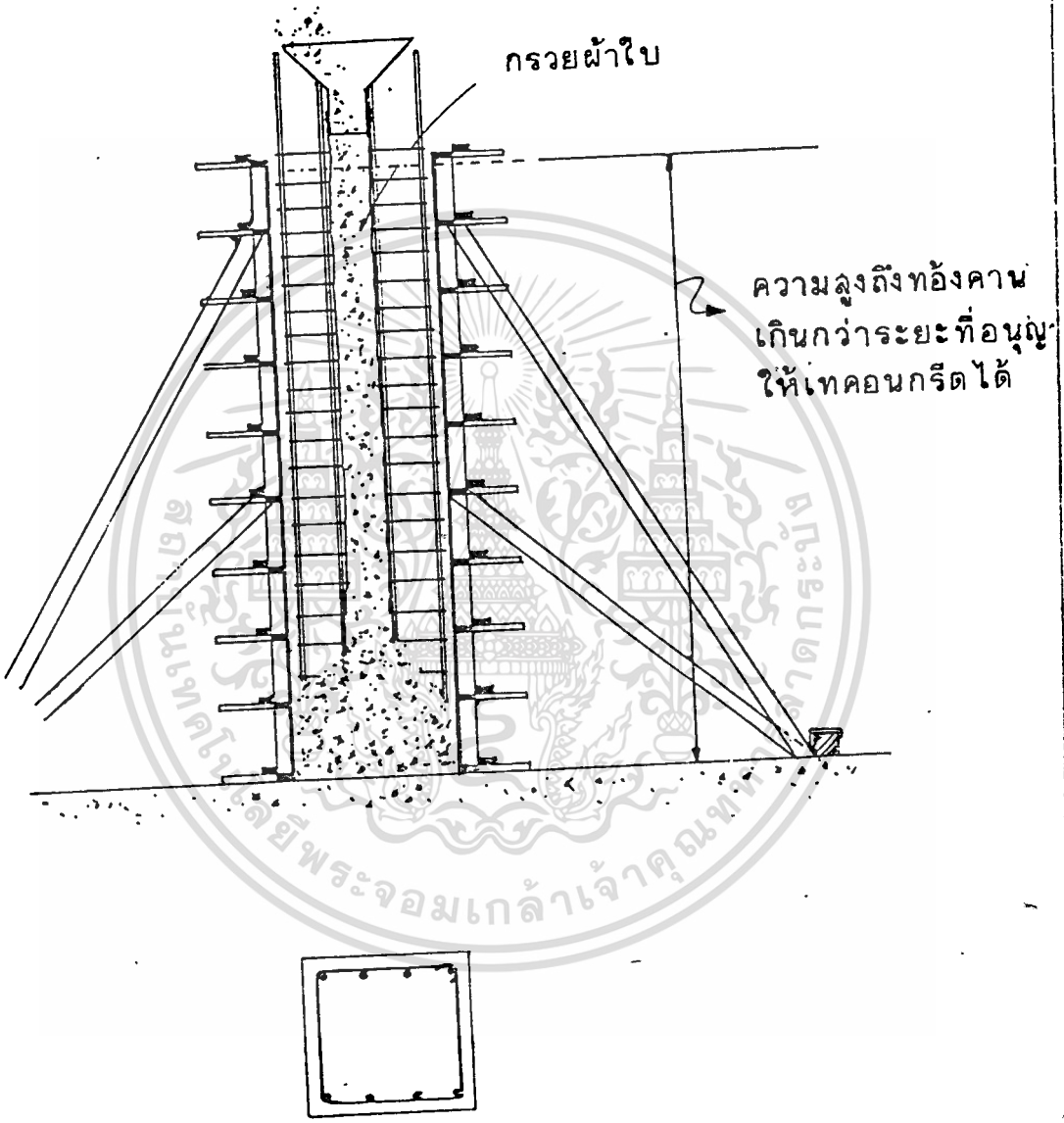
อีกประการหนึ่ง การลดขนาดเสานั้นควรคำนึงถึงเหล็กเสริมเพิ่มด้วย โดยปกติคอนกรีตมีความสามารถรับแรงอัดได้ดีอยู่แล้ว และราคาของเหล็กกับคอนกรีตที่มีปริมาตรเท่ากัน ราคาเหล็กจะสูงกว่าคอนกรีตมาก ดังนั้น จึงควรออกแบบให้มีอัตราส่วนของเหล็กต่อคอนกรีตน้อยที่สุด โดยไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดใน Code เช่น 1% การใส่เหล็กใหม่มีจำนวนน้อย ทำให้จัดเหล็กได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดต่อของคานกับเสาจะไม่ทำให้เหล็กแน่นเกินไป จนเทคอนกรีตลำบาก แต่บางครั้งจำเป็นต้องใช้เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมมาก เพื่อลดขนาดหน้าตัดตามความต้องการและความสวยงามที่สถาปนิกต้องการ

ในอาคารทั่ว ๆ ไป ความสูงของชั้นของอาคารจะมีค่ามากกว่า 3 เมตร เมื่อหักความลึกของคานในแต่ละชั้นลงไปแล้ว ความสูงของเสาแต่ละชั้นจากพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงท้องคานจะเกินกว่า 2.00 เมตร ซึ่งโดยปกติการเทคอนกรีตตามมาตรฐานต่าง ๆ มักไม่อนุญาตให้เทคอนกรีตจากความสูงเกินกว่า 2 เมตร การเทคอนกรีตเสาจึงต้องเปิดหน้าต่างเทตามระยะความสูงที่อนุญาตให้เทคอนกรีตได้ หรือก้นไม้แบบให้สูงเพียง 2.00 เมตร แล้วเทคอนกรีตก่อน แล้วจึงก้นไม้แบบต่อไปซึ่งวิธีนี้จะทำให้เสียเวลา หากเสามีเหล็กแน่นมากจะทำให้การเทโดยเปิดหน้าต่างทำยาก และอาจมีการแยกตัวของคอนกรีตได้มาก หากขนาดเสาใหญ่พอ และมีเหล็กเสริมน้อยก็สามารถทำไม้แบบได้ที่เดียวถึงระดับความสูงที่ต้องการ และเปิดหน้าต่างเท และหากมีที่พอที่จะสอดกรวยผ้าใบลงกลางเหล็กเสาได้ก็จะทำให้เทคอนกรีตได้ดีและสะดวกมาก ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

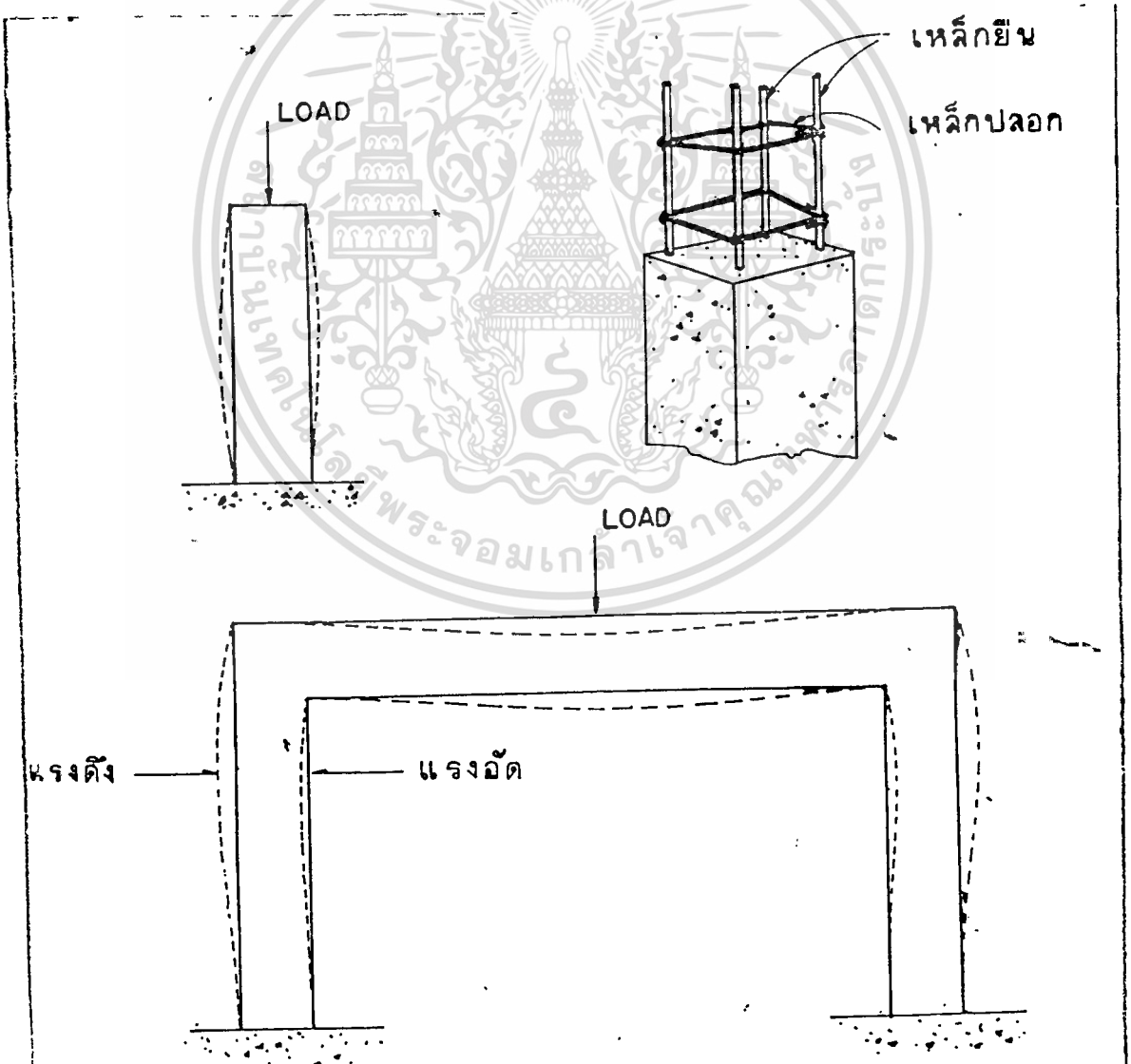


รูปที่ ๑ การเทคอนกรีตเสาโดยใช้กรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

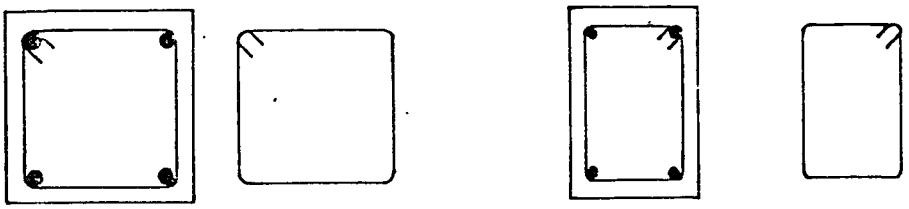
พฤติกรรมของเสาเมื่อรับน้ำหนัก

ในโครงสร้างทั่วไป เสาอาจทำหน้าที่รับแรงอัดอย่างเดียว หรือรับแรงดัดร่วมกับแรงอัดพร้อมกันไปด้วย เมื่อมีแรงอัดกระทำต่อเสา เสาที่ถูกอัดจะมีแนวโน้ม (Tendency) ที่จะระเบิดออกด้านข้างดังแสดงในรูป และจากการทดลองพบว่า เมื่อถึงจุดวิบัติ หากเสาไม่ได้เสริมเหล็กปลอกรัดเหล็กยืนไว้ด้วยแล้ว เสาจะระเบิดออกทันที แต่หากมีเหล็กปลอกจะค่อย ๆ โก่งตัว และ fail ในที่สุด ในมาตรฐานทั่ว ๆ ไป จึงกำหนดให้เสริมเหล็กปลอกรัดเหล็กยืนไว้ด้วย ในกรณีที่น้ำหนักที่กระทำต่อเสาไม่กระทำในแนวศูนย์เสา ก็จะทำให้เกิดแรงดัดในเสาด้วย ดังแสดงไว้ในรูป



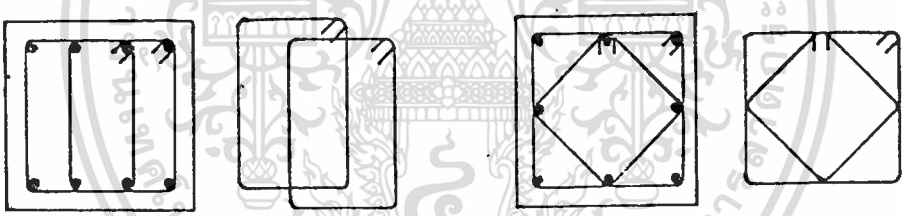
รูปที่ 2 พฤติกรรมของเสาเมื่อรับน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

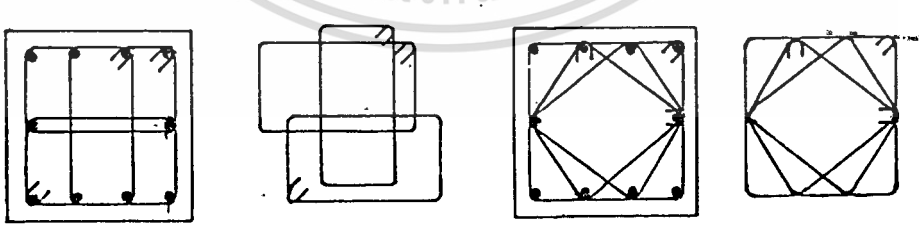


เหล็กยืน 4 เส้นเหล็กปลอก 1 เส้น

เหล็กยืน 6 เส้นเหล็กปลอก 2 เส้น



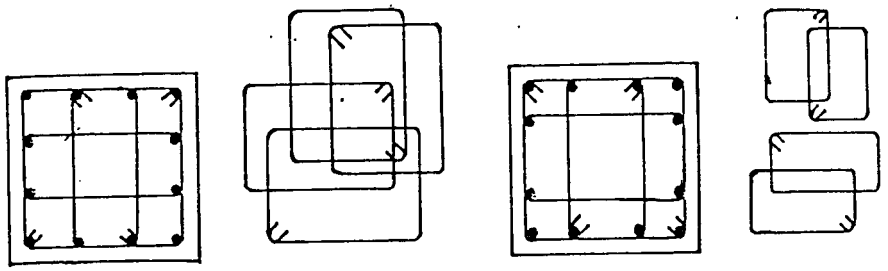
เหล็กยืน 8 เส้นเหล็กปลอก 2 เส้น



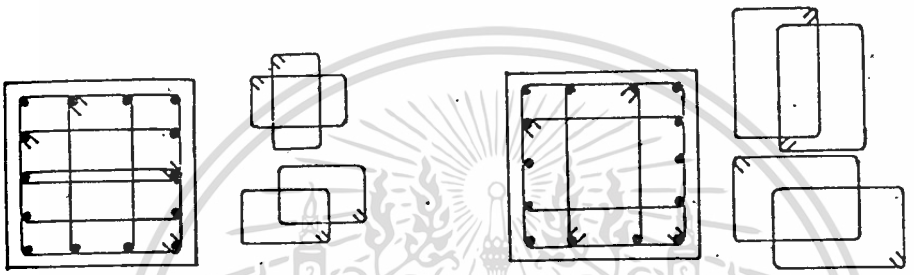
เหล็กยืน 10 เส้นเหล็กปลอก 3 เส้น

รูปที่ 3 การจัดเหล็กเสริมเสาแบบต่างๆ

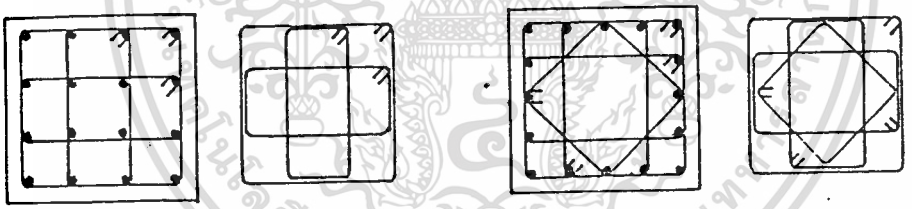
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



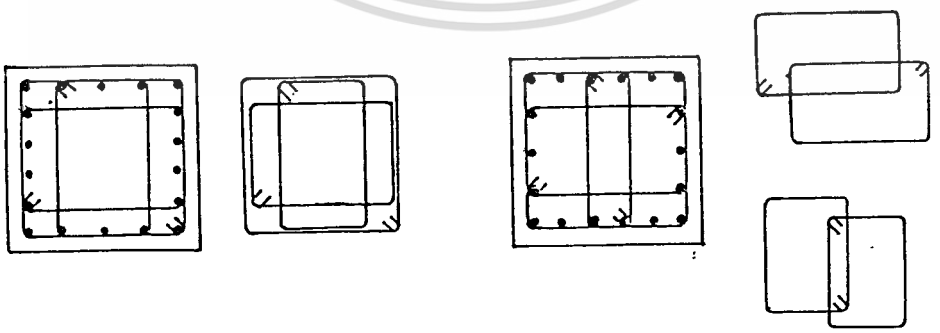
เหล็กยืน 12เส้นเหล็กปลอก 4เส้น



เหล็กยืน 14เส้นเหล็กปลอก 4 เส้น

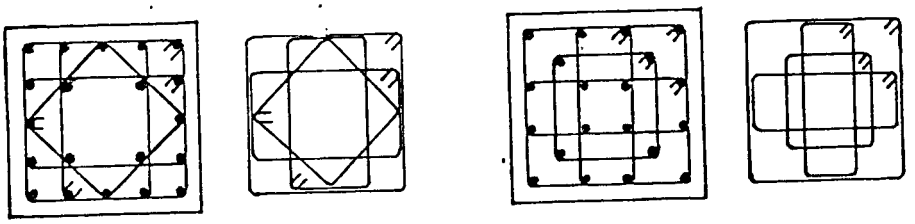


เหล็กยืน 16 เส้นเหล็กปลอก 3 และ 4 เส้น

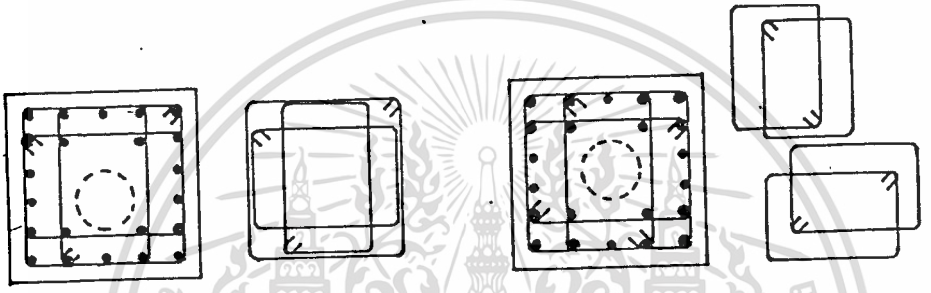


เหล็กยืน 18เส้น เหล็กปลอก 3 และ 4 เส้น

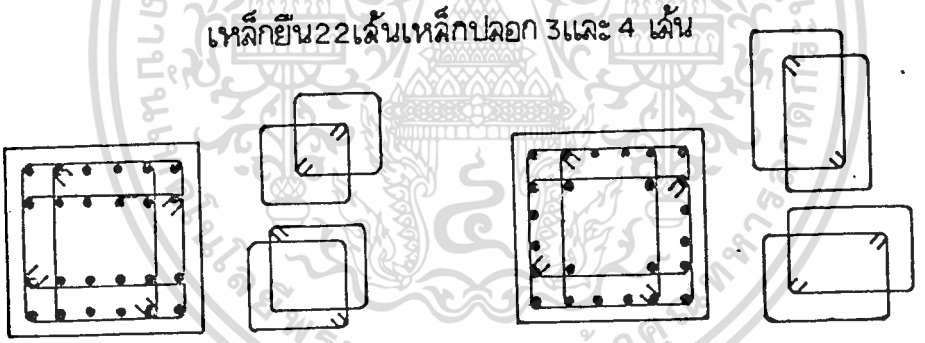
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



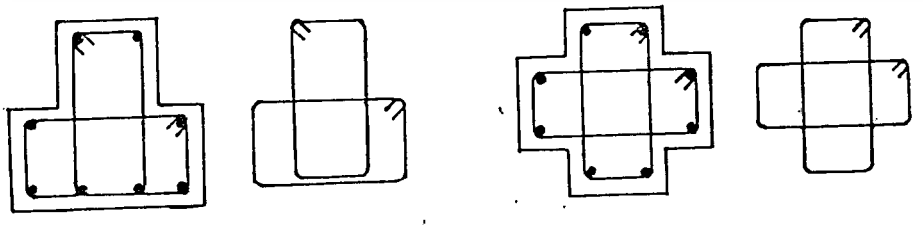
เหล็กยืน 20เส้นเหล็กปลอก 4เส้น



เหล็กยืน22เส้นเหล็กปลอก 3และ 4 เส้น

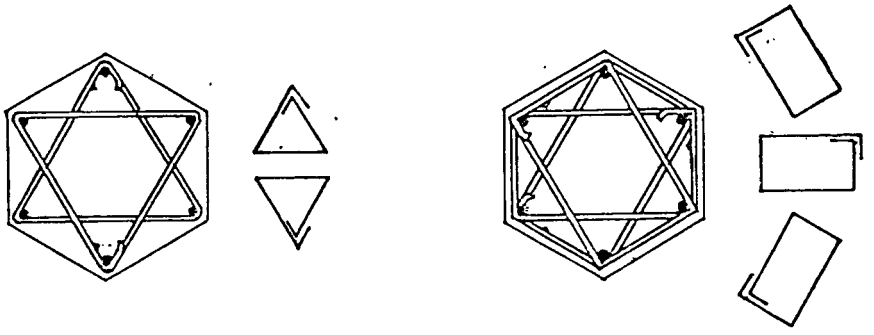


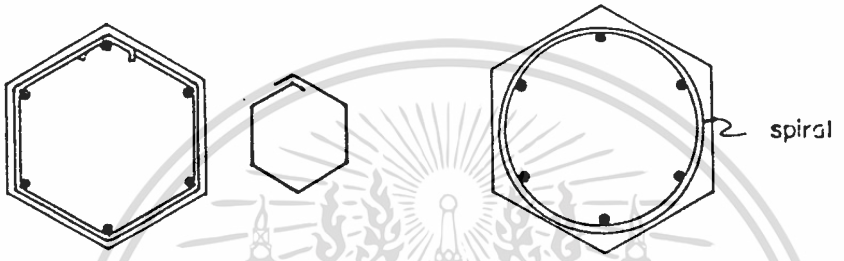
เหล็กยืน24เส้นเหล็กปลอก 4เส้น



เหล็กยืน 8เส้นเหล็กปลอก 2เส้น

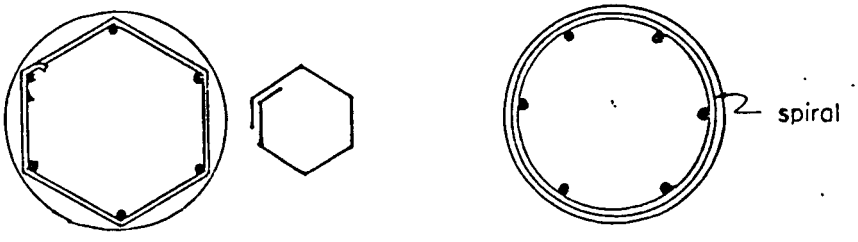
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





Hexagonal Column

Octagonal Column



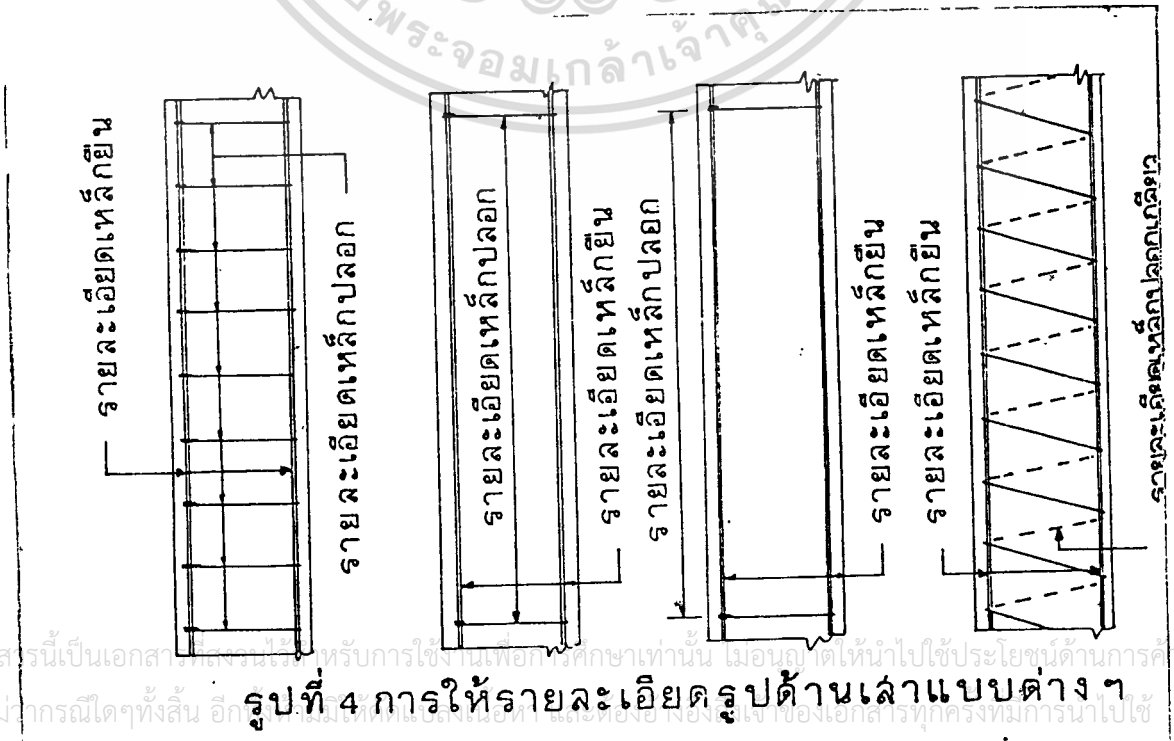
Circular Column

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้รายละเอียดเหล็กเสริมเสา

โดยปกติ การเขียนรูปตัดเสาอย่างเดียวโดยระบุจำนวนเหล็กยืน และเหล็กปลอกก็เพียงพอ แต่ควรเพิ่มรายละเอียดรูปด้านที่จุดที่เหล็กต้องทาบกัน เพื่อแสดงวิธีทาบต่อ และวิธีดุ้ง (offset) ที่ระดับชั้นของอาคารไว้ด้วย เพื่อให้ผู้ทำการก่อสร้างได้คิดปริมาณเหล็ก และทำงานได้ถูกต้อง และในกรณีที่ไม่อนุญาตให้ต่อทาบก็ แสดงวิธีการต่อไว้ด้วย

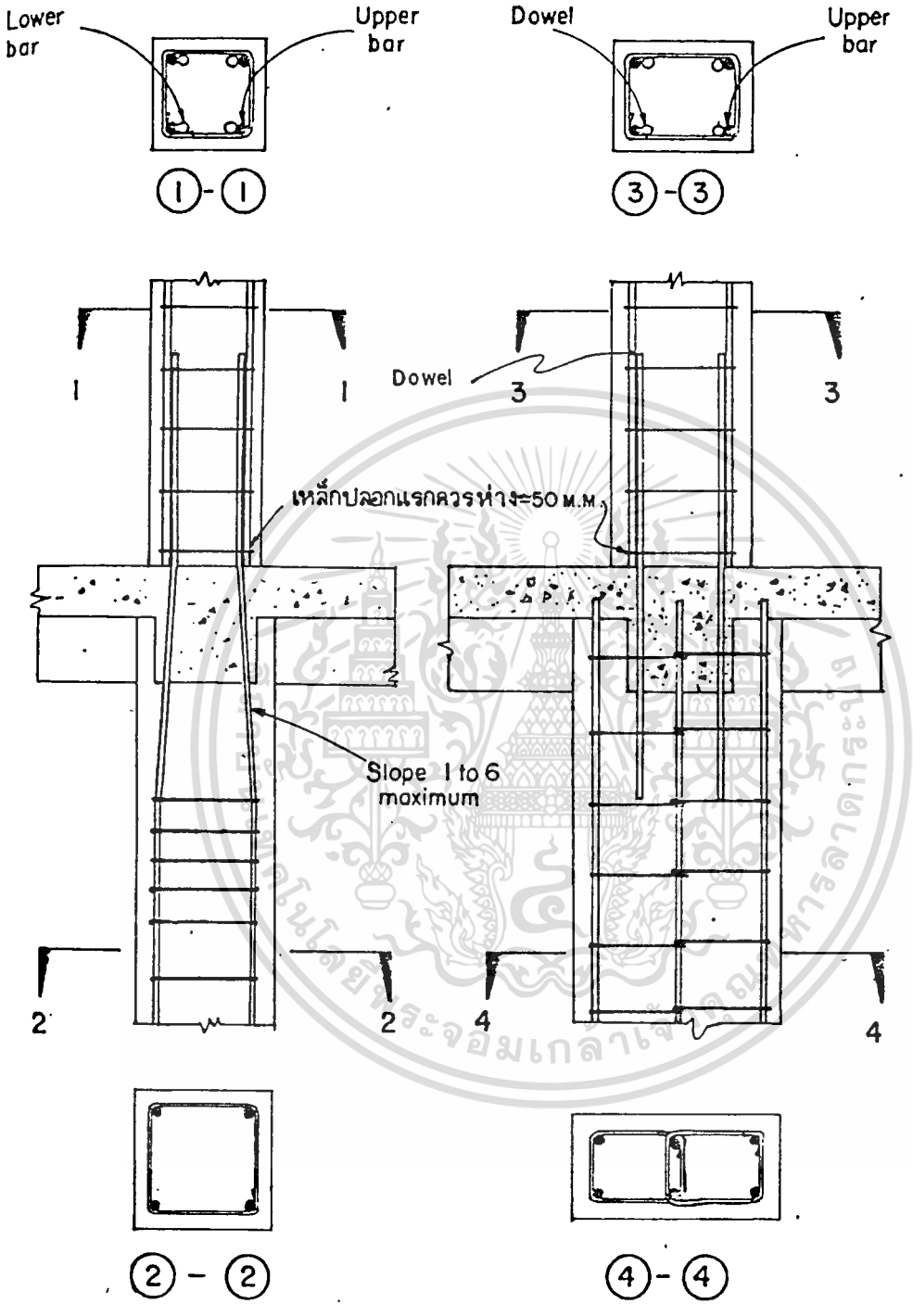
ในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป ผู้ทำการก่อสร้างจะผูกเหล็กเสาสูงขึ้นต่อชั้น แล้วเทคอนกรีตถึงระดับท้องคานที่ลึกที่สุด เมื่อหล่อคานและเทพื้นเสร็จแล้ว จึงจะผูกเหล็กชั้นต่อไปโดยการทาบ การผูกเหล็กสูงครั้งละมากกว่าชั้น ของอาคารจะทำให้ติดตั้งลำบาก และหากยึดไว้ไม่แน่นพอ อาจมีผลเสียหายต่อคอนกรีตได้ หากไม่แสดงการต่อ หรือจุดที่ยอมให้ต่อได้ไว้ในแบบด้วย อาจมีปัญหาในการก่อสร้างและก่อให้เกิดความเสียหายได้ ตัวอย่าง ในบางกรณีที่เสารับแรงดึงการต่อเหล็กที่จุดเดียวกันหลอดย่อมไม่เป็นการดี จึงควรเขียนรายละเอียดของการต่อไว้ชัดเจน การต่อเหล็กโดยวิธีพิเศษ เช่นใช้ Bar Couplers หรือ Mechanical Device อื่น ๆ อนุญาตให้ทำได้ หรือไม่ ควรระบุไว้ในรายการก่อสร้างด้วย และในกรณีที่จะใช้การต่อโดยวิธีเชื่อมก็ควรระบุวิธีการและรายละเอียดไว้ด้วย เช่นกัน



รูปที่ 4 การให้รายละเอียดรูปด้านเสาแบบต่าง ๆ

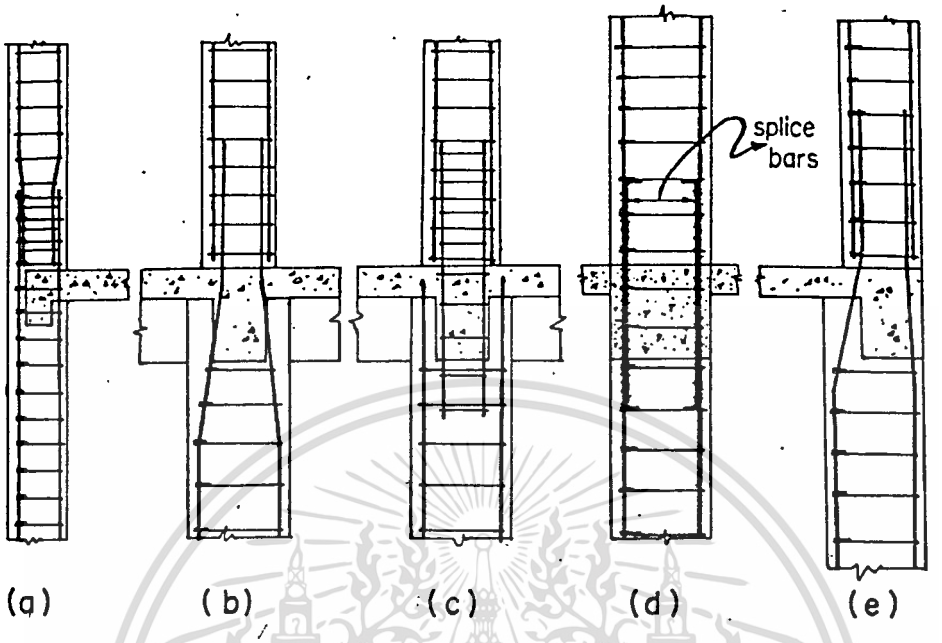
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

027093

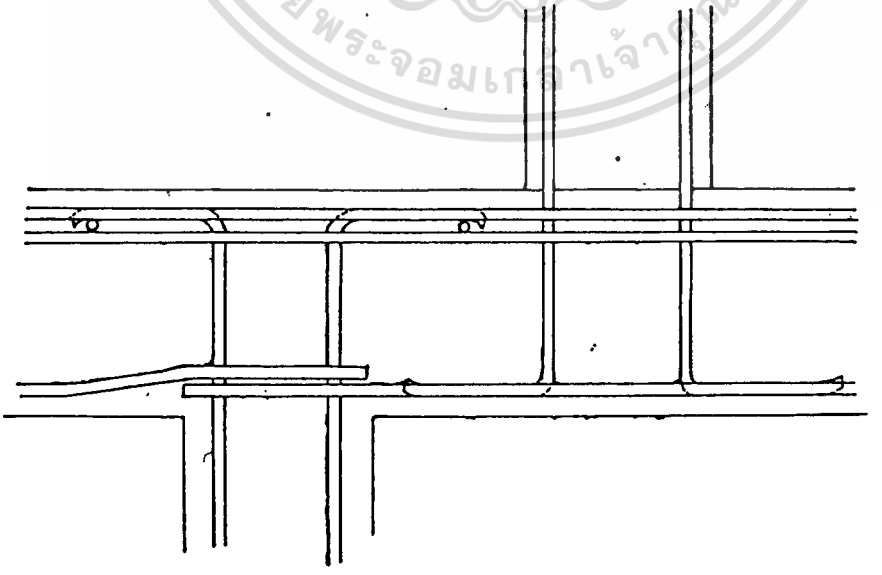


รูปที่ 5 การต่อเหล็กที่ระดับชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

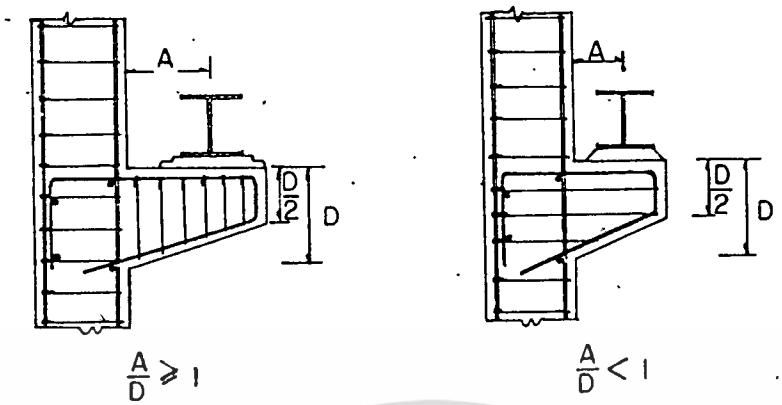


รูปที่ 6 แสดงการต่อเหล็กเสาที่ระดับพื้นแบบต่าง ๆ



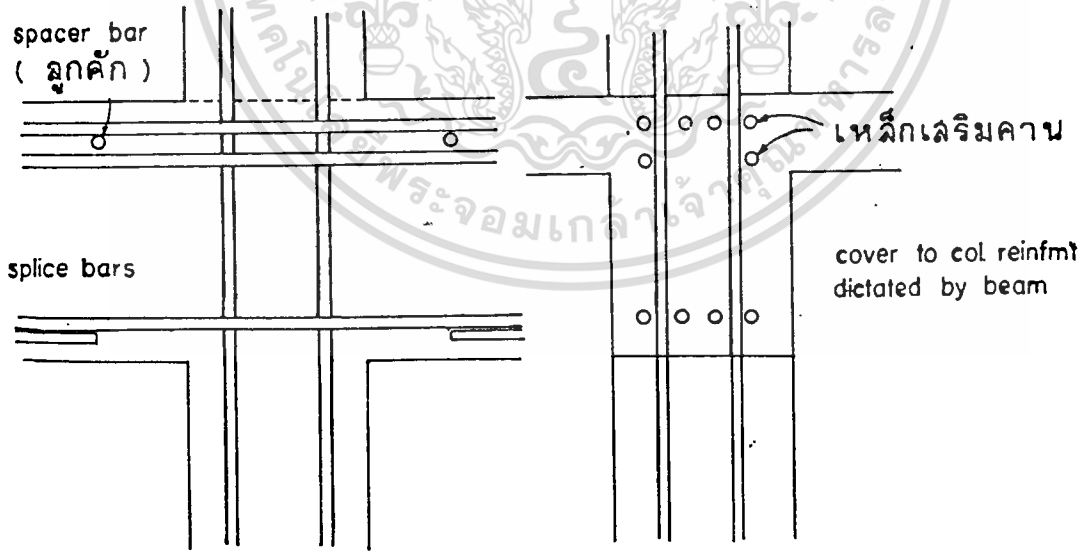
รูปที่ 7 แสดงการเสริมเหล็กเสาเยื้องศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$\frac{A}{D} \geq 1$ $\frac{A}{D} < 1$

รูปที่ 8 รายละเอียดหูช้าง



รูปที่ 9 แสดงจุดตัดระหว่างคานกับเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดของมาตรฐาน ว.ส.ท.

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการให้รายละเอียดเสา

1. พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืนสำหรับเสาจะต้องไม่น้อยกว่า 1% และไม่เกิน 8% ของพื้นที่หน้าตัดของเสา ขนาดของเหล็กยืนจะต้องไม่เล็กกว่า 12 มม. จำนวนของเหล็กยืนจะต้องไม่น้อยกว่า 6 เส้น ในเสากลม และไม่น้อยกว่า 4 เส้นสำหรับเสาเหลี่ยม

2. ช่องว่างระหว่างเหล็กยืนของเสาต้องไม่น้อยกว่า 1½ เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กหรือ 1½ เท่าของมวลหยาบใหญ่สุด หรือ 4 ซม.

3. ในเสาปลอกเดี่ยว เหล็กยืนทุกเส้นจะต้องมีเหล็กปลอดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ เล็กกว่า 6 มม. พันโดยรอบ โดยมี ระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่ห่างกว่า

ก.16 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยืน

หรือ ข.48 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอก

หรือ ค.มิติที่เล็กที่สุดของเสานั้น

และต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กยืนตามมุมทุกมุม

4. เหล็กปลอกเกลียว จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. พันต่อเนื่องสม่ำเสมอ ระยะเรียงศูนย์ถึงศูนย์ ของเหล็กปลอกเกลียวจะต้องไม่เกิน

ก.1/6 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนคอนกรีต

หรือ ข.ไม่ห่างกว่า 7 ซม.

หรือ ค.ไม่แคบกว่า 3 ซม.

หรือ ง.ไม่แคบกว่า 1½ เท่า ของขนาดของมวลรวมหยาบที่ใช้

5. การใส่เหล็กปลอกเกลียว ต้องพันตลอด ตั้งแต่ระดับพื้น หรือจากส่วนบนสุดของฐานรากขึ้นไปถึงระดับเหล็กเสริมเส้นล่างสุดของชั้นเหนือกว่า เช่น ในแผ่นพื้นในแป้นหัวเสา หรือในค่านในเสาที่มีหัวเสา จะต้องพันเหล็กปลอกเกลียวขึ้นไปจนถึงระดับที่หัวเสาขยายเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้างโตเป็นสองเท่าของขนาดเสา

6. สำหรับเหล็กปลอกเกลียว หรือเหล็กปลอกเดี่ยวในเสา จะต้องมีความหนาของคอนกรีตห่อหุ้มซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกันไม่น้อยกว่า 3 ซ.ม. หรือ 1½ เท่า ของขนาดมวลใหญ่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่อต่อเหล็กโดยวิธีทาบ ความยาวที่ทาบอย่างน้อยที่สุดจะต้องมีค่าดังต่อไปนี้

สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัด 200 กก./ซม.^{2} และสูงกว่านี้ ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่สั้นกว่า 20, 24 และ 30 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กที่มีกำลังคลากเท่ากับ 3,500 ลงไป 4,200 และ 5,200 กก/ซม.^{2} ตามลำดับและต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. ถ้ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่า 200 กก/ซม.^{2} จะต้องเพิ่มระยะทาบอีกหนึ่งในสามของค่าข้างบนนี้

สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบ ระยะทาบอย่างน้อยจะต้องเป็น สองเท่าของค่าที่กำหนดไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย

8. อาจใช้การต่อโดยวิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่นๆ แทนการต่อโดยวิธีทาบกันได้ และถ้าหากขนาดเหล็กเส้นโตกว่า 25 มม.แล้ว ควรจะต่อด้วยวิธีเชื่อม หรือการต่อยึดปลายแบบอื่นๆ มากกว่า สำหรับเหล็กเสริมที่รับแรงอัดแต่อย่างเดียว อาจถ่ายแรงได้ด้วยการยันของหน้าตัดของปลายทั้งสองในลักษณะร่วมศูนย์ และยึดด้วยปลอกยึดแบบอื่นๆ ก็ได้

การต่อโดยวิธีเชื่อมที่ถูกต้อง จะต้องให้รอยเชื่อมสามารถรับแรงดึงได้อย่างน้อยร้อยละ 125 ของกำลังคลากของเหล็ก และไม่ควรต่อเหล็กที่ตำแหน่งเดียวกันเกินกว่า 25%

9. เมื่อเหล็กเสริมคัดเยื้องกันที่รอยต่อ ความลาดเอียงของเหล็กส่วนที่คัดเยื้องเมื่อเทียบกับแกนต้องไม่เกิน 1 ต่อ 6

10. ในเสาปลอกเดี่ยว ปริมาณของเหล็กที่ต่อทาบกัน จะต้องมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของเหล็กต่อคอนกรีตไม่เกิน 0.04 ในความยาว 1 เมตร ของเสา ไม่ว่าจะเป็นช่วงใด

หมายเหตุ โดยปกติที่ตำแหน่งใดๆ เหล็กเสริมตามแนวแกนของเสาจะต้องไม่เกิน 8% ของพื้นที่หน้าตัดของเสา ดังนั้นที่จุดต่อทาบหากจำนวนเหล็กที่จะทาบกันมีจำนวนเท่ากัน และมีจำนวนเกิน 4% ของพื้นที่หน้าตัดของเสาแล้ว เมื่อทาบกันจะมีจำนวนเกิน 8% ซึ่งเกินที่มาตรฐานว.ส.ท.ยอมให้ ดังนั้น ว.ส.ท. จึงกำหนดมาตรฐานที่จุดต่อไว้ดังกล่าวข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การหาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

วัตถุประสงค์

เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ คืออัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรเนื้อแท้ของตัวมันเอง ซีเมนต์แต่ละชนิดจะมีความถ่วงจำเพาะเฉพาะตัวคงที่เสมอไป เมื่อใดที่ซีเมนต์เสื่อมคุณภาพลงความถ่วงจำเพาะจะต่ำกว่าปรกติ และเราจะรู้ว่าซีเมนต์นี้ใช้ได้หรือไม่จากการลดน้อยลงของความถ่วงจำเพาะนี้เอง

ขั้นตอนการทดลอง

1. เช็ดขวดแก้วให้สะอาด แล้วเติมน้ำมันก๊าดหรือเบนซินลงในขวดแก้ว ให้ปริมาณอยู่ในระหว่าง 250 มล. และ 251 มล.

2. ใช้ผ้าถูน้ำมันที่ค้างอยู่ภายในช่องหลอดตีบให้หมด เสร็จแล้วนำขวดแก้วลงแช่ในน้ำที่ทราบอุณหภูมิอย่างน้อย 30 นาที จึงยกขึ้นมาอ่านระดับของน้ำมันครั้งแรก โดยให้ค่าที่อ่านได้เป็น i^{n} เนื่องจากระดับของน้ำมันก๊าดไม่เรียบตรงเหมือนน้ำธรรมดา ระดับผิวของน้ำมันก๊าดนั้นจะเว้าเป็นรูปโค้งหงาย ดังนั้นการอ่านค่าระดับให้วัดที่จุดต่ำสุดของส่วนโค้ง

3. ค่อย ๆ เติมซีเมนต์ที่จัดเตรียมไว้ทีละน้อย ลงในขวดแก้ว มีข้อควรระวังคือ อย่าให้ซีเมนต์หก และอย่าให้มีสารอื่นเจือปน ถึงตอนนี้ระดับของน้ำมันก๊าดหรือเบนซินจะสูงขึ้นมาถึงคอขวดส่วนบน เมื่อเรียบร้อยแล้วให้กลิ้งขวดแก้วไปมาเพื่อไล่ฟองอากาศ การกลิ้งควรใช้ผ้าหรือแผ่นยางนุ่ม ๆ รองรับและข้อสำคัญคือควรปิดจุกขวดแก้วเสียก่อน เพื่อป้องกันการกระฉอกของน้ำมัน

หมายเหตุ ก่อนถึงขั้นตอนนี้หากเกรงว่าซีเมนต์จะขาดไปจากที่ได้เตรียมไว้ ให้นำขวดแก้วที่เติมน้ำมันก๊าดแล้วไปชั่งบันทึกน้ำหนักไว้ก่อน และเมื่อเติมซีเมนต์แล้วก็นำไปชั่งอีกครั้ง จะได้น้ำหนักที่แท้จริงของซีเมนต์ในขวดแก้ว

4. จากนั้นนำไปแช่ในน้ำที่ทราบอุณหภูมิ นานประมาณ 30 นาที ก่อนยกขวดแก้วขึ้นให้ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำเสียก่อนว่าแตกต่างจากการวัดครั้งแรกเกิน 0.2 °C หรือไม่ หากเกินจะต้องรอจนกว่าอุณหภูมิจะลดหรือเพิ่มให้อยู่ภายในขอบเขตที่กล่าวแล้ว จึงจะยกขวดแก้วขึ้นมาได้ และอ่านระดับของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็ทดอีกครั้งหนึ่ง โดยให้เป็นระดับ 2^n

5. ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์จะได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 2 ครั้ง ค่าที่ได้จะต้องไม่ต่างกันเกิน 0.01 โดยการแทนค่าเพื่อหาความถ่วงจำเพาะจากสมการข้างล่างนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (SP GR)} = \frac{\text{น้ำหนักซีเมนต์ที่แท้จริงในขวดแก้ว}}{\text{ปริมาตรน้ำมันที่ถูกส่วนที่เพิ่ม } (n_2 - n_1)}$$

ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะซีเมนต์

ระดับน้ำมัน 290 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส

ระดับ $n_1 = 20.5$

ระดับ $n_2 = 22.8$

น้ำหนักซีเมนต์ = 10 กรัม

$$\text{ถ.พ. ซีเมนต์} = \frac{10}{2.3} = 4.35$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดของมวลรวมคละโดยใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐานสำหรับหาค่าพิกัดความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคในมวลรวมที่กำหนดให้ นั่นคือมวลรวมยิ่งหยาบ ค่าพิกัดความละเอียดก็ยิ่งสูงขึ้น

ขั้นตอนการทดลอง

การหาส่วนขนาดคละของทราย

1. เตรียมทรายสำหรับทดสอบ ด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปรกควรเป็นทรายที่แห้ง หากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

2. เตรียมชุดของตะแกรง ด้วยการทำความสะอาด ไม่ให้มีเศษฝุ่นผงค้างอยู่ภายในช่องชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกขนาด และบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับ พร้อมถาดรองอยู่ล่างสุด

3. ค่อย ๆ เททรายที่เตรียมไว้แล้ว ลงในชุดตะแกรง ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

4. ถึงขณะนี้ทรายที่มีเม็ดขนาดต่าง ๆ จะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่าง ๆ เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่นั้นไปชั่ง และจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวนหาค่าพิกัดความละเอียดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหาส่วนขนาดคละของมวลละเอียด

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักที่ค้าง (กรัม)	ร้อยละที่ค้าง	ร้อยละสะสม
เบอร์ 4	18.75	3.75	3.75
เบอร์ 8	45.25	9.05	12.8
เบอร์ 16	119.65	23.93	36.73
เบอร์ 30	164.8	32.96	69.69
เบอร์ 50	112.2	22.44	92.13
เบอร์ 100	31	6.2	98.33
ฐานรอง	8.35	1.67	100
รวม	500	100	413.43

∴ โมดูลัสความละเอียด $= \frac{413.43}{100}$

$= 4.13$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของทราย

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะทราย ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง นอกจากนี้หินหรือกรวดที่มีขนาดเล็กไม่เกิน 3/4" ก็สามารถใช้ วิธีนี้ทดสอบได้เช่นกัน

ขั้นตอนการทดลอง

1. แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าแทนด้วย B

2. นำทรายส่วนหนึ่งเข้าเตาอบให้แห้งสนิท ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่ในโถกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปรกติ จึงนำไปชั่งน้ำหนักใหม่และบันทึกค่าแทนด้วย A

3. เทน้ำที่ทรายอุณหภูมิลงในขวดพิคโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ 3/4 ของขวดนำทรายส่วน เติมลงไป เขย่าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็มพอดีปากขวด พร้อมกับทำให้ไม่มีอากาศเหลืออยู่เลยเช่นเดียวกัน แล้วจึงปิดฝาแก้ว นำไปชั่งและบันทึกค่าแทนด้วย W

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)} = \frac{B}{W_c + B - W}$$

โดยที่

น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด

น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะทราย

น้ำหนักกระป๋อง = 13.95 กรัม

น้ำหนักกระป๋อง น้ำหนักทราย = 31.30 กรัม

น้ำหนักทราย = 17.35 กรัม

น้ำหนักกระบอกตวง = 119.60 กรัม

น้ำหนักกระบอกตวง น้ำ =179.75 กรัม ระดับ 61 มิลลิเมตร

น้ำหนักกระบอกตวง น้ำ ทราย=189.75 กรัม ระดับ 61 มิลลิเมตร

ถ.พ. ของทราย $= \frac{17.35}{7.35}$

$= 2.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความถ่วงจำเพาะของหิน

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะ เพื่อประโยชน์ในการออกแบบ แบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีต

ขั้นตอนการทดลอง

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

2. จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 ชม.

3. นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงบนผ้าผืนใหญ่ ๆ ที่สามารถดูดซับน้ำได้ กลิ้งวัสดุไปมาเพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตุด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิวของวัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวจะยังชื้นอยู่ก็ตาม หรือถ้าวัสดุเป็นก้อนใหญ่มากอาจจับมาเช็ดเป็นก้อน ๆ ไปก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดการระเหยหายไปของน้ำขณะอยู่ในขั้นตอนนี้

4. วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่า อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (saturated surfacedry) ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนัก เพื่อบันทึกไว้แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันที และบันทึกค่าไว้เช่นกัน

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

โดยที่

น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศ ภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของหิน

มวลที่ชั่งในอากาศ = 4 กิโลกรัม

มวลที่ชั่งในน้ำ = 1.504 กิโลกรัม

ความถ่วงจำเพาะของหิน $\frac{4000}{1504}$

$= 2.66$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาน้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร ไม่ว่าจะเป็นทราย หิน หรือมวลรวมผสมก็ตาม ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การหาหน่วยน้ำหนักของน้ำ

1. เติมน้ำใส่ภาชนะให้เต็ม และทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่เลย พร้อมปิดฝาด้วยแผ่นกระจกใส

2. วัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อนำไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก โดยเทียบจากตารางในหน้าต่อไป

3. หาค่าแฟคเตอร์ของภาชนะ โดยการหารหน่วยน้ำหนักของน้ำด้วยน้ำหนักน้ำในภาชนะ

ข) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักเมื่อมวลรวมอัดตัวแน่น

1. โดยวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง (Redding Procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 37.5 มม. (1 1/2")

ตารางแสดงค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ	กก/ม
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 เทมวลรวมสำหรับทดสอบลงในภาชนะให้สูงประมาณ ¼ เท่า และเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบและใช้เหล็กกระทุ้ง ๆ ให้เกือบถึงก้น โดยแผ่กระจายให้ทั่วผิวหน้ารวม 25 ครั้ง จากนั้นใส่มวลรวมลงไปอีกสูง ¼ เท่า ทำการกระทุ้งเช่นเดียวกัน และใส่ลงไปอีกเป็นชั้นสุดท้าย กระทุ้งอีก 25 ครั้ง เสร็จแล้วให้ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบเสมอกับแนวขอบบนของภาชนะ อย่าให้นูนหรือโปนเป็นอันขาด

1.2 ชั่งน้ำหนักภาชนะที่บรรจุมวลรวมดังกล่าว เพื่อคำนวนหาน้ำหนักเฉพาะของมวลรวมโดยแท้ โดยชั่งให้ได้ความละเอียดถึง 0.1% แล้วคูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3. ของข้อ ก) จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเมื่ออัดตัวแน่น

2. โดยวิธีกระแทกภาชนะ (Jigging Procedure) วิธีนี้เหมาะสำหรับมวลรวมที่มีขนาดโตสุดเกินกว่า 37.5 มม. แต่ไม่เกิน 100 มม. (4 ")

2.1 แบ่งเทมวลรวมใส่ภาชนะเป็น 3 ชั้น เช่นเดียวกับวิธีใช้เหล็กกระทุ้ง แต่วิธีนี้ภาชนะควรถูกนำมาวางบนพื้นที่แข็ง เช่นพื้นคอนกรีตเป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเทมวลรวมแต่ละชั้นแล้วให้เอียงภาชนะเพื่อให้ด้านตรงข้ามสูงขึ้นจากพื้นไม่เกิน 50 มม. และปล่อยให้ตกลงกระแทกพื้น เป็นจำนวน 25 ครั้ง เสร็จแล้วเอียงกลับมาอีกด้านหนึ่ง เพื่อให้ด้านที่ติดพื้นตอนแรกนั้น ยกลอยขึ้นมา 50 มม.บ้าง และปล่อยให้ตกกระแทกพื้นอีก 25 ครั้งเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ทั้ง 3 ชั้น จึงปาดผิวหน้ามวลรวมให้เรียบ ไม่ให้ปูดหรือบุ๋ม แล้วนำไปชั่ง

2.2 เมื่อได้น้ำหนักที่แท้ของมวลรวมแล้ว คูณด้วยแฟคเตอร์ที่หาได้ในข้อ 3. ของข้อ ก) ก็จะได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลเมื่ออัดตัวแน่นเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองหน่วยน้ำหนักน้ำ

ภาชนะชั่งได้ = 1.8 กก.
ภาชนะ+น้ำ ชั่งได้ = 1.69 กก.
น้ำหนักน้ำ = 15.1 กก.
แฟคเตอร์ ภายใน = 65.994 1/ม
หน่วยน้ำหนักน้ำ = 65.994 15.1
= 996.511 กก./ม

ผลการทดลองหน่วยน้ำหนักหิน

ภาชนะชั่งได้ = 1.8 กก.
ภาชนะ +หิน ชั่งได้ = 25.6 กก.
น้ำหนักหินชั่งได้ = 23.8 กก.
แฟคเตอร์ ภายใน = 65.994 1/ม
หน่วยน้ำหนักหิน = 65.944 23.8
= 1570.65 กก./ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง

พฤติกรรมของเสาสั้น เมื่อเสริมเหล็กเกินมาตราฐาน ว.ส.ท. (8%)

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของเสาสั้น ในเรื่องของการรับแรงตามแนว และการพังทลาย เมื่อมีการเสริมเหล็กเกินกว่าที่มาตราฐาน ว.ส.ท. กำหนดไว้ (8%)

เพื่อที่จะได้นำมาเปรียบเทียบกับกำลังที่รับได้ทางทฤษฎีว่ามีความแตกต่างกันเพียงใด จากทั้งทางทฤษฎีอีลาสติกและทฤษฎีกำลังประลัย ซึ่งทฤษฎีอีลาสติกนี้ เป็นทฤษฎีที่ ว.ส.ท. ยอมรับให้ใช้ในการนำไปออกแบบอาคารต่าง ๆ ในประเทศของเรา เนื่องจากมีความปลอดภัยสูงในการทำงาน

ส่วนทฤษฎีกำลังประลัย จะให้ค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักที่รับได้จริง จากผลการทดลอง เมื่อมีการเสริมเหล็กอยู่ในช่วงที่ ว.ส.ท. กำหนด (1%-ถึง8%) และจะได้วิเคราะห์ถึงความสามารถของคอนกรีตในการรับแรง เมื่อเสริมเหล็กเกิน 8% รวมทั้งความสามารถของเหล็กเสริมด้วยในการช่วยรับแรงตามแนวแกน ซึ่งการเสริมเหล็กเป็นปริมาณมาก ๆ นี้ จะทำให้ไม่สามารถกำหนดระยะหุ้มคอนกรีตและระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมได้ จึงทำให้การทดลองนี้จำเป็นที่จะต้องออกแบบระยะการเรียงและวางเหล็กเสริมที่ไม่ได้อยู่ในกฎเกณฑ์ของ ว.ส.ท. อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมรวมทั้งกำลังรับน้ำหนักของเสาปลอกเดี่ยวที่เสริมเหล็กเกิน 8% ก็จะสามารถใช้ผลการทดลองที่ได้นี้นำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานได้

ทฤษฎี เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

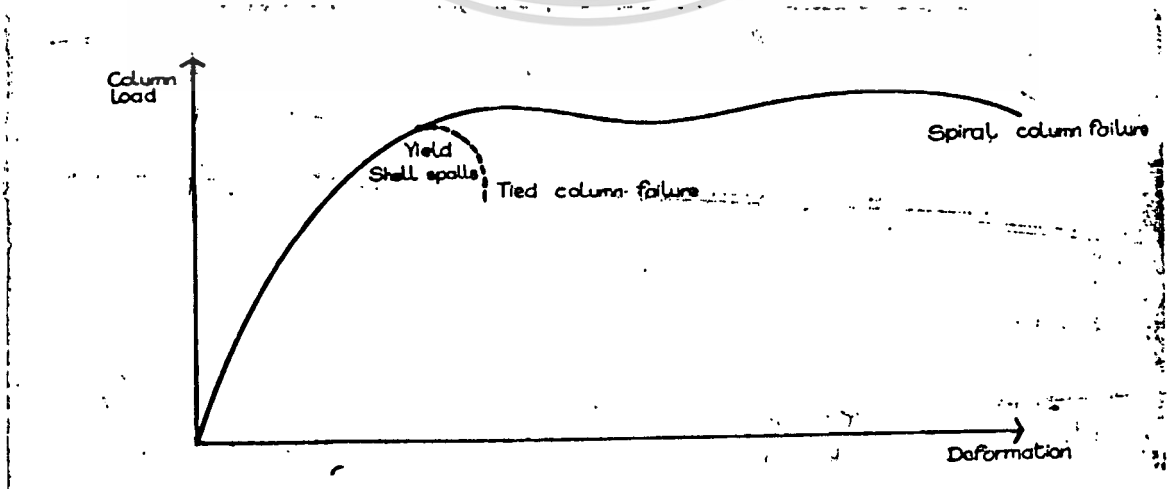
เสาเป็นส่วนของโครงสร้างที่รับแรงอัด หรือทั้งแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน เสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีหลายแบบ เช่น เสาปลอกเดี่ยว เสาปลอกเกลียว เสาเชิงประกอบ เป็นต้น ประเภทของเสาอาจจะแยกออกเป็น เสาสั้น และเสายาว เสาสั้นหมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดน้อยไม่เกินพิกัดที่จะทำให้เสานั้นแตกร้าวโดยการโก่งเดาะ เสายาวหมายถึง เสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดมาก ประมาณค่าเท่ากับ 60 หรือมากกว่า ความสามารถในการรับน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะขึ้นอยู่กับการโก่งเดาะ

ทฤษฎี กำลังประลัย

จากการทดลองของเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยว ที่มีขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมเท่ากันโดยให้รับน้ำหนักตามแนวแกน พบว่าที่จุดคลากของเสาทั้งเสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยวจะมีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการโก่งหรือหดตัว (Deformation) เหมือนกัน แต่เมื่อเสารับน้ำหนักเกินกว่าจุดนี้ เสาปลอกเดี่ยวจะชำรุดก่อนโดยคอนกรีตที่หุ้มจะถูกอัดแตกโดยแรงเฉือนในแนวทแยง และเหล็กเสริมตามยาวจะบิดเบี้ยวด้วยการโก่งเดาะ โดยมีค่าน้ำหนักประลัยเท่ากับค่าน้ำหนักที่ทำให้เสาถึงจุดคลาก ส่วนเสาปลอกเกลียวเมื่อน้ำหนักเลยจุดคลากคอนกรีตที่หุ้มจะถูกอัดแตกออก แต่เหล็กปลอกที่พันอยู่โดยรอบจะช่วยต้านทานการแตกของคอนกรีตภายในได้ ทำให้เสาปลอกเกลียวรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้อีกมีน้ำหนักประลัยสูงกว่าเสาปลอกเดี่ยว แต่อย่างไรก็ตาม การที่มี Deformation มากขึ้นจะไม่ถือว่าเสานี้เหมาะในการใช้งานอีก ดังนั้นส่วนของน้ำหนักประลัยที่เพิ่มขึ้นจะถือเป็นแต่เพียงข้อดีของเสาปลอกเกลียวเท่านั้น คือมีความปลอดภัยสูงกว่า และถือว่าเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยวรับน้ำหนักประลัยได้เท่ากัน มาตรฐาน ว.ส.ท. จึงให้ค่าตัวคูณลดค่า ϕ สำหรับเสาปลอกเดี่ยวเท่ากับ 0.7 และสำหรับเสาปลอกเกลียวเท่ากับ 0.75



รูปที่ 12.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการโก่งหรือหดตัวของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า คอนกรีตในเสาจะรับน้ำหนักถึงจุดคลากได้เพียง 85% ของน้ำหนักที่ใช้ในการหากำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก ดังนั้นความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา จะได้จากการรวมน้ำหนักที่เป็นส่วนของคอนกรีตและของเหล็กเสริม ดังนี้คือ

น้ำหนักประลัย $P'_u = 0.85 f'_c a_c + f_y a_{st}$

ในเมื่อ F'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอก

A_c = เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตทั้งหมด

F_y = กำลังจุดคลากของเหล็กเสริม

A_{st} = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทั้งหมด

จะเห็นได้ว่าทฤษฎีกำลังประลัยนี้ ใช้กำลังคอนกรีตถึง 85% ของกำลังอัดประลัยตามผลการทดลองที่ได้ ส่วนเหล็กเสริมก็จะใช้ถึงจุดคลากของเหล็ก ในการหากำลังรับน้ำหนัก แต่ในการใช้งานออกแบบจะมีการลดค่ากำลังโดยตัวคูณลด แต่ไม่มีการลดกำลังของเหล็กและกำลังของคอนกรีตที่รับได้จริงในส่วนของสูตรหาน้ำหนักประลัย

ทฤษฎี อีลาสติก

เสาสั้นรับน้ำหนักตามแกน ($\frac{n}{t} < 15$)

เสาปลอกเดี่ยว เสาคอนกรีตเสริมที่มีปลอกเดี่ยวพันเป็นระยะ ๆ รอบเหล็กยืนที่อยู่บนเส้นรอบรูปสี่เหลี่ยม ให้คำนวณกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน ดังนี้

$P = 0.85 A_g (0.25 F'_c + F_s P_g)$

P = กำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัยตามแนวแกนของเสา

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีต

P_g = อัตราส่วนระหว่างเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กยืนต่อเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีต

F_s = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม = $0.4 F_y \leq 2100$ KSC

ซึ่งจะเห็นจากสูตรข้างต้นได้ว่ากำลังรับน้ำหนักทั้งหมด หาได้จากกำลังของคอนกรีตและกำลังของเหล็กเสริม ในทฤษฎีกำลังประลัย จะใช้ค่ากำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลังรับที่ยอมให้ 34% ของกำลังคลากของเหล็กเสริมนั้น แต่ก็ให้ใช้ได้ไม่เกิน 2100 KSC ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าทฤษฎีอีลาสติกนี้มีความปลอดภัยสูงในการออกแบบ เนื่องจากใช้กำลังที่รับได้ในการออกแบบต่ำกว่าที่รับได้จริงค่อนข้างมาก

ทฤษฎีทางกำลังวัสดุ

จากการที่เสาคอนกรีตเสริมเหล็กประกอบด้วย คอนกรีตและเหล็กเสริม ดังนั้นกำลังของเสาจึงขึ้นอยู่กับกำลังของคอนกรีตและกำลังของเหล็กเสริม

$$P = P_c + P_s$$

โดยกำลังของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่รับได้จะเป็นสัดส่วน คือ กำลังที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริมจะเกิดขึ้น เนื่องจากการรับน้ำหนัก แล้วจะทำให้เสาเกิดความเครียดจนกระทั่งคอนกรีตเกิดแตกร้าวขึ้นไม่สามารถรับน้ำหนักได้แล้วจึงเกิดการพังทลายขึ้น ถ้ากำลังของเหล็กถึงจุดคลากแล้ว แต่กำลังของคอนกรีตยังไม่ถึงจุดประลัย เสาก็ยังคงรับน้ำหนักได้อยู่โดยไปพังทลาย แต่ถ้าคอนกรีตถึงจุดประลัยแล้วเหล็กยังไม่ถึงจุดคลาก เสาก็ไม่สามารถรับน้ำหนักอยู่ได้จะเกิดการพังทลายขึ้น ดังนั้นคอนกรีตจึงเป็นตัวควบคุมการพังทลาย แต่อย่างไรก็ตามการเสริมเหล็กจะช่วยให้รับกำลังได้ดีขึ้นและประหยัดหน้าตัด เนื่องจากคอนกรีตและเหล็กเสริมที่มีพื้นที่เท่ากัน เหล็กจะรับกำลังได้มากกว่า อีกทั้งยังช่วยในการรับแรงดึงอันเกิดจากโมเมนต์ดัดได้อีกด้วย

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. ไม้แบบ ใช้ไม้อัดหนา 10 มม. ขนาดหน้าตัด 15 X 15 ตารางเซนติเมตร ความสูง 50 เซนติเมตร
2. เหล็กเส้น ϕ6 มม. ใช้ทำเหล็กปลอกเสา ความยาว 36 ซม.
3. เหล็กเส้น ϕ12 มม. ใช้ทำเหล็กปลอกยืน ความยาว 50 ซม.
4. เหล็กเส้น ϕ20 มม. ใช้ทำเหล็กปลอกยืน ความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 ซม.

5. ลวดผูกเหล็ก
6. ขอนตอกไม้แบบ
7. เครื่องตัดเหล็ก
8. ตะปูตอกไม้แบบ ขนาด 1 "
9. ปูนซีเมนต์ตราช้าง จำนวน 4 ถุง
10. ทรายหยาบ 140 กก.
11. หินเกล็ด ขนาด 1 " และ ½"
12. น้ำ 40 กก.
13. Mold จำนวน 6 ลูก
14. เครื่อง Testing Machine
15. อุปกรณ์ Test Slump
16. เครื่องโม่ 1 เครื่อง
17. ตาชั่ง ขนาด 100 กิโลกรัม
18. รถเข็น

การคำนวณ Mixed Design

ตอนที่ 1

จากตารางใช้หิน 1 " สลัม 8 ซม.

จะได้ น้ำ = 195 ลิตร/ลบ.เมตรคอนกรีต

น้ำ : ซีเมนต์ = 0.6

ซีเมนต์ = $\frac{195}{0.6}$ = 325 กก/ลบ.เมตรคอนกรีต

โมดูลัสความละเอียด = 4.13

จากตาราง จะได้ = 0.63

หน่วยน้ำหนักหิน = 1570.65

น้ำหนักหิน = 0.63 × 1570.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 989.51 กก/ลบ.คอนกรีต

ปริมาตรน้ำ $= \frac{195}{1000}$ = 0.195 ม

ซีเมนต์ $= \frac{325}{4.35 \times 1000}$ = 0.075 ม

มวลหยาบ $= \frac{989.51}{2.66 \times 1000}$ = 0.372 ม

อากาศ = 0.01 ม

ทราย = 1-(0.195+ 0.075 + 0.372 + 0.01)

= 0.348 ม

ทราย = 0.348 2.6 1000

= 904.8 กก/ลบ.เมตรคอนกรีต

ดังนั้นจะได้

ปูน = 325 กก/ลบ.เมตรคอนกรีต

ทราย = 904.8 กก/ลบ.เมตรคอนกรีต

หิน = 989.51 กก/ลบ.เมตรคอนกรีต

น้ำ = 195 กก/ลบ.เมตรคอนกรีต

ตอนที่ 2 ใช้หินเกล็ดขนาด ½"

ดังนั้นจะได้

ปูน = 80 กก.

ทราย = 140 กก.

หิน = 250 กก.

น้ำ = 40 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ขนาดความหนาของโครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนังและเสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีตรับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0—15.0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	12.5-20	$\frac{3}{4}$	20	$\frac{3}{4}$ — 1	20—25	$\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{2}$	20—40
15.0—30.0	$\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{2}$	20—40	$1\frac{1}{2}$	40	$1\frac{1}{2}$	40	$1\frac{1}{2}$ — 3	40—75
30.0—75.0	$1\frac{1}{2}$ — 3	40—75	3	75	$1\frac{1}{2}$ — 3	40—75	3	75
มากกว่า 75.0	$1\frac{1}{2}$ — 3	40—75	6	150	$1\frac{1}{2}$ — 3	40—75	3—6	75—150

ตารางที่ 7.3 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 (ต่อ)

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม.^{3} สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	$\frac{3}{8}$" (10มม.)	$\frac{1}{2}$" (12.5มม.)	$\frac{3}{4}$" (20มม.)	1" (25มม.)	$1\frac{1}{2}$" (40 มม.)	2" (50มม.)	3" (75มม.)	6" (150 มม.)
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ								
3 — 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 — 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 — 18	215	205	190	185	170	165	160	—
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

หมายเหตุ ปริมาณน้ำที่แสดงนี้เป็นปริมาณสูงสุดสำหรับหินที่มีรูปร่างดี ช่วยให้ทำงานง่ายและลดหลั่นดีตามข้อกำหนด ถ้าจำเป็นต้องเพิ่มน้ำในส่วนผสม จะต้องเพิ่มปูนซีเมนต์ เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์คงที่ นอกจากผลการทดลองแสดงว่าคอนกรีตมีกำลังสูงเกินต้องการ

ถ้าส่วนผสมต้องการน้ำน้อยกว่ากำหนด ยังไม่ควรลดปริมาณปูนซีเมนต์นอกจากผลการทดลองแสดงว่าคอนกรีตให้กำลังสูงกว่าต้องการ

ตารางที่ 7.4 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้ สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อย ๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำเค็ม หรือถูกกับซัลเฟต
โครงสร้างบาง ๆ ที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.50	0.45*

*ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (ประเภทสองหรือประเภทห้า) อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นี้ได้อีก 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

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

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน ϕ 15×30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ตารางที่ 7.6 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่าง ๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
$\frac{3}{8}$" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
$\frac{1}{2}$" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
$\frac{3}{4}$" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
$1\frac{1}{2}$" (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้นี้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

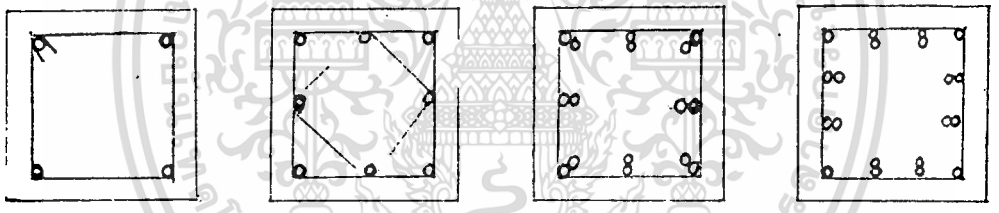
1. เลือกหน้าตัด และความสูงที่เหมาะสม คือ 15 x 15 ซม. สูง 50 ซม. ตีไม้แบบทำแบบหล่อ

2. ตัดเหล็กเส้นกลม 12 มิลลิเมตร ยาว 50 ซม. จำนวน 96 เส้น

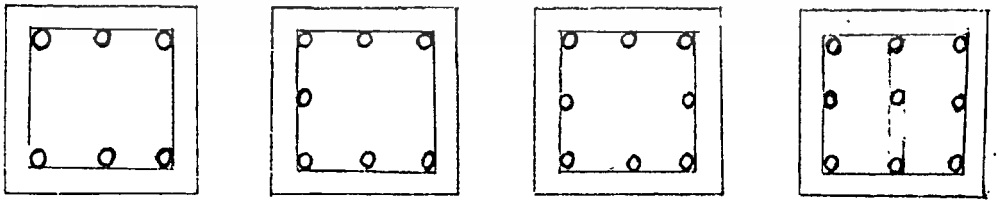
3. ตัดเหล็กข้ออ้อย 20 มิลลิเมตร ยาว 50 ซม. จำนวน 90 เส้น

4. ตัดเหล็กเส้นกลม 6 มิลลิเมตร มาทำเหล็กปลอก

5. นำเหล็กมาผูก เรียงดังรูป ต่อไปนี้



C 4 ∅12 mm C 8 ∅12 mm C 16 ∅12 mm C 20 ∅12 mm



C 6 ∅20 mm C 7 ∅20 mm C 8 ∅20 mm C 9 ∅20 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการหล่อเสาที่ผูกเหล็กเตรียมไว้แล้วในแบบหล่อ จากคอนกรีตที่ได้ออกแบบไว้

7. ทิ้งไว้ 1 วัน แล้วจึงถอดแบบหล่อ

8. ทำการบ่มคอนกรีตระยะเวลา 7 วัน

9. นำเสาออกมาทดสอบกำลังรับน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT..Column..over..Design...

LADKRABANG BANGKOK, THAILAND. TEL. 3269974

SAMPLE FROM.....

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

fc'.....

Specimen No.	Code of structure	Dimensions cm.		Weight kg.	Slump cm.	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate Load kg.	Compressive Strength		Weight per Volume		Remarks
		Cross Section	Height							ksc.	Psi.	kg/m^3	Lb/ft^3	
1	ลูกปูน 1	5.929"	30	12.54	13			7	21660	121.60				
2	" 2	5.941"	30	12.4	13			7	20820	116.41				
3	" 3	5.947"	30	12.43	13			7	20760	115.84				
4	" 4	5.942"	30	12.41	13			7	20920	116.93				
5	" 5	5.940"	30	12.39	13			7	20960	117.24				
6	" 6	5.946"	30	12.5	13			7	21100	117.78				

AVERAGE 117.63 KSC.

TYPE OF SAMPLE..... ☐ CUBE ☑ CYLINDER

METHOD OF CASTED..... ☐ MANUAL ☐ SPINNING

TESTED BY.....

COMPUTED BY.....

ENGINEER.....

.....

PROJECT..COLUMN..OVER..DESIGN

LADKRABANG BANGKOK, THAILAND. TEL. 3269974

SAMPLE FROM.....

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

fc'.....

Specimen No.	Code of structure	Dimensions cm.		Weight kg.	Slump cm.	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate Load kg.	Compressive Strength		Weight per Volume		Remarks
		Cross Section	Height							ksc.	Psi.	kg/m^3	Lb/ft^3	
1.1	C 4 Ø12	14×15.5	50	26.87					38600	177.88	P=	38675 Kg ; P_J = 1.73%		
1.2	C 4 Ø12	15×15	50	27.5					38750	172.22				
2.1	C 8 Ø12	15×15	50	28.2					51190	227.51	P=	51595 Kg ; P_J = 3.41%		
2.2	C 8 Ø12	15×15	50	29.0					52000	231.11				
3.1	C 16 Ø12	15.2×16	50	31.8					76950	316.41	P=	77225 Kg ; P_J = 6.25%		
3.2	C 16 Ø12	15.5×16	50	32.6					77500	312.5				
4.1	C 20 Ø12	15×16	50	32.4					85560	356.5	P=	84945 Kg ; P_J = 8.00%		
4.2	C 20 Ø12	15×16	50	33.5					84330	351.38				

TYPE OF SAMPLE..... ☐ CUBE ☐ CYLINDER

METHOD OF CASTED..... ☐ MANUAL ☐ SPINNING

TESTED BY.....

COMPUTED BY.....

ENGINEER.....

.....

PROJECT Column Over Design

LADKRABANG BANGKOK, THAILAND. TEL. 3269974

SAMPLE FROM.....

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

fc'.....

Specimen No.	Code of structure	Dimensions cm.		Weight kg.	Slump cm.	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate Load kg.	Compressive Strength		Weight per Volume		Remarks
		Cross Section	Height							ksc.	Psi.	kg/m^3	Lb/ft^3	
1	ลูกปูน	5.908"	30	12.56	8				20520	116.02				
2	"	5.987"	30	12.59	8				21700	119.48				
3	"	5.90"	30	12.64	8				20580	116.67	AVERAGE 117.29			
4	"	5.90"	30	12.4	8				20500	116.22				
5	"	5.950"	30	12.70	8				21180	118.07				

TYPE OF SAMPLE..... ☐ CUBE ☑ CYLINDER

METHOD OF CASTED..... ☐ MANUAL ☐ SPINNING

TESTED BY.....

COMPUTED BY.....

ENGINEER.....

.....

PROJECT..Column Over Design...

LADKRABANG BANGKOK, THAILAND. TEL. 3269974

SAMPLE FROM.....

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

fc'.....

Specimen No.	Code of structure	Dimensions cm.		Weight kg.	Slump cm.	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate Load kg.	Compressive Strength		Weight per Volume		Remarks
		Cross Section	Height							ksc.	Psi.	kg/m^3	Lb/ft^3	
1.1	C 6Ø20	15×15.3	50	31.6	8				52200	227.45				
1.2	C 6Ø20	15×15.2	50	32.1	8				54600	239.47	P=	53500 Kg; P_g = 8.34 %		
1.3	C 6Ø20	15×14.7	50	32.5	8				53700	243.54				
2.1	C 7Ø20	15×14.7	50	33	8				54750	248.3				
2.2	C 7Ø20	15×14.8	50	32.2	8				54000	243.24	P=	54466.67 Kg; P_g =	9.97 %	
2.3	C 7Ø20	15×14.6	50	32.6	8				54650	249.54				

TYPE OF SAMPLE..... ☐ CUBE ☐ CYLINDER

METHOD OF CASTED..... ☐ MANUAL ☐ SPINNING

TESTED BY.....

COMPUTED BY.....

ENGINEER.....

.....

PROJECT Column Over Design

LADKRABANG BANGKOK, THAILAND. TEL. 3269974

SAMPLE FROM.....

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

fc'.....

Specimen No.	Code of structure	Dimensions cm.		Weight kg.	Slump cm.	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate Load kg.	Compressive Strength			Weight per Volume		Remarks
		Cross Section	Height							ksc.	Psi.		kg/m^3	Lb/ft^3	
3.1	C 8Ø20	14.9×15.1	50	33.6	8				54900	244.01					
3.2	C 8Ø20	15×15.1	50	33.8	8				57000	251.66		∴ P=	56450	P_g= 11.10%	
3.3	C 8Ø20	15×15.2	50	33.6	8				57450	251.97					
4.1	C 9Ø 20	15×14.8	50	34.4	8				81000	364.86					
4.2	C 9Ø20	15×14.9	50	34.4	8				86550	387.25		P=	82550	P_g= 12.65%	
4.3	C 9Ø20	15×15	50	34.3	8				80100	356					

TYPE OF SAMPLE..... ☐ CUBE ☐ CYLINDER

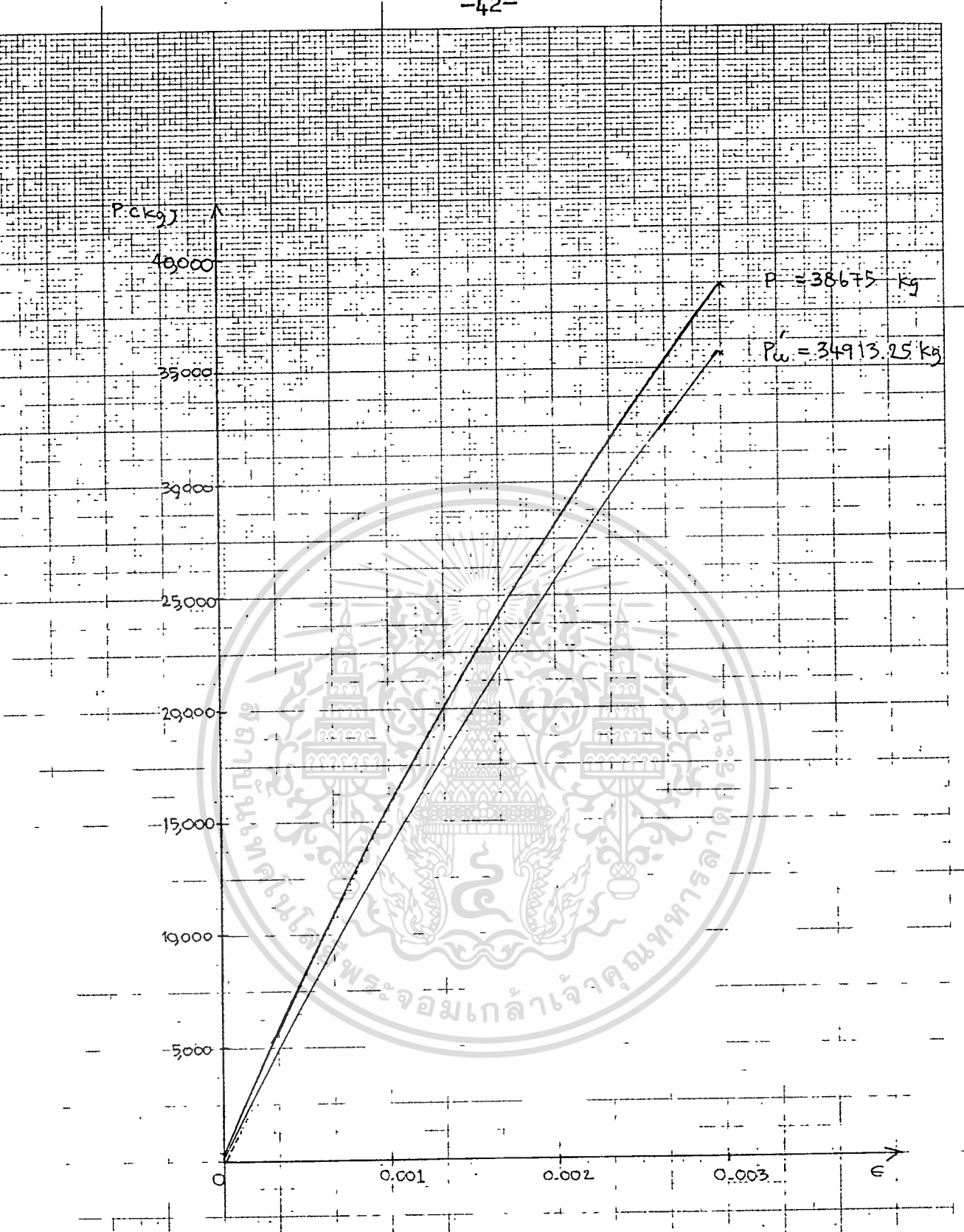
METHOD OF CASTED..... ☐ MANUAL ☐ SPINNING

TESTED BY.....

COMPUTED BY.....

ENGINEER.....

.....



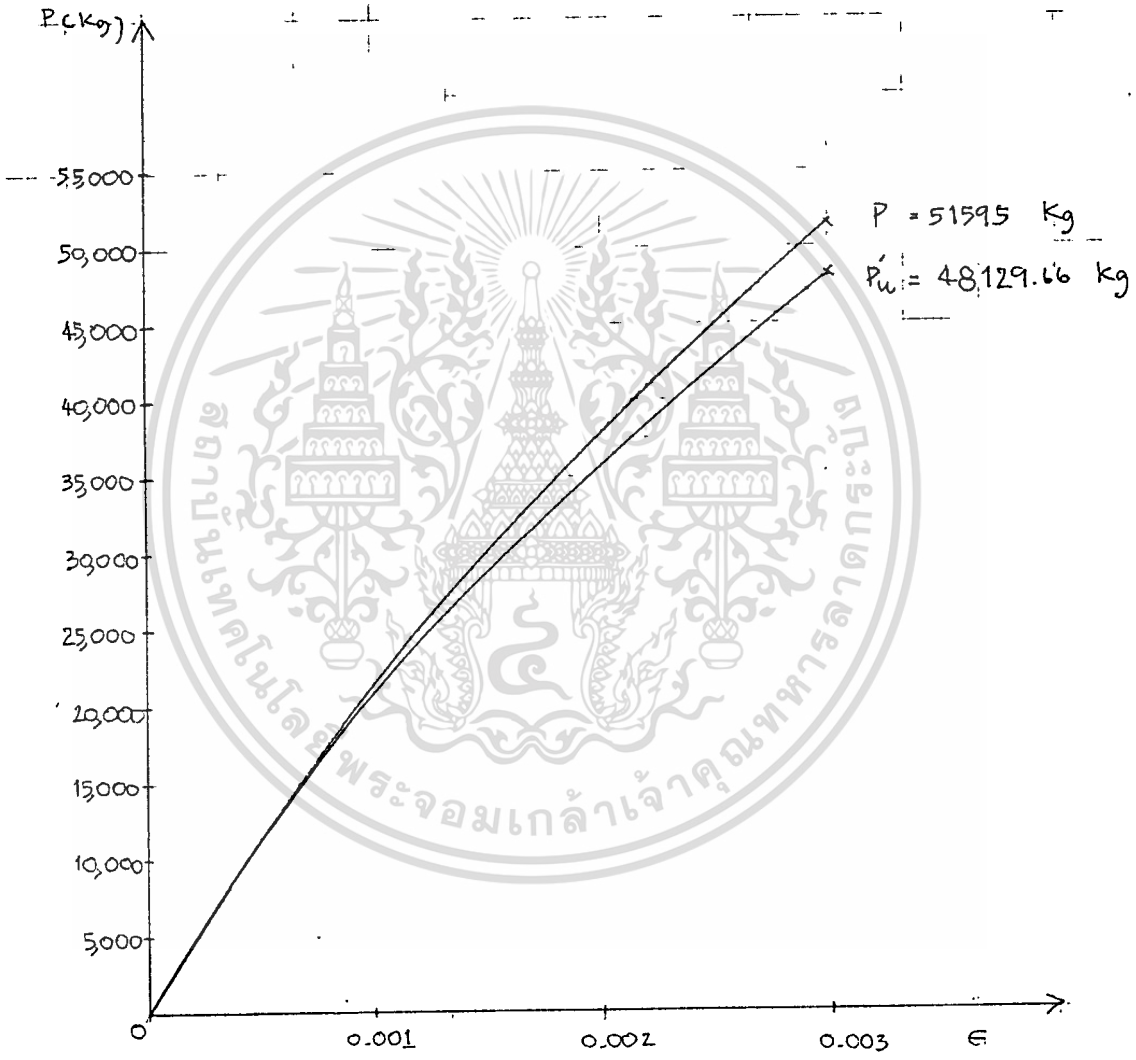
P'_u = กำลังอัดประลัยทางทฤษฎี

P = กำลังอัดประลัยทางการทดลอง

P_g = 1.73%

$P = 1.17\ P'_u$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



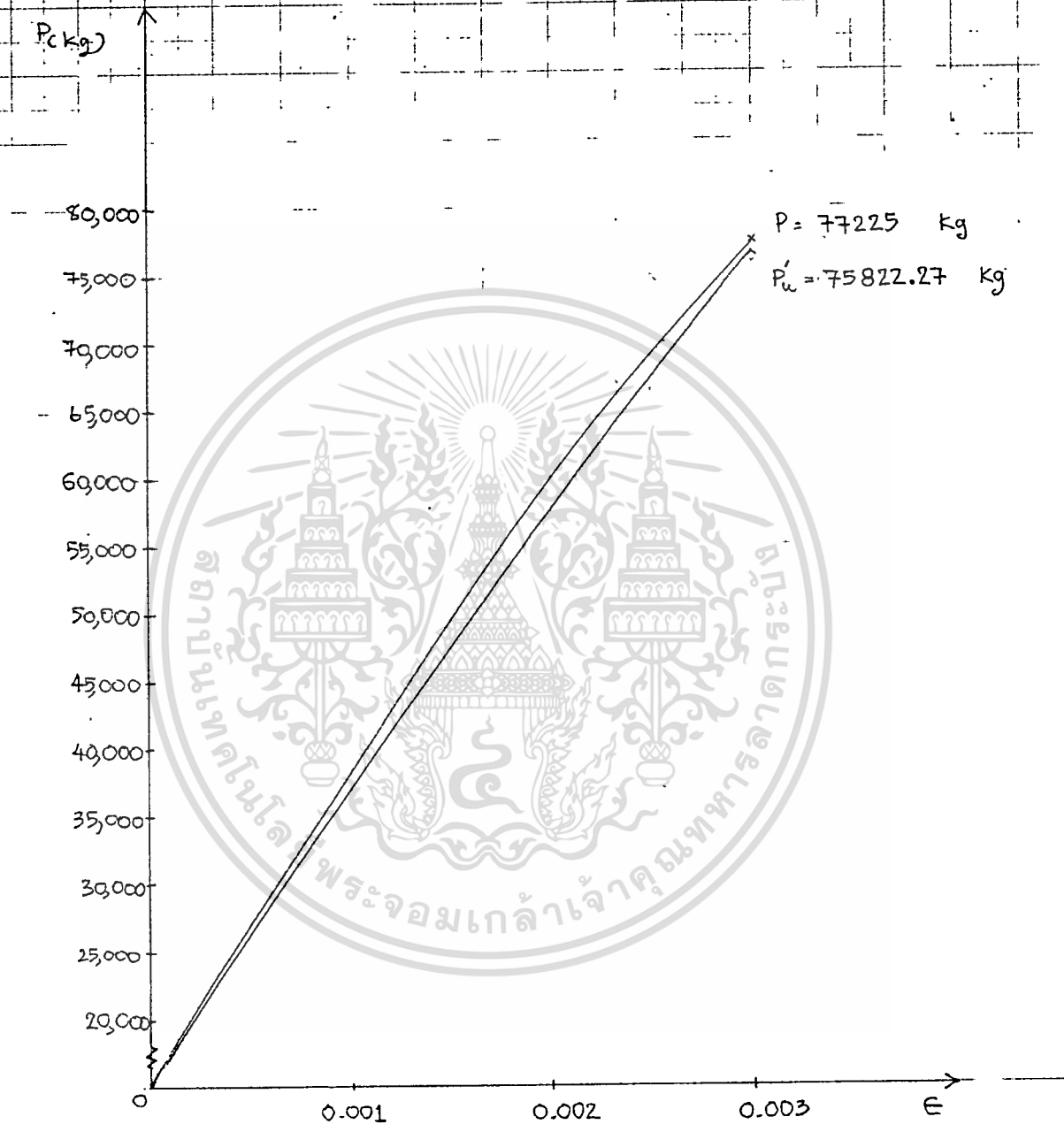
P'_u = กำลังอัดประลัยทางทฤษฎี

P = กำลังอัดประลัยทางการทดลอง

P_g = 3.41 %

$P = 1.07\ P'_u$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



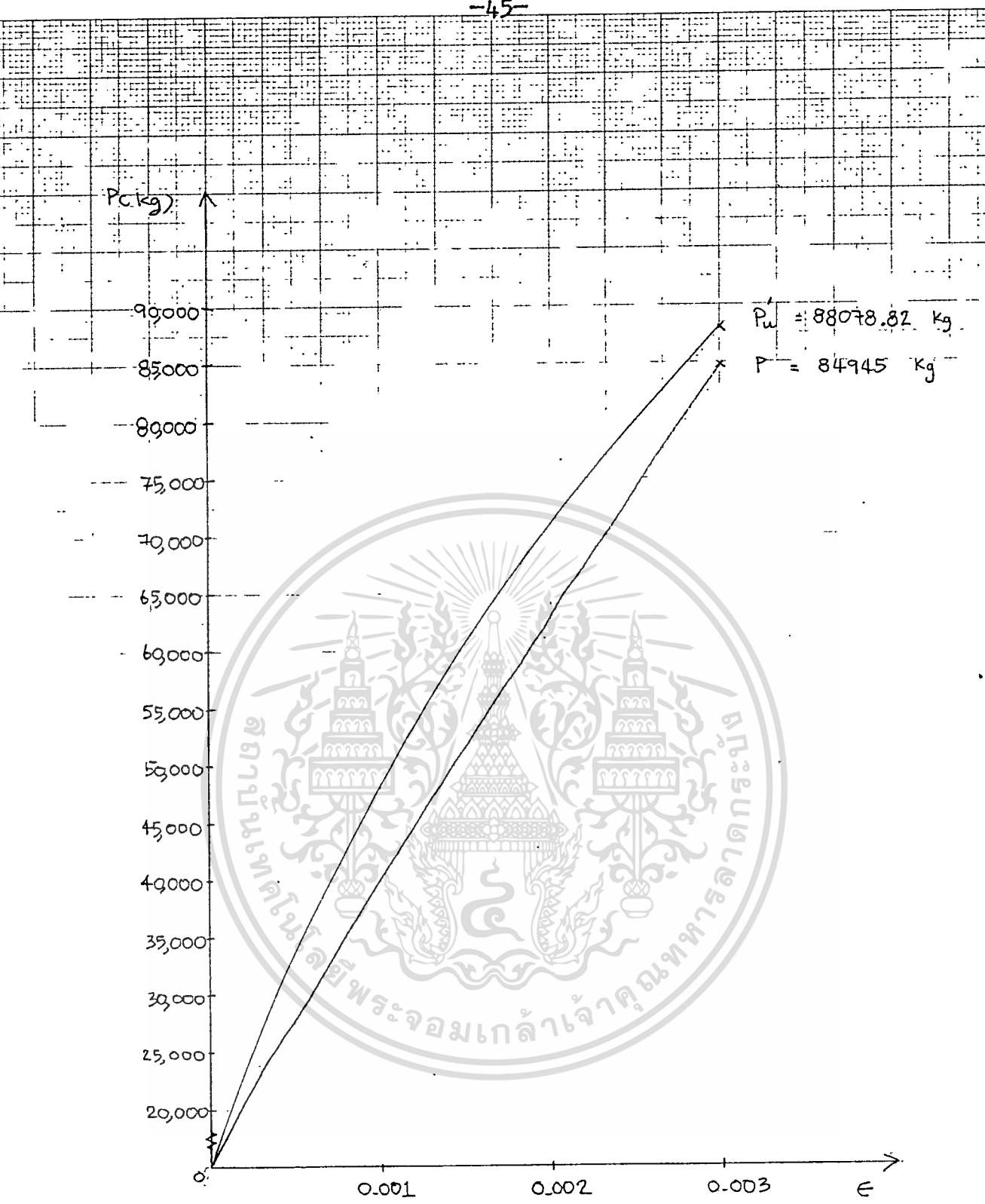
P'_u = กำลังอัดทางทฤษฎี

P = กำลังอัดทางการทดลอง

P_g = 6.25 %

$P = 1.01\ P'_u$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



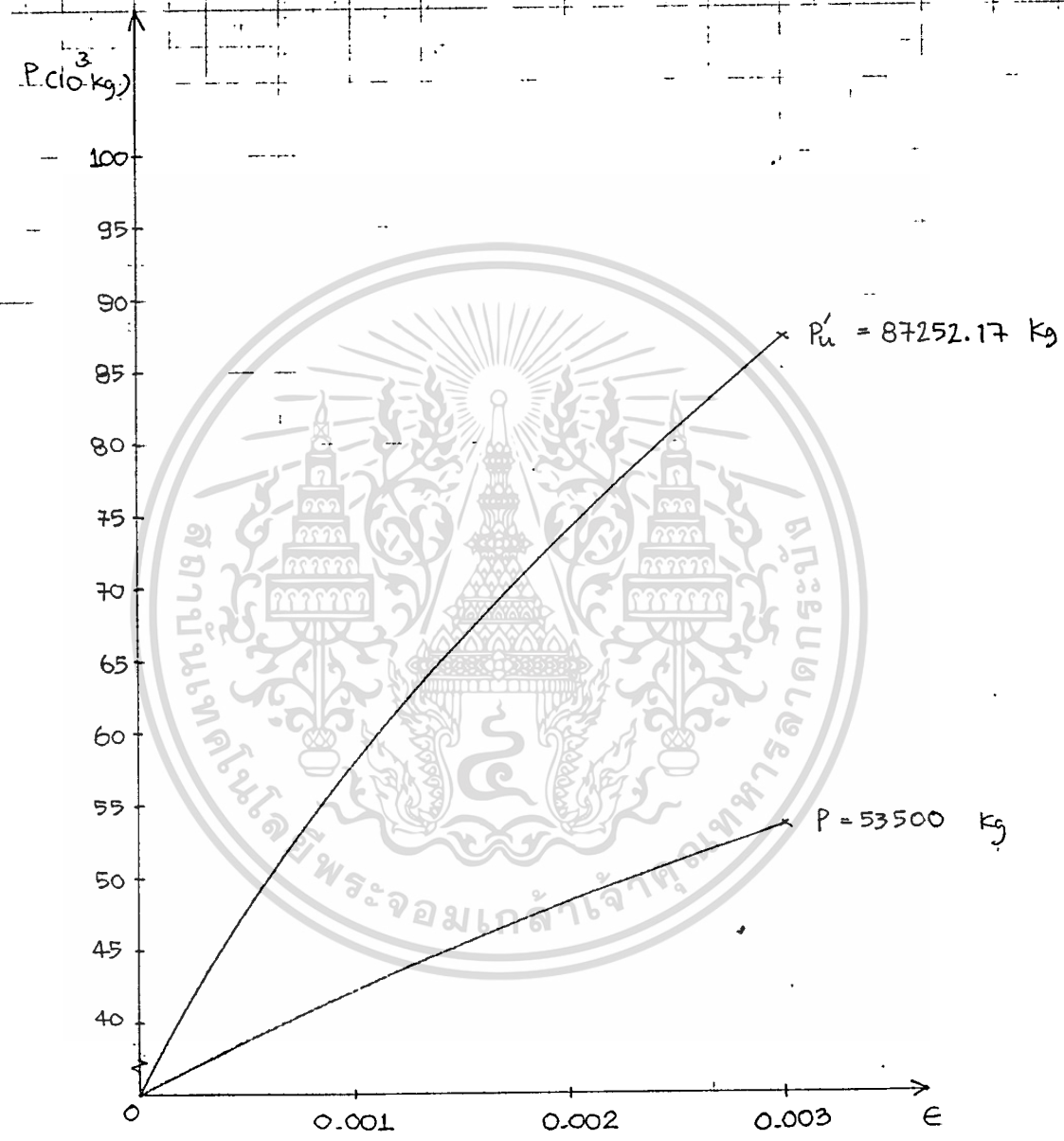
P'_u = กำลังอัดทางทฤษฎี

P = กำลังอัดทางผลการทดลอง

P_g = 8 %

$P = 0.96\ P'_u$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



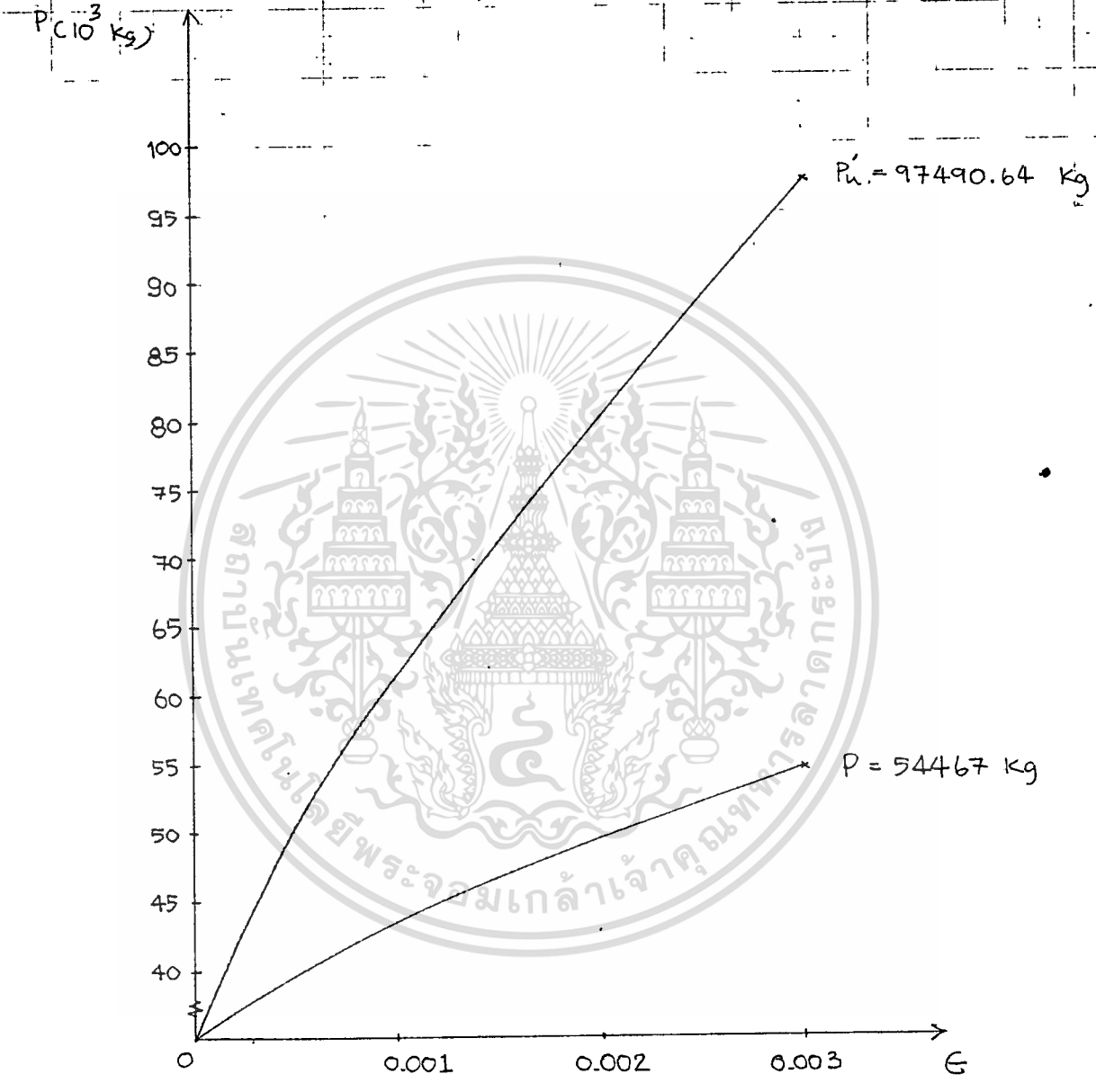
P'_u = กำลังรับประลัยทางทฤษฎี

P = กำลังรับประลัยทางการทดลอง

P_g = 8.34 %

P = 0.61 P'_u

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



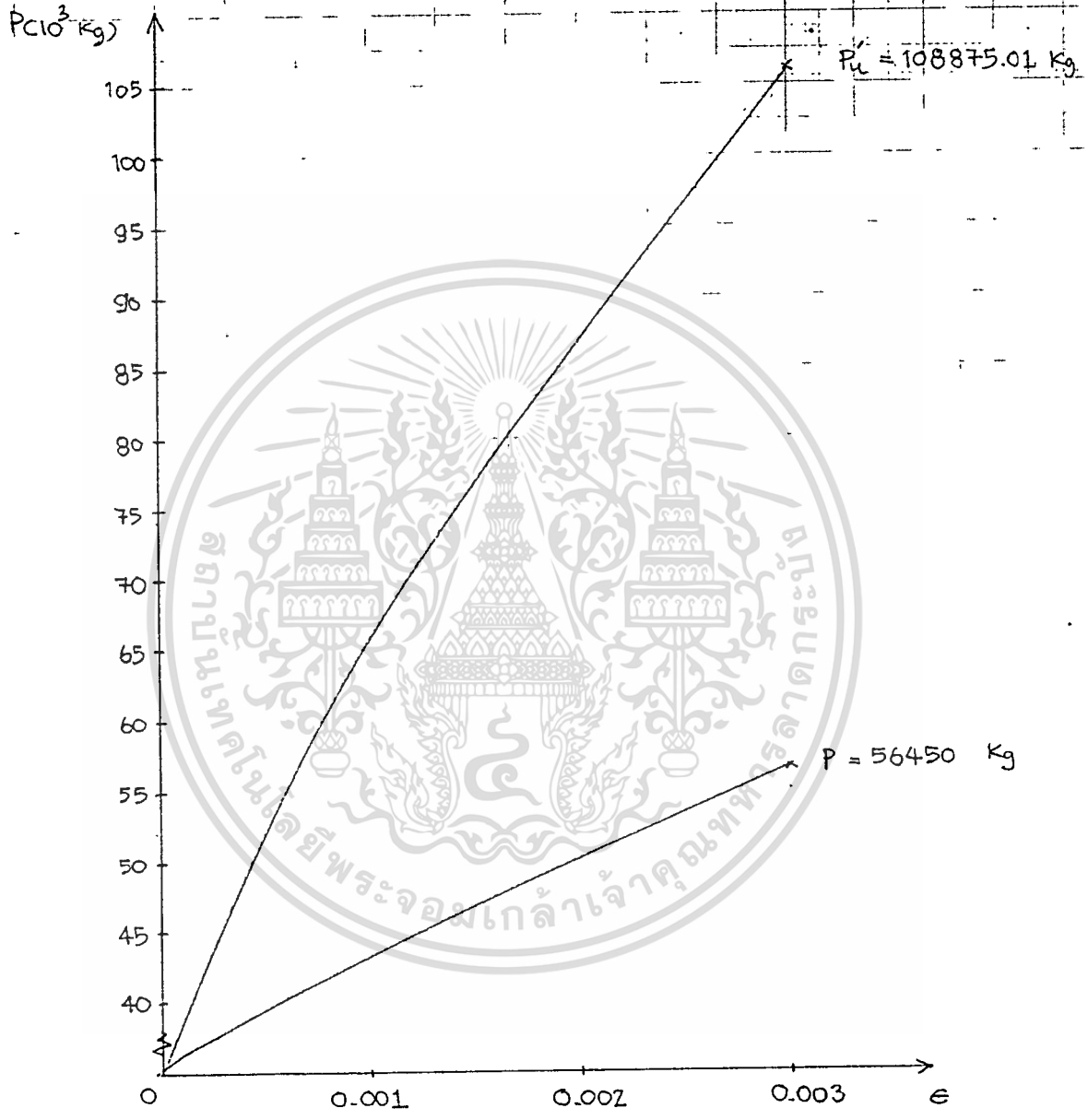
P' = กำลังอัดประลัยทางทฤษฎี

P = กำลังอัดประลัยทางการทดลอง

P_g = 9.97%

P = 0.56 P'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



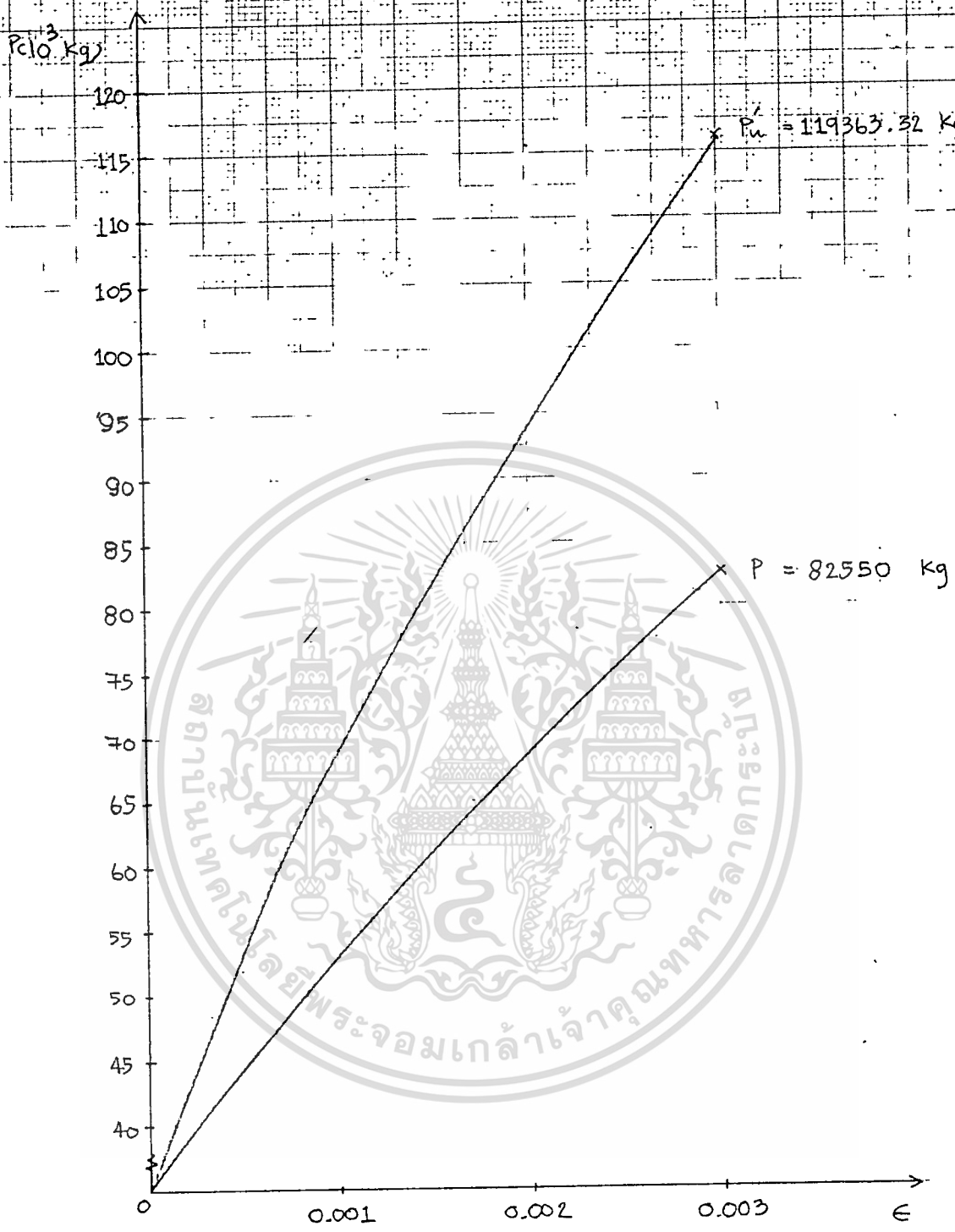
P'_u = กำลังอัดทางทฤษฎี

P = กำลังอัดทางผลการทดสอง

P_g = 11.10 %

$P = 0.52\ P'_u$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



P'_u = กำลังอัดทางทฤษฎี

P = กำลังอัดทางผลการทดลอง

P_g = 12.65 %

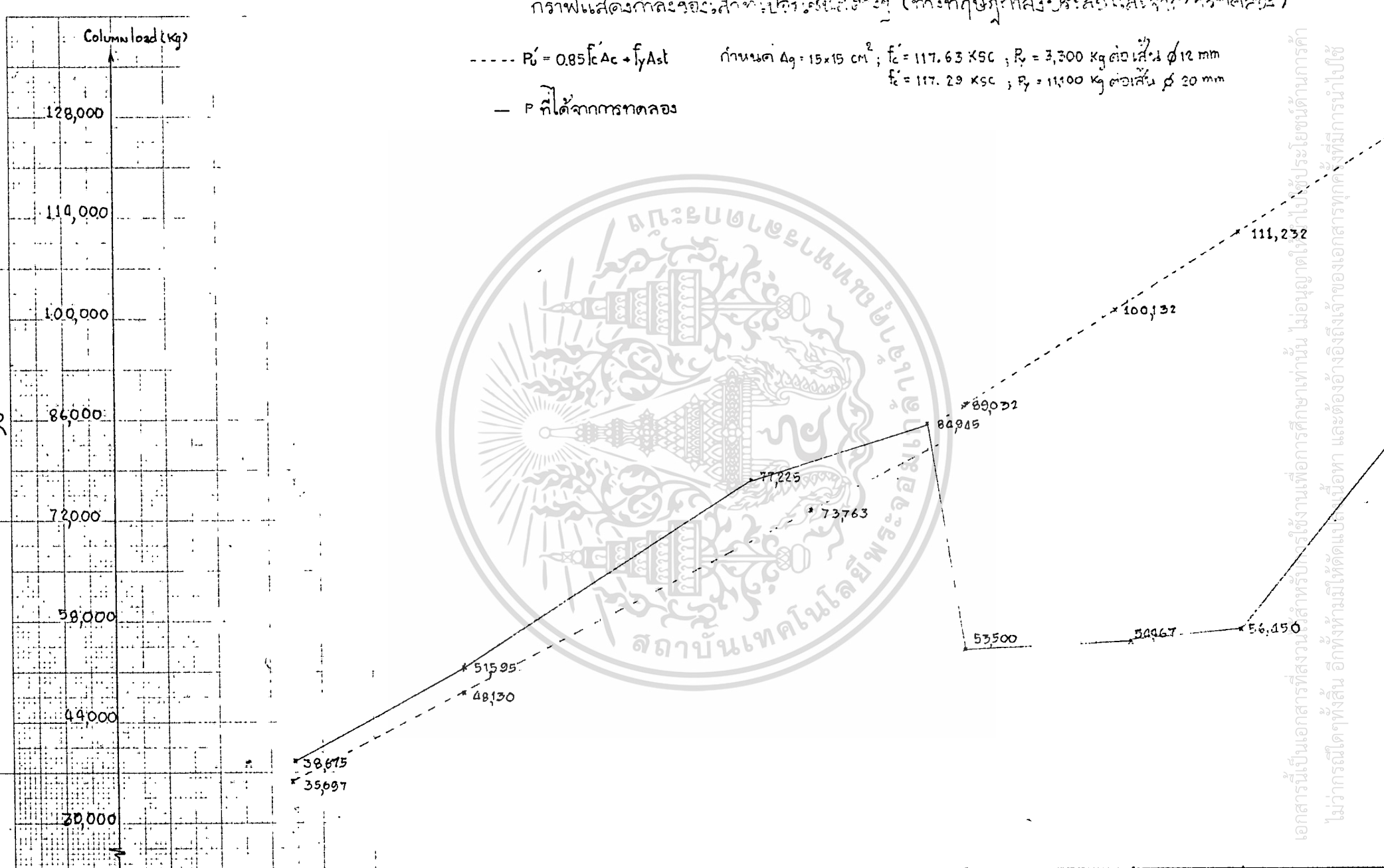
P = 0.69 P'_u

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการละจุดระสัดระหว่างผลการทดสอบ (พิจารณาที่ผิวรับแรงอัด)

----- $P_u' = 0.85 f_c' A_c + f_y A_{st}$ กำหนด $A_g = 15 \times 15\ cm^2$; $f_c' = 117.63$ KSC ; $P_y = 3{,}300$ Kg ต่อเส้น ϕ 12 mm
$f_c' = 117.29$ KSC ; $P_y = 11{,}100$ Kg ต่อเส้น ϕ 20 mm

— P ที่ได้จากการทดลอง



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กระทรวงศึกษาธิการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการลดกำลังเสาเมื่อเสริมเหล็กเกิน 8%

$F_c' = 117.29$ Ksc $F_y = 3533.24$ Ksc (เหล็กข้ออ้อย SD 30)

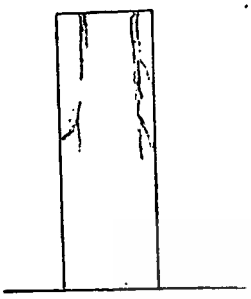
ปริมาณเหล็กเสริม (%)	กำลังที่รับได้จากการทดลอง	กำลังที่รับได้จากทฤษฎีกำลังประลัย	กำลังที่ลดลง (%เทียบกับ-ทฤษฎี)
8.00	84945	8807.9	3.55%
8.34	53,500	87,252.17	38.68%
8.50	53,595	88,257.17	39.27%
9.00	53,892	91,397.81	41.04%
9.50	54,188	94,538.44	42.68%
9.97	54,467	97,490.64	44.13%
10.00	54,519	97,792.89	44.25%
10.50	55,397	102,830.49	46.13%
11.00	56,274	107,868.09	47.83%
11.10	56,450	108,875.61	48.15%
11.50	63,185	111,582.12	43.37%
12.00	71,605	114,965.25	37.72%
12.50	80,024	118,348.38	32.38%
12.65	82,550	119,363.32	30.84%

(หมายเหตุ : ประมาณค่าต่าง ๆ ในช่วง 8.34-9.97-11.1-12.65 โดยใช้เส้นตรงระหว่างจุด 2 จุด ที่ค่านั้น ๆ อยู่)

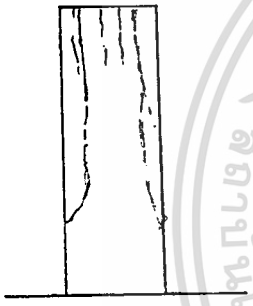
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

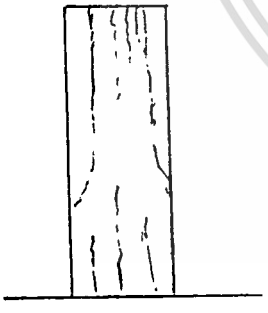
รูปแบบการพังทลาย



เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม 1–8%

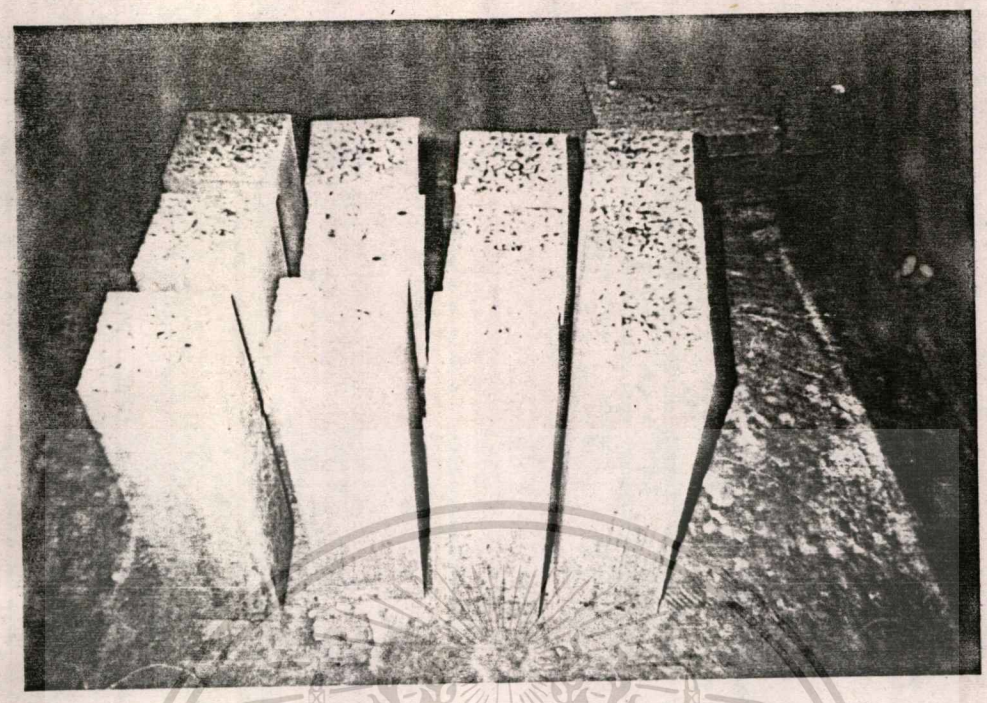


เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม 8–11%

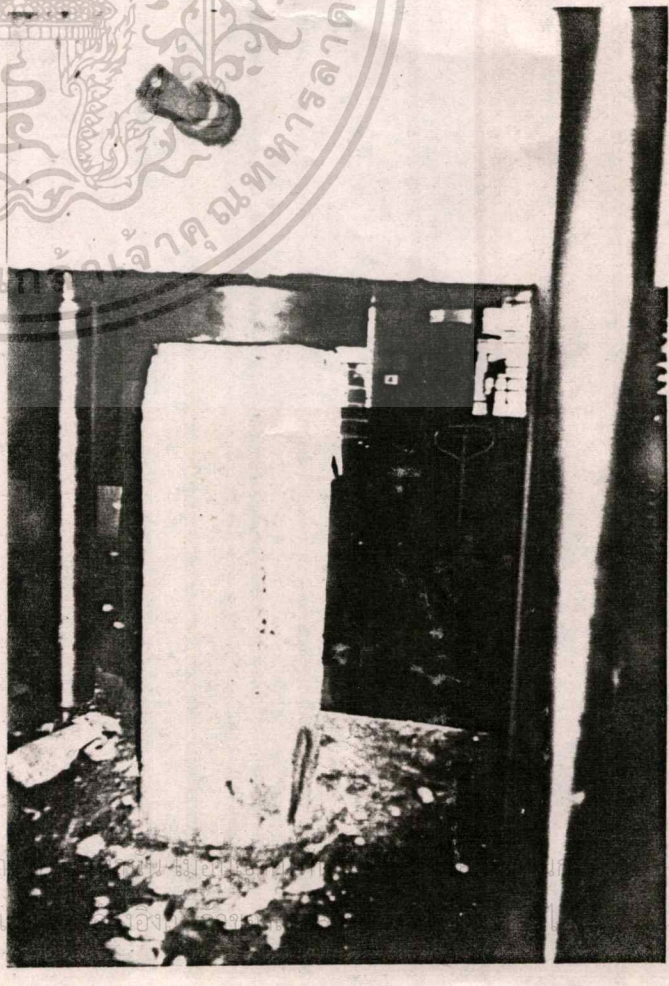


เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม 12.65%

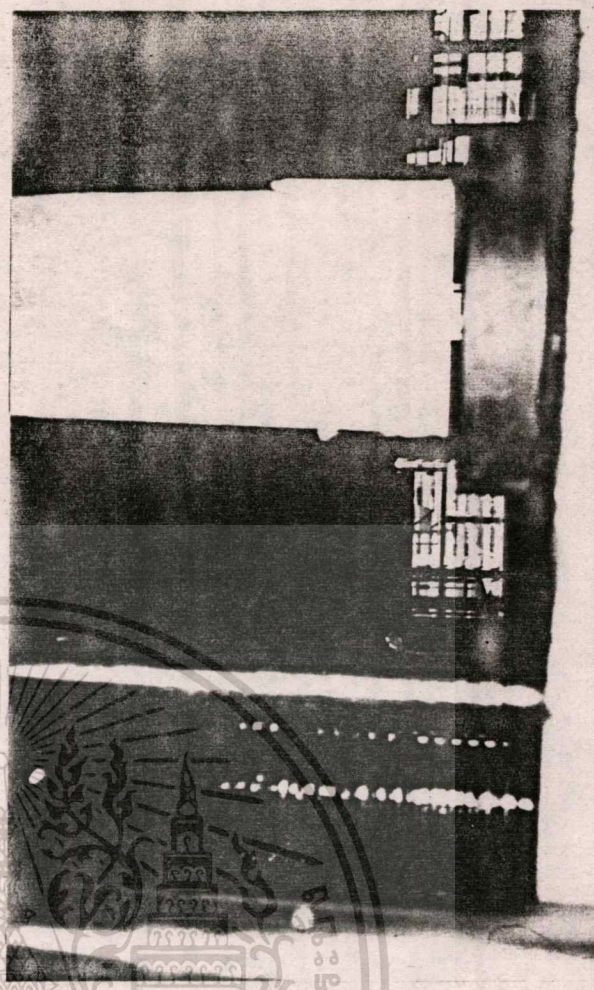
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



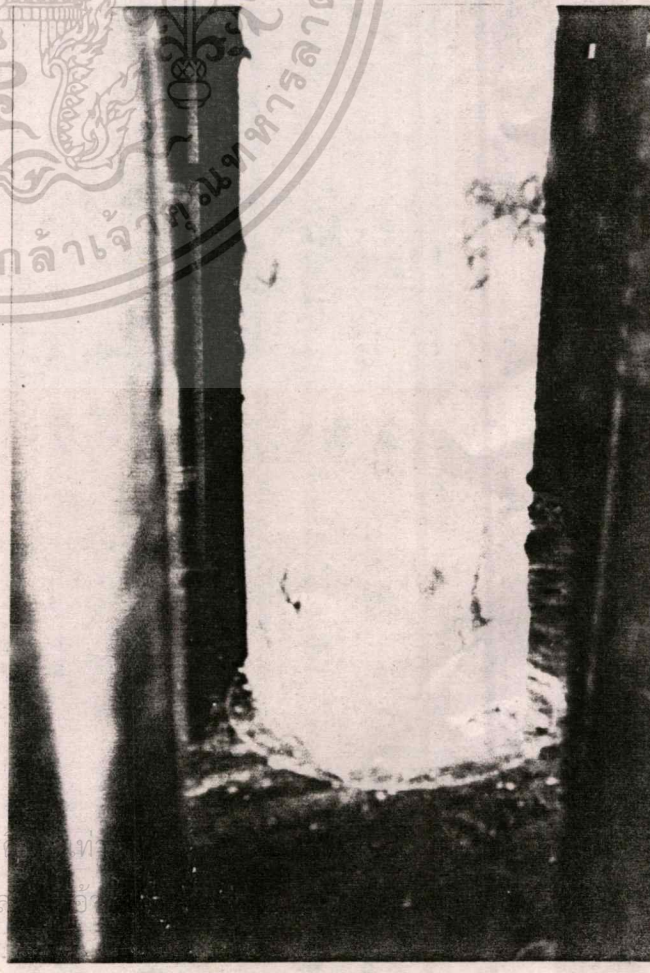
การกดเสา 2%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อก
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา



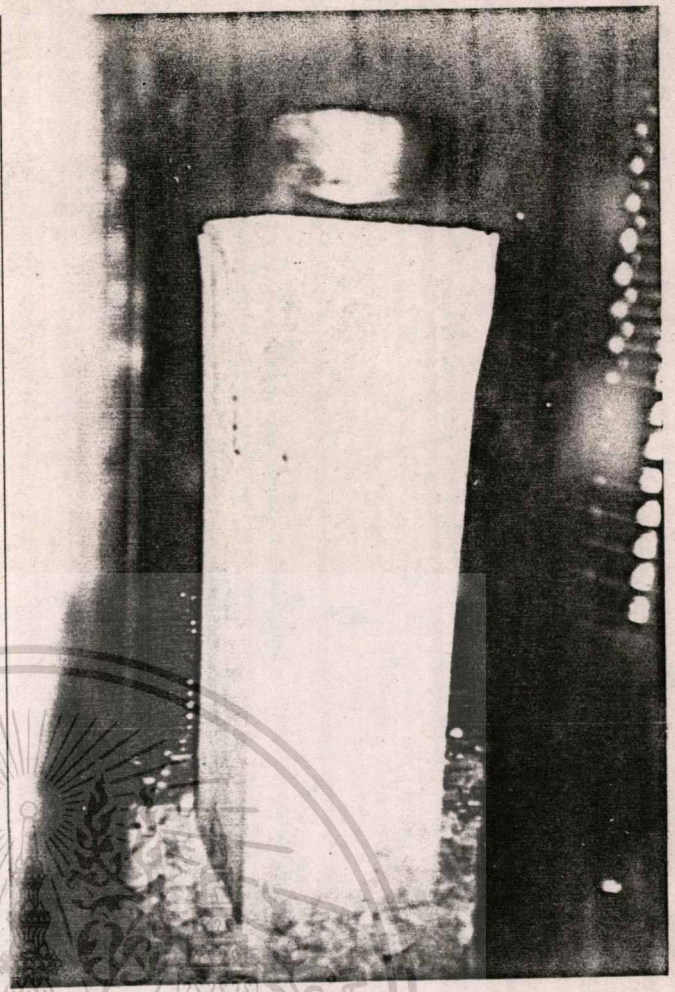
การพังทลายของเสา เมื่อทำการกดเสา 10%



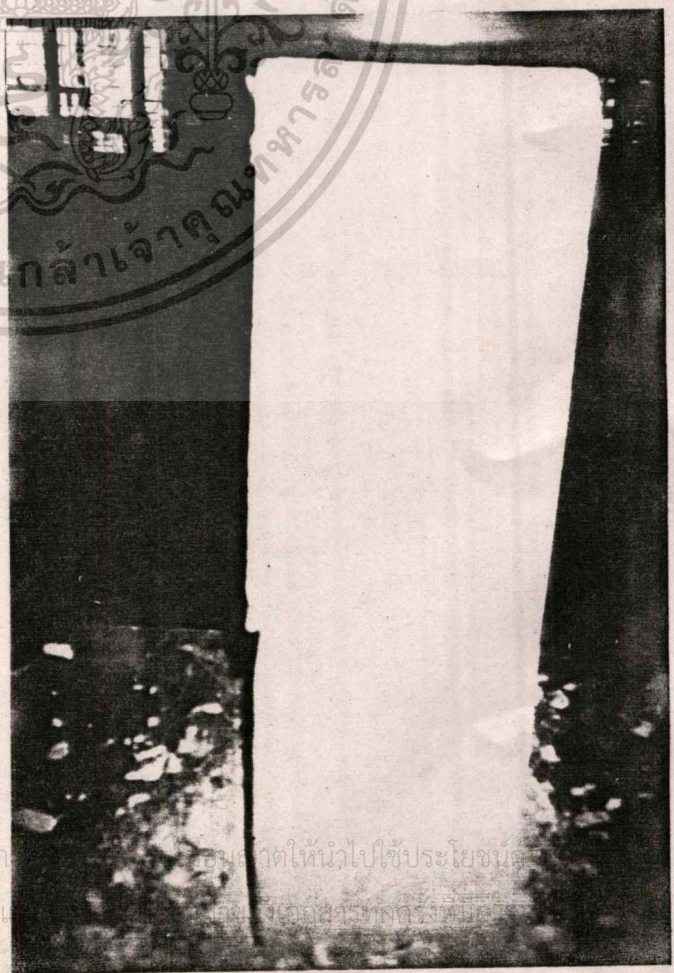
เสาขณะที่ถูกกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

การกดเสา 11.1%



การกดเสา 12.65%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อกา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา

บทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากทฤษฎีอีลาสติก $P = 0.85\ Ag\ (0.25\ F_c' + F_s P_g)$

จากทฤษฎีกำลังประลัย $P = 0.85\ F_c' Ac + F_y A_{st}$

โดย

Ag = พื้นที่หน้าตัดเสา

Ast = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืน

Ac = พื้นที่หน้าตัดคอนกรีต

Fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตทรงกระบอก

Pg = เปอร์เซ็นต์ของเหล็กเสริม

Fy = กำลังคลากของเหล็กเสริม

Fs = กำลังของเหล็กเสริม

= 0.4 Fy หรือ 2100 Ksc

ตอนที่ 1 C 4ϕ 12 ม.ม.

Pg = 1.73%

Fc' = 117.63 Ksc

Fy = 3441.12 Ksc

หรือ Py = 3300 Kg / เส้น

Plab = 38675 Kg

Pu' = 34913.25 Kg (คิดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย)

= 90.27% ของ Plab

Pelastie = 10099.36 Kg (คิดพื้นที่หน้าตัด 15 15 จากการออกแบบ)

= 26.11% ของ Plab

C 8ϕ 12 ม.ม.

Pg = 3.41%

Plab = 51595 Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_u' = 48129.66 Kg (คิดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย)

= 93.28% ของ Plab

Pelastic= 14600.86 Kg (คิดพื้นที่ 15 x 15 จากการออกแบบ)

= 28.30% ของ Plab

C 16ϕ 12 ม.ม.

Pg = 6.25%

Plab = 77225 Kg

P_u' = 75822.27 Kg (คิดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย)

= 98.18% ของ Plab

Pelastic=23577.54 Kg (คิดพื้นที่ 15 x 15)

=30.53% ของ Plab

C 20ϕ 12 ม.ม.

Pg =8.00%

Plab= 84945 Kg

P_u' =88078.82 Kg (คิดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย)

= 103.69% ของ Plab

Pelastic= 28052.42 Kg (คิดพื้นที่ 15 x 15)

= 33.02% ของ Plab

ตอนที่ 2 F_c' = 117.92 Ksc ต่อเส้น

P_y = 11100 Kg

F_y' = 3533.24 Ksc

C 6ϕ 20 ม.ม.

Pg = 8.34%

Plab = 53500 Kg

P_u' = 87252.17 Kg (คิดจากพื้นที่เฉลี่ย)

Pelastic = 28258.47 Kg (คิดจากพื้นที่ 15 x15)

= 52.82% ของ Plab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{lab} ต่ำกว่า P_u' = 38.68% เทียบจาก P_u'

C 7ϕ/20 ม.ม.

Pg = 9.97%

Plab = 54467 Kg

P_u' = 97490.64 Kg (คิดจากพื้นที่เฉลี่ย)

Pelastic= 32015.54 Kg (คิดจากพื้นที่ 15x 15)

= 58.78% ของ Plab

Plab ต่ำกว่า P_u' = 44.13% เทียบจาก P_u'

C 8ϕ 20 ม.ม.

Pg = 11.10%

Plab = 56450 Kg

P_u' = 108875.61 Kg (คิดจากพื้นที่เฉลี่ย)

Pelasitc= 35799.64 Kg (คิดจากพื้นที่ 15x15)

= 63.42% ของ

Plab ต่ำกว่า P_u' = 48.15% เทียบจาก

C 9ϕ 20 ม.ม.

Pg = 12.65%

Pla =82550 Kg

P_u' = 119363.32 Kg (คิดจากพื้นที่เฉลี่ย)

Pelastic= 39583.74 Kg (คิดจากพื้นที่ 15x 15)

= 47.95% ของ Plab

Plab ต่ำกว่า P_u' = 30.84% เทียบจาก P_u'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะพบว่า ที่เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมระหว่าง 1.73%-7% แนวโน้มการรับน้ำหนักจะเป็นไปตามทฤษฎีกำลังประลัย คือ กำลังที่ได้จากทฤษฎีกำลังประมาณ 90% ถึง 100% ของกำลังที่รับได้จากการทดลอง ส่วนทฤษฎีอีลาสติกจะมีกำลังรับประมาณ 25% ถึง 30% ของน้ำหนักที่รับได้จากการทดลอง

เมื่อเสริมเหล็กที่ 8% จะเห็นได้จากกราฟว่า ค่าที่ได้จากทฤษฎีกำลังประลัยจะเกินกว่าค่าที่ได้จากการทดลองเล็กน้อย ส่วนทฤษฎีอีลาสติกจะมีค่าอยู่ประมาณ 33% ของกำลังที่รับได้จากการทดลอง แนวโน้มค่าทางทฤษฎีอีลาสติกจะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

เมื่อเสริมเหล็กเกินกว่า 8% ค่ากำลังที่รับได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าทฤษฎีกำลังประลัยมาก ประมาณ 30%-50% เมื่อเทียบกับกำลังที่รับได้ตามทฤษฎีกำลังประลัย แต่เมื่อเสริมเหล็กเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มมากขึ้น มีแนวโน้มที่จะรับกำลังได้เพิ่มขึ้น เช่นที่ เปอร์เซ็นต์ 9.97 รับกำลังได้มากกว่าที่เปอร์เซ็นต์ 8.34 เล็กน้อย ที่เปอร์เซ็นต์ 11.1 รับกำลังได้มากกว่าที่เปอร์เซ็นต์ 9.97 เพิ่มขึ้นอีก ส่วนที่เปอร์เซ็นต์ 12.65 รับกำลังได้มากกว่าที่เปอร์เซ็นต์ 11.1 มาก แสดงว่ามีแนวโน้มที่จะรับกำลังได้ดีขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับ ส่วนค่ากำลังที่ได้จากทฤษฎีอีลาสติก จะมีค่าประมาณ 35-65 เปอร์เซ็นต์ของกำลังที่รับได้จากการทดลอง แสดงว่าการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติกจะยังคงให้ความปลอดภัยได้อยู่ ถึงแม้ว่าจะเสริมเกินกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม และเพื่อที่จะทราบถึงพฤติกรรมการรับกำลังของเสา จึงควรที่จะวิเคราะห์ถึงกำลังของคอนกรีต และเหล็กเสริมที่รับได้ที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ จากค่าที่ได้จากการทดลอง ดังนี้

กำหนดให้

P_y = 3300 Kg ต่อเส้น

F_c' = 117.63 Ksc

P_s = กำลังรับของเหล็กเสริม

P_c = กำลังรับของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C 4ϕ 12 m.m. A_c = 217.164 Cm^2

P = 38675 Kg

P_s = 13200 Kg

P_c = 25475 Kg

แสดงว่าคอนกรีตมีกำลังรับได้ = 117.31 Ksc

C 8ϕ 12 m.m. A_c = 217.328 Cm^2

P = 51595 Kg

P_s = 26400 Kg

P_c = 25195 Kg

แสดงว่าคอนกรีตมีกำลังรับได้ = 115.93 Ksc

C 16ϕ 12 m.m. A_c = 230.256 Cm^2

P = 77225 Kg

P_s = 52800 Kg

P_c = 24425 Kg

แสดงว่าคอนกรีตมีกำลังรับได้ = 106.08 Ksc

C 20ϕ 12 m.m. A_c = 220.820 Cm^2

P = 84945 Kg

P_s = 66000 Kg

P_s = 18945 Kg

แสดงว่าคอนกรีตมีกำลังรับได้ = 85.79 Ksc

จากการวิเคราะห์นี้ในช่วง 1% ถึง 8% เนื่องจากเหล็กมีการหดตัวได้น้อยมาก เราจึงให้เหล็กรับกำลังได้ถึงจุดคลากตามทฤษฎีกำลังประลัย ส่วนคอนกรีตจะมีกำลังลดลงมาตามที่ได้จากการทดลอง จะเห็นได้ว่าการเสริมเหล็กเป็นปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลงจากตัวเลขข้างต้น ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อหาพฤติกรรมการรับแรงในเสาที่มีการเสริมเหล็กเกิน 8% นี้ เราจะได้ว่า คอนกรีตต้องมีกำลังลดลงมาอีกแน่นอน ส่วนเหล็กเสริมก็จะรับกำลังได้ไม่ถึงจุดคลาก เพราะมีค่ากำลังที่รับได้จากการทดลองนี้ มีค่าต่ำกว่าค่ากำลังรับของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กที่จุดคลาก (กำลังที่จุดคลากคูณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม) เราจะได้พฤติกรรมการรับแรง 3 ข้อ

1. ในช่วง 1-8 เปอร์เซ็นต์ กำลังของเหล็กเสริมจะรับได้ถึงจุดคลาก ส่วนคอนกรีตจะมีกำลังลดลงเรื่อย ๆ ถ้าเปอร์เซ็นต์เหล็กเพิ่มขึ้น

2. ในช่วง 8-11 เปอร์เซ็นต์ กำลังของเหล็กเสริมจะรับได้ไม่ถึงจุดคลาก แต่ก็จะรับได้เพิ่มขึ้น ถ้าเสริมเหล็กมากขึ้น ส่วนกำลังของคอนกรีตก็จะลดลงเรื่อย ๆ

3. ในช่วง 11-13 เปอร์เซ็นต์ กำลังของเหล็กเสริมจะรับได้มากขึ้น จนอาจจะถึงจุดคลาก แต่กำลังของคอนกรีตก็จะน้อยลงไปเรื่อย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการที่ได้ทดสอบ ทำให้เราทราบว่า การเสริมเกินกว่า 8% ที่ ว.ส.ท. กำหนดนั้น จะมีผลเสีย คือ ค่ากำลังที่รับได้จริงจะลดต่ำลงจากที่ควรจะได้จากกำลังประลัยมาก และกำลังที่ได้ยังน้อยกว่าการเสริมเหล็กที่เปอร์เซ็นต์น้อยกว่า 8% เสียอีก เช่นที่ P_E = 6.25% มีกำลังมากกว่า P_E = 9.97% และ 11.10% แต่อย่างไรก็ดีที่เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมเกินกว่า 8% มาก ๆ แนวโน้มการรับกำลังค่อนข้างจะเพิ่มขึ้นมาอีก ซึ่งก็จะไปอยู่ในกรณีของการเสริมเหล็กรูปพรรณหรือเสาเหล็กไป แต่การทดลองนี้จะนำไปใช้ในกรณีเสริมเหล็กเกิน 8% เล็กน้อยเท่านั้น คือ ช่วงระหว่าง 8.00%–12.00% จะสามารถใช้ผลดังกล่าวเพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงความปลอดภัยในแง่ของการที่กำลังที่รับได้จริงลดลงจากทฤษฎีกำลังประลัยมากน้อยเพียงใด เพื่อที่ว่าบางโอกาส เช่นที่จุดต่อในเสามีเหล็กเสริมเกินกว่า 8% ของหน้าตัด เราจะได้ดูถึงว่าส่วนนั้น ๆ มีโอกาสที่จะรับน้ำหนักเกินกว่าการออกแบบมากหรือไม่ ถ้ามีโอกาสที่จะรับน้ำหนักเกินจากการออกแบบไว้มากก็ควรจะหลีกเลี่ยงการต่อเหล็ก โดยการทาบ เพราะจะทำให้ได้กำลังลดลงไป ซึ่งเป็นอันตรายต่อโครงสร้าง ดังนั้นเราจึงไม่ควรเสริมเหล็กเกิน 8% เพราะนอกจากกำลังที่รับได้จะลดลงไปแล้ว การทำงานในแง่ของการเทคอนกรีตก็ลำบาก การต่อและผูกเหล็กก็ยุ่งยากและต้องใส่เหล็กปลอกรัดอย่างหนาแน่น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองไปอีก สรุปโดยทั้งหมดแล้วจากการทดลอง จะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมในการรับแรงของทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมที่เปอร์เซ็นต์ 1%–8% และ 8%–12.65% ผลการทดลองสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความปลอดภัยที่จุดต่อเสา เมื่อต่อทาบแล้วเปอร์เซ็นต์เหล็กเกิน 8% โดยการดัดแปลงค่าที่ได้จากทฤษฎีกำลังประลัยลดกำลังลง โดยการใช้ข้อมูลการลดกำลังจากตาราง ส่วนในทางปฏิบัติงานในประเทศของเราจะใช้ทฤษฎีอีลาสติกคำนวณกำลังรับน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่าปลอดภัยใช้ได้ โดยตลอดไม่ว่าจะเกิน 8% หรือไม่ก็ตาม แต่การที่ ว.ส.ท. กำหนดห้ามใช้เกิน 8% คงจะเป็นเพราะว่าการใช้เหล็กมาก ๆ ทำงานลำบากและคอนกรีตที่เทได้จะเป็นโพรงมาก ซึ่งเป็นอันตรายมาก เพราะนอกจากการที่เสริมเกินกว่า 8% กำลังที่ได้จะลดลง ถึงแม้จะทำการเทและกระทุ้งคอนกรีตอย่างดี จนได้คอนกรีตที่มีคุณภาพไม่เป็นโพรงแล้วก็ตาม กำลังคอนกรีตยังจะลดลงไปอีก ถ้าคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้เป็นโพรงมากจนไม่อาจรับกำลังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลย จะเห็นได้ว่าการควบคุมคุณภาพเป็นไปได้ยาก ดังนั้น ว.ส.ท. จึงมีข้อห้ามสำหรับข้อนี้ คือห้ามเสริมเหล็กเกิน 8% แต่ถ้าจุดต่อในเสาใดที่มีการต่อช่วงของเสา ซึ่งจะทำให้เปอร์เซ็นต์ของหน้าตัดนั้น ๆ เกินกว่า 8% ถ้าต่อโดยวิธีทาบแล้วก็ควรใช้วิธีต่อโดยการเชื่อม เพราะจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมที่หน้าตัดดังกล่าว มีค่าน้อยลงไม่ควรให้เกิน 8% ถึงแม้ว่าการต่อเชื่อมนั้นจะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าก็ตาม เมื่อคำนึงถึงความปลอดภัยแล้ว ก็ควรจะทำการเชื่อมดีกว่า ในกรณีที่มีการทาบแล้วเกินกว่า 8% นี้ ส่วนโอกาสในการเสริมเหล็กมาก ๆ เพื่อจะลดขนาดหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กนี้ ก็จะใช้ได้มากที่สุด 8% ตาม ว.ส.ท. กำหนดเท่านั้น เพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณเหล็กเสริม เพื่อลดหน้าตัดได้มากกว่านี้อีกแล้ว เนื่องจากเกินกว่า 8% กำลังที่รับได้จะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่ได้จากการทดลอง

1. ทำให้ทราบพฤติกรรมของเสาสั้น 3 ช่วง คือ

   1.1 ช่วง 1-8%

   1.2 ช่วง 8-11.1%

   1.3 ช่วง 11.1-12.65%

2. การที่จะใช้ปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นในการที่จะลดหน้าตัดลง เพราะเนื่องจากเหล็กรับกำลังได้มากกว่าคอนกรีต เมื่อมีหน้าตัดเท่ากัน ใช้ได้ไม่เกิน 8%

3. จะทำให้มีการคำนึงถึงจุดต่อในเสา เพื่อการออกแบบ หรือ การก่อสร้างมากขึ้น

4. เหตุผลของ ว.ส.ท. ในการกำหนดให้ใช้ปริมาณเหล็กเสริมในเสาได้ไม่เกิน 8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บรรณานุกรม

1. สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีตเสริมเหล็ก พิมพ์ครั้งที่ 6 พ.ศ. 2527

2. วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ห้า พ.ศ. 2526

3. วินิต ช่อวิเชียร กราฟออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก พ.ศ. 2527

4. ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี พ.ศ. 2530

5. วินิต ช่อวิเชียร รายละเอียดการเสริมเหล็กอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้