



พฤติกรรมกรับแรงดงและแรงอัด
ของกรต่อทาบเหล็ก ในคอนกริตเสริมเหล็ก

โดย

นาย ชวลิต	เกียรติจินดารัตน์	36014101
นาย นวพล	ปิววัฒนพานิช	36014216
นาย สมคิด	นาสมวาส	36014452

วัน เดือน ปี.....-2 คค 2511.....
เลขทะเบียน.....038457.....
เลขเรียกหนังสือ.....T 39211 15 291 พว.....

ปริญญาพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา พ.ศ. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

038457

**BEHAVIOR OF TENSION AND COMPRESSION
LAP SPLICES STEEL IN REINFORCED CONCRETE**

BY

CHAVALIT KEATJINDARAT 36014101
NAWAPON PIWAWATNAPANIT 36014216
SOMKID NASOMWAD 36014452

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE BACHELOR DEGREE OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1996**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ พฤติกรรมการรับแรงดึงและแรงอัดของการต่อทาบเหล็ก
 ในคอนกรีตเสริมเหล็ก
**BEHAVIOR OF TENSION AND COMPRESSION LAP
 SPLICES STEEL IN REINFORCED CONCRETE**

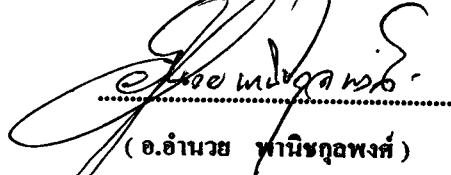
นักศึกษา

1. นายชวลิต	เกียรติจินดารัตน์	36014101
2. นายนพพล	ปิวาวัฒน์พานิช	36014216
3. นายสมคิด	นาศมवास	36014452

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อ. कमสัน มาลีสี

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.สุวัฒน์ <input checked="" type="checkbox"/> ดิเรศพรฐ อ.สุพจน์ <input type="checkbox"/> ศรีนิล อ.คมสัน <input type="checkbox"/> มาลีสี	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



 (อ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์)
 หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2540

พฤติกรรมการรับแรงดึงและแรงอัด
ของการต่อทาบเหล็กในคอนกรีตเสริมเหล็ก

BEHAVIOR OF TENSION AND COMPRESSION
LAP SPLICES STEEL IN REINFORCED CONCRETE

โดย	นาย ชวลิต	เกียรติจินดารัตน์	36014101
	นาย นวพล	ปิววัฒน์พานิช	36014216
	นาย สมคิด	นาสมवास	36014452

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า คอนกรีตมีคุณสมบัติในการต้านทานแรงอัดได้ดี แต่สามารถรับแรงดึงได้น้อยจนถือว่าไม่ได้เลย ส่วนเหล็กนั้นมีคุณสมบัติในการต้านทานแรงอัดและแรงดึงได้ดีทั้งคู่ ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงนำเหล็กมาใช้ในการต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้น และใช้คอนกรีตรับแรงอัด แต่ก็ยังพบว่ามีปัญหาคือเหล็กมีความยาวจำกัด เราจึงทำการแก้ปัญหาโดยการต่อความยาวของเหล็กซึ่งมีหลายวิธี เช่น การเชื่อม , การต่อโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อ และการต่อทาบเหล็ก

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นมาเพื่อที่จะศึกษาถึงพฤติกรรมของ การต่อทาบเหล็กในคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจนถึงจุดประลัย โดยมีการทำตัวอย่างการทดสอบ คือ คาน และ เสา ที่มีการต่อทาบที่ระยะต่างๆ เพื่อที่จะศึกษาถึงพฤติกรรมการรับแรงดึงและแรงอัดตามลำดับ ขณะที่ทำการทดสอบก็จะมีการบันทึกค่าน้ำหนักบรรทุกที่รับได้ ณ จุดประลัย , ลักษณะการแตกร้าวของตัวอย่างการทดสอบ โดยจะนำค่าต่าง ๆ ที่บันทึกไปเปรียบเทียบกับค่าตัวอย่างการทดสอบแบบมาตรฐาน

ABSTRACT

As a general accept that , concrete has a good qualification to resist compressive strength but the resistance of tensile strength is little. Steel has a good qualification both the resistance compressive and tensile strength. For this reasons, steel be used to resisted the tensile strength and be used to assist concrete in resisted the compressive strength. For this reason, the plus of the length of steel cannot be avoid which are many methods to do that. For instance, by welding, by using mechanical connectors or by lap splices.

This project is issued for study the behavior of lap splices steel in reinforced concrete that have additional loading until ultimate load. Our strategy for this test is to make beam and column in many different length of lap splices for study behavior of tension and compression and record the value of load at ultimate load , crack of reinforced concrete. Every records will be compared with the standard value of samples.

กิติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาบัตรเล่มนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์คมสัน มาลีสี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ อันมีค่ายิ่ง อีกทั้งยังมาช่วยคอยดูแลระหว่างการทำ การทดลอง อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำปริญญาบัตรจนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณ staff ประจำ shop ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ช่วยในการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ การทดลองและคอยให้คำแนะนำต่างๆ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมโยธา และเพื่อนๆน้องๆภาควิชาอื่นๆที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจ จนกระทั่งทำให้ปริญญาบัตรเสร็จสมบูรณ์

ผู้เขียนยังใคร่ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบปริญญาบัตรทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่ามา ตรวจสอบ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งอันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรฉบับนี้มีความ สมบูรณ์ขึ้น

ปริญญาบัตรฉบับนี้ ถ้ามีข้อผิดพลาดประการใดก็แล้วแต่ คณะผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และขออภัยมา ณ. ที่นี้ด้วย แต่หากหลงเหลือความดีหรือ ประโยชน์อันน้อยนิดเหลืออยู่บ้างผู้เขียนขอบอให้แต่ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดและอบรมสั่งสอน ตลอดจนสนับสนุนด้านการเงิน, ครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วยประสิทธิ ประสาทความรู้ต่างๆให้ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ช่วยเหลือค่าใช้จ่ายในบางส่วน และเป็นร่วมเฝ้าทางการ ศึกษาให้แก่คณะผู้เขียน จนสำเร็จจนทุกวันนี้.

ชวลิต เกียรติจินดารัตน์
 นวพล ปิวาวัฒนพานิช
 สมคิด นาสมวาธ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
หน้าอนุมัติ	ก
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพประกอบ	จ
บทที่ 1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและรายการคำนวณสนับสนุนสมมุติฐาน	4
- หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในคาน	5
- หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในจุดกึ่งกลางของแท่งคอนกรีต	6
- หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริงในคาน	7
- หน่วยแรงยึดเหนี่ยวกับการดึงทดสอบ	7
- กลไกการถ่ายแรงและการเกิดการยึดเหนี่ยว	8
- ความยาวของเหล็กเสริมที่ต้องการ	11
- การต่อทาบรับแรงดึง	11
- การต่อทาบรับแรงอัด \times	13
- การออกแบบตัวอย่างคาน	13
- การออกแบบตัวอย่างเสา	15
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ	16
- การเตรียมตัวอย่างคาน	17
- การเตรียมตัวอย่างเสา	18
- การเตรียมการก่อนการทดสอบ	19
- ขั้นตอนการทดสอบ	19
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	21
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	78
ภาคผนวก ก	
- การทดสอบค่าการรูดตัวของคอนกรีต	81
- การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	82
- การทดสอบแรงดึงเหล็ก	87
- การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต	89
ภาคผนวก ข	
- การทดสอบผสม Mix design	91
ภาคผนวก ค ภาพประกอบ	98
บรรณานุกรม	113

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่ 1 แสดงเครื่อง UTM ก่อนการติดตั้ง อุปกรณ์ชุดทดสอบคาน	หน้า 99
ภาพที่ 2 แสดง Control Panel ประกอบเครื่อง UTM	หน้า 99
ภาพที่ 3 แสดง Support การทดสอบคาน	หน้า 100
ภาพที่ 4 แสดง ตำแหน่งและลักษณะของ Support ที่รองคาน	หน้า 100
ภาพที่ 5 แสดง การตรวจสอบหาค่าการชุปตัวของคอนกรีต	หน้า 101
ภาพที่ 6 แสดง การทดสอบลูกปูน	หน้า 101
ภาพที่ 7 แสดง การต่อทาบเหล็กเสริมในตัวอย่างเสา	หน้า 102
ภาพที่ 8 แสดง การวางตำแหน่งของเหล็กเสริมในตัวอย่างคาน	หน้า 102
ภาพที่ 9 แสดง การต่อทาบเหล็กของคานตัวอย่าง	หน้า 103
ภาพที่ 10 แสดง คานตัวอย่างที่พร้อมจะทำการทดสอบ	หน้า 103
ภาพที่ 11 แสดง ชุดหัวกดและตำแหน่งการติดตั้ง Dial Gauge	หน้า 104
ภาพที่ 12 แสดง ตัวอย่างคานมาตรฐานหลังจากการทดสอบ	หน้า 104
ภาพที่ 13 แสดง ตัวอย่างคานระยะทาบ 24D หลังการทดสอบ	หน้า 105
ภาพที่ 14 แสดง ตัวอย่างคานระยะทาบ 48D หลังการทดสอบ	หน้า 105
ภาพที่ 15 แสดง ตัวอย่างคานระยะทาบ 24D เพิ่มปลอกหลังการทดสอบ	หน้า 106
ภาพที่ 16 แสดง ตัวอย่างคานระยะทาบ 15D หลังการทดสอบ	หน้า 106
ภาพที่ 17 แสดง ตัวอย่างคานระยะทาบ 30D หลังการทดสอบ	หน้า 107
ภาพที่ 18 แสดง ตัวอย่างของเหล็กต่อทาบหลังการทดสอบ	หน้า 107
ภาพที่ 19 แสดง ชุดเครื่องมือ Cap หัวเสา	หน้า 108
ภาพที่ 20 แสดง การ Cap หัวเสาด้วยกัมมะถัน	หน้า 108
ภาพที่ 21 แสดง เสาที่มีการ Cap หัวให้ได้ฉากและราบเรียบ	หน้า 109
ภาพที่ 22 แสดง ตัวอย่างเสามาตรฐานหลังการทดสอบ	หน้า 109
ภาพที่ 23 แสดง ตัวอย่างเสามาตรฐานเพิ่มปลอกหลังการทดสอบ	หน้า 110
ภาพที่ 24 แสดง ตัวอย่างเสาระยะทาบ 10D หลังการทดสอบ	หน้า 110
ภาพที่ 25 แสดง ตัวอย่างเสาระยะทาบ 20D หลังการทดสอบ	หน้า 111
ภาพที่ 26 แสดง ตัวอย่างเสาระยะทาบ 25D หลังการทดสอบ	หน้า 111
ภาพที่ 27 แสดง ตัวอย่างเสาคอนกรีตฉนวน หลังการทดสอบ	หน้า 112
ภาพที่ 28 แสดง ตัวอย่างเสาเสริมเหล็กต่อชน หลังการทดสอบ	หน้า 112

บทที่ 1

วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1. บทนำ

ปัจจุบันอาคารขนาดใหญ่ และอาคารสูง ที่ทำการก่อสร้างส่วนใหญ่ เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะงานคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถกำหนดกำลังและมีมาตรฐานข้อมูลที่ทดสอบได้ ให้ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างที่ได้ออกแบบ ซึ่งอาคารขนาดใหญ่ต่าง ๆ ถูกสร้างขึ้นในลักษณะของอาคาร สะพาน ถนน ท่อระบายน้ำ และอัญจันทร์ใหญ่ ๆ ซึ่งทราบกันดีแล้วว่าคอนกรีตมีคุณสมบัติรับแรงอัดได้ดี แต่ไม่สามารถนำมาใช้งานในการรับแรงดึงได้ จึงได้นำเอาเหล็กเสริมเข้ามาเพื่อให้สามารถรับแรงดึง โมเมนต์ดัด ช่วยให้คอนกรีตรับแรงเฉือน ป้องกันการแตกร้าวได้อีกด้วย นอกจากนี้ คอนกรีตและเหล็กยังมีความคงทนถาวรสามารถทนไฟและทนต่อสภาวะดินฟ้าอากาศได้ดี มีความแข็งแรงทนทานกับบรรยากาศภายนอก และต่อแรงสั่นสะเทือนได้สูง อีกทั้งเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่าโครงสร้างประเภทอื่น ๆ

โครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องทนต่อสภาพใช้งานได้ ซึ่งต้องทนต่อแรงกระทำต่าง ๆ ได้ไม่ว่าจะเป็นแรงดึง แรงอัด แรงเฉือน รวมทั้งโมเมนต์ดัดด้วย ดังนั้นในโครงสร้างจะต้องมีการออกแบบเพื่อให้วัสดุที่ใช้ อันได้แก่ คอนกรีต และเหล็กเสริม สามารถที่จะทนต่อสภาพของแรงที่มากระทำต่อโครงสร้างอาคารต่าง ๆ นั้นได้ ไม่ว่าจะเป็น เสาเข็ม ฐานราก ตอม่อ เสา คาน พื้น และบันได รวมทั้ง โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอื่น ๆ อีกเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน ซึ่งการออกแบบจริง ๆ แล้วจำเป็นจะต้องรู้จักคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมที่จะใช้ เพื่อนำไปใช้ได้อย่างประหยัดและปลอดภัย

โครงสร้างที่มีความยาวมากและจำเป็นจะต้องใช้เหล็กเสริมที่ยาวทำให้เกิดการต่อเหล็กได้ความยาวที่ต้องการเพราะเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว ไม่สามารถผลิตเหล็กให้ได้ตามความยาวที่ต้องการได้ สำหรับวิธีการต่อเหล็กก็มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ

- 1) การต่อทาบ
- 2) การต่อด้วยปลอกหุ้ม
- 3) การต่อด้วยการเชื่อม
- 4) การเชื่อมแบบเทอร์โมท์
- 5) ต่อด้วยอุปกรณ์ยึดปลาย
- 6) การต่อเชื่อมเหล็กด้วยปลอก

แต่ที่นิยมกันมากมีด้วยกัน 2 วิธีคือ การต่อชนเชื่อมด้วยไฟฟ้า หรือแก๊ส ซึ่งจะให้ความแข็งแรงสูง แต่ใช้อุปกรณ์และการทำค่อนข้างยุ่งยากและต้องใช้เวลาประณีต อีกวิธีหนึ่งคือ การต่อทาบ ซึ่งจะนิยมแบบใช้ลวดผูก ซึ่งจะให้ความสะดวกรวดเร็ว และไม่ต้องใช้เครื่องมือมาก

การต่อทาบเหล็กในงานก่อสร้างทั่วไปจะยึดตามมาตรฐานสากลหรือข้อกำหนดท้องถิ่นได้แก่ ว.ส.ท. หรือเทศบัญญัติของ กทม. ทั้งการทำงานในการต่อทาบเหล็กเพื่อทำการทดสอบต่าง ๆ ก่อนข้างจะซับซ้อน และยุ่งยากจึงไม่มีการทดสอบถึงผลต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นโดยเฉพาะ ความสามารถในการใช้งานซึ่งก็คือว่า มาตรฐานที่ใช้ในการปฏิบัติประกอบการทำงานก่อนข้างจะมีความปลอดภัยสูง

สำหรับโครงการวิจัยนี้ มุ่งเน้นในการเปรียบเทียบพฤติกรรมเหล็กต่อทาบโดยใช้ลวดผูกเหล็ก โดยพฤติกรรมของโครงสร้างที่พบเห็นการต่อทาบเหล็กได้แก่ คานและเสา โดยจะดูพฤติกรรมในลักษณะคานที่มีเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งงานวิศวกรรมเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาติให้พิมพ์หรือเผยแพร่เป็นการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงมากกระทำอย่างเฉียว จะทำให้เห็นพฤติกรรมได้เด่นชัดและง่ายต่อการทำการทดสอบ ส่วนลักษณะของเสาจะเป็นการดูพฤติกรรมในลักษณะของการรับแรงกดตรงศูนย์กลางเสาเพียงอย่างเดียวเพื่อให้เห็นพฤติกรรมของเสาต้น และง่ายต่อการทดสอบซึ่งจะทำให้เห็นว่า หากระยะทาบไม่เป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดต่าง ๆ แล้วพฤติกรรมจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร และตัวแปรที่สามารถจะมีผลมาก รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังนั้นผู้จัดทำจึงตัดสินใจทำการศึกษาคานและเสา โดยใช้เหล็กทาบรับแรงดึงในคานและเหล็กรับแรงอัดในเสา

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างที่รับแรงที่มากกว่า และ Deflection ที่เกิดขึ้น
2. เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของการต่อทาบเหล็ก ตามความยาวต่าง ๆ ต่อ Story tension ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกว่า
3. เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของการต่อทาบเหล็ก ตามความยาวต่าง ๆ ต่อ Story compression ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกว่า
4. เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของการต่อทาบเหล็ก กับมาตรฐานที่กำหนด
5. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของการต่อทาบโดยการเพิ่มเหล็กปลอก

3. สมมุติฐาน

1. โครงสร้างที่ออกแบบมาจะมีรูปแบบเป็นคานและเสา เพื่อให้โครงสร้างรับแรง จะเกิดทั้งแรงดึงและแรงอัดในโครงสร้างนั้น จุดที่จะ failure ได้ง่ายคือ จุดที่รับโมเมนต์มากที่สุดในคาน การเสริมเหล็กบนรับแรงอัดและเหล็กล่างรับแรงดึงถ้าต้องการให้เกิดการ failure จะต้องใช้แรงกดช่วงกลางทำให้เหล็กรับแรงดึงขีดตัวหรือ slip หรือคอนกรีตแตกพัง ในเสาจะเป็นการรับแรงกดในแนวแกนถ้าต้องการให้ failure จะต้องให้เหล็กเกิดการเลื่อนตัวและคอนกรีตแตกร้าว
2. เมื่อมีการต่อทาบเหล็กเสริมภายในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อใช้รับแรงดึงในคานและใช้รับแรงกดในเสา การเปรียบเทียบการต้านทานในการรับแรงของระยะทาบต่าง ๆ กันนั้นจะต้องหาแรงดึงหรือแรงอัดภายในเหล็กเสริมที่เกิดขึ้น ภายใต้โมเมนต์ค้ดที่ค่าคงที่ ณ. จุดที่ failure คอนกรีตจะต้องอยู่ในสภาวะเกินใช้งาน
3. ความสัมพันธ์เกี่ยวกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ทำให้เกิดความแตกต่างของการทาบที่มีความต่างกันรวมทั้งเพิ่มเหล็กปลอกในช่วงการต่อทาบ
 - 3.1 หน่วยแรงขีดเหนียวลดลงตามการเพิ่มความยาวของการต่อทาบ
 - 3.2 ความแข็งแรงของคอนกรีตรอบ ๆ เหล็กมีผลต่อความต้านทานต่อการขีดรั้ง
 - 3.3 เหล็กปลอกเพิ่มความแข็งแรงของการต่อทาบ
 - 3.4 ความยาวของการต่อทาบต่างกันกำลังที่ทำให้ failure นั้น การทาบที่สั้นจะใช้กำลังน้อยกว่า
4. การต่อทาบที่มีระยะสั้นน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับการใช้งานจะทำให้เกิดการ failure ได้ง่ายไม่ว่าจะเป็นคานหรือเสา

4. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะเปรียบเทียบพฤติกรรมของการต่อทาบ โดยมีส่วนที่เปลี่ยนแปลงคือ ระยะทาบของเหล็กเสริมรับแรงดึงในคาน และรับแรงอัดในเสา เหล็กปลอกที่เพิ่มเข้าไปในช่วงที่มีการต่อทาบเหล็กเป็น 2 เท่า ความแข็งแรงของคอนกรีตตามลูกปูนที่กดในสภาวะเดียวกัน

โดยขอบเขตได้กำหนดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขนาดของโครงสร้างตัวอ้อยจะต้องมีขนาดเท่ากันหมด อยู่ในสมมาตรเท่ากัน
2. กำลังของคอนกรีตที่ใช้ขนาด 240 ksc หรือมากกว่าโดยกำลังของคอนกรีตจะยึดตามกำลังที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างที่มีระยะบ่มเท่ากันอยู่ที่ 28 วันขึ้นไป
3. ระยะทางที่ใช้การทดสอบคือ
 - 3.1. ทาน 15D , 24D , 30D , 48D
 - 3.2. เสา 10D , 20D , 25D
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม
4. ระยะผูกมัดของเหล็กทาบตามมาตรฐาน ว.ศ.ท. 15D -20D เท่ากันหมดที่การผูกเหล็กทาบ
5. ขนาดของเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัดที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเหล็กข้ออ้อย 12 mm. SD 30 หมายถึง เหล็กมีกำลังที่จุดคานงไม่ต่ำกว่า 3,000 ksc
6. ขนาดของเหล็กปลอกที่รับแรงเฉือนที่ขอบคานและที่ช่วงของการต่อทาบขนาดเหล็กกลม 6 mm. SR 24 หมายถึง เหล็กมีกำลังที่จุดคานงไม่ต่ำกว่า 2,400 ksc
7. ระยะของเหล็กปลอกที่ใช้ในการรับแรงเฉือนและรับแรงที่จุดต่อทาบ มีระยะเท่ากันหมด ที่มีการเพิ่มปลอกและไม่เพิ่มปลอก
8. ใช้ระยะหุ้มเหล็กของคอนกรีต โดยวัดจากผิวคอนกรีตถึงผิวนอกเหล็กเป็นระยะ 3 cm. เท่ากัน
9. ใช้วิธีการทดสอบวิธีเดียวกัน โดยที่
 - อัตราการกดแรงเท่ากัน
 - การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงวัดที่ Deflection เป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและรายการคำนวณสนับสนุนสมมุติฐาน

ในคานาคอนกรีตเหล็กเมื่อได้รับแรงความโค้งที่เกิดขึ้นจะถูกต้านทานโดยคอนกรีต (แรงอัด) ส่วนแรงดึงจะถูกรับด้วยเหล็กเสริมตามรูป 2.1 ขบวนการนี้จะคงอยู่ได้จะต้องมีแรงส่งผ่านหรือเกิดความยึดเหนี่ยวระหว่าง 2 วัสดุ สำหรับเหล็กเสริมในสภาวะสมดุล หน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะต้องเกิดขึ้นถ้าไม่ปรากฏอย่างนี้ เหล็กเสริมจะถูกดึงออกจากคอนกรีต และแรงดึง T จะเป็น 0 ซึ่งคานาก็จะพัง

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะต้องเกิดขึ้นทุกเมื่อถ้าหากเปลี่ยนแปลงหน่วยแรง หรือ แรงในเหล็กจากจุดถึงจุดตามความยาวของเหล็กเสริม สามารถอธิบายได้ 3 ลักษณะ ตามรูป 2.2 ถ้า $f_{s1} > f_{s2}$ หน่วยแรงยึดเหนี่ยว u จะต้องเกิดบนพื้นผิวของเหล็กเสริมเพื่อรักษาความสมดุลของแรงก็จะมีขนาดตามความยาวของเหล็กเสริมสามารถหาหน่วยแรงยึดเหนี่ยวสะสมได้ดังนี้

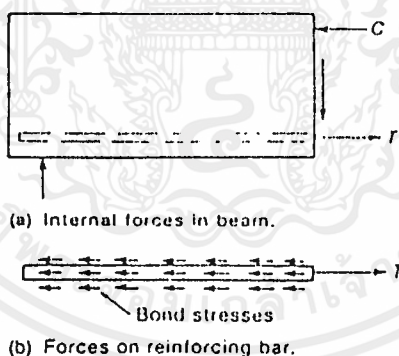
$$\frac{4f_s \pi d_b^2}{4} = u_{avg} (\pi d_b) l$$

$$\therefore u_{avg} = \frac{4f_s d_b}{4l} \quad (2.1)$$

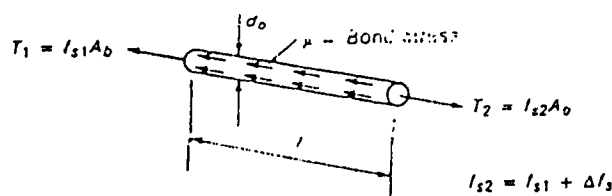
ถ้า l สั้นมาก (d_x) สามารถเขียนสมการได้

$$\frac{df_s}{d_x} = \frac{4u}{d_b} \quad (2.2)$$

เมื่อ u คือ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริงๆ ในความยาว d_x



รูปที่ 2.1 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เปลี่ยนแปลงกับหน่วยแรงยึดเหนี่ยว ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในคาน

ในคานแรงในเหล็กที่จุดแตกร้าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$T = \frac{M}{Jd} \tag{2.3}$$

เมื่อ Jd คือช่วงห่างภายใน และ M คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่หน้าตัด ถ้าเราพิจารณาความยาวของคานระหว่างช่วงรอยร้าว 2 ช่วงตัวรูป 2.3 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นคือ M_1 และ M_2 ถ้าคานเสริมเหล็กเพียงเส้นเดียว (d_b) ขนาดแรงในเหล็กเสริมที่เกิดดังแสดงในรูปที่ 2.3 (c) ความสมดุลในแนวคาน คือ

$$\Delta T = (\pi d_b) u_{avg} \Delta x \tag{2.4}$$

เมื่อ d_b คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม หรือ

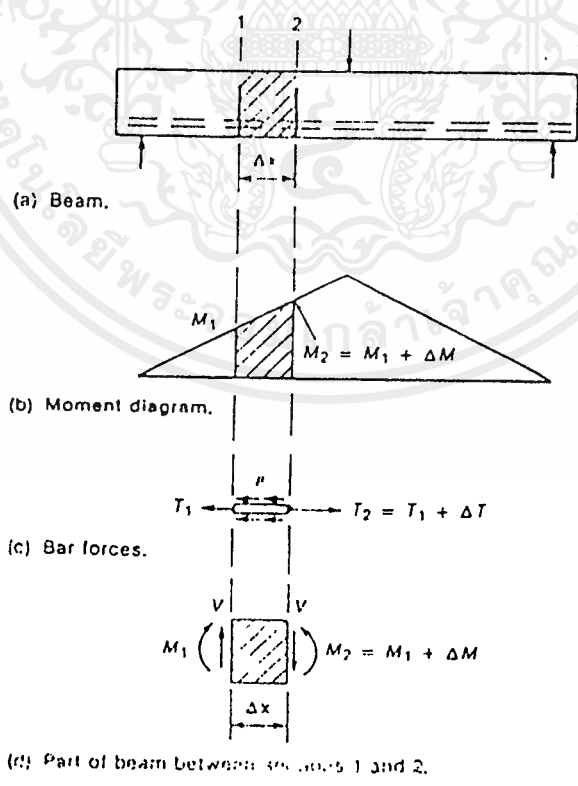
$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = (\pi d_b) u_{avg}$$

แต่
$$\Delta T = \frac{\Delta M}{Jd}$$

จะได้
$$\frac{\Delta M}{\Delta x} = (\pi d_b) u_{avg} jd$$

จากรูปแบบของ diagram ในรูป 2.3 (d) เราจะเห็นได้ว่า

$$u_{avg} = \frac{V}{(\pi d_b) jd} \tag{2.5}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 2.3 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้น** มีอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

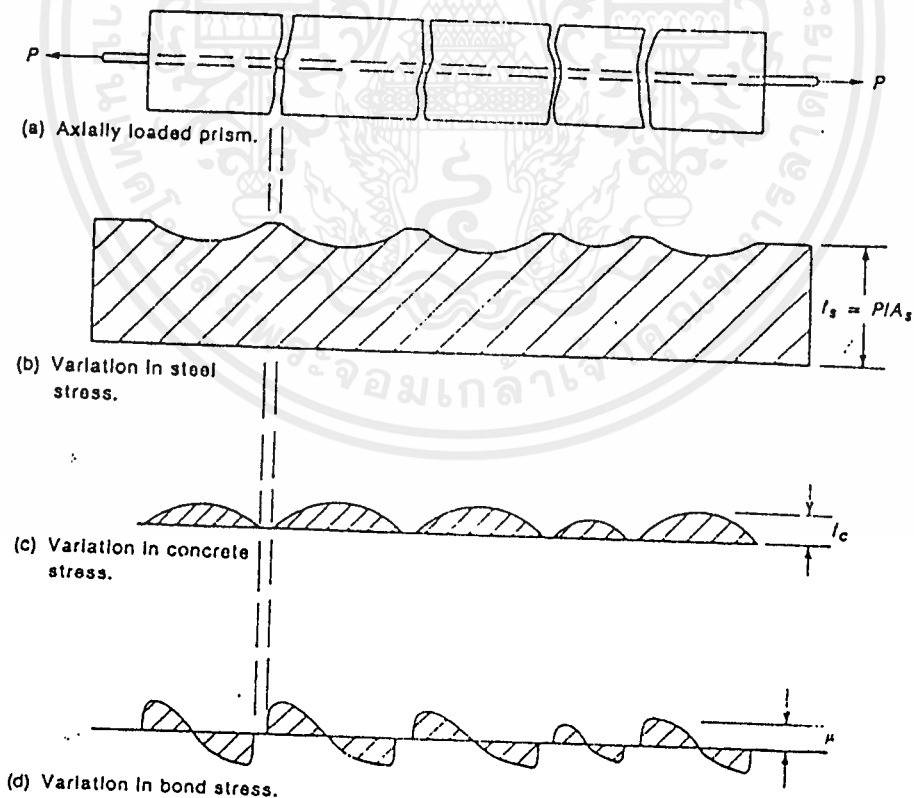
ถ้ามีมากกว่า 1 เส้น ตัวแปรเหล็กเสริม (πd_b) จะถูกเปลี่ยนเป็นผลรวม $\sum O_j d$ ซึ่งจะได้

$$u_{avg} = \frac{V}{\sum O_j d} \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.5) และ (2.6) ให้คำนวณแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยระหว่าง 2 รอยร้าวในคานและจะแสดงให้เห็นว่า หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย จะแปรตามจุด 2 จุดระหว่างรอยร้าว

2. หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในจุดกึ่งกลางของแท่งคอนกรีต

ตามรูป 2.4 แท่งคอนกรีตประกอบไปด้วยเหล็กเสริมหนึ่งเส้น กระทำด้วยแรงดึงที่จุดแตกร้าวของคอนกรีตหน่วยแรงในเหล็กเสริมมีค่า $f_s = P/A_s$ ระหว่างรอยร้าว ส่วนของแรงที่ถูกถ่ายไปยังคอนกรีต หน่วยแรงจะแสดงในรูป 2.4 (b) และ 2.4 (c) จากสมการที่ (2.2) เราจะเห็นได้ว่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่จุดใดๆ จะเป็นสัดส่วนกับแผนภาพของหน่วยแรงในเหล็กในบางจุด ซึ่งหน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะกระจายดังรูปที่ 2.4 (d) หน่วยแรงในเหล็กเสริม จะเท่ากันในแต่ละรอยร้าวแรงที่เท่ากันจะทำให้ $\Delta T = 0$ ที่ L รอยร้าวและจากสมการ (2.4) เราจะเห็นได้ว่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยว u_{avg} จะเท่ากับ 0 เมื่อหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับศูนย์ พื้นที่ทั้งหมดได้แผนภาพของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง 2 รอยร้าว ในรูป 2.4 (c) จะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อ $\Delta T = 0$ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวในสมการที่ (2.2) และดูจากในรูปที่ 2.4 (d) ซึ่งจะอ้างอิงถึงหน่วยแรงยึดเหนี่ยวจริง หน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะถูกถ่ายมายังด้านตรงข้ามของเหล็กเสริมเพื่อความสมดุล สามารถคำนวณได้ในสมการที่ (2.1)



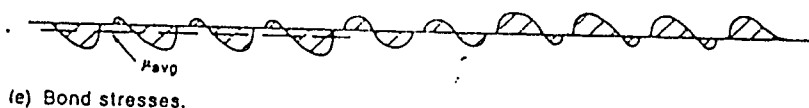
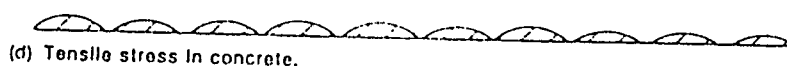
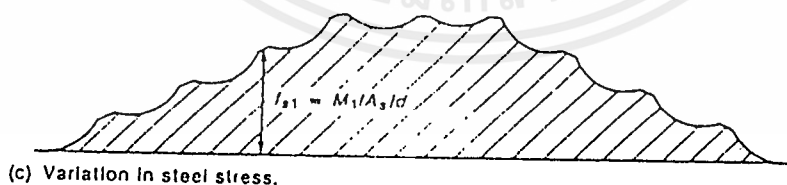
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.4 เหล็ก คอนกรีต หน่วยแรงยึดเหนี่ยว ในรอยร้าวของแท่งคอนกรีต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในคาน

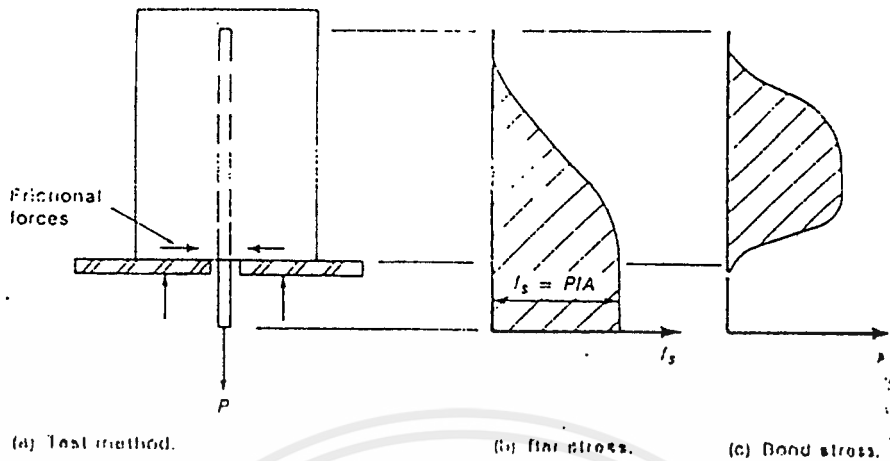
ที่รอยร้าวของคาน แรงในเหล็กเสริมสามารถคำนวณจากสมการ (2.5) ถ้าคอนกรีตและเหล็กเสริม ถูกยึดไว้ด้วยกันส่วนของแรงดึงจะถูกต้านทานไว้โดยคอนกรีตในช่วงระหว่างรอยร้าวนั้นก็ หมายถึงหน่วยแรงดึง ในเหล็กและคอนกรีตที่ระดับของเหล็ก จะแปรผันตามรูปที่ 2.5 (c) และ 2.5 (d) ซึ่งสามารถเขียนลักษณะของ Bond stress ได้ตามรูปที่ 2.5 (e) ซึ่งจะเท่ากับสมการที่ (2.5)

4. หน่วยแรงยึดเหนี่ยวกับการดึงทดสอบ

ขั้นแรกของการทดสอบ bond strength ในห้อง Lab ทำโดย Pull-out Test ซึ่งไว้คอนกรีตแท่งกลมใช้ เหล็กเสริม 1 เส้น ซึ่งจะใช้ Plate รองและใช้ jack ดึงเหล็กออกจากแท่งคอนกรีตตามรูปที่ 2.6 (a) ในการทดสอบ คอนกรีตจะถูกกดและจะไม่เกิดรอยร้าว หน่วยแรงในเหล็กจะแปรผันตามรูปที่ 2.6 (b) และ bond stress (สมการที่ 2.2) จะแปรตามรูป 2.6 (c) การทดสอบนั้นจะไม่ถือว่าเป็นการ Bond Strength ของคานเพราะคอนกรีต ไม่มีรอยร้าว ด้วยเหตุนี้จะไม่มีการกระจายของ bond stress ไปมา อีกอย่างหน่วยแรง Bearing ของคอนกรีตจะ แนบติดกับแผ่นเหล็กรองเพราะความเสียดทานซึ่งเป็นส่วนประกอบของความต้านทาน และได้อธิบายความ Poisson's ratio Prior to 1950. Pull - out Test ใช้หา bond strength ของเหล็กเสริมซึ่งจะแปรตามชนิดของการทดสอบคานซึ่งจะถูกใช้ในการศึกษาความแข็งแรงของการยึดเหนี่ยว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งจะขึ้นชื่อของเจ้าของเอกสารนี้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและเผยแพร่ความรู้ต่อไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การกระจายแรงใน pull - out test

5. กลไกการถ่ายแรงและการเกิดแรงยึดเหนี่ยว

เหล็กกลมที่ถูกฝังในคอนกรีตความยึดเหนี่ยวจะเกิดขึ้นระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม และแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตโดยจะเกิดขึ้นน้อยมากและเกิดอย่างรวดเร็วเมื่อเหล็กเสริมได้รับแรงดึงถึงขณะดังกล่าวเป็นเพราะผิวของเหล็กเสริมที่ราบเรียบค่าส่วนมากจะขึ้นอยู่กับ Poisson 's ratio สำหรับเหตุผลนี้เหล็กกลมโดยทั่วไปจะไม่ใช้เป็นเหล็กเสริมรับแรงดึง ในบางครั้งที่มีการใช้เหล็กกลมจะถูกและทำอาจยึดด้วย plate หรือเหล็กปลอก

อย่างไรก็ตามแรงยึดเหนี่ยวและแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นเมื่อเหล็กเสริมเปลี่ยนแปลงโดยถูกแรงกระทำ กลไกการเกิดการถ่ายแรงยึดเหนี่ยวนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การถ่ายแรงยึดเหนี่ยวจะถูกส่งผ่านโดย bearing stress เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเหล็กเสริมรับแรง ดังรูปที่ 2.7 (a) ซึ่งเทียบได้กับ bearing stress ที่เกิดขึ้นบนคอนกรีตดังรูปที่ 2.7 (b) แรงบนคอนกรีตประกอบไปด้วย แรงในแนวผิว (แรงเสียดทาน) และในแนวรัศมี ดังรูปที่ 2.7 (c) และ 2.7 (d) ซึ่งจะทำให้เกิดแห่งทรงกระบอกของหน่วยแรงที่เกิดจากแรงดึงรอบๆ เหล็กเสริมในคอนกรีตและทำให้คอนกรีตแตกร้าวนานไปตามแนวของเหล็กเสริม ซึ่งจะทำให้อรอยร้าวแผ่กระจายมายังผิวนอกของคอนกรีต รอยแตกร้าวนั้นจะไปตามความยาวของเหล็กเสริม ทั้งล่างและสุดข้างๆ ของเหล็กเสริมของคานตามรูปที่ 2.8 รอยร้าวที่เกิดขึ้นนี้ การส่งผ่านแรงยึดเหนี่ยวจะลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากเหล็กเสริมจะถูกเตรียมไว้ จำกัด ช่องเปิดของรอยร้าวที่จะเกิดขึ้น

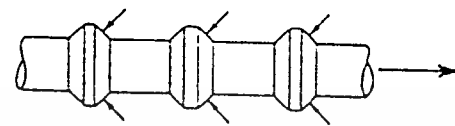
น้ำหนักที่จะทำให้เกิดการแตกร้าวนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ระยะห่างที่น้อยสุดของผิวเหล็กเสริมกับผิวนอกสุดของคานคอนกรีตหรือเหล็กที่ถัดจากกันไป ซึ่งห่างกันน้อยก็ยิ่งแรงก็ทำให้เกิดการแตกร้าวน้อย

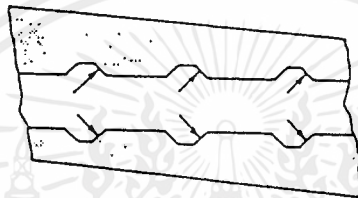
2. ความแข็งแรงรับแรงดึงของคอนกรีต

3. หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยจะเพิ่ม ถ้าแรงอัดเพิ่มก่อนที่จะมีการแตกร้าวนั้น

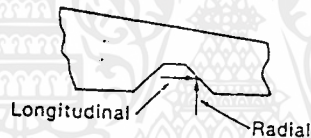
ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ จะทำให้เกิดการแตกร้าวนั้น ตามรูป 2.9 ได้แก่การแตกร้าวนอกของคอนกรีตหรือการแตกร้าวนั้นในระหว่างเหล็กเสริมด้วยกัน



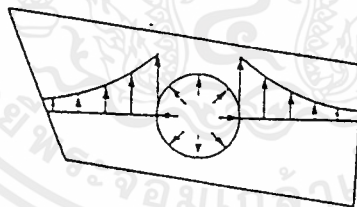
(a) Forces on bar.



(b) Forces on concrete.



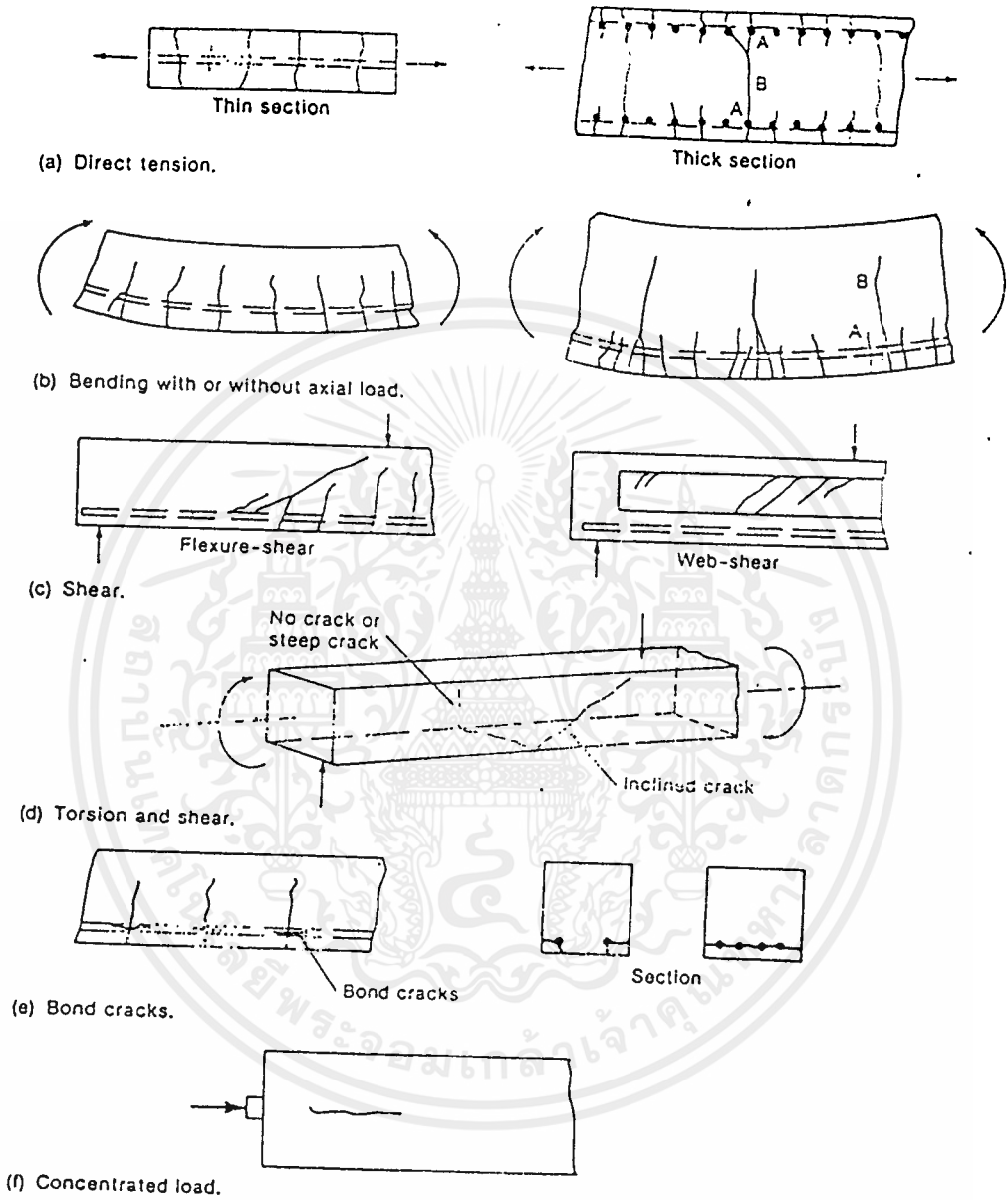
(c) Components of force on concrete.



(d) Radial forces on concrete and splitting stresses shown on a section through the bar.

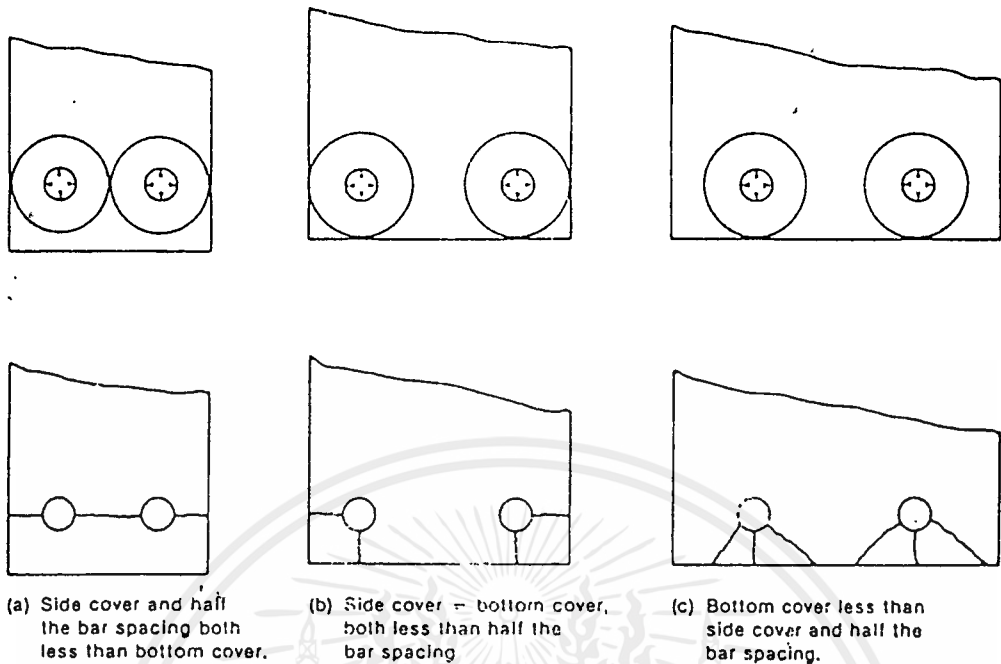
รูปที่ 2.7 กลไกการส่งผ่านหน่วยแรงยึดเหนี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การหักเหเนื่องจากแรงกระทำลักษณะต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ชนิดของการแตกร้าวที่ผิว

6. ความยาวของเหล็กเสริมที่ต้องการ

เพราะว่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวขึ้นอยู่กับความยาวของเหล็กของในส่วนของารรับแรงดึง ความยาวที่ต้องการนี้เป็นความยาวที่สั้นที่สุด ซึ่งจะทำให้แรงในเหล็กเสริมเพิ่มจากศูนย์ถึงจุดกลาง (f_y) ถ้าระยะจากจุดใดที่แรงในเหล็กเท่ากับ f_y ถึงปลายสุดของเหล็กเสริมซึ่งน้อยกว่าความยาวที่ต้องการเหล็กเสริมจะถ่ายแรงไปยังคอนกรีต ความยาวที่ต้องการต่างกันระหว่างแรงดึงและแรงอัด เพราะแรงดึงจะทำให้เกิดหน่วยแรงยึดเหนี่ยว in and out

ความยาวที่ต้องการสามารถศึกษาในรูปของปริมาณประลัยของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ยโดยการจัด Δf , ในสมการที่ (2.1) เท่ากับ f_y จะได้

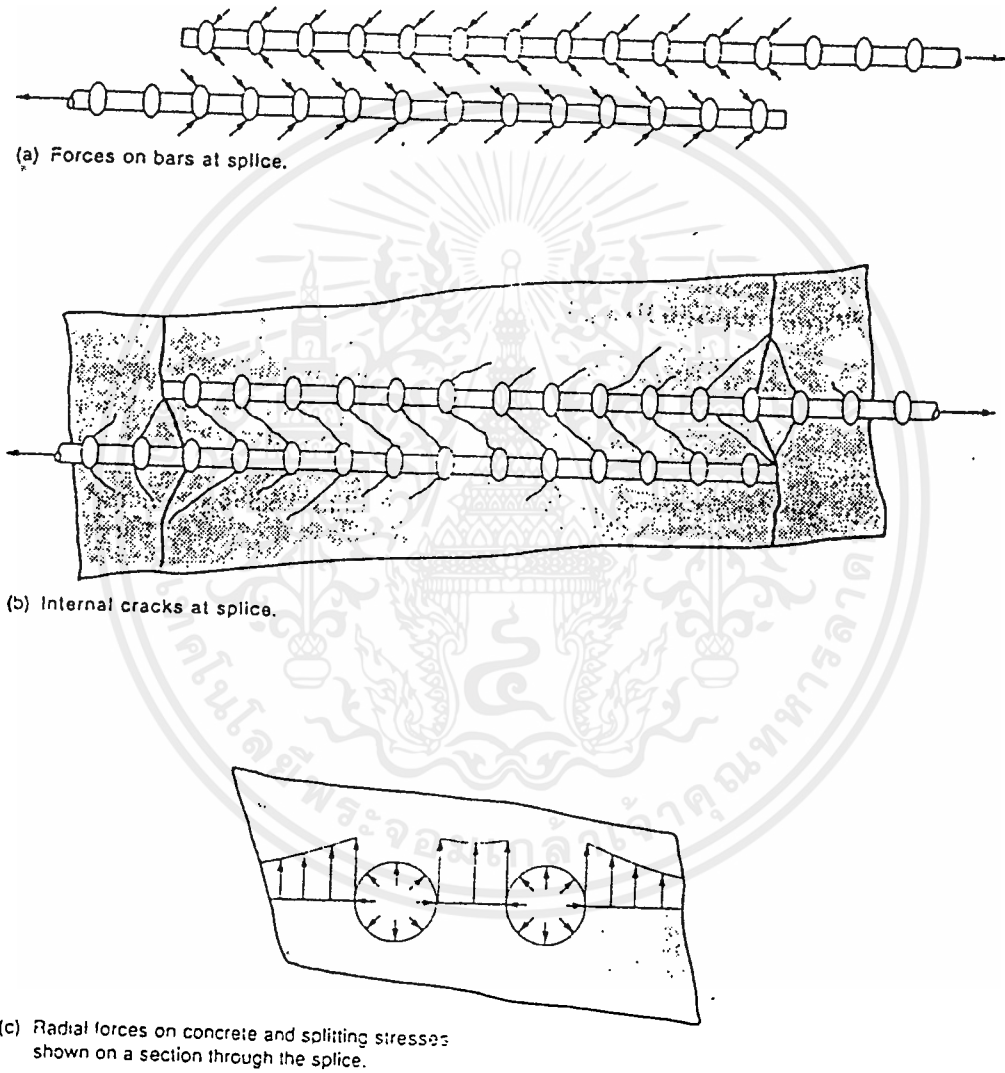
$$l_d = \frac{f_y d_b}{4u_{avg-u}} \quad (2.7)$$

เมื่อ u_{avg-u} เป็นปริมาณของ u_{avg} ที่จุดแตกหักของการทดสอบคาน

7. การต่อทาบรับแรงดึง

ในการต่อทาบเหล็กแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กจะถูกส่งผ่านไปยังคอนกรีตที่อยู่ติดกับผิวเหล็ก กลไกการส่งผ่านแรงแสดงในรูปที่ 2.10 (a) ซึ่งจะเห็น ได้ชัดเจนของการแตกร้าว ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (b) การส่งผ่านแรงออกจากเหล็กไปยังคอนกรีตจะเป็นลักษณะรัศมีความดันแรงรอบๆ เหล็กบนคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2.10 (c) ลักษณะจะเป็นคล้ายๆ กับการหมุนเป็นแท่งกลมของแรงดันรอบเหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกร้าวของคานคอนกรีตคล้ายกับรูปที่ 2.9 (a) การแตกร้าวจะเริ่มที่ปลายสุดของเหล็กที่ต่อทาบซึ่งตรงรอยแตกร้าวที่ปลายนั้นความดันแรงที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่กว้างมากกว่า ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (c) ตามการแสดงดังรูปที่

2.10 (b) การแตกร้าวจะเป็นลักษณะแถบกว้างทะแยงไม่ต่อเนื่องตลอดที่ปลายของเหล็กทาบ เหล็กเสริมทะแยงในแถบของการต่อทางจะเกิดรอยแตกร้าวซ้ำกว่า (ช่วงการทาบ) ปลายของเหล็กทาบ



รูปที่ 2.10 การต่อทาบเหล็กรับแรงดึง

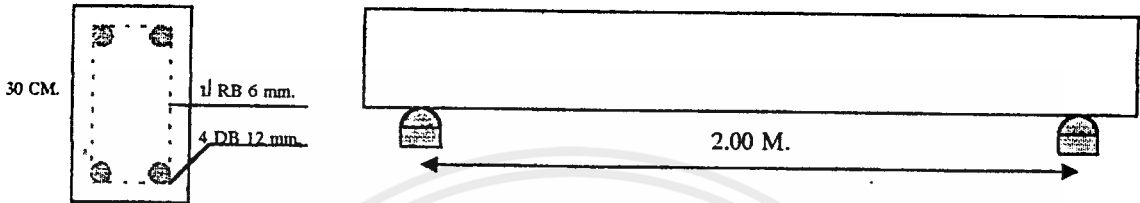
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การต่อทาบรับแรงอัด

ในการต่อทาบรับแรงอัด การถ่ายแรงจะเป็นแบบ bearing ที่ปลายของเหล็กเสริมบนคอนกรีตและผิวของการแตกแนวทแยงแบบแรงดึงจะไม่มีอยู่ในความยาวช่วงการต่อทาบ ความยาวต่อทาบรับแรงอัดจึงสั้นกว่าแบบรับแรงดึง โดยทั่วไปแล้วที่พบการพังของการต่อทาบรับแรงอัดจะพังโดย spalling ของคอนกรีตที่ปลายของเหล็กเสริม

การออกแบบตัวอย่างคาน

15 CM.



จาก $f_y = 3000$ ksc.

$f_c' = 240$ ksc.

$A_s = 2 \times 1.13 = 2.26$ cm²

$\beta_1 = 0.85$

$$p_k = 0.85\beta_1 \frac{f_c' 6117}{f_y (6117 + f_y)}$$

$$= 0.85 \times 0.85 \times \frac{240 \times 6117}{3000 \times (6117 + 3000)}$$

$$= 0.0388$$

$$p = \frac{A_s}{bd} = \frac{2.26}{15 \times 27} = 0.00558$$

$$p_{\min} = \frac{14}{f_y} = \frac{14}{3000} = 0.0047$$

OK.

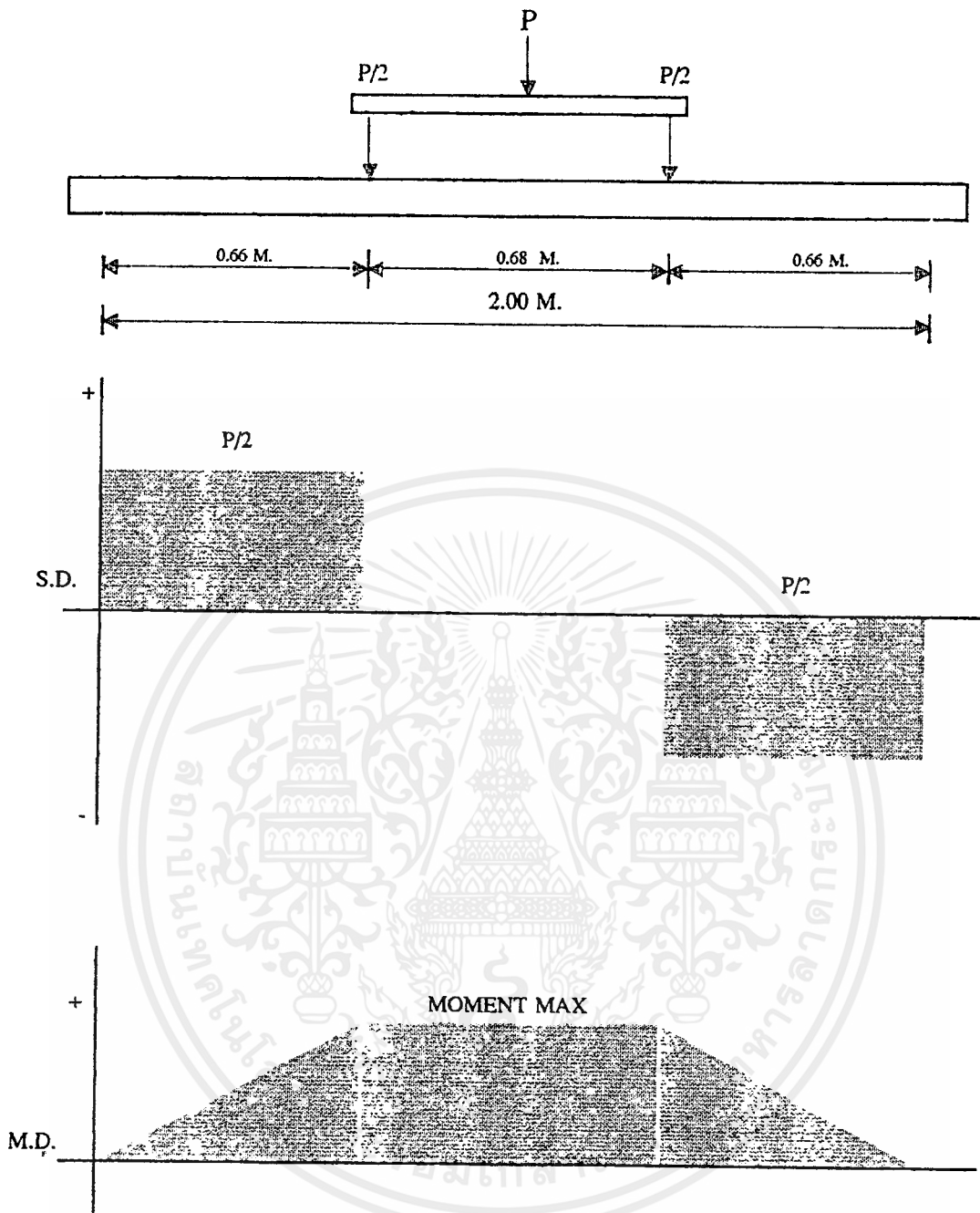
$$R_n = pf_y \left(1 - \frac{0.5pf_y}{0.85f_c'} \right)$$

$$= 0.0056 \times 3000 \left(1 - \frac{0.5 \times 0.0056 \times 3000}{0.85 \times 240} \right)$$

$$= 16.11 \quad \text{ksc.}$$

$$\phi M_n = \phi R_n b d^2 = 0.9 \times 16.11 \times 0.15 \times 27^2 = 15853 \text{ kg-m.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จาก $M_{\max} = \frac{P}{2} \times 0.66 = 1585.3$
 $P = \frac{1585.3 \times 2}{0.66} = 4.8 \text{ T.}$

หาแรงเฉือน

$$V_r = \frac{P}{2} = 2.4 \text{ T.}$$

$$\text{ค่า } \phi 2.65 \sqrt{f'_c} b_w d = (0.85)(2.65) \sqrt{240} \times 15 \times 27 \\ = 14132.7 \text{ kg.} > V_r \text{ OK.}$$

$$\phi V_c = \phi 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d = (0.85)(0.53) \sqrt{240} \times 15 \times 27$$

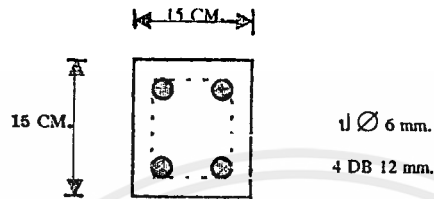
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 2826.54$$

$$V_d = V_r - wd = 2.4 T. < \phi V_c \quad \text{ไม่ต้องเสริมเหล็กปลอก}$$

$$\text{เหล็กปลอก} \quad f_y = 2400 \quad \phi 6 \text{ mm.} \quad A_s = 0.283 \times 2 = 0.566 \text{ cm.}^2$$

การออกแบบตัวอย่างเสา



$$A_s = 4 \times 1.13 = 4.52 \text{ cm.}^2$$

$$A_g = 15 \times 15 = 225 \text{ cm.}^2$$

$$P_g = \frac{A_s}{A_g} = \frac{4.52}{225} = 0.02 \quad \text{OK.}$$

จาก

$$P = 0.85 A_g f'_c + f_y A_s$$

$$= (0.85 \times 225 \times 240) + (3000 \times 4.52)$$

$$= 45900 + 13560$$

$$= 59460 \quad T.$$

บทที่ 3

การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

การทำโครงการนี้เป็นการทดสอบตัวอย่างของคาน 18 ตัว และเสา 24 ต้น เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมในการต่อต้านเหล็กค้ำระยะต่างๆ ของโครงสร้างเมื่อได้รับแรงดึงหรือแรงอัด

ตัวอย่างในการทดสอบ

ตัวอย่างในการทดสอบแบ่งออกเป็น

-คานตัวอย่างจำนวน 18 ตัว เป็นตัวแทนในการศึกษาถึงพฤติกรรมในการต่อต้านเหล็กค้ำระยะต่างๆ ของโครงสร้างเมื่อได้รับแรงดึง

-เสาตัวอย่างจำนวน 24 ต้น เป็นตัวแทนในการศึกษาถึงพฤติกรรมในการต่อต้านเหล็กค้ำระยะต่างๆ ของโครงสร้างเมื่อได้รับแรงอัด

คานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะดังนี้

หน้าตัด	:	15×30 เซนติเมตร
ความลึกประสิทธิภาพ	:	27 เซนติเมตร
ระยะหุ้มคอนกรีต	:	3 เซนติเมตร
ความยาวทั้งหมด	:	230 เซนติเมตร
ความยาวช่วงคานที่ทดสอบ	:	200 เซนติเมตร
เหล็กตามยาว	:	4 Ø 12 มิลลิเมตร
เหล็กปลอก	:	Ø 6 มิลลิเมตร @ 10 เซนติเมตร
ระยะทาบ	:	แบ่งเป็น 6 ชุด คือ แบบมาตรฐาน แบบทาบที่ระยะ 15d , 24d , 30d , 48d , 24d bs (เพิ่มปลอก 2 เท่า) โดยที่แต่ละชุดมีอย่างละ 3 ตัวอย่าง

เสาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะดังนี้

หน้าตัด	:	15×15 เซนติเมตร
ระยะหุ้มคอนกรีต	:	3 เซนติเมตร
ความยาวทั้งหมด	:	75 เซนติเมตร
เหล็กขึ้น	:	4 Ø 12 มิลลิเมตร
เหล็กปลอก	:	Ø 6 มิลลิเมตร @ 15 เซนติเมตร
ระยะทาบ	:	แบ่งเป็น 8 ชุด คือ แบบมาตรฐาน , แบบมาตรฐานเพิ่มปลอก , แบบทาบที่ระยะ 10d , 20d , 25d , 20d bs และแบบค่อชน โดยที่แต่ละชุดมีอย่างละ 3 ตัวอย่าง

วัสดุที่ใช้ทำตัวอย่างทดสอบ

1. เหล็กเสริม

ก. เหล็กเสริมหลัก เป็นเหล็กเสริมที่ใช้เสริมตามยาวในคาน และใช้เป็นเหล็กขึ้นในเสา โดยใช้เหล็กข้ออ้อยผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 24-2527 กระทรวงอุตสาหกรรม SD-30 ซึ่งเป็นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 12 มิลลิเมตร ทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80 โดยสุ่มตัวอย่างมาทดสอบ 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก

ข. เหล็กปลอก เหล็กปลอกที่ใช้เป็นเหล็กเส้นกลมผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรมมอก. 20-2527 กระทรวงอุตสาหกรรม SR-24 ซึ่งเป็นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 มิลลิเมตร ทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80 โดยสุ่มตัวอย่างมาทดสอบ 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก

2. คอนกรีต

ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิววัสดุผสมหยาบและวัสดุผสมละเอียด มีคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวและยึดเกาะวัสดุผสมให้รวมตัวเป็นมวลก้อนแข็ง โดยมีน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา Hydration กับปูนซีเมนต์ โดยปูนซีเมนต์ที่ใช้ในโครงการนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type 1)

วัสดุผสมรวม ได้แก่ ทรายและหินหรือกรวด โดยทรายจัดเป็นวัสดุผสมละเอียดและหินจัดเป็นวัสดุผสมหยาบ ทรายส่วนใหญ่ที่นำมาใช้มักเป็นทรายหยาบน้ำจืด มีความสะอาด มีเม็ดกลมแข็งแรง ผิวหยาบ มีความแกร่งควรมีค่าพิคัดความละเอียด (Fineness Modulus) อยู่ในช่วง 2.50-3.50 ส่วนหินที่ใช้เป็นหินเบอร์ 2 มีความแข็งแรง

น้ำ เป็นวัสดุที่จะทำหน้าที่ทำปฏิกิริยา Hydration กับปูนซีเมนต์ ทำให้กลายสภาพเป็นสารที่มีความเหนียวขึ้น เพื่อทำหน้าที่เคลือบผิววัสดุผสมหรือมวลรวม ซึ่งน้ำที่จะใช้ในการผสมคอนกรีตนั้นต้องเป็นน้ำจืดที่สะอาดและสามารถใช้ดื่มได้

3. แบบหล่อคอนกรีต

แบบหล่อตัวอย่างถูกป้อนรูปทรงกระบอกในการหาค่ากำลังรับแรงอัด เป็นแบบเหล็กทรงกระบอกผ่าครึ่งยึดติดแน่นกับฐานรองเหล็ก

แบบหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นแบบหล่อไม้อัดหนา 10 มม. ทำการยึดโครงเคร่าด้านข้างด้วยไม้ขนาด 1 1/2" × 1 1/2" โดยยึดรัดเป็นขอบรอบแบบไม้อัด และยึดตั้งฉากไปตามยาวกับแบบไม้อัดทุกระยะ 60 เซนติเมตร ตลอดความยาว เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวและบิดงอ ในขณะที่เทและกระทุ้งคอนกรีต แบบหล่อจะมีลักษณะดังภาพในภาคผนวก

แบบหล่อตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นแบบหล่อไม้อัดหนา 10 มม. ทำการยึดโครงเคร่าด้านข้างด้วยไม้ขนาด 1 1/2" × 1 1/2" โดยยึดรัดเป็นขอบรอบแบบไม้อัด และยึดตั้งฉากไปตามยาวกับแบบไม้อัดทุกระยะ 15 เซนติเมตร ตลอดความยาว เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวและบิดงอ ในขณะที่เทและกระทุ้งคอนกรีต แบบหล่อจะมีลักษณะดังภาพในภาคผนวก

การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างคาน

1). เตรียมเหล็กเสริม ตามยาวรับแรงดึง โดยตัดเหล็ก DB12 มม. ออกเป็นท่อนๆตามความยาวที่ออกแบบไว้ที่ระยะห่างต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). เตรียมเหล็กปลอกคาน โดยตัดเหล็ก RB 6 mm. ออกเป็นท่อนๆตามความยาวที่ต้องการ และตัดขึ้นรูปให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ

3). ทำการผูกเหล็กให้ได้เป็นโครงตามระยะทาบแบบต่างๆที่ได้ออกแบบไว้

4). ทำลูกปูนหนุนเหล็กเสริม

5). นำไม้อัดแผ่นและไม้โครงคร่าวไปตัดให้ได้ตามขนาดต่างๆตามต้องการ เพื่อนำมาประกอบเป็นแบบหล่อ

6). ประกอบไม้อัดแผ่นและไม้โครงคร่าวเข้าเป็นแบบหล่อคาน

7). ทาน้ำมันให้ทั่วแบบหล่อ

8). นำลูกปูนมาผูกหนุนที่โครงเหล็กและนำลงในใส่ในแบบหล่อ

9). เทคอนกรีตลงในแบบหล่อ โดยในการหล่อแต่ละครั้งจะผสมเพียงครึ่งเดียวเพื่อให้เนื้อคอนกรีตมีความสม่ำเสมอ โดยทำการเติมมวลรวมหยาบกับน้ำประมาณ 20 % ลงไปคลุกเคล้าให้มวลรวมหยาบเปียกจนทั่ว เทปูนซีเมนต์กับน้ำอีก 60 % ลงไปโมให้เข้ากัน แล้วจึงเติมทรายกับน้ำส่วนที่เหลือลงไป คลุกเคล้าให้เนื้อคอนกรีตเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ จึงถ่ายใส่รถเข็นและนำไปเทลงในแบบหล่อพร้อมๆกับกระทุ้งคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น

10). หลังจากเทคอนกรีตแล้วประมาณ 24 ชม. จึงทำการแกะแบบหล่อออก

11). ใช้กระสอบเปียกน้ำคลุมทั่วทั้งคานทุกตัว พยายามฉีดพรมน้ำให้กระสอบเปียกตลอดการบ่มเป็นเวลา 28 วัน

2 การเตรียมตัวอย่างเสา

1). เตรียมเหล็กเอ็นเสาโดยตัดเหล็ก DB12 mm. ออกเป็นท่อนๆตามความยาวที่ออกแบบไว้ที่ระยะทาบต่างๆ

2). เตรียมเหล็กปลอกเสาโดยตัดเหล็ก RB 6 mm. ออกเป็นท่อนๆตามความยาวที่ต้องการ และตัดขึ้นรูปให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ

3). ทำการผูกเหล็กให้ได้เป็นโครงตามระยะทาบแบบต่างๆที่ได้ออกแบบไว้

4). ทำลูกปูนหนุนเหล็กเสริม

5). นำไม้อัดแผ่นและไม้โครงคร่าวไปตัดให้ได้ตามขนาดต่างๆตามต้องการ เพื่อนำมาประกอบเป็นแบบหล่อ

6). ประกอบไม้อัดแผ่นและไม้โครงคร่าวเข้าเป็นแบบหล่อเสา

7). ทาน้ำมันให้ทั่วแบบหล่อ

8). นำลูกปูนมาผูกหนุนที่โครงเหล็กและนำลงในใส่ในแบบหล่อ

9). เทคอนกรีตลงในแบบหล่อ โดยในการหล่อคอนกรีตเสานั้นจะใช้คอนกรีตผสมเสร็จ โดยหลังจากรถผสมคอนกรีตเดินทางมาถึงบริเวณที่จะทำการเทคอนกรีตแล้ว ให้นำ รถเข็นไปถ่ายคอนกรีตและนำไปเทลงในแบบหล่อพร้อมๆกับกระทุ้งคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น

10). หลังจากเทคอนกรีตแล้วประมาณ 24 ชม. จึงทำการแกะแบบหล่อออก

11). ใช้กระสอบเปียกน้ำคลุมทั่วทั้งเสาทุกต้น พยายามฉีดพรมน้ำให้กระสอบเปียกตลอดการบ่มเป็นเวลา 28 วัน



การเตรียมการก่อนการทดสอบ

1. การเตรียมตัวอย่างคานและเสาก่อนการทดสอบ

หลังจากบ่มคานตัวอย่างด้วยกระสอบเปียกน้ำติดต่อกันเป็นเวลา 28 วันแล้ว ก็นำกระสอบออกและนำคานตัวอย่างบ่มต่อในอากาศอีก รอจนกระทั่งก่อนการทดสอบ 1 วันเมื่อผิวของคานตัวอย่างแห้งสนิทแล้ว ให้ทำการทาสีขาวที่ผิวเพื่อช่วยให้เห็นรอยแตกร้าว ได้ชัดเจน พร้อมทั้งทำสัญลักษณ์ที่ผิวด้านข้างของคานตัวอย่างไว้เป็นช่วงๆ ช่วงละ 20 เซนติเมตร พร้อมทั้งจะนำเข้าทดสอบ

ส่วนของเสาหลังจากบ่มเสาตัวอย่างด้วยกระสอบเปียกน้ำติดต่อกันเป็นเวลา 28 วันแล้ว ก็นำกระสอบออก ทำการซ่อมแซมผิวของเสาด้วย Non-shrink และนำเสาตัวอย่างบ่มต่อในอากาศอีก รอจนกระทั่งก่อนการทดสอบ 1 วันเมื่อผิวของเสาตัวอย่างแห้งสนิทแล้ว ให้ทำการทาสีขาวที่ผิวเพื่อช่วยให้เห็นรอยแตกร้าว ได้ชัดเจน นำเสาตัวอย่างมาทำให้ตั้งและหุ้มเสาให้ได้ระดับโดย Cap หัวเสาทั้งสองด้านด้วยกัมมะถัน

2. การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคาน

1. ชุด Universal Testing Machine
2. Dial Guage
3. ชุดห้กดแบบ Third Point Loading
4. I-Beam 2 ตัว
5. ชุด Support ที่รองรับคาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเสา

1. ชุด Universal Testing Machine
2. ชุดห้กดแบบมาตรฐาน

ในการทดสอบคานให้นำ I-Beam และชุด Support ที่รองรับคาน เข้าติดตั้งกับเครื่อง Universal Testing Machine จากนั้นให้ทำการติดตั้งชุดห้กดแบบ Third Point Loading เพื่อจะได้เกิด Moment คงที่ในช่วงกลางคาน บริเวณที่ทำการต่อทาบเหล็กในคานตัวอย่าง อีกทั้งทำให้ Shear ไม่ส่งผลกระทบมากนักในการทดสอบ พร้อมทั้งติดตั้งตัว Dial Guage ในการอ่านค่า Deflection ที่เกิดขึ้นบริเวณกลางคาน จากนั้นก็พร้อมนำคานตัวอย่างเข้าทำการทดสอบ

หลังจากที่ทดสอบคานตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการยก I-Beam และชุด Support ที่รองรับคาน ที่ติดตั้งกับเครื่อง Universal Testing Machine ออก นำแท่นรองรับแบบมาตรฐานเข้ามาติดตั้งแทน จากนั้นให้ทำการเปลี่ยนชุดห้กดเป็นแบบมาตรฐาน ก็พร้อมนำเสาตัวอย่างเข้าทำการทดสอบ

ขั้นตอนในการทดสอบ

1. การทดสอบคาน

- 1). หลังติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคานเสร็จแล้ว ให้ Set ความสูงของเครื่อง UTM ให้สามารถนำคานตัวอย่างเข้าไปติดตั้งได้
- 2). เคลื่อนย้ายคานตัวอย่างเข้ามาภายในห้องทดสอบ
- 3). ยกคานตัวอย่างเข้าติดตั้งกับชุดอุปกรณ์ทดสอบคาน โดยใช้รอก Hydraulic ช่วยในการยกคานขึ้น และดันคานให้เข้าไปวางกับชุดอุปกรณ์ทดสอบคาน โดยใช้ลูกปุ่นแบบทรงกระบอกหนุนใต้คานตัวอย่างเพื่อช่วยในการเลื่อนตัว

- 4). Set เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่อง UTM ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- 5). ติดตั้ง Dial Guage ที่บริเวณที่จุดกึ่งด้านบนของคานทดสอบ Set ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- 6). เริ่มทำการให้น้ำหนักบรรทุก โดยให้ความเร็วในการกดเท่ากับ 2.000 mm./min
- 7). ขณะทำการทดสอบให้อ่านค่า Deflection ทุกๆ 25 ช่องของ Dial Guage เพื่อจดบันทึกค่า Load

ณ. จุดนั้นๆ พร้อมทั้งสังเกตการเกิดรอย Crack ที่บริเวณต่างๆ

8). หลังจากให้น้ำหนักบรรทุกจนคานตัวอย่างเกิดการแอ่นตัวมากจนไม่สามารถรับน้ำหนักได้อีกให้ทำการหยุดการให้น้ำหนักบรรทุก พร้อมทั้งวาดภาพการวิบัติของคาน

9). ขนคานที่ทดสอบเสร็จแล้วออกและนำคานตัวต่อไปเข้ามาแทน

10). ทำการทดสอบซ้ำใหม่ตั้งแต่ข้อหนึ่ง

2. การทดสอบเสา

1). หลังติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเสาเสร็จแล้ว ให้ Set ความสูงของเครื่อง UTM ให้สามารถนำเสาตัวอย่างเข้าไปติดตั้งได้

2). เคลื่อนย้ายเสาตัวอย่างเข้ามาภายในห้องทดสอบ โดยใช้รถยก Hydraulics ช่วยในการขน

3). ยกเสาตัวอย่างเข้าติดตั้งกับชุดอุปกรณ์ทดสอบเสา

4). Set เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่อง UTM ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

5). เริ่มทำการให้น้ำหนักบรรทุก โดยให้ความเร็วในการกดเท่ากับ 1.000 mm./min

6). สังเกตการเกิดรอย Crack ที่บริเวณต่างๆ

7). หลังจากให้น้ำหนักบรรทุกจนเสาตัวอย่างจนไม่สามารถรับน้ำหนักได้อีกให้ทำการหยุดการให้น้ำหนักบรรทุก พร้อมทั้งวาดภาพการวิบัติของเสา

8). ขนเสาที่ทดสอบเสร็จแล้วออกและนำเสาด้านต่อไปเข้ามาแทน

9). ทำการทดสอบซ้ำใหม่ตั้งแต่ข้อหนึ่ง

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ตัวอย่างการคำนวณ

$$M_{\max} = 2747.36 \quad \text{kg} - \text{m.}$$

$$f_s = \frac{M}{0.9 A_s d}$$

$$= \frac{2747.36}{0.9 \times 2.26 \times 0.27} = 5002.66 \quad \text{ksc.}$$

หน่วยแรงขีดเหนืงวที่เกดขึ้น

$$u = \frac{6.39 \sqrt{f'_c}}{d_b} = \frac{6.39 \sqrt{374}}{12}$$

$$= 102.98 \quad \text{ksc.}$$

ความขวยขีดครั้งที่ต้องการ

$$L_d = \frac{A_s f_s}{u \pi l_b}$$

$$= \frac{2.26 \times 5002.66}{102.98 \times 3.14 \times 1.2}$$

$$= 29.137 \quad \text{cm.}$$

การทดสอบคานและเสามีข้อมูลดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงค่ากำลังอัดประลัยของลูกปูน Cylinder ที่อายุเท่ากับตัวอย่างทดสอบ

Specimens No.	Cylinder No.	Compression strength(ksc)	Specimens No.	Cylinder No.	Compression strength(ksc)
B1-B18	1	446	C1-C24	1	263.8
	2	441		2	270.6
	3	404		3	281.6
	4	445		4	294
	5	357		5	296.6
	6	412		6	287.6
	7	384		Average	282.4
	8	290	$F_c' = 282.4 \text{ ksc}$		
	9	383			
	10	396			
	11	376			
	12	289			
	13	362			
	14	*140			
	15	252			
	16	*170			
	Average	374.1	$F_c' = 374.1 \text{ ksc}$		

* ไม่นำมาคิดเพราะผิวกดไม่เรียบ

ตารางที่ 2 แสดงค่ากำลังดึงที่จุดครากและจุดประลัยของเหล็ก DB 12mm SD 30

Specimens No.	DB 12mm No.	Load (kg)		Tensile stress (ksc)	
		Yield	Ultimate	Yield	Ultimate
B1-B18	1	3300	4305	3448	4894
C1-C24	2	3150	4320	3152	5674
ยกเว้น	3	3300	4330	4547	5413
C19-C21	Average	3250.0	4318.3	3716	5327.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดง Load และ Deflection ของคาน ไม้ต่อเหล็ก

Bst	Load (kg)			
	Deflection($\times 10^{-2}$ mm)	B1	B2	B3
0	0	0	0	0
25	465	1187	1564	1072
50	1121	1922	2323	1789
75	1869	2588	2823	2427
100	2399	2888	3188	2825
125	2795	3282	3860	3312
150	2965	3539	4006	3503
175	3203	3856	4286	3782
200	3436	4162	4566	4055
225	3745	4472	4918	4378
250	4042	4820	5134	4665
275	4326	5080	5421	4942
300	4638	5386	5681	5235
325	4885	5274	5995	5385
350	5062	5268	6194	5508
375	4909	5381	5984	5425
400	4823	5662	6071	5519
425	5013	5865	6184	5687
450	5111	5979	6263	5784
475	5225	6038	6453	5905
500	5336	5879	6616	5944
525	5162	5874	6707	5914
550	5174	5891	6800	5955
575	5286	6076	6673	6012
600	5302	6205	6584	6030
625	5331	6266	6663	6087
650	5381	6346	6553	6093
675	5425	6439	6567	6144
700	5446	6477	6681	6201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดง Load และ Deflection ของคาน ระยะทาบ 24D

BL24D	Load (kg)			
	Deflection($\times 10^{-2}$ mm)	B4	B5	B6
0	0	0	0	0
25	1004	582	793	793
50	1630	916	1661	1402
75	2168	1579	2366	2038
100	2681	2089	2586	2452
125	3010	2605	2982	2866
150	3125	2979	3286	3130
175	3272	2389	3568	3076
200	3525	3526	3828	3626
225	3841	3851	4024	3905
250	4104	4011	4242	4119
275	4318	4294	4240	4284
300	4427	4582	4357	4455
325	4719	4834	4467	4673
350	4956	4777	4511	4748
375	4528	4614	4688	4610
400	4566	4623	4759	4649
425	4684	4701	4857	4747
450	4827	4688	4994	4836
475	4948	4786	5097	4944
500	5062	4879	5207	5049
525	5143	4998	5306	5149
550	4829	5090	5292	5070
575	4727	5154	5306	5062
600	4812	5216	5339	5122
625	4919	5303	5367	5196
650	5004	5358	5381	5248
675	5075	5421	5453	5316
700	5116	5468	5487	5357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดง Load และ Deflection ของคาน ระยะทาบ 48D

BL48D Deflection($\times 10^{-2}$ mm)	Load (kg)			
	B7	B8	B9	Average
0	0	0	0	0
25	1286	1222	1882	1463
50	2119	2119	2414	2217
75	2565	2605	2770	2647
100	2928	3025	3095	3016
125	3316	3392	3389	3366
150	3729	3697	3676	3701
175	4027	3741	3868	3879
200	4331	3623	4107	4020
225	4582	3749	4382	4238
250	4417	3894	4696	4336
275	4569	3900	5006	4492
300	4730	3945	4844	4506
325	4815	4025	4772	4537
350	4955	4119	4892	4655
375	5074	4157	5016	4749
400	5216	4370	5152	4913
425	5414	4468	5191	5024
450	5570	4560	5339	5156
475	5689	4830	5347	5289
500	5777	4810	5220	5269
525	5869	4920	5260	5350
550	5743	5071	5252	5355
575	5740	5075	5305	5373
600	5795	5100	5325	5407
625	5818	5204	5383	5468
650	5867	5199	5400	5489
675	5735	5214	5441	5463
700	5539	5321	5438	5433

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดง Load และ Deflection ของคาน ระยะทาบ 24D.BS

BL24D.BS	Load (kg)			
	Deflection($\times 10^{-2}$ mm)	B10	B11	B12
0	0	0	0	0
25	754	801	885	813
50	1584	1389	1494	1489
75	2400	826	1531	1586
100	2728	2487	1739	2318
125	2994	2803	2211	2669
150	3150	3092	2806	3016
175	3010	3305	3229	3181
200	3412	3466	3514	3464
225	3472	3730	3906	3703
250	3828	3930	3995	3918
275	4149	4146	4293	4196
300	4354	4296	4216	4289
325	4424	4553	4092	4356
350	4195	4716	4142	4351
375	4258	4418	4208	4295
400	4416	4371	4310	4366
425	4605	4461	4350	4472
450	4731	4453	4489	4558
475	4824	4550	4650	4675
500	4357	4570	4790	4572
525	4990	4563	4893	4815
550	4812	4673	4888	4791
575	4767	4714	4900	4794
600	4786	4784	4950	4840
625	4863	4874	4990	4909
650	4903	4941	5100	4981
675	4945	4959	5150	5018
700	4996	5037	5200	5078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดง Load และ Deflection ของคาน ระยะทาบ 15D

BL15D Deflection($\times 10^{-2}$ mm)	Load (kg)			
	B13	B14	B15	Average
0	0	0	0	0
25	1019	953	1001	991
50	1805	1659	1603	1689
75	2285	2347	2822	2485
100	2428	2874	3131	2811
125	2768	3148	3908	3275
150	2870	3478	4137	3495
175	3029	3467	3940	3479
200	3059	3286	3957	3434
225	3291	3381	4065	3579
250	3509	3501	4171	3727
275	3764	3591	4259	3871
300	3822	3701	4245	3923
325	3692	3762	4408	3954
350	3766	3840	4544	4050
375	3875	3888	4638	4134
400	4003	3879	4759	4214
425	4163	3984	4839	4329
450	4155	4070	4894	4373
475	4327	4164	4799	4430
500	4419	4279	4714	4471
525	4540	4304	4806	4550
550	4665	4418	4884	4656
575	4764	4350	4966	4693
600	4815	4193	5044	4684
625	4657	4232	5105	4665
650	4416	4297	5155	4623
675	4498	4355	5159	4671
700	4609	4391	5223	4741

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดง Load และ Deflection ของคาน ระยะทาบ 30D

BL30D Deflection($\times 10^{-2}$ mm)	Load (kg)			
	B16	B17	B18	Average
0	0	0	0	0
25	1121	966	814	967
50	1785	1818	1032	1545
75	2371	2560	1168	2033
100	2480	2974	1311	2255
125	2826	3291	1445	2521
150	2923	3778	1811	2837
175	2843	3704	2417	2988
200	3288	3782	3025	3365
225	3674	3934	3356	3655
250	3926	4180	3611	3906
275	4166	4517	3764	4149
300	4450	4674	4433	4519
325	4861	4882	4376	4706
350	5079	5286	4166	4844
375	5077	5989	4189	5085
400	5236	6161	4291	5229
425	5335	6386	4425	5382
450	5491	6299	4529	5440
475	5656	6317	4632	5535
500	5809	6310	4651	5590
525	5951	6197	4614	5587
550	6019	6212	4686	5639
575	6150	6236	4822	5736
600	6072	6217	4915	5735
625	5930	6254	4996	5727
650	6055	6278	5107	5813
675	6171	6321	5210	5901
700	6272	6340	5255	5956

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดง Load และ Deflection ของคาน ระยะทาบที่ต่างกัน

Deflection($\times 10^{-2}$ mm.)	Load (kg)					
	Bst	BL15D	BL24D	BL24D.bs	BL30D	BL48D
0	0	0	0	0	0	0
25	1072	991	793	813	967	1463
50	1789	1689	1402	1489	1545	2217
75	2427	2485	2038	1586	2033	2647
100	2825	2811	2452	2318	2255	3016
125	3312	3275	2866	2669	2521	3366
150	3503	3495	3130	3016	2837	3701
175	3782	3479	3076	3181	2988	3879
200	4055	3434	3626	3464	3365	4020
225	4378	3579	3905	3703	3655	4238
250	4665	3727	4119	3918	3906	4336
275	4942	3871	4284	4196	4149	4492
300	5235	3923	4455	4289	4519	4506
325	5385	3954	4673	4356	4706	4537
350	5508	4050	4748	4351	4844	4655
375	5425	4134	4610	4295	5085	4749
400	5519	4214	4649	4366	5229	4913
425	5687	4329	4747	4472	5382	5024
450	5784	4373	4836	4558	5440	5156
475	5905	4430	4944	4674	5535	5289
500	5944	4471	5049	4572	5590	5269
525	5914	4550	5149	4815	5587	5350
550	5955	4656	5070	4791	5639	5355
575	6012	4693	5062	4794	5736	5373
600	6030	4684	5122	4840	5735	5407
625	6087	4664	5196	4909	5727	5468
650	6093	4623	5248	4981	5813	5489
675	6144	4671	5316	5018	5901	5463
700	6201	4741	5357	5078	5956	5433

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 แสดง Max.Load at 1/360 และ Max.Load at Ultimate

Beam No.	Splice Lap	DB 12 mm L''(cm)	Fc' (ksc)	Displacement		Max.Load P'		Max.Load P*	
				at Ultimate (mm)	Average	at L/360(kg)	Average	at Yield (kg)	Average
B1	-	-		32.32		*5174		8162.31	
B2	-	-	374.1	35.86	31.8	5891	6345.50	8655.97	8325.34
B3	-	-		27.11		6800		8157.75	
B4	24D	29		27.61		4825		7280.57	
B5	24D	29	374.1	25.77	27.3	5090	5069.00	6956.16	7158.03
B6	24D	29		28.51		5292		7237.36	
B7	48D	58		16.73		5743		7494.77	
B8	48D	58	374.1	26.06	22.0	5071	5355.33	7086.31	7087.07
B9	48D	58		23.21		5252		6680.14	
B10	24D.BS	29		31.25		4812		6822.14	
B11	24D.BS	29	374.1	17.85	31.3	4673	4791.00	6044.12	6486.96
B12	24D.BS	29		44.76		4888		6594.63	
B13	15D	18		31.26		4665		6166.63	
B14	15D	18	374.1	36.28	35.1	4418	4655.67	6079.42	6371.56
B15	15D	18		37.71		4884		6868.63	
B16	30D	36		27.44		6019		8652.39	
B17	30D	36	374.1	31.21	29.3	6212	6115.50	8638.08	8217.05
B18	30D	36		48.75		*4822		7360.67	

* ทนทานที่สุด ระดับการวางของหัวคดทั้ง 2 ด้านไม่เท่ากัน

ตารางที่ 11 แสดง การเปรียบเทียบ Max.Load ของคาน design และ คานจากการทดลอง

Splice Lap	DB 12 mm L"(cm)	Max. Load P at Design (kg)	Max. Load P' at L/360(kg)	Max. Load P' at Ultimate (kg)	M (kg-m)	P'/P	P'/P*Bst	Calculated Fs (ksc)	Calclater Usp(ksc)
Bst	-	4800	6345.5	8325.34	2747.36	1.73	1	5002.66	22.44
BL15d	18	4800	4655.31	6371.56	2102.61	1.33	0.77	3828.64	63.74
BL24D	29	4800	5069	7158.03	2362.15	1.49	0.86	4301.23	44.44
BL24D.BS	29	4800	4791	6486.96	2140.70	1.35	0.78	3897.99	40.28
BL30D	36	4800	6115.5	8271.05	2729.45	1.72	0.99	4970.04	41.37
BL48D	58	4800	5355.33	7087.07	2338.73	1.48	0.85	4258.59	22.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงหน่วยแรงดึงในเหล็ก ความยาวยึดครั้งที่ต้องการและหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้น

Splice Lap	DB 12 mm L''(cm)	Calculated Fs (ksc)	Calclater Usp(ksc)	DB 12mm Ld(cm)	Fc' (ksc)	U for Fc' (ksc)	U al (ksc)<56.2
Bst	67	5002.66	22.44	29.14	409	102.98	56.2
BL15d	18	3828.64	63.74	22.30	335	102.98	56.2
BL24D	29	4301.23	44.44	25.05	409	102.98	56.2
BL24D.BS	29	3897.99	40.28	22.70	335	102.98	56.2
BL30D	36	4970.04	41.37	28.95	335	102.98	56.2
BL48D	58	4258.59	22.00	24.80	409	102.98	56.2

ตารางที่ 13 แสดงหน่วยแรงดึงในเหล็ก และหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้น

ระยะทาบ	Calculated Fs (ksc)	Calclater Usp(ksc)
st	5002.66	22.44
15D	3828.64	63.74
24D	4301.23	44.44
30D	4970.04	41.37
48D	4258.59	22.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 แสดง Load ,หน่วยแรงดึงในเหล็ก,หน่วยแรงยึดเหนี่ยว และ Deflection

ของคานระยะหาบ 15D

Deflection ($\times 10^{-2}$ mm.)	BL16D	U (ksc)	Fs(ksc)
0	0	0.00	0.00
25	991	9.92	595.49
50	1689	16.92	1014.91
75	2485	24.89	1493.23
100	2811	28.16	1689.12
125	3275	32.80	1967.93
150	3495	35.00	2100.13
175	3479	34.84	2090.52
200	3434	34.39	2063.48
225	3579	35.84	2150.61
250	3727	37.33	2239.54
275	3871	38.77	2326.07
300	3923	39.29	2357.31
325	3954	39.60	2375.94
350	4050	40.56	2433.63
375	4134	41.40	2484.10
400	4214	42.20	2532.18
425	4329	43.35	2601.28
450	4373	43.80	2627.72
475	4430	44.37	2661.97
500	4471	44.78	2686.61
525	4550	45.57	2734.08
550	4656	46.63	2797.77
575	4693	47.00	2820.00
600	4684	46.91	2814.60
625	4664	46.71	2802.58
650	4623	46.30	2777.94
675	4671	46.78	2806.78
700	4741	47.48	2848.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดง Load ,หน่วยแรงดึงในเหล็ก,หน่วยแรงยึดเหนี่ยว และ Deflection

ของคานระยะทาบ 24D

Deflection (x10 ⁻² mm.)	BL24D	U (ksc)	Fs(ksc)
0	0	0.00	0.00
25	793	4.93	476.51
50	1402	8.72	842.46
75	2038	12.67	1224.63
100	2452	15.24	1473.40
125	2866	17.82	1722.17
150	3130	19.46	1880.80
175	3076	19.12	1848.36
200	3626	22.54	2178.85
225	3905	24.27	2346.50
250	4119	25.60	2475.09
275	4284	26.63	2574.24
300	4455	27.69	2676.99
325	4673	29.05	2807.99
350	4748	29.51	2853.05
375	4610	28.66	2770.13
400	4649	28.90	2793.56
425	4747	29.51	2852.45
450	4836	30.06	2905.93
475	4944	30.73	2970.83
500	5049	31.39	3033.92
525	5149	32.01	3094.01
550	5070	31.52	3046.54
575	5062	31.47	3041.73
600	5122	31.84	3077.79
625	5196	32.30	3122.25
650	5248	32.62	3153.50
675	5316	33.05	3194.36
700	5357	33.30	3219.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 แสดง Load ,หน่วยแรงดึงในเหล็ก,หน่วยแรงยึดเหนี่ยว และ Deflection

ของคานระยะทาบ 24D.BS

Deflection (x10 ⁻² mm.)	BL24D.BS	U (ksc)	Fs(ksc)
0	0	0.00	0.00
25	813	5.05	488.53
50	1489	9.26	894.73
75	1586	9.86	953.02
100	2318	14.41	1392.88
125	2669	16.59	1603.79
150	3016	18.75	1812.30
175	3181	19.77	1911.45
200	3464	21.53	2081.50
225	3703	23.02	2225.12
250	3918	24.35	2354.31
275	4196	26.08	2521.36
300	4289	26.66	2577.24
325	4356	27.08	2617.50
350	4351	27.05	2614.50
375	4295	26.70	2580.85
400	4366	27.14	2623.51
425	4472	27.80	2687.21
450	4558	28.33	2738.88
475	4674	29.05	2808.59
500	4572	28.42	2747.30
525	4815	29.93	2893.31
550	4791	29.78	2878.89
575	4794	29.80	2880.69
600	4840	30.09	2908.34
625	4909	30.52	2949.80
650	4981	30.96	2993.06
675	5018	31.19	3015.30
700	5078	31.57	3051.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 แสดง Load ,หน่วยแรงดึงในเหล็ก,หน่วยแรงอัดเหนียว และ Deflection

ของคานระยะทาง 30D

Deflection (x10 ⁻² mm.)	BL30D	U (ksc)	Fs(ksc)
0	0	0.00	0.00
25	967	4.84	581.07
50	1545	7.74	928.38
75	2033	10.18	1221.62
100	2255	11.29	1355.02
125	2521	12.62	1514.86
150	2837	14.21	1704.74
175	2988	14.96	1795.48
200	3365	16.85	2022.01
225	3655	18.30	2196.27
250	3906	19.56	2347.10
275	4149	20.78	2493.12
300	4519	22.63	2715.45
325	4706	23.57	2827.82
350	4844	24.26	2910.74
375	5085	25.46	3055.56
400	5229	26.18	3142.08
425	5382	26.95	3234.02
450	5440	27.24	3268.87
475	5535	27.72	3325.96
500	5590	27.99	3359.01
525	5587	27.98	3357.21
550	5639	28.24	3388.45
575	5736	28.72	3446.74
600	5735	28.72	3446.14
625	5727	28.68	3441.33
650	5813	29.11	3493.01
675	5901	29.55	3545.89
700	5956	29.82	3578.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 แสดง Load ,หน่วยแรงดึงในเหล็ก,หน่วยแรงยึดเหนี่ยว และ Deflection

ของคานระยะทาบ 48D

Deflection ($\times 10^{-2}$ mm.)	BL48D	U (ksc)	Fs(ksc)
0	0	0.00	0.00
25	1463	4.55	879.11
50	2217	6.89	1332.19
75	2647	8.23	1590.57
100	3016	9.37	1812.30
125	3366	10.46	2022.62
150	3701	11.50	2223.92
175	3879	12.06	2330.88
200	4020	12.49	2415.60
225	4238	13.17	2546.60
250	4336	13.48	2605.48
275	4492	13.96	2699.22
300	4506	14.01	2707.64
325	4537	14.10	2726.26
350	4655	14.47	2797.17
375	4749	14.76	2853.65
400	4913	15.27	2952.20
425	5024	15.62	3018.90
450	5156	16.03	3098.22
475	5289	16.44	3178.14
500	5269	16.38	3166.12
525	5350	16.63	3214.79
550	5355	16.64	3217.80
575	5373	16.70	3228.61
600	5407	16.81	3249.04
625	5468	16.99	3285.70
650	5489	17.06	3298.32
675	5463	16.98	3282.69
700	5433	16.89	3264.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 แสดงหน่วยแรงยึดเหนี่ยว และ Deflection ของคาน ระยะทาบต่างกัน

Deflection ($\times 10^{-2}$ mm.)	15D	24D	24D.BS	30D	48D
0	0	0	0	0	0
25	9.92	4.93	5.05	4.84	4.55
50	16.92	8.72	9.26	7.74	6.89
75	24.89	12.67	9.86	10.18	8.23
100	28.15	15.24	14.41	11.29	9.37
125	32.80	17.82	16.59	12.62	10.46
150	35.00	19.46	18.75	14.21	11.50
175	34.84	19.12	19.77	14.96	12.06
200	34.39	22.54	21.53	16.85	12.49
225	35.84	24.27	23.02	18.30	13.17
250	37.33	25.60	24.35	19.56	13.48
275	38.77	26.63	26.08	20.78	13.96
300	39.29	27.69	26.66	22.63	14.01
325	39.60	29.05	27.08	23.57	14.10
350	40.56	29.51	27.05	24.26	14.47
375	41.40	28.66	26.70	25.46	14.76
400	42.20	28.90	27.14	26.18	15.27
425	43.35	29.51	27.80	26.95	15.62
450	43.80	30.06	28.33	27.24	16.03
475	44.37	30.73	29.05	27.72	16.44
500	44.78	31.39	28.42	27.99	16.38
525	45.57	32.01	29.93	27.98	16.63
550	46.63	31.52	29.78	28.24	16.64
575	47.00	31.47	29.80	28.72	16.70
600	46.91	31.84	30.09	28.72	16.81
625	46.71	32.30	30.52	28.68	16.99
650	46.30	32.62	30.96	29.11	17.06
675	46.78	33.05	31.19	29.55	16.98
700	47.48	33.30	31.57	29.82	16.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ของ load และ deflection
ของคานที่จุดเริ่มแตกร้าว

Beam No.	Load (kg)	Deflection ($\times 10^{-2} \text{mm}$)
st	3044	121
15D	2452	84
24D	2681	113
24D.BS	2832	115
30D	2979	115
48D	2667	76

ตารางที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ load ที่จุดเริ่มร้าว และ load ที่ ultimate

Beam No.	Load (kg) at crack	Load (kg) at ultimate
st	3044	8325
15D	2452	6372
24D	2681	7158
24D.BS	2832	6487
30D	2979	8217
48D	2667	7087

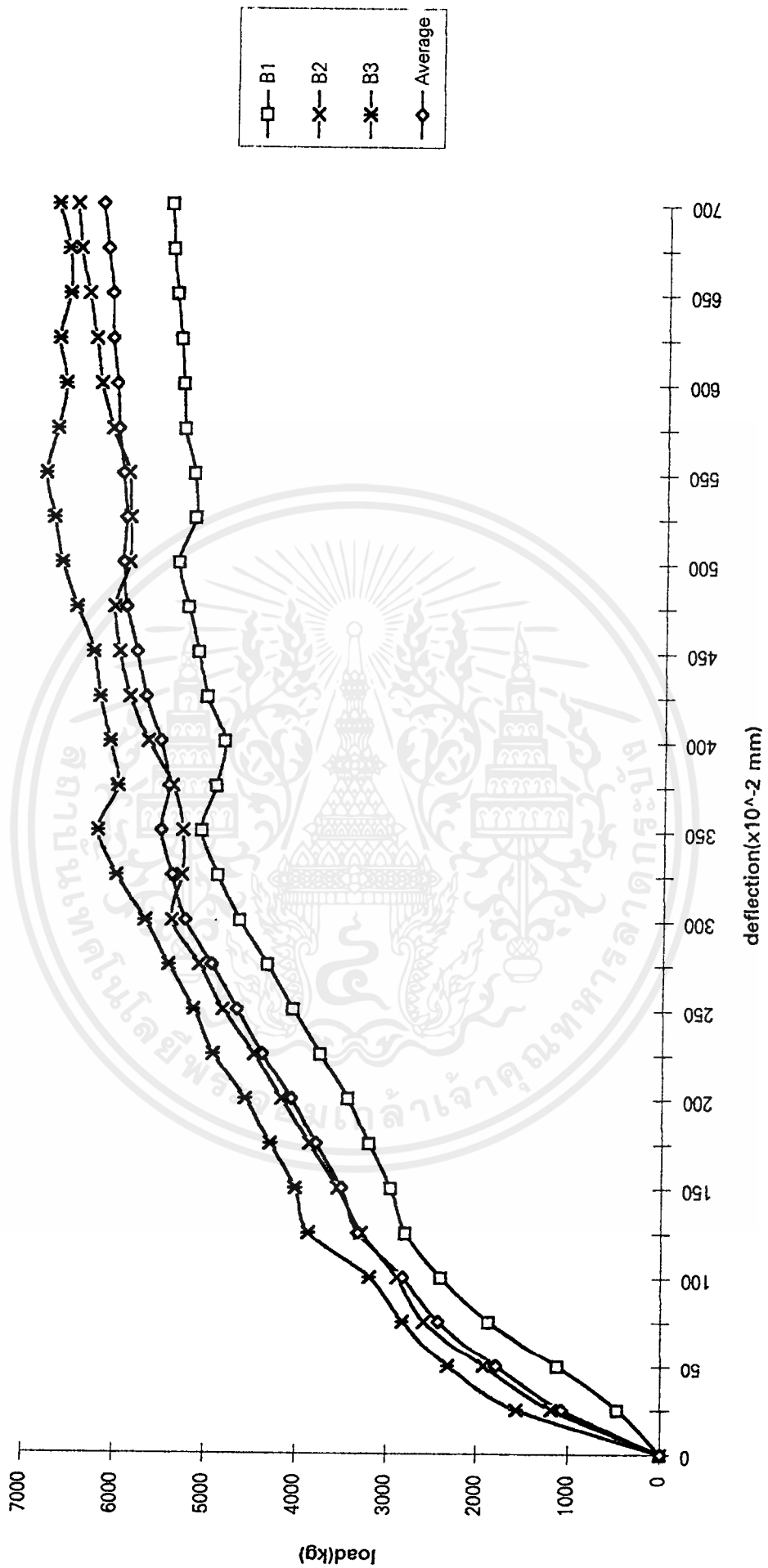
ตารางที่ 22 แสดง load และ การทรุดตัวของเสา

Column No.	Lap Spilcs	L'' (cm)	Max.Load		Stress		Displecment	
			(kg)	Average	(kg/mm ²)	Average	(mm)	Average
C1	st	-	*56943.94	69637.4	2.45	2.82	2.22	2.12
C2			69810.06		3.06		2.19	
C3			69464.71		2.95		1.96	
C4	st.BS	-	*54904.32	67904.1	2.38	2.77	1.81	2.18
C5			69100.95		2.95		2.28	
C6			66707.25		2.97		2.45	
C7	10D	12	42160.24	49245.83	1.78	2.51	2.08	2.05
C8			56331.41		2.49		1.89	
C9			*76545.68		3.25		2.19	
C10	20D	24	57221.35	63548.50	2.45	2.85	2.06	2.12
C11			*74206.35		3.15		2.23	
C12			69875.64		2.95		2.08	
C13	20D.BS	24	59556.48	63590.01	2.43	2.57	2.12	2.08
C14			67623.53		2.91		2.31	
C15			*53725.75		2.36		1.81	
C16	25D	30	67750.47	62241.18	2.95	2.57	1.97	1.73
C17			*49657.26		2.31		1.49	
C18			56731.89		2.46		1.72	
C19	คอนกรีตล้วน	-	66453.04	61633.26	2.96	2.59	1.89	1.81
C20			*52315.82		2.28		1.68	
C21			56813.47		2.54		1.86	
C22	ต่อชน	0	54933.48	58659.70	2.41	2.44	1.85	2.15
C23			62385.91		2.68		2.28	
C24			*51908.17		2.23		2.32	

*ไม่นำมาคิดมีค่าแตกต่างกันมาก

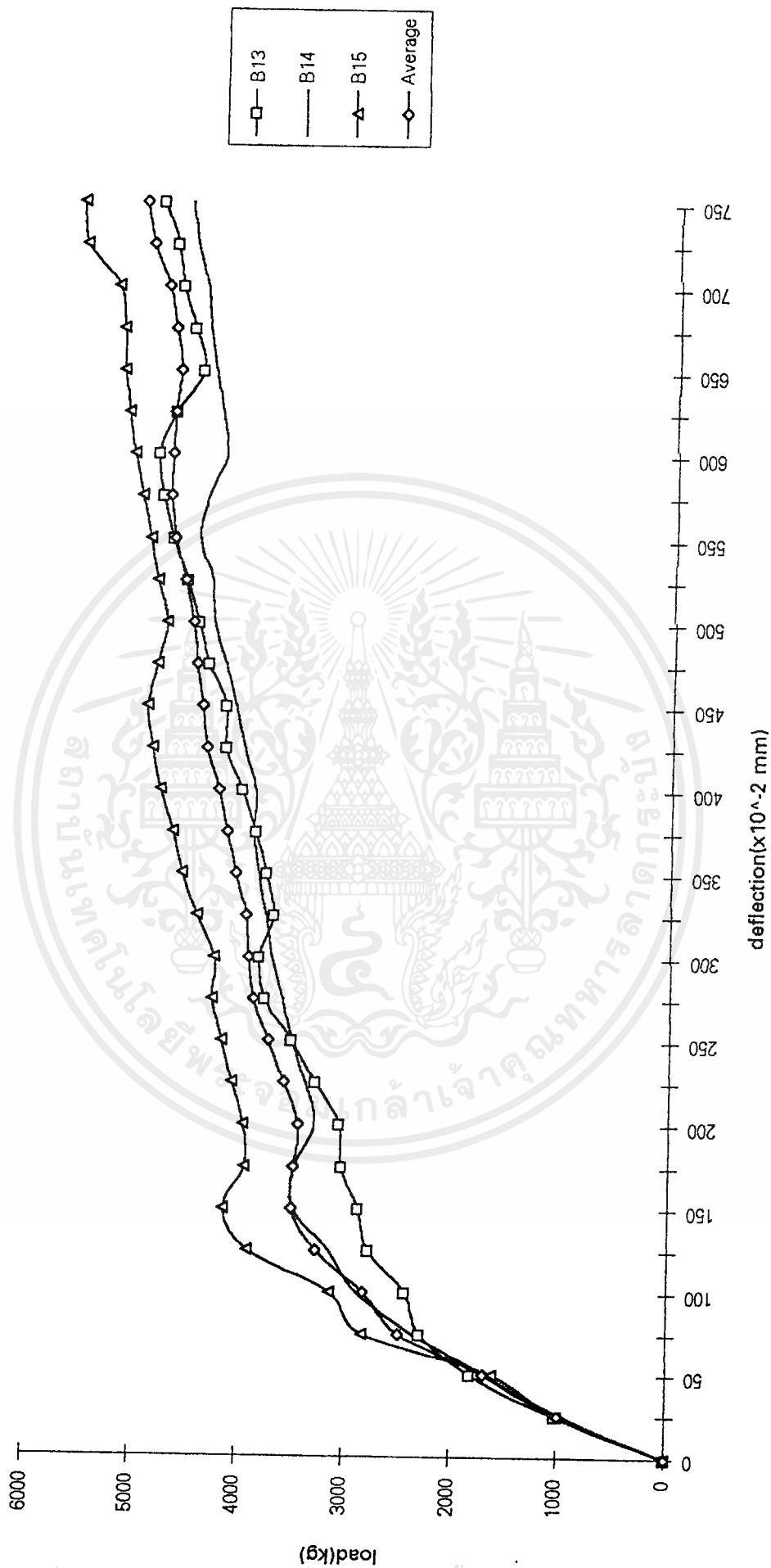
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 1 แสดง load และ deflection ของคานมาตรฐาน



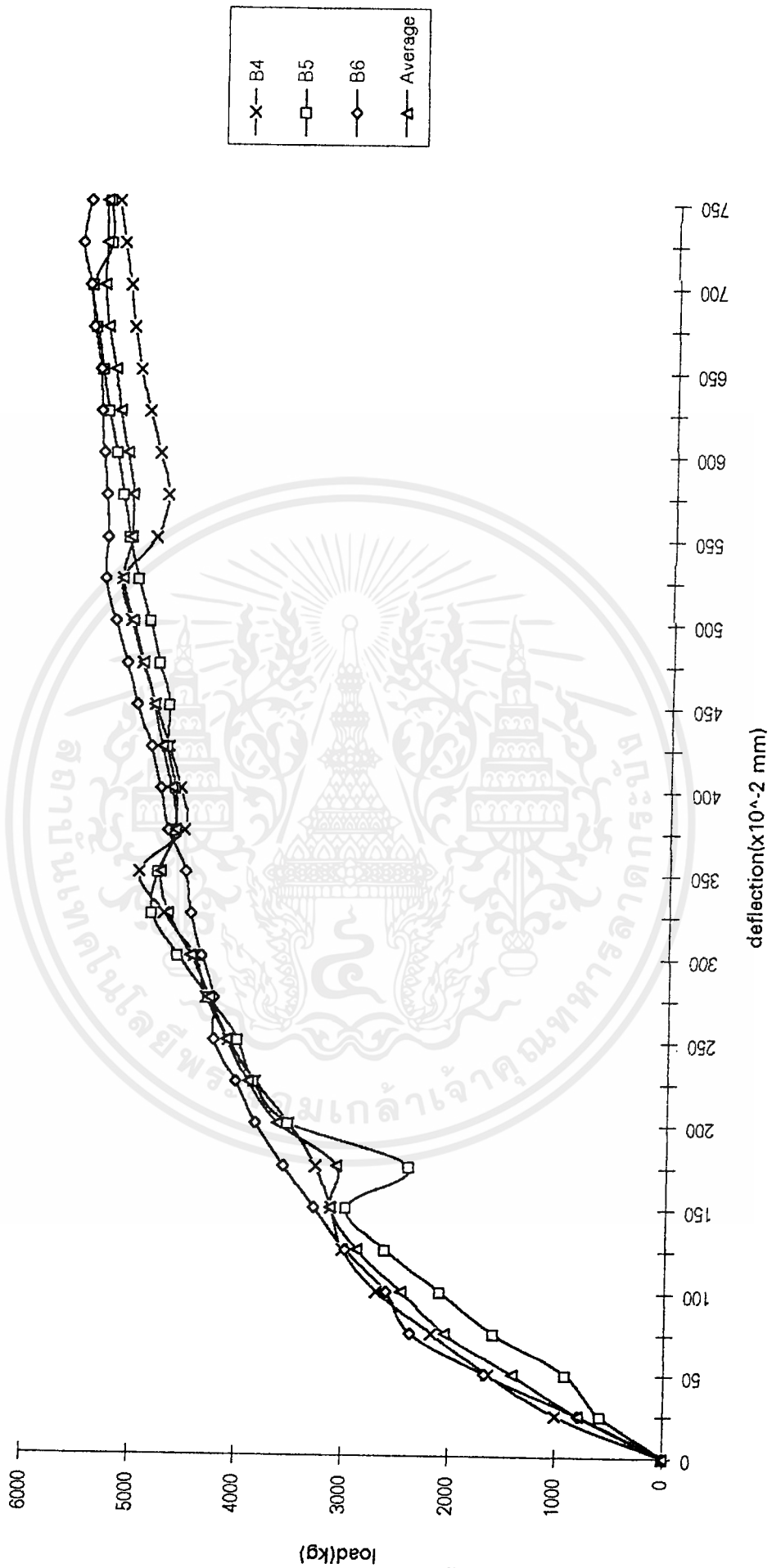
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพรูปที่ 2 แสดง load และ deflection ของ Beam L15D



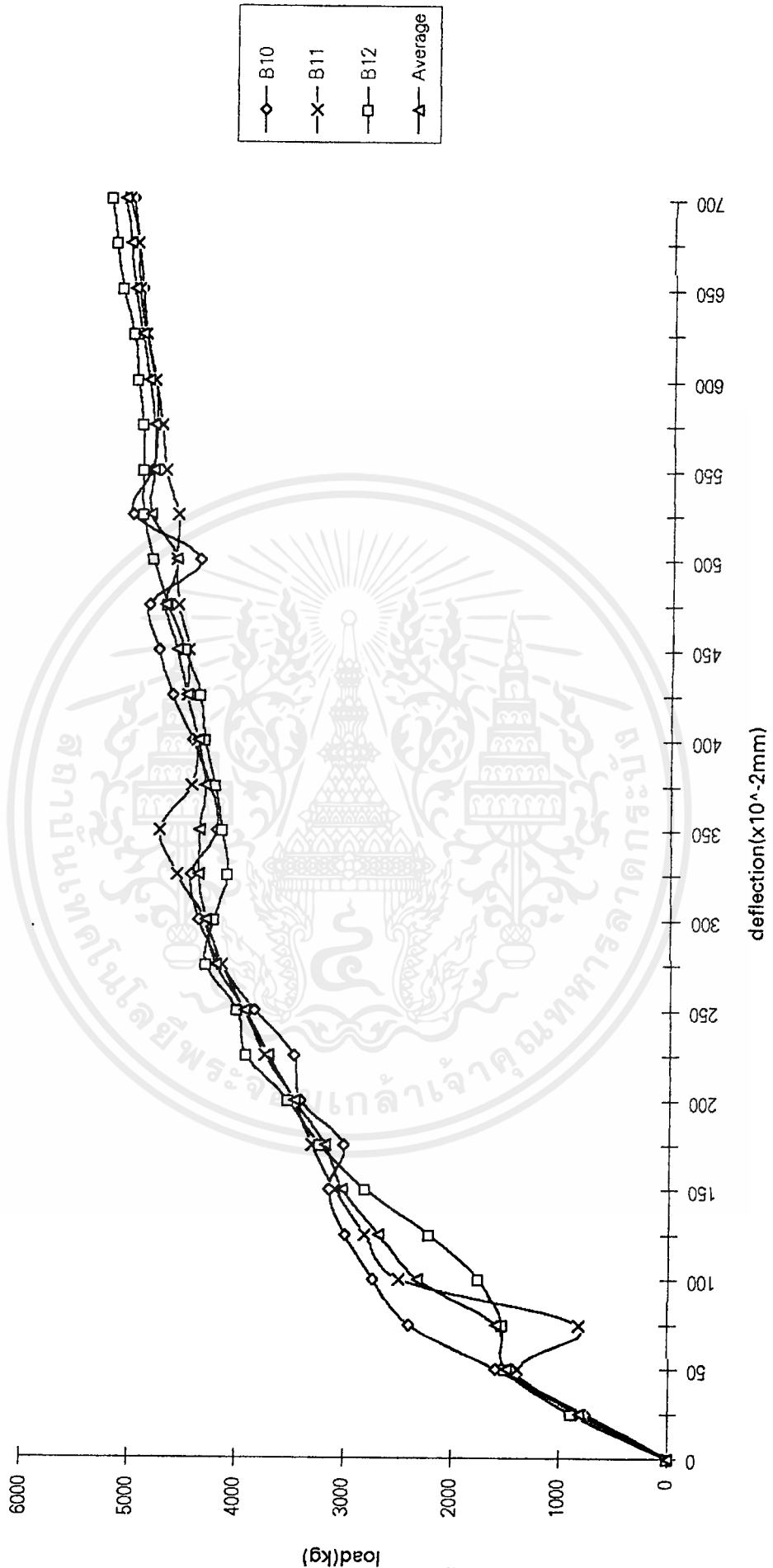
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 3 แสดง load และ deflection ของ Beam L24D



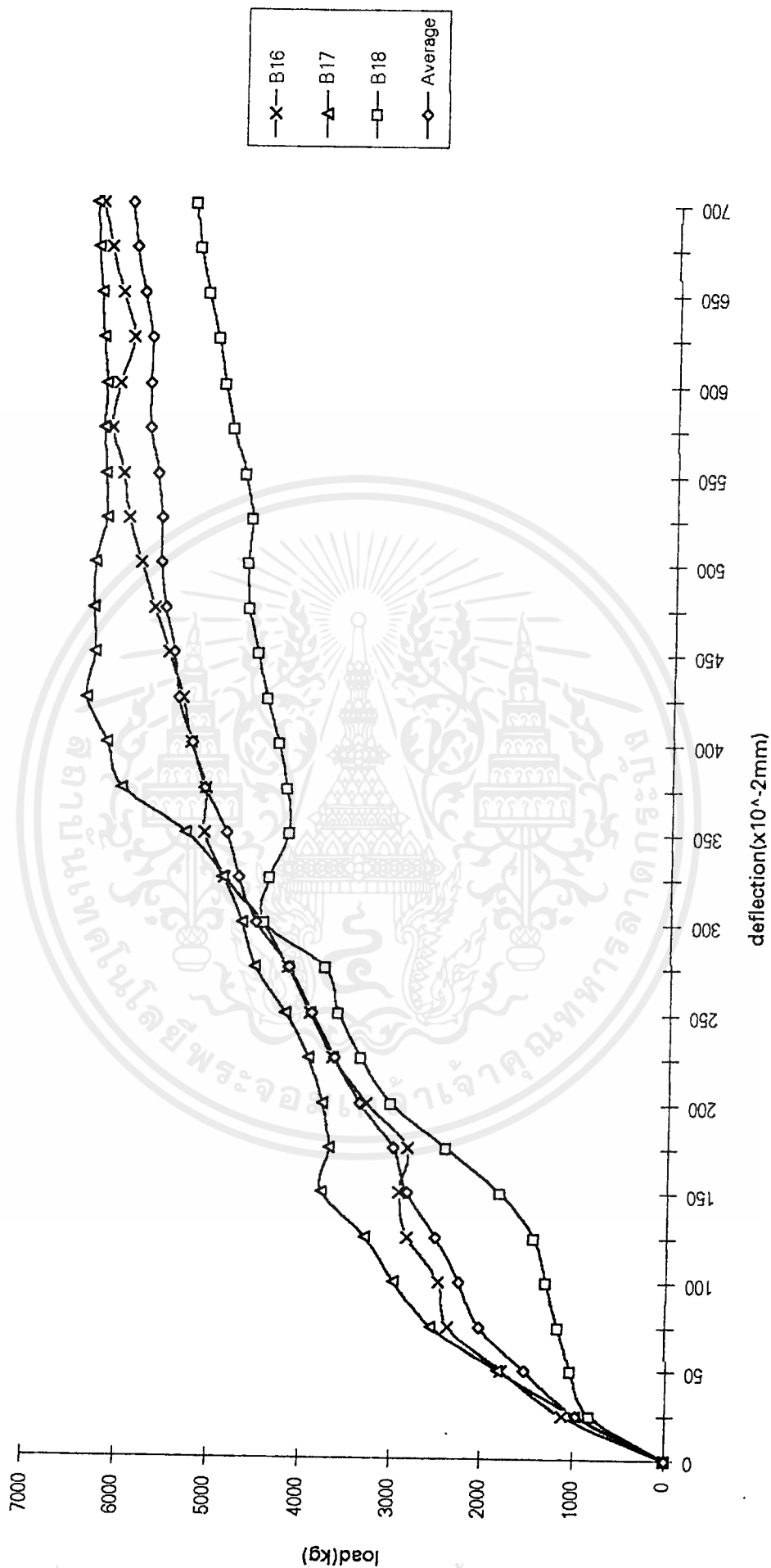
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 4 แสดง load และ deflection ของ Beam L24D.BS



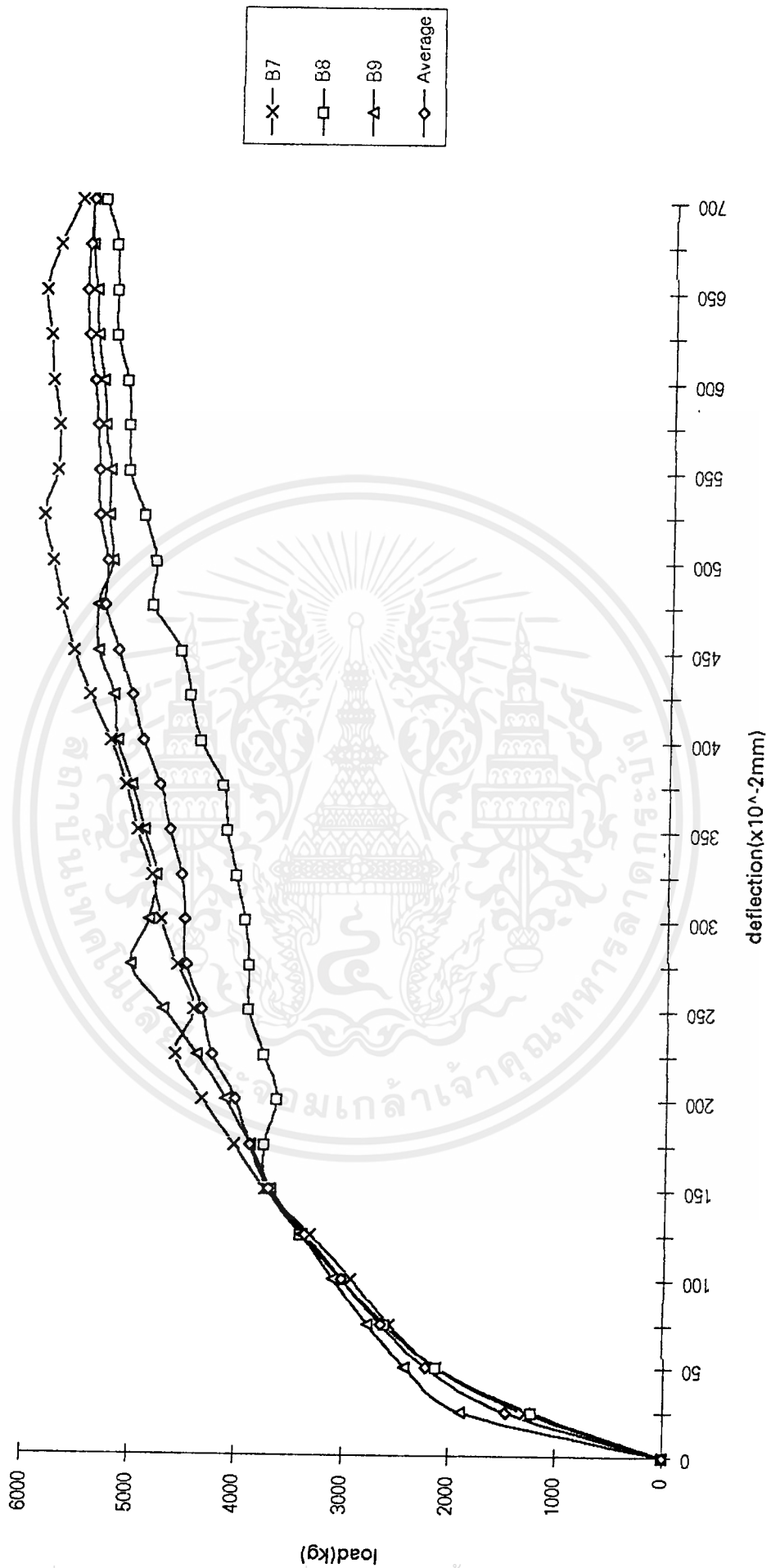
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 5 แสดง load และ deflection ของ Beam L30D



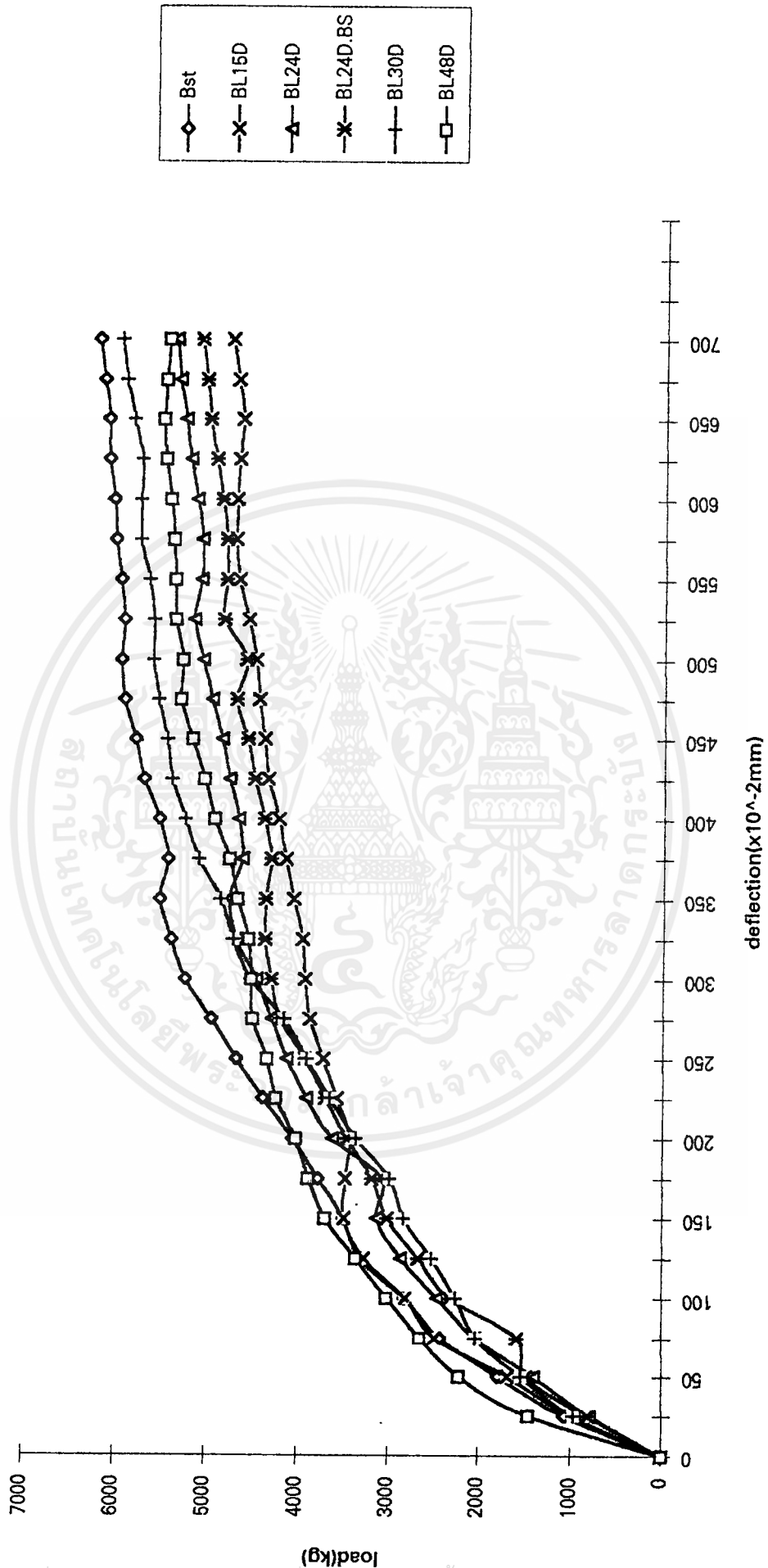
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 6 แสดง load และ deflection ของ Beam L48D



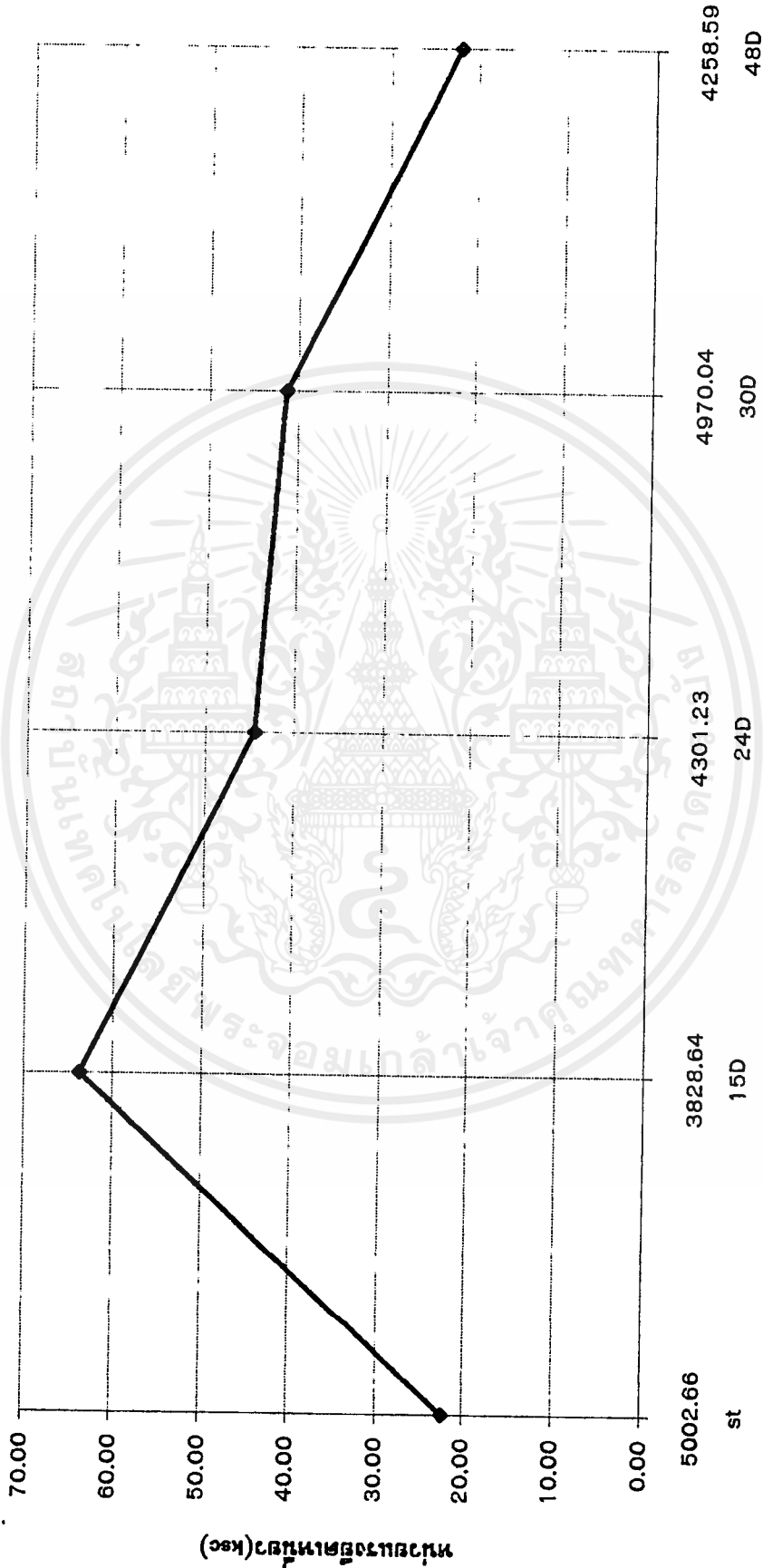
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 7 แสดง load และ deflection ของคานที่ระยะทาบต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

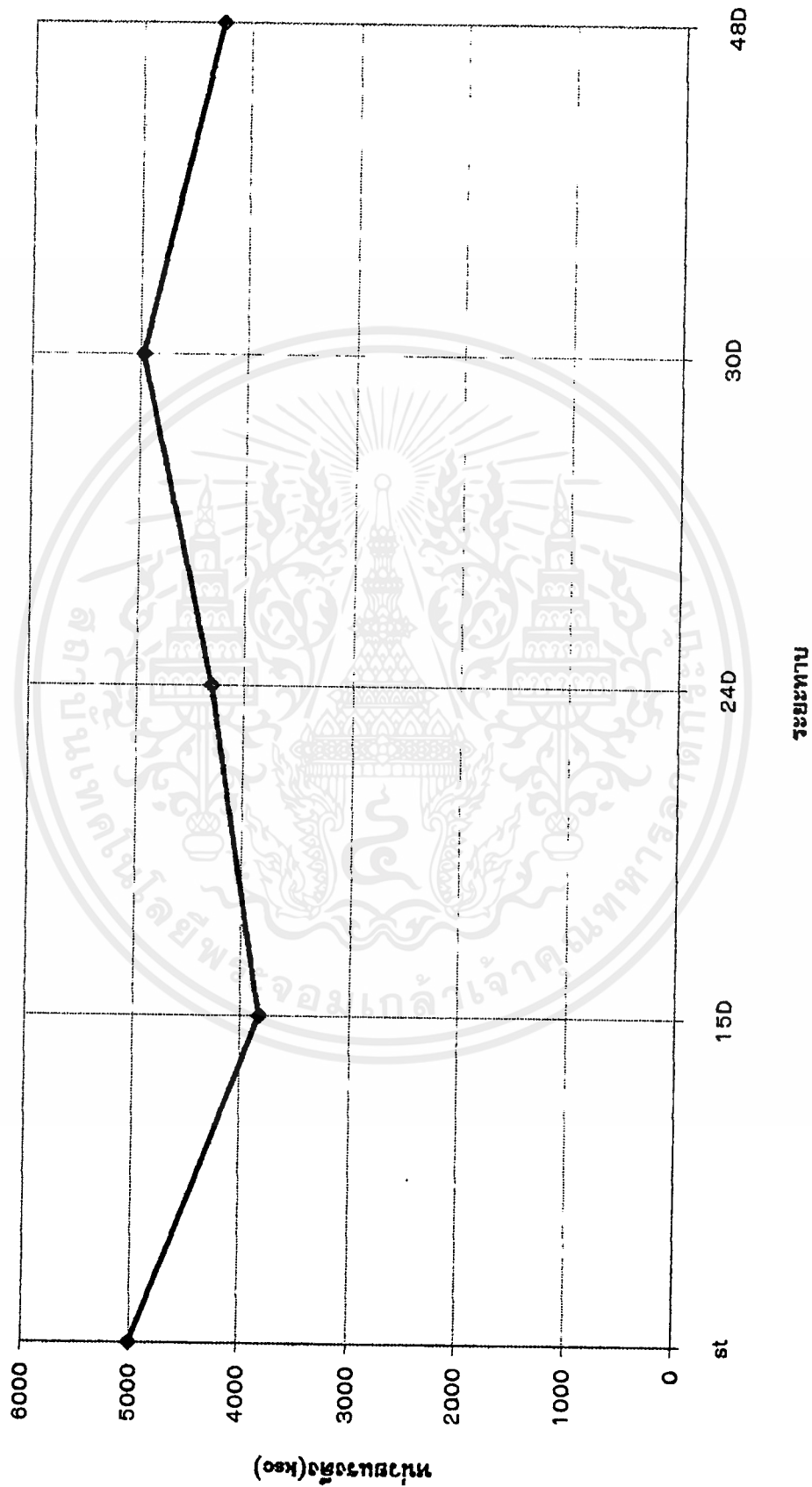
กราฟรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับหน่วยแรงยืดเหนียว



ระยะทางและหน่วยแรงดึงในเหล็ก

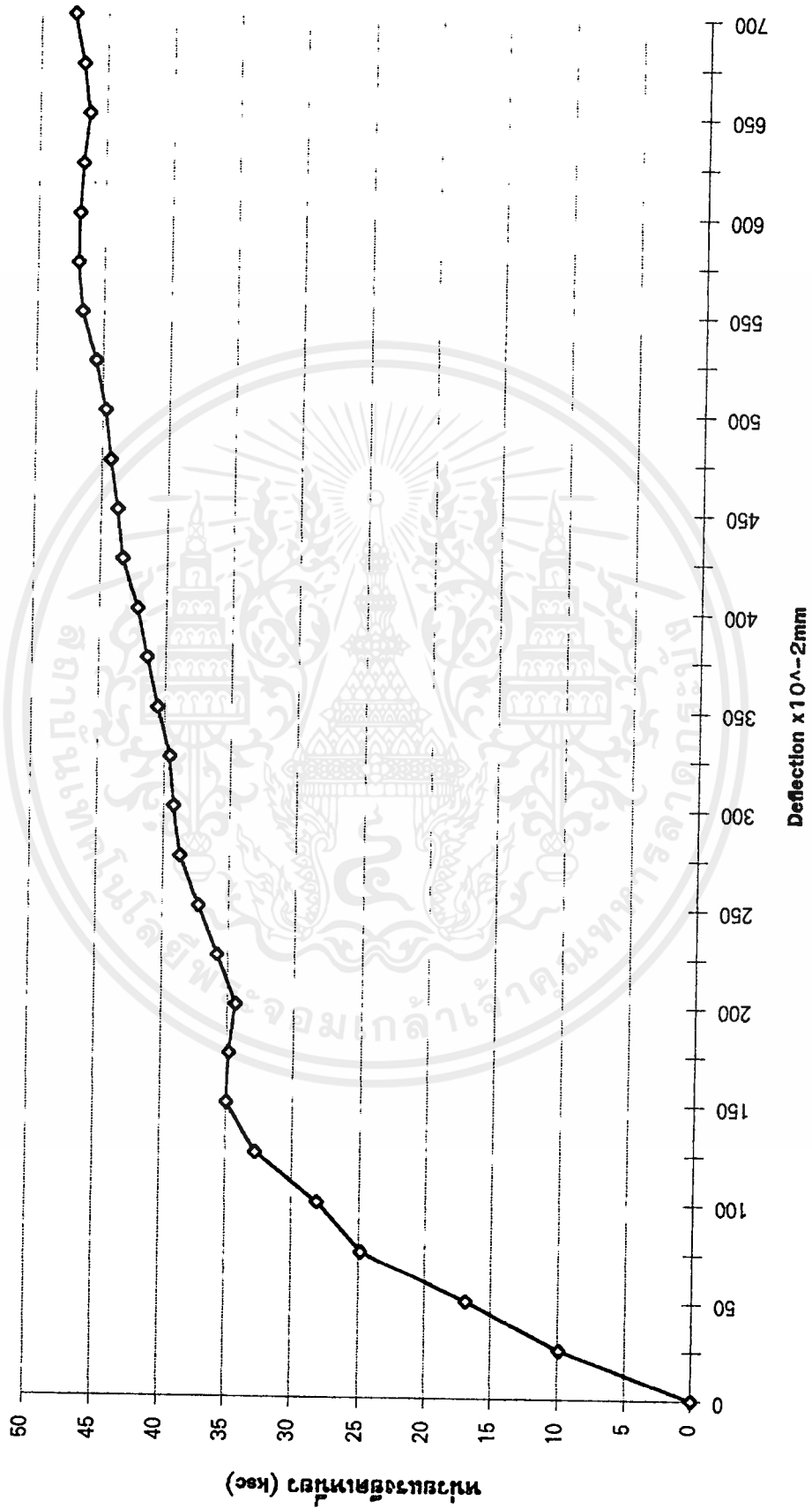
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ติดตั้งเครื่องในเหล็ก



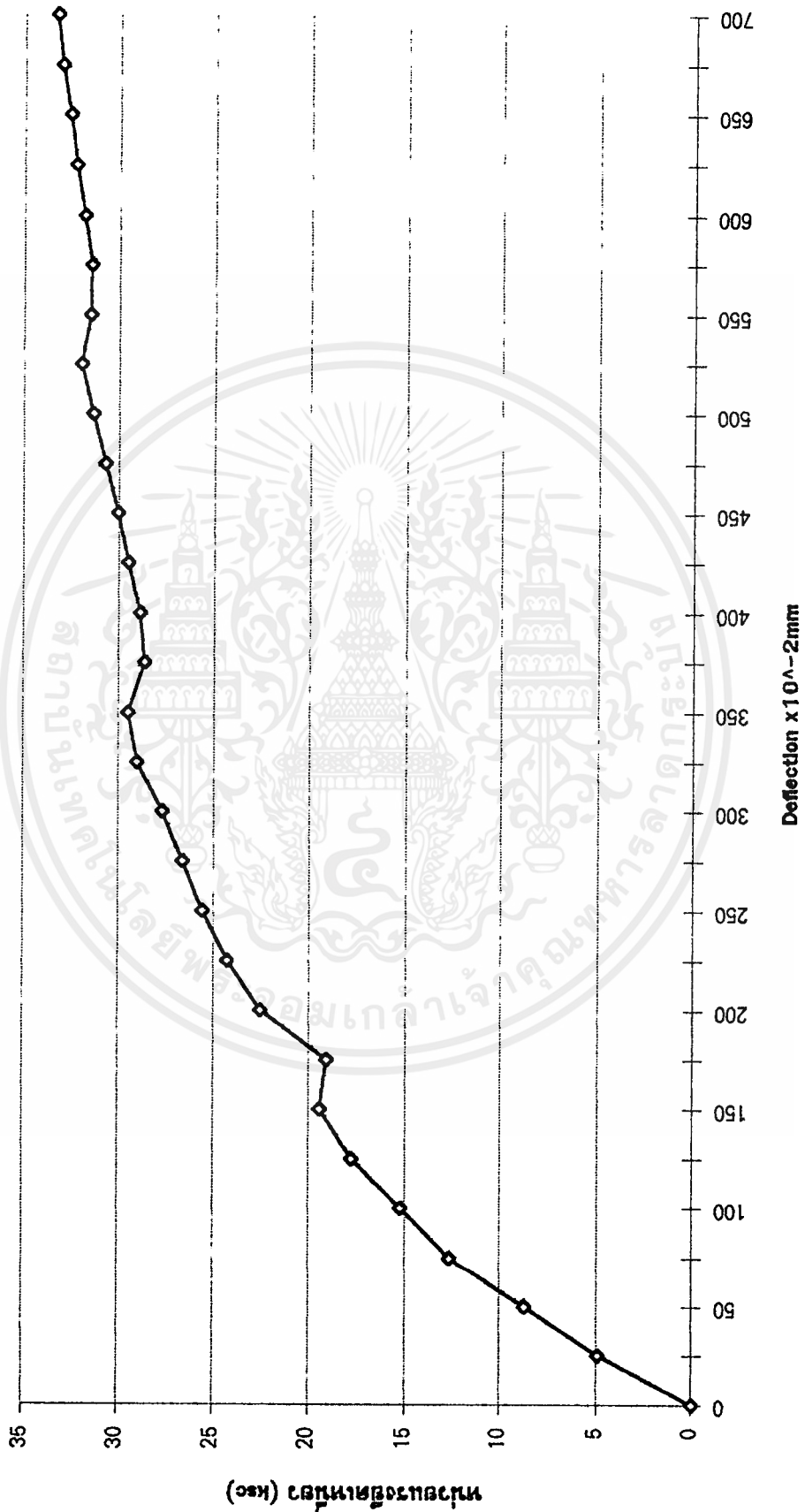
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงยืดเหนียวกับ deflection ระยะทาบ 15D



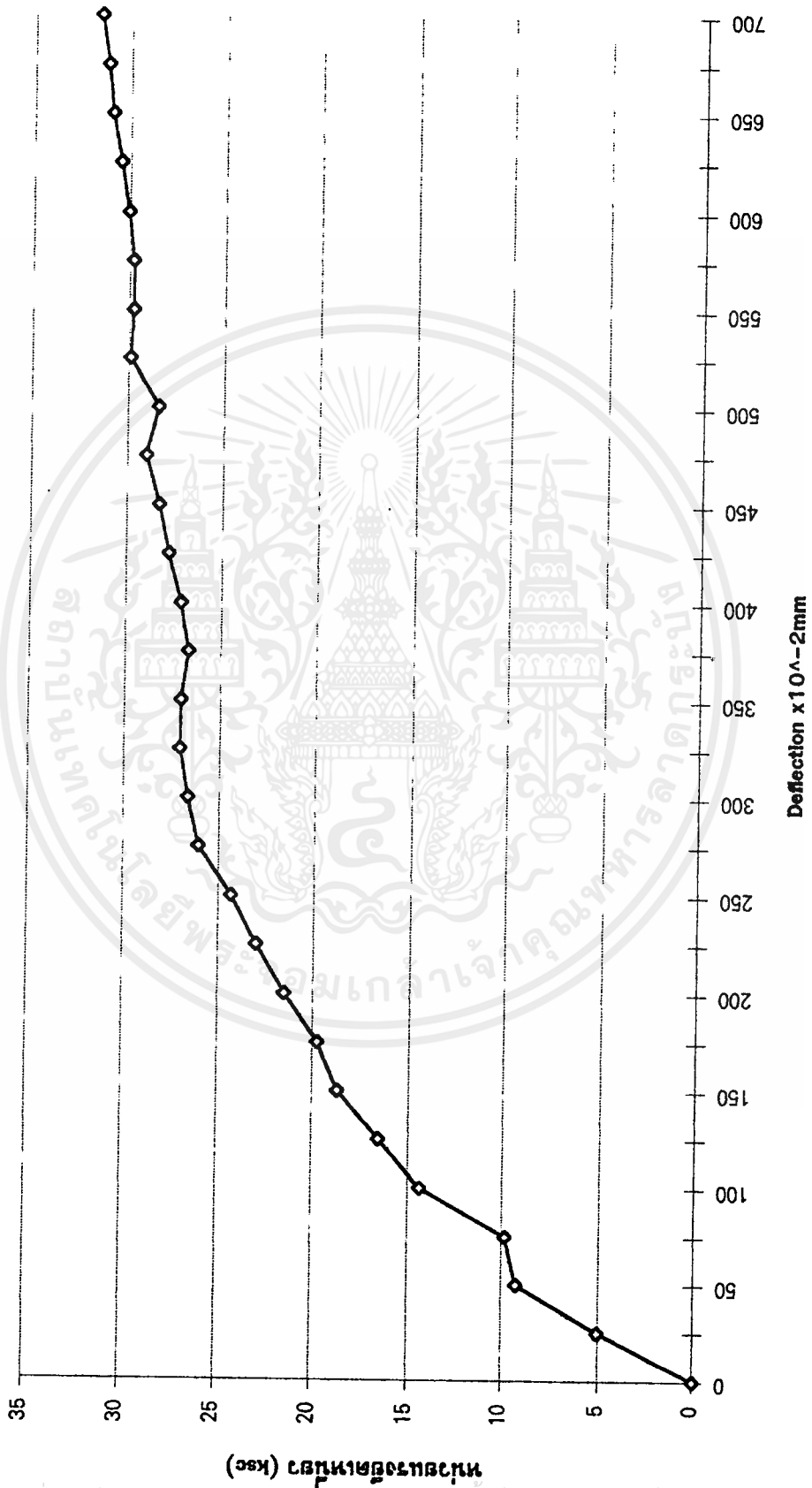
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงยืดเหนียวกับ deflection ระยะทาบ 24D



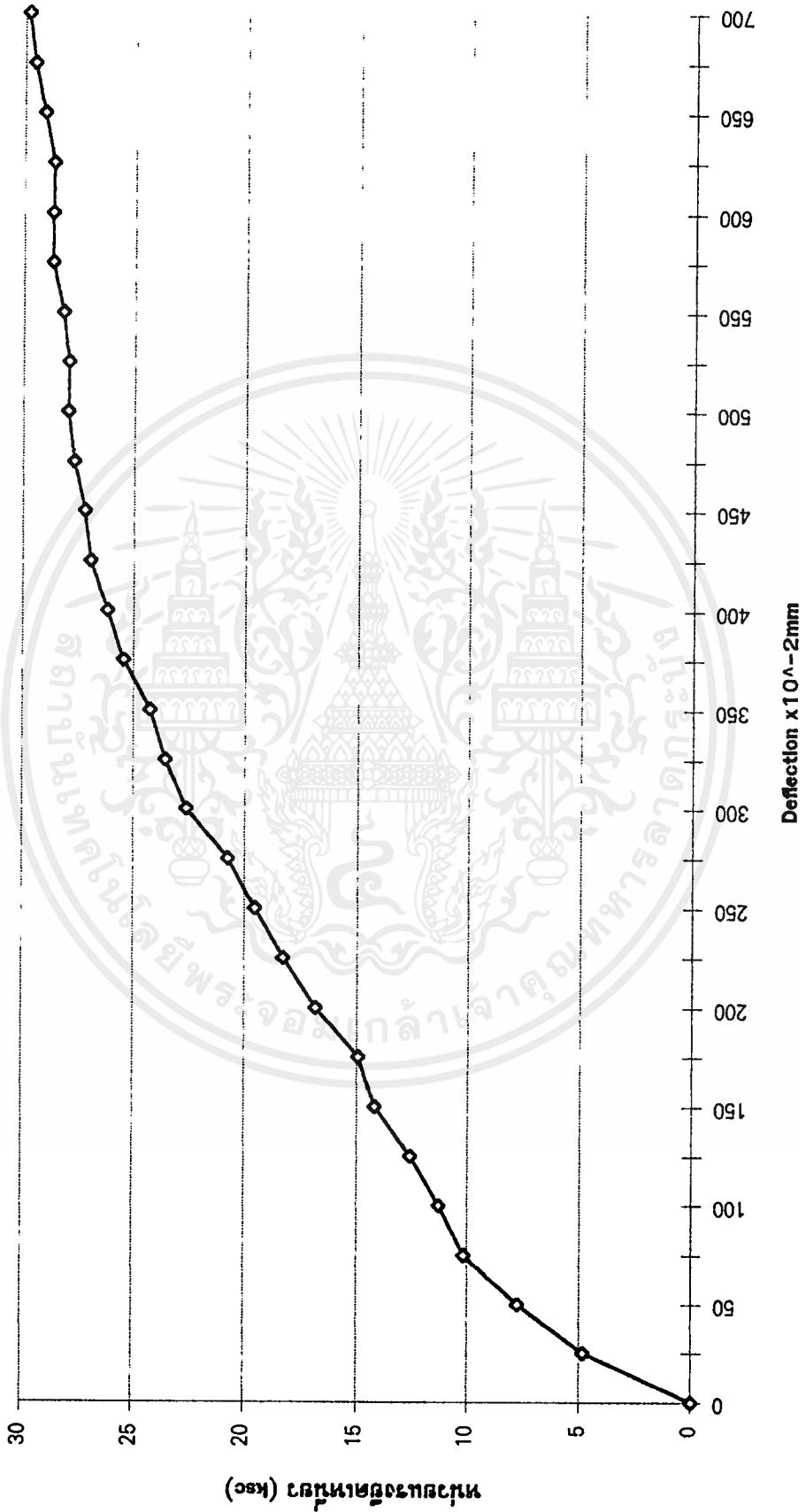
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงยืดเหนียวกับ deflection ระยะทาง 24D.BS



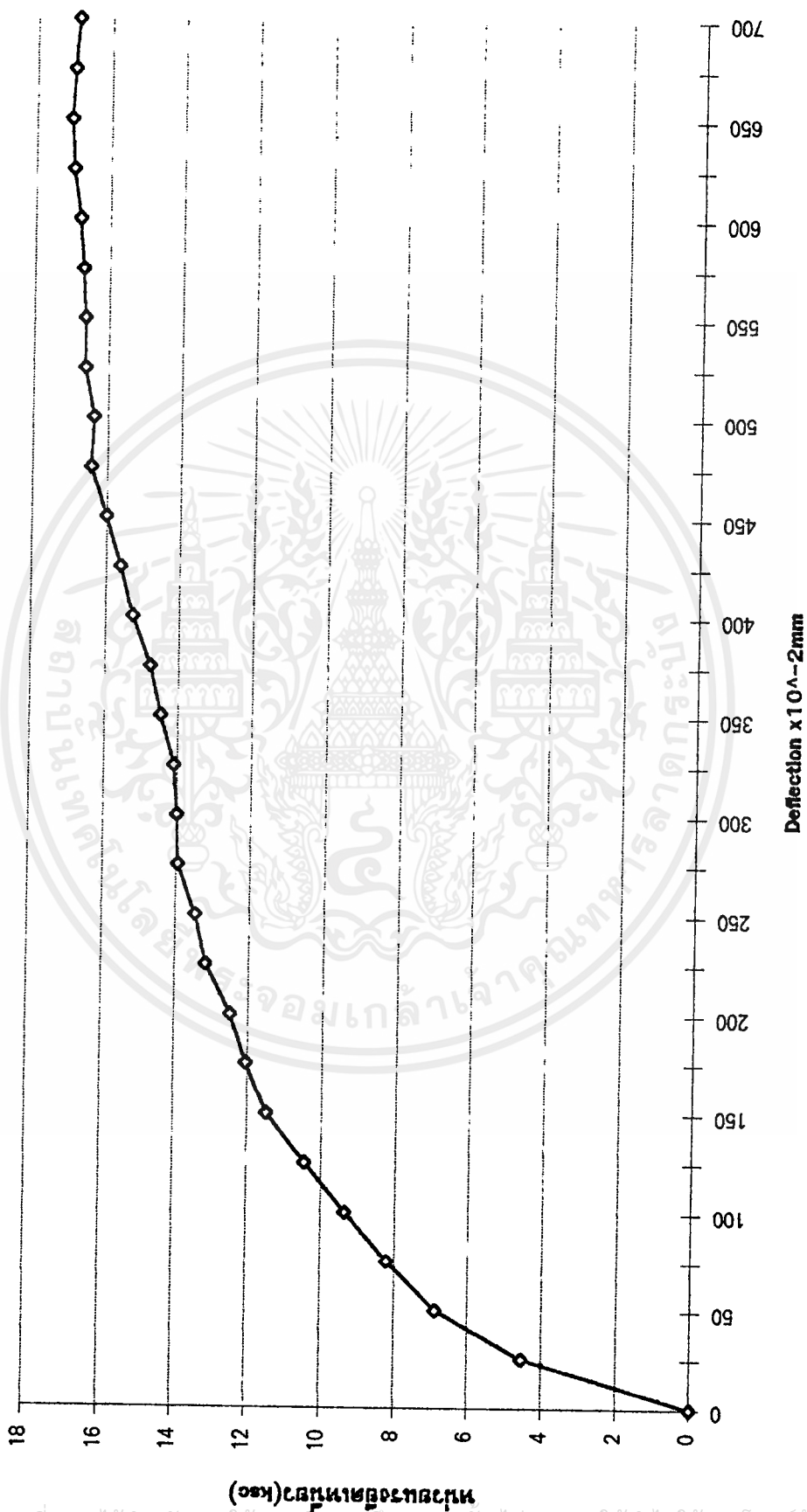
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงยืดเหนียวกับ deflection ระยะทาบ 30D



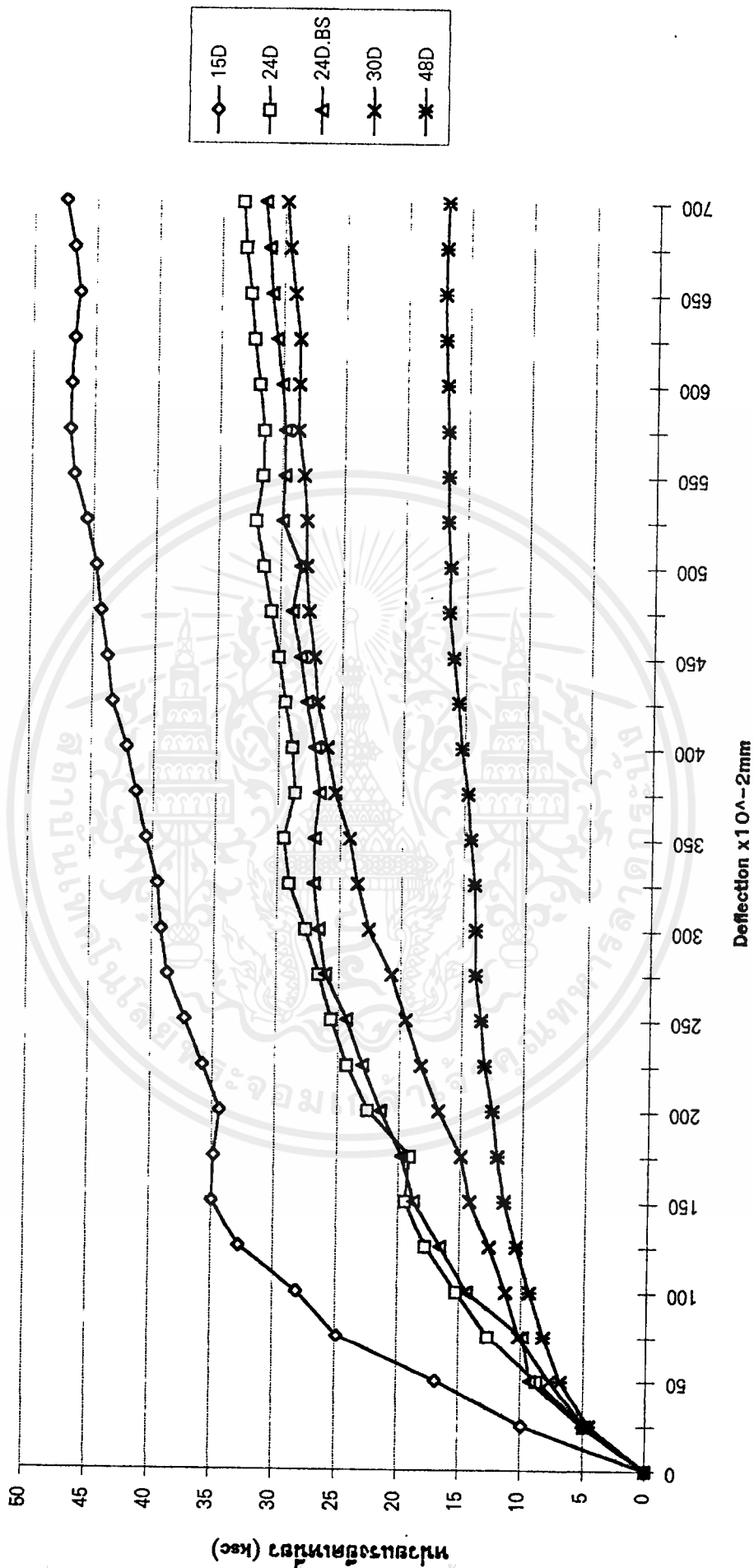
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงยืดเหนียวกับ deflection ระยะทาง 48D



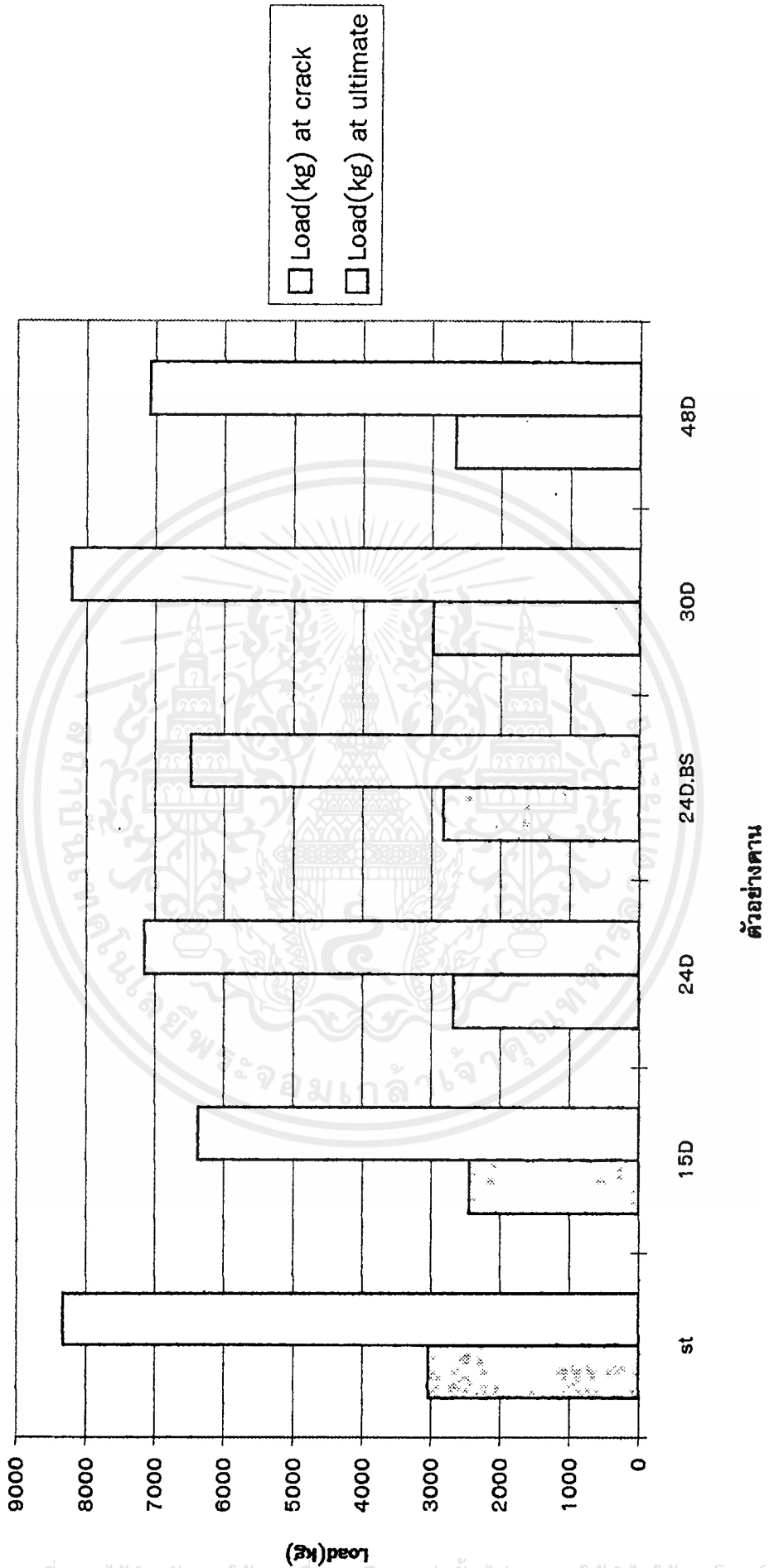
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงยืดเหนียวของวัสดุกับ deflection ระยะทางต่างกัน



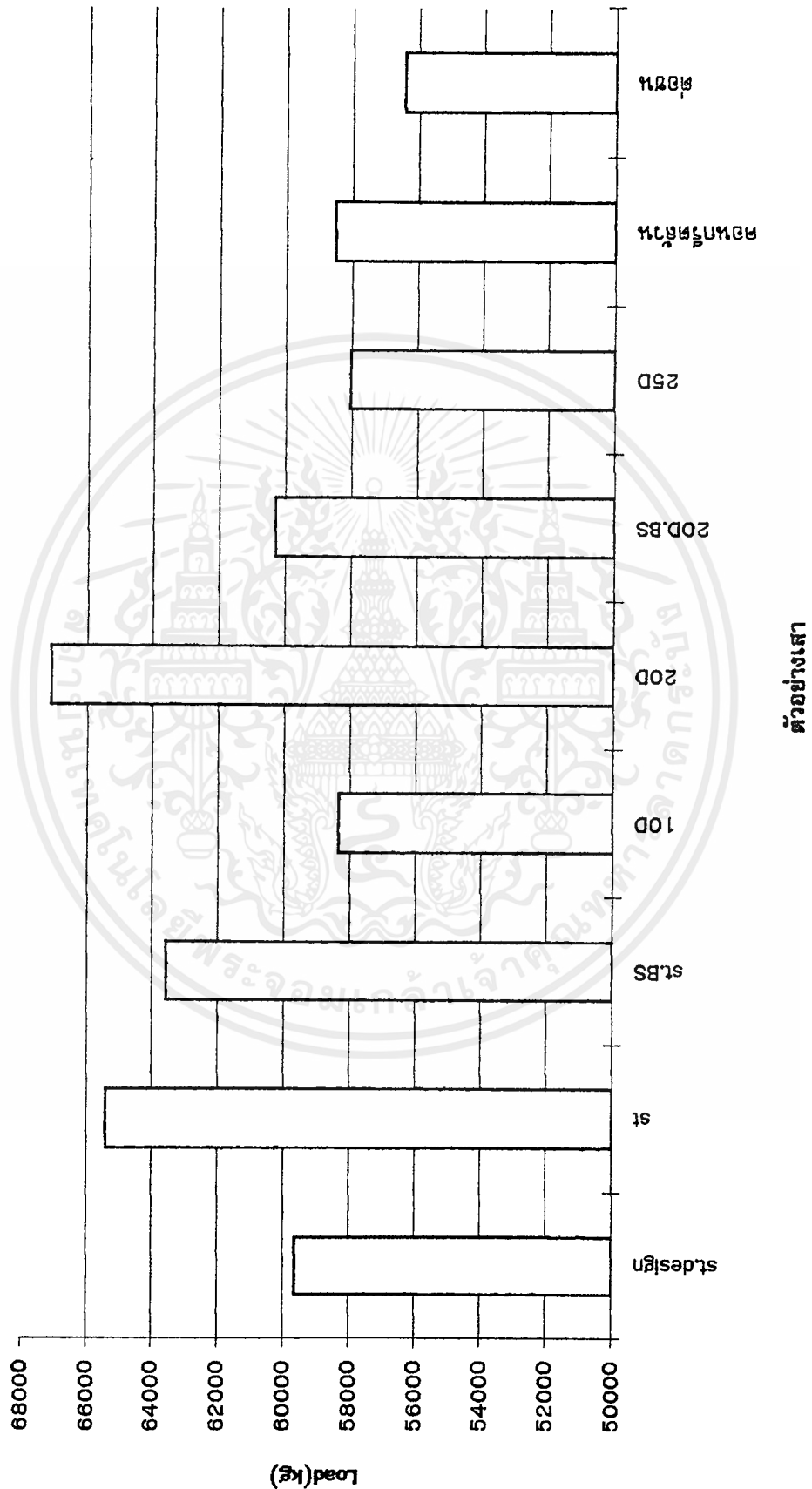
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ Load at crack และ Load at Ultimate



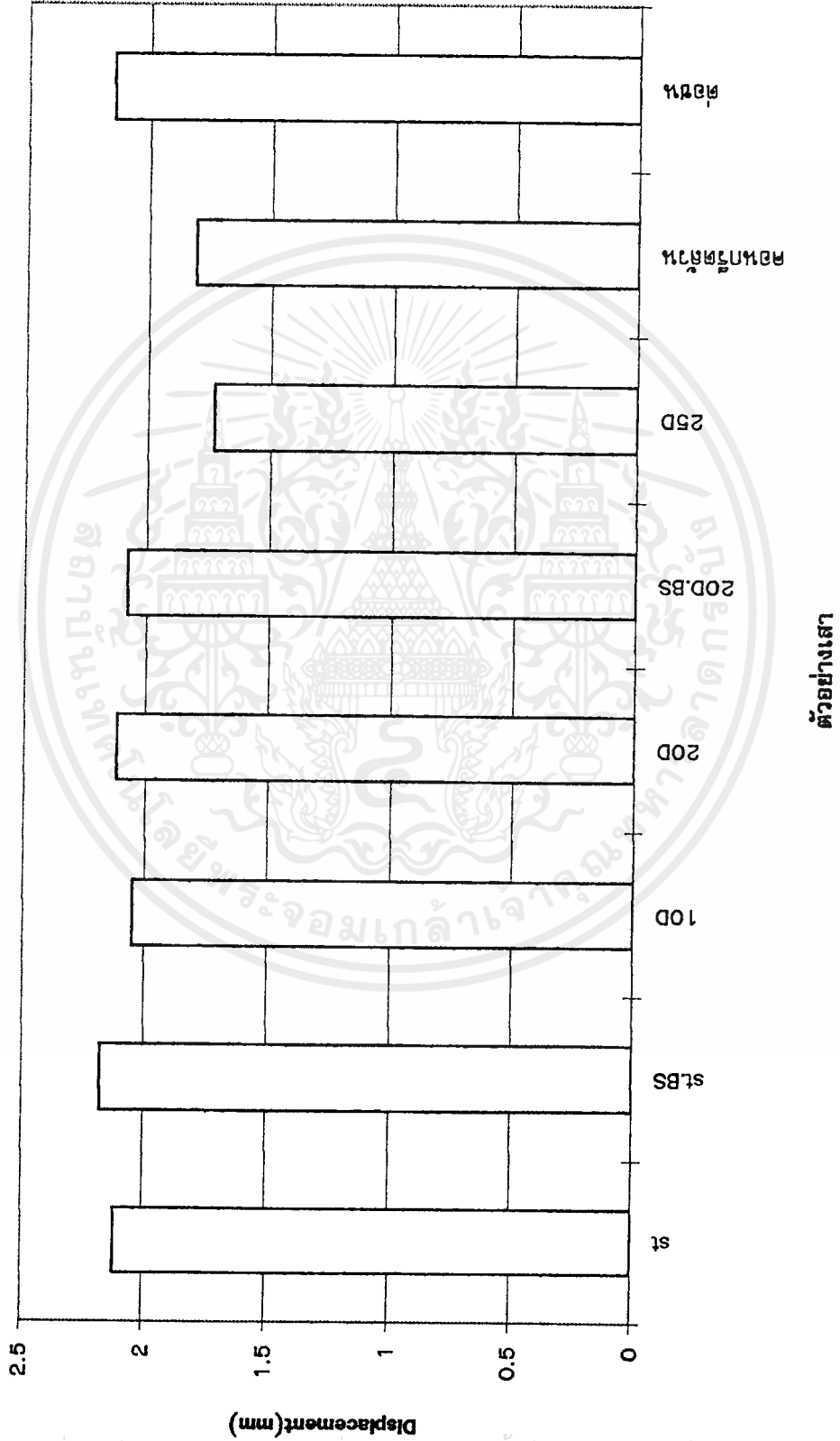
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 17 แสดงความสามารถรับ load ของเสา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 18 แสดงการทรุดตัวของเสาที่ ultimate



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการวิบัติและรอยแตกร้าวของคาน ณ Ultimate load

จากการสังเกตในขณะที่ทำการทดลองพบว่า คานทดสอบทั้ง 18 คาน มีแนวโน้มในการเกิดการวิบัติอันเนื่องมาจาก Bending Moment ซึ่งคานทดสอบทุกตัว จะเริ่มปรากฏรอยร้าวให้สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า เมื่อน้ำหนักบรรทุกแก่คานที่ทดสอบไปประมาณ 2-3 ตัน โดยรอยร้าวส่วนใหญ่จะเกิดอยู่ในช่วง Middle Third Span ซึ่งเป็นช่วงที่คานตัวอย่างได้รับ โมเมนต์คองที่ โดยจากการสังเกตการเกิดรอยร้าวอันเนื่องมาจาก Shear จะพบเห็นน้อยมากและขนาดเล็กมาก ซึ่งจะพบได้บริเวณ Shear span ณ น้ำหนักบรรทุกที่ใกล้จะถึงน้ำหนักบรรทุกที่ Ultimate load

สำหรับคานตัวอย่างแบบมาตรฐาน การเกิดรอยร้าวจะเกิดกระจายอย่างสม่ำเสมอบริเวณตรงกลางคานระหว่าง Point Load ที่กระทำ โดยรอยร้าวจะค่อยๆเกิดขึ้นบริเวณผิวล่างของคอนกรีตที่รับแรงดึง เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น รอยร้าวก็จะเริ่มขยายตัวกว้างขึ้นและวิ่งขึ้นสู่ผิวบนของคานตัวอย่าง จนกระทั่งคานวิบัติในที่สุด

ส่วนคานตัวอย่างแบบที่ทำการต่อทาบระยะต่างๆ การเกิดรอยร้าวจะเกิดบริเวณปลายของเหล็กที่ทำการต่อทาบ และบริเวณจุดเปลี่ยนโมเมนต์หรือบริเวณที่ Point Load กระทำ ส่วนบริเวณกลางคานที่ต่อทาบซึ่งมีปริมาณเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมเป็น 2 เท่าของส่วนอื่น รอยร้าวที่เกิดขึ้นจะเป็นรอยร้าวขนาดเล็กๆและสั้นๆ โดยรอยร้าวจะค่อยๆเกิดขึ้นบริเวณผิวล่างของคอนกรีตที่รับแรงดึง เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น รอยร้าวก็จะเริ่มขยายตัวกว้างขึ้นและวิ่งขึ้นสู่ผิวบนของคานตัวอย่าง จนกระทั่งคานวิบัติในที่สุด

ซึ่งภาพแสดงลักษณะการวิบัติและรอยแตกร้าวของคาน ณ Ultimate load ของคานมาตรฐานและคานที่ทำการต่อทาบเหล็กเสริมที่ระยะทาบต่างๆ ทั้ง 18 คาน ได้แสดงไว้ในหน้าถัดไปแล้ว

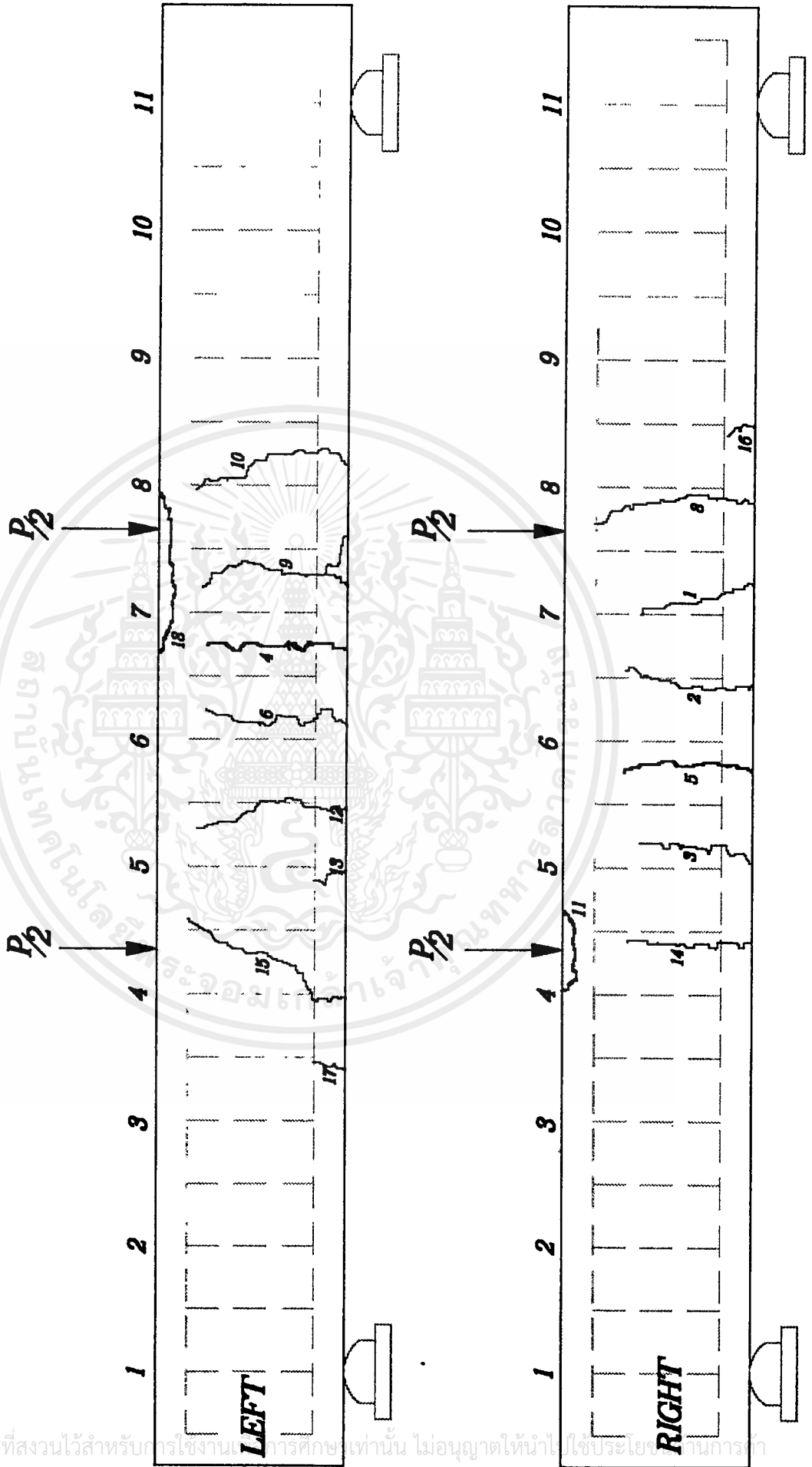
หมายเหตุ ภาพแสดงลักษณะการวิบัติและรอยแตกร้าวของคาน ณ Ultimate load

ตัวเลขที่เป็นสัญลักษณ์มีความหมายดังนี้

1. ตัวเลขสีน้ำเงินที่อยู่ด้านบนของคาน แสดง -การแบ่งช่วงการสังเกตรอยร้าวของคาน
2. ตัวเลขสีแดงที่อยู่กับรอยร้าว แสดง -ลำดับในการรอยร้าวของคาน

ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

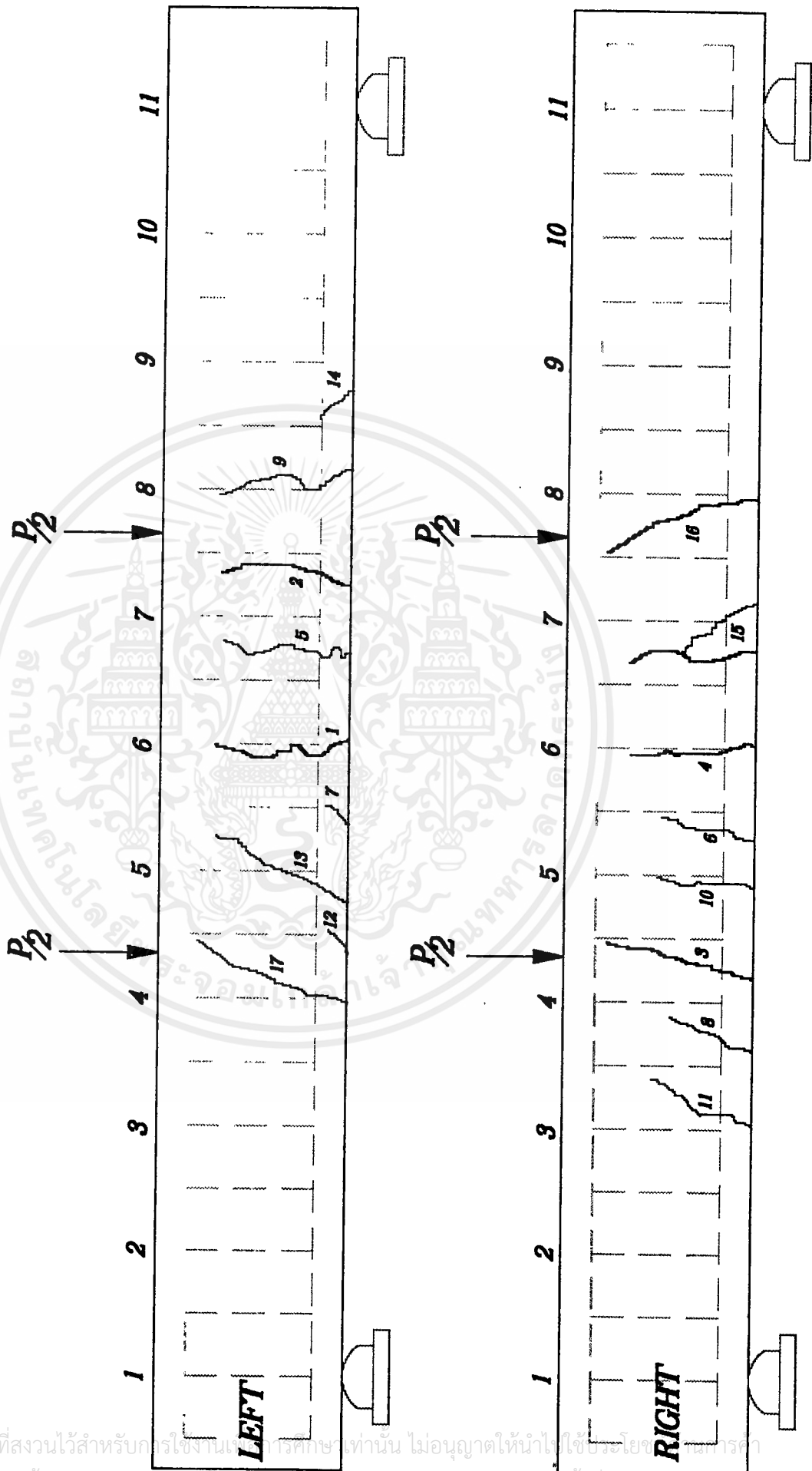
BI-STANDARD



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

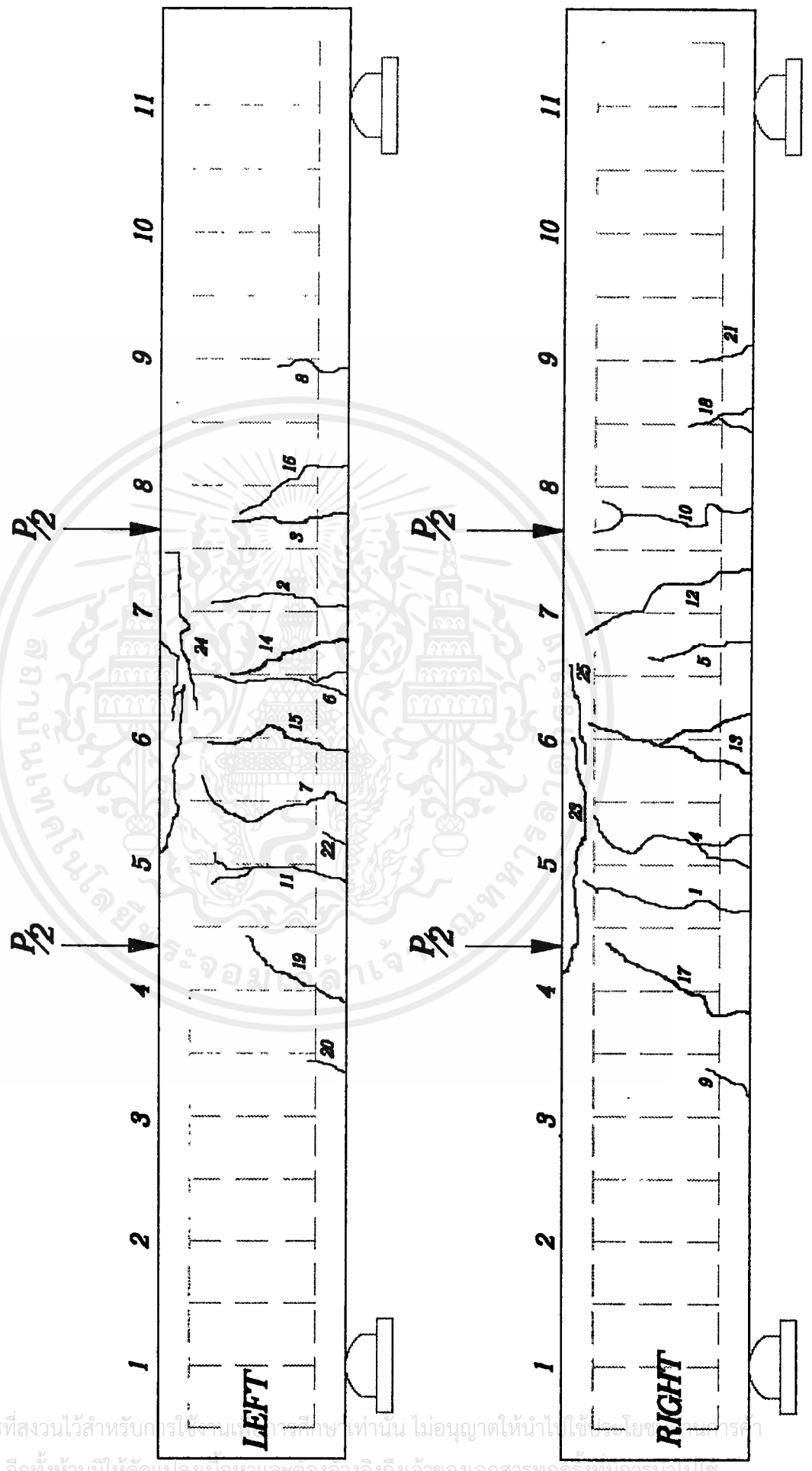
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

B2-STANDARD



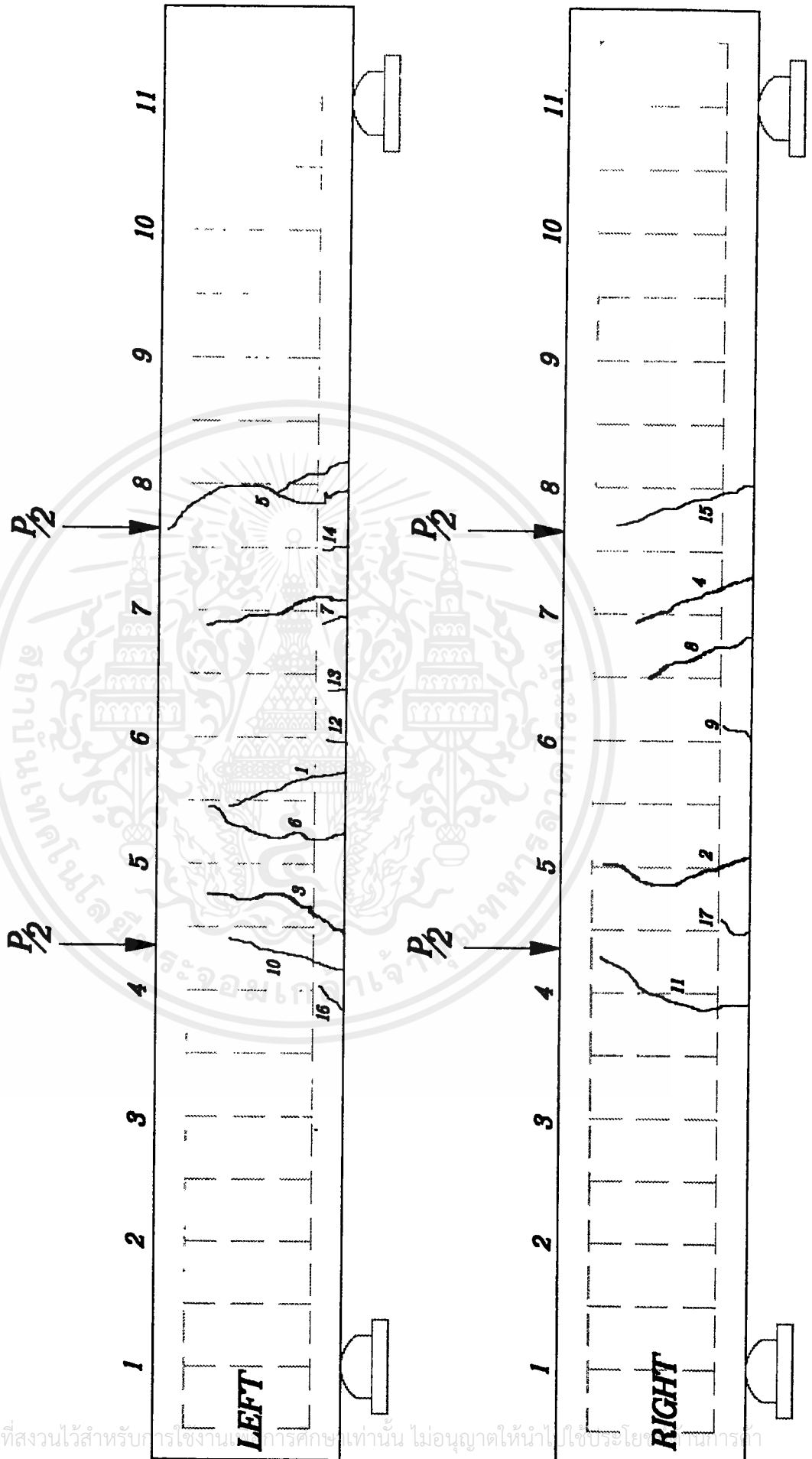
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

B3-STANDARD



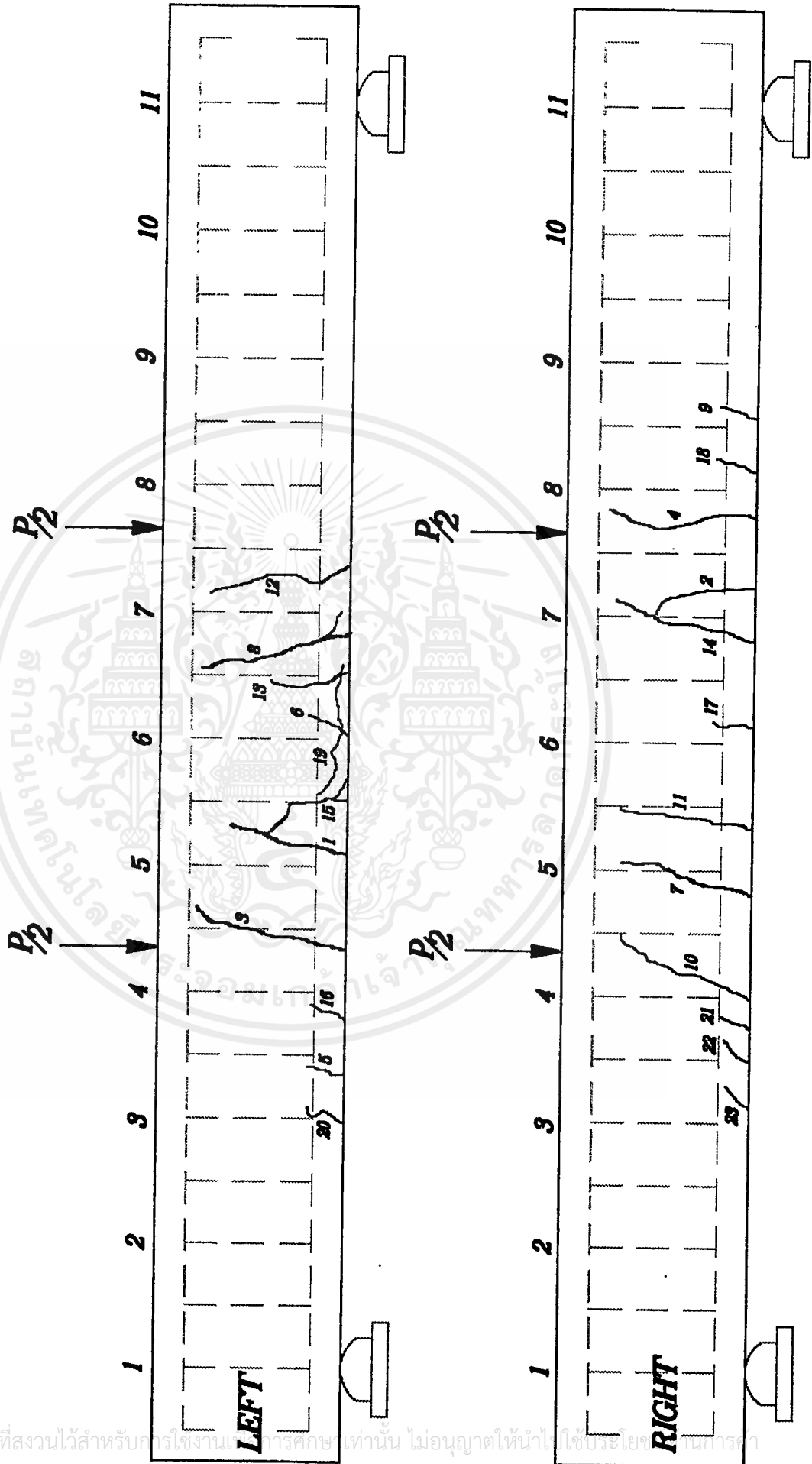
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ใน ULTIMATE LOAD

B4-L(24D)



ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

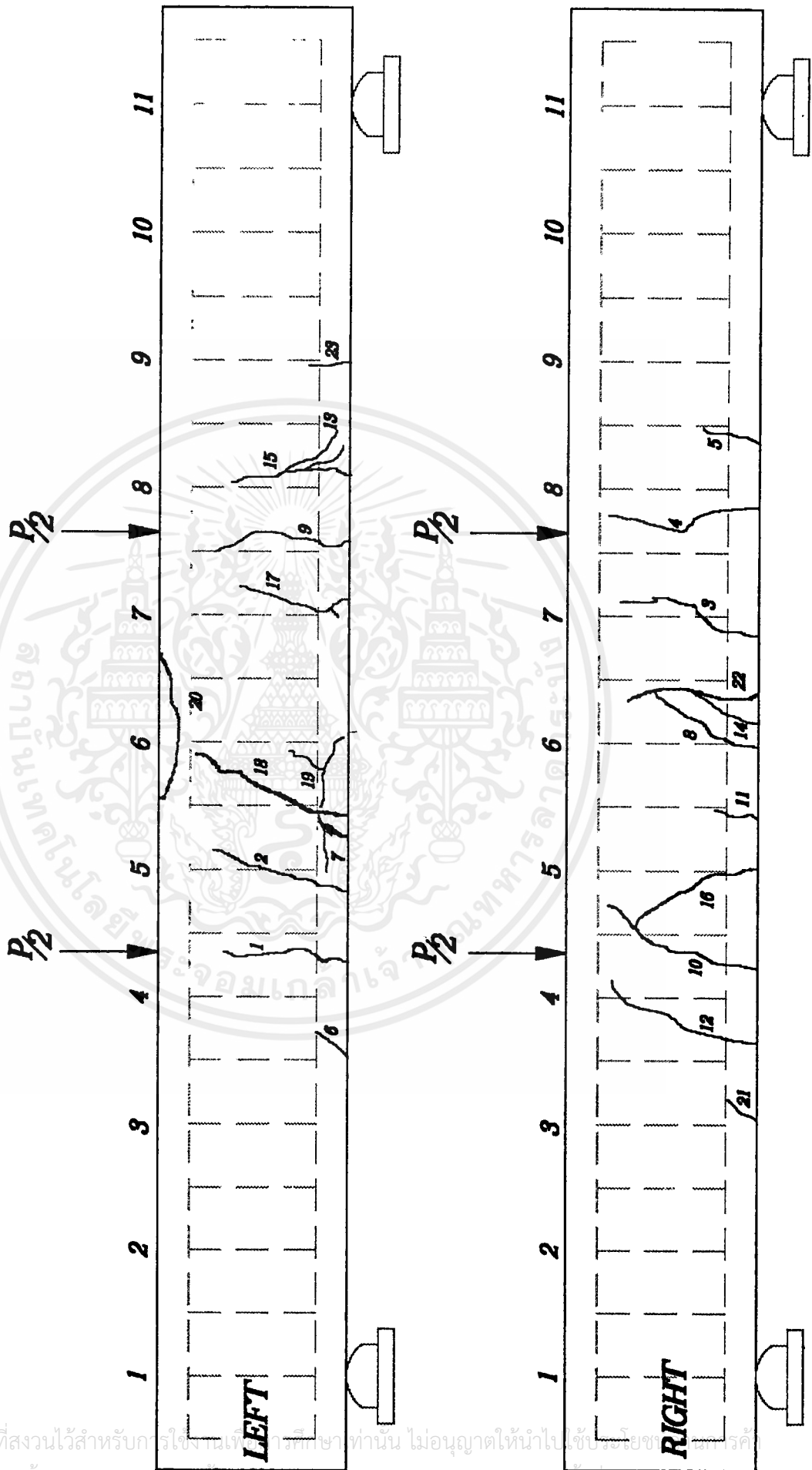
B5-L(24D)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่การณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

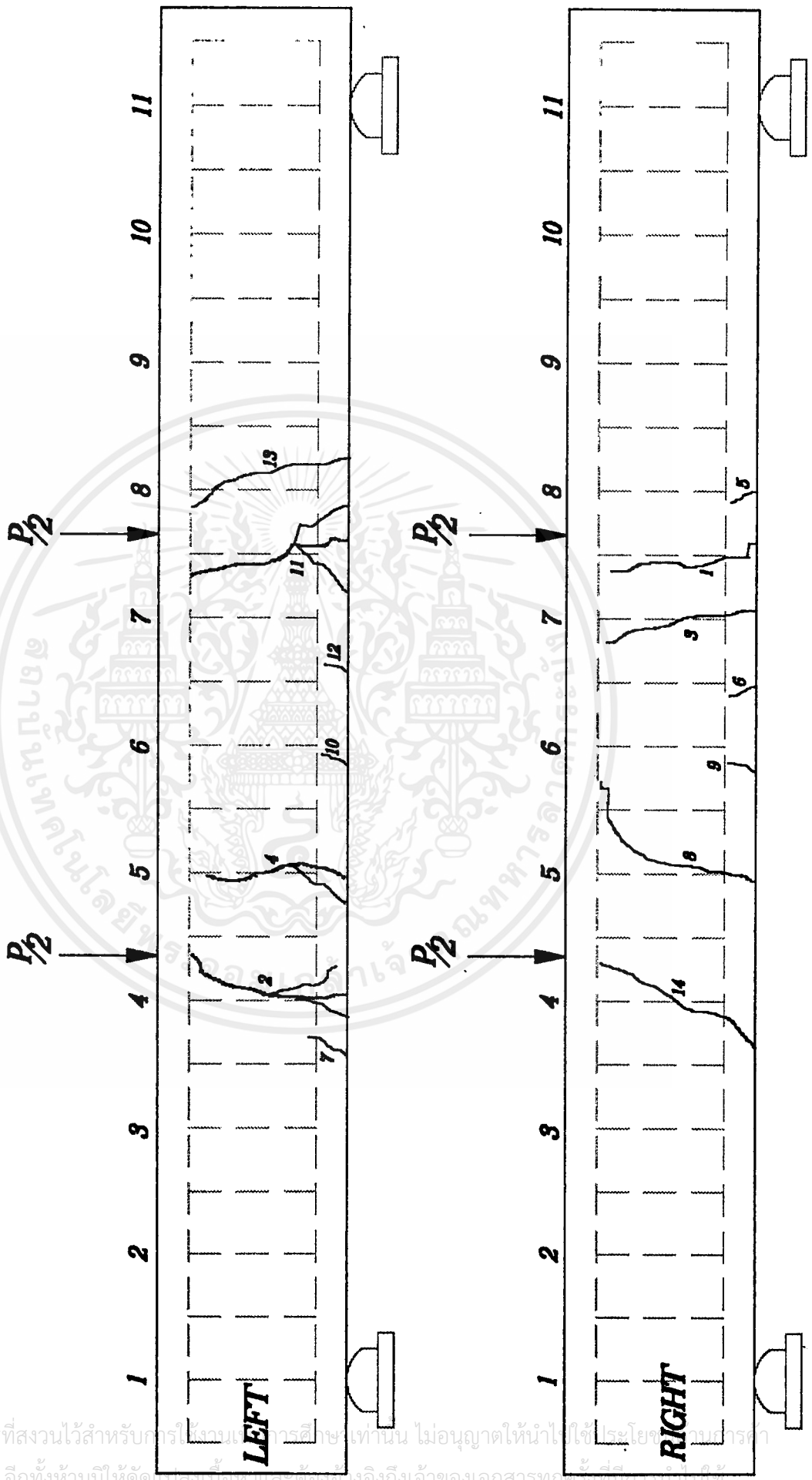
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ใน ULTIMATE LOAD

B6-L(24D)



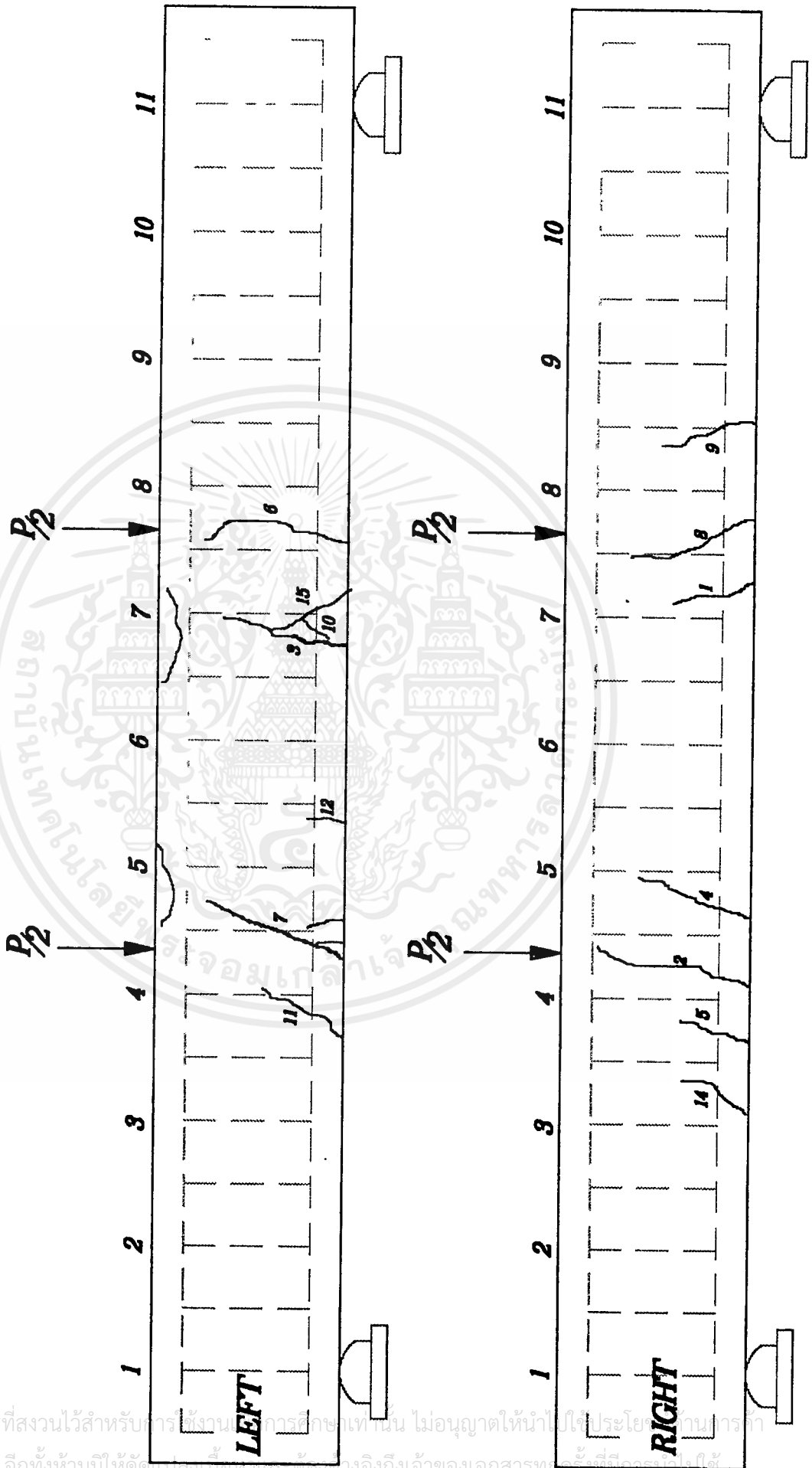
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ **ULTIMATE LOAD**

B7-L(48D)



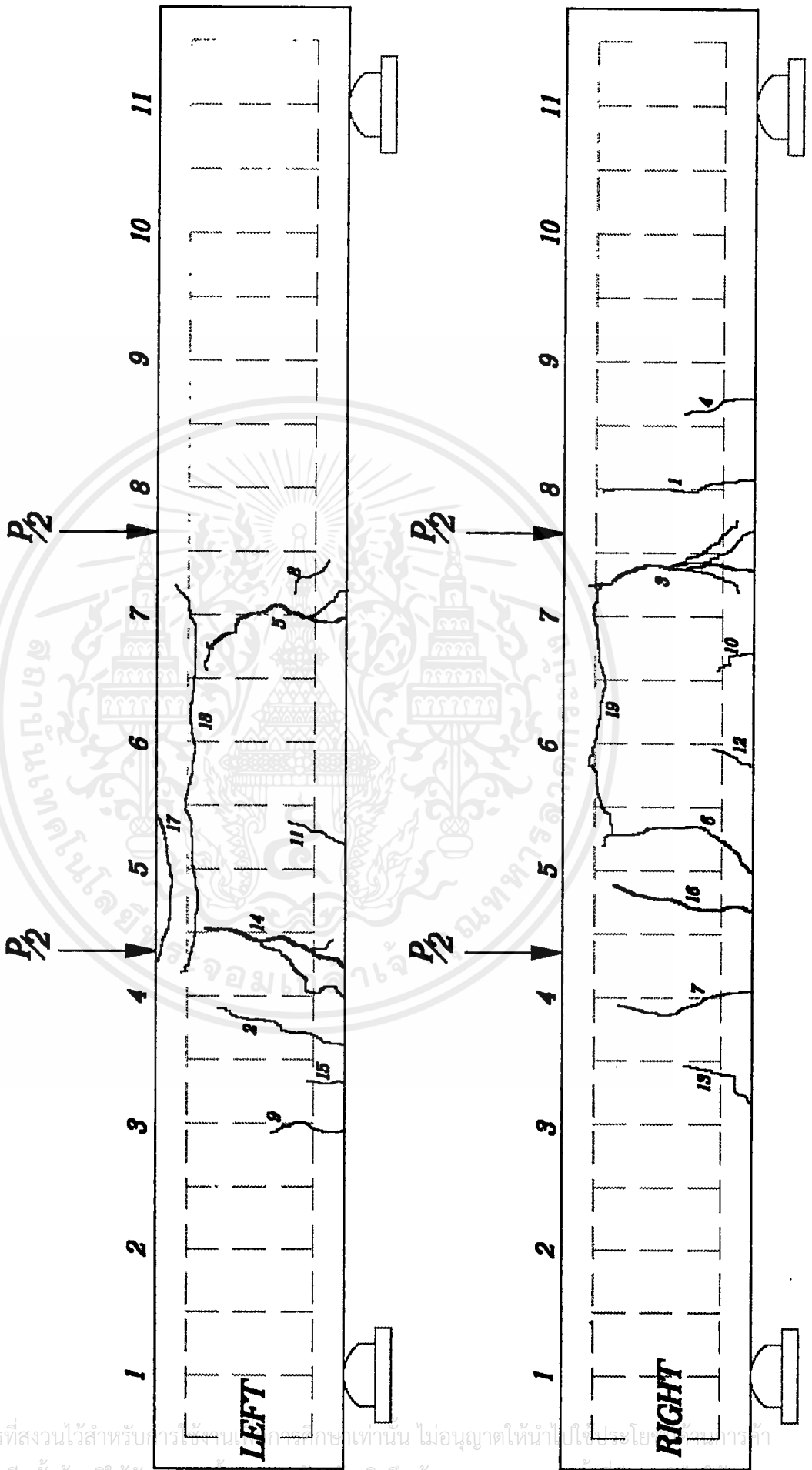
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกคร่าวๆของคาน ณ ULTIMATE LOAD

B8-L(48D)



ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

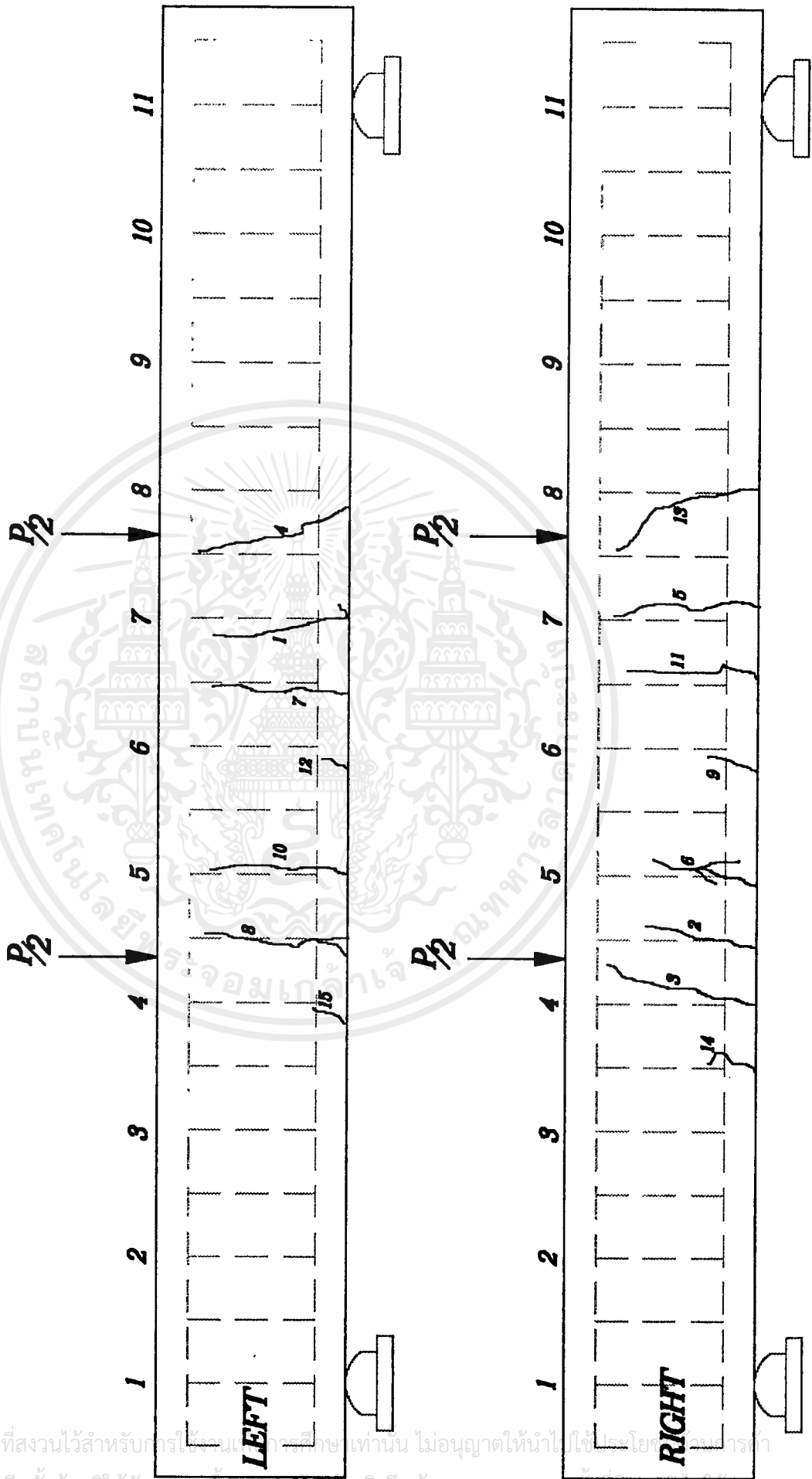
B9-L(48D)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบ

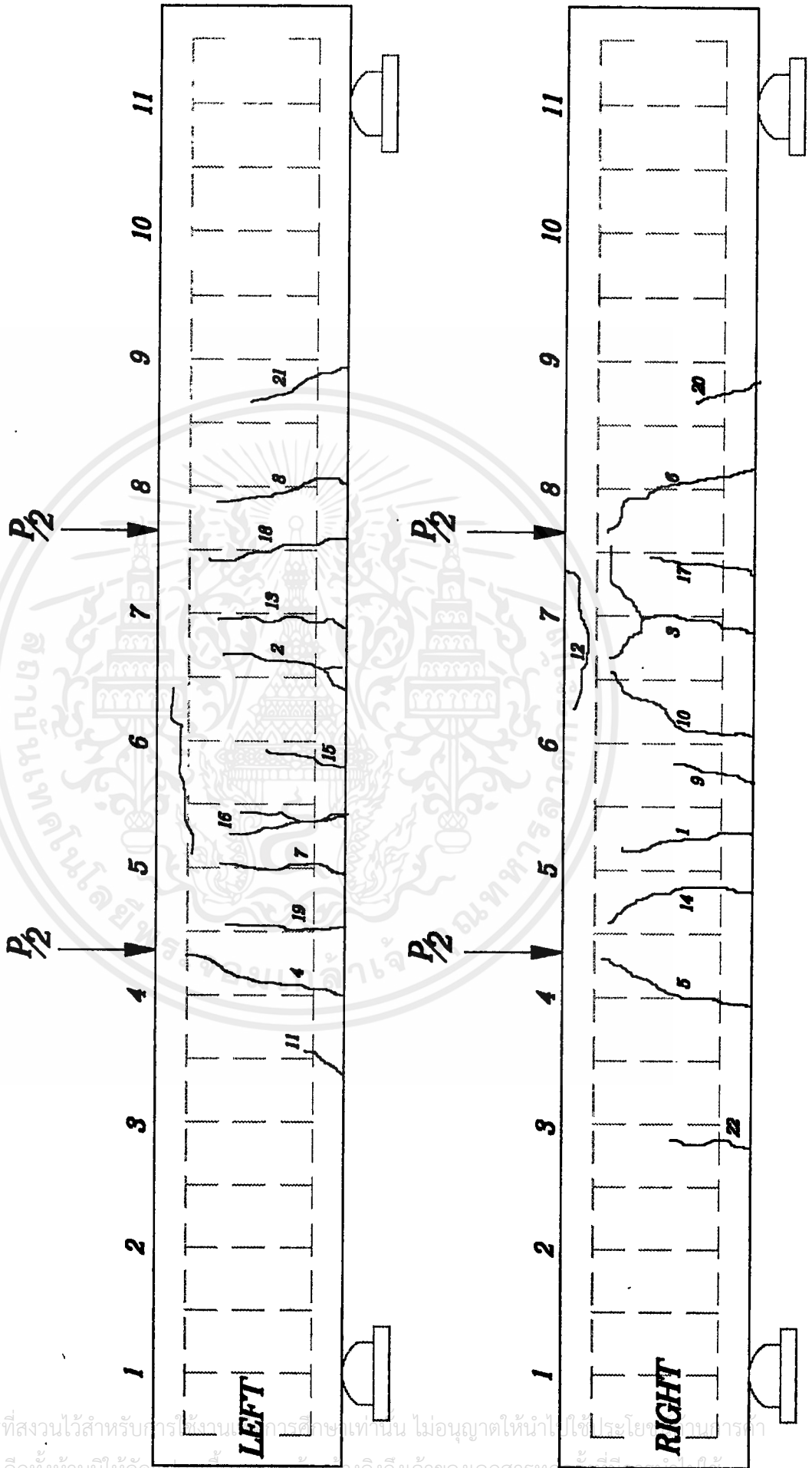
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

B10-L(24D BS)



ลักษณะการวิบัติและรอยแตกการร้าวของคาน ณ ULTIMATE LOAD

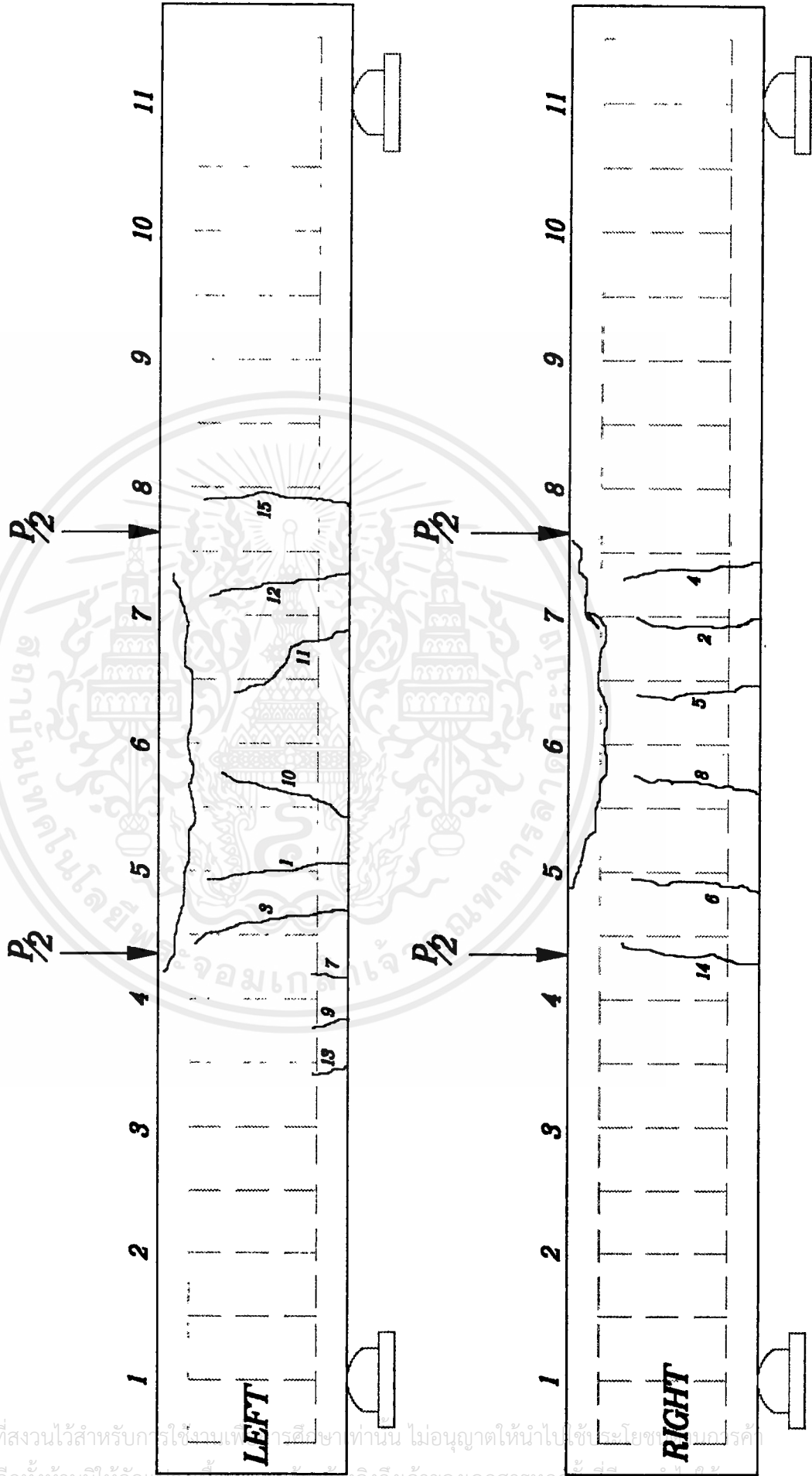
B11-L(24D BS)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่าการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบนี้

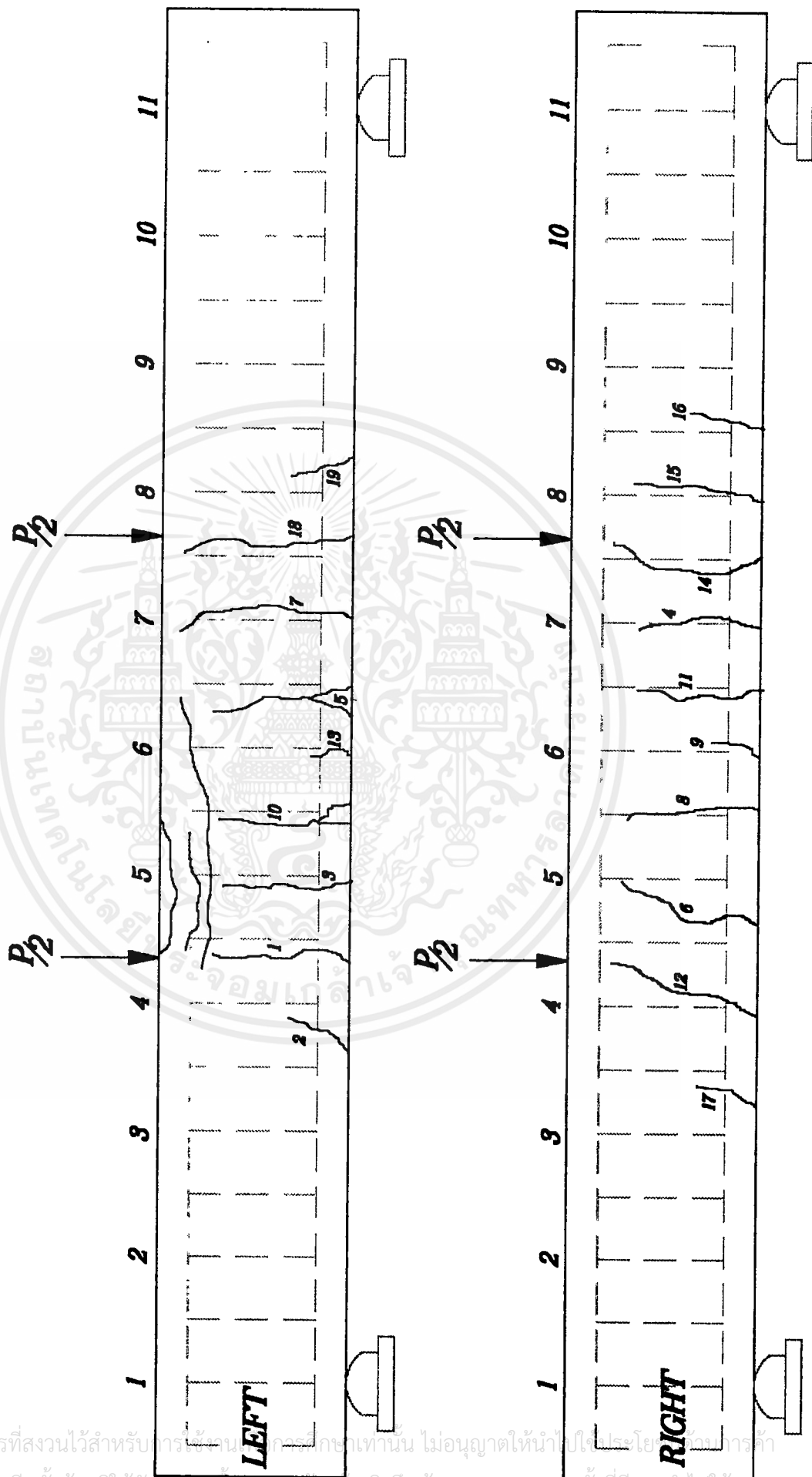
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ **ULTIMATE LOAD**

B12-L(24D BS)



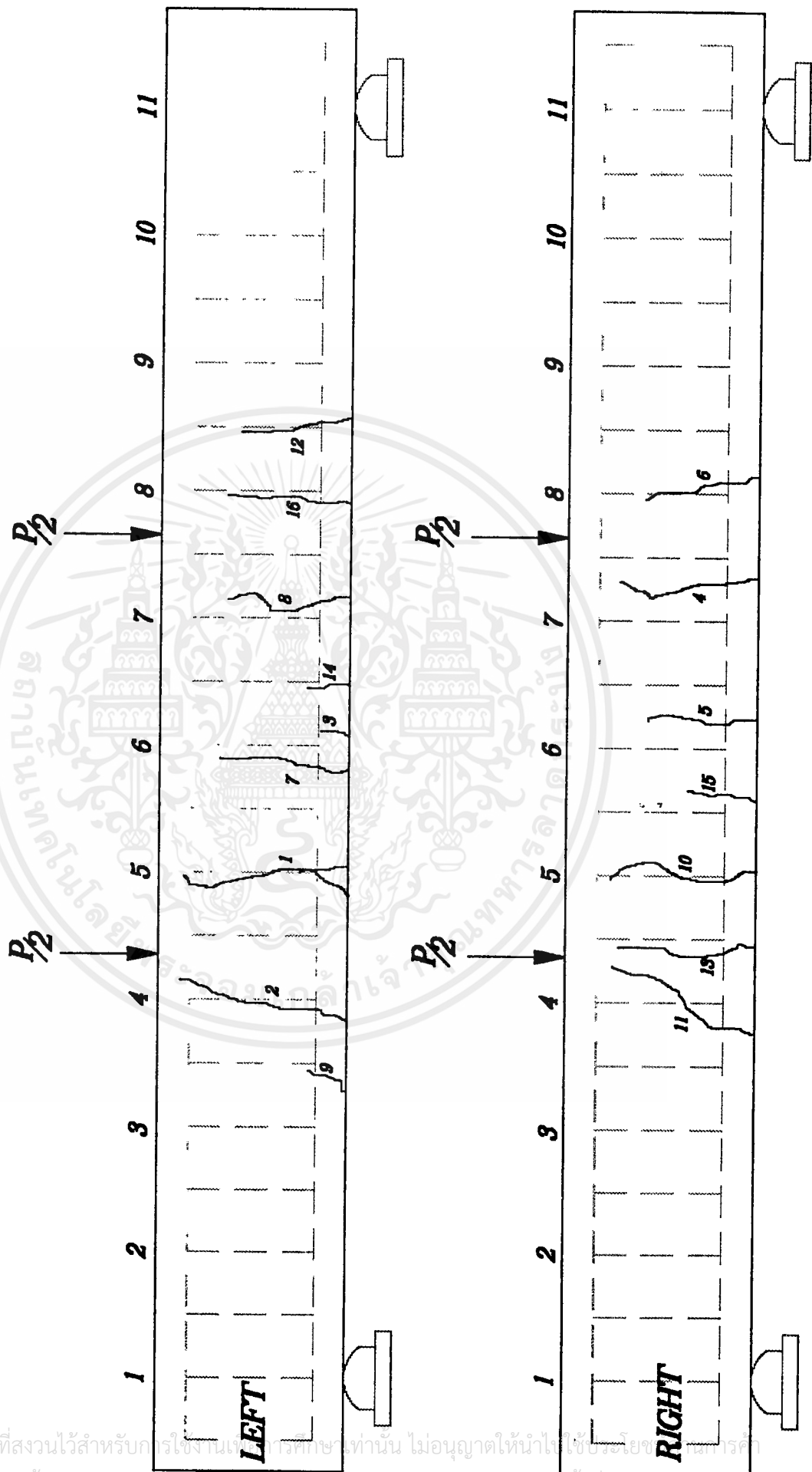
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

B13-L(15D)



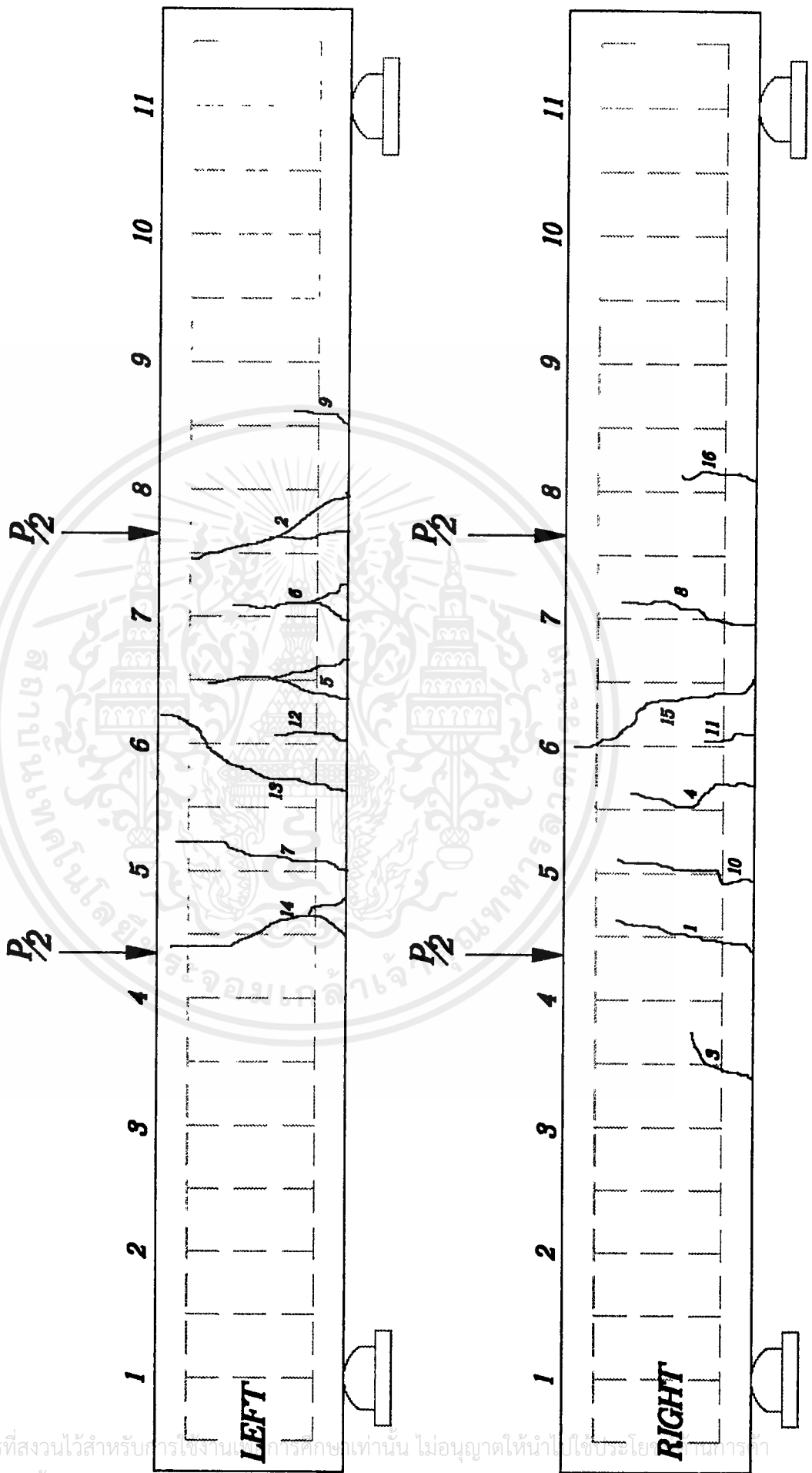
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

B14-L(15D)



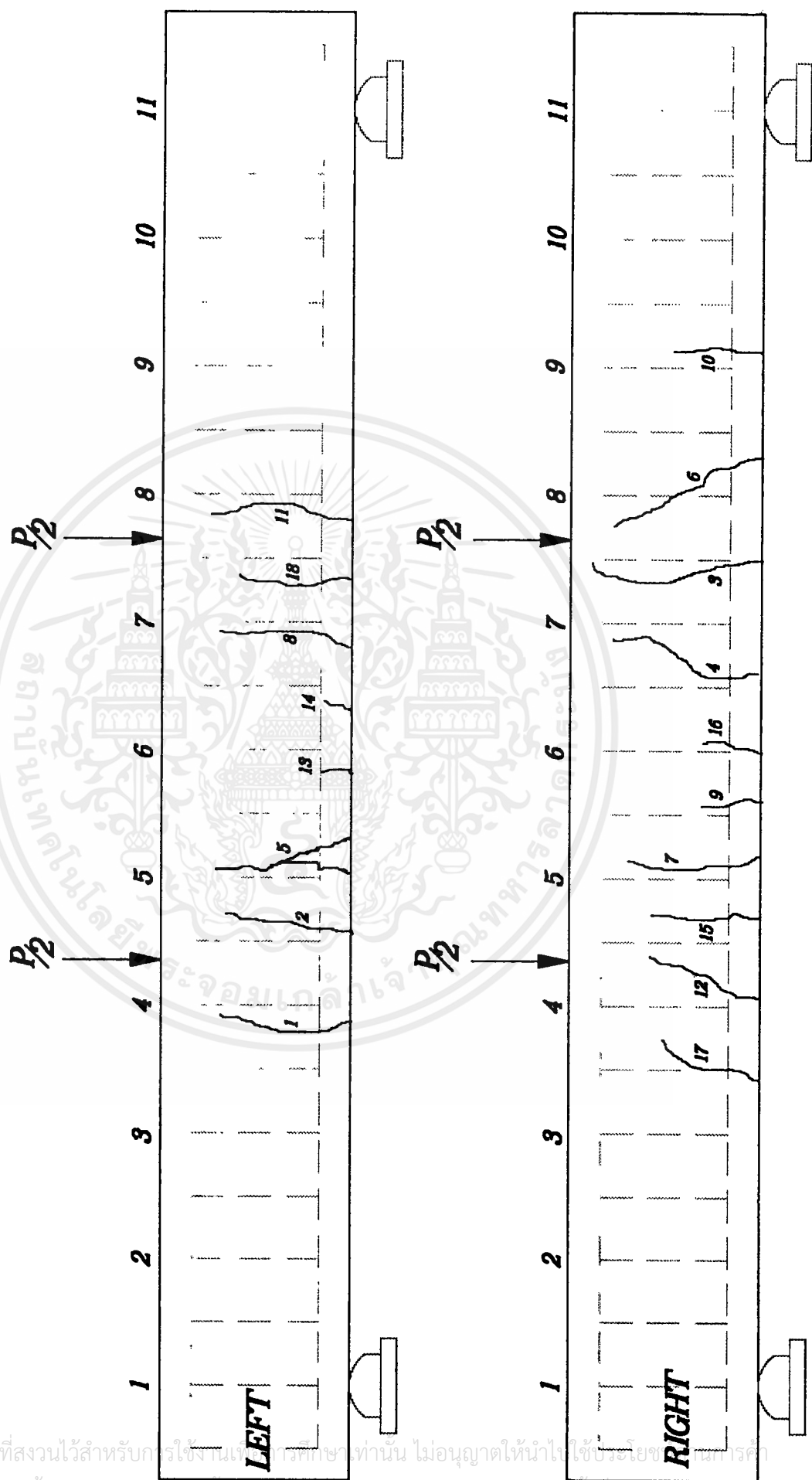
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

B15-L(15D)



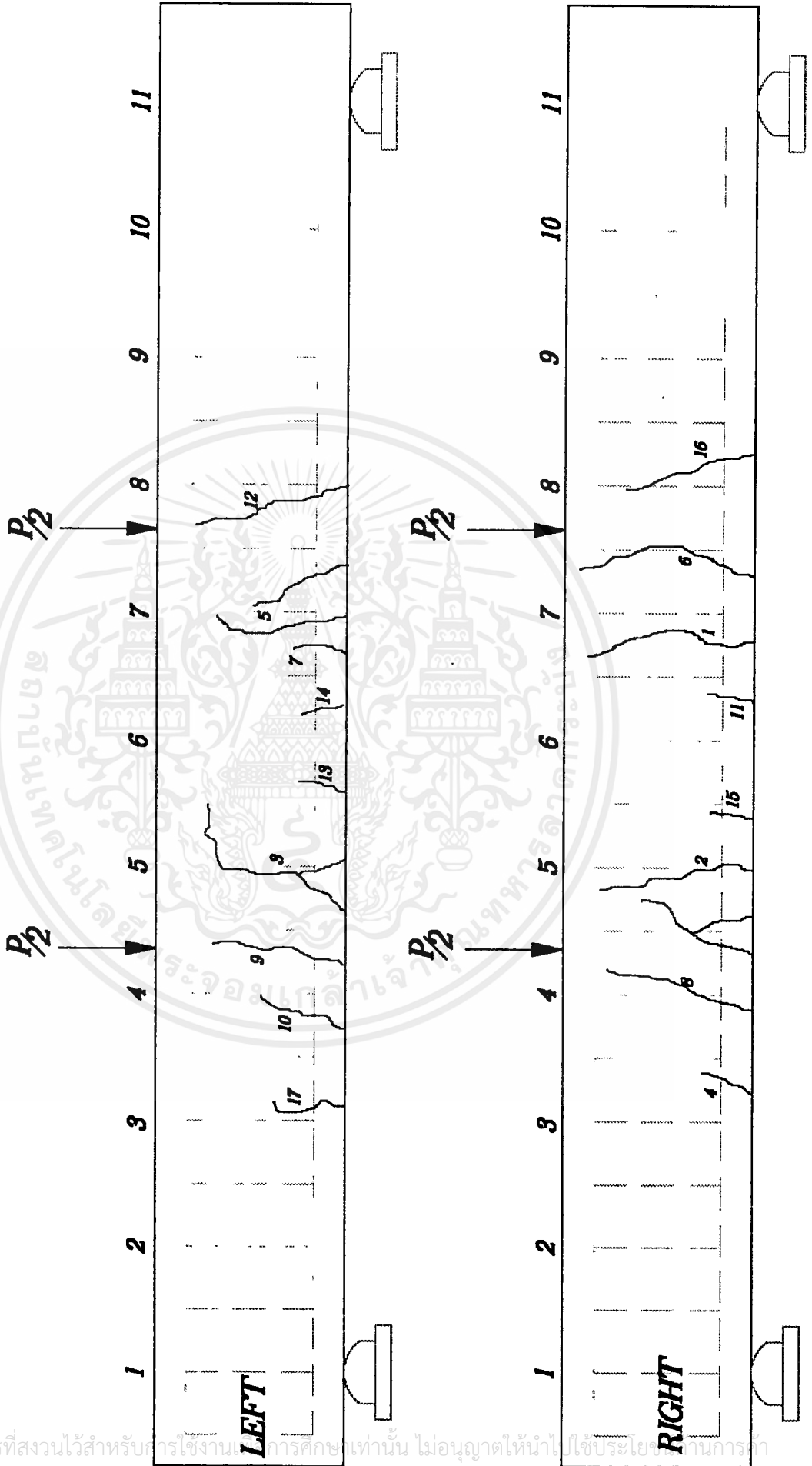
ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

B16-L(30D)



ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ณ ULTIMATE LOAD

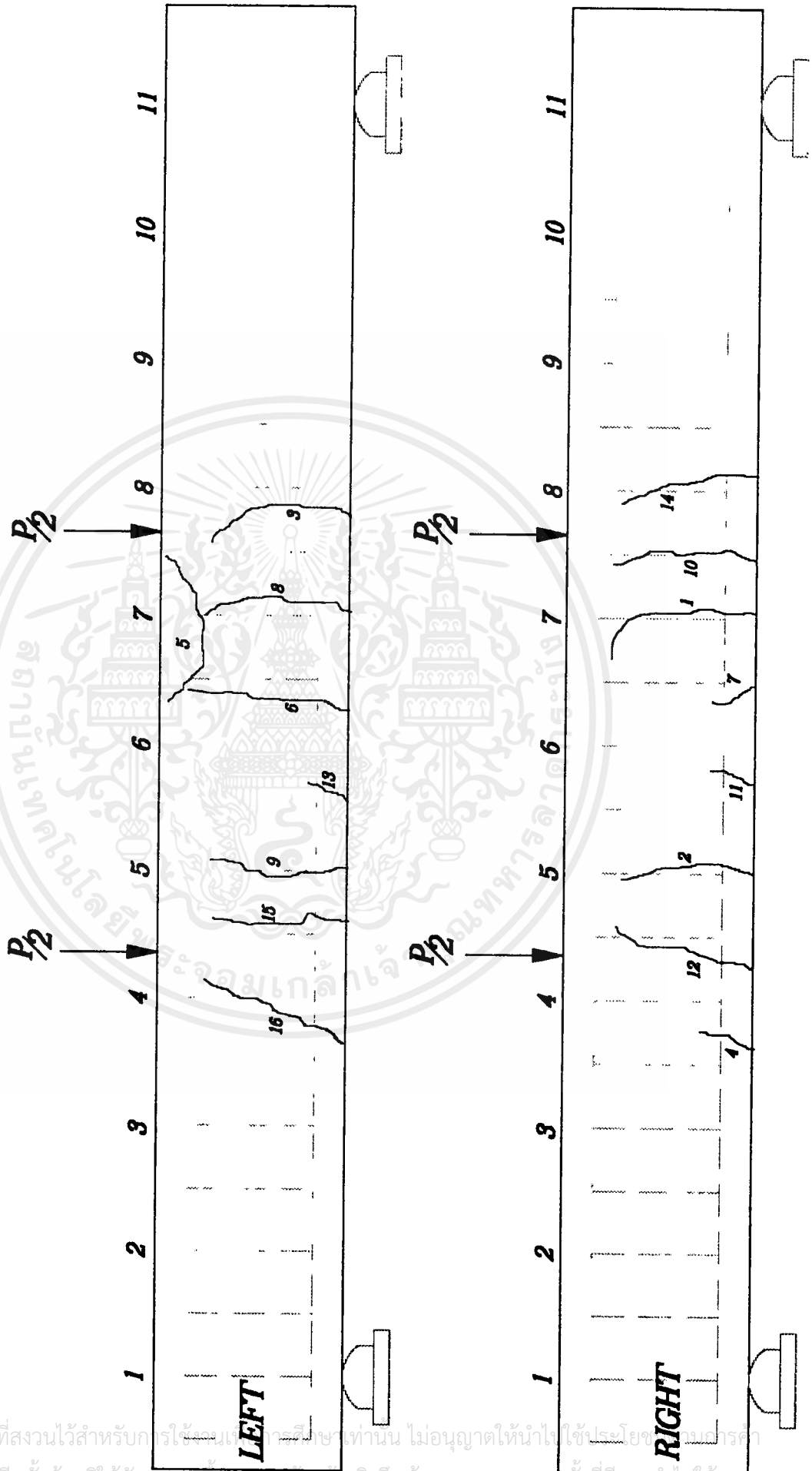
B17-L(30D)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ทำการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการวิบัติและรอยแตกของคาน ใน ULTIMATE LOAD

B18-L(30D)



บทที่ 5

วิเคราะห์ และ สรุปผลการทดสอบ

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

คาน

1. โครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบ จะเน้นเรื่องของ การรับโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ทำให้คานเกิดการต้านทาน โมเมนต์นั้น โดยคอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้ในส่วนบนและใช้เหล็กที่มีการต่อทาบและไม่ต่อทาบรับแรงดึงที่เกิดขึ้น ในส่วนล่าง จากการทดลองคานที่ไม่มีการต่อทาบจะสามารถต้านทานได้มากกว่าเหล็กที่มีการต่อทาบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะการต่อทาบจะเห็นว่า 15D สามารถต้านทานได้น้อยสุด ระยะทาบ 30D จะมีความสามารถต้านทานใกล้เคียงกับคานที่ไม่ต่อทาบ ระยะทาบ 48D จะคล้ายกับคานมาตรฐานในช่วงแรกของการทดสอบ ตามกราฟรูปที่ 9

2. เมื่อเปรียบเทียบความสามารถ ด้านทานน้ำหนักจะเห็นว่าคานที่มีการต่อทาบระยะต่างๆสามารถรับได้ตามสถานะการใช้งานของการออกแบบ ซึ่งระยะทาบ 15D จะรับได้ถึง 1.33 เท่า 24D รับได้ 1.49 เท่า และคานมาตรฐานรับได้ถึง 1.73 เท่า ของการออกแบบที่ ultimate เมื่อเทียบคานที่ต่อทาบกับคานมาตรฐาน 15D จะรับได้ 0.77 เท่า 24D รับได้ 0.89 เท่าและระยะทาบมากกว่า 24D จะมีค่าใกล้เคียงกับคานมาตรฐาน ตามตารางที่ 11

3. จากการทดลองพฤติกรรมของคานระยะทาบ 24D และ 30D จะมีลักษณะคล้ายกับคานมาตรฐานแต่จะรับน้ำหนักได้น้อยกว่า โดยการเปลี่ยนแปลง Load และ Deflection จะมีอัตราน้อยเป็นไปตามลักษณะของคานต่างๆไป ตามกราฟรูปที่ 9

4. หน่วยแรงดึงในเหล็กที่เกิดขึ้นจะมีค่าตามความสามารถในการรับน้ำหนัก หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจากหน่วยแรงดึงในเหล็กของ 15D จะมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด ส่วนระยะทาบที่มากกว่านี้หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นกับการแอนตัวจะมีลักษณะคล้ายกันกับ กราฟของ load, bond stress และ deflection แสดงตาม กราฟรูปที่ 9, 10 และ 11

5. จากความสัมพันธ์ของ load และ deflection ในช่วงแรกก่อนการเริ่มร้าวระยะทาบ 15D จะขนาดใกล้เคียงคานมาตรฐานที่สุด ระยะทาบ 48D จะมีขนาดมากกว่าคานมาตรฐานและระยะทาบอื่นๆจะเป็นไปตามข้อ 3 หลังจากเริ่มร้าวแล้วพฤติกรรมของคานระยะทาบ 15D , 48D จะเริ่มเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากระยะทาบอื่นเห็นได้อย่างชัดเจนจากกราฟรูปที่ 9 โดย deflection จะมากขึ้นและ load รับได้เพิ่มอีกเล็กน้อย จุดเริ่มร้าวของคานระยะทาบต่างๆตามตารางที่ 20

6. การแอนตัวของคานระยะทาบ 15 D จะเป็นการ slip ของเหล็ก เนื่องจากหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าค่าพิกัดจากข้อ 4 ตามตารางที่ 12 ส่วนระยะทาบอื่นจะเป็นการยึดตัวของเหล็ก

7. การพังทลายของคานที่จุด ultimate จะเกิดการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากการแอนตัวของคานเกิดพิกัด ตำแหน่งการแตกของคอนกรีตจะเริ่มที่ท้องคานก่อน สำหรับคานระยะทาบจะเริ่มแตกร้าวที่ปลายของเหล็กทาบซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี เนื่องจากที่ปลายของการทาบจะเกิด หน่วยแรงมากที่สุดเหล็กแต่ละเส้นตามรูปที่ 2.10 ช่วงกลางระหว่างปลายของเหล็กต่อทาบจะไม่แตกร้าวในช่วงแรก ถ้าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นมีค่ามากทำให้หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นมากกว่าความต้านทานของคอนกรีตซึ่งจะทำให้เกิดการแตกร้าวรอบๆเหล็ก ตามรูปที่ 2.9

8.คานระยะทาบ 24D ที่เพิ่มปลอกจะมีความสามารถรับน้ำหนักได้น้อยกว่า ไม่เพิ่มปลอก คือ 6.48 ตัน และ 7.16 ตัน

เสา

1.การทดสอบเสาดัดอย่าง เสาที่มีการต่อทาบและไม่ต่อทาบจะความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ได้ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบเสาดัดอย่างกับเสาที่ออกแบบ เสาตัวอย่างมาตรฐานจะสามารถรับได้ 1.09 เท่า และเมื่อเพิ่มปลอกจะรับได้ 1.07 เท่าของเสาที่ออกแบบซึ่งรับได้ 59.46 ตัน เสาที่มีการต่อทาบ 10D , 25D และ คอนกรีตล้วน จะมีความสามารถรับน้ำหนักได้ 0.98 , 0.99 และ 0.98 เท่า ตามลำดับ เสาที่ต่อทาบ 20D และเพิ่ม ปลอกจะมีความสามารถรับน้ำหนักได้ 1.13 และ 1.01 เท่าตามลำดับ เสาที่มีการต่อทาบจะมีความสามารถรับน้ำหนักได้ 0.95 เท่า ของเสาที่ออกแบบ

2.เมื่อเปรียบเทียบเสาดัดอย่างมาตรฐานกับเสาดัดอย่างที่มีการต่อทาบ เสาระยะทาบ 20 D มีความสามารถ ในการรับน้ำหนักได้ 1.03 เท่า เสาที่มีระยะทาบ 10D ,25D จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ 0.892 และ 0.894 เท่า เสาที่มีการต่อทาบจะมีความสามารถรับน้ำหนักได้ 0.862 เท่า

3.เสามาตรฐานที่มีการเพิ่มปลอก และไม่เพิ่มปลอกจะมีความสามารถรับน้ำหนักได้ใกล้เคียงกันมาก โดย เสาที่ไม่มีการเพิ่มปลอกจะรับได้กว่าคือ 63.57 ตัน และ 65.4 ตัน ตามลำดับ ซึ่งก็สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า ออกแบบตามข้อ 1 เสาที่มีระยะทาบ 20D เพิ่มปลอกจะมีความสามารถรับน้ำหนักได้กว่าเล็กน้อยคือ 60.3 ตัน และ 67.1 ตัน ตามลำดับ

สรุปผลการทดสอบ

1.คานที่ต่อทาบ ได้ตามมาตรฐานจะมีพฤติกรรมคล้ายกับคานที่ไม่มีการต่อทาบเหล็ก แต่จะมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้น้อยกว่า

2.คานที่มีระยะต่อทาบน้อยกว่ามาตรฐานและมากกว่ามาตรฐาน จะมีพฤติกรรมใกล้เคียงคานมาตรฐาน ในช่วงก่อนการแตกร้าและจะมีความสามารถรับน้ำหนัก ได้น้อยกว่าคานที่ไม่มีการต่อทาบและคานที่มีการต่อ ทาบมากกว่ามาตรฐาน จะรับน้ำหนักได้มากกว่าคานที่มีการต่อทาบได้มาตรฐาน

3.คานที่มีการต่อทาบแบบเพิ่มปลอกจะมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับคานที่ไม่เพิ่มปลอกแต่จะมีความสามารถ ในการรับน้ำหนักได้น้อยกว่าเล็กน้อย

4.การแอ่นตัวของคานที่มีระยะทาบน้อยกว่ามาตรฐาน เกิดจากการ slip ของเหล็ก คานที่มีระยะทาบมาก กว่ามาตรฐาน และระยะทาบได้มาตรฐานเกิดจากการยึดตัวของเหล็กเสริม

5.เสาต้นรับน้ำหนักตามแนวแกน คอนกรีตจะเป็นตัวรับน้ำหนัก มากกว่าเหล็กเสริม ซึ่งการพังของเสา จะเริ่มที่คอนกรีต

6.ในสภาวะการใช้งานของเสาต้นรับน้ำหนักตามแนวแกนคอนกรีตจะเป็นตัวรับน้ำหนักในช่วงสภาวะ แรกเกือบ 100 % และจะลงโดยการถ่ายเทน้ำหนักสู่เหล็กเสริม

ข้อผิดพลาดในการทดสอบ

เนื่องจากการทำการทดลอง การควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้เป็นไปตามที่เราออกแบบไว้นั้นเป็นไปได้ ยาก เนื่องจากมีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องหลายอย่างจึงอาจจะมีข้อผิดพลาดต่างๆเกิดขึ้นอาจจะสรุปข้อผิดพลาดเนื่อง จากปัจจัยและขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. แบบหล่อคอนกรีต เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ แบบหล่อคอนกรีตทำมาจากไม้อัดหนา 10

มิลลิเมตร ขนาด 1.22×2.44 ม. จะต้องนำมาทำการตัดให้เล็กลงให้ได้ตามขนาดของเสาและคานที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาประกอบกันอาจจะได้น้ำอัด ขนาดและรูปร่างไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ เนื่องจากเกิดการบิดเบี้ยวในการประกอบ ซึ่งกรณีนี้จะเป็นมากในกรณีของเสา ทำให้เสาที่เทคอนกรีตแล้วเมื่อแกะแบบออกมาเสาดูอย่างที่ได้จะไม่อยู่ในสภาพที่ตั้งที่ควร ทำให้เมื่อนำไปเข้าเครื่องทดสอบ อาจได้ค่า นน. ที่กระทำน้อยกว่าที่คำนวณได้มาก เนื่องจากมีการเกิดแรงเชื่อมศูนย์ ซึ่งแก้ไขได้โดยทำการ Cap หัวเสาด้วยกำมะถัน แต่ค่าความถูกต้องก็ยังลดลงอยู่ดี

2. เหล็กเสริมคอนกรีต เนื่องการเหล็กที่นำมาทดลองผ่านการทำบดตรงกลางมาก่อน ทำให้ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นท่อนๆ ต้องทำการตัดกลับให้อยู่ในสภาพที่ตรงก่อน ซึ่งไม่สามารถตัดให้อยู่สภาพเหมือนเดิมได้ ถ้านำเหล็กตรงส่วนนี้ไปใช้งาน อาจจะมีคามผิดพลาดเกิดขึ้นได้

3. คอนกรีต เนื่องจากวัสดุที่ผสมคอนกรีตอาจไม่ได้มาตรฐาน เช่น มีเศษวัสดุ ซึ่งสกปรกปนอยู่กับกองหินและกองทราย รวมทั้งการชั่งตวงส่วนผสม อาจจะมีคามผิดพลาดขึ้นได้

4. การเทคอนกรีต การเทคอนกรีตนั้นขณะเท เราต้องทำการกระทุ้งคอนกรีตเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่น ซึ่งในกรณีของการเทคอนกรีตเสาเนื่องจากรูปทรงแบบนี้ยากต่อการเทและกระทุ้งคอนกรีตทำให้เมื่อแกะแบบออกมาแล้ว เสาอาจจะเป็นโพรงได้

5. การบ่มคอนกรีต เนื่องการการบ่มตัวอย่างคานและเสาใช้กระสอบเปียกน้ำคลุม ซึ่งอาจมีบางช่วงเวลาใน 28 วัน ที่กระสอบแห้งทำให้การดำเนินการของปฏิกิริยา Hydration เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ทำให้ตัวอย่างอาจเกิดการแตกร้าวภายในเนื้อคอนกรีตขึ้นได้ และมีผลทำให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต ลดลง

6. การผิดพลาดเนื่องจากตัวบุคคล เนื่องจากผู้ดำเนินการทดลองขาดประสบการณ์ในการทำงานจริง ทำให้มีข้อบกพร่องต่างๆ เกิดขึ้นดังตัวอย่างต่อไปนี้

- การผูกเหล็ก การจัดวางตำแหน่งของเหล็กปลอก รวมทั้งการผูกเหล็กเสริมเหล็กเข้ากับเหล็กปลอก อาจจะไม่ตรงตำแหน่งและมีความแข็งแรงเพียงพอ
- การประกอบแบบหล่อ อาจจะมีคามแข็งแรงไม่เพียงพอ ความตั้งและระดับอาจคลาดเคลื่อนได้
- การถอดแบบหล่อ ทำให้แบบหล่อเกิดความเสียหายทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
- การอ่านค่าต่างๆ ในการทำการทดลอง อาจจะมีคามผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ทั้งในขณะที่ทำการอ่านและการจดบันทึก
- การวางแผนขั้นตอนในการทำงานต่างๆ อาจจะไม่เรียงลำดับการทำงานไม่ดีพอ

ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนเริ่มการทำงานต้องมีการวางแผนการลำดับการทำงานก่อนหลัง และควรมีการจัดทำตารางเวลาการทำงานออกมาให้เรียบร้อย
2. ควรศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการให้ละเอียด และเข้าใจในระดับหนึ่งก่อนที่จะลงมือในภาคปฏิบัติ
3. สถานที่ในการหล่อคอนกรีต กับสถานที่ในการทดสอบตัวอย่างควรจะอยู่ใกล้กัน เพื่อให้ง่ายในการเคลื่อนย้ายตัวอย่างเข้าทดสอบ
4. ก่อนการเทคอนกรีตเสา ต้องมีการเว้าค้ำของแบบหล่อนก่อนทุกครั้งเพื่อให้เสาที่เทคอนกรีตเสร็จแล้วได้ตั้งและได้ระดับ
5. ควรเข้าปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาอย่างสม่ำเสมอ

ภาคผนวก ก

การทดสอบ คำการยู่ตัวของคอนกรีต (Standard Test Method of SLUMP OF PORTLAND CEMENT CONCRETE)

วัตถุประสงค์ เพื่อหาความสามารถไหลได้ หรือความสามารถในการเทคอนกรีตสดลงแบบ

มาตรฐานที่ใช้ ASTM C 143

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1) โดยรูปทรงกรวยตัด เส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 10 cm. และด้านล่าง 20cm สูง 30 cm. มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้เท้าเหยียบทั้ง 2 ข้าง

2) เหล็กดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm. ยาว 60 cm. ปลายกลมมน

3) แผ่นเหล็กสำหรับรอง

4) ช้อนตัก เกรียงเหล็ก ตลับเมตร หรือไม้วัด

ขั้นตอนการทดสอบ

1) นำอุปกรณ์จุ่มน้ำให้เปียก

2) วางแผ่นเหล็กลงกับพื้นราบ นำโคนขึ้นวางให้เท้าเหยียบ ปลายทั้ง 2 ข้าง

3) ใช้ช้อนตัก ตักคอนกรีตใส่ลงในโคนโดยแบ่งเป็น 3 ชั้นให้มีปริมาณเท่าๆ กัน ชั้นที่ 1 ใส่คอนกรีตในโคนสูงประมาณ 6-7 cm. ต่ำด้วยเหล็กดำ 25 ที ในการค้าต้องทำให้ทั่วพื้นที่ ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนได้ส่วนสูงประมาณ 15 cm. ต่ำให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 1 เล็กน้อย ใส่คอนกรีตชั้นที่ 3 จนเต็ม ต่ำให้ทะลุคอนกรีตชั้นที่ 2 เพียงเล็กน้อย ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบรวมทั้งทำความสะอาดบริเวณโคนและแผ่นเหล็กกรอง

4) ดึงโคนขึ้นตรงๆ ไม่หมุน

5) วางโคนลงข้างๆ คอนกรีตแล้ววัดค่าการยู่ตัวของคอนกรีต

การทดสอบ	กำลังอัดของคอนกรีต
วัตถุประสงค์	ต้องการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต โดยการใส่แรงอัด โดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก
มาตรฐานที่ใช้	ASTM C 39

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. แท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบ
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องผสมคอนกรีต
6. เครื่องมือวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง
7. เครื่องหล่อหวมก หั่วท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดสอบ

ก. การเตรียมแบบหล่อ

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสกับแบบให้ทั่ว

2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันหรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยก หรือแบบหลุดขณะเทคอนกรีตหรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข. การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางที่เทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

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

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบนราบหรือไม่ ระบายดังกล่าวไม่ควรเอียงมากเกินกว่า 0.5 องศา หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าว ให้ทำการหล่อหวมกหัวท้ายเสียก่อน

ง. การทดสอบ

ค่าความค้ำอัดประลัยของแท่งคอนกรีตจะหาได้จากสูตร

$$f = P/A$$

โดยที่ $P =$ แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ $D^2/4$

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยจากการวัดสองทิศทางตั้งฉากกันที่กึ่งกลางสูงของแท่งตัวอย่าง

ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

SAMPLE IDENTIFICATION : ตัวอย่างถูกป้อนที่ได้จากการทำ Trial Mix Design

Specimen No.	Dimension : (cm.)		Weight (kg.)	Slump (cm.)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg.)	Cross section (cm)	Compressive Strength (ksc.)	Weight/Volume (kg/m)	Remark
	Diameter	Height										
1	15.1	30.2	12.855	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	32500	179.08	181.48	2376.94	Cap ด้านเดียว
2	15.3	30.2	13.154	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	39500	183.85	214.84	2369.12	
3	15.2	30.3	12.909	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	48750	181.46	268.66	2347.84	
4	15.1	30.0	12.964	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	44900	179.08	250.73	2413.07	
5	15.1	30.3	13.004	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	43500	179.08	242.91	2396.55	
6	15.0	30.4	12.875	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	30750	176.71	174.01	2396.69	Cap ด้านเดียว
7	15.0	30.1	12.974	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	40500	176.71	229.18	2439.19	
8	15.1	30.3	12.926	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	42750	179.08	238.72	2382.18	
9	15.2	30.0	13.005	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	45000	181.46	247.99	2388.96	
10	15.1	30.2	12.924	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	35250	179.08	196.84	2389.7	Cap ด้านเดียว
11	15.2	30.5	13.208	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	48800	181.46	268.93	2386.47	
12	15.2	30.2	12.847	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	48000	181.46	264.52	2344.3	
13	15.1	30.3	12.941	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	36000	179.08	201.03	2384.94	
14	15.2	30.2	13.245	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	36750	181.46	202.53	2416.93	
15	15.0	30.1	12.945	7.5	17/01/1997	24/01/1997	7	44750	176.71	253.23	2433.74	

Type of Sample : Cylinder

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

SAMPLE IDENTIFICATION : ตัวอย่างตุ้มนของตําน B1 - B9

Specimen No.	Dimension : (cm.)		Slump (cm.)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg.)	Cross section (cm)	Compressive Strength (ksc.)	Weight/Volume (kg/m)	Remark
	Diameter	Height									
1	15.1	30.2	8.0	29/01/1997	29/03/1997	59	67540	179.08	377.15	2395.43	
2	15.0	30.0	8.5	29/01/1997	29/03/1997	59	47829	176.71	270.66	2424.69	
3	15.0	30.3	10.0	29/01/1997	29/03/1997	59	67855	176.71	383.98	2425.33	
4	15.1	30.3	9.5	29/01/1997	29/03/1997	59	72500	179.08	404.85	2414.61	
5	15.0	30.2	9.5	29/01/1997	29/03/1997	59	63127	176.71	357.23	2439.92	
6	15.0	30.3	9.5	29/01/1997	29/03/1997	59	78552	176.71	444.51	2451.29	
7	15.0	30.3	8.5	29/01/1997	29/03/1997	59	71324	176.71	403.61	2446.81	
8	15.0	30.2	10.5	29/01/1997	29/03/1997	59	77905	176.71	440.85	2458.66	
9	15.0	30.3	10.0	29/01/1997	29/03/1997	59	78810	176.71	445.97	2432.62	

Type of Sample : Cylinder

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

SAMPLE IDENTIFICATION : ตัวอย่างถูกปูของเสา C1 - C24

Specimen No.	Dimension : (cm.)		Weight (kg.)	Slump (cm.)	Date of Casted	Date of Tested	Ages days	Ultimate load (kg.)	Cross section (cm)	Compressive Strength (ksc.)	Weight/Volume (kg/m)	Remark
	Diameter	Height										
1	15.2	30.1	12.888	7.5	10/02/1997	10/03/1997	30	47869	181.46	263.8	2359.6	
2	15.1	30.2	12.865	7.5	10/02/1997	10/03/1997	30	48459	179.08	270.6	2378.79	
3	15.2	30.2	13.021	7.5	10/02/1997	10/03/1997	30	51117	181.46	281.7	2376.06	
4	15.0	30.1	13.122	7.5	10/02/1997	10/03/1997	30	50821	176.71	287.6	2467.02	
5	15.1	30.1	12.895	7.5	10/02/1997	10/03/1997	30	52649	179.08	294.0	2392.26	
6	15.0	30.2	12.876	7.5	10/02/1997	10/03/1997	30	52412	176.71	296.6	2412.75	

Type of Sample : Cylinder

การทดสอบ **Tensile Of Steel**

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาว่าเหล็กแท่งนั้นจะมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการหล่อเสาหรือไม่

มาตรฐานที่ใช้ ACI

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

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

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำความสะอาดเหล็กโดยการปัดฝุ่นออกให้หมด เลือกเส้นที่มีสนิมไม่มากนัก หรือปราศจากสนิมก็
จะดี
2. ทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง น้ำหนัก ความยาว แล้วคำนวณหาพื้นที่ผิวของเหล็กแต่ละแท่งที่นำ
มาทดสอบ
3. ทำเครื่องหมายไว้บนแท่งเหล็กทุกแท่ง โดยมีระยะห่างระหว่างเครื่องหมาย ประมาณ 3 เซนติเมตร
4. นำเข้าเครื่อง Universal Testing Machine เพื่อหาค่ากำลังจุดคดากและกำลังดึงประลัยและหาค่า
เปอร์เซ็นต์การยืดหด
5. บันทึกผลการทดสอบ

ผลการทดลอง

TENSILE TEST OF STEEL

SAMPLE IDENTIFICATION : ตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในถนนตะเภา

Specimen No.	Type of steel		Weight (kg.)	Length (cm.)	Diameter (mm.)	Area (mm)	Load (kg.)		Tensile Stress (ksc)		Gauge Length (cm.)	Elongation		Remark
	R.B.	D.B.					Yield	Ultimate	Yield	Ultimate		(cm.)	(%)	
1	6 SR24		0.205	92.90	5.86	26.97	930	1320	3448.28	4894.33	3.00	4.00	33.33	
2	6 SR24		0.204	93.20	6.03	28.56	900	1620	5672.27	5672.27	3.00	4.00	33.33	
3	6 SR24		0.200	93.20	5.94	27.71	1260	1500	4547.09	5413.21	3.00	4.00	33.33	
4		12 SD30	0.57	71.00	11.85	110.29	3300	4305	2992.11	3903.35	3.00	4.50	50.00	
5		12 SD30	0.58	72.20	11.9	111.22	3150	4320	2832.22	3884.19	3.00	4.40	38.00	
6		12 SD30	0.57	70.30	11.75	108.43	3300	4350	3043.44	4011.8	3.00	4.55	51.67	

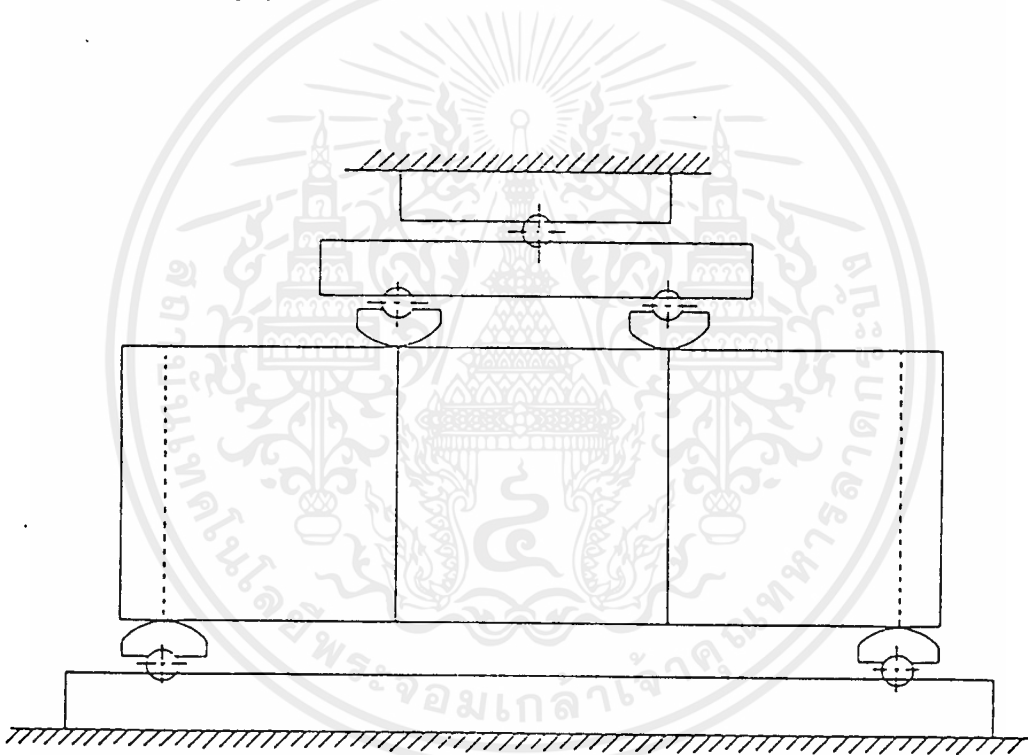
Type of Sample : Cylinder

การทดสอบ กำลังดัดของคอนกรีต (Standard Test Method for FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE)

มาตรฐานที่ใช้ ASTM C78

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำแท่นทดสอบตัวอย่างรูปคาน ดัดเข้ากับเครื่องทดสอบ
2. แบ่งแท่งทดสอบ โดยแบ่งช่วงที่อยู่ภายในฐานของแท่นเป็น 3 ส่วน ส่วนละ $L/3$ m.
3. วางแท่งทดสอบ ลงบนแท่น โดยให้รอยขีดตรงกับฐานของแท่น
4. นำแท่นกดด้านบน วางบนก้อนตัวอย่างให้ตรงรอยขีดเช่นกัน
5. ตั้ง น.น. กดให้คงที่ อัตราที่ใช้คือ 0.14-0.20 ksc/s
6. เปิดเครื่องกดน้ำหนัก จนก้อนตัวอย่างหัก
7. บันทึกน้ำหนักสูงสุด เมื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังดัด



รูปที่ ก.1

การคำนวณ

กรณีที่ 1 เมื่อก้อนตัวอย่างแตกอยู่ในช่วงกลาง

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

กรณีที่ 2 เมื่อก้อนตัวอย่างไม่แตกอยู่ในช่วงกลาง

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

R = Modulus of Rupture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P = Maximum Load

l = ความยาว span

a = ระยะทางเฉลี่ยจากจุดที่แตกไปยัง support ที่ใกล้กว่าวัดด้าน Tension

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน

d = ความลึกเฉลี่ยของคาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การทดลองผสม Mix Design ตามมาตรฐาน ACI

ดังที่ได้ทราบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความผันแปร เนื่องจากองค์ประกอบอื่นๆ มากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต จะต้องทำการทดสอบหาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ เก็บรวบรวมข้อมูล นำข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้หลักวิชาสถิติมาช่วยในการออกแบบ โดยจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังสูงกว่าที่ข้อกำหนดของงานกำหนดไว้ สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$f_{cr} = f_c + ks$$

f_{cr} = Target Mean Strength หรือกำลังอัดเฉลี่ยที่ผู้ผลิตคอนกรีตต้องผลิต

f_c = กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

ks = ส่วนเผื่อ ซึ่งประกอบด้วยค่า

k = ค่าคงที่

s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด จาก ก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือ มากกว่า

ค่า k ในสมการนี้ได้มาจากวิชาสถิติในเรื่องเกี่ยวกับการแจกแจงความถี่มาตรฐาน โดยค่า k จะเพิ่มขึ้นถ้าต้องการให้กำลังอัดต่ำกว่าที่ต้องการลดลง ดังแสดงค่าในตารางที่ ข 1

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า f_c'	ค่า k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

ตาราง ข 1 ค่าคงที่ k และร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'

ตามมาตรฐานทั่วไป ที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมคอนกรีต ผู้ผลิตจะต้องออกแบบให้โอกาสที่ กำลังอัดเฉลี่ยต่ำกว่ากำลังอัดที่ออกแบบไม่เกิน 5% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องมากจากก้อนตัวอย่าง อย่างน้อย 30 ตัวอย่าง จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้พอเพียง แต่หากการทดสอบน้อยกว่าจำนวนนี้ ก็อนุโลมโดยใช้ตัวคูณตามที่กำหนดในตารางที่ ข 2

จำนวนตัวอย่าง	ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนตามมาตรฐาน
น้อยกว่า 15	ใช้ตารางที่ 18.5
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 หรือมากกว่า	1.00

ตารางที่ ข 2 ตัวคูณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อจำนวนตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดลองด้านกำลังยึด หรือมีผลน้อยกว่า 15 ค่า กำลังยึดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องผลิตจะต้องสูงกว่าค่ากำลังยึดที่กำหนด (f_c') เป็นจำนวนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่ากำลังยึดที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ ข 3

ค่ากำลังยึดที่กำหนด f_c'	กำลังยึดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 210	70
210 - 350	85
350 หรือมากกว่า	100

ตารางที่ ข 3 ส่วนเนื้อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังยึด

การคำนวณหาปริมาณส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไป ซึ่งหล่อในที่อาจจะดำเนินเป็นขั้นตอนตามวิธีการซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI 211.1-70) ดังต่อไปนี้ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอนและไม่เปลี่ยนแปลงและถูกต้อง ทั้งนี้จะต้องทราบถึงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียดและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ เป็นต้น อีกทั้งวัสดุผสมต้องมีขนาดละเอียดอยู่ในพิสัยที่กำหนดด้วย

1. เลือกค่าความขรุขระที่ เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่าความขรุขระต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และให้ได้ความชันเหลวพอทำงานได้ สะดวกในกรณีที่มีได้ กำหนดค่าความขรุขระมาให้ ค่าความขรุขระที่เหมาะสมกับประเภทของงานเลือกใช้ได้จากตารางแสดงค่าความขรุขระของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้าง

2. เลือกขนาด โดสุคของวัสดุผสม

ขนาดโด้สุคผสม ไม่ควรเกินกว่า 1/5 ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบ ขนาดโด้สุคของวัสดุผสมที่เหมาะสมกับประเภทการใช้งานอาจเลือกได้จากการแสดงขนาดโด้สุคของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

3. ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความขุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโคที่สุก รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม ในตารางดังกล่าวยังให้ค่าประมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อใส่สารทำให้เกิดฟองอากาศ

4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะที่คอนกรีตนั้นถูกนำไปใช้งาน และกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตสำหรับวัสดุผสมที่ใช้ผสมคอนกรีต ก็ให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์จากตารางแสดงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดผิวยุทธ โดยให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่สูงที่สุดสำหรับประเภทงาน หรือตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยจะให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่สูงที่สุดสำหรับค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยคอนกรีตที่ต้องการ

5. คำนวณปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ประมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ในคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรย่อมาได้ซึ่งเท่ากับ ปริมาณน้ำจากชั้นที่ 3 หาด้วยอัตราส่วนจากชั้นที่ 4 อย่างไรก็ตาม ถ้ากำหนดประมาณซีเมนต์ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตมาให้ก็ให้เลือกใช้ค่ามากที่สุดจากที่คำนวณได้หรือที่กำหนดให้

6. คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ

จากตารางแสดงปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตในสภาพแห้งและอัดแน่น ในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งแตกต่างตามค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายที่ใช้และขนาดโคที่สุกของหินที่ใช้ ปริมาณของวัสดุผสมหยาบคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัสดุผสมหยาบคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบนั้น

7. ประมาณปริมาณวัสดุผสมละเอียด

เมื่อได้ค่าต่างๆ ของส่วนผสมจนถึงลำดับที่ 6 แล้ว ปริมาณของวัสดุผสมละเอียดจะหาได้ดังนี้
 ปริมาณเนื้อแท้ของวัสดุผสมละเอียด = ปริมาตรของคอนกรีต - ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสมต่างๆ (ยกเว้นทราย)
 โดยที่ปริมาตรเนื้อแท้ (ซึ่งเป็นปริมาตรที่ไม่มีช่องว่างในเนื้อ) ของวัสดุคำนวณได้จากความด่างจำเพาะและน้ำหนักวัสดุ กล่าวคือ

$$\text{ปริมาตร เนื้อแท้} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ความด่างจำเพาะ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}}$$

8. ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

ตามปกติ วัสดุผสมที่ใช้งานจริงจะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิมตัวและผิวแห้ง ฉะนั้น จึงต้องแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมชื้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่คิดมาและลดน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน ในกรณีที่วัสดุผสม แห้งกว่าสภาวะอิมตัวและผิวแห้ง จะต้องแก้ส่วนผสมเช่นเดียวกันในทางตรงกันข้าม

กำลังอัดประลัย ของคอนกรีต ที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่ กระจายกักฟอง อากาศ	คอนกรีตกระจาย กักฟองอากาศ
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 ค่าที่ใช้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรง
กระบอกขนาดมาตรฐาน ϕ 15×30 ซม. ถ้าแท่ง ตัวอย่างเป็น
แบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ
20%

ตาราง ข 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ขนาดโตสุด ของหิน	ปริมาณของวัสดุผสมหยาบในสภาพ แห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของ คอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียด ของทรายต่าง ๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 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	.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

ตาราง ข 5 ปริมาณของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความขรุขระ (ซ.ม.)	ปริมาณน้ำเป็นอัตราต่อคอนกรีต 1 ม. ³ สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	(10 มม.)	(12.5 มม.)	(20 มม.)	(25 มม.)	(40 มม.)	(50 มม.)	(75 มม.)	(150 มม.)

คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายฟองอากาศ (Non Air Entraining Concrete)

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

คอนกรีตที่มีสารกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)

3-5	180	175	165	150	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

ตาราง ข 6 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความขรุขระและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trial Mix Design

- กำลังที่ต้องออกแบบ = $240 + 85 = 325$ ksc.
- ใช้ค่ายุบตัว 8 - 10 cm.
- ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบ = 25 mm.
- ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องการตามตารางที่ 18.9 = 195 ลิตร/ m^3 .
- จากตารางที่ B 4 ต้องการ 325 ksc จะได้ $w/c = 0.515$
- ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ = $195/0.515 = 378.64$ kg.
- หาปริมาณวัสดุผสมหยาบจากตารางที่ B 5 เมื่อมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80 และขนาดโตสุดของหิน = 25 mm. จะได้ปริมาตรของหินในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งและอัดแน่น = 0.67 m^3/m^3 ของคอนกรีต
- หน่วย นน. ของหิน = 1600 kg/ m^3 .

$$\therefore \text{นน.ของหินที่ใช้คือ } 1600 \cdot 0.67 = 1072 \text{ kg}/m^3 \text{ ของคอนกรีต}$$

หาปริมาณของทราย

ปริมาตรเนื้อแห้งของส่วนผสม

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

$$\text{ปริมาตรของซีเมนต์} = 378.64/3.15 \times 1000 = 0.12 \text{ m}^3$$

$$\text{ปริมาตรของหิน} = 1072/2.7 \times 1000 = 0.397 \text{ m}^3$$

$$\text{ปริมาตรของฟองอากาศ} = 0.02 \times 1 = 0.02 \text{ m}^3$$

$$\text{ดังนั้นปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย} = 0.732 \text{ m}^3$$

$$\therefore \text{ต้องใช้ทราย} = 1 - 0.732 = 0.268 \text{ m}^3$$

$$\text{นน.ของทรายแห้ง} = 0.268 \times 2.6 \times 1000 = 696.8 \text{ kg.}$$

คอนกรีต 1 m ต้องใช้

$$\text{ซีเมนต์} = 378.64 \text{ kg.}$$

$$\text{น้ำ} = 195 \text{ kg.}$$

$$\text{หิน} = 1072 \text{ kg.}$$

$$\text{ทราย} = 696.8 \text{ kg.}$$

$$\text{รวม นน.ทั้งหมด} = 2342.44 \text{ kg.}$$

Trial Mix Design ออกแบบไว้ 325 ksc. (ที่ 28 วัน)

test ที่ 7 วัน ($325 \times 0.70 = 227.5$ ksc.)

$$- x = 228 \text{ ksc.}$$

$$- \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} = 32 \text{ ksc.}$$

$$- \text{ค่า Max สุด } 269 \text{ ksc. ค่า Min สุด } 174 \text{ ksc.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mix Design

- กำลังที่ต้องการ

$$= 240 + 1.645 (32) (1.16)$$

$$= 301.06 \quad 300 \text{ ksc.}$$

- ต้องการค่าขุบตัว ประมาณ 8-10 cm.
- ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบ 25 mm.
- จากตารางที่ ข 6 ต้องการน้ำ (ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ)

$$= 195 \text{ ลิตร/m}^3 \text{ ของคอนกรีต}$$

- จากตารางที่ ข 4 ถ้าต้องการกำลัง 300 ksc. จะได้ w/c = 0.55

- หากปริมาณมวลรวมหยาบจากตารางที่ ข 5 เมื่อมีโมดูลความละเอียดเท่ากับ 2.80 และขนาดโตสุด

ของหิน = 25 mm. จะได้ปริมาตรของหินในสภาพอิ่มตัวแห้งอัดแน่น

$$= 0.67 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ ของคอนกรีต}$$

- หน่วยน.น.ของหิน = 1600 kg/m

$$\text{น.น.ของหินที่ใช้คือ } 1600 \times 0.67 = 1072 \text{ kg/m}^3 \text{ ของคอนกรีต}$$

-หาปริมาณของทราย

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม

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

$$\text{ปริมาตรของซีเมนต์} = 355/3.15 \times 1000 = 0.166 \text{ m}^3$$

$$\text{ปริมาตรของหิน} = 1072/2.70 \times 1000 = 0.397 \text{ m}^3$$

$$\text{ปริมาตรของฟองอากาศ} = 0.02 \times 1 = 0.02 \text{ m}^3$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย} = 0.728 \text{ m}^3$$

$$\therefore \text{ต้องใช้ทราย} = 1 - 0.728 = 0.272 \text{ m}^3$$

$$\text{น้ำหนักของทรายแห้ง} = 0.272 \times 2.6 \times 1000 = 707.2 \text{ kg.}$$

คอนกรีต 1 m³ ต้องใช้

$$\text{ซีเมนต์} = 355 \text{ kg.}$$

$$\text{น้ำ} = 195 \text{ kg.}$$

$$\text{หิน} = 1072 \text{ kg.}$$

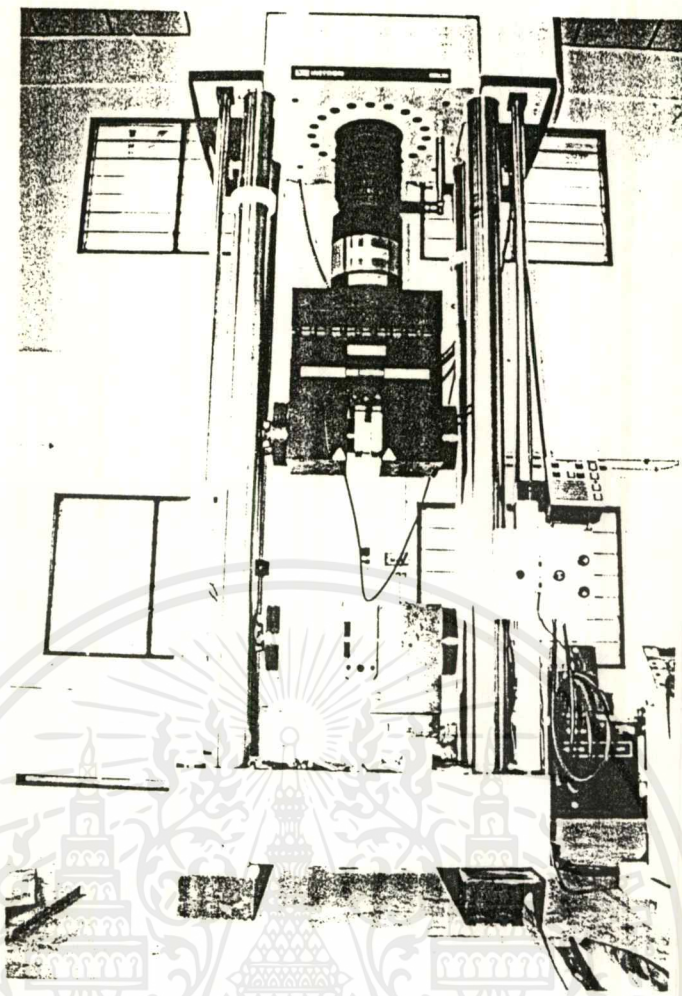
$$\text{ทราย} = 707.2 \text{ kg.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักทั้งหมด} = 2329.2 \text{ kg.}$$

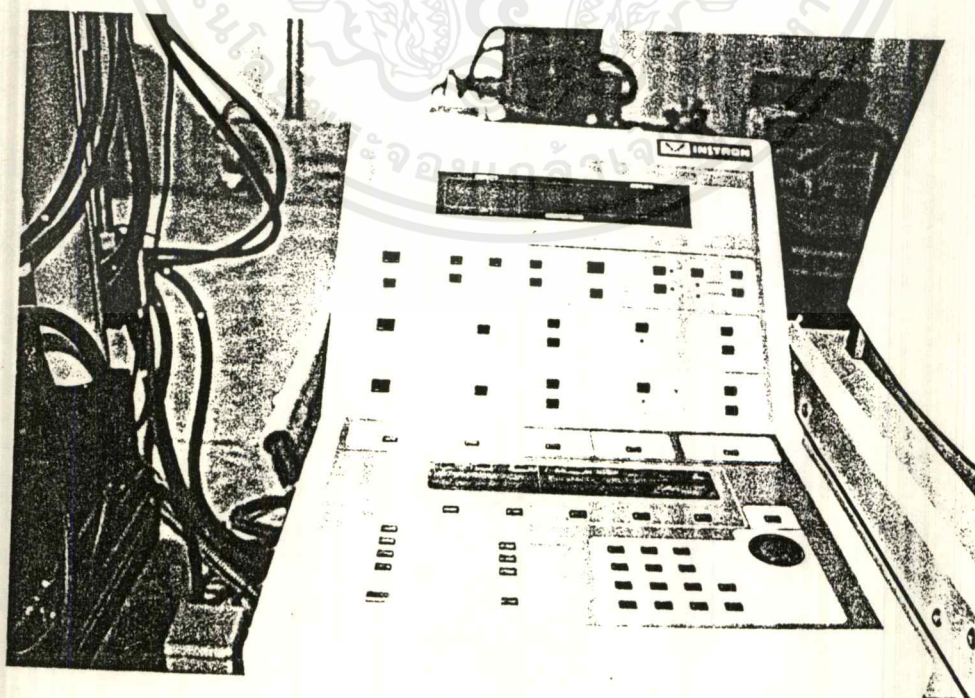
ภาคผนวก ค
ภาพประกอบการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

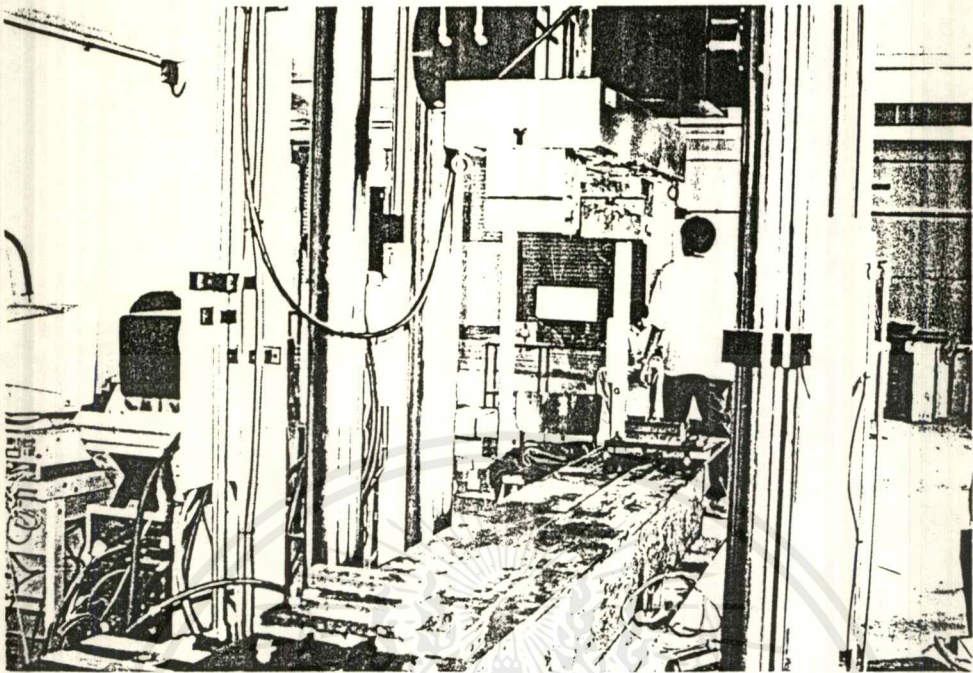


ภาพที่ 1 แสดง เครื่อง UTM ก่อนการติดตั้ง อุปกรณ์ชุดทดสอบกาน

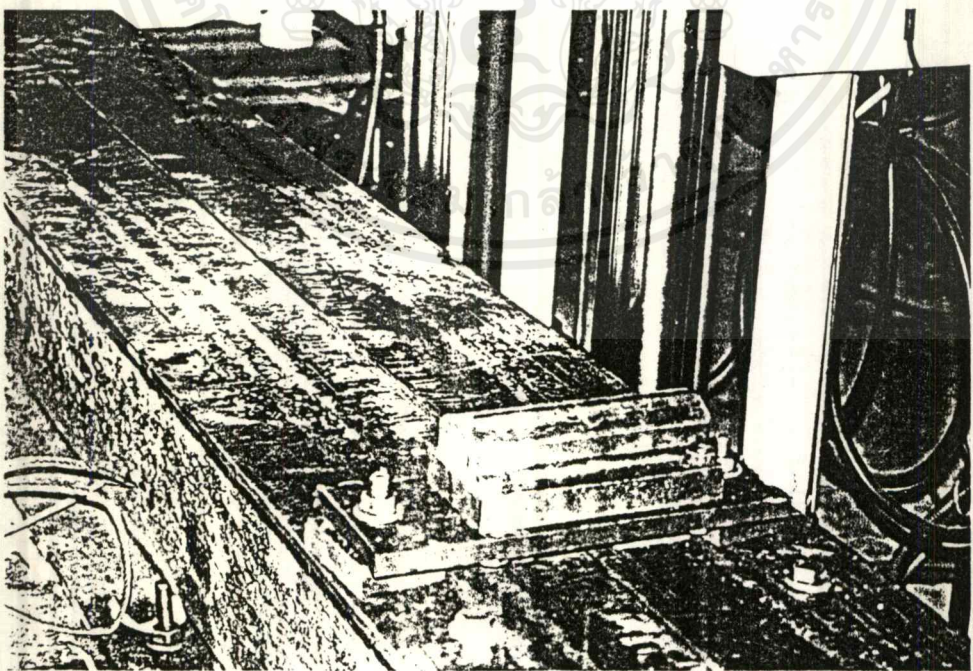


ภาพที่ 2 แสดง Control Panel ประกอบเครื่อง UTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 แสดง Support การทดสอบคาน



ภาพที่ 4 แสดง ตำแหน่งและลักษณะของ Support ที่รองคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

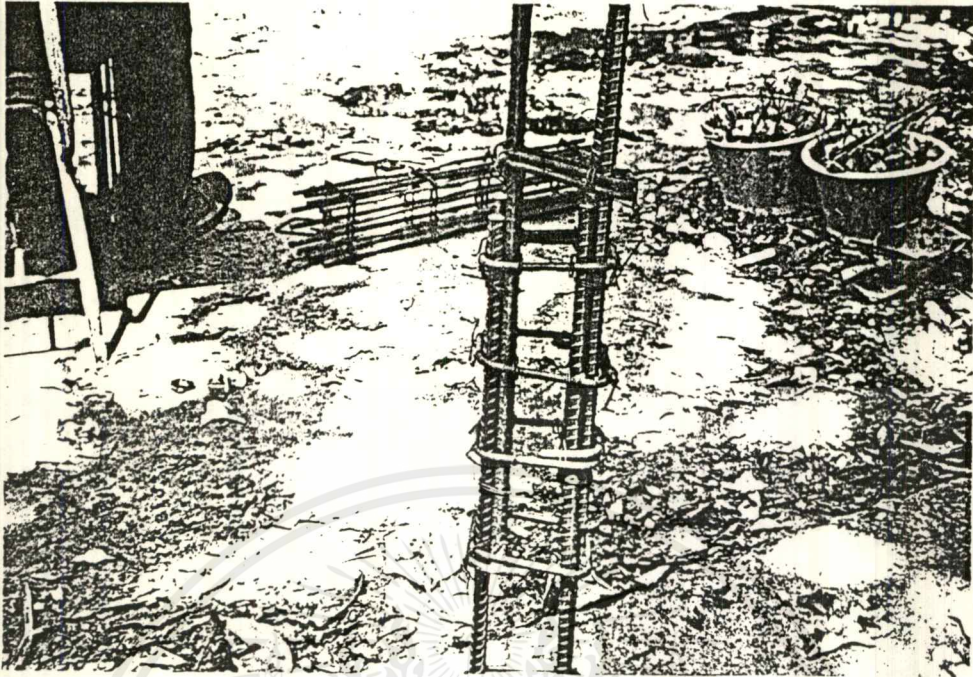


ภาพที่ 5 แสดง การตรวจสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

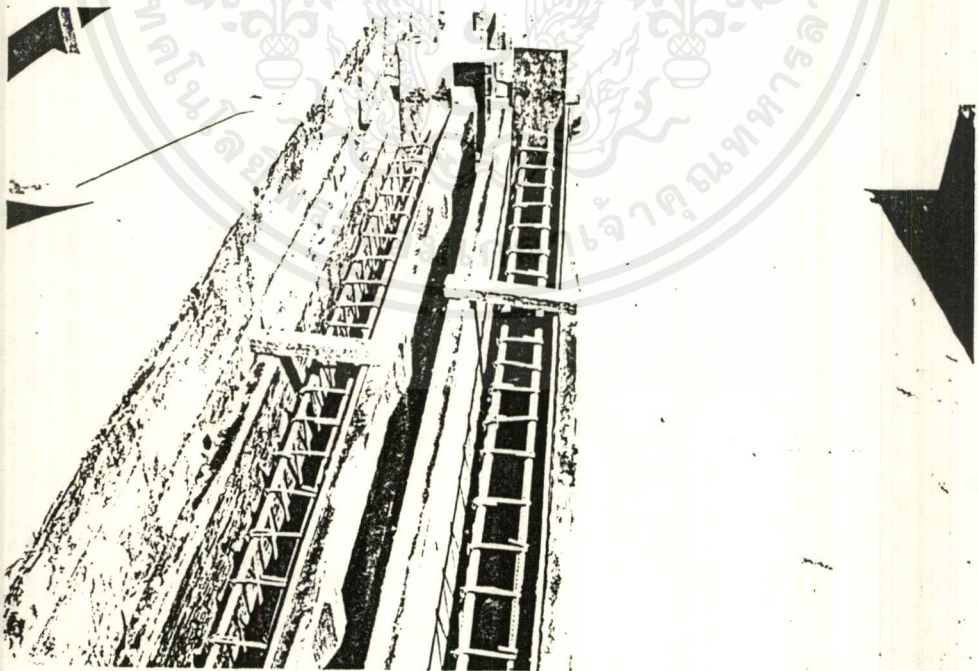


ภาพที่ 6 แสดง การทดสอบลูกปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

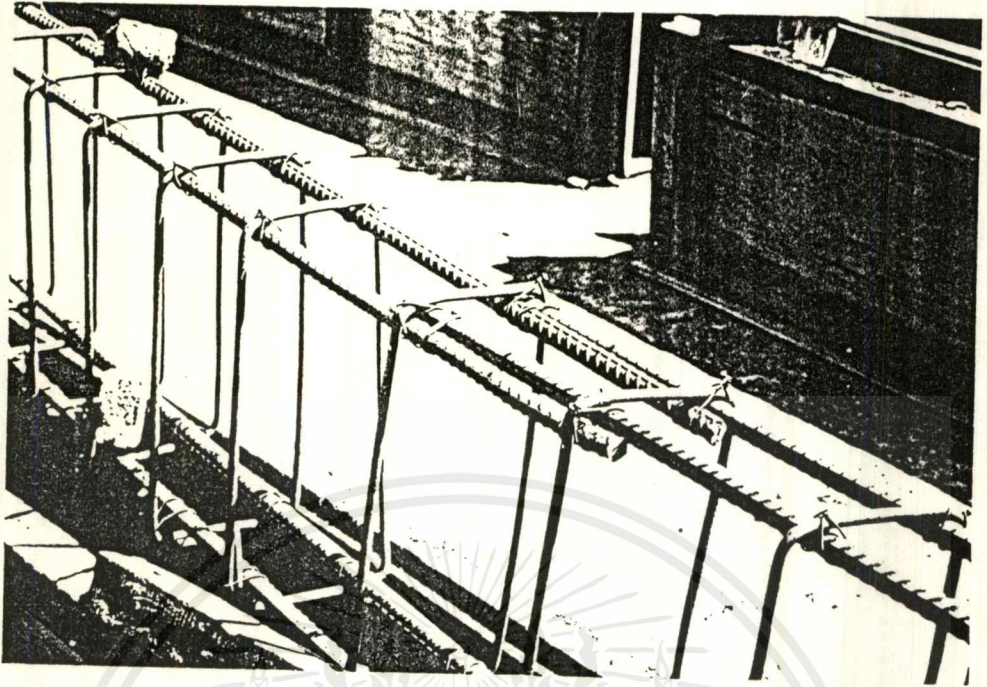


ภาพที่ 7 แสดง การตัดทาบเหล็กเสริมในตัวอย่างเสา

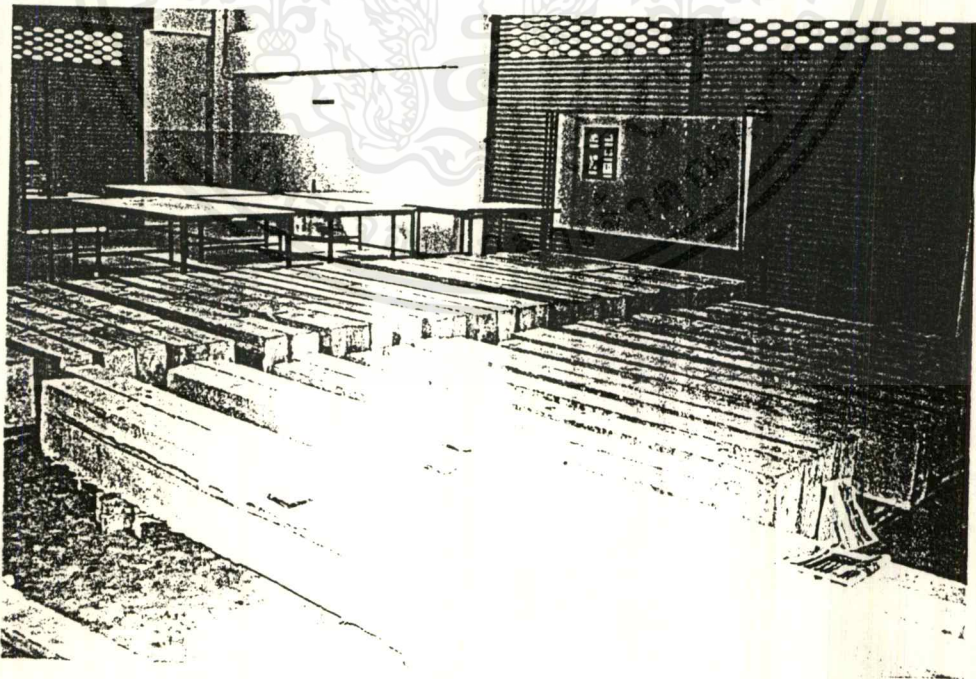


ภาพที่ 8 แสดง การวางตำแหน่งของเหล็กเสริมในตัวอย่างคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

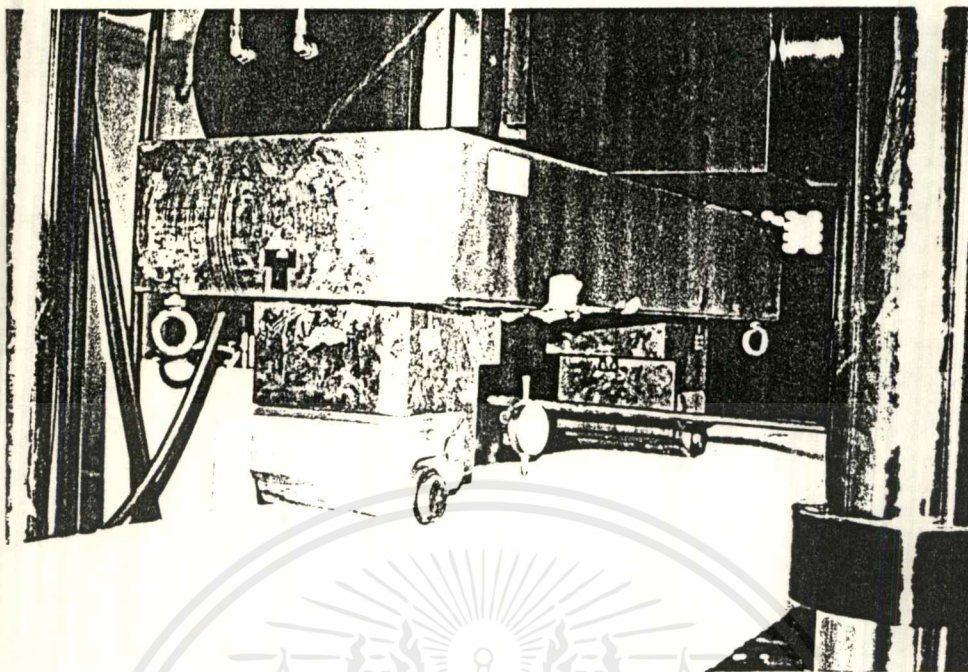


ภาพที่ 9 แสดง การต่อทาบเหล็กของคานตัวอย่าง



ภาพที่ 10 แสดง คานตัวอย่างที่พร้อมจะทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

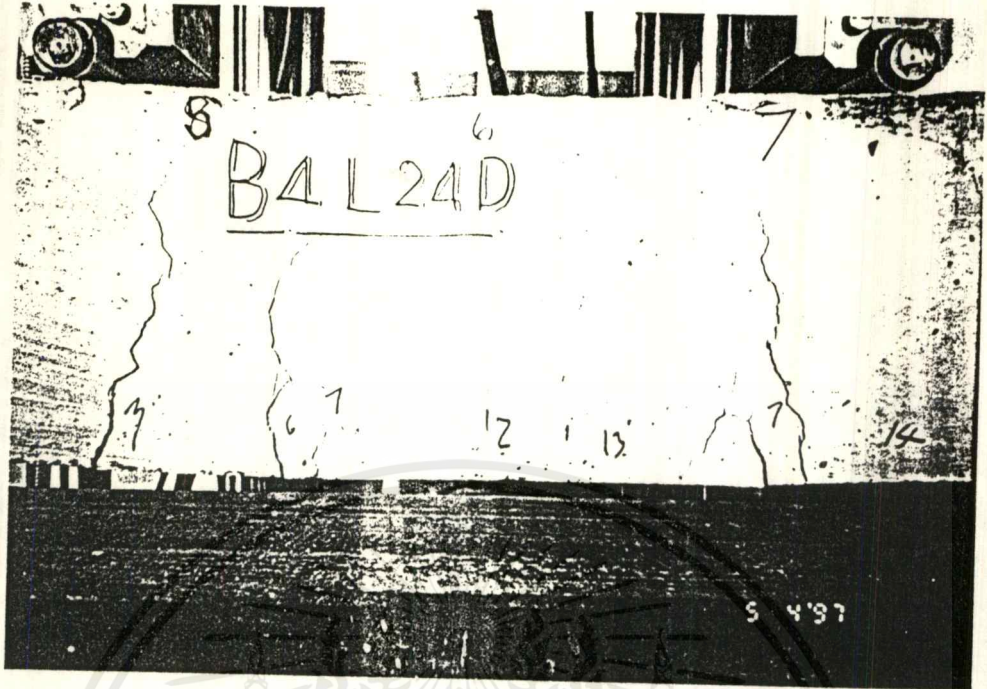


ภาพที่ 11 แสดง ชุดหัวกดและตำแหน่งการติดตั้ง Dial Guage

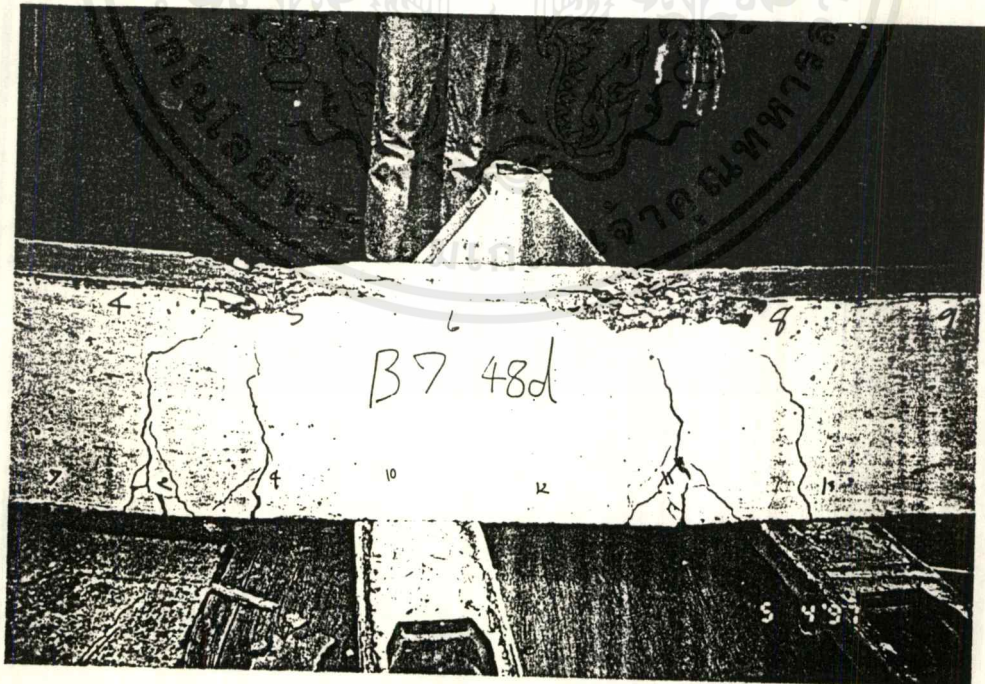


ภาพที่ 12 แสดง ตัวอย่างงานมาตรฐานหลังจากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

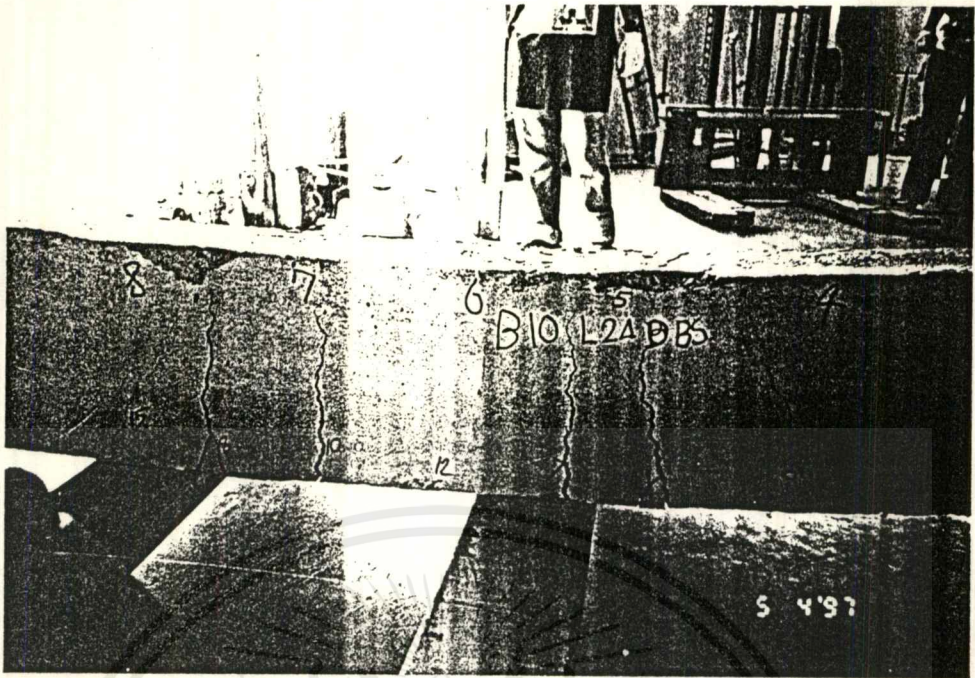


ภาพที่ 13 แสดง ตัวอย่างงานระขะทาบ 24D หลังการทดสอบ

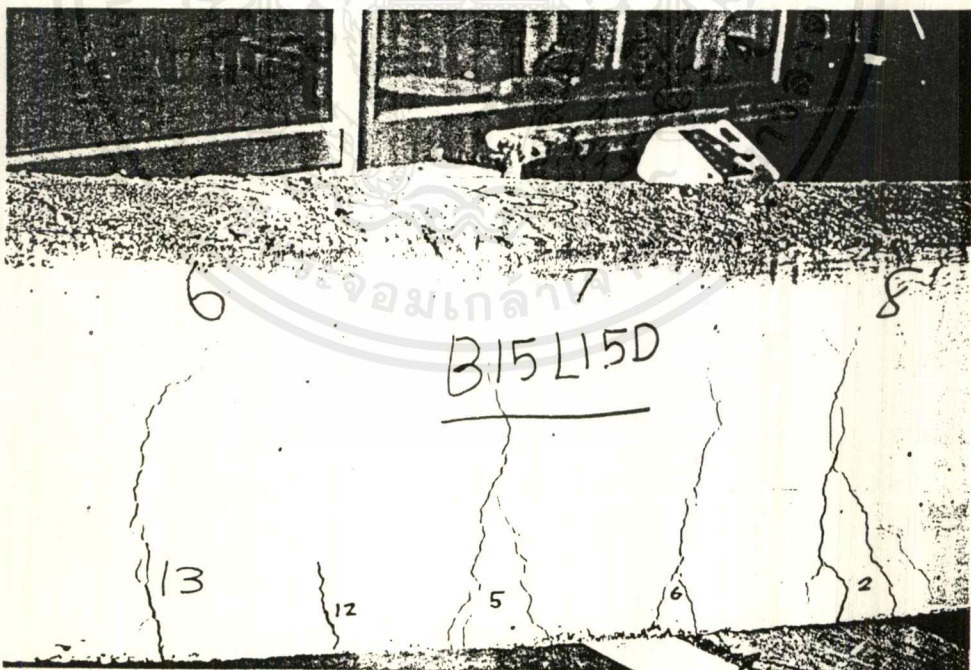


ภาพที่ 14 แสดง ตัวอย่างงานระขะทาบ 48D หลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

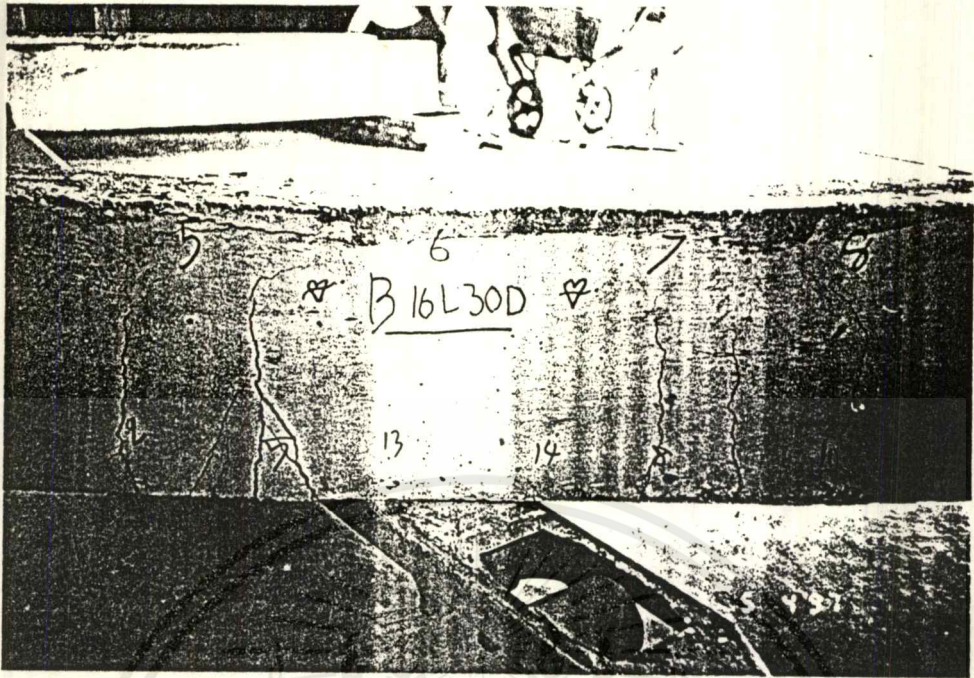


ภาพที่ 15 แสดง ตัวอย่างงานระยะทาบ 24D เพิ่มปลอกหลังการทดสอบ



ภาพที่ 16 แสดง ตัวอย่างงานระยะทาบ 15D หลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

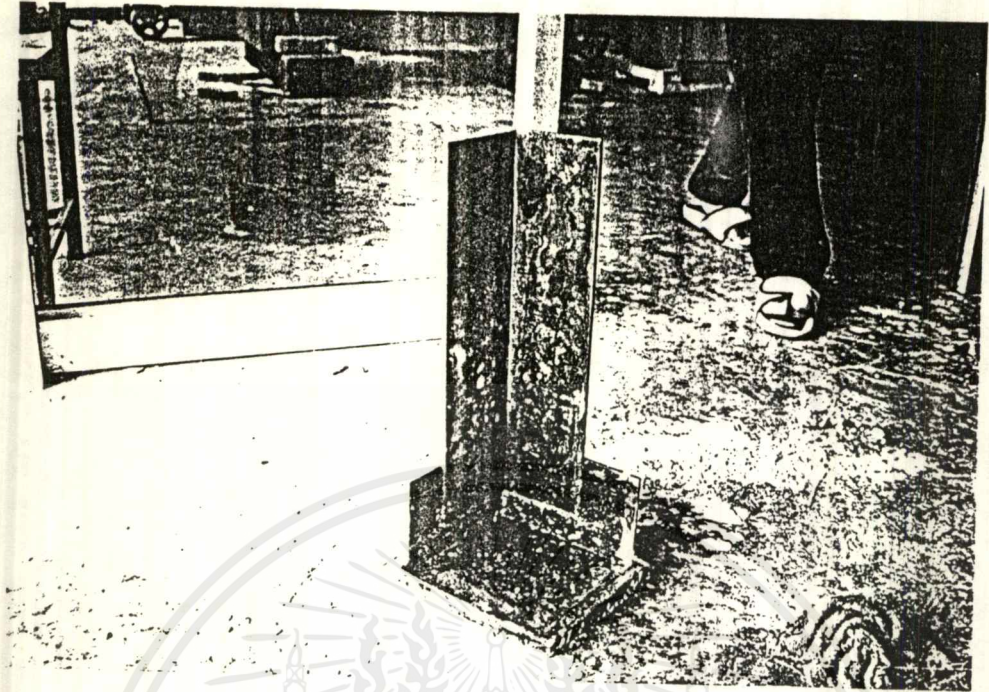


ภาพที่ 17 แสดง ตัวอย่างภาพระยะทาง 30D หลังการทดสอบ

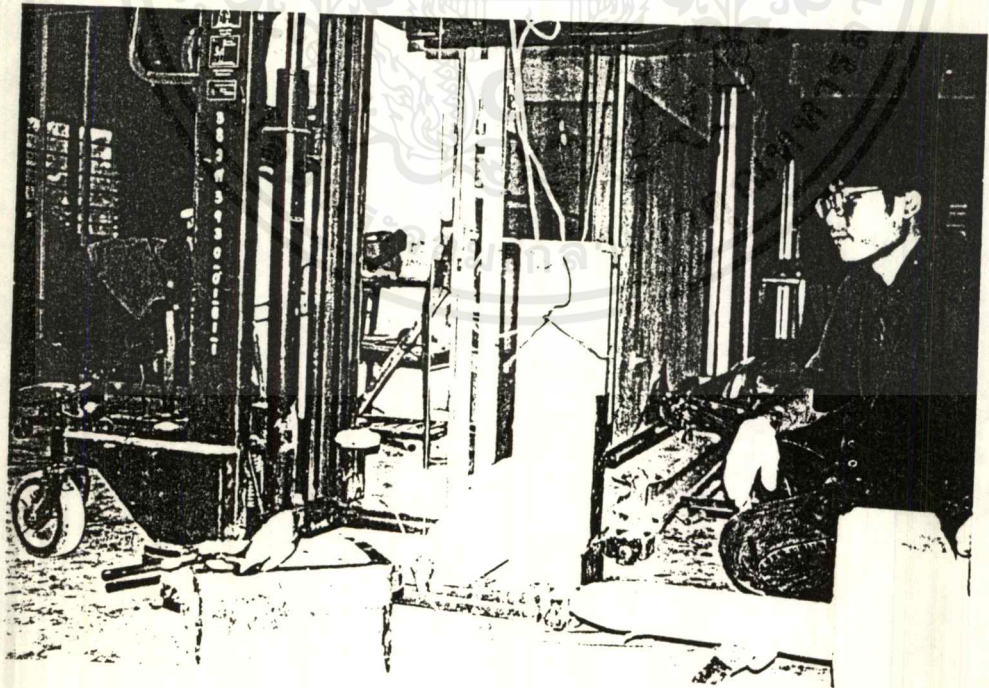


ภาพที่ 18 แสดง ตัวอย่างของเหล็กต่อทาบหลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

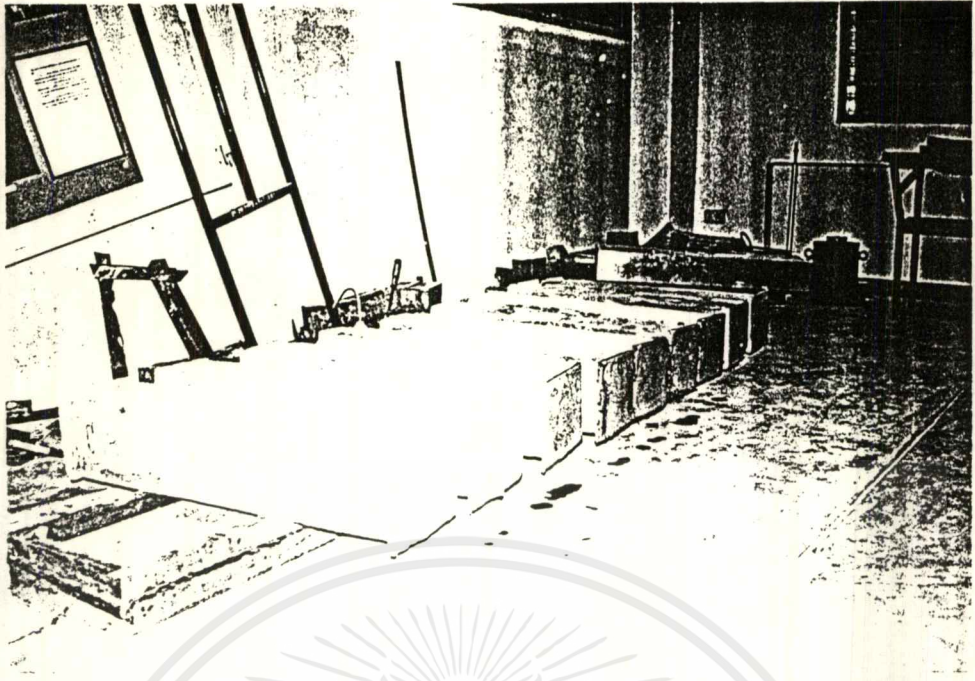


ภาพที่ 19 แสดง ชุดเครื่องมือ Cap หัวเสา

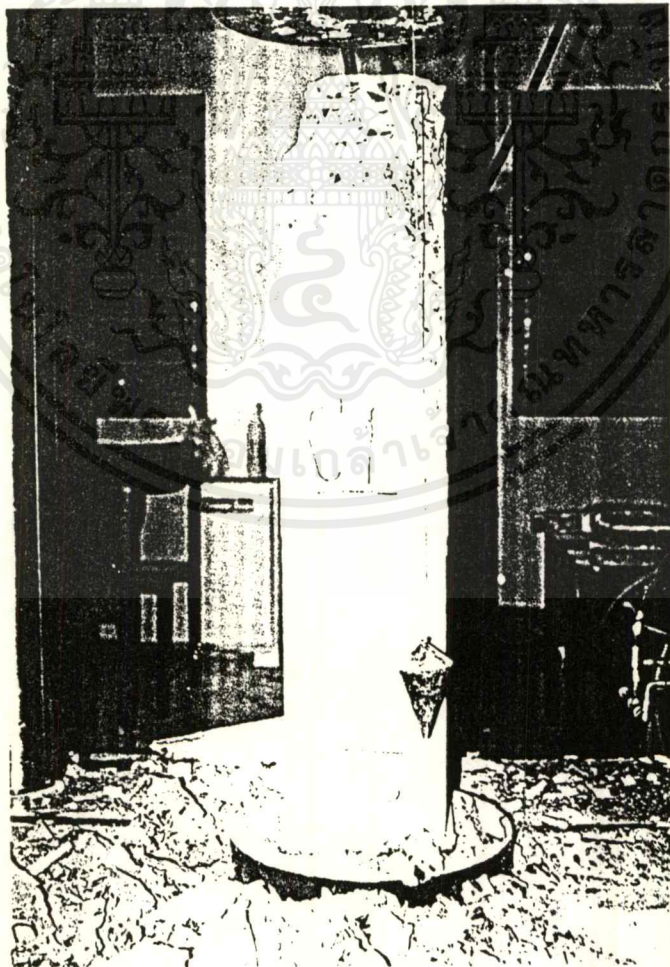


ภาพที่ 20 แสดง การ Cap หัวเสาด้วยก้ามะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 21 แสดง เสาที่มีการ Cap หัวให้ได้ฉากและราบเรียบ

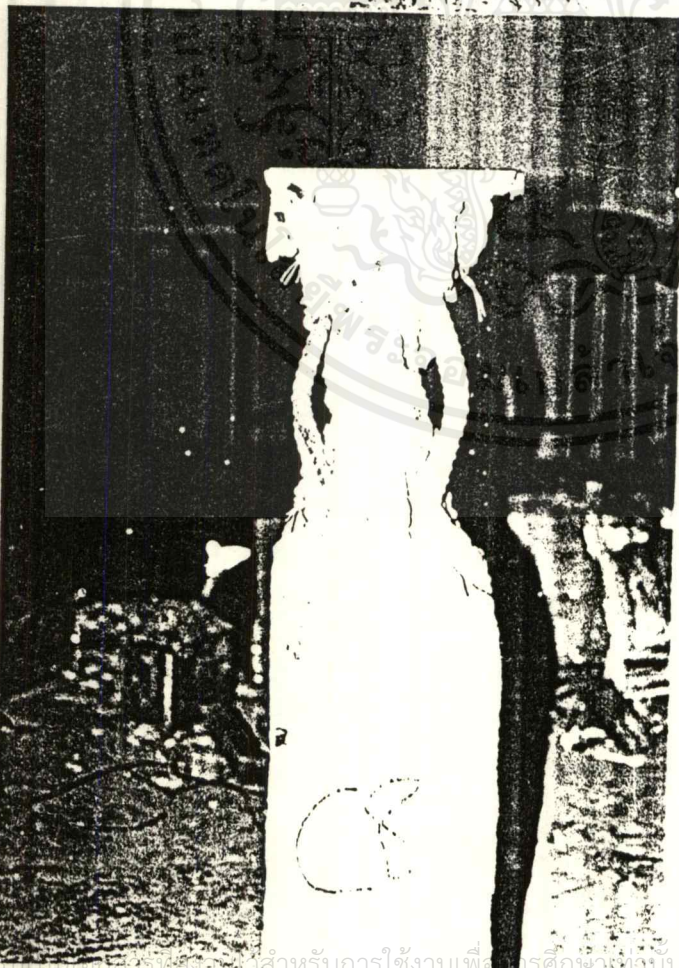
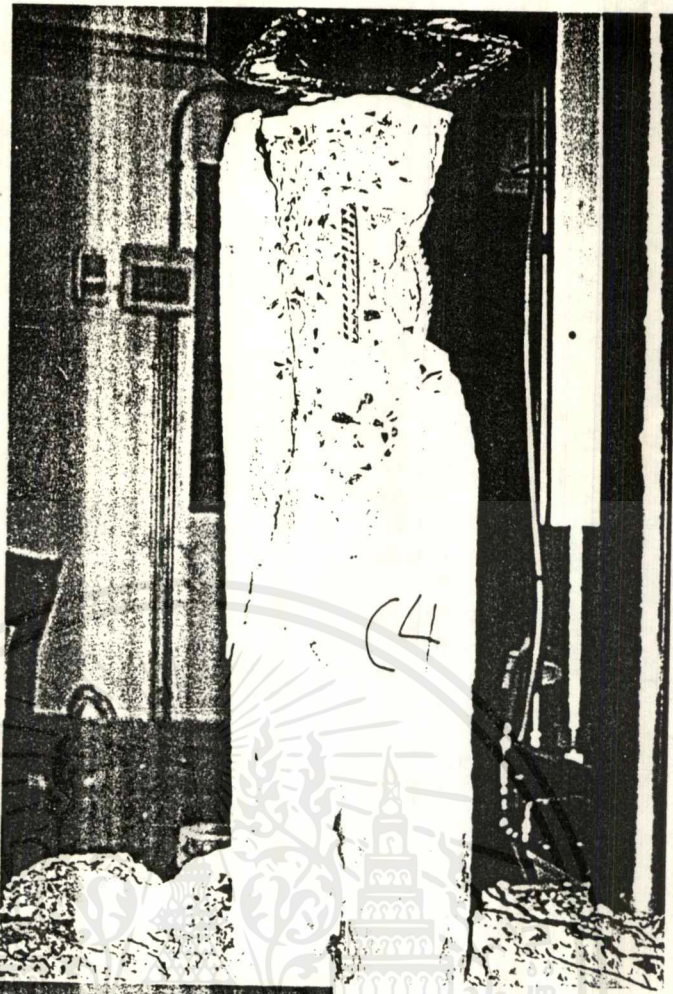


ภาพที่ 22 แสดง ตัวอย่างเสามาตรฐานหลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 23 แสดง ตัวอย่างเสามาตรฐาน

เพิ่มปลอกหลังการทดสอบ



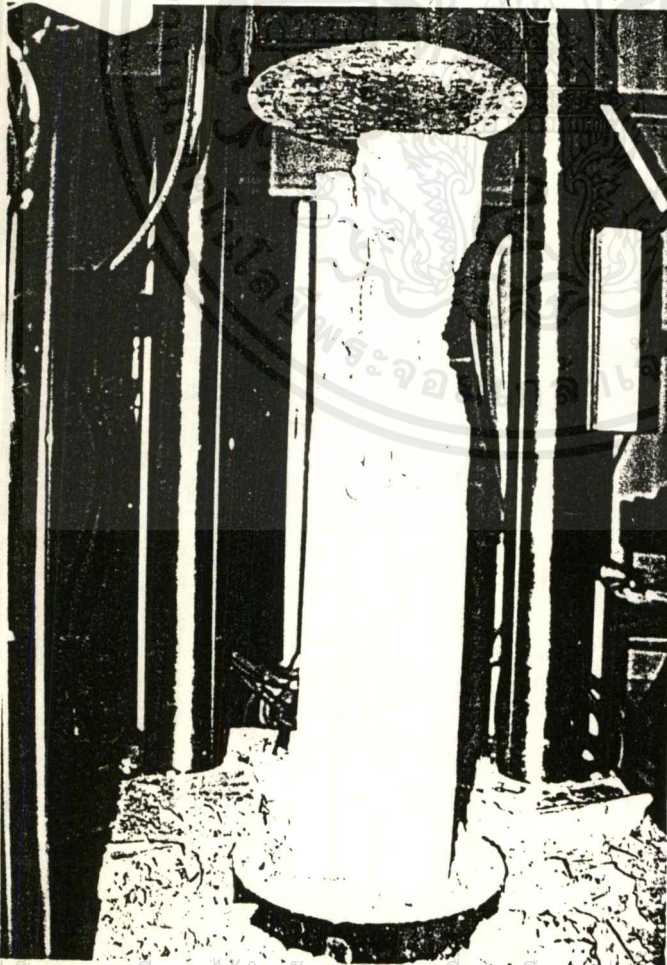
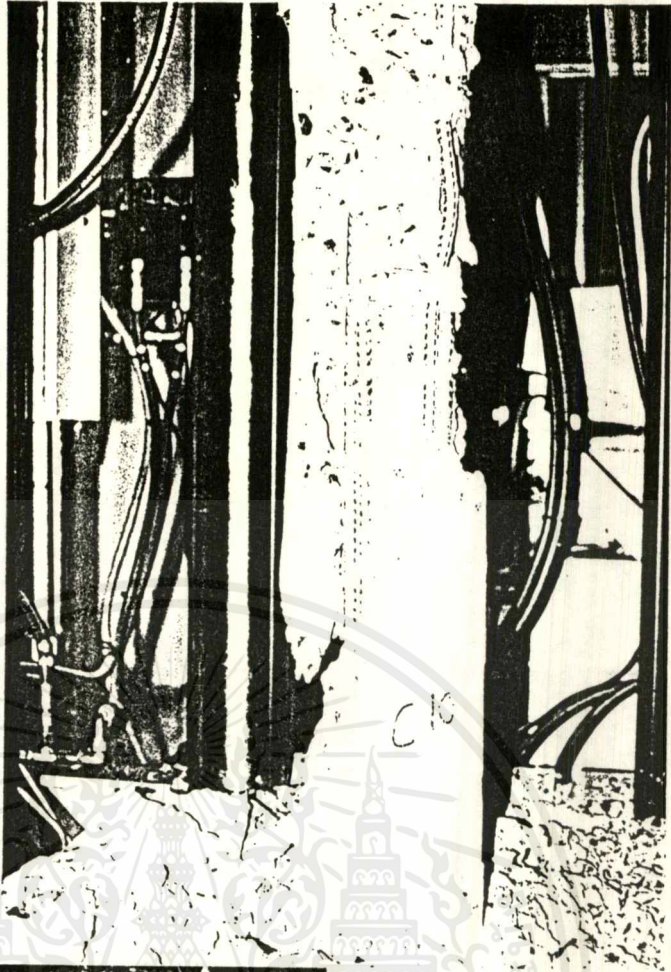
ภาพที่ 24 แสดง ตัวอย่างเสาระยะทาบ 10D

หลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 25 แสดง ตัวอย่างเสาระชะทาบ 20D

หลังการทดสอบ



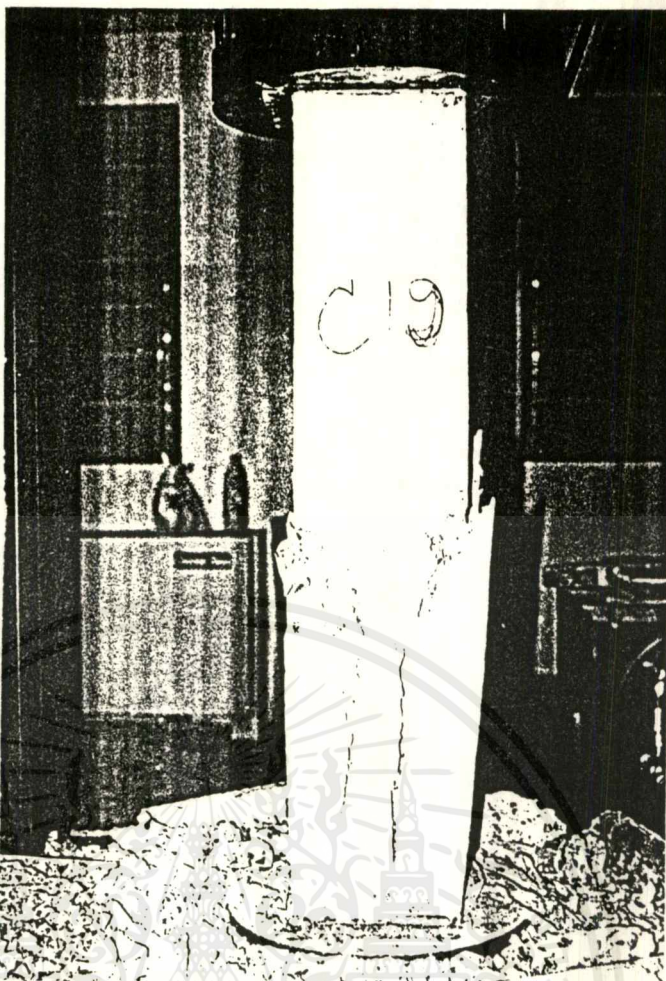
ภาพที่ 26 แสดง ตัวอย่างเสาระชะทาบ 25D

หลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 27 แสดง ตัวอย่างเสาคอนกรีตสั้น

หลังการทดสอบ



ภาพที่ 28 แสดง ตัวอย่างเสาเสริมเหล็กต่อชน

หลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร : “คอนกรีตเทคโนโลยี” พิมพ์ครั้งที่หนึ่ง 30 กรกฎาคม 2536
2. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย “มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง” พิมพ์ครั้งที่หนึ่ง ธันวาคม 2538
3. สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร : “คอนกรีตเสริมเหล็ก” พิมพ์ครั้งที่แปด พ.ศ. 2537
4. James G. Macgregor : “Reinforced Concrete Mechanics and Design” second edition
5. Phil M. Ferguson , John E. Breen , James O. Jirsa : “Reinforced Concrete Fundamentals” fifth edition , John Wiley & Sons , Inc.,1988
6. ACI JOURNAL “Stress Distribution in Reinforced Concrete Members with Tension Cracks” : May-June 1996
7. ACI JOURNAL “Lapped Splices for High Strength Reinforcing Bar” : September 1965
8. ACI JOURNAL “Mechanics of Bond and Slip of Deformed Bar in Concrete” : November 1967
9. ACI JOURNAL “Lapped Spliced in Reinforced Concrete Beams” : October 1955
10. ACI JOURNAL “Study of Bond Stress-Slip Relationship in Reinforced Concrete” : January 1979.
11. ACI JOURNAL “Lapped Spliced for High Strength Reinforcing Bars” : September 1965