

การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองโครงสร้าง
บันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

STRUCTURAL MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY
SYMMETRICAL FREE-STANDING STAIRS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-093-120

การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองโครงสร้าง
บันไดชนพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

STRUCTURAL MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY
SYMMETRICAL FREE-STANDING STAIRS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMITL-2016-EN-M-093-120

STRUCTURAL MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY
SYMMETRICAL FREE-STANDING STAIRS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-093-120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

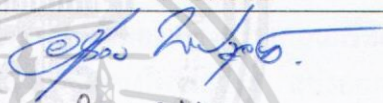
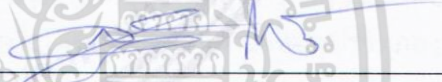
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

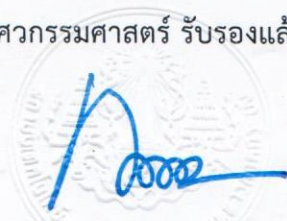
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น
Thesis Title Structural Modeling and Analysis of 2 Story Symmetrical Free-Standing Stairs
นักศึกษา นายสุรชาติ อินแสง
รหัสประจำตัว 54613011
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-093-120

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.อำนาจ	พานิชกุลพงศ์	
รศ.เอนก	ศิริพานิชกร	
ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
รศ.สุวัฒน์	ธีรเศรษฐ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพุธที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 5

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น
นักศึกษา	นายสุรชาติ อินแสง
รหัสประจำตัว	54613011
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.สุวัฒน์ ธิระเศษฐ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ และสร้างแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น มาตรฐานย่อ 1 : 2 ภายใต้ได้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน 300 กก./ตร.ม. น้ำหนักวัสดุปูผิว 120 กก./ตร.ม. ศึกษาพฤติกรรมจริงของโครงสร้างบันไดทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานจนถึงการวิบัติของโครงสร้าง ซึ่งการย่อส่วนแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างใช้หลักการคล้ายคลึงทางโครงสร้าง แบ่งออกเป็นความคล้ายคลึงทางคุณสมบัติของวัสดุ ประกอบด้วย การย่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบในคอนกรีตและย่อขนาดของเหล็กเสริม โดยค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน และหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัดที่จุดครากของเหล็กเสริมไม่เปลี่ยนแปลง ความคล้ายคลึงของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างบันไดทดสอบ ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร วางน้ำหนักบรรทุกจนถึงขั้นการวิบัติของโครงสร้างบันไดทดสอบ นำผลการทดลองที่ได้ เช่น หน่วยแรงในเหล็กเสริม หน่วยแรงในคอนกรีต เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ นำผลการทดลองไปวิเคราะห์การวิบัติของโครงสร้างเนื่องจากโมเมนต์ดัดหลัก(M_x) วิเคราะห์การวิบัติของโครงสร้างเนื่องจากแรงบิด(M_t) วิเคราะห์ผลจากค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพักบันได (H) และค่าโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางชานพักบันได(M_0) จากนั้นสรุปสาเหตุของการวิบัติของบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น สนับสนุนผลการวิเคราะห์ และออกแบบเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น สำหรับวิศวกรโครงสร้างต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Structural Modeling and Analysis of 2 Story Symmetrical Free-Standing Stairs
Student	Mr. Surachart Insaeng
Student ID.	54613011
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Suwat Tiraset

ABSTRACT

The research presents analysis and physical model of 2 story symmetrical of free-standing stairs by scale factor 1:2. Using live load of 300 kg/m^2 and floor finish load of 50 kg/m^2 . The actual of behavior of the structure under load test until the failure of the structure had been investigated. The modeling of the concrete structure and the load on a structure using the law of similitude i.e. the similitude of material property e.g. modeling of the coarse aggregate and reinforcing an while keeping the compressive strength of concrete (f_c') and tensile yield strength of steel reinforcement (f_y) unchanged. The simulation of load case on the structure such as dead load and live load was carried out. Load test until the failure was introduced and detected the stresses in reinforcing steel and strain in concrete in order to compare with the results from the analysis with finite element method. Analysis of structural failure was caused by vertical bending moment (M_v), torsion (M_t), horizontal restraint force (H) and restraint moment (M_0) at mid section of the landing. The conclusion of the cause of failure of the structure was also presented and used to make the references and guideline to design for structural engineers in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือ จาก รศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ และ นายนิภูพล วัฒนมันคง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และที่ปรึกษาร่วม ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการทำงานแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านทั้งสอง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าพร้อมทั้งได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณบริษัทน้ำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด ที่ช่วยเหลืออนุเคราะห์คอนกรีตผสมเสร็จ ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอย่างดีตลอดมา และยังให้การสนับสนุน ทั้งกำลังทรัพย์ที่เป็นค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ พร้อมกับมอบกำลังใจที่ดี เมื่อยามท้อ และเหน็ดเหนื่อย จนทำให้การทำงานสำเร็จไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง

สุรชาติ อินแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อ|||อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	4
2.1 บทนำ.....	5
2.2 การวิเคราะห์มิติเชิงหน่วย.....	5
2.2.1 วิธีการวิเคราะห์เชิงหน่วยของ Rayleigh.....	5
2.2.2 ทฤษฎี ของ Buckingham.....	6
2.3 กฎความคล้ายคลึง(Law of Similitude).....	7
2.3.1 ความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต(Geometric Similitude).....	7
2.3.2 ความคล้ายคลึงทางคุณสมบัติทางกล(Mechanical Similitude).....	8
2.3.3 ความคล้ายคลึงเชิงพลศาสตร์(Kinematic Similitude).....	8
2.4 ความถูกต้อง การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองโครงสร้าง.....	9
2.4.1 ความถูกต้องในกระบวนการสร้างแบบจำลอง และมิติต่าง ๆ(Dimensional and Fabrication Accuracy).....	9
2.4.2 ความถูกต้องในคุณสมบัติของวัสดุ(Accuracy-related Material Properties).....	9
2.4.3 ความถูกต้องในกระบวนการทดสอบ(Accuracy in Testing and Taking measurements).....	10
2.4.4 ความถูกต้องในกระบวนการวิเคราะห์ผล(Accuracy in interpretation of test Results).....	10

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 คุณสมบัติของคอนกรีต	10
2.5.1 กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต(Compressive Strength)	10
2.5.2 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต(Modulus of Elasticity)	10
2.5.3 กำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต(Tensile Strength)	11
2.5.4 กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต(Shear)	11
2.5.5 กำลังต้านทานแรงบิดของคอนกรีต(Torsional)	12
2.5.6 การออกแบบกำลังต้านทานโมเมนต์ดัด	13
2.6 น้ำหนักบรรทุก ความเค้น และความเครียด	14
2.6.1 น้ำหนักบรรทุก หรือแรงกระทำภายนอก(External Loads)	14
2.6.2 แรงภายใน(Internal Forces)	15
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain) ในเหล็กเสริม	18
2.7.1 โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	19
2.7.2 พลังงานความเครียดภายใต้แรงดึง (Strain Energy in Tension)	19
2.7.3 การวัดค่าความเครียด(Strain Measurement)	21
2.7.4 ขั้นตอนในการใช้เครื่องมือวัดความเครียด(Strain Measurement Method)	22
2.8 การวิเคราะห์บันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น	22
2.8.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลังงานความเครียด(Strain Energy Method)	22
2.8.2 การวิเคราะห์ค่าแรงกระทำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	23
2.9 การวิเคราะห์แรงในแนวราบที่กึ่งกลางของชานพักบันได(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพักบันได(M ₀)	25
2.9.1 การวิเคราะห์แรงในแนวราบที่กึ่งกลางของชานพักบันได(H)	25
2.9.2 การวิเคราะห์โมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพักบันได(M ₀)	26
2.9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวราบที่กึ่งกลางของชานพักบันได(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพักบันได(M ₀)	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 ศึกษาแบบโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น	28
3.2 แบบและวิธีการจำลองโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น	29
3.2.1 การย่อส่วนตัวโครงสร้างบันไดทดสอบ	29

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัว บนเหล็กเสริม	41
3.3.1 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัวเหล็กเสริมหลัก บริเวณชั้นบันได	41
3.3.2 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัวเหล็กเสริมทางขวาง บริเวณชานพัก	42
3.3.3 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัวบนผิวคอนกรีต บริเวณชานพัก	42
3.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	43
3.4.1 คอนกรีต	43
3.4.2 เหล็กเสริม	43
3.5 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองบันได และวิธีการทดสอบ	44
3.5.1 การสร้างจตุรองรับ(Support) บันไดทดสอบ	44
3.5.2 งานไม้แบบบันไดทดสอบ(Form Work)	47
3.5.3 งานเหล็กเสริมบันไดทดสอบ(Reinforcement)	48
3.5.4 การติดตั้ง Strain Gauges บริเวณเหล็กเสริม	49
3.5.5 งานคอนกรีตบันไดทดสอบ	50
3.5.6 งานบ่มคอนกรีตบันไดทดสอบ	51
3.5.7 การติดตั้ง Strain Gauges บริเวณผิวคอนกรีตชานพักบันไดทดสอบ	52
3.5.8 การติดตั้ง Dial Gauge บริเวณชานพักบันไดทดสอบ	53
3.5.9 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานของบันไดทดสอบ	55
3.5.10 วิธีการทดสอบบันได	55
3.5.11 การบันทึกข้อมูลระหว่างการทดสอบบันได	58
3.6 การเก็บข้อมูลหลังการทดสอบบันได	59
3.6.1 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบันไดทดสอบ	59
3.6.2 กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต โดยการเจาะ(Coring)	63
3.6.3 ลักษณะภายในคอนกรีตบันไดทดสอบ	64
3.6.4 การเก็บตัวอย่างเหล็กเสริม	68
3.6.5 การทดสอบแรงดึง(Tensile Strength) ในเหล็กเสริม	70
3.6.6 กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต	75
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	79
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่ายืด-หดตัว ในเหล็กเสริม	79
4.1.1 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมหลัก	79
4.1.2 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กกุกตั้ง	83

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.3 ค่ายึด-หัดตัว ในคอนกรีต.....	86
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าหน่วยแรงเหล็กเสริม.....	89
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าหน่วยแรงคอนกรีต.....	96
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันได.....	100
4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์บิดบริเวณชานพัก.....	104
4.6 ผลการวิเคราะห์แรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพักบันได(H) และโมเมนต์ดัดที่ กึ่งกลางชานพักบันได(M0).....	107
4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง(Displacement) ของโครงสร้าง.....	108
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	118
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	118
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	119
เอกสารอ้างอิง.....	120
ภาคผนวก.....	122
ภาคผนวก ก. รายการคำนวณผลการวิเคราะห์ และออกแบบ.....	123
ภาคผนวก ข. เอกสารขออนุญาตวิเคราะห์ใช้สถานที่ทดสอบ และการทดสอบวัสดุ.....	130
ภาคผนวก ค. บทความงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่.....	146
ประวัติผู้เขียน.....	154

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มิติปริมาณต่างๆ	5
2.2 มาตรฐานย่อยในคอนกรีตเสริมเหล็ก	9
3.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ(Ready Mixed Concrete) เมื่ออายุครบ 28 วัน	43
3.2 กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมบันไดทดสอบ	44
3.3 แสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ บริเวณชั้นบันได	57
3.4 แสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ บริเวณชานพัก	57
3.5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากการ Coring	64
4.1 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง	79
4.2 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน	80
4.3 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง	81
4.4 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน	82
4.5 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมทางขวางบริเวณชานพัก 1 ล่าง	83
4.6 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมทางขวางบริเวณชานพัก 1 บน	84
4.7 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมทางขวางบริเวณชานพัก 2	85
4.8 ค่ายืด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 1 ล่าง	86
4.9 ค่ายืด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 1 บน	87
4.10 ค่ายืด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 2	88
4.11 ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุดบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง	89
4.12 ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน	90
4.13 ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง	91
4.14 ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุดบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน	92
4.15 ค่าหน่วยแรงในเหล็กลูกตั้งในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 1 ล่าง	93
4.16 ค่าหน่วยแรงในเหล็กลูกตั้งในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 1 บน	94
4.17 ค่าหน่วยแรงในเหล็กลูกตั้งในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 2	95
4.18 ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง	96
4.19 ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน	97
4.20 ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง	98
4.21 ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน	99
4.22 ค่าโมเมนต์ดัดหลักในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง	100
4.23 ค่าโมเมนต์ดัดหลักในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน	101

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.24 ค่าโมเมนต์ดัดหลักในช่วงของน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง.....	102
4.25 ค่าโมเมนต์ดัดหลักในช่วงของน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน.....	103
4.26 ค่าโมเมนต์บิดในช่วงของน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 1 ล่าง.....	104
4.27 ค่าโมเมนต์บิดในช่วงของน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 1 บน.....	105
4.28 ค่าโมเมนต์บิดในช่วงของน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 2.....	106
4.29 ตารางเปรียบเทียบค่าจากทฤษฎี และการทดลอง บริเวณชานพัก 2.....	108
4.30 ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 1 ล่าง.....	108
4.31 ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 1 บน.....	109
4.32 ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 2.....	110
4.33 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้าง บริเวณชานพัก 1 ล่าง.....	111
4.34 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้าง บริเวณชานพัก 1 บน.....	112
4.35 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้าง บริเวณชานพัก 2.....	113
4.36 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งน้ำหนักรบรรทุก 1DL+1LL ชานพัก 1 ล่าง.....	114
4.37 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งน้ำหนักรบรรทุก 1DL+1LL ชานพัก 1 บน.....	115
4.38 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งน้ำหนักรบรรทุก 1DL+1LL ชานพัก 2.....	116

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจริง(Prototype) กับโครงสร้างย่อส่วน(Model)..... 7
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตกำลังต่ำปานกลาง สูง..... 11
2.3	การวิบัติของคานเนื่องจากแรงเฉือน..... 12
2.4	การกระจายของหน่วยแรง และแรงภายในหน้าตัด 13
2.5	สถานะของหน่วยแรงที่จุดใดจุดหนึ่งในชิ้นส่วนโครงสร้าง 3 มิติ 15
2.6	สถานะของหน่วยแรงระนาบที่จุดใดจุดหนึ่ง 16
2.7	ความเครียดตั้งฉาก 17
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด..... 18
2.9	การใส่แรง และปลดแรงในช่วงยึดหยุน 19
2.10	งานที่ทำในการดึงท่อนวัสดุให้ยืดออก 19
2.11	การลด และเพิ่มแรงดึงในวัสดุทำให้แรงเค้นคลากเพิ่มขึ้น..... 21
2.12	โครงสร้างเกจวัดความเครียด(Line Gage) 21
2.13	ลักษณะโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น แบบโครงข้อแข็ง 3 มิติ 22
2.14	ลักษณะการวิเคราะห์โครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น..... 23
2.15	ตำแหน่งของแรงในแนวราบที่กึ่งกลางของชานพักบันได(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลาง ของชานพักบันได(M0) บริเวณชานพัก 2 26
2.16	แรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพัก(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพัก(M0) 27
3.1	แบบโครงสร้างจริง(Prototype)..... 28
3.2	รายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างจริง(Prototype)..... 29
3.3	รูปด้านแบบจำลอง(Model)..... 30
3.4	เหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model) ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 31
3.5	เหล็กเสริมทางขวางแบบจำลอง(Model) ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 32
3.6	การแปลงหน้าตัดชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 (ก) โครงสร้างจริง, (ข) แบบจำลอง 32
3.7	เหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model) ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 33
3.8	เหล็กเสริมทางขวางแบบจำลอง(Model) ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2..... 34
3.9	การแปลงหน้าตัดชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 34
3.10	เหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model) ชานพัก 1..... 35
3.11	เหล็กเสริมทางขวางแบบจำลอง(Model) ชานพัก 1..... 35
3.12	การแปลงหน้าตัดชานพัก 1..... 36
3.13	เหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model) ชานพัก 2..... 37
3.14	เหล็กเสริมทางขวางแบบจำลอง(Model) ชานพัก 2..... 37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15	การแปลงหน้าตัดชานพัก 2 (ก) โครงสร้างจริง, (ข) แบบจำลอง..... 37
3.16	รายละเอียดเหล็กเสริมแบบจำลอง(Model)..... 38
3.17	เหล็กเสริมพิเศษแบบจำลอง(Model) ชานพัก 1 39
3.18	เหล็กเสริมพิเศษแบบจำลอง(Model) ชานพัก 2..... 40
3.19	เหล็กเสริมพิเศษแบบจำลอง(Model)..... 40
3.20	ตำแหน่งติดตั้ง Strain gauges ในเหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model)..... 41
3.21	ตำแหน่งติดตั้ง Strain gauges ในเหล็กเสริมทางขวาง 42
3.22	ตำแหน่งติดตั้ง Strain gauge บนผิวคอนกรีต 42
3.23	ทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) ในเหล็กเสริม โดยเครื่องทดสอบครอบคลุมจักรวาล (Universal Testing Machine) 43
3.24	แบบแปลนโครงสร้างบันไดทดสอบ 44
3.25	แบบแสดงรายละเอียด จุตรองรับบน(Upper Support)..... 45
3.26	ลักษณะการสร้างจุตรองรับบน(Upper Support) 45
3.27	แบบรายละเอียด จุตรองรับล่าง(Lower Support)..... 46
3.28	ลักษณะการสร้างจุตรองรับล่าง(Lower Support) 46
3.29	ลักษณะโครงสร้างค้ำยัน และไม้แบบ(Form Work)..... 47
3.30	ลักษณะงานไม้แบบบันไดทดสอบ 47
3.31	การดัดเหล็กเสริมบันไดทดสอบ ด้วยเครื่องดัดเหล็ก(Bar Bending)..... 48
3.32	ลักษณะการปิดแบบข้าง เพื่อเตรียมการเทคอนกรีตบันไดทดสอบ 48
3.33	ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauges ตำแหน่งเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง..... 49
3.34	ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauges ตำแหน่งเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง..... 49
3.35	งานเทคอนกรีตบันไดทดสอบ โดยใช้คอนกรีตผสมเสร็จ(Ready Mix)..... 50
3.36	ลักษณะการเทคอนกรีตของบันไดทดสอบ..... 50
3.37	ลักษณะการบ่มคอนกรีตโดยใช้กระสอบป่านฉีดพรมน้ำให้ชุ่ม 51
3.38	ลักษณะการบ่มคอนกรีตโดยการฉีดพรมน้ำให้ชุ่ม ของบันไดทดสอบ..... 51
3.39	การแกะแบบข้างของบันไดทดสอบ..... 52
3.40	ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauges บริเวณผิวคอนกรีตของบันไดทดสอบ..... 52
3.41	ติดตั้งโครงสร้างเหล็กกรอบบันไดทดสอบเพื่อติดตั้ง Dial Gauge 53
3.42	ติดตั้งแผ่นกระจกหนา 4 มิลลิเมตร บริเวณชานพักก่อนการติดตั้ง Dial Gauge..... 53
3.43	ติดตั้ง Dial Gauge บริเวณมุมด้านล่างของชานพักบันไดทดสอบ จำนวน 4 จุด..... 54
3.44	ติดตั้ง Dial Gauge บริเวณขอบด้านข้างชานพัก 1 จุด..... 54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.45	กระสอบบรรจุทรายน้ำหนัก 10 กก. ต่อ ถุง..... 55
3.46	ลักษณะการวางบรรจุทุกแบบแผ่กระจายทั่วบริเวณบันไดทดสอบ..... 58
3.47	การรวมสายวัดค่ายึด-หดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม..... 58
3.48	การติดตั้ง Data Logger เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูลผลการทดสอบบันได... 59
3.49	ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง เมื่อทดสอบวางน้ำหนัก บรรจุทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง..... 59
3.50	ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน เมื่อทดสอบวางน้ำหนัก บรรจุทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง..... 60
3.51	ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันได 2-2 ล่าง เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรจุ ถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง..... 60
3.52	ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน เมื่อทดสอบวางน้ำหนัก บรรจุทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง..... 61
3.53	ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชันพัก 1 ล่าง เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรจุทุกถึง จุดวิบัติของโครงสร้าง..... 61
3.54	ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชันพัก 1 บน เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรจุทุกถึง จุดวิบัติของโครงสร้าง..... 62
3.55	ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชันพัก 2 เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรจุทุกถึงจุด วิบัติของโครงสร้าง..... 62
3.56	ลักษณะการเจาะ(Coring) เพื่อเก็บตัวอย่างลูกปูนคอนกรีตบันไดทดสอบ..... 63
3.57	ลักษณะการเคลือบ(Capping) ผิวหน้าของตัวอย่าง เพื่อทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต.... 63
3.58	ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง เมื่อ ทดสอบถึงจุดวิบัติ(Failure)..... 64
3.59	ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน เมื่อทดสอบ ถึงจุดวิบัติ(Failure)..... 65
3.60	ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง เมื่อ ทดสอบถึงจุดวิบัติ(Failure)..... 65
3.61	ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน เมื่อทดสอบ ถึงจุดวิบัติ(Failure)..... 66
3.62	ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชันพัก 1 ล่าง เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure)..... 66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.63 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 2 เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure).....	67
3.64 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 1 บน เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure).....	67
3.65 การรื้อถอนบันไดทดสอบ และเก็บตัวอย่างเหล็กเสริม เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength).....	68
3.66 การบันทึกหมายเลขของเหล็กเสริมในแต่ละตำแหน่งของบันไดทดสอบ เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength).....	68
3.67 ตำแหน่งเก็บเหล็กเสริมตัวอย่าง บริเวณชั้นบันได.....	69
3.68 ตำแหน่งเก็บเหล็กเสริมตัวอย่าง บริเวณชานพัก.....	69
3.69 ทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) ในเหล็กเสริม และหาระยะยืดตัว(Strain) ของเหล็กเสริมของบันไดทดสอบ โดยใช้เกจวัดการยืดตัวของเหล็ก (Extensometer).....	70
3.70 การวัดค่ายืดตัวในเหล็กเสริมบันไดทดสอบ หลังจากทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure).....	70
3.71 ลักษณะการขาดของเหล็กเสริมบันไดทดสอบ จากการทดสอบแรงดึง.....	71
3.72 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 บน ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง.....	71
3.73 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 ล่าง ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง.....	72
3.74 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 บน ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน.....	72
3.75 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 ล่าง ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน.....	73
3.76 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 บน ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง.....	73
3.77 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB12 ล่าง ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง.....	74
3.78 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 บน ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน.....	74
3.79 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB12 ล่าง ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน.....	75

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.80 แบ่งภูมิภาคส่วนผสมของคอนกรีตจำนวน 3 ประเภทส่วนผสม.....	76
3.81 วิธีการบ่มลูกปูนด้วยการแช่ในน้ำ (บ่มน้ำ 100%)	76
3.82 วิธีการบ่มลูกปูนด้วยกระสอบป่าน	77
3.83 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต(กก./ตร.ซม.)- ตัวอย่างลูกปูน ในแต่ละกรณีของการทดสอบ	78
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริม หลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ช่วง A'-B'	80
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริม หลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ช่วง A-B.....	81
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริม หลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่างช่วง D'-F'	82
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริม หลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2บน ช่วง D-F.....	83
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กคูกตั้ง บริเวณแกนพัก 1 ล่างช่วง D'-B'	84
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริม ปลอกบริเวณแกนพัก 1 บนช่วง D-B.....	85
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริม ปลอกบริเวณแกนพัก 2 ช่วง F-F'	86
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของคอนกรีต บริเวณแกนพัก 1 ล่าง ช่วง D'-B'	87
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของคอนกรีต บริเวณแกนพัก 1 บน ช่วง D-B.....	88
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของคอนกรีต บริเวณแกนพัก 2 ช่วง F-F'	89
4.11 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่างช่วง A'-B' ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนอิติเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	90
4.12 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บนช่วง A-Bระหว่าง การทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนอิติเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนัก บรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	91

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่างช่วง D'-F' ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	92
4.14 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บนช่วง D-Fระหว่าง การทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนัก บรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	93
4.15 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงในเหล็กดัดตั้ง ชานพัก 1 ล่าง ช่วง D'-B'ตามแนวแกน X ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	94
4.16 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กดัดตั้ง ชานพัก 1บน ช่วง D-Bตามแนวแกน X ระหว่าง การทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนัก บรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	95
4.17 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กดัดตั้ง ชานพัก 2 ช่วง F-F'ตามแนวแกน X ระหว่าง การทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนัก บรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	96
4.18 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงคอนกรีตชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ช่วง A'-B'ตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	97
4.19 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงคอนกรีตชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ช่วง A-Bตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	98
4.20 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงคอนกรีต ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ช่วง F'-D'ตาม แนวแกน Z ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียด ในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	99
4.21 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงในคอนกรีตชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ช่วง F-Dตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	100
4.22 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ช่วง A'-B'ตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟไนติเม้นต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	101

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดหลักชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ช่วง A-Bตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟในอิลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	102
4.24 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดหลักชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ช่วง F'-D'ตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟในอิลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	103
4.25 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดหลักชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ช่วง F-Dตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟในอิลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วง น้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	104
4.26 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์บิดแกนพัก 1 ล่าง ช่วง D'-B'ตามแนวแกน X ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟในอิลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	105
4.27 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์บิดแกนพัก 1 บน ช่วง D-Bตามแนวแกน X ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟในอิลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate).....	106
4.28 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์บิดแกนพัก 2 ช่วง F-F'ตามแนวแกน X ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟในอิลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate).....	107
4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวตั้งของ โครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณแกนพัก 1 ล่าง.....	109
4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวตั้งของ โครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณแกนพัก 1 บน.....	110
4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวตั้งของ โครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณแกนพัก 2.....	111
4.32 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัว แนวราบของโครงสร้างบริเวณแกนพัก 1 ล่าง.....	112
4.33 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัว แนวราบของโครงสร้างบริเวณแกนพัก 1 บน.....	113
4.3 4 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัว แนวราบของโครงสร้างบริเวณแกนพัก 2.....	114

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 กราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 ล่าง ระหว่างการทดลอง กับวิธีไฟไนอิติเมนต์ในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL.....	115
4.36 กราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 บน ระหว่างการทดลอง กับวิธีไฟไนอิติเมนต์ในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL.....	116
4.37 กราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 2 ระหว่างการทดลอง กับวิธีไฟไนอิติเมนต์ในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL.....	117



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

บันไดเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอาคารทั่ว ๆ ไป ใช้เป็นทางเชื่อมระหว่างชั้นซึ่งความสูงระหว่างชั้นสูงไม่มากนัก และส่วนใหญ่เป็นบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก บันไดแบ่งออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ บันไดแบบพาดช่วงกว้าง บันไดแบบพาดทางช่วงยาว บันไดยื่น บันไดเวียน และบันไดชานพักลอย

ในทางสถาปัตยกรรมบันไดชานพักลอยมีความสวยงาม และน่าดึงดูดมากกว่าบันไดประเภทอื่น ๆ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์และออกแบบบันไดชานพักลอยมีความซับซ้อนและยุ่งยากมาก ซึ่งปัจจุบันการออกแบบบันไดชานพักลอยจะมีสูตรสำเร็จในการออกแบบแต่เป็นเพียงบันไดชานพักลอย 1 ชั้น สำหรับอาคารที่ต้องการความสูงของชั้นมากกว่า เช่น บริเวณโถงชั้นล่างไม่สามารถสร้างบันไดระหว่างชั้นโดยที่ไม่มีคานรองรับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการทดลองสร้างแบบจำลองโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์และออกแบบบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 โดยสมการที่มีความซับซ้อนน้อยลง สำหรับก่อสร้างอาคารทั่วไปที่ต้องการความสูงของชั้นที่มากขึ้นได้ ทั้งนี้ยังคงความสวยงามทางด้านสถาปัตยกรรม และความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างบันไดชานพักลอยไว้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผล เช่น ค่าหน่วยแรงในคอนกรีต และเหล็กเสริม จากการทดลองกับวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ จากงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น นำค่าหน่วยแรงวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดหลัก (M_v), โมเมนต์บิด (M_t) โมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางชานพักบันได (M_0) และค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพักบันได (H_0) เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎีการวิเคราะห์ และเพื่อสนับสนุนทฤษฎีการวิเคราะห์ ออกแบบบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการการเคลื่อนตัว(Displacement) ของโครงสร้างบันไดทดสอบ กับค่าจากทฤษฎี

3. เพื่อศึกษาสาเหตุการวิบัติของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

4. เพื่อศึกษาทฤษฎีการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง(Model) คอนกรีตเสริมเหล็ก ตามหลักการความคล้ายคลึง(Law of Similitude)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พิจารณาผลการทดลอง เช่น ระยะเวลา-หัดตัวในคอนกรีต และเหล็กเสริม(Strain) หน่วยแรงในคอนกรีต และเหล็กเสริม(Stress) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน ดังนี้ น้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ตร.ม. และน้ำหนักวัสดุปูผิว 120 กก./ตร.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พิจารณาผลการเปลี่ยนตำแหน่งโครงสร้าง(Displacement) ของแบบจำลองโครงสร้างบันไดทดสอบ ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน
3. พิจารณาเฉพาะผลของน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบสถิต(Static Load) เป็นน้ำหนักบรรทุกในแนวตั้ง(Gravity Load) เท่านั้น
4. พิจารณาเฉพาะผลของน้ำหนักบรรทุกกระทำแผ่กระจายทั่วบริเวณพื้นที่บันไดทดสอบเท่านั้น
5. สร้างแบบจำลองโดยใช้คอนกรีตมวลรวมหยาบขนาดโตสุดไม่เกิน 3/8 นิ้ว ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต(f_c') เท่ากับ 320 กก./ซม.² บ่มชั้นที่อายุ 28 วัน เหล็กเสริมหลักใช้เหล็กเสริม DB16, DB12 ตามมาตรฐาน SD40 และเหล็กลูกตั้งใช้เหล็กเสริม RB6 ตามมาตรฐาน SR24
6. แบบจำลองโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น ใช้มาตราส่วนย่อ 1:2 บันไดทดสอบสูง 2.70 เมตร ช่วงพาดชั้นบันได 1.35 เมตร บันไดกว้าง 0.70 เมตร ระยะห่างช่วงพาดชั้นบันได 0.90 เมตร บันไดทำมุม 30 องศา เท่านั้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาวิจัยก่อนหน้าเรื่อง การวิเคราะห์การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น การวิเคราะห์การวิบัติของโครงสร้างเนื่องจากโมเมนต์ดัดหลัก (M_v), โมเมนต์บิด (M_t) และการออกแบบบันไดชานพักลอยอย่างง่ายด้วยการประมาณค่า ค่าโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางชานพักบันได(M_0) และ ค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพักบันได(H)
2. ศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีความคล้ายคลึงทางโครงสร้าง(Law of similitude)
3. จัดหาวัสดุ-อุปกรณ์ เช่น คอนกรีตผสมเสร็จค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 320 กก./ตร.ซม. ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบไม่เกิน 3/8 นิ้ว เหล็กเสริมหลัก DB16, DB12 ตามมาตรฐาน SD40. เหล็กลูกตั้ง RB6 ตามมาตรฐาน SR24 ใช้สร้างแบบจำลอง(Model) บันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น
4. สร้างแบบจำลอง(Model) โครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พร้อมติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเครียดในเหล็กเสริมในตำแหน่งเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดหลัก และเหล็กลูกตั้งบริเวณชานพักเพื่อหาค่าโมเมนต์บิด ก่อนการเทคอนกรีตบันไดทดสอบ ก่อนการทดสอบบันได 1 วันแกะแบบบันไดทดสอบ เพื่อติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเครียดในคอนกรีตเพื่อหาค่าโมเมนต์บิด ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง(Displacement) ของโครงสร้าง บริเวณ ชานพัก 1 บน, ชานพัก 1 ล่าง และชานพัก 2
6. ทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายทั่วบริเวณบันไดทดสอบ ทดสอบน้ำหนักบรรทุกใช้งานจนถึงจุดวิบัติของโครงสร้างบันไดทดสอบ รวบรวมผลการทดลองจากการบันทึกค่าด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น หน่วยการยืด-หดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของบันไดทดสอบ และค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง การทดสอบบันไดเมื่อบ่มบันไดครบ 28 วัน เพื่อความแข็งแรงเป็นไปตามที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. วิเคราะห์ และสรุปผลจากการทดลองโดยนำค่าหน่วยแรงในคอนกรีต และเหล็กเสริม วิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดหลัก(M_v) โมเมนต์บิด(M_t) ค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางแกนพักบันได(H) และ ค่าโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางแกนพักบันได(M_0)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงในคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ได้จากการทดลอง กับค่าหน่วยแรงในคอนกรีตและเหล็กเสริมจากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนลิเมนต์
2. สามารถเปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัว(Displacement) ของโครงสร้างบันไดทดสอบ ระหว่างการทดลองกับค่าทฤษฎีจากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนลิเมนต์
3. สามารถนำค่าหน่วยแรงจากการทดลองวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัดหลัก(M_v), โมเมนต์บิด (M_t), โมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางแกนพักบันได(M_0) และ ค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางแกนพักบันได(H) เปรียบเทียบกับทฤษฎี เพื่อสนับสนุนทฤษฎีการวิเคราะห์ และออกแบบบันไดแกนพักลอยแบบ สมมาตร 2 ชั้น เป็นแนวทางการวิเคราะห์ และออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบันไดแกนพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น โดยใช้สมการที่ซับซ้อนน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 บทนำ

บันไดชานพักลอยแบบทั่วไปมีชานพักลอยเพียง 1 ชั้นเท่านั้น การออกแบบใช้สูตรสำเร็จในการออกแบบ โดยการประมาณค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพักบันได (H_0) และค่าโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางชานพักบันได (M_0) ซึ่งเป็นสูตรคำนวณออกแบบอย่างง่าย การศึกษาและวิจัยบันไดชานพักลอยเพื่อพัฒนากำลักรับน้ำหนักบรรทุก และความเข้าใจในพฤติกรรมโครงสร้างที่แท้จริงได้รับความสนใจมานานแล้ว เช่น งานวิจัยของ Khan M. Amanat, Sohrabuddin Ahmad ทำการศึกษาแบบจำลองทางไฟไนต์อีลิเมนต์ของบันไดชานพักลอย เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีของ Cusens และ Kuang's (1965) วิธีของ Siev's (1962) และวิธีของ Sauter's (1964) เพื่อการศึกษาแนวทางสำหรับการพัฒนาการวิเคราะห์โครงสร้างอย่างง่าย และวิธีการจัดเรียงเหล็กเสริมของบันไดชานพักลอยที่ถูกต้องตามหลักการรับแรงทางโครงสร้างของบันไดชานพักลอย

งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น ได้ศึกษา วิเคราะห์และออกแบบบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น โดยใช้สูตรที่มีความซับซ้อนน้อยลงในการวิเคราะห์และออกแบบ และสร้างแบบจำลองบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้นด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างบันไดจากการรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน แต่งานวิจัยนี้ยังไม่มีข้อมูลจากการทดลองจริงมาเปรียบเทียบ และสนับสนุนแนวทางการวิเคราะห์และออกแบบ

การศึกษาและวิเคราะห์บันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้นโดยขนาดเท่ากับโครงสร้างจริง (Prototype) นั้นอาจต้องประสบปัญหาในการลงทุนค่อนข้างสูง อีกทั้งการใช้ทรัพยากรแรงงานฝีมือแรงงาน ช่าง กรรมกร และพื้นที่ในการทำงานวิจัยต้องมีพื้นที่ขนาดกว้างขวางมากพอสำหรับโครงสร้างบันไดทดสอบ การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและอุปกรณ์การวัดค่ามีความยุ่งยากมาก ดังนั้นวิธีการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น โดยวิธีการสร้างแบบจำลอง (Model) ใช้หลักความคล้ายคลึงทางคุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่ คอนกรีต เหล็กเสริมและความคล้ายคลึงของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่าย การใช้พื้นที่ในการทดสอบ และแรงงานฝีมือในการสร้างโครงสร้างบันไดทดสอบได้ เพราะโครงสร้างบันไดทดสอบที่ขนาดเล็กจะสามารถจำกัดพื้นที่ในการทดสอบให้แคบลงได้ ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยก่อนหน้าเรื่องการวิเคราะห์โครงสร้างโดยการสร้างแบบจำลอง (Model) เช่น งานวิจัยของ J.A. Knappett การสร้างแบบจำลองคาน และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อใช้ในการวิจัยด้านธรณีวิทยาโดยสร้างแบบจำลองคาน และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยมาตราส่วนย่อ 1:40 นำแบบจำลองคานและแผ่นพื้นไปศึกษาพฤติกรรมระหว่างดินกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก งานวิจัยของ Anirban De , M.ASCE and Thomas F. Zimmie ศึกษาผลกระทบจากการระเบิดของบริเวณผิวดิน มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินอย่างไร โดยการสร้างแบบจำลองโครงสร้างใต้ดิน เช่น ท่อส่งน้ำมัน อุโมงค์รถไฟใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการสร้างแบบจำลอง(Model) เพื่อศึกษา และวิเคราะห์โครงสร้างบันไดขานพักลอยแบบสมมาตร 2 เป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษา และวิเคราะห์ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่าย ได้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกับการศึกษาโครงสร้างจริง(Prototype) มากที่สุด อย่างไรก็ตามการสร้างแบบจำลองโครงสร้างบันไดขานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้นนั้นจะต้องคำนึงถึงสภาพความคล้ายคลึงกันระหว่างโครงสร้างขนาดจริง(Prototype) กับโครงสร้างแบบจำลอง(Model) ให้มากที่สุด เพื่อผลการทดสอบที่สมบูรณ์ และถูกต้อง

2.2 การวิเคราะห์มิติเชิงหน่วย

การวิเคราะห์มิติเชิงหน่วยโดยทั่วไปจะใช้ 2 วิธี ดังต่อไปนี้

2.2.1 วิธีการวิเคราะห์เชิงหน่วยของ Rayleigh

ในปี 2422 ลอร์ด Rayleigh ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์เชิงหน่วยโดยอาศัยการจัดรูปแบบของตัวแปรให้เป็นสมการชี้กำลัง(Exponential equations) ซึ่งมีมิติของตัวแปรด้านซ้ายและด้านขวาเท่ากัน ก็จะสามารถแก้สมการชี้กำลังนี้ได้

$$\text{เมื่อให้ } y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม(Dependent Variable)
 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ คือ ตัวแปรอิสระ(Independent Variable)

จัดรูปสมการ 1 ใหม่ให้เป็นสมการชี้กำลังดังนี้

$$y = Cx_1^{n_1} x_2^{n_2} x_3^{n_3} \dots x_n^{n_n} \quad (2)$$

เมื่อ C คือ สัมประสิทธิ์ไร้มิติ(Dimensionless Coefficient) เลขยกกำลัง n_1, n_2, \dots, n_n เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากการที่ค่ายกกำลังของมิติเดียวกันด้านซ้ายและด้านขวาเท่ากัน

ตารางที่ 2.1 มิติปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณ	สัญลักษณ์	มิติ (M,L,T)
ความยาว	l	L
เวลา	t	T
มวล	m	M
แรง, น้ำหนัก	F, W	MLT ⁻²
พื้นที่	A	L ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ทฤษฎี π ของ Buckingham

ในปี 2457 E.Buckingham ได้ตั้งทฤษฎี π เพื่อแก้ปัญหาในงานวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเหมาะสำหรับในกรณีที่มีจำนวนตัวแปรเท่ากับหรือมากกว่า 4 ตัวแปรขึ้นไป ถ้าพิจารณาตัวแปรทั้งหมด n ตัวแปร สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$x_1 = f_1(x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (3)$$

โดยที่ x_1 คือ ตัวแปรตาม และ x_2, x_3, \dots, x_n คือ ตัวแปรอิสระ สามารถเขียนความสัมพันธ์อีกรูปแบบหนึ่งได้คือ

$$f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0 \quad (4)$$

เมื่อนำตัวแปรต่าง ๆ ในสมการที่ 4 มาจัดรวมกลุ่มเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ จะได้จำนวน $n-m$ กลุ่ม โดยที่ m คือจำนวนตัวแปรซ้ำ(repeating variable) ซึ่งปกติจะกำหนดให้ $m = 3$ ตามจำนวนมิติหลัก (M, L, และ T) และจะได้ฟังก์ชันของกลุ่มตัวแปรไร้มิตินี้

$$\phi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-m}) \quad (5)$$

โดยที่

$$\pi_1 = x_1^{n11} x_2^{n12} x_3^{n13} x_4$$

$$\pi_2 = x_1^{n21} x_2^{n22} x_3^{n23} x_5$$

$$\pi_{n-m} = x_1^{(n-m)1} x_2^{(n-m)2} x_3^{(n-m)3} x_n$$

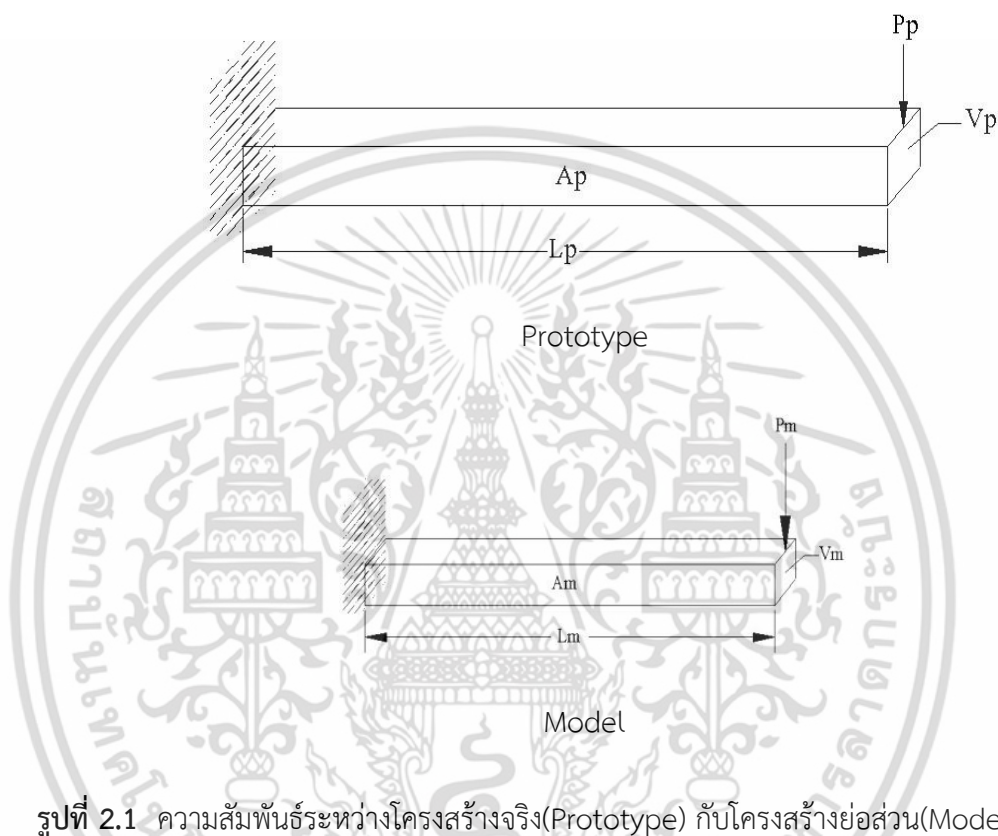
เมื่อ $n11, n12, \dots, (n-m)3$ คือ ค่าคงที่ซึ่งสามารถหาได้จากการวิเคราะห์มิติเชิงหน่วย
 X_1, X_2 และ X_3 คือ ตัวแปรซ้ำ ซึ่งมีหลักเกณฑ์ในการเลือกดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กฎความคล้ายคลึง(Law of Similitude)

2.3.1 ความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต(Geometric Similitude)

แบบจำลองทางโครงสร้างกับโครงสร้างขนาดจริง ต้องมีรูปร่าง(Shape) และอัตราส่วนของความยาวแต่ละด้านในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจริง(Prototype) กับโครงสร้างย่อส่วน(Model)

โดยที่	P_p	คือ แรง หรือน้ำหนักของโครงสร้างขนาดจริง(Prototype)
	P_m	คือ แรง หรือน้ำหนักของแบบจำลองโครงสร้าง(Model)
	L_m	คือ ความยาวของแบบจำลองโครงสร้าง(Model)
	L_p	คือ ความยาวของโครงสร้างขนาดจริง(Prototype)
	A_m	คือ พื้นที่หน้าตัดของแบบจำลองโครงสร้าง(Model)
	A_p	คือ พื้นที่หน้าตัดของโครงสร้างขนาดจริง(Prototype)
	V_m	คือ ปริมาตรของแบบจำลองโครงสร้าง(Model)
	V_p	คือ ปริมาตรของโครงสร้างขนาดจริง(Prototype)
	L_r	คือ อัตราส่วน หรือมาตราส่วนของความยาว(Scale factor : N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความยาว :

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} \quad (6)$$

อัตราส่วนพื้นที่ :

$$L_r^2 = \frac{L_m^2}{L_p^2} = \frac{A_m}{A_p} \quad (7)$$

อัตราส่วนปริมาตร :

$$L_r^3 = \frac{L_m^3}{L_p^3} = \frac{V_m}{V_p} \quad (8)$$

2.3.2 ความคล้ายคลึงทางคุณสมบัติทางกล(Mechanical Similitude)

วัสดุที่ใช้สร้างโครงสร้างย่อส่วน คอนกรีต และเหล็กเสริมต้องมีคุณสมบัติทางกลที่คล้ายคลึงกับโครงสร้างขนาดจริง(Prototype) เช่น กำลังรับแรงดึง(tensile strength) กำลังรับแรงอัด(compression strength) กำลังรับแรงเฉือน(shear) กำลังรับแรงอัด(flexure) แรงกระแทก(impact) และความทนทาน(endurance) อีลาสติกมอดุลัส(elastic modulus or modulus of elasticity,E)

คุณสมบัติทางกลจะเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของวัสดุเมื่อมีแรงมากระทำ เพราะเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก(external force) จะทำให้เกิดแรงภายใน(internal force) ต้านทานแรงกระทำภายนอกนั้น ได้แก่ ความเค้น-ความเครียด และจุดคราก(yield point) คือเป็นจุดที่ความเครียดจะเพิ่มขึ้นโดยความเค้นไม่เพิ่มขึ้น

จุดวิบัติของเหล็กเสริม ระหว่างโครงสร้างขนาดจริง(Prototype) กับโครงสร้างย่อส่วน(Model) ต้องมีค่าคล้ายคลึงกัน ดังนี้

$$\varepsilon_m = \varepsilon_p \quad (9)$$

โดยที่ ε_p คือ จุดวิบัติของเหล็กเสริมในแบบจำลองโครงสร้าง(Model)

ε_m คือ จุดวิบัติของเหล็กเสริมในโครงสร้างขนาดจริง(Prototype)

2.3.3 ความคล้ายคลึงเชิงพลศาสตร์(Kinematic Similitude)

หน่วยน้ำหนักบรรทุกทุกในแบบจำลองโครงสร้างขนาดจริง(Prototype) เช่น น้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ตร.ม น้ำหนักวัสดุปฐพี 120 กก./ตร.ม ต้องมีอัตราส่วนที่คล้ายคลึงกันกับแบบจำลองโครงสร้าง(Model)

ค่ามิติต่าง ๆ เป็นไปตามกฎการแบบจำลอง(Model) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานย่อในคอนกรีตเสริมเหล็ก

Property	Dimensions	Practical True Model
Concrete Stress (σ_c)	$ML^{-1}T^{-2}$	1:1
Concrete Strain (ϵ_c)	-	1:1
Modulus of concrete, E_c	$ML^{-1}T^{-2}$	1:1
Reinforcing Stress (σ_r)	$ML^{-1}T^{-2}$	1:1
Reinforcing Strain (ϵ_r)	-	1:1
Modulus of Reinforcing, E_r	$ML^{-1}T^{-2}$	1:1
Bond Stress, u	$ML^{-1}T^{-2}$	1:1
Length	L	1:N
Displacement	L	1:N
Area of Reinforcement, A_r	L^2	$1:N^2$
Concentrated Load, Q	MLT^{-2}	$1:N^2$
Bending Stiffness (EI)	ML^3T^{-2}	$1:N^4$
Bending Moment (M)	ML^2T^{-2}	$1:N^3$

2.4 ความถูกต้อง การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองโครงสร้าง

สิ่งที่มีอิทธิพล และทำให้เกิดความผิดพลาดต่อการทดลองสร้างแบบจำลองโครงสร้าง (Model) บันไดทดสอบ ได้แก่ ผลกระทบจากการย่อขนาดของโครงสร้างให้เล็กลง และความถูกต้องของวัสดุที่ใช้ทดแทนในการสร้างโครงสร้างบันได ซึ่งสามารถจำแนกสิ่งที่มีอิทธิพลต่อความผิดพลาดได้ดังนี้

2.4.1 ความถูกต้องในกระบวนการสร้างแบบจำลอง และมิติต่าง ๆ (Dimensional and Fabrication Accuracy)

การสร้างแบบจำลองโครงสร้างที่ถูกต้อง และมิติต่าง ๆ เช่น ความกว้าง ความยาว และความลึก มีผลกระทบต่อทดสอบโครงสร้างแบบจำลอง คือ รูปแบบจำลองโครงสร้างอาจผิดเพี้ยนไปจากแบบโครงสร้างขนาดจริง (Prototype) ทำให้การวิเคราะห์ผลการทดสอบมีความผิดพลาด

2.4.2 ความถูกต้องในคุณสมบัติของวัสดุ (Accuracy-related Material Properties)

คุณสมบัติของวัสดุที่มีความสำคัญมาก เช่น ในกรณีที่วัสดุมีกำลังรับแรงสูงสุด หรือความไม่เป็นเชิงเส้นของโครงสร้าง คุณสมบัติเหล่านี้ของวัสดุต้องทำให้เหมือนกันโครงสร้างขนาดจริงทุกประการ เพื่อให้เกิดความคล้อยคลึงทางโครงสร้างและการศึกษาพฤติกรรมจริงของโครงสร้างมีความสมบูรณ์มากขึ้น

2.4.3 ความถูกต้องในกระบวนการทดสอบ(Accuracy in Testing and Taking measurements)

ความถูกต้องของการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การตั้งค่าที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ก่อนการทดสอบจริง และวิธีการใส่น้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบที่ถูกต้องครบถ้วนตามมาตรฐานย่อขนาดโครงสร้าง ผลของความถูกต้องของกระบวนการทดสอบจะมีความถูกต้องและแม่นยำมากน้อยเพียงใด ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ทดลอง

2.4.4 ความถูกต้องในกระบวนการวิเคราะห์ผล(Accuracy in interpretation of test Results)

การวิเคราะห์ และตีความผลการทดลองเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทดลอง โดยเฉพาะวิธีการสร้างโครงสร้างย่อส่วน เนื่องจากขนาดที่เล็กของโครงสร้างทำให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ง่าย การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ต้องมีความถูกต้องและแม่นยำสูง เพื่อทำนายการวิบัติของโครงสร้าง และศึกษาเรื่องกำลังรับแรงของโครงสร้างขนาดจริงให้มีความใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

2.5 คุณสมบัติของคอนกรีต

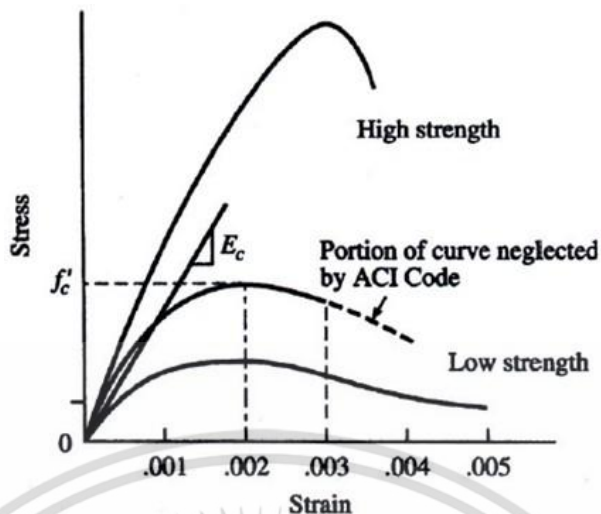
2.5.1 กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต(Compressive Strength)

คุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วต้องการมากที่สุด เนื่องจากกำลังต้านทานของคอนกรีตต่อแรงกระทำแบบอื่น เช่น กำลังต้านทานแรงดึง กำลังต้านทานแรงเฉือนและกำลังยึดเหนี่ยว หรือแม้แต่ความทนทานและการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ล้วนเป็นสัดส่วนเทียบได้กับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทั้งสิ้น นั่นหมายความว่า เมื่อคอนกรีตมีกำลังต้านทานแรงอัดสูงกำลังต้านทานแรงอย่างอื่นหรือความทนทานก็จะสูงตามไปด้วย

2.5.2 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต(Modulus of Elasticity)

ตัวบ่งหรือแสดงถึงความต้านทานต่อการเสียรูป(Deformation) ของคอนกรีตเมื่อน้ำหนักหรือแรงกดอัดกระทำ พบว่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกำลังของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตตลอดจนขนาดและระยะเวลาที่รับน้ำหนักบรรทุก เมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกอยู่ในช่วงใช้งานและกระทำในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ อาจสมมุติว่าคอนกรีตเป็นวัสดุยืดหยุ่น(Elastic material) โดยมีหน่วยการหดตัว(Elastic strain) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงอัดที่กระทำ แต่เมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกค้างเป็นเวลานาน(Long-term loading) หรือรับน้ำหนักหรือแรงกระทำซ้ำซาก(Repeated loading) เป็นวัฏจักร ต้องพิจารณารวมหน่วยการหดตัวแบบพลาสติก(Plastic strain) หรือมักเรียกกันว่าหน่วยการล้าของคอนกรีต(Creep strain) ด้วย เพราะโมดูลัสของคอนกรีตจะลดน้อยลงตามลำดับทำให้คอนกรีตเกิดการเสียรูปมากขึ้น และจะมีการเสียรูปอย่างถาวรเมื่อลดน้ำหนักหรือแรงกระทำ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตหาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรงอัดต่อหน่วยการหดตัวของเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



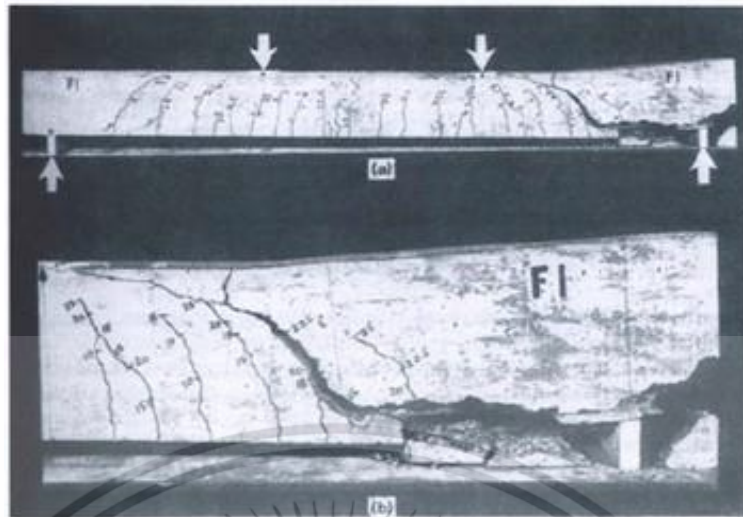
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง และความเครียดของคอนกรีตกำลังต่ำ ปานกลาง สูง

2.5.3 กำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต(Tensile Strength)

อยู่ในช่วงร้อยละ 8 ถึง 15 ของกำลังต้านทานแรงอัด คอนกรีตมีคุณสมบัติเปราะง่าย เมื่อรับแรงดึง ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจึงไม่นำกำลังต้านทานแรงดึงมาพิจารณา โดยพิจารณาให้เหล็กเสริมรับแรงดึงแทนอย่างไรก็ดีจะนำกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตมาใช้เพื่อคำนวณเกี่ยวกับรอยร้าวในคอนกรีต ซึ่งจะพิจารณาใช้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเมื่อรับแรงอัด รอยร้าวที่มีอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีต จะไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เนื่องจากแรงอัดจะบีบรอยแตกร้าวเข้าหากันและถ่ายแรงผ่านรอยแตก ภายใต้แรงกระทำแรงดึงไม่สามารถถ่ายแรงผ่านรอยแตก จะถ่ายเฉพาะพื้นที่ที่ไม่มีรอยแตกในหน้าตัดเท่านั้นทำให้พื้นที่ประสิทธิผลในการส่งผ่านแรงดึงมีน้อยกว่าพื้นที่ทั้งหมดของหน้าตัด หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงจะมีค่าสูงกว่าหน่วยแรงเฉลี่ยเมื่อหน่วยแรงดึงถ่ายผ่านรอยร้าว และรูพรุนภายใน จะเกิดความเข้มข้นของหน่วยแรง(Stress concentration) รอบขอบรูพรุนและที่ปลายของรอยร้าว ทำให้รอยร้าวขยายตัวลดพื้นที่ที่ไม่มีรอยแตก ทำให้หน่วยแรงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไปสู่การวิบัติของหน้าตัด

2.5.4 กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต(Shear)

เป็นไปอย่างฉับพลันไม่มีการเตือนล่วงหน้า และรอยร้าวในแนวทแยงที่เกิดขึ้นก็กว้างกว่ารอยร้าวเนื่องจากแรงดัด ทำให้ต้องออกแบบองค์อาคารต่าง ๆ ให้มีกำลังรับแรงเฉือนมากกว่าแรงดัด เพื่อให้การวิบัติที่จะเกิดขึ้นมีการเตือนล่วงหน้าก่อน มาตรฐานการออกแบบได้กำหนดปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดัดน้อยสุดและมากที่สุดที่ยอมให้ได้ ในทำนองเดียวกันก็ได้กำหนดปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยสุดที่ต้องมีในองค์อาคารรับแรงดัดถ้าแรงเฉือนประลัยในองค์อาคารนั้นมีค่าเกินครึ่งของกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต โดยทั่วไปหน่วยแรงเฉือนจะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดัด



รูปที่ 2.3 การวิบัติของคานเนื่องจากแรงเค้น

2.5.5 กำลังต้านทานแรงบิดของคอนกรีต (Torsional)

การต้านทานหน่วยแรงบิดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กประกอบด้วย

1. ขนาดหน้าตัดคาน
2. เหล็กเสริมตามยาวที่มุมทั้งสี่ของคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า
3. เหล็กปลอก

เมื่อคานถูกบิดด้วยโมเมนต์บิด (M_t) จะทำให้เกิดหน่วยแรงเค้นขึ้น สำหรับหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน่วยแรงเค้นนี้จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางของแต่ละด้าน และค่อย ๆ ลดลงไปจนเป็นศูนย์ที่มุมทั้งสี่

ก. หน่วยแรงบิดสำหรับหน้าตัดคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปตัดตัว T หรือรูปตัดตัว L ให้คำนวณหน่วยแรงบิดสูงสุดได้ดังนี้

$$v_t = \frac{35M_t}{\sum x^2 y} \quad (10)$$

เมื่อ

M_t คือ โมเมนต์บิด

v_t คือ หน่วยแรงบิด

x, y คือ ด้านสั้น และด้านยาวของคานรูปสี่เหลี่ยม

ข. หน้าตัดเหล็กลูกตั้งหนึ่งขา ที่พันครบรอบเพื่อต้านทานหน่วยแรงบิดอย่างเดียว

$$M_t = \frac{2A_c f_c v}{s} \quad (11)$$

เมื่อ

M_t คือ โมเมนต์บิด

A_c คือ เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตภายในเหล็กลูกตั้ง

s คือ ระยะเหล็กลูกตั้ง

ค. เหล็กเสริมตามยาว ต้องเสริมให้รับแรงบิดโดยจัดไว้ทุกมุมของหน้าตัดสี่เหลี่ยม เหล็กเสริมตามยาวนี้เป็นเหล็กที่ต้องเสริมพิเศษนอกเหนือจากเหล็กเสริมรับแรงดัดหน้าตัดเหล็กเสริมตามยาว

$$M_t = \frac{2A_c f_c A_s f_s}{z} \quad (12)$$

เมื่อ

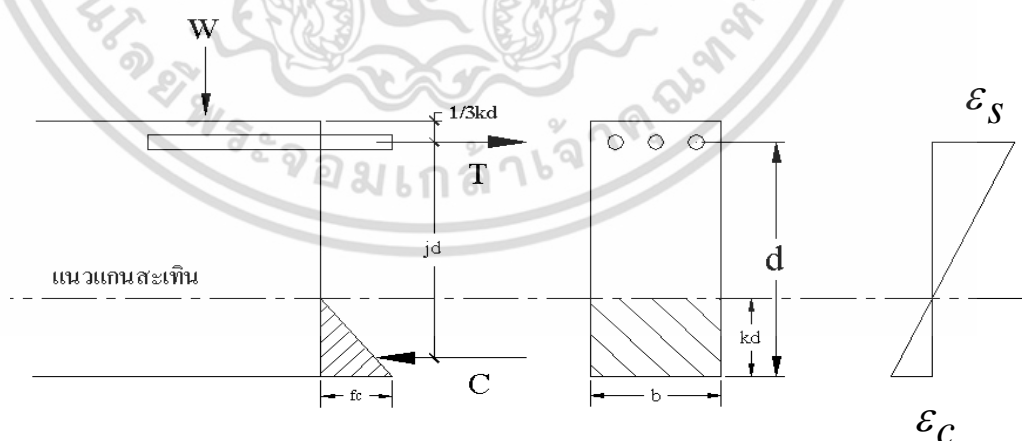
M_t คือ โมเมนต์บิด

A_c คือ เนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตภายในเหล็กลูกตั้ง

f_s คือ หน่วยแรงดึงที่ยอมให้สำหรับเหล็กเสริมตามยาว

z คือ ระยะระหว่างเหล็กเสริมตามยาวโดยเฉลี่ย

2.5.6 การออกแบบกำลังต้านทานโมเมนต์ดัด



รูปที่ 2.4 การกระจายของหน่วยแรง และแรงภายในหน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดโดยคอนกรีต

$$M_c = \frac{1}{2} f_c k j b d^2 \quad (13)$$

เมื่อ

M_c คือ โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต

f_c คือ หน่วยแรงอัดที่ผิวของคาน

$k d$ คือ ระยะแนวแกนสะเทิน

b คือ ความกว้างของคอนกรีต

d คือ ความลึกประสิทธิผล

ข. กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดโดยเหล็กเสริม

$$M_s = A_s f_s j d \quad (14)$$

เมื่อ

M_s คือ โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม

f_s คือ หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม

$j d$ คือ ระยะแขนของโมเมนต์

2.6 น้ำหนักบรรทุก ความเค้น และความเครียด

หน่วยแรงของชิ้นส่วนอันเป็นผลมาจากแรงหรือหน่วยแรงภายในชิ้นส่วน ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(Deformation) ในชิ้นส่วนโครงสร้างแต่ละชั้นหรือทั้งหมด เมื่ออยู่ในสภาวะใช้งานปกติต้องมีค่าไม่มากเกินไปกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการออกแบบ เพื่อมิให้ชิ้นส่วนโครงสร้างชำรุดเสียหาย หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร

2.6.1 น้ำหนักบรรทุก หรือแรงกระทำภายนอก(External Loads)

มีลักษณะหรือรูปแบบของน้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำภายนอกกระทำต่อโครงสร้างจำแนกเป็น

น้ำหนักบรรทุกกระทำอยู่กับที่ หรือแบบสถิต(Static Loads หรือ Steady Loads) :

น้ำหนักหรือแรงคงอยู่ ๆ กระทำต่อโครงสร้างอย่างช้า ๆ จนถึงค่าหนึ่งที่ต้องการซึ่งจะเป็นน้ำหนักหรือแรงคงที่ที่โครงสร้างรับหรือต้านทาน เช่น น้ำหนักบรรทุกบนอาคารที่ประกอบด้วยน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง(Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร(Live Load)

น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ(Repeated Loads) :

น้ำหนักหรือแรงกระทำหลาย ๆ ครั้งซ้ำกันเป็นวงจรรวมและวัฏจักร ซึ่งมักมีขนาดของแรงกระทำเท่า ๆ กัน

น้ำหนักบรรทุกปะทะ หรือกระแทก(Impact Loads) :

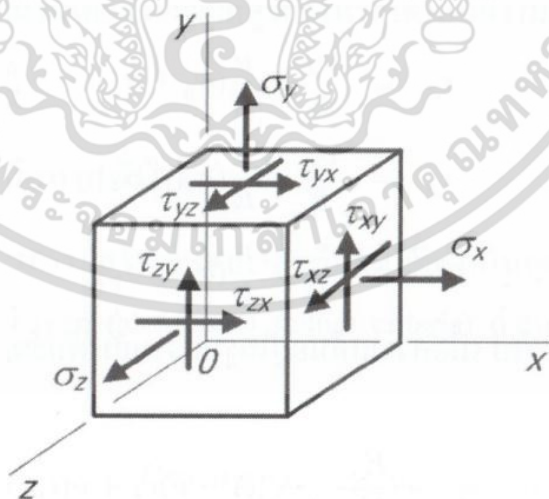
น้ำหนักหรือแรงเคลื่อนที่ไปกระทบหรือกระแทกต่อโครงสร้างอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

2.6.2 แรงภายใน(Internal Forces)

เมื่อชิ้นส่วนโครงสร้างอยู่ในสภาวะสมดุลภายใต้การกระทำของแรงภายนอก รวมถึงน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง และแรงปฏิกิริยาตรงฐานหรือจุดรองรับ การคำนวณหาแรงกระทำที่เกิดขึ้น ณ หน้าตัดหรือตำแหน่งใด ๆ ของชิ้นส่วนโครงสร้างปกติใช้วิธีการตัดรูป(Method of section) การหาค่าของแรงต้านทานภายในได้จากหลักเบื้องต้นที่ว่าเมื่อชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งหมดอยู่ในสภาวะสมดุล รูปปริบอดีของชิ้นวัสดุนั้นต้องอยู่ในสภาวะสมดุลเช่นกัน นั่นคือสามารถคำนวณหาค่าแรงภายในได้จากการใช้สมการสมดุลทางสถิต ค่าของแรงต้านทานภายในที่คำนวณได้จากด้านใดด้านหนึ่งของรอยตัดนั้นไม่ว่าจะอยู่ด้านซ้ายมือหรือขวามือของรอยตัด หรือด้านบนกับด้านล่างของรอยตัดต้องมีค่าเท่ากันเสมอแต่มีทิศทางของแรงภายในตรงกันข้าม

ความเค้น(Stress) :

แรงภายในต่อหน่วยพื้นที่ของจุดนั้นที่รับแรง หน่วยแรงหรือความเค้นมีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(กก./ซม.²) จำแนกเป็นความเค้นตั้งฉาก(Normal stress: σ) คือ หน่วยแรงที่มีทิศทางตั้งฉากกับระนาบตั้งฉากที่ตัดกับชิ้นส่วน เช่น หน่วยแรงหรือความเค้น σ_x ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สถานะของหน่วยแรงที่จุดใดจุดหนึ่งในชิ้นส่วนโครงสร้าง 3 มิติ

หน่วยแรงหรือความเค้นตั้งฉากนี้อาจเกิดจากแรงกระทำในแนวแกน หรือจากโมเมนต์ดัด ซึ่งอาจเป็นหน่วยแรงดึง σ_t (Tensile stress) ที่ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการยืดตัว(Elongation) หรือเป็นหน่วยแรงอัด σ_c (Compressive stress) ที่ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการหดตัว(Shortening) ความเค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อได้รู้เนื้อหาเป็นประโยชน์แล้ว กรุณาอย่าเผยแพร่ให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉือน (Shearing stress: τ) คือ หน่วยแรงที่มีทิศทางสัมผัสกับระนาบตั้งฉากที่ตัดผ่านชิ้นส่วน เช่น หน่วยแรง τ_{xy} และ τ_{yx} ดังแสดงในรูปที่ 2.5

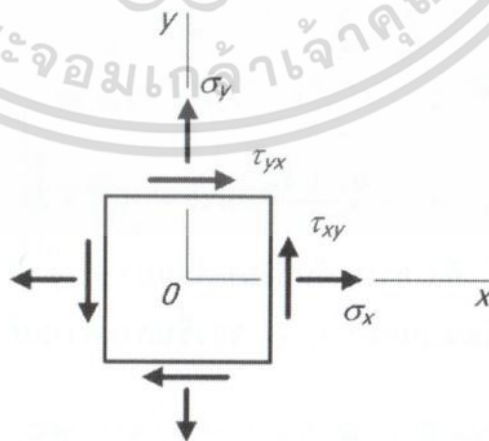
หน่วยแรงภายในที่ปรากฏ ณ จุด ๆ หนึ่งบนชิ้นส่วนโครงสร้าง 3 มิติ บนระนาบตั้งฉากกับแกน X, Y, Z ซึ่งมีถึง 9 หน่วยแรง เขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ตามแรงภายในที่กระทำบนแกน X, Y, Z ตามลำดับ จะได้เมตริกซ์ของหน่วยแรง หรือที่เรียกว่าความเค้นเทนเซอร์ (Stress tensor: $|\sigma|$)

$$|\sigma| = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} \quad (15)$$

จากรูปที่ 2.5 พิจารณาสมการสมดุลของโมเมนต์รอบแกน X $\sum M_x = 0$ จะได้ว่า

$$\tau_{yz}(d_x \times d_z)(d_y) = \tau_{zy}(d_y \times d_z)(d_x) \quad (16)$$

ดังนั้นเมื่อหารด้วย $d_x d_y d_z$ จะพบว่า τ_{yz} และ τ_{zy} ทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาสมการสมดุลของโมเมนต์รอบแกน Y และ แกน Z จะพบว่า $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ และ $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ตามลำดับ แสดงว่าหน่วยแรงเฉือนบนระนาบตั้งฉากคู่หนึ่งต้องมีค่าเท่ากัน τ_{ij} และ τ_{ji} แต่ทิศทางตรงกันข้าม พิจารณาให้เหลือเป็นโครงสร้าง 2 มิติ ที่เรียกว่าโครงสร้างระนาบ (Planar structure) เช่น หน่วยแรงแกน Z มีค่าน้อยมากจะจำลองโครงสร้างชิ้นส่วนอยู่ในระนาบ XY โดยคิดว่าความหนาของชิ้นส่วนแกน Z มีค่าหนึ่งหน่วย และให้รับแรงภายนอกซึ่งอาจกระทำในระนาบเดียวกันกับระนาบของโครงสร้างนั้น (Coplanar forces) หรืออาจกระทำตั้งฉากกับระนาบของโครงสร้างนั้น (Non-planar forces)



รูปที่ 2.6 สถานะของหน่วยแรงระนาบที่จุดใดจุดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแรงภายนอกกระทำอยู่ในระนาบเดียวกันกับระนาบของโครงสร้าง หน่วยแรงภายในจะเหลือเพียง 3 ตัว คือหน่วยแรง σ_x σ_y และ τ_{xy} ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งเมตริกซ์ของหน่วยแรง คือ

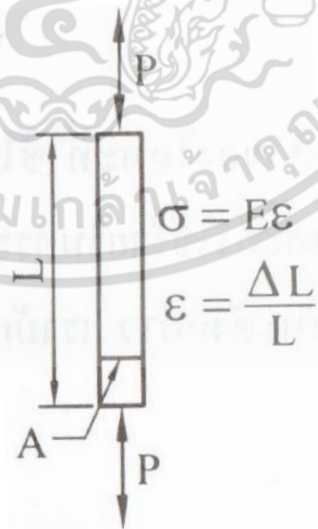
$$|\sigma| = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{vmatrix} \quad (17)$$

สำหรับกรณีพิเศษชิ้นส่วนโครงสร้างเป็นท่อนหรือแท่ง และรับแรงภายนอกในทิศทางใดทิศทางหนึ่งที่กระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของหน้าตัด ลักษณะนี้จะเหลือหน่วยแรงตั้งฉากภายในเพียง 1 หน่วยแรง

ความเครียด(Strain) :

ความเครียดที่จุดใดจุดหนึ่งบนหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง มีทั้งความเครียดตั้งฉาก (Normal strain: ϵ) เมื่อจุดนั้นมีการยืดหรือหดตัวจากแรงภายในที่กระทำตั้งฉากกับหน้าตัด และความเครียดเฉือน (Shearing strain: γ) เมื่อจุดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเชิงมุมจากแรงภายในที่ขนานกับหน้าตัด ดังนั้น อาจมีคำจำกัดความเครียดอย่างง่าย ๆ ว่า ผลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อคิดต่อหนึ่งหน่วยของความยาวเดิม หน่วยความเครียดเป็นค่าไร้มิติแต่โดยทั่วไปหมายถึง ซม./ซม. หรือ เมตร/เมตร หรือ นิ้ว/นิ้ว หรือบางที่อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

ความเครียดตั้งฉาก (Normal strain) คือ หน่วยแรงตั้งฉากกระทำทำให้ชิ้นส่วนมีการเปลี่ยนแปลงความยาวทางแกน X, Y, Z โดยความเครียดตั้งฉากมีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความเครียดตั้งฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น(Stress) และความเครียด(Strain) ในเหล็กเสริม

สมมุติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด มีดังนี้

ก) ในขณะที่วัสดุถูกแรง หรือความเค้นกระทำวัสดุจะผิดรูป(deform) น้อยยิ่ง (infinitesimal) เท่านั้น

ข) วัสดุอยู่ในสภาพยืดหยุ่น(elastic)

ค) วัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน(homogeneous) และเหมือนกันทุกทิศทาง(isotropic)

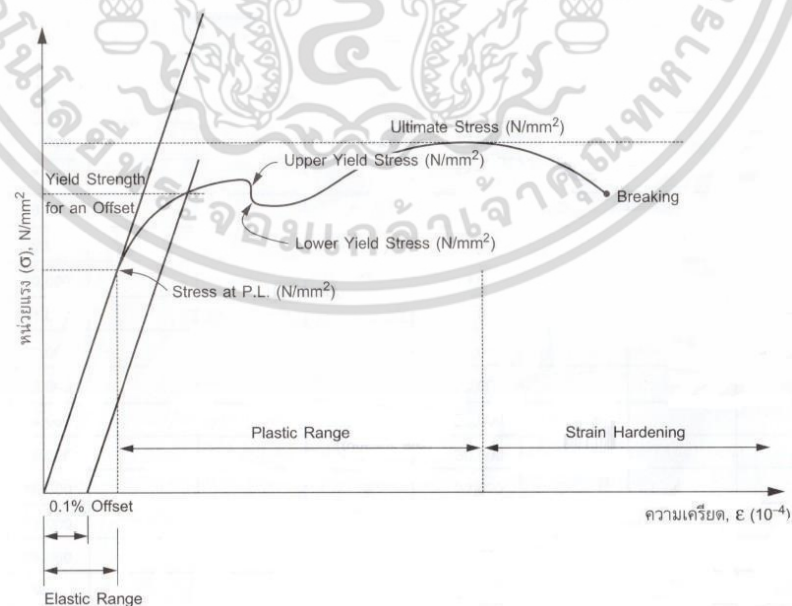
ขีดจำกัดสัดส่วน(Proportional limit) คือ จุดสุดท้ายหรือค่าแรงเค้นสูงสุดที่ค่าแรงเค้นยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด เมื่อเลยขีดจำกัดนี้ไปกฎของฮุก (Hook law) จะใช้ไม่ได้

ขีดจำกัดความยืดหยุ่น(Elastic limit) คือ จุดสุดท้ายหรือค่าแรงเค้นสูงสุดที่วัสดุจะกลับคืนสภาพเดิมได้ เมื่อเอาแรงที่กระทำวัสดุออก ถ้าเลยขีดจำกัดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการยืดหรือหดอย่างถาวร ถึงแม้จะเอาแรงที่กระทำออกหมดก็ตาม

จุดคลาก(Yield point) คือ จุดที่วัสดุยืดออกมาก ขณะที่แรงเค้นมีค่าคงที่ หรือแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง ค่าแรงเค้นที่จุดนี้เรียกว่า แรงเค้นคลาก(Yield stress) โดยทั่วไปค่าแรงเค้นที่ใช้ในการออกแบบหมายถึง ค่าแรงเค้นที่จุดคลากล่าง

กำลังประลัย(Ultimate strength) คือ ค่าแรงเค้นสูงสุดที่วัสดุจะรับได้ เป็นค่าที่ได้จากการหารค่าแรงสูงสุดที่วัสดุรับด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิมของวัสดุ ถ้าวัสดุรับแรงดึง ค่านี้เรียกว่า กำลังดึง(tensile strength) ถ้าวัสดุรับแรงอัด ค่านี้เรียกว่า กำลังอัด(compressive strength)

กำลังแตกหักของวัสดุ(Breaking strength) คือ ค่าแรงเค้นขณะที่วัสดุกำลังจะขาดออกจากกัน ได้จากการหารแรงที่วัสดุรับก่อนขาดออกจากกันด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิม จึงทำให้มีค่าน้อยกว่ากำลังประลัย หากนำพื้นที่หน้าตัดจริงขณะที่ขาดจากกันไปหาร จะได้ค่าแรงเค้นที่สูงที่สุด

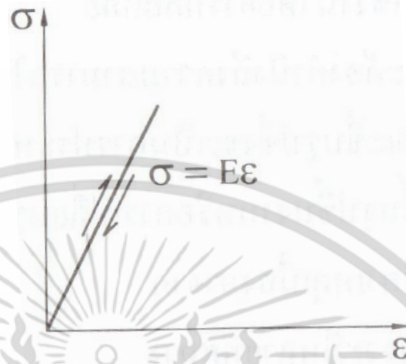


รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของความเค้นตึงฉาก (σ) กับความเครียดตามยาว (ϵ) ภายใต้การดึงทดสอบโดยเฉพาะในช่วงยืดหยุ่น จะพบว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด และมีความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันค่อนข้างมาก(มีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยเมื่อรับแรงดึง) ดังแสดงในรูปที่ 2.9

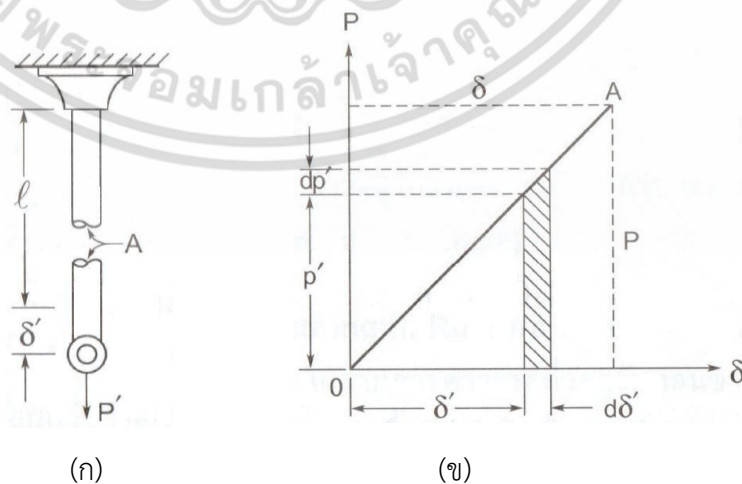


รูปที่ 2.9 การใส่แรง และปลดแรงในช่วงยืดหยุ่น

ชิ้นส่วนทดสอบที่นำมาดึงในช่วงที่ยืดหยุ่นโดยแรงดึงต้องไม่เกินขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่นนั้น ภายหลังปลดแรงออกพบว่าชิ้นส่วนทดสอบจะสามารถกลับคืนสู่ความยาวเดิมได้ โรเบิร์ต ฮุก (Robert Hooke, ค.ศ. 1635-1703) ค้นพบว่าในช่วงยืดหยุ่นนั้นความเค้นตึงฉาก (σ) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดตามยาว (ϵ)

$$\sigma = E\epsilon \tag{18}$$

2.7.2 พลังงานความเครียดภายใต้แรงดึง (Strain Energy in Tension)



รูปที่ 2.10 งานที่ทำในการดึงท่อนวัสดุให้ยืดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ท่อนวัสดุรับแรงดึงที่ยังอยู่ในขีดจำกัดยืดหยุ่น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัสดุและส่วนยืดจะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.10(ข) ถ้าเพิ่มแรงดึง P' เป็น $P'+dP'$ ส่วนยืดจะเพิ่มขึ้นจากเดิม $d\delta'$ ดังนั้นงานที่ทำต่อวัสดุที่ยืดเพิ่มขึ้น คือ

$$dU = P' d\delta' \quad (19)$$

งานถูกเก็บสะสมไว้ในวัสดุในรูปของพลังงานศักย์(Potential Energy) เรียกว่า พลังงานความเครียด(Strain Energy) เมื่อลดแรงออกเสีย dP' ส่วนล่างของท่อนวัสดุจะหดตัวกลับเป็นระยะ $d\delta'$ และพลังงานความเครียดที่ถูกเก็บสะสมไว้จะเปลี่ยนเป็นงานที่ทำในการยกน้ำหนัก หรือแรง P' ขึ้นเป็นระยะ $d\delta'$ กลับสู่ตำแหน่งเดิม

งานทั้งหมดหรือพลังงานเครียดที่ถูกเก็บสะสมไว้ เมื่อวัสดุยืดออก δ คือ

$$U = \int_0^{\delta} P' d\delta' = \text{พื้นที่ใต้เส้น } OA = \frac{P\delta}{2} \quad (20)$$

แต่ในช่วงยืดหยุ่นของวัสดุ ตามกฎของฮุก

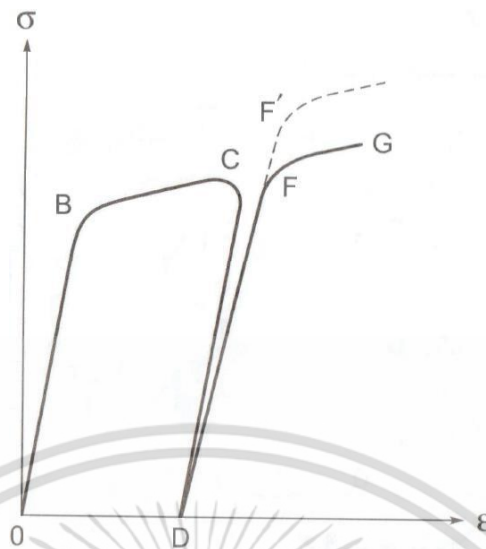
$$\delta = \frac{Pl}{EA} ; l = \text{ความยาวเดิมของท่อนวัสดุ} \quad (21)$$

เพราะฉะนั้น จะได้

$$U = \frac{P^2 l}{2EA} \quad (22)$$

เมื่อความเค้นในเหล็กเลยจุดคราก(Yield point) ไปแล้ว วัสดุจะเริ่มแข็งขึ้นอีก(Strain hardening) การที่จะทำให้วัสดุยืดมากขึ้นจะต้องใช้แรงเค้นที่มีขนาดมากขึ้นในช่วงนี้งานที่ทำในช่วงการดึงวัสดุไม่ได้เปลี่ยนเป็นพลังงานความเครียดทั้งหมด แต่บางส่วนจะเปลี่ยนเป็นความร้อนทำให้ส่วนที่ยืดตัวร้อนขึ้น เมื่อเอาแรงที่กระทำออกจะมีค่าแรงเค้นเหลืออยู่(Residual Stress) ในวัสดุในรูปของพลังงานความเครียด และถ้าใส่แรงดึงวัสดุอีกครั้งหนึ่งความเค้นครากในวัสดุจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปกราฟที่ 2.11 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นกับความเครียดของเหล็ก เมื่อเหล็กถูกดึงเลยจุดคราก B ไปถึงจุด C แล้วเอาแรงออก ขณะที่ลดแรงกราฟจะลดลงเป็นเส้นตรงโดยประมาณตามเส้น CD เมื่อเพิ่มแรงอีกเป็นครั้งที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเค้นกับค่าความเครียดจะเป็นไปตามกฎของฮุก ตามแนว DF แล้วจึงเปลี่ยนเป็นเส้นโค้ง FG ซึ่งต่อจากเส้นโค้ง BC เดิม จะเห็นได้ว่าการเพิ่มแรงเค้นให้เหล็กเสริมในครั้งที่ 2 นี้ ทำให้ค่าแรงเค้นคราก (จุด F) เพิ่มขึ้นจากเดิม (จุด B) เนื่องจากเหล็กมีการยึดตัวมาบ้างก่อนหน้าก่อนหน้านี้อแล้ว

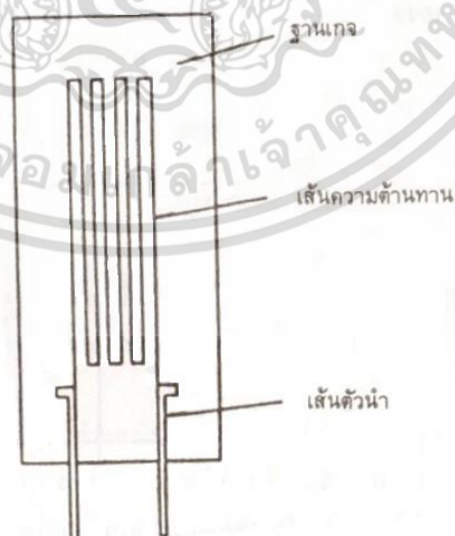
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การลด และเพิ่มแรงดึงในวัสดุทำให้แรงเค้นคลากเพิ่มขึ้น

2.7.3 การวัดค่าความเครียด(Strain Measurement)

เมื่อมีแรงมากกระทำต่อวัตถุ จะเกิดความเค้นขึ้นภายในทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง วิธีการวัดค่าความเครียด คือ เกจวัดค่าความเครียด(Strain Gauge) โดยใช้ค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งเครื่องมือนี้ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเกจวัดความเครียดกับส่วนที่เป็นอุปกรณ์วัด ส่วนที่เป็นเกจวัดความเครียดนั้นแสดงค่าได้เมื่อวัสดุตัวนำที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเกิดความเครียดแล้วมีค่าความต้านทานเปลี่ยนไป โครงสร้างของเกจวัดมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างเกจวัดความเครียด(Line Gage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ขั้นตอนในการใช้เครื่องมือวัดความเครียด(Strain Measurement Method)

เริ่มต้นด้วยการเลือกอุปกรณ์วัดค่าซึ่งเหมาะสมที่สุดสำหรับความเครียดตามจุดประสงค์ที่ต้องการวัด แล้วจึงดำเนินการตามลำดับดังนี้

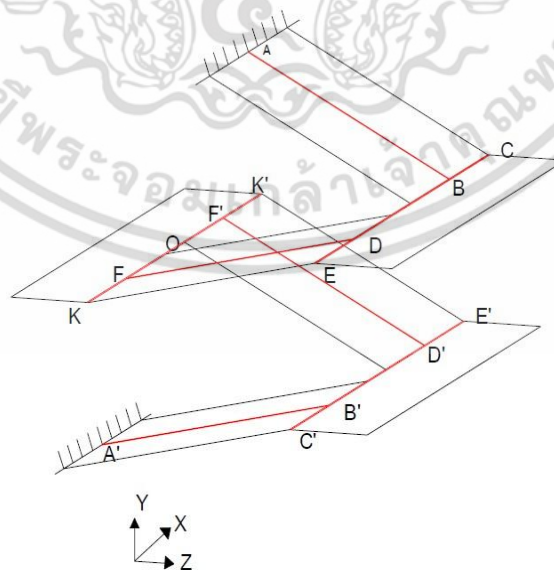
- (1) ชัดผิวหน้าของวัสดุที่จะนำเกจวัดไปแตะ
- (2) ชีตเส้นตำแหน่งที่จะติดเกจ
- (3) ทำความสะอาดผิวหน้าที่จะติดเกจ
- (4) ทากาวติด
- (5) ติดเกจวัดค่า
- (6) รอให้กาวแข็งตัว
- (7) ติดเกจเข้ากับอุปกรณ์วัด เพื่อลองดูสภาพการติดเกจว่าดีหรือไม่
- (8) ติดปลายของเกจวัด
- (9) เชื่อมปลายขั้วของเกจวัด
- (10) จัดให้เรียบร้อย

สารที่นำมาใช้ติดเป็นกาวซึ่งต้องเลือกชนิดให้เหมาะกับวัสดุที่เป็นฐานของเกจวัด เช่น เกลกแบบเส้นหรือแบบฟลอยด์ที่เป็นสารโพลีเอสเตอร์ ควรใช้กาว(Resin) ชนิดที่อยู่ในกลุ่มโพลีเอสเตอร์หรือไซยาโนอครีเลทเรซิน(Cyano Acrylate Resin)

2.8 การวิเคราะห์บันไดขานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

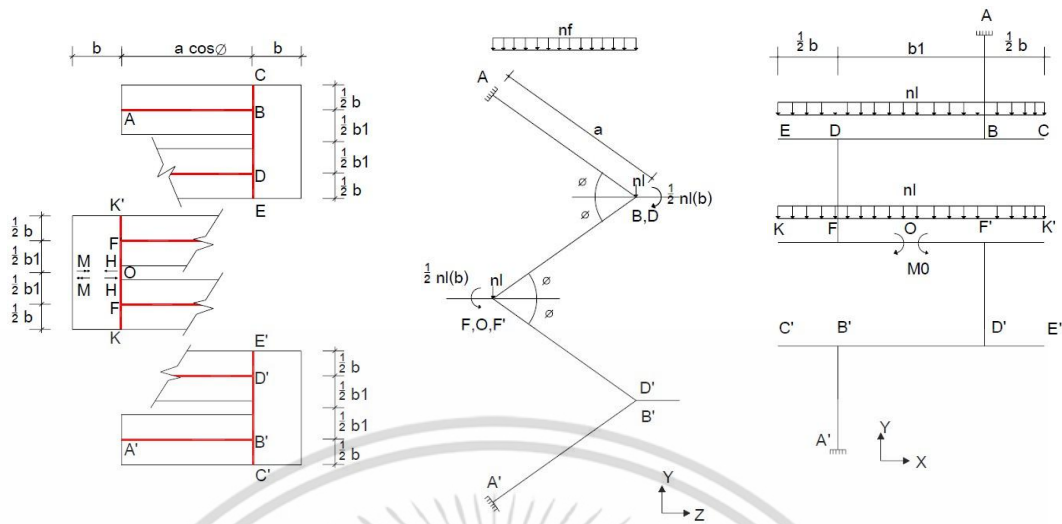
2.8.1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลังงานความเครียด(Strain Energy Method)

ร่างโครงสร้างให้เป็นโครงข้อแข็ง 3 มิติ มีแรงภายนอกมากระทำเกิดเส้นโค้งอิลาสติกของโครงสร้าง รูปการวิเคราะห์โครงสร้างบันไดช่วงต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างบันไดขานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น แบบโครงข้อแข็ง 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ลักษณะการวิเคราะห์โครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

2.8.2 การวิเคราะห์ค่าแรงกระทำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

ช่วง OF บริเวณชานพัก 2 :

$$V = -n_l y \tag{23}$$

$$M_v = -M_0 - \frac{1}{2} n_l y^2 \tag{24}$$

$$M_h = Hy \tag{25}$$

$$M_t = \frac{1}{2} n_l by \tag{26}$$

ช่วง FK บริเวณชานพัก 2 :

$$V = n_l y \tag{27}$$

$$M_v = -\frac{1}{2} n_l y^2 \tag{28}$$

$$M_h = 0 \tag{29}$$

$$M_t = \frac{1}{2} n_l by \tag{30}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วง FD บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 :

$$V = \frac{1}{2} n_l (b_1 + b) \cos \varphi + H \sin \varphi + n_f s \cos \varphi \quad (31)$$

$$M_v = -Hs \sin \varphi - \frac{1}{2} n_l (b_1 + b) s \cos \varphi - \frac{1}{4} n_l b (b_1 + b) - \frac{1}{2} n_f s^2 \cos^2 \varphi \quad (32)$$

$$M_h = \frac{1}{2} Hb_1 \cos \varphi - M_0 \sin \varphi - \frac{1}{8} n_l (b_1^2 - b^2) \sin \varphi \quad (33)$$

$$M_t = -\frac{1}{2} Hb_1 \sin \varphi - M_0 \cos \varphi - \frac{1}{8} n_l (b_1^2 - b^2) \cos \varphi \quad (34)$$

ช่วง ED บริเวณชานพัก 1 :

$$V = n_l y \quad (35)$$

$$M_v = -\frac{1}{2} n_l y^2 \quad (36)$$

$$M_h = 0 \quad (37)$$

$$M_t = \frac{1}{2} n_l by \quad (38)$$

ช่วง BD บริเวณชานพัก 1 :

$$V = \frac{1}{2} n_l (b_1 + b) + \frac{1}{2} n_l b + n_f a \cos \varphi + n_l y \quad (39)$$

$$M_v = M_0 + \frac{1}{8} n_l (b_1^2 - 2b^2) - \frac{1}{2} n_l (b_1 + b) y - \frac{1}{2} n_l by - \frac{1}{2} n_l y^2 - n_f ay \cos \varphi \quad (40)$$

$$M_h = \frac{1}{2} Hb_1 - Hy \quad (41)$$

$$M_t = -Ha \sin \varphi - \frac{1}{2} n_l a (b_1 + b) \cos \varphi - \frac{1}{4} n_l bb_1 - \frac{1}{2} n_f a^2 \cos^2 \varphi + \frac{1}{2} n_l by \quad (42)$$

ช่วง BC บริเวณชานพัก 1 :

$$V = -n_l y \quad (43)$$

$$M_v = -\frac{1}{2} n_l y^2 \quad (44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_h = 0 \quad (45)$$

$$M_t = -\frac{1}{2} n_l b y \quad (46)$$

ช่วง BA บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 :

$$V = \frac{3}{2} n_l (b_1 + b) \cos \varphi + H \sin \varphi + n_f (a + s) \cos \varphi \quad (47)$$

$$M_v = H(a + s) \sin \varphi - \frac{1}{4} n_l b (b_1 + b) + \frac{1}{2} n_l a (b_1 + b) \cos \varphi - \frac{3}{2} n_l (b_1 + b) s \cos \varphi - n_f a s \cos^2 \varphi + \frac{1}{2} n_f (a^2 - s^2) \cos^2 \varphi \quad (48)$$

$$M_h = -\frac{1}{2} H b_1 \cos \varphi + M_0 \sin \varphi + \frac{1}{8} n_l (b_1^2 - b^2) \sin \varphi - n_l b_1 (b_1 + b) \sin \varphi - n_f a b_1 \sin \varphi \cos \varphi \quad (49)$$

$$M_t = -\frac{1}{2} H b_1 \sin \varphi + M_0 \cos \varphi + \frac{1}{8} n_l (b_1^2 - b^2) \cos \varphi - n_l b_1 (b_1 + b) \cos \varphi - n_f a b_1 \cos^2 \varphi \quad (50)$$

2.9 การวิเคราะห์แรงในแนวราบที่กึ่งกลางของชานพักบันได(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพักบันได(M₀)

2.9.1 การวิเคราะห์แรงในแนวราบที่กึ่งกลางของชานพักบันได(H)

จากสมมติฐานไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวนอน สมการ $\frac{\partial u}{\partial H} = 0$ จะได้

$$\begin{aligned} & \left[\left(\frac{8^* a^3 \sin^2 \varphi}{3EI_{v2}} \right) + \left(\frac{ab_1^2 \sin^2 \varphi}{2GJ_2} \right) + \left(\frac{a^2 b_1 \sin^2 \varphi}{GJ_1} \right) \right] H + \left[\frac{ab_1 \sin \varphi \cos \varphi}{GJ_2} \right] M_0 \\ & + \frac{1}{EI_{v2}} \left[\left(-\frac{1}{4} n_f a^4 \sin \varphi \cos^2 \varphi \right) - \left(\frac{1}{3} n_l a^3 (b_1 + b) \sin \varphi \cos \varphi \right) \right] \\ & - \frac{1}{EI_{v2}} \left[\left(\frac{1}{4} n_l a^2 b (b_1 + b) \sin \varphi \right) \right] \\ & + \frac{1}{GJ_1} \left[\left(\frac{1}{2} n_l a^2 b_1 (b_1 + b) \sin \varphi \cos \varphi \right) + \left(\frac{1}{2} n_f a^3 b_1 \sin \varphi \cos^2 \varphi \right) \right] \end{aligned}$$

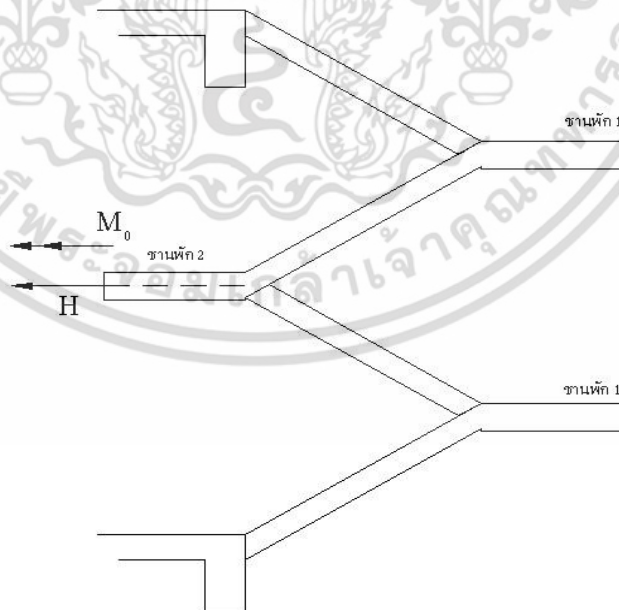
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+ \frac{1}{GJ_2} \left[\left(\frac{1}{8} n_l a b_1 (b_1^2 - b^2) \sin \varphi \cos \varphi \right) - \left(\frac{1}{2} n_l a b_1^2 (b_1 + b) \sin \varphi \cos \varphi \right) \right. \\ \left. - \left(\frac{1}{2} n_f a^2 b_1^2 \sin \varphi \cos^2 \varphi \right) \right] = 0 \quad (51)$$

2.9.2 การวิเคราะห์โมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพักบันได (M_0)

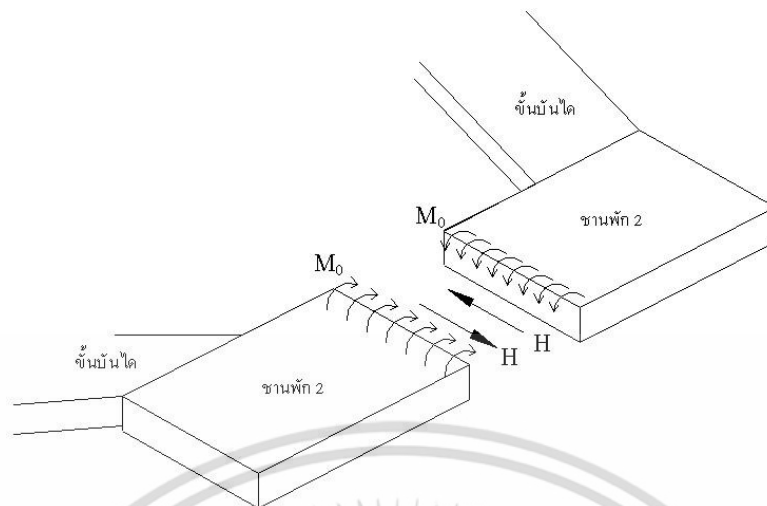
จากสมมติฐานไม่มีการหมุนตัว สมการ $\frac{\partial U}{\partial M_0} = 0$ จะได้

$$\left[\left(\frac{a b_1 \sin \varphi \cos \varphi}{GJ_2} \right) * H + \left[\frac{3b_1}{2EI_1} + \frac{2a \cos^2 \varphi}{GJ_2} \right] M_0 \right. \\ \left. + \frac{1}{EI_{v1}} \left[\left(-\frac{1}{48} n_l b_1^3 \right) - \left(\frac{1}{4} n_l b_1 (b_1^2 + b^2) \right) - \left(\frac{1}{2} n_l b b_1^2 \right) - \left(\frac{1}{2} n_f a b_1^2 \cos \varphi \right) \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{GJ_2} \left[\left(\frac{1}{4} n_l a (b_1^2 - b^2) \cos^2 \varphi \right) - \left(n_l a b_1 (b_1 + b) \cos^2 \varphi \right) \right. \right. \\ \left. \left. - \left(n_f a^2 b_1 \cos^3 \varphi \right) \right] \right] = 0 \quad (52)$$



รูปที่ 2.15 ตำแหน่งของแรงในแนวราบที่กึ่งกลางของชานพักบันได (H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพักบันได (M_0) บริเวณชานพัก 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพัก(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพัก(M_0)

2.9.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวราบที่กึ่งกลางของชานพักบันได(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางของชานพักบันได(M_0)

จากวิธีพลังงานความเครียด(Strain Energy Method) เมื่อนำค่าน้ำหนักบรรทุก และคุณสมบัติหน้าตัดบันไดแทนค่าสมการ จะได้ค่าดังนี้

$$2.78 \times 10^{-10} H + 8.99 \times 10^{-10} M_0 - 8.584 \times 10^{-6} = 0$$

$$H = \frac{8.584 \times 10^4 - 8.99 M_0}{2.78}$$

(53)

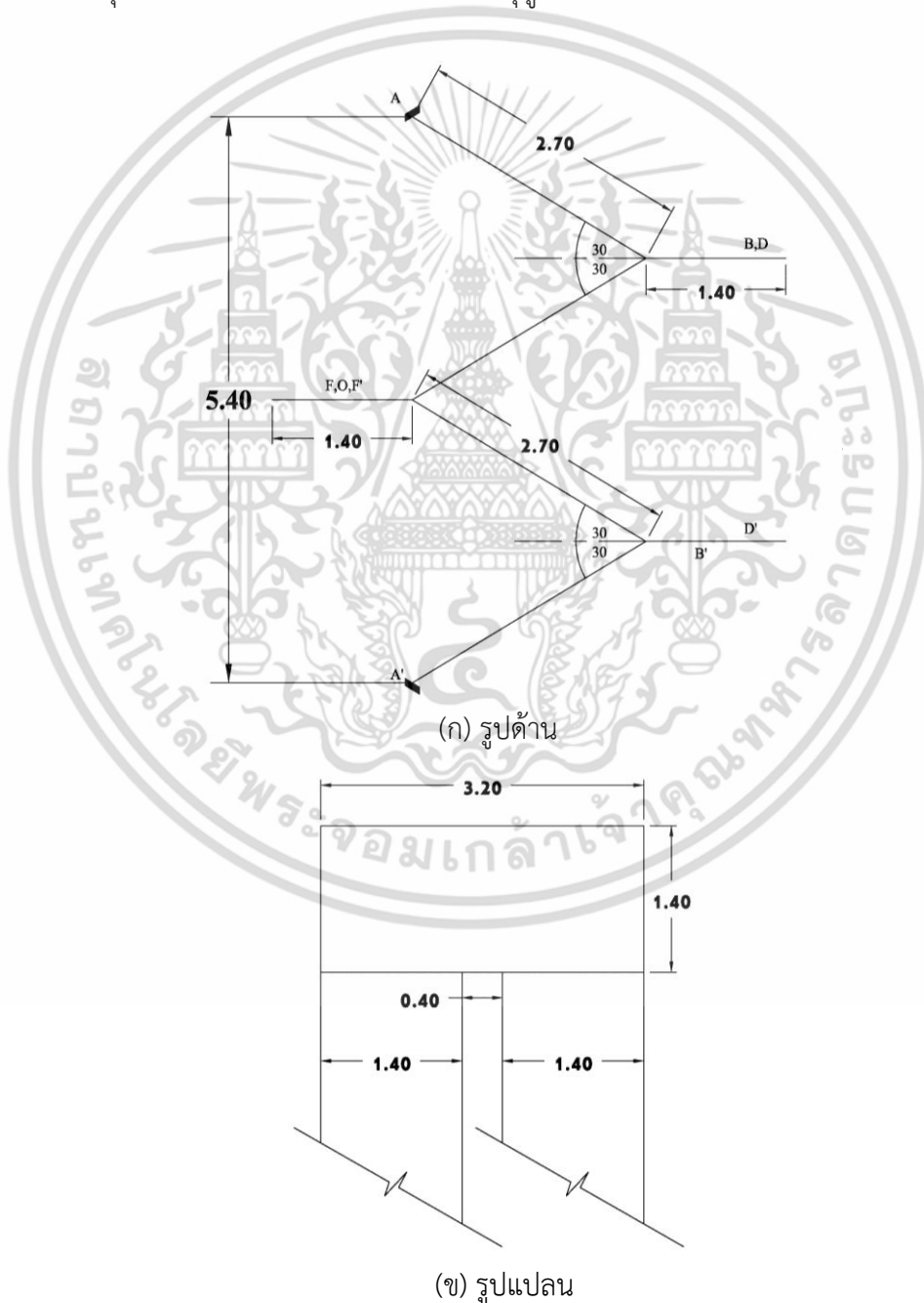
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

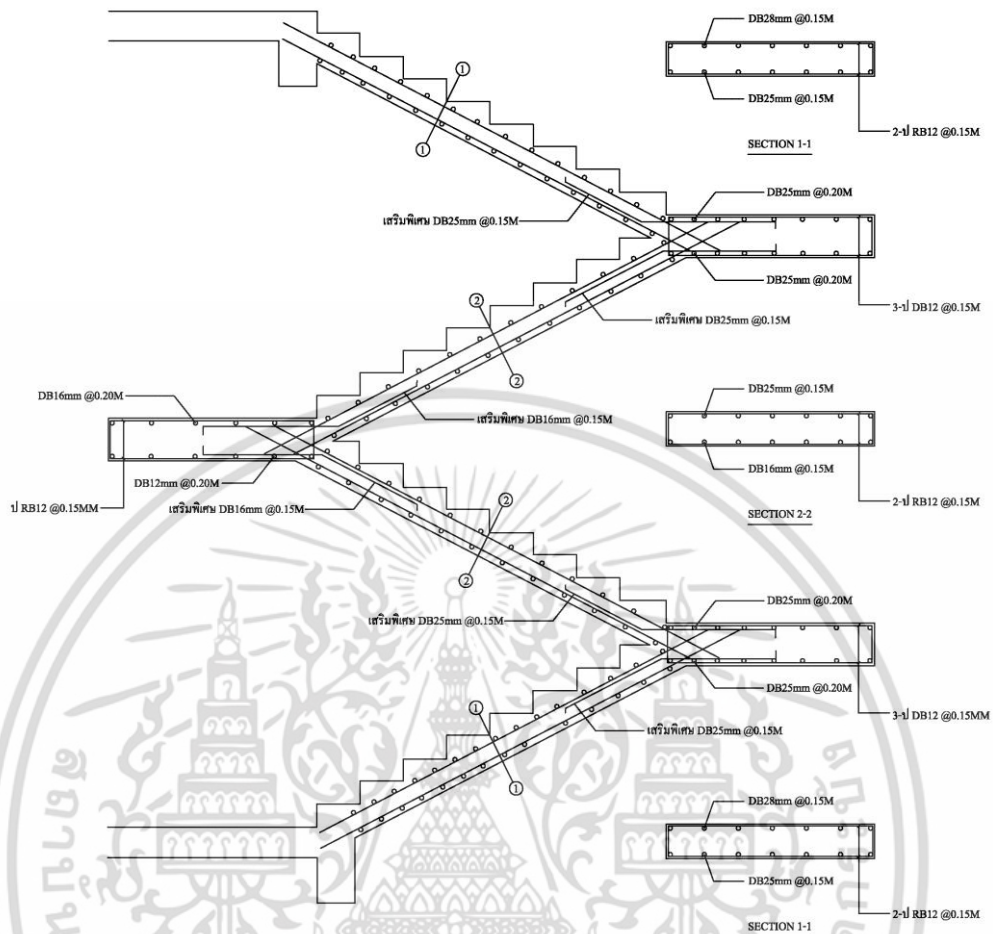
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาแบบโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

บันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น มีจุดรองรับแบบยึดแน่น ช่วงพาดบันไดยาว 2.70 เมตร ความกว้างบันได 1.40 เมตร ระยะห่างช่วงพาดชั้นบันได 1.80 เมตร บันไดทำมุม 30 องศา รับน้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ตร.ม. และน้ำหนักวัสดุปูผิว 120 กก./ตร.ม. ที่ชานพักและชั้นบันได



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 3.1** แบบโครงสร้างจริง(Prototype) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างจริง(Prototype)

3.2 แบบและวิธีการจำลองโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

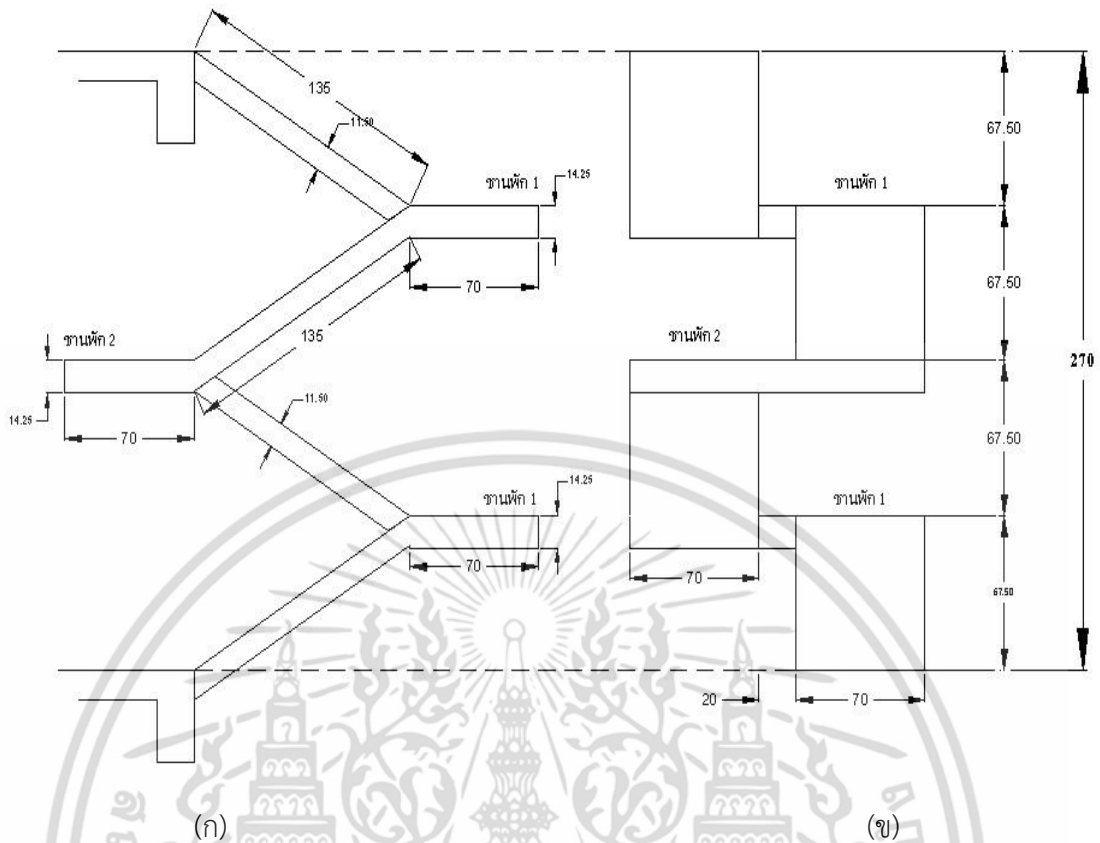
การย่อแบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างบันไดทดสอบ และน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อโครงสร้างบันไดทดสอบ

3.2.1 การย่อส่วนตัวโครงสร้างบันไดทดสอบ

การย่อส่วนโครงสร้างคอนกรีต :

ขนาดมวลรวมหยาบโตสุดของคอนกรีตทั่วไป คือ $3/4$ นิ้ว ย่อขนาดให้เล็กลงครึ่งหนึ่งตามมาตราส่วนย่อ(scale factor) เท่ากับ $1:2$ ดังนั้นจึงใช้หินเกล็ดแทนมวลรวมหยาบขนาดโตสุดไม่เกิน $3/8$ นิ้ว ค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน(f_c') ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 320 กก./ตร.ซม. ซึ่งไม่ย่อส่วนค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**มิติต่าง ๆ แสดงเป็นหน่วยเซนติเมตร

รูปที่ 3.3 รูปด้านแบบจำลอง(Model) (ก) รูปด้านข้าง, (ข) รูปด้านบน

การย่อส่วนเหล็กเสริม :

ย่อขนาดพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมหลัก และเหล็กเสริมทางขวางลงครึ่งหนึ่ง ตามมาตราส่วนย่อ(scale factor) 1:2 ใช้เหล็กเสริมขนาด DB16, DB12 หน่วยแรงดึง และหน่วยแรงอัดของเหล็กเสริมหลัก(f_y) เท่ากับ 4,000 กก./ตร.ซม. เหล็กเสริม RB6 หน่วยแรงดึง และหน่วยแรงอัดที่จุดครากของเหล็กเสริมทางขวาง(f_{vy}) เท่ากับ 2,400 กก./ตร.ซม. คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม คือ ค่าหน่วยแรงดึง และแรงอัดของเหล็กเสริมไม่มีการย่อค่าลง

การย่อขนาดหน้าตัดบันได ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 :

เหล็กเสริมหลักบน(Top bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม DB28@0.15M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.จะได้ $(140-2(2))/15 = 9.0667$ ช่องว่าง ดังนั้นใช้เหล็ก 10-DB28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัด

$$= 10 \times \left(\frac{\pi}{4} [2.8]^2 / 2^2 \right) = 15.393 \text{ cm}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 15.393 / \left(\frac{\pi}{4} [1.6]^2 \right)$$

$$= 7.656 \text{ เส้น ใช้เหล็ก 8-DB16}$$

ระยะล้งเหล็กเสริม(ระยะล้งเหล็กเข้าในชานพักบันได)

$$= 70/2 = 35 \text{ CM.}$$

เหล็กเสริมหลักล่าง(Bottom bar) โครงสร้างจริง(Prototype)ใช้เหล็กเสริม DB25@0.15M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะCovering 2 ซม.จะได้ $(140-2(2))/15 = 9.0667$ ช่องว่าง ดังนั้นใช้เหล็ก 10-DB25

พื้นที่หน้าตัด

$$= 10 \times \left(\frac{\pi}{4} [2.5]^2 / 2^2 \right) = 12.271 \text{ cm}^2$$

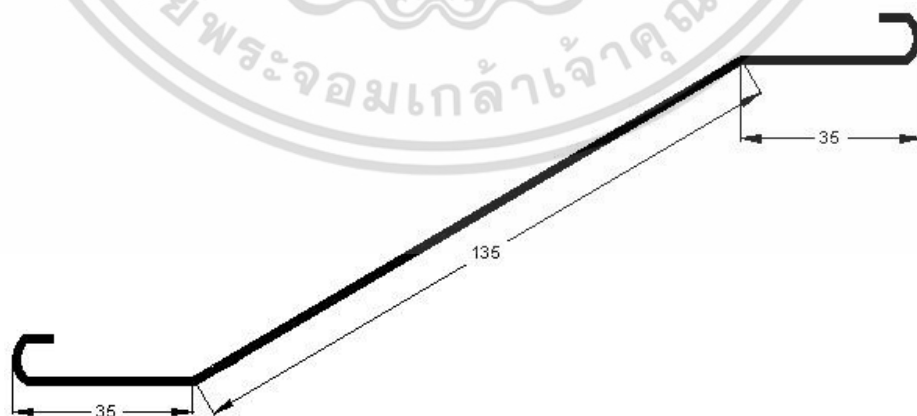
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 12.271 / \left(\frac{\pi}{4} [1.6]^2 \right)$$

$$= 6.103 \text{ เส้น ใช้เหล็ก 7-DB16}$$

ระยะล้งเหล็กเสริม(ระยะล้งเหล็กเข้าในชานพักบันได)

$$= 70/2 = 35 \text{ CM.}$$



รูปที่ 3.4 เหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model) ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

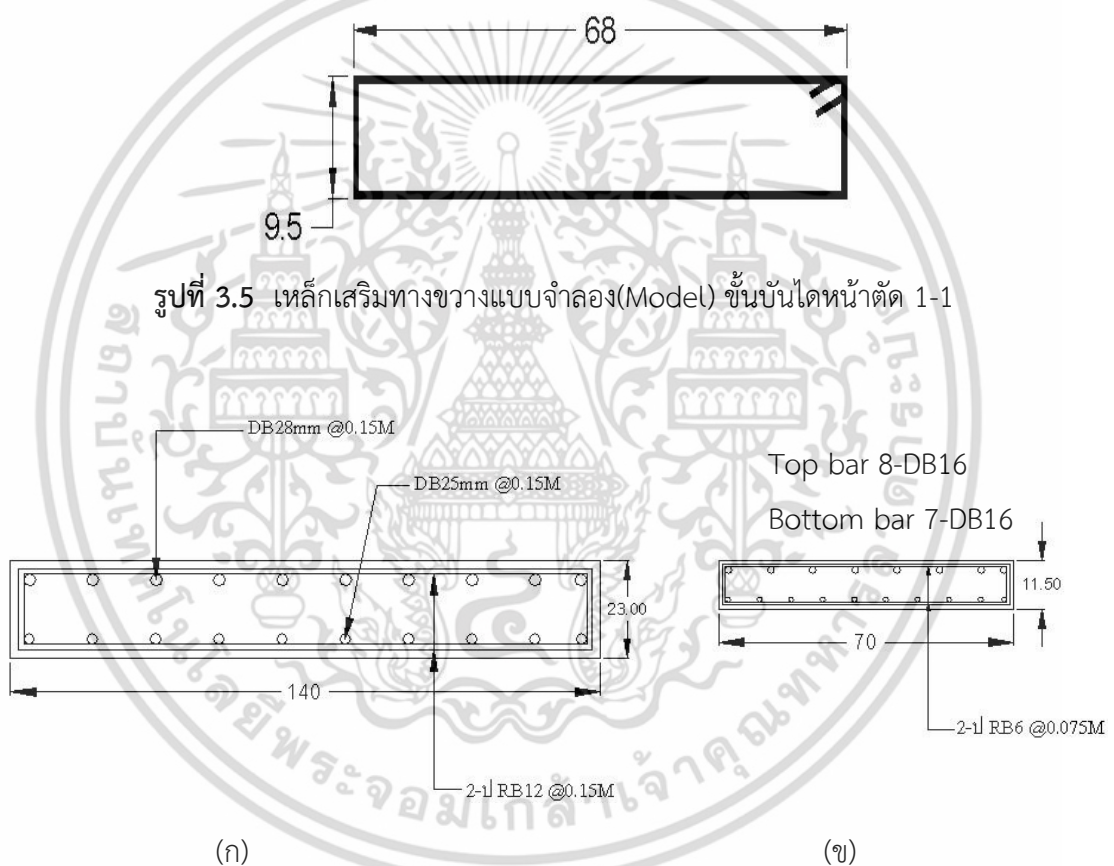
เหล็กเสริมทางขวาง(Stirrup bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม 2-ป RB12@0.15M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.

พื้นที่หน้าตัด

$$= 2 \times \left(\frac{\pi [1.2]^2}{4} \right) = 0.565 \text{ CM}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 0.565 / \left(\frac{\pi [0.6]^2}{4} \right) \quad \text{ใช้เหล็ก 2-RB6@0.075M. รับรอบ}$$



รูปที่ 3.6 การแปลงหน้าตัดชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 (ก) โครงสร้างจริง, (ข) แบบจำลอง

ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 :

เหล็กเสริมหลักบน(Top bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม DB25@0.15M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.จะได้ $(140-2(2))/15 = 9.0667$ ช่องว่าง ดังนั้นใช้เหล็ก 10-DB25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัด

$$= 10 \times \left(\frac{\pi}{4} [2.5]^2 / 2^2 \right) = 12.271 \text{ CM}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 12.271 / \left(\frac{\pi}{4} [1.6]^2 \right)$$

$$= 6.103 \text{ เส้น ใช้เหล็ก 7-DB16}$$

ระยะล้งเหล็กเสริม(ระยะล้งเหล็กเข้าในชานพักบันได)

$$= 70/2 = 35 \text{ CM.}$$

เหล็กเสริมหลักล่าง(Bottom bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม DB16@0.15M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.จะได้ $(140-2(2))/15 = 9.0667$ ช่องว่าง ดังนั้นใช้เหล็ก 10-DB16

พื้นที่หน้าตัด

$$= 10 \times \left(\frac{\pi}{4} [1.6]^2 / 2^2 \right) = 5.026 \text{ CM}^2$$

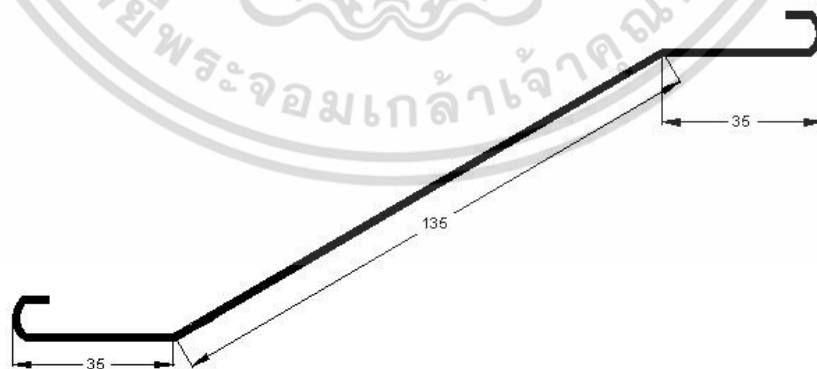
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 5.026 / \left(\frac{\pi}{4} [1.2]^2 \right)$$

$$= 4.444 \text{ เส้น ใช้เหล็ก 5-DB12}$$

ระยะล้งเหล็กเสริม(ระยะล้งเหล็กเข้าในชานพักบันได)

$$= 70/2 = 35 \text{ CM.}$$



รูปที่ 3.7 เหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model) ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2

เหล็กเสริมทางขวาง(Stirrup bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม 2-ป

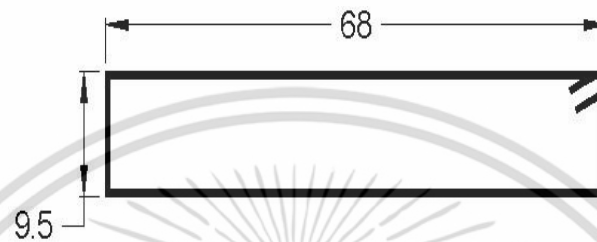
RB12@0.15M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัด

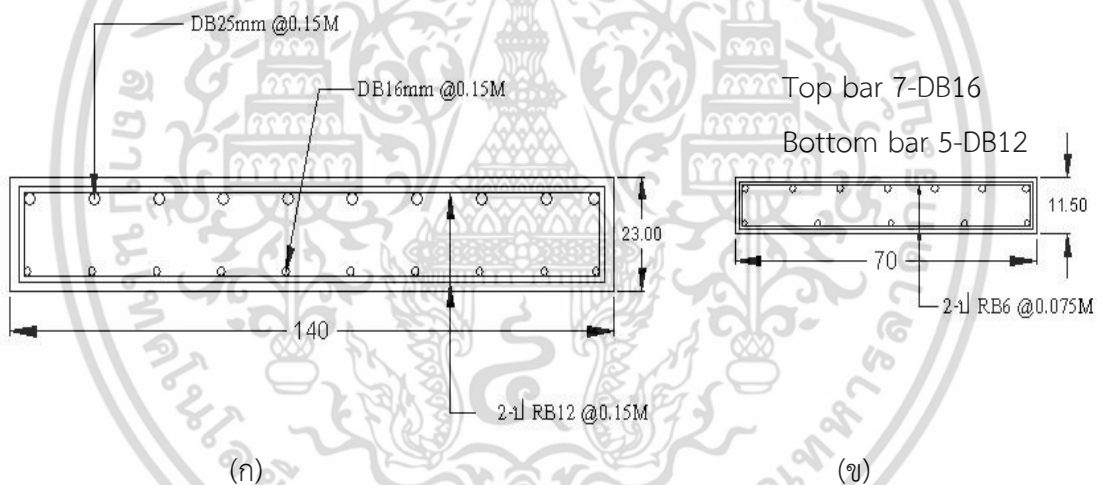
$$= 2 \times \left(\frac{\pi}{4} [1.2]^2 / 2^2 \right) = 0.565 \text{ CM}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 0.565 / \left(\frac{\pi}{4} [0.6]^2 \right) \text{ ใช้เหล็ก 2-RB6@0.075M. รับรอบ}$$



รูปที่ 3.8 เหล็กเสริมทางขวางแบบจำลอง(Model) ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2



รูปที่ 3.9 การแปลงหน้าตัดชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 (ก) โครงสร้างจริง, (ข) แบบจำลอง

ขานพัก 1 :

เหล็กเสริมหลักบน(Top bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม DB25@0.20M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.จะได้ $(140-2(2))/20 = 6.8$ ช่องว่าง ดังนั้นใช้เหล็ก 8-DB25

พื้นที่หน้าตัด

$$= 8 \times \left(\frac{\pi}{4} [2.5]^2 / 2^2 \right) = 9.817 \text{ CM}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 9.817 / \left(\frac{\pi}{4} [1.6]^2 \right)$$

$$= 4.882 \text{ เส้น ใช้เหล็ก 5-DB16}$$

เหล็กเสริมหลักล่าง(Bottom bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม DB25@0.20M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.จะได้ $(140-2(2))/20 = 6.8$ ช่องว่าง ดังนั้นใช้เหล็ก 8-DB25

พื้นที่หน้าตัด

$$= 8 \times \left(\frac{\pi}{4} [2.5]^2 / 2^2 \right) = 9.817 \text{ CM}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 9.817 / \left(\frac{\pi}{4} [1.6]^2 \right)$$

$$= 4.882 \text{ เส้น ใช้เหล็ก 5-DB16}$$



รูปที่ 3.10 เหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model) ชานพัก 1

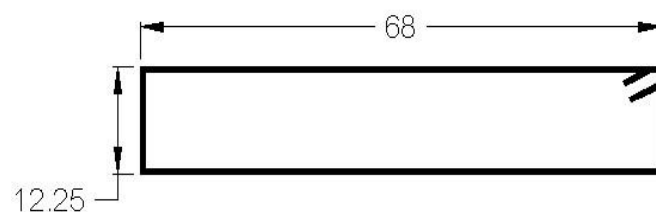
เหล็กเสริมทางขวาง(Stirrup bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม 3-ป RB12@0.15M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.

พื้นที่หน้าตัด

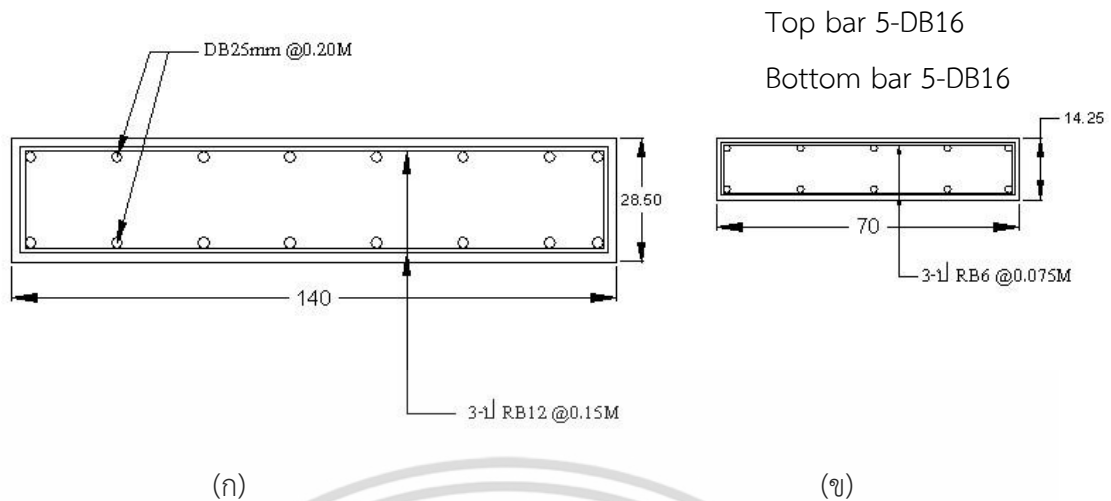
$$= 3 \times \left(\frac{\pi}{4} [1.2]^2 / 2^2 \right) = 0.848 \text{ CM}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 0.848 / \left(\frac{\pi}{4} [0.6]^2 \right) = 2.99 \text{ ใช้เหล็ก 3-RB6@0.075M. รับรอบ}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ 3.11** เหล็กเสริมทางขวางแบบจำลอง(Model) ชานพัก 1 ระเบียบข้อดำเนินการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การแปลงหน้าตัดขานพัก 1 (ก) โครงสร้างจริง, (ข) แบบจำลอง

ขานพัก 2 :

เหล็กเสริมหลักบน(Top bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม DB16@0.20M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.จะได้ $(140-2(2))/20 = 6.8$ ช่องว่าง ดังนั้นใช้เหล็ก 8-DB16

พื้นที่หน้าตัด

$$= 8 \times \left(\frac{\pi [1.6]^2 / 2^2}{4} \right) = 4.021 \text{ CM}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 4.021 / \left(\frac{\pi [1.2]^2}{4} \right) = 3.555 \text{ เส้น ใช้เหล็ก 4-DB12}$$

เหล็กเสริมหลักบน(Top bar) โครงสร้างจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม DB12@0.20M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.จะได้ $(140-2(2))/20 = 6.8$ ช่องว่าง ดังนั้นใช้เหล็ก 8-DB12

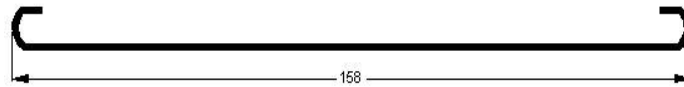
พื้นที่หน้าตัด

$$= 8 \times \left(\frac{\pi [1.2]^2 / 2^2}{4} \right) = 2.261 \text{ CM}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 2.261 / \left(\frac{\pi [1.2]^2}{4} \right) = 1.99 \text{ เส้น ใช้เหล็ก 3-DB12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 เหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model) ขานพัก 2

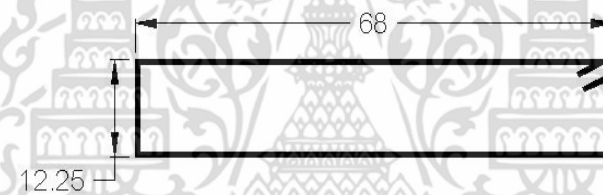
เหล็กเสริมทางขวาง(Stirrup bar) โครงสร้างขนาดจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม 1-ป RB12@0.15M. บันไดกว้าง 1.40 เมตรระยะ Covering 2 ซม.

พื้นที่หน้าตัด

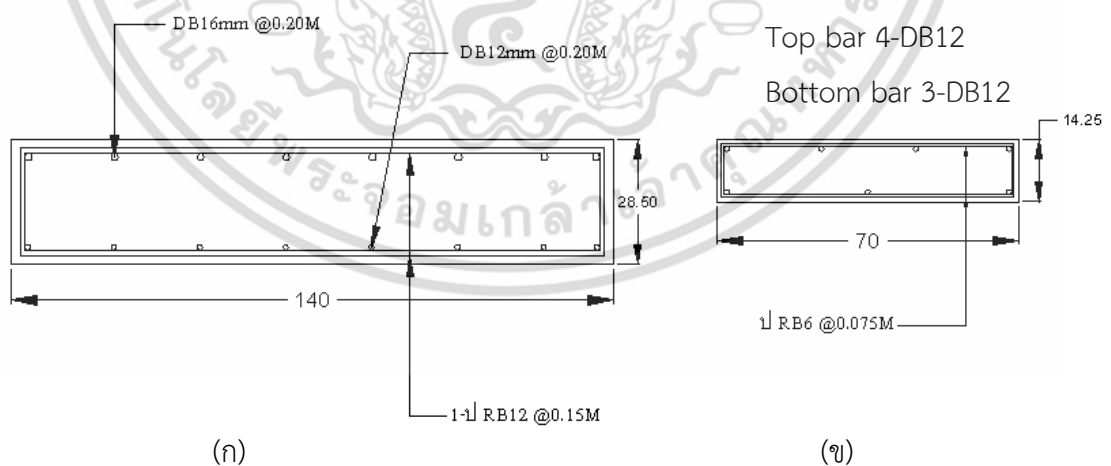
$$= \left(\frac{\pi}{4} [1.2]^2 / 2^2 \right) = 0.282 \text{ CM}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 0.282 \left(\frac{\pi}{4} [0.6]^2 \right) \text{ ใช้เหล็ก 1-RB6@0.075M. ครอบ}$$

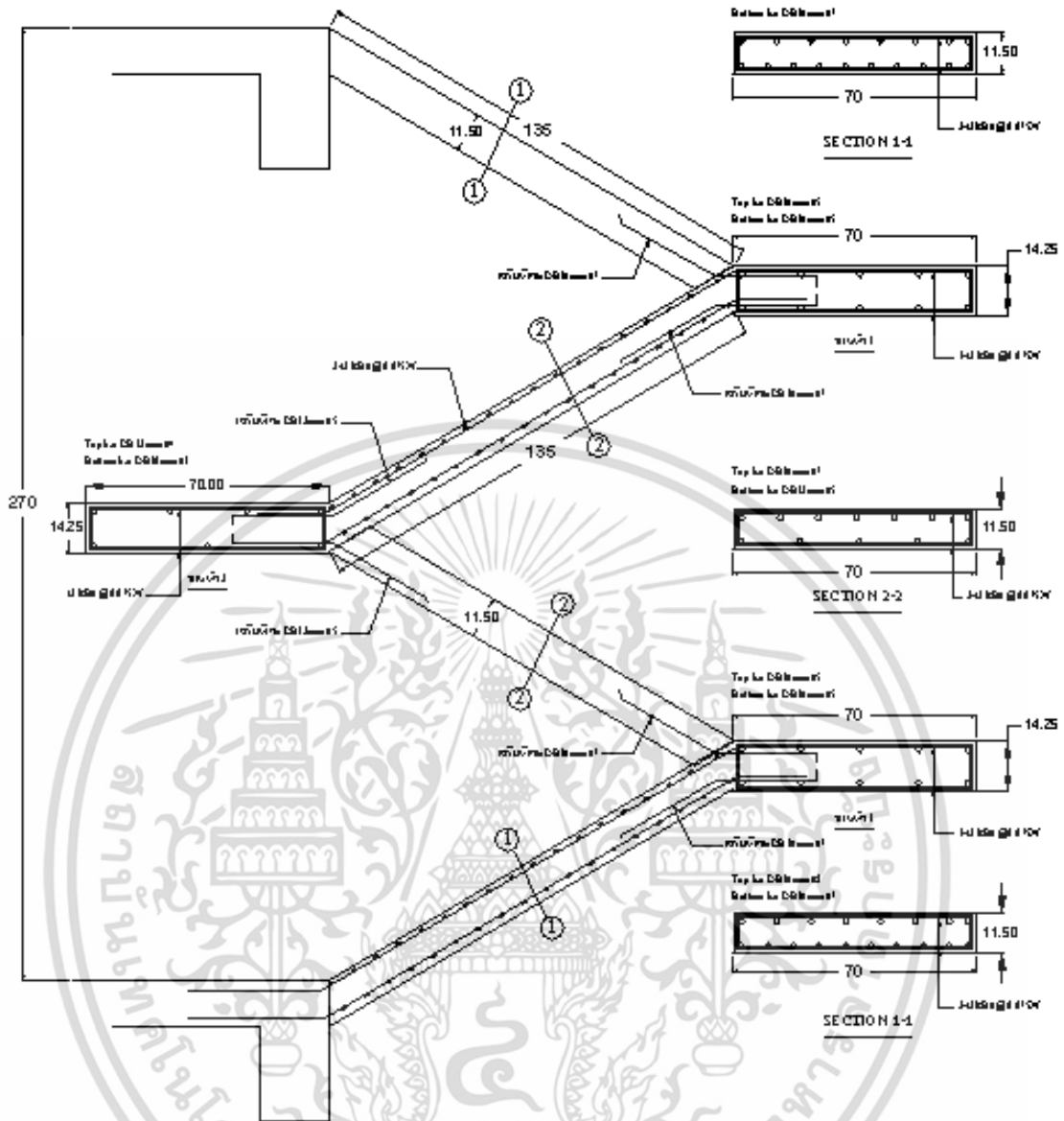


รูปที่ 3.14 เหล็กเสริมทางขวางแบบจำลอง(Model) ขานพัก 2



รูปที่ 3.15 การแปลงหน้าตัดขานพัก 2 (ก) โครงสร้างจริง, (ข) แบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 รายละเอียดเหล็กเสริมแบบจำลอง(Model)

เหล็กเสริมพิเศษ แนวชานพัก 1 :

เหล็กเสริมพิเศษ(Extra bar) แนวชานพัก 1 บน และชานพัก 1 ล่าง โครงสร้างจริง (Prototype) ใช้เหล็กเสริม 1-DB25@0.15M. ตลอดแนวชานพักบันได 3.20 เมตร

พื้นที่หน้าตัด

$$= \left(\frac{\pi [2.5]^2}{4} \right) = 1.227 \text{ CM}^2$$

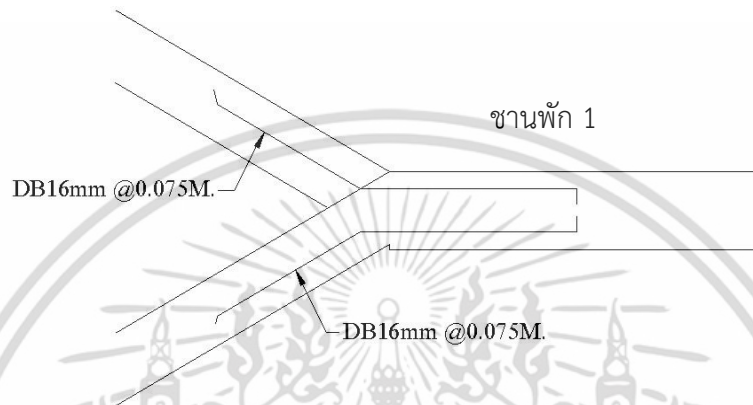
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 1.227 / \left(\frac{\pi [1.6]^2}{4} \right) \text{ ใช้เหล็ก 1-DB16@0.075M.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะล้งเหล็กเสริม

$$\begin{aligned} & \text{ระยะล้งชั้นบันได } 0.25L_1 \text{ (ความยาวชั้นบันได)} \\ & = 0.25(135) = 33.75 \text{ CM. ใช้ความยาว } 34 \text{ CM.} \\ & \text{ระยะล้งชานพัก } 0.50L_2 \text{ (ความกว้างชานพัก)} \\ & = 0.50(70) = 35 \text{ CM.} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.17 เหล็กเสริมพิเศษแบบจำลอง(Model) ชานพัก 1

เหล็กเสริมพิเศษ แนวชานพัก 2 :

เหล็กเสริมพิเศษ(Extra bar) แนวชานพัก 2 โครงสร้างขนาดจริง(Prototype) ใช้เหล็กเสริม 1-DB25@0.15M. ตลอดแนวชานพักบันได 3.20 เมตร

เหล็กเสริมพิเศษชานพัก 2 ใช้เหล็ก 1-DB16@0.15M.

พื้นที่หน้าตัด

$$= \left(\frac{\pi [1.6]^2}{4} \right) = 0.502 \text{ CM}^2$$

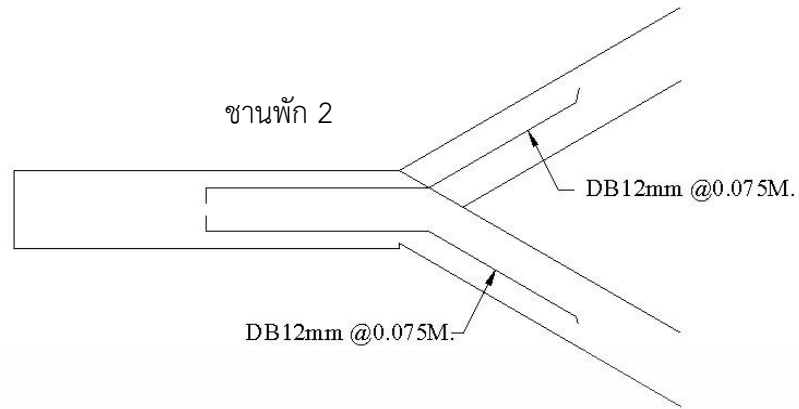
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในมาตราส่วนย่อ(Scale factor) 1:2

$$= 0.502 / \left(\frac{\pi [1.2]^2}{4} \right) \text{ ใช้เหล็ก } 1\text{-DB12@0.075M.}$$

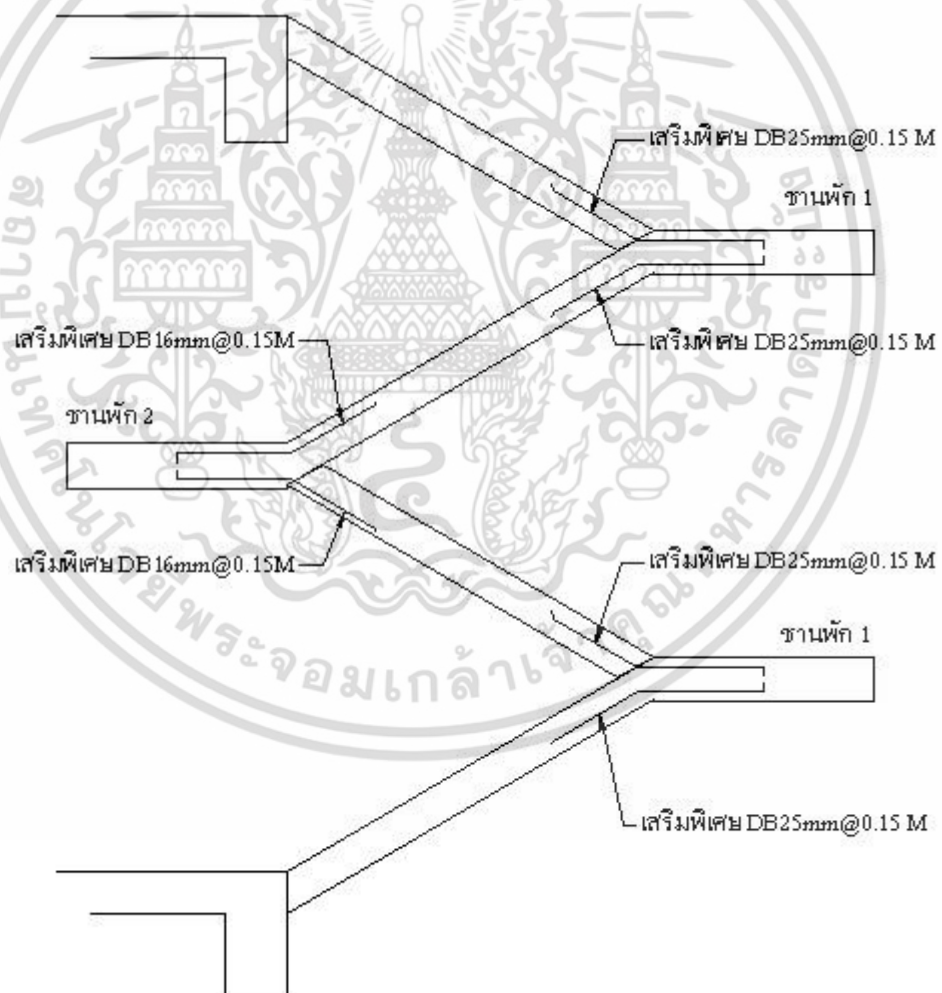
ระยะล้งเหล็กเสริม

$$\begin{aligned} & \text{ระยะล้งชั้นบันได } 0.25L_1 \text{ (ความยาวชั้นบันได)} \\ & = 0.25(135) = 33.75 \text{ CM. ใช้ความยาว } 34 \text{ CM.} \\ & \text{ระยะล้งชานพัก } 0.50L_2 \text{ (ความกว้างชานพัก)} \\ & = 0.50(70) = 35 \text{ CM.} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 เหล็กเสริมพิเศษแบบจำลอง(Model) ชานพัก 2



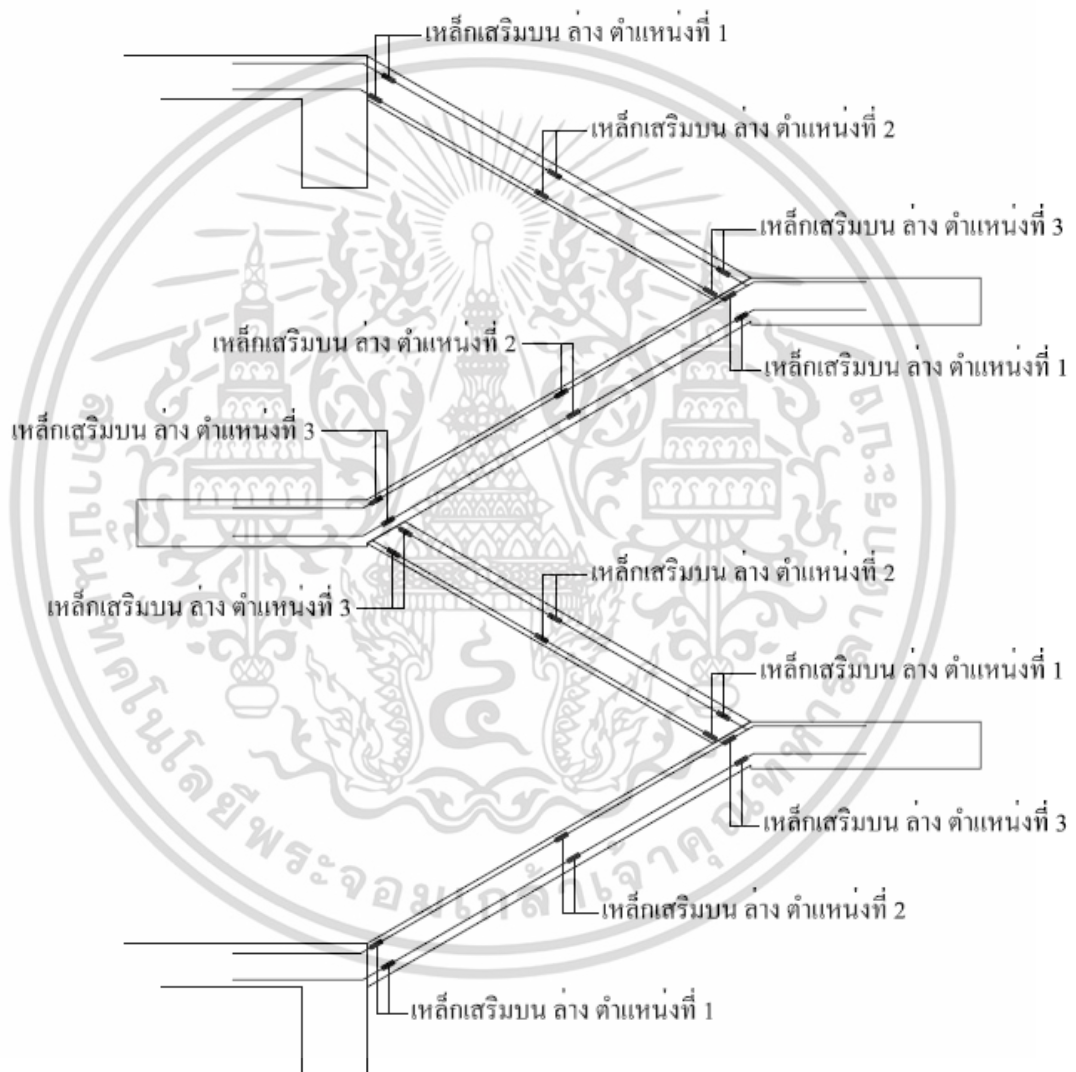
รูปที่ 3.19 เหล็กเสริมพิเศษแบบจำลอง(Model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัว บนเหล็กเสริม

3.3.1 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัวเหล็กเสริมหลัก บริเวณชั้นบันได

ติดตั้ง Strain gauge บนเหล็กเสริมหลักแนวกลางช่วงของชั้นบันไดทดสอบ เหล็กเสริมบน-ล่าง ตำแหน่งละ 3 จุด รวมเป็น 6 จุดต่อชั้นบันได ตำแหน่งติดตั้งประกอบด้วย ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน และชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.20

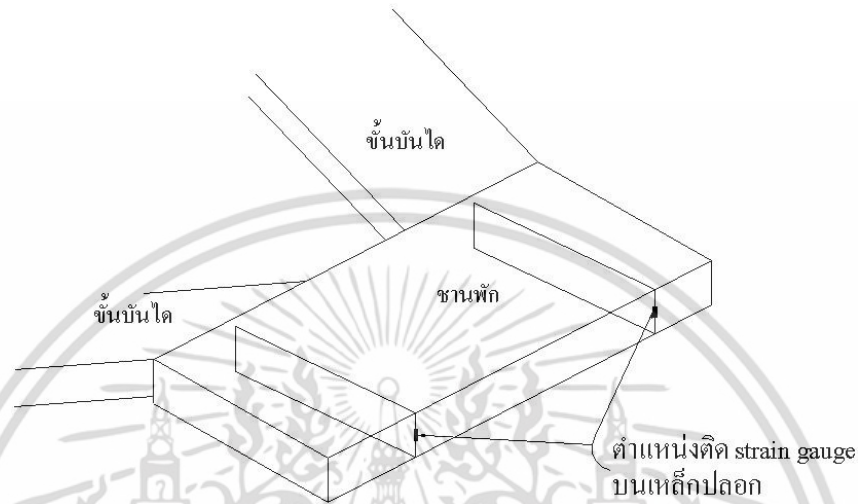


รูปที่ 3.20 ตำแหน่งติดตั้ง Strain gauges ในเหล็กเสริมหลักแบบจำลอง(Model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัวเหล็กเสริมทางขวาง บริเวณชานพัก

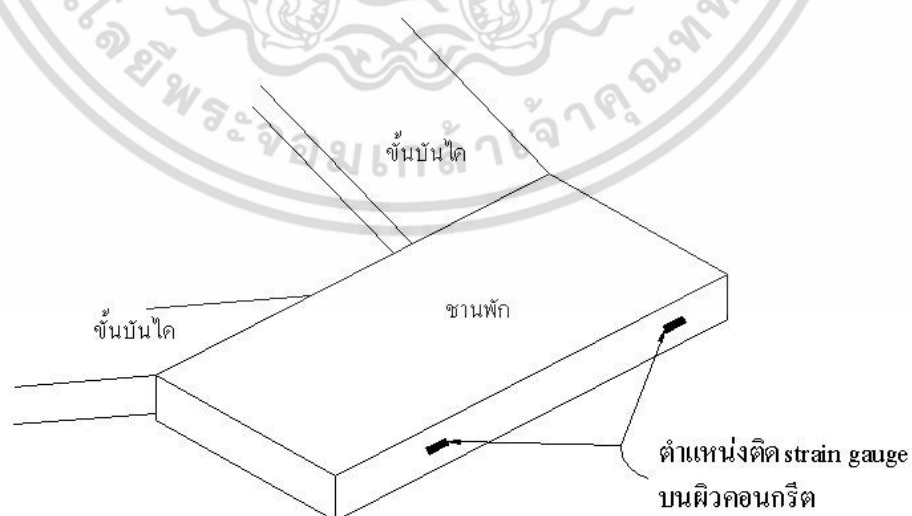
ติดตั้ง Strain gauge บนเหล็กปลอก RB6mm. ตรงบริเวณชานพักของชั้นบันได ทดสอบ เพื่อศึกษาโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นในบริเวณชานพัก ติดตั้ง Strain gauge 2 จุด ต่อ หนึ่งชานพัก ตำแหน่งที่ติดตั้งประกอบด้วย ชานพัก 1 บน, ชานพัก 1 ล่าง และชานพัก 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ตำแหน่งติดตั้ง Strain gauges ในเหล็กเสริมทางขวาง

3.3.3 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัวบนผิวคอนกรีต บริเวณชานพัก

ติดตั้ง Strain gauge 2 จุด ต่อ หนึ่งชานพัก ตำแหน่งติดตั้งประกอบด้วย ชานพัก 1 บน, ชานพัก 1 ล่าง และชานพัก 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ตำแหน่งติดตั้ง Strain gauge บนผิวคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.1 คอนกรีต

ใช้คอนกรีตผสมเสร็จ(Ready Mixed Concrete) กำลังรับแรงอัด 320 กก./ตร.ซม. เก็บตัวอย่างลูกปูน 3 ตัวอย่างบรรจุลงในแบบหล่อทรงกระบอกซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. จากนั้นบ่มด้วยความชื้นและนำไปทดสอบหากำลังอัด (Compressive Strength) ดำเนินการตามข้อกำหนดของ ASTM C39 ซึ่งได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ(Ready Mixed Concrete) เมื่ออายุครบ 28 วัน

ตัวอย่าง	Weight (กก.)	Max Load (กก.)	กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
1	12.85	63,137.53	357.14	368.74
2	12.70	67,134.88	379.75	
3	12.90	65,289.95	369.32	

3.4.2 เหล็กเสริม



รูปที่ 3.23 ทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) ในเหล็กเสริม โดยเครื่องทดสอบ (Universal Testing Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) ประกอบด้วยเหล็กกลมผิวเรียบ (Round Bar) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ชั้นคุณภาพ SR 24 และเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12, 16 มม. ชั้นคุณภาพ SD 40 เหล็กทดสอบเป็นกองเดียวกันกับที่ใช้เสริมบันไดทดสอบ

นำตัวอย่าง 3 ตัวอย่างต่อเหล็กหนึ่งขนาดหากำลังรับแรงดึง(Tensile Strength) ของเหล็กเสริมบันไดทดสอบ การทดสอบจะดำเนินการตามข้อกำหนดของ ASTM A370 ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3.2

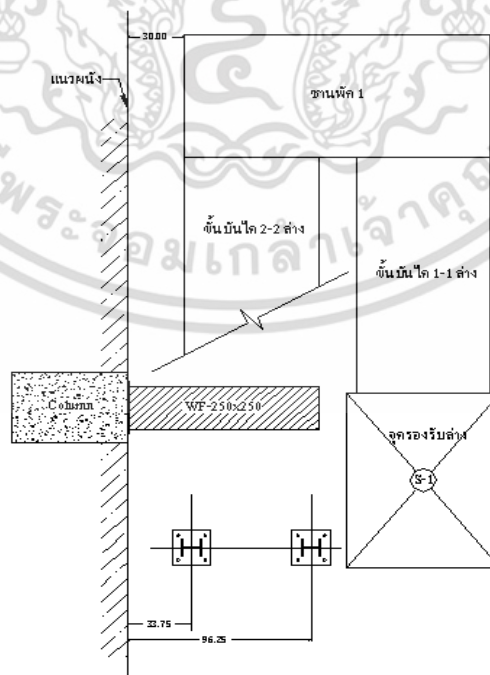
ตารางที่ 3.2 กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมบันไดทดสอบ

เหล็กเสริม	จุดคราก (กก./ตร.ซม.)				กำลังดึงประลัย (กก./ตร.ซม.)				อัตราความยืด (%)		
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3
RB6	4,371	4,555	4,371	4,432.33	5,827	5,827	5,647	5,767.00	24	24	24
DB12	6,399	6,171	6,426	6,332.00	7,447	7,219	7,492	7,386.00	20	21	21
DB16	5,144	5,313	5,652	5,369.67	6,232	6,391	6,739	6,454.00	22	21	21

3.5 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองบันได และวิธีการทดสอบ

3.5.1 การสร้างจตุรองรับ(Support) บันไดทดสอบ

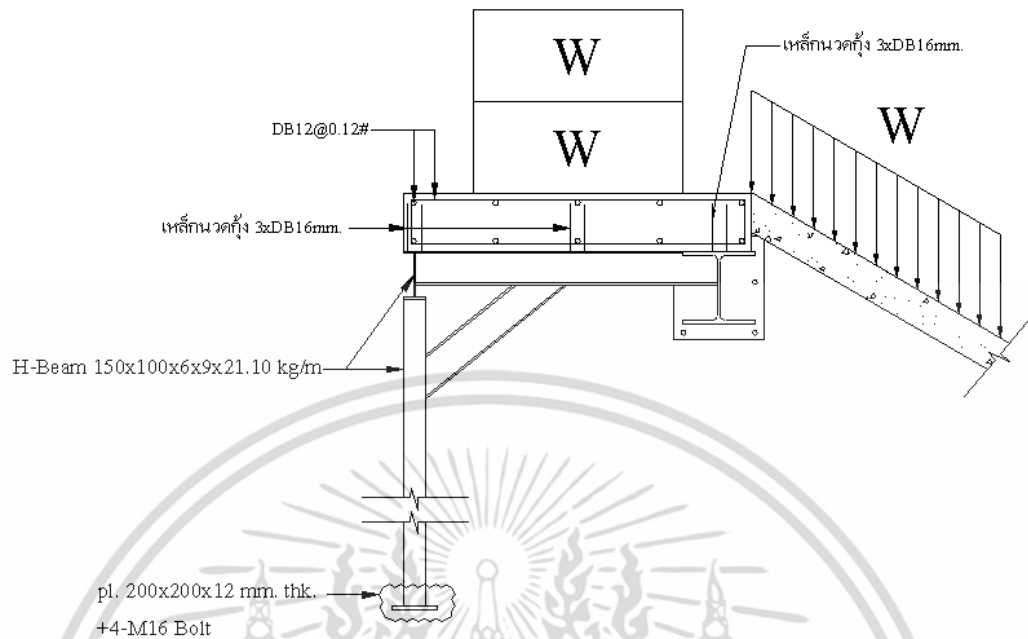
บันไดทดสอบประกอบด้วยจตุรองรับ 2 จุด คือ จตุรองรับบน(Upper Support) และจตุรองรับล่าง (Lower Support)



รูปที่ 3.24 แบบแปลนโครงสร้างบันไดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดรองรับบน (Upper Support) :



รูปที่ 3.25 แบบแสดงรายละเอียด จุดรองรับบน(Upper Support)

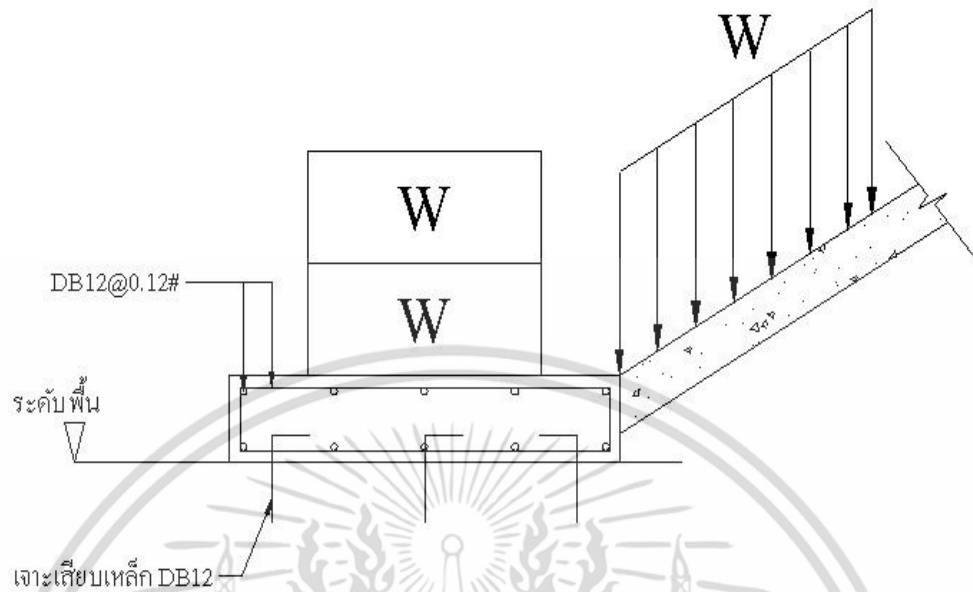
ใช้เหล็ก H-Beam ขนาด 350x350x12x19 mm. เป็นคานรับบันไดทดสอบ ใช้พุกขนาด 20 มม. จำนวน 6 ตัว แผ่นเพลทหนา 20 มม. จุดรองรับเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 30 ซม. เชื่อมเหล็กทวนกึ่ง DB25 จำนวน 4 เส้นกับคานเหล็ก ใช้หลักการถ่วงตุลน้ำหนักโดยเมื่อเพิ่มน้ำหนักทดสอบบันได ต้องเพิ่มน้ำหนักถ่วงตุลบริเวณจุดรองรับ(support) ด้วย



รูปที่ 3.26 ลักษณะการสร้างจุดรองรับบน(Upper Support)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดรองรับล่าง (Lower Support) :



รูปที่ 3.27 แบบรายละเอียด จุดรองรับล่าง(Lower Support)

จุดรองรับล่างคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 30 ซม. เจาะเสียบเหล็กน้ำยาเคมี (Epoxy) DB12mm.๑0.15M. ที่พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อไม่ให้โครงสร้างบันไดขยับตัว(Slip) การทดสอบบันได ใช้หลักการถ่วงตุลน้ำหนัก ดังนี้เมื่อเพิ่มน้ำหนักทดสอบบันได ต้องเพิ่มน้ำหนักถ่วงตุลที่จุดรองรับ(support) ด้วย เช่นเดียวกับจุดรองรับบน



รูปที่ 3.28 ลักษณะการสร้างจุดรองรับล่าง(Lower Support)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 งานไม้แบบบันไดทดสอบ(Form Work)

วัตรระยะ ตำแหน่งไม้แบบและค้ำยัน ตามแบบแปลนโครงสร้างบันไดทดสอบที่ ออกแบบไว้ จากนั้นประกอบโครงสร้างไม้แบบจากจตุรรองรับล่างขึ้นไปหาจตุรรองรับบน โดยช่างไม้ที่มี ความชำนาญงานด้านงานไม้แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ลักษณะโครงสร้างค้ำยัน และไม้แบบ(Form Work)

ใช้ไม้อัดดำหนา 10 มิลลิเมตร เป็นไม้แบบรองรับบันไดทดสอบ ใช้ไม้หน้าสามขนาด 1.5x3 นิ้ว ซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็ง เป็นโครงไม้ค้ำยันโครงสร้างไม้แบบ บางจุดที่ต้องใช้ค้ำยันผสมระหว่างไม้ และเหล็ก เช่นในบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ลักษณะงานไม้แบบบันไดทดสอบหลังจากเข้าแบบ ท้องพื้นเสร็จ ดังแสดงในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ลักษณะงานไม้แบบบันไดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 งานเหล็กเสริมบันไดทดสอบ(Reinforcement)

ตัดเหล็กเสริมขนาด DB16 และ DB12 หน่วยแรงดึงหรือแรงอัดที่จุดครากของเหล็กเสริม(f_y) เท่ากับ 4,000 กก./ตร.ซม. ใช้เครื่องตัดเหล็กให้ได้รูปทรงตรงกับความต้องการ ส่วนเหล็ก RB6 หน่วยแรงดึงหรือแรงอัดที่จุดครากของเหล็กเสริม(f_y) เท่ากับ 2,400 กก./ตร.ซม ใช้มือตัด เหล็กเสริมสามารถเข้ารูปกับโครงสร้างไม้แบบของบันไดทดสอบ และตรงกับรูปแบบมาตรฐานของการดัดงอเหล็กที่ออกแบบไว้ การดัดเหล็กเสริมโดยเครื่องดัดเหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 การดัดเหล็กเสริมบันไดทดสอบ ด้วยเครื่องดัดเหล็ก(Bar Bending)

เมื่อดัดงอเหล็กตรงตามความต้องการ และมาตรฐานการดัดงอเหล็กเสริมที่ออกแบบไว้แล้ว จากนั้นปิดแบบข้างบันไดทดสอบเพื่อเตรียมการเทคอนกรีต การปิดแบบข้างของแบบทดสอบบันไดดังแสดงในรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 ลักษณะการปิดแบบข้าง เพื่อเตรียมการเทคอนกรีตบันไดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขการแข่งขันด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การติดตั้ง Strain Gauges บริเวณเหล็กเสริม

ติดตั้ง Strain Gauges บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน, ล่าง ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน, ล่าง ตำแหน่งแนวกลางช่วงชั้นบันไดทดสอบ นำค่าการยืดหด-ตัว(Strain) ในเหล็กเสริมไปหาค่าความเค้น(Stress) ในเหล็กเสริม จากนั้นนำค่าความเค้นที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดในแนวตั้ง (M_x) ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauges ดังแสดงในรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauges ตำแหน่งเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง

ติดตั้ง Strain Gauges 6 จุด ต่อ 1 ชั้นบันได ประกอบด้วยเหล็กเสริมหลักบน 3 จุด และเหล็กเสริมหลักล่าง 3 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauges ตำแหน่งเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 งานคอนกรีตบันไดทดสอบ

ใช้คอนกรีตผสมเสร็จ(Ready Mix) ของบริษัท น้ำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด ขนาดมวลรวมหยาบโตสุดของคอนกรีตไม่เกิน 3/8 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 งานเทคอนกรีตบันไดทดสอบ โดยใช้คอนกรีตผสมเสร็จ(Ready Mix)

เทคอนกรีตจากจตุรรองรับล่าง(Lower Support) ขึ้นไปจตุรรองรับบน(Upper Support) เพื่อป้องกันการไหลลงของคอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตอัดแน่นไม่เป็นโพรงได้กำลังตามที่ออกแบบไว้ ลักษณะการเทคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ลักษณะการเทคอนกรีตของบันไดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 งานบ่มคอนกรีตบันไดทดสอบ

การบ่มคอนกรีตเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีตอย่างฉับพลัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการแตกร้าวของคอนกรีต และเพื่อให้คอนกรีตมีกำลัง ความทนทานตามที่ได้ออกแบบไว้ การบ่มคอนกรีตโดยใช้กระสอบป่านดังแสดงในรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 ลักษณะการบ่มคอนกรีตโดยใช้กระสอบป่านฉีดย้ำน้ำให้ชุ่ม

ใช้กระสอบป่านฉีดย้ำน้ำให้ชุ่มวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น เพื่อบ่มคอนกรีตให้ผิวหน้าของคอนกรีตมีความชุ่มชื้นอยู่เสมอ บ่มคอนกรีตเป็นระยะเวลา 28 วัน ก่อนทดสอบบันได การบ่มคอนกรีตโดยฉีดย้ำน้ำให้ชุ่มดังแสดงในรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 ลักษณะการบ่มคอนกรีตโดยการฉีดย้ำน้ำให้ชุ่ม ของบันไดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง เมื่อผู้ยื่นคำขอรับใบอนุญาตดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7 การติดตั้ง Strain Gauges บริเวณผิวคอนกรีตชานพักบันไดทดสอบ

แกะแบบข้างบันไดทดสอบเพื่อติดตั้ง Strain Gauges ที่ผิวของคอนกรีตบริเวณชานพัก หลังจากเทคอนกรีต 24 ชั่วโมง การแกะไม้แบบต้องระวังไม่ให้สาย Strain Gauges ขาดหรือชำรุดเสียหายเป็นสาเหตุให้วัดค่าการยืด-หดตัวของเหล็กเสริมไม่ได้ การแกะแบบข้างบันไดทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 การแกะแบบข้างของบันไดทดสอบ

ติดตั้ง Strain Gauges ที่ผิวคอนกรีตเพื่อวัดค่าการยืด-หดตัวของคอนกรีต บริเวณตำแหน่งติดตั้ง คือ ชานพัก 1 ล่าง, บน ชานพัก 2 บริเวณละ 2 จุด การติดตั้ง Strain Gauges บริเวณผิวคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauges บริเวณผิวคอนกรีตของบันไดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.8 การติดตั้ง Dial Gauge บริเวณชานพักบันไดทดสอบ

ติดตั้งโครงสร้างเหล็กรูปพรรณรอบบริเวณบันไดทดสอบ เพื่อเป็นจุดรองรับอุปกรณ์วัดค่าการเคลื่อนตัว(Displacement) ของโครงสร้าง ก่อนการทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกทุกบันไดทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.41



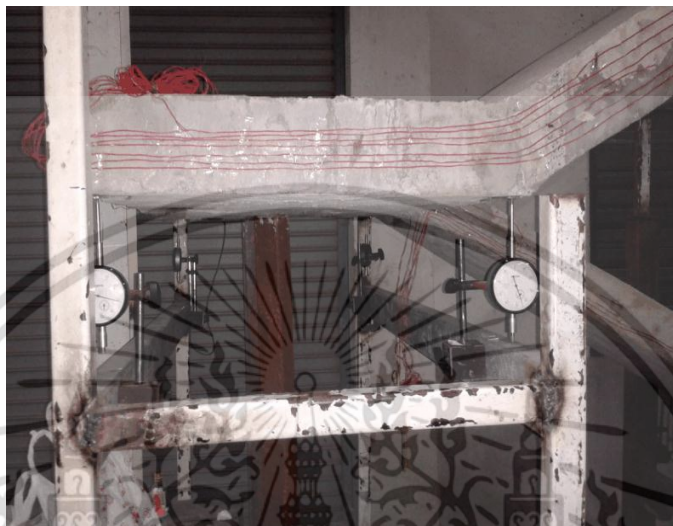
รูปที่ 3.41 ติดตั้งโครงสร้างเหล็กรอบบันไดทดสอบเพื่อติดตั้ง Dial Gauge

ติดแผ่นกระจกหนา 4 มิลลิเมตร บริเวณที่จะติดตั้ง Dial Gauge ติดแผ่นกระจกบริเวณมุมด้านล่างของชานพักบันไดทดสอบ จำนวน 4 จุด และบริเวณขอบด้านข้างชานพัก 1 จุด การติดแผ่นกระจกดังแสดงในรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 ติดตั้งแผ่นกระจกหนา 4 มิลลิเมตร บริเวณชานพักก่อนการติดตั้ง Dial Gauge เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้ง Dial Gauge บริเวณมุมด้านล่างของชานพักบันไดทดสอบ จำนวน 4 จุด บริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างประกอบด้วย ชานพัก 1 บน ชานพัก 1 ล่าง และชานพัก 2 การติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างบริเวณมุมด้านล่างของชานพักดังแสดงในรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 ติดตั้ง Dial Gauge บริเวณมุมด้านล่างของชานพักบันไดทดสอบ จำนวน 4 จุด

ติดตั้ง Dial Gauge บริเวณขอบด้านข้างชานพักบันไดทดสอบ จำนวน 1 จุด การติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างบริเวณขอบด้านข้างชานพักดังแสดงในรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 ติดตั้ง Dial Gauge บริเวณขอบด้านข้างชานพัก 1 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.9 การทดสอบน้ำหนักบรรทุกใช้งานของบันไดทดสอบ

ตุ้มน้ำหนักทดสอบบรรจุทรายหยาบน้ำหนัก 10 กก. ต่อ ถุง ใช้แทนน้ำหนักบรรทุกคงที่ และ น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน เช่น น้ำหนักวัสดุปูผิว เท่ากับ 120 กก. ต่อ ตร.ม. และน้ำหนักบรรทุกจรใช้งานของบันไดทดสอบ เท่ากับ 300 กก. ต่อ ตร.ม. ตุ้มน้ำหนักบรรจุทรายขนาด 10 กก. ดังแสดงใน รูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 กระสอบบรรจุทรายน้ำหนัก 10 กก. ต่อ ถุง

3.5.10 วิธีการทดสอบบันได

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างบันไดทดสอบจะดำเนินการตามวิธี Static Load Test ACI 318M-2005 ขั้นตอนในการทดสอบบันได ดังนี้

1. รวมสาย Strain Gauge เข้ากับเครื่อง Data Logger
2. ต่ออุปกรณ์บันทึกค่าความเครียด(Strain) Data Logger เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์
3. วางน้ำหนักบรรทุกให้แผ่กระจายทั่วบริเวณบันไดทดสอบ
4. บันทึกค่าความเครียด(Strain) คอนกรีต และในเหล็กเสริมเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกบันไดทดสอบ

น้ำหนักบรรทุกทดสอบที่พิจารณา คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด $1.4DL + 1.7LL$ (Ultimate)

โดยที่ DL คือ Dead Load (น้ำหนักบรรทุกคงที่)

LL คือ Live Load (น้ำหนักบรรทุกจร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของชั้นบันได

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ชั้นบันได

$$= \left(\frac{1}{2} (0.15)(0.315)(15)(2,400) \right) / ((1.40)(2.70))$$

$$= 225.00 \text{ kg. / m}^2$$

2. น้ำหนักบรรทุกคงที่บันได

$$= (0.23)(2,400)$$

$$= 552.00 \text{ kg. / m}^2$$

3. น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย(Ultimate)

$$= (1.40)(225 + 552 + 120) + (1.70)(300)$$

$$= 1,765.80 \text{ kg. / m}^2$$

4. ย่อส่วนน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย(Ultimate)

$$= (1,765.80) / 2$$

$$= 882.90 \text{ kg. / m}^2$$

น้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของชานพัก

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ชั้นบันได

$$= (0.285)(2,400)$$

$$= 684.00 \text{ kg. / m}^2$$

2. น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย(Ultimate)

$$= (1.40)(684 + 120) + (1.70)(300)$$

$$= 1,635.60 \text{ kg. / m}^2$$

3. ย่อส่วนน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย(Ultimate)

$$= (1,635.60) / 2$$

$$= 817.80 \text{ kg. / m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทดสอบทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ บริเวณชั้นบันได

น้ำหนักบรรทุกทดสอบ	พื้นที่ (m ²)	น้ำหนักบรรทุก (kg./m ²)	น้ำหนักบรรทุกรวม (kg./m ²)	น้ำหนักย่อยส่วน (kg./m ²)	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	ถุงทราย (ถุง)	ถุงเศษ (kg.)
Self Weight	-	552.00	552.00	276.00	-	-	-
Riser and Tread	0.818	225.00	777.00	388.50	317.95	31	7.95
Finishing	0.818	120.00	897.00	448.50	367.05	36	7.05
LL 25%	0.818	75.00	972.00	486.00	397.74	39	7.74
LL 50%	0.818	75.00	1,047.00	523.50	428.43	42	8.43
LL 75%	0.818	75.00	1,122.00	561.00	459.12	45	9.12
LL 100%	0.818	75.00	1,197.00	598.50	489.81	48	9.81
LL 150%	0.818	150.00	1,347.00	673.50	551.19	55	1.19
LL 200%	0.818	150.00	1,497.00	748.50	612.57	61	2.57
LL 250%	0.818	150.00	1,647.00	823.50	673.95	67	3.95
Ultimate	0.818	118.80	1,765.80	882.90	722.56	72	2.56

**ถุงน้ำหนัก 1 ถุงหนัก 10 กิโลกรัม

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ บริเวณชานพัก

น้ำหนักบรรทุกทดสอบ	พื้นที่ (m ²)	น้ำหนักบรรทุก (kg./m ²)	น้ำหนักบรรทุกรวม (kg./m ²)	น้ำหนักย่อยส่วน (kg./m ²)	น้ำหนักบรรทุก (กก.)	ถุงทราย (ถุง)	ถุงเศษ (kg.)
Self Weight	-	684.00	684.00	342.00	-	-	-
Finishing	1.12	120.00	804.00	402.00	450.24	45	0.24
LL 25%	1.12	75.00	879.00	439.50	492.24	49	2.24
LL 50%	1.12	75.00	954.00	477.00	534.24	53	4.24
LL 75%	1.12	75.00	1,029.00	514.50	576.24	57	6.24
LL 100%	1.12	75.00	1,104.00	552.00	618.24	61	8.24
LL 150%	1.12	150.00	1,254.00	627.00	702.24	70	2.24
LL 200%	1.12	150.00	1,404.00	702.00	786.24	78	6.24
LL 250%	1.12	150.00	1,554.00	777.00	870.24	87	0.24
Ultimate	1.12	118.80	1,635.60	817.80	915.24	91	5.24

**ถุงน้ำหนัก 1 ถุงหนัก 10 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานนั้น จะทดสอบน้ำหนักบรรทุกกรณีเดียว คือ น้ำหนักบรรทุกกระทำในแนวตั้ง(Gravity Load) โดยน้ำหนักบรรทุกจรของบันไดทดสอบมีเท่ากับ 150 กก. ต่อ ตร.ม. ในระหว่างการวางน้ำหนักบรรทุกทดสอบจะต้องไม่มีน้ำหนักบรรทุกอย่างอื่นกระทำบนบันไดระหว่างการทดสอบ การทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกดังแสดงในรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 ลักษณะการวางบรรทุกแบบแผ่กระจายทั่วบริเวณบันไดทดสอบ

3.5.11 การบันทึกข้อมูลระหว่างการทดสอบบันได

รวมสายอุปกรณ์วัดค่าการยืด-หดตัว(Strain) ในคอนกรีตและเหล็กเสริมไว้ที่จุดเดียวกัน จากนั้นรวมสายแต่ละจุดต่อเข้ากับเครื่อง Data Logger การรวมสาย Strain Gauges ดังแสดงในรูปที่ 3.47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

รูปที่ 3.47 การรวมสายวัดค่ายืด-หดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้ง Data Logger กับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกผลการยืด-หดตัวในคอนกรีต และเหล็กเสริมซึ่งให้ค่าความละเอียดและถูกต้องสูง จากนั้นใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลการทดสอบ และวิเคราะห์ข้อมูล การติดตั้งเครื่อง Data Logger ดังแสดงในรูปที่ 3.48

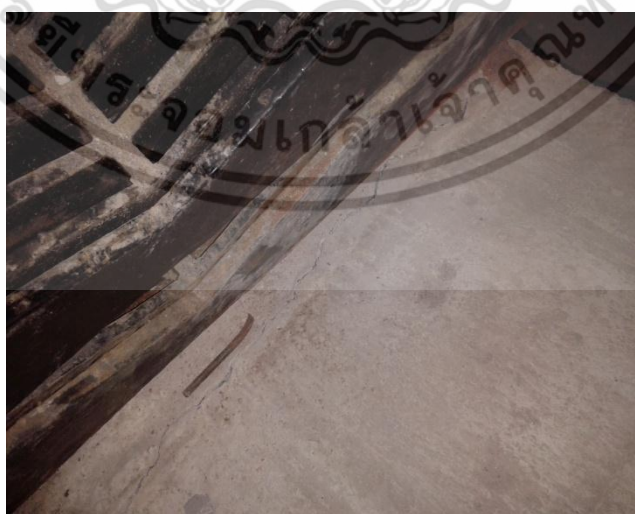


รูปที่ 3.48 การติดตั้ง Data Logger เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูลผลการทดสอบบันได

3.6 การเก็บข้อมูลหลังการทดสอบบันได

3.6.1 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบันไดทดสอบ

การวิบัติของชั้นบันไดสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากโมเมนต์ดัดหลัก การแตกร้าวจึงเกิดขึ้นบริเวณจุดรองรับ ซึ่งเป็นรอยแตกร้าวยาวตลอดหน้าตัดชั้นบันได ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.49 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง เมื่อทดสอบวางน้ำหนัก

บรรทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง

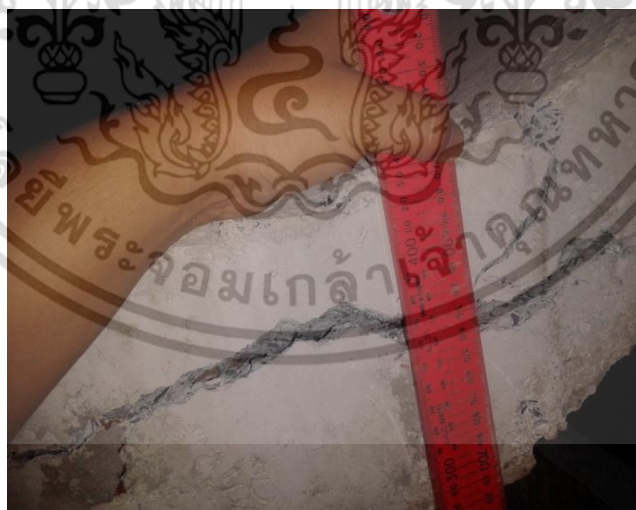
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิบัติของชั้นบันไดสาเหตุจากโมเมนต์ดัดหลัก ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ดังแสดงในรูปที่ 3.50



รูปที่ 3.50 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง

ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง บริเวณติดกับชานพัก 1 ล่าง การวิบัติของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันได 2-2 ล่าง เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน บริเวณติดกับชานพัก 1 บน การวิบัติของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.52



รูปที่ 3.52 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง

ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างชานพักของบันไดทดสอบ ส่วนใหญ่จะเกิดตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชานพัก และชั้นบันได ซึ่งพฤติกรรมของโครงสร้างชานพักนี้ลักษณะคล้ายกับโครงสร้างพื้นยื่น การวิบัติของโครงสร้างชานพัก 1 ล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.53



รูปที่ 3.53 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 ล่าง เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างชานพักของบันไดทดสอบเนื่องจากการเคลื่อนตัว (Displacement) ของโครงสร้างบันไดทดสอบ การเคลื่อนตัวของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.54



รูปที่ 3.54 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 บน เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง

ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชานพัก 2 บริเวณติดกับชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน, ล่าง การวิบัติของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.55



รูปที่ 3.55 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างบริเวณชานพัก 2 เมื่อทดสอบวางน้ำหนักบรรทุกถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต โดยการเจาะ(Coring)

เจาะ(Coring) บันไดทดสอบเพื่อเก็บลูกปูนตัวอย่างหลังจากทำการทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure) เพื่อสังเกตลักษณะภายใน และรอยแตกร้าวภายในคอนกรีต การเจาะ(Coring) บันไดทดสอบเพื่อเก็บตัวอย่างลูกปูนดังแสดงในรูปที่ 3.56



รูปที่ 3.56 ลักษณะการเจาะ(Coring) เพื่อเก็บตัวอย่างลูกปูนคอนกรีตบันไดทดสอบ

ทำการเคลือบ(Capping) ที่หัวของแกนคอนกรีตที่ตัดแล้ว ด้วยวัสดุที่สามารถรับกำลังอัดได้มากกว่าแท่งคอนกรีต การเคลือบ(Capping) ลูกปูนทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.57



รูปที่ 3.57 ลักษณะการเคลือบ(Capping) ฝิหน้าของตัวอย่าง เพื่อทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต(Compressive Strength) จะดำเนินการตามข้อกำหนดของ ASTM C42-99 ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากการ Coring

ตัวอย่าง	หน้าตัด (ซม. ²)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	Ultimate Load (กก.)	กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)	กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
1	16.19	8.38	0.290	3,947	219.83	265.78
2	15.98	8.07	0.278	4,868	273.39	
3	15.98	7.95	0.273	5,056	283.31	
4	15.94	8.34	0.292	4,895	276.87	
5	16.01	8.83	0.310	4,851	275.50	

3.6.3 ลักษณะภายในคอนกรีตบันไดทดสอบ

เก็บตัวอย่างลูกปูนหลังจากทดสอบบันไดจนถึงจุดวิบัติของโครงสร้าง เพื่อสังเกตลักษณะการแตกร้าวภายในของโครงสร้างคอนกรีต ตำแหน่งที่เจาะคอนกรีตเพื่อเก็บตัวอย่าง(Coring) ลูกปูนมีดังนี้

ลักษณะภายในของโครงสร้างคอนกรีต บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง :



รูปที่ 3.58 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ(Failure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะภายในของโครงสร้างคอนกรีต บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน :



รูปที่ 3.59 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ(Failure)

ลักษณะภายในของโครงสร้างคอนกรีต บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง :



รูปที่ 3.60 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ(Failure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะภายในของโครงสร้างคอนกรีต บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน :



รูปที่ 3.61 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ(Failure)

ลักษณะภายในของโครงสร้างคอนกรีต บริเวณชานพัก 1 ล่าง :



รูปที่ 3.62 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 1 ล่าง เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะภายในของโครงสร้างคอนกรีต บริเวณขานพัก 2 :



รูปที่ 3.63 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณขานพัก 2 เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure)

ลักษณะภายในของโครงสร้างคอนกรีต บริเวณขานพัก 1 บน :



รูปที่ 3.64 ลักษณะภายในของคอนกรีตบันไดทดสอบ บริเวณขานพัก 1 บน เมื่อทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 การเก็บตัวอย่างเหล็กเสริม

สกัด รื้อถอนบันไดทดสอบ และเก็บชิ้นตัวอย่างเหล็กเสริมเพื่อทดสอบหาค่าแรงดึงของเหล็กเสริมหลังจากทดสอบถึงจุดวิบัติ(Failure) ตัวอย่างเหล็กเสริมประกอบด้วย DB16, DB12 และ RB6 การรื้อถอนบันไดทดสอบเพื่อเก็บตัวอย่างเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 3.65



รูปที่ 3.65 การรื้อถอนบันไดทดสอบ และเก็บตัวอย่างเหล็กเสริม เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)

จัดบันทึกหมายเลขเหล็กเสริม และแบ่งกลุ่มตามตำแหน่งต่าง ๆ ของบันไดทดสอบ ดังนี้ ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน, ล่าง ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน, ล่าง ชานพัก 1 บน, ล่าง และชานพัก 2 ตัวอย่างเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 3.66

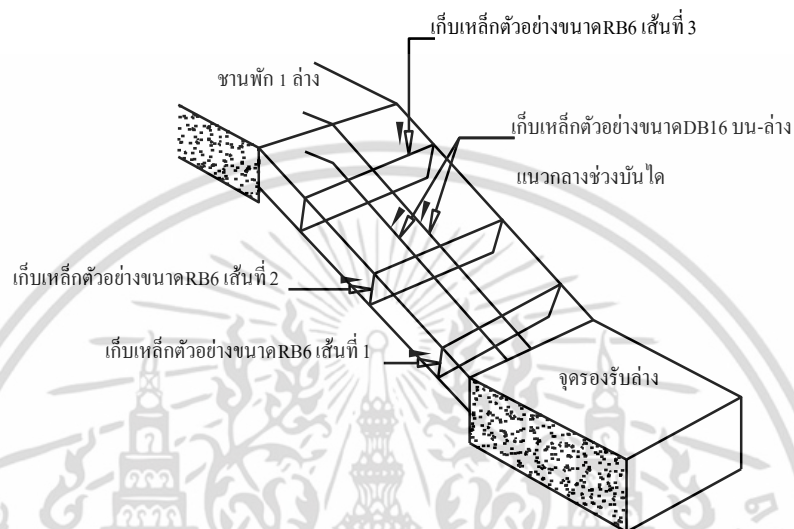


รูปที่ 3.66 การบันทึกหมายเลขของเหล็กเสริมในแต่ละตำแหน่งของบันไดทดสอบ เพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

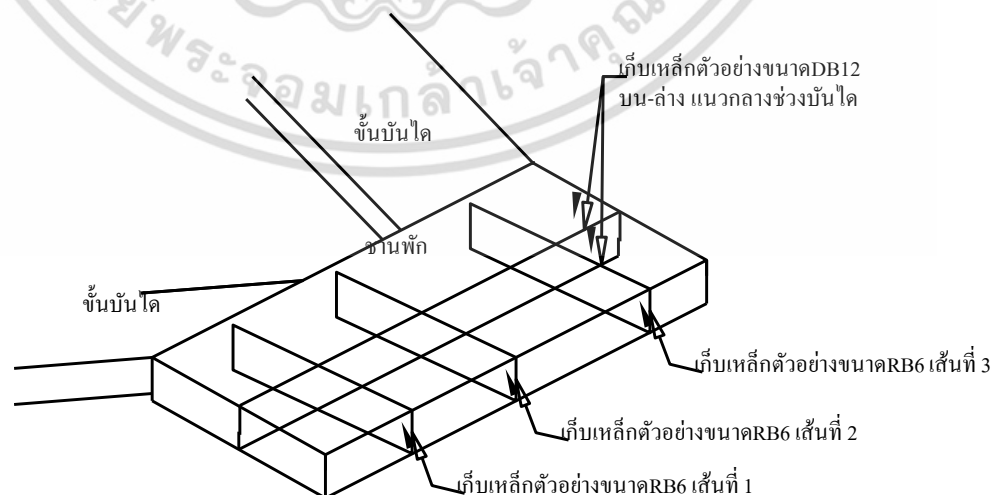
การเก็บตัวอย่างเหล็กเสริม ประกอบด้วยตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้ :

ชั้นบันไดหน้าตัด 1 และ 2 จำนวน 4 ช่วง : ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน, ล่าง ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน, ล่าง : เหล็กเสริมหลักบน(Top bar) บริเวณแนวกลางช่วงชั้นบันไดทดสอบ จำนวน 1 เส้น เหล็กเสริมล่าง(Bottom bar) บริเวณแนวกลางช่วงชั้นบันไดทดสอบจำนวน 1 เส้น เหล็กปลอก(Stirrup bar)จำนวน 3 เส้น ตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.67



รูปที่ 3.67 ตำแหน่งเก็บเหล็กเสริมตัวอย่าง บริเวณชั้นบันได

แกนพักบันได 3 ช่วง : แกนพัก 1 บน, ล่าง และแกนพัก 2 เหล็กเสริมหลักบน(Top bar) บริเวณแนวกลางช่วงชั้นบันไดทดสอบจำนวน 1 เส้น เหล็กเสริมล่าง(Bottom bar) บริเวณแนวกลางช่วงชั้นบันไดทดสอบ จำนวน 1 เส้น เหล็กปลอก(Stirrup bar) จำนวน 3 เส้น ตัวอย่างเหล็กเสริมที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.68



รูปที่ 3.68 ตำแหน่งเก็บเหล็กเสริมตัวอย่าง บริเวณแกนพัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.5 การทดสอบแรงดึง(Tensile Strength) ในเหล็กเสริม

การทำการรับแรงดึง(Tensile Strength) ของเหล็กเสริมบันไดทดสอบ โดยใช้เครื่อง UTM และหาค่าระยะการยืดตัวของเหล็กเสริม โดยเกจวัดการยืดตัวของเหล็ก(Extensometer) การทดสอบเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 3.69



รูปที่ 3.69 ทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) ในเหล็กเสริม และหาระยะยืดตัว(Strain) ของเหล็กเสริมของบันไดทดสอบ โดยใช้เกจวัดการยืดตัวของเหล็ก (Extensometer)

วัดค่าระยะยืดตัวของเหล็กเสริมก่อน-หลังการทดสอบเหล็กเสริมเพื่อหาค่าอัตราความยืด(%) ของเหล็กเสริมบันไดทดสอบ การวัดค่าอัตราความยืดโดยเวอร์เนียคาลิเปอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.70



รูปที่ 3.70 การวัดค่ายืดตัวในเหล็กเสริมบันไดทดสอบ หลังจากทดสอบถึงจุดวิบัติ (Failure)

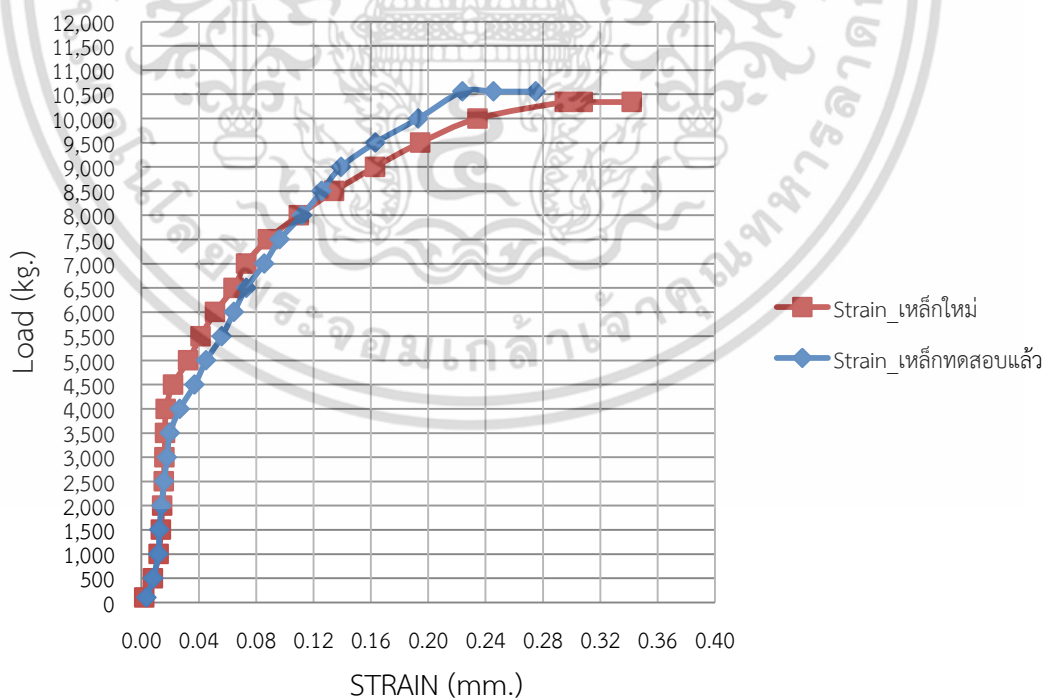
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการขาดของเหล็กเสริมบันไดทดสอบ หลังจากการทดสอบรับแรงดึง(Tensile Strength) ดังแสดงในรูปที่ 3.71



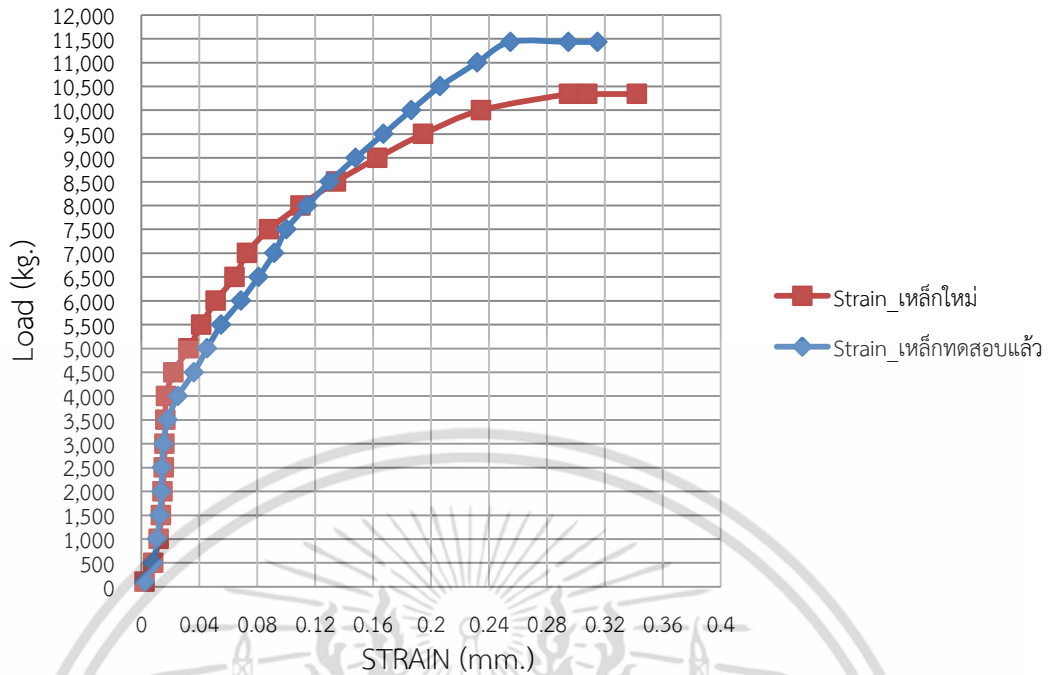
รูปที่ 3.71 ลักษณะการขาดของเหล็กเสริมบันไดทดสอบ จากการทดสอบแรงดึง

พล็อตค่าเปรียบเทียบความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมบันไดทดสอบ กับเหล็กเสริมใหม่ที่ถูกดึงถึงจุดคราก(Yield point) ปล่อยแรงดึง และทดสอบแรงดึงใหม่อีกครั้ง ได้ค่าดังนี้

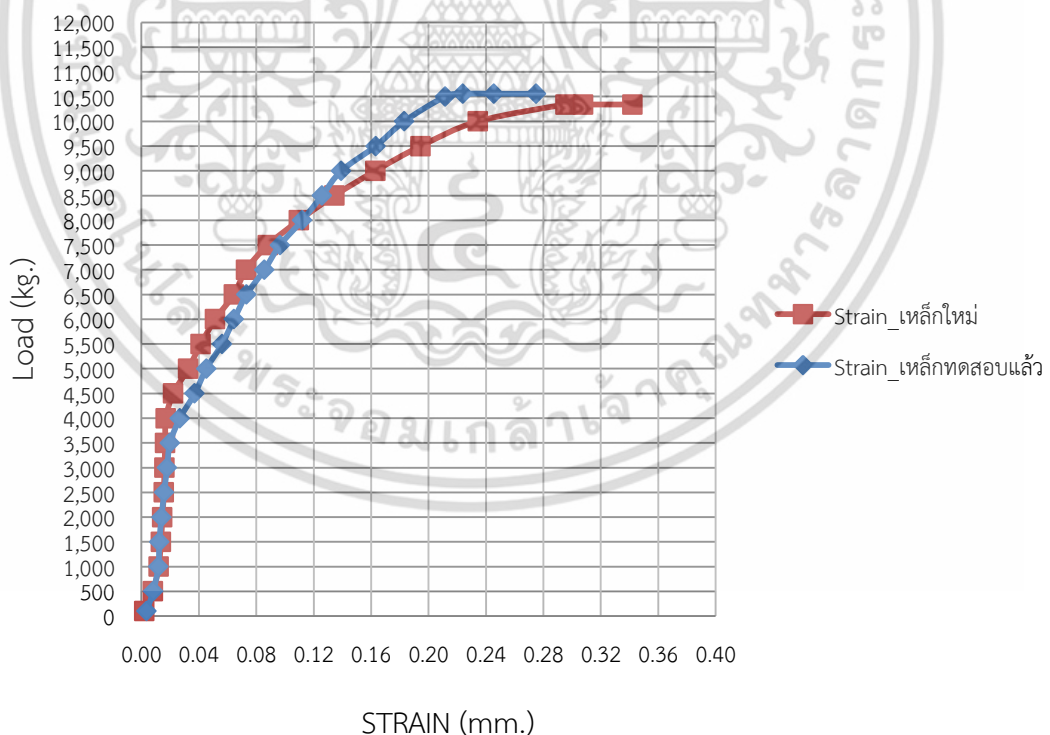


รูปที่ 3.72 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 บน ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

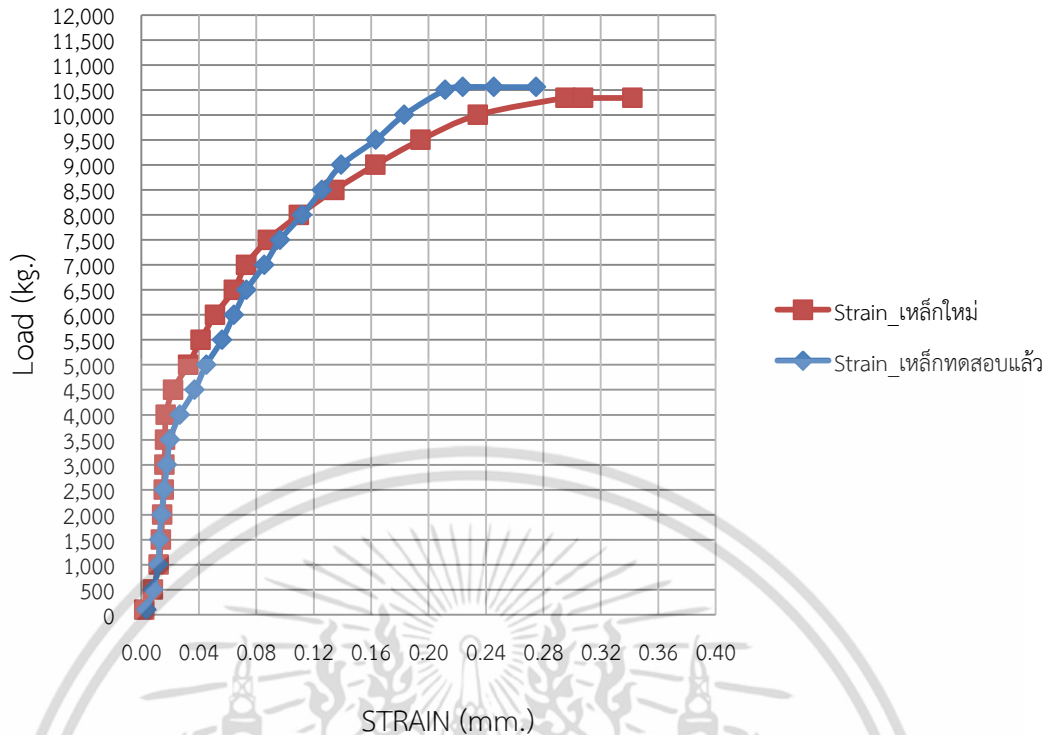


รูปที่ 3.73 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 ล่าง ชั้นบันได
หน้าตัด 1-1 ล่าง

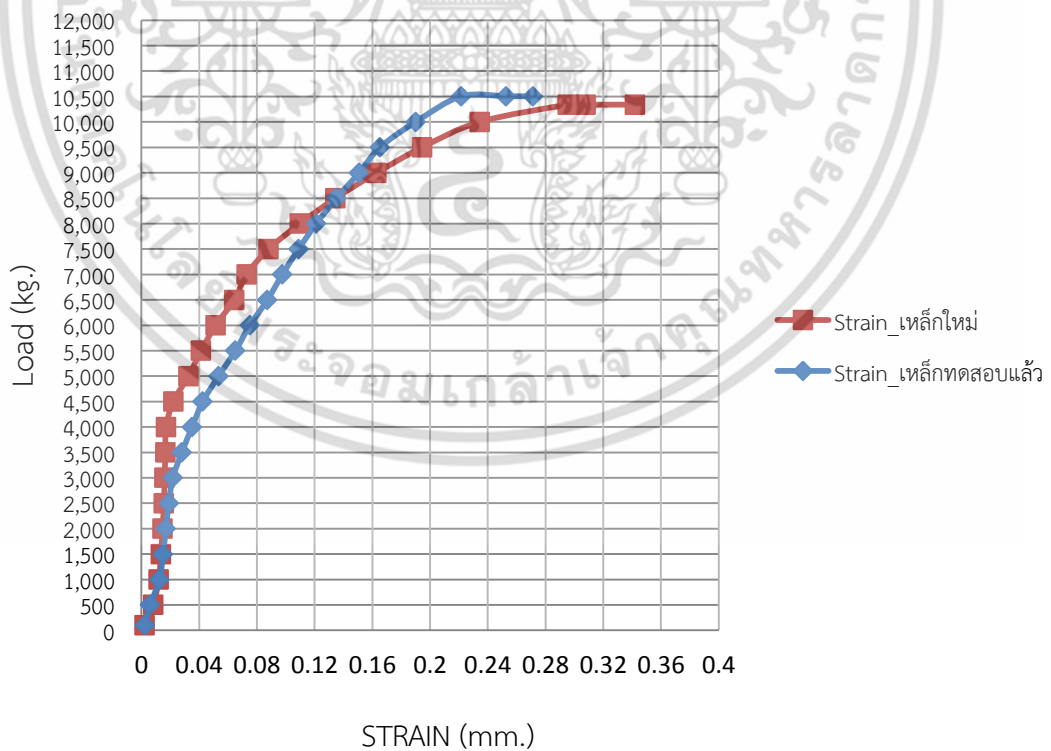


รูปที่ 3.74 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 บน ชั้นบันได
หน้าตัด 1-1 บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

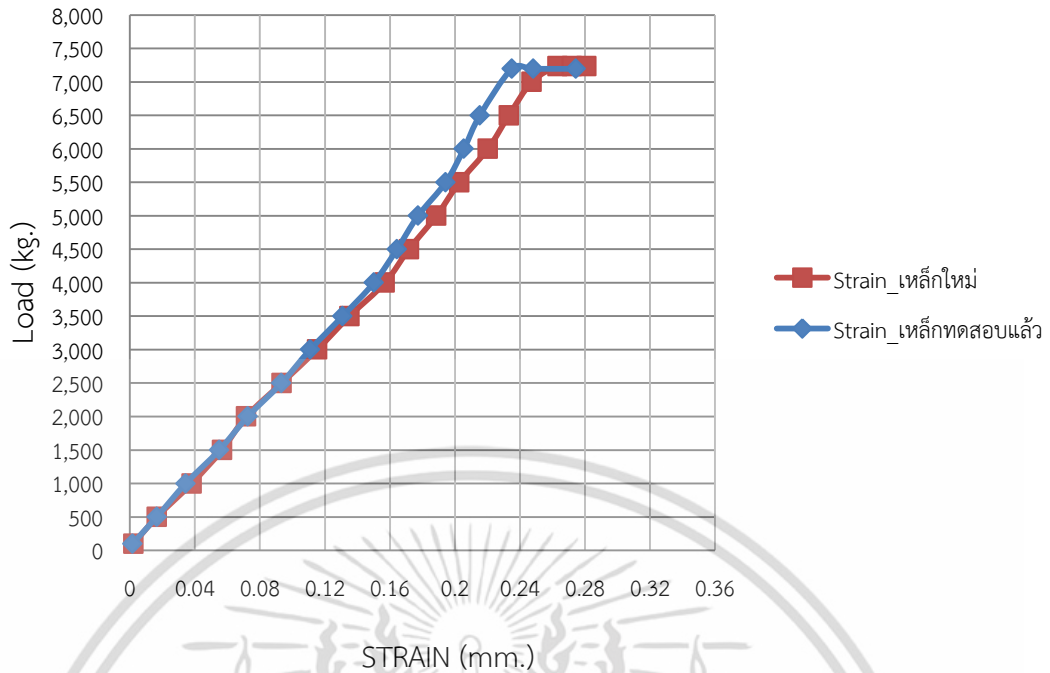


รูปที่ 3.75 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 ล่าง ชั้นบันได หน้าตัด 1-1 บน

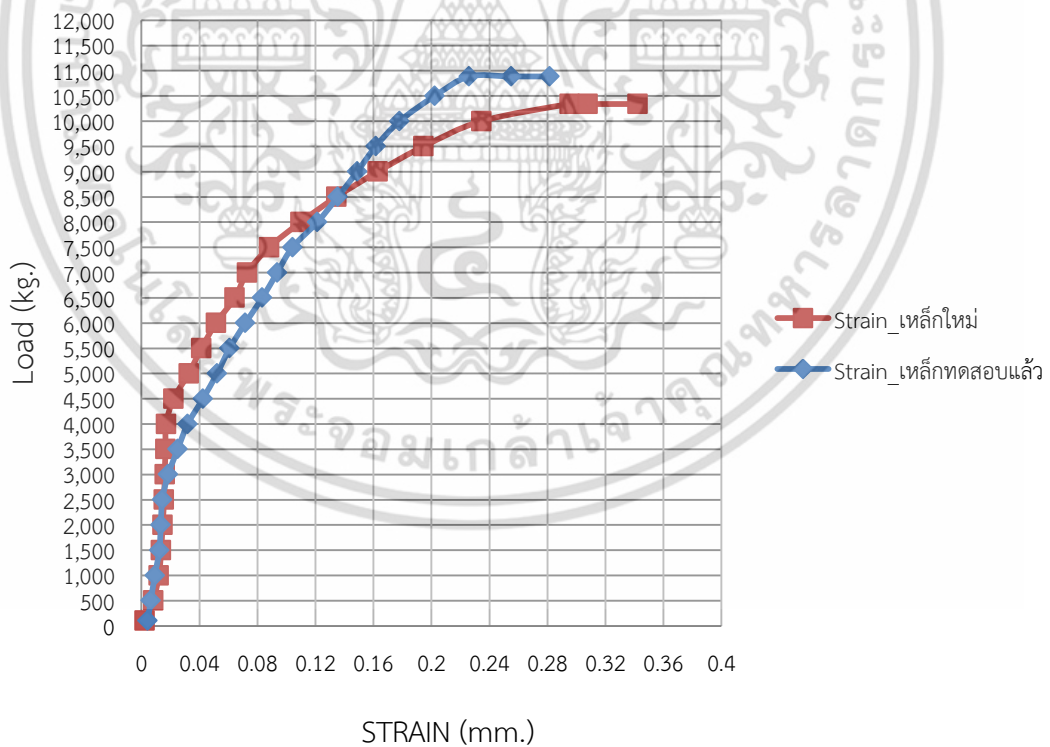


รูปที่ 3.76 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 บน ชั้นบันได หน้าตัด 2-2 ล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

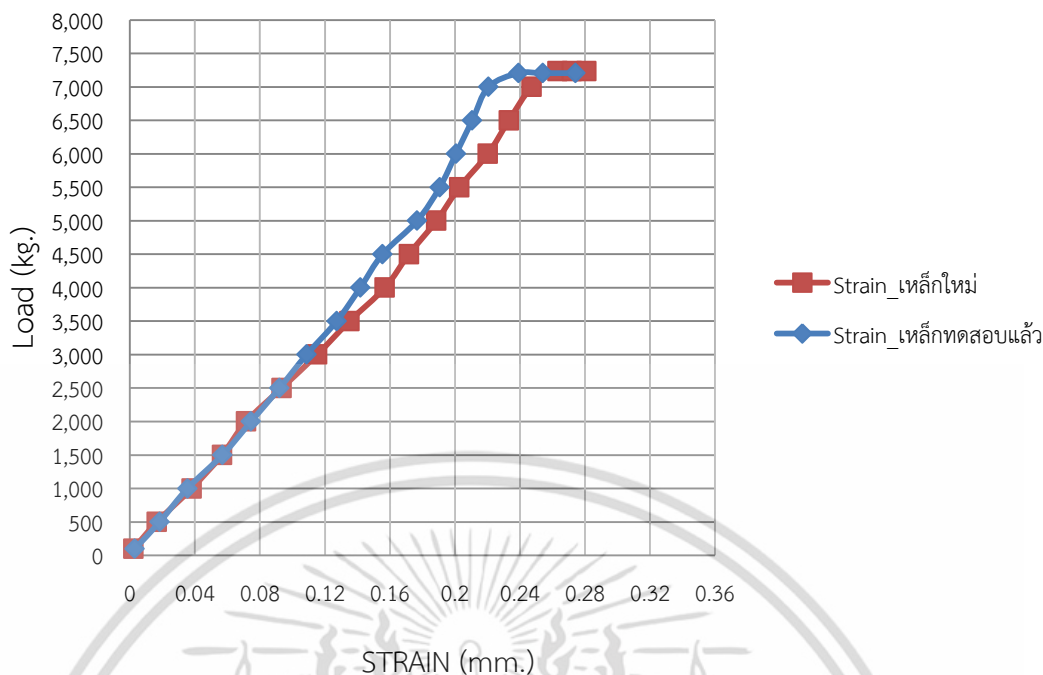


รูปที่ 3.77 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB12 ล่าง ชั้นบันได หน้าตัด 2-2 ล่าง



รูปที่ 3.78 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB16 บน ชั้นบันได หน้าตัด 2-2 บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.79 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเหล็กเสริมหลัก DB12 ล่าง ชั้นบันได หน้าตัด 2-2 บน

3.6.6 กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต

หากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต(Compressive Strength) บันไดทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละกรณี โดยแบ่งประเภทจากอิทธิพลของขนาด โตะสุดของมวลรวมหยาบขนาด 20 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร อิทธิพลของการบ่มของคอนกรีต คือ การบ่มน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ และการบ่มด้วยกระสอบป่านฉีดยุทธวิธีน้ำให้ชุ่ม เข้า เย็น ดังนี้

ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตประเภทที่ 1 : ส่วนผสมเท่ากับ น้ำ 200 ลิตร ปูนซีเมนต์ 466 กิโลกรัม หินขนาด 20 มิลลิเมตร 992 กิโลกรัม หทราย 727 กิโลกรัม

ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตประเภทที่ 2 : ส่วนผสมเท่ากับ น้ำ 200 ลิตร ปูนซีเมนต์ 466 กิโลกรัม หินขนาด 10 มิลลิเมตร 992 กิโลกรัม หทราย 727 กิโลกรัม

ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตประเภทที่ 3 : ส่วนผสมเท่ากับ น้ำ 225 ลิตร ปูนซีเมนต์ 524 กิโลกรัม หินขนาด 10 มิลลิเมตร 736 กิโลกรัม หทราย 862 กิโลกรัม

แบ่งปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตเป็น 3 ประเภท แต่ละประเภทจะมีจำนวน 8 ลูกปูน โดยจดหมายเลขไว้ก่อนการบ่มคอนกรีตของคอนกรีตทดสอบ การแบ่งประเภทลูกปูนดังแสดงในรูปที่ 3.80



รูปที่ 3.80 แบ่งปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตจำนวน 3 ประเภทส่วนผสม

นำลูกปูนที่แบ่งประเภทแล้วบ่มน้ำก่อนการทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุด(Compressive Strength) การบ่มคอนกรีตโดยการแช่ในน้ำ(บ่มน้ำ 100%) ดังแสดงในรูปที่ 3.81



รูปที่ 3.81 วิธีการบ่มลูกปูนด้วยการแช่ในน้ำ (บ่มน้ำ 100%)

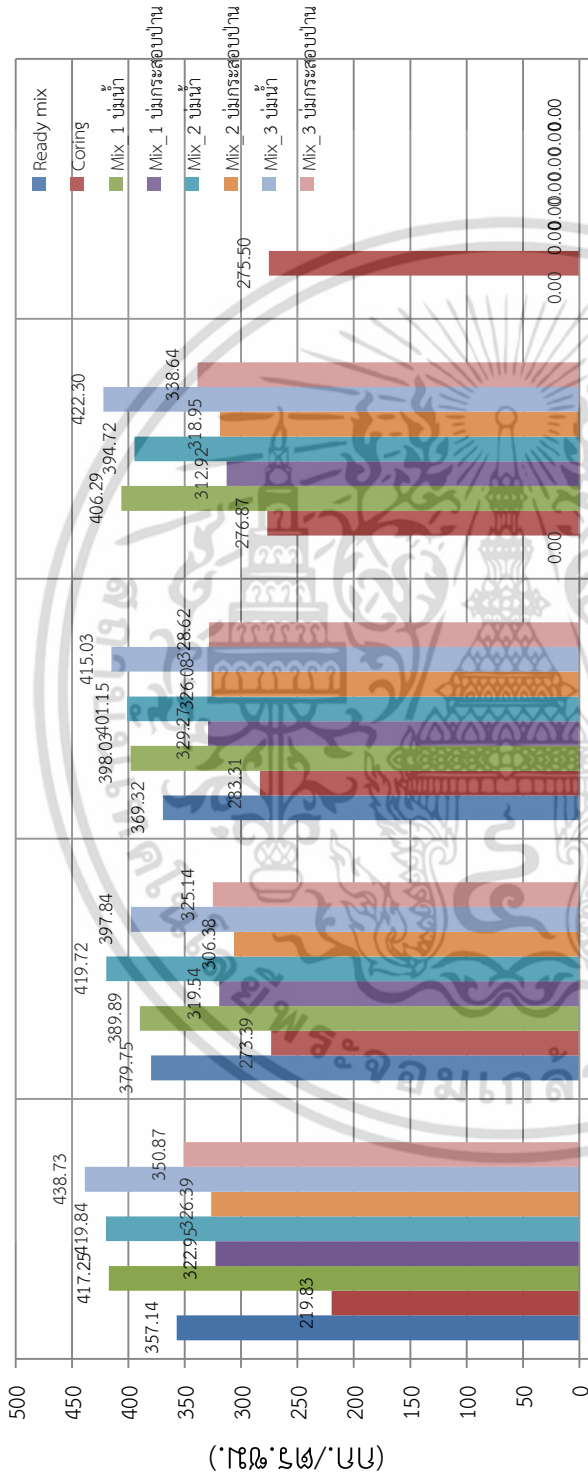
นำลูกปูนที่แบ่งประเภทแล้วบ่มโดยกระสอบป่านพรมน้ำให้ชุ่มวันละ 2 ครั้ง เข้า-เย็นก่อนการทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุด(Compressive Strength) การบ่มคอนกรีตกระสอบป่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.82 วิธีการบ่มลูกปุ่นด้วยกระสอบป่าน
 พล็อตค่ากราฟแท่งเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตในแต่ละกรณี ดัง
 แสดงในรูปที่ 3.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างลูกปูนในแต่ละประเภทของการทดสอบ

รูปที่ 3.83 กราฟเปรียบเทียบความล้มเหลวระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต(กก./ตร.ซม.)-ตัวอย่างลูกปูน ในแต่ละกรณีของการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่ายึด-หดตัว ในเหล็กเสริม

4.1.1 ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมหลัก

จากการดำเนินงานทดลองตามวิธีการที่ได้วางแผนไว้โดยระยะช่วงพาดของชั้นบันได หน้าตัด 1-1 และชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 เท่ากับ 2.70 เมตร ตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.000 เมตร ตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 1.35 เมตร ตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 2.70 เมตร

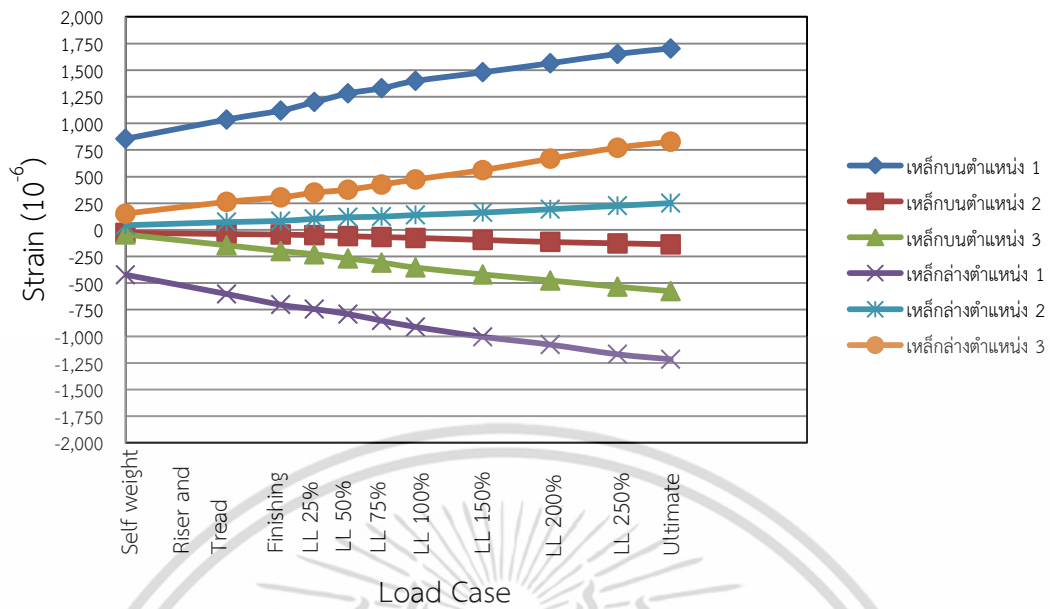
หาค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณต่าง ๆ ของบันไดทดสอบ ในแต่ละช่วงของการขึ้น น้ำหนักบรรทุกทดสอบได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.1 ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง

Load Case	ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริม(10^{-6})					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง
Self Weight	855.251	-422.250	-28.531	42.634	-44.125	152.656
Riser and Tread	1,035.807	-602.916	-39.248	72.169	-145.674	262.393
Finishing	1,120.111	-703.872	-44.253	83.453	-199.203	304.844
LL 25%	1,200.267	-745.118	-51.253	103.084	-229.331	348.984
LL 50%	1,280.896	-791.498	-59.743	117.944	-269.772	376.513
LL 75%	1,330.193	-853.627	-67.992	123.273	-308.245	424.078
LL 100%	1,397.970	-911.502	-75.844	139.328	-354.328	473.047
LL 150%	1,479.345	-1,005.449	-95.062	162.078	-419.443	561.364
LL 200%	1,564.689	-1,078.433	-114.515	193.402	-475.906	667.391
LL 250%	1,652.572	-1,169.664	-126.872	225.817	-535.255	771.874
Ultimate	1,703.316	-1,215.878	-135.984	250.988	-575.982	827.040

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายึด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

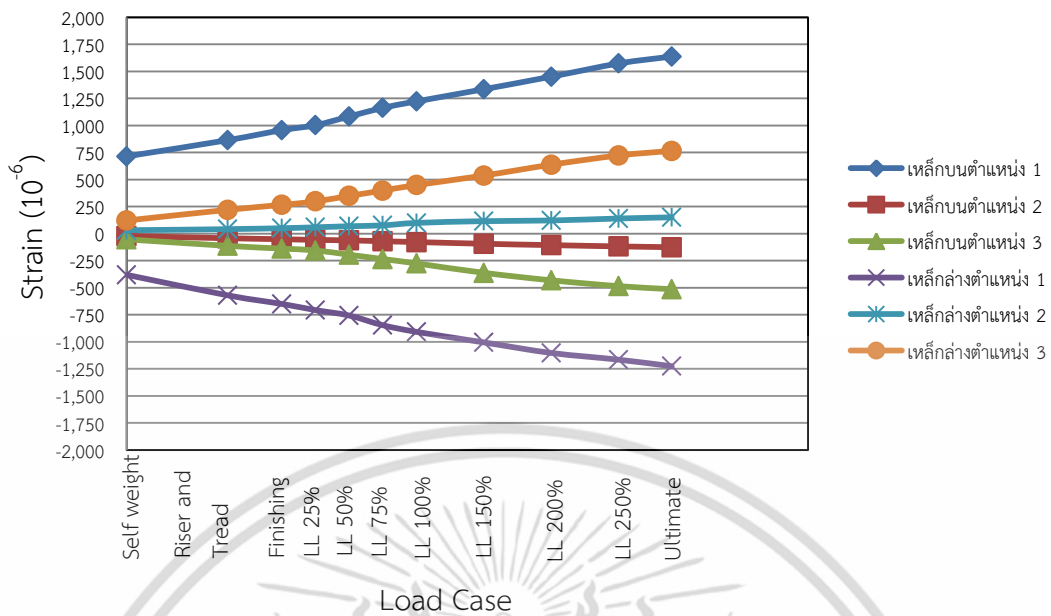


รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยืด-หดตัวของเหล็กเสริมหลัก บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ช่วง A'-B'

ตารางที่ 4.2 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน

Load Case	ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริม(10 ⁻⁶)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง
Self Weight	714.313	-380.969	-22.156	31.344	-53.219	121.281
Riser and Tread	864.247	-570.784	-42.782	41.217	-113.347	219.953
Finishing	956.172	-649.828	-51.609	50.156	-138.484	265.375
LL 25%	1,002.295	-706.875	-58.252	58.375	-155.419	298.126
LL 500%	1,082.221	-756.988	-62.501	68.438	-195.219	348.443
LL 75%	1,162.587	-846.685	-70.651	76.144	-235.075	398.063
LL 100%	1,222.266	-908.297	-78.625	98.984	-275.422	448.906
LL 150%	1,334.844	-1,005.813	-93.984	115.154	-362.672	536.719
LL 200%	1,451.188	-1,103.193	-106.563	121.484	-431.656	637.188
LL 250%	1,572.964	-1,165.568	-118.257	139.846	-485.684	722.443
Ultimate	1,637.248	-1,225.61	-125.594	150.649	-513.775	765.141

นำค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายืด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



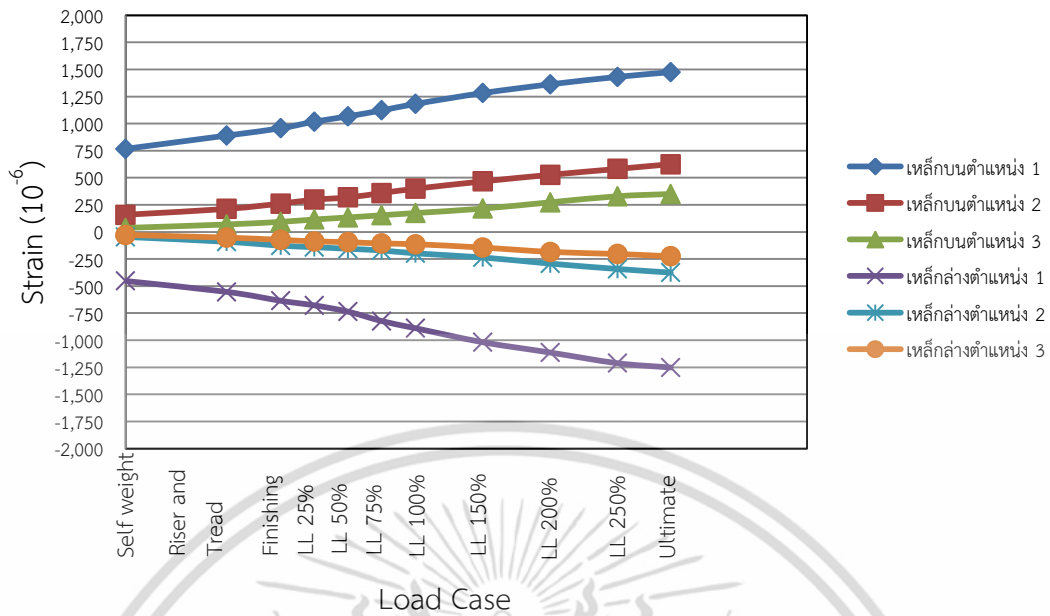
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริมหลัก บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ช่วง A-B

ตารางที่ 4.3 ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง

Load Case	ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริม(10 ⁻⁶)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง
Self Weight	767.003	-453.084	158.325	-46.144	37.078	-27.812
Riser and Tread	889.569	-553.715	212.461	-91.279	58.934	-52.373
Finishing	957.209	-635.751	261.381	-127.013	83.222	-73.289
LL 25%	1,017.746	-678.267	297.733	-141.161	109.972	-87.123
LL 50%	1,067.129	-736.447	318.223	-155.674	133.481	-94.828
LL 75%	1,121.972	-823.197	358.943	-171.341	153.752	-107.362
LL 100%	1,181.753	-889.162	398.701	-197.922	174.419	-113.744
LL 150%	1,282.234	-1,018.521	466.482	-236.067	215.044	-144.763
LL 200%	1,362.750	-1,113.677	527.241	-292.866	273.441	-184.585
LL 250%	1,431.223	-1,212.349	581.744	-342.341	329.532	-203.842
Ultimate	1,475.180	-1,251.849	625.178	-375.663	350.204	-225.187

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มา

พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายึด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

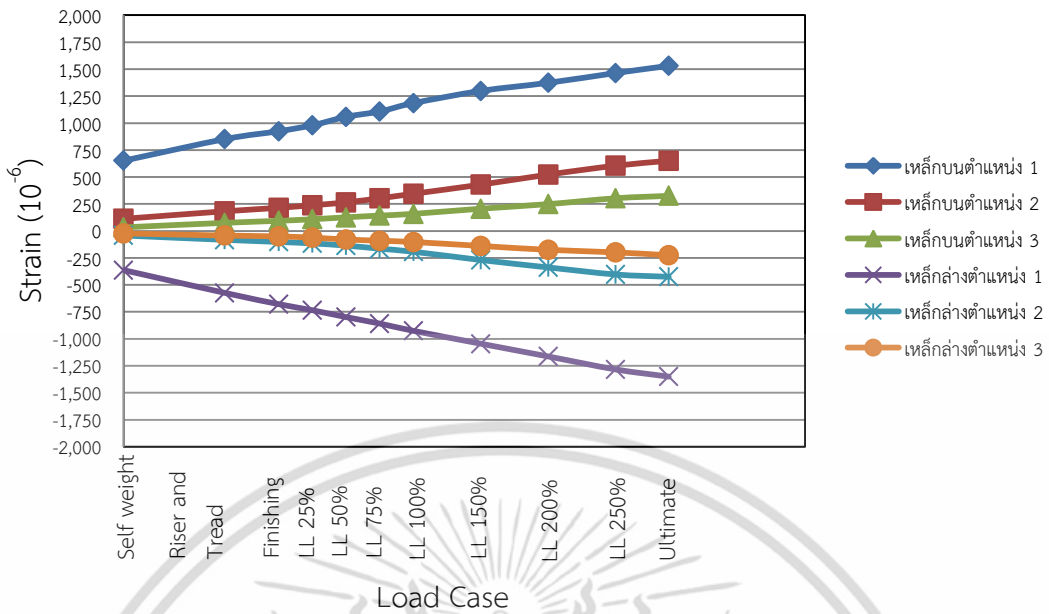


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริมหลัก บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่างช่วง D'-F'

ตารางที่ 4.4 ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน

Load Case	ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริม(10 ⁻⁶)					
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3	
	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง
Self Weight	651.594	-363.188	112.438	-42.274	33.236	-22.719
Riser and Tread	851.276	-573.967	182.217	-82.536	75.158	-42.524
Finishing	924.391	-678.562	214.219	-101.953	93.954	-50.703
LL 25%	979.793	-734.882	238.742	-115.533	108.649	-62.305
LL 50%	1,057.771	-798.741	264.539	-135.849	126.295	-78.906
LL 75%	1,107.961	-858.537	302.992	-164.758	142.839	-91.149
LL 100%	1,185.125	-926.259	344.766	-192.739	158.516	-102.438
LL 150%	1,298.172	-1,045.438	429.375	-269.516	206.359	-139.156
LL 200%	1,373.297	-1,163.641	522.547	-338.281	248.672	-174.852
LL 250%	1,463.975	-1,283.754	604.766	-403.539	303.253	-198.391
Ultimate	1,530.594	-1,350.472	650.367	-425.109	325.234	-225.289

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายึด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ใช้เห็นว่าเป็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบกับหน่วยยืด-หดตัวของเหล็กเสริมหลัก บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2บน ช่วง D-F

4.1.2 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กปลูกตั้ง

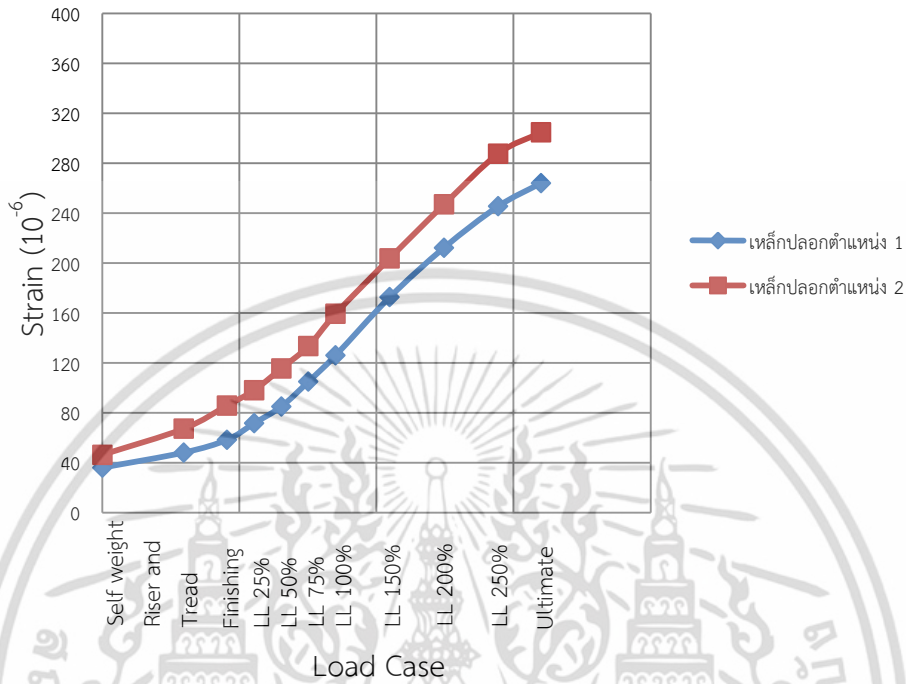
เก็บค่ายืด-หดตัวในเหล็กปลูกตั้งการขึ้นน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ ตำแหน่งที่ 1 คือ ระยะ 0.35 เมตร ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 1.25 เมตร จากความยาวชานพัก 1.60 เมตร

ตารางที่ 4.5 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กปลูกตั้ง บริเวณชานพัก 1 ล่าง

Load Case	ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริม(10 ⁻⁶)	
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
Self Weight	36.094	46.375
Riser and Tread	48.172	67.269
Finishing	58.406	85.859
LL 25%	71.644	98.169
LL 50%	85.014	115.522
LL 75%	104.966	133.437
LL 100%	125.977	159.328
LL 150%	172.644	203.776
LL 200%	212.224	246.892
LL 250%	245.438	287.563
Ultimate	263.957	304.604

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กคูกตั้งบริเวณชานพัก 1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายึด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



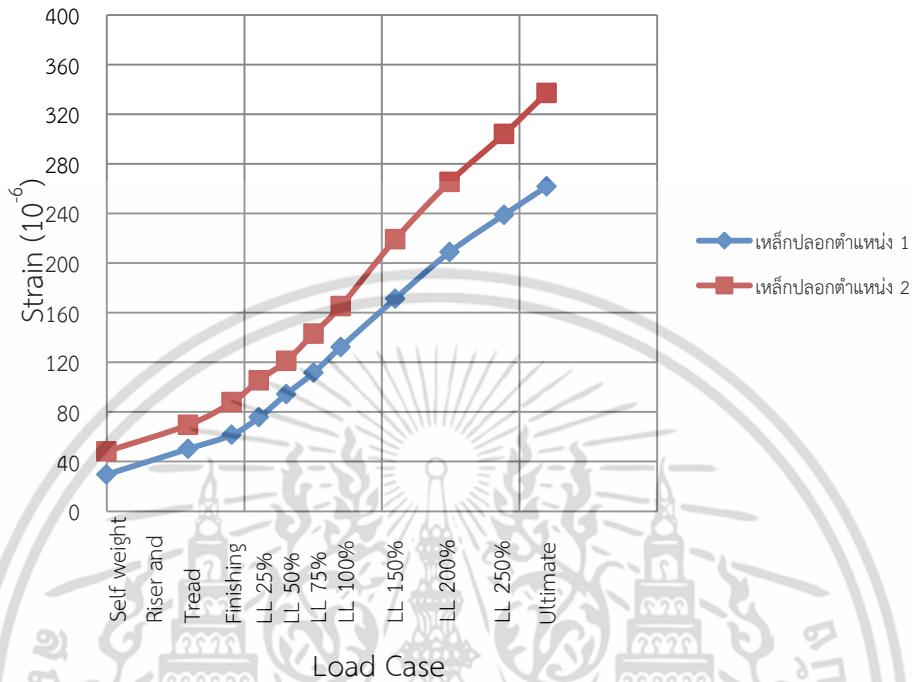
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กคูกตั้ง บริเวณชานพัก 1 ล่างช่วง D'-B'

ตารางที่ 4.6 ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมปลอกบริเวณชานพัก 1 บน

Load Case	ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริม(10^{-6})	
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
Self Weight	29.593	48.237
Riser and Tread	50.271	69.568
Finishing	61.613	87.855
LL 25%	75.712	105.592
LL 50%	94.334	121.127
LL 75%	111.563	143.116
LL 100%	132.227	165.328
LL 150%	171.251	219.124
LL 200%	208.878	265.327
LL 250%	238.921	304.004
Ultimate	261.831	337.218

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ส่วนตัวที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเรา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมปลอกบริเวณชานพัก 1บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายืด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



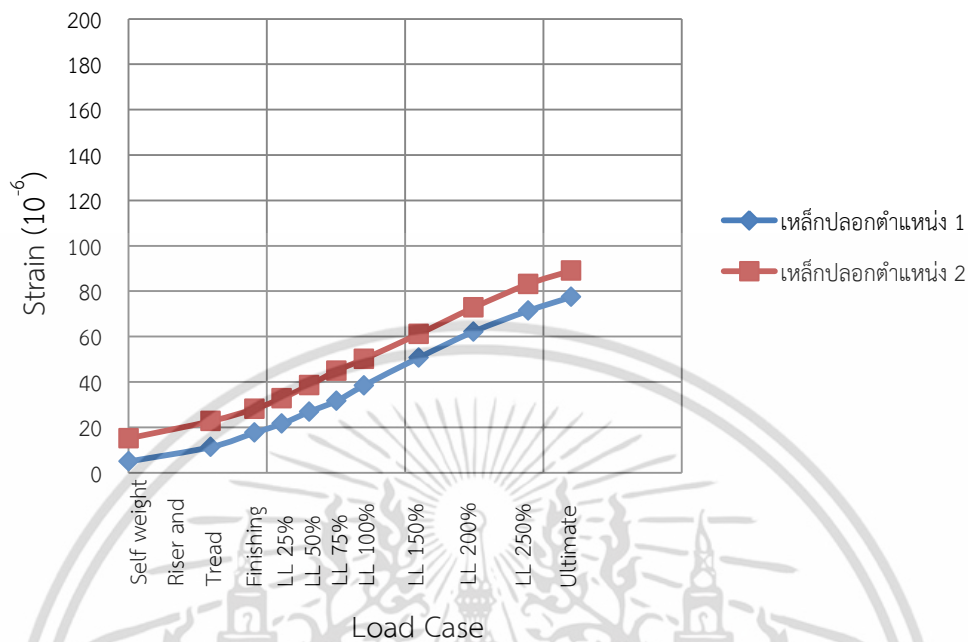
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยืด-หดตัวของเหล็กเสริมปลอกบริเวณชานพัก 1 บนช่วง D-B

ตารางที่ 4.7 ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริมปลอกบริเวณชานพัก 2

Load Case	ค่ายืด-หดตัวในเหล็กเสริม(10 ⁻⁶)	
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
Self Weight	15.125	4.938
Riser and Tread	22.683	11.275
Finishing	28.133	17.594
LL 25%	32.765	21.554
LL 50%	38.543	26.798
LL 75%	44.922	31.621
LL 100%	50.097	38.406
LL 150%	61.116	50.664
LL 200%	72.737	62.124
LL 250%	83.101	73.328
Ultimate	89.007	77.406

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมปลอกบริเวณชานพัก 2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายึด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของเหล็กเสริมปลอกบริเวณชานพัก 2 ช่วง F-F'

4.1.3 ค่ายึด-หดตัว ในคอนกรีต

เก็บค่ายึด-หดตัว ในคอนกรีตบริเวณชานพักบันไดในตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้ ตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.35 เมตร ตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 1.25 เมตร ความยาวชานพัก 1.60 เมตร

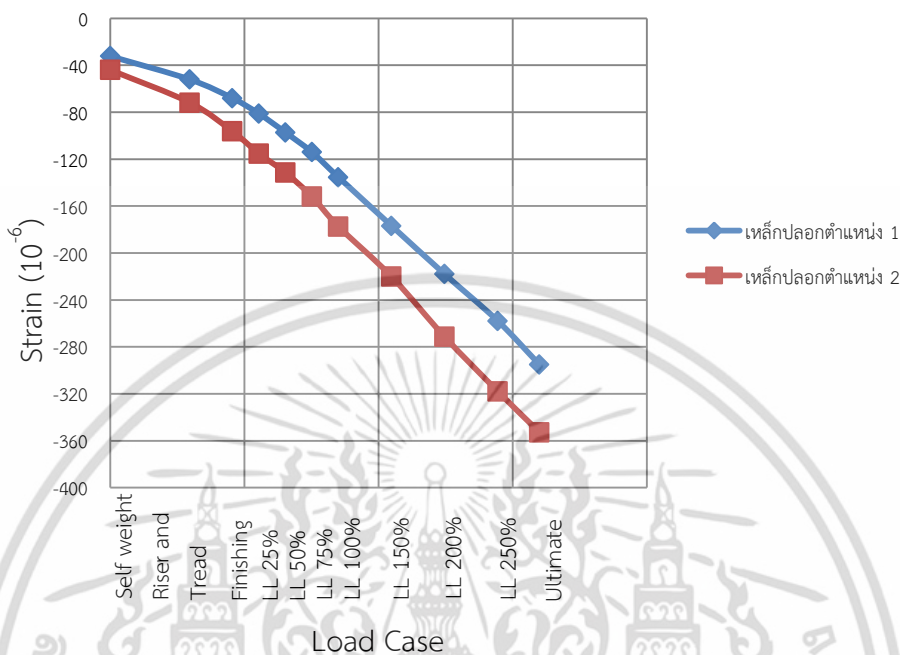
ตารางที่ 4.8 ค่ายึด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 1 ล่าง

Load Case	ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริม(10 ⁻⁶)	
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
Self Weight	-32.263	-43.974
Riser and Tread	-52.148	-71.862
Finishing	-68.035	-96.321
LL 25%	-81.246	-115.227
LL 50%	-97.2321	-131.461
LL 75%	-114.083	-151.936
LL 100%	-135.435	-177.543
LL 150%	-176.869	-220.118
LL 200%	-217.993	-271.423
LL 250%	-257.856	-317.846
Ultimate	-295.085	-352.761

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่ายึด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายึด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



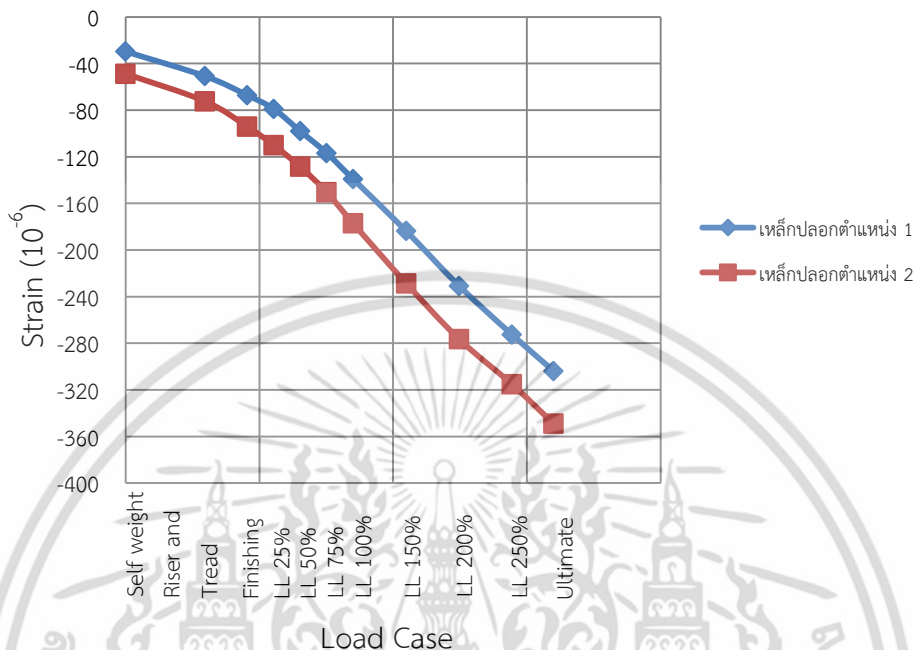
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของคอนกรีตบริเวณชานพัก 1 ล่าง ช่วง D'-B'

ตารางที่ 4.9 ค่ายึด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 1 บน

Load Case	ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริม(10^{-6})	
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
Self Weight	-29.697	-48.752
Riser and Tread	-50.843	-72.361
Finishing	-67.183	-94.108
LL 25%	-79.024	-110.005
LL 50%	-98.018	-128.572
LL 75%	-116.861	-150.386
LL 100%	-139.213	-177.202
LL 150%	-183.647	-228.566
LL 200%	-230.771	-276.441
LL 250%	-272.634	-315.215
Ultimate	-303.839	-349.095

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่ายึด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 1 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายึด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



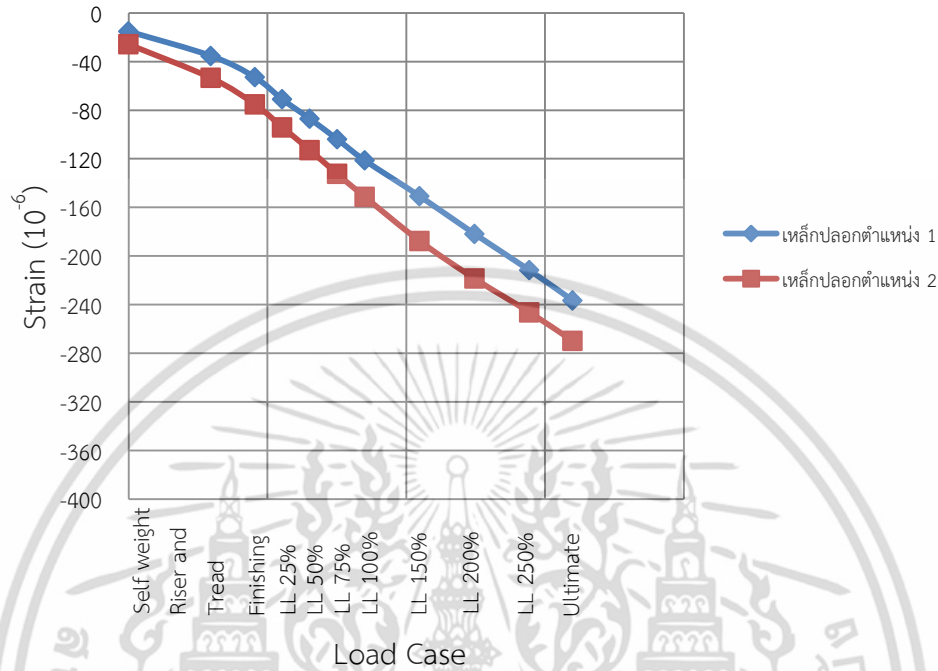
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของคอนกรีตบริเวณชานพัก 1 บน ช่วง D-B

ตารางที่ 4.10 ค่ายึด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 2

Load Case	ค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริม(10 ⁻⁶)	
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2
Self Weight	-12.152	-15.863
Riser and Tread	-15.379	-21.522
Finishing	-19.924	-27.219
LL 25%	-23.135	-33.116
LL 50%	-28.129	-38.819
LL 75%	-32.972	-44.497
LL 100%	-38.324	-50.313
LL 150%	-47.758	-62.677
LL 200%	-58.882	-73.552
LL 250%	-69.745	-83.326
Ultimate	-77.461	-91.481

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่ายึด-หดตัวในคอนกรีตบริเวณชานพัก 2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ายึด-หดตัว กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับหน่วยยึด-หดตัวของคอนกรีตบริเวณชานพัก 2 ช่วง F-F'

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าหน่วยแรงเหล็กเสริม

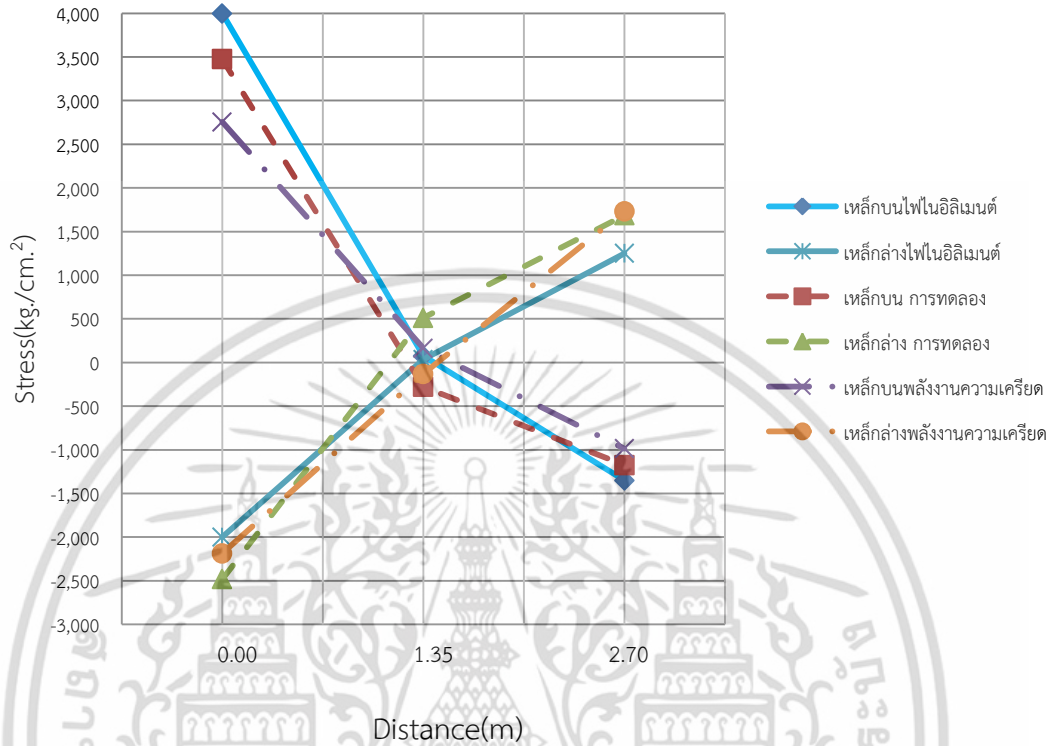
นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) แปลงค่าเป็นความเค้น(Stress) ในเหล็กเสริมหลัก ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุดบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง

Distance(m)	หน่วยแรงในเหล็กเสริมหลัก(ksc.)					
	การทดลอง		ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์		พลังงานความเครียด	
	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง
0.00	3,474.765	-2,480.391	3,997.000	-2,000.000	2,755.181	-2,185.652
1.35	-277.407	512.016	75.000	35.000	163.959	-130.067
2.70	-1,175.003	1,687.162	-1,350.000	1,250.000	-986.131	1,732.708

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความเค้นในเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่างช่วง A'-B' ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟในอิลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

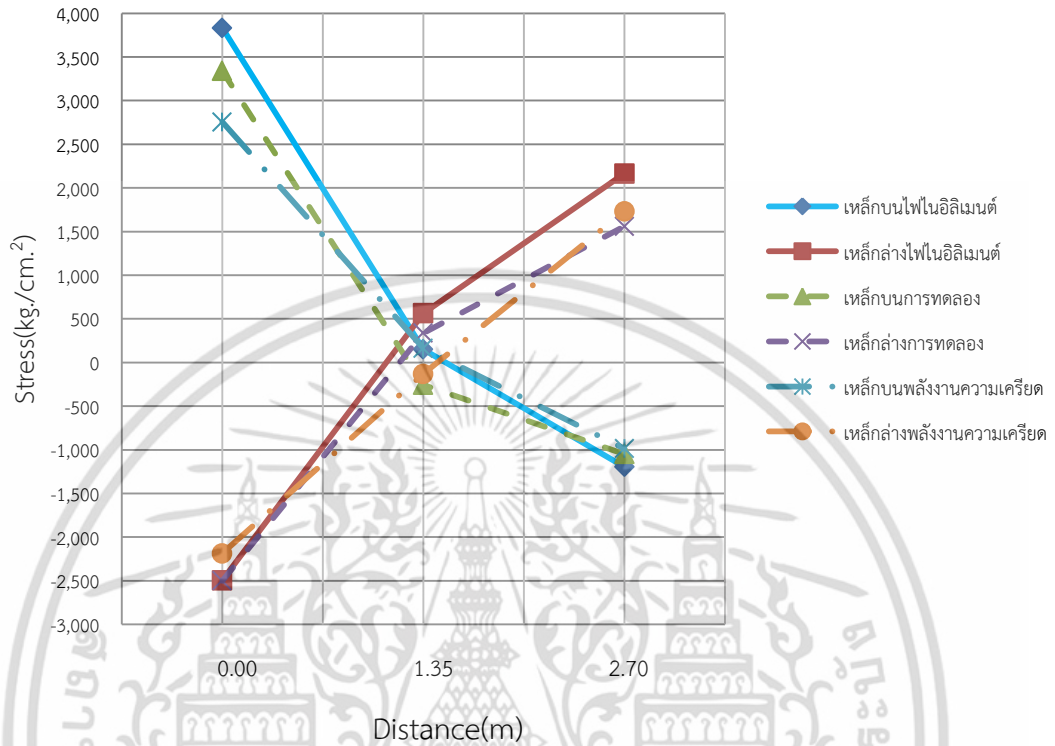
นำค่ายึด-หลุดตัวในเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) แปลงค่าเป็นความเค้น(Stress) ในเหล็กเสริมหลัก ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน

Distance(m)	หน่วยแรงในเหล็กเสริมหลัก(ksc.)					
	การทดลอง		ทฤษฎีไฟในอิลิเมนต์		พลังงานความเครียด	
	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง
0.00	3,339.986	-2,500.308	3,832.000	-2,495.000	2,755.181	-2,185.652
1.35	-256.212	337.324	150.000	565.000	163.959	-130.067
2.70	-1,048.101	1,560.888	-1,195.000	2,165.000	-986.131	1,732.708

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความเค้นในเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.12



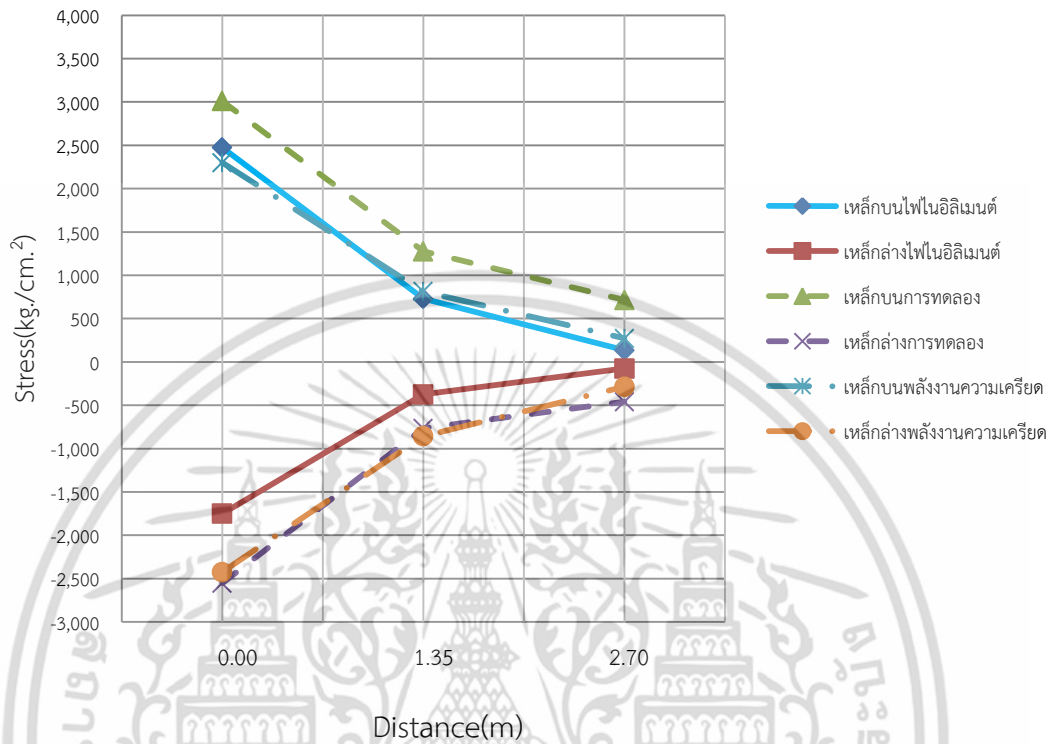
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บนช่วง A-Bระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ในช่วงของน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด(Ultimate) แปลงค่าเป็นความเค้น(Stress) ในเหล็กเสริมหลัก ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมในช่วงน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2ล่าง

Distance(m)	หน่วยแรงในเหล็กเสริมหลัก(ksc.)					
	การทดลอง		ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์		พลังงานความเครียด	
	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง
0.00	3,009.367	-2,553.772	2,475.000	-1,750.000	2,298.170	-2,424.274
1.35	1,275.363	-766.353	730.000	-375.000	813.053	-857.667
2.70	714.416	-459.381	135.000	-75.000	270.998	-285.868

นำค่าความเค้นในเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.13



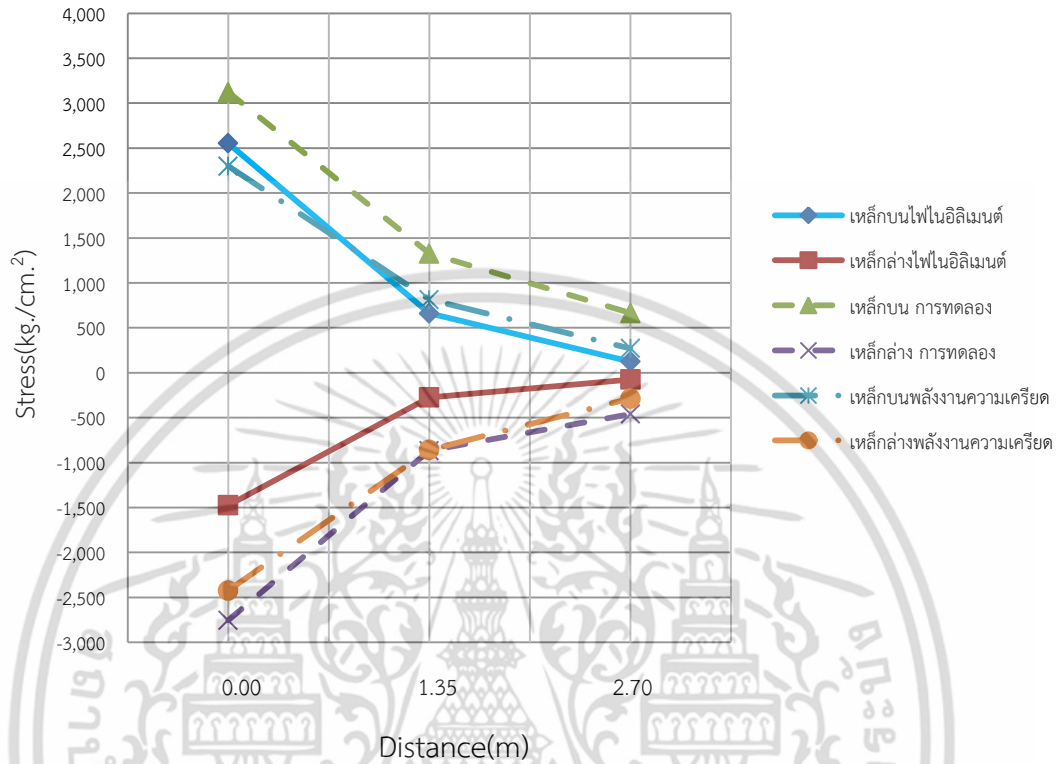
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่างช่วง D'-F' ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนโอลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

นำค่ายึด-หลุดตัวในเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) แปลงค่าเป็นความเค้น(Stress) ในเหล็กเสริมหลัก ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.14 ค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุดบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน

Distance(m)	หน่วยแรงในเหล็กเสริมหลัก(ksc.)					
	การทดลอง		ทฤษฎีไฟไนโอลิเมนต์		พลังงานความเครียด	
	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง	เหล็กบน	เหล็กล่าง
0.00	3,122.412	-2,754.963	2,554.000	-1,475.000	2,298.170	-2,424.274
1.35	1,326.749	-867.222	660.000	-275.000	813.053	-857.667
2.70	663.477	-459.590	125.000	-75.000	270.998	-285.868

นำค่าความเค้นในเหล็กเสริมหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ๓ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.14



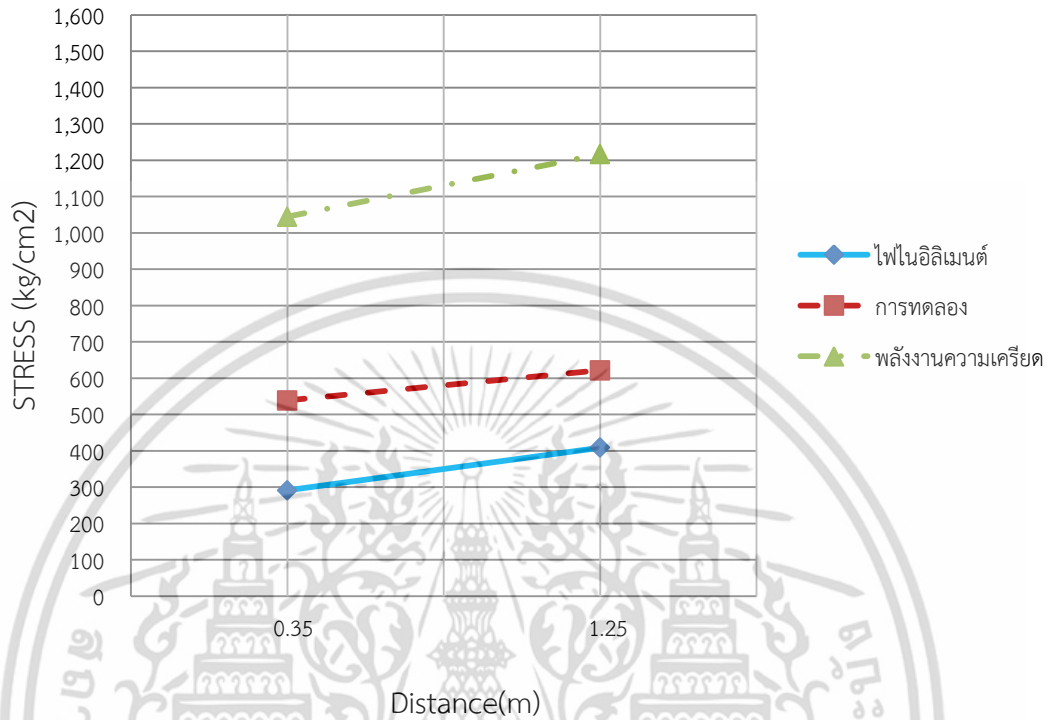
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กเสริมหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บนช่วง D-F ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟในอลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กดัดบริเวณชานพัก 1 ล่าง ในช่วงของน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด (Ultimate) แปลงค่าเป็นความเค้น(Stress) ในเหล็กดัดดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าหน่วยแรงในเหล็กดัดในช่วงน้ำหนักรบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 1 ล่าง

Distance(m)	หน่วยแรงในเหล็กดัด(ksc.)		
	การทดลอง	ทฤษฎีไฟในอลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.35	538.473	291.070	1,044.581
1.25	621.393	408.670	1,216.804

นำค่าความเค้นในลูกตั่งบริเวณชานพัก 1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.15



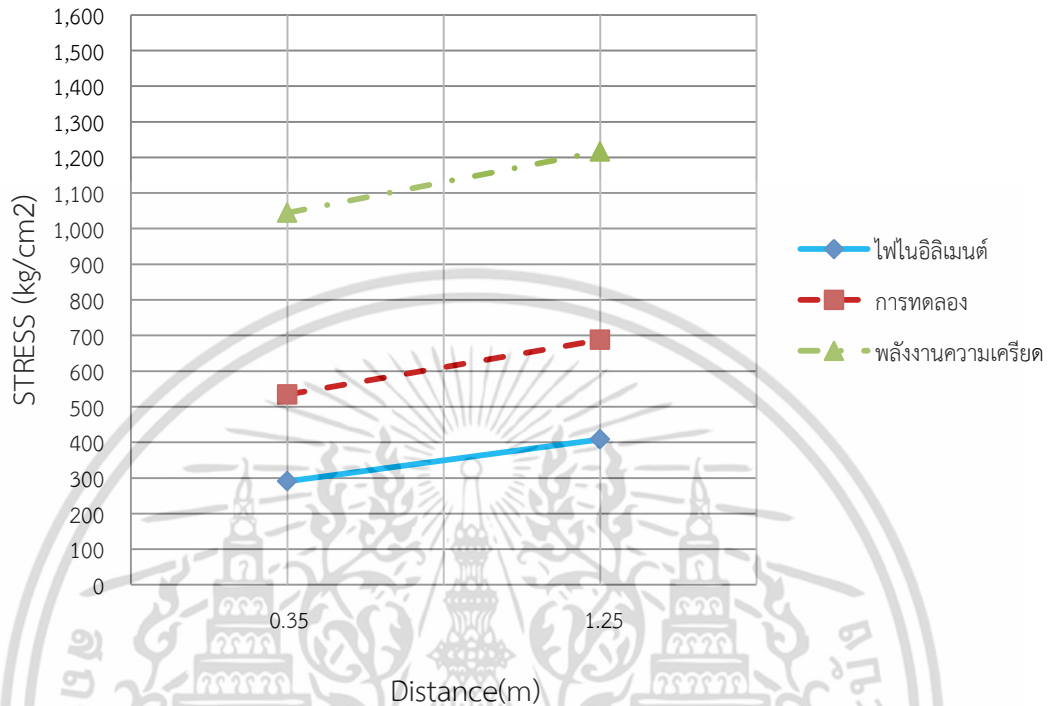
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงในเหล็กลูกตั่ง ชานพัก 1 ล่าง ช่วง D'-B'ตามแนวแกน X ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กลูกตั่งบริเวณชานพัก 1 บน ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate) แปลงค่าเป็นความเค้น(Stress) ในเหล็กลูกตั่งดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าหน่วยแรงในเหล็กลูกตั่งในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 1 บน

Distance(m)	หน่วยแรงในเหล็กลูกตั่ง(ksc.)		
	การทดลอง	ทฤษฎีไฟไนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.35	534.135	291.070	1,044.581
1.25	687.925	408.670	1,216.804

นำค่าความเค้นในเหล็กกล้าตั้งบริเวณขานพัก 1 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟ เปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.16



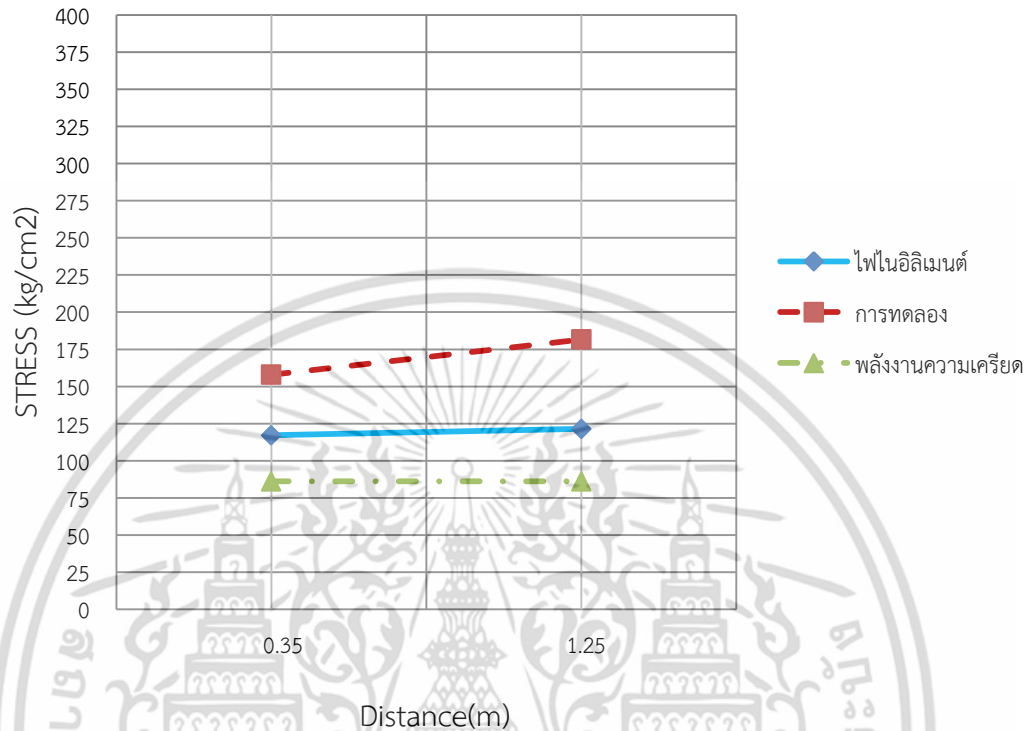
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กกล้าตั้ง ขานพัก 1บน ช่วง D-Bตามแนวแกน X ระหว่าง การทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุก สูงสุด(Ultimate)

นำค่ายึด-หดตัวในเหล็กกล้าตั้งบริเวณขานพัก 2 ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) แปลงค่าเป็นความเค้น(Stress) ในเหล็กกล้าตั้งดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าหน่วยแรงในเหล็กกล้าตั้งในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณขานพัก 2

Distance(m)	หน่วยแรงในเหล็กกล้าตั้ง(ksc.)		
	การทดลอง	ทฤษฎีไฟไนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.35	157.908	117.103	86.112
1.25	181.574	121.475	86.112

นำค่าความเค้นในเหล็กกล้าตั้งบริเวณขานพัก 2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟ เปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงเหล็กกล้าตั้ง ขานพัก 2 ช่วง F-F'ตามแนวแกน X ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟในอลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าหน่วยแรงคอนกรีต

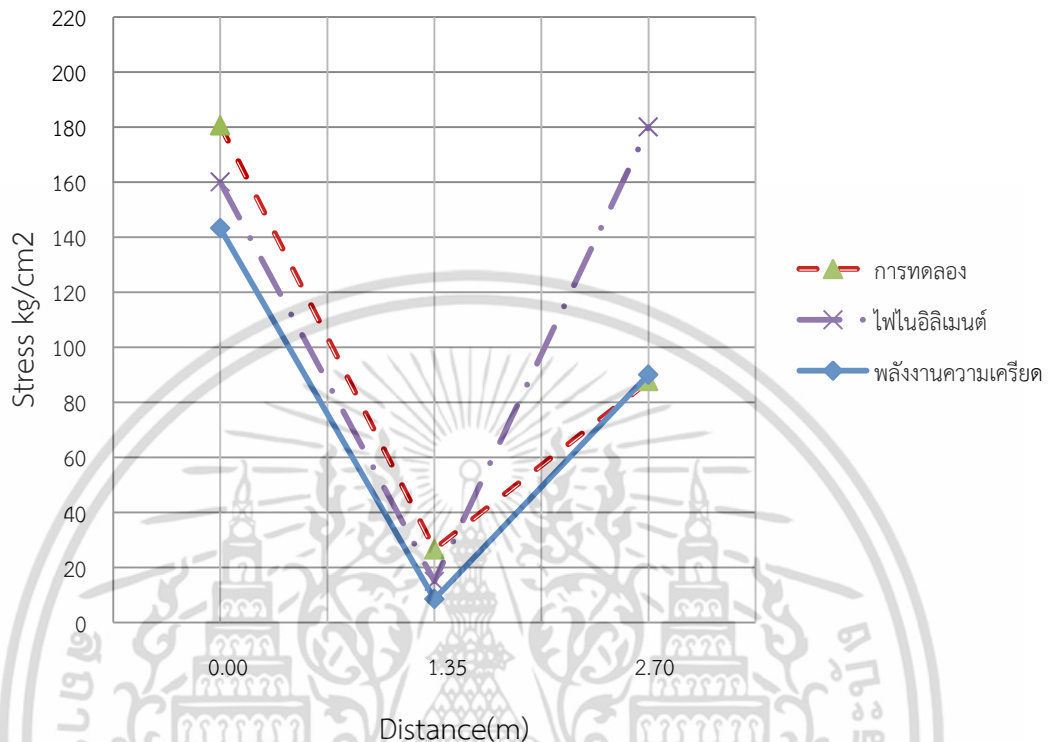
นำค่าหน่วยแรงในคอนกรีตบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง

Distance(m)	หน่วยแรงในคอนกรีต(ksc.)		
	การทดลอง	ทฤษฎีไฟในอลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.00	180.626	160.000	143.240
1.35	26.616	15.000	8.524
2.70	87.702	180.000	90.082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าหน่วยแรงในคอนกรีตบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงคอนกรีตชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ช่วง A'-B'ตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

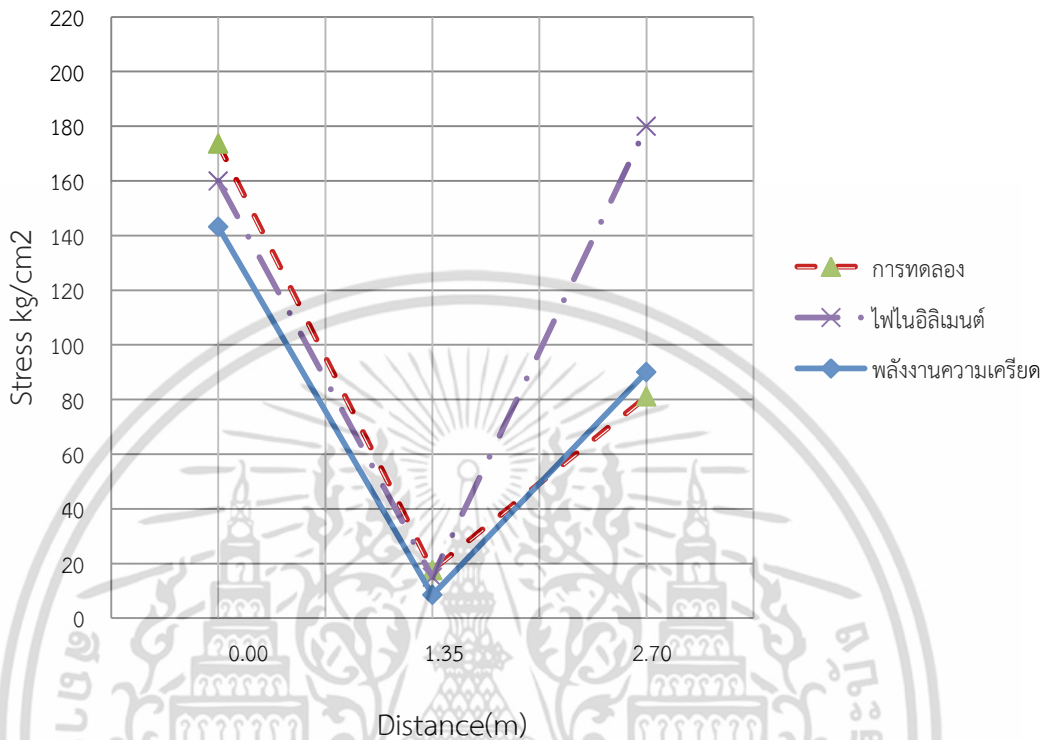
นำค่าหน่วยแรงในคอนกรีตบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน

Distance(m)	หน่วยแรงในคอนกรีต(ksc.)		
	การทดลอง	ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.00	173.620	160.000	143.240
1.35	17.566	15.000	8.524
2.70	81.508	180.000	90.082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าหน่วยแรงในคอนกรีตบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ผนัง ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.19



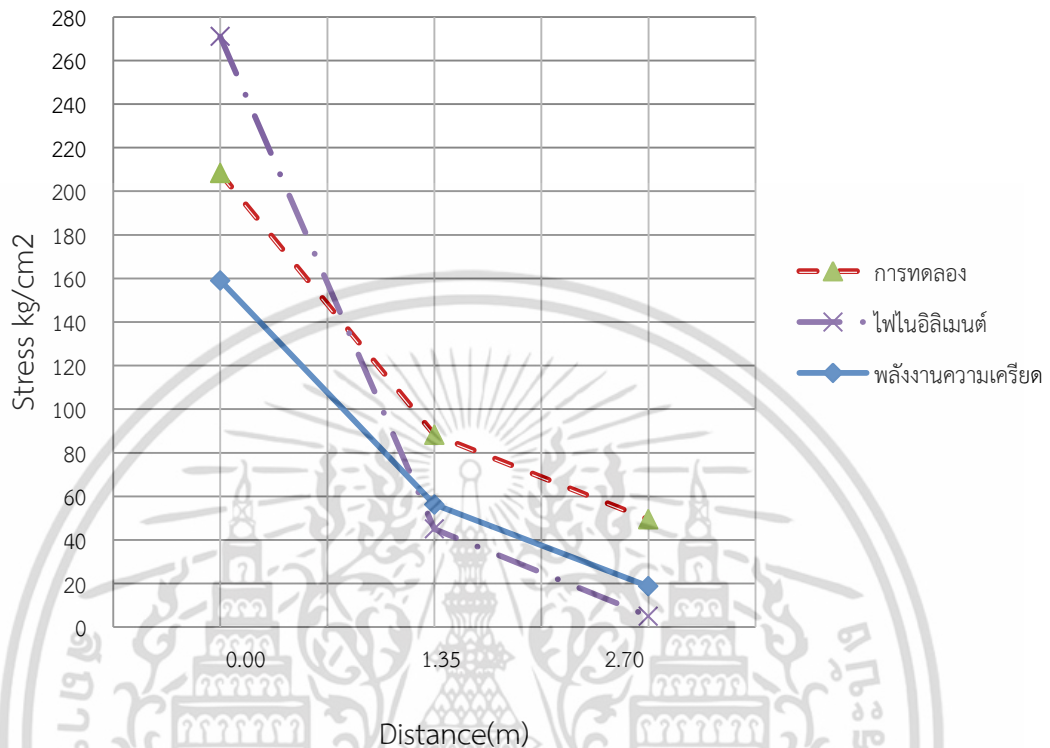
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงคอนกรีตชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ช่วง A-Bตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟในอิลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

นำค่าหน่วยแรงในคอนกรีตบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง

Distance(m)	หน่วยแรงในคอนกรีต(ksc.)		
	การทดลอง	ทฤษฎีไฟในอิลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.00	208.294	271.000	159.055
1.35	88.275	45.000	56.271
2.70	49.448	5.000	18.756

นำค่าหน่วยแรงในคอนกรีตบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.20



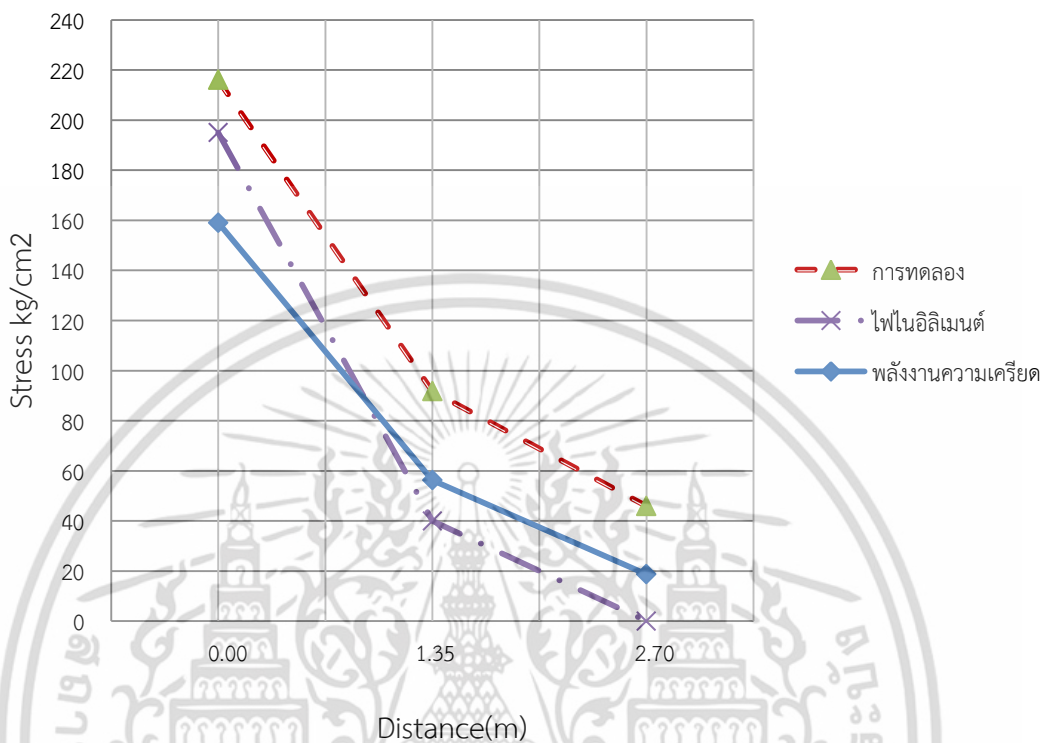
รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงคอนกรีต ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ช่วง F'-D'ตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

นำค่าหน่วยแรงในคอนกรีตบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่าหน่วยแรงในคอนกรีตในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน

Distance(m)	หน่วยแรงในคอนกรีต(ksc.)		
	การทดลอง	ทฤษฎีไฟไนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.00	216.118	195.000	159.055
1.35	91.831	40.000	56.271
2.70	45.923	0.000	18.756

นำค่าหน่วยแรงในคอนกรีตบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ๓ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบหน่วยแรงในคอนกรีตชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ช่วง F-Dตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันได

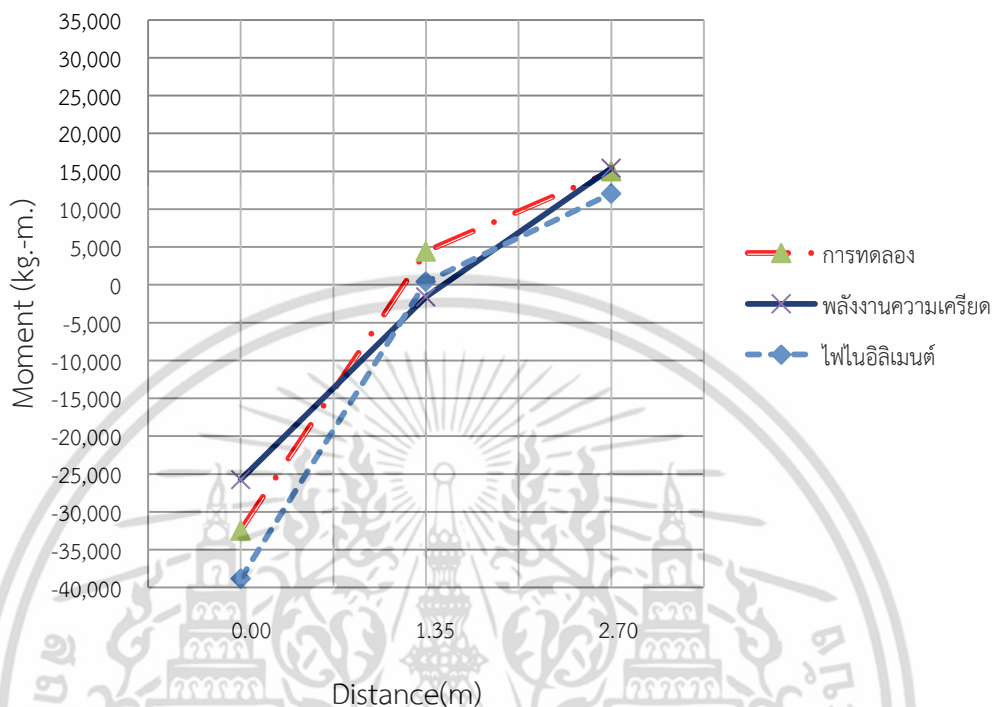
ค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่าโมเมนต์ดัดหลักในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง

Distance(m)	โมเมนต์ดัด(kg.-m.)		
	การทดลอง	ไฟไนต์เอลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.00	-32,464.059	-38,825.323	-25,742.000
1.35	4,396.334	410.003	-1,608.875
2.70	14,989.668	12,055.801	15,394.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟ เปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.22



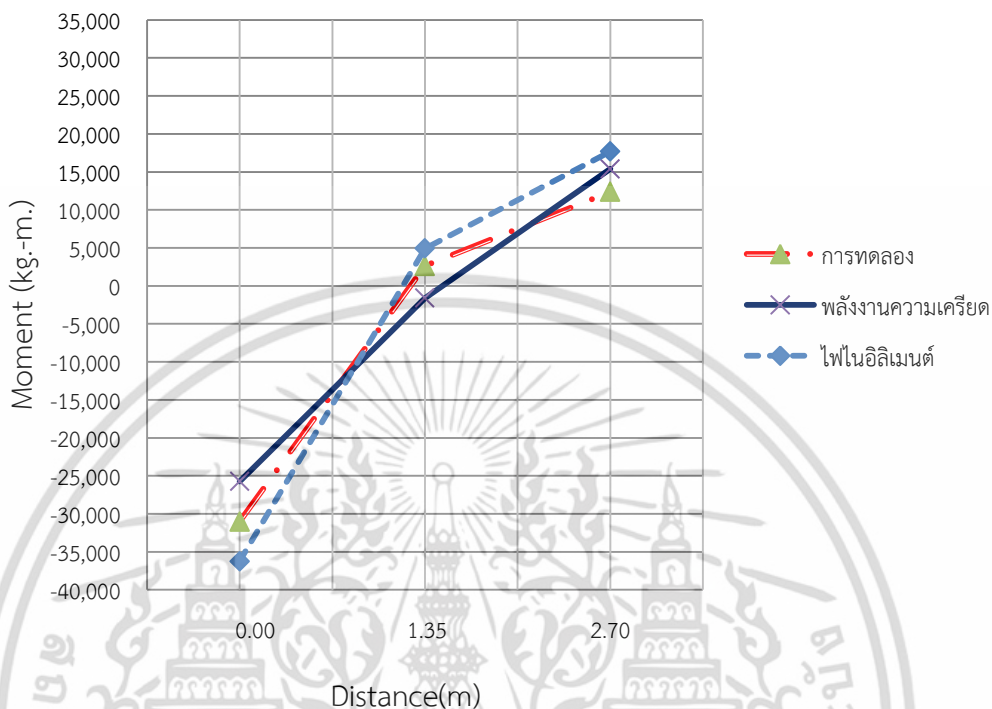
รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดหลัก ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง ช่วง A'-B' ตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟโนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

ค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ค่าโมเมนต์ดัดหลักในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน

Distance(m)	โมเมนต์ดัด(kg.-m.)		
	การทดลอง	ไฟโนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.00	-31,008.901	-36,238.458	-25,742.000
1.35	2,624.578	4,931.572	-1,608.875
2.70	12,384.079	17,689.307	15,394.000

นำค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ๓ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.26



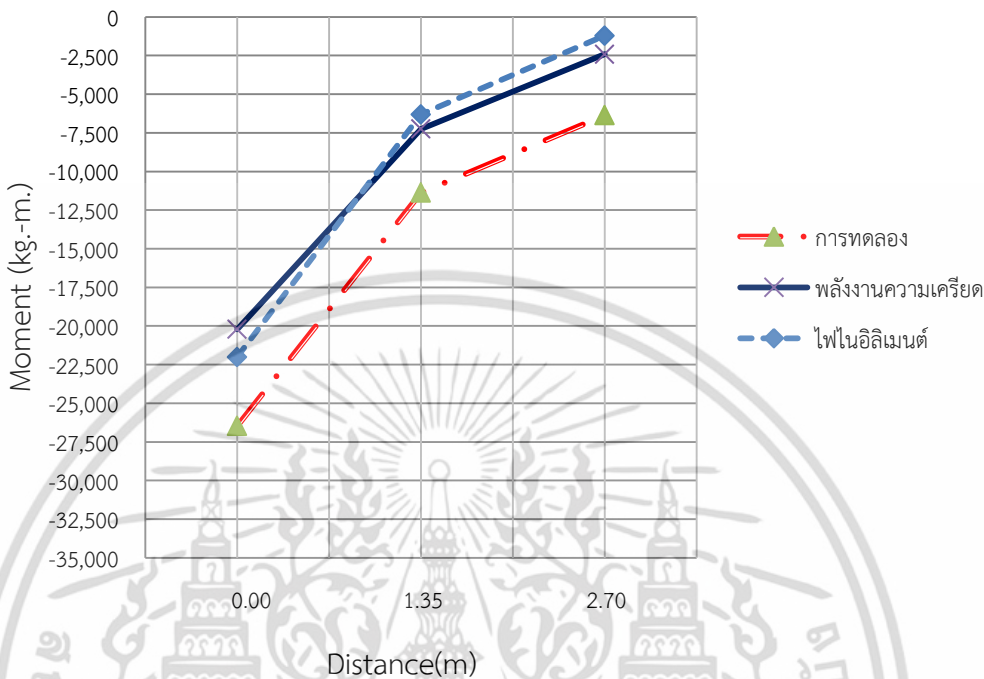
รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดหลักชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 บน ช่วง A-Bตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

ค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ค่าโมเมนต์ดัดหลักในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง

Distance(m)	โมเมนต์ดัด(kg.-m.)		
	การทดลอง	ไฟไนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.00	-26,470.623	-22,003.676	-20,216.000
1.35	-11,372.979	-6,311.449	-7,250.000
2.70	-6,356.020	-1,210.508	-2,411.000

นำค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.24



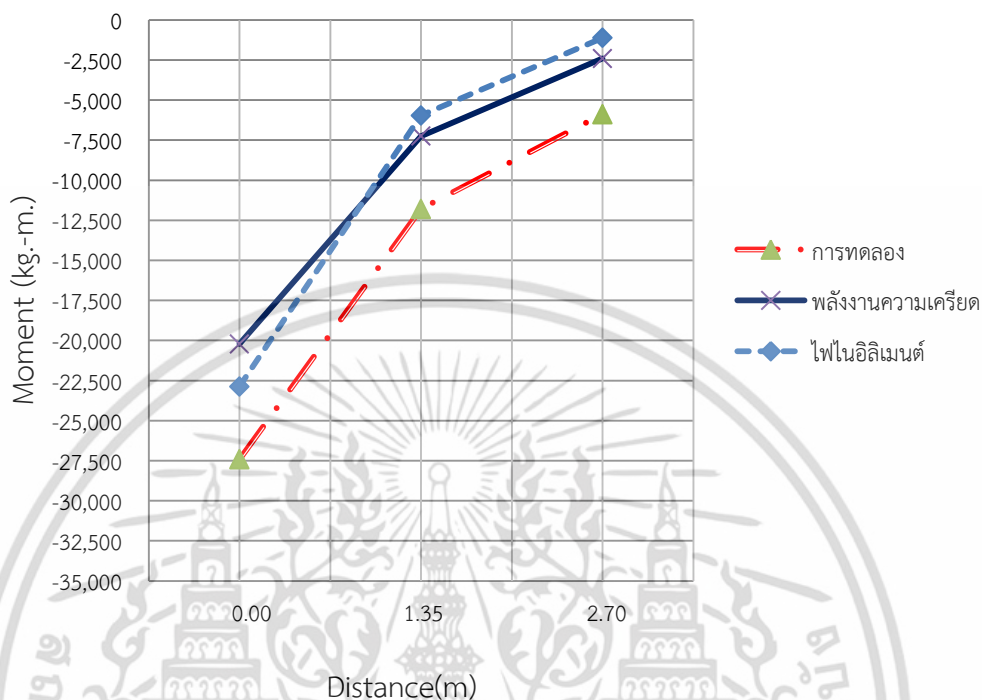
รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดหลักชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง ช่วง F-D'ตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

ค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ค่าโมเมนต์ดัดหลักในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน

Distance(m)	โมเมนต์ดัด(kg.-m.)		
	การทดลอง	ไฟไนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.00	-27,413.401	-22,872.747	-20,216.000
1.35	-11,796.914	-5,964.235	-7,250.000
2.70	-5,886.678	-1,118.041	-2,411.000

นำค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ๓ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดหลักชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน ช่วง F-Dตามแนวแกน Z ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์บิดบริเวณชานพัก

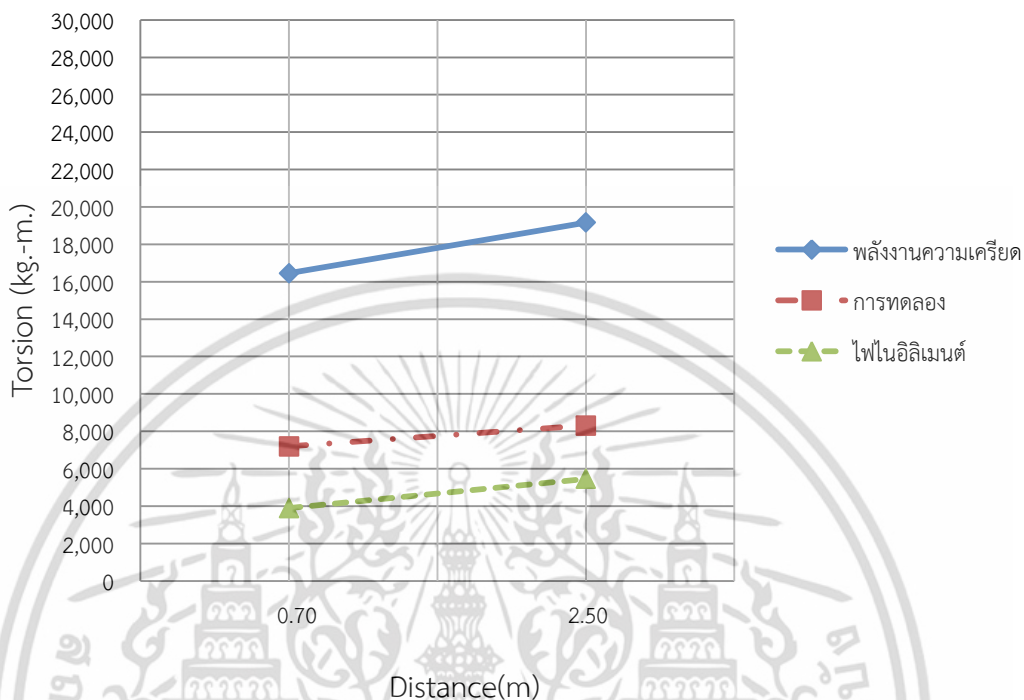
ค่าโมเมนต์บิดบริเวณชานพัก 1 ล่าง ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ค่าโมเมนต์บิดในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 1 ล่าง

Distance(m)	โมเมนต์บิด(kg.-m.)		
	การทดลอง	ไฟไนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.80	7,195.305	3,889.406	16,449.000
2.40	8,303.317	5,460.830	19,161.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าโมเมนต์บิดบริเวณแกนพัก 1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.26



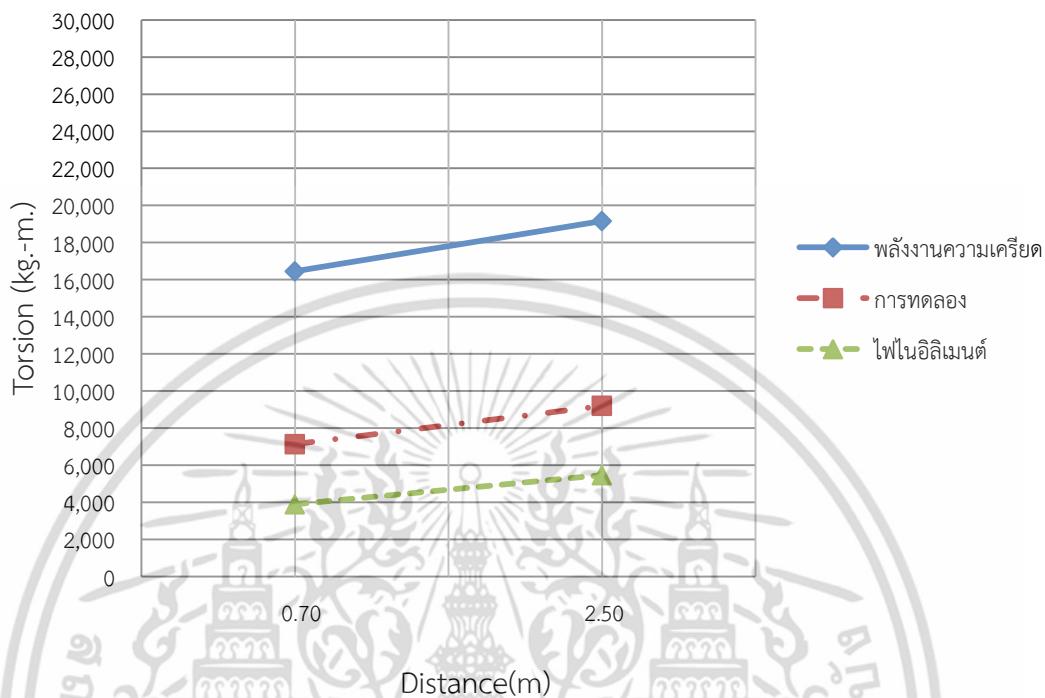
รูปที่ 4.26 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์บิดแกนพัก 1 ล่าง ช่วง D'-B'ตามแนวแกน X ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate)

ค่าโมเมนต์บิดบริเวณแกนพัก 1 บน ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด(Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ค่าโมเมนต์บิดในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณแกนพัก 1 บน

Distance(m)	โมเมนต์บิด(kg.-m.)		
	การทดลอง	ไฟไนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.80	7,137.352	3,889.406	16,449.000
2.40	9,192.355	5,460.830	19,161.000

นำค่าโมเมนต์บิดบริเวณชานพัก 1 บน ๓ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.27



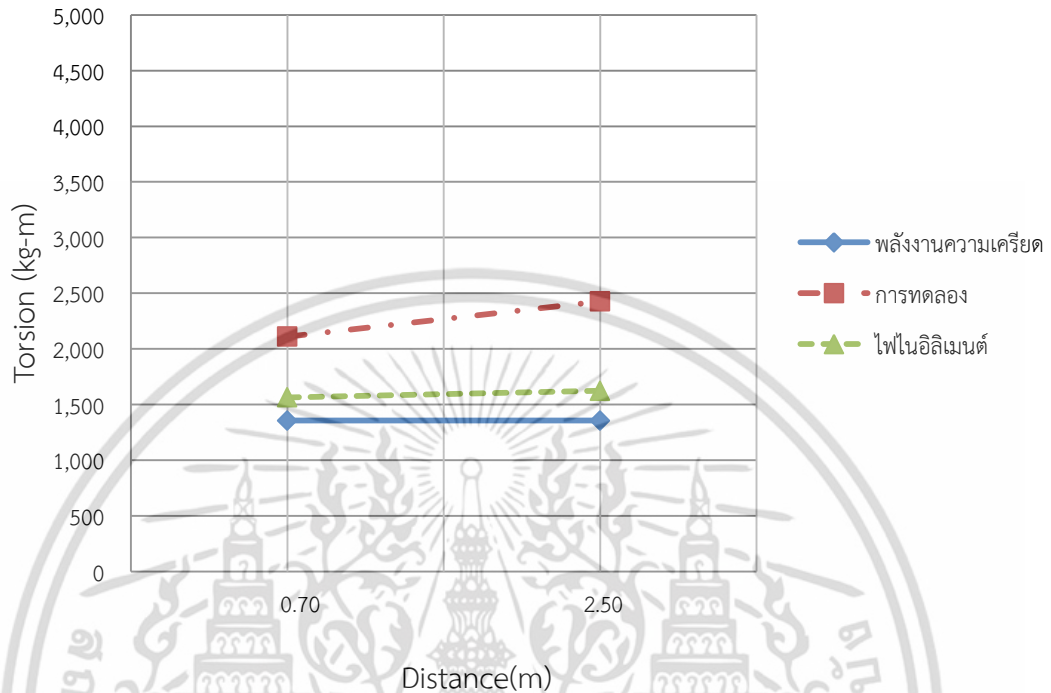
รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์บิดชานพัก 1 บน ช่วง D-Bตามแนวแกน X ระหว่างการทดลอง กับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate)

ค่าโมเมนต์บิดบริเวณชานพัก 2 ในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate) ดังแสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ค่าโมเมนต์บิดในช่วงของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด บริเวณชานพัก 2

Distance(m)	โมเมนต์บิด(kg.-m.)		
	การทดลอง	ไฟไนลิเมนต์	พลังงานความเครียด
0.70	2,110.07	1,564.782	1,356.00
2.50	2,426.271	1,623.203	1,356.00

นำค่าโมเมนต์บิดบริเวณแกนพัก 2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์บิดแกนพัก 2 ช่วง F-F' ตามแนวแกน X ระหว่างการทดลองกับค่าจากวิธีไฟไนลิเมนต์ และวิธีพลังงานความเครียดในช่วงน้ำหนักบรรทุกทุกสูงสุด (Ultimate)

4.6 ผลการวิเคราะห์แรงในแนวราบที่กึ่งกลางแกนพักบันได(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางแกนพักบันได(M_0)

จากการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 ล่าง แทนค่าในสมการการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานความเครียด เพื่อหาค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางแกนพักบันได(H) ดังนี้

$$M_v = -Hs \sin \phi - \frac{1}{2} n_l (b_1 + b) s \cos \phi - \frac{1}{4} n_l b (b_1 + b) - \frac{1}{2} n_f s^2 \cos^2 \phi$$

$$-26,470.263 = H(2.70) \sin 30 - \frac{1}{2} (2,153)(1.80 + 1.40)(2.70) \cos 30 - \frac{1}{4} (2,153)(1.40)(1.80 + 1.40)$$

$$- \frac{1}{2} (2,444)(2.70)^2 \cos^2 30$$

$$H = 6,906.473 \text{ กก.}$$

นำค่าที่ได้แทนในสมการเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางแกนพักบันได(M_0) ดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นใบแจ้งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = \frac{8.584 \times 10^4 - 8.99M_0}{2.78}$$

$$6,906.473 = \frac{8.584 \times 10^4 - 8.99M_0}{2.78}$$

$$M_0 = 7,412.681 \text{ กก.-ม.}$$

นำค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพักบันได(H) และโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางชานพักบันได(M₀) ณ ตำแหน่ง ชานพัก 2 เปรียบเทียบค่าจากทฤษฎีการวิเคราะห์ โดยวิธีพลังงานความเครียด(Strain Energy Method) และวิธีแบบแผ่น(Plate Element Method) ดังแสดงในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ตารางเปรียบเทียบค่าจากทฤษฎี และการทดลอง บริเวณชานพัก 2

วิธี	H (กก.)	M ₀ (กก.-ม.)
พลังงานความเครียด(Strain Energy Method)	2,274.000	8,756.000
วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(Finite Element Method)	1,990.362	3,326.781
การทดลอง(Experimental)	6,906.473	7,412.681

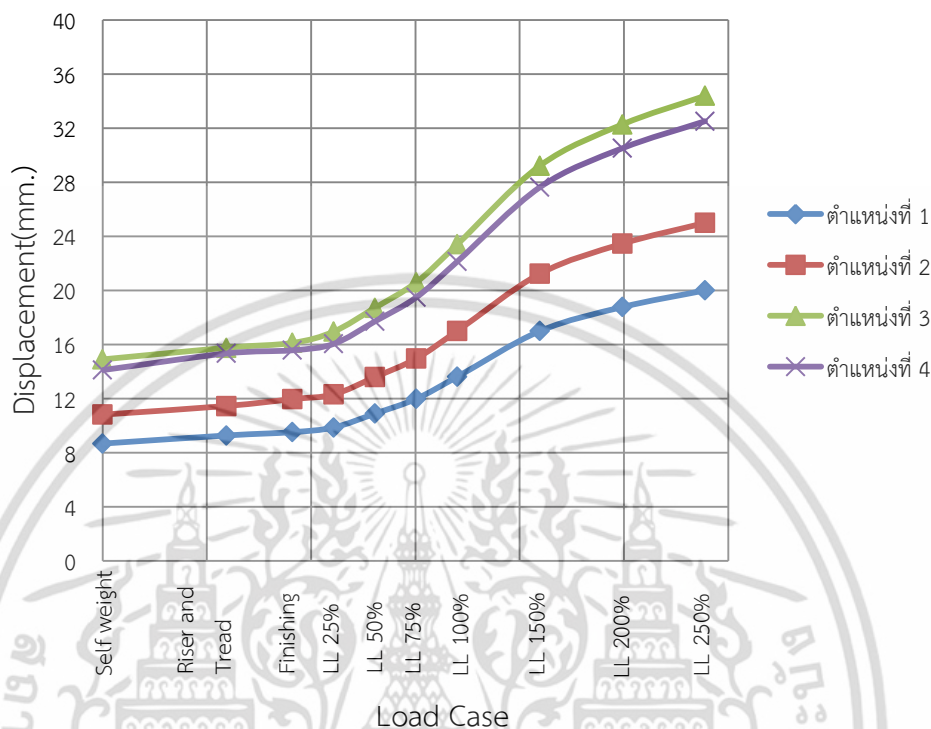
4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง(Displacement) ของโครงสร้าง

จากการวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างบริเวณต่าง ๆ ของบันไดทดสอบ ในแต่ละช่วงของการขึ้นน้ำหนักรรทุกทดสอบได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.30 ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 1 ล่าง

Load Case	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4
Self Weight	8.66	10.81	14.89	14.10
Riser and Tread	9.27	11.45	15.76	15.33
Finishing	9.51	11.96	16.11	15.57
LL 25%	9.86	12.31	16.95	16.04
LL 500%	10.88	13.59	18.71	17.70
LL 75%	11.98	14.95	20.59	19.48
LL 100%	13.61	17.00	23.41	22.14
LL 150%	16.99	21.23	29.22	27.63
LL 200%	18.77	23.45	32.27	30.51
LL 250%	20.00	24.99	34.39	32.51

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้ง กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.29



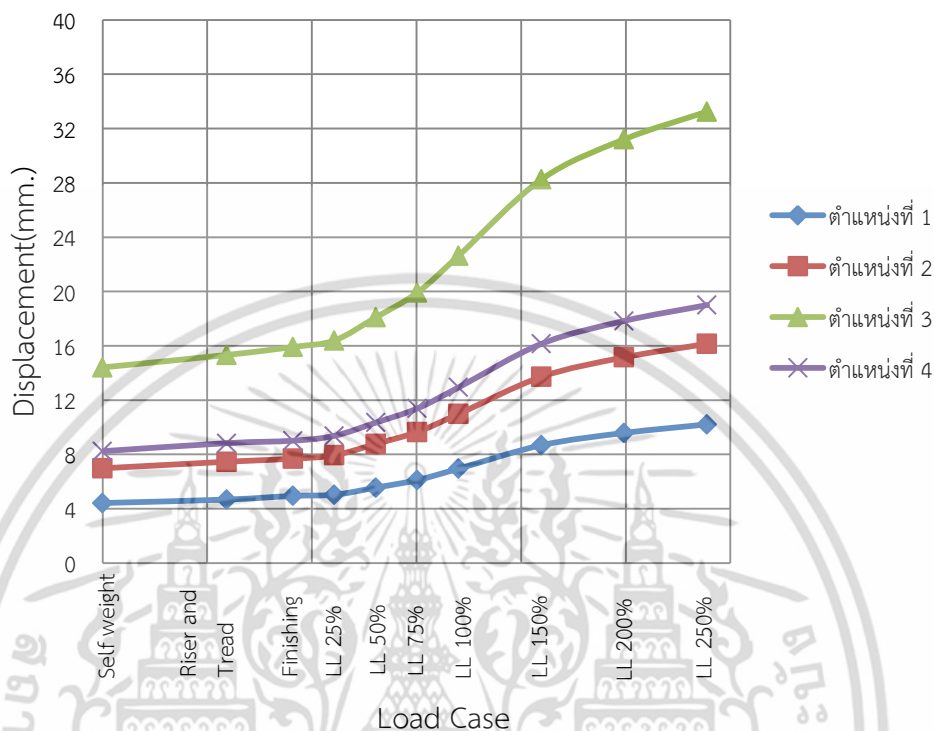
รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 1 ล่าง

ตารางที่ 4.31 ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 1 บน

Load Case	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4
Self Weight	4.42	6.98	14.41	8.24
Riser and Tread	4.68	7.46	15.33	8.83
Finishing	4.95	7.68	15.92	9.01
LL 25%	5.03	7.94	16.39	9.37
LL 500%	5.55	8.77	18.10	10.34
LL 75%	6.11	9.66	19.91	11.38
LL 100%	6.95	10.98	22.64	12.94
LL 150%	8.68	13.72	28.26	16.15
LL 200%	9.58	15.15	31.21	17.83
LL 250%	10.21	16.15	33.25	19.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้ง กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.30



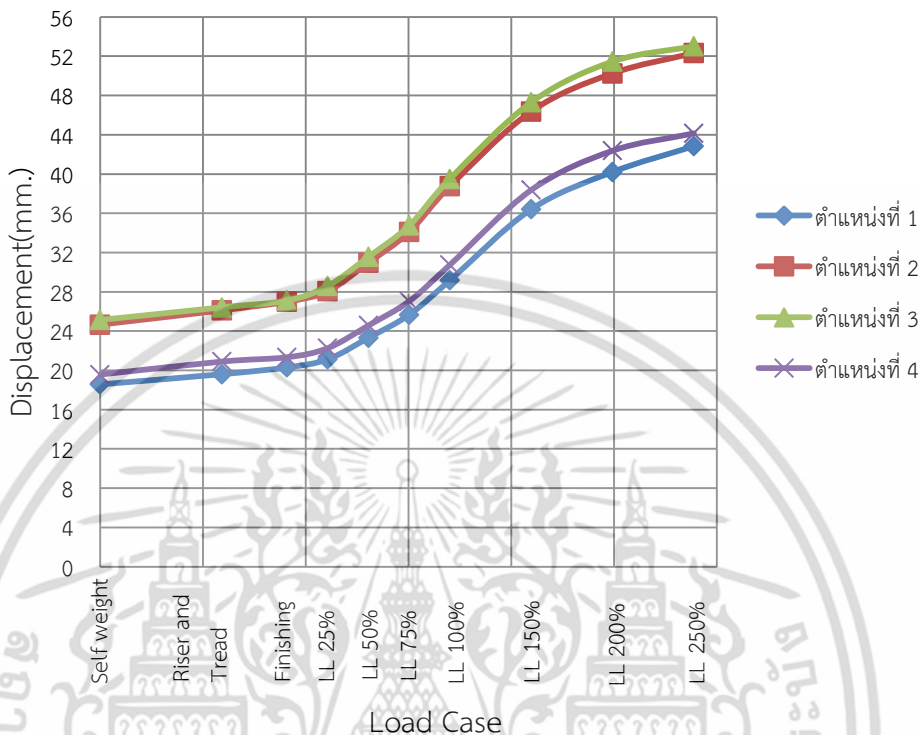
รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 1 บน

ตารางที่ 4.32 ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 2

Load Case	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4
Self Weight	18.57	24.66	25.13	19.57
Riser and Tread	19.61	26.11	26.42	20.90
Finishing	20.30	27.00	27.11	21.33
LL 25%	21.13	28.06	28.60	22.27
LL 500%	23.32	30.98	31.57	24.58
LL 75%	25.66	34.09	34.74	27.04
LL 100%	29.17	38.75	39.49	30.74
LL 150%	36.40	46.37	47.30	38.36
LL 200%	40.20	50.25	51.45	42.37
LL 250%	42.84	52.32	53.02	44.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. อนุญาตให้ใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้ง กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.31

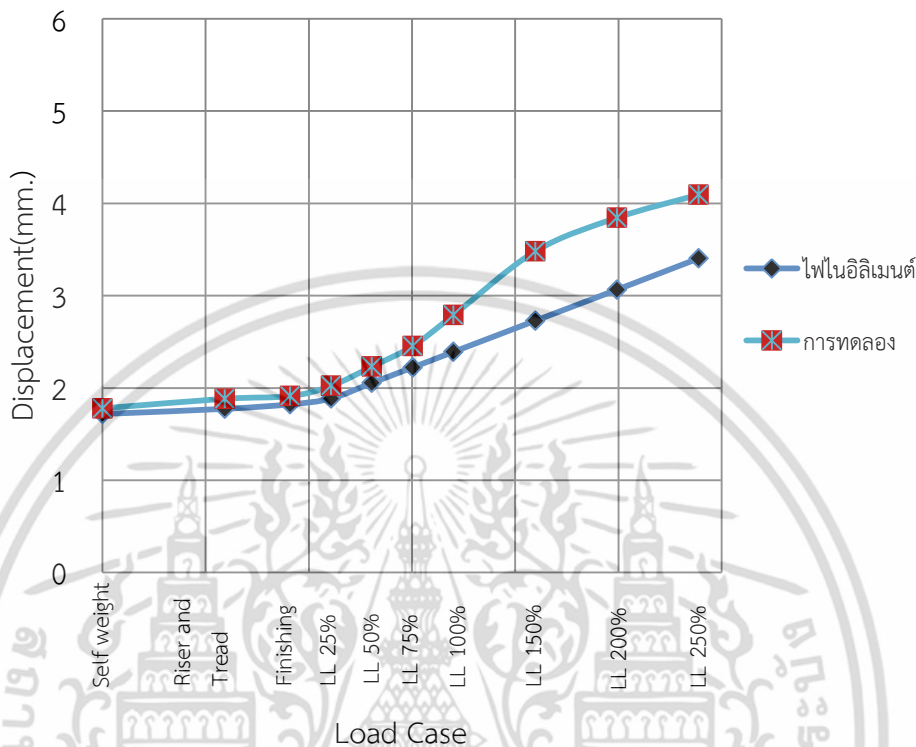


รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวตั้งของโครงสร้างบันไดทดสอบ บริเวณชานพัก 2

ตารางที่ 4.33 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้าง บริเวณชานพัก 1 ล่าง

Load Case	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)	
	ไฟไนลิเมนต์	การทดลอง
Self Weight	1.72	1.78
Riser and Tread	1.77	1.88
Finishing	1.82	1.91
LL 25%	1.89	2.02
LL 500%	2.06	2.23
LL 75%	2.22	2.46
LL 100%	2.39	2.79
LL 150%	2.73	3.48
LL 200%	3.07	3.84
LL 250%	3.40	4.10

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบ กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.32



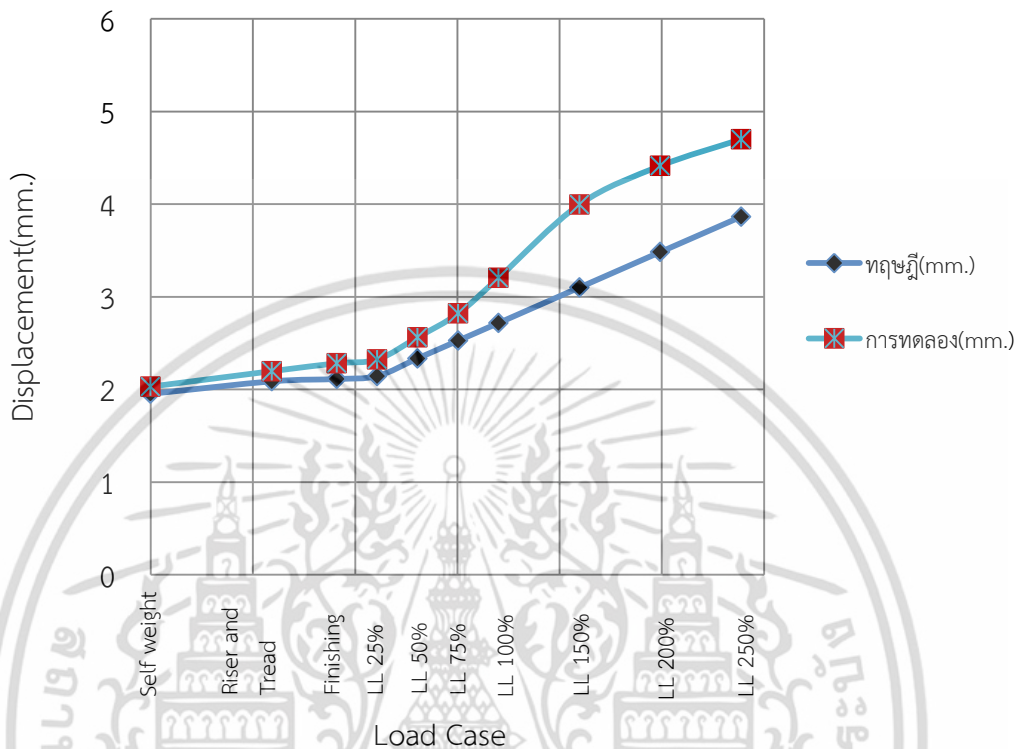
รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวราบของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 ล่าง

ตารางที่ 4.34 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้าง บริเวณชานพัก 1 บน

Load Case	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)	
	ไฟโนอีลิเมนต์	การทดลอง
Self Weight	1.95	2.03
Riser and Tread	2.09	2.20
Finishing	2.11	2.28
LL 25%	2.14	2.32
LL 50%	2.34	2.56
LL 75%	2.53	2.82
LL 100%	2.72	3.20
LL 150%	3.10	4.00
LL 200%	3.48	4.41
LL 250%	3.87	4.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านั้นถือว่าผิดกฎหมาย หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2942-3000 หรือ 0-2942-3001

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบ กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.33



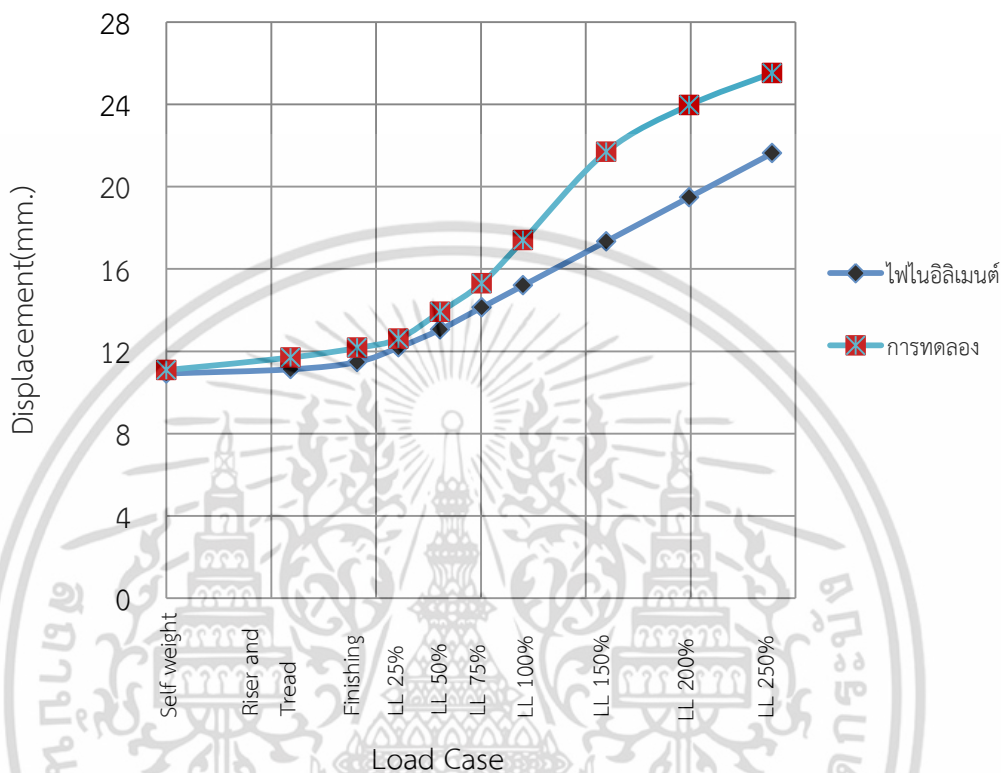
รูปที่ 4.33 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวราบของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 บน

ตารางที่ 4.35 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้าง บริเวณชานพัก 2

Load Case	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)	
	ไฟในอิลิเมนต์	การทดลอง
Self Weight	10.92	11.09
Riser and Tread	11.12	11.70
Finishing	11.48	12.17
LL 25%	12.19	12.61
LL 500%	13.06	13.91
LL 75%	14.13	15.31
LL 100%	15.20	17.39
LL 150%	17.34	21.70
LL 200%	19.48	23.96
LL 250%	21.62	25.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น กรุณาอย่าไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบของโครงสร้างบริเวณชานพัก 2 ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งแนวราบ กับน้ำหนักบรรทุกทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.34



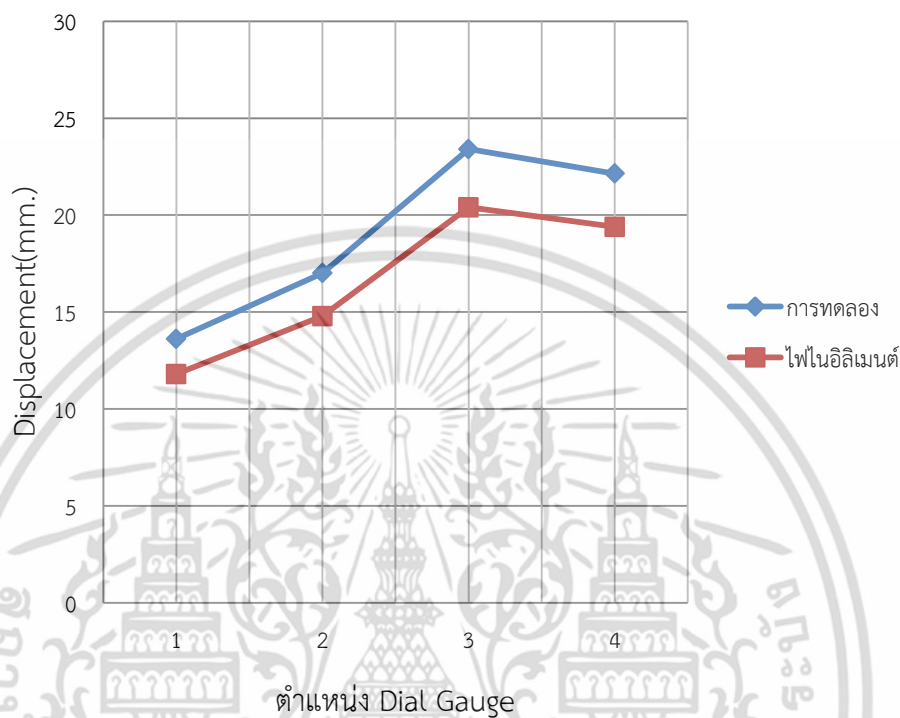
รูปที่ 4.34 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทดสอบกับค่าการเคลื่อนตัวแนวราบของโครงสร้างบริเวณชานพัก 2

ตารางที่ 4.36 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งน้ำหนักบรรทุก 1DL+1LL ชานพัก 1 ล่าง

การวิเคราะห์	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4
ไฟโนอิลิเมนต์	11.80	14.79	23.41	22.14
การทดลอง	13.61	17.00	20.39	19.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL บริเวณชานพัก 1 ล่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.35



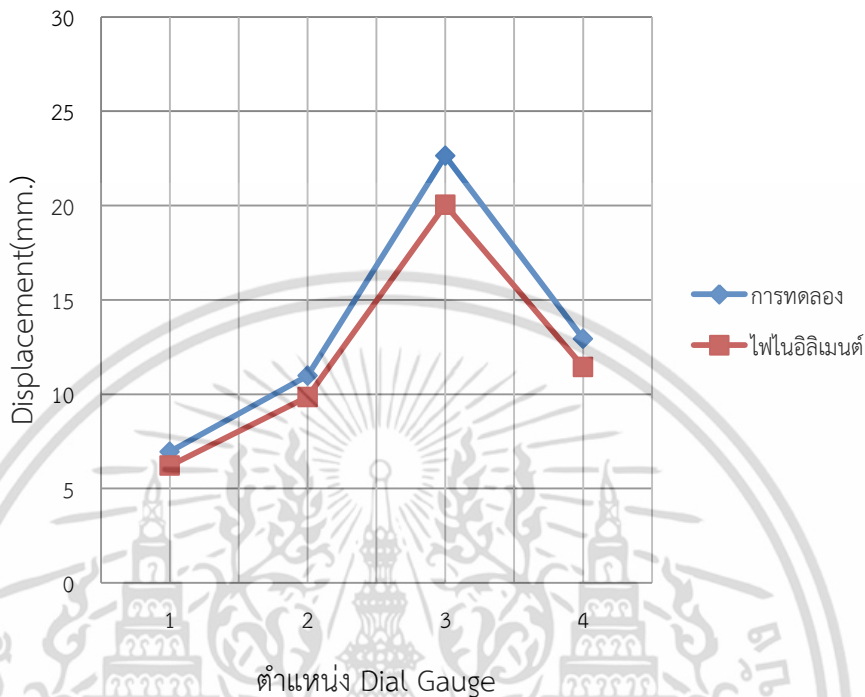
รูปที่ 4.35 กราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 ล่าง ระหว่างการทดลอง กับวิธีไฟไนลิเมนต์ในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL

ตารางที่ 4.37 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งน้ำหนักบรรทุก 1DL+1LL ชานพัก 1 บน

การวิเคราะห์	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4
ไฟไนลิเมนต์	6.21	9.85	20.04	11.45
การทดลอง	6.95	10.98	22.64	12.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL บริเวณชานพัก 1 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.36

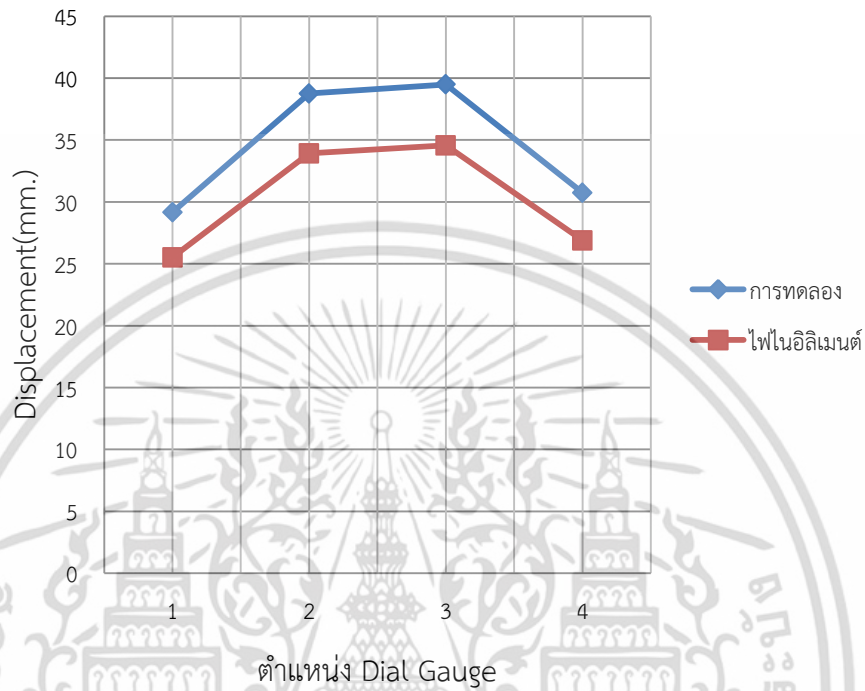


รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 1 บน ระหว่างการทดลอง กับวิธีไฟไนลิเมนต์ในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL

ตารางที่ 4.38 ค่าเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งน้ำหนักบรรทุก 1DL+1LL ชานพัก 2

การวิเคราะห์	การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(mm.)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4
ไฟไนลิเมนต์	25.52	33.93	39.49	26.89
การทดลอง	29.17	38.75	34.57	30.74

นำค่าการเปลี่ยนตำแหน่งแนวตั้งของโครงสร้างในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL บริเวณชานพัก 1 บน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างทฤษฎี กับค่าจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 กราฟเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนตำแหน่งในแนวตั้งของโครงสร้างบริเวณชานพัก 2 ระหว่างการทดลอง กับวิธีไฟไนลิเมนต์ในช่วงน้ำหนักบรรทุก 1DL + 1LL

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากการทดลองครั้งนี้พบว่าเมื่อทดสอบน้ำหนักบรรทุกสูงสุด หน่วยแรงสูงสุดในเหล็กเสริมหลักจากการทดลองเกิดขึ้นบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง มีค่าเท่ากับ 3,474.765 กก./ตร.ซม. มีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณ 13% และมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานความเครียดประมาณ 21% โดยค่าที่เกิดไม่เกินค่าที่ออกแบบคือ 4,000 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงสูงสุดในเหล็กคูกตั้งจากการทดลองเกิดขึ้นบริเวณแกนพัก 1 บน มีค่าเท่ากับ 687.925 กก./ตร.ซม. มีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณ 41% และมีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานความเครียดประมาณ 43% โดยค่าที่เกิดไม่เกินค่าที่ออกแบบคือ 2,400 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงสูงสุดในคอนกรีตจากการทดลองเกิดขึ้นบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 บน มีค่าเท่ากับ 216.118 กก./ตร.ซม. มีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณ 10% และมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานความเครียดประมาณ 26% โดยค่าที่เกิดไม่เกินค่าที่ออกแบบคือ 330 กก./ตร.ซม. และค่าที่ใช้ในการทดลองคือ 320 กก./ตร.ซม.

2. ค่าโมเมนต์ดัดหลักสูงสุดจากการทดลองเกิดขึ้นบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง บริเวณจตุรรองรับ(Support) ล่าง มีค่าเท่ากับ 32,464.059 กก.-ม. มีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานความเครียดประมาณ 26% และมีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณ 16%

โมเมนต์ดัดหลักจากการทดลองอาจมีค่าน้อยลงเมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงในเหล็กเสริมบริเวณหน้าตัด โดยเพิ่มจำนวนการวัดค่าหน่วยยึด-หดตัวในเหล็กเสริม เช่น ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง มีเหล็กเสริมหลักบน 8 เส้น แต่วัดค่าหน่วยแรงเพียงจุดเดียว โดยสมมติให้เหล็กทุกเส้นเกิดหน่วยแรงเท่ากันอาจทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเพราะเหล็กทุกเส้นรับหน่วยแรงไม่เท่ากัน

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าโมเมนต์ดัดหลักที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุด ซึ่งมากกว่าโมเมนต์อื่น ๆ จึงสรุปได้ว่าสาเหตุของการวิบัติของบันไดแกนพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น เกิดจากโมเมนต์ดัดหลัก โดยบริเวณที่เกิดโมเมนต์ดัดหลักสูงสุดคือบริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง

3. ค่าโมเมนต์บิดสูงสุดจากการทดลองเกิดขึ้นบริเวณแกนพัก 1 บน มีค่าเท่ากับ 9,192.355 กก.-ม. มีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานความเครียดประมาณ 52% และมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณ 41%

จากผลค่าโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นสามารถลดขนาดของความหนาแกนพักได้ โดยโมเมนต์บิดไม่ใช่สาเหตุหลักของการวิบัติของโครงสร้างบันไดทดสอบ และลักษณะการเกิดโมเมนต์บิดคล้ายคลึงกับการเกิดโมเมนต์ดัดในโครงสร้างพื้นยื่น

4. ค่าแรงในแนวราบที่กึ่งกลางชานพักบันได(H) จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 6,906.473 กก. มีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานความเครียดประมาณ 67% และมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณ 247%

5. ค่าโมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางชานพักบันได(M_0) จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 7,412.681 กก. มีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานความเครียดประมาณ 15% และมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณ 123%

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยที่ได้ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า ยืด-หดตัวของเหล็กเสริมเพิ่มเติมเพื่อใช้คำนวณค่าโมเมนต์ที่มีค่าใกล้เคียงมากขึ้น เช่น ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่ายืด-หดตัวบริเวณชั้นบันไดเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดหลักที่มีค่าใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น

2. ลดความหนาของชานพัก จากการทดลองครั้งนี้พบว่าหน่วยแรงบิดบริเวณชานพัก มีค่าน้อยกว่าค่าที่ออกแบบไว้มากการลดขนาดหน้าตัดบันไดทำให้น้ำหนักตัวโครงสร้างมีค่าลดลงไปด้วย มีผลให้ค่าโมเมนต์ดัดหลักมีค่าลดลง

3. ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า ยืด-หดตัวของเหล็กเสริมหลักบริเวณชานพัก 2 เพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดหลักของบันไดทดสอบ ซึ่งค่าโมเมนต์ดัดหลักบริเวณกลางช่วงชานพัก 2 คือ โมเมนต์ดัดที่กึ่งกลางชานพักบันได(M_0)

เอกสารอ้างอิง

- [1] นัฐพล วัฒนมั่นคง. การวิเคราะห์การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กขานพักลอยแบบ **สมมาตร 2 ชั้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555.
- [2] กิรติ ลีวัจนกุล. **ชลศาสตร์**. มหาวิทยาลัยรังสิต, 2538.
- [3] สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์. **ทฤษฎีโครงสร้าง**. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, โรงพิมพ์ มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2553.
- [4] สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์. **การวิเคราะห์โครงสร้าง**. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, โรงพิมพ์ มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2554.
- [5] วินิต ช่อวิเชียร, วรนิติ ช่อวิเชียร และวรเศรษฐ์ ช่อวิเชียร. **กำลังวัสดุ**. กรุงเทพฯ, 2548.
- [6] วินิต ช่อวิเชียร. **การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง**. กรุงเทพฯ, 2545.
- [7] วินิต ช่อวิเชียร. **คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 8**. กรุงเทพฯ, 2539.
- [8] ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. **ปฏิบัติการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 2**. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, บริษัท เอส. เอส. บั๊คส์แฮนด์จำกัด, 2538.
- [9] สำเร็จ รักซ้อน, ปริญญา จินดาประเสริฐ. **ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 5**. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.
- [10] เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตร. **วัสดุศาสตร์มูลฐาน**. สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [11] ขาวสวน กาญจนมัย. **ความเสียหายของวัสดุทางวิศวกรรม**. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, บริษัท พิมพ์สวย จำกัด, 2552.
- [12] มนตรี พิรุณเกษตร. **กลศาสตร์ของวัสดุ**. กรุงเทพฯ, บริษัท วิทย์พัฒน์ จำกัด, 2553.
- [13] สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ. **กลศาสตร์วัสดุ พิมพ์ครั้งที่ 2**. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, บริษัท ว.เพ็ชรสกุล จำกัด, 2549.
- [14] พูจิณี ซาโตะ. **การทดสอบแบบไม่ทำลาย**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), บริษัท ที.พี.พรินท์ จำกัด, 2538.
- [15] อุดมวิทย์ กาญจนวงศ์. **การทดสอบวัสดุ(แบบทำลาย)**. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต นนทบุรี, บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด, 2543.
- [16] เดช พุทธเจริญทอง. **กลศาสตร์ของแข็ง 2**. กรุงเทพฯ, บริษัท พิมพ์ดี จำกัด, 2551.
- [17] เดช พุทธเจริญทอง. **ทฤษฎีพลาสติกซิตี และการเปลี่ยนรูปถาวร**. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, บริษัท พิมพ์ดี จำกัด, 2548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [18] สุพจน์ ศรีนิล และแหลมทอง เหล่าคงถาวร. **ปฏิบัติการทดสอบวัสดุวิศวกรรม**. สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, โรงพิมพ์ มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2553.
- [19] มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์. **งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 6**. สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- [20] มนัส อนุศิริ. **ทฤษฎีและปฏิบัติ การทดสอบวัสดุในงานวิศวกรรมโยธา**. กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดดูเคชั่น , 2549.
- [21] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กเส้นเสริม คอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย(มอก. 24-2548)**. 2548.
- [22] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กเส้นเสริม คอนกรีต : เหล็กเส้นกลม(มอก. 20-2543)**. 2543.
- [23] เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย. **การทดสอบแรงดึง**. สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 25550.
- [24] J.A. Knappett, C. Reid, S. Kinmond, and K. O'Reilly. **Small-Scale Modeling of Reinforced Concrete Structural Elements for Use in a Geotechnical Centrifuge**. ASCE Structural Engineering Journal (NOVEMBER 2011): pp. 1263-1271
- [25] Anirban De, M.ASCE and Thomas F. Zimmie, F.ASCE. **Modeling of Surface Blast Effects on Underground Structures**. ASCE Structural Engineering Journal. 2006.
- [26] Khan M. Amanat, Sohrabuddin Ahmad. **A NEW DESIGN BASIS FOR FREE-STANDING STAIRS**. Journal of Civil Engineering The Institution of Engineers, Bangladesh Vol. CE 29 No.1 (2001): pp. 17-31
- [27] Lain A. MacLeod. **ANALYTICAL MODELLING OF STRUCTURAL SYSTEMS An Entirely New Approach with Emphasis on Behaviour of Building Structures**. The Ellis Horwood Limited. 1990.
- [28] Harry G. Harris and Gajanan M. Sabnis. **STRUCTURAL MODELING AND EDPERIMENTAL TECHNIQUES**. The CRC Press Boca Raton London New York Washington, D.C. 1999.
- [29] M.Y.H. BANGASH and T. BANGASH. **Staircases Structural analysis and design**. The A.A.Balkema, Rotterdam. 1999.
- [30] American Concrete Institute (ACI). **BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE (ACI 318-05) AND COMMENTARY (ACI 318R-05)**. 2004.
- [31] R. C. Hibbeler. **Mechanics of Materials Sixth Edition**. Prentice-Hall Pearson Education South Asia Pte Ltd., Singapore, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

รายการคำนวณผลการวิเคราะห์ และออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก1) ความเค้น

จากสมการ $\sigma = E\varepsilon$ เมื่อ $E_{เหล็ก} = 2.04 \times 10^6$, $E_{คอนกรีต} = 2.51 \times 10^5$ สามารถหาค่าความเค้นในเหล็กเสริมหลัก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดังนี้

ความเค้นในเหล็กเสริมหลัก :

ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง :

เหล็กเสริมหลักบนตำแหน่งที่ 1	$\sigma = 2.04 \times 10^6 \times 1,703.316 \times 10^{-6} = 3,474.765$ กก./ตร.ซม.
เหล็กเสริมหลักบนตำแหน่งที่ 2	$\sigma = 2.04 \times 10^6 \times (-135.984) \times 10^{-6} = -277.407$ กก./ตร.ซม.
เหล็กเสริมหลักบนตำแหน่งที่ 3	$\sigma = 2.04 \times 10^6 \times (-575.982) \times 10^{-6} = -1,175.003$ กก./ตร.ซม.
เหล็กเสริมหลักล่างตำแหน่งที่ 1	$\sigma = 2.04 \times 10^6 \times (-1,215.878) \times 10^{-6} = -2,480.391$ กก./ตร.ซม.
เหล็กเสริมหลักล่างตำแหน่งที่ 2	$\sigma = 2.04 \times 10^6 \times 250.988 \times 10^{-6} = 512.016$ กก./ตร.ซม.
เหล็กเสริมหลักล่างตำแหน่งที่ 3	$\sigma = 2.04 \times 10^6 \times 827.040 \times 10^{-6} = 1,687.162$ กก./ตร.ซม.

ความเค้นในเหล็กเสริมทางขวาง :

ชานพัก 1 ล่าง :

เหล็กเสริมหลักบนตำแหน่งที่ 1	$\sigma = 2.04 \times 10^6 \times 263.957 \times 10^{-6} = 538.472$ กก./ตร.ซม.
เหล็กเสริมหลักบนตำแหน่งที่ 2	$\sigma = 2.04 \times 10^6 \times 304.604 \times 10^{-6} = 621.392$ กก./ตร.ซม.

ความเค้นในคอนกรีต :

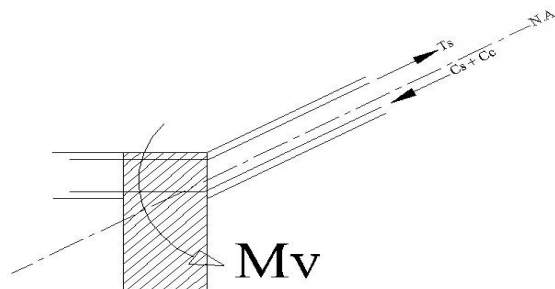
ชานพัก 1 ล่าง :

คอนกรีตบริเวณตำแหน่งที่ 1	$\sigma = 2.51 \times 10^5 \times (-295.085) \times 10^{-6} = -74.066$ กก./ตร.ซม.
คอนกรีตบริเวณตำแหน่งที่ 2	$\sigma = 2.51 \times 10^5 \times (-352.761) \times 10^{-6} = -88.543$ กก./ตร.ซม.

ก2) ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัดหลัก (M_v)

การวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัดหลัก (M_v) บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง:

ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตเฉลี่ย จากการ Coring ทดสอบ เท่ากับ 265.78 กก./ตร.ซม. จะได้ค่า $E_c = 15,100 \sqrt{f'_c} = 251,435.631$ กก./ตร.ซม.



รูปโมเมนต์ดัดสูงสุดของบันไดทดสอบ บริเวณจุดรองรับล่าง (Lower Support)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง

วิเคราะห์โมเมนต์ดัดสูงสุด(M_u) ชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง จุดที่ 1:

หน่วยแรงในเหล็กเสริมหลักบน(f_s) เท่ากับ 3,529.845 กก./ตร.ซม.

หน่วยแรงในเหล็กเสริมหลักล่าง(f_s') เท่ากับ -2,480.391 กก./ตร.ซม.

$$A_s f_s = C_s + C_c$$

$$(16.08)(3,529.845) = (14.07)(2,480.391) + C_c$$

$$C_c = 20,975.112 \text{ kg.}$$

คำนวณหาตำแหน่งของแนวแกนสะเทิน

$$k = \sqrt{2n \left(\rho + \frac{2\rho' d'}{d} \right) + n^2 (\rho + 2\rho')^2} - n(\rho + 2\rho')$$

แทนค่า

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{16.08}{70 \times 9.10} = 0.0252$$

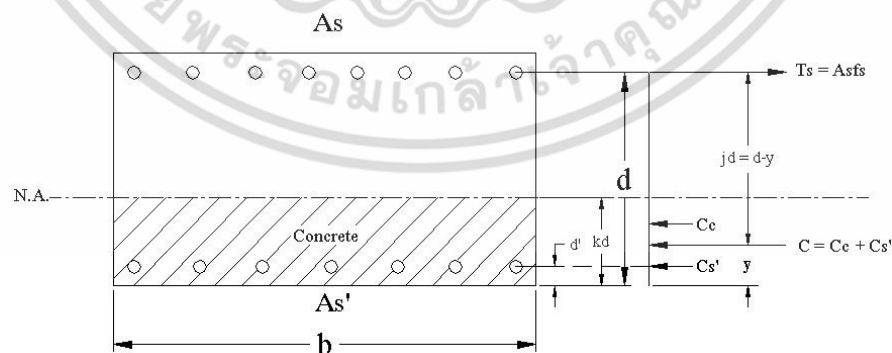
$$\rho' = \frac{A_s'}{bd} = \frac{14.07}{70 \times 9.10} = 0.0221$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{2.40}{9.10} = 0.2637$$

$$k = 0.297$$

$$kd = 2.703$$

คำนวณหาค่าระยะ j



รูปหน่วยแรงในหน้าตัด บริเวณชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 ล่าง จุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะช่วงแขนของโมเมนต์ (jd)

$$\begin{aligned} (C_c + C_s)y &= C_c(kd/3) + C_s d' \\ (20,975.112 + 34,899.103)y &= (20,975.112)(2.703/3) + (34,899.103)(2.40) \\ y &= 1.837 \\ jd &= 9.10 - 1.837 = 7.263 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

1.หาค่าหน่วยแรงในคอนกรีต

$$\begin{aligned} \frac{\epsilon_c}{kd} &= \frac{\epsilon_s}{d - kd} \\ \frac{\epsilon_c}{2.703} &= \frac{1,703.316}{9.10 - 2.703} \\ \epsilon_c &= 719.72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงคอนกรีต } (f_c) &= (2.51 \times 10^5)(719.72 \times 10^{-6}) \\ &= 180.65 \text{ กก./ตร.ซม.} \end{aligned}$$

2.หาค่าโมเมนต์ดัด

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_s jd = ((16.08)(3,474.765)(7.263))/100 \\ &= 4,058.114 \text{ กก.-ม.} \\ (\text{Scale factor } 1:2; 2^3=8) &= (4,058.114)(8) \\ &= 32,464.912 \text{ กก.-ม.} \end{aligned}$$

ก3) ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าโมเมนต์บิด(M_T)

จากการดำเนินงานทดลองตามวิธีการที่ได้วางแผนไว้และได้เก็บค่าหน่วยแรงในเหล็กจากที่ตั้งตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าโมเมนต์บิด ดังนี้

การวิเคราะห์ค่าโมเมนต์บิด(M_T) บริเวณขานพัก 1 บน

วิเคราะห์โมเมนต์บิดสูงสุด(M_T) ขานพัก 1 บน จุดที่ 2:

หน่วยแรงในเหล็กเสริมทางขวาง(f_v) เท่ากับ 687.925 กก./ตร.ซม.

$$\begin{aligned} M_t &= \frac{2A_c f_v A_v}{s} \\ M_t &= \frac{2(738.14)(687.925)(0.849)}{7.50} / (100) \\ M_t &= 1,149.044(8) \end{aligned}$$

$$M = 9,192.355 \text{ kg. - m.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก5) รายการคำนวณปริมาณภาคส่วนของคอนกรีต

มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ :

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15

มวลรวมหยาบขนาดโตสุดเท่ากับ 20 มม. หน่วยน้ำหนักแห้ง 1,600 กก. / ลบ.ม. ความถ่วงจำเพาะ 2.70 ค่าการดูดซึม 0.5%

มวลรวมละเอียด มีความถ่วงจำเพาะ 2.65 ค่าการดูดซึม 0.7% ค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 2.80 ใช้ค่าการยุบตัว เท่ากับ 8 – 10 ซม.

ออกแบบคอนกรีตให้มิกำลังสูงกว่าที่กำหนด ดังสมการ

$$f_{cr} = f_{c'} + k_s$$

เมื่อ f_{cr} = กำลังอัดเฉลี่ย

$f_{c'}$ = กำลังอัดที่กำหนดไว้ในการออกแบบ

k_s = ส่วนเผื่อ

k = ค่าคงที่

s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดจากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือมากกว่า หรือ ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีการทดลองกำลังอัด

1) กำลังอัดประลัยเฉลี่ย ($f_{c'}$) ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 320 กก./ตร.ซม. ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 20 มม. (3/4 นิ้ว)

ตารางแสดงส่วนเผื่อเมื่อไม่มีการทดลองกำลังอัด

ค่ากำลังอัดที่กำหนด ($f_{c'}$)	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 120	70
210 - 350	85
350 หรือมากกว่า	100

ดังนั้นกำลังที่ต้องผลิต $f_{cr} = 320 + 85 = 405$ กก./ตร.ซม.

ขั้นตอนที่ (1) ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัว 8 – 10 ซม. และวัสดุผสมขนาด 20 มม. กรณีไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศเท่ากับ 200 ลิตร/ลบ.ม. ของคอนกรีต

ขั้นตอนที่ (2) คอนกรีตที่ต้องการกำลัง 405 กก./ตร.ม. และคอนกรีตไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ จะได้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ หรือ W/C ratio เท่ากับ 0.43 น้ำหนักซีเมนต์ที่ต้องการเท่ากับ $200/0.43 = 466$ กก.

ขั้นตอนที่ (3) ปริมาตรของของวัสดุหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น

$$= 0.62 \text{ ลบ.ม. / ลบ.ม. ของคอนกรีต}$$

$$\text{น้ำหนักของวัสดุหยาบที่ใช้} = 0.62 \times 1,600 = 992 \text{ กก. / ลบ.ม.}$$

ขั้นตอนที่ (4) ปริมาณของวัสดุต่อจำนวนคอนกรีต 1 ลบ.ม.

$$\text{ปริมาตรน้ำ} = (200 \times 1,000) / (100 \times 100 \times 100)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.200 \text{ ลิตร}$$

ปริมาตรของปูนซีเมนต์ = $466 / (3.15 \times 1,000)$

$$= 0.148 \text{ ลิตร}$$

ปริมาตรของวัสดุหยาบ = $992 / (2.70 \times 1,000)$

$$= 0.368 \text{ ลิตร}$$

ปริมาตรของฟองอากาศ (1%) = 0.01×1

$$= 0.01 \text{ ลิตร}$$

ปริมาตรทั้งหมดยกเว้นทราย $0.200 + 0.148 + 0.368 + 0.01 = 0.726 \text{ ลิตร}$

ปริมาตรของทราย = $1 - 0.726$

$$= 0.274 \text{ ลิตร}$$

น้ำหนักของทราย = $0.274 \times 2.65 \times 1,000$

$$= 727 \text{ กก.}$$

ฉะนั้น คอนกรีต 1 ลบ.ม. ต้องใช้ส่วนผสมเท่ากับ

น้ำ	=	200	ลิตร
ปูนซีเมนต์	=	466	กก.
หิน	=	992	กก.
ทราย	=	727	กก.
รวมปริมาณน้ำหนักทั้งหมด	=	2,385	กก.

2) กำลังอัดประลัยเฉลี่ย (f_c') ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 320 กก./ตร.ซม. ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 10 มม. (3/8 นิ้ว)

กำลังที่ต้องผลิต $f_{cr} = 320 + 85 = 405 \text{ กก./ตร.ซม.}$

ขั้นตอนที่ (1) ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัว 8 – 10 ซม. และขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ 10 มม. กรณีไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศเท่ากับ 225 ลิตร/ลบ.ม. ของคอนกรีต

ขั้นตอนที่ (2) คอนกรีตที่ต้องการกำลัง 405 กก./ตร.ม. และคอนกรีตไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ จะได้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ หรือ W/C ratio เท่ากับ 0.43 น้ำหนักซีเมนต์ที่ต้องการเท่ากับ $225/0.43 = 524 \text{ กก. / ลบ.ม.}$

ขั้นตอนที่ (3) ปริมาตรของของวัสดุหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น

$$= 0.46 \text{ ลบ.ม. / ลบ.ม. ของคอนกรีต}$$

น้ำหนักของวัสดุหยาบที่ใช้ = $0.46 \times 1,600 = 736 \text{ กก. / ลบ.ม.}$

ขั้นตอนที่ (4) ปริมาณของวัสดุต่อจำนวนคอนกรีต 1 ลบ.ม.

ปริมาตรน้ำ = $(225 \times 1,000) / (100 \times 100 \times 100)$

$$= 0.225 \text{ ลิตร}$$

ปริมาตรของปูนซีเมนต์ = $524 / (3.15 \times 1,000)$

$$= 0.167 \text{ ลิตร}$$

ปริมาตรของวัสดุหยาบ = $736 / (2.70 \times 1,000)$

$$= 0.273 \text{ ลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของฟองอากาศ (1\%)} &= 0.01 \times 1 \\
 &= 0.01 \text{ ลิตร} \\
 \text{ปริมาตรทั้งหมดยกเว้นทราย} &= 0.225 + 0.167 + 0.273 + 0.01 = 0.675 \text{ ลิตร} \\
 \text{ปริมาตรของทราย} &= 1 - 0.675 \\
 &= 0.325 \text{ ลิตร} \\
 \text{น้ำหนักของทราย} &= 0.325 \times 2.65 \times 1,000 \\
 &= 862 \text{ กก.}
 \end{aligned}$$

ฉะนั้น คอนกรีต 1 ลบ.ม. ต้องใช้ส่วนผสมเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำ} &= 225 \text{ ลิตร} \\
 \text{ปูนซีเมนต์} &= 524 \text{ กก.} \\
 \text{หิน} &= 736 \text{ กก.} \\
 \text{ทราย} &= 862 \text{ กก.} \\
 \text{รวมปริมาณน้ำหนักทั้งหมด} &= 2,347 \text{ กก.}
 \end{aligned}$$

ตารางสรุปปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต

ลำดับปฏิภาคส่วนผสม คอนกรีต	ขนาดมวลรวม หยาบโตสุด (นิ้ว)	น้ำ (ลิตร)	ปูนซีเมนต์ (กก.)	หิน (กก.)	ทราย (กก.)
1	3/4	200	466	992	727
2	3/8	200	466	992	727
3	3/8	225	524	736	862

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารขออนุเคราะห์ใช้สถานที่ทดสอบ และการทดสอบวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข1) เอกสารขออนุญาตใช้สถานที่ในงานวิจัย



บันทึกข้อความ

เรื่อง ขออนุญาตใช้สถานที่ในงานวิจัยบริเวณพื้นที่สาขาวิศวกรรมโยธา

เรียน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สิ่งที่แนบมาด้วย รูปภาพแผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่สำหรับวิจัย จำนวน ๑ รูป

เนื่องด้วยข้าพเจ้า นายสุรชาติ อินแสง ได้มีภาระค้นคว้างานวิจัยเรื่อง "การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองบันไดขานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น (MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY SYMMETRICAL FREE-STANDING STAIRS)" ซึ่งมีหลักการทางงาน คือ สร้างแบบจำลองคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้ ในเบื้องต้นการทดลองจะต้องมีการเขาเชื่อมเหล็กโครงสร้างบันไดขานพักลอยกับโครงสร้างเดิม ทั้งนี้ข้าพเจ้าจะให้ความระมัดระวัง ไม่ให้เกิดความเสียหายต่อตัวโครงสร้างอาคาร

จึงเรียนมาเพื่อ โปรดให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับใช้ในงานวิจัยดังกล่าว จักขอพระคุณยิ่ง

นายสุรชาติ อินแสง นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง โทร. ๐๘๘๖-๕๗๕๓๖๒๒๗

(รศ. สุตตัน์ อินสรนัฐ)

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ข1) เอกสารขออนุญาตใช้สถานที่ในงานวิจัย (ต่อ)

แผนที่ สถานที่ทดสอบงานวิจัยโดยสังเขป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข2) กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน ทดสอบโดยบริษัท น้ำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด



บริษัท น้ำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด
NAM HENG CONCRETE (1992) CO., LTD.
เลขที่ 888 หมู่ 10 ตำบลบางคูรัด อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11120 โทร. (02) 295-0921-10 โทรสาร (02) 294-3721, (02) 295-0128
 888 Rama III Rd., Bang Kruang Suburb Bangkok 10120 TEL. (02) 295-0921-10 FAX. (02) 294-3721, (02) 295-0128



COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

56/030910

Contractor: บริษัท น้ำเฮงคอนกรีต(1992) จำกัด	Cement Content : 400 kgs./ cu.m
Project: ทดสอบปูน สุรินทวงศ์	Type & Brand : TYPR I & TPI
Location :	Admixture : TYPE D
Product Code : 56110402	Max. Size Agg. (MSA): 3/8" - NO.8
Concrete Class : 320 -K9C AT 28 DAYS	Curing Condition : WATER CURING
Specified Slump : 5-10 CM.	Specimens Made by : N. H. C.
Type of Specimens : CYLINDER 15X30 CM.	Plant: สุรินทวงศ์
Date of Casting : 16/11/2556	Date of Testing : 14/12/2556
	Age (Days) : 28

Sample No.	Weight (kgs.)	Max Load (kgs.)	Strength (kgs./cm ²)	Remark
1	12.85	63137.53	357.14	ทดสอบปูน สุรินทวงศ์
2	12.70	67134.88	379.75	"
3	12.90	65289.95	369.32	"

AVG. 368.74 kgs./cm² **PERCENTAGE 115/28**

Tested by:  Engineer: 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข3) กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต โดยการเจาะ(Coring) ทดสอบโดย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND, TEL. 0 - 2329 - 8333
CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (CORING) / AASHTO-T24-02/ ASTM C42-99

PROJECT: การวิเคราะห์ และสร้างแบบจำลองโครงสร้างบันไดสามชั้นของ (แบบถาวร) 77 2 ชั้น
 (Structural Modeling and Analysis of 2 Story Symmetrical Free-standing Stairs)
 Concrete (Coring 2" specimens)

Request No. _____ **Date of Request** 21/7/2014
Date of Submission 24/7/2014

Spec. No.	Code	Cross Section (cm ²)	Height (cm)	Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted (d/m/y)	Date of Test (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kgf)	Compressive Strength		Remarks	
										Original Size Sample (ksc)	Equivalent Standard Cylindrical Sample (ksc)		
1		16.19	8.38	0.290	-	16/7/14	16/7/14	-	5.947	243.84	219.83	273.01	2,137.73
2		15.98	8.07	0.278	-	16/7/14	16/7/14	-	4.868	304.73	273.39	337.45	2,156.40
3		15.98	7.95	0.273	-	16/7/14	16/7/14	-	5.056	316.48	283.31	349.39	2,149.58

Weight per Volume
kg cu.m.

Tested by
Ms. Sornchai Nateswong

Weight per Volume
kg cu.m.

Certified by
พ.เกษมทอง เหล่าทองคำ

Note : 1) Certification Applies to Test Samples Only
 2) No Exposure or Alterations
 3) There are three Tested Samples for This Data Sheet.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข3) กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต โดยการเจาะ(Coring) ทดสอบโดย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ต่อ)



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK, THAILAND, TEL. 0-2329-5333
CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST (CORING) - AASHTO-TM-02/ASTM C42-99
 การวิจัยและพัฒนาวัสดุคอนกรีตในโครงการพัฒนาอาคารเรียน 3 ชั้น
 (Structural Modeling and Analysis of 3-Story Symmetrical Free-standing Storey Concrete (Coring) specimens)

PROJECT: การวิจัยและพัฒนาวัสดุคอนกรีตในโครงการพัฒนาอาคารเรียน 3 ชั้น
 (Structural Modeling and Analysis of 3-Story Symmetrical Free-standing Storey Concrete (Coring) specimens)

SAMPLE DESCRIPTION :

Spec. No.	Code	Cross Section (cm)	Height (cm)	Weight (kg)	Slump (cm)	Date of Casted Test (day:month:year)	Age of Specimen (days)	Ultimate Load (kg)	Original Size Sample (DxH) (mm)	Equivalent Standard Cylindrical Sample (kg/cm ²)	Equivalent Standard Equivalent Standard Cyl. Sample (kg/cm ²)	Weight per Volume (kg/cum.)	Remarks
1		15.84	3.34	0.297	-	4-9-14	4-9-14	4,855	307.06	2,76.87	44.64	2,197.51	
2		16.01	3.83	0.310	-	4-9-14	4-9-14	4,831	307.06	2,75.59	30.00	2,192.71	



Tested by: 

MR. Somchai Katsrawang





Certified by: 

MR. Somchai Katsrawang

Note : 1) Core-sample Applied in Test Samples Only
 2) No Evidence of Alteration.
 3) Test-use for Test Strengths for Full Panel Slabs.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข4) กำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้น ทดสอบโดยสำนักวิเคราะห์วิจัย และพัฒนากรมทางหลวงชนบท
 ขนบท กลุ่มวิเคราะห์ทดสอบและควบคุมคุณภาพ

สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริม										แผ่นที่ 1/1										
 กลุ่มวิเคราะห์ ทดสอบและควบคุมคุณภาพ สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท		 โครงการของ นายสุรชาติ อินแสง งานก่อสร้าง บันไดชานพักลอยแบบผสมมาตร 2 ชั้น สถานที่ก่อสร้าง สถานี เทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร บริษัทก่อสร้าง นายสุรชาติ อินแสง		ทะเบียนทดสอบเลขที่ 1-0849		วันที่ 6/7/58		สรุปเมื่อวันที่ 9/7/58		เจ้าหน้าที่ทดสอบ นายเอก โพธิ์ผึ้ง เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล นายพลากร นวลไหม เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ นายฉัตรชัย ชูเงิน										
				ขนาด		ความต้านแรงดึง		อัตรา		สภาพสอบ		บริษัทผู้ผลิต								
ลำดับ	ขนาด (มม.)	ชนิด	พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น.บ. สหรี (กก/ม.)	น.บ. จัง (กก/ม.)	มวลทฤษฎี (กก)	มวลจริง (%)	แรงดึง ที่จุดคราก (กก)	แรงดึง ที่จุดสูงสุด (กก)	ความต้านแรงดึง ที่จุดคราก (กก/ซม. ²)	ความต้านแรงดึง ที่จุดสูงสุด (กก/ซม. ²)	อัตราความยืด (%)	พิจารณาตามเกณฑ์กำหนด	ชื่อ/ชั้นคุณภาพ						
1	RB 6	6	5.92	0.283	0.222	0.216	2.7	1,237	1,649	4,371	5,827	24	ได้	BSBM						
2	RB 6	6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2	1,289	1,609	4,555	5,827	24	ได้	SR-24						
3	RB 6	6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2	1,237	1,598	4,371	5,647	24	ได้							
4	DB 12	12	11.89	1.131	0.888	0.872	1.8	7,237	8,423	6,399	7,447	20	ได้	TSB						
5	DB 12	12	11.90	1.131	0.888	0.874	1.6	6,979	8,165	6,171	7,219	21	ได้	SD-40 T						
6	DB 12	12	11.89	1.131	0.888	0.872	1.8	7,268	8,474	6,426	7,492	21	ได้							
7	DB 16	16	15.60	2.010	1.578	1.501	4.9	10,340	12,526	5,144	6,232	22	ได้	TSB						
8	DB 16	16	15.60	2.010	1.578	1.502	4.8	10,590	12,845	5,313	6,391	21	ได้	SD-40 T						
9	DB 16	16	15.97	2.010	1.578	1.573	0.3	11,351	13,546	5,652	6,799	21	ได้							
ผลการทดสอบแรงดึง (ค่าเฉลี่ยค่าทดสอบค่าต้น)										มวลค่าเฉลี่ยโดยเฉลี่ย		ขั้น		อัตรา		ความต้านแรงดึง				
สรุปผลทดสอบเหล็กตัวอย่างขนาด RB 6, DB 12, DB 16, มีคุณสมบัติทางกลตาม มทข. 103-2545										ขนาด	ก่อน (%)	เฉลี่ย (%)	คุณภาพ	ความยืด (%)	ที่จุดคราก (กก/ซม. ²)	ที่จุดสูงสุด (กก/ซม. ²)				
										6	±10	±5	SR-24	≥ 21	≥ 2,400	≥ 3,900				
										6 - 34	± 6	± 3.5								
										6 - 8	±8	± 7	SD-30	≥ 17	≥ 3,000	≥ 4,900				
										10 - 16	± 6	± 5	SD-40	≥ 15	≥ 4,000	≥ 5,700				
										20 - 28	± 5	± 4								
										32 - 40	± 4	± 3.5	SD-50	≥ 13	≥ 5,000	≥ 6,300				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข4) กำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้น ทดสอบโดยสำนักวิเคราะห์วิจัย และพัฒนากรมทางหลวงชนบท กลุ่มวิเคราะห์ทดสอบและควบคุมคุณภาพ (ต่อ)

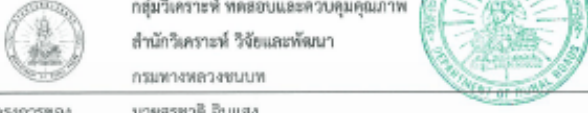
สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริม													แผ่นที่ 1/3	
 กลุ่มวิเคราะห์ ทดสอบและควบคุมคุณภาพ สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท													ทะเบียนทดสอบเลขที่ 1-0848	
													วันที่ 6/7/58	
โครงการของ นายสุรชาติ ชินแสง งานก่อสร้าง บันไดขนาดพักลอยแบบผสมถาวร 2 ชั้น สถานที่ก่อสร้าง สถานีรถไฟพระจอมเกล้าฯ ชาติกระบัง กรุงเทพมหานคร บริษัทก่อสร้าง นายสุรชาติ ชินแสง													สรุปผลวันที่ 9/7/58	
เจ้าหน้าที่ทดสอบ นายเอก โพธิ์ผึ้ง เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล นายพลากร นวลไหม เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ นายฉวีชัย ชุมชื่น														
ลำดับ	ขนาด	ขนาด	พื้นที่	บ.ม.	บ.ม.	มวลผลทดสอบ		แรงดึง		ความต้านแรงดึง		อัตรา	ผลทดสอบ	บริษัทผู้ผลิต
	รวม	จริง	หน้าตัด	สุทธิ	จริง	สองฝั่ง	เฉลี่ย	ที่จุดแรก	ที่จุดสูง	ที่จุดแรก	ที่จุดสูง	ความยืด	พิจารณา	ชื่อยี่ห้อ
	(มม.)	(มม.)	(ซม.)	(กกม.)	(กกม.)	(%)	(%)	(กก)	(กก)	(กก/ซม.)	(กก/ซม.)	(%)	ชนิด/กำหนด	ชั้นคุณภาพ
1	RB 6	5.93	0.283	0.222	0.217	2.3		1,618	1,649	5,717	5,827	24	ได้	BSBM
2	RB 6	5.92	0.283	0.222	0.216	2.7	2.9	1,577	1,691	5,572	5,975	25	ได้	SR-24
3	RB 6	5.89	0.283	0.222	0.214	3.6		1,957	1,701	5,502	6,011	27	ได้	
4	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2		1,495	1,649	5,283	5,827	26	ได้	BSBM
5	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2	3.3	1,526	1,598	5,392	5,647	28	ได้	SR-24
6	RB 6	5.89	0.283	0.222	0.214	3.6		1,598	1,639	5,647	5,792	24	ได้	
7	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2		1,608	1,670	5,682	5,901	27	ได้	BSBM
8	RB 6	5.89	0.283	0.222	0.214	3.6	3.2	1,577	1,649	5,572	5,827	28	ได้	SR-24
9	RB 6	5.92	0.283	0.222	0.216	2.7		1,608	1,680	5,682	5,936	24	ได้	
10	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2		1,577	1,701	5,572	6,011	25	ได้	BSBM
11	RB 6	5.89	0.283	0.222	0.214	3.6	3.5	1,619	1,680	5,721	5,936	22	ได้	SR-24
12	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2		1,588	1,649	5,611	5,827	27	ได้	
13	RB 6	5.89	0.283	0.222	0.214	3.6		1,629	1,742	5,756	6,155	21	ได้	BSBM
14	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2	3.2	1,649	1,753	5,827	6,194	26	ได้	SR-24
15	RB 6	5.92	0.283	0.222	0.216	2.7		1,639	1,701	5,792	6,011	25	ได้	
16	RB 6	5.92	0.283	0.222	0.216	2.7		1,629	1,711	5,756	6,046	21	ได้	BSBM
17	RB 6	5.92	0.283	0.222	0.216	2.7	2.9	1,577	1,639	5,572	5,792	26	ได้	SR-24
18	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2		1,598	1,670	5,647	5,901	25	ได้	

ผลการทดสอบของค่าเฉลี่ยของค่าทดสอบแต่ละชิ้น												
สรุปผลทดสอบ												
เหล็กตัวอย่างขนาด RB 6,DB 12,DB 16,												
มีคุณสมบัติทางกลตาม มทข. 103-2545												
มวลผลทดสอบที่ยอมรับได้												
ขนาด	สองฝั่ง	เฉลี่ย	คุณภาพ	อัตรา	ความต้านแรงดึง							
(มม.)	(%)	(%)		(%)	ที่จุดแรก	ที่จุดสูง						
6	±10	± 5	SR-24	≥ 21	≥ 2,400	≥ 3,900						
8 - 34	± 6	± 3.5										
6 - 8	±8	± 7	SD-30	≥ 17	≥ 3,000	≥ 4,900						
10 - 16	± 6	± 5										
20 - 28	± 5	± 4	SD-40	≥ 15	≥ 4,000	≥ 5,700						
32 - 40	± 4	± 3.5	SD-50	≥ 13	≥ 5,000	≥ 6,300						



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข4) กำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้น ทดสอบโดยสำนักวิศวกรازهวิวิจัย และพัฒนากรมทางหลวงชนบท กลุ่มวิศวกรازهทดสอบและควบคุมคุณภาพ (ต่อ)

สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริม													หน้า 2/3			
 <p>กลุ่มวิศวกรازه ทดสอบและควบคุมคุณภาพ สำนักวิศวกรازه วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท</p> <p>โครงการของ นายสุชาติ อินแสง งานก่อสร้าง บันไดข้ามที่ถลอมระบบมาตรฐาน 2 ชั้น สถานที่ก่อสร้าง สถานีรถไฟพระจอมเกล้าฯ สาทรระยะบึง กรุงเทพมหานคร บริษัทก่อสร้าง นายสุชาติ อินแสง</p>											ทะเบียนทดสอบเลขที่ 1-0848					
											วันที่ 6/7/58					
											สรุปผลวันที่ 9/7/58					
											เจ้าหน้าที่ทดสอบ นายเนก โพธิ์ทอง					
											เจ้าหน้าที่วิศวกรازه นายพลากร นวลไหม					
											เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ นายฉัตรชัย ชุ่มชื่น					
ลำดับ	ขนาด	ขนาด	พื้นที่	ขนาด	ขนาด	มวลกลางเฉลี่ย	แรงดึง		ความต้านแรงดึง		อัตรา	ผลทดสอบ	บริษัทผู้ผลิต			
	ระบุ	จริง	หน้าตัด	สุทธิ	จริง	เฉลี่ย	เฉลี่ย	ที่จุดตรง	ที่จุดสูงสุด	ที่จุดตรง	ที่จุดสูงสุด	(%)	หมายเหตุ	ชื่อ		
	(มม.)	(มม.)	(ซม. ²)	(ซม. ²)	(ซม. ²)	(%)	(%)	(กก)	(กก)	(กก/ซม. ²)	(กก/ซม. ²)			ชั้นคุณภาพ		
19	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2		1,629	1,701	5,756	6,011	21	ได้	BSBM		
20	RB 6	5.92	0.285	0.222	0.216	2.7	3.0	1,649	1,711	5,827	6,046	22	ได้	SR-24		
21	RB 6	5.90	0.283	0.222	0.215	3.2		1,619	1,670	5,721	5,901	20	ได้			
22	DB 12	11.92	1.131	0.898	0.877	1.2		7,196	8,371	6,363	7,401	21	ได้	TSB		
23	DB 12	11.87	1.131	0.888	0.869	2.1	1.6	7,206	8,423	6,371	7,447	21	ได้	SD-40 T		
24	DB 12	11.90	1.131	0.888	0.874	1.6		7,309	8,443	6,462	7,465	20	ได้			
25	DB 12	11.89	1.131	0.888	0.873	1.7		6,990	8,268	6,180	7,310	21	ได้	TSB		
26	DB 12	11.87	1.131	0.888	0.869	2.1	1.8	7,082	8,340	6,262	7,374	21	ได้	SD-40 T		
27	DB 12	11.89	1.131	0.888	0.873	1.7		7,215	8,443	6,380	7,465	22	ได้			
28	DB 16	15.61	2.010	1.578	1.503	4.8		10,711	12,895	5,329	6,391	23	ได้	TSB		
29	DB 16	15.61	2.010	1.578	1.503	4.8	3.6	11,433	13,618	5,688	6,775	23	ได้	SD-40 T		
30	DB 16	15.88	2.010	1.578	1.557	1.3		10,557	12,660	5,252	6,299	23	ได้			
31	DB 16	15.58	2.010	1.578	1,497	5.1		10,557	12,763	5,252	6,350	23	ได้	TSB		
32	DB 16	15.60	2.010	1.578	1,501	4.9	3.7	10,505	12,577	5,226	6,257	22	ได้	SD-40 T		
33	DB 16	15.89	2.010	1.578	1,559	1.2		10,886	13,020	5,416	6,478	23	ได้			
ผลการทดสอบเปรียบเทียบ								มวลกลางเฉลี่ยที่ยอมรับได้		ชั้น		อัตรา		ความต้านแรงดึง		
								ขนาด	ต่อเส้น	เฉลี่ย	คุณภาพ	ความยืด	ที่จุดตรง	ที่จุดสูงสุด		
								(มม.)	(%)	(%)		(%)	(กก/ซม. ²)	(กก/ซม. ²)		
								6	±10	± 5						
								8 - 34	± 6	± 3.5	SR-24	≥ 21	≥ 2,400	≥ 3,900		
								6 - 8	±8	± 7	SD-30	≥ 17	≥ 3,000	≥ 4,900		
								10 - 16	± 6	± 5	SD-40	≥ 15	≥ 4,000	≥ 5,700		
								20 - 28	± 5	± 4						
								32 - 40	± 4	± 3.5	SD-50	≥ 13	≥ 5,000	≥ 6,300		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข4) กำลังรับแรงดึงของเหล็กเส้น ทดสอบโดยสำนักวิเคราะห์วิจัย และพัฒนากรมทางหลวงชนบท กลุ่มวิเคราะห์ทดสอบและควบคุมคุณภาพ (ต่อ)

สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริม													แผ่นที่ 3/3	
กลุ่มวิเคราะห์ ทดสอบและควบคุมคุณภาพ สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท													ทะเบียนทดสอบเลขที่ 1-0848	
โครงการของ นายสุชาติ อินแสง													ลงวันที่ 6/7/58	
งานก่อสร้าง ปั่นไคซานหักถอยแบบสมมาตร 2 ชั้น													สรุปผลวันที่ 9/7/58	
สถานที่ก่อสร้าง สถานี เทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง													เจ้าหน้าที่ทดสอบ นายเอก โพธิ์พึ้ง	
กรุงเทพมหานคร													เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล นายพลสาร นวลใหม่	
บริษัทก่อสร้าง นายสุชาติ อินแสง													เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ นายธีรชัย ชุ่มชื่น	
ลำดับ	ขนาด (มม.)	ขนาด (มม.)	พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	น.บ. สูงซี (กยว.ม.)	น.บ. จีว (กยว.ม.)	มวลทฤษฎี (กก)	มวลจริง (กก)	ที่จุดคราก (กก)	ที่จุดสูงสุด (กก)	ที่จุดคราก (กก/ซม. ²)	ที่จุดสูงสุด (กก/ซม. ²)	อัตราความยืด (%)	สภาพผลอบ	บริษัทผู้ผลิต
34	DB 16	15.86	2.010	1.578	1.552	1.6	11,124	13,443	5,534	6,688	23	ได้	TSB	
35	DB 16	15.60	2.010	1.578	1.501	4.9	10,269	12,557	5,119	6,247	22	ได้	SD-40 T	
36	DB 16	15.58	2.010	1.578	1.497	5.1	11,165	13,392	5,555	6,663	23	ได้	TSB	
37	DB 16	15.88	2.010	1.578	1.556	1.4	11,041	13,278	5,493	6,606	23	ได้	TSB	
38	DB 16	15.88	2.010	1.578	1.556	1.4	11,051	13,340	5,498	6,637	23	ได้	SD-40 T	
39	DB 16	15.88	2.010	1.578	1.556	1.4	11,381	13,546	5,662	6,739	22	ได้	TSB	
ผลการทดสอบในรูปของเส้นกราฟอย่างง่ายที่ทดสอบได้													มวลทฤษฎีต่อเส้นที่ยอมรับ	
ขนาด (มม.)		ต่อเส้น (%)	เฉลี่ย (%)	คุณภาพ	ความยืด (%)	ที่จุดคราก (กก/ซม. ²)	ที่จุดสูงสุด (กก/ซม. ²)							
6		±10	± 5	SR-24	≥ 21	≥ 2,400	≥ 3,900							
8 - 34		± 6	± 3.5	SD-24	≥ 17	≥ 3,000	≥ 4,900							
6 - 8		± 8	± 7	SD-30	≥ 15	≥ 4,000	≥ 5,700							
10 - 16		± 6	± 5	SD-40	≥ 13	≥ 5,000	≥ 6,300							
20 - 28		± 5	± 4	SD-50										
32 - 40		± 4	± 3.5	SD-50										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5) กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน ทดสอบโดย บริษัท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2329 - 8333

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

PROJECT : การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น Reference No. : 58-2095
 (MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY SYMERTICAL FREE-STANDING STAIRS)
 CLIENT : นายสุชาติ อินแสง Date of Request : 20/11/2015
 TYPE OF SPECIMEN : CYLINDER CUBE Date of Submission : 7/1/2016

Spec. No.	Dimension (cm.)		Weight (kg.)	Cross Sectional Area (cm. ²)	Weight per Volume (kg./m. ³)	Slump of Concrete (cm.)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg.)	Compressive Strength (ksc)	Remarks
	Diameter	Height										
1	15.06	30.10	12.619	178.18	2,352.84	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	74,348	417.25	
2	15.14	30.00	12.654	179.93	2,344.24	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	70,154	389.89	
3	14.91	30.10	12.629	174.71	2,401.45	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	69,541	398.03	
4	15.11	30.10	12.717	179.27	2,356.78	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	72,834	406.29	



- Note : 1) There are four Tested samples for This Data Sheet.
 2) Certification Applies to Test Samples Only.
 3) No Erasure or Alterations.

TESTED BY:

Mr. Sombhat Matesawang

CERTIFIED BY:

รศ.สุวัฒน์ ดิทรเศรษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5) กำลังดำเนินการทดสอบแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน ทดสอบโดย บริษัท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ต่อ)



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2329 - 8333

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

PROJECT : การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น Reference No. : 58-2095
 (MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY SYMERTICAL FREE-STANDING STAIRS)
 CLIENT : นายสุชาติ อินแสง Date of Request : 20/11/2015
 TYPE OF SPECIMEN : CYLINDER CUBE Date of Submission : 7/1/2016

Spec. No.	Dimension (cm.)		Weight (kg.)	Cross Sectional Area (cm. ²)	Weight per Volume (kg./m. ³)	Slump of Concrete (cm.)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg.)	Compressive Strength (ksc)	Remarks
	Diameter	Height										
5	15.01	30.20	12.788	176.86	2,394.18	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	57,118	322.95	
6	15.01	30.20	12.937	176.92	2,421.26	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	56,534	319.54	
7	15.02	30.30	12.703	177.22	2,365.61	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	58,355	329.27	
8	15.03	30.10	12.594	177.40	2,358.50	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	55,514	312.92	



- Note : 1) There are four Tested samples for This Data Sheet.
 2) Certification Applies to Test Samples Only.
 3) No Erasure or Alterations.

TESTED BY:



Mr. Sombat Natesawang

CERTIFIED BY:

รศ.สุวัฒน์ กิระเศรษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5) กำลังดำเนินการทดสอบแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน ทดสอบโดย บริษัท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ต่อ)



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2329 - 8333

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

PROJECT : การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น (MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY SYMERTICAL FREE-STANDING STAIRS) **Reference No. :** 58-2095
CLIENT : นายสุชาติ อินแสง **Date of Request :** 20/11/2015
TYPE OF SPECIMEN : CYLINDER CUBE **Date of Submission :** 7/1/2016

Spec. No.	Dimension (cm.)		Weight (kg.)	Cross Sectional Area (cm. ²)	Weight per Volume (kg./m. ³)	Slump of Concrete (cm.)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg.)	Compressive Strength (ksc)	Remarks
	Diameter	Height										
9	15.00	30.20	12.465	176.74	2,335.29	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	74,204	419.84	
10	15.04	30.10	12.509	177.58	2,340.21	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	74,535	419.72	
11	14.90	30.20	12.422	174.42	2,358.28	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	69,967	401.15	
12	15.04	30.10	12.394	177.70	2,317.13	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	70,143	394.72	



- Note :* 1) There are four Tested samples for This Data Sheet.
 2) Certification Applies to Test Samples Only.
 3) No Erasure or Alterations.

TESTED BY:

Mr. Sombhat Natesawang

CERTIFIED BY:

รศ.สุวัฒน์ จิตรเศรษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5) กำลังดำเนินการทดสอบแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน ทดสอบโดย บริษัท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ต่อ)



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2329 - 8333

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

PROJECT : การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น Reference No. : 58-2095
 (MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY SYMERTICAL FREE-STANDING STAIRS)
 CLIENT : นายสุชาติ อินแสง Date of Request : 20/11/2015
 TYPE OF SPECIMEN : CYLINDER CUBE Date of Submission : 7/1/2016

Spec. No.	Dimension (cm.)		Weight (kg.)	Cross Sectional Area (cm. ²)	Weight per Volume (kg./m. ³)	Slump of Concrete (cm.)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg.)	Compressive Strength (ksc)	Remarks
	Diameter	Height										
13	14.93	30.10	12.423	175.01	2,358.26	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	57,122	326.39	
14	15.13	30.10	12.578	179.69	2,325.54	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	55,052	306.38	
15	14.93	30.10	12.473	175.13	2,366.14	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	57,106	326.08	
16	15.05	30.10	12.430	177.94	2,320.73	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	56,755	318.95	



- Note : 1) There are four Tested samples for This Data Sheet.
 2) Certification Applies to Test Samples Only.
 3) No Erasure or Alterations.

TESTED BY:

(Signature)
 Mr.Sombat Natesawang

CERTIFIED BY:

(Signature)
 รศ.สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5) กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน ทดสอบโดย บริษัท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ต่อ)



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2329 - 8333

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

PROJECT : การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น Reference No. : 58-2095
 (MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY SYMERTICAL FREE-STANDING STAIRS)
 CLIENT : นายสุชาติ อินแสง Date of Request : 20/11/2015
 TYPE OF SPECIMEN : CYLINDER CUBE Date of Submission : 7/1/2016

Spec. No.	Dimension (cm.)		Weight (kg.)	Cross Sectional Area (cm. ²)	Weight per Volume (kg./m. ³)	Slump of Concrete (cm.)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg.)	Compressive Strength (ksc)	Remarks
	Diameter	Height										
17	15.00	30.10	12.362	176.80	2,322.90	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	77,569	438.73	
18	15.15	30.10	12.363	180.29	2,278.13	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	71,728	397.84	
19	15.04	30.10	12.406	177.64	2,320.16	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	73,728	415.03	
20	14.96	30.10	12.215	175.73	2,309.33	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	74,232	422.43	



- Note : 1) There are four Tested samples for This Data Sheet.
 2) Certification Applies to Test Samples Only.
 3) No Erasure or Alterations.

TESTED BY:

[Signature]
 Mr. Sombat Natesawang

CERTIFIED BY:

[Signature]
 พ.สุวัฒน์ ติรเศรษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข5) กำลังดำเนินการทดสอบแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน ทดสอบโดย บริษัท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ต่อ)



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0 - 2329 - 8333

CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH TEST

PROJECT : การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น Reference No. : 58-2095
 (MODELING AND ANALYSIS OF 2 STORY SYMERTICAL FREE-STANDING STAIRS)
 CLIENT : นายสุชาติ อินแสง Date of Request : 20/11/2015
 TYPE OF SPECIMEN : CYLINDER CUBE Date of Submission : 7/1/2016

Spec. No.	Dimension (cm.)		Weight (kg.)	Cross Sectional Area (cm. ²)	Weight per Volume (kg./m. ³)	Slump of Concrete (cm.)	Date of Casting (d/m/y)	Date of Testing (d/m/y)	Ages (days)	Ultimate Load (kg.)	Compressive Strength (ksc)	Remarks
	Diameter	Height										
21	15.05	30.10	12.110	177.82	2,262.51	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	62,392	350.87	
22	15.11	30.20	12.271	179.21	2,267.36	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	58,267	325.14	
23	15.17	30.10	12.228	180.66	2,248.73	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	59,366	328.62	
24	15.04	30.00	12.179	177.64	2,285.30	-	17-Oct-15	21-Nov-15	35	60,158	338.64	



Note : 1) There are four Tested samples for This Data Sheet.

2) Certification Applies to Test Samples Only.

3) No Erasure or Alterations.

TESTED BY:

(Signature)
 Mr. Sombal Natesawang

CERTIFIED BY:

(Signature)
 ท.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารประกอบการประชุม

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19 The 19th National Convention on Civil Engineering

เนื่องในโอกาสเฉลิมฉลองครบรอบ 50 ปี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



วิศวกรรมโยธากับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน
Civil Engineering and ASEAN Economic Community



14-16 พฤษภาคม 2557
ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น สาขา ออคิด
May 14-16, 2014
Pullman Khon-Kaen Raja Orchid Hotel

จัดโดย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การวิเคราะห์ และสร้างแบบจำลองโครงสร้าง
บันไดชนพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น
Structural Modeling and Analysis of 2 Story
Symmetrical Free-standing Stairs

สุรชาติ อินแสง¹ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ และ นัฐพล วัฒนมั่นคง²

¹ นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
² รองศาสตราจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
³ อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีโยธาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองทางโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กบันไดชนพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น มาตรฐานส่วน 1:2 สภาวะการใช้งานที่ 300 กก./ตร.ม. เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ เช่น หน่วยแรงในเหล็กเสริม, หน่วยแรงในคอนกรีต เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้า ศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างจริงที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการใช้งาน การสร้างแบบจำลองทางโครงสร้างและใส่แรงกระทำกับตัวโครงสร้างอาศัยหลักการความคล้ายคลึง

คำสำคัญ: หน่วยแรงกระทำ, การยึดหดตัว, โมดูลัสยืดหยุ่น

Abstract

This research presents the modeling of 2 story symmetrical free-standing stair scale factor 1:2. Modeling structures and load case exerted on structures by the law of similitude structure and using live load 300 kg/m². The research aimed to compare with the results analyzed by finite element method to the previous research. To find the result such as stress, strain in steel and concrete

Keywords: stress, strain, Modulus of Elasticity

1. คำนำ

งานวิจัยของ นัฐพล วัฒนมั่นคง [1] การศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างบันไดชนพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งผลที่ได้ยังไม่มีการทดลองจริงเปรียบเทียบ

การศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลองจากแบบโครงสร้างจริงอาจประสบปัญหาในการลงทุนค่อนข้างสูง การสร้างแบบจำลองที่มีขนาดเล็ก มีความคล้ายคลึงทางคุณสมบัติของวัสดุ และแรงกระทำต่อตัวโครงสร้างจึงได้รับความสนใจที่จะศึกษาและวิจัย เช่น งานวิจัยของ J.A. Knappett [2] การสร้างแบบจำลองโครงสร้างคาน และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อใช้ในการศึกษางานธรณีวิทยา โดยสร้างแบบจำลองคานและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กย่อส่วน 1:40 เพื่อศึกษาพฤติกรรมระหว่างดินกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

งานวิจัยของ Anirban De [3] สร้างแบบจำลองโครงสร้างได้ดิน เช่น อุโมงค์ใต้ดิน ท่อส่งลำเลียง เพื่อศึกษาผลกระทบ ความเสียหาย จากการประทุ การระเบิดจากบนผิวดินด้านบน

ดังนั้นการสร้างแบบจำลอง จึงเป็นอีกแนวทางในการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างบันไดชนพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น ที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ แต่อย่างไรก็ตามการสร้างแบบจำลองต้องคำนึงถึงหลักความคล้ายคลึงทางโครงสร้างด้วย

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)

E-mail address: material-man@hotmail.com

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสร้างแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบย่อส่วน ตามหลักการความคล้ายคลึงทางโครงสร้าง
- 2.2 เพื่อศึกษาสาเหตุการวิบัติ ของแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบันไดชันพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น
- 2.3 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง กับผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3. ทฤษฎีการวิเคราะห์

3.1 การวิเคราะห์เชิงหน่วย

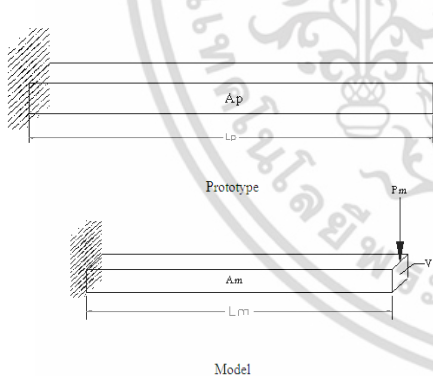
ตารางที่ 1 มิติปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณ	สัญลักษณ์	มิติ (M,L,T)
ความยาว	l	L
เวลา	t	T
มวล	m	M
แรง, น้ำหนัก	F, W	MLT ⁻²
พื้นที่	A	L ²

3.2 หลักความคล้ายคลึง

3.2.1 ความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต

แบบจำลองโครงสร้างและ โครงสร้างจริงต้องมีรูปร่างและอัตราส่วนของความยาวในแต่ละด้านลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 1 รูปความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างจริง และ โครงสร้างย่อส่วน

$$\frac{L_m}{L_p} = L_r \quad (1)$$

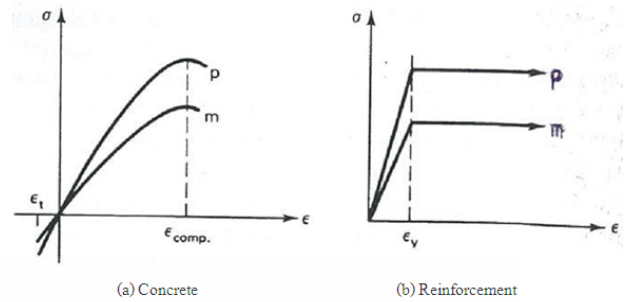
$$\frac{A_m}{A_p} = \frac{L_m^2}{L_p^2} = (L_r)^2 \quad (2)$$

$$\frac{V_m}{V_p} = \frac{L_m^3}{L_p^3} = (L_r)^3 \quad (3)$$

3.2.2 ความคล้ายคลึงทางคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 2 องค์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชันของกราฟความเค้น-ความเครียด และจุดวิบัติของเหล็กเสริม ต้องมีความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิต



รูปที่ 2 รูปความสัมพันธ์ความคล้ายคลึงทางโครงสร้าง

$$\epsilon_m = \epsilon_p \quad (4)$$

3.2.3 ความคล้ายคลึงเชิงพลศาสตร์

แรงกระทำในแบบจำลองโครงสร้าง ต้องมีอัตราส่วนที่คล้ายคลึงกับ โครงสร้างจริง

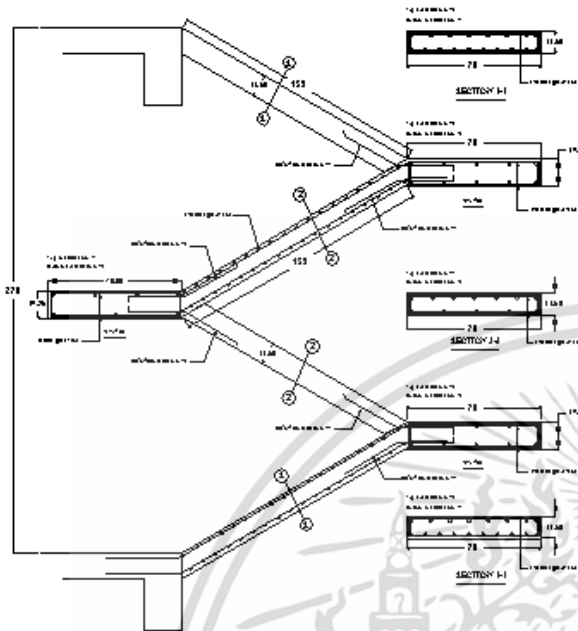
หลักความคล้ายคลึงทาง โครงสร้างดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Summary of Scale Factors for Reinforced Concrete Models

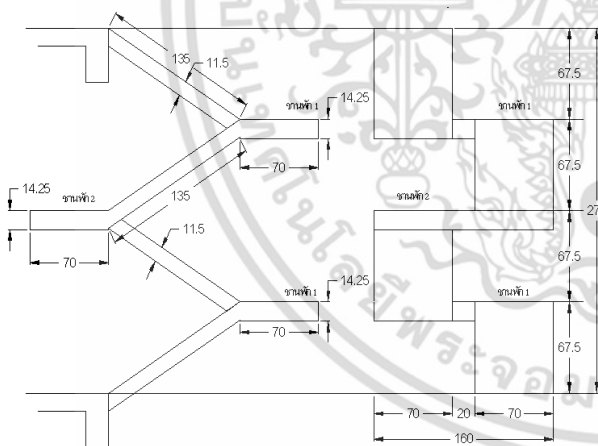
Property	Dimensions	Practical True Model
Concrete Stress (σ_c)	ML ⁻¹ T ⁻²	1 : 1
Concrete Strain (ϵ_c)	-	1 : 1
Modulus of Concrete (E_c)	ML ⁻¹ T ⁻²	1 : 1
Reinforcing Stress (σ_r)	ML ⁻¹ T ⁻²	1 : 1
Reinforcing Strain (ϵ_r)	-	1 : 1
Modulus of Reinforcing (E_r)	ML ⁻¹ T ⁻²	1 : 1
Bond Stress (u)	ML ⁻¹ T ⁻²	1 : 1
Length	L	1 : N
Displacement	L	1 : N
Area of Reinforcement (A_r)	L ²	1 : N ²
Concentrated load (Q)	MLT ⁻²	1 : N ²
Pressure or Uniformly Distributed Surface load (q)	ML ⁻¹ T ⁻²	1 : 1
Bending Stiffness (EI)	ML ³ T ⁻²	1 : N ⁴
Bending Moment (M)	ML ² T ⁻²	1 : N ³
Curvature (K)	L ⁻¹	1 : N ⁻¹

4. การทดสอบ

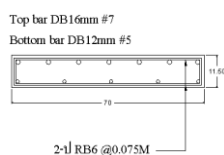
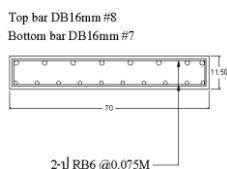
4.1 ลักษณะของโครงสร้างบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น



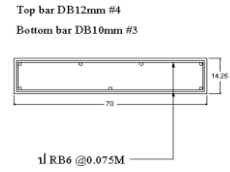
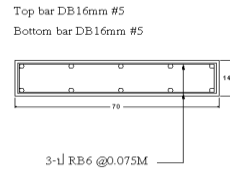
รูปที่ 3 รูปตัดบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น



รูปที่ 4 รูปด้านบันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น



รูปที่ 5 รูปหน้าตัดชั้นบันไดหน้าตัด 1-1 (ซ้าย), ชั้นบันไดหน้าตัด 2-2 (ขวา)



รูปที่ 6 รูปหน้าตัดชานพัก 1 (ซ้าย), ชานพัก 2 (ขวา)

4.2 บันไดชานลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น



รูปที่ 7 บันไดชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น

4.3 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

4.3.1 คอนกรีตใช้หินเกล็ดแทนมวลรวมหยาบขนาดโตสุดไม่เกิน 3/8"

ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 330 กก./ตร.ซม. ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์คอนกรีตจากบริษัท น้ำแข็งคอนกรีต (1992) จำกัด

4.3.2 เหล็กเสริมหลักมีค่าหน่วยแรงดึง หรือหน่วยแรงอัดที่จุดครากของเหล็กเสริม เท่ากับ 4,000 กก./ตร.ซม. เหล็กเสริมทางขวางมีหน่วยแรงดึง หรือแรงอัดที่จุดครากของเหล็กเสริม เท่ากับ 2,400 กก./ตร.ซม.

4.3.3 น้ำหนักกระทำได้โครงสร้าง ใช้ถุงบรรจุทราย 10 กก. ต่อ 1 ถุง เพื่อใช้แทนน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร



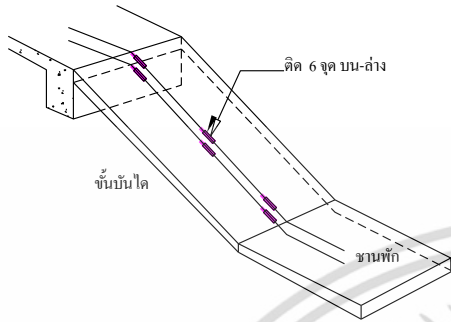
รูปที่ 8 ถุงบรรจุทรายหนัก 10 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 3 องค์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิธีการทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

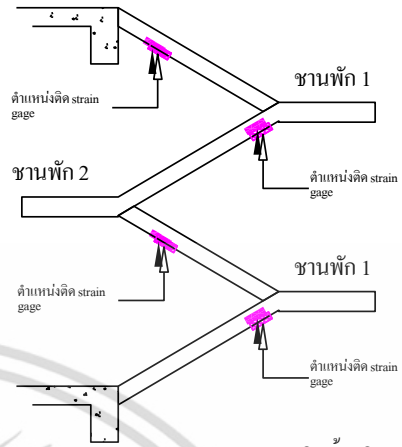
4.4.1 วัดหน่วยแรงกระทำในเหล็กเสริม

ติด strain gage เหล็กเสริมหลักในแนวแกนกลางช่วงชั้นบันได ทั้งเหล็กเสริมบนและเหล็กเสริมล่าง



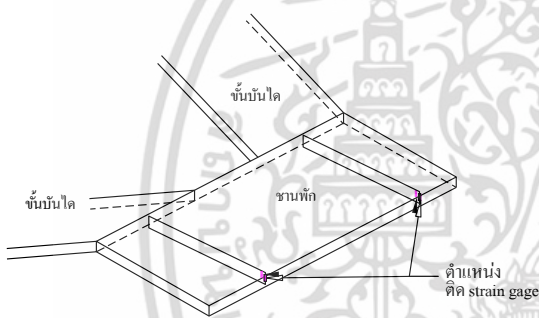
รูปที่ 9 การติดตั้ง strain gage เหล็กเสริมในชั้นบันได

4.4.2 วัดหน่วยแรงกระทำในคอนกรีต

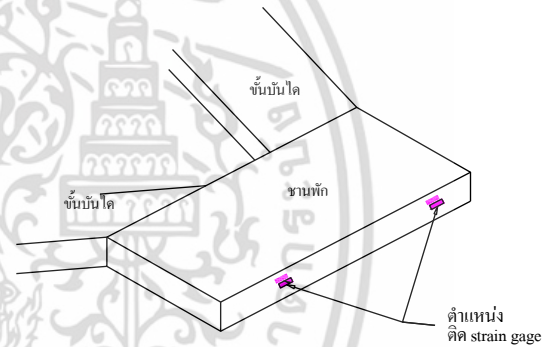


**ติดตั้งบริเวณท้องพื้นบันได

รูปที่ 12 การติดตั้ง strain gage คอนกรีตในชั้นบันได



รูปที่ 10 การติดตั้ง strain gage เหล็กเสริมในแกนพัก



รูปที่ 13 การติดตั้ง strain gage คอนกรีตในแกนพัก

4.4.3 วัดระยะการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง

ติดตั้ง Dial gage บริเวณมุมแผ่นพื้นด้านล่างของแกนพักจำนวน 4 ตัว และติดด้านข้างของแกนพักอีก 1 ตัว ทั้ง 3 แกนพัก



รูปที่ 11 การติดตั้ง strain gage เหล็กเสริม



รูปที่ 14 การติดตั้ง Dial gage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 4 องค์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบ และบันทึกผลการทดลอง

4.5.1 การเก็บข้อมูลจากเครื่อง Dial gage



รูปที่ 15 การบันทึกข้อมูลจากเครื่อง Dial gage



รูปที่ 17 การวัดของบ้นไคทดสอบชั้นบ้นไคหน้าตัด 2-2

4.5.2 การเก็บข้อมูลจากเครื่อง Data logger



รูปที่ 16 การบันทึกข้อมูลจากเครื่อง Data logger



รูปที่ 18 การวัดของบ้นไคทดสอบ

5. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

5.1 หน่วยแรงสูงสุดในเหล็กเสริม

5.1.1 หน่วยแรงสูงสุดในเหล็กเสริมหลัก
เกิดหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม เท่ากับ 3,986.8 กก./ตร.ซม. ที่
ชั้นบ้นไคหน้าตัด 1-1 ล่าง จากค่าน้ำหนักบรรทุกทุกจร 2 เท่าของค่าที่
ออกแบบ คือ 300 กก./ตร.ม ซึ่งไม่เกินค่าออกแบบ 4,000 กก./ตร.ซม. ใน
งานวิจัยก่อนหน้า

5.1.2 หน่วยแรงสูงสุดในเหล็กเสริมทางขวาง

เกิดหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม เท่ากับ 413.67 กก./ตร.ซม. ที่ชั้นพัก
1 ล่าง จากค่าน้ำหนักบรรทุกจร 2 เท่าของค่าที่ออกแบบ คือ 300 กก./ตร.ม
ซึ่งไม่เกินค่าออกแบบ 2,400 กก./ตร.ซม. ในงานวิจัยก่อนหน้า

5.2 หน่วยแรงสูงสุดในคอนกรีต

5.2.1 เกิดการวิบัติของคอนกรีตเนื่องจากหน่วยแรงอัดของคอนกรีตที่
ชั้นบ้นไคหน้าตัด 2-2 บน จากน้ำหนักบรรทุกจร 2 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 17

6. บทสรุป และข้อเสนอแนะ

การวัดของตัวบ้นไคทดสอบจะวิบัติที่คอนกรีตก่อนแต่ในเหล็กเสริม
ยังไม่ถึงจุดวิบัติ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ
บ้นไคชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น มีความคงมด้าน
สถาปัตยกรรม แต่มีความอ่อนไหวในด้านโครงสร้าง จึงต้องมีการวิเคราะห์
โครงสร้างที่ละเอียดมากขึ้น ทำให้วิศวกรผู้ออกแบบต้องเสียเวลามากขึ้น
ในการออกแบบบ้นไคชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น งานวิจัยนี้ได้สร้าง
แบบจำลองโครงสร้างที่สามารถศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงของ
โครงสร้างบ้นไคชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้นได้ โดยสามารถใช้อ้างอิง
ในการวิเคราะห์และออกแบบบ้นไคชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้นให้ม
ความแข็งแรง ลดเวลาในการออกแบบโครงสร้าง เพิ่มความถูกต้องและ
ความมั่นใจในการออกแบบให้กับวิศวกรโครงสร้างได้

ในการออกแบบบ้นไคชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้นเป็นคอนกรีต
เสริมเหล็กน้ำหนักบ้นไคชานพักลอยมีมากถึงประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของ
น้ำหนักทั้งหมด ระยะเวลา และวิธีการก่อสร้างมีความยุ่งยากมาก ดังนั้นใน
การออกแบบควรออกแบบเป็นบ้นไคเหล็กรูปพรรณมีความเหมาะสม
มากกว่าเพราะมีน้ำหนักเบา วิธีการก่อสร้างไม่ซับซ้อน และใช้ระยะเวลาไม่
นานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 5 องค์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา, ที่ปรึกษาร่วม และบุคคลากร เจ้าหน้าที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ อำนวยสถานที่ อุปกรณ์การทดสอบ เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี และขอขอบพระคุณบริษัท นำแสงคอนกรีต (1992) จำกัด ที่อนุเคราะห์คอนกรีตผสมเสร็จที่มีคุณภาพดีได้มาตรฐาน ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบไม่เกิน 3/8” (หินเกล็ด) เพื่อให้ผลการจำลองทางโครงสร้างมีความสมบูรณ์ ทำให้แบบจำลองบันไดชานพักลอยมีความคล้ายคลึงทางโครงสร้างมากขึ้น ยังผลให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] นัฐพล วัฒนมันคง, “การวิเคราะห์การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กชานพักลอยแบบสมมาตร 2 ชั้น”, *ระดับวิทยานิพนธ์*, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2555
- [2] J. A. Knappett, C. Reid, S. Kinmond and K. O'Reilly. “Small-Scale Modeling of Reinforced Concrete Structural Elements for Use in a Geotechnical Centrifuge”, pp. 1263-1271, NOVEMBER, 2011.
- [3] Anirban De, M.ASCE and Thomas F. Zimmie, F.ASCE. “Modeling of Surface Blast Effects on Underground Structures”, *GeoCongress 2006*
- [4] Khan M. Amanat, Sohrabuddin Ahmad. “A NEW DESIGN BASIS FOR FREE-STANDING STAIRS”, *Journal of Civil Engineering The Institution of Engineers, Bangladesh Vol. CE 29, No. 1, 2001*, pp. 17-31
- [5] Lain A. MacLeod. *ANALYTICAL MODELLING OF STRUCTURAL SYSTEMS An Entirely New Approach with Emphasis on Behaviour of Building Structures*. The Ellis Horwood Limited, 1990
- [6] Harry G. Harris and Gajanan M. Sabnis. *STRUCTURAL MODELING AND EXPERIMENTAL TECHNIQUES*. The CRC Press Boca Raton London New York Washington, D.C., 1999
- [7] M.Y.H. BANGASH and T.BANGASH. *Staircases Structural analysis and design*. The A.A.Balkema, Rotterdam, 1999
- [8] กิรติ ลีวัจนกุล, *ชดศาสตร์*, มหาวิทยาลัยรังสิต, สำนักพิมพ์, พ.ศ.2538
- [9] สุวัฒน์ ฉิรเศรษฐ์, *ทฤษฎีโครงสร้าง*, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, โรงพิมพ์ มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, พ.ศ. 2553
- [10] สุวัฒน์ ฉิรเศรษฐ์, *การวิเคราะห์โครงสร้าง*, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, โรงพิมพ์ มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, พ.ศ.2554

[11] วินิต ช่อวิเชียร, วรนิติ ช่อวิเชียร และ วรเศรษฐ์ ช่อวิเชียร, *กำลังวัสดุ*, พ.ศ.2548

[12] วินิต ช่อวิเชียร, *การออกแบบ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง*, พ.ศ.2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 6 องค์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายสุรชาติ อินแสง
วัน เดือน ปีเกิด 25 พฤษภาคม 2528
ที่อยู่ 146/3 ตำบลปากกลาง อำเภอบัว จังหวัดน่าน 55120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548- 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2546-2548 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบัว จังหวัดน่าน

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัยที่ผ่านมา

พ.ศ. 2554 - 2555 ตำแหน่งวิศวกรโยธา ฝ่ายวิศวกรรม บริษัท แมเนจเม้นท์ 103 จำกัด
พ.ศ. 2555 – 2558 ตำแหน่งวิศวกรควบคุมงาน แผนกพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ บริษัท สวอน
อินด์สทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรสนาม บริษัท อารียาพร็อพเพอร์ตี้ จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้