



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

รายงานการวิจัย

เรื่อง

วิธีใหม่อย่างง่ายในการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

สำหรับลวดอัดแรงดึงที่หลัง

A NEW SIMPLE METHOD FOR POST-TENSION STRANDS FRICTION

COEFFICIENT MEASUREMENT

ฉัตร สุจินดา

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2555

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีมาจากความอนุเคราะห์และความร่วมมือทั้งจากองค์กร บุคคล และคณะบุคคลหลายฝ่าย กล่าวคือ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม เพื่ออำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณคณะกรรมการพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ได้อนุมัติอุดหนุนสำหรับงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยเรื่อง “วิธีใหม่อย่างง่ายในการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับลวดอัดแรงดึงที่หลัง” นี้ จะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงการศึกษาและการปฏิบัติงานในด้านวิศวกรรมโครงสร้าง หากงานวิจัยนี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยใคร่ขออภัยมา ณ ที่นี้

นัตร สุจินดา

มีนาคม 2557

Research Title : A New Simple Method for Post-tension Strands Friction Coefficient
Measurement

Name of Researcher : Mr. Chatr Suchinda

Name of Institution : School of Engineering, Sripatum University

Year of Publication : B.E. 2556

ABSTRACT

This research studied the using of the author's new self-invented method of measuring the friction coefficient between grouted post-tensioning strands and their conduits which are related to both wobble and curvature. The method requires both measured jacking force and elongation of each strand so the average tensile force along the entire length can be determined from non-linear stress and strain relationship. The total length and total curvature of each strand were calculated from shop drawing to simulate the friction calculation in the design process. The determined friction coefficients will include the effect due to misplace of the conduit layouts. The experimental measurements of 624 bonded system strands with spiral galvanized metal sheet conduits from the actual construction sites were conducted. From the construction site that uses CPAC prestressing subcontractor, the wobble coefficient is 0.0035 per foot and the curvature coefficient is 0.536 per radian and from the construction site that uses CPAC prestressing subcontractor, the wobble coefficient is 0.0040 per foot and the curvature coefficient is 0.578 per radian. Both coefficients are significantly higher than those recommended by ACI318-11 standard.

Keywords : Friction coefficient, Prestressing strands, Measurement method

หัวข้อวิจัย : วิธีใหม่อย่างง่ายในการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับลวดอัดแรงดิ่งที่
หลัง
ผู้วิจัย : นาย ฉัตร สุจินดา
หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการใช้วิธีใหม่ที่ผู้วิจัยคิดค้นขึ้นมาเอง สำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างลวดอัดแรงชนิดตีเกลียวและท่อร้อยลวด แบบดิ่งที่หลังและมีการอัดฉีดน้ำปูน ทั้งแบบที่เกิดจากความคดและความโค้ง โดยการเก็บค่าแรงดิ่งของลวดที่ปลายที่ดิ่งลวด และระยะยึดของลวดแต่ละเส้น เพื่อนำมาใช้หาค่าแรงดิ่งเฉลี่ยตลอดความยาวเส้นลวดจากสมการความสัมพันธ์ของระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการยึดตัวของเส้นลวดแบบเชิงเส้น ไม่ตรง และคำนวณความยาวและความโค้งรวมของลวดแต่ละเส้นจากแบบก่อสร้าง เพื่อให้เหมือนกับการคำนวณในขั้นตอนออกแบบ และได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่า ปรับแก้ความเพี้ยนของตำแหน่งการวางลวดเมื่อเทียบกับแบบก่อสร้างไว้แล้ว จากการทดลองวัดและคำนวณค่าดังกล่าวของเส้นลวดอัดแรงที่ใช้ท่อร้อยลวดสำหรับอัดฉีดน้ำปูนเพื่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวชนิดที่ม้วนตีเกลียวมาจากแผ่นเหล็กชุบสังกะสีจำนวน 624 เส้น จากสถานที่ก่อสร้างจริง พบว่าสถานที่ก่อสร้างจริงที่ใช้ผู้รับเหมาวางและดิ่งลวด CPAC ได้สัมประสิทธิ์ความคดมีค่าเท่ากับ 0.0035 ต่อฟุต และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความโค้งมีค่าเท่ากับ 0.536 ต่อเรเดียน ส่วนสถานที่ก่อสร้างจริงที่ใช้ผู้รับเหมาวางและดิ่งลวด Post-Ten ได้สัมประสิทธิ์ความคดมีค่าเท่ากับ 0.0040 ต่อฟุต และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความโค้งมีค่าเท่ากับ 0.578 ต่อเรเดียน ซึ่งค่าทั้งสองมากกว่าที่แนะนำไว้ในมาตรฐาน ACI318-11 อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ลวดอัดแรงแบบตีเกลียว วิธีการวัดค่า

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 คำถามการวิจัย.....	2
1.4 สมมุติฐานการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย.....	5
2.2 ทฤษฎีที่รองรับ หรือกรอบความคิดทางทฤษฎี	7
2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.4 สรุป	11
3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	12
3.1 รูปแบบการวิจัย หรือแบบแผนการวิจัย.....	12
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง และการรวบรวมข้อมูล.....	12
3.3 การรวบรวมข้อมูล.....	13
3.4 เครื่องมือการวิจัย.....	13
3.5 ขั้นตอนในการดำเนินวิจัย.....	13
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	15
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	17
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	21
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	21
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	22
บรรณานุกรม.....	24
ภาคผนวก.....	26
ประวัติย่อผู้วิจัย	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับลวดอัดแรงชนิดต่างๆ..... 6
4.1	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจากความคด และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เนื่องจากความโค้งที่ได้จากสมการถดถอย..... 18
ผ.1	ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคาร โรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (ใช้บริษัทรับเหมางาน ลวดอัดแรง CPAC) ชั้น 3 โซน A..... 29
ผ.2	ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคาร โรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (ใช้บริษัทรับเหมางาน ลวดอัดแรง CPAC) ชั้น 3 โซน B..... 36
ผ.3	ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคาร โรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (ใช้บริษัทรับเหมางาน ลวดอัดแรง CPAC) ชั้น 4 โซน B..... 43
ผ.4	ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนา-ตราด กม. 25 (ใช้ บริษัทรับเหมางานลวดอัดแรง Post-Ten) ชั้น 3..... 49
ผ.5	ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนา-ตราด กม. 25 (ใช้ บริษัทรับเหมางานลวดอัดแรง Post-Ten) ชั้น 4..... 53

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 การหาค่าการเปลี่ยนมุมของลวดอัดแรงที่เป็นแนวพาราโบลา.....	7
3.1 โครงการที่ใช้เก็บข้อมูล อาคาร โรงแรม 4 ชั้น ซอย หัวหิน 10.....	12
3.2 ตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณความยาว และการเปลี่ยนมุม.....	14
4.1 ผลการวิเคราะห์สัมภาระถดถอย จากอาคาร โรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (ใช้บริษัท รับเหมางานลวดอัดแรง CPAC).....	19
4.2 ผลการวิเคราะห์สัมภาระถดถอย จากอาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนาตราด กม 25 (ใช้บริษัทรับเหมางานลวดอัดแรง Post-Ten).....	20

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง จำเป็นจะต้องทราบถึงแรงอัดประสิทธิผล (Effective Pre-stress Force) ซึ่งเป็นผลมาจากการดึงลวดอัดแรง เพื่อใช้ในการเลือกจำนวนลวดอัดแรงที่ต้องการให้เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงเกินกว่าค่าที่ระบุไว้ในมาตรฐานการออกแบบ ทั้งในสถานะเริ่มต้น (Initial Stage) คือหลังจากที่ดึงลวดเสร็จใหม่ๆ และในสภาวะใช้งาน (Working Stage) คือหลังจากที่ดึงลวดไปนานหลายปีจนถึงสิ้นสุดอายุการใช้งานที่คาดหมายของโครงสร้างนั้น ซึ่งค่าแรงอัดประสิทธิผลในคอนกรีตอัดแรงนี้ จะมีค่าน้อยกว่าค่าแรงที่ใช้ดึงลวด เนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสระหว่างเส้นลวดกับท่อร้อยลวด และเกิดขึ้นจากปัจจัยอื่นๆ เช่นการหดตัวของคอนกรีตในขณะที่ดึงลวด การคืบตัวของลวด การคืบและการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิและการสูญเสียความชื้นของคอนกรีต (ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เกิดขึ้นระยะยาวระหว่างการใช้งาน) ฯลฯ สำหรับการคำนวณค่าแรงเสียดทานตามมาตรฐาน ACI318-11 (ACI Committee, 2011) และที่ผู้ออกแบบนิยมใช้กันทั่วโลก ได้คำนวณด้วยวิธีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานซึ่งได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจากความคด (Wobble Friction Coefficient) และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจากความโค้ง (Curvature Friction Coefficient) ค่าของสัมประสิทธิ์ดังกล่าวในมาตรฐาน ACI318-11 ได้แนะนำไว้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุลวดอัดแรงและระบบของท่อร้อยที่นำมาใช้ อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองนี้ยังขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงและวิธีปฏิบัติในการวางและดึงลวด ซึ่งหากผู้ออกแบบนำค่าของสัมประสิทธิ์ที่ ACI318-11 แนะนำไว้มาใช้ในการออกแบบ อาจจะไม่เหมาะสมกับงานก่อสร้างของโครงการนั้นๆก็ได้ หากมีการใช้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ต่ำเกินไป ก็จะทำให้ผู้ออกแบบเลือกจำนวนลวดน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งอาจทำให้ระดับความปลอดภัยของโครงสร้างน้อยเกินไป แต่ถ้าหากที่มีการใช้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่สูงเกินไป ก็จะทำให้ผู้ออกแบบเลือกจำนวนลวดมากกว่าที่ควรจะเป็นซึ่งอาจทำให้สิ้นเปลืองวัสดุเกินกว่าจำเป็น

การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังกล่าวมีขั้นตอนอันเป็นวิธีมาตรฐาน แต่เนื่องจากจะต้องคำนวณสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแยกกันระหว่างที่เกิดจากความคดและความโค้ง ดังนั้นใน

การทดสอบเพื่อหาค่าแรงเสียดทานจึงมีความต้องการที่จะต้องมีลวดอัดแรงทั้งที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงอย่างเดียว (ตรงกึ่งกลางของความลึกของหน้าตัด) และจะต้องให้มีลวดอัดแรงที่มีลักษณะสูงต่ำ (เพื่อให้เกิดความโค้งในแนวตั้ง) และจะต้องวัดค่าแรงดึงที่ทั้งสองปลายคือปลายที่ดึงลวดและปลายอีกด้านหนึ่งที่ไม่ได้ดึงลวด เพื่อนำค่าที่วัดได้ดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ดังนั้นจึงถูกจำกัดแต่โครงสร้างมีการวางแผนและออกแบบมาเพื่อให้วัดค่าสัมประสิทธิ์นี้โดยเฉพาะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีใหม่อย่างง่ายเพื่อใช้หาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในลวดอัดแรงชนิดดิ่งที่หลัง โดยใช้วิธีคำนวณแรงที่ปลายลวดที่ไม่ได้ดึงลวดจากระยะยืด (Elongation) ของตัวลวดเอง และใช้สมการถดถอยหลายตัวแปร ต้นแบบเชิงเส้นไม่ตรง (Non-linear Multiple Regression) เพื่อประมาณค่าหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยจากลวดที่มีความคดและความโค้งในระดับที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลที่เก็บอยู่แล้วในขั้นตอนมาตรฐานในขณะที่ดึงลวดอัดแรงในโครงสร้างและสถานการณ์จริง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงที่ใช้วัสดุลวดอัดแรงและท่อร้อยในระบบเดียวกันหรือคล้ายกันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานวิธีใหม่สำหรับลวดอัดแรงดิ่งที่หลังในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง
2. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับความคดและความโค้งสำหรับระบบลวดอัดแรงแบบดิ่งที่หลังชนิดอัดน้ำปูน (Grouted System) ที่ใช้ในประเทศ ตามขั้นตอนการดึงลวดและวิธีปฏิบัติแบบไทยๆ

1.3 คำถามการวิจัย

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับความคดและความโค้งสำหรับระบบลวดอัดแรงแบบดิ่งที่หลังชนิดอัดน้ำปูน (Grouted System) ที่ใช้ในประเทศ ตามขั้นตอนการดึงลวดและวิธีปฏิบัติแบบไทยมีค่าเท่าใดและแตกต่างจากที่มาตรฐานของต่างประเทศ แนะนำไว้อย่างไร

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับความคดและความโค้งสำหรับระบบลวดอัดแรงแบบคิงทีหลังชนิดอัดน้ำปูน (Grouted System) ที่ใช้ในประเทศ ตามขั้นตอนการคิงลวดและวิธี ปฏิบัติแบบไทยมีค่าแตกต่างไปจากที่มาตรฐานของต่างประเทศแนะนำไว้อย่างมีนัยสำคัญ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

-ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

-ประชากร

เก็บข้อมูลการคิงลวดอัดแรงจากโครงสร้างตัวอย่างที่เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงจำนวนไม่ต่ำกว่า 400 เส้น

-กลุ่มตัวอย่าง

ระบบลวดอัดแรงแบบคิงทีหลังชนิดอัดน้ำปูน (Grouted System) ที่ใช้ในประเทศ ตามขั้นตอนการคิงลวดและวิธีปฏิบัติแบบไทยๆ

-เนื้อหาของการวิจัย

ตัวแปรต้น:

1. ผลรวมของการเปลี่ยนมุมในแนวคิง ของลวดทุกเส้น
2. ความยาวลวด ของลวดทุกเส้น
3. ค่าแรงที่ใช้คิงที่ 75.8%, 77.5% และ 80% ของกำลังคิงประลัยของเส้นลวดตามที่ระบุ ของลวดทุกเส้น

ตัวแปรตาม:

1. ระยะยึดของลวดอัดแรงที่คิงทุกเส้น

-ระยะเวลา 12 เดือน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

ผลรวมของการเปลี่ยนมุมในแนวตั้ง	รวมการเปลี่ยนมุมที่เกิดจาก Profile ของลวดอัดแรงที่ขึ้นลงเพื่อต้านน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง คำนวณได้จากแบบก่อสร้าง Shop Drawing
ความยาวลวด	ความยาวของเส้นลวดอัดแรงนับจากหัวลวดทั้ง 2 ปลาย คำนวณได้จากแบบก่อสร้าง Shop Drawing
ค่าแรงที่ใช้ดึงที่ 75.8%, 77.5% และ 80% ของกำลังดึงประลัยของเส้นลวด	เป็นสัดส่วนของค่าแรงที่อ่านได้จากมาตรวัดแรงดันที่เครื่องดึงไฮดรอลิกขณะทำการดึงลวด
ระยะยึดของลวดอัดแรง	ระยะของความยาวที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการดึงลวดถึงค่าแรงที่กำหนด

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องทวิจ้ย

การสูญเสียแรงเนื่องจากแรงเสียดทานเกิดขึ้นที่ผิวนอกของลวดอัดแรงกับผิวที่ล้อมลวดอัดแรง แรงเสียดทานนี้สามารถพิจารณาได้เป็นสองส่วนคือ ผลความยาว และผลของความโค้ง ผลของความยาวคือปริมาณของแรงเสียดทาน อันเป็นผลของความคดของท่อร้อยลวด และจะขึ้นอยู่กับความยาวและ หน่วยแรงดึง ในเส้นลวด ค่าสัมประสิทธิ์ ของแรงเสียดทานระหว่างวัสดุที่สัมผัส ผัสกัน ความแม่นยำของการวางลวด วิธีการหาและจัดตำแหน่งของท่อร้อยลวดซึ่งค่าประมาณสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังกล่าวเพื่อใช้คำนวณได้ให้ไว้ใน ACI318-11 ซึ่งแสดงไว้ในตาราง 2.1

การสูญเสียแรงในเส้นลวดเนื่องจากผลของ ความโค้งที่เกิดขึ้นจากความตั้งใจ ในการวางลวด จะต้องรวมผลของความคดที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจของท่อร้อยลวดด้วย แรงเสียดทานประเภทนี้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผิวสัมผัสระหว่างวัสดุและแรงกดที่เป็นผลมาจากตัวลวดอัดแรงพยายามที่จะเหยียดตัวออกให้เป็นเส้นตรงในขณะที่มีหน่วยแรงดึงอยู่ในเส้นลวด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจึงขึ้นอยู่กับความราบเรียบและธรรมชาติของผิวสัมผัส ปริมาณและคุณสมบัติของสารหล่อลื่น และในบางครั้งรวมไปถึงความยาวของการสัมผัส แรงกดระหว่างเส้นลวดและท่อร้อยลวดซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแรงดึงในเส้นลวดและการเปลี่ยนมุมของแนวเส้นลวดตลอดความยาว

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับลวดอัดแรงชนิดต่างๆ (ACI Committee, 2011)

			Wobble coefficient, per foot	Curvature coefficient, per radian
Grouted tendons in metal sheathing		Wire tendons	0.0010-0.0015	0.15-0.25
		High-strength bars	0.0001-0.0006	0.08-0.30
		7-wire strands	0.0005-0.0020	0.15-0.25
Unbounded Tendon	Mastic coated	Wire tendons	0.0010-0.0020	0.05-0.15
		7-wire strands	0.0010-0.0020	0.05-0.15
	Pre-greased	Wire tendons	0.0003-0.0020	0.05-0.15
		7-wire strands	0.0003-0.0020	0.05-0.15

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานยังขึ้นอยู่กับความระมัดระวังในการก่อสร้างอย่างมาก สำหรับลวดอัดแรงแบบไม่มีแรงยึดเหนี่ยว สารหล่อลื่นสามารถนำมาใช้ ในการลดแรงเสียดทานลงได้ เส้นลวดที่มีการใส่สารหล่อลื่นและมีการหุ้มรอยลวดอย่างถูกวิธี จะมีแรงเสียดทานต่ำ แต่ถ้ามีน้ำปูนรั่วเข้าไปในช่องเปิดของท่อ เส้นลวดอาจติดแน่น ได้ ในกรณีลวดอัดแรงแบบที่มีแรงยึดเหนี่ยว ส่วนใหญ่จะต้องใส่สารหล่อลื่น ชนิดที่ไม่ทำให้ไปทำลายแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการอัดน้ำปูน น้ำมันที่สามารถละลายน้ำได้ สามารถนำมาใช้เพื่อ ลดแรงเสียดทานในขณะที่ทำการดึงลวดและล้างออกด้วยน้ำหลังจากดึงลวดเสร็จ

อีกวิธีที่จะเอาชนะการสูญเสียแรงในเส้นลวดเนื่องจากแรงเสียดทาน วิธีหนึ่งคือการดึงลวดในปริมาณแรงที่ เกิน เมื่อปริมาณแรงเสียดทานไม่มาก เกิน ไป ปริมาณของแรงดึงลวดที่ เกินมาจะเท่ากับปริมาณแรงเสียดทานสูงสุด ค่าระยะยึดที่เพิ่มขึ้นของเส้นลวดจะขึ้นอยู่กับปริมาณแรงดึงของลวดที่ดึง เกิน ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเพื่อใช้ ตรวจสอบ ปริมาณของแรงดึงที่เพิ่มที่ใช้ชดเชยแรงเสียดทานไม่สามารถถ่ายทอดไปยังการชดเชยของแรงเสียดทานเนื่องจากสมอดึงลวดหรือเนื่องจากการลดการคืบในเหล็กได้ ดังนั้นจึงจะเหมาะสมที่จะเลือกค่าที่สูงสุดของทั้งสาม และเพิ่มแรงดึงเกินให้เท่ากับปริมาณนั้น ทั้งนี้เนื่องจากสำหรับทั้งสาม กรณีของการ ดึงเกินในลวด ประกอบด้วยการยึดออกในส่วนเพิ่มและปล่อยแรงออกทีหลัง ฟังระลึกไว้ว่าแรงเสียดทานส่วนใหญ่ จะเกิดขึ้นบริเวณ

ใกล้ปลายที่ดึงลวด การดึงลวดเพิ่มเพื่อให้สมดุลกับแรงเสียดทานจะไม่ก่อให้เกิดระยะยืดเพิ่มเติมในส่วนหลักของลวด ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สำหรับการชดเชยเพื่อลดปริมาณของการคืบในทุกรูปแบบ ผลของการดึงเกินและตามด้วยการปล่อยลวดกลับจะทำให้เกิดส่วนต่างของแรงเสียดทานในทิศทางที่กลับทาง ในขณะที่ปล่อยลวดกลับ

2.2 ทฤษฎีที่รองรับ หรือกรอบความคิดทางทฤษฎี

สูตรที่มีมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตอัดแรงกำหนด

$$P_x = P_j e^{-(Kx + \mu\alpha)} \quad (2.1)$$

โดยที่

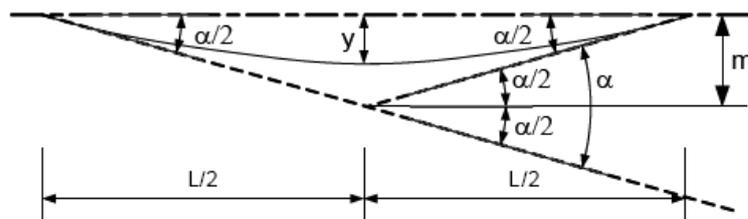
- P_x คือในลวดอัดแรงที่ระยะ x จากสมอยึด
- P_j คือแรงดึงที่ทำการดึงลวด
- K คือค่า Wobble Coefficient
- μ คือค่า Curvature Coefficient
- x เป็นระยะในแนวราบจากสมอยึดถึงตำแหน่งที่พิจารณา
- α เป็นผลรวมของการเปลี่ยนมุมจากสมอยึดถึงตำแหน่งที่พิจารณา

ในกรณีที่ลวดอัดแรงมีแนวเป็นพาราโบลา มุมที่เปลี่ยนไป α คำนวณได้ดังนี้

$$\text{สำหรับโค้งพาราโบลา } y \cong \frac{m}{2}$$

$$\text{กรณี } \alpha \text{ เล็กๆ } \tan \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2} = \frac{m}{L/2} = \frac{2y}{L/2}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha = \frac{8y}{L} \text{ หรือ } \frac{\alpha}{2} = \frac{4y}{L} \text{ ดังในภาพประกอบที่ 2.1}$$



ภาพประกอบที่ 2.1 การหาค่าการเปลี่ยนมุมของลวดอัดแรงที่เป็นแนวพาราโบลา

2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ACI318-11 (ACI Committee 318, 2011) ได้แนะนำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับ ลวดอัดแรงชนิดต่างๆ ไว้ดังตารางที่ 2.1 อย่างไรก็ตาม ACI318-11 ได้กล่าวไว้ว่าค่าดังกล่าวเป็น เพียงค่าเริ่มต้น ซึ่งค่าที่สัมประสิทธิ์ที่จะใช้จริงในการคำนวณออกแบบจะต้องหามาจากผู้ผลิตลวด อัดแรงสำหรับแบบนั้นๆ และจะต้องระบุค่า สัมประสิทธิ์ที่ใช้ไว้ในแบบก่อสร้างด้วย การประมาณ ค่าแรงเสียดทานต่ำเกินไปจริงสามารถนำไปสู่ระยะแคมเบอร์ที่ไม่เหมาะสมหรือค่าอัดแรงที่ไม่เพียงพอ ส่วนการประมาณค่าแรงเสียดทานที่สูงเกินไปจริงสามารถนำไปสู่ระยะแคมเบอร์ที่มากเกินไปและการ หดตัวที่มากเกินไปในชิ้นส่วน โครงสร้างได้ หากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ทำได้จริงมีค่าต่ำ กว่าค่าที่สมมุติในตอนออกแบบอาจสามารถปรับแรงดึงในขณะที่ดึงลวดในส่วนที่วิกฤติใน โครงสร้างได้ตามความต้องการของการออกแบบ

ผู้วิจัยเคยทำงานอยู่ในบริษัทก่อสร้างรับเหมาช่วงเฉพาะทาง PT System of Georgia ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งบริษัทนี้รับออกแบบ โครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ผลิตแบบก่อสร้าง (Shop Drawing) รวมไปถึงจัดส่งและดึงลวดอัดแรงทั้งในระบบที่มีและไม่มีกรออัดน้ำปูน โดยทางเจ้าของ โครงการสามารถเลือกให้บริษัทหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉพาะสำหรับอาคารในโครงการ นั้นๆ ได้ ซึ่งมีขั้นตอนตามมาตรฐานบริษัทดังนี้

กำหนดให้ลวดจำนวนหนึ่งใน โครงสร้างที่ต้องการจะวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ซึ่ง จะต้องเป็นลวดอัดแรงดึงที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น โดยให้ลวดชุดที่หนึ่งไม่มีความสูงต่ำใน แนวดึง คือจัดวางให้ตำแหน่งของลวดอยู่ที่กึ่งกลางของควา มลึกของแผ่นพื้น ตลอดความยาวของ ลวด สำหรับลวดชุดแรกนี้จะต้องมีความยาวในแนวราบที่เท่ากัน และให้ลวดอีกชุดที่สองมีความสูง ต่ำในแนวดึง สำหรับลวดชุดที่สองจะต้องมีรูปร่างความสูงต่ำเหมือนกันและความยาวของลวดใน แนวราบเท่ากัน แต่ไม่จำเป็นต้องเท่ากับของชุดแรก

ทำการวางลวด ทั้งสองชุดในโครงสร้างจริงหรือโครงสร้างที่จัดขึ้นไว้พิเศษเพื่อใช้หาค่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เทคอนกรีตและรอให้คอนกรีตมีกำลังอัดประลัยตามที่ระบุ

สำหรับปลายด้านที่ไม่มีการตั้งลวดติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าแรงดึงเข้ากับเส้นลวด P_{px} และทำการตั้งลวดที่ปลายอีกด้านหนึ่งจนได้ตามค่าที่กำหนด P_{pj} (โดยปกติที่ 80% ของกำลังประลัยของเส้นลวด)

สำหรับลวดชุดที่ไม่มีความสูงต่ำในแนวตั้ง แสดงว่าลวดชุดนี้มีแต่ความคดแต่ไม่มีความโค้งซึ่งลวดชุดนี้ต้องมีความยาวในแนวราบ l_{px} เท่ากันทุกเส้น จึงสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดเนื่องจากความคด K ได้ จากค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของแรงในลวดที่ปลายที่ไม่ได้ดึงต่อแรงในลวดที่ปลายที่กำลังดึงของลวดชุดที่ไม่มีความสูงต่ำ ดังในสมการที่ (2.2)

$$\left(\frac{P_{px}}{P_{pj}} \right)_{\text{เฉลี่ยของลวดชุดที่ไม่มีความสูงต่ำ}} = e^{-(Kl_{px})} \quad (2.2)$$

สำหรับลวดชุดที่มีความสูงต่ำในแนวตั้ง ซึ่งลวดชุดนี้ต้องมีความยาวในแนวราบ l_{px} เท่ากันทุกเส้น (แต่ไม่จำเป็นต้องมีความยาวเท่ากับลวดชุดแรกก็ได้) ซึ่งแสดงว่าลวดชุดนี้มีทั้งความคดและความโค้ง ให้คำนวณความโค้งรวมตลอดความยาวเส้นลวด α_{px} จากแบบก่อสร้าง ดังนั้นเมื่อทราบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเนื่องจากความคด K จากสมการที่ (2.2) จึงสามารถนำมาใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดเนื่องจากความโค้ง μ_p ได้ จากค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของแรงในลวดที่ปลายที่ไม่ได้ดึงต่อแรงในลวดที่ปลายที่กำลังดึงของลวดชุดที่มีความสูงต่ำ ดังในสมการที่ (2.3)

$$\left(\frac{P_{px}}{P_{pj}} \right)_{\text{เฉลี่ยของลวดชุดที่มีความสูงต่ำ}} = e^{-(Kl_{px} + \mu_p \alpha_{px})} \quad (2.3)$$

จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความคด K และสัมประสิทธิ์ความโค้ง μ_p ซึ่งเป็นค่ากลางสำหรับชุดลวดดังกล่าว

Ning Ming-zhe and Li De-jian (2011) ได้เขียนบทความภาษาจีน แนะนำวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความคดและความโค้ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องกำหนดให้มีลวดชุดที่ไม่มีความสูงต่ำในแนวตั้ง และไม่จำเป็นต้องวัดค่าของแรงในเส้นลวดในปลายที่ไม่ได้ดึงลวด แต่ประมาณค่าแรงดึงที่ปลายที่ไม่ได้ดึงลวดจากระยะยืดของลวดแทน ซึ่งวิธีใหม่นี้มีขั้นตอนดังนี้

คัดเลือกรูปร่างความสูงต่ำของลวดมา 3 แบบที่แตกต่างกัน (ยิ่งแตกต่างกันมากได้ยิ่งดี) คำนวณค่าระยะยืดของการดึงลวดสำหรับแรงดึงที่ 80% ตามข้อกำหนดของการออกแบบ จากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความคด K และความโค้ง μ_p ที่ใช้ในการออกแบบ

ดึงลวดที่ปลายด้านหนึ่ง โดยการดึงลวดที่ 15% ของแรงดึง

ที่ลวดปลายที่ดึง ติดตั้งเครื่องวัดการเปลี่ยนระยะแบบเข็ม (Dial Gauge) อย่างระมัดระวัง และขีดตำแหน่งของเข็มซึ่งเริ่มต้น (เพื่อใช้วัดค่าระยะยืดไม่เกิน 50 mm. ของค่าตามทฤษฎี ควรจะใช้เข็มวัดจอขนาดใหญ่ ส่วนสำหรับค่าระยะยืดตามทฤษฎีระหว่าง 50-200 mm. ให้เปลี่ยนไปใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ที่มีสเกลไม้บรรทัดละเอียดถึงระดับ 0.5 mm.)

ดึงลวดจนถึงระดับ 95% ของค่าออกแบบ โดยแบ่งการดึงออกเป็นระยะ 2-5 ช่วง อ่านค่าแรงที่ดึงและระยะยืดในแต่ละช่วง และสิ้นสุดการวัด

ทำขั้นตอนซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยของระยะยืดที่วัดได้

สำหรับลวดทุกๆ เส้นที่ทำกรวัดนำค่าที่วัดได้ไปแทนในสมการที่ (2.4) (ขั้นตอนนี้สามารถใช้ MATLAB ในการช่วยคำนวณได้)

$$\left\{ \begin{array}{l} d(\Delta L_1) = \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_a} d\alpha_a + \frac{\partial f_1}{\partial k} dk + \frac{\partial f_1}{\partial \mu} d\mu \\ d(\Delta L_2) = \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_a} d\alpha_a + \frac{\partial f_2}{\partial k} dk + \frac{\partial f_2}{\partial \mu} d\mu \\ d(\Delta L_3) = \frac{\partial f_3}{\partial \alpha_a} d\alpha_a + \frac{\partial f_3}{\partial k} dk + \frac{\partial f_3}{\partial \mu} d\mu \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \Delta L = f(\alpha_a, k, \mu) = \frac{F_{ae} L}{E_p A_p} \times \frac{[1 - e^{-(\mu\theta + kx)}]}{(1 + \alpha_a)(\mu\theta + kx)} \quad (2.5)$$

$$\alpha_a = \frac{F_{ae} - F_{ai}}{F_{ai}} \quad (2.6)$$

2.4 สรุป

จากการศึกษาที่ผ่านมาทั้งหมด การหาค่าวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงหากไม่ใช่ตามที่มาตรฐานแนะนำ (ซึ่งผู้ออกมาตรฐานไม่ได้รับรองความถูกต้องแต่อย่างใด) ก็ต้องมีการสร้างโครงสร้างหรือลวดพิเศษตัวอย่าง สำหรับวัดค่าแรงดึงและแรงที่ปลายด้านที่ไม่ได้ดึงลวด หรือไม่ก็ต้องวัดค่าระยะยืดซึ่งนำมาใช้ประมาณแรงที่เกิดขึ้นที่ปลายด้านที่ไม่ได้ดึงลวดจากความสัมพันธ์ของความเครียดและความเค้นของเส้นลวดแบบเส้นตรง แต่ยังไม่มียุทธวิธีหาสัมประสิทธิ์ใด (เท่าที่ผู้แต่งค้นคว้ามาได้) ที่ใช้แต่ค่าที่เก็บได้ในขณะการดึงลวดโดยปกติ โดยวัดจากลวดอัดแรงเส้นที่จะต้องดึงอยู่แล้วในการก่อสร้างจริง และใช้การหาแรงที่ปลายด้านที่ไม่ได้ดึงลวดจากความสัมพันธ์ของความเครียดและความเค้นแบบเส้นไม่ตรงที่ได้จากการทดสอบลวดอัดแรงจริง ในสภาวะและสถานการณ์ดึงลวดจริงแต่อย่างใด ดังนั้นผลของงานวิจัยนี้คาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อวงการก่อสร้างคอนกรีตอัดแรงทั้งในประเทศและต่างประเทศต่อไป

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย หรือแบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการเก็บสถิติของค่าแรงดึงที่ปลายลวดอัดแรงในขณะที่ดึงลวดจนถึงค่าแรงที่สูงสุด และระยะยืดที่เกิดการการดึงลวด เพื่อนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน โดยวิธีอ้อมซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยของแรงดึงในเส้นลวดและหน่วยการยึดตัวของเส้นลวดแต่ละเส้น โดยการเก็บข้อมูลของตัวอย่างการดึงลวดจากสถานที่ก่อสร้างจริง โดยอาศัยลวดที่มีความยาวและความโค้งรวมของเส้นลวดแต่ละเส้นที่อาจมีค่าที่แตกต่างกัน

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ใช้ประชากรลวดอัดแรงไม่ต่ำกว่า 400 เส้นในโครงการอาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.1 และอาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนา-ตราด กม. 25



ภาพประกอบที่ 3.1 โครงการที่ใช้เก็บข้อมูล
อาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอย หัวหิน 10

3.3 การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่เก็บในขณะการดึงลวดอัดแรง คือ (1) ค่าแรงดึงที่ปลายลวดอัดแรงในขณะที่ยึดลวดจนถึงค่าแรงที่สูงสุด และ (2) ระยะยึดที่เกิดการการดึงลวด

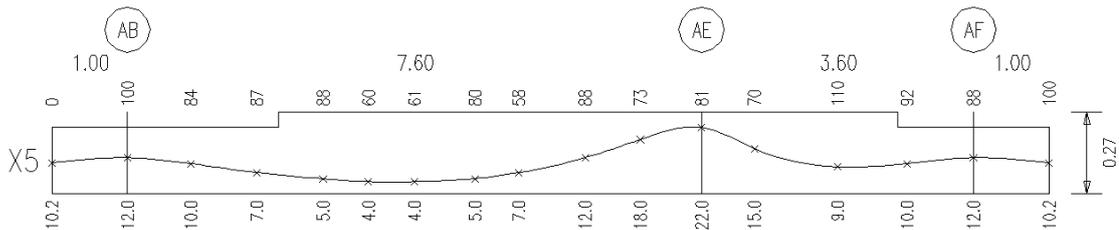
3.4 เครื่องมือการวิจัย

ใช้เครื่องมือเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง หลายตัวแปร เช่น โปรแกรม Microsoft Excel Analysis Tool Pack Add-ins

3.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ในขณะขั้นตอนการดึงลวดอัดแรง บันทึกค่าแรงดึงจากเกจวัดแรงคั้นน้ำมันที่ติดตั้งอยู่ที่อุปกรณ์ที่ใช้ดึงลวด สำหรับอาคารที่เก็บตัวอย่างนี้เป็นผู้รับเหมาได้ตั้งเกณฑ์ให้ดึงลวดทั้งหมด 4 ระดับ (พบว่าผู้รับเหมาของแต่ละบริษัทมีรายละเอียดของขั้นตอนที่แตกต่างกัน) คือ ระดับแรกเป็นการดึงเพื่อขยับให้ลวดเข้าที่ ส่วนระดับที่ สองถึงสี่ เป็นการดึงลวดให้ได้ตามเป้าหมาย ซึ่งในระดับที่สองนั้น ช่างผู้ดึงลวดจะทดลองดึงที่ 75.8% ของกำลังดึงประลัยของลวดตามที่ระบุลวดก่อน จากนั้นหากค่าระยะยึดที่วัดได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดได้จากสูตรเกิน 5% จะต้องดึงลวดต่อไปอีกที่ระดับที่สามคือที่ 77.5%, และสุดท้ายในระดับที่สี่คือที่ 80% และจะต้องจดบันทึกค่าแรงดึงครั้งสุดท้าย $F_{jacking}$ และระยะยึดของลวดเส้นนั้น Δ_{ps} ครั้งสุดท้ายไว้ด้วย

2. จากแบบก่อสร้าง (Shop drawings) ซึ่งแสดงระยะสูงต่ำ (Profile) ของลวดอัดแรง คำนวณค่าเปลี่ยนการเปลี่ยนมุมรวม (หน่วยเป็นเรเดียน) α_p ที่เกิดจากความโค้ง (Curvature) และความยาวในแนวราบ L_p ดังแสดงตัวอย่างไว้ในภาพประกอบที่ 3.2 เพื่อนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในขั้นตอนต่อไป



Profile ลวด X5: มีส่วนยื่นซ้าย-ขวา และช่วงภายในอีก 2 ช่วง สำหรับส่วนยื่นด้านซ้าย $L = 1.00$ เมตร $h = (12.0\text{ ซม} - 10.2\text{ ซม}) = 1.8\text{ ซม}$ $\alpha = \frac{4h}{L} = \frac{4 \cdot 1.8\text{ ซม}}{100\text{ ซม}} = 0.07200$ เรเดียน ช่วงภายในอันแรกครึ่งซ้าย $L = 3.80$ เมตร $h = (12.0\text{ ซม} - 4.0\text{ ซม}) = 8.0\text{ ซม}$ $\alpha = \frac{4h}{L} = \frac{4 \cdot 8.0\text{ ซม}}{3800\text{ ซม}} = 0.008421$ เรเดียน ครึ่งขวา $L = 3.80$ เมตร $h = (22.0\text{ ซม} - 4.0\text{ ซม}) = 18.0\text{ ซม}$ $\alpha = \frac{4h}{L} = \frac{4 \cdot 18.0\text{ ซม}}{3800\text{ ซม}} = 0.018947$ เรเดียน ช่วงภายในอันที่สองครึ่งซ้าย $L = 1.80$ เมตร $h = (22.0\text{ ซม} - 9.0\text{ ซม}) = 13.0\text{ ซม}$ $\alpha = \frac{4h}{L} = \frac{4 \cdot 13.0\text{ ซม}}{1800\text{ ซม}} = 0.028889$ เรเดียน ครึ่งขวา $L = 1.80$ เมตร $h = (12.0\text{ ซม} - 9.0\text{ ซม}) = 3.0\text{ ซม}$ $\alpha = \frac{4h}{L} = \frac{4 \cdot 3.0\text{ ซม}}{1800\text{ ซม}} = 0.006667$ เรเดียน และส่วนยื่นด้านขวา $L = 1.00$ เมตร $h = (12.0\text{ ซม} - 10.2\text{ ซม}) = 1.8\text{ ซม}$ $\alpha = \frac{4h}{L} = \frac{4 \cdot 1.8\text{ ซม}}{100\text{ ซม}} = 0.07200$ เรเดียน

ลวดที่ใช้ Profile นี้มีความยาวรวม $l_p = (1.0 + 7.6 + 3.6 + 1.0) = 13.2$ เมตร

$\alpha_p = (0.007200 + 0.008421 + 0.018947 + 0.028889 + 0.006667 + 0.007200) = 0.206924$ เรเดียน

ภาพประกอบที่ 3.2 ตัวอย่างรายละเอียดการคำนวณความยาว และการเปลี่ยนมุม

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ใช้สมการความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและหน่วยการยืดตัวของเส้นลวดที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงที่สมการที่ (3.1) ซึ่งได้มาจากการทดสอบดึงลวดจริง [3] กรณี $f_{py}/f_{pu} = 0.85$ และ $f_{pu} = 270\text{ksi}$ มีค่าคงที่ในสมการคือ $A=756$, $B=27244$, $C=117.3$, และ $D=6.598$ (Devalapura, R. K. and Tadros, M. K., 1992)

$$f_{ps} = \varepsilon_{ps} \left[A + \frac{B}{\{1 + (C\varepsilon_{ps})^D\}^{1/D}} \right] \leq f_{pu} \quad (3.1)$$

2. จากระยะยืด Δ_{ps} คำนวณหน่วยการยืดตัว $\varepsilon_{ps} = \frac{\Delta_{ps}}{l_p}$ และหาค่าหน่วยแรงในเส้นลวด f_{ps} เฉลี่ยตลอดความยาวของเส้นลวด จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (6) และคำนวณค่าแรงดึงเฉลี่ยจากพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด A_{ps} จาก $F_{avg} = A_{ps} f_{ps}$ และประมาณค่าแรงดึงที่ปลาย Dead End หรือ $F_{dead\ end}$ จาก $F_{avg} = \frac{F_{jacking} + F_{dead\ end}}{2}$ และจากสมการแรงเสียดทานในเส้นลวด [1] สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์เชิงเส้นไม่ตรงได้ดังสมการที่ (3.2)

$$\frac{F_{dead\ end}}{F_{jacking}} = e^{-(Kl_p + \mu_p \alpha_p)} \quad (3.2)$$

จากนั้นแปลงสมการที่ (3.2) ให้เป็นสมการเชิงเส้นตรงดังสมการที่ (3.3)

$$\ln \left(\frac{F_{jacking}}{F_{dead\ end}} \right) = Kl_p + \mu_p \alpha_p \quad (3.3)$$

3. หาค่าคงที่ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรงจากตัวแปรต้น l_p , α_p และตัวแปรตาม $\ln \left(\frac{F_{jacking}}{F_{dead\ end}} \right)$ ของลวดทุกเส้น โดยใช้โปรแกรมที่สามารถหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงหลายตัวแปรได้อย่างเช่น Microsoft Excel Analysis Tool Pack Add-ins จะได้ค่าสัมประสิทธิ์แรง

เสียดทานความคด (Wobble Coefficient) K และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความโค้ง (Curvature Coefficient) μ_p แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่แนะนำไว้ในมาตรฐาน ACI318-11 (ACI Committee, 2011)

จะเห็นได้ว่าวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานตามขั้นตอนที่นำเสนอในบทความนี้ ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากลวดอัดแรงที่มีความยาวและลักษณะสูงต่ำของลวดที่เหมือนกันแต่ ใดๆใด ในทางตรงกันข้ามหากใช้ข้อมูลของลวดที่มียาวและลักษณะสูงต่ำของลวดที่มีความแตกต่างกันมากเท่าใด ก็ยิ่งส่งผลทำให้ค่าที่คำนวณได้มีความเชื่อมั่นที่สูงมากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากการสุ่มเก็บตัวอย่างที่หลากหลายมากขึ้น

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลการดึงลวดซึ่งรวมไปถึงค่าแรงที่ใช้ดึงลวดว่าอยู่ในระดับ 75.8%, 77.5% หรือ 80% (สำหรับบริษัทรับเหมางานลวดอัดแรง CPAC) และ 77.5% หรือ 80% (สำหรับบริษัทรับเหมางานลวดอัดแรง Post-Ten) ของแรงดึงประลัยที่ระบุ (270 ksi หรือ 19,000 ksc) และค่าระยะยืดของเส้นลวด (Elongation) ของการดึงลวดครั้งสุดท้ายของลวดแต่ละเส้น และได้นำแบบ Shop drawing ที่แสดงถึงระยะสูงต่ำของลวด (Profile) และความยาวของแต่ละช่วง (Span) มาใช้คำนวณค่าความยาวรวม และการเปลี่ยนมุมรวมของลวดแต่ละเส้น รวมทั้งหมด 624 เส้น และได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากโปรแกรม Microsoft Excel Analysis Tool Pack Add-ins โดยกำหนดให้ค่าตัดแกน (Intercept) เท่ากับศูนย์ ได้ผลดังแสดงในภาพประกอบที่ 5.1 สำหรับข้อมูลที่เก็บได้จากอาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (CPAC) และภาพประกอบที่ 5.2 สำหรับข้อมูลที่เก็บได้จากอาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนา-ตราด กม. 25 (Post-Ten) ส่วนข้อมูลทั้งหมดที่เก็บได้แสดงไว้ในภาคผนวก

จากภาพประกอบที่ 4.1 และ 4.2 นำค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต้นทั้งสองคือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจากความคด μ และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจากความโค้ง μ_c มาใส่ไว้ในตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจากความคด κ และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจากความโค้งที่ได้จากสมการถดถอย

อาคาร	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจาก		R ²
	ความคด (ft ⁻¹)	ความโค้ง (rad ⁻¹)	
โรงแรม 4 ชั้น ซอยหัว หิน 10 (CPAC)	0.0034	0.536	0.829
อาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนาตราด กม. 25 (Post-Ten)	0.0040	0.578	0.975
ค่าที่ ACI318-11 แนะนำ	0.0005-0.0020	0.15-0.25	NA

SUMMARY
OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.910718954
R Square	0.829409014
Adjusted R Square	0.826907751
Standard Error	0.122023181
Observations	470

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	33.87998497	16.93999248	1137.702018	3.0325E-180
Residual	468	6.968359342	0.014889657		
Total	470	40.84834431			

	Standard Error		t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Coefficients	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Intercept	0							
X Variable 1	0.003487354	0.000173258	20.12815032	2.26924E-65	0.003146895	0.003827813	0.003146895	0.003827813
X Variable 2	0.535759267	0.095102048	5.633519744	3.05203E-08	0.348879389	0.722639145	0.348879389	0.722639145

ภาพประกอบที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอย จากอาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (ใช้บริษัทรับเหมางานลาวอโต้แรง CPAC)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.987438351
R Square	0.975034497
Adjusted R Square	0.968291303
Standard Error	0.103271732
Observations	154

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	63.31201949	31.65600975	2968.200629	6.1397E-122
Residual	152	1.621087683	0.010665051		
Total	154	64.93310718			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
X Variable 1	0.004013212	0.000467465	8.585047434	9.97618E-15	0.003089644	0.00493678	0.003089644	0.00493678
X Variable 2	0.578122207	0.031302165	18.46908072	1.11089E-40	0.516278711	0.639965702	0.516278711	0.639965702

ภาพประกอบที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอย จากอาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนาตราด กม. 25 (ใช้บริษัทรับเหมางานลาวอัดแรง Post-Ten)

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการเสนอวิธีใหม่อย่างง่ายสำหรับประมาณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของการดึงลวดอัดแรง สำหรับลวดอัดแรงที่หลังตีเกลียว 7 เส้นมัดรวมกัน ในท่อร้อยแบบอัดฉีดน้ำปูน (Grouted tendons in metal sheathing: 7-wire strands) โดยใช้ผลของการวัดค่าจากขั้นตอนการดึงลวดมาตรฐาน โดยไม่ต้องการฝังลวดพิเศษเฉพาะเพื่อใช้วัดค่าดังกล่าวอย่างที่มีผู้เคยปฏิบัติมาในอดีต ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลการดึงลวด โดยได้ไปที่สถานที่ก่อสร้างจริงในวันที่ดึงลวดด้วยตนเอง สองแห่งคือ (1) อาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 ซึ่งใช้บริษัทรับเหมางานลวดอัดแรง CPAC สำหรับการออกแบบและบริการวางและดึงลวด ซึ่งได้ข้อมูลการดึงลวดจำนวน 470 เส้นและ (2) อาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนา-ตราด กม. 25 ซึ่งใช้บริษัทรับเหมางานลวดอัดแรง Post-Ten สำหรับการออกแบบและบริการวางและดึงลวด ซึ่งได้ข้อมูลการดึงลวด 154 เส้น

5.2 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

1. จากผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ด้วยวิธีใหม่อย่างง่าย จากสถานที่ก่อสร้าง 2 แห่งซึ่งใช้บริการวางและดึงลวดจากผู้รับเหมาที่แตกต่างกันได้ผลดังนี้คือ (1) จากอาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความคด (Wobble Coefficient) 0.0035 ต่อฟุต และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความโค้ง (Curvature Coefficient) 0.536 ต่อเรเดียน (2) จากอาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอย บางนาตราด 25 ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความคด 0.0040 ต่อฟุต และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความโค้ง 0.518 ต่อเรเดียน
2. เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังกล่าวระหว่างที่ได้จากสถานที่ก่อสร้าง ที่ซอยหัวหิน 10 และซอยบางนา-ตราด 25 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความคด จากทั้งสองโครงการค่าต่างกัน 16.2% ส่วนค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความคด จากทั้งสองโครงการค่าต่างกัน 7.5%
3. เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังกล่าวกับค่าที่แนะนำไว้ในมาตรฐาน ACI318-11 กรณี Grouted tendons in metal sheathing: 7-wire strands ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

- ความคด ในช่วง 0.0005 ถึง 0.0020 ต่อฟุต และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความโค้ง ในช่วง 0.15 ถึง 0.25 ต่อเรเดียน ค่าสัมประสิทธิ์ที่วัดได้สำหรับงานวิจัยนี้จากโครงการทั้งสอง มีค่าสูงกว่าช่วงค่าสูงสุดที่ให้ไว้โดย ACI318-11 โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความคดที่วัดได้มีค่าเป็น 1.70 (ขอยหัวหิน 10) และ 2.00 (ขอยบางนา-ตราด กม. 25) เท่าของค่าช่วงบนของมาตรฐาน ACI318-11 และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความโค้งที่วัดได้มีค่าเป็น 2.14 (ขอยหัวหิน 10) และ 2.31 (ขอยบางนา-ตราด กม. 25) เท่าของค่าช่วงบนของมาตรฐาน ACI318-11
4. ค่าสัมประสิทธิ์ที่หามาได้ค่าที่สูงกว่าค่าที่แนะนำไว้ในมาตรฐาน ACI318-11 ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บในประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้นอาจเป็นไปได้อยู่อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่างคือ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเป็นการวัดโดยอ้างอิงจากการสมมุติว่าความคดอาจเกิดขึ้นได้ในเส้นลวดที่ตั้งใจจะวาง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของท่อร้อยลวดว่า เมื่อถูกเหยียบหรือทับแล้วเกิดการแอ่นตัวมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงแสดงว่าการวางลวดในโครงการที่ศึกษามีค่าความคดโดยเฉลี่ยมากกว่าของข้อมูลจากประเทศสหรัฐอเมริกา และ (2) วัสดุที่ใช้ทำท่อร้อยลวดและเส้นลวดอัดแรง อาจมีผิวสัมผัสหรือมีรูปร่างลักษณะที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่าที่ใช้ในการวัดค่าของประเทศสหรัฐอเมริกา หรืออาจมีเศษหินเศษปูนติดอยู่ในท่อร้อยลวดในปริมาณที่มากกว่าจึงมีผลทำให้เกิดแรงเสียดทานในระดับที่สูงกว่า ซึ่งทางมาตรฐาน ACI318-11 ก็ไม่ได้รับประกันถึงความเที่ยงตรง และแนะนำให้ใช้ค่าของผู้ผลิตระบบลวดอัดแรงนั้นๆ แทน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ออกแบบ

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่หามาได้ มีค่าแตกต่างจากที่มาตรฐาน ACI318-11 แนะนำอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงแนะนำว่าองค์กรวิศวกรรมควบคุม ควรจะออกข้อกำหนดในมาตรฐานการออกแบบให้ผู้ผลิตลวดอัดแรงและระบบท่อร้อย รวมไปถึงบริษัทผู้รับเหมาวางลวดอัดแรง หากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับใช้เฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแต่ละบริษัทอาจใช้วัสดุและมีขั้นตอนมาตรฐานในการควบคุมงานที่แตกต่างกัน โดยมีผู้เชี่ยวชาญอิสระคอยตรวจสอบดูแลขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบ

ควรมีการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับผู้รับเหมาวางและติดตั้งลวดบริษัทอื่นๆ ในประเทศไทยเช่น C-Post เนื่องจากบริษัทผู้รับเหมาต่างกัน อาจมีขั้นตอนและวิธีปฏิบัติที่ แตกต่างกัน

บริษัทรับเหมางานลวดอัดแรง CPAC มีขั้นตอนดิ่งลวดเพื่อให้ได้แรงดิ่งที่กำหนดสามระดับคือ 75.8%, 77.5% และ 80% ของแรงดิ่งประลัย ในขณะที่บริษัท Post-Ten มีขั้นตอนดิ่งลวดเพื่อให้ได้แรงดิ่งที่กำหนดสองระดับคือ 77.5% และ 80%

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย. 2540. **ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง (มอก.95-2540).**
กทม.

ACI Committee 318. 2011. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-11).** Farmington Hill, MI : American Concrete Institute.

Devalapura, R. K. and Tadros, M. K. 1992. "Stress-Strain Modeling of 270 ksi Low-Relaxation Prestressing Strands." **PCI Journal.** Mar-Apr. Portland Cement Association. pp100-106.

Ning Ming-zhe and Li De-jian. 2011. "A new measuring method of friction losses of prestressed tendon in post-tensioning." **Mechanic Automation and Control Engineering (MACE) Second International Conference on Digital Object Identifier.** pp6300–6303.

ภาคผนวก

ตารางที่ ผ.1 ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (ใช้ปริมาตรทั้งหมดงานลวดอัดแรง CPAC) ชั้น 3 โซน A

Line	No.	%fpu	Elongati on (mm.)	strain	stress (ksi.)	F_jack (kip.)	F_end (kip.)	ln(F_jack /F_end)	ΣL (mm.)	ΣL (ft.)	Σα (radian)
x1	115	0.758	52	0.00689	186.72	31.31	25.82	0.19271	7550	24.77	0.04531
	116	0.758	54	0.00715	192.37	31.31	27.55	0.12800	7550	24.77	0.04531
x2	117	0.758	52	0.00684	185.73	31.31	25.52	0.20461	7600	24.93	0.03804
	118	0.758	52	0.00684	185.73	31.31	25.52	0.20461	7600	24.93	0.03804
	119	0.758	54	0.00711	191.39	31.31	27.25	0.13891	7600	24.93	0.03804
	120	0.758	55	0.00724	194.09	31.31	28.08	0.10899	7600	24.93	0.03804
x3	111	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	112	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	113	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	114	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.09955
	75	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.09955
	76	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	77	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	78	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
x4	109	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	110	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	87	0.775	88	0.00667	181.77	32.02	23.61	0.30464	13200	43.31	0.09955
	88	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	89	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	90	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.09955
	63	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.09955

	64	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	65	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	66	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
x5	107	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.09955
	108	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	103	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.09955
	104	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	105	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	106	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.09955
	91	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	92	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	93	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	94	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.09955
	83	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	84	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	85	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.09955
	86	0.775	88	0.00667	181.77	32.02	23.61	0.30464	13200	43.31	0.09955
	79	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	80	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	81	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	82	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.09955
	67	0.775	87	0.00659	180.03	32.02	23.07	0.32754	13200	43.31	0.09955
	68	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	69	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	70	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.09955

	59	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	60	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	61	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	62	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.09955
	55	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	56	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	57	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	58	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.09955
x6	101	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	102	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	95	0.775	87	0.00659	180.03	32.02	23.07	0.32754	13200	43.31	0.09955
	96	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	97	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	98	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	99	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.09955
	100	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.09955
	71	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	72	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	73	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	74	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.09955
x7	51	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09873
	52	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09873
	53	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.09873
	54	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.09873
x8	47	0.758	58	0.00686	186.21	31.31	25.67	0.19886	8450	27.72	0.02245

	48	0.758	58	0.00686	186.21	31.31	25.67	0.19886	8450	27.72	0.02245
	49	0.758	60	0.00710	191.29	31.31	27.22	0.14001	8450	27.72	0.02245
	50	0.775	59	0.00698	188.78	32.02	25.75	0.21770	8450	27.72	0.02245
x9	43	0.758	60	0.00691	187.27	31.31	25.99	0.18625	8680	28.48	0.02200
	44	0.758	62	0.00714	192.17	31.31	27.49	0.13017	8680	28.48	0.02200
	45	0.758	62	0.00714	192.17	31.31	27.49	0.13017	8680	28.48	0.02200
	46	0.775	61	0.00703	189.75	32.02	26.05	0.20623	8680	28.48	0.02200
x10	41	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.06005
	42	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.06005
x11	37	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.06005
	38	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.06005
	39	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.06005
	40	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.06005
x12	33	0.775	87	0.00657	179.57	32.02	22.93	0.33369	13240	43.44	0.49435
	34	0.758	88	0.00665	181.31	31.31	24.17	0.25898	13240	43.44	0.49435
	35	0.758	90	0.00680	184.74	31.31	25.22	0.21655	13240	43.44	0.49435
	36	0.775	91	0.00687	186.41	32.02	25.03	0.24630	13240	43.44	0.49435
x13	29	0.758	78	0.00663	180.99	31.31	24.07	0.26303	11760	38.58	0.04456
	30	0.758	78	0.00663	180.99	31.31	24.07	0.26303	11760	38.58	0.04456
	31	0.758	80	0.00680	184.85	31.31	25.25	0.21516	11760	38.58	0.04456
	32	0.775	81	0.00689	186.73	32.02	25.12	0.24237	11760	38.58	0.04456
x14	25	0.758	58	0.00711	191.44	31.31	27.27	0.13830	8160	26.77	0.01907
	26	0.758	58	0.00711	191.44	31.31	27.27	0.13830	8160	26.77	0.01907
	27	0.758	60	0.00735	196.40	31.31	28.79	0.08411	8160	26.77	0.01907
	28	0.775	59	0.00723	193.96	32.02	27.34	0.15796	8160	26.77	0.01907

x15	21	0.775	57	0.00699	189.03	32.02	25.83	0.21474	8150	26.74	0.01834
	22	0.758	60	0.00736	196.58	31.31	28.84	0.08223	8150	26.74	0.01834
	23	0.758	60	0.00736	196.58	31.31	28.84	0.08223	8150	26.74	0.01834
	24	0.758	58	0.00712	191.62	31.31	27.32	0.13627	8150	26.74	0.01834
x17	17	0.758	68	0.00714	192.01	31.31	27.44	0.13190	9530	31.27	0.02743
	18	0.758	68	0.00714	192.01	31.31	27.44	0.13190	9530	31.27	0.02743
	19	0.758	66	0.00693	187.56	31.31	26.08	0.18290	9530	31.27	0.02743
	20	0.775	65	0.00682	185.25	32.02	24.67	0.26061	9530	31.27	0.02743
x18	13	0.758	72	0.00661	180.37	31.31	23.88	0.27103	10900	35.76	0.05872
	14	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.05872
	15	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.05872
	16	0.775	75	0.00688	186.58	32.02	25.08	0.24425	10900	35.76	0.05872
x19	9	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
	10	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
	11	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.04544
	12	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
x20	5	0.775	75	0.00688	186.58	32.02	25.08	0.24425	10900	35.76	0.04544
	6	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
	7	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
	8	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.04544
x21	1	0.775	75	0.00688	186.58	32.02	25.08	0.24425	10900	35.76	0.05872
	2	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.05872
	3	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.05872
	4	0.775	73	0.00670	182.47	32.02	23.82	0.29563	10900	35.76	0.05872
ey1	173	0.758	68	0.00687	186.31	31.31	25.70	0.19760	9900	32.48	0.04564

	174	0.758	68	0.00687	186.31	31.31	25.70	0.19760	9900	32.48	0.04564
	175	0.758	70	0.00707	190.66	31.31	27.03	0.14708	9900	32.48	0.04564
	176	0.758	69	0.00697	188.51	31.31	26.37	0.17174	9900	32.48	0.04564
ey2	171	0.775	79	0.00658	179.85	32.02	23.02	0.32987	12000	39.37	0.05320
	172	0.758	80	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	12000	39.37	0.05320
y1	127	0.775	173	0.00630	173.06	32.02	20.94	0.42454	27471	90.13	0.12950
	128	0.758	178	0.00648	177.42	31.31	22.98	0.30952	27471	90.13	0.12950
	129	0.758	174	0.00633	173.94	31.31	21.91	0.35698	27471	90.13	0.12950
	130	0.8	176	0.00641	175.69	33.05	20.71	0.46721	27471	90.13	0.12950
y2	131	0.8	250	0.00649	177.55	33.05	21.28	0.44008	38550	126.48	0.15649
	132	0.775	247	0.00641	175.70	32.02	21.75	0.38663	38550	126.48	0.15649
	133	0.758	246	0.00638	175.08	31.31	22.26	0.34118	38550	126.48	0.15649
	134	0.758	250	0.00649	177.55	31.31	23.02	0.30778	38550	126.48	0.15649
	135	0.775	250	0.00649	177.55	32.02	22.32	0.36095	38550	126.48	0.15649
	136	0.758	250	0.00649	177.55	31.31	23.02	0.30778	38550	126.48	0.15649
	137	0.758	254	0.00659	179.98	31.31	23.76	0.27599	38550	126.48	0.15649
	138	0.775	246	0.00638	175.08	32.02	21.56	0.39541	38550	126.48	0.15649
	139	0.758	244	0.00633	173.83	31.31	21.88	0.35850	38550	126.48	0.15649
	140	0.758	248	0.00643	176.32	31.31	22.64	0.32427	38550	126.48	0.15649
	141	0.775	248	0.00643	176.32	32.02	21.94	0.37796	38550	126.48	0.15649
	142	0.775	250	0.00649	177.55	32.02	22.32	0.36095	38550	126.48	0.15649
y3	143	0.758	238	0.00618	170.26	31.31	20.79	0.40967	38490	126.28	0.20105
	144	0.758	240	0.00624	171.54	31.31	21.18	0.39105	38490	126.28	0.20105
	145	0.758	236	0.00613	168.98	31.31	20.39	0.42878	38490	126.28	0.20105
	146	0.775	240	0.00624	171.54	32.02	20.48	0.44695	38490	126.28	0.20105

	147	0.775	238	0.00618	170.26	32.02	20.09	0.46622	38490	126.28	0.20105
	148	0.758	246	0.00639	175.32	31.31	22.33	0.33790	38490	126.28	0.20105
	149	0.758	246	0.00639	175.32	31.31	22.33	0.33790	38490	126.28	0.20105
	150	0.758	248	0.00644	176.56	31.31	22.71	0.32105	38490	126.28	0.20105
	151	0.758	236	0.00613	168.98	31.31	20.39	0.42878	38490	126.28	0.20105
	152	0.758	240	0.00624	171.54	31.31	21.18	0.39105	38490	126.28	0.20105
	153	0.758	246	0.00639	175.32	31.31	22.33	0.33790	38490	126.28	0.20105
	154	0.775	244	0.00634	174.07	32.02	21.25	0.40987	38490	126.28	0.20105
y4	155	0.775	143	0.00622	171.10	32.02	20.34	0.45357	23000	75.46	0.10586
	156	0.758	146	0.00635	174.27	31.31	22.01	0.35232	23000	75.46	0.10586
	157	0.758	146	0.00635	174.27	31.31	22.01	0.35232	23000	75.46	0.10586
	158	0.758	144	0.00626	172.16	31.31	21.37	0.38208	23000	75.46	0.10586
	159	0.8	144	0.00626	172.16	33.05	19.63	0.52069	23000	75.46	0.10586
	160	0.775	142	0.00617	170.03	32.02	20.01	0.46980	23000	75.46	0.10586
	161	0.758	146	0.00635	174.27	31.31	22.01	0.35232	23000	75.46	0.10586
	162	0.758	146	0.00635	174.27	31.31	22.01	0.35232	23000	75.46	0.10586
	163	0.758	140	0.00609	167.87	31.31	20.06	0.44554	23000	75.46	0.10586
	164	0.758	142	0.00617	170.03	31.31	20.72	0.41313	23000	75.46	0.10586
	165	0.758	146	0.00635	174.27	31.31	22.01	0.35232	23000	75.46	0.10586
	166	0.775	143	0.00622	171.10	32.02	20.34	0.45357	23000	75.46	0.10586
y5	167	0.758	146	0.00631	173.28	31.31	21.71	0.36624	23150	75.95	0.08110
	168	0.758	144	0.00622	171.17	31.31	21.07	0.39641	23150	75.95	0.08110
	169	0.775	145	0.00626	172.23	32.02	20.69	0.43673	23150	75.95	0.08110
	170	0.8	146	0.00631	173.28	33.05	19.98	0.50346	23150	75.95	0.08110

ตารางที่ ๗.2 ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (ใช้ปริมาตรทั้งหมดงานลวดอัดแรง CPAC) ชั้น 3 โซน B

Line	No.	%fpu	Elongatio n (mm.)	strain	stress (ksi.)	F_jack (kip.)	F_end (kip.)	ln(F_jack /F_end)	ΣL (mm.)	ΣL (ft.)	Σα (radian)
x1	115	0.758	54	0.00715	192.37	31.31	27.55	0.12800	7550	24.77	0.02075
	116	0.758	52	0.00689	186.72	31.31	25.82	0.19271	7550	24.77	0.02075
x2	117	0.758	56	0.00737	196.71	31.31	28.88	0.08090	7600	24.93	0.02471
	118	0.758	56	0.00737	196.71	31.31	28.88	0.08090	7600	24.93	0.02471
	119	0.758	54	0.00711	191.39	31.31	27.25	0.13891	7600	24.93	0.02471
	120	0.758	54	0.00711	191.39	31.31	27.25	0.13891	7600	24.93	0.02471
x3	111	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.07632
	112	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.07632
	113	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.07632
	114	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.07632
x4	109	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.07632
	110	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.07632
	87	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.07632
	88	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.07632
	89	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.07632
	90	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.07632
	63	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.07632
	64	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.07632
	65	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.07632
	66	0.775	87	0.00659	180.03	32.02	23.07	0.32754	13200	43.31	0.07632
x5	107	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025

108	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
103	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
104	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
105	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.10025
106	0.775	87	0.00659	180.03	32.02	23.07	0.32754	13200	43.31	0.10025
91	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
92	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
93	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
94	0.775	87	0.00659	180.03	32.02	23.07	0.32754	13200	43.31	0.10025
83	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
84	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
85	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
86	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.10025
79	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
80	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
81	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
82	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.10025
67	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
68	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
69	0.758	89	0.00674	183.50	31.31	24.84	0.23170	13200	43.31	0.10025
70	0.758	85	0.00644	176.47	31.31	22.69	0.32228	13200	43.31	0.10025
59	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
60	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
61	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
62	0.775	86	0.00652	178.26	32.02	22.53	0.35128	13200	43.31	0.10025

	55	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
	56	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
	57	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
	58	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
	59	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
x6	99	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	100	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	101	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.09955
	102	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	95	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	96	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	97	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	98	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.09955
	71	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	72	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.09955
	73	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.09955
	74	0.775	88	0.00667	181.77	32.02	23.61	0.30464	13200	43.31	0.09955
x7	75	0.775	85	0.00644	176.47	32.02	21.98	0.37591	13200	43.31	0.10025
	76	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.10025
	77	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.10025
	78	0.775	89	0.00674	183.50	32.02	24.13	0.28256	13200	43.31	0.10025
x8	51	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.07587
	52	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.07587
	53	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.07587
	54	0.758	86	0.00652	178.26	31.31	23.23	0.29841	13200	43.31	0.07587

x9	47	0.758	58	0.00686	186.21	31.31	25.67	0.19886	8450	27.72	0.02316
	48	0.758	58	0.00686	186.21	31.31	25.67	0.19886	8450	27.72	0.02316
	49	0.758	60	0.00710	191.29	31.31	27.22	0.14001	8450	27.72	0.02316
	50	0.758	60	0.00710	191.29	31.31	27.22	0.14001	8450	27.72	0.02316
x10	43	0.758	60	0.00692	187.44	31.31	26.05	0.18420	8670	28.44	0.02269
	44	0.758	60	0.00692	187.44	31.31	26.05	0.18420	8670	28.44	0.02269
	45	0.758	62	0.00715	192.34	31.31	27.54	0.12828	8670	28.44	0.02269
	46	0.775	61	0.00704	189.92	32.02	26.10	0.20421	8670	28.44	0.02269
x11	41	0.758	88	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	13200	43.31	0.06525
	42	0.775	90	0.00682	185.19	32.02	24.65	0.26126	13200	43.31	0.06525
x12	37	0.758	86	0.00647	177.22	31.31	22.92	0.31221	13290	43.60	0.06394
	38	0.758	86	0.00647	177.22	31.31	22.92	0.31221	13290	43.60	0.06394
	39	0.758	88	0.00662	180.74	31.31	23.99	0.26630	13290	43.60	0.06394
	40	0.775	89	0.00670	182.46	32.02	23.82	0.29577	13290	43.60	0.06394
x13	33	0.775	87	0.00655	178.99	32.02	22.76	0.34142	13290	43.60	0.04527
	34	0.758	88	0.00662	180.74	31.31	23.99	0.26630	13290	43.60	0.04527
	35	0.758	90	0.00677	184.16	31.31	25.04	0.22353	13290	43.60	0.04527
	36	0.775	91	0.00685	185.84	32.02	24.85	0.25329	13290	43.60	0.04527
x14	29	0.758	78	0.00663	180.99	31.31	24.07	0.26303	11760	38.58	0.04468
	30	0.758	80	0.00680	184.85	31.31	25.25	0.21516	11760	38.58	0.04468
	31	0.758	82	0.00697	188.58	31.31	26.39	0.17097	11760	38.58	0.04468
	32	0.775	81	0.00689	186.73	32.02	25.12	0.24237	11760	38.58	0.04468
x15	25	0.775	57	0.00699	188.85	32.02	25.77	0.21692	8160	26.77	0.01907
	26	0.758	58	0.00711	191.44	31.31	27.27	0.13830	8160	26.77	0.01907
	27	0.758	58	0.00711	191.44	31.31	27.27	0.13830	8160	26.77	0.01907

	28	0.775	59	0.00723	193.96	32.02	27.34	0.15796	8160	26.77	0.01907
x16	21	0.758	58	0.00712	191.62	31.31	27.32	0.13627	8150	26.74	0.01832
	22	0.758	58	0.00712	191.62	31.31	27.32	0.13627	8150	26.74	0.01832
	23	0.758	60	0.00736	196.58	31.31	28.84	0.08223	8150	26.74	0.01832
	24	0.758	58	0.00712	191.62	31.31	27.32	0.13627	8150	26.74	0.01832
x17	17	0.758	64	0.00672	183.05	31.31	24.70	0.23721	9520	31.23	0.03795
	18	0.758	64	0.00672	183.05	31.31	24.70	0.23721	9520	31.23	0.03795
	19	0.758	66	0.00693	187.71	31.31	26.13	0.18105	9520	31.23	0.03795
	20	0.775	63	0.00662	180.65	32.02	23.26	0.31936	9520	31.23	0.03795
x18	13	0.758	72	0.00661	180.37	31.31	23.88	0.27103	10900	35.76	0.05872
	14	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.05872
	15	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.05872
	16	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.05872
x19	9	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
	10	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.04544
	11	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
	12	0.775	73	0.00670	182.47	32.02	23.82	0.29563	10900	35.76	0.04544
x20	5	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
	6	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04544
	7	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.04544
	8	0.775	75	0.00688	186.58	32.02	25.08	0.24425	10900	35.76	0.04544
x21	1	0.775	75	0.00688	186.58	32.02	25.08	0.24425	10900	35.76	0.05872
	2	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.05872
	3	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.05872
	4	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.05872

y1	167	0.775	143	0.00618	170.11	32.02	20.04	0.46860	23150	75.95	0.08677
	168	0.758	146	0.00631	173.28	31.31	21.71	0.36624	23150	75.95	0.08677
	169	0.758	148	0.00639	175.36	31.31	22.35	0.33731	23150	75.95	0.08677
	170	0.775	145	0.00626	172.23	32.02	20.69	0.43673	23150	75.95	0.08677
y2	163	0.8	140	0.00610	168.20	33.05	18.42	0.58445	22950	75.30	0.10608
	164	0.758	144	0.00627	172.50	31.31	21.47	0.37733	22950	75.30	0.10608
	165	0.758	146	0.00636	174.61	31.31	22.12	0.34769	22950	75.30	0.10608
	166	0.758	141	0.00614	169.28	31.31	20.49	0.42420	22950	75.30	0.10608
	159	0.758	144	0.00627	172.50	31.31	21.47	0.37733	22950	75.30	0.10608
	160	0.758	140	0.00610	168.20	31.31	20.16	0.44051	22950	75.30	0.10608
	161	0.758	146	0.00636	174.61	31.31	22.12	0.34769	22950	75.30	0.10608
	162	0.775	142	0.00619	170.36	32.02	20.12	0.46474	22950	75.30	0.10608
	155	0.758	146	0.00636	174.61	31.31	22.12	0.34769	22950	75.30	0.10608
	156	0.758	140	0.00610	168.20	31.31	20.16	0.44051	22950	75.30	0.10608
	157	0.775	140	0.00610	168.20	32.02	19.45	0.49815	22950	75.30	0.10608
	158	0.758	142	0.00619	170.36	31.31	20.82	0.40824	22950	75.30	0.10608
y3	151	0.758	246	0.00638	175.04	31.31	22.25	0.34172	38560	126.51	0.17842
	152	0.758	246	0.00638	175.04	31.31	22.25	0.34172	38560	126.51	0.17842
	153	0.758	248	0.00643	176.28	31.31	22.63	0.32481	38560	126.51	0.17842
	154	0.775	248	0.00643	176.28	32.02	21.93	0.37852	38560	126.51	0.17842
	147	0.8	250	0.00648	177.51	33.05	21.27	0.44065	38560	126.51	0.17842
	148	0.775	245	0.00635	174.42	32.02	21.36	0.40487	38560	126.51	0.17842
	149	0.758	246	0.00638	175.04	31.31	22.25	0.34172	38560	126.51	0.17842
	150	0.775	249	0.00646	176.90	32.02	22.12	0.36995	38560	126.51	0.17842
	143	0.758	248	0.00643	176.28	31.31	22.63	0.32481	38560	126.51	0.17842

	144	0.758	246	0.00638	175.04	31.31	22.25	0.34172	38560	126.51	0.17842
	145	0.758	250	0.00648	177.51	31.31	23.01	0.30831	38560	126.51	0.17842
	146	0.775	250	0.00648	177.51	32.02	22.30	0.36149	38560	126.51	0.17842
y4	139	0.758	250	0.00649	177.55	31.31	23.02	0.30778	38550	126.48	0.15649
	140	0.758	248	0.00643	176.32	31.31	22.64	0.32427	38550	126.48	0.15649
	141	0.758	244	0.00633	173.83	31.31	21.88	0.35850	38550	126.48	0.15649
	142	0.775	245	0.00636	174.46	32.02	21.37	0.40430	38550	126.48	0.15649
	135	0.758	246	0.00638	175.08	31.31	22.26	0.34118	38550	126.48	0.15649
	136	0.758	250	0.00649	177.55	31.31	23.02	0.30778	38550	126.48	0.15649
	137	0.758	246	0.00638	175.08	31.31	22.26	0.34118	38550	126.48	0.15649
	138	0.775	250	0.00649	177.55	32.02	22.32	0.36095	38550	126.48	0.15649
	131	0.758	242	0.00628	172.57	31.31	21.49	0.37627	38550	126.48	0.15649
	132	0.758	248	0.00643	176.32	31.31	22.64	0.32427	38550	126.48	0.15649
	133	0.775	247	0.00641	175.70	32.02	21.75	0.38663	38550	126.48	0.15649
	134	0.758	248	0.00643	176.32	31.31	22.64	0.32427	38550	126.48	0.15649
y6	125	0.758	40	0.00702	189.54	31.31	26.69	0.15991	5700	18.70	0.31501
	126	0.758	42	0.00737	196.71	31.31	28.88	0.08090	5700	18.70	0.31501
	121	0.758	40	0.00702	189.54	31.31	26.69	0.15991	5700	18.70	0.31501
	122	0.758	40	0.00702	189.54	31.31	26.69	0.15991	5700	18.70	0.31501
	123	0.758	42	0.00737	196.71	31.31	28.88	0.08090	5700	18.70	0.31501
	124	0.758	40	0.00702	189.54	31.31	26.69	0.15991	5700	18.70	0.31501
ey2	171	0.775	79	0.00658	179.85	32.02	23.02	0.32987	12000	39.37	0.05320
	172	0.758	80	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	12000	39.37	0.05320

ตารางที่ ผ.3 ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคารโรงแรม 4 ชั้น ซอยหัวหิน 10 (ใช้ปริมาตรทั้งหมดงานลวดอัดแรง CPAC) ชั้น 4 โซน B

Line	No.	%fpu	Elongati on (mm.)	strain	stress (ksi.)	F_jack (kip.)	F_end (kip.)	ln(F_jack /F_end)	ΣL (mm.)	ΣL (ft.)	Σα (radian)
x1	1	0.758	44	0.00710	191.21	31.31	27.20	0.14090	6200	20.34	0.00490
x2	3	0.758	44	0.00710	191.21	31.31	27.20	0.14090	6200	20.34	0.02471
	4	0.758	44	0.00710	191.21	31.31	27.20	0.14090	6200	20.34	0.02471
x3	85	0.775	87	0.00672	182.95	32.02	23.97	0.28955	12950	42.49	0.07632
	86	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.07632
	87	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.07632
	88	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.07632
x4	37	0.775	87	0.00672	182.95	32.02	23.97	0.28955	12950	42.49	0.07632
	38	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.07632
	39	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.07632
	40	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.07632
	61	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.07632
	62	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.07632
	63	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.07632
	64	0.775	89	0.00687	186.40	32.02	25.02	0.24644	12950	42.49	0.07632
	83	0.775	89	0.00687	186.40	32.02	25.02	0.24644	12950	42.49	0.07632
	84	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.07632
x5	29	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	30	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.10025
	31	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.10025
	32	0.775	89	0.00687	186.40	32.02	25.02	0.24644	12950	42.49	0.10025

	41	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	42	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	43	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	44	0.775	89	0.00687	186.40	32.02	25.02	0.24644	12950	42.49	0.10025
	53	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	54	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.10025
	55	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.10025
	56	0.775	89	0.00687	186.40	32.02	25.02	0.24644	12950	42.49	0.10025
	57	0.775	87	0.00672	182.95	32.02	23.97	0.28955	12950	42.49	0.10025
	58	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	59	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.10025
	60	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.10025
	77	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	78	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	79	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	80	0.775	89	0.00687	186.40	32.02	25.02	0.24644	12950	42.49	0.10025
	81	0.758	86	0.00664	181.18	31.31	24.13	0.26061	12950	42.49	0.10025
	82	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.10025
x6	45	0.775	87	0.00672	182.95	32.02	23.97	0.28955	12950	42.49	0.09955
	46	0.775	91	0.00703	189.74	32.02	26.05	0.20639	12950	42.49	0.09955
	47	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.09955
	48	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.09955
	69	0.775	87	0.00672	182.95	32.02	23.97	0.28955	12950	42.49	0.09955
	70	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.09955
	71	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.09955

	72	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.09955
	73	0.775	87	0.00672	182.95	32.02	23.97	0.28955	12950	42.49	0.09955
	74	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.09955
	75	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.09955
	76	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.09955
x7	49	0.775	87	0.00672	182.95	32.02	23.97	0.28955	12950	42.49	0.10025
	50	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.10025
	51	0.758	88	0.00680	184.69	31.31	25.20	0.21715	12950	42.49	0.10025
	52	0.758	90	0.00695	188.08	31.31	26.24	0.17674	12950	42.49	0.10025
x8	25	0.775	87	0.00520	144.80	32.02	12.29	0.95710	16730	54.89	0.07587
	26	0.758	88	0.00526	146.40	31.31	13.49	0.84235	16730	54.89	0.07587
	27	0.758	90	0.00538	149.59	31.31	14.46	0.77251	16730	54.89	0.07587
	28	0.758	90	0.00538	149.59	31.31	14.46	0.77251	16730	54.89	0.07587
x9	21	0.775	65	0.00681	184.93	32.02	24.57	0.26456	9550	31.33	0.02316
	22	0.758	66	0.00691	187.24	31.31	25.98	0.18662	9550	31.33	0.02316
	23	0.758	68	0.00712	191.70	31.31	27.35	0.13537	9550	31.33	0.02316
	24	0.758	68	0.00712	191.70	31.31	27.35	0.13537	9550	31.33	0.02316
x10	17	0.758	66	0.00676	183.79	31.31	24.93	0.22811	9770	32.05	0.02269
	18	0.758	68	0.00696	188.30	31.31	26.31	0.17415	9770	32.05	0.02269
	19	0.758	68	0.00696	188.30	31.31	26.31	0.17415	9770	32.05	0.02269
	20	0.775	69	0.00706	190.49	32.02	26.27	0.19761	9770	32.05	0.02269
x11	15	0.758	92	0.00684	185.68	31.31	25.51	0.20513	13450	44.13	0.06916
	16	0.758	94	0.00699	188.92	31.31	26.50	0.16697	13450	44.13	0.06916
x12	11	0.758	94	0.00699	188.92	31.31	26.50	0.16697	13450	44.13	0.23685
	12	0.758	96	0.00714	192.06	31.31	27.46	0.13140	13450	44.13	0.23685

	13	0.758	96	0.00714	192.06	31.31	27.46	0.13140	13450	44.13	0.23685
	14	0.775	95	0.00706	190.51	32.02	26.28	0.19743	13450	44.13	0.23685
x13	7	0.758	94	0.00699	188.92	31.31	26.50	0.16697	13450	44.13	0.05470
	8	0.775	96	0.00714	192.06	32.02	26.76	0.17948	13450	44.13	0.05470
	9	0.758	96	0.00714	192.06	31.31	27.46	0.13140	13450	44.13	0.05470
	10	0.775	97	0.00721	193.59	32.02	27.22	0.16217	13450	44.13	0.05470
x14	117	0.758	78	0.00663	180.99	31.31	24.07	0.26303	11760	38.58	0.04237
	118	0.758	80	0.00680	184.85	31.31	25.25	0.21516	11760	38.58	0.04237
	119	0.758	80	0.00680	184.85	31.31	25.25	0.21516	11760	38.58	0.04237
	120	0.775	81	0.00689	186.73	32.02	25.12	0.24237	11760	38.58	0.04237
x15	93	0.758	58	0.00711	191.44	31.31	27.27	0.13830	8160	26.77	0.01907
	94	0.758	58	0.00711	191.44	31.31	27.27	0.13830	8160	26.77	0.01907
	95	0.758	60	0.00735	196.40	31.31	28.79	0.08411	8160	26.77	0.01907
	96	0.758	60	0.00735	196.40	31.31	28.79	0.08411	8160	26.77	0.01907
x16	97	0.775	57	0.00699	188.85	32.02	25.77	0.21692	8160	26.77	0.01832
	98	0.758	58	0.00711	191.44	31.31	27.27	0.13830	8160	26.77	0.01832
	99	0.758	60	0.00735	196.40	31.31	28.79	0.08411	8160	26.77	0.01832
	100	0.758	60	0.00735	196.40	31.31	28.79	0.08411	8160	26.77	0.01832
x18	105	0.758	64	0.00587	162.43	31.31	18.39	0.53221	10900	35.76	0.05872
	106	0.758	66	0.00606	167.07	31.31	19.81	0.45779	10900	35.76	0.05872
	107	0.758	66	0.00606	167.07	31.31	19.81	0.45779	10900	35.76	0.05872
	108	0.775	67	0.00615	169.36	32.02	19.81	0.48011	10900	35.76	0.05872
x19	89	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.04106
	90	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04106
	91	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04106

	92	0.775	77	0.00706	190.53	32.02	26.29	0.19717	10900	35.76	0.04106
x20	109	0.758	72	0.00661	180.37	31.31	23.88	0.27103	10900	35.76	0.04106
	110	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.04106
	111	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.04106
	112	0.775	75	0.00688	186.58	32.02	25.08	0.24425	10900	35.76	0.04106
x21	113	0.758	72	0.00661	180.37	31.31	23.88	0.27103	10900	35.76	0.05872
	114	0.758	74	0.00679	184.54	31.31	25.16	0.21889	10900	35.76	0.05872
	115	0.758	72	0.00661	180.37	31.31	23.88	0.27103	10900	35.76	0.05872
	116	0.758	76	0.00697	188.57	31.31	26.39	0.17105	10900	35.76	0.05872
ey1	173	0.758	80	0.00667	181.77	31.31	24.31	0.25315	12000	39.37	0.03304
	174	0.758	82	0.00683	185.53	31.31	25.46	0.20695	12000	39.37	0.03304
ey2	175	0.775	67	0.00677	184.07	32.02	24.31	0.27538	9900	32.48	0.05320
	176	0.758	68	0.00687	186.31	31.31	25.70	0.19760	9900	32.48	0.05320
	177	0.758	68	0.00687	186.31	31.31	25.70	0.19760	9900	32.48	0.05320
	178	0.758	70	0.00707	190.66	31.31	27.03	0.14708	9900	32.48	0.05320
y1	121	0.775	177	0.00612	168.65	32.02	19.59	0.49113	28930	94.91	0.11039
	122	0.758	174	0.00601	166.05	31.31	19.50	0.47363	28930	94.91	0.11039
	123	0.758	176	0.00608	167.79	31.31	20.03	0.44680	28930	94.91	0.11039
	124	0.758	176	0.00608	167.79	31.31	20.03	0.44680	28930	94.91	0.11039
	125	0.775	175	0.00605	166.92	32.02	19.06	0.51846	28930	94.91	0.11039
	126	0.758	174	0.00601	166.05	31.31	19.50	0.47363	28930	94.91	0.11039
	127	0.758	176	0.00608	167.79	31.31	20.03	0.44680	28930	94.91	0.11039
	128	0.758	176	0.00608	167.79	31.31	20.03	0.44680	28930	94.91	0.11039
y2	155	0.758	238	0.00639	175.23	31.31	22.31	0.33913	37260	122.24	0.13119
	156	0.758	242	0.00649	177.78	31.31	23.09	0.30471	37260	122.24	0.13119

157	0.758	246	0.00660	180.29	31.31	23.86	0.27199	37260	122.24	0.13119
158	0.758	246	0.00660	180.29	31.31	23.86	0.27199	37260	122.24	0.13119
159	0.758	240	0.00644	176.51	31.31	22.70	0.32170	37260	122.24	0.13119
160	0.758	250	0.00671	182.75	31.31	24.61	0.24090	37260	122.24	0.13119
161	0.758	238	0.00639	175.23	31.31	22.31	0.33913	37260	122.24	0.13119
162	0.758	242	0.00649	177.78	31.31	23.09	0.30471	37260	122.24	0.13119
163	0.758	246	0.00660	180.29	31.31	23.86	0.27199	37260	122.24	0.13119
164	0.758	246	0.00660	180.29	31.31	23.86	0.27199	37260	122.24	0.13119
165	0.758	240	0.00644	176.51	31.31	22.70	0.32170	37260	122.24	0.13119
166	0.758	242	0.00649	177.78	31.31	23.09	0.30471	37260	122.24	0.13119

ตารางที่ ๗.4 ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนา-ตราด กม. 25 (ใช้วิธีทับหมางานลวดอัดแรง Post-Ten) ชั้น 3

Line	No.	%fpu	Elongati on (mm.)	strain	stress (ksi.)	F1 (kip.)	F2 (kip.)	ln(F1/F2)	ΣL (mm.)	ΣL (ft.)	Σα (radian)
A	1	0.775	104	0.00594	164.24	32.02	18.24	0.56241	17500	57.41	0.4571
	2	0.775	103	0.00589	162.79	32.02	17.80	0.58709	17500	57.41	0.4571
	3	0.775	104	0.00594	164.24	32.02	18.24	0.56241	17500	57.41	0.4571
A/1	4	0.775	100	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	17500	57.41	0.5943
	5	0.775	102	0.00583	161.33	32.02	17.35	0.61254	17500	57.41	0.5943
	6	0.775	100	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	17500	57.41	0.5943
	7	0.775	101	0.00577	159.86	32.02	16.90	0.63881	17500	57.41	0.5943
B	8	0.775	117	0.00557	154.66	32.02	15.31	0.73773	21000	68.90	0.8914
	9	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.8914
B	10	0.775	119	0.00567	157.14	32.02	16.07	0.68920	21000	68.90	0.8914
	11	0.775	121	0.00576	159.61	32.02	16.83	0.64327	21000	68.90	0.8914
C	12	0.775	133	0.00575	159.18	32.02	16.69	0.65117	23150	75.95	0.8016
	13	0.775	132	0.00570	158.06	32.02	16.35	0.67189	23150	75.95	0.8016
C/1	14	0.775	130	0.00565	156.77	32.02	15.96	0.69641	23000	75.46	0.6714
	15	0.775	130	0.00565	156.77	32.02	15.96	0.69641	23000	75.46	0.6714
B/1	16	0.775	122	0.00581	160.84	32.02	17.20	0.62121	21000	68.90	0.7543
	17	0.775	119	0.00567	157.14	32.02	16.07	0.68920	21000	68.90	0.7543
	18	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.7543
B/1	19	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.7543
	20	0.775	118	0.00562	155.90	32.02	15.69	0.71312	21000	68.90	0.7543
B/1	21	0.775	118	0.00562	155.90	32.02	15.69	0.71312	21000	68.90	0.7543

	22	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.7543
	23	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.7543
B/2	24	0.775	121	0.00576	159.61	32.02	16.83	0.64327	21000	68.90	0.8229
	25	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.8229
	26	0.775	123	0.00586	162.06	32.02	17.58	0.59972	21000	68.90	0.8229
B/3	27	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.6857
	28	0.775	124	0.00590	163.28	32.02	17.95	0.57878	21000	68.90	0.6857
	29	0.775	123	0.00586	162.06	32.02	17.58	0.59972	21000	68.90	0.6857
1	30	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
	31	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
	32	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
1	33	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	34	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1	35	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	36	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
1	37	0.775	69	0.00552	153.31	32.02	14.90	0.76510	12500	41.01	0.8554
	38	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1	39	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	40	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
1	41	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	42	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	43	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
1	44	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	45	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	46	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554

1	47	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	48	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1	49	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	50	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
1	51	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	52	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
1	53	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	54	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
1	55	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	56	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
1	57	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	58	0.775	74	0.00592	163.66	32.02	18.07	0.57219	12500	41.01	0.8554
1	59	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	60	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1/1	61	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.7914
	62	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.7914
1/1	63	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.7914
	64	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.7914
2	65	0.775	52	0.00594	164.24	32.02	18.24	0.56241	8750	28.71	0.5141
	66	0.775	51	0.00583	161.33	32.02	17.35	0.61254	8750	28.71	0.5141
2	67	0.775	52	0.00594	164.24	32.02	18.24	0.56241	8750	28.71	0.5141
	68	0.775	49	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	8750	28.71	0.5141
2/1	69	0.775	50	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	8750	28.71	0.9855
	70	0.775	51	0.00583	161.33	32.02	17.35	0.61254	8750	28.71	0.9855
	71	0.775	50	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	8750	28.71	0.9855

EX1	72	0.775	55	0.00579	160.32	32.02	17.04	0.63042	9500	31.17	0.3246
	73	0.775	57	0.00600	165.69	32.02	18.69	0.53846	9500	31.17	0.3246
	74	0.775	55	0.00579	160.32	32.02	17.04	0.63042	9500	31.17	0.3246
EX2	75	0.775	70	0.00601	165.91	32.02	18.75	0.53493	11650	38.22	0.4016
	76	0.775	70	0.00601	165.91	32.02	18.75	0.53493	11650	38.22	0.4016
	77	0.775	68	0.00584	161.54	32.02	17.42	0.60878	11650	38.22	0.4016

ตารางที่ ๗.5 ข้อมูลของลวดอัดแรง อาคารบ้านพักคนงาน 4 ชั้น ซอยบางนา-ตราด กม. 25 (ใช้วิธีทับหมางานลวดอัดแรง Post-Ten) ชั้น 4

Line	No.	%fpu	Elongati on (mm.)	strain	stress (ksi.)	F1 (kip.)	F2 (kip.)	ln(F1/F2)	ΣL (mm.)	ΣL (ft.)	Σα (radian)
A	1	0.775	103	0.00589	162.79	32.02	17.80	0.58709	17500	57.41	0.4571
	2	0.775	102	0.00583	161.33	32.02	17.35	0.61254	17500	57.41	0.4571
	3	0.775	104	0.00594	164.24	32.02	18.24	0.56241	17500	57.41	0.4571
A/1	4	0.775	100	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	17500	57.41	0.5943
	5	0.775	99	0.00566	156.90	32.02	16.00	0.69393	17500	57.41	0.5943
	6	0.775	102	0.00583	161.33	32.02	17.35	0.61254	17500	57.41	0.5943
	7	0.775	100	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	17500	57.41	0.5943
B	8	0.775	117	0.00557	154.66	32.02	15.31	0.73773	21000	68.90	0.8914
	9	0.775	119	0.00567	157.14	32.02	16.07	0.68920	21000	68.90	0.8914
B	10	0.775	118	0.00562	155.90	32.02	15.69	0.71312	21000	68.90	0.8914
	11	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.8914
C	12	0.775	133	0.00575	159.18	32.02	16.69	0.65117	23150	75.95	0.8016
	13	0.775	132	0.00570	158.06	32.02	16.35	0.67189	23150	75.95	0.8016
C/1	14	0.775	130	0.00565	156.77	32.02	15.96	0.69641	23000	75.46	0.6714
	15	0.775	132	0.00574	159.02	32.02	16.65	0.65403	23000	75.46	0.6714
B/1	16	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.7543
	17	0.775	121	0.00576	159.61	32.02	16.83	0.64327	21000	68.90	0.7543
	18	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.7543
B/1	19	0.775	118	0.00562	155.90	32.02	15.69	0.71312	21000	68.90	0.7543
	20	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.7543
B/1	21	0.775	119	0.00567	157.14	32.02	16.07	0.68920	21000	68.90	0.7543

	22	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.7543
	23	0.775	122	0.00581	160.84	32.02	17.20	0.62121	21000	68.90	0.7543
B/2	24	0.775	120	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	21000	68.90	0.8229
	25	0.775	123	0.00586	162.06	32.02	17.58	0.59972	21000	68.90	0.8229
	26	0.775	121	0.00576	159.61	32.02	16.83	0.64327	21000	68.90	0.8229
B/3	27	0.775	124	0.00590	163.28	32.02	17.95	0.57878	21000	68.90	0.6857
	28	0.775	122	0.00581	160.84	32.02	17.20	0.62121	21000	68.90	0.6857
	29	0.775	123	0.00586	162.06	32.02	17.58	0.59972	21000	68.90	0.6857
1	30	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
	31	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	32	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1	33	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
	34	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
1	35	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	36	0.775	74	0.00592	163.66	32.02	18.07	0.57219	12500	41.01	0.8554
1	37	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	38	0.775	74	0.00592	163.66	32.02	18.07	0.57219	12500	41.01	0.8554
1	39	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	40	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1	41	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
	42	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	43	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
1	44	0.775	74	0.00592	163.66	32.02	18.07	0.57219	12500	41.01	0.8554
	45	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	46	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554

1	47	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	48	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
1	49	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	50	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1	51	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
	52	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
1	53	0.775	73	0.00584	161.62	32.02	17.44	0.60739	12500	41.01	0.8554
	54	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1	55	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	56	0.775	71	0.00568	157.49	32.02	16.18	0.68262	12500	41.01	0.8554
1	57	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
	58	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.8554
1	59	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
	60	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.8554
1/1	61	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.7914
	62	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.7914
1/1	63	0.775	70	0.00560	155.40	32.02	15.54	0.72288	12500	41.01	0.7914
	64	0.775	72	0.00576	159.56	32.02	16.81	0.64416	12500	41.01	0.7914
2	65	0.775	50	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	8750	28.71	0.5141
	66	0.775	51	0.00583	161.33	32.02	17.35	0.61254	8750	28.71	0.5141
2	67	0.775	50	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	8750	28.71	0.5141
	68	0.775	52	0.00594	164.24	32.02	18.24	0.56241	8750	28.71	0.5141
2/1	69	0.775	50	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	8750	28.71	0.9855
	70	0.775	50	0.00571	158.38	32.02	16.45	0.66592	8750	28.71	0.9855
	71	0.775	52	0.00594	164.24	32.02	18.24	0.56241	8750	28.71	0.9855

EX1	72	0.775	55	0.00579	160.32	32.02	17.04	0.63042	9500	31.17	0.3246
	73	0.775	57	0.00600	165.69	32.02	18.69	0.53846	9500	31.17	0.3246
	74	0.775	56	0.00589	163.02	32.02	17.87	0.58314	9500	31.17	0.3246
EX2	75	0.775	68	0.00584	161.54	32.02	17.42	0.60878	11650	38.22	0.4016
	76	0.775	72	0.00618	170.19	32.02	20.06	0.46741	11650	38.22	0.4016
	77	0.775	70	0.00601	165.91	32.02	18.75	0.53493	11650	38.22	0.4016

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นาย ฉัตร สุจินดา
สถานที่เกิด	อำเภอยานนาวา จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สถานที่ปัจจุบัน	2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพ 10900
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2532	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2534	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2543	Doctor of Philosophy จาก Georgia Institute of Technology