# การเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตโดยใช้เหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง

# INCREASE OF LOAD CAPACITY OF CONCRETE COLUMNS BY USING HIGH STRENGTH DEFORMED BARS

**วราฤทธิ์ กนกอนันต์, วรัญญ พรหมบันดาลกุล**

*นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

**วัฒนชัย สมิทธากร**

*อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

**บทคัดย่อ :** โครงงานนี้ศึกษาการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตโดยใช้เหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูงโดยทำการทดสอบตัวอย่างเสาที่มีเหล็กยืนเป็นเหล็กข้ออ้อยแรงดึงสูง เปรียบเทียบกับเสาที่มีเหล็กยืนเป็นเหล็กข้ออ้อยธรรมดา (SD40) ภายใต้แรงอัดในแนวแกนเพียงอย่างเดียว ในที่นี้จะพิจารณาเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและใช้เหล็กปลอกเดี่ยวทั้งหมด โดยคำนวณตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

จากผลการทดสอบพบว่าเสาคอนกรีตที่มีเหล็กยืนเป็นเหล็กข้ออ้อยธรรมดา(SD40) มีค่ากำลังอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงมากกว่ากำลังสูงสุดจากสูตรคำนวณ ส่วนเสาคอนกรีตที่ใช้เหล็กยืนเป็นเหล็กข้ออ้อยแรงดึงสูง มีค่ากำลังสูงสุดของเสาที่เกิดขึ้นจริงน้อยกว่าค่ากำลังอัดจากสูตรคำนวณ ทั้งนี้ในขณะที่เสารับกำลังอัดสูงสุดพบว่าหน่วยแรงในเหล็กเสริมยังไม่ถึงจุดคราก นั่นคือเหล็กเสริมไม่สามารถรับแรงได้ตามที่คาดไว้ การวิบัติของเสาตัวอย่างทั้งหมดเกิดจากการโก่งเดาะของเหล็กเสริมตามยาว เนื่องจากระยะของเหล็กปลอกมากเกินไป ดังนั้นระยะของเหล็กปลอกที่ออกแบบตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยอาจจะไม่เหมาะกับเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง

**ABSTRACT :** This project studies the increase of the ultimate load capacity of concrete column by using high strength deformed bars. Specimens of column having high strength steels as longitudinal bars are test and compared with those using normal deformed bar (SD40) as longitudinal steels . Behavior of columns subjected to uniaxial compression is of interest. Tied column with squared cross section is chosen and designed according to The Engineering Institute of Thailand under The King's Patronage Standard(Strength design method).

Results were found such that column with normal deformed bars (SD40) as longitudinal steels have more ultimate load capacity than that calculated from the design formula . On the other hand, columns with high strength deformed bars as longitudinal steels have less capacity than the design formula. However ,at the point where the maximum load occurred, the steel strain was lower than the yield strain. As a result, load capacity of columns became smaller than expected. The failure in all of the specimens was due to the buckling of the longitudinal steels. Hence, the spacing of the ties recommended by The Engineering Institute of Thailand under The King's Patronage Standard may not be applicable to the columns with high strength deformed bars as longitudinal steels.

**KEYWORDS :** HIGH STRENGTH STEEL, COLUMN, LOAD CAPACITY, REINFORCED CONCRETE

## 1. ที่มาของโครงงาน

ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการก่อสร้างอาคารสูง หรืออาคารขนาดใหญ่คือตัวอาคารต้องแบกรับน้ำหนักมากๆ ทำให้เสาที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่ และใช้ปริมาณเหล็กเสริมจำนวนมาก ซึ่งนอกจากจะเป็นการไม่ประหยัดแล้ว ยังทำให้เสียพื้นที่ใช้สอยในอาคารอีกด้วย โดยโครงงานนี้ได้เสนอวิธีแก้ปัญหานี้โดยการใช้เหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง ในโครงสร้างเสาคอนกรีตแทนเหล็กเส้นทั่วไป เหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูงนี้มีกำลังที่สูงกว่าเหล็กเส้นที่กำหนดไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรม และมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของประเทศไทยในปัจจุบัน ดังนั้นเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าแนวคิดนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงอย่างปลอดภัย จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาทดลองเพื่อหาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างเสาที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูงนี้ ว่าสามารถรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนดมาตรฐานหรือไม่

## 2. วัตถุประสงค์ของโครงงาน

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ทำการทดสอบตัวอย่าง เสาคอนกรีตที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง เปรียบเทียบกับตัวอย่างเสาคอนกรีตที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยธรรมดา
2. ศึกษาพฤติกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นจริงของเสาตัวอย่าง
3. หาข้อจำกัดต่างๆรวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบเสาที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง

## 3. ขอบเขตของงานวิจัย

ในโครงงานนี้ได้จำกัดขอบเขตของการศึกษาไว้ดังนี้

1. การทดสอบแบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่มดังนี้
   - ใช้เหล็กเสริมตามยาวเป็น SD40 ร่วมกับเหล็กปลอก SD40
   - ใช้เหล็กเสริมตามยาวเป็นเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูงร่วมกับเหล็กปลอก SD40
2. กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมตามยาวเท่ากับ 3.14 %
3. ตัวอย่างเสาทั้ง 6 ต้น มีความยาว 1 เมตร และมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 20 x 20 cm
4. ใช้คอนกรีต ที่มีกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วันเท่ากับ 350 ksc
5. การศึกษานี้จะพิจารณาพฤติกรรมของเสาในช่วงเสาสั้นและรับน้ำหนักบรรทุกในแนวแกนเท่านั้น
6. การคำนวณรับน้ำหนับบรรทุกของเสา ใช้วิธีตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

## 4. สูตรการคำนวณออกแบบเสา

สูตรที่ใช้สำหรับคำนวณหาแรงอัดสูงสุดตามแนวแกนของเสาสั้นใช้เหล็กปลอกเดี่ยว คือ

$$P_o = 0.85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (1)$$

เมื่อ $P_o$ = แรงอัดสูงสุดตามแนวแกน (kg)

$f_c'$ = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ksc)ที่อายุ 28วัน

$A_g$ = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของเสา ($cm^2$)

$f_y$ = กำลังครากของเหล็กเสริม (ksc)

$A_{st}$ = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามยาว ($cm^2$)

ข้อกำหนดสำหรับเหล็กปลอกเดี่ยวตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย คือ

- ขนาดอย่างน้อย 6 มม. สำหรับเหล็กเส้นตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. หรือเล็กกว่า
- ขนาดอย่างน้อย 9 มม. สำหรับเหล็กตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 25 มม. ถึง 32 มม.
- ขนาดอย่างน้อย 12 มม. สำหรับเหล็กเส้นตามยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 32 มม. ขึ้นไป

ระยะห่างของเหล็กปลอกเดี่ยวต้องไม่มากกว่าค่าต่อไปนี้

- 16 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นตามยาว
- 48 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกเดี่ยว
- มิติที่เล็กที่สุดขององค์อาคารรับแรงอัด

## 5. วัสดุที่ใช้

1. คอนกรีต กำลังของคอนกรีตอายุ 28 วันที่คาดว่าจะได้คือ 350 ksc ทั้งนี้ค่ากำลังของคอนกรีตได้ทำการทดสอบ โดยการเก็บลูกปูน ขณะหล่อตัวอย่าง เป็นลูกปูนทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน(เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.) โดยทดสอบลูกปูนจำนวน 6 ชิ้น ทั้งนี้การบ่มจะทำการบ่มลูกปูนทั้ง 6 ชิ้น โดยการแช่น้ำในถังน้ำ

2. เหล็กเสริมที่ใช้ในการทดสอบ ในการทดสอบจะใช้เหล็กเสริมตามยาวคือเหล็ก SD40 กับเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง เพียงขนาดเดียวคือ DB20 โดยมีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 1 ส่วนเหล็กปลอกที่ใช้ในการทดสอบใช้เหล็กปลอกคุณภาพ SD40 ขนาด DB10 โดยมีระยะห่าง (spacing) ที่กำหนดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

ภาพเหล็กที่ผูกเสร็จเรียบร้อยแล้วดังแสดงในรูปที่ 1

**รูปที่ 1** ภาพเหล็กที่ผูกเสร็จแล้ว

## 6. รายละเอียดของเสาตัวอย่าง

เสาตัวอย่างมีความยาว 1 เมตร มีหน้าตัดที่ช่วงกลางเสาระยะ 60 cm. ขนาด 20 x 20 cm ตรงหัวเสาทั้ง 2 ด้านขนาด 20 x 30 cm โดยเสาจะเสริมเหล็กตามยาว 4 เส้น คิดเป็น 3.14 % ของพื้นที่หน้าตัดเสา โดยแบ่งตัวอย่าง 3 ชิ้นแรกเสริมด้วยเหล็ก SD40 และ 3 ชิ้นที่เหลือเสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง และส่วนของไม้แบบได้รับการออกแบบและสร้างจริงแสดงในรูปที่ 2

**รูปที่ 2** ไม้แบบที่สร้างเสร็จจริง

## 7. อุปกรณ์ที่ใช้ในวัดผลการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบต่างๆจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติต่างๆ รวมทั้งปรับเทียบเครื่องมือก่อนทำการทดลอง มีดังนี้

1. Amsler Universal Testing Machine เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกดน้ำหนักทดสอบ มีความสามารถในการกดน้ำหนักสูงสุด

**ตารางที่ 1** เปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กเส้นข้ออ้อยธรรมดา(SD40)กับเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง

| ชนิดของเหล็กเสริม | SD40 | | | เหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม | 16 | 28 | 32 | 16 | 28 | 32 |
| Cross sectional area($cm^2$) | 2.01 | 6.16 | 8.04 | 2.01 | 6.16 | 8.04 |
| Yeild stress(ksc) | 4000 | | | 5500 | | |
| Ultimate tensile strength(ksc) | 5700 | | | 6200 | | |
| Elongation(%) | 15 | | | 13 | | |

500 ตัน

2. Strain gauge เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดหน่วยการยืดตัวตามแนวแกน โดยใช้การวัดความต้านทานเทียบระหว่างจุด 2 จุด

3. LVDT เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการยืดหดตัว ตามแนวแกนโดยใช้ LVDT จำนวน 2 ตัว ติดตั้งกับอุปกรณ์จับยึดที่ยื่นออกจากชิ้นส่วนตัวอย่างในด้านข้าง ระยะเกจประมาณ 50 cm

4. Data Logger ( รุ่น Darcy 100 ของ Yokohama) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลจาก LVDT และ Strain Gauge โดย Data Logger จะอ่านข้อมูลส่งให้คอมพิวเตอร์โดยอาศัยโปรแกรม DARWIN ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Data logger

## 8. วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบนี้สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

1. ทำการปรับเทียบเครื่องมือ (Calibration) ได้แก่ LVDT, Amsler Universal Testing Machine

2. สำรวจความเสียหาย, แนวดิ่งและแนวฉากของชิ้นตัวอย่าง

3. วัดขนาดและมิติของชิ้นตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ

4. ติดตั้ง LVDT

5. ตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือว่าติดตั้งได้ถูกต้อง

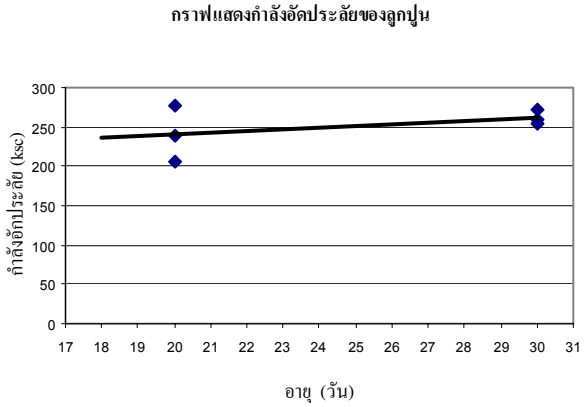
6. ทำการทดสอบโดยกดน้ำหนักจากเครื่อง Amsler Universal Testing Machine และจดค่าเพื่อ recheckกับ คอมพิวเตอร์ โดยเพิ่มค่าทุก 5 tons

**รูปที่ 3** LVDTที่ติดตั้งแล้ว

## 9. ผลการทดสอบ

1. ผลการทดสอบลูกปูน

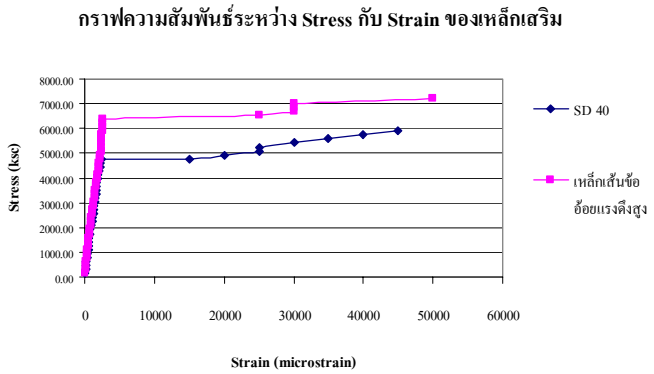
ลูกปูนที่นำมาทดสอบเป็นลูกปูน ทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.โดยทดสอบลูกปูนจำนวน 6 ชิ้นแบ่งตามวันที่ทดสอบโดยทดสอบลูกปูน 3 ชิ้นแรกในวันที่ทดสอบเสาต้นแรกโดยลูกปูน 3 ชิ้นแรกมีระยะเวลาบ่ม 20 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 241 ksc ลูกปูน 3 ชิ้นที่เหลือทดสอบในวันที่ทดสอบเสาต้นสุดท้าย มีระยะเวลาบ่ม 30 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 262 ksc และหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่มีอายุต่างๆกันสามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง โดยแสดงผลการทดสอบลูกปูนทั้งหมดในกราฟรูปที่ 4




**รูปที่ 4** กราฟกำลังอัดประลัยของลูกปูน

2. ผลการทดสอบเหล็กเสริมตามยาว

จากผลการทดสอบเหล็กเสริมตามยาว ค่า กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็ก SD40 ที่ 4745 ksc และค่า Modulus of elasticity = 2 x $10^6$ ksc ขณะที่ ค่า กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กข้ออ้อยแรงดึงสูง ที่ 6369 ksc และได้ค่า Modulus of elasticity = 2.49 x $10^6$ ksc โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของเหล็กแสดงดังกราฟรูปที่ 5

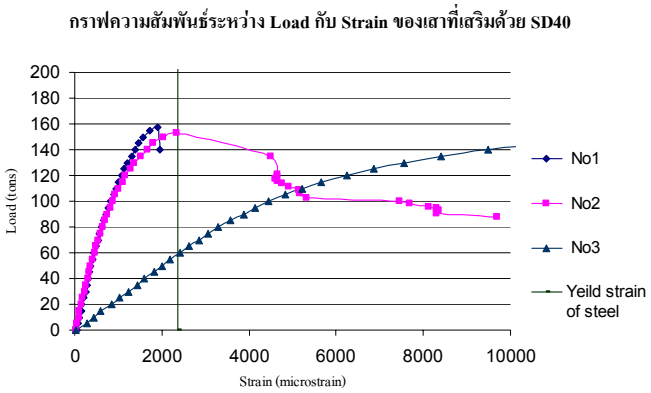



**รูปที่ 5** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ Strain ของเหล็ก

3. ผลการทดสอบเสาตัวอย่าง

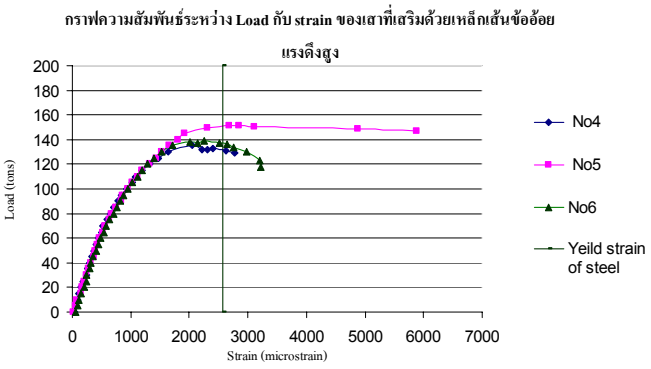
เนื่องจากผลจาก LVDT มีความคลาดเคลื่อนสูง เราจึงพิจารณาเฉพาะผลจาก Strain Gauge

ในโครงการนี้มีตัวอย่างเสาที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยSD40 จำนวน 3 ชิ้นได้แก่ Specimen No. 1,2 และ 3 ซึ่งมีผลการทดสอบดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของ Strain Gauge ของ เสาตัวอย่างที่เสริมด้วย SD40

เสาที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูงจำนวน 3 ชิ้นได้แก่ Specimen No. 4 ,5 และ 6 ซึ่งมีผลการทดสอบดังรูปที่ 7




**รูปที่ 7** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Strain ของ Strain Gauge ของ เสาตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง

3.1 เสาที่เสริมด้วยเหล็กตามยาว SD40

พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ strain ของ Strain Gauge ของ specimenที่ 1, 2 และ 3 พบว่าพฤติกรรมการรับแรงอัดในแนวแกนของเสาในช่วงแรก เป็น linear elastic โดยเมื่อคอนกรีตในเสาเริ่มเกิดรอย crack กราฟจะเริ่มตกลงกล่าวคือความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ strain เริ่มไม่เป็นเส้นตรงเมื่อมีค่าLoad ถึงค่าสูงสุดแล้ว Load ก็จะเริ่มตกในทันที ทั้งนี้หมายความว่าเสามีความสามารถในการรับกำลังลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการfail ของ concrete เมื่อ concrete fail แล้วส่งผลให้ confinement ของคอนกรีต ที่มีต่อเหล็กเสริมตามยาวหายไป เหล็กเสริมตามยาวจึง fail ตามด้วยการ buckling ของเหล็กเสริมตามยาว

3.2 เสาที่เสริมด้วยเหล็กตามยาวข้ออ้อยแรงดึงสูง

พฤติกรรมการรับแรงอัดในแนวแกนของเสาในช่วงแรก เป็น linear elasticเช่นเดียวกับ ส่วนของเสาที่เสริมด้วยเหล็กตามยาว SD40 และจะรับแรงได้ต่อไป จน ค่า Strain Gauge เริ่มกลับทิศ เนื่องจากตำแหน่งของ Strain Gauge ถูกติดอยู่ที่มุมด้านนอกของเหล็กเสริมซึ่งเป็นด้านที่เหล็กเสริมได้รับแรงดึงถ้าหากเหล็กเสริมโก่งเดาะ เมื่อคอนกรีต covering แตกออกเหล็กเส้นก็เริ่มโก่งเดาะทำให้ด้านที่ติด Strain Gauge ได้รับแรงดึง

ข้อผิดพลาดของการทดสอบที่เกิดขึ้น มีทั้งที่เกิดกับการวัดค่าการหดตัวและที่เกิดกับการกดน้ำหนัก การอ่านค่า Load เร็วเกินไปทำให้อ่านค่า strain ผิดพลาด เสา No.3 อ่านถึงแค่ค่า Load สูงสุด ตัวจับยึด LVDT มีค่าคลาดเคลื่อน กำลังของคอนกรีตไม่ถึงที่ต้องการ การบ่มที่ไม่ได้คุณภาพที่เพียงพอ

**รูปที่ 8** เสาตัวอย่างระหว่างทำการทดสอบ

**รูปที่ 9** เสาตัวอย่างหลังทำการทดสอบ

**ตารางที่ 2** ตารางเปรียบเทียบค่า Maximum Load ระหว่างผลการทดสอบกับค่าที่คำนวณจากสูตรวิเคราะห์ผลการทดลอง

| | $f_y$(ksc) | $A_s$($cm^2$) | อายุ(วัน) | $f_c'$(ksc) | $A_g$($cm^2$) | $P_o$(tons) | $P_{max}$(tons) | strain at $P_{max}$(μ) | $P_{max}/P_o$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 1 | 4000 | 12.56 | 26 | 253.2 | 424.2 | 138.83 | 157 | 1890 | 1.13 |
| No. 2 | 4000 | 12.56 | 29 | 259.8 | 442 | 145.07 | 153 | 2335 | 1.05 |
| No. 3 | 4000 | 12.56 | 20 | 240 | 416.12 | 132.57 | 146 | [10945] | 1.10 |
| Average | 4000 | 12.56 | 25 | 251 | 427.44 | 138.82 | 152 | 2112.5 | 1.10 |
| No. 4 | 5500 | 12.56 | 23 | 246.6 | 414 | 153.23 | 132.5 | 2055 | 0.86 |
| No. 5 | 5500 | 12.56 | 26 | 253.2 | 446.22 | 162.41 | 151 | 2845 | 0.93 |
| No. 6 | 5500 | 12.56 | 29 | 259.8 | 412 | 157.29 | 138.5 | 2250 | 0.88 |
| Average | 5500 | 12.56 | 26 | 253.2 | 424.07 | 157.64 | 140.67 | 2383.3 | 0.89 |

## 10.สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบได้สรุปข้อมูลดังตารางที่ 2 พบว่าค่า ratio $P_{max}/P_o$ ของกลุ่มแรกมีค่าเท่ากับ 1.10 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 อธิบายได้ว่าเสากลุ่มแรกมีกำลังอัดสูงสุดมากกว่ากำลังอัดที่คำนวณได้จากสูตร อยู่ 10% ส่วนเสากลุ่มที่ 2 มีค่า $P_{max}/P_o$ นี้ มีค่า 0.89 ซึ่งน้อยกว่า 1 แสดงว่ากำลังอัดสูงสุดของเสากลุ่มที่ 2 มีค่าน้อยกว่าที่คำนวณจากสูตร พฤติกรรมของเสาทั้ง 2 กลุ่มที่ว่ามีการวิบัติโดยเหล็กยืนยังไม่คราก ทั้งคู่โดยอธิบายได้จากค่าหน่วยการยืดหดตัว ณ จุดที่เสาตัวอย่างรับกำลังสูงสุด หลังจากนั้นกำลังอัดของเสาตกลงในทันที และคอนกรีตเริ่มเกิดการแตกร้าว จึงสรุปได้ว่ากำลังสูงสุดของเสาจึงไม่ได้เกิดจากกำลังของเหล็กตามยาว หากแต่เกิดจากการ buckling ของเหล็กตามยาว ทั้งนี้สาเหตุของพฤติกรรมเช่นนี้อาจเนื่องมาจากระยะห่างของเหล็กปลอกมีมากเกินไป ทำให้เสาคอนกรีตที่เสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูงไม่สามารถรับ Load ได้ตามที่คำนวณ เมื่อเปรียบเทียบกำลังสูงสุดของเสาระหว่างเสาที่เสริมด้วยเหล็กเส้นตามยาว SD40 กับเสาที่เสริมด้วยเหล็กเส้นตามยาวเป็นเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง พบว่า กำลังของเสาไม่ได้เพิ่มขึ้นแต่อย่างใดทั้งนี้เนื่องมาจากการวิบัติด้วยการbucklingของเหล็กเสริมตามยาวก่อนที่เหล็กเสริมตามยาวจะถึงจุดคราก ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าระยะห่างของเหล็กปลอกที่ออกแบบตาม มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ไม่สามารถใช้ได้กับเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง เนื่องจากระยะห่างของเหล็กปลอกที่มากเกินไป

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น อาจแก้ไขได้โดยการลดระยะของเหล็กปลอกเดี่ยว หรือ การเปลี่ยนมาใช้เหล็กปลอกเกลียวในการก่อสร้างเสาคอนกรีตที่ต้องการเสริมด้วยเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูง

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ขอขอบคุณ บริษัท เหล็กบูรพาอุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับเหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูงและให้ความอนุเคราะห์ เหล็กเส้นทั้งหมดที่ใช้ในการทำโครงงาน

## เอกสารอ้างอิง

[1] การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง , ศ.ดร. วินิต ช่อวิเชียร

[2] มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

[3] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย มอก. 24-2536 , สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[4] เอกสารประชาสัมพันธ์เหล็กเส้นข้ออ้อยแรงดึงสูงชนิดเกลียว , บริษัท เหล็กบูรพาอุตสาหกรรม จำกัด