ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อรูปแบบการวิบัติของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

Effect of Confining Pressure on Failure Patterns of Square Section Concrete Filled Steel Tube Column

วัชรา โพธิ์สาวัง,[1]เปรมปรีดา กงนะ[2] และ วัจน์วงค์ กรีพละ[3,*]

[1-3] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร

**Corresponding author; E-mail address: wadchara.pos@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาสมรรถนะของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยการให้แรงโอบรัดทางด้านข้าง ตัวอย่างเสาเหล็กกรอกคอนกรีตจะถูกนำมาทดสอบเพื่อศึกษากำลังและรูปแบบการวิบัติภายใต้การรับแรงอัดตามแนวแกน ตัวแปรหลักในการศึกษานี้คือหน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0, 2.4, 4.8 and 7.2 MPa คิดเป็น 0%, 11.4%, 22.9% และ 34.3% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ปลอกเหล็ก มอก. SM490 ขนาด 98x98x350 มิลลิเมตร ถูกนำมาใช้ทำเป็นปลอกเสาเพื่อโอบรัดแกนคอนกรีตซึ่งมีกำลังอัด 20.98 MPa. การให้แรงทางโอบรัดทางด้านข้างจะกระทำผ่านแจ็คเก็ต ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง 11.4%-34.3% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ทำให้กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพิ่มขึ้น 3.01-19.21% สาเหตุหลักของการวิบัติเกิดจากการวิบัติแบบเฉือนในแกนคอนกรีตดันให้ปลอกเหล็กโก่งออกด้านนอก นอกจากนี้ ยังพบว่า หน่วยแรงโอบรัดด้านข้างส่งผลให้ระนาบการวิบัติของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตเปลี่ยนไป โดยระนาบวิบัติทำมุมกับแนวราบต่ำสุดเมื่อให้หน่วยแรงโอบรัดด้านข้างเท่ากับ 11.4% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต

คำสำคัญ: แจ็คเก็ต, ระนาบวิบัติ, กำลังรับแรงอัด, การให้แรงโอบรัด, การวิบัติ

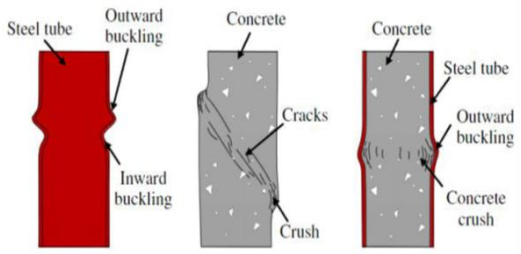
Abstract

This paper aims to develop the performance of the square section of the CFT column using preconfining pressure. The square sections of CFT columns were experimentally investigated for its compressive strength and failure patterns under uni-axial load test. The main parameter investigated was the confining pressure, which various from 0, 2.4, 4.8 and 7.2 MPa corresponding to 0%, 11.4%, 22.9% and 34.3% of concrete strength. The steel tubes grade TIS SM490 with external dimensions of 98 mm, 98 mm and 350 mm were used to confine the core concrete having a compressive strength of 20.98 MPa. The confining pressure was applied by preconfining of the steel jacket. Test results revealed that increasing of confining pressure of 11.4%-34.3% of concrete strength significantly improved the compressive strength of the square section of CFT column by 3.01-19.21%. The main failure mode of the test specimen was due to shear failure in the concrete core which induced outward buckling in steel tube. Moreover, it was also found that changing of confining pressure affected the failure plane angle of CFT column. The minimum failure plane angle occurred at the confining pressure of 11.4% of concrete strength.

Keywords: Jacketing, Failure Plane, Compressive Strength, Preconfining, Failure

1. คำนำ

เสาเหล็กกรอกคอนกรีต (Concrete Filled Steel Tube Column, CFT) เป็นเสาเชิงประกอบที่เกิดจากการบรรจุคอนกรีตลงในท่อเหล็ก ปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้ในโครงสร้างขนาดใหญ่หลายโครงการ [1-5] เนื่องจากการทำงานร่วมกันระหว่างคอนกรีตและปลอกเหล็ก ทำให้รูปแบบการวิบัติของเสาเชิงประกอบเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 1 [6] และเป็นผลทำให้เสาเหล็กกรอกคอนกรีตมีความแกร่ง (stiffness) กำลัง (strength) ความเหนียว (ductility) และการดูดซึมพลังงาน (energy absorption) เหนือกว่าเสาเหล็กรูปพรรณและเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก [7-12]



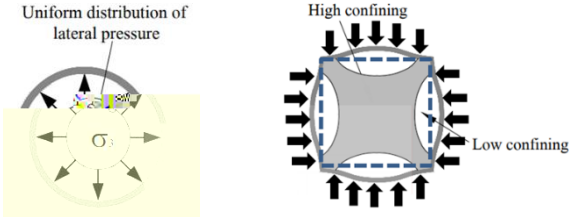
รูปที่ 1 รูปแบบการวิบัติของเสาเหล็ก เสาคอนกรีตและเสา CFT [6]

เสาเหล็กกรอกคอนกรีตจะมีแกนคอนกรีตทำหน้าที่ในการรองรับความเค้นในแนวแกนบางส่วนและยังช่วยป้องกันการเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของปลอกเหล็กในลักษณะการโก่งเข้า (Inward buckling) ในทางกลับกันปลอกเหล็กยังทำหน้าที่เสริมแรงตามแนวแกนและป้องกันการเบ่งตัวของคอนกรีตตามขวาง ซึ่งทำให้แกนคอนกรีตอยู่ภายใต้สภาวะความเครียดแบบสามแกน อันเป็นผลส่งต่อให้เสาเหล็กกรอกคอนกรีตเป็นเสาที่ใช้ปริมาณเหล็กลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเหล็กรูปพรรณที่รับน้ำหนักเท่ากัน ปลอกเหล็กยังทำหน้าที่เป็นแบบหล่อและค้ำยัน ซึ่งทำให้การก่อสร้างดำเนินการได้ง่ายและช่วยทำให้ราคาค่าก่อสร้างโครงสร้างลดลง [6, 13]

การออกแบบเสาเหล็กกรอกคอนกรีตสามารถทำได้ตามมาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวข้อง เช่น Manual of steel construction: Load and Resistance Factor Design (AISCILRFD) และมาตรฐานการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ว.ส.ท. 1008-38 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ปี พ.ศ. 2538 โดยถูกจำแนกได้ 2 ประเภทได้แก่ 1) CFT column เสาประเภทนี้จะถูกออกแบบให้ท่อปลอกเหล็กรับหน่วยแรงในแนวแกนโดยตรงร่วมกับคอนกรีต ซึ่งเสาจะถูกก่อสร้างให้มีความสูงหลายชั้นต่อเนื่องกันหรือสูงตลอดความสูงของอาคาร 2) Tubed column ท่อปลอกเหล็กของเสาประเภทนี้จะไม่ถูกออกแบบรับหน่วยแรงในแนวแกน แต่จะถูกออกแบบให้ท่อเหล็กเป็นเหล็กเสริมเพื่อรองรับแรงกระทำในแนวขวาง [33]

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เสาหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดวงกลมที่มีขนาดใกล้เคียงกัน อันเป็นผลมาจากแกนคอนกรีตในเสาหน้าตัดรูปวงกลมมีการกระจายของความเค้นจากการโอบรัดของปลอกเหล็กสม่ำเสมอกว่าเสาหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนั้น จึงมีหลายงานวิจัยพยามศึกษา อิทธิพลของแรงโอบรัด พฤติกรรมการรับน้ำหนักและรูปแบบการวิบัติของเสากรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยม [13-17] เพื่อหาวิธีลดข้อด้อยดังกล่าว

การศึกษาส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่แรงโอบรัดในลักษณะ Passive Confinement ของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต [18-23] ซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเบ่งตัวของคอนกรีตหลังจากที่เสารับน้ำหนักแล้ว สำหรับการศึกษาพฤติกรรมของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตเนื่องจากแรงโอบรัดในลักษณะ Active Confinement ซึ่งเป็นการให้แรงโอบรัดก่อนที่เสาจะรับน้ำหนักนั้น ยังมีน้อย [16, 24-26] ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของแรงโอบรัดลักษณะ Active Confinement ที่มีผลต่อรูปแบบการวิบัติของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส



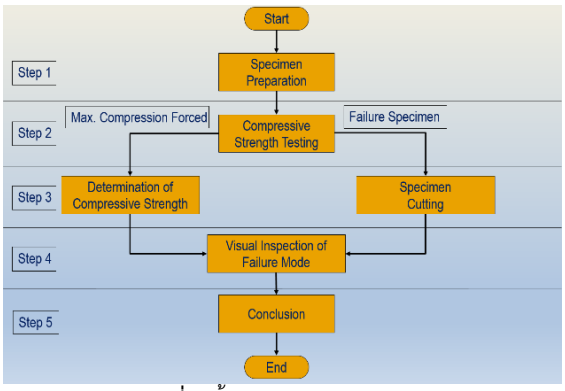
ก. หน้าตัดวงกลม ข. หน้าตัดสี่เหลี่ยม

รูปที่ 2 การกระจายความเค้นโอบรัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต [8, 16]

2. ตัวอย่างและการทดลอง

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษาผลของการให้แรงโอบรัดต่อรูปแบบการวิบัติของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงได้แบ่งการทดลองเป็น 5 ขั้นตอนคือ การเตรียมตัวอย่าง, ทดสอบกำลังรับแรงอัด, การหากำลังรับแรงอัด/การผ่าตัดตัวอย่าง, การตรวจพินิจรูปแบบการวิบัติและสรุปผล ดังที่แสดงในรูปที่ 3 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ชุดทดสอบ ชุดทดสอบละ 2 ตัวอย่าง โดยตัวแปรหลักคือ แรงโอบรัดทางด้านข้าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0, 2.4, 4.8 และ 7.2 MPa ตามลำดับ คิดเป็น 0%, 11.4%, 22.9% และ 34.3% ของกำลังรับแรงอัดของแกนคอนกรีต (20.98 MPa)

รายละเอียดของชุดทดสอบได้สรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 1 ชุดทดสอบแต่ละชุดประกอบด้วยเสาเหล็กกรอกคอนกรีต 2 ตัวอย่าง ซึ่งหลังจากให้แรงโอบรัดแล้ว จะนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดจนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ ตัวอย่างที่วิบัติแล้วจะถูกผ่าตัดตามความยาวเสาตามแนวเชื่อม (แนวให้แรงโอบรัด) 1 ตัวอย่าง และตัดตามแนวที่ไม่ได้เชื่อม (แนวที่ไม่ได้ให้แรงโอบรัด) 1 ตัวอย่าง จากนั้นดำเนินการตรวจพินิจลักษณะวิบัติพร้อมบันทึกและสรุปผล



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

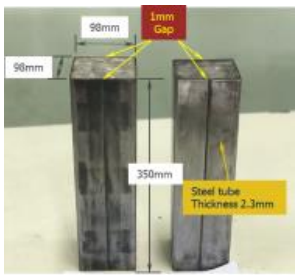
ตารางที่ 1 รายละเอียดของตัวอย่างเสาเหล็กกรอกคอนกรีต

Specimen series	D x H x t x L *mm*	Pre-Confining Ratio $\left(\frac{f_{lp}}{f'_{co}}\times 100\%\right)$	Pre-Confining Pressure (f_{lp}) (MPa)
CFT00 (Control)	98x98x2.3x350	0	0.0
CFT10	98x98x2.3x350	11.4	2.4
CFT20	98x98x2.3x350	22.9	4.8
CFT30	98x98x2.3x350	34.3	7.2

2.1 การใช้วัสดุและเตรียมตัวอย่าง

การวิจัยนี้ใช้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด 20.98 MPa (BS1881-116 1983) [27] ปลอกเหล็กใช้เหล็กรูปพรรณเกรด TIS SM490 มีขนาด 98x98 มม. หนา 2.3 มม. โดยการเตรียมตัวอย่างเริ่มจากการกรอกคอนกรีตลงใน

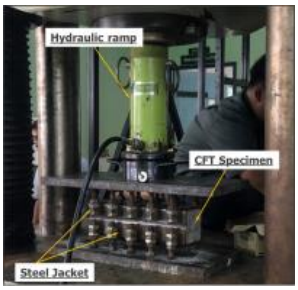
ปลอกเหล็กที่มีช่องว่างตามยาว 1 มม. ยาว 350 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) หลังจากนั้นบ่มตัวอย่างด้วยวิธีการพันด้วยแผ่นพลาสติกเป็นระยะเวลา 28 วันและตั้งไว้ภายใต้สภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการจนกว่าจะถึงเวลาให้แรงโอบรัดทางด้านข้างก่อนรับน้ำหนัก (Pre confining) สู่แกนคอนกรีต หลังจากบ่มตัวอย่าง ประกอบตัวอย่างเข้ากับแจ็คเก็ต ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) ใช้แม่แรงถ่ายแรงสู่แจ็คเก็ต ดังแสดงในรูปที่ 4 (ค) จนกว่าจะได้แรงโอบรัดตามที่ต้องการ แล้วเชื่อมปลอกเหล็กตลอดความยาวช่องว่าง จากนั้นถอดแจ็คเก็ตออกเพื่อถ่ายแรงเข้าสู่ปลอกเหล็กและแกนคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4 (ง) หลังจากนั้นตั้งไว้ภายใต้สภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการจนถึงเวลาของการทดสอบกำลังรับแรงอัด [14]



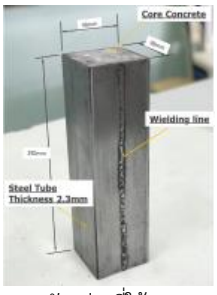
(ก) การหล่อเสาตัวอย่าง



(ข) ใส่แจ็คเก็ต



(ค) ถ่ายแรงผ่านแจ็คเก็ต



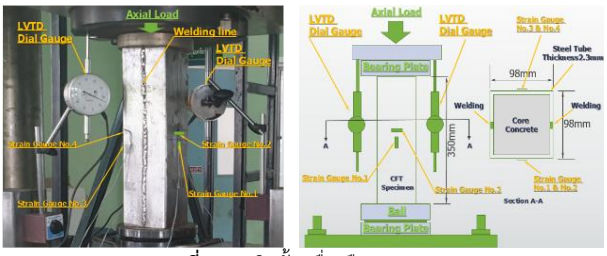
(ง) ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

รูปที่ 4 การเตรียมตัวอย่างเสาเหล็กกรอกคอนกรีต [14]

2.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 2,000 kN โดยแรงอัดในแนวแกนกระทำลงสู่ตัวอย่างทดสอบโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 5 การหดตัวในแนวแกนถูกวัดด้วย Linear Variable Differential Transducers (LVDTs) จำนวน 2 ตัว การวัดความเครียด (Strain) จะวัดด้วย Strain Gauge สองด้านที่ไม่ได้เชื่อม ด้านละสองทิศทาง จำนวน 2 ตัวอย่างเพื่อวัดความเครียดตามแนวแกนและแนววงรอบของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต เมื่อติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้าที่แล้ว ทำการอัดแรงในแนวแกนเบื้องต้น (Pre-loading) ประมาณ 50 kN และคลายแรง (Unloading) เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างหัวกดและตัวอย่างทดสอบ

เสาเหล็กกรอกคอนกรีตทั้งหมดจะถูกทดสอบภายใต้แรงอัดในแนวแกน อัตราการเคลื่อนที่ของแรงเริ่มต้นคือ 0.5 มม. / นาที จากนั้นจะเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของแรงช่วงละ 0.05 มม. / นาที สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกนทุก 2 มม. หลังจากนั้นจะหยุดทดสอบเมื่อการเสียรูปตามแนวแกนมีการหดตัว 10 มม. หรือเมื่อแรงที่ใช้ลดลงน้อยกว่า 80 % ของแรงสูงสุดที่วัดได้หรือเมื่อแรงที่ใช้ถึง 90 % ของความสามารถของเครื่องทดสอบ ในระหว่างการทดสอบกำลังรับแรงอัด ค่าแรงกระทำและการหดตัวในแนวแกนจะถูกบันทึกอย่างต่อเนื่องจนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ



รูปที่ 5 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ [14]

2.3 การคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบ

กำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต ($f'_{c\max}$)สามารถหาได้จากแรงในแนวแกนสูงสุด ($P_{\max}$) และพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของตัวอย่างเสาเหล็กกรอกคอนกรีต (A_{gross}) โดยใช้สมการ (1):

$$f'_{c\max} = \frac{P_{\max}}{A_{gross}} \qquad (1)$$

2.4 การผ่าตัดตัวอย่างทดสอบ

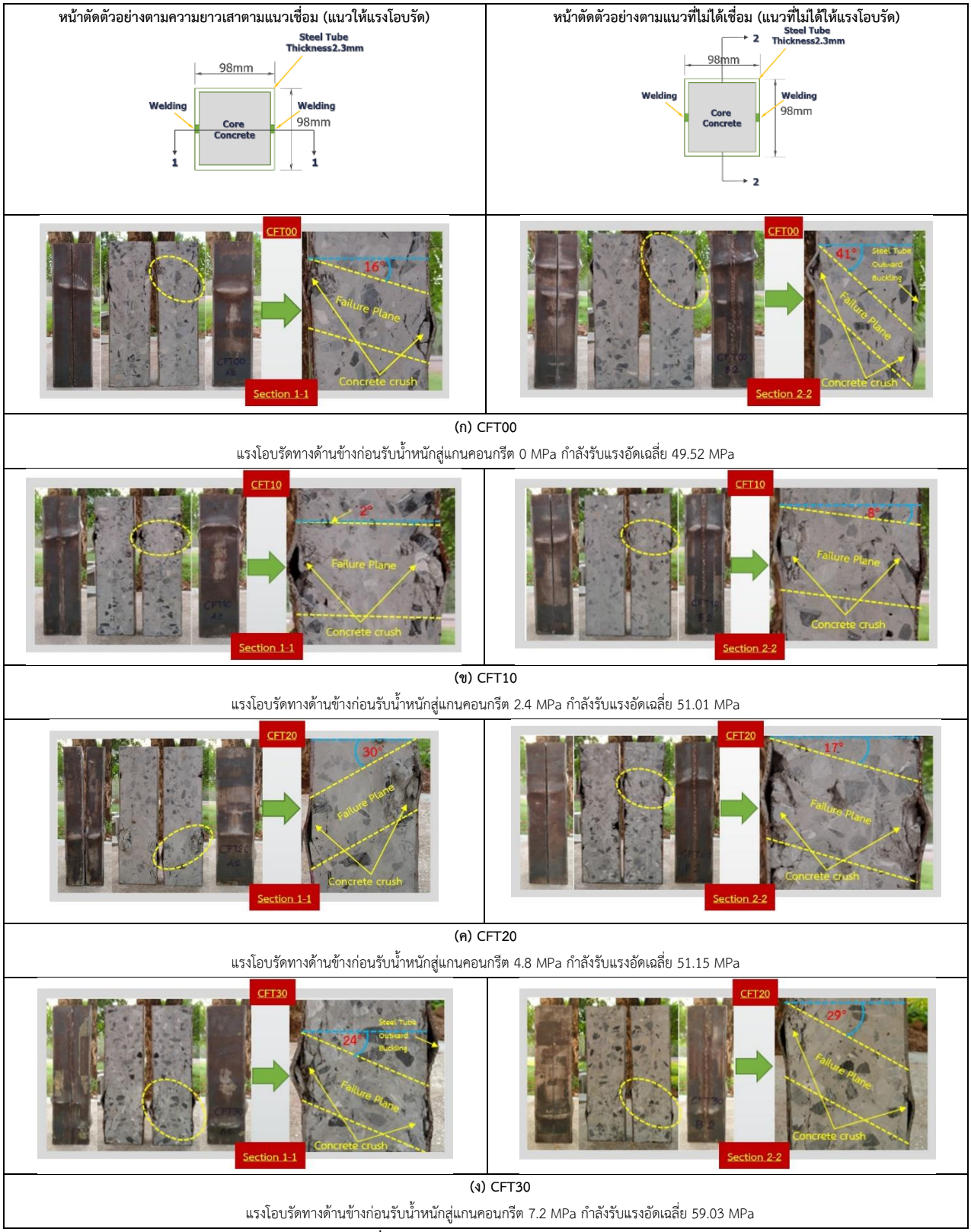
การผ่าตัดตัวอย่างที่วิบัติแล้วใช้เครื่องตัดกระเบื้องแบบแท่นสไลด์ขนาด 10 นิ้ว ตัดแบ่งตัวอย่างตามความยาวเสาตามแนวเชื่อม (แนวให้แรงโอบรัด) และตัดแบ่งตัวอย่างตามแนวที่ไม่ได้เชื่อม (แนวที่ไม่ได้ให้แรงโอบรัด) ดังแสดงในรูปที่ 6


(ก) ผ่าปลอกเหล็ก (ข) ยึดตัวอย่างกับเครื่องตัด .(ค) ผ่าตัดตัวอย่าง (ง) ตัวอย่างที่ผ่าตัดแล้ว

รูปที่ 6 การผ่าตัดตัวอย่าง

2.5 การตรวจพินิจรูปแบบการวิบัติ

ในการตรวจพินิจรูปแบบการวิบัติ ตัวอย่างที่ผ่าตัดแล้วจะถูกนำมาพิจารณาทั้งลักษณะการวิบัติภายนอก เช่น การบวมตัวของปลอกเหล็ก การโก่งงอและการเสียรูปของเสา ฯลฯ และลักษณะการวิบัติภายใน เช่น การโก่งเดาะเฉพาะที่ของปลอกเหล็ก การเสียรูปของปลอกเหล็กเนื่องจากคอนกรีตเบ่งตัว ระนาบการวิบัติของคอนกรีต ฯลฯ เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป



รูปที่ 7 รูปแบบการวิบัติของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและรูปแบบการวิบัติ เพื่อศึกษาผลของการให้แรงโอบรัดต่อรูปแบบการวิบัติของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หาได้จากค่าเฉลี่ยของ 2 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 7 ตามลำดับ

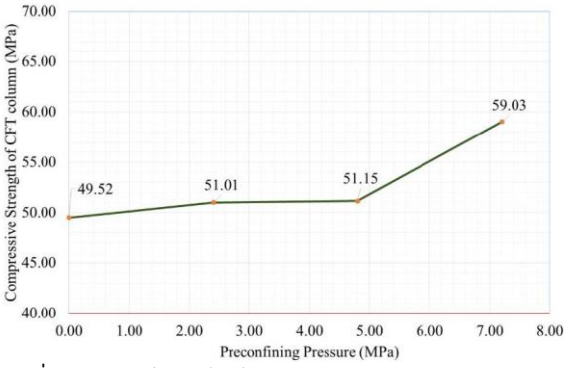
ตารางที่ 2 กำลังรับแรงอัดเสาเหล็กกรอกคอนกรีต

ชุดทดสอบ	หน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง (MPa)	กำลังรับแรงอัดของเสา (MPa)	ลักษณะการวิบัติ		มุมของระนาบวิบัติ
			ปลอกเหล็ก	แกนคอนกรีต	
CFT00 (ควบคุม)	0.0	49.52	คอนกรีตดันบวมออก, โก่งเดาะเฉพาะที่	การเฉือน, การอัดแตกบริเวณที่ติดกับปลอกเหล็ก	16°-41°
CFT10	2.4	51.01	คอนกรีตดันบวมออก	การเฉือน, การอัดแตกบริเวณที่ติดกับปลอกเหล็ก	2°-8°
CFT20	4.8	51.15	คอนกรีตดันบวมออก	การอัดแตกบริเวณที่ติดกับปลอกเหล็ก	17°-30°
CFT30	7.2	59.03	คอนกรีตดันบวมออก, โก่งเดาะเฉพาะที่	การเฉือน, การอัดแตกบริเวณที่ติดกับปลอกเหล็ก	24°-29°

3.1 กำลังรับแรงอัดสูงสุด

จากตารางที่ 2 พบว่า การให้แรงโอบรัดทางด้านข้างสู่แกนคอนกรีตเท่ากับ 0, 2.4, 4.8 และ 7.2 MPa ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 0%, 11.4%, 22.9% และ 34.3% ของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (20.98 MPa) ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตมีค่าเป็น 49.52, 51.01, 51.15 และ 59.03 MPa ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า การให้แรงโอบรัดทางด้านข้างตั้งแต่ 2.4-7.2 MPa ทำให้เสาเหล็กกรอกคอนกรีตพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 1.49-9.51 MPa คิดเป็น 3.01%-19.21% ของตัวอย่างที่ไม่ได้เพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้าง

อิทธิพลของแรงโอบรัดทางด้านข้างต่อกำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตได้แสดงไว้ในรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่า ในช่วงที่มีการให้แรงโอบรัดทางด้านข้างต่ำ คือตั้งแต่ 2.4-4.8 MPa กำลังรับแรงอัดของเสาตัวอย่างเพิ่มขึ้นเพียง 1.63 MPa (3.01%) เท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อให้แรงโอบรัดทางด้านข้างมากกว่า 22.9% (4.8MPa) ของกำลังรับแรงอัดของแกนคอนกรีต กำลังรับแรงอัดของเสาตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อให้แรงโอบรัดทางด้านข้าง 34.3% (7.2MPa) กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตเพิ่มขึ้นถึง 9.51MPa คิดเป็น 19.21% ของชุดตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าการให้แรงโอบรัดทางด้านข้างที่ไม่มากพอจะให้ผลในการพัฒนากำลังรับแรงอัดน้อย ทั้งนี้ เนื่องจากความเค้นโอบรัดในแกนคอนกรีตมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โดยจะมีความเค้นโอบรัดสูงบริเวณแกนกลางและมุมเท่านั้น [28] การที่จะทำให้บริเวณที่มีความเค้นโอบรัดต่ำได้รับอิทธิพลจากการโอบรัด จำเป็นต้องให้แรงโอบรัดด้านข้างที่มากพอ



รูปที่ 8 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อกำลังรับแรงอัดของเสาตัวอย่าง

3.2 รูปแบบการวิบัติ

จากรูปที่ 7 พบว่าการเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้างจาก 0, 2.4, 4.8 และ 7.2 MPa ซึ่งคิดเป็น 0%, 11.4%, 22.9% และ 34.3% ของกำลังรับแรงอัดของแกนคอนกรีต (20.98 MPa) จะทำให้รูปแบบการวิบัติเสาเหล็กกรอกคอนกรีตเปลี่ยนไปดังนี้

ในกรณีของเสาตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่มีการเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้าง (CFT00) พบว่า ปลอกเหล็กมีการวิบัติสองรูปแบบคือ วิบัติจากการเบ่งดันตัวของแกนคอนกรีตและวิบัติจากการโก่งเดาะเฉพาะที่ออกทางด้านนอกจากแรงอัดตามแนวแกน สำหรับแกนคอนกรีตพบว่ามีการวิบัติเป็นแนวระนาบจากการเฉือน มีระนาบการวิบัติเอียงทำมุม 16° (แนวเชื่อม) และ 41° (แนวที่ไม่ได้เชื่อม) ดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) ซึ่งลักษณะการวิบัติดังกล่าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Johansson ที่พบว่า รูปแบบการวิบัติของคอนกรีตภายใต้แรงอัดในแนวแกนในกรณีที่มีแรงโอบรัดด้านข้างถึงแม้จะต่ำ จะมีลักษณะการวิบัติแบบเฉือน (Shear Failure) เป็นหลัก [29, 30] และเมื่อเปรียบเทียบกับการวิบัติของเสาคอนกรีตที่ไม่มีปลอกเหล็กหุ้ม [6] (รูปที่ 1) พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าปลอกเหล็กไม่มีประสิทธิภาพในการต้านทานการเบ่งตัวของคอนกรีตได้ ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาก็พบว่าอิทธิพลของแรงโอบรัดแบบ Passive Confinement จะมีผลน้อยเมื่ออัตราส่วนความกว้างของเสาต่อความหนาของปลอกเหล็กมากกว่า 30 (B/t>30) [31, 32] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่มีอัตราส่วน B/t เท่ากับ 42.6

อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้าง 11.4 % (2.4 MPa) ของกำลังรับแรงอัดของแกนคอนกรีต (CFT10) พบว่า ปลอกเหล็กมีการวิบัติจากการเบ่งดันตัวของแกนคอนกรีตเท่านั้น สำหรับแกนคอนกรีตพบว่ามีการวิบัติแบบเฉือนและมีการอัดแตกบริเวณใกล้ปลอกเหล็ก โดยระนาบการวิบัติเอียงทำมุม 2° (แนวเชื่อม) และ 8° (แนวที่ไม่ได้เชื่อม) ดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) จะสังเกตได้ว่า มุมของระนาบวิบัติลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งใกล้เคียงกับรูปแบบการวิบัติโดยทั่วไปของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต [6] (รูปที่ 1)

เมื่อเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้างเป็น 22.9% (4.8 MPa) ของกำลังรับแรงอัดของแกนคอนกรีต (CFT20) พบว่า ปลอกเหล็กมีการบวมจากการเบ่งดันตัวของแกนคอนกรีตเท่านั้น สำหรับแกนคอนกรีตพบว่ามีการวิบัติแบบเฉือนเป็นหลัก โดยระนาบเฉือนเอียงทำมุม 30° (แนวเชื่อม) และ 17° (แนวที่ไม่ได้เชื่อม) ดังแสดงในรูปที่ 7 (ค) จะสังเกตได้ว่า มุมของระนาบเฉือนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่าง CFT10 ที่ให้แรงโอบรัด 11.4 % (2.4 MPa)

เมื่อเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้างเป็น 34.3% (7.2 MPa) ของกำลังรับแรงอัดของแกนคอนกรีต (CFT30) พบว่า ปลอกเหล็กมีการวิบัติจากการเบ่งตัวแกนคอนกรีตและมีวิบัติจากการโก่งเดาะเฉพาะที่ออกทางด้านนอกเนื่องจากแรงอัดตามแนวแกน สำหรับแกนคอนกรีตพบว่ามีการวิบัติแบบเฉือน โดยระนาบการวิบัติเอียงทำมุม 24° (แนวเชื่อม) และ 29° (แนวที่ไม่ได้เชื่อม) ดังแสดงในรูปที่ 7 (ง) ซึ่งใกล้เคียงกับมุมของระนาบเฉือนของเสาตัวอย่างที่มีการให้แรงโอบรัด 22.9% (CFT20)

จากรูปแบบการวิบัติทั้งหมดข้างต้น จะเห็นได้ว่า การวิบัติแบบเฉือนเป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นอย่างเด่นชัดในแกนคอนกรีตของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส นอกจากนี้ ยังพบว่า อิทธิพลของการโอบรัดทางด้านข้างทำให้ มุมของระนาบการวิบัติเปลี่ยนไป โดยมุมของระนาบเฉือนลดลงเมื่อให้แรงโอบรัด 0%-11.4 % แต่เมื่อเพิ่มแรงโอบรัดมากขึ้น 11.4 %-34.3% มุมของระนาบการวิบัติกลับเพิ่มขึ้น สำหรับการวิบัติของปลอกเหล็กพบว่า เกิดจากแกนคอนกรีตเบ่งตัวดันจนวิบัติเป็นหลัก และพบเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่เนื่องจากแรงในแนวแกนเมื่อให้แรงโอบรัด 0% และ 34.3% เท่านั้น

4. บทสรุป

ผลของแรงโอบรัดทางด้านข้างต่อรูปแบบการวิบัติของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) การเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้าง 11.4% -34.3% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ทำให้กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพิ่มขึ้น 3.01%-19.21% โดยเมื่อให้แรงโอบรัดทางด้านข้าง 34.3% (7.2 MPa) กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2) การวิบัติของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตมีลักษณะการวิบัติแบบเฉือนเป็นหลัก การเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้าง ทำให้มุมของระนาบการวิบัติเปลี่ยนไป โดยการใช้หน่วยแรงโอบรัดที่ 11.4 % (2.4 MPa) ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ทำให้ระนาบเฉือนทำมุมกับแนวราบน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใครขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร ที่ให้การสนับสนุนวัสดุ สถานที่ และเครื่องมือทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] Han, L.-H., Li, W. and Bjorhovde, R. (2014). Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members. Journal of Constructional Steel Research, 100, pp. 211-228.

[2] Cai, J. and He, Z.-Q. (2006). Axial load behavior of square CFT stub column with binding bars. Journal of Constructional Steel Research, 62(5), pp. 472-483.

[3] Liew, J.Y.R., Xiong, M. and Xiong, D. (2016). Design of concrete filled tubular beam-columns with high strength steel and concrete. structures, pp. 213-226.

[4] Sakai, J. (2018). Current state of studies of steel-concrete composite structures. Steel Construction Today & Tomorrow, 55(3), pp. 1-4.

[5] กมลวรรณ ประทุมวงศ์, จักษดา ธำรงวุฒิ, เด่น รักซ้อน และ วัชรินทร์ แซ่เตีย (2562). พฤติกรรมรับแรงในแนวแกนของเสาท่อเหล็กหน้าตัดกลมกรอกคอนกรีตหลังจากสัมผัสกับอุณหภูมิสูง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24, อุดรธานี, 11-12 กรกฎาคม 2562.

[6] Kalemi, B. (2016). Numerical modelling and assessment of circular concrete-filled steel tubular members. Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia. pp. 54.

[7] Schneider, S.P. (1998). Axially loaded concrete-filled steel tubes. Journal of Structural Engineering, 124(10), pp. 1125-1138.

[8] Johansson, M. and Gylltoft, K. (2001). Structural behavior of slender circular steel-concrete composite columns under various means of load application. Steel and Composite Structures, 1(4), pp. 393-410.

[9] Liu, D., Gho, W.-M. and Yuan, J. (2003). Ultimate capacity of high-strength rectangular concrete-filled steel hollow section stub columns. Journal of Constructional Steel Research, 59(12), pp. 1499-1515.

[10] Lai, Z. and Varma, A.H. (2016). Effective stress-strain relationships for analysis of noncompact and slender filled composite (CFT) members. Engineering Structures, 124, pp. 457-472.

[11] Han, L.-H., Yang, Y.-F. and Tao, Z. (2003). Concrete-filled thin-walled steel SHS and RHS beam-columns subjected to cyclic loading. Thin-walled Structures, 41(9), pp. 801-833.

[12] Zhang, S. and Liu, J. (2007). Seismic behavior and strength of square tube confined reinforced-concrete (STRC) columns. Journal of Constructional Steel Research, 63(9), pp. 1194-1207.

[13] ชุลีพร อุยยืนยงค์, สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และ ศาสน์ สุขประเสริฐ (2553). การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูก

โอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, อุบลราชธานี, 12-14 พฤษภาคม 2553.

[14] Greepala, V., Chareerat, T., Wongthong, P. and Kongna, P.