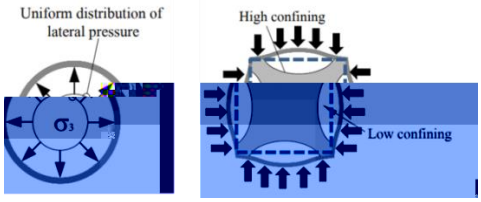
(strength), ความเหนียว (ductility), และการดูดซับพลังงาน (energy absorption) เหนือกว่าเสาคอนกรีตและเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้ ปลอกเหล็กยังทำหน้าที่เป็นแบบหล่อ ซึ่งทำให้การก่อสร้างทำได้ง่าย รวดเร็ว และประหยัด[5, 6]

อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักน้อยว่าเสาเหล็กกรอกคอนกรีตที่มีหน้าตัดวงกลม เนื่องจากเสาหน้าตัดรูปวงกลมมีการกระจายของความเค้นโอบรัดที่สม่ำเสมอกว่าเสาหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม[7-13] ดังแสดงในรูปที่ 1 จึงมีหลายงานวิจัยที่พยายามเพิ่มประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



ก.หน้าตัดวงกลม ข.หน้าตัดสี่เหลี่ยม

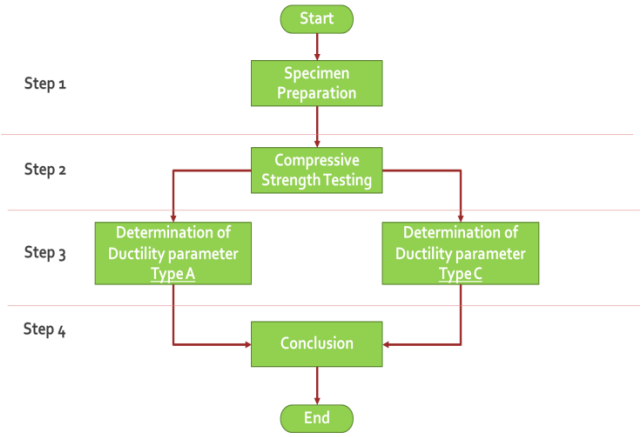
รูปที่ 1 การกระจายหน่วยแรงโอบรัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต[7, 12]

การเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้างก็เป็นวิธีหนึ่งที่นำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต แต่งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นที่ผลของแรงโอบรัดทางด้านข้างต่อพฤติกรรมของเสาหน้าตัดวงกลม [12-20] สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาผลของแรงโอบรัดทางด้านข้างต่อพฤติกรรมของเสาหน้าสี่เหลี่ยมยังมีไม่มาก[7-11] โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของแรงโอบรัดทางด้านข้างในลักษณะ Active Confinement ต่อพฤติกรรมของเสาหน้าสี่เหลี่ยมยังมีน้อยมาก[12, 13] ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มแรงโอบรัดด้านข้างในลักษณะ Active Confinement ต่อความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

2. ตัวอย่างทดสอบและการทดสอบ

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของศึกษาผลของการเพิ่มแรงโอบรัดด้านข้างต่อความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงได้แบ่งการทดลองเป็น 4 ขั้นตอน คือ การเตรียมตัวอย่างทดสอบ, ทดสอบกำลังรับแรงอัด, หาค่าพารามิเตอร์ความเหนียว และสรุปผล ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยตัวแปรหลักคือ หน่วยแรงโอบรัดทางด้านข้าง เท่ากับ 0, 2.4, 4.8, และ7.2 MPa คิดเป็น 0%, 11.4% 22.9% และ34.3% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ตามลำดับ

รายละเอียดของชุดทดสอบได้สรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยชื่อตัวอย่างทดสอบที่ระบุถูกกำหนดในรูป CFT-XX ซึ่ง XX หมายถึง หน่วยแรงโอบรัดก่อนทางด้านข้างที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (0%, 10%, 20% และ30%) สำหรับแต่ละชุดทดสอบจะประกอบด้วยเสาเหล็กกรอกคอนกรีตสองตัวอย่างซึ่งจะนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดและคำนวณพารามิเตอร์ความเหนียว โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดตามแนวแกนของตัวอย่างทดสอบตามวิธีของ *Sheikh*และคณะ [21] ซึ่งกำลังรับแรงอัดและพารามิเตอร์ความเหนียวได้มาจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบ สำหรับค่าพารามิเตอร์ความเหนียวที่ใช้พิจารณาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ตัวประกอบความเหนียว (Ductility factor, μ_{cu}), ตัวประกอบการดูดซับพลังงาน (Energy absorption capacity factor, e_{cu}) และดัชนีงาน (Work index, W_{cu})



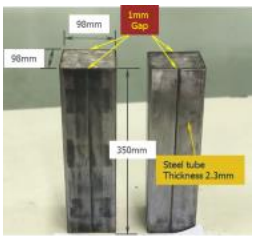
รูปที่ 2 แผนภูมิการดำเนินการทดลอง

ตารางที่ 1 รายละเอียดชุดตัวอย่างทดสอบ

Specimen series	$D\times H\times t\times L$ (mm)	Pre-Confining Ratio $\frac{f_{lp}}{f_{co}}\times 100\%$	Pre-Confining Pressure f_{lp} (MPa)
CFT-00	98x98x2.3x350	0	0.0
CFT-10	98x98x2.3x350	11.4	2.4
CFT-20	98x98x2.3x350	22.9	4.8
CFT-30	98x98x2.3x350	34.3	7.2

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

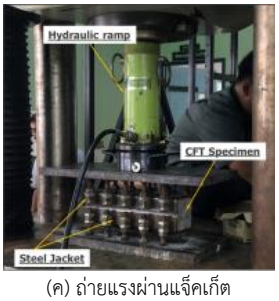
การวิจัยนี้ใช้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด 20.98 MPa (BS1881-116 1983)[22] ปลอกเหล็กใช้เหล็กรูปพรรณเกรด TIS SM490 มีจุดคราก (f_y) และกำลังรับแรงดึง (f_u) ของปลอกเหล็กเท่ากับ 324 MPa และ 490 MPa ตามลำดับ มีขนาด 98x98 มม. หนา 2.3 มม. โดยการเตรียมตัวอย่างเริ่มจากการกรอกคอนกรีตลงในปลอกเหล็กที่มีช่องว่างตามยาว 1 มม. ยาว 350 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) หลังจากหล่อเป็นเสาคอนกรีตปลอกเหล็กแล้วทำการบ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน และตั้งไว้ภายใต้สภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการจนกว่าจะถึงเวลาให้แรงโอบรัด โดยประกอบตัวอย่างเข้ากับแจ็คเก็ต ดังแสดงในรูปที่ 3(ข) ใช้แม่แรงถ่ายแรงสู่แจ็คเก็ตอ่านค่าแรงบีบรัดตามที่กำหนด ดังแสดงในรูป 3(ค) แล้วเชื่อมปลอกเหล็กตลอดความยาวช่องว่าง จากนั้นถอดแจ็คเก็ตออกแทนการตรวจวัดค่าหน่วยแรงโอบรัดที่แท้จริงภายหลังจากการเชื่อมประกอบชิ้นตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3(ง) แล้วตั้งไว้ภายใต้สภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการจนถึงเวลาทดสอบกำลังรับแรงอัด



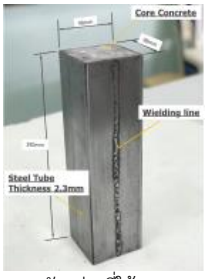
(ก) การหล่อเสาตัวอย่าง



(ข) ใส่แจ็คเก็ต



(ค) ถ่ายแรงผ่านแจ็คเก็ต

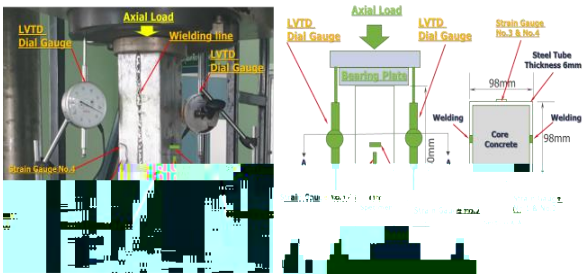


(ง) ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

รูปที่ 3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบเสาคอนกรีตปลอกเหล็ก[23]

2.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ขนาด 2,000 kN โดยแรงอัดในแนวแกนกระทำลงสู่ตัวอย่างทดสอบโดยตรงผ่าน Steel Bearing Plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. หนา 2.3 มม. และ Steel Ball-bearing Plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มม. หนา 80 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4 การหดตัวในแนวแกนถูกวัดด้วย Linear Variable Differential Transducers (LVDTs) จำนวน 2 ตัว การวัดการเคลื่อนที่จะวัดด้วย Strain Gauge สองด้านที่ไม่ได้เชื่อม ด้านละสองทิศทาง จำนวน 2 ตัวอย่างเพื่อวัดการเคลื่อนที่ตามแนวยาวและแนวขวางของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต ทั้งนี้เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ของผลการทดสอบในงานวิจัยนี้เท่านั้น เมื่อติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้าที่แล้ว ทำการอัดแรงในแนวแกนเบื้องต้น(Pre-loading) ประมาณ 50 kN และคลายแรง (Unloading) เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างหัวกดและตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 4 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ[23]

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

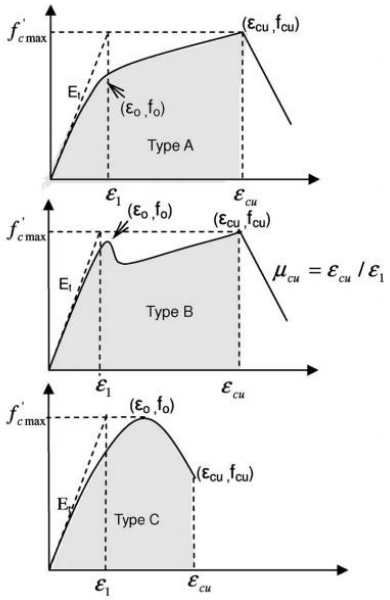
2.3 การหาค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด

กำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต $f'_{c\ max}$ สามารถหาได้จากแรงในแนวแกนสูงสุด P_{max} และพื้นที่สัมผัสแรงอัดของตัวอย่างเสาเหล็กกรอกคอนกรีต A_{gross} ดังสมการที่ (1)

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

2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ความเหนียว

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต จึงใช้พารามิเตอร์ประเมินความเหนียวซึ่งประกอบด้วย ตัวประกอบความเหนียว (Ductility factor, μ_{cu}), ตัวประกอบการดูดซับพลังงาน (Energy absorption capacity factor, e_{cu}) และดัชนีงาน (Work index, W_{cu}) โดยคำนวณจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดตามแนวแกนตามวิธีของ Sheikhและคณะ[21, 24] ซึ่งได้เสนอแนะวิธีการหาพารามิเตอร์ความเหนียว โดยพิจารณาพฤติกรรมของกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุ 3 ประเภท คือ ประเภท A มีรูปแบบลักษณะเป็นของ CFT, ประเภท B มีรูปแบบลักษณะเป็นของเหล็ก และ ประเภท C มีรูปแบบลักษณะเป็นของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 5 อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะหาพารามิเตอร์ความเหนียว จากกราฟประเภท A *และ* C เท่านั้น และในกรณี ประเภท C กำหนดให้ความเครียดที่เกิดการวิบัติเท่ากับ 0.012



รูปที่ 5 นิยามของพารามิเตอร์ความเหนียวตามพฤติกรรมของวัสดุ 3 ประเภท [21, 24]

ตัวประกอบความเหนียว (Ductility factor, μ_{cu}) คือ ค่าที่ใช้บ่งบอกเป็นเปอร์เซ็นการยืดตัว และความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ สามารถคำนวณได้จากค่าความเครียดที่จุดคราก (ε_1) คือ ค่าเริ่มต้นความชันของกราฟไปตัดกับเส้นที่ความเค้นสูงสุด กับค่าความเครียดที่เกิดการวิบัติ (ε_{cu}) และในกรณี ประเภท C กำหนดให้ความเครียดที่เกิดการวิบัติเท่ากับ 0.012 ดังสมการที่ (*2*)

$$\mu_{cu} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_1} \quad (2)$$

ตัวประกอบการดูดซับพลังงาน (Energy absorption capacity factor, e_{cu}) คือ ค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ตลอดการชนกระแทก หรือยุบตัว หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟสะสมของพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูของเส้นโค้งความเค้นกับความเครียดเล็กๆ จนถึงจุดวิบัติของเสา CFT ดังแสดงในรูปที่ 5 (ในกรณี ประเภท C กำหนดให้ความเครียดที่เกิดการวิบัติเท่ากับ 0.012)

ค่าดัชนีงาน (W_{cu}) เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่มีมิติคำนวณได้จากค่าการดูดซึมพลังงาน ดังสมการที่ (3) ซึ่งถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้านข้าง ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ความเหนียวที่ได้จากการคำนวณที่มีค่ามากบ่งบอกถึงความเหนียวเพิ่มขึ้นและค่าที่ได้จากการคำนวณน้อยลงหมายถึงความเหนียวลดลง

$$W_{cu} = \frac{(e_{cu})}{(\ f'_{c\ max}\ )\ (\ \varepsilon_1)} \quad (3)$$

ในขั้นตอนสุดท้าย กำลังรับแรงอัด และค่าพารามิเตอร์ความเหนียวของแต่ละชุดได้จากค่าเฉลี่ยของสองตัวอย่างทดสอบ

3. ผลการทดสอบ

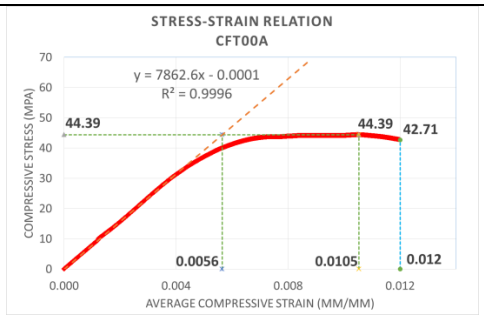
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มแรงโอบรัดด้านข้างต่อความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และพารามิเตอร์ความเหนียว ของแต่ละชุดทดสอบหาได้จากค่าเฉลี่ยของ 2 ตัวอย่าง ได้สรุปในตารางที่ 2 และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตได้ ดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบ

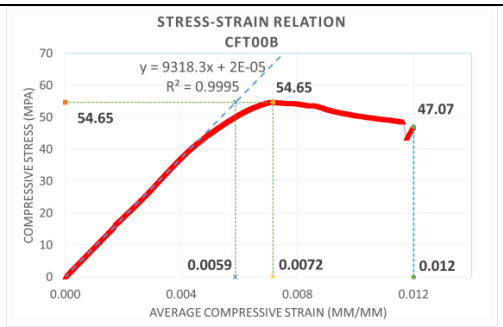
Specimen Series	Preconfining pressure (f_{lp}) MPa	Pre-Confining Ratio $\frac{f_{lp}}{f'_{co}}\times 100\%$	f'_{cmax} MPa	Ductility factor (μ_{cu}) MPa		Energy absorption capacity factor (e_{cu}) MPa		Work index (W_{cu})	
				Type A	Type C	Type A	Type C	Type A	Type C
CFT-00 (Control)	0.0 (0%)	0	49.52	1.543	2.086	0.280	0.408	1.019	1.448
CFT-10	2.4 (11.4%)	11.4	51.01	1.146	1.742	0.229	0.417	0.644	1.194
CFT-20	4.8 (22.9%)	22.9	51.15	1.278	2.591	0.189	0.457	0.767	1.931
CFT-30	7.2(34.3%)	34.3	59.04	1.510	2.126	0.256	0.490	0.769	1.468

Preconfining 0% (Control)

CFT00a

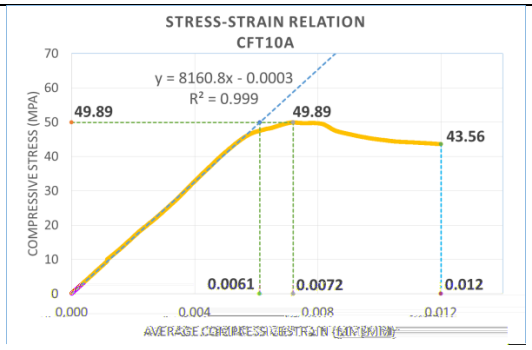


CFT00b

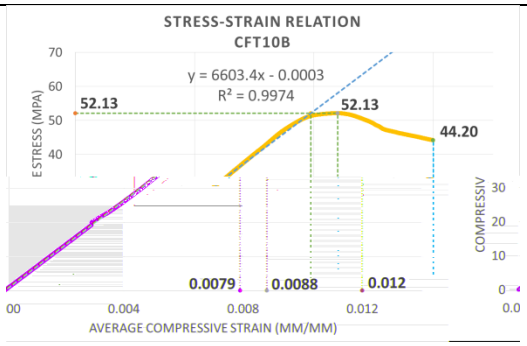


Preconfining 11.4%

CFT10a

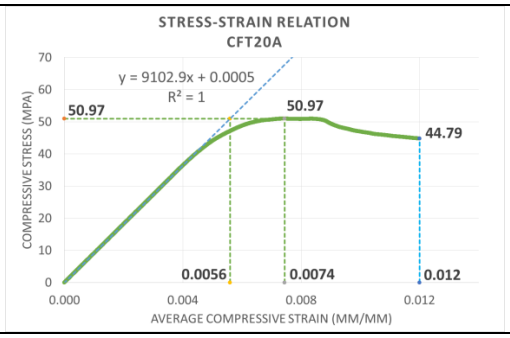


CFT10b



Preconfining 22.9%

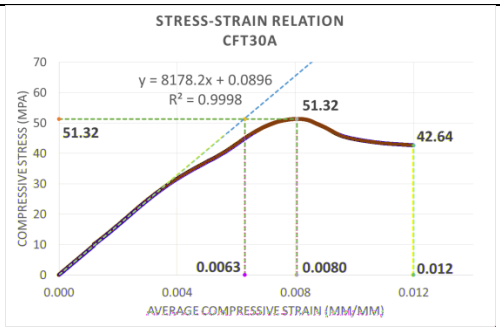
CFT20a



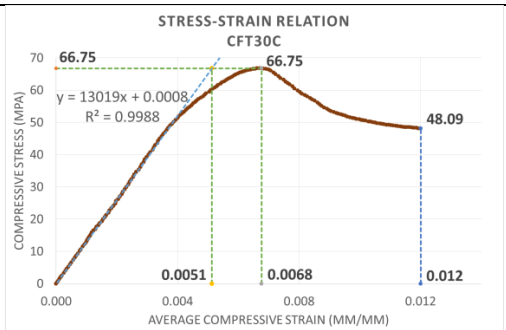
CFT20c

Preconfining 34.3%

CFT30a



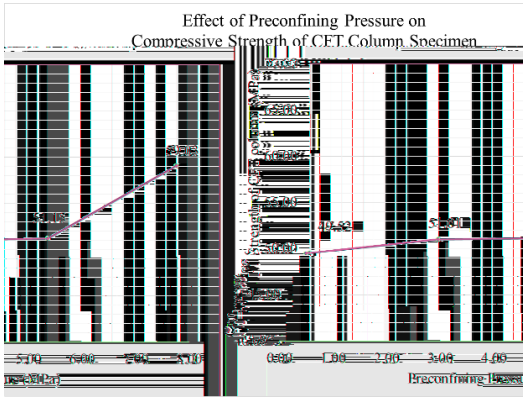
CFT30c



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต

3.1 กำลังรับแรงอัด

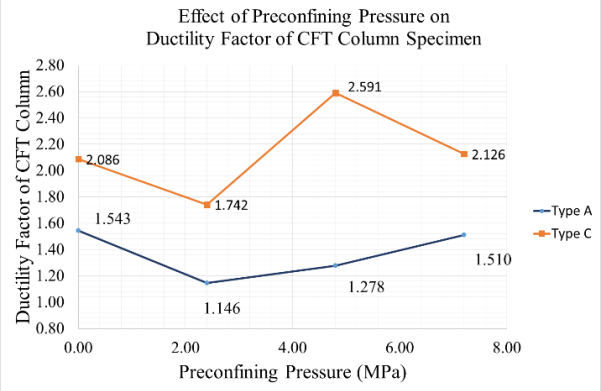
จากตารางที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มความเค้นโอบรัดทางด้านข้างให้กับเสาเหล็กกรอกคอนกรีต เท่ากับ 0, 2.4, 4.8 และ 7.2 MPa ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 0%, 11.4%, 22.9% และ 34.3% ของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (20.98 MPa) กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 49.52, 51.01, 51.15 และ 59.04 MPa ตามลำดับ อิทธิพลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อกำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต ได้แสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า ในช่วงที่มีหน่วยแรงโอบรัดต่ำ การเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง ตั้งแต่ 2.4-4.8 MPa ทำให้เสาเหล็กกรอกคอนกรีตพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเพียง 1.6 MPa คิดเป็น 3.0%ของตัวอย่างที่ไม่มีการให้แรงโอบรัดเท่านั้น อย่างไรก็ตาม เมื่อให้หน่วยแรงโอบรัดด้านข้างมากกว่า 22.9% (4.8MPa) ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อให้แรงโอบรัด 34.3% (7.2 MPa) กำลังรับแรงอัดของเสาตัวอย่างเพิ่มขึ้นถึง 9.5MPa คิดเป็น 19.2%ของตัวอย่างที่ไม่มีการให้แรงโอบรัด แสดงให้เห็นว่าการให้แรงโอบรัดด้านข้างที่ไม่มากพอจะมีประสิทธิภาพต่ำในการพัฒนากำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ เนื่องจากความเค้นโอบรัดในแกนคอนกรีตมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ จะมีความเค้นสูงบริเวณแกนกลางและมุมเท่านั้น[25] การที่จะทำให้บริเวณที่มีความเค้นต่ำได้รับอิทธิพลจากการโอบรัดจำเป็นต้องให้แรงโอบรัดด้านข้างที่มากพอ



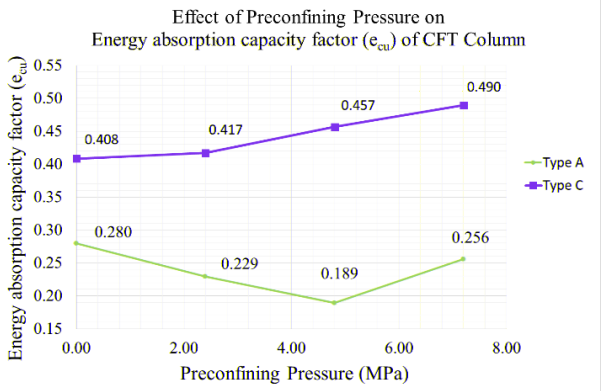
รูปที่ 7 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อกำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต

3.2 พารามิเตอร์ความเหนียว

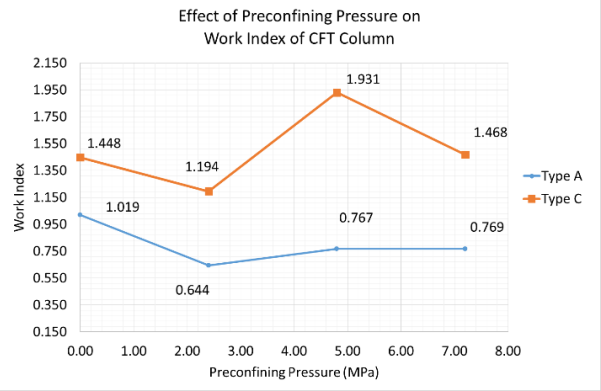
ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตจากการทดสอบกำลังรับแรงอัด ในรูปที่ 6 ถูกนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ความเหนียวของเสา จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่อมีการให้แรงโอบรัดด้านข้างรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเสาตัวอย่างมีการเปลี่ยนไปเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณารูปแบบกราฟความเค้นกับความเครียดของเสาตัวอย่าง เป็นทั้งประเภท A และประเภท C เพราะรูปแบบลักษณะการวิบัติของตัวอย่างผลการทดสอบไม่ชัดเจน เนื่องจากอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของเหล็กกรอกคอนกรีตมากกว่า 30 (B/t > 30) เพื่อประเมินความเหนียวทั้งสองรูปแบบและได้สรุปค่าพารามิเตอร์ความเหนียวของเสาทั้งสองรูปแบบไว้ในตารางที่ 2 สำหรับอิทธิพลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อค่าพารามิเตอร์ความเหนียวของทั้งสองรูปแบบ ได้แสดงในรูปที่ 8-รูปที่ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 8 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อตัวประกอบความเหนียว



รูปที่ 9 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อตัวประกอบการดูดซับพลังงาน



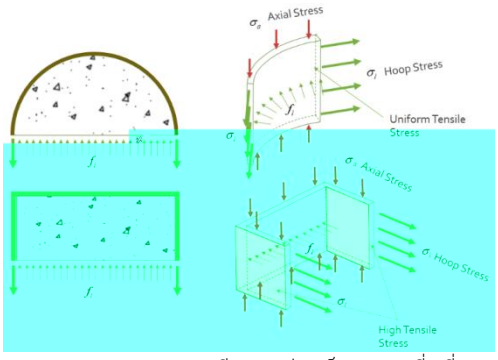
รูปที่ 10 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อดัชนีงาน

จากรูปที่ 8-รูปที่ 10 พบว่า เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ความเหนียวตามรูปแบบกราฟประเภท A ค่าพารามิเตอร์ความเหนียวทั้งสามมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเสาตัวอย่างที่ไม่มีการให้แรงโอบรัด อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อเพิ่มแรงโอบรัดมากกว่า 2.4 MPa (11.4%) ค่าพารามิเตอร์ความเหนียวทั้งสาม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ความเหนียวตามรูปแบบกราฟประเภท C มีเฉพาะค่าตัวประกอบการดูดซับพลังงานเท่านั้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับตัวประกอบความเหนียวและดัชนีงาน มีค่าลดลงในช่วงที่มี

แรงโอบรัดต่ำ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อให้แรงโอบรัดทางด้านข้างมากกว่า 2.4 MPa (11.4%)

จากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ความเหนียวทั้งสองรูปแบบ จะเห็นได้ว่า การใช้แจ็คเก็ตเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้างให้กับเสาเหล็กกรอกคอนกรีตนั้น ไม่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเหนียว ทั้งนี้ ผลที่ได้อาจเกิดจากความเค้นโอบรัดในปลอกเหล็ก (Hoop Stress) มีการกระจายไม่สม่ำเสมอ ในระหว่างขั้นตอนให้กำลังรับแรงอัดแก่เสาตัวอย่าง การให้ความเค้นโอบรัดด้านข้างของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีความเค้นสูงเฉพาะด้านที่ให้แรงโอบรัด[23] ซึ่งต่างจากเสาหน้าตัดวงกลมที่มีการกระจายความเค้นโอบรัดในปลอกเหล็กสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 11 ดังนั้น เมื่อเสารับแรงอัด ความเค้นอัดในแนวดิ่งจะเสริมกับความเค้นดึงในแนวราบ ทำให้เสถียรภาพของผนังเหล็กด้านที่ให้แรงโอบรัดลดลง เป็นเหตุให้ปลอกเหล็กด้านนี้มีโอกาสเกิดวิบัติมากกว่าเมื่อเสามีการหดตัวจากแรงอัดเท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเสาที่มีค่าสัดส่วนความกว้างของเสา(B)ต่อความหนาของเหล็กปลอก(t) มากกว่า 30[26, 27] และเสาที่มีอัตราส่วนความยาว(L)ต่อความกว้างของเสา(B)สูง จะได้รับประโยชน์จากการโอบรัดทางด้านข้างน้อย[8, 28]



รูปที่ 11 รูปแบบการกระจายความเครียดของท่อเหล็กกลมและสี่เหลี่ยม[23]

4. บทสรุป

ผลของการเพิ่มแรงโอบรัดด้านข้างต่อความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างในช่วง 11.4%-34.3% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ทำให้กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพิ่มขึ้น 3.0-19.3% โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อให้หน่วยแรงโอบรัดด้านข้างมากกว่า 22.9% (4.8 MPa) ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต

2. การเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างแก่เสาเหล็กกรอกคอนกรีตโดยใช้แจ็คเก็ต ไม่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเหนียว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใครขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร ที่ให้การสนับสนุนวัสดุ สถานที่ และเครื่องมือทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

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

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

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

[4] Sakai, J. (2018). Current State of Studies of Steel-Concrete Composite Structures. steel construction today & tomorrow, 55(3), pp. 1-4.

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

[6] ชุลีพร อุยยืนยงค์, สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และ ศาสน์ สุขประเสริฐ (2553). การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, อุบลราชธานี, 12-14 พฤษภาคม 2553.

[7] 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.

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

[9] Shams, M. and M. Saadeghvaziri. (1997). State of the art of concrete-filled steel tubular columns. ACI Structural Journal, 94(5), pp. 558–571.

[10] Shanmugam, N. and B. Lakshmi. (2001). State of the art report on steel-concrete composite columns. Journal of Constructional Steel Research, 57(10), pp. 1041–1080.

[11] Oliveira, W. L. A. d., et al. (2010). Evaluation of passive confinement in CFT columns. Journal of Constructional Steel Research, 66, pp. 487–495.

[12] Auyyuenyong, C. (2011). Strengthening of axial compressive square reinforced concrete columns by preconfining with steel jackets, Civil Engineering. Suranaree University of Technology. pp. 203.

[13] Namvijitr, N. (2011). Strengthening of axial compressive circular reinforced concrete columns by preconfining with steel jackets, Civil Engineering. Suranaree University of Technology. pp. 178.

[14] Elremaily, A. and A. Azizinamini. (2002). Behavior and strength of circular concrete-filled tube columns. Journal of Constructional Steel Research, 58(12), pp. 1567-1591.

[15] Nishiyama, I., et al. (2002). Summary of research on concrete-filled structural tube column system carried out under the USJapan cooperative research program on composite and hybrid structures, Building Research Institute (BRI).

[16] Sakino, K., et al. (2004). Behavior of centrally loaded concrete-filled steel-tube short columns. ASCE Journal of Structural Engineering, 130 pp. 180–188.

[17] Seangatith, S. and J. Thumrongvut. (2009). Experimental investigation on square steel tubed rc columns under axial compression. Suranaree Journal of Science and Technology, 16(3), pp. 205-220.

[18] Kuranovas, A., et al. (2009). Load-bearing capacity of concrete-filled steel columns. Journal of civil engineering and management, 15(1), pp. 21–33.

[19] Xiao, Y, W. He, and K. Choi. (2005). Confined concrete filled tubular columns. Journal of Structural Engineering, ASCE, 131(3), pp. 488-497.

[20] Holmes, N., et al. (2014). Active confinement of weakened concrete columns. Materials and Structures,

[21] Sheikh, S. A., et al. (1994). Confinement of high strength concrete columns. ACI Structural Journal, 91(1), pp. 100-111.

[22] BS1881-116 (1983). Testing concrete in Part 116: Method for determination of compressive strength of concrete cubes. BS 1881-116.

[23] Greepala, V., Chareerat, T., Wongthong, P. and Kongna, P. (2019). Effect of confining pressure on compressive strength and ductility of square section concrete filled tube column. 1 6 th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC16), Brisbane, Australia, 3-6 December 2019.

[24] Cui, C. and S. A. Sheikh. (2010). Experimental study of normal- and high-strength concrete confined with fiber-reinforced polymers. Journal of Composites for Construction, 14. pp. 553-561.

[25] Nardin, S. D. and A. L. H. C. EL Debs. (2007). Axial load behaviour of concrete-filled steel tubular columns. Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Structures and Building, 160. pp. 13-22.

[26] Uy, B. (1998). Concrete-filled fabricated steel box columns for multi-storey buildings behaviour and design. Progress in Structural Engineering and Materials, 1(12). pp. 150-158.

[27] Jamaluddin, N. (2001). Behaviour of elliptical concrete-filled steel tube (CFT) columns under axial compression load, in School of Civil Engineering. The University of Leeds. p. 44.

[28] Oliveira, W. L. A. d., et al. (2010). Evaluation of passive confinement in CFT columns, Journal of Constructional Steel Research, 66. pp. 487-495.