

ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

EFFECT OF CONFINING PRESSURE ON DUCTILITY OF SQUARE SECTION CONCRETE FILLED STEEL TUBE COLUMN

ภัทรจิรา ไตรวงศ์ย่อย¹, วชรา โพธิ์สว่าง² และ วัจนวงศ์ กรีพละ^{3*}

^{1,2} นิสิตสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร

³ อาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร

*Corresponding author; E-mail address: patjeera.ta@ku.th, wadchara.pos@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาสมรรถนะของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยการให้แรงโอบรัดทางด้านข้าง เสาเหล็กกรอกคอนกรีตตัวอย่างจะถูกนำมาทดสอบเพื่อศึกษาสมรรถนะด้านความเหนียวซึ่งประกอบด้วย ตัวประกอบความเหนียว ตัวประกอบการดูดซับพลังงาน และดัชนีงาน ซึ่งคำนวณจากกำลังรับแรงอัด และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการหดตัวจากการทดสอบกำลังรับแรงอัด ตัวแปรหลักในการศึกษานี้คือ หน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0, 2.4, 4.8 และ 7.2MPa คิดเป็น 0%, 11.4%, 22.9% และ 34.3% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ปลอกเหล็ก มอก. SM490 ขนาด 98x98x350 มิลลิเมตร ถูกนำมาใช้ทำเป็นปลอกเสาเพื่อโอบรัดแกนคอนกรีตซึ่งมีกำลังอัด 20.98MPa. การให้แรงทางโอบรัดทางด้านข้างจะกระทำผ่านแฉ็คเก็ต ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง 11.4%-34.3% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ทำให้กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพิ่มขึ้น 3.0-19.3% อย่างไรก็ตามในช่วงที่มีการให้แรงโอบรัดด้านข้างต่ำกำลังรับแรงอัดของเสาตัวอย่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างแก่เสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้แฉ็คเก็ต ไม่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมรรถนะความเหนียวของเสาซึ่งแตกต่างจากกรณีหน้าตัดวงกลม

คำสำคัญ: แฉ็คเก็ต, พารามิเตอร์ความเหนียว, 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 ductility performance including of ductility factor, energy absorption factor and work index, based on its compressive strength and load-deformation characteristics

under uni-axial load test. The main parameter investigated was the confining pressure, which various from 0, 2.4, 4.8 and 7.2MPa 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 showed 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 3.0-19.3%. However, at low confining pressure, the increase of confining pressure slightly increased the compressive strength. Moreover, it was found that the use of preconfining steel jacket for the square section of CFT column does not enhancing its ductility performance unlike the circular section.

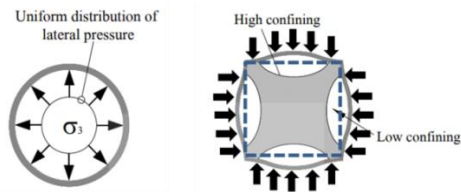
Keywords: Jacketing, Ductility Parameters, Compressive Strength, Preconfining, Failure

1. บทนำ

เสาเหล็กกรอกคอนกรีต (Concrete Filled Tube Column, CFT) เป็นเสาเชิงประกอบที่เกิดจากการบรรจุคอนกรีตลงในท่อเหล็ก ปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้เป็นองค์อาคารในโครงสร้างขนาดใหญ่หลายโครงการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก เช่น Petronas Tower, World Financial Centre Shanghai, Sky Tree Tokyo เป็นต้น[1-4] เนื่องจากแกนคอนกรีตภายในเสาทำหน้าที่ในการรองรับแรงอัดในแนวแกนและยังช่วยป้องกันการเกิดการโก่งคดของปลอกเหล็ก ในทางกลับกันปลอกเหล็กทำหน้าที่รับแรงในแนวแกนร่วมกับคอนกรีตและป้องกันการแบ่งตัวด้านข้างของแกนคอนกรีต ทำให้แกนคอนกรีตอยู่ภายใต้สภาวะความเครียดแบบสามแกน อันเป็นผลส่งต่อให้เป็นผลทำให้เสาเหล็กกรอกคอนกรีตมีความแกร่ง (stiffness), กำลัง

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

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



ก. หน้าตัดวงกลม

ข. หน้าตัดสี่เหลี่ยม

รูปที่ 1 การกระจายหน่วยแรงโอบรัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต[7, 12]

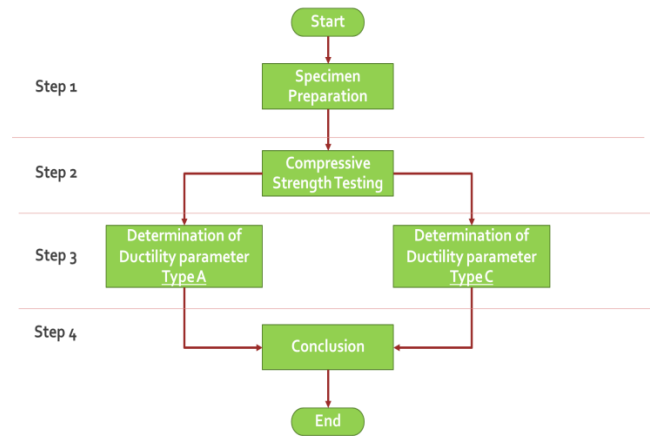
การเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้างก็เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต แต่งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นที่ผลของแรงโอบรัดทางด้านข้างต่อพฤติกรรมของเสาหน้าตัดวงกลม [12-20] สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาผลของแรงโอบรัดทางด้านข้างต่อพฤติกรรมของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมยังมีไม่มาก[7-11] โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของแรงโอบรัดทางด้านข้างในลักษณะ Active Confinement ต่อพฤติกรรมของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมยังมีน้อยมาก[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, และ 7.2 MPa คิดเป็น 0%, 11.4% 22.9% และ 34.3% ของกำลังอัดของแกนคอนกรีต ตามลำดับ

รายละเอียดของชุดทดสอบได้สรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยชื่อตัวอย่างทดสอบที่ระบุถูกกำหนดในรูป CFT-XX ซึ่ง XX หมายถึง หน่วยแรงโอบรัดก่อนทางด้านข้างที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (0%, 10%, 20% และ 30%) สำหรับแต่ละชุดทดสอบจะประกอบด้วยเสาเหล็กกรอกคอนกรีตสองตัวอย่างซึ่งจะนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดและคำนวณพารามิเตอร์ความเหนียว โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดตามแนวแกนของตัวอย่างทดสอบตามวิธีของ Sheikh และคณะ [21] ซึ่งกำลังรับแรงอัดและพารามิเตอร์ความเหนียวได้มาจากค่าเฉลี่ยของ

ตัวอย่างทดสอบ สำหรับค่าพารามิเตอร์ความเหนียวที่ใช้พิจารณาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ตัวประกอบความเหนียว (Ductility factor, μ_{cu}), ตัวประกอบการดูดซับพลังงาน (Energy absorption capacity factor, e_{cu}) และดัชนีงาน (Work index, W_{cu})



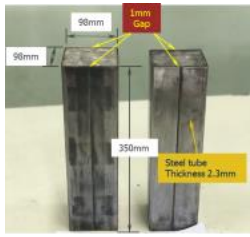
รูปที่ 2 แผนภูมิการดำเนินการทดลอง

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

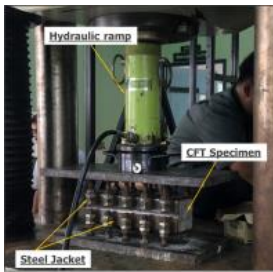
การวิจัยนี้ใช้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด 20.98 MPa (BS1881-116 1983)[22] ปลอกเหล็กใช้เหล็กรูปพรรณเกรด TIS SM490 มีจุดคราก (f_y) และกำลังรับแรงดึง (f_u) ของปลอกเหล็กเท่ากับ 324 MPa และ 490 MPa ตามลำดับ มีขนาด 98x98 มม. หนา 2.3 มม. โดยการเตรียมตัวอย่างเริ่มจากการกรอกคอนกรีตลงในปลอกเหล็กที่มีช่องว่างตามยาว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



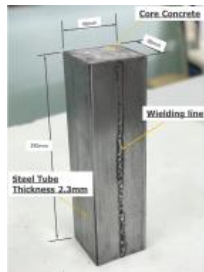
(ก) การหล่อเสาตัวอย่าง



(ข) ใส่แฉักเก็ต



(ค) ถ่ายแรงผ่านแฉักเก็ต

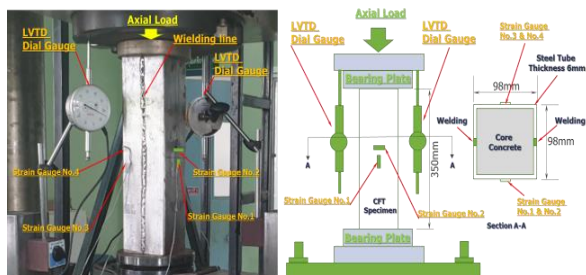


(ง) ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

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 การหัดตัวในแนวแกนถูกวัดด้วย 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. หลังจากนั้นจะหยุดทดสอบเมื่อการเสียรูปตามแนวแกน

มีการหัดตัว 10 มม. หรือเมื่อแรงที่ใช้ลดลงน้อยกว่า 80 % ของแรงสูงสุดที่วัดได้หรือเมื่อแรงที่ใช้ถึง 90 % ของความสามารถของเครื่องทดสอบ ในระหว่างการทดสอบแรงอัดตามแนวแกนและการเปลี่ยนรูปตามแนวแกน จะมีการบันทึกค่าแรงกระทำและการหัดตัวในแนวแกนอย่างต่อเนื่องจนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ

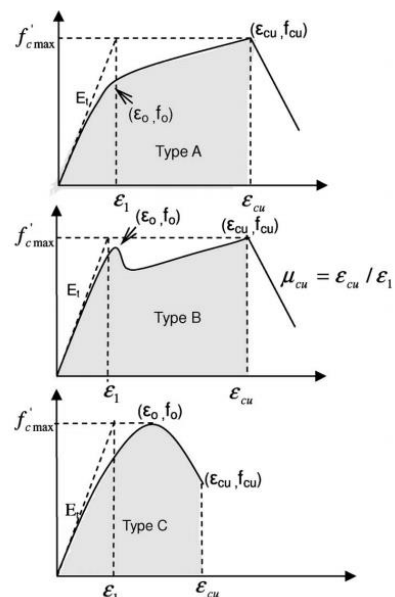
2.3 การหาค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด

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

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

2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ความเหนียว

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต จึงใช้พารามิเตอร์ประเมินความเหนียวซึ่งประกอบด้วย ตัวประกอบความเหนียว (Ductility factor, μ_{cu}), ตัวประกอบการดูดซับพลังงาน (Energy absorption capacity factor, e_{cu}) และดัชนีงาน (Work index, W_{cu}) โดยคำนวณจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดตามแนวแกนตามวิธีของ Sheikh และคณะ [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 ค่าที่ใช้บ่งบอกเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และสามารถใช้ในการขึ้นรูปของวัสดุ สามารถคำนวณได้จากค่าความเครียดที่จุดคราก (ϵ_1) คือ ค่าเริ่มต้นความชันของกราฟไปตัดกับเส้นที่ความเค้นสูงสุด กับค่าความเครียดที่เกิดการวิบัติ (ϵ_{cu}) และในกรณี ประเภท C กำหนดให้ความเครียดที่เกิดการวิบัติเท่ากับ 0.012 ดังสมการที่ (2)

$$\mu_{cu} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_1} \quad (2)$$

ตัวประกอบการดูดซับพลังงาน (Energy absorption capacity factor, e_{cu}) คือ ค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ตลอดการชนกระแทก หรือยุบตัว หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟสะสมของพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูของเส้นโค้งความเค้นกับความเครียดเล็กๆ จนถึงจุดวิบัติของเสา CFT ดัง

แสดงในรูปที่ 5 (ในกรณี ประเภท C กำหนดให้ความเครียดที่เกิดการวิบัติเท่ากับ 0.012)

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

$$W_{cu} = \frac{(e_{cu})}{(f'_{c \max}) (\epsilon_1)} \quad (3)$$

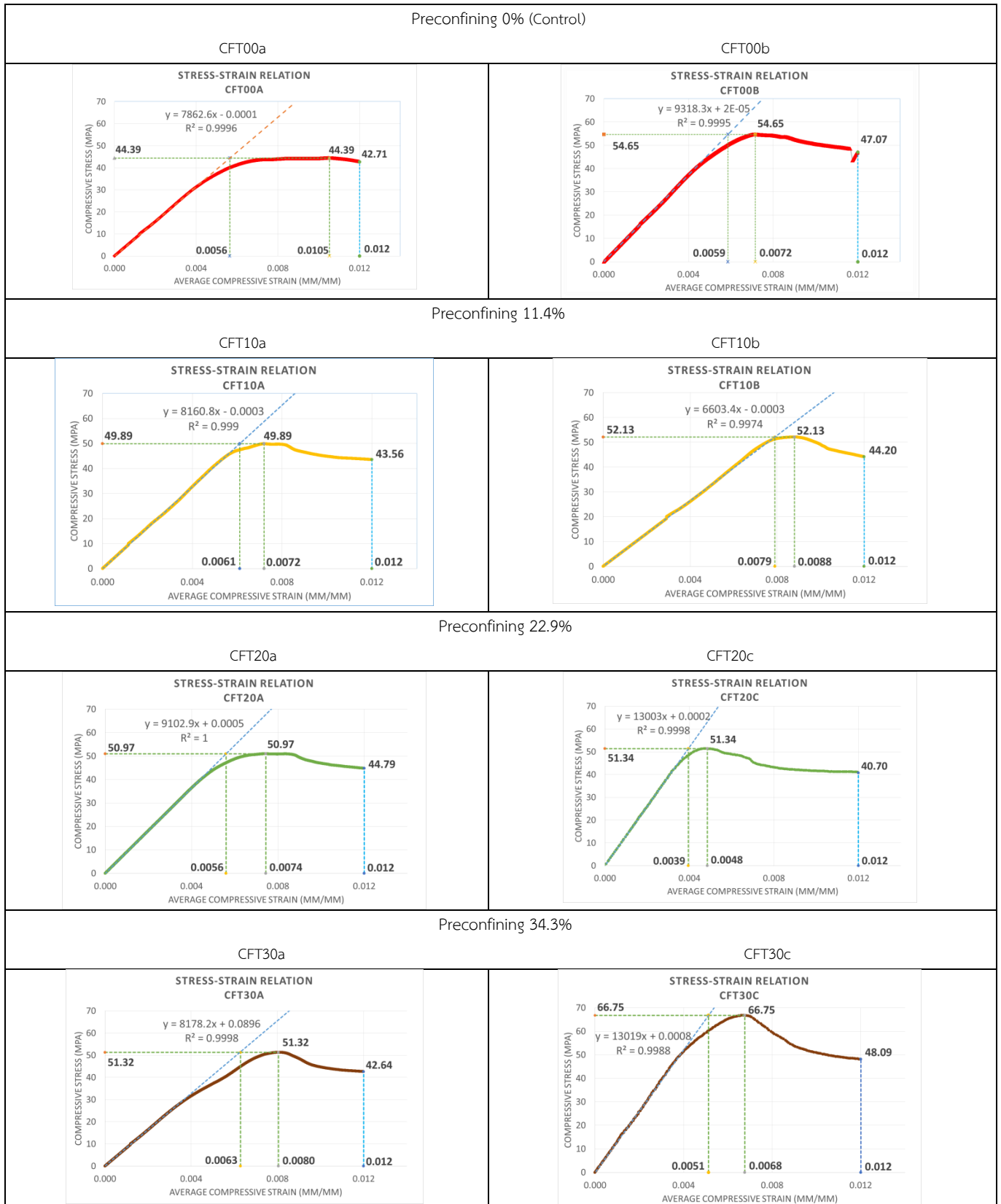
ในขั้นตอนสุดท้าย กำลังรับแรงอัด และค่าพารามิเตอร์ความเหนียวของแต่ละชุดได้จากค่าเฉลี่ยของสองตัวอย่างทดสอบ

3. ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มแรงโอบรัดด้านข้างต่อความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และพารามิเตอร์ความเหนียว ของแต่ละชุดทดสอบหาได้จากค่าเฉลี่ยของ 2 ตัวอย่าง ได้สรุปในตารางที่ 2 และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตได้ ดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบ

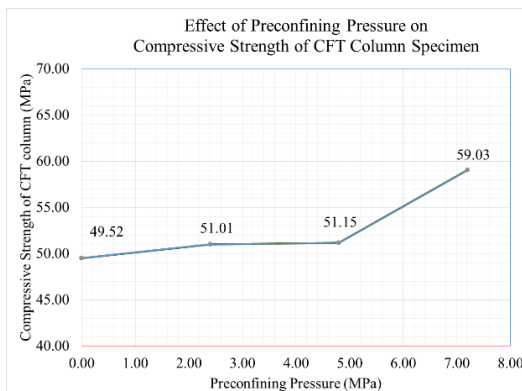
Specimen Series	Preconfining pressure (f_{lp})	Pre-Confining Ratio $\frac{f_{lp}}{f'_{co}} \times 100\%$	f'_{cmax}	Ductility factor (μ_{cu})		Energy absorption capacity factor (e_{cu})		Work index (W_{cu})	
	MPa			MPa	Type A	Type C	Type A	Type C	Type A
CFT-00 (Control)	0.0 (0%)	0	49.52	1.543	2.086	0.280	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



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต

3.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มความดันโอบรัดทางด้านข้างให้กับเสาเหล็กกรอกคอนกรีต 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 แสดงให้เห็นว่าการให้แรงโอบรัดด้านข้างที่ไม่มากพอจะมีประสิทธิภาพต่ำในการพัฒนา กำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ เนื่องจากความดันโอบรัดในแกนคอนกรีตมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ จะมีความดันสูงบริเวณแกนกลางและมุมเท่านั้น[25] การที่จะทำให้บริเวณที่มีความดันต่ำได้รับอิทธิพลจากการโอบรัดจำเป็นต้องให้แรงโอบรัดด้านข้างที่มากพอ

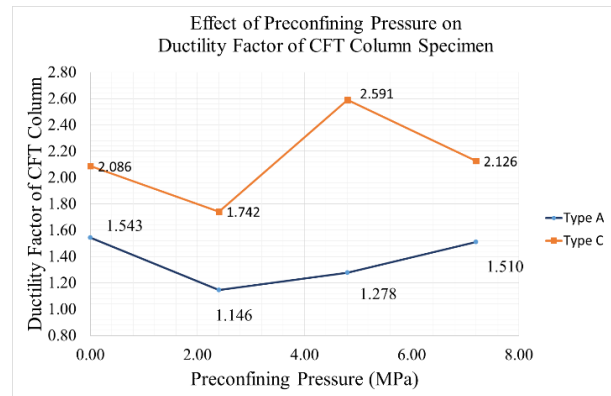


รูปที่ 7 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อกำลังรับแรงอัดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีต

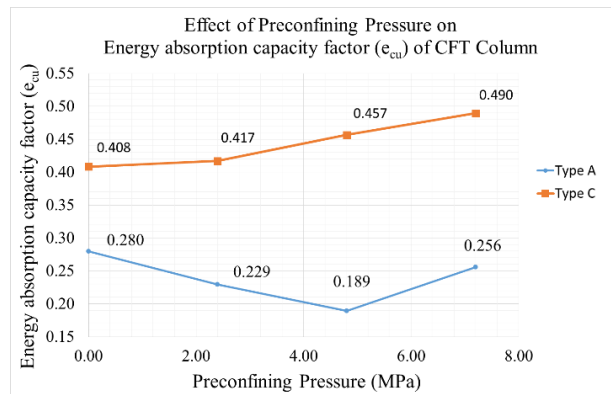
3.2 พารามิเตอร์ความเหนียว

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเครียดของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตจากการทดสอบกำลังรับแรงอัด ในรูปที่ 6 ถูกนำมาคำนวณหา ค่าพารามิเตอร์ความเหนียวของเสา จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่อมีการให้แรงโอบรัดด้านข้างรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเครียดของเสาตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณารูปแบบกราฟความดันกับความเครียดของเสาตัวอย่าง เป็นทั้งประเภท A และประเภท C เพราะรูปแบบลักษณะการวิบัติของตัวอย่างผลการทดสอบไม่ชัดเจน เนื่องจากอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของเหล็กกรอกคอนกรีตมากกว่า 30 ($B/t > 30$) เพื่อประเมินความเหนียวทั้งสองรูปแบบและได้สรุปค่าพารามิเตอร์ความเหนียวของเสาทั้งสองรูปแบบไว้ใน

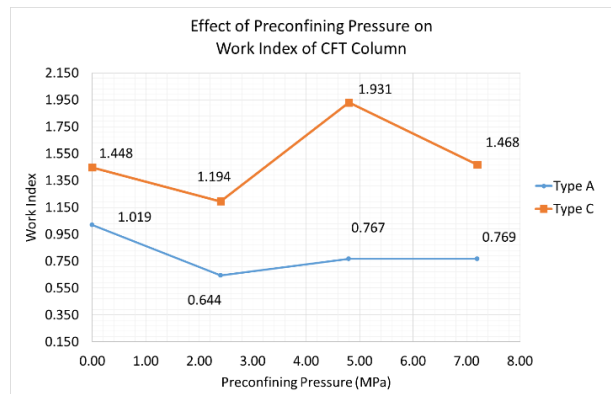
ตารางที่ 2 สำหรับอิทธิพลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อค่าพารามิเตอร์ความเหนียวของทั้งสองรูปแบบ ได้แสดงในรูปที่ 8-รูปที่ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 8 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อตัวประกอบความเหนียว



รูปที่ 9 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อตัวประกอบการดูดซับพลังงาน



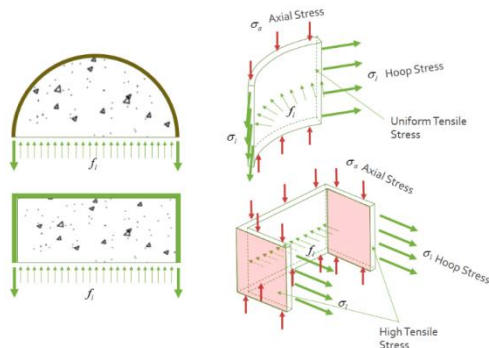
รูปที่ 10 ผลของแรงโอบรัดด้านข้างต่อดัชนีงาน

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%)

จากการพิจารณาการมีเตอร์ความเหนียวทั้งสองรูปแบบ จะเห็นได้ว่าการใช้แฉ็คเกิดเพิ่มแรงโอบรัดทางด้านข้างให้กับเสาเหล็กกรอกคอนกรีตนั้น ไม่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเหนียว ทั้งนี้ ผลที่ได้ อาจเกิดจากความเค้นโอบรัดในปลอกเหล็ก (Hoop Stress) มีการกระจายไม่สม่ำเสมอ ในระหว่างขั้นตอนให้กำลังรับแรงอัดแก่เสาตัวอย่าง การให้ความเค้นโอบรัดด้านข้างของเสาน้ำตดสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีความเค้นสูงเฉพาะด้านที่ให้แรงโอบรัด[23] ซึ่งต่างจากเสาน้ำตดวงกลมที่มีการกระจายความเค้นโอบรัดในปลอกเหล็กสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 11 ดังนั้น เมื่อเสารับแรงอัด ความเค้นอัดในแนวตั้งจะเสริมกับความเค้นตั้งในแนวราบ ทำให้เสถียรภาพของผนังเหล็กด้านที่ให้แรงโอบรัดลดลง เป็นเหตุให้ปลอกเหล็กด้านนี้มีโอกาสเกิดวิบัติมากกว่าเมื่อเสามีการหดตัวจากแรงอัดเท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเสาที่มีค่าสัดส่วนความกว้างของเสา(B) ต่อความหนาของเหล็กปลอก(t) มากกว่า 30[26, 27] และเสาที่มีอัตราส่วนความยาว(L)ต่อความกว้างของเสา(B)สูง จะได้รับประโยชน์จากการโอบรัดทางด้านข้างน้อย[8, 28]



รูปที่ 11 รูปแบบการกระจายความเค้นของท่อเหล็กกลมและสี่เหลี่ยม[23]

4. บทสรุป

ผลของการเพิ่มแรงโอบรัดด้านข้างต่อความเหนียวของเสาเหล็กกรอกคอนกรีตหน้าตดสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

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

2. การเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างแก่เสาเหล็กกรอกคอนกรีตโดยใช้แฉ็คเกิด ไม่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความเหนียว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 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). Biorhovde, 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] ชูสิทธิ์ อู๋ยืนยงค์, สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และ ศาสน์ สุขประเสริฐ (2553). การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตหน้าตดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก. *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. 16th 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.