

พฤติกรรมการดัดของคานเหล็กกล่องกลวงที่มีการเติมคอนกรีตบางส่วน

Flexural Behavior of Hollow Section Steel Beams with Partially Infilled Concrete

นพดล สุธะหลาน^{1*}, ประกิต ชมชื่น¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: noppadon_cm15@hotmail.com

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปการกรอกคอนกรีตในคานช่วยให้เพิ่มความสามารถในการรับกำลังของคานได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากคอนกรีตเป็นส่วนช่วยให้ความสามารถในการรับแรงอัดซึ่งเป็นส่วนประกอบของการดัดของคานเหล็กกล่องกลวงเพิ่มขึ้น กล่าวคือเติมที่คานไม่เสริมคอนกรีตนั้นเหล็กด้านรับแรงอัดจะรับแรงจนกระทั่งเหล็กเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ ซึ่งถือเป็นกำลังสูงสุดที่คานสามารถต้านทานการดัดได้ ต่อเมื่อมีการกรอกคอนกรีตลงในคานแล้ว คอนกรีตก็จะช่วยรับแรงอัดดังกล่าว ส่งผลให้คานสามารถรับการดัดได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามยังพบว่ากำลังรับการดัดของคานกรอกคอนกรีตยังคงถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะเฉพาะที่ของเหล็กอยู่ดี นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมายังแสดงให้เห็นว่าการโก่งเดาะเฉพาะที่มักเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณที่มีแรงดัดสูงสุด ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการดัดของคานเหล็กกล่องกลวงที่มีการกรอกคอนกรีตบางส่วน โดยมีแนวคิดในการลดน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่อาจไม่มีผลต่อการรับกำลังดัดลง การกรอกคอนกรีตจะกรอกเฉพาะบริเวณกลางคานโดยคิดเป็นการกรอกคอนกรีต 50 เปอร์เซ็นต์ของความยาวคาน คานเหล็กที่ทั้งกรอกคอนกรีตเต็มความยาว กรอกคอนกรีต 50 เปอร์เซ็นต์ของความยาวคาน และไม่กรอกคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่าการกรอกคอนกรีตในคานบางส่วนเทียบกับคานเหล็กกล่องกลวงพบว่าสามารถช่วยเพิ่มกำลังดัดได้สูงสุด 1.379-1.615 ตัน-เมตร และอภิปรายผลในบทความนี้

คำสำคัญ: คานเหล็กกล่อง, เหล็กกล่องกรอกคอนกรีต, กำลังรับแรงดัด

Abstract

Generally, infilling concrete in hollow section steel beams can enhance their flexural capacity significantly. The infilled concrete plays an important role to resist compressive component of bending moment. In hollow section steel beams without infilled concrete, the compressive component of bending moment is resisted only by the steel flange. Under the compressive component, the beam's flange reaches their limit when it is buckled. In other words, local buckling of beam flange under compressive component is the component that control

the flexural behavior of the hollow section steel beams. In hollow section steel beams with infilled concrete, the concrete resists the compressive component of bending moment together with the beam's flange. However, even the flexural capacity of the beams with infilled concrete are greater than those one of the beam without infilled concrete, the local buckling of the beam's flange still be the capacity control component and occurred at the maximum moment position. Therefore, this study aims to reduce unnecessary weight of concrete that may not contribute to the capacity enhancement of the beams with infilled concrete. The flexural testing of hollow section steel beams with infilled concrete about 50 percent of beam length are performed together with the beams with full infilled concrete and without infilled concrete. The results of the study show that of Hollow Section Steel Beams with Partially Infilled Concrete can increase the maximum bending force 1.379-1.615 tons-meters and Results of the study will be discussed.

Keywords: Hollow Section Steel Beams, Hollow Section Steel with Infilled Concrete, Flexural Strength.

1. คำนำ

โครงสร้างเหล็กกล่องกลวงเป็นที่นิยมในปัจจุบันเนื่องจากสามารถใช้งานได้หลากหลาย ดัดแปลงขึ้นงานได้ มีประสิทธิภาพต่อน้ำหนักสูง ทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักเบา ติดตั้งได้รวดเร็ว อย่างไรก็ตาม โครงสร้างชนิดนี้มักใช้สำหรับองค์อาคารที่รับน้ำหนักบรรทุกไม่สูงนัก เนื่องจากเหล็กกล่องกลวงมีความหนาน้อย เมื่อรับแรงกระทำแล้วมักเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ภายใต้แรงอัด ส่งผลให้มีความสามารถรับกำลังได้ไม่สูงนัก องค์อาคารต้านทานการดัดเป็นอีกองค์อาคารหนึ่งที่ยังนิยมใช้เหล็กกล่องกลวง เนื่องจากมีความสมมาตรและต้านทานการดัดได้ดีกว่าเหล็กหน้าตัดตัวซี กระนั้นแรงอัดซึ่งเป็นผลมาจากโมเมนต์ดัดเป็นส่วนประกอบที่ทำให้เหล็กกล่องกลวงขึ้นรูปเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่บริเวณปีกรับแรงอัด

จากงานวิจัยและการใช้งานที่ผ่านมาพบว่า เหล็กกล่องกลวงสามารถรับโมเมนต์ดัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีการรอกคอนกรีตด้านใน นอกจากนี้จะเป็นผลมาจากพฤติกรรมแบบวัสดุผสม (Composite Behavior) แล้ว การรอกคอนกรีตยังช่วยให้เกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ได้ยากขึ้นด้วย [1-2] โดยการศึกษาพบว่าคานเหล็กกล่องกลวงสามารถรับโมเมนต์ดัดได้มากขึ้นประมาณ 15% เมื่อมีการเติมคอนกรีตเต็มตลอดความยาวคาน

Salam Al – Obaidi และคณะ [3] ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของกำลังอัดของคอนกรีตต่อพฤติกรรมการดัดของคานเหล็กกล่องกลวงเติมคอนกรีตเต็มตลอดความยาว พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่รอกในเหล็กกล่องกลวงที่เพิ่มขึ้นนั้นช่วยให้ห้องคานมีความสามารถด้านทานการดัดเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ

Ahmed A.M. Al-Shaar [4] ทดสอบการดัดของเหล็กกล่องกลวงเติมคอนกรีตมวลเบาเต็มตลอดความยาว พบว่าการรอกคอนกรีตมวลเบา นั้นยังคงช่วยให้คานเหล็กกล่องกลวงสามารถรับโมเมนต์ดัดได้มากกว่าคานที่ไม่รอกคอนกรีต นอกจากนี้ยังช่วยให้น้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างลดลงอีกด้วย

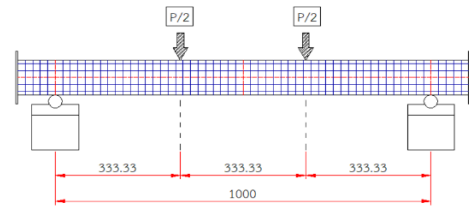
จากผลการศึกษาที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าการรอกคอนกรีตลงในเหล็กกล่องกลวงนั้นช่วยเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอย่างมีนัยสำคัญ และยังเพิ่มภาระแก่โครงสร้างในรูปแบบของน้ำหนักบรรทุกคงที่อีกด้วย ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาถึงผลของการรอกคอนกรีตในเหล็กกล่องกลวงต่อพฤติกรรมการดัดของคาน โดยคอนกรีตที่รอกนั้นจะรอกไม่เต็มช่วงความยาวคาน กล่าวคือรอกเฉพาะบริเวณกลางคาน ทั้งนี้เพื่อศึกษาว่าเมื่อรอกคอนกรีตบางส่วนของความยาวคานจะส่งผลต่อความสามารถด้านทานการดัดของคานอย่างไร โดยจะเปรียบเทียบกับคานเหล็กกล่องกลวงที่ไม่ได้รอกคอนกรีตและรอกคอนกรีตตลอดความยาวคาน

2. วิธีการทดสอบและขึ้นทดสอบ

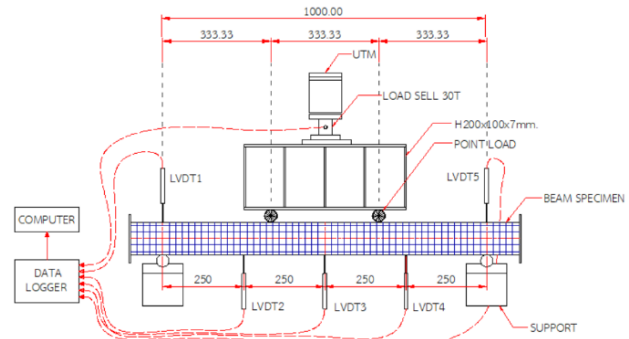
การศึกษานี้ใช้การทดสอบการดัดแบบคานช่วงเดียว เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดัดของคานเหล็กกล่องกลวงมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การทดสอบการดัดของคานเหล็กช่วงเดียว

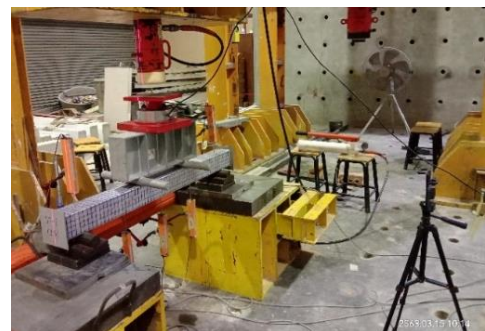
การศึกษานี้ใช้การทดสอบแบบคานช่วงเดียว ฐานรองรับธรรมดา ในการศึกษาพฤติกรรมการดัด โดยมีแรงกระทำที่ระยะ $L/3$ และระยะห่างระหว่างจุดรองรับเท่ากับ 1.00 ม. ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 1 การทดสอบกระทำโดยเพิ่มแรงกระทำขึ้นเรื่อยๆ การวัดการโก่งตัวของคานจะกระทำที่ 3 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 2 โดยจะวัดทั้งค่าของแรงกระทำและการโก่งตัวของคานไปพร้อมกัน การติดตั้งขึ้นทดสอบและอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 การจำลองโหลดกระทำกับคานช่วงเดียว



รูปที่ 2 การจำลองการติดตั้งการทดสอบคานช่วงเดียว



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบคานช่วงเดียวในห้องปฏิบัติการ

2.2 คานเหล็กกล่องที่ใช้ในการศึกษา

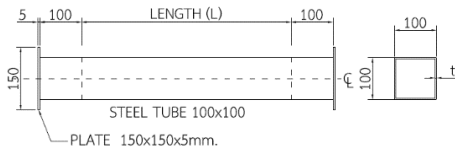
การศึกษานี้ใช้คานเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงขนาด 100x100x2.0 มม., 100x100x2.5 มม., 100x100x3.2 มม. เป็นขึ้นทดสอบ โดยคานแต่ละขนาดใช้ขนาดละ 15 ชิ้น โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้

2.2.1 เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงไม่รอกคอนกรีต (ST-XX), จำนวน 5 ตัวอย่าง

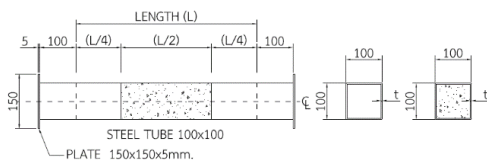
2.2.2 เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงกรอกคอนกรีตเฉพาะส่วน (PCFST-XX), จำนวน 5 ตัวอย่าง

2.2.3 เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงกรอกคอนกรีตตลอดความยาว (CFST-XX), จำนวน 5 ตัวอย่าง

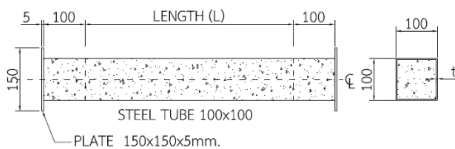
รายละเอียดของคานเหล็กกล่องกลวงไม่กรอกคอนกรีต (ST) คานเหล็กกล่องกลวงกรอกคอนกรีตเฉพาะส่วน (PCFST) และคานเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงกรอกคอนกรีตตลอดความยาว (CFST) แสดงดังรูปที่ 4-6 ตามลำดับ



รูปที่ 4 คานเหล็กกล่องกลวงไม่กรอกคอนกรีต (ST)



รูปที่ 5 คานเหล็กกล่องกลวงไม่กรอกคอนกรีตเฉพาะส่วน (PCFST)



รูปที่ 6 คานเหล็กกล่องกลวงเต็มความยาว (CFST)

คอนกรีตที่ใช้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จที่มีกำลังอัดประลัย (f_c') เท่ากับ 210 กก./ตร.ซม. ก่อนการทดสอบคานที่ศึกษาได้ทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตทรงกระบอกได้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตขณะทดสอบดังตารางที่ 1

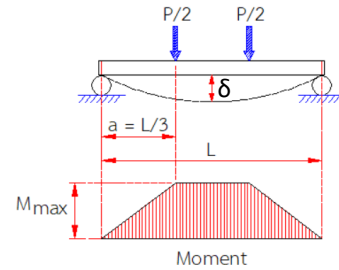
ตารางที่ 1 สรุปรายละเอียดขนาดวัสดุที่ใช้ทดสอบวัสดุ

| ลำดับ | รายละเอียด | รหัส | f_c' (Ksc) | ความยาว L (มม.) |
|-------|-----------------|----------------------|--------------|-----------------|
| 1 | 100x100x2.0 มม. | ST-01 to ST-05 | N/A | 1000 |
| 2 | 100x100x2.0 มม. | PCFST-01 to PCFST-05 | 255.29 | 1000 |
| 3 | 100x100x2.0 มม. | CFST-01 to CFST-05 | 255.29 | 1000 |
| 4 | 100x100x2.5 มม. | ST-01 to ST-05 | N/A | 1000 |
| 5 | 100x100x2.5 มม. | PCFST-01 to PCFST-05 | 255.29 | 1000 |
| 6 | 100x100x2.5 มม. | CFST-01 to CFST-05 | 255.29 | 1000 |
| 7 | 100x100x3.2 มม. | ST-01 to ST-05 | N/A | 1000 |
| 8 | 100x100x3.2 มม. | PCFST-01 to PCFST-05 | 255.29 | 1000 |
| 9 | 100x100x3.2 มม. | CFST-01 to CFST-05 | 255.29 | 1000 |

2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ค่าแรงกระทำที่วัดได้จากการทดสอบสามารถคำนวณเป็นโมเมนต์ตัดได้จากหลักการในรูปที่ 7 และสมการที่ 1

$$M_{max} = \frac{P}{2} \cdot a \quad (1)$$



รูปที่ 7 แผนภาพโมเมนต์ตัดและหลักการคำนวณโมเมนต์ตัดสูงสุด

การศึกษานี้ยังใช้ดัชนีกำลัง (The moment strength index, MSCI) เพื่อเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์ตัดของคานที่ศึกษา ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 2-3

$$MSCI_{PCFST} = M_{PCFST} / M_{ST} \quad (2)$$

$$MSCI_{CFST} = M_{CFST} / M_{ST} \quad (3)$$

เมื่อ $MSCI_{PCFST}$ คือดัชนีกำลังของคานเหล็กกล่องกลวงกรอกคอนกรีตบางส่วน

$MSCI_{CFST}$ คือดัชนีกำลังของคานเหล็กกล่องกลวงกรอกคอนกรีตตลอดความยาวคาน

3. ผลการศึกษา

3.1 การวิบัติของคานเหล็กกล่องกลวง

จากการทดสอบพบว่าขึ้นทดสอบ ST เกิดการวิบัติบริเวณจุดที่มีแรงกระทำ การวิบัติเป็นลักษณะการคดของปีกคานบนและการโก่งของแผ่นเอวดังแสดงในรูปที่ 8 สำหรับขึ้นทดสอบ PCFST และ CFST จะเกิดการวิบัติของขึ้นทดสอบบริเวณจุดที่แรงกระทำเช่นกัน แต่การวิบัติจะเป็นลักษณะการโก่งคดของปีกคานด้านรับแรงอัดดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 8 การวิบัติของขึ้นทดสอบ ST



รูปที่ 9 การวิบัติของชิ้นทดสอบ PCFST



รูปที่ 10 การวิบัติของชิ้นทดสอบ CFST

3.2 โมเมนต์ดัดสูงสุดและค่าการโก่งตัวของคานจากการทดสอบ

ผลการทดสอบของชิ้นทดสอบความหนา 2.0 มม., 2.5 มม., 3.2 มม. แสดงดังตารางที่ 2 - 4 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของโมเมนต์ดัดสูงสุดที่คานสามารถรับได้แสดงดังตารางที่ 5 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการรอกคอนกรีตในเหล็กกล่องกลวงตลอดความยาวจะทำให้ความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดเพิ่มสูงสุดได้ถึง 1.421 - 2.291 ตัน-เมตร เมื่อเทียบกับคานที่ไม่รอกคอนกรีต ผลการศึกษายังแสดงว่าการรอกคอนกรีตบางส่วนในการศึกษานี้ช่วยให้คานเหล็กกล่องกลวงรับโมเมนต์ดัดเพิ่มสูงสุดขึ้นได้ถึง 1.110 - 2.046 ตัน-เมตร เมื่อเทียบกับคานที่ไม่รอกคอนกรีต

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับการโก่งตัวของคานแสดงดังรูปที่ 11 - 13 สำหรับคานเหล็กกล่อง ST, PCFST, CFST ตามลำดับ จะพบว่าการรอกคอนกรีตลงในเหล็กกล่องกลวงนั้นไม่เพียงแต่จะช่วยให้อาคารสามารถรับโมเมนต์ดัดได้สูงขึ้นเท่านั้น แต่ยังช่วยให้อาคารสามารถรับกำลังต่อไปได้หลังจากรับกำลังสูงสุดอีกด้วย

จากตารางที่ 2-4 ค่า Deflection ST-01, ST-02 (ความหนาเหล็กกล่องกลวง 2.0 มม.) แตกต่างกันประมาณสองเท่า เกิดจากสาเหตุการใช้แผ่นเหล็กรองรับจุด P/2 ทั้ง 2 ข้าง ประกอบกับการใช้ Load sell 10 ตันในการทดสอบครั้งแรกและปรับเปลี่ยนมาใช้ Load sell 30 ตันเพื่อความเหมาะสมกับการทดสอบชิ้นตัวอย่างอื่นต่อไป

ตารางที่ 2 ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดเทียบกับค่าการโก่งตัวของคานความหนา 2.0 มม.

| ลำดับ | รหัส - ความหนา 2.0 มม. | Self-Weight (Kg.) | น้ำหนักที่รับได้ P (kg) | Mu (T.-m.) | Deflection Mid Span (mm.) |
|-------|------------------------|-------------------|-------------------------|------------|---------------------------|
| 1 | ST-01 | 8.77 | 3,456 | 0.577 | 10.68 |
| 2 | ST-02 | 8.76 | 5,761 | 0.952 | 22.98 |
| 3 | ST-03 | 8.72 | 5,632 | 0.939 | 22.77 |
| 4 | ST-04 | 8.70 | 5,710 | 0.960 | 23.39 |
| 5 | ST-05 | 8.64 | 5,581 | 0.930 | 23.49 |

| | | | | | |
|----|----------|-------|-------|-------|-------|
| 6 | PCFST-01 | 19.06 | 6,818 | 1.237 | 30.77 |
| 7 | PCFST-02 | 19.29 | 6,357 | 1.136 | 30.71 |
| 8 | PCFST-03 | 19.35 | 7,071 | 1.179 | 31.38 |
| 9 | PCFST-04 | 19.02 | 7,197 | 1.200 | 31.07 |
| 10 | PCFST-05 | 19.32 | 7,329 | 1.110 | 31.40 |
| 11 | CFST-01 | 38.85 | 9,140 | 1.421 | 31.11 |
| 12 | CFST-02 | 33.92 | 8,823 | 1.471 | 47.53 |
| 13 | CFST-03 | 33.89 | 9,600 | 1.503 | 45.00 |
| 14 | CFST-04 | 33.82 | 9,592 | 1.599 | 53.89 |
| 15 | CFST-05 | 35.08 | 9,724 | 1.621 | 14.10 |

ตารางที่ 3 ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดเทียบกับค่าการโก่งตัวของคานความหนา 2.5 มม.

| ลำดับ | รหัส - ความหนา 2.5 มม. | Self-Weight (Kg.) | น้ำหนักที่รับได้ P (kg) | Mu (T.-m.) | Deflection Mid Span (mm.) |
|-------|------------------------|-------------------|-------------------------|------------|---------------------------|
| 1 | ST-01 | 10.54 | 5,474 | 0.912 | 26.32 |
| 2 | ST-02 | 10.52 | 5,979 | 0.997 | 9.40 |
| 3 | ST-03 | 10.58 | 5,574 | 0.929 | 5.61 |
| 4 | ST-04 | 10.59 | 5,682 | 0.947 | 8.49 |
| 5 | ST-05 | 10.56 | 5,742 | 0.957 | 5.74 |
| 6 | PCFST-01 | 21.23 | 9,223 | 1.508 | 10.03 |
| 7 | PCFST-02 | 21.16 | 9,163 | 1.527 | 12.29 |
| 8 | PCFST-03 | 20.78 | 8,902 | 1.484 | 10.73 |
| 9 | PCFST-04 | 20.86 | 9,050 | 1.508 | 11.40 |
| 10 | PCFST-05 | 20.70 | 9,072 | 1.512 | 13.25 |
| 11 | CFST-01 | 34.99 | 10,714 | 1.775 | 50.04 |
| 12 | CFST-02 | 35.11 | 10,777 | 1.818 | 20.63 |
| 13 | CFST-03 | 33.91 | 9,210 | 1.535 | 58.20 |
| 14 | CFST-04 | 34.76 | 10,778 | 1.770 | 47.72 |
| 15 | CFST-05 | 34.91 | 10,649 | 1.775 | 55.55 |

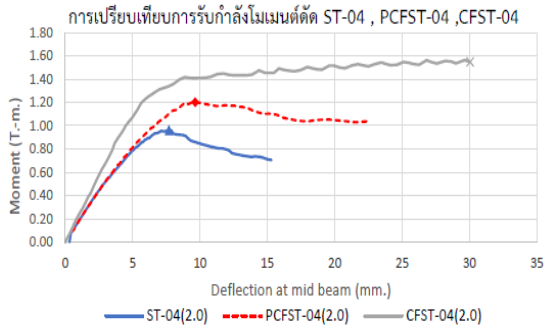
ตารางที่ 4 ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดเทียบกับค่าการโก่งตัวของคานความหนา 3.2 มม.

| ลำดับ | รหัส - ความหนา 3.2 มม. | Self-Weight (Kg.) | น้ำหนักที่รับได้ P (kg) | Mu (T.-m.) | Deflection Mid Span (mm.) |
|-------|------------------------|-------------------|-------------------------|------------|---------------------------|
| 1 | ST-01 | 12.29 | 7,432 | 1.262 | 7.39 |
| 2 | ST-02 | 12.29 | 6,925 | 1.154 | 7.41 |
| 3 | ST-03 | 12.25 | 6,999 | 1.167 | 7.61 |
| 4 | ST-04 | 12.28 | 7,292 | 1.215 | 6.61 |
| 5 | ST-05 | 12.20 | 6,675 | 1.113 | 6.08 |
| 6 | PCFST-01 | 22.29 | 11,703 | 1.951 | 22.15 |
| 7 | PCFST-02 | 21.77 | 10,529 | 1.755 | 18.23 |
| 8 | PCFST-03 | 21.96 | 11,991 | 1.999 | 17.87 |

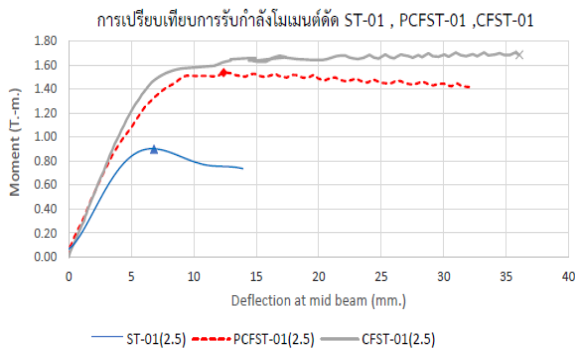
| | | | | | |
|----|----------|-------|--------|-------|-------|
| 9 | PCFST-04 | 22.04 | 10,999 | 1.780 | 22.13 |
| 10 | PCFST-05 | 22.34 | 12,277 | 2.046 | 15.95 |
| 11 | CFST-01 | 35.93 | 14,693 | 2.118 | 49.14 |
| 12 | CFST-02 | 35.76 | 12,812 | 2.135 | 41.23 |
| 13 | CFST-03 | 37.75 | 13,541 | 2.257 | 55.52 |
| 14 | CFST-04 | 35.61 | 13,574 | 2.291 | 60.35 |
| 15 | CFST-05 | 35.97 | 13,574 | 2.262 | 58.85 |

ตารางที่ 5 สรุปค่าเฉลี่ยโมเมนต์ดัดสูงสุด

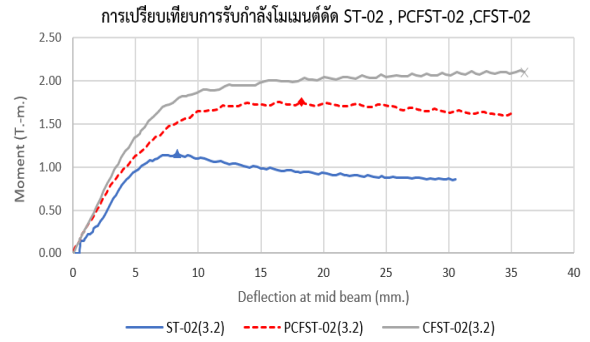
| ลำดับ | รหัส | ความหนา (มม.) | Mu ^u (T.-m.) | MSCI |
|-------|----------------------|---------------|-------------------------|-------|
| 1 | ST-01 to ST-05 | 2.0 | 0.872 | 1.000 |
| 2 | PCFST-01 to PCFST-05 | 2.0 | 1.172 | 1.344 |
| 3 | CFST-01 to CFST-05 | 2.0 | 1.203 | 1.379 |
| 4 | ST-01 to ST-05 | 2.5 | 0.948 | 1.000 |
| 5 | PCFST-01 to PCFST-05 | 2.5 | 1.508 | 1.591 |
| 6 | CFST-01 to CFST-05 | 2.5 | 1.735 | 1.830 |
| 7 | ST-01 to ST-05 | 3.2 | 1.182 | 1.000 |
| 8 | PCFST-01 to PCFST-05 | 3.2 | 1.910 | 1.615 |
| 9 | CFST-01 to CFST-05 | 3.2 | 2.213 | 1.872 |



รูปที่ 11 โมเมนต์ดัดกับการโก่งตัวของคาน ST ,PCFST ,CFST ความหนา 2.0 มม.

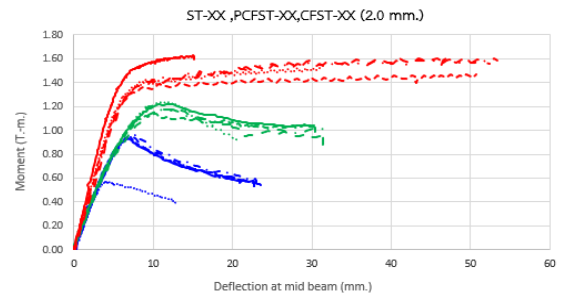


รูปที่ 12 โมเมนต์ดัดกับการโก่งตัวของคาน ST ,PCFST ,CFST ความหนา 2.5 มม.

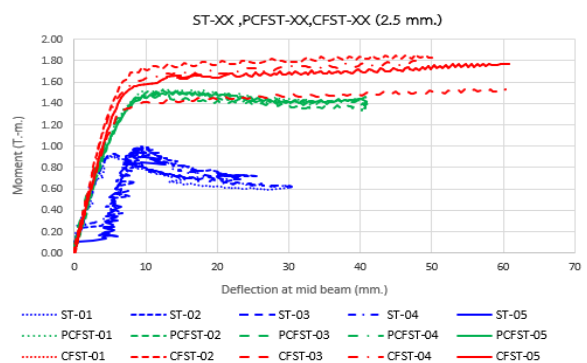


รูปที่ 13 โมเมนต์ดัดกับการโก่งตัวของคาน ST ,PCFST ,CFST ความหนา 3.2 มม.

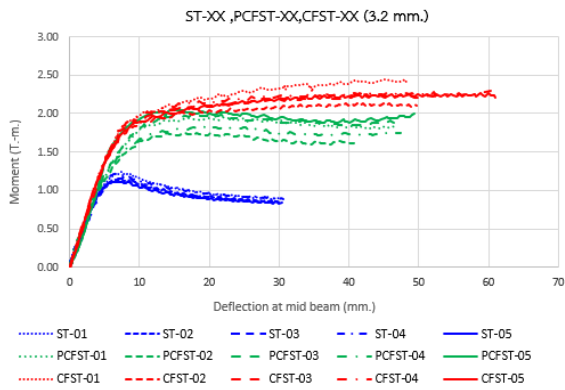
3.3 การวิเคราะห์กำลังต้านทานโมเมนต์สูงสุดของหน้าตัดที่เกิดการวิบัติ การศึกษาใช้ชิ้นทดสอบที่มีความหนา 2.0 มม. 2.5 มม. และ 3.2 มม. โดยศึกษาในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับการโก่งตัวที่กลางคานแสดงดังรูปที่ 14 – 16 สำหรับเหล็กกล่องกลางความหนาตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า การกรอกคอนกรีตตลอดช่วงความยาวคานทำให้คานเหล็กกล่องกลางมีความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นทุกกรณี หน้าตัดคอนกรีตวิบัติแบบแตกที่ผิวบนของขอบคานเหล็กที่โก่งออก ผลการศึกษายังพบว่า แม้การกรอกคอนกรีตบางส่วนจะช่วยให้คานเหล็กกล่องกลางสามารถรับโมเมนต์ดัดได้สูงขึ้น โดยการเพิ่มแรงอัดของคอนกรีตบริเวณหน้าตัดที่เกิดการวิบัติ และยังพบว่า การกรอกคอนกรีตด้านในแบบแรงเฉือนก่อน การวิบัติเหล็กกล่องกลางเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของพฤติกรรมของเหล็กตามเดิม



รูปที่ 14 โมเมนต์ดัดกับการโก่งตัวของคานเหล็กกล่องความหนา 2.0 มม.



รูปที่ 15 โมเมนต์ดัดกับการโก่งตัวของคานเหล็กกล่องความหนา 2.5 มม.



รูปที่ 16 โมเมนต์ดัดกับการโก่งตัวของคานเหล็กกล่องความหนา 3.2 มม.

3.4 น้ำหนักของชิ้นทดสอบ

วัตถุประสงค์หลักของการรอกคอนกรีตบางส่วนในการศึกษานี้คือเพื่อลดน้ำหนักบรรทุกที่ของโครงสร้างลง ดังนั้นค่าเฉลี่ยน้ำหนักชิ้นทดสอบ PCFST และ CFST เทียบกับ ST แสดงดังตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบพบว่ากรอกคอนกรีตบางส่วนและการรอกคอนกรีตตลอดความยาวคานสำหรับเหล็กหนา 2 มม. ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น 2.20 และ 4.03 เท่าตามลำดับ การรอกคอนกรีตบางส่วนและการรอกคอนกรีตตลอดความยาวคานสำหรับเหล็กหนา 2.5 มม. ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น 1.98 และ 3.29 เท่าตามลำดับ การรอกคอนกรีตบางส่วนและการรอกคอนกรีตตลอดความยาวคานสำหรับเหล็กหนา 3.2 มม. ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น 1.80 และ 2.92 เท่าตามลำดับ กล่าวโดยสรุปคือการรอกคอนกรีตบางส่วนสามารถลดน้ำหนักบรรทุกจากการรอกคอนกรีตตลอดความยาวคานลงได้มากกว่า 40%

ตารางที่ 6 สรุปค่าเฉลี่ยน้ำหนักชิ้นงาน (Average self-weight)

| ลำดับ | รหัส | ความหนา (มม.) | Average self-weight (kg.) | ค่าความแตกต่างของน้ำหนักชิ้นทดสอบ |
|-------|----------------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1 | ST-01 to ST-05 | 2.0 | 8.72 | 1.00 |
| 2 | PCFST-01 to PCFST-05 | 2.0 | 19.21 | 2.20 |
| 3 | CFST-01 to CFST-05 | 2.0 | 35.11 | 4.03 |
| 4 | ST-01 to ST-05 | 2.5 | 10.56 | 1.00 |
| 5 | PCFST-01 to PCFST-05 | 2.5 | 20.95 | 1.98 |
| 6 | CFST-01 to CFST-05 | 2.5 | 34.74 | 3.29 |
| 7 | ST-01 to ST-05 | 3.2 | 12.26 | 1.00 |
| 8 | PCFST-01 to PCFST-05 | 3.2 | 22.08 | 1.80 |
| 9 | CFST-01 to CFST-05 | 3.2 | 35.80 | 2.92 |

4. สรุปผลงานศึกษาวิจัย

บทความนี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมการดัดของคานเหล็กกล่องกลวงเติมคอนกรีตบางส่วน ด้วยแนวคิดการลดน้ำหนักบรรทุกที่ลงเทียบกับการรอกคอนกรีตเต็มตลอดความยาวคาน ขณะที่ยังสามารถรับโมเมนต์ดัดได้เพิ่มขึ้นเทียบกับคานไม่กรอกคอนกรีต ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

- การเติมคอนกรีตบางส่วน ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของคานเหล็กกล่องสามารถรับกำลังดัดสูงสุดได้ 1.110-1.237 ตัน-เมตร (2.0มม.), รับกำลังดัดสูงสุดได้ 1.484-1.527 ตัน-เมตร (2.5มม.), และ รับกำลังดัดสูงสุดได้ 1.755-2.046 ตัน-เมตร (3.2มม.) เมื่อเทียบกับความสามารถรับโมเมนต์ดัดของคานเหล็กกล่องกลวงไม่กรอกคอนกรีต
- การเติมคอนกรีตบางส่วนสามารถช่วยลดน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ลงได้มากกว่า 40% เทียบกับน้ำหนักของคานเหล็กกล่องกลวงกรอกคอนกรีตเต็มตลอดความยาวคาน
- การเติมคอนกรีตบางส่วนในการศึกษานี้ส่งผลให้ความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดสูงสุดลดลงมากที่สุดประมาณ 15% เทียบกับคานเหล็กกล่องกลวงกรอกคอนกรีตเต็มตลอดความยาวคาน
- การเติมคอนกรีตบางส่วนและการเติมคอนกรีตตลอดความยาวคานส่งผลให้คานมีความสามารถต้านทานการวิบัติแบบทันทีทันใดหลังจากรับโมเมนต์สูงสุดไปแล้ว

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lin-Hai Han, Flexural behavior of concrete filled steel tube. Journal of Structural Engineering, 2004. p. 313-337
- [2] J. M. Flor, R. H. Fakury and R.B. Caldas, Experimental study on the flexural behavior of largescale rectangular concrete filled steel tubular beams. Ibracon Structure and Materials Journal, Volumn 10, Number 4 (August 2017) p. 895-905 ISSN 1984-4195
- [3] Salam Al – Obaidi , Thulfiqar Salim and Sadjad Amir Hemzah , Flexural behavior of Concrete filled Steel tube composite with Different concrete compressive strength. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volumn 9 , July 2018, pp. 824-832
- [4] Ahmed A.M. Al-Shaar, Flexural behavior of Lightweight concrete and Self-Compacting concrete filled Steel tube beams. Journal of Constructional Steel research 149, 2018. p. 153-164
- [5] Committee, A., Specification for Structural steel Building (ANSI/AISC 360-16). American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois 60601-1802, 2016
- [6] ทักษิณ เทพชาติรี และ อัครวิษร์ เล่นาวารี, พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ปรับปรุงครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2563, 467 หน้า
- [7] สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, คู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างเหล็ก ISBN 978-978-974-458-597-4, 2558, 166 หน้า
- [8] สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ, กำลังวัสดุ Strength of Materials พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : เม็ดทรายพริ้นติ้ง, 2539. 400 หน้า