

พฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูป ที่ใช้รอยต่อแบบเดือยบ่าเปิด

Loading Behavior of Precast Concrete Frames Using Stub Tenon Joints

วรรณรพ ทามี่¹ นิดา ชัยมูล² กริสน์ ชัยมูล^{3*}

¹นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย
จังหวัดมหาสารคาม 44150

²หน่วยวิจัยแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัด
มหาสารคาม 44150

³หน่วยวิจัยทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย
จังหวัดมหาสารคาม 44150

*Corresponding author: E-mail: k.chaimoon@msu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกทุกในแนวตั้งภายใต้แรงดัดและแรงเฉือนของโครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้รอยต่อแบบเดือยบ่าเปิดซึ่งเป็นระบบรอยต่อที่พัฒนาขึ้นโดยประยุกต์มาจากรอยต่อของโครงสร้างไม้ที่ง่ายต่อการก่อสร้าง โดยเปรียบเทียบกับโครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้รอยต่อแบบเว้าปลายคานและกับโครงข้อแข็งคอนกรีตหล่อในที่ โครงข้อแข็งตัวอย่างทดสอบมี 2 ช่วงคาน แต่ละช่วงยาว 3.00 m คานมีขนาดหน้าตัด 0.125 x 0.250 m และเสามีขนาดหน้าตัด 0.125 x 0.125 m แรงที่กระทำต่อโครงข้อแข็งเพิ่มขึ้นทีละน้อยอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงข้อแข็งคอนกรีตวิบัติ จากผลการศึกษาพบว่า โครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปแบบเดือยบ่าเปิด มีความสามารถในการรับน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ออกแบบประมาณ 3 เท่า และรับน้ำหนักได้ใกล้เคียงกับแบบเว้าปลายคาน แต่รับน้ำหนักได้น้อยกว่าแบบหล่อในที่ประมาณร้อยละ 19.1 โดยทั้งสามโครงข้อแข็งมีการแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงคาน ณ น้ำหนักบรรทุกประลัยที่ออกแบบใกล้เคียงกันและไม่เกิดการวิบัติแบบทันทีทันใด

คำสำคัญ: รอยต่อคาน-เสา โครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป รอยต่อแบบเว้าปลายคาน รอยต่อแบบเดือยบ่าเปิด

ABSTRACT

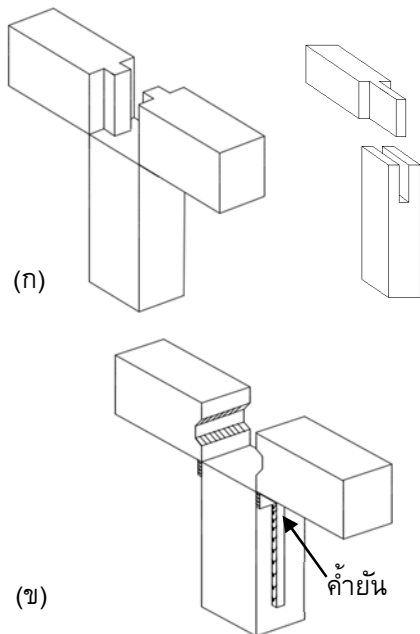
This research aims to study the vertical loading behavior under flexure and shear of precast concrete frame using stub tenon joint developed for precast concrete structure and based on a timber structure joint which is easy for construction work. The test results were compared with precast concrete frame using dented-beam-end joint and cast-in-place concrete frame. All tested frames had two spans, each span had length of 3.00 m. The beams and columns had cross section of 0.125 x 0.250 m and 0.125 x 0.125 m, respectively. The acting force was gradually increased until failure of the frame occurred. From the test results, it was found that the precast concrete frame using stub tenon joint had the loading capacity more than the factored or design load about 3 times and approximate to the loading capacity of the frame using dented-beam-end joint but less than that of

the cast-in-place concrete frame about 19.1%. All frames had no difference in average deflection at mid-span at design load and did not exhibit sudden failure.

Keyword: Beam-Column Joint, Precast Concrete Structure, Dented-Beam-End Joint, Stub Tenon Joint

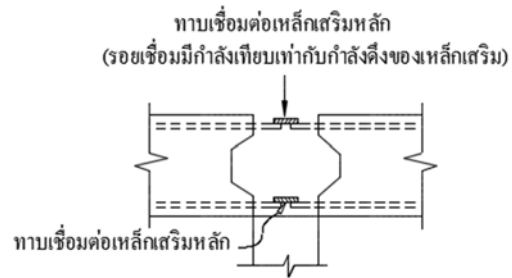
1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่พิกอาศัยได้หันมาใช้โครงสร้างสำเร็จรูป (precast concrete structure) มากขึ้น เพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้าง โดยเฉพาะในเรื่องของระยะเวลา ค่าแรง และการควบคุมคุณภาพในการก่อสร้าง แม้แต่ในการก่อสร้างอาคารสูง [1] ระบบโครงสร้างสำเร็จรูปที่นิยมใช้ในประเทศไทยมี 2 ระบบ คือ ระบบผนังรับน้ำหนักสำเร็จรูป และระบบคานเสาสำเร็จรูป [2] หัวใจสำคัญของระบบโครงสร้างสำเร็จรูปคือ รอยต่อคาน-เสา เพราะการวิบัติมักจะเกิดที่รอยต่อ [3-5] สำหรับระบบคานเสาสำเร็จรูป รอยต่อสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามมาตรฐาน PCI (Prestressed and Precast Concrete Institute) คือ รอยต่อแบบไม่มีความต่อเนื่องหรือแบบแขวน (hanging connection) รอยต่อแบบมีความต่อเนื่องจำกัด (limited continuity) และรอยต่อแบบมีความต่อเนื่องอย่างสมบูรณ์ (complete continuity) [2]



รูปที่ 1 รูปแบบรอยต่อคาน-เสาที่ศึกษา (ก) แบบเดือยขาเปิดพัฒนาจากรอยต่องานไม้ (ข) แบบเว้าปลายคาน

ในการศึกษานี้ เป็นการทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้รอยต่อคาน-เสาแบบมีความต่อเนื่องจำกัด 2 รูปแบบภายใต้แรงสถิตเปรียบเทียบกับโครงข้อแข็งคอนกรีตหล่อในที่รูปแบบแรกเป็นแบบเดือยขาเปิดที่พัฒนาขึ้นมาจากแนวความคิดของรอยต่อของโครงสร้างไม่ในการเข้ามุมแบบเดือยขาเปิด ดังแสดงในรูปที่ 1(ก) เพื่อใ้แก่การประกอบและติดตั้ง ช่วยลดค่าอุปกรณ์และแรงงาน เพราะมีเดือยสามารถวางบนหัวเสาทำให้ไม่ต้องมีการค้ำยันใต้ท้องคาน นอกจากนี้ยังช่วยให้น้ำหนักจากคานสามารถถ่ายสู่เสาได้ดีขึ้น รูปแบบที่สองเป็นแบบเว้าปลายคานเพื่อเพิ่มพื้นที่รับแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 1(ข) ทั้งสองรูปแบบมีการเชื่อมเหล็กเดือยที่ยื่นมาจากปลายคานทำให้เกิดความต่อเนื่องบางส่วน (ดูรูปที่ 2)

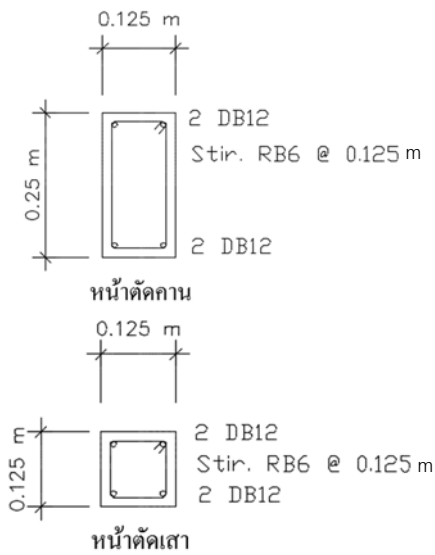


รูปที่ 2 การเชื่อมทาบเหล็กเสริมหลักที่รอยต่อคาน-เสาสำเร็จรูป

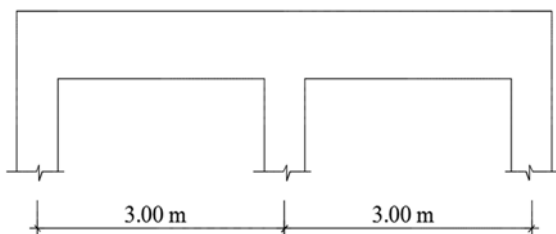
2. ตัวอย่างทดสอบและการทดสอบ

โครงข้อแข็งคอนกรีตที่ศึกษา ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกประลัยกระทำที่กึ่งกลางแต่ละช่วงคานเท่ากับ 1,432 kg (1.432 T) ดังนั้นน้ำหนักบรรทุกประลัยทั้งหมดที่กระทำต่อโครงข้อแข็งเท่ากับ 2,864 kg (2.864 T) โดยในการออกแบบ คานออกแบบเป็นคานช่วงเดี่ยวธรรมดา (simple supported beam) ทั้งนี้กำลังอัดของคอนกรีต (f'_c) และกำลังดึงที่จุดครากของ

เหล็กเสริมหลัก (f_y) มีค่าเท่ากับ 280 ksc และ 4,000 ksc ตามลำดับ รายละเอียดการเสริมเหล็กคานและเสา จากผลการออกแบบโดยวิธีกำลังจะได้หน้าตัดดังแสดง ในรูปที่ 3 และใช้กับทั้งสามโครงข้อแข็ง คือ โครงข้อแข็งคอนกรีตหล่อในที่ (F1) โครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปใช้รอยต่อแบบเว้าปลายคาน เพื่อเพิ่มพื้นที่รับแรงเฉือน (F2) และโครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปใช้รอยต่อแบบเดือยขาเปิดที่พัฒนาขึ้น (F3) โครงข้อแข็งทั้งสามแสดงในรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 6 ตามลำดับ

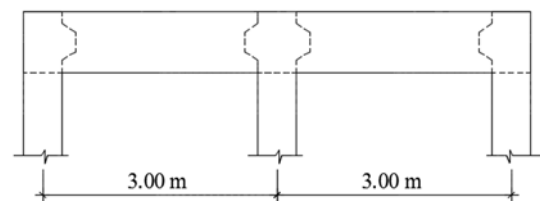
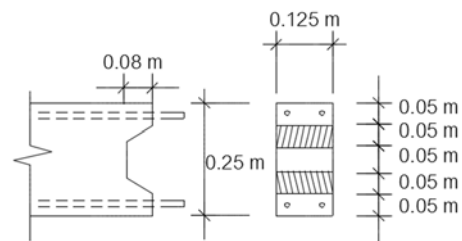


รูปที่ 3 หน้าตัดคานและเสาของโครงข้อแข็ง F1 F2 และ F3

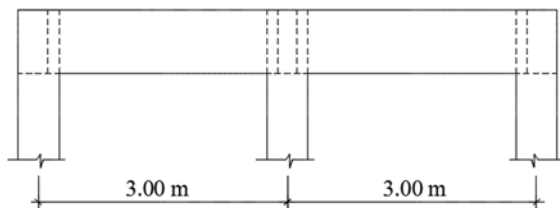
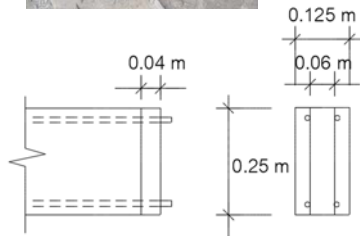


รูปที่ 4 โครงข้อแข็งคอนกรีตหล่อในที่ (F1)

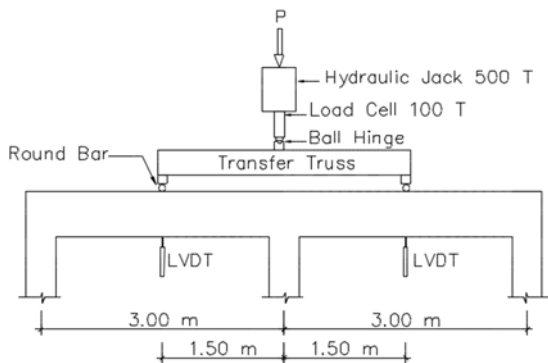
ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบโครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูป นำคานและเสาติดตั้งเข้าตำแหน่ง ทั้งนี้ในการติดตั้งโครงข้อแข็ง F2 ต้องมีการค้ำยันที่ปลายคานในขณะที่โครงข้อแข็ง F3 ไม่ต้องมี เนื่องจากมีเดือยขาเปิดที่สามารถวางพาดบนปลายเสาได้ ก่อนทำการเทกร้าที่รอยต่อคาน-เสาสำเร็จรูป เหล็กเสริมหลักของคานสำเร็จรูปทุกเส้นเชื่อมทาบด้วยเหล็กเสริมขนาดเดียวกันด้วยรอยเชื่อมที่ออกแบบให้มีความยาวเพียงพอที่จะไม่ทำให้รอยเชื่อมวิบัติก่อนการครากของเหล็กเสริม รูปที่ 2 แสดงลักษณะการเชื่อมทาบดังกล่าว ก่อนการทดสอบโครงข้อแข็งคอนกรีต ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน BS 1881-116 [6] และทดสอบกำลังดึงของเหล็กเสริมหลักตามมาตรฐาน มอก. 244 เล่ม 4-2525 [7]



รูปที่ 5 โครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปใช้รอยต่อแบบเว้าปลายคาน (F2)



รูปที่ 6 โครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปใช้รอยต่อแบบ
เดือยป่าเปิด (F3)



รูปที่ 7 การติดตั้งเครื่องมือบนตัวอย่างทดสอบ

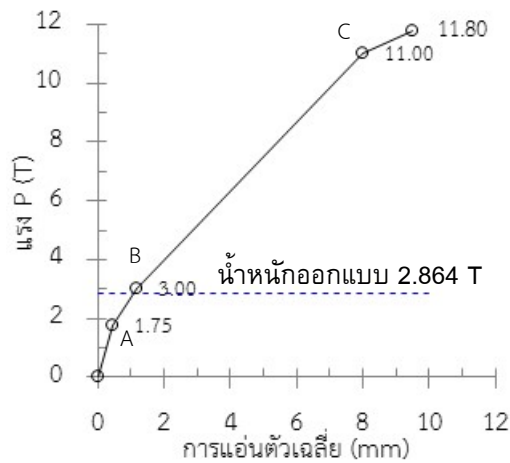
ในการทดสอบโครงข้อแข็งคอนกรีตทั้งสาม การติดตั้งเครื่องมือและการถ่ายแรงแสดงในรูปที่ 7 แต่ละโครงข้อแข็งทดสอบด้วยเครื่องกดขนาด 500 ตัน แรงกระทำที่กึ่งกลางโครงข้อแข็งและถ่ายผ่านโครงถักเหล็กไปยังกึ่งกลางช่วงคานคอนกรีตทั้งสอง โดยโครงถักเหล็กรองรับด้วยเหล็กกลมที่วางขวางบนคานคอนกรีตเพื่อให้แรงที่กระทำบนคานคอนกรีตมีลักษณะเป็นแรงกระทำเป็นจุด เพิ่มแรงที่กระทำขึ้นช้าๆ จนโครงข้อแข็งคอนกรีตเกิดการวิบัติ

วัดแรงทั้งหมดที่กระทำต่อโครงข้อแข็งคอนกรีตด้วยเครื่องวัดแรงอิเล็กทรอนิกส์ (load cell) ขนาด 100 ตัน วัดการแอ่นตัวของคานที่กึ่งกลางแต่ละช่วงคานด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (linear variable differential transformer, LVDT) อ่านและพิมพ์แรงและการแอ่นตัวด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ (data logger)

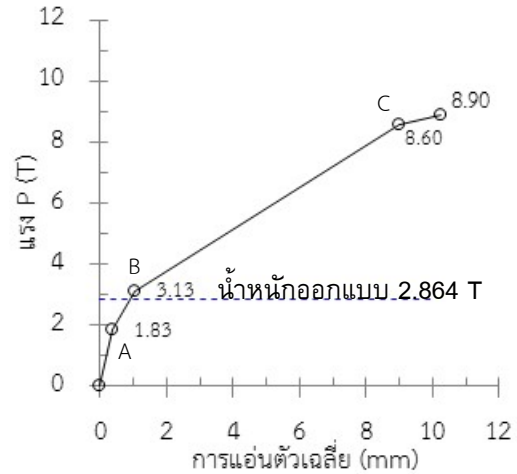
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต พบว่าตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์มีกำลังอัดเฉลี่ยประมาณ 325 ksc เมื่อแปลงค่าเป็นกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเท่ากับประมาณ 288 ksc มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในการออกแบบ (280 ksc) และจากผลการทดสอบกำลังดึงที่จุดครากของเหล็กเสริมหลัก พบว่า เหล็กที่ทดสอบมีกำลังดึงที่จุดครากเฉลี่ยประมาณ 5,560 ksc มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ (4,000 ksc)

รูปที่ 8 ถึง รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงทั้งหมดที่กระทำต่อโครงข้อแข็งคอนกรีตและการแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงคานของโครงข้อแข็ง F1 (แบบหล่อในที่) F2 (แบบเว้าปลายคาน) และ F3 (แบบเดือยป่าเปิด) ทั้งสามโครงข้อแข็งสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่ออกแบบซึ่งเท่ากับ 2.864 T รูปที่ 12 แสดงลักษณะการแตกร้าวของแต่ละโครงข้อแข็งภายหลังการทดสอบ



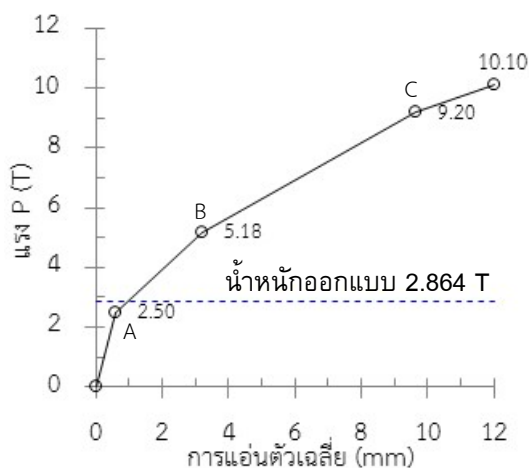
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างแรงที่กระทำและการแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงคานของโครงข้อแข็ง F1



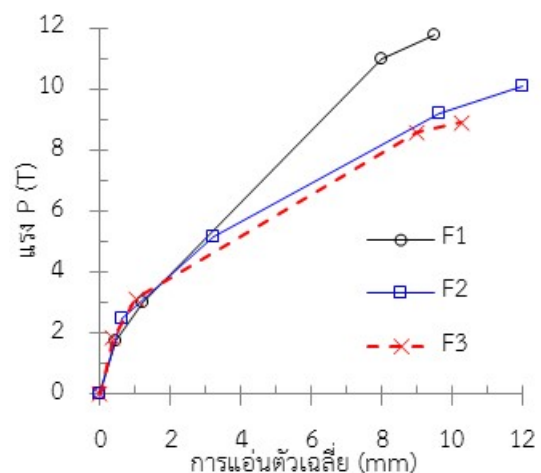
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างแรงที่กระทำและการแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงคานของโครงข้อแข็ง F3

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของทั้งสามโครงข้อแข็งมีลักษณะคล้ายกับพฤติกรรมของคานคอนกรีตที่เสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุล (under-reinforced) [8] ดังแสดงในรูปที่ 13 โดยจุด A เป็นจุดที่คานเริ่มแตกร้าว (สำหรับคานต่อเนื่องที่ทดสอบเป็นการเริ่มแตกร้าวที่บริเวณขอบบนของคานเหนือเสากลาง) จุด B เป็นจุดที่เกิดการแตกร้าวที่กึ่งกลางคาน และจุด C เป็นจุดที่เหล็กเสริมรับแรงดึงเกิดการคราก ที่แต่ละจุดความชันของเส้นกราฟมีค่าลดลงตามการสูญเสียความแกร่ง (stiffness) ของคานจากผลของการแตกร้าว

จากรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 10 เมื่อพิจารณาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกจุด C พบว่า โครงข้อแข็ง F1 F2 และ F3 รับน้ำหนักได้ประมาณ 11.00 T 9.20 T และ 8.60 T ตามลำดับ และมากกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ออกแบบประมาณ 3.8 เท่า 3.2 เท่า และ 3.1 เท่า ตามลำดับ โครงข้อแข็ง F3 รับน้ำหนักได้ใกล้เคียงกับโครงข้อแข็ง F2 โดยน้อยกว่าประมาณร้อยละ 3.3 เท่านั้น แต่รับน้ำหนักได้น้อยกว่าโครงข้อแข็ง F1 ประมาณร้อยละ 19.1

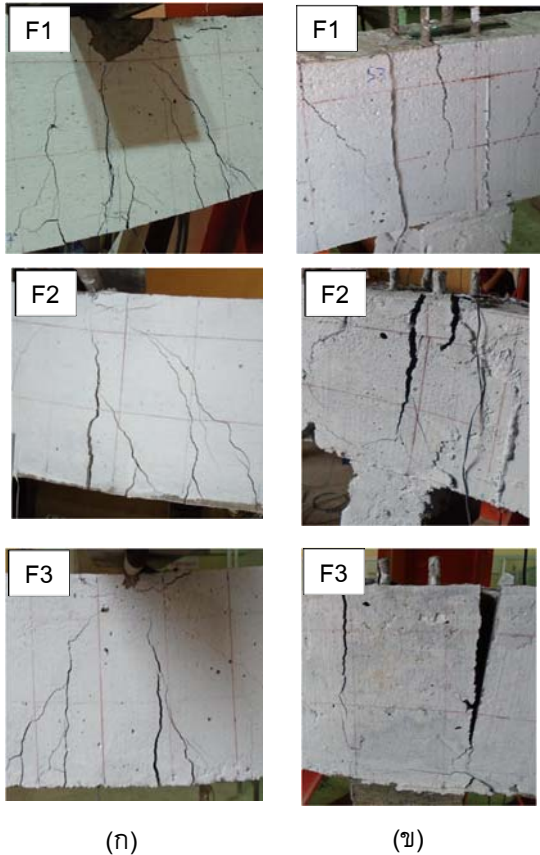


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างแรงที่กระทำและการแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงคานของโครงข้อแข็ง F2



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างแรงที่กระทำและการแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงคานของทุกโครงข้อแข็ง

เมื่อพิจารณาการแอ่นตัวเฉลี่ยที่หน้าหน้าบรรทุก
ประลัยที่ออกแบบ พบว่า ทั้งสามโครงข้อแข็งมีการ
แอ่นตัวใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณ 1.0 mm
เนื่องจากทั้งสามโครงข้อแข็งยังไม่เกิดการแตกร้าวที่
กึ่งกลางคานซึ่งบ่งบอกถึงว่ารอยต่อทั้งสามยังคงมีความ
ต่อเนื่องใกล้เคียงกัน



รูปที่ 12 ลักษณะการแตกร้าวภายหลังการทดสอบ (ก)
ที่กึ่งกลางคาน (ข) ที่บริเวณหัวเสากลาง



รูปที่ 13 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานคอนกรีตที่
เสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุลง (under-reinforced) [8]

เมื่อพิจารณาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์
ระหว่างแรงที่กระทำและการแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลาง
ช่วงคานของทั้งสามโครงข้อแข็งดังแสดงในรูปที่ 11
พบว่า เมื่อแรงที่กระทำมากกว่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย
ที่ออกแบบ โครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปทั้ง F2 และ
F3 มีการแอ่นตัวมากกว่าโครงข้อแข็งคอนกรีตหล่อใน
ที่ F1 มากขึ้นเรื่อยๆ โดยเมื่อพิจารณา ณ จุด C ของ
แต่ละโครงข้อแข็ง จากรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 10 พบว่า โครง
ข้อแข็ง F1 F2 และ F3 มีการแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลาง
ช่วงคานประมาณ 8.0 mm 9.6 mm และ 9.0 mm
ตามลำดับ โดยโครงข้อแข็ง F3 มีการแอ่นตัวน้อยกว่า
โครงข้อแข็ง F2 ประมาณร้อยละ 6.4 แต่มากกว่าโครง
ข้อแข็ง F1 ประมาณร้อยละ 12.5 บ่งชี้ว่ารอยเชื่อมใน
รอยต่อของโครงข้อแข็ง F2 และ F3 มีการวิบัติแล้วและ
เป็นผลให้เกิดการสูญเสียความต่อเนื่องมากขึ้นเรื่อยๆ
การวิบัติของรอยเชื่อมอาจเนื่องมาจากการเอียงศูนย์
ของเหล็กเสริมและประสิทธิภาพของรอยเชื่อม และเมื่อ
พิจารณา ณ แรงที่กระทำเท่ากันคือ 8.60 T ซึ่งเป็น
ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกที่จุด C ของ
โครงข้อแข็ง F3 พบว่า โครงข้อแข็ง F1 F2 และ F3 มี
การแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงคานประมาณ 6.0 mm
8.7 mm และ 9.0 mm ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า โครงข้อ
แข็ง F3 มีการแอ่นตัวใกล้เคียงกับโครงข้อแข็ง F2 โดย
มากกว่าประมาณร้อยละ 3.9 เท่านั้น แต่มีการแอ่นตัว
มากกว่าโครงข้อแข็ง F1 ประมาณร้อยละ 51.0 หรือ
ประมาณ 1.5 เท่า เนื่องจากผลของความต่อเนื่องที่
จำกัดของรอยต่อคาน-เสาของโครงข้อแข็ง F2 และ F3
ดังที่ได้อธิบายข้างต้น ทำให้มีการเสียรูปมากกว่า
สอดคล้องกับลักษณะการวิบัติของรอยต่อของโครงข้อ
แข็งทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 12(ข) การที่โครงข้อแข็ง
F3 มีการแอ่นตัวใกล้เคียงกับโครงข้อแข็ง F2 อาจจะ
เป็นเพราะเดือยขาเปิดของรอยต่อคาน-เสาของโครง
ข้อแข็ง F3 และเดือยแรงเฉือน (shear key) ที่เกิดจาก
การเว้าปลายคานของรอยต่อคาน-เสาของโครงข้อแข็ง
F2 มีผลหรือทำให้เกิดกลไกต่อการหมุนตัวได้ของ
ปลายคานในลักษณะที่เทียบเท่ากัน

4. สรุปผล

พฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้รอยต่อคาน-เสาแบบมีความต่อเนื่องจำกัด 2 รูปแบบ คือแบบเว้าปลายคาน (F2) และแบบเดือยบ่าเปิด (F3) ที่พัฒนาขึ้นมาจากแนวความคิดของรอยต่อของโครงสร้างไม้เพื่อให้ง่ายต่อการประกอบและติดตั้ง ช่วยลดค่าอุปกรณ์และแรงงาน โดยทั้งสองรูปแบบมีการเชื่อมเหล็กเดือยที่ยื่นมาจากปลายคานเพื่อทำให้เกิดความต่อเนื่องบางส่วน จากผลการทดสอบด้วยโครงข้อแข็งขนาดเดียวกันที่มีสองช่วงคานเปรียบเทียบกับโครงข้อแข็งคอนกรีตหล่อในที่ (F1) สรุปได้ว่า

(1) การรับน้ำหนัก ทั้งสามโครงข้อแข็งสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ออกแบบอย่างน้อย 3 เท่า โดยโครงข้อแข็ง F3 รับน้ำหนักได้ใกล้เคียงกับโครงข้อแข็ง F2 แต่รับน้ำหนักได้น้อยกว่าโครงข้อแข็ง F1 ประมาณร้อยละ 19.1

(2) การแอ่นตัวเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงคาน ณ น้ำหนักบรรทุกประลัยที่ออกแบบ ทั้งสามโครงข้อแข็งมีการแอ่นตัวใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณ 1.0 mm หรือประมาณ ความยาวช่วง (L)/3000 น้อยกว่าค่าสูงสุดที่ยอมให้ของระยะแอ่นตัวตามมาตรฐาน ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ L/360 สำหรับการแอ่นตัวทันทีเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร [9]

(3) เมื่อแรงที่กระทำมากกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ออกแบบ โครงข้อแข็ง F2 และ F3 มีการแอ่นตัวมากกว่าโครงข้อแข็ง F1 มากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อพิจารณา ณ แรงที่กระทำเท่ากัน โครงข้อแข็ง F3 มีการแอ่นตัวใกล้เคียงกับโครงข้อแข็ง F2 แต่มีการแอ่นตัวมากกว่าโครงข้อแข็ง F1 ประมาณ 1.5 เท่า

(4) โครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้รอยต่อแบบเดือยบ่าเปิดมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุกและการเสียรูปที่ใกล้เคียงกันกับโครงข้อแข็งคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้รอยต่อแบบเว้าปลายคาน และผลการเชื่อมทาบเหล็กเสริมหลักในรอยต่อทั้งสองทำให้เกิดความต่อเนื่องของรอยต่อ แต่ความ

ต่อเนื่องเริ่มสูญเสียเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ออกแบบ

เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมของรอยต่อแบบเดือยบ่าเปิดมากขึ้น ควรมีการศึกษาพฤติกรรมภายใต้แรงด้านข้าง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] รุ่งโรจน์ ศรีวิเชียร และ จิรวัดน์ ดำริห์อนันต์. “กรณีศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตและติดตั้งผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จสำหรับอาคารสูง โดยการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีเพทรีเน็ตส์”. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*. 21(1): 27-34, 2553.
- [2] อติศร โอวาทศิริวงศ์ และ สุนทร หงสวินตกุล. “เทคนิคการก่อสร้างบ้านสำเร็จรูปโดยใช้ High-strength Thread Bar เพื่อปรับปรุงความต่อเนื่องของจุดต่อคาน-เสา”. *ALPS Technology News*. 2: 1-10, 2552.
- [3] P. Chaimahawan and A. Pimanmas, “Effect of connection reinforcement details on performance of full-scale precast concrete beam-column connection designed for gravity,” *Research and Development Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 50-58, 2009.
- [4] ภาคิน ลอยเจริญ และเกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย. “พฤติกรรมรอยต่อแบบเป็ยกของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปภายใต้การตัด”. *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6*. 20-23/10/2553. โรงแรม Grand Pacific Sovereign Resort and Spa จ.เพชรบุรี: STR-08, (2553).

- [5] จักษดา ชำรงวุฒิ วรรณ คำลือ สิทธิชัย
แสงอาทิตย์ และวินัย มณีรัตน์. “การทดสอบเพื่อ
ศึกษาพฤติกรรมทางกลของรอยต่อของคาน
คอนกรีตสำเร็จรูป”. *เอกสารประกอบการประชุม
วิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12*. 2-4/
พฤษภาคม/2550. โรงแรมอมรินทร์ ลากูน จ.
พิษณุโลก: 5, (2550).
- [6] British Standards Institution, BS 1881-116
Testing Concrete – Part 116: Method for
Determination of Compressive Strength of
Concrete Cubes, *British Standard Institution*,
London, 1983.
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
*มอก. 244 เล่ม 4 การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า
เล่ม 4 การทดสอบเหล็กกล้าโดยการดึง (ทั่วไป)*.
กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, (2525).
- [8] MacGregor, J.G., “Reinforced Concrete
Mechanics and Design,” *Prentice-Hall*, New
Jersey, 2nd Ed., pp.329-330, 1992.
- [9] วินิต ช่อวิเชียร. *การออกแบบโครงสร้างคอนกรีต
เสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง*. พิมพ์ครั้งที่สอง. ห้าง
หุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์, (2542).