การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกลของรอยต่อของคานคอนกรีตสำเร็จรูป

EXPERIMENTAL STUDY ON MECHANICAL BEHAVIORS OF PRECAST CONCRETE BEAM JOINTS

จักษดา ธำรงวุฒิ (Jaksada Thumrongvut)[1]

กรรณ คำลือ (Kan Kumlue)[2]

สิทธิชัย แสงอาทิตย์ (Sittichai Seangatith)[3]

วินัย มณีรัตน์ (Vinai Maneerat)[4]

[1] *นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี : jaksada@yahoo.com*

[2] *นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี : kankumlue@hotmail.com*

[3] *รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี : sitichai@sut.ac.th*

[4] *วิศวกรโยธา บริษัท ยงสวัสดิ์คอนสตรัคชั่น โปรดักส์ จำกัด : m.vinai@yongsawad.co.th*

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาคานคอนกรีตสำเร็จรูป โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงและลักษณะการวิบัติของรอยต่อของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนสำเร็จรูปและของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป และนำกำลังของรอยต่อที่ทดสอบได้เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการออกแบบของ ว.ส.ท. ตัวอย่างในงานวิจัยเป็นคานขนาดหน้าตัดกว้าง 0.20 m ลึก 0.40 m และมีระยะห่างระหว่างจุดรองรับ 2.00 m จำนวน 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างถูกทดสอบโดยแรงกระทำแบบ 3 จุด ซึ่งคานทั้งสองชนิดและรอยต่อได้ถูกออกแบบตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. โดยใช้น้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรที่เท่ากัน จากการทดสอบพบว่า ในช่วงแรกตัวอย่างมีพฤติกรรมรับแรงแบบเชิงเส้นถึงค่าประมาณ 75-80% ของกำลังรับแรงสูงสุด จากนั้นตัวอย่างทดสอบจะมีพฤติกรรมแบบไร้เชิงเส้น และการแอ่นตัวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเกิดการวิบัติ นอกจากนี้ยังพบว่า สมการออกแบบของ ว.ส.ท. ทำนายกำลังของรอยต่อได้อย่างถูกต้องเพียงพอ

ABSTRACT : This research is a part of development project on precast concrete beams. The objectives of this research are to study behaviors and modes of failure of the joints of precast partially-prestressed concrete beams and the joints of precast reinforced concrete beams and to compare the obtained strength of the joints with those predicted by using the E.I.T. design equations. In this study, the beam specimens had the cross-sectional dimensions of 0.20×0.40 meters with the span length of 2.00 meters. The total of six specimens was tested under three-points loading. These two types of beams and the joints were designed according to E.I.T standard with the same dead load and live load. From the tests, it was found that the specimens have linear behavior up to 75-80% of their maximum load capacity. Then, the behavior of the specimens is nonlinear until failure of the specimens. In addition, the E.I.T's design equations accurately predict the strength of the joints of the beams.

KEYWORDS : Precast Concrete Beam, Partially-Prestressed, Joint Connection

1. บทนำ

และกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย ตามมาตรฐาน มอก.95-2540 และมาตรฐาน มอก.24-2536 ตามลำดับ โดยวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยมีคุณสมบัติทางกล ดังที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุ	กำลังครากเฉลี่ย (MPa)	กำลังสูงสุดเฉลี่ย (MPa)	โมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย (MPa)
คอนกรีต	-	38.5	29.1×10^3
DB12	360.7	487.6	193.9×10^3
DB16	381.2	521.4	195.5×10^3
PC.wire 2.8 mm	501.5	747.1	202.1×10^3
PC.wire 4 mm	1,212.0	1,501.2	201.5×10^3
PC.wire 5 mm	1,281.0	1,539.6	204.0×10^3

2.2 ตัวอย่างทดสอบ

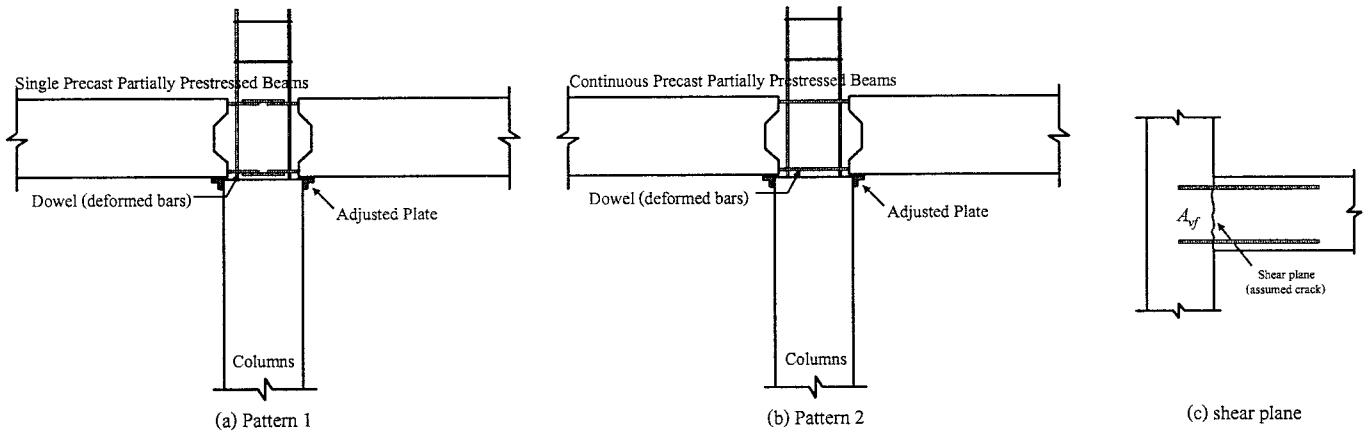
ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษาเป็นคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนสำเร็จรูปและคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปที่มีรอยต่อบริเวณกึ่งกลางความยาวคาน ($L/2$) โดยลักษณะรอยต่อของคานดังกล่าวเป็นลักษณะที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างในปัจจุบัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบที่1 ซึ่งเป็นรอยต่อที่ได้จากการนำเหล็กข้ออ้อยเชื่อมระหว่างเหล็กเดือย (dowel bars) ของคานทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3(a) และแบบที่2 ซึ่งเป็นรอยต่อที่มีเหล็กเสริมคานเชื่อมต่อระหว่างคานอย่างต่อเนื่อง โดยได้จากการผลิตตัวอย่างทดสอบ ซึ่งทำการหล่อคานเป็นลักษณะสองช่วงต่อกัน และทำการบล็อกช่องว่างไว้ เพื่อทำจุดเชื่อมหรือรอยต่อเข้ากับเสา ดังแสดงในรูปที่ 3(b)

ตัวอย่างทั้งหมดถูกออกแบบตามมาตรฐานคานคอนกรีตอัดแรง [4] และคานคอนกรีตเสริมเหล็ก [5] ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) โดยที่คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนสำเร็จรูปถูกออกแบบตามทฤษฎีอีลาสติก (working stress design) สำหรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน และตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของหน้าตัดที่ออกแบบโดยวิธีกำลัง (ultimate strength design) ส่วนรอยต่อคานตัวอย่างได้ถูกออกแบบโดยวิธีกำลัง โดยสมการที่ 1 เป็นสมการสำหรับออกแบบรอยต่อเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัด และสมการที่ 2 เป็นสมการออกแบบรอยต่อเพื่อต้านทานแรงเฉือน ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการหากำลังรับแรงเฉือนของหูช้าง (corbel) เนื่องจากการแตกร้าวที่ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ มีระนาบการแตกร้าวเกิดในแนวขนานกับรอยต่อ ดังแสดงในรูปที่ 3(c) ซึ่งคล้ายกับรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในหูช้างและแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีแนวเอียงทแยงมุม

$$M_n = (A_s f_y - A_s' f_s')(d_s - \frac{a}{2}) + A_s' f_s'(d_s - d_s') \quad (1)$$

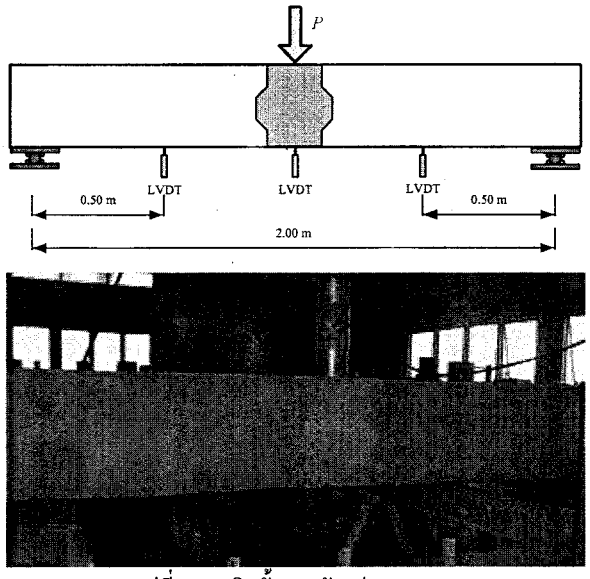
$$V_n = A_{vf} f_y \mu \quad (2)$$

โดยที่ M_n เป็นกำลังต้านทานโมเมนต์ระบุ V_n เป็นกำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ A_{vf} เป็นหน้าตัดของเหล็กเสริมที่ใช้ขวางรอยร้าว และ $\mu = 0.7\lambda$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับคอนกรีตที่ยึดกับเหล็กเสริม



รูปที่ 3 รอยต่อของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนสำเร็จรูป

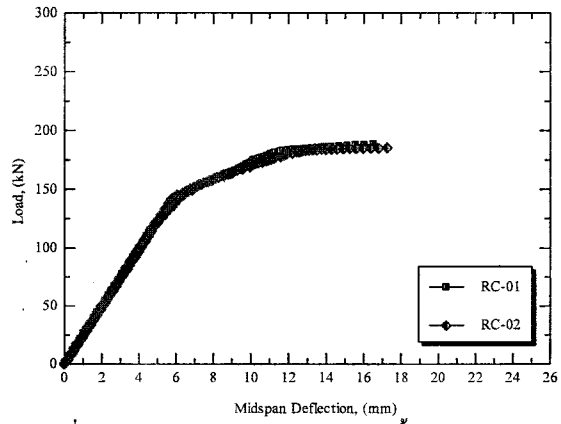
รูปที่ 5 แสดงแผนภาพและการติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับ loading frame เพื่อทดสอบแรงกระทำแบบ 3 จุด (three-points load test) โดยใช้แรงกดจาก hydraulic actuator ผ่าน load cell กระทำที่กึ่งกลางความยาวตัวอย่างทดสอบผ่าน steel bearing plate เพื่อจำลองแรงกระทำที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของตัวอย่าง ระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบถูกวัดโดย linear variable differential transducers (LVDT) ที่ติดตั้งบริเวณกึ่งกลางความยาวคานจำนวน 1 ตัว และที่ระยะเท่ากับ $L/4$ ถัดจาก LVDT ตัวแรกไปทางด้านซ้ายและขวา จำนวนด้านละ 1 ตัว เมื่อติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้าที่แล้ว ก่อนการทดสอบตัวอย่างจะถูก pre-loading 20 kN และ unloading เพื่อเตรียมความพร้อมของตัวอย่างทดสอบ และตรวจการทำงานของเครื่องมือ จากนั้น ทำการทดสอบโดยเพิ่มแรงกระทำอย่างช้าๆ โดยใช้ data acquisition system (DAQ) เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง จนตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ



รูปที่ 5 การติดตั้งคานตัวอย่างทดสอบ

3 ผลการทดสอบ

ในการศึกษานี้ กำหนดให้ P_y เป็นกำลังรับแรงกระทำ ณ จุดที่เหล็กเสริมที่รอยต่อของตัวอย่างทดสอบเกิดการ yielding และกำลังสูงสุดของตัวอย่าง P_{max} เป็นแรงกระทำที่รอยต่อของตัวอย่างทดสอบรับได้สูงสุดก่อนที่ตัวอย่างเกิดการวิบัติ รูปที่ 6 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำ (load) และระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางความยาวคาน (midspan deflection) ของตัวอย่างกลุ่มที่ 1 (RC-01, RC-02) จากรูปพบว่า พฤติกรรมการรับแรงกระทำถูกแบ่งออกเป็นสองช่วง ช่วงแรกตัวอย่างทดสอบมีพฤติกรรมแบบเชิงเส้น (linear) จนถึงจุดที่แรงกระทำมีค่าประมาณ 75-80% ของกำลังสูงสุด โดยรอยร้าวที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและกระจายสม่ำเสมอ จากนั้นตัวอย่างมีพฤติกรรมสู่ช่วงที่สอง พฤติกรรมจะค่อยๆเปลี่ยนแปลงแบบไร้เชิงเส้น (nonlinear) ความชันของเส้นกราฟลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงจุดวิบัติของคาน ซึ่งพบว่าในช่วงนี้รอยร้าวของรอยต่อมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยที่แรงกระทำมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ลักษณะการวิบัติเป็นแบบ flexural failure ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานของตัวอย่างกลุ่มที่ 1

รูปที่ 7 แสดงพฤติกรรมการรับแรงกระทำของตัวอย่างกลุ่มที่ 2 (PC-01, PC-02) และ 3 (PC-03, PC-04) พบว่า พฤติกรรมการรับแรงถูกแบ่งออกเป็นสามช่วง โดยในช่วงแรกตัวอย่างมีพฤติกรรมแบบเชิงเส้นจนถึงจุดที่แรงกระทำมีค่าประมาณ 35-40% ของกำลังสูงสุด ที่จุดนี้พบว่า ตัวอย่างเกิดรอยร้าวขนาดเล็ก จากนั้นตัวอย่างจะมีพฤติกรรมเข้าสู่ช่วงที่สอง ซึ่งความชันของเส้นกราฟจะลดลงเล็กน้อย โดยมีจำนวนรอยร้าวเกิดมากขึ้นและขยายตัวสูงขึ้น จนกระทั่งแรงกระทำมีค่าประมาณ 75-80% ของกำลังสูงสุด พฤติกรรมช่วงสุดท้ายของคาน เส้นกราฟมีลักษณะเป็นแบบเส้นโค้ง ซึ่งแรงกระทำมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ขณะที่ระยะการแอ่นตัวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รอยร้าวที่ปรากฏเพิ่มจำนวนมากขึ้น และขยายตัวสูงขึ้น จนถึงจุดวิบัติของคาน ซึ่งการวิบัติเกิดขึ้นจากแรงดึงด้านล่างของคาน ซึ่งคล้ายกับการวิบัติของตัวอย่างกลุ่มที่ 1

[2] กรรณ คำลือ และสิทธิชัย แสงอาทิตย์, 2548. พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปแบบอัดแรงบางส่วนภายใต้แรงกระทำตามขวาง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, ชลบุรี. STR58-63.

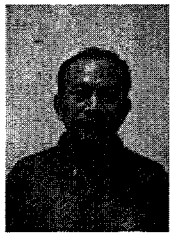
[3] กรรณ คำลือ, 2549. การพัฒนาคานสำเร็จรูปแบบคอนกรีตอัดแรงบางส่วนสำหรับอาคารขนาดเล็ก.วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2537. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง, กรุงเทพฯ

[5] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2538. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง, กรุงเทพฯ

เกี่ยวกับผู้เขียน

นาย จักษดา ธำรงวุฒิ ได้รับปริญญา B.Eng. และ M.Eng. จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันเป็นนักศึกษาระดับปริญญาเอก และผู้ช่วยวิจัย งานวิจัยโดยส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ Experimental on Reinforced and Prestressed Concrete Structures



นาย กรรณ คำลือ ได้รับปริญญา B.Eng. จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตเทเวศร์ และ M.Eng. จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันเป็นวิศวกรและที่ปรึกษาทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง งานวิจัยโดยส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ Experimental on Prestressed Concrete Structures

รศ.ดร. สิทธิชัย แสงอาทิตย์ ได้รับปริญญา วศบ. จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น M.Eng. และ Ph.D. จาก University of Texas at Arlington, USA งานวิจัยโดยส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ Experimental and Applied Mechanics on Civil Engineering FRP Composite, Reinforced Concrete และ Masonry

นาย วินัย มณีรัตน์ ได้รับปริญญา B.Eng. จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ ปัจจุบันเป็นวิศวกร โยธา บริษัท ยงสวัสดิ์คอนสตรัคชั่น โปรดักส์ จำกัด