

เครื่องมือทดสอบแรงกระทำด้านข้างเสาแบบสทิตยศาสตร์อย่างประหยัด

An Economic Instrument of Static Lateral Force Testing for Reinforced Concrete Column

บุปผเวช พันธุ์ศรี^{1*} เจษฎาพร ศรีภักดี² สุนิตา นุเสนา³ ปรัชญา มหายศนันท์⁴ วีระเดช อาจสา⁵ และ สัมพันธ์ โยธา⁶

^{1,3,4,5,6}หลักสูตรวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่

²หลักสูตรครุศาสตร์โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่

*E-mail: bupavech@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประดิษฐ์เครื่องมือทดสอบแรงกระทำด้านข้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงทางด้านข้างแบบสทิตยศาสตร์ โดยการใช้เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 20 cm x 20 cm สูง 150 cm ที่กำลังอัดคอนกรีตประลัย 210 ksc อายุ 28 วัน ซึ่งเสริมเหล็กตามมาตรฐาน วสท. 1007 -34 และตามมาตรฐาน มยผ. 1301-54 ผลการศึกษาพบว่าเสาตามมาตรฐาน มยผ. 1301-54 สามารถรับแรงด้านข้างสูงสุดได้มากกว่าเสาตามมาตรฐาน วสท.1007-34 ประมาณ 2%-9% และมีค่าความเหนียวมากกว่าประมาณ 17%-35% สำหรับความเสียหายที่เกิดขึ้นเสาทั้งสองแบบเป็นลักษณะการแตกร้าวเนื่องจากแรงดัดและแรงเฉือนร่วมกัน

คำสำคัญ: เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก สทิตยศาสตร์ แรงกระทำด้านข้าง

Abstract

This research aims to invent an instrument of lateral force testing to study the behavior of reinforced concrete columns subjected to static lateral force. The sample columns of 20 cm x 20 cm in size and 150 cm in length designed for the concrete strength of 210 ksc at 28 days were tested. These columns were classified into two groups. The first were performed in accordance with the details of rebar and stirrup of the EIT 1007- 34 and the other were DPT 1301-54. The test results show that the DPT 1301-54 can be subjected around 2%-9% maximum static lateral force more than the EIT1007- 34 and over 17- 35% increase in ductile index. Both of the columns showed contribution between flexural crack and shear crack as well.

Keyword: Reinforced Concrete Column Static Lateral Force

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยเคยเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงมาแล้ว ครึ่งล่าสุดเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ได้เกิดแผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ขนาดความรุนแรง 6.3 ริคเตอร์ ส่งผลกระทบให้สิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ เกิดการเสียหายเป็นอย่างมากโดยเฉพาะเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องมีหน้าที่แบกรับน้ำหนักทั้งอาคาร กัมปนาทและคณะ(2557)ได้มีการวิเคราะห์พฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหวของตัวอย่างโครงสร้างบ้านพักอาศัยแบบเสาสั้นในพื้นที่เขตเชียงรายนี้ ซึ่งผลที่ได้มานั้นชี้ชัดว่าเสาคอนกรีตเสริมเหล็กก่อนการเสริมความแข็งแรงไม่สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ แต่อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวเป็นเพียงเชิงวิเคราะห์เท่านั้น จึงควรมีการทดสอบตัวอย่างจำลองเสาคอนกรีตเสริมเหล็กดังกล่าวเพื่อให้ทราบผลทางด้านการศึกษาปฏิบัติจริง ซึ่งในการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างเสาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบการทดสอบแบบรับแรงกระทำแบบวัฏจักรทางด้านข้าง(Ozebe และ Saatciogku(1987), Tanaka และ Park(1990), Aziznamini และคณะ(1992), Lukunaprasit และ Sittipunt(2000), Han และ Jee (2005), วรากร(2008), ชินพงศ์(2012)) ทั้งนี้ผลที่ได้สามารถระบุถึงความสามารถการรับแรงด้านข้างได้สูงสุดจนโครงสร้างเสาถึงจุดวิบัติ ตลอดจนคุณสมบัติเบื้องต้นของโครงสร้าง เช่นความเหนียว การสลายพลังงาน ซึ่งเครื่องมือทดสอบดังกล่าวต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือค่อนข้างราคาสูง ทางทีมผู้วิจัยจึงได้แนวคิดที่จะสร้างมือเครื่อง

ทดสอบแรงกระทำด้านข้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสถิตยศาสตร์ด้วยอุปกรณ์ที่ราคาที่ไม่สูงมากจนเกินไป ทั้งนี้ได้ประยุกต์แรงด้านข้างกระทำเพียงด้านเดียว เพื่อจะตรวจสอบหาค่าแรงสูงสุดที่เสาจะรับได้ ตลอดจนคุณสมบัติความเหนียวซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการพิจารณาออกแบบโครงสร้างเสาต่อไป

2. วัตถุประสงค์

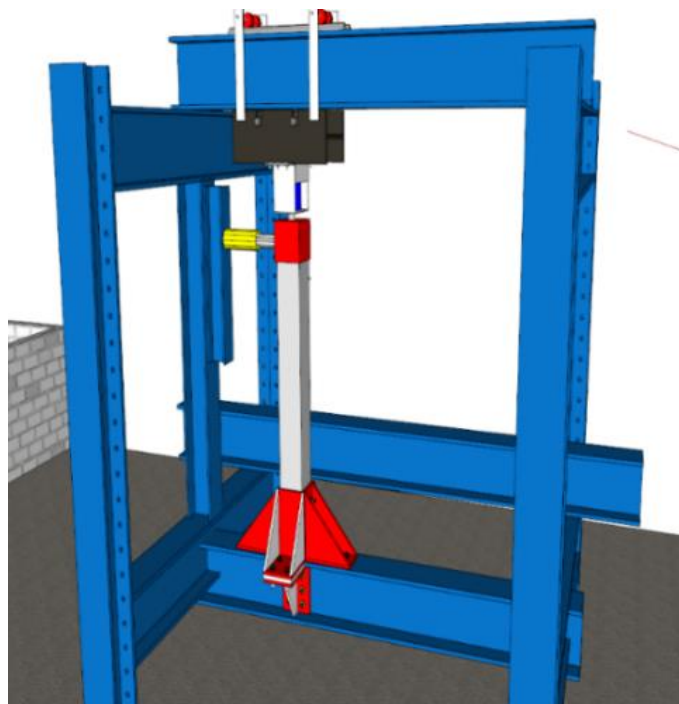
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตยศาสตร์อย่างประหยัดสำหรับนำมาใช้ทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะได้ทราบถึงค่าความสามารถในการรับแรงด้านข้างสูงสุดรวมถึงพฤติกรรมการรับแรงของเสาเสริมเหล็ก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การสร้างเครื่องมือทดสอบแรงกระทำด้านข้าง การเตรียมชิ้นตัวอย่างเสา และการทดสอบกำลังรับแรงด้านข้างของเสา

3.1 การสร้างเครื่องมือทดสอบแรงกระทำด้านข้าง

ในการสร้างเครื่องมือทดสอบครั้งนี้ ทีมผู้วิจัยได้ดัดแปลงและประยุกต์ใช้จากโครงเฟรมหลักในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยจะให้น้ำหนักตามแนวแกนมีค่าคงที่และแรงกระทำด้านข้างเป็นแบบสถิตยศาสตร์ผ่านไฮดรอลิกจำนวน 2 ตัว ปลายเสาสามารถเลื่อนได้ ฐานด้านล่างยึดแน่น ซึ่งทั้งฐานและปลายได้ใช้สลักเกลียวยึดกับแผ่นเหล็กยึดเข้ากับโครงเฟรมหลักเดิม และสามารถทดสอบได้หลายขนาด 15 cm x 15 cm ถึง 30 cm x 30 cm ที่ความสูงของเสาเท่ากับ 150 cm ดังแสดงในรูปที่ 1 - 2



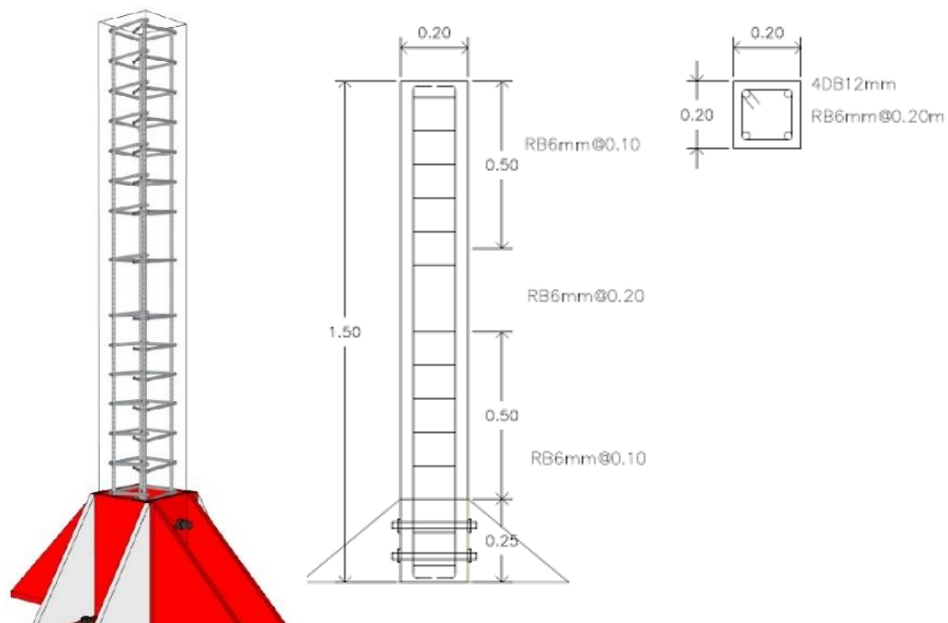
รูปที่ 1 ออกแบบสเกตซ์เครื่องทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตยศาสตร์



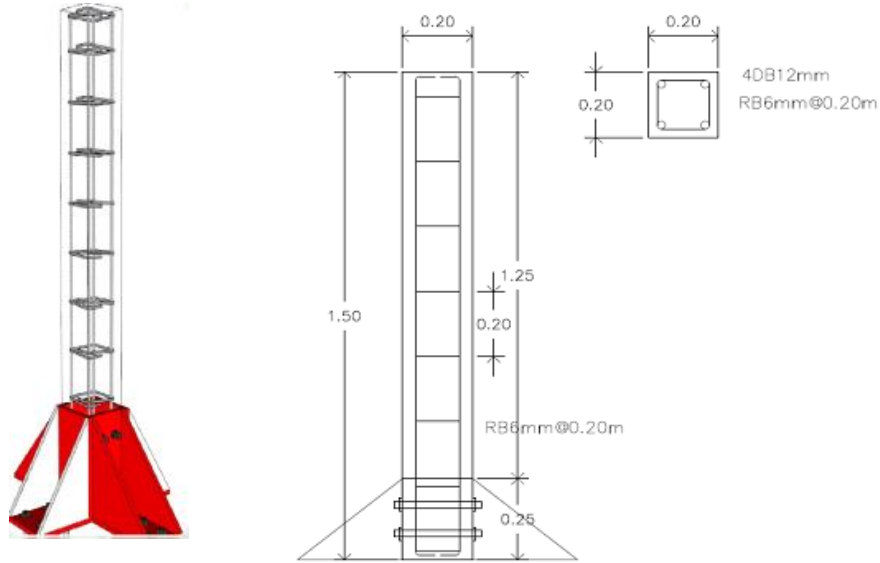
รูปที่ 2 เครื่องมือทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตยศาสตร์

3.2 การเตรียมชิ้นตัวอย่างเสา

ตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในงานวิจัยนี้ ใช้ตัวอย่างเสาขนาด 20 cm x 20 cm สูง 150 cm จำนวนทั้งหมด 4 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน มยพ.1301-54 และตามมาตรฐาน วสท.1007-34 อย่างละ 2 ตัวอย่าง ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างเสาทั้งหมดนี้ได้ออกแบบไว้ที่คอนกรีตอายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดประลัยเท่ากับ 210 ksc เหล็กเสริมตามยาวใช้ DB12 SD 40 เหล็กเสริมรับแรงเฉือนใช้ RB6 SR24 ดังแสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กดังรูปที่ 3 - 4



รูปที่ 3 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน มยพ. 1301 - 54



รูปที่ 4 เสาตามมาตรฐาน วสท. 1007 - 34

สำหรับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตาม วสท. และ มยพ. ก่อนเสริมความแข็งแรง ที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ ทีมงานได้หล่อขึ้นตัวอย่างเสา 20 cm x 20 cm ขึ้นมาเอง โดยทั้งนี้ทำการผูกเหล็กตามแบบ พร้อมตั้งแบบหล่อ และเทคอนกรีต จากนั้นจะบ่มด้วยพลาสติกพันรอบจนถึงอายุ 28 วัน แสดงตัวอย่างเสารูปที่ 5 แล้วจึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงดัดข้างต่อไป



รูปที่ 5 ขึ้นตัวอย่างเสาที่กำลังบ่มด้วยพลาสติก

3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัดด้านข้างของเสา

การทดสอบตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในงานวิจัยนี้จะทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตยศาสตร์ที่ทีมผู้วิจัยประดิษฐ์ขึ้น ในการทดสอบจะเริ่มจากการอัดแรงตามแนวนอนเป็นแรงคงที่ 10% ของกำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสา ($0.1f_c'Ag$) หลังจากนั้นจะทำการทดสอบการรับแรงกระทำด้านข้างของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นแรงแบบสถิตยศาสตร์จะเพิ่มแรงทีละ 2.5 kN ดังแสดงในรูปที่ 6 และทำการวัดการโก่งตัวของเสาจำนวน 3 จุด โดยจุดล่างวัดจากฐานรองรับเสาขึ้นมา 5 cm จุดกลางวัดจากฐานรองรับเสา 62.5 cm และวัดจุดปลายเสาจากฐานรองรับเสาขึ้นไป 125 cm ซึ่งในการวัดพฤติกรรมการโก่งตัวของเสา ทีมผู้วิจัยได้ใช้กล้องวีโอโดไลท์มาใช้วัดการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเสาเดิม ไปตำแหน่งเสาใหม่ โดยที่ตัวอย่างเสาจะติดกระดาษกราฟไว้ที่ตำแหน่งบน กลาง และล่างของเสาดังแสดงในรูป 7 เพิ่มแรงกระทำด้านข้างจนโครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กไม่สามารถรับแรงการกระทำด้านข้างที่เพิ่มขึ้นได้อีก



รูปที่ 6 ติดตั้งไฮดรอลิกเข้ากับโครงเฟรมและตัวอย่างเสา



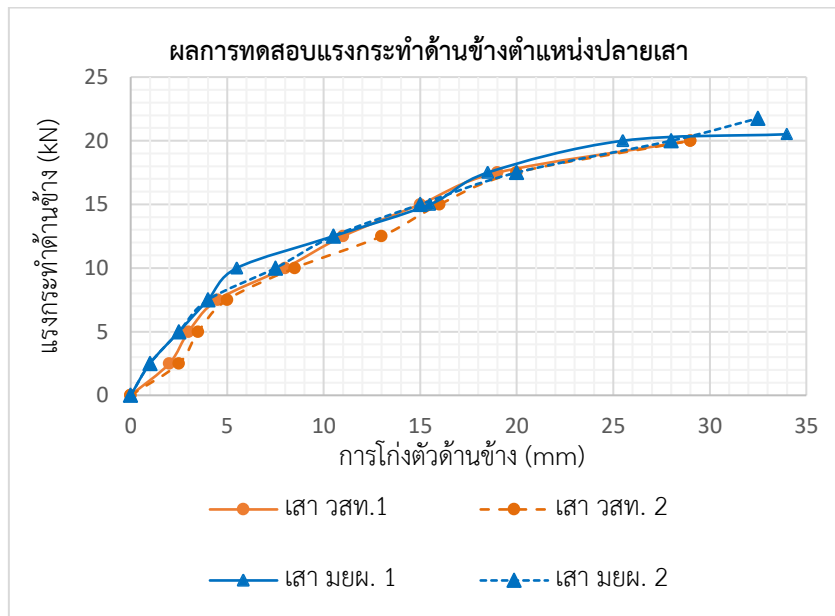
รูปที่ 7 วัดการโก่งตัวของเสา (Deflection)

4. ผลและวิจารณ์

จากการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างในเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยเครื่องมือทดสอบที่ทีมผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้นมา พบว่าเสาทุกต้นสามารถรับแรงด้านข้างจนแสดงรอยแตกร้าว และไม่สามารถรับแรงได้ต่อไปอีก นอกจากนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบวัฏจักรของ ฤชญาและคณะ (2554) ซึ่งทดสอบกับเสาขนาด 0.25 m x 0.25 m สามารถรับแรงกระทำด้านข้างสูงสุดได้ 31.6 kN ในขณะที่จากผลการทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตยศาสตร์ในงานวิจัยนี้ ทดสอบเสาขนาด 0.2 m x 0.2 m มีแรงกระทำด้านข้างสูงสุดในช่วง 20 -25 kN จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบวัฏจักรกับแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตยศาสตร์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับในรายละเอียดผลของการทดสอบจะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับระยะการโก่งตัว ค่าความเหนียว ตลอดจนรูปแบบลักษณะการวิบัติ

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างกับระยะการโก่งตัว

ผลการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงกระทำด้านข้างของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับค่าการโก่งตัวของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตำแหน่งปลายเสาระหว่างเสาตัวอย่างตามมาตรฐาน วสท. 1007 - 34 และ มยพ.1301 - 54 ตามรูปที่ 8 ทั้งนี้จะเห็นว่าเสาขนาดเดียวกันที่เสริมเหล็กตาม มยพ. จะสามารถต้านทานแรงด้านข้างสูงสุดได้มากกว่าเสาที่เสริมเหล็กตาม วสท. ประมาณ 10 %



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับโก่งตัวด้านข้างของตัวอย่างเสาตามมาตรฐาน วสท. 1007 - 34 กับมยพ. 1301 - 54

4.2 ค่าความเหนียว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างเมื่อรับแรงกระทำในลักษณะแบบวิภูจักร สำหรับพฤติกรรมโครงสร้างอย่างง่ายนิยมใช้แบบ Elastic Perfectly Plastic โดยความเหนียวต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (Displacement Ductility) คำนวณได้จาก

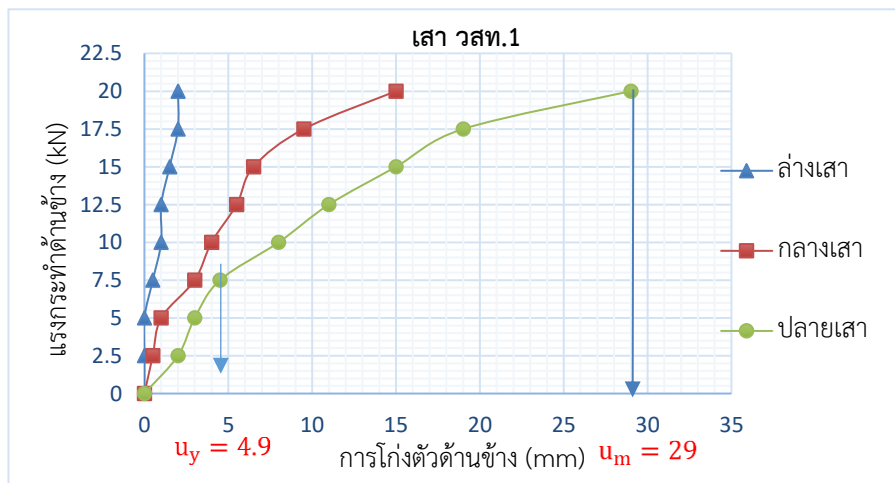
$$\mu = \frac{u_m}{u_y} \quad (1)$$

โดยที่ μ คือ ความเหนียวต่อการเปลี่ยนตำแหน่ง

u_m คือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งสูงสุด (Maximum Displacement)

u_y คือ การเปลี่ยนตำแหน่งที่จุดคราก (Yield Displacement)

ทีมผู้วิจัยได้ใช้ความสัมพันธ์ในสมการที่ (1) คำนวณหาค่าความเหนียวดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 9 โดยทั้งนี้เสาแบบ มยผ. 1301-54 ตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 มีค่าความเหนียวเท่ากับ 6.94 และ 8.13 สำหรับเสาแบบ วสท. 1007-34 ตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 มีค่าความเหนียวเท่ากับ 5.92 และ 6.00



รูปที่ 9 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างเพื่อหาค่าดัชนีความเหนียว

4.3 พฤติกรรมการวิบัติของเสา

ลักษณะรอยแตกร้าวตลอดจนรูปแบบการวิบัติ ระหว่างเสาตามมาตรฐานวสท. 1007 – 34 กับเสาตามมาตรฐาน มยผ.1301 – 54 เกิดคล้าย ๆ กัน โดยช่วงแรกเสามีการแตกร้าวเกิดขึ้นลักษณะแนวขนานกับหน้าตัดสูงชันจากจุดรองรับเสา 150 mm ซึ่งเป็นลักษณะการแตกร้าวเนื่องจากแรงดัด (Flexural Crack) ก่อน และรอยแตกร้าวได้กระจายออกด้านข้างเป็นลักษณะเส้นทแยงมุมเนื่องจากแรงเฉือน (Shear Crack) จากตำแหน่งเดิมและรอยแตกร้าวก็เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนนำไปสู่การหลุดร่อนของคอนกรีตที่โคนเสาดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 รอยร้าวที่เกิดในตัวอย่างเสา

5. สรุปผล

ในการสร้างเครื่องมือทดสอบแรงกระทำด้านข้างแบบสถิตยศาสตร์ในลักษณะให้แรงในทิศทางเดียว โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ Hydraulic จำนวน 2 ตัวที่ให้แรงตามแนวแกนและแรงกระทำด้านข้างเสริมด้วยสลักเกลียวและเหล็กรูปพรรณต่าง ๆ มาประดิษฐ์ในโครงข้อแข็งเดิมสถานที่ทดสอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่ ซึ่งเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นได้ปรับปรุงเฉพาะบริเวณที่ฐานและปลายจับของเสาตัวอย่าง และได้นำตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กมาเป็นตัวอย่างการทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเอง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่างเสาในแต่ละแบบสามารถรับแรงได้จนถึงเสาเกิดการวิบัติเห็นรอยร้าว ซึ่งเป็นการแสดงถึงพฤติกรรมที่เสารับแรงทั้งในสภาพอิลาสติกและอินอีลาสติก และสามารถหาค่าความเหนียวซึ่งเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นของโครงสร้างด้านทานแผ่นดินไหวได้อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนงบประมาณในการผลิตและพัฒนาเครื่องมือทดสอบแรงกระทำด้านข้าง

7. เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา สานนท์และณัฐชัย คำวัง. (2554). ปริมาณนิพจน์ปริมาณพฤติกรรมการตัดของเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จและเสาหล่อเป็นชั้นเดียวรับแรงแบบวิถัจกร สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2554). มยพ.1301-54 มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว.
- กัมปนาท เพ็ชรหาญและคณะ. (2557). ปริมาณนิพจน์ปริมาณวิเคราะห์โครงสร้างบ้านพักอาศัยประเภทเสาสนับรับแรงแผ่นดินไหวโดยโปรแกรม MIDAS GEN สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่.
- ชินพงศ์ เลิศวิไลรัตน์. (2555). วิชยานิพจน์ปริมาณพฤติกรรมของจุดต่อเสาหล่อสำเร็จโดยใช้เทคนิคเหล็กเดือยยึดแน่นภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบวิถัจกร สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรกร สิงห์สุด. (2551). วิชยานิพจน์ปริมาณสมรรถนะด้านทานแผ่นดินไหวของเสาสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในประเทศไทยภายใต้แรงกระทำแบบวิถัจกร สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2543). ว.ส.ท.1007-34 มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน.

Aziznamini, A., Corley, W. G. and Johal, L.S. P. (1992). Effect of Transverse Reinforcement on Seismic performance of Columns. **ACI Structural journal**, 89(4), 442-450.

Han, S. W. and Jee, N. Y. (2005). Seismic Behaviors of Columns in Ordinary and Intermediate Moment Resisting Concrete Frames. **Engineering Structures**, (27), 951-962.

Lukkunaprasit, P. and Sittipunt, C. (2000). Ductility Enhancement of Moderately Confined Concrete Tied Columns with Hook-Clips. **ACI Structural Journal**, 100(4), 422-429.

Ozcebe, G. and Saatcioglu, M. (1987). Confinement of Concrete Columns for Seismic Loading. **ACI Structural Journal**, 84(4), 308-315.

Tanaka, H. and Park, R. (1990). Effect of Lateral Confining Reinforcement on the Ductile Behaviour of Reinforced Concrete Columns. Report 90-2, Department of Civil Engineering.