

บทความปริทรรศน์

Design Philosophies of Reinforced Concrete Beam-Column Joints

- **Paulay, T., Park, P., and Priestley, M. J. N., “Reinforced Concrete Beam-Column Joints under Seismic Actions,” *Journal of the American Concrete Institute, Proc. Vol. 75, No. 11, Nov., 1978, pp.585-593.***
- **Meinheit, D. F., and Jirsa, J. O., “Shear Strength of R/C Beam-Column Connections,” *Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 107, No. ST11, Nov., 1981, pp.2227-2244.***
- **Kamimura, T., “Ultimate Shear Strength of Reinforced Concrete Beam-Column Joints,” *Proceedings of Annual Convention of Architectural Institute of Japan, Oct., 1975, pp.1155-1156.***

ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด และ สุนิติ สุภาพ

อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ภายใต้แรงแผ่นดินไหว โครงสร้างจะโยกตัวไป-มาเนื่องจากแรงเฉื่อยซึ่งเกิดจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างร่วมกับความเร่งของโครงสร้างซึ่งเกิดจากการสั่นไหวของพื้นดิน จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเหตุการณ์ดังกล่าวมีความวิกฤตอย่างมากโดยเฉพาะกับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งถือเป็นโครงสร้างที่พบได้โดยทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากลักษณะของอาคารประเภทนี้จะมีน้ำหนักมาก (Massive) ในขณะที่ความเหนียวต่ำ (Low Ductility) ดังนั้นหากโครงสร้างดังกล่าวไม่ได้รับการออกแบบให้สัดส่วนขององค์อาคารและปริมาณเหล็กเสริมมีอย่างเพียงพอแล้ว การแตกร้าวหรือการวิบัติขององค์อาคารที่สำคัญเพียงบางตำแหน่งก็อาจทำให้อาคารทั้งหมดพังทลายลงมาได้

จากการศึกษาวิจัยพบว่าองค์อาคารที่สำคัญที่ต้องการการเอาใจใส่เป็นพิเศษ คือ จุดต่อคาน-เสา หรือที่เรียกเป็นศัพท์ภาษาอังกฤษว่า Beam-Column Joint เนื่องจากชิ้นส่วนดังกล่าวทำหน้าที่รองรับน้ำหนักที่ถ่ายลงมาจากเสาอาคาร การวิบัติอย่างฉับพลันของ Beam-Column Joint จึง

ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างฉับพลันต่อโครงสร้างโดยรวมได้ ด้วยเหตุนี้นักวิจัยทั่วโลกต่างมุ่งให้ความสนใจที่จะศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ขององค์อาคารนี้นับตั้งแต่ตั้งแต่ช่วงต้นของช่วงปี 1950's

แม้ว่าบทความวิจัยที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับการวิเคราะห์กำลังของ Beam-Column Joint จนถึงปัจจุบันจะมีมากมายหลายร้อยฉบับ แต่บทความที่ถือว่าเป็นต้นแบบทางความคิดให้กับวิศวกรรุ่นหลังและสมควรได้รับการยกย่องนั้นมีด้วยกัน 3 บทความ โดยทั้งสามถือกำเนิดจากประเทศมหาอำนาจทางวิศวกรรมแผ่นดินไหวอันประกอบด้วย (1) นิวซีแลนด์ (2) สหรัฐอเมริกาและ (3) ญี่ปุ่น ซึ่งแต่ละประเทศได้เสนอแนวคิดหรือทฤษฎีรวมถึงสมการที่ใช้วิเคราะห์กำลังของ Beam-Column Joint อย่างเป็นเอกเทศ เป็นผลให้เกิดการตื่นตัวของนักวิจัยทั่วโลกเพื่อที่จะหาข้อพิสูจน์และสนับสนุนแนวความคิดในแต่ละทฤษฎีอย่างกว้างขวาง โดยในบทความฉบับนี้จะทำการสรุปแนวคิดและประวัติความเป็นมา รวมถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างของงานวิจัยเกี่ยวกับ Beam-Column Joint ของทั้งสามประเทศอย่างย่อ

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าการศึกษาวิจัยในเรื่อง Beam-Column Joint ได้ทำกันมาตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 20 อย่างไรก็ดีพบว่าการศึกษาวิจัยในช่วงแรกเน้นหนักที่การทดสอบและรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างสมการเชิงประจักษ์ (Empirical Formula) มากกว่าที่จะพยายามหาสมการควบคุม (Rational Equation) ตามหลักกลศาสตร์ของโครงสร้าง จนกระทั่งในปี ค.ศ.1978 โดยการนำของ 3 ศาสตราจารย์แห่ง University of Canterbury ประเทศนิวซีแลนด์ นั่นคือ Prof. Paulay, Prof. Park และ Prof. Priestley หรือที่วิศวกรนิวซีแลนด์รู้จักกันดีในนาม “Triple P” (มาจากชื่อต้นที่สะกดด้วยตัว “P” ของแต่ละท่าน) โดยทั้งสามเสนอทฤษฎีที่อธิบายพฤติกรรมของ Beam-Column Joint ออกมาอย่างละเอียด โดยพบว่าแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่อ Beam-Column Joint ถูกต้านทานด้วยกลไก 2 อย่าง คือ กลไกของแนวแรงอัดทแยงของคอนกรีต (Diagonal Strut Mechanism) และกลไกของที่เป็นผลมาจากเหล็กเสริมภายใน Beam-Column Joint ซึ่งสร้างระบบสมดุลที่เรียกว่ากลไกของโครงข้อหมุน (Truss Mechanism) ซึ่งทั้งสามท่านพบว่า กลไกแรกจะสามารถต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวได้ในช่วงต้นหรือช่วงยืดหยุ่น (Elastic Stage) เท่านั้น ภายหลังจากคอนกรีตภายใน Beam-Column Joint เริ่มแตกร้าวกำลังในส่วนนี้จะหายไปทั้งหมด ทำให้แรงจากแผ่นดินไหวที่กระทำต่อ Beam-Column Joint จะถูกถ่ายไปยังเหล็กเสริมใน Beam-Column Joint แทน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวอย่างง่าย คือ การออกแบบ Beam-Column Joint ในประเทศนิวซีแลนด์ในยุคแรกจะใช้เหล็กเสริมใน Beam-Column Joint รับแรงกระทำทั้งหมด เป็นผลให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในประเทศนิวซีแลนด์ต้องการเสริมเหล็กอย่างมาก ซึ่งสร้างความยุ่งยากในการก่อสร้างและเป็นข้อด้อยที่ถูกวิพากษ์วิจารณ์อย่างหนักจากนานาชาติในขณะนั้น

มองมาที่สหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นประเทศที่มีแผ่นดินไหวเบาบางกว่าประเทศนิวซีแลนด์ แต่ก็ต้องการสร้างความเป็นผู้นำทางด้านงานวิจัยเกี่ยวกับแผ่นดินไหวในระดับโลกกลับไม่ยอมรับแนวคิดดังกล่าว โดยการนำของ Prof. Jirsa แห่ง University of Texas at Austin ซึ่งเสนอว่า

แท้จริงกลไกในการรับแรงแผ่นดินไหวใน Beam-Column Joint เกิดจากแนวแรงอัดทะแยงของคอนกรีตเป็นหลัก โดยไม่เชื่อว่าเหล็กเสริมใน Beam-Column Joint จะพัฒนากำลังและใช้รับแรงซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวได้ งานวิจัยดังกล่าวเป็นผลให้อเมริกาเสนอให้มีการออกแบบ Beam-Column Joint ให้มีขนาดใหญ่เพื่อที่หน้าตัดจะสร้างกลไกของแนวแรงอัดทะแยงของคอนกรีตได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่เหล็กเสริมใน Beam-Column Joint มีบทบาทเป็นเพียงเหล็กเสริมขั้นต่ำ โดยไม่มีความสัมพันธ์ใดๆ กับแรงจากแผ่นดินไหวที่ถ่ายเข้ามาใน Beam-Column Joint

ถึงจุดนี้จึงสะท้อนความจริงเกี่ยวกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในสองประเทศได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ โครงสร้างในประเทศนิวซีแลนด์จะมีขนาดค่อนข้างเล็กและต้องการปริมาณเหล็กเสริมค่อนข้างสูงเพราะต้องการให้โครงสร้างเกิดพฤติกรรมแบบเหนียวและสามารถสลายพลังงานได้ดี ในขณะที่โครงสร้างของอเมริกาจะมีขนาดใหญ่กว่าเพราะต้องการขยาย Beam-Column Joint เพื่อรองรับแรงแผ่นดินไหวโดยไม่อาศัยความเหนียวที่มาจากเหล็กเสริมใน Beam-Column Joint ตามปรัชญาการออกแบบของประเทศนิวซีแลนด์

จากความแตกต่างของปรัชญาการออกแบบเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวของทั้งสองประเทศ ทำให้ประเทศญี่ปุ่นจึงถูกมองว่าอาจเป็นตัวกลางที่จะคลี่คลายความสงสัยดังกล่าวนี้ได้ แต่ความหวังนี้ก็มิอันสูญสลายไป เนื่องจากในครั้งนั้นที่มิจิโยชิที่นำโดย Prof. Aoyama แห่ง University of Tokyo ซึ่งถือว่ามียุทธศาสตร์อย่างมากในงานวิจัยทางด้านแผ่นดินไหวในญี่ปุ่น ได้ใช้ผลการทดสอบของ Kamimura ซึ่งเป็นหนึ่งในนักวิจัยและเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับ Beam-Column Joint ที่แตกต่างออกไปจากแนวความคิดของทั้งสองประเทศแรก โดยญี่ปุ่นเชื่อว่ากลไกในการรับแรงเฉือนซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวใน Beam-Column Joint ซึ่งประกอบขึ้นจาก (1) กลไกการรับแรงโดยคอนกรีต และ (2) กลไกการรับแรงโดยเหล็กเสริมใน Beam-Column Joint โดยกลไกที่หนึ่งจะรับแรงในส่วนแรกไปก่อนหลังจากนั้นแรงที่เหลือก็จะถ่ายไปยังกลไกที่สอง ทำให้ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการใน Beam-Column Joint เมื่ออ้างอิง งานวิจัยจากประเทศญี่ปุ่นในขณะนั้นมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่ได้จากประเทศสหรัฐอเมริกาและนิวซีแลนด์ อย่างไรก็ตามพบว่ากลไกที่มาจากคอนกรีตตามงานวิจัยของญี่ปุ่นถูกสังเคราะห์ขึ้นมาจากการสร้างสมการเชิงประจักษ์ทำให้วิศวกรทั้งในอเมริกาและนิวซีแลนด์ยังไม่ให้ความยอมรับเท่าที่ควร

เมื่อทำการวิเคราะห์ที่มาของงานวิจัยจากทั้งสามประเทศสามารถสรุปได้ว่า แต่ละประเทศได้สร้างข้อเสนอด้านแนวคิดที่ตนยึดมั่นซึ่งเป็นไปตามวัฒนธรรมการออกแบบโครงสร้างในแต่ละประเทศ ทำให้เกิดความแตกต่างทางทฤษฎีการออกแบบของประเทศทั้งสาม เป็นผลให้เกิดกระแสการวิพากษ์วิจารณ์และการพัฒนางานวิจัยจากจากนักวิจัยทั่วโลกอย่างกว้างขวางในเวลาต่อมา แม้ว่าหลายครั้งที่ประเทศทั้งสามจัดการสัมมนาที่เรียกว่า The Trilateral Cooperative Research เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับทฤษฎีของ Beam-Column Joint ที่ดีที่สุด แต่สุดท้ายแต่ละประเทศก็ยังยืนยันทฤษฎีการออกแบบของตนที่พัฒนาขึ้นมาอย่างแข็งขัน

ในปัจจุบันแม้ว่ามาตรฐานการออกแบบ Beam-Column Joint ในแต่ละประเทศจะถูกพัฒนาไปจากงานวิจัยฉบับแม่แล้วก็ตาม แต่เมื่อมองลงไปยังเบื้องลึกก็จะพบว่ามาตรฐานเหล่านั้นยังคงปรัชญาการออกแบบตามแนวคิดดั้งเดิมของตนอยู่ จึงเป็นที่เข้าใจว่านอกเหนือจากงานวิจัยซึ่งถือเป็นงานทางด้านวิทยาศาสตร์แล้ว ยังมีเรื่องของอัตตาหรือการยึดมั่นในความคิดของแต่ละคนรวมไปถึงแนวคิดแบบชาตินิยม (Conservatism) เพื่อสร้างอัตลักษณ์ (Identity) ของชาติแฝงอยู่ด้วยเสมอ



อ.ดร. ภาณุวัฒน์ จ้อยกัลต์
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
joy.civil@gmail.com



อ.ดร. สุนธิ สุภาพ
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
nisuparp@hotmail.com