บทที่ 1

บทนำ

ความนำ

ในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูงรับแรงกระทำทางข้าง (Lateral force) นั้น การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นับว่าเป็นที่นิยมในหมู่วิศวกรนักออกแบบทั่วไป โดยเฉพาะโครงสร้างที่มีความสลับซับซ้อนมาก ๆ แต่อย่างไรก็ตามวิธีวิเคราะห์โดยประมาณที่สามารถคำนวณได้รวดเร็วยังมีประโยชน์มากต่อการออกแบบขั้นต้น (Preliminary design) ทั้งนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมทั่ว ๆ ไปของระบบโครงสร้าง อันจะช่วยให้การเลือกระบบโครงสร้างได้เหมาะสม และยังใช้ในการหาขนาดประมาณเบื้องต้นสำหรับเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์โดยละเอียดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไปถ้าจำเป็น นอกจากนี้หากโครงสร้างไม่สูงมากนัก และเงื่อนไขทั่ว ๆ ไปสอดคล้องกับวิธีนั้น ๆ แล้ว การวิเคราะห์โดยประมาณยังอาจมีความถูกต้องเพียงพอสำหรับการออกแบบขั้นสุดท้ายอีกด้วย

การวิเคราะห์โดยประมาณนั้นมีผู้ศึกษาค้นคว้ากันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดผลลัพธ์ตลอดจนความยากง่ายในการใช้งานแตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับสมมติฐานของแต่ละวิธีการ ถึงแม้จะมีการเสนอวิธีมามากแล้วก็ตาม แต่การศึกษาทางด้านนี้ยังจำเป็นอยู่ ทั้งนี้เพื่อจะได้วิธีการประมาณที่สะดวกกับการใช้งานและให้คำตอบที่แม่นยำยิ่ง ๆ ขึ้น

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ในอดีตอาคารส่วนใหญ่มีความสูงไม่มากนัก การวิเคราะห์โดยทั่วไปจึงคำนึงถึงเฉพาะแรงในแนวดิ่งเท่านั้น (Gravity load) โดยถือว่ามีปลอดภัยเพียงพอสำหรับแรงกระทำทางข้าง (Lateral load) ด้วย ต่อมาเมื่ออาคารมีความสูงมากขึ้นจึงจำเป็นจะต้องวิเคราะห์ผลของแรงกระทำทางข้างด้วย

วิธีพอร์ทอล (Portal method) นั้นเป็นวิธีโดยประมาณวิธีแรกในการวิเคราะห์โครงข้อแข็งภายใต้แรงกระทำทางข้าง

ถ้าอาคารมีความสูงถึงระดับหนึ่งก็มักจะออกแบบให้มีผนังรับแรงเฉือน (Shear wall) โดยถือเอาว่าผนังรับแรงรับแรงกระทำทางข้างทั้งหมด

ในความเป็นจริงนั้น แม้ว่าผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็งจะเป็นโครงสร้างที่มีพฤติกรรมในการตอบสนองต่อแรงกระทำทางข้างคนละแบบก็ตาม แต่เมื่อมารวมอยู่ในอาคารเดียวกัน ก็ต้องร่วมกันรับแรงกระทำทางข้าง พฤติกรรมร่วมของโครงสร้างสองแบบนี้เป็นที่สนใจของวิศวกรโครงสร้าง มาเป็นเวลานานแล้ว เช่นการศึกษาของ Kahn และ Sbarounis (1964) ซึ่งได้อาศัยวิธีกระทำซ้ำ (Iteration method) ในการวิเคราะห์โดยแยกพิจารณาผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็งทีละส่วน การโก่งตัวเริ่มแรกหาได้โดยให้ผนังรับแรงเฉือน รับแรงกระทำทางข้างทั้งหมด จากนั้นคำนวณหาแรงปฏิสัมพันธ์ (Interaction force) ในโครงข้อแข็งมากระทำกับผนังรับแรงเฉือนอีกครั้ง นำไปสู่การโก่งตัวใหม่ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณรอบต่อไป ทำเช่นนี้ซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งการโก่งตัวไม่เปลี่ยนแปลง ผลการวิเคราะห์ที่ได้ถูกเสนออยู่ในรูปของแผนภูมิที่ช่วยในการออกแบบ วิธีนี้ไม่เหมาะสมที่จะวิเคราะห์ด้วยมือเพราะยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลามาก ต่อมา Gould (1965) เสนอวิธีลดปัญหาแรงปฏิสัมพันธ์ (Interaction force) ของผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็งโดยกำหนดสปริงชุดหนึ่งยึดติดกับผนังรับแรงเฉือนแทนโครงข้อแข็ง แล้วเขียนสมการสมดุลโดยอาศัยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนซ์ (Finite difference) ซึ่งยังคงมีความยุ่งยากในการแก้สมการหาผลเฉลยอยู่ดี ส่วน Mac Leod (1970) ได้เสนอให้หาคำตอบคร่าว ๆ โดยลดจำนวนของแรงปฏิสัมพันธ์ลงเหลือเพียงแรงเดียวกระทำที่จุดยอดเท่านั้น การวิเคราะห์จึงลดเหลือเพียงแค่หาความต่อเนื่อง (Continuity) ของระยะโก่งที่ยอดของผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็ง

Heidebrecht และ Smith (1973) อาศัยวิธีการคอนตินัม (Continuum technique) ในการแทนโครงข้อแข็งด้วยผนังที่มีพฤติกรรมแบบเฉือน (Shear mode of deflection) ซึ่งโก่งตัวไปพร้อมกันกับผนังรับแรงเฉือนที่มีพฤติกรรมแบบดัด (Bending mode of deflection) จากนั้นสร้างสมการสมดุลโดยการเขียนสมการควบคุม (Governing equation) สำหรับผนังร่วมทั้งสองประกอบกับเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ก็จะได้ฟังก์ชันของการเปลี่ยนตำแหน่งโครงสร้างรวมได้ นอกจากนี้ยังมีการอาศัยทฤษฎีพลังงานมาประยุกต์ใช้กับโครงข้อแข็ง ซึ่งทำโดย Rossow และ Sukapanpotharam (1974) และที่ทำโดย Chan et al. (1975) อีกด้วย

จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นใช้กับโครงสร้างที่มีผังสมมาตร และแรงกระทำสมมาตรเท่านั้น ถึงแม้วิธีของ Kahn และของ Mac Leod จะสามารถประยุกต์ใช้กับโครงสร้างที่มีผังไม่สมมาตรได้ก็ตามแต่ก็ยังไม่สมบูรณ์มากนัก ในความเป็นจริงแล้วโครงสร้างมักจะเกิดการบิดไม่ด้วยเหตุเพราะผังของโครงสร้างหรือแรงกระทำที่ไม่สมมาตรก็ตาม ฉะนั้นการศึกษาทางด้านนี้จึงยังเป็นที่สนใจของวิศวกรและนักวิจัยอยู่เสมอมาซึ่งจะกล่าวสังเขปต่อไปนี้

Winokur และ Gluck (1968) เสนอวิธีวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร โดยการรวมสติฟเนสทางข้าง (Lateral stiffness) ของโครงสร้างต่าง ๆ ในทิศอ้างอิงเข้าด้วยกัน ต่อมา Gluck (1970) เสนอการเปลี่ยนตำแหน่งของพื้นในรูปของฟังก์ชันที่สามารถหาได้จากสมการควบคุม (Governing equation) โครงสร้างและเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition)

Hongladaromp et al. (1974) อาศัยสมการมุมหมุนและการโก่งตัว (Slope-deflection equation) ในการหาสติฟเนสทางข้าง (Lateral stiffness) ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative displacement) แทนการเปลี่ยนตำแหน่งของพื้นโดยตรง อย่างไรก็ตามเขาได้ศึกษาเฉพาะกรณีที่โครงข้อแข็งและผนังรับแรงเฉือนทั้งหมด อยู่ในระนาบ (Plane) ที่ตั้งฉากกันเท่านั้น

Suriyamongkol (1993) เห็นว่าถ้าเพียงแต่ตั้งสมมติฐานว่ามีจุดดัดกลับที่กลางช่วงคานของโครงข้อแข็งเท่านั้น ก็อาจแยกพิจารณาเสาแต่ละต้นของโครงข้อแข็งว่าเป็นเสายื่นที่มีคานแขนยื่นออกไปที่ทุกระดับชั้นของอาคาร (Branched cantilever) โดยปลายคานแขนมีฐานรองรับแบบลูกกลิ้งดังแสดงในรูปที่ 2(a) และ 2(b) อาศัยหลักการของคอนตินัม (Continuum technique) คานแขนยื่นถี่ ๆ ทุกระดับชั้นนี้สามารถพิจารณาเสมือนหนึ่งว่ามีที่รองรับแบบต่อเนื่อง (Continuum support) (ดูรูปที่ 2(c)) ซึ่งสามารถจะเขียนสมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential equation) ที่ควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่งออกมาได้ ส่วนผนังรับแรงเฉือนหรือ Shear wall ก็ถือว่าเป็น Free cantilever นั้นเอง

โครงสร้างทั้งหมดของอาคารที่ประกอบด้วยผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็งจึงอาจพิจารณาเสมือนหนึ่งประกอบด้วยเสายื่นแบบต่าง ๆ ที่ยึดติดกันด้วยพื้น และกำหนดให้การเปลี่ยนตำแหน่งของพื้นบางชั้นของอาคารเป็นตัวไม่ทราบค่า (Basic unknown) ก็สามารถนำไปสู่การเปลี่ยนตำแหน่งและพลังงานความเครียด (Strain energy) ของโครงสร้างแต่ละหน่วยของอาคาร ตลอดจนกระทั่งพลังงานศักย์ภายนอก จากนั้นใช้ทฤษฎีการคงค่าของพลังงานศักย์รวม (Theorem of stationary total potential energy) ก็สามารถสร้างสมการสมดุล เพื่อใช้หาค่าการ

เปลี่ยนตำแหน่งของพื้นชั้นดังกล่าวได้ ซึ่งวิธีนี้ช่วยลดจำนวนตัวไม่ทราบค่า (Unknown) ลงได้เป็นอันมาก

นอกจากวิธีประมาณแบบต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประมาณสติฟเนส (Stiffness) หรือเฟลกซิบิลิตี (Flexibility) ของผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็งที่ประกอบกันเป็นอาคารแล้ว ยังมีวิธีที่คำนวณหาสติฟเนสแม่นตรง (Exact stiffness) ที่เสนอโดย Clough (1964) ซึ่งได้รับการยอมรับว่าให้ค่าถูกต้องแม่นยำ และยังเป็นรากฐานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น MicroFEAP, XETABS, ETABS, SAP IV เป็นต้น ซึ่งจะเหมาะกับการวิเคราะห์โดยละเอียดขั้นสุดท้าย

ขอบข่ายการศึกษา

ในงานศึกษานี้ เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างของอาคารหลายชั้นที่รับแรงกระทำทางข้าง ซึ่งประกอบด้วยโครงข้อแข็งและผนังรับแรงเฉือน โดยสมมติการเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารให้อยู่ในรูปของอนุกรมของฟังก์ชันที่เหมาะสมสอดคล้องกับสภาพขอบเขต (Boundary condition) โดยมีสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของอนุกรมเป็นตัวไม่ทราบค่า จากการเปลี่ยนตำแหน่งที่สมมติขึ้นก็สามารถที่จะหาพลังงานศักย์รวมของระบบโครงสร้างเนื่องจากแรงภายนอก (External potential energy) และพลังงานความเครียด (Strain energy) เนื่องจากแรงภายในได้ และด้วยทฤษฎีการคงค่าของพลังงานศักย์รวม (Theorem of stationary total potential energy) จะสามารถสร้างสมการสมดุลของอาคารเพื่อใช้หาสัมประสิทธิ์ของอนุกรมดังกล่าว และจากการเปลี่ยนตำแหน่งที่หาได้นี้เราก็สามารถหาแรงภายในของแต่ละหน่วยโครงสร้างที่ประกอบกันเป็นอาคารได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย