บทที่ 1

บทนำ

ความนำ

ในการออกแบบโครงสร้างจุดมุ่งหมายของวิศวกร คือ การเลือกรูปแบบของโครงสร้างและการเลือกขนาดขององค์อาคารให้สามารถใช้งานได้ เพื่อให้มีกำลังตามที่ต้องการ โดยทั่วไปการออกแบบในขั้นตอนแรกจะเลือกขนาดของแต่ละองค์อาคารก่อน จึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยรวมทั้งหมด เพื่อพิจารณากำลังขององค์อาคารและความแข็งแรงของโครงสร้าง จากนั้นจึงใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) จนได้โครงสร้างที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ในกรณีที่การออกแบบถูกควบคุมโดยกำลัง (Strength control) ขององค์อาคาร การเลือกขนาดขององค์อาคารจะขึ้นกับแรงภายในขององค์อาคารนั้น แต่เมื่อการออกแบบถูกควบคุมโดยสติฟเนส (Stiffness control) ของโครงสร้าง เป็นการยากที่เลือกจะเพิ่มหรือลดขนาดของชิ้นส่วนใดๆ เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของโครงสร้างตามที่เราต้องการ เพราะว่าการวิเคราะห์โครงสร้างจะให้สติฟเนสโดยรวมของโครงสร้างเท่านั้น ภายหลังจากการวิเคราะห์เสร็จสิ้น วิศวกรจึงจะรู้ว่าโครงสร้างมีความแข็งแรงหรือยืดหยุ่นเกินไป แต่ไม่ได้บอกถึงว่าองค์อาคารใดที่แข็งแรงหรือยืดหยุ่นเกินไป วิศวกรผู้ออกแบบจึงต้องใช้วิจารณญาณและประสบการณ์เป็นพื้นฐานสำหรับการปรับเปลี่ยนขนาดขององค์อาคาร ดังนั้นเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการออกแบบโดยวิธีลองผิดลองถูก จึงเกิดมีแนวคิดของการออกแบบที่เหมาะสม (Optimum design) ขึ้น เพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างมีระบบแน่นอนและได้คำตอบที่ดีที่สุด

แนวคิดของการออกแบบที่เหมาะสมที่ผ่านมาถูกนำเสนอออกมาในรูปแบบของวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งไม่ค่อยเน้นถึงความหมายของสมการต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของโครงสร้าง วิธีการงานสมมุติ (Virtual work) ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบที่เหมาะสม เพื่อใช้หาองค์อาคารที่แข็งแรงหรืออ่อนเกินไป โดยแสดงออกมาในเทอมของพฤติกรรมทาง

กายภาพของโครงสร้าง ทำให้มีความเข้าใจได้ง่ายกว่าในรูปแบบของวิธีการทางคณิตศาสตร์

จากการใช้เทคนิคของการออกแบบที่เหมาะสม ทำให้เราได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาซึ่งมีความอ่อนไหวต่อน้ำหนักบรรทุกภายนอก โครงสร้างเหล่านี้จึงต้องการการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometrical nonlinear analysis) เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่กระทำ

งานวิจัยที่ผ่านมา

Khot (1983) ได้เสนอวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสมโดยใช้ความเสถียรเป็นเกณฑ์ในการออกแบบซึ่งพิจารณาจากรูปแบบของการโก่งมากกว่าหนึ่งรูปแบบ โดยคำนึงถึงพฤติกรรมไม่เชิงเส้นด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson's method)

Khot และ Kamat (1983) ได้เสนอวิธีการออกแบบอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดด้วยการคิดพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยหาน้ำหนักวิกฤตแบบไม่เชิงเส้นจากจุดที่มีพลังงานศักย์ของเฮสเซียน (Hessian potential energy) มีค่าเป็นลบการวิเคราะห์ซ้ำมีเกณฑ์ว่าที่จุดเหมาะสมที่สุด คือ จุดที่องค์อาคารทุกองค์อาคารมีความหนาแน่นของพลังงานความเครียด (Strian energy density) มีค่าเท่ากันในทุกองค์อาคาร

Saka (1988) ได้เสนอวิธีการออกแบบที่เหมาะสมโดยพิจารณาพฤติกรรมของวัสดุของโครงสร้างภายหลังจุดอีลาสติก (Elastic limit) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นควบคู่กับการออกแบบที่เหมาะสม ในวิธีการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นใช้การประมาณเส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดให้เป็นเส้นตรงในแต่ละช่วงของการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุก สำหรับองค์อาคารรับแรงอัด ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความชะลูด (Slenderness ratio) ก็จะประมาณให้เป็นเส้นตรงเช่นเดียวกัน

สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ (1989) ได้ศึกษาวิธีการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักระนาบซึ่งรวมพฤติกรรมการโก่งเดาะสำหรับองค์อาคารรับแรงอัด โดยใช้เงื่อนไขบังคับหน่วยแรง การเปลี่ยนตำแหน่ง และเงื่อนไขบังคับรอง เป็นขอบเขตในการออกแบบในส่วนเงื่อนไขบังคับหน่วยแรงและการเปลี่ยนตำแหน่งถูกสร้างจากการประมาณ ค่าแรง และการเปลี่ยนตำแหน่งที่เปลี่ยนไปต่อพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคารที่เปลี่ยนแปลงไป โดยประมาณจากอันดับแรกของอนุกรมเทเลอร์ จากนั้นจึงใช้กำหนดการเชิงเส้นแก้ปัญหาโดยวิธีซิมเพล็กซ์เพื่อหาค่าตัวแปรออกแบบ

Saka และ Ulker (1991) ได้เสนอวิธีการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม สำหรับโครงถักที่มีพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นซึ่งมีเงื่อนไขบังคับ คือ การเปลี่ยนตำแหน่ง หน่วยแรง และพื้นที่หน้าตัด โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นควบคู่กับการออกแบบที่เหมาะสม และใช้วิธีของนิวตัน-ราฟสันในการพิจารณาพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นของโครงสร้าง

Baker (1991) ได้เสนอวิธีการเลือกขนาดขององค์อาคารในโครงสร้างค้ำยันด้านข้างของอาคารที่มีหลายชั้น โดยมีการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างเป็นองค์ประกอบควบคุมและใช้เทคนิคของวิธีพลังงาน (Energy method) ซึ่งใช้ในงานออกแบบของอาคารสูงทั่วไป ในการหาขนาดที่เหมาะสมขององค์อาคารต่าง ๆ เช่น องค์อาคารรับแรงในแนวแกน องค์อาคารที่รับแรงดัดและองค์อาคารของคาน และใช้สัมประสิทธิ์ลากรานจ์ (LaGrange multiplier) ในการวิเคราะห์ซ้ำ

วรพรรณ วงค์สรรคกร (1996) ได้เสนอวิธีการคำนวณออกแบบโครงถักระนาบอย่างเหมาะสมด้วยวิธีงานสมมุติกับโครงสร้าง เพื่อให้ได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคารอย่างเหมาะสม โดยคำนึงถึงพฤติกรรมการโก่งเดาะเนื่องจากการดัดขององค์อาคารรับแรงอัดและการเปลี่ยนตำแหน่งไม่เกินค่าที่ยอมให้ การปรับขนาดขององค์อาคารจะใช้วิธีการปรับค่าดัชนีความไวของทุกองค์อาคารให้มีค่าเท่ากันหรือจนกระทั่งคำตอบลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบการรับแรงตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ธันวาคม พ.ศ. 2518, มาตรฐาน AISC/ASD 1989 และมาตรฐาน AISC/LRFD 1994

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีงานสมมุติ เพื่อนำมาประยุกต์กับการหาขนาดที่เหมาะสมขององค์อาคารในโครงถักระนาบภายใต้ข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ
2. ศึกษาผลของพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตที่มีต่อโครงสร้าง รวมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต
3. ศึกษาวิธีการออกแบบด้วยวิธี ASD [AISC1989]
4. ศึกษาวิธีการออกแบบด้วยวิธี LRFD [AISC1994]
5. สร้างโปรแกรมสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมขององค์อาคารของโครงสร้าง

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสร้างสติฟเนสที่ใช้สำหรับในการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต
2. ศึกษาวิธีการคำนวณออกแบบโดยวิธีงานสมมุติ
3. ศึกษาวิธีการออกแบบตามมาตราฐานต่าง ๆ
4. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากผลการศึกษาดังกล่าว
5. เปรียบเทียบผลการออกแบบที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงเส้นและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้วิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยวิธีรวมสติฟเนสโดยตรง (Direct stiffness method) เพื่อหาแรงภายในและการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงถัก โดยคำนึงถึงโครงถักที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

1. โครงถักที่มีฐานรองรับ (Support) เป็นฐานรองรับชนิดหมุน (Hinged support) และฐานรองรับชนิดลูกกลิ้ง (Roller support) เท่านั้นไม่รวมถึงฐานรองรับชนิดยึดแน่น (Fixed support) และฐานรองรับชนิดสปริง (Springe support)

2. ไม่คำนึงการโก่งเดาะเนื่องจากการบิด (Torsional buckling) เนื่องจากองค์อาคารไม่สมมาตรและมีหน้าตัดประเภทผนังบาง เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปร่างน้ำ เป็นต้น

3. ไม่คำนึงถึงการโก่งเดาะที่เกิดขึ้นที่บริเวณแผ่นปีกหรือแผ่นเอว (Local buckling)

4. องค์อาคารยึดต่อกันด้วยการเชื่อมโดยเฉพาะชิ้นส่วนรับแรงดึง องค์อาคารรับแรงดึงตลอดหน้าตัดไม่คำนึงถึงการเจาะรูของหน้าตัด

5. กรณีการออกแบบด้วยข้อกำหนดตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก จะคำนึงถึงการเปลี่ยนตำแหน่งรวมที่ยอมให้เป็นสัดส่วนกับค่าการเคลื่อนที่ที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน เมื่อโครงถักที่ออกแบบโดยทั้งสองวิธีมีพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นเท่ากัน

6. ในการวิเคราะห์โครงสร้างจะใช้การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น โดยสมมุติให้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดยังคงเป็นเส้นตรงอยู่ แต่ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและการเปลี่ยนตำแหน่งไม่เป็นเส้นตรง

7. แรงภายในของระบบโครงสร้างสมมุติ สามารถหาได้จากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น

โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นที่สามารถใช้กับงานออกแบบโครงถักให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง คำนึงถึงข้อจำกัดตามข้อกำหนดในมาตรฐาน สามารถออกแบบได้อย่างประหยัดและปลอดภัย ครอบคลุมกรณีที่คาดว่าจะวิกฤตได้ถึง 4 กรณี คือ

ข้อกำหนดโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ ASD/AISC 1989

กรณีที่ 1 $D + L$

กรณีที่ 2 $0.75(D + L + W)$

กรณีที่ 3 $0.75(D + W)$

กรณีที่ 4 $0.75(D - W)$

ข้อกำหนดโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก LRFD/AISC 1994

กรณีที่ 1 $1.4D$

กรณีที่ 2 $1.2D + 1.6L$

กรณีที่ 3 $1.2D + 0.5L + 1.3W$

กรณีที่ 4 $0.9D - 1.3W$

โดยที่ D = น้ำหนักบรรทุกคงที่

L = น้ำหนักบรรทุกจร

W = น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้

1. เข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างที่มีพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต

2. สามารถออกแบบโครงถักระนาบได้อย่างประหยัดมีความแข็งแรง และ กำลังตามมาตรฐานหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress design, ASD) AISC 1989

3. สามารถออกแบบโครงถักระนาบได้อย่างประหยัดมีความแข็งแรง และ กำลังตามมาตรฐานตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and resistance factor, LRFD) AISC 1994

4. นำหลักการไปพัฒนางานวิจัย ที่เกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างได้อย่างเหมาะสม โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีงานสมมุติ เช่น การคำนวณออกแบบโครงถักสามมิติ การคำนวณออกแบบโครงข้อแข็ง เป็นต้น