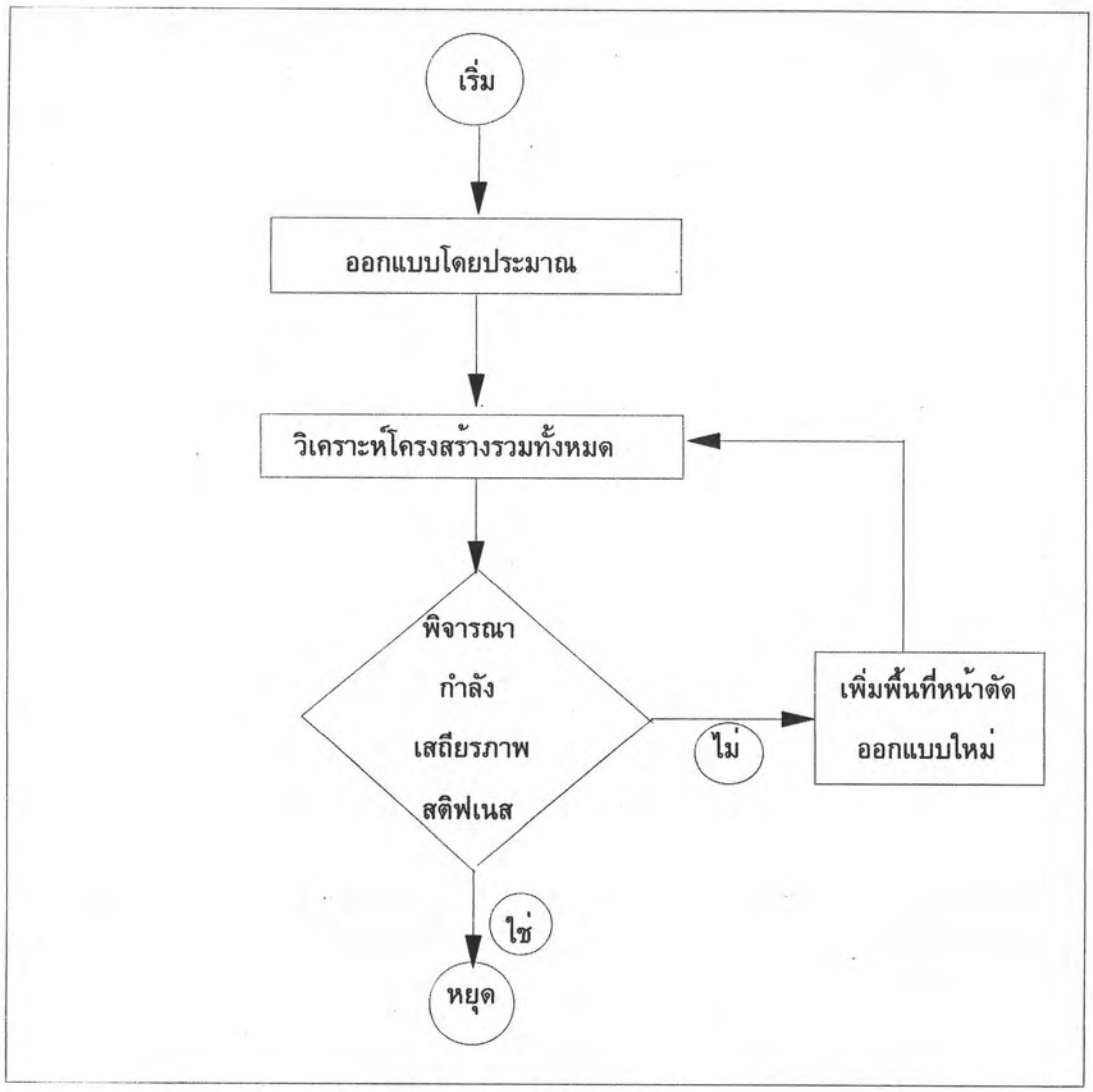
บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

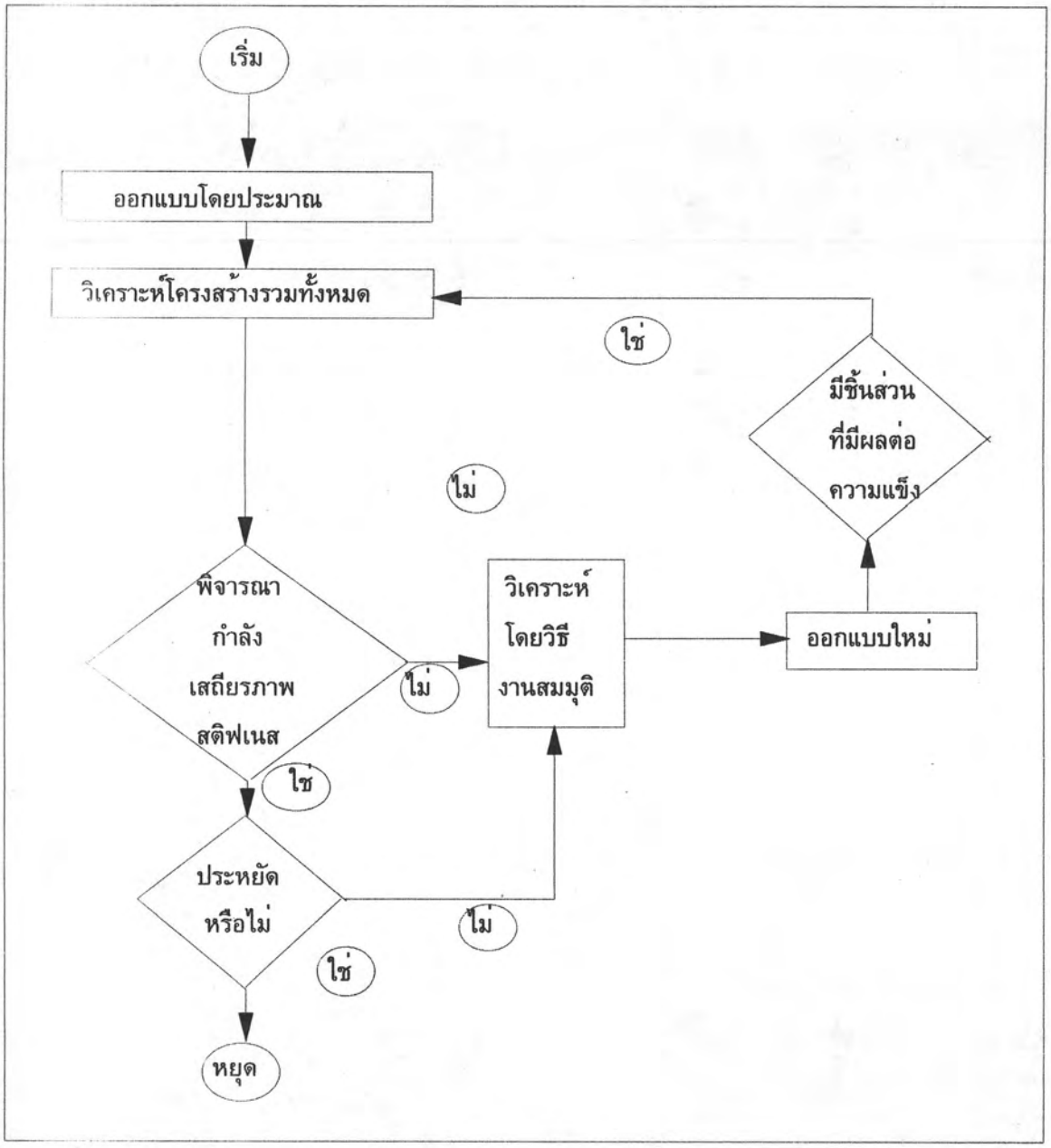
โดยทั่วไปในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก วิศวกรโครงสร้างมักกำหนดขนาดคร่าว ๆ แล้วใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนได้โครงสร้างเหล็กที่มีกำลัง เสถียรภาพ และสติฟเนส อีกทั้งต้องประหยัดและสร้างง่ายจึงแล้วเสร็จ ซึ่งวิศวกรที่มีประสบการณ์จึงจะทำได้อย่างรวดเร็ว

ลักษณะการทำงานดังกล่าวแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การออกแบบแบบวิธีลองผิดลองถูก

งานวิจัยนี้จะเสนอวิธีการออกแบบโดยวิธีงานสมมุติ สามารถหาขนาดขององค์อาคาร เพื่อรับกำลังได้ตามต้องการ มีเสถียรภาพ และมีสติฟเนสเพียงพอ โดยการหาชิ้นส่วนที่มีผลกับสติฟเนส ทั้งโครงเหล็กและสติฟเนสต้านทานการโก่งเดาะของแต่ละชิ้น ซึ่งมีวิธีการออกแบบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบโดยใช้โดยวิธีงานสมมุติ

เป้าหมายในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก คือสามารถเลือกและระบุขนาดองค์อาคารของโครงสร้างตามประโยชน์การใช้สอย สามารถรับแรงได้ตามความต้องการ คือมีกำลัง (Strength) สามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัยเพียงพอ มีเสถียรภาพ (Stability) มีการยึดรั้งเพียงพอไม่เกิดการเคลื่อนตัวซึ่งทำให้เสียเสถียรภาพทั้งในขณะก่อสร้างและขณะใช้งาน และมีสติฟเนสเพียงพอไม่เกิดการเคลื่อนตัวมากเกินไป โดยออกแบบได้อย่างประหยัดวัสดุและค่าดำเนินการ ในโครงสร้างเหล็กการประหยัดวัสดุส่วนใหญ่พิจารณาจากน้ำหนักรวมของโครงเหล็กน้อยที่สุด เพราะราคาเหล็กจะแปรตามน้ำหนัก แต่ควรจะใช้องค์อาคารมาตรฐานซ้ำๆ เพื่อสะดวกในการจัดซื้อและติดตั้ง

หลักการของงานสมมุตินำมาประยุกต์กับโครงถักเหล็กระนาบจะมีประโยชน์ในการตรวจสอบกำลังเสถียรภาพและสติฟเนสดังนี้

หลักการของงานสมมุติ

$$\text{งานภายใน } (W_I) = \text{งานภายนอก } (W_E)$$

งานภายในหาได้จาก

$$W_{I,i} = \frac{P_i p_i L_i}{A_i E} \qquad (1.1)$$

เมื่อ P_i = แรงในแนวแกนขององค์อาคารที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างรวม เมื่อถูกแรงกระทำ

p_i = แรงในแนวแกนขององค์อาคารเมื่อถูกแรงสมมุติ (Q) กระทำในทิศทางตามแนวแรง

A_i = พื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร

E = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ

L_i = ความยาวขององค์อาคาร

$$W_I = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i p_i L_i}{A_i E} \qquad (1.2)$$

งานภายนอกหาได้จาก

$$W_E = \delta Q \qquad (1.3)$$

เมื่อ δ = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งรวมของโครงถัก ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการหา

Q = แรงสมมุติที่กระทำกับโครงถัก มีค่าเท่ากับ 1 หน่วย

โดยค่า $W_{I,i}$ คือ ค่าตัวประกอบเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวขององค์อาคาร (The member displacement participation factor, DPF) เป็นค่าที่แสดงถึงองค์อาคารใดมีผลต่อระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจริงในทิศทางของแรงสมมุติ ซึ่งในกรณีของโครงถัก ค่า DPF แสดงถึงค่าการยืดหดในแนวแกน (Axial deformation)

$$SI_i = \frac{DPF_i}{V_i} = \frac{P_i\ p_i}{A_i^2\ E} \qquad (1.4)$$

เมื่อ V_i = ปริมาตรของแต่ละองค์อาคาร

โดยค่า SI คือ ค่าดัชนีความไวขององค์อาคาร (The member's sensitivity index) เป็นค่าดัชนีที่แสดงถึงองค์อาคารใดมีผลต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงถัก ถ้าทุกองค์อาคารมีค่า SI เท่ากันแสดงว่าได้ปรับให้โครงถักมีขนาดที่เหมาะสมที่สุด ไม่มีองค์อาคารใดที่อ่อนเกินไป

สำหรับโครงถัก ความสัมพันธ์ขององค์อาคาร DPF และ SI

$$\delta = \sum_{i=1}^{n} DPF_i = \sum_{i=1}^{n} SI_i\ V_i \qquad (1.5)$$

$$\delta = SI \times V \qquad (1.6)$$

เมื่อ V = ปริมาตรรวมของโครงถัก

ซึ่งโครงถักจะประหยัดหรือไม่ขึ้นกับค่าการเปลี่ยนตำแหน่งซึ่งไม่เกินค่าที่ยอมให้หลังจากวิเคราะห์โดยวิธีงานสมมุติแล้ว จะทำการออกแบบองค์อาคารของโครงสร้างเหล็กได้ 3 ข้อกำหนด คือ

1. งานมาตรฐานอาคารเหล็กรูปพรรณ ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ธันวาคม พ.ศ.2518
2. ข้อกำหนดโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress Design , ASD) AISC 1989 (American Institute of Steel Construction)
3. ข้อกำหนดโดยวิธีตัวประกอบต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (Load and Resistance Factor Design , LRFD) AISC 1994

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

Lipson และ Agrawal (1) เสนอการออกแบบโครงถักอินดีเทอมิเนท รับน้ำหนักกระทำหลายจุด พิจารณาลดรูปโครงถักจะมีองค์อาคารบางชิ้นหายไปหรือจุดต่อบางจุดหายไป และเมื่อเลือกองค์อาคารได้เหมาะสม โครงสร้างจะเปลี่ยนดีกรีความอิสระ และหน่วยแรงจะสัมพันธ์กันอย่างอัตโนมัติแล้วใช้หน่วยแรงที่ยอมให้ตามข้อกำหนดของ AISC

Singaraj และ Sridhar Rao (2) เสนอการออกแบบให้ได้น้ำหนักรวมน้อยที่สุด เมื่อแก้สมการอนุกรมของคอนแวก (Sequence of convex programming problem) มีจำนวนตัวแปรในการออกแบบที่ใช้ในสมการขึ้นกับจำนวนองค์อาคารในโครงสร้างย่อย แต่ไม่ทุกจำนวนองค์อาคารของโครงถัก ฉะนั้นในการออกแบบให้เหมาะสมต้องแบ่งโครงถักออกเป็นโครงสร้างย่อย เพื่อลดจำนวนตัวแปรที่จะต้องแก้สมการ

Saka (3,4) เสนอวิธีการออกแบบโดยหาตำแหน่งจุดข้อต่อที่เหมาะสมเมื่อยังเป็นโครงสร้างเต็มรูปเริ่มแรก แต่ยังไม่วิเคราะห์ทั้งหมด ค่าแรงตามแนวแกนและค่าการโก่งตัว จะหาจากขณะทำการออกแบบและจะเสร็จสิ้นเมื่อให้การเคลื่อนที่ของจุดต่อเป็นอิสระ การเพิ่มขนาดหน้าตัดและพิกัดของจุดปัญหาการออกแบบ

ด้วยวิธีนี้ ก็คือการแก้สมการไร้เชิงเส้น (Nonlinear equation) คำตอบได้จากการประมาณแก้สมการจนคำตอบลู่เข้า ในการออกแบบขั้นสุดท้าย บางองค์อาคารจึงมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเป็นศูนย์

Templeman (5) ได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบให้เหมาะสมที่สุด คือสามารถนำไปใช้งานได้ในทางปฏิบัติโดยมีราคาและกำไรเป็นจุดพิจารณา โดยเฉพาะการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ควรเลือกให้มีชนิดเดียวมาก ๆ แต่ความสะดวกในการทำงานมักสวนทาง กับการออกแบบให้แต่ละองค์อาคารรับน้ำหนักพอดี อีกทั้งยังมีข้อบังคับในการเคลื่อนที่ จำกัดขนาด และบังคับการต้านทานการสั่นไหว

Cassis และ Sepulveda (6) เสนอวิธีการออกแบบโครงถักให้เหมาะสมโดยพิจารณาข้อจำกัดของหน่วยแรงอัดและแรงดึง การเคลื่อนที่และขอบเขตของตัวแปรในการออกแบบในการแก้สมการจะพิจารณาให้ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้มีค่าคงที่ และขึ้นกับหน้าตัดขององค์อาคาร ซึ่งใช้ตามข้อกำหนดของ AISC 1978

นายสุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ (7) เป็นงานวิจัยเพื่อคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด สำหรับโครงถักระนาบซึ่งรวมพฤติกรรมการโก่งเดาะสำหรับองค์อาคารรับแรงอัดโดยใช้เงื่อนไขบังคับหน่วยแรง เงื่อนไขบังคับการเปลี่ยนตำแหน่ง และเงื่อนไขบังคับรอง เป็นขอบเขตในการออกแบบขนาดองค์อาคารของโครงถักเหล็ก เพื่อให้ได้ปริมาตรรวมของโครงถักที่น้อยที่สุด โดยเริ่มตั้งแต่สมมุติขนาดพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร วิเคราะห์โครงสร้าง ปรับขนาดขององค์อาคารให้อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แก้สมการหาตัวแปรโดยวิธีซิมเพล็กซ์นำตัวแปรที่ได้ย้อนกลับไปวิเคราะห์โครงสร้าง และทำซ้ำจนคำตอบลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสมที่สุด แต่งานวิจัยดังกล่าวคำนึงถึงพื้นที่หน้าตัดที่ได้เกิดจากการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพน้ำหนักกระทำในกรณีเดียว ในกรณีที่เกิดแรงลมกลับทิศ หรือ โครงถักต้องรับสภาพน้ำหนักกระทำแบบอื่น หน้าตัดชุดดังกล่าวอาจไม่เหมาะสม

แนวทางของงานวิจัยนี้ได้ใช้แนวทางงานวิจัยของ Charney (8) ซึ่งได้วิจัยการออกแบบโครงถักที่เหมาะสมที่สุด โดยการแก้ปัญหาสมการเชิงเส้นในวิธีงานสมมุติเพื่อหาองค์อาคารที่มีผลต่อสติฟเนสรวมของโครงถัก และเพิ่มหน้าตัดเฉพาะองค์อาคารนั้น ซึ่งจะทำให้คำตอบของสมการลู่เข้าอย่างรวดเร็วแต่เนื่องจากงานวิจัยของ Charney ไม่ได้คำนึงถึงค่าของหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ซึ่งขึ้นกับค่ารัศมีไจเรชั่นที่เพิ่มขึ้น เมื่อเราเพิ่มหน้าตัดในองค์อาคารรับแรงอัด ในงานวิจัยนี้จะครอบคลุมถึงจุดนี้ และเพิ่มเติมในส่วนของการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง

1.3 วัตถุประสงค์

การออกแบบโครงถักเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมโดยวิธีงานสมมุติ ได้พัฒนาขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้

ก. ศึกษาวิธีงานสมมุติเพื่อนำมาประยุกต์หาองค์อาคารที่มีผลต่อสติฟเนสของโครงสร้าง

ข. สร้างโปรแกรมสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร ตามข้อกำหนดของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ธันวาคม พ.ศ.2518, มาตรฐานวิธีการออกแบบด้วยวิธี AISC/ASD 1989 และมาตรฐานวิธีการออกแบบด้วยวิธี AISC/LRFD 1994

1.4 สมมุติฐานในการวิเคราะห์

การคำนวณออกแบบโครงเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมโดยวิธีงานสมมุติ มีสมมุติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

ก. องค์อาคารประกอบด้วยวัสดุเนื้อเดียวกันทั้งหมด (Homogeneous Materials)

ข. การถ่ายแรงของแต่ละองค์อาคารจะกระทำผ่านจุดแกนศูนย์ (Centrally Loaded)

ค. สมมุติให้แต่ละจุดต่อ (Joint) มีลักษณะเป็นข้อต่อหมุน (Hinge)

ง. น้ำหนักภายนอกที่กระทำต่อโครงสร้างให้ถือว่ากระทำที่จุดต่อเท่านั้น

จ. องค์อาคารทุกชิ้นตั้งอยู่ในแนวตรง (Perfectly Straight)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้วิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้สมการเชิงเส้นโดยวิธีงานสมมุติเพื่อหาแรงและค่าการเคลื่อนตัวของแต่ละองค์อาคาร และพิจารณาหาองค์อาคารที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยเกินไป ที่มีผลต่อสติฟเนสรวมของโครงถัก โดยคำนึงถึงโครงถักที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. โครงถักที่มีฐานรองรับ (Support) เป็นฐานรองรับชนิดหมุน (Hinged support) และฐานรองรับชนิดลูกกลิ้ง (Roller) เท่านั้น ไม่รวมถึง ฐานรองรับชนิดฐานยึดแน่น และฐานรองรับชนิดสปริง

ข. คำนึงถึงผลจากภายนอก เช่น การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และฐานรองรับเกิดการทรุดตัว (Support settlement) และแรงภายนอกกระทำที่จุดต่อ (Node) เท่านั้น

ค. ไม่คำนึงถึงการโก่งเดาะเนื่องจากการบิด (Torsional Buckling) เนื่องจากองค์อาคารไม่สมมาตรและมีหน้าตัดประเภทผนังบาง เช่น เหล็กฉาก เหล็กรูปรางน้ำ เป็นต้น

ง. ไม่คำนึงถึงการโก่งเดาะที่เกิดขึ้นที่บริเวณปีกหรือเอว (Local Buckling)

จ. องค์อาคารยึดต่อกันด้วยการเชื่อม โดยเฉพาะชิ้นส่วนรับแรงดึง องค์อาคารรับแรงดึงตลอดหน้าตัด ไม่คำนึงถึงการเจาะรูของหน้าตัด

ฉ. กรณีการออกแบบด้วยข้อกำหนดตัวประกอบต้านทานและน้ำหนักบรรทุก คำนึงถึงการเคลื่อนตัวรวมที่ยอมให้เป็นสัดส่วนกับค่าการเคลื่อนตัวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน เมื่อโครงถักที่ออกแบบทั้งสองวิธีมีพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นเท่ากัน

โดยในงานวิจัยนี้ จะเน้นที่สามารถใช้กับงานออกแบบโครงถักได้เหมาะสมกับการใช้งานจริงคำนึงถึงข้อจำกัดตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ครอบคลุมกรณีที่คาดว่าจะวิกฤติได้ถึง 4 กรณี สามารถออกแบบได้อย่างประหยัด และปลอดภัย

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้

ก. สามารถออกแบบโครงถักระนาบได้อย่างประหยัด และมีความแข็งแรงตามมาตรฐานข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ธันวาคม พ.ศ.2518, มาตรฐาน AISC/ASD 1989 และมาตรฐาน AISC/LRFD 1994

ข. นำหลักการไปพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างอย่างเหมาะสมโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีงานสมมุติ เช่น การคำนวณออกแบบโครงถักสามมิติ การคำนวณออกแบบโครงข้อแข็ง เป็นต้น