หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

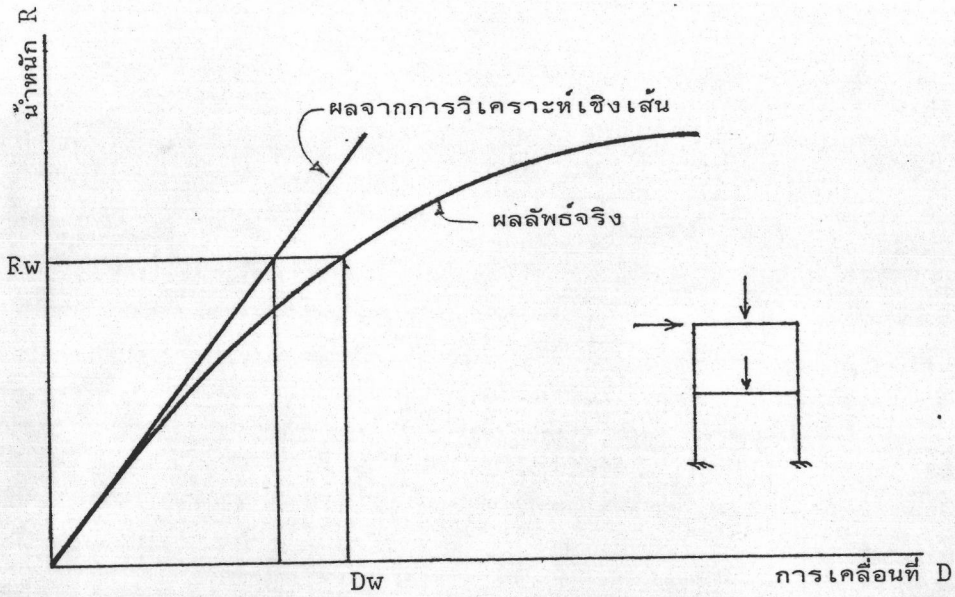
บทนำ

วัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบโครงสร้างทั่วไป คือต้องการออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักได้อย่างเพียงพอและเกิดการเคลื่อนที่ไม่เกินที่กำหนดหรือยอมรับได้ ภายใต้น้ำหนักที่กระทำ ซึ่งความต้องการเหล่านี้ สามารถกำหนดได้ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำ (Load) กับการเคลื่อนที่ (Deformation) ความสัมพันธ์นี้สามารถหาได้ 3 วิธี คือ จากการทดสอบของจริง (Full-Scale Test) จากการใช้แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model) และโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ทั้ง 3 วิธีนี้ จะเห็นได้ว่าการทดสอบจากของจริงต้องใช้ค่าใช้จ่ายและเวลาสูง ส่วนการใช้แบบจำลองทางกายภาพที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงความจริงนั้นทำได้ยาก ดังนั้นการใช้แบบจำลองทางคณิศาสตร์จึงเหมาะสมที่สุด ซึ่งถ้ากำหนดสูตรทางคณิตศาสตร์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว จะสามารถคาดคะเนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับการเคลื่อนที่ได้อย่างสมบูรณ์ อันจะทำให้การคำนวณต่าง ๆ ได้ผลที่สมบูรณ์ตามไปด้วย

การวิเคราะห์โครงสร้างที่ใช้กันในปัจจุบัน ส่วนมากเป็นการวิเคราะห์เชิงเส้น (Linear Analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับการเคลื่อนที่เป็นแบบเส้นตรง ซึ่งในความจริงแล้วความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นจะเป็นหรือเกือบจะเป็นเส้นตรงเฉพาะที่มีน้ำหนักกระทำน้อยเท่านั้น แต่ก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่เพราะการออกแบบโครงสร้างส่วนมากอยู่ในพิกัดยืดหยุ่น (Linearly Elastic) และเกิดการโก่งตัวน้อย (Small Deflection) สำหรับโครงสร้างที่เกิดการโก่งตัวมาก (Large Deflection) หรือโครงสร้างที่รับน้ำหนักเลยขีดคลากของวัสดุแล้ว การวิเคราะห์เชิงเส้นจะให้ผลการคำนวณที่ผิดพลาดจากความจริงมากขึ้นดังรูปที่ 1.1

พฤติกรรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear Behavior) ของโครงสร้างที่เกิดขึ้นมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ พฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางวัสดุ (Material Nonlinearity) ที่เกิดจากการเปลี่ยน

แปลงคุณสมบัติของวัสดุ คือ ค่าอัตราส่วนของความเค้น (Stress) ต่อความเครียด (Strain) ไม่คงที่ และพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometrical Nonlinearity) ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปร่างของโครงสร้าง พฤติกรรมไม่เชิงเส้นนี้อาจจะเกิดเฉพาะพฤติกรรมทางเรขาคณิต หรืออาจจะเกิดรวมกับพฤติกรรมทางวัสดุก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำและรูปร่างของโครงสร้าง อย่างไรก็ตามมีโครงสร้างจำนวนไม่น้อยที่มีความชะลูดมาก ซึ่งเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกจนกระทั่งถึงพิกัดความเสถียร (stability limit) แล้วจะเกิดการเคลื่อนที่มาก ถึงแม้ว่าโครงสร้างยังอยู่ในช่วงอิลาสติกก็ตาม การวิเคราะห์โครงสร้างประเภทนี้โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงเส้นจะให้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนไปพอสมควร



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำกับการเคลื่อนที่

ภูมิหลังงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ.2511 Jennings [1] ได้วิเคราะห์โครงข้อแข็งโดยรวมผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางเรขาคณิต ด้วยวิธีการเคลื่อนที่ ส่วน Mallett และ Marcal [2] ทำการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นด้วยไฟไนต์เอเลเมนต์ โดยใช้หลักการของพลังงานศักย์ (Potential Energy) ในการคำนวณหาสติฟเนสของชิ้นส่วนข้อแข็งระนาบ ด้วยวิธีการทำซ้ำโดยตรง (Direct Iteration) และวิธีเพิ่มทีละขั้น (Incremental Solution)

ในปี พ.ศ.2514 Stricklin Haisler และ Riesemann [3] ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ด้วยวิธีการรวมสติฟเนสโดยตรงสำหรับชิ้นส่วนข้อหมุน และชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่มีหน่วยแรงในระนาบ (Triangular Plane-Stress Element) โดยใช้วิธีการของพลังงานโดยตรง (Direct Energy Formulation)

ในปี พ.ศ.2520 Mondkar และ Powell [4] ทำการวิเคราะห์การตอบสนองทางสถิตย์ศาสตร์และพลศาสตร์ (static and dynamic response) ของโครงสร้างไม่เชิงเส้น โดยใช้สมการของการเคลื่อนที่ที่เพิ่มทีละขั้นเทียบกับพิกัดก่อนการเคลื่อนที่ และรวมวิธีทำซ้ำไว้ในแต่ละขั้นของการคำนวณด้วย

ในปี พ.ศ.2521 Mondkar และ Powell [5] ทำการรวบรวมวิธีการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นด้วยไฟไนต์เอเลเมนต์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีคำนวณที่เหมาะสม เพราะไม่มีวิธีใดที่ปรากฏว่าใช้ได้กับทุกชนิดของโครงสร้าง นอกจากนี้ Wood และ Schrefler [6] ยังได้ทำการเปรียบเทียบสูตรการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต ในระบบพิกัดของลากรานจ์ที่เป็นผลจากการใช้หลักการของพลังงานศักย์ และหลักการของการเคลื่อนที่และหน่วยแรงเริ่มแรก โดยใช้ชิ้นส่วนแท่งแบบข้อหมุนเป็นตัวอย่าง

ในปี พ.ศ.2522 Crisfield [7] ได้ทำการปรับปรุงการทำซ้ำแบบนิวตัน ราฟสันให้มีความเร่งเพิ่มขึ้น โดยใช้แนวทางจากเส้นคอร์ด ซึ่งจะช่วยลดจำนวนรอบในการคำนวณซ้ำ

ในปี พ.ศ.2523 Agrawal Mufti และ Jaege [8] ทำการเปรียบเทียบการแก้สมการเชิงเส้น ด้วยการเก็บสัมประสิทธิ์แบบแถบ (Band Storage) กับวิธีฟรอนทัล (Frontal Method) ในโปรแกรมการวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้น ไม่ว่าจะพิจารณาผลทางสถิตย์ศาสตร์และพลศาสตร์ การแก้สมการด้วยการเก็บสัมประสิทธิ์แบบแถบจะใช้เวลาน้อยกว่าประมาณครึ่งหนึ่ง สำหรับ Noor และ Peters [9] ทำการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้น โดยการผสมวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์กับวิธีของเรย์ลีย์ ริทซ์ เพื่อคาดคะเนการตอบสนองทางสถิตย์ศาสตร์ ซึ่งจะช่วยลดจำนวนสมการไม่เชิงเส้นลง

ในปี พ.ศ.2524 Simitses Giri และ Kounadis [10] ทำการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นสำหรับโครงข้อแข็งพอร์ทอล (Portal Frames) โดยพิจารณารวมถึงพฤติกรรมไม่เชิงเส้นภายหลังการโก่งเดาะ

ในปี พ.ศ.2526 Wen และ Rahimzadeh [11] ทำการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นสำหรับโครงข้อแข็งระนาบและสามมิติ ด้วยไฟไนต์เอเลเมนต์ โดยการสมมติให้การหมุนที่ปลายเทียบกับคอร์ดของชิ้นส่วนที่เปลี่ยนรูปไปแล้ว มีค่าน้อย และใช้พิกัดของลากรานจ์ในการคำนวณหาสติฟเนสที่เพิ่มขึ้น และสำหรับในกรณีที่การเคลื่อนที่มีค่ามาก ก็ยังสามารถใช้คำนวณได้โดยการสะสมค่าการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นไว้ในค่าพิกัดของแต่ละขั้ว

วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้น สำหรับโครงข้อแข็งระนาบ
2. ศึกษานำเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นสำหรับโครงข้อแข็งระนาบ
3. ศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีอื่น ๆ ที่ผ่านมา

โดยที่การวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตสำหรับโครงข้อแข็งระนาบ โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นโครงสร้างก่อนการเปลี่ยนรูปต้องมีลักษณะเป็นท่อนตรง มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ และมีโมเมนต์อินเนอร์เชียเท่ากันตลอดความยาวของชิ้นส่วน
2. วัสดุที่ใช้ประกอบขึ้นเป็นชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วน ต้องเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน และมีคุณสมบัติเหมือนกันตลอดความยาวของชิ้นส่วน
3. พฤติกรรมของชิ้นส่วนภายใต้การรับน้ำหนัก ต้องเป็นไปตามกฎของฮุค (Hooke's Law) และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus, E) คงที่
4. การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นมีค่ามากในอันดับ (Order) เดียวกันกับมิติของชิ้นส่วน
5. การเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงเฉือนมีค่าน้อยมาก ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา
6. แรงกระทำหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างจะกระทำที่จุดต่อของชิ้นส่วนเท่านั้น