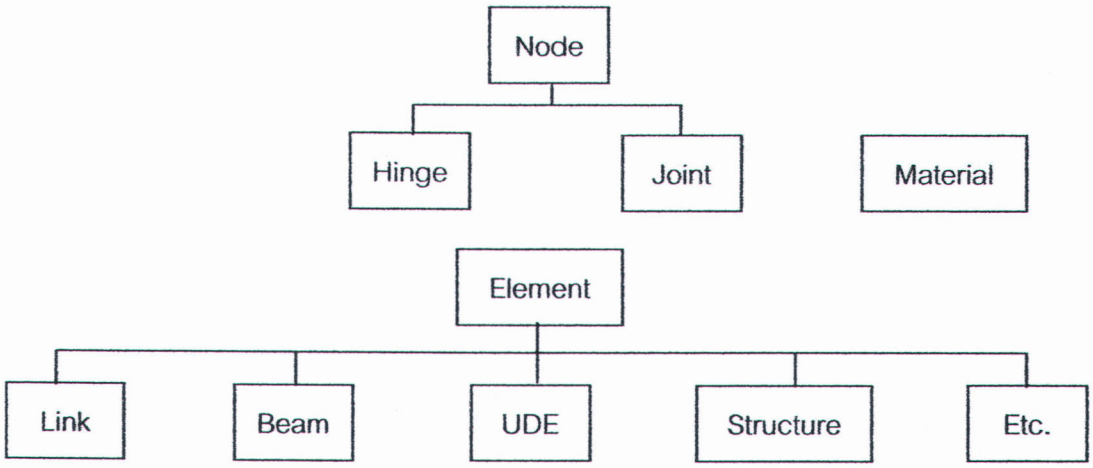
บทที่ 5
การพัฒนาโปรแกรม

5.1 บทนำ

โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีพื้นฐานมาจากภาษาจาวาและซอฟแวร์ JSM [9] ซึ่งใช้หลักการเขียนโปรแกรมแบบเชิงวัตถุ (Object-oriented programming) แต่เดิมโปรแกรม JSM ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับวิเคราะห์โครงข้อหมุนและโครงข้อแข็งสองมิติแบบเชิงเส้นสถิตย์ ที่ประกอบด้วยคลาสต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.1

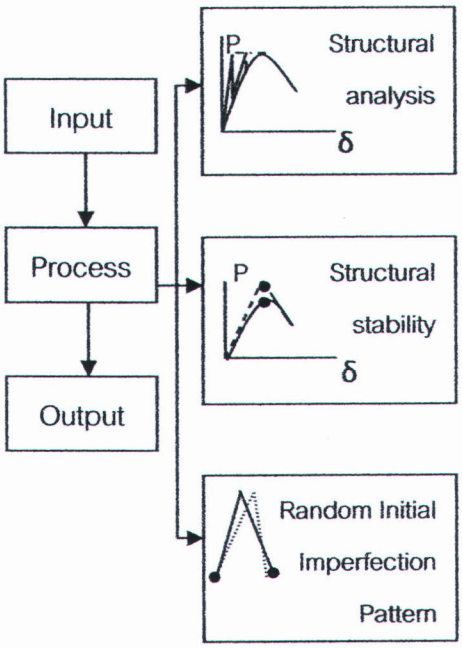


รูปที่ 5.1 องค์ประกอบของโปรแกรม [9]

คลาส Hinge และ คลาส Joint เป็นคลาสย่อยของคลาส Node ทำหน้าที่จำลองจุดต่อของโครงข้อหมุน และโครงข้อแข็งตามลำดับ ส่วนคลาส Link ทำหน้าที่จำลองชิ้นส่วนของโครงข้อหมุน และคลาส Beam มีหน้าที่จำลองชิ้นส่วนของโครงข้อแข็ง งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาต่อจากโปรแกรม JSM เพื่อวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติทั้งแบบเชิงเส้นและไร้เชิงเส้นแบบต่างๆ ได้แก่ แบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต(Geometric nonlinear) แบบไร้เชิงเส้นทางวัสดุ (Material nonlinear) และแบบไร้เชิงเส้นผสม (Combination of material and geometric nonlinear) วิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้างทั้งแบบเชิงเส้นและไร้เชิงเส้น รวมถึงคำนวณหาค่าความไม่สมบูรณ์ตั้งต้นของโครงสร้าง

5.2 ส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนการรับข้อมูล (Input) ส่วนประมวลผล (Process) และส่วนแสดงผลลัพธ์ (Output) ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม

5.2.1 ส่วนป้อนข้อมูล

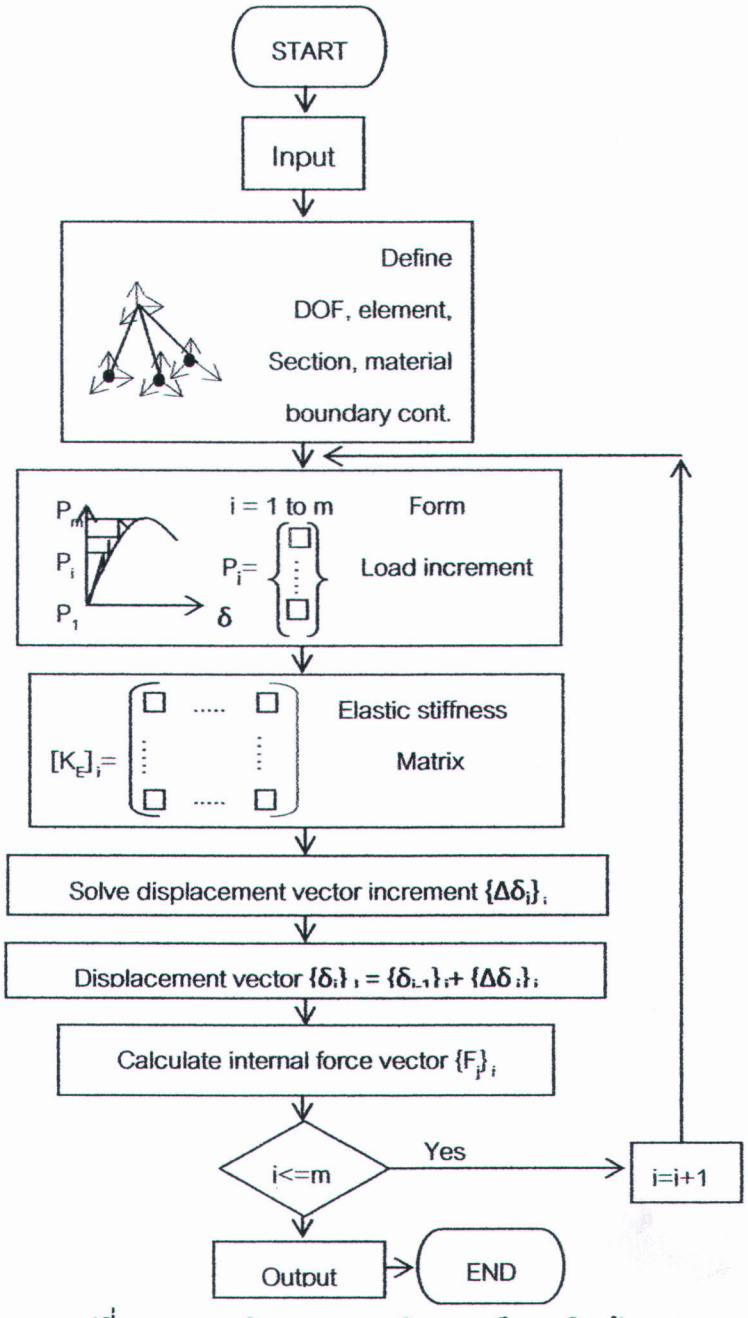
ส่วนป้อนข้อมูลทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้ในรูปแบบไฟล์อักษร (ภาษาจาวา) ซึ่งผู้ใช้ต้องกำหนด ลักษณะรูปร่างทั้งจุดต่อและชิ้นส่วนของโครงสร้าง คุณสมบัติของวัสดุ น้ำหนักบรรทุกภายนอกที่กระทำกับโครงสร้าง เงื่อนไขขอบเขต จำนวนขั้นการแบ่งน้ำหนักบรรทุกภายนอก และประเภทการวิเคราะห์โครงสร้าง เช่น วิเคราะห์แบบเชิงเส้น วิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางวัสดุ เป็นต้น

5.2.2 ส่วนประมวลผล

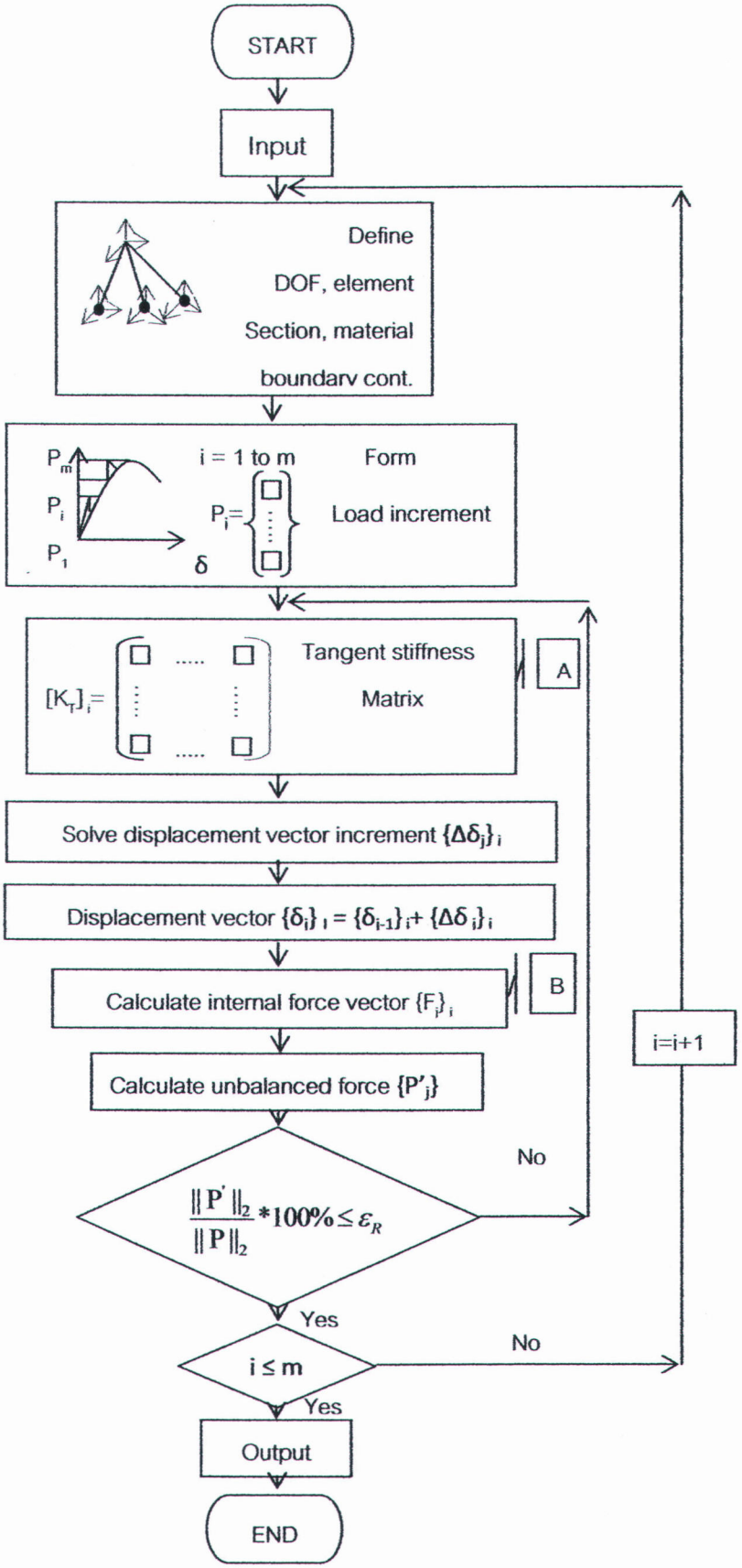
ส่วนประมวลผลทำหน้าที่วิเคราะห์ผลลัพธ์ ซึ่งแบ่งการคำนวณเป็น 3 ส่วนหลัก คือ การวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติแบบเชิงเส้นและไร้เชิงเส้น การวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้างแบบเชิงเส้นและไร้เชิงเส้น และการสุ่มค่าความไม่สมบูรณ์ตั้งต้นของโครงข้อหมุน โดยขั้นตอนการคำนวณทั้งหมดแสดงอยู่ในรูปของแผนภูมิสายงาน (Flow chart) ต่อไปนี้

5.2.2.1 <u>แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติ</u>

การวิเคราะห์โครงข้อหมุนสามมิติ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไร้เชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 5.3-5.4 ตามลำดับ ซึ่งความไร้เชิงเส้นดังกล่าวมีขั้นตอนหลักในการทำงานเหมือนกัน แต่มีขั้นตอนการสร้างสติฟเนสสัมผัสและการหาแรงภายในชิ้นส่วนต่างกัน (สามารถอ่านรายละเอียดในบทที่ 3) ขึ้นอยู่กับชนิดของความไร้เชิงเส้น ตามขั้นตอนย่อย A และ B ดังแสดงในรูปที่ 5.5-5.7



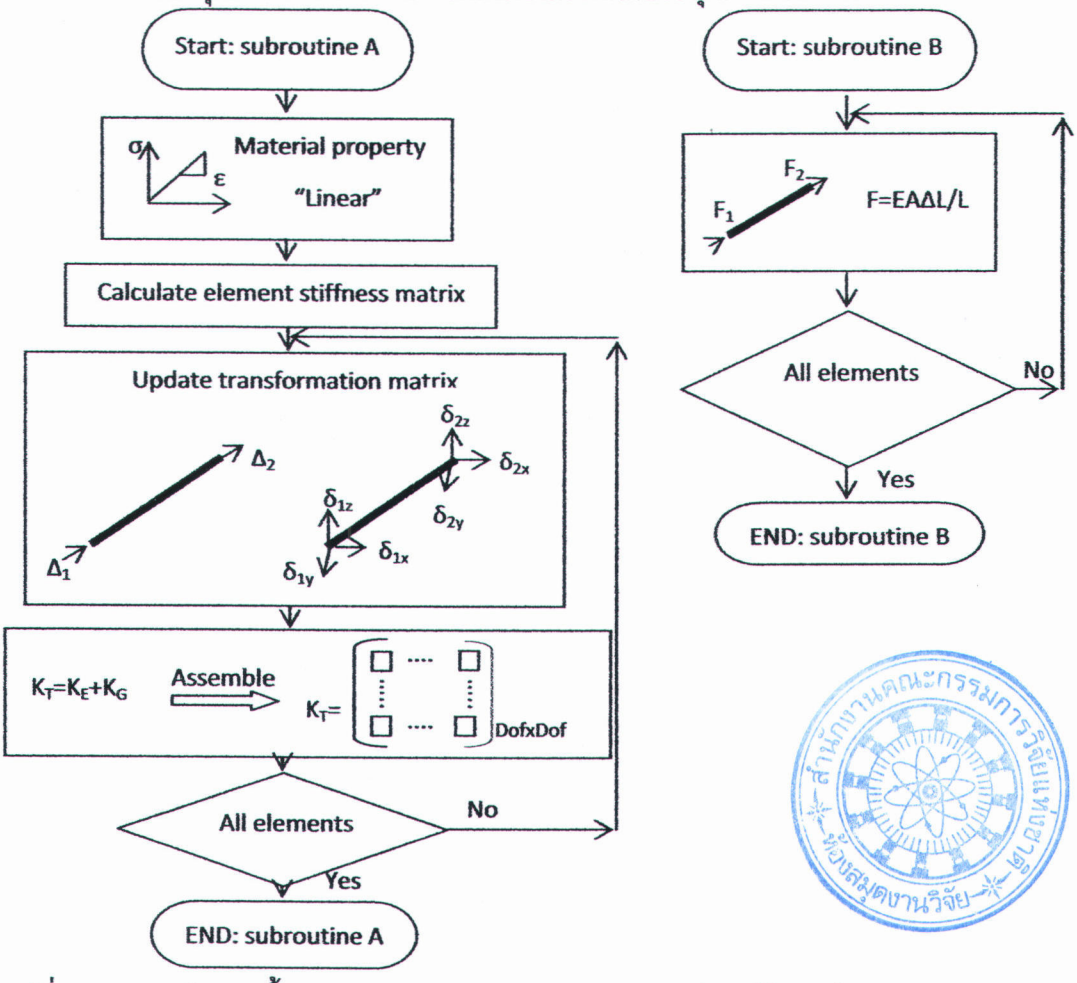
รูปที่ 5.3 แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น



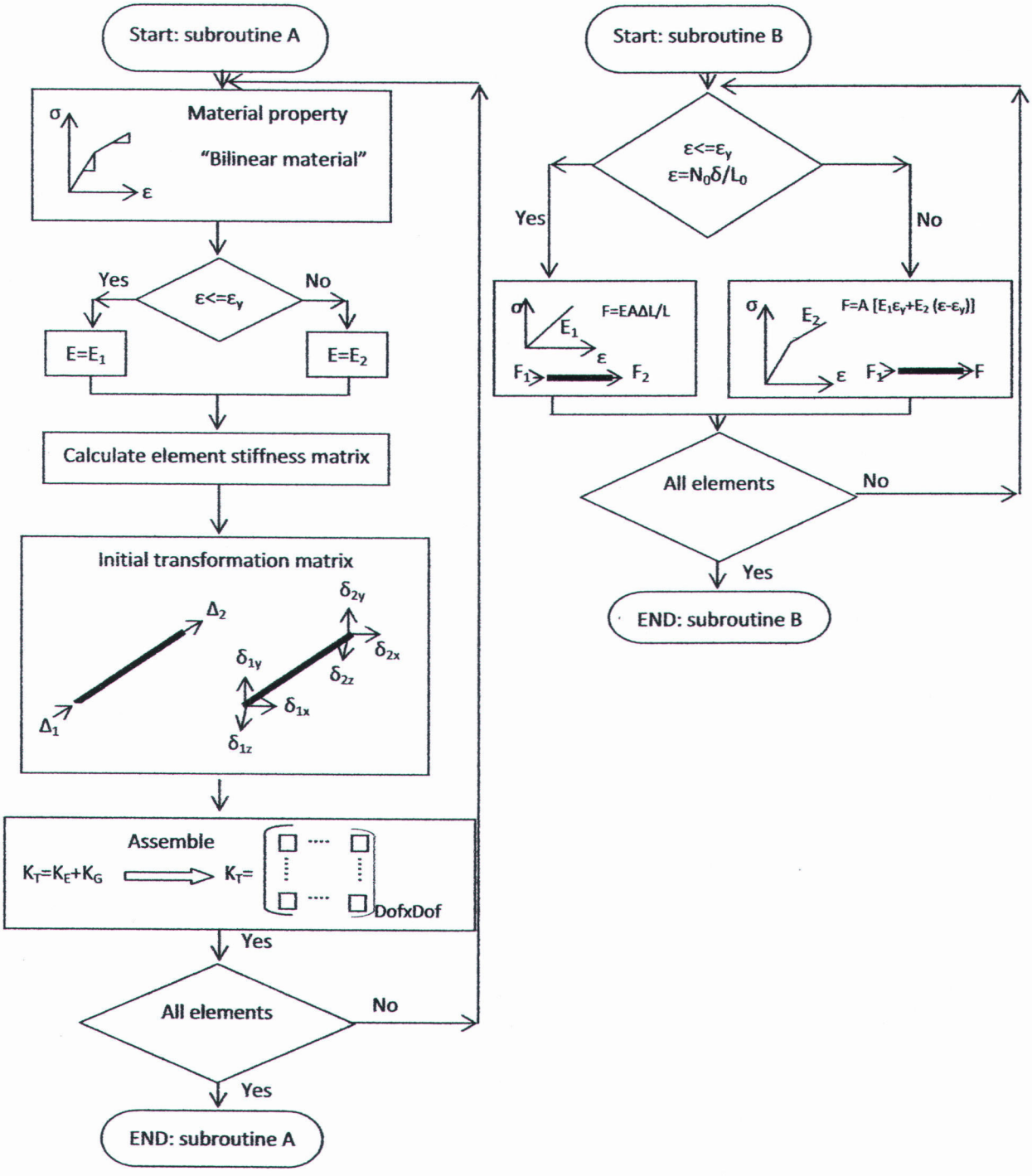
รูปที่ 5.4 แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้น

รูปที่ 5.4 แสดงขั้นตอนการทำงานหลักของการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นตามระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งการวิเคราะห์ไร้เชิงเส้นแบบต่างๆ จะมีขั้นตอนการคำนวณในส่วนนี้เหมือนกัน ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ดังนี้

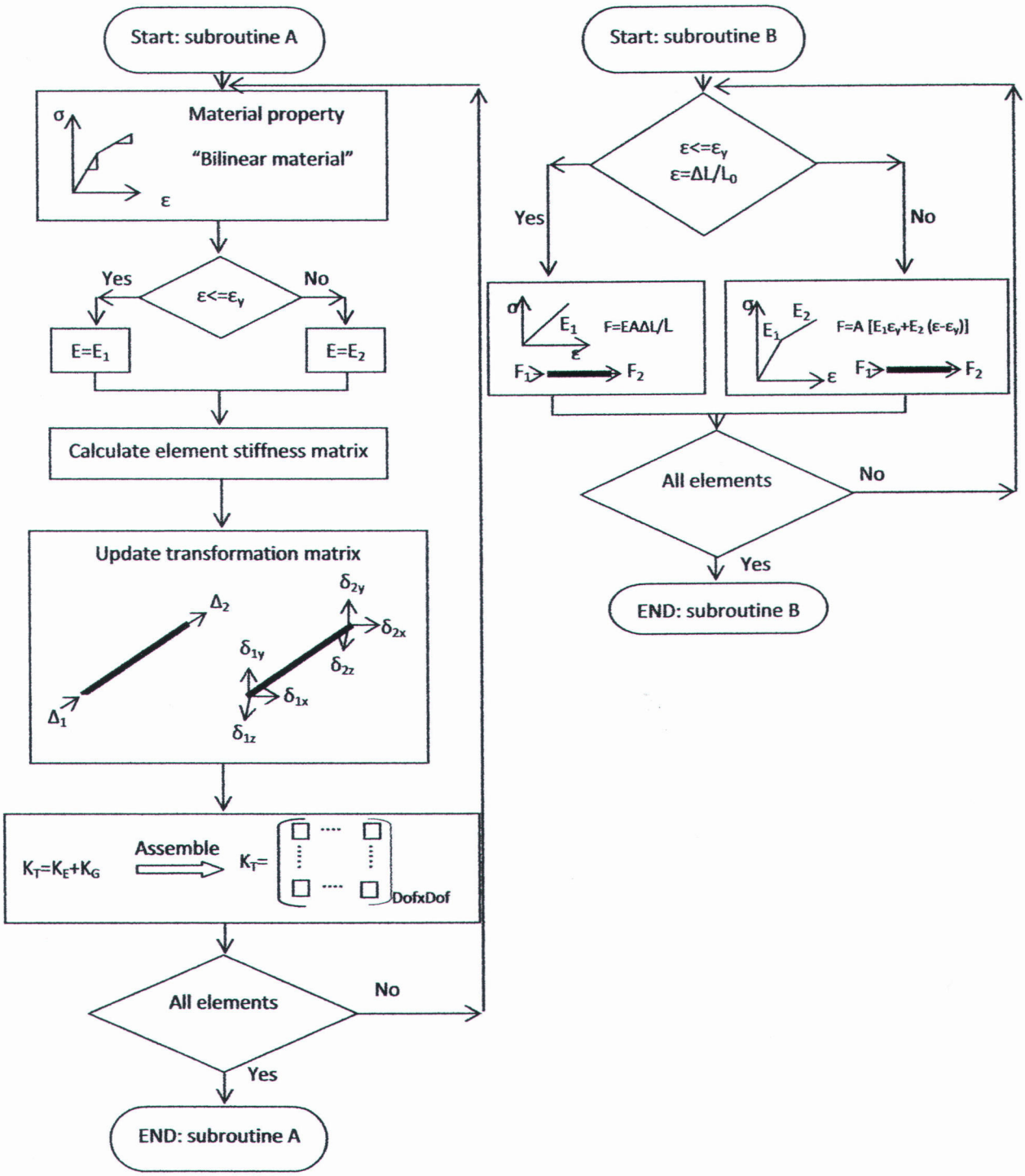
1. แบ่งขั้นน้ำหนักบรรทุกภายนอก (Load step) ที่กระทำต่อโครงสร้าง
2. คำนวณหาค่าเมตริกซ์สติฟเนสสัมผัสของโครงสร้าง
3. คำนวณหาการกระจัดส่วนเพิ่มและหาการกระจัดที่จุดต่อของโครงสร้าง
4. คำนวณหาแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง และน้ำหนักบรรทุกไม่สมดุล
5. ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากยูคลีเดียนนอร์มของหน่วยแรงคงค้าง
6. ถ้าค่าคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าที่ยอมให้ ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 ถึง 6 แต่ถ้าน้อยกว่าไปข้อ8
7. ตรวจสอบจำนวนการเพิ่มขั้นน้ำหนักบรรทุกภายนอก หากมีค่าน้อยกว่าขั้นน้ำหนักบรรทุกภายนอกที่กำหนด ให้เพิ่มขั้นน้ำหนักบรรทุกภายนอก แล้วกระทำซ้ำ ข้อ 2-7



รูปที่ 5.5 แผนภูมิแสดงขั้นตอนย่อย (A), (B) ของการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต



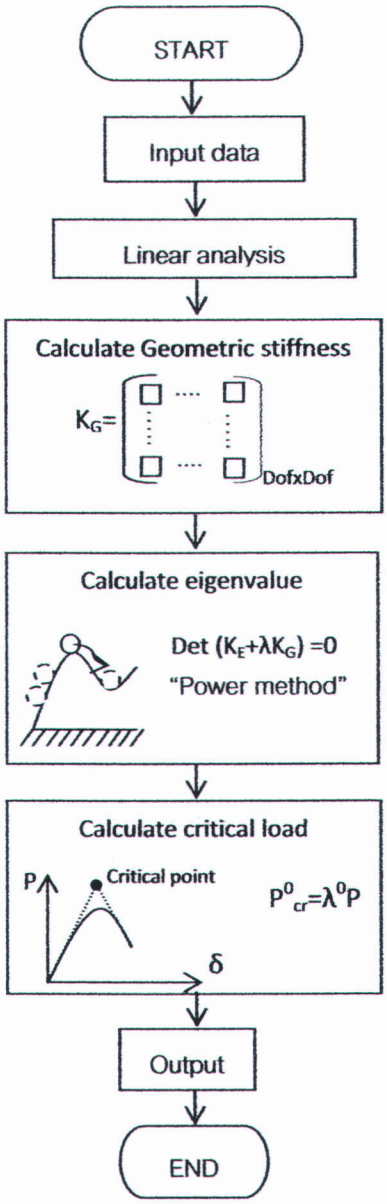
รูปที่ 5.6 แผนภูมิแสดงขั้นตอนย่อย (A), (B) ของการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นทางวัสดุ



รูปที่ 5.7 แผนภูมิแสดงขั้นตอนย่อย (A), (B) ของการวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้นผสม

5.2.2.2 แผนภูมิสายงานการวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้าง (Structural stability)

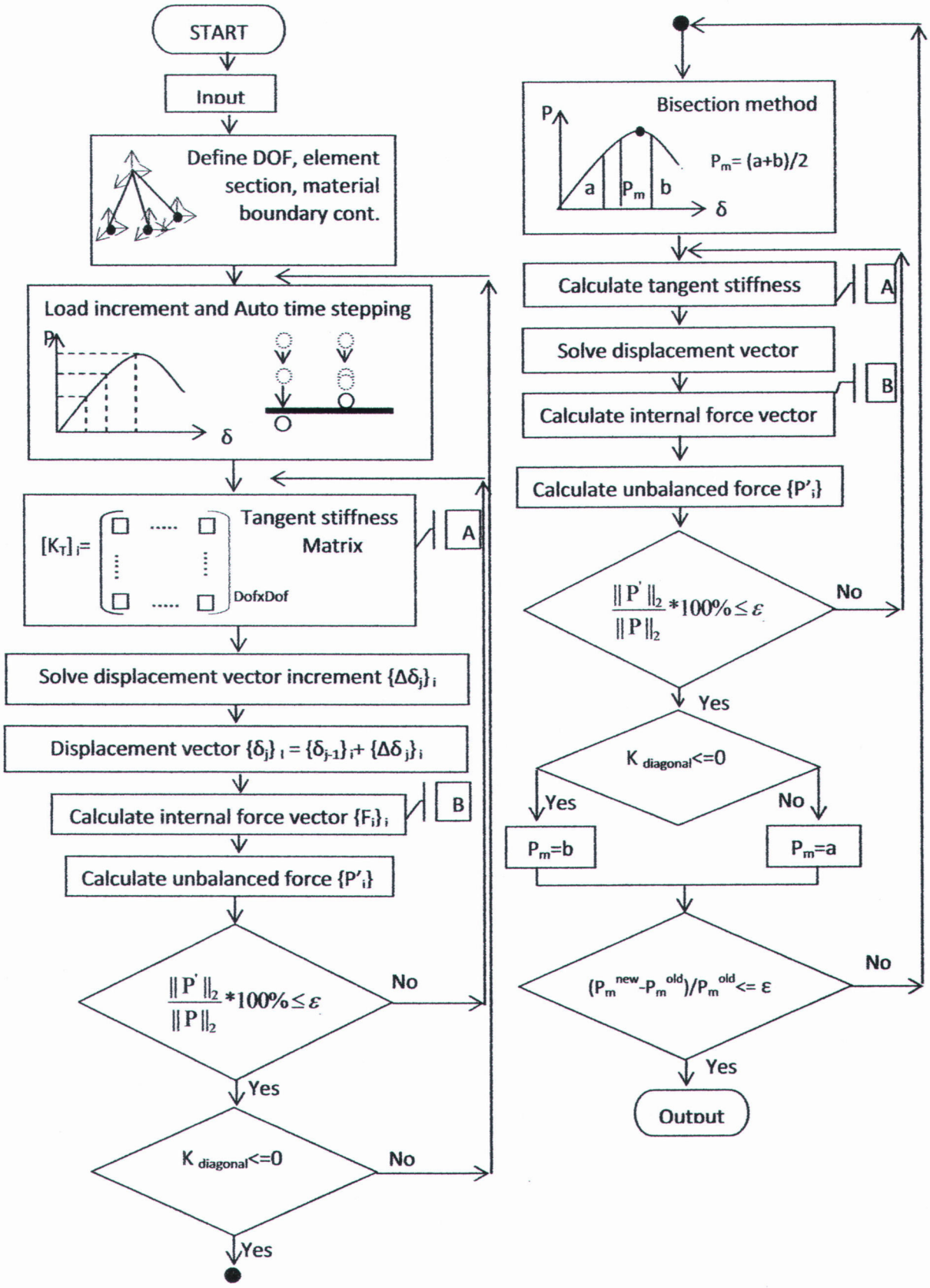
การวิเคราะห์เสถียรภาพของโครงสร้าง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การวิเคราะห์เสถียรภาพแบบเชิงเส้นและแบบไร้เชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 5.8 และ 5.9 ตามลำดับ



รูปที่ 5.8 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบเชิงเส้น

รูปที่ 5.8 แสดงการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกวิกฤต ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนย่อย คือ

1. วิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการแบบเชิงเส้น
2. นำค่าแรงภายในชิ้นส่วนและการกระจัดที่จุดต่อ จากข้อ 1 หาค่าจีโอเมทริกซ์สติฟเนส
3. คำนวณหาค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกวิกฤตโดยใช้ระเบียบวิธีส่วนกลับกำลัง



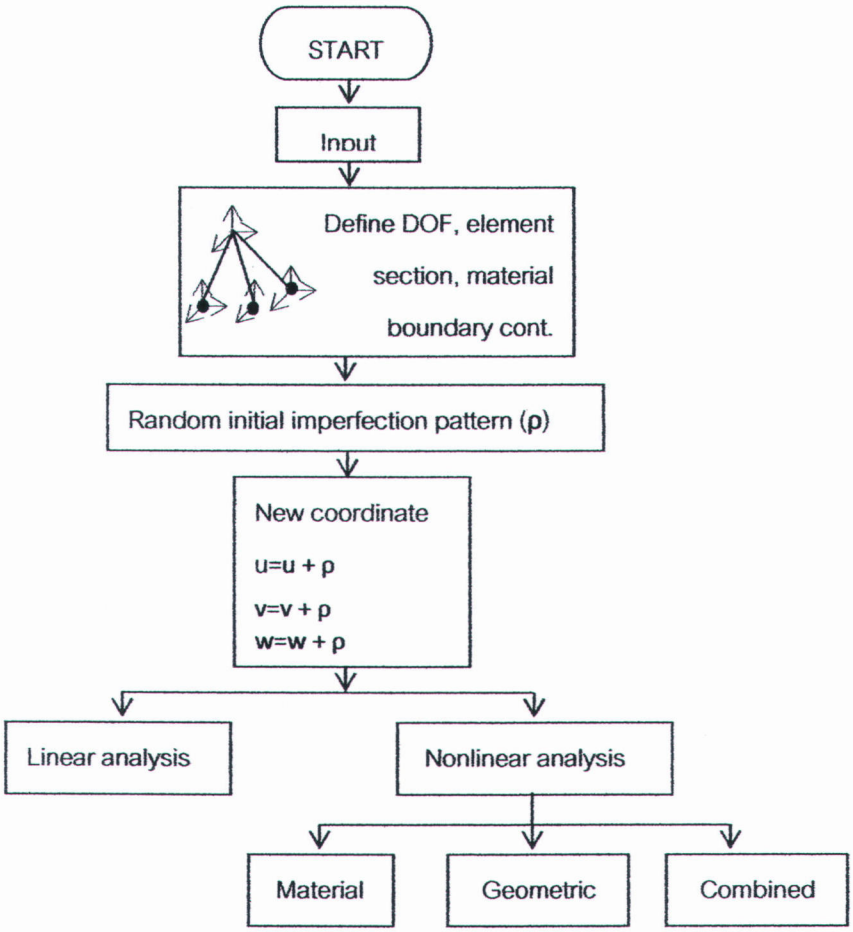
รูปที่ 5.9 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบไร้เชิงเส้น

รูปที่ 5.9 แสดงการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกวิกฤต จากการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบไร้เชิงเส้น ซึ่งประกอบด้วย 13 ขั้นตอนย่อย คือ

1. เพิ่มน้ำหนักบรรทุกภายนอกเป็นขั้นๆ
2. คำนวณหาค่าเมตริกซ์สติฟเนสสัมผัสของโครงสร้าง
3. คำนวณหาการกระจัดส่วนเพิ่มและหาการกระจัดที่จุดต่อของโครงสร้าง
4. คำนวณหาค่าแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง
5. คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกไม่สมดุล (Unbalanced force)
6. ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากยูคลีเดียนนอร์มของหน่วยแรงคงค้าง
7. ถ้าค่าคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าที่ยอมให้ ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 ถึง 6 แต่ถ้าน้อยกว่าไปข้อ8
8. ตรวจสอบค่าแนวทแยงของสติฟเนสสัมผัส หากมีค่าเป็นบวก ให้กลับไปทำซ้ำข้อ 1 แต่ถ้ามีอย่างน้อย 1 ค่าติดลบหรือเป็นศูนย์ไปข้อ 9
9. ใช้วิธีแบ่งครึ่งช่วง คือ การนำน้ำหนักบรรทุกภายนอก ที่ขอบเขตล่างกับขอบเขตบนมาเฉลี่ยกันเพื่อบีบช่วงคำตอบ (ขั้นตอนนี้จะได้น้ำหนักบรรทุกภายนอกใหม่)
10. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2-6
11. หากค่าคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าที่ยอมให้ กลับไปข้อ 10 ถ้าน้อยกว่าให้ตรวจสอบค่าแนวทแยงของสติฟเนสสัมผัส หากมีค่าเป็นบวก กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกภายนอกดังกล่าวเป็นค่าขอบเขตล่าง แต่ถ้าติดลบให้กำหนดเป็นขอบเขตบน
12. ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากน้ำหนักบรรทุกภายนอกก่อนหน้ากับปัจจุบัน หากมีค่ามากกว่าค่าที่ยอมให้ ไปข้อ 9 แต่ถ้าน้อยกว่าไปข้อ 13
13. ค่าน้ำหนักบรรทุกภายนอกสุดท้ายที่ได้ คือค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤตแบบไร้เชิงเส้น

5.2.2.3 แผนภูมิสายงานการสุ่มค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นของโครงข้อหมุน

ค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นในที่นี้เป็นค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นที่จุดต่อ โดยใช้การสุ่มแบบกระจายสม่ำเสมอ แสดงขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แผนภูมิสายงานการสุ่มค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้น

จากรูปที่ 5.10 ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย คือ

1. สุ่มค่าความไม่สมบรูณ์ตั้งต้นที่จุดต่อทุกจุด โดยสุ่มค่าระหว่าง L/500 ถึง –L/500
2. นำค่าที่ได้จากข้อ 1 ไปบวกกับพิกัดตั้งต้น จะได้เรขาคณิตของโครงสร้างใหม่
3. เลือกวิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง