บทที่ 2

ภูมิหลังงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้างได้ดำเนินการมากว่าสองทศวรรตแล้ว ดังได้อ้างอิงถึง โดย Weaver และ Johnston (1984), Hsieh (1988), Cook, Malkus และ Plesha (1989), Ziehkiewicz และ Taylor (1991) และอื่น ๆ สำหรับงานวิจัยในทศวรรตที่ผ่านมาซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้จะได้กล่าวสรุปโดยย่อในบทนี้

Wen และ Rahimzadeh (1983) ได้ศึกษาปัญหาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็ง 2 และ 3 มิติ โดยพิจารณาความเครียดในพิกัดลากรานจ์ (Lagrange Coordinates) 2 แบบ คือ แบบพิกัดอยู่กับที่ (Fixed Coordinates) และแบบพิกัดเคลื่อนที่ (Moving or Updated Coordinates) เพื่อใช้ในการสร้างสติฟเนสเมตริกซ์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) จากการศึกษาพบว่าการคำนวณโดยใช้พิกัดอยู่กับที่จะมีความเหมาะสมกับปัญหาที่การเปลี่ยนตำแหน่งไม่มากนัก และวิธีพิกัดเคลื่อนที่มีความเหมาะสมมากกว่าสำหรับปัญหาที่การเปลี่ยนตำแหน่งมีค่ามาก

Yang และ McGuire (1986) ได้ประยุกต์หลักการงานสมมติ (Principle of Virtual Work) ในการสร้างสติฟเนสเมตริกซ์ขององค์อาคารแบบคานแผ่นบาง (Thin Walled Beams) ใน 3 มิติพิจารณาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตโดยเขียนการเปลี่ยนตำแหน่งในพิกัดลากรานจ์ (Updated Lagrange Coordinate) แล้วแทนค่าลงในพจน์ของความเครียด (Strain Terms) ตามทฤษฎีของ Euler-Bernoulli-Navier จากการศึกษาพบว่าการใช้วิธีดังกล่าวจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยที่สำคัญ 4 ปัจจัย คือ (1) สมดุลย์ของคาน-เสาในภาวะที่เปลี่ยนตำแหน่งไปแล้ว (2) พฤติกรรมการหมุนของแรงดัดที่

ข้อต่อ (3) แรงบิดไม่สม่ำเสมอ และ (4) พจน์ไม่เชิงเส้นของความเครียดที่เหมาะสม

Chajes และ Churchill (1987) แสดงวิธีสร้างเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเปลี่ยนตำแหน่ง 3 วิธี เมื่อพิจารณาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้าง โดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้แก่

1.) วิธีส่วนเพิ่มเชิงเส้น (Linear Incremental Method) ทำได้โดยการแบ่งแรงกระทำออกเป็นส่วนเพิ่มเล็ก ๆ ในแต่ละช่วงการคำนวณสติฟเนสเมตริกซ์จะใช้ค่าคงที่ตลอดช่วงนั้น ๆ เรียกว่า สติฟเนสสัมผัส (Tangent Stiffness Matrix) การเปลี่ยนตำแหน่งและแรงภายในทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการคำนวณแต่ละช่วง ได้จากการรวมผลการเปลี่ยนตำแหน่ง และแรงภายในซึ่งเป็นส่วนเล็ก ๆ เข้าด้วยกัน ถ้าต้องการความถูกต้องในการคำนวณสูง ต้องแบ่งย่อยการคำนวณแต่ละช่วงให้ละเอียดมากขึ้น

2) วิธีส่วนเพิ่มไม่เชิงเส้น (Nonlinear Incremental Method) วิธีนี้คล้ายกับวิธีที่กล่าวในหัวข้อที่แล้ว ต่างกันแต่ว่าวิธีนี้ใช้สติฟเนสเมตริกซ์ส่วนเพิ่ม (Incremental Stiffness Matrix) ซึ่งแปรผันไปตามแรงภายใน และการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างในระหว่างทำการคำนวณในช่วงนั้น ๆ การคำนวณต้องอาศัยวิธีทำซ้ำ (Iteration) โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Method)

3) วิธีโดยตรง (Direct Method) วิธีนี้ใช้สติฟเนสเมตริกซ์ซีแคนต์ (Secant Stiffness Matrix) ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงภายในและการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง วิธีนี้แตกต่างกับวิธีส่วนเพิ่มไม่เชิงเส้นตรงที่วิธีนี้ใช้แรงกระทำทั้งหมดในการคำนวณหาการเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งทั้งหมดของโครงสร้าง มิใช่ส่วนเพิ่ม(Increment) อีกทั้งใช้สติฟเนสซีแคนต์ในการคำนวณ

Galotti และ Smith (1989) ได้ศึกษาวิธีวิเคราะห์โครงสร้างซึ่งพิจารณาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้าง 5 วิธี และเปรียบเทียบวิธีเหล่านั้นในด้านประสิทธิภาพ ความถูกต้องและการนำไปประยุกต์ใช้งาน ดังนี้

1) วิธีแฟคเตอร์การเพิ่มทวีคูณ (Amplification Factor Method) (Timoshenko และ Gere 1961) เป็นวิธีประมาณโดยนำแฟคเตอร์ไปคูณกับค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง และแรงดัดในอาคารที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีเชิงเส้น โดยที่แฟคเตอร์นี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของโครงสร้าง วิธีนี้ทำได้รวดเร็วแม้ว่าให้ความถูกต้องน้อยกว่าวิธีอื่นอีก 4 วิธีที่จะกล่าวต่อไป แต่ก็เป็นวิธีที่ใช้ตรวจสอบได้ว่า เมื่อใดที่ความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้างมีผลสำคัญต่อการเสียรูปของอาคาร

2) วิธีทำซ้ำแรงด้านข้างส่วนเพิ่ม (Iterative Incremental Lateral Load Method) (Adams 1974) เป็นวิธีประมาณแบบทำซ้ำโดยการเปลี่ยนผลของน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำเยื้องศูนย์กับโครงสร้างที่เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งไป ให้เป็นแรงกระทำด้านข้างเทียบเท่า (Equivalent Lateral Load) กระทำกับโครงสร้างอีกครั้ง แล้วคำนวณหาการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง ทำซ้ำจนกว่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่คำนวณได้ในรอบหลังมีค่าน้อยพอที่จะละทิ้งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่คำนวณได้ในรอบก่อนหน้านี้ วิธีนี้ให้ความถูกต้องพอสมควร แต่มีข้อเสียที่การหาแรงกระทำด้านข้างเทียบเท่าจะกระทำได้ไม่ง่ายนักในกรณีโครงสร้างสลับซับซ้อน

3) วิธีทำซ้ำน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Iterative Gravity Load Method) (Smith และ Gaiotti 1988) เป็นวิธีประมาณแบบทำซ้ำโดยการนำน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำกับโครงสร้างที่เปลี่ยนตำแหน่งไปแล้วจากการวิเคราะห์เชิงเส้น ผลก็คือโครงสร้างจะเปลี่ยนตำแหน่งเพิ่มขึ้น (Increment of Displacement) จากนั้นนำน้ำหนักในแนวดิ่งกระทำกับโครงสร้างในตำแหน่งใหม่ ทำซ้ำจนกว่าส่วนเพิ่มของการเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าน้อยพอที่จะละทิ้งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนเพิ่มของการเปลี่ยนตำแหน่งในรอบก่อนหน้านี้ วิธีนี้ให้ความถูกต้องสูงและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า 1 ใน 3 ของวิธีทำซ้ำแรงด้านข้างส่วนเพิ่ม

4) วิธีโดยตรง (Direct Method) (Goldberg 1974) เป็นวิธีประมาณ โดยการนำแฟคเตอร์ที่เป็นผลมาจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนัก

บรรทุกจร และสติฟเนสด้านข้างของแต่ละชั้นของอาคาร คูณกับการเปลี่ยนตำแหน่งและแรงดัดในแต่ละชั้นที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีเชิงเส้น วิธีนี้ให้ความถูกต้องดีเฉพาะอาคารที่มีความสูงน้อย และปานกลางเท่านั้น

5) วิธีองค์อาคารเทียมคุณสมบัติติดลบ (Negative Property Fictitious Member Method) (Rutenberg 1981) เป็นวิธีประมาณโดยเพิ่มเสาเทียมที่มีสติฟเนสด้านข้างติดลบ เป็นสัดส่วนกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรในแต่ละชั้นของอาคาร ทำให้สติฟเนสด้านข้างในแต่ละชั้นของอาคารลดลง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งและแรงดัดในองค์อาคารเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันของน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจรและแรงกระทำด้านข้าง วิธีนี้มีข้อเสียตรงที่การหาเสาเทียมนั้นอาจทำได้ยากในโครงสร้างสลับซับซ้อน

สมชาย ตั้งจิตเพิ่มความดี (พ.ศ. 2531) ได้ประยุกต์วิธีการของ Jennings (1968) ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบ โดยพิจารณาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต

ในงานวิจัยที่กล่าวมานี้ไม่ได้พิจารณาโครงสร้างที่ประกอบด้วยผนังต้านแรงเฉือนร่วมอยู่ด้วย Wilson, Hollings และ Dovey (1975) ได้พัฒนาโปรแกรม Three Dimensional Analysis of Building Systems (Extended Version), ETABS เพื่อวิเคราะห์ระบบอาคารสามมิติที่ประกอบด้วยโครงข้อแข็งและผนังต้านแรงเฉือน ภายใต้แรงกระทำสถิต (Static Loads) และ/หรือแรงจากแผ่นดินไหว โดยใช้ทฤษฎีวิเคราะห์เชิงเส้น ต่อมา Maison , Neuss และ Rodriguez (1985) ได้พัฒนาโปรแกรม SUPER-ETABS ให้สามารถวิเคราะห์อาคารโดยพิจารณาผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม ETABS เป็นพื้นฐาน และเพิ่มส่วนปรับลดสติฟเนสเมตริกซ์ด้านข้างของโครงสร้างโดยประมาณ จากผลโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง เป็นที่น่าสังเกตว่า SUPER- ETABS ไม่ได้หาสติฟเนสเชิงเรขาคณิต (Geometric Stiffness) ของโครงสร้าง และไม่มีการทำซ้ำ โปรแกรม SUPER-ETABS นี้ ใช้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงโปรแกรมวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตในงานวิจัยนี้