บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความนำ

ปัจจุบันอาคารโครงสร้างทางวิศวกรรมได้มีการพัฒนารูปแบบไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้และเทคโนโลยีในการก่อสร้างได้มีการพัฒนาขึ้น ประกอบกับปัจจัยด้านความจำกัดของพื้นที่ โดยเฉพาะในเมืองหลวงขนาดใหญ่ ทำให้อาคารส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้มีความสูงหรือมีความชะลูดมากขึ้น ดังนั้นวิศวกรผู้วิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล่านี้จะต้องพิจารณาผลของความไม่เป็นเชิงเส้นต่อโครงสร้างอาคารและผลกระทบอันดับที่สอง (Second Order Effect) ร่วมด้วย

ที่ผ่านมานั้นหลักการของการวิเคราะห์โครงสร้างตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic Analysis) เนื่องจากมีความง่าย สะดวกและรวดเร็วในการคำนวณ แต่ผลการวิเคราะห์โดยวิธีการดังกล่าวไม่สามารถนำมาอธิบายพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้างได้ ดังนั้นจึงมีวิศวกรหลายท่านพยายามจะผนวกผลของความไม่เป็นเชิงเส้นนี้เข้าในกระบวนการวิเคราะห์โครงสร้าง จะเห็นได้ว่ามาตรฐานการออกแบบโครงสร้างสมัยใหม่โดยทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design) ได้รวมหลักการสำคัญเพื่อให้วิศวกรผู้ทำการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างได้พิจารณาผลของความไม่เป็นเชิงเส้นหรือผลกระทบอันดับสองร่วมด้วย

1.2 ที่มาของปัญหา

ในอดีตวิธีการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Analysis) ไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากความยุ่งยากในกระบวนวิเคราะห์ จนกระทั่งมีการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ให้มีศักยภาพในการคำนวณและแปลผลสูงขึ้น ช่วยให้การวิเคราะห์โครงสร้างมีความรวดเร็วมากขึ้น วิธีการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นจึงเริ่มมีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานวิเคราะห์โครงข้อแข็งแบบไม่เป็นเชิงเส้นมากขึ้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์เหล่านี้เป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ถูกพัฒนาโดยกลุ่มองค์กรหรือหน่วยงานเอกชน

ความไม่เป็นเชิงเส้นของโครงสร้างทางวิศวกรรมจำแนกได้ 2 แบบตามสาเหตุของการเกิดดังนี้

ก. ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometric Nonlinearity) คือความไม่เป็นเชิงเส้นของโครงสร้างที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำ ส่งผลให้ค่าสตีฟเนสของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของโหนดในโครงสร้างไม่เป็นเส้นตรง

ข. ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุ (Material Nonlinearity) คือความไม่เป็นเชิงเส้นของโครงสร้างที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายในวัสดุ ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและค่าความเครียดภายในวัสดุไม่เป็นเส้นตรง

สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์โครงข้อแข็งโดยวิธีการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยมุ่งหวังให้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา อีกทั้งช่วยพัฒนาความรู้ทางด้านวิศวกรรม และเป็นแนวทางให้แก่นักพัฒนาโปรแกรมได้นำโปรแกรมดังกล่าวไปพัฒนาต่อเนื่องเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ประเทศชาติต่อไป

1.3 ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

Fleming (1989) ได้เสนอแนวทางในการแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากเป็นเรื่องยากมากที่จะหาคำตอบทางพีชคณิต (Algebraic Solution) โดยตรง สำหรับการแก้สมการสตีฟเนสแบบไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงได้เสนอวิธีการปฏิบัติการเชิงตัวเลข (Numerical Operation) สำหรับการแก้สมการดังกล่าวไว้สองวิธีได้แก่ วิธีเข้าใกล้แบบเพิ่มขึ้นทีละขั้น (Incremental Approach) และ วิธีเข้าใกล้แบบทำซ้ำ (Iteration Approach) และได้แนะนำค่าเมตริกซ์สตีฟเนสของชิ้นส่วนย่อยในโครงข้อแข็งสองมิติที่ได้ปรับปรุงค่า อันเกิดจากผลกระทบของแรงในแนวแกนและแรงดัด อีกทั้งการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในกระบวนการแก้ปัญหา โดยใช้โปรแกรมภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) ในการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อแข็งแบบสองมิติชื่อว่า **FRAME (1989)**

Seif and Dilger (1990) ได้ศึกษาการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้น และ น้ำหนักพังทลาย (Collapse Load) ของสะพานขึงคอนกรีตอัดแรง (P/C Cable-Stayed Bridges) โดยการวิเคราะห์แบบจำลองพฤติกรรมของสะพานขึงคอนกรีตอัดแรงสองมิติขณะที่เกิดการพัง เพื่อใช้สำหรับอธิบายความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต และ ทางวัสดุ โดยที่ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้างดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากผลของการหย่อนของลวดเคเบิล (Cable Sag) รวมทั้งผลจากการแอ่นตัวมาก (Large Deflection) ซึ่งมาจากผลของแรงในแนวแกนกับการเคลื่อนตำแหน่งของแนวศูนย์

กลาง (Centroid) ชิ้นส่วนย่อยของโครงสร้างที่รับแรงอัด ขณะที่ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุจะพิจารณาในวัสดุที่เป็นองค์ประกอบทุกส่วนของโครงสร้างเมื่อเกินจุดพิกัดยืดหยุ่น (Elastic Limits) ได้แก่ ลวดเคเบิล เหล็กเสริมธรรมดา เหล็กเสริมอัดแรง และ คอนกรีต โดยศึกษาถึงอิทธิพลของความไม่เป็นเชิงเส้นต่อแรงภายใน และ แรงปฏิกิริยา และแยกการพิจารณาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ออกเป็นสามกรณีคือ กรณีวิเคราะห์แบบยืดหยุ่น กรณีวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต และกรณีวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต และทางวัสดุร่วมกัน ผลการวิจัยสรุปได้ว่าผลของการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต และทางวัสดุร่วมกันของสะพานขึงคอนกรีตอัดแรงมีผลต่อการลดลงของค่าองค์ประกอบความปลอดภัย (Safety Factor)ของโครงสร้างอย่างชัดเจน

Yang and Kuo (1994) ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้านความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งและโครงถัก (Truss) ทั้งสองมิติและสามมิติ โดยนำวิธีแก้ปัญหาของลากองจ์ (Largrangian Approach) เป็นพื้นฐานสำหรับกระบวนการแก้ปัญหา และได้เสนอแนะเมตริกซ์สตีฟเนสเรขาคณิตขึ้น เพื่อใช้รวมเข้ากับเมตริกซ์สตีฟเนสยืดหยุ่นของโครงสร้างปกติซึ่งจะกลายเป็นเมตริกซ์สตีฟเนสสำหรับวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้าง และใช้การเข้าสู่คำตอบโดยวิธีการเพิ่มขึ้นและทำซ้ำ (Incremental-Iteration Approach) และใช้วิธีการควบคุมระยะการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง (Displacement Control) ในการลู่เข้าหาคำตอบ

Clarke and Handcock (1995) ได้ทดสอบและวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นของโครงข้อแข็งโค้งย่อส่วนภายใต้แรงเค้น (Small-Scale Stressed-Arch Frames) โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้จำลองโครงข้อแข็งโค้งย่อส่วน ซึ่งมีความยาวช่วง 15.25 เมตร และ ความสูง 4.62 เมตร โดยให้รับแรงกระทำในแนวดิ่ง จุดประสงค์ของการวิจัย คือต้องการเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครงสร้างจากการทดสอบจริง กับผลจากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้หลักการของความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตจากสมการลากองจ์แบบปรับปรุง (Update Largrangian Formulation) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบไม่เป็นเชิงเส้นสามารถอธิบายพฤติกรรมของโครงสร้างได้ใกล้เคียงมากไม่ว่าจากเป็นพฤติกรรมการเสียรูปของโครงสร้าง หรือพฤติกรรมการรับแรงสูงสุดของโครงสร้าง โดยค่าของน้ำหนักประลัยจากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบไม่เป็นเชิงเส้นสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบจริงเพียง 3 % เท่านั้น

Chandrupatla and Belegundu (1997) ได้รวมรวบหลักการและขั้นตอนการแก้ปัญหาทางโครงสร้างโดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยอาศัย

โปรแกรมภาษาเบสิก (BASIC) และ ฟอร์แทรน (FORTRAN) โดยได้แนะนำวิธีการจัดระบบของเมตริกซ์แบบสมมาตรไว้หลายวิธี ได้แก่ การ์จัดระบบเมตริกซ์แบบแบนด์ (Banded Matrix) การจัดระบบเมตริกซ์แบบฮาล์ฟ-แบนด์วิดท์ (Half-Bandwidth) การจัดระบบเมตริกซ์แบบสกายไลน์ (Skyline) และ การจัดระบบเมตริกซ์แบบฟรอนทอล (Frontal) และได้แนะนำการแก้สมการเมตริกซ์โดยวิธีการกำจัดแบบเกาส์ (Gauss Elimination) สำหรับการแก้ปัญหาโครงสร้างแบบเชิงเส้น

Zhou and Chan (1997) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์อันดับที่สอง (Second-Order Analysis) ของโครงข้อแข็งเหล็กภายใต้แรงในแนวแกนที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง (Gravitational Axial Loads) และ แรงกระทำด้านข้าง (Lateral Loads) ร่วมกัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์สำหรับประยุกต์ใช้ในโครงสร้างประเภทหอส่งสัญญาณขนาดใหญ่ เนื่องจากในข้อกำหนดสำหรับมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างประเภทนี้โดยมากมักจะใช้วิธีการรวมแรง (Lump Load Method) ที่กระจายอยู่ตลอดความยาวของโครงสร้างไปไว้ที่ปลายขององค์อาคาร ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่ถูกต้องเมื่อเทียบกับแรงในโครงสร้างจริง โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก วิธีการวิเคราะห์อันดับสองโดยใช้ชิ้นส่วนเดียวต่อองค์อาคาร (Single Element per Member) กับวิธีการรวมแรงโดยใช้ชิ้นส่วนเดียวต่อองค์อาคารเช่นกัน แล้วเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่แท้จริง ซึ่งผลที่ได้สรุปว่าวิธีการวิเคราะห์อันดับสองโดยใช้ชิ้นส่วนเดียวต่อองค์อาคารให้ค่าการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าการเคลื่อนที่ และ ค่าแรงโก่งเดาะ (Buckling Load) ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากกว่า

1.4 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์โครงข้อแข็งยืดหยุ่นแบบสองมิติและสามมิติ โดยใช้การวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ก. โครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์จะต้องเป็นโครงสร้างที่มีคุณสมบัติของวัสดุคงที่ กล่าวคือคุณสมบัติของวัสดุไม่แปรตามแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง และมีหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาว

ข. แรงกระทำต่อโครงสร้าง จะพิจารณาเฉพาะแรงกระทำแบบสถิตย์ (Static Loading) เท่านั้น

ค. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวนี้พัฒนาโดยโปรแกรมภาษา Visual Basic สามารถใช้งานได้กับระบบปฏิบัติการ Windows 98 ขึ้นไป สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล