บทที่ ๑

บทนำ

๑.๑ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์ปัญหาทางโครงสร้างนั้น บางครั้งการทำการวิเคราะห์โดยตรงเพื่อคำตอบที่ถูกต้อง (Exact Solution) จะกระทำได้ยากมาก เนื่องจากความยุ่งยากของสภาพขอบเขต (Boundary Condition) ลักษณะของแรงที่มากระทำต่อโครงสร้าง หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ดังนั้นจึงได้มีผู้คิดวิธีการวิเคราะห์โดยประมาณขึ้นมาหลายวิธี วิธีการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์ (Finite Element Analysis) ซึ่งปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางนั้นก็มักพบปัญหาเมื่อโครงสร้างมีขนาดใหญ่และสลับซับซ้อน เพราะจำนวนตัวแปรของระบบจะมีเป็นจำนวนมากทำให้ต้องใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีปริมาณหน่วยความจำจำนวนมากมาทำการคำนวณ

ดังนั้นในการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีผู้นำวิธีการโดยประมาณต่าง ๆ มาใช้ในการลดจำนวนตัวแปรของระบบอีกชั้นหนึ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการวิเคราะห์ปัญหาพลศาสตร์ซึ่งมีลำดับขั้นตอนในการคำนวณมากกว่าทางสถิตย์ศาสตร์ วิธีการโดยประมาณแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียอยู่ในตัว เช่นถ้าใช้วิธีการโดยประมาณอย่างหยาบ ๆ เกินไปผลที่คำนวณได้ก็จะคลาดเคลื่อนไปจากคำตอบที่ถูกต้องมาก แต่ถ้าหากว่าใช้วิธีการโดยประมาณที่ค่อนข้างละเอียดและใกล้เคียงความจริงจนเกินความจำเป็นมาทำการวิเคราะห์ปัญหาถึงแม้ผลลัพธ์ที่ได้จะใกล้เคียงกับคำตอบที่ถูกต้องมากก็ตาม แต่ก็มีข้อเสียที่ว่าจะทำให้วิธีการดังกล่าวยุ่งยากสลับซับซ้อนมากเกินไปในทางปฏิบัติ

๑.๒ การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

วิธีการแก้ปัญหาทางพลศาสตร์โดยการลดจำนวนตัวแปรอาจแบ่งได้เป็นสองสายคือ

ก) ใช้วิธีลดขนาดเมทริคซ์ของระบบโดยตรง

ข) ใช้วิธีพิจารณารูปแบบพิกัดการเคลื่อนที่ของส่วนประกอบ (Component Mode) ซึ่งจะกล่าวถึงวิวัฒนาการของแต่ละสายดังต่อไปนี้

ก) Guyan [1] และ Irons [2] ได้เสนอวิธีการในการลดจำนวนตัวแปรในการหาผลลัพธ์ไอเกน ของโครงสร้างทั้งระบบโดยสมมุติความสัมพันธ์ของการแปลงระหว่างพิกัดความเร็วบริวาร (Slave Velocity Coordinate) กับพิกัดความเร็วประธาน (Master Velocity Coordinate) เช่นเดียวกับที่ใช้ในการแปลงพิกัดการเคลื่อนที่ (Displacement Coordinate) สำหรับปัญหาทางสถิตย์ศาสตร์ วิธีการนี้จะมีความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่เกิดจากการเลือกกลุ่มตัวแปรที่จะลดทิ้งซึ่งถ้าเลือกตัวแปรที่ลดทิ้งไม่ดี เช่นเป็นตัวแปรที่จะก่อให้เกิดพลังงานจลน์ของระบบสูงเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่น ๆ แล้วผลลัพธ์ที่ได้ก็จะผิดพลาดไปมาก Henshell และ Ong [3] ได้แสดงวิธีการโดยอัตโนมัติในการเลือกกลุ่มตัวแปรที่จะลดทิ้งโดยยึดหลักการดังกล่าว แต่ในการทำเช่นนี้ทำให้ไม่อาจใช้วิธีการโครงสร้างย่อย (Substructure) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณหน่วยความจำอีกต่อหนึ่งอย่างมีประสิทธิภาพได้ จนในปี ค.ศ. 1978 Leung [4] ได้ใช้วิธีการผนวกเมทริคซ์ของมวลและสติฟเนสเมทริคซ์เข้าด้วยกันโดยใช้ค่าไอเกนที่จะหาค่าเป็นองค์ประกอบเรียกว่าไดนามิคสติฟเนส แล้วลดขนาดไดนามิคสติฟเนสด้วยวิธีการคล้ายคลึงกับการลดขนาดสติฟเนสเมทริคซ์ในวิธีการแก้ปัญหาทางสถิตย์ศาสตร์ พบว่าโดยวิธีการกระทำซ้ำ (Iterative Method) จะได้ผลลัพธ์คือค่าไอเกน ที่เข้าใกล้ค่าที่ถูกต้องโดยลำดับ วิธีการนี้ยังสามารถใช้ได้ดีกับวิธีการโครงสร้างย่อยด้วย

ข) Hurty [5] เสนอวิธีการในการพิจารณารูปแบบพิกัดการเคลื่อนที่ (Mode Shape หรือ Modal Coordinate) ของแต่ละโครงสร้างย่อย (Substructure หรือ Component) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ ริจิด-บอดี (Rigid-Body) คอนสเตรนท์ (Constraint) และ นอร์มัล (Normal) นำรูปแบบทั้งสามนี้มาใช้เป็นพิกัดทั่วไป (Generalized Coordinate) ชุดใหม่ของโครงสร้างย่อย ซึ่งจะทำให้แยกวิเคราะห์เป็นส่วน ๆ ได้ในแต่ละโครงสร้างย่อย และในขั้นที่จะคำนวณผลลัพธ์ร่วมทั้งระบบก็จะสามารถหาผลลัพธ์ได้จากคุณสมบัติของโครงสร้างย่อยโดยใช้รูปแบบพิกัดการเคลื่อนที่ดังกล่าวข้างต้น ในขณะช่วงเวลาเดียวกัน Gladwell [6] ได้ใช้วิธีการที่เรียกว่า บรานช์โมด (Branch-Mode) ซึ่งเป็นวิธีการที่คล้ายคลึงกับที่ Hurty ใช้ต่างกันตรงที่ให้โครงสร้างสาขา (Branch Component) ที่มาต่อกับโครงสร้างย่อยหลักที่กำลังพิจารณาในลักษณะแข็งอนันต์ (Rigid) ต่อมา Craig และ Bampton [7] ได้พัฒนาวิธีการของ Hurty เมื่อพบว่าสามารถที่จะละเว้นการพิจารณา

รูปแบบริจิด-บอดี เสียได้สำหรับโครงสร้างทั่ว ๆ ไป ในปี ค.ศ. 1971 Benfield และ Hruda [8] ได้เสนอวิธีใช้รูปแบบพิกัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างย่อยซึ่งได้พิจารณาให้ได้รับผลของแรงที่ถ่ายมาจากโครงสร้างย่อยข้างเคียงแล้ว มาเป็นพิกัดทั่วไปของแต่ละโครงสร้างย่อย ซึ่งแรงที่ถ่ายมานี้เป็นแรงเสมือนสองชนิดคือแรงอินเนอร์เชียซึ่งได้จากการส่งถ่ายผลของมวลของโครงสร้างย่อยอื่น ๆ มายังโครงสร้างย่อยหลักที่กำลังพิจารณา กระทำได้โดยวิธีการเช่นเดียวกันกับการลดขนาดเมทริคซ์ของมวล (Mass Condensation) และอีกชนิดหนึ่งก็คือแรงเสมือนซึ่งถ่ายทอดคุณสมบัติประจำตัวในการสนองตอบต่อแรงภายนอกที่มากระทำของโครงสร้างย่อยอื่น ๆ มายังโครงสร้างย่อยหลักโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกันกับการลดขนาดสติฟเนสเมทริคซ์ (Stiffness Condensation) ต่อมา Holze และ Boresi [9] ได้นำวิธีการของ Benfield และ Hruda มาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้กับวิธีการนี้

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่ได้กล่าวมาทั้งหมดต่างก็มีข้อดีแต่ก็มีข้อเสียอยู่ในตัวเช่นวิธีในสาย ก) นั้นเป็นวิธีที่ค่อนข้างจะง่ายแต่ก็มีข้อผิดพลาดอยู่ ส่วนวิธีกระทำซ้ำของ Leung ซึ่งสามารถแก้ข้อผิดพลาดได้นั้นก็ต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก สำหรับวิธีในสาย ข) แม้ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในเกณฑ์ดีแต่ก็เป็นวิธีที่ยุ่งยากสลับซับซ้อนมากก่อให้เกิดปัญหาในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์และไม่เหมาะที่จะใช้กับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ดังนั้นการศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมตามสภาพในแต่ละปัญหาก็ยังคงดำเนินต่อไปและเมื่อไม่นานมานี้ Lukkunaprasit และ Alam [10] ได้เสนอวิธีการอย่างง่าย ๆ และมีเหตุผลในการลดขนาดเมทริคซ์ของมวลของโครงสร้างย่อยสำหรับโครงสร้างตึกสูงโดยการหาค่าประมาณของพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ด้วยการพิจารณาว่าความเร็ว (Velocity) ของจุดข้อต่อบริวารที่จะถูกลดทิ้งหาได้จากการอินเทอร์โพเลท (Interpolate) ความเร็วของจุดข้อต่อประธานที่จะคงไว้ด้วยการเทียบส่วนเฉลี่ยโดยตรงกับฟังก์ชันรูปร่าง (Shape Function) ของโครงสร้างย่อย ซึ่งสมมุติให้มีลักษณะเชิงเส้นตรง

๑.๓ วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเสนอวิธีการลดจำนวนตัวแปรในปัญหาทางพลศาสตร์อย่างง่าย ๆ ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและใช้ได้กับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก โดยจะประยุกต์กับโครงสร้าง

แผ่นบางและโครงสร้างเปลือกบางซึ่งมีความโค้งน้อย และมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงอีลาสติค จุดมุ่งหมายเพื่อต้องการผลลัพธ์โดยประมาณที่พอยอมรับได้ในทางปฏิบัติทั่วไป โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้คือ ศึกษาวิธีการแล้วจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาผลลัพธ์ของปัญหาตัวอย่างทั้งการวิเคราะห์การสั่นอิสระและการสั่นเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ นำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ถูกต้องและวิธีการโดยประมาณอื่น ๆ ที่ได้เคยมีผู้ศึกษามาก่อน

๑.๔ แนวความคิดที่จะนำมาใช้ในการวิจัย

การวิจัยฉบับนี้ใช้แนวความคิดพื้นฐานโดยนำเอาวิธีการของ Lukkunaprasit และ Alam [10] มาปรับปรุงดัดแปลงให้ใช้ประยุกต์เข้ากับปัญหาของโครงสร้างแผ่นบางและโครงสร้างเปลือกบาง ซึ่งจะแตกต่างกันที่ปัญหาโครงสร้างตึกสูงที่ได้ทำการวิจัยเป็นโครงสร้างมิติเดียวส่วนโครงสร้างแผ่นบางและโครงสร้างเปลือกบางนั้น ใช้ชิ้นส่วนสองมิติมาประกอบเข้าด้วยกัน

ดังนั้นจากการพิจารณาว่าโครงสร้างทั้งหมดประกอบขึ้นด้วยโครงสร้างย่อย โดยถือว่าการเคลื่อนที่ (Displacement) และความเร็วที่จุดต่อบริเวณขอบต่อเนื่องกับโครงสร้างย่อยอื่น ๆ เป็นพิกัดทั่วไปของระบบหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือถือว่าแต่ละโครงสร้างย่อยนั้นเป็นชิ้นส่วนขนาดใหญ่ (Super Element) อันหนึ่ง ทำให้สามารถสมมุติฟังก์ชันรูปร่าง (Shape Function) ของชิ้นส่วนขนาดใหญ่นี้ได้ ในกรณีของโครงสร้างแผ่นบางและโครงสร้างเปลือกบาง ฟังก์ชันรูปร่างก็อาจกำหนดให้เป็นแบบทวิเชิงเส้น (Bilinear) ได้เมื่อถือว่าใช้จุดข้อต่อที่มุมทั้งสี่เป็นหลักและจากแนวความคิดของไอโซพาราเมตริค (Isoparametric Concept) ก็จะทำให้หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของจุดข้อต่อบริวาร (Slave Node) ภายในที่จะลดทิ้งกับจุดข้อต่อประธาน (Master Node) ที่มุมทั้งสี่ซึ่งจะคงไว้เป็นพิกัดทั่วไปได้ จากนั้นก็สามารถหาพลังงานจลน์ของระบบที่ลดจำนวนตัวแปรแล้วได้โดยประมาณ ส่วนพลังงานความเครียด (Strain Energy) ของระบบที่ลดจำนวนตัวแปรแล้วหาโดยใช้วิธีมาตรฐานทั่วไปของการลดตัวแปรทางสถิตย์ศาสตร์ แทนค่าพลังงานที่ได้ลงในสมการการเคลื่อนที่ของลากรางจ์ (Lagrange's Equation of Motion) ก็จะได้สมการการเคลื่อนที่ของระบบที่ลดจำนวนตัวแปรแล้ว

๑.๕ ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

สามารถนำวิธีการที่ได้จากการวิจัยฉบับนี้ไปทำการวิเคราะห์ปัญหาทางพลศาสตร์ของโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนแผ่นบาง เช่นแผ่นพื้นในองค์อาคาร ท้องเรือ หลังคาเปลือกบาง ฯลฯ ในการรับแรงกระทำจากภายนอก เช่นแรงสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์ แรงกระแทกจากคลื่น แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ซึ่งประโยชน์จากการใช้วิธีการนี้ประหยัดปริมาณหน่วยความจำภายในเครื่อง(Incore Storage) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการใช้คำนวณ ทำให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาของโครงสร้างใหญ่มาก ๆ ได้ และสำหรับโครงสร้างที่ไม่ยุ่งยากสลับซับซ้อนหรือใหญ่มากนักก็จะทำให้สามารถใช้เครื่องมินิหรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจจะมีใช้ในสำนักงานออกแบบในอนาคตมาทำการวิเคราะห์ได้