บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา

โครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบ (Flat plate) เป็นโครงสร้างแบบหนึ่งของแผ่นพื้นไร้คาน (Flat slab) ที่รองรับโดยตรงด้วยเสาหรือผนัง ไม่มีแป้นหัวเสา (Column capital) หรือส่วนเพิ่มความหนาที่หัวเสา (Drop panel) ปัจจุบันโครงสร้างประเภทนี้กำลังเป็นที่นิยมในการก่อสร้างอาคารสูงหรืออาคารที่ต้องการช่วงยาวประมาณ 7 - 9 เมตร เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น ทำงานไม้แบบได้ง่าย ลดความสูงระหว่างชั้นของอาคาร และสามารถใช้ท้องพื้นเป็นฝ้าเพดานได้ เป็นต้น

การวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบมีความยุ่งยากและสลับซับซ้อนมาก เนื่องจากเป็นปัญหาของโครงสร้างแผ่นเรียบ (Plate structure) ที่ต้องอาศัยพื้นฐานเชิงคณิตศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยสมการดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differential equation) อันดับที่ 4 นอกจากนี้ยังต้องทราบถึงสภาวะการยึดรั้งที่ขอบหรือจุดยึดรั้งต่าง ๆ อย่างพอเพียงเพื่อสามารถสร้างสมการและตัวแปรให้มีจำนวนที่สอดคล้องกัน จึงจะสามารถแก้ปัญหาได้ การวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบโดยการแก้ปัญหาจากสมการดิฟเฟอร์เรนเชียลโดยตรง สามารถกระทำได้เฉพาะโครงสร้างแผ่นพื้นที่มีรูปร่างเชิงเรขาคณิตที่ชัดเจน และจำลองสภาพการยึดรั้งได้เที่ยงตรง ฉะนั้น วิธีการวิเคราะห์แบบนี้จึงทำได้เฉพาะรูปสี่เหลี่ยมง่าย ๆ หรือ รูปวงกลมที่มีการยึดรั้งง่าย ๆ เท่านั้น (Ekasit Limsuwan, 1987)

การวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการ โดยประมาณ เช่น วิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนซ์ (Finite difference) วิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์ (Finite element) วิธีเฟรมเสมือน (Equivalent frame) เป็นต้น การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนซ์และวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีเชิงเลขนั้นจะให้ค่าโมเมนต์ในแผ่นพื้น

ใกล้เคียงค่าที่ถูกต้อง และใกล้เคียงความจริงมากที่สุดก็ต่อเมื่อมีการแบ่งชิ้นส่วน (Element) ออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ จำนวนมากและจะต้องจำลองแบบทางโครงสร้างให้สมจริงมากที่สุด อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยวิธีทั้งสองนี้ยังยุ่งยากต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ หากจะให้เกิดความละเอียด แม่นยำมากเพียงใดก็จะต้องใช้แบบจำลองที่ละเอียด และเวลาคอมพิวเตอร์มากขึ้นเพียงนั้นดังนั้นวิธีการดังกล่าวนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ หรือคำนวณออกแบบโดยตรง จะใช้เพียงเพื่อการทำตารางในการออกแบบ หรือใช้ในการศึกษาวิจัยพฤติกรรมทางโครงสร้างเฉพาะกรณีปัญหา ส่วนการวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟรมเสมือนนั้นอาศัยหลักการเปลี่ยนปัญหาจากระบบ 3 มิติ มาเป็นปัญหาระบบ 2 มิติ ซึ่งทำให้ลดตัวแปรและความยุ่งยากต่าง ๆ ในการคำนวณลงได้อย่างมาก อย่างไรก็ตามค่าของแรงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ จะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าการวิเคราะห์เชิงเลขทั้ง 2 วิธีดังกล่าว แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟรมเสมือนตาม ACI Committee 318 (1989) นั้น เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายวิธีหนึ่ง แม้ว่าการคำนวณจะยังมีความยุ่งยาก และเน้นความสำคัญของตัวแปรบางตัวมากจนเกินไป แต่ก็ยังเป็นวิธีการที่ง่าย และทำให้สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างได้

การวิเคราะห์แผ่นพื้นท้องเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ตามวิธีเฟรมเสมือนนั้นจะเปลี่ยนโครงสร้างระบบ 3 มิติ มาเป็นโครงสร้างระบบ 2 มิติ โดยมีความหนาหรือความสูง และความยาว ส่วนความลึกในมิติที่ 3 ถือว่าคงที่ตลอดความยาวของช่วงที่พิจารณา ซึ่งเฟรมเสมือนจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.2 โดยพฤติกรรมทางโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับ ค่าสติฟเนสขององค์อาคารแนวยืนคือ เสา และองค์อาคารแนวนอนคือ พื้น ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปจากระบบเฟรม หรือคาน-เสาทั่ว ๆ ไป เนื่องจากพฤติกรรมแผ่นเรียบ (Plate action) จะมีผลจากแรงบิดในมิติที่ 3 อีกทั้งการกระจายของแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเสาและแผ่นพื้นเป็นไปได้เพียงบางส่วนเท่านั้น จากการที่สติฟเนสเปลี่ยนแปลงไปจากระบบเฟรมทั่วไป ดังนั้นในการพัฒนาเพื่อแปลงระบบแผ่นเรียบมาเป็นระบบเฟรมจะพิจารณาค่าสติฟเนสขององค์อาคารส่วนต่าง ๆ คือ เสา และพื้น แต่จะนำมาใช้โดยตรงไม่ได้ หากต้องได้รับการปรับแก้เป็นสติฟเนสเสมือน เพื่อให้เฟรมเสมือนสามารถแทน ระบบแผ่นเรียบ และให้ผลจากการวิเคราะห์แรงได้สมจริงตามพฤติกรรมมากที่สุด

การหาสติฟเนสเสมือนตาม ACI Committee 318 จากการศึกษาของ Corley และ Jirsa (1970) สมมติให้โมเมนต์ของแผ่นพื้นถ่ายเข้าเสาโดยผ่านองค์อาคารรับแรงบิด (Attached torsional member) และกำหนดให้ค่าโมเมนต์ดังกล่าวมีการกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยม มีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งเสาและมีค่าเป็นศูนย์ที่ขอบพื้นของเฟรมเสมือน จะเห็นว่าสติฟเนส

เสมือนของเสา (Equivalent column stiffness, K_{ec}) ขึ้นอยู่กับสติฟเนสของเสา (Column stiffness, K_c) และสติฟเนสขององค์อาคารรับแรงบิด (Torsional stiffness, K_t) ซึ่งความสัมพันธ์ร่วมจะอยู่ในรูปสมการผกผัน ($1/K_{ec} = 1/K_c + 1/K_t$) ส่วนสติฟเนสของแผ่นพื้น, K_s มิอาจใช้หน้าตัดคงที่ตลอดความยาวได้จึงต้องมีตัวคูณและตัวปรับแก้ตามขนาดของเสาและความหนาของแผ่นพื้น

งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นว่า การหาสติฟเนสเสมือน ตามวิธีการของ ACI Committee 318 ยังมีความยุ่งยากในการคำนวณแปลงค่าพื้นฐานเพื่อหาสติฟเนสเสมือนนี้ การศึกษานี้จึงมุ่งที่จะพัฒนา การวิเคราะห์แผ่นพื้นท้องเรียบด้วยวิธีอย่างง่าย (Simplified method) โดยดัดแปลงการคำนวณให้ง่ายขึ้นคือ กำหนดให้ใช้สติฟเนสของพื้นและสติฟเนสของเสาให้มีหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาว ส่วนสติฟเนสขององค์อาคารรับแรงบิดตามวิธีเฟรมเสมือนนั้น จะเรียกว่าสติฟเนสยึดโยง (Attached stiffness, K_t) และจะพัฒนาขึ้นใหม่ โดยอาศัยผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์ ทำการจำลองแบบโครงสร้างต้นแบบของแผ่นพื้นท้องเรียบ เพื่อวิเคราะห์หาค่าแรงภายใน และการเปลี่ยนรูปร่างที่จุดต่าง ๆ จากนั้น จะนำผลจากการวิเคราะห์เหล่านี้มาหาความสัมพันธ์ ระหว่าง สติฟเนสเสมือนของโครงสร้าง กับตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่ให้พฤติกรรมทางโครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบได้อย่างถูกต้อง และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด การศึกษาเบื้องต้นพบว่าสติฟเนสยึดโยง มีผลกระทบโดยตรงจากตัวแปรดังต่อไปนี้คือ ความหนาของพื้น,h ความยาวช่วงของพื้น,L_1 ความกว้างของพื้น,L_2 โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ,E และสติฟเนสของเสา,K_c ซึ่งการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างสติฟเนสยึดโยง กับตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ จะแยกพิจารณาแต่ละตัวแปร ตามลำดับ

งานวิจัยที่ผ่านมา

Corley, Sozen และ Siess (1961) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีเฟรมเสมือน (Equivalent frame) ขึ้นเป็นครั้งแรก สามารถใช้วิเคราะห์โครงสร้างพื้นได้ทั้งในระบบที่มีคานและไม่มีคานโดยได้เสนอแนวความคิดของเสาเสมือน (Equivalent column) ซึ่งพิจารณาโมเมนต์ของแผ่นพื้นถ่ายเข้าเสาโดยผ่านองค์อาคารรับแรงบิด (Attached torsional member) ด้วยค่าโมเมนต์กระจายคงที่ตลอดความกว้างของพื้นซึ่งทำให้สติฟเนสของเสาเสมือนมีค่าน้อยกว่าสติฟเนสของเสาจริงมาก ค่าโมเมนต์ในพื้นที่ถ่ายเข้าเสาจึงน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

Hatcher, Sozen และ Siess (1965) ทำการทดสอบโครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างทดสอบของโครงสร้างแผ่นพื้นมีขนาด 15x15 ฟุต ซึ่งย่อส่วนลงมาจากโครงสร้างจริง 1/4 เท่า ให้น้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอในแนวดิ่งกระทำต่อพื้น แล้วทำการวัดค่าความเครียดและการโก่งตัว เพื่อนำมาคำนวณกลับเป็นค่าของแรงภายใน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปปรับปรุงวิธีการออกแบบที่มีอยู่เดิม และจากการวิจัยพบว่า วิธีออกแบบเดิมให้ค่าผลรวมของแรงดัดที่ใกล้เคียงกับการทดสอบ แต่การกระจายของแรงยังไม่ถูกต้อง

Guralnick และ La Fraugh (1963) ทำการทดสอบโครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบในห้องปฏิบัติการ เช่นเดียวกับ Hatcher, Sozen และ Siess แต่ใช้ขนาดของตัวอย่างทดสอบที่ใหญ่กว่า คือ มีขนาด 45x45 ฟุต ซึ่งย่อส่วนจากโครงสร้างจริง 3/4 เท่า โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบผลกับการทดสอบของ Hatcher, Sozen และ Siess ซึ่งใช้แบบจำลองที่มีขนาดเล็กกว่า พิจารณาผลของสัดส่วนการจำลองแบบว่ามีต่อการทดสอบอย่างไรบ้าง ซึ่งจากการวิจัยพิสูจน์ได้ว่าการทดสอบแบบจำลองที่ย่อส่วนลง 1/4 เท่านั้น มีค่าที่น่าเชื่อถือ

Corley และ Jirsa (1970) ได้ทำการปรับปรุงวิธีเฟรมเสมือน เสนอให้โมเมนต์ในแผ่นพื้นที่ถ่ายเข้าเสาโดยผ่านองค์อาคารรับแรงบิดเช่นเดียวกับ Corley, Sozen และ Siess (1961) แต่ให้ค่าโมเมนต์นี้มีการกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยม มีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งเสาและมีค่าเป็นศูนย์ที่ขอบพื้นของเฟรมเสมือน ทำให้สติฟเนสของเสาเสมือน (Equivalent column) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โมเมนต์ในแผ่นพื้นถ่ายเข้าเสาเพิ่มขึ้น และทำให้พฤติกรรมของแผ่นพื้นท้องเรียบใกล้เคียงกับพฤติกรรมของโครงสร้างจริงมากขึ้น

หลังจากนั้น ก็มีผู้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นไร้คานขึ้นอีกหลายท่าน อาทิ เช่น Pecknold (1975) เสนอวิธีการหาความกว้างประสิทธิผลของพื้น (Slab effective width) เพื่อใช้ประกอบเป็นเฟรมเสมือน ใช้สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นไร้คานภายใต้แรงกระทำด้านข้าง ต่อมา Vanderbilt (1981) ได้ทำการประยุกต์วิธีเฟรมเสมือนของ Corley และ Jirsa เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นไร้คาน ภายใต้แรงกระทำด้านข้างเช่นเดียวกัน

วัตถุประสงค์

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบ ในวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1. ศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบ ในระบบ 3 มิติ จากวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์ (Finite element)

2. พัฒนาวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบด้วยวิธีอย่างง่ายในแบบ 2 มิติ โดยประยุกต์แนวความคิดเสาเสมือน (Equivalent column) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แบบ 3 มิติด้วยวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์

3. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสติฟเนสยึดโยง (Attached stiffness), K_t กับตัวแปรต่าง ๆ คือ ความหนาของพื้น,h ความยาวช่วงของพื้น,L_1 ความกว้างของพื้น,L_2 โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ,E และสติฟเนสของเสา,K_c เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตามวิธีอย่างง่าย

4. ศึกษาเปรียบเทียบและหาความคลาดเคลื่อน ของการวิเคราะห์ตามวิธีอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นนี้ กับวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ

1. พฤติกรรมของโครงสร้างกำหนดให้อยู่ในช่วงอิลาสติกเท่านั้น นั่นคือหน่วยแรงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเครียดของวัสดุ

2. ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) ของคอนกรีตมีค่าคงที่เท่ากับ 0.20

3. แรงกระทำกับโครงสร้างเป็นน้ำหนักบรรทุกกระจายสม่ำเสมอในแนวดิ่ง

4. ในการวิเคราะห์จะพิจารณาแรงภายในแผ่นพื้นเฉพาะค่าโมเมนต์เท่านั้น และจะไม่รวมถึง ค่าแรงเฉือน

5. แบบจำลองที่ใช้สำหรับหาค่าสติฟเนสยึดโยง (Attached stiffness) กำหนดให้มีความยาวช่วงของพื้นเท่า ๆ กัน

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อจำกัด วิธีการ และการทำแบบจำลองของโครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบ ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์ (Finite element) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SAP IV

2. กำหนดตัวแปร และจัดรูปสมการที่จะใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและในการคำนวณหาค่าสติฟเนสยึดโยง (Attached stiffness)

3. สร้างแบบจำลองต้นแบบของโครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบ และกำหนดค่าของตัวแปรต่าง ๆ ให้กับแบบจำลองต้นแบบนั้น

4. วิเคราะห์แบบจำลองต้นแบบ ด้วยวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์ โดยเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้

5. นำผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์เหล่านั้น มาคำนวณหาค่าสติฟเนสยึดโยง, K_t ที่ตำแหน่งเสาแต่ละต้น

6. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสติฟเนสยึดโยง กับตัวแปรต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอย่างง่าย

7. วิเคราะห์ตัวอย่างโครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบหลาย ๆ กรณี ด้วยวิธีอย่างง่ายที่ได้พัฒนาขึ้น และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัยนี้ คือ การพัฒนาวิธีวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นพื้นท้องเรียบอย่างง่ายในแบบ 2 มิติ เพื่อให้สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณด้วยมือ หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็ตาม โดยผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ ด้วยวิธีไฟไนท์เอลเลเมนต์ มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ และเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบแผ่นพื้นท้องเรียบ