บทที่ 1
บทนำ

ความนำ

การวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กมีความซับซ้อนกว่าการวิเคราะห์แบบเดียวกันในโครงข้อแข็งเหล็ก. เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุ (material nonlinearity) ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีพฤติกรรมต่างจากโครงสร้างเหล็ก.

เหล็กเป็นวัสดุที่มีความเหนียว (ductility) และมีความกว้างมากในช่วงการไหลพลาสติกแท้-จริง (purely plastic flow) ซึ่งเป็นช่วงใช้งานในทฤษฎีพลาสติก. สมมุติฐานความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดแบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ (elastic perfectly plastic) จึงถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงเหล็ก. คอนกรีตเสริมเหล็กแตกต่างจากเหล็กคือมีความเหนียวในช่วงจำกัด (limited ductility), ความเครียดหลังช่วงคลากไม่แน่นอนอาจเป็นแบบความเครียดแข็งเพิ่ม (strain hardening) หรือแบบความเครียดอ่อนลด (strain softening) อย่างใดอย่างหนึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหน้าตัด,และปริมาณเหล็กเสริม (reinforcement) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและค่าความโค้ง (M-ϕ).

ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างอิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์อย่างง่าย (simplified finite element)โดยการแบ่งย่อยชิ้นส่วนโครงสร้าง (discretized element) เพื่อจำลองรูปแบบรอยร้าว(crack pattern) ของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก,สติฟเนสสร้างจากสมมุติฐานให้สติฟเนสของการดัด(flexural stiffness)แปรเปลี่ยนแบบพาราโบล่าเมื่อหน้าตัดเกิดการแตกร้าวและรวมการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต (geometric nonlinearity) เข้าไว้ด้วย. ขณะเดียวกันทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและค่าความโค้ง(M-ϕ) จากการวิเคราะห์หน้าตัดเพื่อนำไปปรับแก้ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุ(material nonlinearity)ในแต่ละขั้นตอนของการวิเคราะห์จนได้น้ำหนักบรรทุกวิกฤต.

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค.ศ. 1974 Corradi , Donato และ Maier เสนอการวิจัยแบบอินอิลาสติกของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 2 โดยอาศัยวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์ในการสร้างสติฟเนส. การวิเคราะห์กระทำโดย การเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (load control method) และเทคนิค Imposed rotation ซึ่งใช้จำลองผลในช่วงอินอิลาสติก, ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วน-

เล็กๆ (discretized elements) ในงานวิจัยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้ง โดยจำลองรูปแบบเป็นเส้นตรง 3 เส้น เพื่อแสดงจุดเริ่มแตก , จุดคลาก และจุดประลัย ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์เป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียวหกชั้น , รับแรงกระทำด้านข้าง และน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอในแนวดิ่งบนคาน ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมาซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 1

ค.ศ. 1978 Sirisreetreerux เสนอการวิจัยแบบไม่เป็นเชิงเส้นของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 1 โดยวิธีกระทำซ้ำ , มีขั้นตอนการพิจารณา 2 ขั้นตอน คือ การคำนวนความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุโดยคำนึงถึง P-MΦ curveในแต่ละชิ้นส่วนย่อย ผนวกเข้ากับการวิเคราะห์โครงสร้าง จากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงภายนอกและค่าความโค้งโดยมีค่าความโค้งเป็นตัวไม่รู้ค่าคำนวนจนกระทั่งแรงในแนวแกนและความโค้งที่ได้ไม่ต่างจากรอบการคำนวนที่ผ่านมาสติฟเนสสร้างจากสมการความสัมพันธ์ของคาน-เสา(beam-column) ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (discritized elements) ในแต่ละรอบการคำนวนมีการปรับปรุงสติฟเนสโดยคำนึงถึงการแตกร้าวของหน้าตัด แบบจำลองวัสดุในการวิเคราะห์,คอนกรีตใช้แบบจำลองของ Hognestad , เหล็กเสริมคำนึงถึงกำลังในช่วง hardenning โดยแบ่งเป็นช่วงเส้นตรงย่อย ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่ คานต่อเนื่อง , โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียวชั้นเดียว และสองช่วงคานสามชั้น เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

ค.ศ. 1979 Seniwongse เสนอการวิจัยการเปลี่ยนตำแหน่งของคานและโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กจนถึงจุดประลัย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 1 สติฟเนสสร้างจากแบบจำลองของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยรวมผลในช่วงอินอิลาสติกผ่านสปริงต้านทานการหมุน การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (load control method) , ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (discritized elements) แบบจำลองวัสดุในการวิเคราะห์ , คอนกรีตใช้แบบจำลองของ Whitney , เหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ ในงานวิจัยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งประกอบด้วยโดยจำลองรูปแบบเป็นเส้นตรง 2 เส้น เพื่อแสดงจุดคลากและจุดประลัย จุดหมุนพลาสติกกำหนดโดยการเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมแบบอินอิลาสติกโดยใช้สูตรของ Corley ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียวชั้นเดียวและสองชั้น เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

ค.ศ. 1985 Darvall และ Mendis เสนอการวิจัย อิลาสติก-พลาสติก แบบอ่อนตัวลงในช่วงปลายของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 1 สติฟเนสสร้างจากแบบจำลองของผลการอ่อนตัวในช่วงปลายของโครงสร้าง (softening effect) การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (load control method) ในงานวิจัยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งประกอบด้วยโดยจำลองเป็นเส้นตรง 3 เส้น เพื่อแสดงจุดคลาก, จุดเริ่ม-

อ่อนตัวลง และจุดประลัยซึ่งมีค่าโมเมนต์ต่ำกว่าโมเมนต์ที่จุดคลาก โดยจุดหมุนพลาสติกและความยาวของจุดหมุนพลาสติกกำหนดโดยสูตรของCorleyและSawyer ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานชั้นเดียวและสองชั้นไม่มีการเปรียบเทียบกับงานอื่น

ค.ศ. 1988 Metwallyและ Chen เสนอการวิจัยแบบไม่เป็นเชิงเส้นของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 2 สติฟเนสสร้างจากสมการความสัมพันธ์ของคานเสา (beam-column) ในแต่ละรอบการคำนวนมีการปรับปรุงสติฟเนส จากการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุได้สติฟเนสสัมผัสโดยวิธี central difference การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (load control method) แบบจำลองของวัสดุ , คอนกรีตใช้แบบจำลองของ Soliman และ Yu ซึ่งคำนึงถึงผลของเหล็กปลอก , เหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ ในการวิจัยได้พิจารณาถึง ความอ่อนตัวของจุดต่อ (joint flexibility) ร่วมด้วย ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียวชั้นเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

ค.ศ. 1988 Carol และ Murcia เสนอการวิจัยแบบไม่เป็นเชิงเส้นรวมผลของเวลาของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 2 โดยการแบ่งหน้าตัดเป็นชั้นย่อยๆ (layer) เพื่อหาคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุ และนำไปปรับปรุงสติฟเนส การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (load control method) ,ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (discritized elements) แบบจำลองของวัสดุในการวิเคราะห์,คอนกรีตใช้แบบจำลองของSargin,เหล็กเสริมใช้แบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่ เสา , คานต่อเนื่องสองช่วง เพื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบหรืองานวิจัยอื่น

ค.ศ. 1992 Kim และ Lee เสนอการวิจัยพฤติกรรมขั้นประลัยของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 1 โดยอาศัยวิธีไฟไนต์อิเลเม้นต์ในการสร้างสติฟเนส ในแต่ละรอบการคำนวนมีการปรับปรุงสติฟเนส โดยพิจารณาค่าความเค้นเพื่อเลือกใช้วิธีการแบ่งหน้าตัดเป็นชั้นย่อยๆ (layer) หรือไม่ใช้การแบ่งย่อยหน้าตัดในการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุของหน้าตัด การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง(displacement control method) แบบจำลองของวัสดุในการวิเคราะห์ , คอนกรีตใช้แบบจำลองหลากหลายในช่วงความเค้น-ความเครียดต่างๆ ได้แก่ Hognestad , FafitisและShah , VeboและGhali และ Otterและ Naaman,เหล็กเสริมเป็นแบบอิลาสติก-พลาสติกสมบูรณ์ ในงานวิจัยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้ง เพื่อคำนวนหาความยาวของการเกิดจุดหมุนพลาสติกประกอบในสูตร

ของ Shan ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์เป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียวชั้นเดียวเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

ค.ศ. 1993 Rasheed และ Dinno เสนอการวิจัยแบบไม่เป็นเชิงเส้นของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันดับที่ 2 อาศัยทฤษฎีของวัสดุ (mech. of solid) ในการสร้างสติฟเนส ในแต่ละรอบของการคำนวนมีการปรับปรุงสติฟเนสโดยคำนึงถึงตำแหน่งของจุดถ่วงอินอิลาสติก (inelastic centroid position)ซึ่งแปรผันในชิ้นส่วนของโครงสร้าง การวิเคราะห์กระทำโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (load control method) ชิ้นส่วนโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (discritized elements) ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่คาน , โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงคานเดียวชั้นเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ

<u>งานที่ทำในงานวิจัยนี้</u>

งานวิจัยที่จะศึกษาต่อไปนี้เป็นการนำหลักการวิเคราะห์อิลาสติกอันดับที่สอง จากการสร้างสติฟเนสเมตริกซ์ที่คำนึงถึงผลของการแตกร้าวของคอนกรีตในกรณีที่หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมากกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีตจะสมมุติให้ค่าสติฟเนสมีลักษณะแปรเปลี่ยนแบบพาราโบลาตลอดความยาวขององค์อาคาร โดยนำไปประยุกต์เพื่อการศึกษาพฤติกรรมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งพิจารณาความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต เนื่องจากผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและแรงตามแนวแกนในสภาวะที่โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งไป และความไม่เชิงเส้นทางวัสดุร่วมกัน โดยที่ความไม่เชิงเส้นทางวัสดุนั้นสามารถกระทำโดยวิธีวิเคราะห์หน้าตัด (section analysis) และใช้วิธีเพิ่มน้ำหนักขึ้นเรื่อยๆ (load control method) แล้วตรวจสอบการเกิดจุดหมุนพลาสติกจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและค่าความโค้ง (M-Φ)

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรม คำนวณแรงภายใน (internal force) และการเปลี่ยนตำแหน่ง (displacements)ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กขณะรับน้ำหนักบรรทุกจนถึงจุดวิบัติโดยพิจารณาความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงสร้าง(geometric nonlinearity)และความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุ(material nonlinearity) ประกอบกับการวิเคราะห์เมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นในโครงสร้าง(plastic hinge analysis)

2. ผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาและวิจัยขั้นสูงต่อไป

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งในระนาบ2มิติ
2. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความไม่เป็นเชิงเส้นทางวัสดุของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. ศึกษาข้อจำกัด สมมติฐาน และวิธีการวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการศึกษาที่ได้เพื่อการวิเคราะห์ดังกล่าว
5. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับงานวิจัยอื่นที่ผ่านมาและสรุป

ขอบข่ายการวิจัย

1. เป็นการวิเคราะห์อิลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. พิจารณาพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและแรงตามแนวแกนในสภาวะที่โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งไป.
3. พิจารณาพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางวัสดุของคอนกรีตเสริมเหล็ก.
4. พิจารณาถึงผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตและทางวัสดุของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
5. พิจารณาการเกิดจุดหมุนพลาสติกและเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกจะทำการเปลี่ยนสภาพความต่อเนื่องของจุดต่อนั้นๆเป็นแบบข้อหมุน
6. หน้าตัดของโครงสร้างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากและตำแหน่งเหล็กเสริมบนหน้าตัดสมมาตรกับระนาบ
7. ที่จุดต่อของชิ้นส่วนในโครงสร้างจะต้องเป็นจุดต่อแบบข้อแข็ง (rigid joint)
8. แรงภายนอกที่กระทำกับโครงสร้างเป็นแรงสถิตย์