บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

จากสภาพการก่อสร้างในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการก่อสร้างอาคารสูงในอัตราที่เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็นอย่างมาก ทำให้มีการพัฒนาโปรแกรมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เพื่อคำนึงถึงความปลอดภัยและได้โครงสร้างที่ประหยัด รวมถึงการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างจะช่วยให้การออกแบบโครงสร้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามปัญหาที่มักไม่ได้รับการพิจารณาในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างทั่ว ๆ ไป คือปัญหาการหดตัวที่แตกต่างของเสา (Differential column shortening) ซึ่งมีความสำคัญในอาคารสูง ปัญหานี้มีความสลับซับซ้อนมากเนื่องจากผลการแปรเปลี่ยนตามเวลาอันเนื่องมาจากการคืบ (Creep) และการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น (Shrinkage) ของคอนกรีตซึ่งทำให้เกิดการปรับกระจายหน่วยแรงภายใน นอกจากนี้การก่อสร้างเป็นขั้นตอนยังมีผลต่อการกระจายความเครียด และการหดตัวที่แตกต่างของเสาอีกด้วยตามปกติปัญหาดังกล่าวนี้มักจะไม่ต้องคำนึงถึงในอาคารที่มีความสูงระดับประมาณ 30-40 ชั้น เนื่องจากในระหว่างการก่อสร้างจะมีการปรับระดับชั้นที่ก่อสร้างทำให้ผลที่เกิดขึ้นลดน้อยลง แต่ถ้าอาคารมีความสูงมากไปกว่านั้นความสำคัญของปัญหานี้ก็จะยิ่งมากขึ้น จึงจำเป็นต้องนำมาพิจารณาประกอบในการออกแบบ และการก่อสร้างด้วย เนื่องจากการหดตัวที่แตกต่างกันของเสาอาจจะทำให้เกิดโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนขึ้นในบริเวณจุดต่อคานหรือพื้นกับเสา ถ้าหากมีค่ามากเกินไปแล้วจะทำให้เกิดการแตกร้าว (Cracking) ภายในอาคารขึ้นได้ ซึ่งจะนำไปสู่ความเสียหายต่อโครงสร้างหลัก นอกจากนี้ยังอาจมีผลต่อโครงสร้างรองส่วนที่ใช้สอย เช่น ประตู , หน้าต่าง และผนังกระจก (Curtain wall) ทำให้เกิดการแตกร้าวหรือใช้งานไม่ได้ เป็นต้น

1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

Khan , F.R., และ Fintel , M. (1965),(1966) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความยาวเสาในอาคารสูงที่พิจารณาผลของอุณหภูมิและน้ำหนักบรรทุก โดยใช้วิธีกราฟฟิค (Graphical method) และได้แสดงผลออกมาเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของเสาภายในและเสาภายนอกในรูปของเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่อย่างอิสระ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลจากความแข็งของพื้น (Rigid slab) ที่ช่วยลดการเคลื่อนที่อย่างอิสระ และช่วยส่งถ่ายน้ำหนักในระหว่างเสา

Manuel , R.F., และ MacGregor , J.G. (1967) ได้เสนอการวิเคราะห์เสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง โดยใช้วิธีการพิจารณาความไม่ต่อเนื่องของหน้าตัด , ความยาวขององค์อาคาร และช่วงระยะเวลาของน้ำหนักบรรทุกคงค้าง (Sustained loading) การวิเคราะห์ใช้วิธีการอินทิเกรตเชิงตัวเลข และวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and error) เพื่อหาความสมดุลย์ของลักษณะโครงสร้างภายใต้น้ำหนักกระทำ และแรงภายในที่เกิดขึ้นต่อโครงสร้าง ส่วนการพิจารณาความไม่เป็นเชิงเส้นของฟังก์ชันหน่วยแรงจากการคืบ กับความ

เครียดได้พิจารณาโดยใช้วิธีการของอัตราการคืบ (Rate of creep) เพื่อประมาณค่าการคืบของคอนกรีตภายใต้หน่วยแรงที่เปลี่ยนแปลง วิธีการที่นำไปใช้นี้ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง และบทบัญญัติอาคาร คือ ACI Building Code , National Building Code of Canada และ Recommendations of the European Concrete Committee

Fintel , M., และ Khan , F.R. (1969) ได้ศึกษาอิทธิพลของการคืบ และการหดตัว ที่มีต่อเสาในอาคารสูง ในการทำนายหาค่าการหดตัวของเสาในช่วงอินอีลาสติคจะพิจารณาผลของน้ำหนักบรรทุกกระทำคงค้างที่เพิ่มขึ้นตามขั้นตอนการก่อสร้าง พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของการคืบ และการหดตัวจะมีมากในช่วงแรก ๆ แต่จะลดน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลามากขึ้นเข้าสู่เวลาอนันต์ และชิ้นส่วนที่มีค่าอัตราส่วนของปริมาตรต่อพื้นที่ผิวของหน้าตัดมากหรือมีปริมาณเหล็กเสริมมากขึ้นจะช่วยลดค่าของการคืบ และการหดตัวให้น้อยลงได้

Fintel , M., และ Khan , F.R. (1971) ได้วิเคราะห์การหดตัวของเสาในอาคารสูง อันเป็นผลมาจากการคืบ และการหดตัว โดยพิจารณาการหดตัวที่แตกต่างกันระหว่างเสาต่อเสา หรือผนังต่อผนัง นอกจากนี้ยังได้คำนึงถึงขั้นตอนการก่อสร้างในการคำนวณด้วย ซึ่งได้พบว่าการหดตัวที่แตกต่างกันภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้างน้ำหนักจะส่งผ่านจากจุดรองรับที่หดตัวมากกว่าไปยังจุดรองรับที่หดตัวน้อยกว่า

Bazant , Z.P. (1972) ได้เสนอวิธีโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ (Age-adjusted effective modulus method) อันเป็นผลมาจากการคืบของคอนกรีต ซึ่งปรับปรุงมาจากวิธีการของ Trost (1969) โดยพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์อายุ (Aging coefficient) ทฤษฎีของวิธีโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุที่ Bazant เสนอขึ้นจะให้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นสำหรับปัญหาของการคืบเชิงเส้น และวิธีนี้จะให้ค่าละเอียดมากกว่าที่ได้จากวิธีอัตราการคืบ

Fintel , M.,และ Ghosh , S.K. (1984) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความยาวของเสาในอาคารสูง โดยพิจารณาทั้งในช่วงของอีลาสติค และอินอีลาสติค วิธีการจะแยกคิดระหว่างการหาค่าการหดตัวของอีลาสติคและผลเชิงเวลา (คือ การคืบ และการหดตัว) ซึ่งได้ทำการศึกษากับอาคารขนาด 40-50 ชั้นและ อาคาร 70-80 ชั้น พบว่าผลเชิงเวลาจากการคืบ และการหดตัวที่ทำให้เกิดการหดตัวของเสาในอาคารขนาด 70-80 ชั้น จะเริ่มมีความสำคัญมากขึ้นในการออกแบบอาคารสูง

Lukkunaprasit , P. (1985) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ผลของการคืบ โดยพิจารณารวมสติฟเนสของเหล็กเสริมไม่อัดแรง (Non-prestressed reinforcing steel) ในพจน์ของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ขั้วของชิ้นส่วนคอนกรีต

Liu , X.L., และ Chen W.F. (1987) ได้เสนอการวิเคราะห์อิทธิพลของการคืบ ที่มีผลต่อการกระจายของน้ำหนักในอาคารสูงคอนกรีตเสริมเหล็กในระหว่างการก่อสร้าง โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การคืบตามคณะกรรมการของ ACI 209 และใช้วิธีการของ Rusch-Jungwirth (CEB-FIP Model Code ,1978)

Gilbert , R.I. (1989) ได้เสนอการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงเวลาของหน้าตัดเชิงประกอบ โดยใช้วิธีโมดูลัสปรับแก้อายุ และวิธีอัตราการคืบ ซึ่งทั้ง 2 วิธีจะพิจารณาว่ามีความต่อเนื่องของความเครียดในทุกจุดของหน้าตัด

Samra , R.M. (1989) ได้เสนอแบบจำลองการคืบสำหรับเสา และคานคอนกรีตเสริมเหล็กเปรียบเทียบกับข้อกำหนดใน ACI Building Code (318M-83) และ British Standards Institution Standard BS 8110 โดยวิธีการหาค่าโมดูลัสประสิทธิผล (Effective modulus) ของหน้าตัดจะใช้วิธีลองผิดลองถูก และพิจารณาการ

ลดค่าของความแข็งขององค์อาคารที่มีคอนกรีตเป็นส่วนประกอบลง ขณะที่ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นของความเครียดในช่วงระยะยาวเป็นผลมาจากการคืบ และข้อดีของวิธีการนี้จะให้ค่าความละเอียดในการหาค่าการแอ่นตัว และหน่วยแรงในคอนกรีต และเหล็กได้ค่อนข้างดี

Bradford , M.A., และ Gilbert , R.I. (1990) ได้เสนอการวิเคราะห์เชิงเวลาของเสาเชิงประกอบที่รับน้ำหนักกระทำในแนวแกนแบบเยื้องศูนย์ (Eccentric axial load) โดยใช้วิธีโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุสำหรับการพิจารณาหน้าตัดเป็นแบบแตกร้าว (Cracked section) และได้คำนึงถึงผลเชิงเวลาของการคืบ และการหดตัวไว้ด้วย การวิเคราะห์จะพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเสาตามเวลา โดยใช้วิธีการคำนวณซ้ำ (Iteration) เพื่อปรับแก้หาค่าโมเมนต์อันดับสอง

Lee , H.M., และคณะ (1991) ได้เสนอการวิเคราะห์การคืบของอาคารสูงคอนกรีตเสริมเหล็กในระหว่างการก่อสร้าง ลักษณะของโครงสร้างใช้ระบบพื้นท้องเรียบ (Flat-plate) ที่ใช้พื้นคอนกรีตเป็นจุดรองรับการค้ำยันพื้นชั้นถัดไป วิธีการนี้จะใช้สำหรับการคำนวณหาค่าการกระจายหน่วยแรงของความเครียดในระบบโครงสร้างที่ทุก ๆ ขั้นตอนการก่อสร้างซึ่งจะรวมผลของการคืบไว้ด้วย

Prasada Rao , A.S. (1992) ได้เสนอการวิเคราะห์ผลเชิงเวลาของหน้าตัดคอนกรีตเชิงประกอบ โดยใช้วิธีโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ ซึ่งจะพิจารณาทั้งผลของการคืบ และการหดตัว การวิเคราะห์จะใช้หลักการเดียวกันกับการพิจารณาองค์อาคารคอนกรีตอัดแรงที่เสนอโดย Prasada Rao และ Jayaraman

Kim , H., และคณะ (1993) ได้ศึกษาอิทธิพลของเวลาในการก่อสร้างที่มีต่อการหดตัวของเสาในอาคารสูง 66 ชั้น โดยพิจารณาทั้งการหดตัวแบบอีลาสติค และอินอีลาสติค ส่วนเวลาในการก่อสร้างจะแบ่งเป็น 3 กรณีคือ กรณีแรกทุกชั้นใช้เวลาสร้าง 7 วันต่อชั้น , กรณีที่สองชั้นที่ 1-33 ใช้เวลา 15 วันต่อชั้น และชั้นที่ 34-36 ใช้เวลา 10 วันต่อชั้น และกรณีสุดท้ายใช้เวลาให้สอดคล้องกับตารางการทำงานจริง เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ทั้ง 3 กรณีจะให้ค่าที่แตกต่างกันน้อยมากประมาณ 1%-3%

Koutsoukis , M., และ Beasley , A.J. (1994) ได้เสนอการวิเคราะห์หาค่าความเป็นไปได้ของการหดตัวของเสาในอาคารสูง โดยใช้วิธีโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ (TBEMM) และวิธีทางด้านความน่าจะเป็น (Probabilistic) สำหรับแบบจำลองที่ใช้หาค่าการคืบ และการหดตัวของคอนกรีต จะอ้างอิงตามคณะกรรมการของ ACI 209 (1985) เป็นหลัก การวิเคราะห์พฤติกรรมคอนกรีตเสริมเหล็กในช่วงคิดผลเชิงเวลาจะใช้วิธีโมดูลัสปรับแก้อายุของ TBEMM ส่วนในการวิเคราะห์ทางด้านความน่าจะเป็นจะพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของคอนกรีตทางด้านสัมประสิทธิ์การคืบ , ความเครียดหดตัว (Shrinkage strain) และโมดูลัสยืดหยุ่นเข้าด้วยกัน

1.3 <u>วัตถุประสงค์ของการศึกษา</u>

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ คือ

1. เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์การหดตัวของเสาเชิงประกอบในอาคารสูง โดยพิจารณาตามขั้นตอนในการก่อสร้าง และคำนึงถึงอิทธิพลของการคืบ และการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น

2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และขั้นตอนการก่อสร้าง

3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปตามเวลาของเสาคอนกรีตหน้าตัดเชิงประกอบจากอิทธิพลการคืบและการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น

1.4 ขอบข่ายงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะพิจารณาโครงสร้างเป็นโครงข้อแข็งระนาบ 2 มิติ ประกอบด้วยหน้าตัดของชิ้นส่วนเชิงประกอบมีระนาบสมมาตรในแนวดิ่ง และหน้าตัดมีขนาดคงที่ตลอดความยาว (Prismatic member) โดยพิจารณาให้โครงสร้างรับน้ำหนักจากแรงกระทำในแนวดิ่งตามแนวแกนเป็นหลัก และในช่วงการใช้งานจะถือว่าหน้าตัดไม่เกิดการแตกร้าว (Uncracked section) งานวิจัยนี้ไม่คิดผลของแรงกระทำทางด้านข้าง , การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้างภายหลังการรับน้ำหนักกระทำจนเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งโคออร์ดิเนตของชิ้นส่วน (Displacement) และผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงการใช้งาน แบบจำลองการคืบ (Creep model) และแบบจำลองการหดตัว (Shrinkage model) ในงานวิจัยนี้ใช้ตามข้อกำหนดของคณะกรรมการ ACI 209 (1985)

1.5 ข้อสมมติฐานที่ใช้ในงานวิจัย

เนื่องจากในการศึกษาและวิจัยตามหัวข้อนี้ จะมีตัวประกอบที่พิจารณาและเงื่อนไขต่างๆที่เกี่ยวข้องมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สมมติฐานบางอย่างเข้ามาช่วยในงานวิจัย ซึ่งจะต้องให้มีความสอดคล้อง และเกี่ยวข้องกันใกล้กับความเป็นจริงมากที่สุด ดังจะกล่าวต่อไปดังนี้คือ

1. โครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยมากภายใต้แรงกระทำในช่วงใช้งาน
2. การแปรเปลี่ยนของความเครียดบนระนาบใด ๆ ถือว่าเป็นเส้นตรง
3. คุณสมบัติของวัสดุจะพิจารณาอยู่ในช่วงของความยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear-elastic) เท่านั้น
4. ความสัมพันธ์ของความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปโดยการคืบ กับหน่วยแรงที่กระทำ ถือว่าเป็นเส้นตรงในช่วงใช้งาน
5. ชิ้นส่วนต่าง ๆ จะถือว่าไม่เกิดการแตกร้าวในช่วงใช้งาน
6. การยึดเหนี่ยวกันระหว่างคอนกรีต และเหล็กเสริม ถือว่าเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์
7. การหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้นถือว่าเกิดขึ้นเท่ากันตลอดทั้งหน้าตัด
8. ความเครียดคืบที่เวลาใด ๆ เนื่องจากหน่วยแรงกระทำที่เวลา t ไม่ขึ้นกับหน่วยแรงที่กระทำก่อนและหลังเวลา t ดังนั้นความเครียดทั้งหมดที่เวลาใด ๆ เนื่องจากหน่วยแรงกระทำที่เวลาต่าง ๆ กันสามารถนำมารวมกันได้โดยตรงตามหลักการรวมผล (Principle of Superposition)

1.6 ประโยชน์ของการศึกษา

ในรายงานการวิจัยฉบับนี้ ผลที่คาดว่าจะได้รับและจะเป็นประโยชน์ต่อแนวทางในการศึกษาต่อไป คือ

1. สามารถหาค่าการหดตัวของเสาเชิงประกอบในอาคารสูงได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ตามขั้นตอนการก่อสร้าง

2. ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของหน่วยแรง และความเครียดที่เปลี่ยนแปลงไปในเสาเชิงประกอบ ภายใต้ผลของการคืบ และการหดตัวจาการสูญเสียความชื้น นอกเหนือจากน้ำหนักบรรทุกกระทำเพียงอย่างเดียว เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงการออกแบบได้ดียิ่งขึ้น

3. สามารถนำค่าการหดตัวของเสาเชิงประกอบที่คำนวณได้มาเป็นแนวทางพิจารณาป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้าง และผลอื่นๆ ในอนาคตได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย