บทที่ 1

การวิเคราะห์เชิงเวลาของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง

1.1 ความนำ

โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างทั้งในประเทศและต่างประเทศมาเป็นเวลากว่า 40 ปีแล้ว เป็นที่รู้จักกันดีทั่วไปว่าพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงเปลี่ยนแปรตามเวลาอันเนื่องมาจากผลของการคืบ (Creep) การหดตัว(shrinkage) ของคอนกรีต และการคลายแรงดึงของเหล็ก (Steel Relaxation) ในเหล็กเสริมอัดแรง ผลดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการลดเสื่อมของแรงอัดในเหล็กเสริมอัดแรง การปรับกระจายของหน่วยแรงภายใน และการโก่งตัวที่เพิ่มขึ้นซึ่งล้วนแปรเปลี่ยนตามเวลา ปัญหาเหล่านี้ในความเป็นจริงมีความสลับซับซ้อนมาก เนื่องจากมีผลของขั้นตอนการก่อสร้างเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ในการก่อสร้างแต่ละขั้นตอนจะทำการหล่อโครงสร้างทีละส่วน ผลของขั้นตอนการก่อสร้างทำให้ลักษณะของโครงสร้างในแต่ละขั้นตอนแตกต่างกันไป ดังนั้นน้ำหนักบรรทุกตายตัวบางส่วนจึงทยอยกระทำเข้ากับโครงสร้าง (ที่มีลักษณะแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอน) อีกด้วย นอกจากนั้นยังมีผลของความแตกต่างของเวลาทำให้ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ถูกหล่อที่เวลาที่แตกต่างกันทำให้ตัวโครงสร้างประกอบไปด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงที่มีอายุแตกต่างกันและถูกแรงกระทำที่เวลาแตกต่างกัน ดังนั้นการคืบ การหดตัวเนื่องจากการระเหยของความชื้นในคอนกรีตและการคลายแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะแตกต่างกันทั้งสิ้น สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการปรับประจายของแรงภายใน และ การโก่งตัวของโครงสร้างซึ่งมีความสำคัญทั้งในระหว่างการก่อสร้าง และช่วงอายุใช้งาน เช่น การควบคุมการโก่งตัวของปลายยื่นในการก่อสร้างสะพานแบบช่วงยื่นสมดุล (Balanced cantiliver construction) เพื่อให้สะพานทั้ง 2 ข้างยื่นมาบรรจบกันพอดี การควบคุมการโก่งตัวของพื้นคอนกรีตอัดแรงที่มีช่วงยื่นยาวให้อยู่ในพิกัดของการโก่งตัวเพื่อไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อองค์อาคารประเภทบอบบางเช่น กระจก หรือ การควบคุมหน่วยแรงในโครงสร้างสะพานต่อเนื่องไม่ให้เกินพิกัดที่กำหนด ดังนั้นการศึกษาปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้อย่างละเอียดจึงจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะสามารถควบคุมพฤติกรรมของโครง

สร้างทั้งในระหว่างการก่อสร้าง และในช่วงอายุใช้งานได้อย่างเหมาะสม

1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เป็นเวลาหลายสิบปีมาแล้วที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมต่าง ๆ ของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงที่แปรเปลี่ยนตามเวลาดังต่อไปนี้

Faber (1,2) ได้เสนอวิธีการโมดูลัสเทียบเท่า(Effective modulus method) ในการวิเคราะห์ปัญหาการคืบ โดยการลดค่าโมดูลัสของคอนกรีตด้วยค่าสัมประสิทธิ์การคืบ

Glanville (1,2) ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และ ความเครียดที่เวลาใด ๆ โดยการอินทีเกรตผลคูณระหว่างความเครียดยืดหยุ่นกับอัตราการคืบ โดยกำหนดให้อัตราการคืบที่เวลาใด ๆ มีค่าคงที่ เรียกว่า วิธีอัตราการคืบ (Rate of creep method)

Mchenry และ Maslow (1,2) ได้ใช้วิธีการรวมกันเชิงเส้น (Linear Superposition) ในการวิเคราะห์ปัญหาการคืบที่ขนาดของแรงกระทำไม่คงที่

England และ IIIston(1,2) ได้เสนอว่า ฟังก์ชันการคืบ (Creep function) เป็นผลรวมของความเครียดยืดหยุ่น, ความเครียดยืดหยุ่นดีเรย์ (delay elastic strain) และการไหล (flow) โดยที่ ความเครียดยืดหยุ่นดีเรย์ไม่ขึ้นกับเวลาที่ถูกแรงกระทำและอัตราการไหล (rate of flow) มีค่าคงที่ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดที่เวลาใด ๆ วิธีนี้เรียกว่า วิธีอัตราการไหล (rate of flow method)

Branson และ คณะ(3) ได้ให้สูตรสำเร็จในการหาปริมาณการลดเสื่อมของแรงอัด (Losses of prestress) และการโก่งตัวที่เพิ่มขึ้นในระยะยาวในเทอมของการโก่งตัวและสัมประสิทธิ์การคืบสุดท้าย (Ultimate creep coefficient)

Bazant(4) ได้ปรับปรุงวิธีโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ (Age - adjusted effective modulus) ,ซึ่งเสนอโดย Trost(1969), โดยได้เสนอวิธีการคำนวณค่าโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุจากฟังก์ชันการคลายตัว (Relazation function)

Ghali และคณะ(5) ได้ศึกษาผลการแปรเปลี่ยนตามเวลาของการโก่งตัวและปริมาณการลดเสื่อมของแรงอัดในชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง ทางสถิตย์โดยการอินทีเกรตเชิงเลขของความโค้ง (Curvature) ตลอดความยาวของชิ้นส่วน

Tadros และคณะ(6,7) ได้พิจารณาถึงผลตามเนื่องจากการคืบ การหดตัว

ของคอนกรีต และการคลายแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง พิจารณาหาการโก่งตัวระยะยาวโดยใช้วิธีการเป็นขั้น ๆ และได้ขยายขอบข่ายของงานวิจัยให้สามารถวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบใด ๆ ทั้ง หน้าตัดประกอบ (Composite section) และ หน้าตัดไม่ประกอบ (Non-composite section) โดยใช้วิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement method) พิจารณาผลที่แปรเปลี่ยนตามเวลาเป็นปัญหาความเครียดแรกเริ่ม (intial strain)

Martin(8) ได้ให้ค่าตัวคูณสำหรับการโก่งตัวระยะยาวของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

Stefanou G.D.(9) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ผลของการคืบที่มีต่อแรงภายในของโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนตทางสถิตย์ (Indeterminate structure) เมื่อรู้สมการของการคืบ (Creep function) แล้วใช้วิธีแรง (Force Method) สร้างสมการสมดุลของโคออร์ดิเนตที่ถูกยึดรั้งในรูปของสมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential equation)

Dilger W.H.(10) ได้เสนอวิธีวิเคราะห์ผลของความคืบที่มีผลต่อแรงภายในของโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนตทางสถิตย์ โดยนำเอาวิธีโมดูลัสปรับแก้ตามอายุเข้ามาประยุกต์กับวิธีแรง (Force method)

Dilger W.H.(11) ได้เสนอวิธีหน้าตัดแปลงการคืบ (Creep transformed section properties) โดยใช้วิธีโมดูลัสปรับแก้อายุ เพื่อวิเคราะห์ผลของการคืบในคานประกอบ (Composite beam)

Naaman(12) ได้เสนอวิธีการเส้นอัด (Pressure line method) เพื่อประมาณการโก่งตัวระยะยาวของคานคอนกรีตวางบนฐานธรรมดาโดยใช้ร่วมกับแนวความคิดโมดูลัสอีลาสติกเทียบเท่า

Lukkunaprasit(13) ได้เสนอวิธีวิเคราะห์ผลของความคืบเมื่อพิจารณาสติฟเนสของเหล็กเสริมไม่อัดแรง(Non-prestressed steel) โดยใช้วิธีการโมดูลัสเทียบเท่า

Tadros และคณะ(14) ได้เสนอวิธีการหาการโก่งตัวในระยะยาวของคานคอนกรีตอัดแรงวางบนฐานธรรมดาในรูปของสูตรสำเร็จซึ่งขึ้นอยู่กับความโค้ง (Curvature) ที่ปลายและกึ่งกลางช่วง (span) โดยการที่โก่งตัวระยะยาวเป็นผลรวมของการโก่งตัว 3 ส่วน คือ การแอ่นตัวคืบ (Creep deflection) เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกตายตัว การแอ่นตัวคืบเนื่องจากแรงอัดค้างในลวดอัดแรง และ การแอ่นตัวเนื่องจากการลดเสื่อมของแรงอัด โดยที่การโก่งตัวทั้งสามส่วนนี้ มาจากการโก่งตัวทันทีทันใดคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ (Multiplier) ซึ่งได้มา

จากการปรับปรุงค่าโมดูลัสอีลาสติก

Ghali และคณะ(15) ได้ศึกษาพฤติกรรมระยะสั้นและยาวของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน โดยพิจารณาถึงการคืบ การหดตัวของคอนกรีต การคลายแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง และปริมาณเหล็กเสริมไร้แรงอัดที่มีผลต่อการกระจายของความเครียด (Strain Distribution) และการลดเสื่อมของแรงอัดที่เวลาใด ๆ ที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด โดยใช้เงื่อนไขความสอดคล้องของความเครียด (Strain compatibility)

Ghali (16) ได้ขยายผลงานให้ครอบคลุมทั้งโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงและไม่อัดแรง (Prestressed and non-prestressed reinforce concrete) โดยพิจารณาว่าความเครียดตามแนวแกนและความโค้งที่หน้าตัดใด ๆ ซึ่งแปรเปลี่ยนตามเวลา อันเนื่องมาจากการคืบ การหดตัวของคอนกรีต และการลดเสื่อมของแรงอัดในช่วงเวลาใด ๆ ถูกยึดรั้งไว้ด้วยระบบแรงจำนวนหนึ่ง แล้วใช้ร่วมกับแนวความคิดโมดูลัสปรับแก้อายุ (Age - adjusted modulus of elasticity)

1.3 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ

1 พัฒนาวิธีการเชิงเส้นที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หาแรงภายใน และการแอ่นตัวที่แปรเปลี่ยนตามเวลาของโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตอัดแรงสองมิติ

2 วิเคราะห์โดยพิจารณาสภาพของโครงสร้างที่เปลี่ยนไปตามขั้นตอนการก่อสร้าง โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิท

3 ศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงทางด้าน การคืบ การหดตัวและการคลายแรงดึง อันเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตที่แปรเปลี่ยนตามเวลา

1.4 ขอบข่ายของงานวิจัย

ในงานวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาโครงข้อแข็ง 2 มิติ ซึ่งอาจประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่มีหน้าตัดซึ่งมีระนาบสมมาตรในแนวดิ่ง เช่น หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) ตัวไอ (I) และ รูปกล่อง (Box Girder) รับน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการเสียรูปในเชิงการดัดเท่านั้นหรืออีกนัยหนึ่งคือไม่เกิดการบิดในชิ้นส่วน งานวิจัยนี้ไม่คิดผลการทรุดตัวของฐานรากและผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงใช้งาน แบบจำลองการคืบ (Creep model) และแบบจำลองการหดตัว (Shrinkage model) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ตามข้อกำหนดของคณะกรรมการ ACI 209 (17) และ CEB-FIP(21)

1.5 ข้อสมมุติฐานที่ใช้

1 โครงสร้างมีการเปลี่ยนรูปร่างน้อยภายใต้แรงกระทำ

2 การแปรเปลี่ยนของความเครียดบนระนาบใด ๆ ถือว่าเป็นเส้นตรง

3 ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงไม่เกิดการแตกร้าวในช่วงใช้งาน ซึ่งเป็นจริงในโครงสร้างทั่วไปในกรณีที่พิจารณานำหนักบรรทุกค้าง (Sustained loading) เพียงอย่างเดียว

4 ผลของแรงยึดรั้งตามเวลาที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดใดๆ สามารถคำนวณเป็นแรงยึดรั้งที่ขั้วได้จากการเปลี่ยนตำแหน่งสมมุติที่ปลายชิ้นส่วน

5 การหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้นเกิดเท่ากันหมดตลอดทั้งหน้าตัด

6 ความเครียดคืบที่เวลาใดๆเนื่องจากหน่วยแรงกระทำที่เวลา t ไม่ขึ้นกับหน่วยแรงกระทำก่อนและหลังเวลา t ดังนั้นความเครียดทั้งหมดที่เวลาใด ๆ เนื่องจากหน่วยแรงกระทำที่เวลาต่าง ๆ กันสามารถรวมกันโดยตรง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย