หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

ในอดีตงานวิเคราะห์และทดลองส่วนใหญ่นั้นมุ่งการทำนายพฤติกรรมของเสาคอนกรีต-เสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักบรรทุกในระยะเวลาสั้น ๆ ส่วนผลระยะยาวอันเนื่องมาจากอิทธิพลต่าง ๆ เช่น คุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Nonlinear) ของคอนกรีตที่มีผลต่อสติฟเนสของคอนกรีต ผลของการโก่งตัวต่อโมเมนต์ในเสา ผลกระทบของคุณสมบัติของคานที่มีต่อเสา ผลของน้ำหนักบรรทุกค้าง (Sustained Loading) และประวัติการรับน้ำหนัก (Loading History) นั้นมีผู้ทำการศึกษาไว้น้อย นักวิจัยบางท่านก็เสนอรูปแบบการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากซับซ้อนมากจนไม่สามารถนำมาใช้ในปัญหาทั่วไปได้ บางท่านก็ใช้สมมติฐานที่ทำให้การวิเคราะห์ง่ายลงมาก แต่ก็ไม่สามารถทำนายพฤติกรรมได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการวิเคราะห์ผลระยะยาวแบบใดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป

1.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

โดยส่วนใหญ่แล้วงานวิจัยในอดีตทั้งในเชิงวิเคราะห์ และเชิงทดลองได้เน้นการทำนายพฤติกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้น้ำหนักระยะเวลาสั้น สำหรับพฤติกรรมของชิ้นส่วนภายใต้น้ำหนักระยะเวลานานนั้น มีการศึกษาเชิงทดลองไม่มากนัก การวิเคราะห์ที่มีผลของเวลาก็มักจะพิจารณาเฉพาะคาน หรือเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีปลายยึดหมุนเสียเป็นส่วนใหญ่ ผลงานต่อไปนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งที่ได้นำมาเป็นแนวทางในการตั้งสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้

Shank (20) ได้อธิบายการคืบ (Creep) ของคอนกรีตในรูปกำลังของเวลา จากข้อมูลที่ได้ทำการทดลองพบว่า การเปลี่ยนของอัตราการคืบต่อหน่วยแรงจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอจนถึงสามในสี่ (หรือมากกว่า) ของกำลังรับน้ำหนักประลัย กล่าวคือ

ความเครียดคืบของคอนกรีตต่อหน่วยแรง

$$y = Ct^{1/a}$$

$$y = (0.05 + 0.15\, f_c/f'_c)\, t^{1/a} \; ; \; f_c/f'_c \leq 0.75$$

เมื่อให้ $C, 1/a$ = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับหน่วยแรงและชนิดของคอนกรีตตามลำดับ

t = เวลาเป็นวัน

f_c = หน่วยแรงอัดของคอนกรีต

f'_c = กำลังรับน้ำหนักประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

ผลจากงานวิจัยพบว่า กำลังรับน้ำหนักประลัยที่แท้จริงมีค่าประมาณ 85% ของกำลังรับน้ำหนักประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก (รูปที่ 1.1)

Troxell, Raphael และ Davis (8) ได้ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการคืบของคอนกรีต และคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นเวลากว่า 30 ปี ตัวแปรที่สำคัญได้ถูกนำมาพิจารณาเกือบทั้งหมด และได้เสนอความเครียดคืบในรูปของฟังก์ชั่นลอกาลิธมิกของเวลา

Broms และ Viest (4,5) ได้ศึกษากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่รับน้ำหนักทั้งแบบตามแนวแกนและแบบเยื้องศูนย์ โดยได้ศึกษาทั้งกรณีที่ปลายยึดหมุนและปลายถูกยึดรั้ง และแสดงผลในรูปของเส้นโค้งสำหรับการออกแบบเสายาวคอนกรีตเสริมเหล็ก

Freudenthal และ Roll (22) ได้ทำการทดสอบแท่งคอนกรีตล้วน 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดรับน้ำหนักกระทำต่าง ๆ กันพบว่า การคืบของคอนกรีตจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับหน่วยแรงจนกระทั่งหน่วยแรงมีค่าประมาณ 20-26% ของกำลังรับน้ำหนักประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก และความสัมพันธ์จะไม่เป็นเชิงเส้นตรงเมื่อหน่วยแรงมีค่าสูงกว่านั้น แบบจำลองเชิงกล (Mechanical Model) ที่ใช้อธิบายพฤติกรรมการคืบของคอนกรีต ประกอบด้วยเอลลิเมนท์ของ Maxwell 1 อัน และ เอลลิเมนท์ของ Kelvin 3 อัน ต่อกันในลักษณะอนุกรม ซึ่งเอลลิเมนท์แต่ละอันจะแสดงพฤติกรรมย่อยแต่ละส่วนตามทฤษฎีการเกิดการคืบ และได้สรุปผลการทดลองว่า การใช้สมการการคืบเพียงสมการเดียวไม่สามารถแทนการตอบสนองของคอนกรีตที่เป็นเชิงเส้นตรงที่หน่วยแรงต่ำ ๆ และไม่เป็นเชิงเส้นตรงที่หน่วยแรงสูง ๆ ได้ โดยกำหนดว่าการคืบจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง กับหน่วยแรงจนถึงขีดจำกัดหน่วยแรง

(Stress Limit) f_o = 23% ของกำลังรับน้ำหนักประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน และไม่เป็นเชิงเส้นตรงหลังจากนั้น (รูป 1.2) ดังสมการ

$$\alpha = \bar{\alpha}_1 \qquad ; \frac{f_c}{f'_c} \leqq \frac{f_o}{f'_c}$$

$$\alpha = \bar{\alpha}_1 + 0.327\times 10^{-6}\left(\frac{f_c}{f'_c} - \frac{f_o}{f_c}\right) \qquad ; \frac{f_c}{f'_c} > \frac{f_o}{f'_c}$$

$$\epsilon_c = \frac{f_c}{f'_c}\left[\frac{C_m T_m (1-e^{-t/T_m})}{f_o/f'_c}\right] + \sum_{i=1,3,k} \frac{f_c}{f'_c}[\alpha_i f'_c (1-e^{-t/\tau_i})] \qquad ; \frac{f_c}{f'_c} \leqq \frac{f_o}{f'_c}$$

$$\epsilon_c = C_m T_m e^{2.62\left(\frac{f_c}{f'_c} - \frac{f_o}{f'_c}\right)}(1-e^{-t/T_m}) + \sum_{i=1,2,k} \frac{f_c}{f'_c}[\alpha_i f'_c (1-e^{-t/\tau_i})] \qquad ; \frac{f_c}{f'_c} > \frac{f_o}{f'_c}$$

เมื่อให้ ϵ_c = ความเครียดคืบของคอนกรีต มีหน่วยเป็นนิ้วต่อนิ้ว

τ_1, τ_2, τ_k = เวลาหน่วง (Retardation time) มีหน่วยเป็นวัน

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_k$ = ค่าคงที่มีหน่วยเป็น นิ้ว$^2\times$ ปอนด์$^{-1}\times$ วัน$^{-1}$

Büsch (19) ได้เสนอทฤษฎีทั่วไปสำหรับโครงสร้างคอนกรีต โดยการเสนอเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง กับความเครียดสำหรับคอนกรีต ซึ่งรับแรงอัดเป็นเวลาต่างๆ กัน หน่วยแรงในแต่ละไฟเบอร์ของคอนกรีตในบริเวณที่รับแรงอัด จะเกิดความเครียดเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่างกัน ความเครียดในแต่ละไฟเบอร์ในบริเวณที่รับแรงอัดอันเกิดจากการคืด ควรจะได้มาจากเส้นโค้งหน่วยแรง กับความเครียดที่รับน้ำหนักเป็นเวลาเท่ากัน ซึ่งเส้นโค้งเหล่านี้ดัดแปลงมาจากเส้นโค้งหน่วยแรง กับความเครียด ซึ่งได้จากการประยุกต์อัตราการเปลี่ยนความเครียดต่อเวลาต่าง ๆ กัน จากการทดลองพบว่า กำลังรับน้ำหนักบรรทุกค้างตามแนวแกนของคอนกรีตจะมีค่าอย่างน้อย 75% และมีค่าเฉลี่ยราว 80% ของกำลังรับน้ำหนักประลัยที่ได้จากการทดสอบระยะเวลาสั้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของความเครียดของไฟเบอร์นอกสุด ผลของแกนสะเทิน และรูปร่างของหน้าตัด โดยสรุปออกมาในรูปแผนภูมิ สำหรับออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็ก (รูป 1.3, 1.4 และ 1.5)

Breen และ Ferguson (3) ได้พิจารณาตรวจสอบเสายาวปลอกเดี่ยวคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง

Distefano (18) กล่าวไว้ตอนหนึ่งว่า คอนกรีตไม่ได้แสดงพฤติกรรมการคืบเชิงเส้นตรงอย่างสมบูรณ์เมื่อหน่วยแรงเกินขีดจำกัดอันหนึ่ง กล่าวคือ ความเครียดคืบจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะให้สมการของเขาใช้ได้กว้างขวางขึ้น จึงรวมผลของการไม่เป็นเชิงเส้นตรงไว้ด้วยคือ

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \int_{\tau_0}^{t} f(\sigma) f(t,\tau)\, d\tau$$

$$\phi(\varepsilon) = \sigma(t) + E\int_{\tau_0}^{t} \sigma(\tau)\, f(t,\tau)\, d\tau$$

$$F(\sigma) = \sigma + \beta\sigma|\sigma|$$

เมื่อให้ $\varepsilon(t)$ = ความเครียดที่เวลาใด ๆ

σ = หน่วยแรง

β = ค่าคงที่

$f(t,\tau)$ = ฟังก์ชั่นการคืบสำหรับโมดูลัสยืดหยุ่นที่คงที่ค่าหนึ่ง

จากความยุ่งยากซับซ้อนของสมการเหล่านี้ Distefano จึงทำการพิจารณาเฉพาะการโก่งเดาะเนื่องจากการคืบ (Creep Buckling) ของเสาเหล็กเท่านั้น

Pfrang และ Siess (6) ได้ทำการวิเคราะห์ระบบโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก และชิ้นส่วนเชื่อมต่อสมมติที่ปลายของเสา โดยพิจารณาเทียบเท่ากับสปริงซึ่งมีสติฟเนสทางการหมุน α (Rotational Stiffness)สรุปว่า ในเสาที่ไม่มีการยึดรั้ง การเพิ่มอัตราส่วนเยื้องศูนย์ที่ปลายและอัตราส่วนความชะลูด จะลดความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาที่กำหนดให้จะเพิ่มขึ้น เมื่อมีสัมประสิทธิ์การยึดรั้งเพิ่มขึ้น แต่ลดลงเมื่อมีการเยื้องศูนย์ของน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น

Manuel และ MacGregor (7) ได้ประยุกต์การวิเคราะห์แบบแยกส่วน (Discrete) สำหรับชิ้นส่วนคอนกรีต ชิ้นส่วนโครงสร้างแต่ละส่วนจะแบ่งเป็นชิ้นส่วนย่อย ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะถูกแบ่งย่อยลงไปเป็นไฟเบอร์ พฤติกรรมหน่วยแรงกับความเครียดที่เวลาใดๆ ของแต่ละไฟเบอร์ จะถูกกำหนดเป็นตัวแปรแยกส่วน แต่ละไฟเบอร์ถูกต่อกันเข้าโดยสมมติฐานของความเครียดระนาบ(Plane Strain) ที่ทุกหน้าตัด แรงและโมเมนต์ที่หน้าตัดนั้นพิจารณา

จากการอินทิเกรตเชิงตัวเลข (Numerical Integration) ซึ่งมีสภาพสอดคล้องกับแรงและโมเมนต์กระทำภายนอกโดยใช้กระบวนการลองถูกลองผิด (Trial and Error Procedure) การเปลี่ยนรูปของชิ้นส่วน คำนวณโดยใช้การอินทิเกรตเชิงตัวเลข การวิเคราะห์นี้แบ่งความเครียดออกเป็น 3 ส่วน คือ ความเครียดที่เกิดขึ้นทันทีทันใด ที่เกิดจากการหดตัว และที่เกิดจากการคืบ ความเครียดคืบได้มาจากการดัดแปลงเส้นโค้ง ซึ่งรายงานโดย Rüsch เส้นโค้งการคืบที่ดัดแปลงนี้รวมเอาผลของเวลาในการบ่ม กำลังของวัสดุที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา และผลของน้ำหนักบรรทุกค้างที่มีค่าสูง ซึ่งมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักแตกหัก (Crushing Strength) วิธีการนี้ให้ผลที่ละเอียดมาก

Selna (17) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมที่ขึ้นกับเวลาของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในระนาบเดียวกัน พิจารณาการเปลี่ยนรูปของชิ้นส่วนโดยการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง โดยการเสนอกฎการวิบัติของวัสดุ (Constitutive Failure Law)จากการสมมติเชิงเรขาคณิตหลายอย่าง

Breen และ Green (11) ได้ทำการทดลองเพื่อแสดงถึงพฤติกรรมของน้ำหนักบรรทุก-โมเมนต์-ความโค้ง-เวลา ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีลักษณะเกือบเหมือนกัน 10ต้น ซึ่งที่ปลายไม่มีการยึดรั้งและทราบค่าเยื้องศูนย์ที่ปลายทั้งสองข้างซึ่งเท่ากัน เสามีอัตราส่วนความชะลูด (h/T) ราว 19 ความเข้มของน้ำหนักบรรทุกค้าง P/P_0 มีค่าตั้งแต่ 0.18 ถึง 0.47 สำหรับค่า e/T มีขอบเขตกว้างคือมีค่าตั้งแต่ 0.038 ถึง 0.420 ผลการทดลองได้สรุปว่าขณะที่ชิ้นส่วนรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นไปสู่ระดับของน้ำหนักบรรทุกค้าง ค่าความโค้งและค่าโก่งตัวตลอดความยาวของชิ้นส่วนจะเพิ่มขึ้นในลักษณะปกติ เมื่อมีแรงตามแนวแกนเพิ่มขึ้น ลักษณะการโก่งตัวจะสมมาตรรอบแกนกึ่งกลางความสูงของเสา ผลรวมของแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ซึ่งบรรทุกค้าง ทำให้เกิดการวิบัติของชิ้นส่วนในเสา 2 ต้น ภายในเวลา 2 เดือนของการรับน้ำหนัก ชิ้นส่วนเหล่านี้รับน้ำหนัก $P/P_0 = 0.37$ P_{test}/P_{serve} มากกว่า 1.63 และ e/T มากกว่า 0.16 ตัวอย่างทดสอบซึ่งรับความเข้มของน้ำหนักตามแนวแกนอื่น ๆ ยังคงเปลี่ยนรูปต่อไปตามกาลเวลา และไม่มีสิ่งใดบอกว่าการเปลี่ยนรูปเหล่านี้จะถึงขีดจำกัดของมันภายหลังเวลาทดสอบได้ผ่านไปปีครึ่ง สำหรับน้ำหนักตามแนวแกนที่มีค่าสูง (P/P_0 มากกว่า 0.25) ความโค้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาที่ผ่านไป และมีค่ามากกว่า 4 เท่าของความโค้ง

เริ่มแรก การทำนายค่าความโค้งสำหรับการรับน้ำหนักระยะเวลานาน ได้อาศัยไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเครียดของ Hognestad โดยมีค่าออร์ดิเนตของความเครียดสองเท่า ซึ่งให้ผลที่น่าเชื่อถือสำหรับช่วงเวลา 3 ถึง 80 วัน ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของพวกเขาจะอาศัยคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง แต่ก็ยังมีข้อจำกัด คือ การสมมติรูปร่างการโก่งตัวเป็นรูปคลื่นโคไซน์ ซึ่งมีค่าถูกต้องทางทฤษฎีสำหรับการโก่งตัวทางด้านข้างที่น้อย ๆ เท่านั้น

Pagay, Ferguson และ Breen (2) ได้ใช้คอมพิวเตอร์ในการศึกษาอิทธิพลของเปอร์เซนต์เหล็กเสริมในคาน ที่มีต่อกำลังรับน้ำหนักของเสา และพฤติกรรมในโครงที่มีและไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง สรุปว่าผลของการเพิ่มเหล็กเสริมในคานจะช่วยทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาดีขึ้น

Goyal และ Jackson (12) ได้ทำการทดลองและวิเคราะห์เพื่อศึกษาเสาคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งชะลูด และมีปลายยึดหมุน โดยใช้วิธีการประมาณตามลำดับขั้น (Successive Approximation) พวกเขาชี้ให้เห็นว่าการลดลงของกำลังรับน้ำหนักภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างอาจจะเหลือเพียง 50% ของความสามารถในการรับน้ำหนักในระยะเวลาสั้น ซึ่งการลดลงที่สูงสุดเกิดขึ้นในกรณีที่ค่าเยื้องศูนย์น้อย ๆ ในขนาดราว 1/10 ของความลึกของหน้าตัด

Chovichien, Gutzwiller และ Lee (1,14) ได้ศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกค้างต่อเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยพิจารณาถึงตัวแปรหลัก 2 ตัว คือ อัตราส่วนความชะลูดของเสา และระดับน้ำหนักบรรทุกค้าง การวิเคราะห์ใช้วิธีการทางไฟไนท์เอลลิเมนท์ โดยเสนอไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเครียดที่เวลาใด ๆ สำหรับคอนกรีตที่ดัดแปลงมาจากไดอะแกรมหน่วยแรง กับความเครียดสำหรับคอนกรีตของ Hognestad โดยใช้ข้อมูลการคืบของคอนกรีตจากการศึกษาของ Rüsch (19) และ Troxell, Raphael และ Davis (8) การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ให้ผลที่สอดคล้องเป็นอย่างดีกับการทดลองที่ทำโดยนักวิจัยอื่น ๆ หลายท่าน จากการวิเคราะห์พบว่า ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสามีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนความชะลูด และระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น

Gusuma (23) ได้ศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักบรรทุกค้างต่อสติฟเนส และความสามารถในการรับน้ำหนักเยื้องศูนย์ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยอธิบายในรูปของการสมดุลย์และสมการความเข้ากันได้ (Compatibility Equation) ในการแก้ปัญหา โดยรวมของคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงเชิงเรขาคณิตและเชิงวัสดุ เช่น วีสโคลีลาสติค รอยแตกของคอนกรีตและผลของการถึงจุดคลากของเหล็กเสริม โดยใช้วิธีการทางไฟไนท์เอลลิเมนท์ และเทคนิคเชิงตัวเลขในการวิเคราะห์ และได้แสดงผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขในรูปของค่าโก่งตัวสูงสุดของเสาที่มีปลายยึดหมุนภายใต้น้ำหนักบรรทุกของต่าง ๆ กัน ตัวแปรหลักที่ใช้ในการพิจารณา คือ ปริมาณเหล็กเสริมตามยาว อัตราส่วนความชะลูดและค่าเยื้องศูนย์ของน้ำหนักบรรทุกค้าง และได้มีการทดสอบผลการวิเคราะห์กับการทดลองบางอัน และเทียบกับผลที่ได้จากการใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารของ ACI ปี 1977 ด้วย

Findley และคณะ (24) กล่าวว่าความเครียดซึ่งขึ้นกับเวลา อันมีผลมาจากหน่วยแรงคงที่ ซึ่งมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นตรงกับความเครียด $\Delta\sigma_0$ ซึ่งประยุกต์ที่เวลา $t = 0$ สามารถแทนได้ในรูปของโพลีโนเมียลดังต่อไปนี้คือ

$$\varepsilon_0(t) = (\Delta\sigma_0)\,\phi_1(t) + (\Delta\sigma_0)^2\,\phi_2(t) + (\Delta\sigma_0)^3\,\phi_3(t) + \ldots$$

ϕ_1, ϕ_2, และ ϕ_3 เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่ขึ้นกับเวลา ในแง่ของการปฏิบัติพบว่าใช้เพียง 3 เทอมแรกก็เพียงพอแล้ว สำหรับเมื่อมีการเพิ่มหน่วยแรง N ครั้ง

$$\varepsilon(t) = \sum_{i=0}^{N} (\Delta\sigma_i)\,\phi_1(t-t_i) + \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} (\Delta\sigma_i)(\Delta\sigma_j)\phi_2(t-t_i,\ t-t_j)$$

$$+ \sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}\sum_{k=0}^{N} (\Delta\sigma_i)(\Delta\sigma_j)(\Delta\sigma_k)\phi_3(t-t_i,\ t-t_j,\ t-t_k)$$

สำหรับหน่วยแรงที่แปรเปลี่ยนต่อเนื่องตามเวลา

$$\varepsilon(t) = \int_0^t \phi_1 (t - \xi_1)\, \dot{\sigma}(\xi_1) d\xi_1 + \int_0^t \int_0^t \phi_2(t-\xi_1, t-\xi_2)\dot{\sigma}(\xi_1)\, \dot{\sigma}(\xi_2) d\xi_1 d\xi_2$$

$$+\int_0^t \int_0^t \int_0^t \phi_3(t-\xi_1, t-\xi_2, t-\xi_3)\dot{\sigma}(\xi_1)\dot{\sigma}(\xi_2)\, \dot{\sigma}(\xi_3) d\xi_1\, d\xi_2\, d\xi_3$$

จะเห็นว่าความสัมพันธ์เหล่านี้ค่อนข้างยุ่งยากไม่เหมาะแก่การนำมาใช้แก้ปัญหา

จากผลงานต่าง ๆ ในอดีตที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการคืบในคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองเชิงกลแทนพฤติกรรมของคอนกรีตเสริมเหล็ก

2. การแก้ปัญหาโดยใช้ไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีต เมื่อรับน้ำหนักเป็นเวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเครียดของ Hognestad

จากการศึกษาของ Shank (20), Freudenthal และ Roll(22), Distefano (18), Selna (17), Gusuma (23) และ Finley และคณะ (24) พบว่าความเครียดของคอนกรีตมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับหน่วยแรงที่เกิดขึ้น การใช้แบบจำลองเชิงกลมีความลำบากในการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการคืบในชิ้นส่วน คอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดหน่วยแรงไม่คงที่ตลอดหน้าตัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดมีค่าสูง ๆ นอกจากนี้พารามิเตอร์ที่ใช้ยังขึ้นกับหน่วยแรงบนหน้าตัด คุณสมบัติของคอนกรีต และสภาพในการรับน้ำหนักนั้น ยังมิได้มีผู้สรุปเป็นตัวเลขที่แน่นอน ซึ่งผู้ทำการวิจัยจำต้องหาค่าพารามิเตอร์เองเป็นเฉพาะกรณีไป

จากการศึกษาของ Rüsch (19) ซึ่งได้เสนอแนวความคิดในการใช้ไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีต เมื่อชิ้นส่วนรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งได้พิจารณาถึงผลของการที่ชิ้นส่วนมีหน่วยแรงไม่คงที่ตลอดหน้าตัด ทำให้อัตราการเปลี่ยนความเครียดที่ส่วนต่าง ๆของหน้าตัดไม่เท่ากัน ตามหน่วยแรงที่เกิดขึ้น เมื่อมีเวลาในการรับน้ำหนักเท่า ๆ กัน ตัวพารามิเตอร์ที่ใช้คือ f'_c ซึ่งหาได้ไม่ยาก และเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้มีผู้วิจัยหลายกลุ่ม กล่าวคือ Manuel และ MacGregor (7) , Goyal และ Jackson (12) และ

Chovichien, Gutzwille และ Lee (1, 14) ได้นำแนวความคิดของ Rüsch (19) มาประยุกต์เปรียบเทียบกับผลการทดลองต่าง ๆ พบว่าค่าจากการวิเคราะห์สอดคล้องการผลการทดลองเป็นอย่างดี

ในการวิจัยนี้จะวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แนวความคิดของไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีต เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลาต่าง ๆ กันซึ่งได้ดัดแปลงมาจากไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเคียดของ Hognestad

1.3 จุดประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก และปริมาณเหล็กเสริมในคาน ที่มีต่อพฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงอาคารภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง จะพิจารณาถึงอิทธิพลของคานในรูปของอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกทั้งหมดของคาน (b/T) และปริมาณเหล็กเสริมในคาน (p) โดยกำหนดให้อัตราส่วนความยาวช่วงคานต่อความลึกทั้งหมดของคาน (L/T) มีค่าไม่เกิน 30 เพื่อควบคุมมิให้มีค่าโก่งตัวในคานมากเกินไป (2) เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนสติฟเนสของเสาต่อคานมีค่าคงที่ต่าง ๆ กัน

การวิเคราะห์จะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์โดยอาศัยไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีต เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งดัดแปลงมาจากไดอะแกรมหน่วยแรงกับความเคียดของ Hognestad โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์กับผลการทดลองหลายชุด หลังจากนั้นทำการศึกษาโครงอาคารจำนวน 504 โครง โดยแบ่งออกเป็น(1) โครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง เป็นจำนวน 252 โครง โดยให้รับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลาสั้น จำนวน 108 โครง ให้รับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่าเป็น 40% และ 60% ของกำลังรับน้ำหนักระยะเวลาสั้นของโครงที่มีลักษณะเดียวกัน โดยมีระยะเวลาในการรับน้ำหนักบรรทุกค้าง 25 ปี เป็นจำนวนอย่างละ 72 โครง และ (2) โครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง จำนวน 252 โครง ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์เช่นเดียวกับโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ผลการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบที่เสนอโดยมาตรฐานการออกแบบอาคาร ACI318-83