บทที่ 1

บทนำ

บทนำ

ในอดีตที่ผ่านมา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในประเทศไทย นิยมใช้กัน 2 วิธี คือ 1) การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก (Working Stress Design) เป็นการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างต้านทานแรงต่างๆเฉพาะในช่วงอีลาสติกของกำลังวัสดุ หน่วยแรงที่ยอมให้มีความสำคัญเป็นเส้นตรง และจะให้พฤติกรรมทางโครงสร้างเป็นเส้นตรงในช่วงของการใช้งานเท่านั้น มิอาจทราบพฤติกรรมหลังช่วงดังกล่าว 2) การออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design) เป็นการออกแบบใช้ความสามารถด้านทานแรงต่างๆ จากกำลังของวัสดุที่เกินช่วงอิลาสติก และให้พฤติกรรมควบทั้งช่วงอิลาสติกของการใช้งานและในช่วงที่ไร้เส้นตรงเผื่อไว้หลังการใช้งาน แต่จะสื่อให้เห็นถึงพฤติกรรมทั้งด้านกำลังและด้านความเหนียวของโครงสร้าง อย่างไรก็ดี การออกแบบทั้ง 2 วิธีข้างต้น ยังคงใช้การวิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างด้วยทฤษฎีอีลาสติกแล้วจึงคำนวนหาปริมาณของเหล็กเสริมตามวิธีดังกล่าว

การออกแบบโครงสร้างตั้งแต่ดั้งเดิมจะใช้การสมดุลของแรง แยกเป็นแรงอัด, แรงดึง และแรงเฉือนเป็นพื้นฐานอยู่แล้ว โดยยึดหลักการว่าส่วนที่เป็นคอนกรีตมีหน้าที่รับแรงอัดและเหล็กเสริมเป็นส่วนช่วยรับแรงดึง หากมีแรงเฉือนก็ให้คอนกรีตและเหล็กเสริมรับร่วมกัน แต่การกำหนดความเหนียวของโครงสร้างจะอยู่ที่ปริมาณเหล็กเสริม เพื่อควบคุมให้การวิบัติเกิดขึ้นในเหล็กที่มีความเหนียวทางโครงสร้างมากกว่าการวิบัติในคอนกรีตซึ่งมีลักษณะเปราะกว่า

อย่างไรก็ดี วิธีการออกแบบดังกล่าวยังต้องมีการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นก่อน เช่น โมเมนต์(M), แรงเฉือน(V), แรงตามแกน(N)หรือแรงบิด(M_T) ด้วยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบทั่วๆไป แล้วจึงพิจารณาขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็ก แต่วิธีการดังกล่าวไม่ได้แสดงให้เห็นถึงทิศทางของการกระจายแรงภายในโครงสร้างนั้นทั้งหมด และในบางกรณีเช่นบริเวณที่มีการกระจายความเครียดตามยาวไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงจากแนวแกนสะเทิน หน่วยแรงภายในสับสน เช่นในโครงสร้างคานลึกหรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปร่างทางเรขาคณิต การวิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นที่หน้าตัด (Sectional Force)เพื่อที่จะนำมาออกแบบนั้น ก็จะให้ค่าที่ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของแรงภายในที่เกิดขึ้นจริง

การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ในเบื้องต้นแล้ววิศวกรผู้ออกแบบจำเป็นต้องรู้พฤติกรรมการกระจายของแรงภายในชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งหมดก่อน ดีกว่าที่จะไปใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่ยุ่งยากหรือใช้สูตรขั้นสูง แต่ขาดความเข้าใจพื้นฐานของการกระจายแรงภายใน ซึ่งการที่ได้รู้และเข้าใจการกระจายของแรงภายในโครงสร้างทั้งหมดนั้น จะทำให้เราสามารถตรวจสอบกำลังคอนกรีตและให้รายละเอียดได้สอดคล้องกับพฤติกรรมจริง

การใช้วิธีการจำลองแบบแรงภายในให้เป็นแรงอัดและแรงดึง (Strut and Tie Model) นี้สามารถใช้ได้กับทุกส่วนของโครงสร้าง ได้แก่ชิ้นส่วนรับแรงดัด, แรงเฉือน เช่น คาน ,คานลึกและฐานรากเป็นต้น แม้แต่โครงสร้างที่มีการเจาะช่อง หรือรูปร่างทรงเรขาคณิตเปลี่ยนแปลงไป ก็สามารถวิเคราะห์หาแรงภายในได้สอดคล้องกับพฤติกรรมมากที่สุด หลักการคือการทำให้เกิดสมดุลของแรงภายนอกเท่ากับแรงภายใน และเมื่อได้ค่าของแรงแล้วจะสามารถตรวจสอบขนาดคอนกรีตและหาปริมาณเหล็กเสริมได้ จากหลักการที่ให้แรงอัดแยกรับด้วยคอนกรีตและแรงดึงแยกรับด้วยเหล็กเสริม ทั้งนี้ยังสามารถทราบการกระจายแรงทุกๆส่วนของโครงสร้างที่สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการให้รายละเอียดเหล็กเสริมใกล้เคียงกับพฤติกรรมมากที่สุด

จากชื่อ "แบบจำลองด้วยแรงอัดและแรงดึงภายใน" เพื่อให้การเขียนสั้นๆและมีความหมายชัดเจน ต่อไปในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกว่า "แบบจำลองสตรัท-ไท"

<u>งานวิจัยที่ผ่านมา</u>

ในการวิเคราะห์ออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น ได้มีแนวคิดในการแทนพฤติกรรมของแรงด้วยแบบจำลองที่เป็นโครงข้อหมุน (Truss Model) ประกอบไปด้วยส่วนที่รับแรงอัดและส่วนที่รับแรงดึง ซึ่งกล่าวไว้ว่าถูกริเริ่มโดย Ritter ในปี ค.ศ. 1899 โดยอธิบายว่าหลังจากคานมีการร้าว การกระจายของแรงภายในจะเป็นลักษณะแบบโครงข้อหมุน คือคอนกรีตรับแรงอัดแนวทแยงจะประพฤติตัวเหมือนชิ้นส่วนแนวทแยงในโครงข้อหมุน ขณะที่เหล็กปลอกจะเหมือนกับชิ้นส่วนรับแรงดึงแนวดิ่ง และคอร์ดล่างของโครงข้อหมุนก็คือเหล็กเสริมรับแรงดึงตามยาว ส่วนคอนกรีตรับแรงอัดส่วนบนจะเหมือนกับคอร์ดบนของโครงข้อหมุนนั้น ซึ่งหลังจากนั้นได้มีผู้วิจัยท่านอื่นๆได้ทำการศึกษาและเผยแพร่ออกมาเป็นบทความในเอกสารต่างๆซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

Thurlimann[6] ศึกษาการหากำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กบนพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลาสติก(Plastic Analysis)ของการใช้แบบจำลองโครงข้อหมุน(Truss Model) ซึ่งประกอบด้วยคอร์ดรับแรงอัด,คอร์ดรับแรงดึงที่ขนานกัน, เหล็กปลอกในแนวดิ่งและมีคอนกรีตรับแรงอัดในแนวทแยงที่มุมเอียงต่างๆ จากผลการพิจารณาความสัมพันธ์ของการร้าวและการคลากในเหล็กเสริม ได้เสนอการจำกัด

ค่ามุมเอียงของคอนกรีตรับแรงอัดแนวทแยง θ โดยที่ $0.5 \leq \tan\theta \leq 2$ หรืออยู่ในช่วงของ 26.5° - 63.4°

Marti[3] อธิบายการออกแบบและให้รายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยพิจารณาสภาพสมดุลและกำลังประลัย ตามหลักการขอบเขตล่าง(Lower-Bound Approach) ทั้งยังได้เสนอองค์ประกอบพื้นฐานของแบบจำลองคือชิ้นส่วนรับแรงอัดและชิ้นส่วนรับแรงดึง(Strut and Tie), โนด(Nodes) ,การกระจายแรงอัดรูปพัดและรูปส่วนโค้ง(Fans and Archs) โดยการนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างผนังและคานลึก นอกจากนี้ยังเสนอหลักการออกแบบคานโดยเริ่มจากเขียนรูปแบบจำลองโครงข้อหมุนให้ได้สัดส่วนที่เป็นจริงกับคานที่กำลังออกแบบ จากนั้นวิเคราะห์หาแรงภายในชิ้นส่วนของแบบจำลองเสมือนกับการหาแรงภายในโครงข้อหมุน แล้วตรวจสอบกำลังต้านของคอนกรีตและเหล็กเสริมภายใต้น้ำหนักประลัย Marti เสนอการจำกัดค่ากำลังอัดของคอนกรีตของชิ้นส่วนสตรัทและโนดเท่ากับ $0.6f_c'$

Collins , Mitchell[5] ศึกษาการออกแบบกำลังรับแรงเฉือนและแรงบิดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ทฤษฎีการกระจายของหน่วยแรงอัด(Compression Field Theory) ซึ่งทฤษฎีนี้พัฒนามาจากแบบจำลองโครงข้อหมุน แต่ได้เพิ่มการพิจารณาเรื่องความสอดคล้องของรูปร่างและความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ และเสนอการจำกัดค่ามุมเอียงของคอนกรีตรับแรงอัดแนวทะแยง(Diagonal Compression) บนพื้นฐานการพิจารณาเรื่องการแตก(Crushing)ของคอนกรีต และควบคุมการร้าวแนวทะแยงดังนี้ สำหรับชิ้นส่วนที่เกิดหน่วยแรงเฉือนสูงๆควรใช้มุมเอียงที่ไม่แตกต่างจาก 45° มากนัก แต่สำหรับกรณีที่เกิดหน่วยแรงเฉือนต่ำๆ สามารถเลือกมุมเอียงได้ในช่วง $10^{\circ} \leq \theta \leq 80^{\circ}$ ต่อมา Collins , Mitchell[2] สรุปการออกแบบด้านแรงเฉือนซึ่งเป็นบางส่วนของ 1984 Canadian Code โดยอยู่บนพื้นฐานของของทฤษฎี Compression Field Theory ในข้อกำหนดของ Canadian Code ได้จำกัดกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแนวทะแยงโดยพิจารณาผลกระทบจากความเครียดดึงหลัก(Principal Tensile Strain) ε_1 ซึ่งส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงดังนี้ $f_{ce} = \dfrac{f_c'}{0.8+170\varepsilon_1}$ โดยค่าความเครียดดึงหลัก ε_1 สามารถหาได้จากความสอดคล้องกับความเครียดตามยาว ε_x, สำหรับในส่วนบริเวณ Disturbed Regions เสนอการจำกัดค่ากำลังอัดของโนดคอนกรีตเท่ากับ $0.85f_c'$ ของกรณีโนดที่ล้อมรอบด้วยสตรัท, $0.75f_c'$ กรณีโนดที่มีส่วนของไทเข้ามาหนึ่งทิศทางและ $0.60f_c'$ กรณีโนดที่มีส่วนของไทเข้ามามากกว่าหนึ่งทิศทาง

Schlaich, Schafer, Jennewein[1] เสนอการออกแบบด้วยวิธี "Strut and Tie Model" โดยการนำหลักการไปประยุกต์ใช้ออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในหลายประเภท ไม่ได้จำกัดเฉพาะคานเพียงอย่างเดียวเหมือนในอดีต ทั้งนี้ได้นำหลักการของ Saint Venant มาแบ่งส่วนของโครงสร้างออกเป็น

2 ส่วนคือ B-regions หมายถึงส่วนที่มีการกระจายหน่วยแรงที่หน้าตัดเป็นไปตามสมมติฐานของเบอร์นูลลีและ D-regions หมายถึงส่วนที่มีการกระจายหน่วยแรงแบบสับสนไม่ต่อเนื่องซึ่งมักเกิดบริเวณที่น้ำหนักแบบจุดกระทำหรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้าง สำหรับการสร้างแบบจำลองในส่วนของ D-regions Schlaich et al[1] แนะนำให้พิจารณาจากทิศทางของหน่วยแรงหลัก (Principal Stress) บนพื้นฐานการวิเคราะห์แบบอีลาสติกร่วมกับการพิจารณาจากวิธีเส้นทางของแรง (Load Path Method) นอกจากนี้ยังเสนอการประยุกต์หลักการพลังงานสะสมต่ำสุด(Minimum Stain Energy) มาใช้เลือกแบบจำลองสตรัท-ไทที่ดีที่สุด

Rogowsky, Macgregor[18] ได้ศึกษาถึงการออกแบบคานลึก (Deep Beam) โดยอาศัยแบบจำลองสตรัท-ไท สรุปข้อมูลเบื้องต้นว่าจากการทดสอบกำลังของคานลึกโดยทำนายผลจาก Code ACI 318-83 พบว่าสำหรับคานลึกจุดรองรับธรรมดา (Simple Beam) การออกแบบด้วยสูตร ACI จะให้ค่าเชิงอนุรักษ์ แต่ในทางตรงกันข้ามสำหรับคานลึกต่อเนื่อง (Continuous Beam) กลับให้ค่าผลการทำนายที่สูงกว่าการทดสอบจริงซึ่งเป็นการไม่ปลอดภัย ที่เป็นเช่นนี้ท่านผู้วิจัยให้เหตุผลว่าสูตรของ Code ACI ดังกล่าว มิได้มาจากพื้นฐานของแบบจำลองที่ชัดเจน ในการออกแบบคานลึกโดยอาศัยแบบจำลองสตรัท-ไทนั้นจะแสดงการกระจายของหน่วยแรงภายในได้ชัดเจนกว่า ผู้วิจัยได้แนะนำว่าในแบบจำลองที่สร้างขึ้น มุมเอียงของสตรัทควรอยู่ระหว่าง 25°- 65° กับแกนของชิ้นส่วนนั้น ซึ่งตัวของสตรัทหลัก(Major Strut) จะต้องอยู่ในช่วง $\pm 15^{\circ}$ กับแนวของทิศทางของหน่วยแรงอัด (Elastic Compressive Stress Trajectories) และได้จำกัดค่ากำลังอัดของคอนกรีต เท่ากับ $0.6f_c'$

Adebar, Kuchma ,Collins[22] ได้ศึกษาถึงการนำแบบจำลองสตรัท-ไท ไปใช้กับการออกแบบฐานราก (Pile Caps) ซึ่งให้เหตุผลว่าปัจจุบัน Code ACI ที่ใช้ในการออกแบบนั้นยังไม่กระจ่างชัดในด้านของพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นเพียงการพิจารณาที่หน้าตัดของแรง (Sectional Force) ในการวิจัยนี้ได้นำผลการทดสอบกำลังของ Pile Caps ไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์จาก Code ACI และ Canadian Code (ทำนายน้ำหนักประลัยโดยจำกัดค่าหน่วยแรงอัดบริเวณ Column Bearing ไว้เท่ากับ $0.85f'_c$) ซึ่งผลการทำนายพบว่าทาง Canadian Code จะให้ผลที่ใกล้เคียงมากกว่า

Jirsa, Breen, Bergmeister, Barton, Anderson and Bouadi[11] ทดสอบบริเวณส่วนของโนดของ Dapped Beam ที่เป็น CCT-node โดยใช้หลักการของสตรัท-ไท ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการสตรัท-ไทมีประโยชน์อย่างมากในการให้รายละเอียดเหล็กเสริมที่สอดคล้องกับพฤติกรรมจริง ต่อมา Bergmeister, Breen, Jirsa[23] ศึกษาวิธีการหาขนาดของโนดโดยอ้างอิงจากผลการทดสอบ แล้วเสนอออกมาในรูปการจำกัดกำลังอัดคอนกรีตของ CCC , CCT และ CTT-nodes ในลักษณะที่ถูกโอบ(Confine)และไม่โอบ รวมทั้งเสนอสมการการหาระยะยึดรั้งของเหล็กเสริมภายในโนดอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1) ศึกษาพฤติกรรมของแรงภายในของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้หลักการของแบบจำลองด้วยแรงอัดและแรงดึง (Strut and Tie Model)
2) ประยุกต์การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กกับแรงภายในตามวิธีการแรงอัดและแรงดึง โดยเสนอแบบจำลองสตรัท-ไทสำหรับโครงสร้างคาน, คานลึก, คานมีช่องเปิด, ฐานรากและเสา
3) กำหนดการเขียนรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างให้สอดคล้องกับพฤติกรรมจริงและแบบจำลองของสตรัทและไท

ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษาของวิทยานิพนธ์นี้จำกัดขอบข่ายการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนท์เอลีเมนต์ในการกำหนดรูปร่างของแบบจำลองสตรัท-ไทของโครงสร้างคาน, คานลึก, คานมีช่องเปิด, ฐานรากและเสาจากตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดหลักการสำหรับออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กดังกล่าวและจะมีการเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษานี้ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุดและทราบแนวทางที่ออกแบบชิ้นส่วนดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสำหรับโครงสร้างบางประเภทนั้นการออกแบบด้วยวิธีการดั้งเดิมยังไม่เหมาะสม เนื่องจากไม่สามารถมองเห็นและเข้าใจพฤติกรรมของแรงภายในที่เกิดขึ้นจริง เช่นคานลึก, คานมีช่องเปิด วิธีการที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้จะให้ได้มากกว่าในแง่ของทราบการกระจายแรงภายทั้งระบบ ทำให้สามารถตรวจสอบกำลังคอนกรีตได้โดยตรง นอกจากนั้นยังสามารถเขียนรายละเอียดการเสริมเหล็กที่สอดคล้องกับแรงภายในได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น