บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

ในปัจจุบันโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากข้อได้เปรียบในหลายๆด้านเมื่อเทียบกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผลจากการอัดแรงทำให้สามารถควบคุมหน่วยแรงดึงของคอนกรีตในชิ้นส่วนโครงสร้างให้น้อยที่สุดตามต้องการอันนำมาซึ่งการใช้งานของหน้าตัดให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้ดีกว่าการรับแรงดึง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงมีขนาดเล็กและเบาซึ่งจะเป็นผลให้ประหยัดโครงสร้างฐานรากตามไปด้วย นอกจากนั้นการใส่แรงอัดที่เหมาะสมในคานคอนกรีตอัดแรงยังสามารถควบคุมระยะโก่ง (Deflection) และการแตกร้าว (Cracks) ทำให้โครงสร้างมีความทนทานต่อบรรยากาศที่กัดกร่อน (Corrosive Atmosphere) มีกำลังต้านแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจากการอัดแรงการเสริมเหล็กปลอกจะน้อยลงหรือแทบไม่ต้องการเลย จากผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนาใช้งานโครงสร้างประเภทนี้อย่างกว้างขวาง เช่น คานสะพานช่วงยาว ระบบแผ่นพื้นไร้คาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้งานโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงจะไม่เป็นไปอย่างสมบูรณ์หากบริเวณสมอยึด (Anchorage Zones) มิได้ทำการออกแบบให้มีความแข็งแรงอย่างเพียงพอ ในบางกรณีถ้าเกิดการวิบัติของบริเวณสมอยึด โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงอาจถือได้ว่าใช้การไม่ได้ คอนกรีตอัดแรงมีด้วยกัน 2 ระบบคือ

1. ระบบดึงลวดก่อน (Pre-Tensioned System) ระบบการก่อสร้างแบบนี้ลวดแรงดึงสูงจะวางในแบบหล่อชิ้นส่วนโครงสร้างและมีการดึงลวดอัดแรงก่อนจึงหล่อคอนกรีตทับอมเหล็กเสริมอัดแรง และเมื่อคอนกรีตได้กำลังก็จะมีการตัดลวด การถ่ายแรงเข้าไปในคอนกรีตบริเวณสมอยึดจะเกิดจากการยึดเหนี่ยว(Bond) ระหว่างผิวของลวดอัดแรงกับคอนกรีตเป็นระยะจากผิวหน้าตัดที่รับแรงจนถึงระยะซึ่งการถ่ายแรงจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์หรือเรียกว่า ระยะการถ่ายแรง (Transmission length) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ กำลังอัดของคอนกรีต ลักษณะผิว ขนาดและชนิดของลวดอัดแรง

2. ระบบดึงลวดภายหลัง (Post-Tensioned System) ระบบนี้แนวท่อร้อยลวดแรงดึงสูงและสมอยึดที่ปลาย (End-Anchorage) จะถูกจัดวางในแบบหล่อ แล้วจึงเทคอนกรีต และเมื่อคอนกรีตได้กำลังตามต้องการแล้วจึงทำการอัดแรงโดยใช้แม่แรงดึงลวดโดยถ่ายแรงเข้าไว้ด้วยสมอยึด การถ่ายแรงไปยังเนื้อที่จำกัดของแผ่นเหล็กแบกทาน (Bearing Plate) ของสมอยึดทันทีที่มีการอัดแรงโดยที่หน้าตัดของชิ้นส่วนจะมีแรงเข้มข้น (Concentrated Load) กระทำต่อปลายชิ้นส่วนทั้งสองข้าง

การถ่ายแรงของทั้งสองระบบจะเกิดการกระจายหน่วยแรงขึ้นในบริเวณสมอยึดทั้งในแนวแกนและในแนวขวางกับลวดอัดแรง มีทั้งหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัด หน่วยแรงดึงตามขวางจะมีความสำคัญมากในระบบคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายหลัง เนื่องจากในขณะอัดแรงหน่วยแรงดังกล่าวจะมีค่ามาก ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการปริแตกของคอนกรีตอย่างทันทีทันใดตามแนวลวดอัดแรง ในกรณีที่บริเวณสมอยึดไม่มีความแข็งแรงอย่างเพียงพอ การออกแบบเหล็กเสริมโอบรัดที่เหมาะสมจะช่วยควบคุมความเสียหายดังกล่าวให้บรรเทาลงได้

ขอบเขตของบริเวณสมอยึดในระบบดึงลวดก่อนจะหมายถึงระยะถ่ายแรง ส่วนในระบบดึงลวดภายหลังจะประมาณจากหน้าตัดที่รับแรงไปจนถึงระยะเท่ากับความลึกของชิ้นส่วน (1,2,3,4)

1.2 <u>ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</u>

1.2.1 บริเวณสมอยึด

บริเวณสมอยึด ตามความหมายทางกลศาสตร์ของแข็งโดยหลักการของ แซงต์เวอแนงต์ (Saint Venants Principle) หมายถึงบริเวณตั้งแต่หน้าตัดของปลายชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงซึ่งมีแรงกระทำเป็นจุด ไปจนถึงหน้าตัดซึ่งหน่วยแรงอัดในแนวแกนมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยจะประมาณเท่ากับความลึกของหน้าตัด (1,2,3,4) ดังแสดงในรูปที่ 1.1

ในช่วงบริเวณสมอยึดการกระจายของหน่วยแรงอัดตามแกนที่หน้าตัดต่างๆ จะไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัด และไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยหลักการธรรมดาของกลศาสตร์วัสดุ

1.2.2 หน่วยแรงในบริเวณสมอยึด

จากทฤษฎีอีลาสติกเชิงเส้น (1,2,3,4) พบว่าถ้ามีแรงกระทำเป็นจุดในแนวตั้งฉากกับแผ่นแบกทานบนหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีการกระจายหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัดในทิศทาง

ขวางกับแนวแรง ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งมีหน่วยแรงดึงที่สำคัญ 2 ชนิด คือ

1. ความเค้นระเบิด (Bursting Stress) เกิดขึ้นในทิศทางขวางกับแนวของแรงกระทำ โดยจะเกิดห่างจากจุดที่แรงกระทำเป็นระยะค่าหนึ่งและกระจายต่อเนื่องไปตามแนวแรง

2. ความเค้นปริแตก (Spalling Stress) เป็นหน่วยแรงดึงซึ่งมีค่ามากที่สุดบริเวณผิวของหน้าตัดที่แรงกระทำ หน่วยแรงนี้จะเกิดที่ระยะห่างจากแนวแกนของแรงกระทำ ดังแสดงในรูปที่ 1.2

นอกจากนี้ยังมีหน่วยแรงที่เกิดขึ้น เนื่องจากการแบกทานของแผ่นเหล็กสมอยึด เรียกว่า ความเค้นแบกทาน (Bearing Stress) หน่วยแรงเหล่านี้จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวในรูปแบบที่แสดงในรูปที่ 1.3

1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

Guyon (3) 1953 ได้เสนอวิธีการคำนวณหน่วยแรงในบริเวณสมอยึดโดยใช้ทฤษฎีอิลาสติกเชิงเส้น 2 มิติ และความสมดุลย์ของแรงจากผลที่ได้ เขานำมาสร้างเป็นตารางสำหรับหาค่าหน่วยแรงที่ระยะต่างๆจากหน้าตัดที่รับแรง เพื่อออกแบบเหล็กเสริมในบริเวณสมอยึด ใช้คำนวณได้ทั้งกรณีที่มีแรงหลายแรงกระทำต่อบริเวณสมอยึด โดยใช้วิธีรวมผล(Superposition) สำหรับการออกแบบบริเวณสมอยึดที่แต่ละแกนของแรงกระทำ เขาได้เสนอวิธีการลูกบาศก์สมมาตร (Symitrical Prism Method) สามารถหาการกระจายของความเค้นระเบิดได้จากแผนผังเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 1.4 จะเห็นได้ว่าค่าของความเค้นระเบิดจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่แผ่นเหล็กแบกทานของสมอยึดต่อพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของบริเวณสมอยึด(a'/a) การออกแบบเหล็กเสริมจะออกแบบเพื่อต้านทานแรงระเบิด (bursting force) ซึ่งจะหาได้จากพื้นที่ใต้โค้งของการกระจายความเค้นระเบิด ต่อมาเพื่อความสะดวกเขาได้สร้างแผนผังรูปสามเหลี่ยมแทนการกระจายเป็นเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 1.6 ซึ่งได้จากการประมาณโดยให้พื้นที่ใต้โค้งเท่ากับพื้นที่ใต้แผนผังสามเหลี่ยม (2,4) การเสริมเหล็กจะเสริมในบริเวณซึ่งความเค้นระเบิดมีค่ามากกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีตซึ่งก็คือพื้นที่แรเงาในรูปที่ 1.6

วิธีการลูกบาศก์สมมาตรยังใช้ได้กับกรณีมีการเยื้องศูนย์ของแรงซึ่งสามารถหาแรงลัพธ์เนื่องจากหน่วยแรงดึง ซึ่งได้แก่

แรงปริแตก (Spalling Force)

$$T_s = 0.4P + 0.2[(a-a_1)/(a+a_1)]^3 P \qquad (1.1)$$

แรงระเบิด (Bursting Force)

$$T_b = P/3\ (\ 1-\gamma\ ) \qquad (1.2)$$

ค่าความเค้นระเบิดสูงสุด

$$= 0.65p(\ 1-\gamma\ ) \qquad (1.3)$$

เมื่อ $\gamma = a'/a$

$p = P$ / พื้นที่หน้าตัด .

ค่ามิติต่างๆในสมการข้างต้นแสดงไว้ในรูปที่ 1.5 และ รูปที่ 1.6 วิธีการของ Guyon เป็นที่นิยมใช้มากในยุโรป (2,4)

ในปี 1960 Zielinski และ Rowe (5) ได้ศึกษาพฤติกรรมของบริเวณสมอยึดคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายหลัง จากแท่งตัวอย่างย่อส่วนซึ่งประกอบไปด้วย สมอยึด ท่อร้อยลวด และคอนกรีต หล่อเป็นรูปคล้ายเสาสี่เหลี่ยมจตุรัส ติดเกจวัดความเครียดเชิงกลที่ผิวคอนกรีต นำตัวอย่างไปทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ถ่ายแรงไปบนแผ่นเหล็กแบกทานของสมอยึด การศึกษาของเขาพบว่า การกระจายของความเค้นระเบิดขึ้นกับอัตราส่วนของพื้นที่แผ่นเหล็กแบกทานของสมอยึดกับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของบริเวณสมอยึด ถ้าค่าดังกล่าวมาก ความเค้นระเบิดค่าสูงสุดจะน้อยลงและค่าของความเค้นระเบิดสูงสุดจะเกิดตามแนวแกนของแรงอัด ส่วนขนาดของท่อร้อยลวดมีผลน้อยมากต่อการกระจายของความเค้นระเบิด โดยเหล็กเสริมโอบรัดจะมีผลในการควบคุมความเค้นระเบิดกล่าวคือเหล็กเสริมชนิดปลอกเกลียวจะมีประสิทธิภาพมากกว่าเหล็ก

เสริมชนิดปลอกเดี่ยว

จากผลการวัดความเครียดที่ผิวคอนกรีต เขาได้เสนอเส้นโค้งการกระจายของความเค้นระเบิดสำหรับการออกแบบมีค่ามากกว่าของ Guyon ส่วนวิธีการคำนวณออกแบบจะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน.

Rhodes และ Turner (2,12) 1966 ได้ใช้ข้อมูลการวิจัยของ Zielinsky และ Rowe เสนอวิธีการออกแบบบริเวณสมอยึดคล้ายกับวิธีการของ Guyon การพิจารณารูปลูกบาศก์ (prism) แสดงไว้ในรูปที่ 1.8 สามารถแทนค่าเส้นโค้งของความเค้นระเบิดได้ด้วยแผนผังสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 1.9 ที่แต่ละลูกบาศก์

$$f_c = P/A_c \qquad (1.4)$$

เมื่อ f_c = หน่วยแรงอัดแบบสม่ำเสมอในลูกบาศก์

A_c = พื้นที่หน้าตัดของลูกบาศก์

ค่าความเค้นระเบิดสูงสุด

$$f_n = Bf_c \qquad (1.5)$$

ค่าแรงระเบิด

$$T = CP \qquad (1.6)$$

ค่าแรงลัพท์ซึ่งจะต้านทานโดยเหล็กเสริม (พื้นที่ใต้แผนผังส่วนที่แรเงา) ในรูปที่ 1.9

$$T_R = T\,[\,1-(f_t/f_n)^2\,] \qquad (1.7)$$

เมื่อ f_t = หน่วยแรงดึงในคอนกรีต

Zielinsky และ Rowe (5) พบว่าค่า f_t ขึ้นกับกำลังดึงแยกของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก (Tensile Splitting Strength) เขาเสนอว่า

$$f_t = 0.8Kr \qquad (1.8)$$

เมื่อ r = กำลังดึงแยกของคอนกรีต

ค่า B, C และ K แสดงไว้ในรูปที่ 1.10

ในปี 1981 Stone และ Breen (6) ได้ศึกษาบริเวณสมอยึดของคานคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดรูปกล่อง ซึ่งอยู่ในส่วนแผ่นเอวของหน้าตัด มีลักษณะเป็นหน้าตัดแผ่นบาง โดยย่อส่วนเป็นรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า และหน้าตัดรูป ตัว ไอ ติดเกจวัดความเครียดแบบไฟฟ้าชนิดฝังเข้าไปในคอนกรีต เพื่อดูการกระจายของหน่วยแรงในคอนกรีต แล้วใช้แม่แรงดึงลวดจากท่อร้อยลวดถ่ายแรงไปยังสมอยึดคล้ายสภาพจริงทุกประการ เขาได้ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อ กำลังแตกร้าว กำลังประลัย และการกระจายของหน่วยแรงในบริเวณสมอยึดแบบแผ่นบาง ซึ่งสรุปได้ว่า การเพิ่มขนาดของแผ่นแบกทานของสมอยึด กำลังแตกร้าวเพิ่มขึ้นไม่มากจากการแตกร้าวของคอนกรีตรอบๆ แผ่นแบกทาน ซึ่งเป็นผลมาจากรูปร่างแผ่นบางของตัวอย่างบริเวณสมอยึด การเยื้องศูนย์ของแรงจะทำให้กำลังแตกร้าว และกำลังประลัยลดลง หน่วยแรงดึงสูงสุดเนื่องจาก ความเค้นปริแตก จะมากกว่า ความเค้นระเบิด และเหล็กเสริมช่วยเพิ่ม กำลังแตกร้าว และกำลังประลัย เหล็กเสริมปลอกเกลียว ให้ผลที่ดีกว่าเหล็กเสริมปลอกเดี่ยว อีกทั้งการวางเหล็กเสริมปลอกเกลียวให้มีขนาดของวงเกลียวใหญ่ที่สุด จะทำให้ประสิทธิภาพของเหล็กเสริมดีที่สุด

จากผลการวิจัยเขาได้เสนอวิธีออกแบบบริเวณสมอยึดสำหรับหน้าตัดแบบแผ่นบาง ซึ่งจะพิจารณาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อพฤติกรรมของบริเวณสมอยึด

1.4 วัตถุประสงค์ การดำเนินการ และขอบข่ายการวิจัย

1.4.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตบริเวณสมอยึดในงานคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายหลังโดยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กเสริมโอบรัดชนิดปลอกเกลียว อันประกอบด้วย

- การเสียรูปของแท่งตัวอย่าง บริเวณสมอยึด
- การกระจายของหน่วยแรงตามขวาง กับแนวลวดอัดแรง
- กำลังประลัยของแท่งตัวอย่าง
- ลักษณะการแตกร้าวและการวิบัติ ของแท่งตัวอย่าง

2. ศึกษาผลของเหล็กเสริมตามยาวอันอาจมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการโอบรัดและการถ่ายแรงเข้าสู่ชิ้นส่วนโครงสร้างได้ดียิ่งขึ้นและจะลดความเข้มของหน่วยแรงดึงสูงสุดบริเวณใกล้แผ่นเหล็กแบกทานของสมอยึดลงได้

1.4.2 การดำเนินการวิจัย

1. หล่อตัวอย่างทดสอบบริเวณสมอยึดอันประกอบด้วย สมอยึด ท่อร้อยลวดอัดแรง เหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว และคอนกรีต หล่อประกอบเป็นแท่งขนาดหน้าตัด 35x35 ซม. ยาว 70 ซม. จำนวน 2 ชุดการทดสอบ คือชุดที่เสริมเหล็กโอบรัด 4 ตัวอย่าง และชุดที่เสริมเหล็กตามยาวอีก 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดสอบจะมีทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยอีก 1 ตัวอย่างจะใช้ในการเปรียบเทียบร่วมกันทั้ง 2 ชุด

2. ทำการทดสอบตัวอย่างโดยการถ่ายแรงไปบนสมอยึดแล้วบันทึกค่าการเสียรูปของตัวอย่างอันได้แก่ การหดตัวในแนวแกน การป่องตัวด้านข้าง ความเครียดที่สมอยึด และความเครียดโอบรัดที่เหล็กเสริม นอกจากนั้นจะบันทึกค่าน้ำหนักบรรทุกเมื่อเริ่มมองเห็นการแตกร้าวโดย ณ จุดดังกล่าวจะมีการถ่ายภาพลักษณะของการแตกร้าวของตัวอย่างทดสอบด้วย

3. นำผลที่ได้จาก 2. มาวิเคราะห์เปรียบเทียบตามชุดการทดสอบ ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับการเสียรูป และวิเคราะห์ผลทางด้านกำลังของตัวอย่างเนื่องจาก

ผลของเหล็กเสริมโอบรัดและเหล็กเสริมตามยาว โดยแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริมเพื่อหาค่าปริมาณเหล็กเสริมโอบรัดและเหล็กเสริมตามยาวที่พอเหมาะที่ทำให้ตัวอย่างมีการเสียรูปน้อยและมีกำลังประลัยอย่างเพียงพอ อันจะนำไปสู่การออกแบบเหล็กเสริมบริเวณสมอยึดให้มีประสิทธิภาพและประหยัดที่สุด

1.4.3 ขอบข่ายของงานวิจัย

1. ศึกษาด้วยการทดสอบเฉพาะสมอยึดเดี่ยวที่รับการถ่ายแรงผ่านแกนกลางของสมอยึด แบบตรงศูนย์ สมอยึดและท่อร้อยลวดใช้ขนาดเท่ากับที่ใช้งานจริง

2. ขนาดของตัวอย่างและวิธีการทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐานอังกฤษ BS-4447 : 1973 หัวข้อที่ 7 (7) โดยใช้ตัวอย่างรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมจตุรัส รับการถ่ายแรงผ่านแผ่นแบกทานของสมอยึด

3. เหล็กเสริมโอบรัดชนิดปลอกเกลียว จะให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงเกลียว และระยะของวงเกลียวมีขนาดคงที่

1.4.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณเหล็กเสริม ที่พอเหมาะซึ่งทำให้ได้กำลังของบริเวณสมอยึดดีที่สุด โดยเหล็กเสริมได้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถออกแบบบริเวณสมอยึดสำหรับคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายหลังได้ด้วยความมั่นใจโดยอ้างอิงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกัน

2. รู้ถึงพฤติกรรมของเหล็กเสริมตามยาว ต่อกำลังของบริเวณสมอยึด อันเกี่ยวกับการโอบรัดและการกระจายแรงเข้าสู่องค์อาคาร

3. ผลการวิจัยจะเป็นแนวทางในการพัฒนาขนาดของบริเวณสมอยึด ให้มีขนาดกะทัดรัดยิ่งขึ้นเพื่อบรรเทาปัญหาในการจัดวางสมอยึดในบริเวณที่คับแคบ และสอดคล้องกับรูปร่างขององค์อาคาร เช่น รูปกล่อง หรือ รูปไอ เป็นต้น