หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

ในปัจจุบันระบบโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในวงการก่อสร้างหลายประเภท ด้วยโครงสร้างระบบนี้มีการอัดแรงเข้าไปภายในชิ้นส่วนของโครงสร้าง ทำให้เกิดหน่วยแรงถาวรขึ้น จะสามารถลดหน่วยแรงดึงของหน้าตัดคอนกรีตที่สภาวะใช้งานและมีกำลังสูงขึ้น ทำให้การใช้งานของหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ยังผลให้โครงสร้างมีช่วงยาวขึ้น หรือบางกรณีหากใช้ระบบคอนกรีตเสริมเหล็กอาจไม่ประหยัด หรือไม่สามารถทำได้ แต่ในระบบคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายหลังทำได้ โดยการดึงลวดอัดแรงหลังจากที่คอนกรีตมีกำลังตามต้องการ แล้วยึดลวดที่ดึงเข้ากับสมอยึด ทำให้เกิดแรงภายในองค์อาคารโดยการถ่ายผ่านสมอยึด ผลจากการอัดแรงทำให้คอนกรีตบริเวณสมอยึดเกิดความเค้นขึ้นอย่างซับซ้อน ซึ่งปริมาณความเค้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด เช่น สัดส่วนของขนาดสมอยึดต่อขนาดของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด, ความลาดเอียงของแนวลวดอัดแรง, ระยะเยื้องศูนย์ของสมอยึด, รูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึด และเหล็กเสริมบริเวณสมอยึด เป็นต้น หากวิศวกรผู้ออกแบบมิได้เข้าใจถึงพฤติกรรมของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดอย่างลึกซึ้ง และมิได้มีการออกแบบควบคุมอย่างเพียงพอแล้ว ความเค้นอันซับซ้อนเหล่านี้อาจก่อให้เกิดรอยแตกร้าวขึ้นในชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดได้ และยังผลให้การถ่ายแรงเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์และพฤติกรรมทางโครงสร้างของคอนกรีตอัดแรงไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ อันอาจทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างเกิดความเสียหายขึ้นได้ กอปรกับความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมและการออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดนี้ยังมิเป็นที่แจ้งชัด งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลจากรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึดที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด และศึกษาถึงการควบคุมความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด โดยใช้เหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างบริเวณสมอยึดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึดที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด
2. ศึกษาผลของเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างและกำลังเมื่อเริ่มแตกร้าวของคอนกรีตบริเวณสมอยึด
3. ศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดกับผลการทดสอบตัวอย่าง

1.3 ความเค้นในชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด

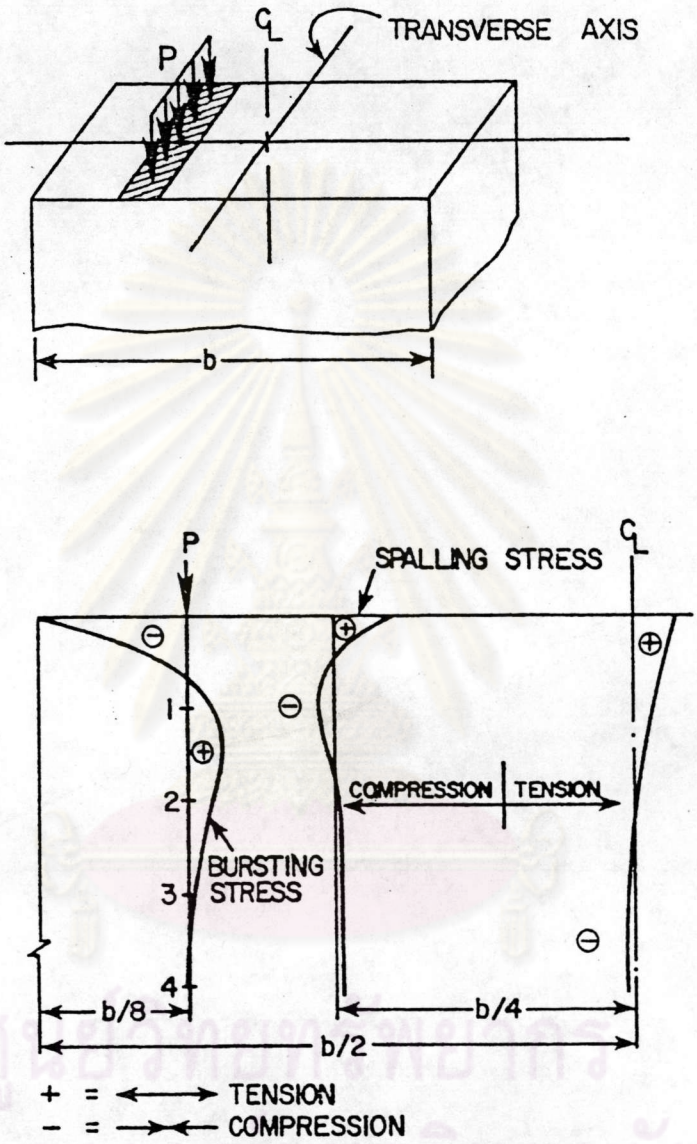
จากทฤษฎีอิลาสติก ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดและเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดพฤติกรรมทางโครงสร้าง มี 3 ลักษณะคือ

1. ความเค้นระเบิด (Bursting Stress) เป็นหน่วยแรงดึงซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณถัดจากด้านหลังของสมอยึดและต่อเนื่องไปตามความยาวของลวดอัดแรง กระทำตามแนวขวางบนระนาบที่ผ่านแนวลวดอัดแรง ดังแสดงในรูปที่ 1.1

2. ความเค้นแตกปริ (Spalling Stress) เป็นหน่วยแรงดึงตามขวางที่เกิดขึ้นรอบสมอยึด กระทำบนระนาบที่ขนานกับแกนของลวดอัดแรง แต่ไม่ได้อยู่บนระนาบเดียวกันของแกนลวดอัดแรง หน่วยแรงนี้จะมีค่าสูงสุดที่ผิวของคอนกรีตที่ติดกับสมอยึด ดังรูปที่ 1.1

3. ความเค้นแบกทาน (Bearing Stress) เป็นหน่วยแรงอัดที่เกิดจากการถ่ายแรงจากสมอยึดสู่ชิ้นส่วนของคอนกรีตบนพื้นที่แบกทานที่จำกัด เกิดขึ้นด้านหลังของสมอยึดตามแนวขวางบนระนาบที่ขนานกับหน้าตัดของชิ้นส่วนคอนกรีต

อนึ่ง ขอบเขตของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด จะเริ่มพิจารณาตั้งแต่หน้าตัดซึ่งมีแรงเนื่องจากการดึงลวดกระทำ จนถึงหน้าตัดที่หน่วยแรงอัดในแนวแกนมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจากหลักการของ แซงต์ เวอแนงต์ (St. Venant's Principle) [1] จะสามารถพิสูจน์ได้ว่า หน้าตัดที่มีหน่วยแรงอัดกระจายอย่างสม่ำเสมอนี้จะห่างจากหน้าตัดที่มีแรงกระทำเป็นระยะ



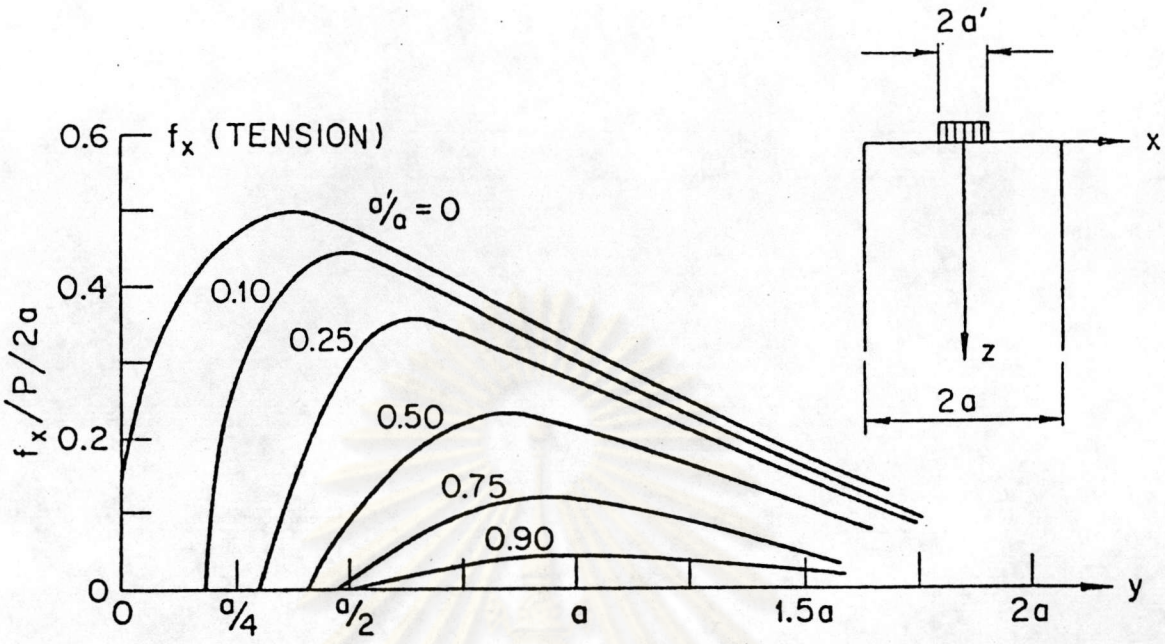
รูปที่ 1.1 การกระจายของหน่วยแรงทางขวางในชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด [7]

เท่ากับความลึกของชิ้นส่วนคอนกรีตนั้นโดยประมาณ

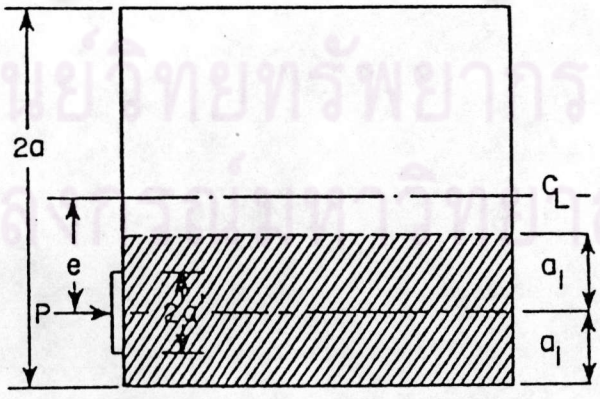
1.4 งานวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของบริเวณสมอยึดได้เริ่มขึ้นในราวต้นทศวรรษที่ 50 เมื่อ Guyon [2] ได้ทำการศึกษาแล้วเสนอว่า การกระจายของความเค้นระเบิด (Bursting stress) จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของขนาดสมอยึดต่อขนาดของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดแต่เพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 1.2 และการออกแบบเหล็กเสริมบริเวณสมอยึดทำได้โดยแทนการกระจายความเค้นระเบิดด้วยรูปสามเหลี่ยมซึ่งมีพื้นที่เท่ากับพื้นที่ใต้โค้งแสดงการกระจายนั้นเพื่อคำนวณหาเหล็กเสริม แล้วเสริมเหล็กในบริเวณที่ความเค้นระเบิดมีค่ามากกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต และได้แนะนำว่าควรจะมีการเสริมเหล็กเผื่อควบคุมความเค้นแตกปริ (Spalling Stress) โดยเสริมเหล็กบริเวณใกล้หน้าตัดที่มีการถ่ายแรงให้มากที่สุด สำหรับกรณีสมอยึดเยื้องศูนย์ก็ให้ใช้พื้นที่มากที่สุดซึ่งมีลักษณะสมมาตรรอบแกนทั้งสองของสมอยึด ดังรูปที่ 1.3 แทนขนาดของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดแล้วจึงออกแบบเหล็กเสริมจากค่าแรงเค้นระเบิดที่คำนวณได้จากพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งวิธี "ลูกบาศก์สมมาตร" (SYMMETRICAL PRISM METHOD) ของ Guyon นี้ เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

ต่อมาในปี ค.ศ 1960 ได้เริ่มมีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต โดย Zielinski และ Rowe [3] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดภายใต้การแปรเปลี่ยนของสัดส่วนขนาดสมอยึดต่อขนาดชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด โดยได้หล่อแท่งตัวอย่างย่อส่วนพร้อมทั้งติดตั้งสมอยึดและท่อร้อยลวด และทดสอบตัวอย่างโดยใช้เกจวัดความเครียดเชิงกลที่ผิวของคอนกรีตเพื่อวัดการกระจายของความเค้นระเบิด จากผลการทดสอบเขาได้เสนอวิธีการออกแบบเหล็กเสริมบริเวณสมอยึดโดยใช้วิธีการเดียวกับ Guyon แต่ใช้ค่าการกระจายความเค้นระเบิดที่วัดได้จากการทดสอบนี้ซึ่งมีค่าสูงกว่าการกระจายที่ได้จากการศึกษาของ Guyon เกือบเท่าตัว หลังจากนั้น Rhodes และ Turner [4] ได้นำผลการทดสอบของ Zielinski และ Rowe มาวิเคราะห์ และได้เสนอสมการสำหรับออกแบบเหล็กเสริมบริเวณสมอยึดโดยคำนึงถึงผลของกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตเมื่อแปรเปลี่ยนสัดส่วนขนาดของสมอยึดต่อขนาดของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด นอกจากนั้น ยังได้เสนอความสัมพันธ์ของความต้องการเหล็กเสริมกับ



รูปที่ 1.2 การกระจายของความเค้นระเบิด (Bursting Stress) เสนอโดย Guyon



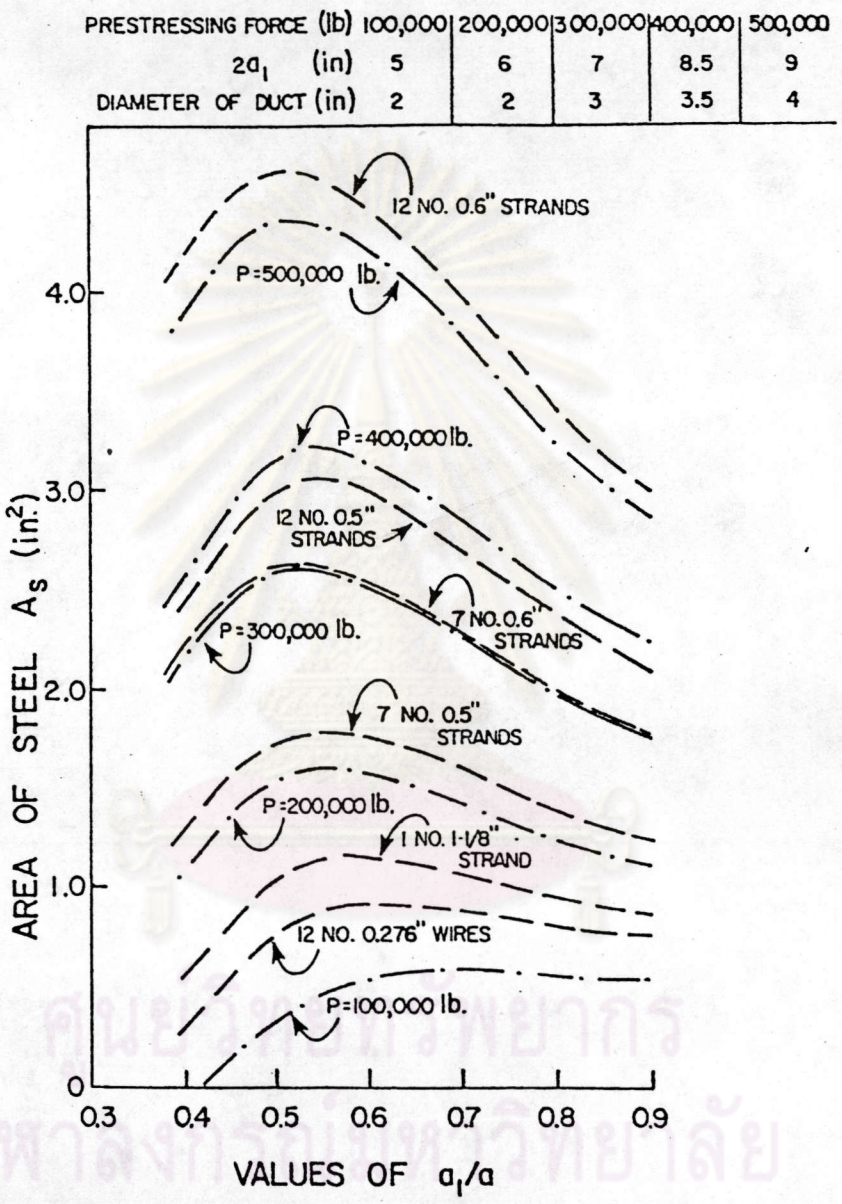
รูปที่ 1.3 อุปมัยลูกบาศก์สมมาตร (Symmetrical Prism Analogy) เสนอโดย Guyon

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัดส่วนขนาดสมอยึดต่อขนาดของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด ดังรูปที่ 1.4 ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้จะสังเกตได้ว่า ชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดจะมีความต้องการเหล็กเสริมมากที่สุดที่สัดส่วนขนาดสมอยึดต่อขนาดชิ้นส่วนบริเวณสมอยึด ประมาณ 0.6 ซึ่งมาตรฐาน BSI [5] ก็ได้ระบุค่าสัดส่วนนี้ในการทดสอบสมอยึดและให้ออกแบบเหล็กเสริมชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดตามสมการของ Rhodes และ Turner

การศึกษาพฤติกรรมของบริเวณสมอยึดในช่วงต้น ๆ นั้น ได้ทำการจำลองเป็นปัญหาสองมิติ แต่ในช่วงเวลาต่อมา การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้คอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาขึ้นมาก ปี ค.ศ.1969 Yettram และ Robbins [6] จึงได้ศึกษาการกระจายในสามมิติของความเค้นระเบิดในชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดโดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์สองและสามมิติ แต่มิได้จำลองรูปร่างของกรวยร้อยลวดสมอยึดและท่อร้อยลวดอัดแรงเข้าไว้ในแบบจำลองแต่อย่างใด จากผลการศึกษาพบว่าค่าความเค้นระเบิดในแบบจำลองสามมิติจะมีค่าสูงกว่าในแบบจำลองสองมิติ โดยจะมีค่ามากในระนาบที่ผ่านแกนกลางและตั้งฉากกับผิวของแบบจำลอง ค่าความเค้นระเบิดในแนวแกนกลางจะมีค่าสูงแล้วมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงเมื่อห่างออกมาจากแกนกลางและจะกลับเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ผิวของแบบจำลอง อย่างไรก็ตามค่าความเค้นระเบิดที่ผิวก็ยังต่ำกว่าค่าความเค้นระเบิดที่วัดได้จากการทดสอบของ Zielinski และ Rowe [3] เขาได้อธิบายว่าเนื่องจาก Zielinski และ Rowe ได้วัดค่าความเครียดที่ผิวของคอนกรีตซึ่งระหว่างการทดสอบอาจเกิดรอยแตกร้าวขนาดย่อม (Microcrack) ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาทำให้ค่าที่วัดได้สูงกว่าความเป็นจริง

ค.ศ.1980 Stone และ Breen [7,8,9] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของบริเวณสมอยึด สำหรับชิ้นส่วนของคานรูปกล่องแผ่นเอวบางอันสืบเนื่องจากพบปัญหาการเกิดรอยแตกร้าวร้าวตามแนวของลวดอัดแรงในบริเวณสมอยึดของคานหน้าตัดรูปกล่องในโครงสร้างสะพาน โดยศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ คือ ระยะหุ้มสมอยึด, ความหนาของชิ้นส่วน, ความเอียงของแนวลวดอัดแรง, ขนาดของพื้นที่แบกทาน, ระยะเยื้องศูนย์ของสมอยึด , ชนิดของสมอยึด และชนิดของเหล็กเสริมโดยใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์สามมิติ และได้มีการทดสอบตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบผลอีกด้วย จากผลการวิจัย Stone และ Breen ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อบริเวณสมอยึด และได้สรุปว่า การวิเคราะห์โดยใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์สามมิติสอดคล้องกับผลการทดสอบ และสามารถจะทำนายแรงที่ทำให้เริ่มเกิดรอยแตกร้าวได้



รูปที่ 1.4 ความต้องการเหล็กเสริมในบริเวณสมอยึดจากสมการของ Rhodes และ Turner

1.5 ขอบข่ายของงานวิจัย

พฤติกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด นอกจากจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักคือสัดส่วนของขนาดแผ่นแบกทานต่อขนาดของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับตัวแปรอีกหลายชนิด เช่น รูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึด และเหล็กเสริมบริเวณสมอยึด เป็นต้น แต่ในการศึกษาวิจัยที่ผ่านมานั้น ยังมิได้มีการศึกษาถึงผลของรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึดที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตบริเวณสมอยึดหรือศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมของชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงบริเวณสมอยึดโดยคำนึงถึงรูปร่างของสมอยึด ทั้ง ๆ ที่รูปร่างของสมอยึดที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะทำให้พฤติกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดเปลี่ยนแปลงได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดขนาด 100, 180, 250, 400, 550 และ 825 ตัน ที่มีความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอยึดตั้งแต่ 2 ถึง 10 องศาโดยประมาณในสมอยึดแต่ละขนาด เพื่อศึกษาผลจากรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึดที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด โดยเฉพาะในชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดขนาด 180 ตันนั้นยังได้มีการวิเคราะห์ในกรณีความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอยึดเป็น 0 องศาเพื่อศึกษาเปรียบเทียบด้วย สำหรับผลของเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาวิเคราะห์แยกเป็น 2 กรณีคือศึกษาผลอันเนื่องมาจากขนาดของเหล็กเสริมโอบรัดและเนื่องมาจากขนาดของวงปลอกเกลียวที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดขนาด 100, 180, 250, 400, 550 และ 825 ตัน โดยแต่ละขนาดได้ทำการวิเคราะห์จากแบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์สามมิติที่ถูกสร้างขึ้นจำนวน 4 แบบจำลองคือ แบบจำลองประเภทไม่มีเหล็กเสริม และแบบจำลองที่มีเหล็กเสริมขนาดหน้าตัดต่าง ๆ กันอีก 3 แบบจำลอง เพื่อศึกษาผลจากขนาดของเหล็กเสริมและสำหรับสมอยึดขนาด 180 ตัน ได้มีการศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้างในด้านการกระจายของความเค้นระเบิดเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางวงปลอกเกลียวของเหล็กเสริมโอบรัดแปรเปลี่ยนไป เพื่อศึกษาผลอันเนื่องมาจากขนาดวงปลอกเกลียวอีกด้วย โดยการวิเคราะห์ทั้งหมดในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีไฟไนต์เอเลเมนต์สามมิติจากโปรแกรมสำเร็จรูป SAP IV [10] ศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดในช่วงอีลาสติกเชิงเส้น ซึ่งในการวิเคราะห์จะสามารถคำนึงถึงรูปร่างและขนาดของสมอยึดและท่อร้อยลวดอัดแรงได้ โดยจะใช้สัดส่วนของขนาดแผ่นแบกทาน

ของสมอยึดต่อขนาดของบริเวณสมอยึดที่จะพิจารณาเท่ากับ 0.6 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เชื่อว่าเหมาะสมต่อการศึกษาการถ่ายแรงของสมอยึดสู่ชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด [4]

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลกระทบจากรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึดที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด
2. ทราบถึงผลจากเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวต่อพฤติกรรมทางโครงสร้าง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเหล็กเสริมบริเวณสมอยึด
3. ทราบถึงวิธีการและความถูกต้องของการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอเลเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบตัวอย่างชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย