หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้เริ่มขึ้นในราวปี 1900[18,25,26,27,28,31,32] อย่างไรก็ตามทฤษฎีและพฤติกรรมต่าง ๆ ที่ศึกษามักจะใช้กับคอนกรีตทั่ว ๆ ไปที่มีกำลังไม่เกิน 560 กก/ซม^2[26] ปัจจุบันนี้พัฒนาการทางด้านกำลังของคอนกรีตดีขึ้นมากสามารถผลิตคอนกรีตให้มีกำลังมากกว่า 1500 กก/ซม^2[35] และเมื่อนำคอนกรีตกำลังสูงมากมาใช้ในการก่อสร้างจะมีประโยชน์ในแง่การรับน้ำหนักของโครงสร้าง สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดหรือในอุตสาหกรรมคอนกรีตอัดแรง นอกจากนี้ยังเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุสำหรับหล่อชิ้นส่วนสำเร็จ เพราะทำให้มีขนาดเล็กและให้กำลังสูง ถึงแม้ว่าการผลิตคอนกรีตกำลังสูงจะไม่มีปัญหามากนัก แต่เนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีกำลังสูงจะแตกต่างไปจากคอนกรีตธรรมดา[21,35] จึงทำให้พฤติกรรมทางโครงสร้างแตกต่างออกไปด้วย ทฤษฎีและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบซึ่งใช้ได้กับคอนกรีตธรรมดา จึงอาจจะต้องตรวจสอบและปรับปรุงให้สอดคล้องกับพฤติกรรมต่าง ๆ ด้วย

เกี่ยวกับการนำคอนกรีตกำลังสูงมากหล่อเสานี้ มานิต ศิวกุล[40] ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเน้นความสำคัญของเหล็กเสริมยืนเป็นหลัก สำหรับในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของเหล็กเสริมทางขวางที่จะมีผลต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักในแนวแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่หล่อด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก เนื่องจากผลงานวิจัยทางด้านเสาคอนกรีตที่หล่อด้วยคอนกรีตกำลังสูงมากยังมีน้อยแต่พอจะสรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้คือ

1.1 คอนกรีตกำลังสูงมาก

คอนกรีตกำลังสูงมากสามารถจะทำได้โดยการลดสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ให้น้อยลงและใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทที่ให้ความหล่อลื่นสูง (Superplasticizer) เพื่อช่วยให้คอนกรีตมีความไหลลื่นเพียงพอต่อการเทซึ่งจะต้องมีการควบคุมคุณภาพของวัสดุและส่วนผสมต่าง ๆ อย่างละเอียดด้วยจึงจะได้คอนกรีตที่มีกำลังสูง

ซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีตกำลังสูงมากนี้ Perenchio[22] พบว่าซีเมนต์ที่มีความละเอียด (fineness) มากที่สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำจะให้น้ำปูน (Cement Paste) ในส่วนผสมคอนกรีตมีกำลังสูง สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.2 ซีเมนต์ที่มีความละเอียด 10,000 ซม^2/ก. จะให้กำลังในช่วงแรกสูงกว่าซีเมนต์ที่มีความละเอียด 4,000 ซม^2/ก. และกำลังสูงสุดของน้ำปูนจะมีค่าประมาณ 1,750 กก/ซม^2 ที่อายุ 90 วัน ซึ่งซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากนี้จะเหมาะสำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลังสูงในเวลาอันสั้น นอกจากนี้ยังพบว่าซีเมนต์ชนิดที่ 3 ซึ่งมีส่วนผสมของ Tricalcium Silicate (C_3S) สูงและความละเอียดมากจะให้กำลังคอนกรีตสูงสุดเมื่อสัดส่วนผสมอื่นใกล้เคียงกัน

สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ The Concrete Society[34] จากการศึกษาปฏิกริยาของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับน้ำพบว่า จะเกิดปฏิกริยาสมบูรณ์เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ประมาณ 0.25 ซึ่งส่วนผสมของคอนกรีตจึงไม่ควรใช้สัดส่วนต่ำกว่านี้ Perenchio[22] พบว่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำสุดที่จะทำให้ส่วนผสมมีความสามารถในการเทคือ 0.30 และสัดส่วนนี้ก็เพียงพอสำหรับปฏิกริยาของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับน้ำ Freedman[7] แนะนำว่าการผลิตคอนกรีตกำลังสูงควรใช้สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในช่วง 0.30-0.40 โดยสัดส่วนที่ต่ำกว่านี้จะทำให้กำลังคอนกรีตสูงขึ้นแต่ทำงานลำบาก

มวลรวมมีความสำคัญต่อการผลิตเช่นกัน Bloem et al[8] แนะนำว่าขนาดของหินควรมีขนาดเล็กเพราะหินขนาดเล็กจะมีพื้นที่สำหรับยึดเหนี่ยวกับ Cement Paste มากและหินขนาดเล็กจะไม่ค่อยมีรอยแตกเล็ก ๆ (Micro Crack) เมื่อนำไปผลิตคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น Thoman[36] ได้วิจัยเกี่ยวกับมวลรวมที่มีลักษณะโครงสร้างของผิว (Texture Surface) โดยใช้กรวด (Gravel) หินทราย (Sandstone) และหินบะซอลท์ (Basalt) ที่มีขนาดโตสุดเท่ากับ 3/4" โดยสัดส่วนอื่นคงที่ คือสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.33 ปริมาณซีเมนต์ 546 กก/ซม^2 ปริมาณทรายร้อยละ 40 ของมวลรวม พบว่าคอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมของหินบะซอลท์จะให้กำลังสูงสุดถึง 840 กก/ซม^2 ที่อายุ 90 วัน และได้เหตุผลว่าหินบะซอลท์มีความเป็นเนื้อเดียวกันและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่าซึ่งจะทำให้แรงยึดเกาะระหว่างปูนก่อกับมวลรวมสูงกว่า เมื่อใช้กรวดและหินทราย Perenchio[22] วิจัยพบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ต่ำประมาณ 0.30 และส่วนผสมอื่นค่อนข้างคงที่แล้วหินที่มีขนาดโตสุด 3/8" จะให้กำลังคอนกรีตสูงสุดมากกว่า 900 กก/ซม^2 และยังพบว่าสัดส่วนจำนวนคละของมวลรวมหยาบและละเอียดนั้นไม่มีผลต่อกำลังคอนกรีตในช่วงแรก Freedman[13]

แนะนำว่า ทรายที่เหมาะสมกับการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดระหว่าง 2.7 ถึง 3.2 ปริมาณดินละควรเป็นไปตาม ASTM C-33

สารผสมคอนกรีตลดปริมาณน้ำ (Water Reducing Admixture) หรือสารเพิ่มความไหลลื่น (Plasticizer Admixtures) ที่มีสารประกอบหลักพวกไฮดรอกซิล (Hydroxyl) คาร์บอกซิล (Carboxyle) เมทอกซี่ (Methoxy) และกลุ่มของกรดซัลโฟนิก(Sulphonic Acid Groups) จะช่วยลดปริมาณน้ำได้ประมาณ 5-15 % และสามารถเพิ่มความไหลลื่นให้แก่คอนกรีต จะทำให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้นซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา Rixom[29,30] พบว่าปริมาณที่ใช้ในอัตราปกติ (Normal Dosage) จากการแนะนำของผู้ผลิตจะสามารถลดปริมาณน้ำได้ถึง 10 % กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นถึง 25 % ที่อายุ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยที่คอนกรีตนั้นออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 มีค่าการยุบตัว 76 มม. จะให้ประสิทธิภาพมากที่สุดที่อัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์อยู่ในช่วง 6.5-7.0 ส่วนสารผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำในอัตราสูง (High Range Water Reducing Admixture) หรือสารผสมเพิ่มความไหลลื่นสูง (Super-plasticizer Admixture) ที่มีสารเคมีหลักพวกฟอร์มาลดีไฮด์ นั้น Rixom[29] พบว่าเมื่อใช้สารนี้จะสามารถลดปริมาณน้ำได้สูงกว่าประเภทแรกถึง 10 เท่า Hewlett[14] พบว่าจะสามารถลดปริมาณน้ำได้ 20-33 % โดยกำลังของคอนกรีตจะสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของซีเมนต์มวลรวมและอุณหภูมิ เช่น เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ 400 กก/ม^3 อัตราสารเคมี 4 ลิตร/ลูกบาศก์เมตร จะลดปริมาณน้ำได้ 24 % กำลังของคอนกรีตจะสูงขึ้น 87 % และ 53 % ที่อายุ 7 วันและ 28 วัน แต่ถ้าใช้ปริมาณซีเมนต์ 500 กก/ม^3 จะลดปริมาณน้ำได้ 27 % กำลังที่เพิ่มจะเปลี่ยนเป็น 54 % และ 37 % ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเพิ่มของกำลังคอนกรีตจะสูงที่อายุน้อยและปริมาณซีเมนต์ต่ำ Yamamoto[39] ได้ทดลองเกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารผสมในอัตราสูง พบว่าการใช้สารผสมคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพและประหยัดควรจะใช้ในอัตราต่ำกว่า 1 % ของน้ำหนักซีเมนต์

เกี่ยวกับเรื่องการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากที่มีการวิจัยมาบ้างในประเทศไทย สุพรรณ[43] ได้วิจัยเกี่ยวกับการผลิตและคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงมากโดยใช้สารผสมคอนกรีตเพิ่มความไหลลื่น (Plasticizer) ซึ่งได้จากน้ำเสียของขบวนการฟอกเยื่อกระดาษซึ่งมีสารหลักทางเคมีของลิกโนซัลโฟเนท ใช้หินขนาดโตสุด 3/4" มีค่าโมดูลัสความละเอียด 6.55 สัดส่วนของหินต่อมวลรวมทยายทั้งหมด 62 % ทรายที่ใช้มีโมดูลัสความละเอียด 2.89 สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ระหว่าง 0.26-0.321

ใช้สารผสมคอนกรีตไม่เกิน 6 % ของน้ำหนักปูนซีเมนต์และปูนซีเมนต์เป็นปอร์ตแลนด์ซีเมนต์แบบที่ 3 สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 เมื่อใช้ซีเมนต์ 550 กก/ลูกบาศก์เมตร จะทำให้กำลังของคอนกรีตเมื่ออายุ 28 วันมีค่าสูงมากกว่า 700 กก/ซม^2 สกุล[42] ได้ทดลองผสมเพื่อทำคอนกรีตกำลังสูงมากไปใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับคานคอนกรีตอัดแรงทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมากโดยใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์แบบที่ 1 และ 3 ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มความไหลลื่นที่มี Lignosulphonate Acid และ Napthalene เป็นสารพื้นฐาน หินที่ใช้มีขนาดโตสุด 1/2" สัดส่วนคละ 4.97 ส่วนทรายมีค่าโมดูลัสความละเอียด 3.10 และมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์อยู่ในช่วง 0.23-0.40 พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากนั้นอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ควรใช้ประมาณ 0.25 หินที่ใช้มีปริมาณ 1500 กก. ในคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร ทรายที่ใช้ควรมีสัดส่วนอยู่ระหว่าง 38-40 % ของหินโดยน้ำหนัก ซึ่งปูนซีเมนต์ทั้งแบบที่ 1 และ 3 จะให้กำลังสูงสุดใกล้เคียงกัน โดยใช้ในปริมาณ 550 กก. ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ส่วนสารผสมคอนกรีตที่มี Napthalene เป็นสารพื้นฐานในอัตรา0.8% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์จะช่วยให้การไหลลื่นดีพอ สัดส่วนผสมคอนกรีตนี้จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันมากกว่า 900 กก./ซม^2 มานิต[40] เป็นอีกผู้หนึ่งที่ได้ทดลองผสมคอนกรีตกำลังสูงมากไปใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำจากคอนกรีตกำลังสูงมาก โดยใช้หินขนาดโตสุด 1/2" มีค่าโมดูลัสความละเอียดเป็น 6.52 ทรายที่ใช้มีโมดูลัสความละเอียด 2.87 และปริมาณคละเป็นไปตามขีดจำกัดของ ASTM C-33 โดยใช้น้ำยาผสมคอนกรีตเพิ่มความไหลลื่นสูงที่มีสารประกอบของ Napthalene การทดลองผสมใช้สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์จาก 0.24-0.30 พบว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.24 และอัตราส่วนน้ำยาต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก 2.378 % และอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน มีค่า 1.00, 1.33 และ 2.17 ตามลำดับ จะให้กำลังคอนกรีตสูงประมาณ 780-890 กก/ซม^2 อนึ่งในงานวิจัยนี้จะได้ใช้สัดส่วนการผสมคอนกรีตของมานิต เป็นแนวทางโดยเปลี่ยนแปลงบางอย่างให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

สำหรับคุณสมบัติเชิงกล (Mechanic Properties) ของคอนกรีตกำลังสูงมากนั้น[21, 35, 40, 42, 43] ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) จะแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังคอนกรีตที่สูงขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 4.0-5.0x10^5 กก/ซม^2 สำหรับกราฟความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดกับความเครียด (Stress-Strain Relationship) ค่อนข้างจะมีความชันมากกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นตรงในช่วงแรกประมาณ 50-60 %

ของน้ำหนักประลัย จากนั้นจะค่อย ๆ เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรง ดังตัวอย่างของผลการทดสอบของ Perera[21] ในรูปที่ 1.1 และเช่นเดียวกับกำลังดึงแยกตัวและโมดูลัสแตกร้าวก็จะแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเครียดสูงสุด (Maximum Strain) มีค่าประมาณ 0.002-0.003 และค่าสัดส่วนพัวซองจะมีค่าประมาณ 0.15-0.25

1.2 <u>เหล็กเสริมทางขวางใน เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก</u>

กล่าวโดยทั่วไปแล้ว พฤติกรรมของ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในการรับน้ำหนักแบบตรงศูนย์นั้นสิ่งที่เป็นส่วนสำคัญหลักของ เสาคือคอนกรีตและ เหล็กเสริมยืนโดยที่เมื่อเสารับน้ำหนักถึงจุดประลัยนั้น เหล็กเสริมยืนจะรับน้ำหนักถึงจุดคลากและคอนกรีตจะรับน้ำหนักได้ประมาณ 85 % ของกำลังคอนกรีตทรงกระบอก[18,26] ส่วนการเสริมเหล็กทางขวางใน เสานั้น เพื่อป้องกันการโก่ง เดาะใน เหล็กเสริมยืนก่อนกำหนด และจะช่วยยึด เหล็กเสริมยืนให้อยู่ในตำแหน่งขณะหล่อ เสานอกจากนี้ เหล็กเสริมทางขวางจะมีพฤติกรรมทางอ้อมในการช่วยรับน้ำหนักบรรทุกของ เสาโดยจะช่วยให้มีการโอบ (Confinement) ต่อแกนคอนกรีตให้มีกำลังสูงขึ้น[23, 26] และจะช่วยเพิ่มความเหนียวให้แก่ เสาคอนกรีต[15] เหล็กเสริมทางขวางที่ใช้กันมี 2 แบบคือ เหล็กปลอกเดี่ยวและ เหล็กปลอกเกลียว

สำหรับ เหล็กปลอกเดี่ยว เกี่ยวกับเรื่องการโก่ง เดาะของ เหล็กเสริมยืน Bresler & Gilbert ได้เสนอแนวทางในการเสริม เหล็กปลอกเดี่ยวทั้งทางด้านขนาดและระยะห่าง เพื่อให้เกิดประสิทธิผลของการรับน้ำหนักของ เหล็กเสริมยืนสูงสุดคือไม่เกิดการโก่ง เดาะก่อนถึงจุดคลาก เนื่องจากผลงานวิจัยก่อนหน้านั้น[15,18,26] ไม่ได้มีการวิเคราะห์ถึงผลอันนี้ เพียงแต่แนะนำว่าการใส่ เหล็กปลอกก็ เพื่อป้องกันการโก่ง เดาะของ เหล็กเสริมยืน ส่วนข้อกำหนดของ ACI Code ช่วงนั้น (ปี 1956) ก็ไม่ได้พิจารณาถึงผลของกำลังคลากของ เหล็กเสริมยืนและการใช้ขนาด เหล็กปลอกที่มีขนาดใหญ่หรือ เล็กกว่า 1/4" ว่าใช้ได้หรือไม่ เขาได้สร้างตัวอย่างทดสอบขึ้นมา 4 ตัวอย่าง มีหน้าตัด 8"x8" ยาว 60" ปริมาณ เหล็กเสริมยืน 2.66 % และ 3.54 % โดย 2 ใน 4 ตัวอย่างได้ลดขนาด เหล็กปลอกภายใน (Interior tie) จาก 1/4" เป็นลวด (Tie Wire) ขนาด 1/4" ผลการทดสอบปรากฏว่ากำลังประลัยของ เสาที่ใช้ลวดก็ให้ผลดี เช่นเดียวกับเมื่อใช้ เหล็กปลอกขนาด 1/4" สรุปผลการทดสอบ เขาได้เสนอแนะว่าปริมาณ

เหล็กปลอกที่น้อยกว่า code ก็เพียงพอสำหรับ เสาคอนกรีต เสริม เหล็กปลอก เดี่ยวซึ่งความ เห็นนี้ก็ เช่นเดียวกับ Pfister[23] ที่ทดสอบ เสา 11 ต้น หน้าตัดแปรจาก 8" ถึง 12" ยาว 72" ปริมาณเหล็ก เสริมยืน 2.3-3.8 % สัดส่วนระยะห่างต่อ เส้นผ่าศูนย์กลาง เหล็กปลอกแปรจาก 8 ถึง 88 และอัตราส่วนระยะห่างต่อความกว้างของแกน เสาแปรจาก 1.41 ถึง 14.7 ซึ่งพบว่า เหล็กปลอกภายนอก (Exterior tie) ก็มีผล เช่น เดียวกับการใส่ทั้งภายนอกและภายใน Khan[24] ได้นำแนวทาง เกี่ยวกับระยะห่างที่จะกันไม่ให้ เหล็กปลอก เสริมยืน เกิดการโก่ง เตาะก่อนกำหนด ที่เสนอโดย Bresler & Gilbert มาพิสูจน์โดยสร้าง เสาตัวอย่างขึ้น 16 ต้น ตัวแปรที่พิจารณาคือระยะห่างของ เหล็กปลอก ใช้ เหล็กปลอกขนาด 1/4" ระยะห่างจาก 3.75 ซม. ถึง 30 ซม. ปริมาณเหล็ก เสริมยืน 2-4.5 % เสามีขนาดหน้าตัด 10-15 ซม. ยาว 1.5 เมตร มีทั้งชนิดที่มีคอนกรีตหุ้มและไม่มีคอนกรีตหุ้ม เหล็กปลอก ผลการทดสอบ เขาพบว่า แนวทางของ Bresler & Gilbert เกี่ยวกับระยะห่างของ เหล็กปลอกที่จะกันไม่ให้ เหล็ก เสริมยืน เกิดการโก่ง เตาะก่อนกำหนดนั้น ยังคงใช้ได้ถ้าหากว่าความหนาของคอนกรีตที่หุ้มมีความหนาพอ โดย เขาได้ เสนอความหนาที่จะช่วยกันการโก่ง เตาะนั้นไว้

ผลอื่น ๆ ที่เกิดจากการ เสริม เหล็กปลอก เดี่ยว เช่นผลการโอบนั้น Pfister[23] จากผลการทดสอบของ เขา เขาได้กล่าวว่าหน้าที่ เบื้องต้นของ เหล็กปลอกคือช่วยทำให้กำลังคอนกรีตมีค่าสูงขึ้นใกล้ เคียงกับ $0.85f'_c$ โดยใน เสาที่ไม่มี เหล็ก เสริมทางขวางกำลังคอนกรีตที่ได้จะต่ำกว่าประมาณ 6 ถึง 8 % Hudson[16] ทดสอบ เสา 64 ต้น เพื่อศึกษาผลของระยะห่างของ เหล็กปลอกที่มีต่อกำลังประลัยและลักษณะทางวิบัติของ เสา จากการทดสอบ เสาที่มีค่าอัตราส่วนระยะห่างต่อขนาด เหล็ก เสริมยืนจาก 7.5-96 และระยะห่างต่อแกนคอนกรีตจาก 2.08-16.2 และระยะห่างต่อความหนาคอนกรีตที่หุ้มจาก 10.53-82.1 เขาได้สรุปว่าถึงแม้ เหล็กปลอกดูเหมือนจะไม่มีผลต่อกำลังประลัยของ เสา แต่การใส่ เหล็กปลอกก็จะมีอิทธิพลต่อลักษณะการวิบัติมาก ซึ่งใน เสาที่มีระยะห่าง เหล็กปลอกปานกลางการวิบัติ เริ่มแรก เกิดโดยการล่อนของคอนกรีตที่หุ้มที่อยู่ระหว่าง เหล็กปลอกและสิ่งที่ตามมาทันทีทันใดคือการโก่ง เตาะของ เหล็ก เสริมยืนตำแหน่งการวิบัติไม่แน่นอน ส่วนมากจะอยู่บริ เวณช่วงกลางและใกล้กับปลายของ เสา ส่วนใน เสาที่ไม่มี เหล็กปลอกช่วงกลางนั้น การวิบัติจะคล้าย ๆ กันคือ การแตกกระจายที่บริ เวณกลางช่วงของ เสาและการวิบัติแบบนี้กำลังรับน้ำหนักที่วิบัติจะสูงกว่าน้ำหนักตอนที่ เกิด

รอยแยก (Splitting) ประมาณ 20 % Vallenas et al.[17] ทดสอบเสา 14 ต้น เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดกับความเครียดของคอนกรีตที่ถูกโอบโดยเหล็กปลอกเดี่ยว เสาที่ทดสอบหน้าตัดขนาด 10"x 10" ซึ่งมีคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอกและขนาด 9"x9" ไม่มีคอนกรีตหุ้มเหล็กปลอก ปริมาณเหล็กเสริมยืน 0-2.24 % ส่วนเหล็กปลอกเดี่ยวเป็นลวด Gage No. 7 Wire ปริมาณ 0-1.7 % พบว่ามีการเพิ่มของหน่วยแรงอัดคอนกรีต แต่ก็น้อยมากเมื่อเทียบกับความเหนียวของเสาที่เกิดขึ้น คือในขณะที่กำลังเพิ่ม 13 % เมื่อเสารับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดนั้นความเหนียวจะเพิ่มถึง 300 % Sargin[19] ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของหน่วยแรงอัดของคอนกรีตกับความเครียดของคอนกรีตที่ถูกโอบโดยเหล็กปลอกเดี่ยว ตัวแปรที่พิจารณามีหลายอย่างคือ กำลังประลัยคอนกรีตจาก 168-377 กก/ซม^2 ขนาดเหล็กปลอก 5-10 มม. มีทั้งเหล็กกลมและข้ออ้อย นอกจากนี้ยังมีเหล็กแผ่น (plain sheet-steel) หนา 0.6 และ 0.9 นำมาใช้เป็นเหล็กปลอกเดี่ยว ระยะห่างเหล็กปลอก 2.5-10 ซม. ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มจาก 0-4 ซม. โดยหล่อเป็นแท่งคอนกรีต (Concrete prism) ขนาด 125X125X510 มม. จำนวน 63 ตัวอย่าง ซึ่งทุกตัวอย่างไม่มีเหล็กเสริมยืนให้รับน้ำหนักแบบตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ จากผลการทดสอบ เขาพบว่า อัตราส่วนของหน่วยแรงอัดสูงสุดของแกนต่อกำลังประลัยของลูกปูนเมื่อรับน้ำหนักแบบตรงศูนย์มีค่า 0.9-1.87 นอกจากนี้เขาได้เสนอสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบในรูปของ Stress-strain curve ของคอนกรีตที่ถูกโอบโดยเหล็กปลอกเดี่ยวในรูปตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งพบว่าความเหนียวของคอนกรีตที่ถูกโอบจากเหล็กปลอกเดี่ยวมีค่ามากซึ่งจะให้ประโยชน์ทางด้านการเพิ่มความเหนียวทางโครงสร้าง เพิ่มความสามารถในการโก่งตัวได้สูงและสามารถเกิด Hinge ได้

ในเสาที่เสริมเหล็กปลอกเกลียวโดยทั่วไปจะทำให้เสามีกำลังและการโก่งตัวได้สูงขึ้น กล่าวคือ เหล็กปลอกเกลียวจะให้ความเหนียวทางโครงสร้างต่อเสาอย่างมาก ทางด้านกำลังรับน้ำหนักของเสาเสริมเหล็กปลอกเกลียวนี้มีเริ่มจากการค้นคว้าทดสอบในราวปี 1900 ซึ่ง FE Richart[26] ได้ทำการรวบรวมและสรุปผลการทดสอบที่ Lehigh University[31,32] และ University of Illinois[25] เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักตามแนวแกน การทดสอบนั้นศึกษาทั้งทางด้านขนาด (Column Size), การคืบและการหดตัว (Creep & Shringkage) และอัตราการบรรทุกน้ำหนัก (Rate of Application of Load) โดยที่กำลังของคอนกรีตที่ใช้มีอยู่ในช่วง 140-560 กก/ซม^2 ปริมาณเหล็ก

เสริมยืนจาก 1.5-6 % ของเนื้อที่หน้าตัดเสาและมีกำลังคลากอยู่ระหว่าง 2730-4760 กก/ซม^2 ส่วนปริมาณเหล็กปลอกเกลียวใช้ 1.20-2.0 % ของปริมาตรแกนคอนกรีต พบว่า น้ำหนักบรรทุกของเสาจะแบกรับด้วยคอนกรีต, เหล็กเสริมยืนและจากการโอบของเหล็กเสริมทางขวาง โดยในส่วนที่คอนกรีตแบกรับมีค่าประมาณ 85 % ของผลคูณระหว่างกำลังอัด คอนกรีตทรงกระบอกและเนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีต ส่วนที่แบกรับด้วยเหล็กเสริมยืนจะมีค่าเท่ากับผลคูณของเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมยืนกับกำลังคลากของเหล็กและน้ำหนักแบกรับจากผลการโอบของเหล็กปลอกเกลียวมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2 เท่าของผลคูณของปริมาณเหล็กปลอกเกลียว (คิดเป็นสัดส่วนของปริมาตรเหล็กปลอกเกลียวต่อปริมาตรแกนคอนกรีต) กับกำลังคลากเหล็กปลอกเกลียวและเนื้อที่หน้าตัดของคอนกรีตซึ่งมีผลให้กำลังรับน้ำหนักในแนวแกนเพิ่มขึ้น เกี่ยวกับการโอบนี้ Richart et al[27] โดยการทดสอบตัวอย่างแท่งคอนกรีตทรงกระบอกด้วยวิธีแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ใช้ของเหลวเป็นแรงอัดด้านข้าง พบว่าหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตในแนวแกนจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.1 เท่าของหน่วยแรงอัดด้านข้างและค่านี้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบของ Ti-Haung[38] ซึ่งได้ประยุกต์ผลนี้เข้ากับการโอบของเหล็กปลอกเกลียวในเสาซึ่งผลให้น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น

1.3 <u>วัตถุประสงค์และขอบข่ายการวิจัย</u>

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลของเหล็กเสริมทางขวางที่มีต่อพฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก ทั้งนี้จะให้ขนาดหน้าตัดและความยาวเสาตลอดทั้งเหล็กเสริมยืนมีค่าคงที่ แล้วจะให้เหล็กเสริมทางขวางเป็นตัวแปร เหล็กเสริมทางขวางที่ใช้มี 2 แบบคือเหล็กปลอกเดี่ยว (Ties) และเหล็กปลอกเกลียวรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Spirals) ส่วนพฤติกรรมที่ศึกษาคือ

1. กำลังรับน้ำหนักตามแนวแกนจากผลการโอบของเหล็กปลอก
2. ความเหนียวทางโครงสร้างของเสา
3. ลักษณะการวิบัติ

การศึกษาจะหล่อตัวอย่างขึ้นมาแล้วทดสอบจนถึงขั้นวิบัติ ข้อมูลต่าง ๆ ที่บันทึกจากการทดสอบจะได้นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับพฤติกรรมทางกายภาพและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสรุปเป็นแนวทางในการออกแบบหรือวิเคราะห์โครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำมาจากคอนกรีตสูงมาก

ขอบเขตของงานวิจัยนี้จะจำกัดเฉพาะเสาสั้นหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 15X15 ซม. และรับน้ำหนักตามแนวแกนแบบตรงศูนย์เท่านั้น เหล็กเสริมยืนมีปริมาณคงที่คือ 3.577 % ของหน้าตัดรวม ส่วนเหล็กปลอกที่ใช้จะแปรตั้งแต่ 0.36-4.31 % โดยปริมาตรของแกนคอนกรีตภายในวงรอบเหล็กปลอกสำหรับเหล็กปลอกเดี่ยวและ 0.36-13.67 % โดยปริมาตรของแกนคอนกรีตภายในวงรอบของเหล็กปลอกสำหรับเหล็กปลอกเกลียว กำลังของคอนกรีตที่ใช้มีค่าระหว่าง 800-1000 กก/ซม^2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย