บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

งานคอนกรีตอัดแรงเริ่มเป็นที่รู้จักและนำมาใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1886 หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาเพื่อใช้ในการก่อสร้างอย่างแพร่หลายเนื่องจากทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักเบา โดยขนาดที่เล็กกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา นอกจากนี้ คอนกรีตอัดแรงยังได้เข้ามามีบทบาทในงานโครงสร้างสำเร็จรูปอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งทำให้มีการพัฒนางานคอนกรีตอัดแรงไปมาก แต่อย่างไรก็ตาม คอนกรีตที่ใช้ในงานคอนกรีตอัดแรงมักมีกำลังอัดอยู่ในช่วง 300–550 กก./ซม.$^2$ ทั้ง ๆ ที่มีความต้องการคอนกรีตที่มีคุณภาพสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงอย่างมาก

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตกำลังสูงมาก ซึ่งมีกำลังอัดสูงกว่า 550 กก./ซม.$^2$ เพิ่งจะเริ่มเมื่อ ค.ศ. 1930[1] ถึงแม้การผลิตคอนกรีตกำลังสูงจะไม่มีปัญหาอะไรมากนัก แต่ทว่าปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตอัดแรงที่ทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมากจะมีพฤติกรรมแตกต่างไปจากโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีตธรรมดา ทำให้ทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบและมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ไม่สามารถใช้ได้อย่างถูกต้อง

คานคอนกรีตอัดแรงโดยทั่วไปจะมีพฤติกรรมการดัดคล้ายคลึงกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา และสามารถวิเคราะห์ได้อย่างใกล้เคียงกับความเป็นจริงโดยทฤษฎีอีลาสติค (Elastic Theory) และทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Theory) เมื่อทำขึ้นด้วยคอนกรีตกำลังสูงมากแล้วจะทำให้สามารถอัดแรงเพิ่มขึ้น เป็นการลดขนาดของคานลงช่วยให้ประหยัดในการขนส่งและการก่อสร้างอย่างมาก ส่วนพฤติกรรมของคานอาจแตกต่างไปจากคานคอนกรีตอัดแรงธรรมดา ดังนั้น การศึกษาถึงพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตอัดแรงทำ

ด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก จึงมีความจำเป็น เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของทฤษฎีซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบันกับพฤติกรรมของคานโดยละเอียด

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตอัดแรงทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก ในการวิจัยนี้จะทำการทดสอบตัวอย่าง และนำผลมาวิเคราะห์โดยจะเน้นถึงพฤติกรรมต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1. ความสัมพันธ์ของการโก่งตัวกับน้ำหนักบรรทุก (Load-Deflection Relationship)
2. ความเหนียวของคาน (Ductility)
3. โมเมนต์ดัดแตกร้าว (Cracking Moment)
4. ความเครียดสูงสุดของคอนกรีตที่เกิดขึ้นที่ผิวบนของคาน (Maximum Concrete Strain)
5. ลักษณะของการแตกร้าวและการวิบัติ (Crack Pattern and Mode of Failure)
6. กำลังดัดประลัยของคาน (Ultimate Moment)

การศึกษานี้จะได้ตรวจสอบดูความแตกต่างระหว่างพฤติกรรมที่ปรากฏจริงกับพฤติกรรมเชิงทฤษฎีต่าง ๆ นอกจากนี้ ยังจะได้ศึกษาถึงข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับการออกแบบตามมาตรฐาน ACI 318-77 ในส่วนของคอนกรีตอัดแรงที่ใช้คอนกรีตกำลังสูงมากเป็นวัสดุ

## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยคอนกรีตอัดแรงทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมากนี้ จะเตรียมคานตัวอย่างขึ้นทำการทดสอบพฤติกรรมและวิเคราะห์ผลจำนวน 6 ตัวอย่าง คานจะมีขนาดความยาวและรูปร่างหน้าตัด

เท่ากันทั้งหมด แต่จะมีค่าแรงอัดเป็นตัวแปรค่าโดยคานแต่ละตัวจะมีปริมาณลวดอัดแรงแตกต่างกันตั้งแต่ 1-6 เส้น คอนกรีตที่จะใช้ในการหล่อคานจะมีกำลังอัดประมาณ 800-1000 กก./ซม.$^2$ และต้องไม่ต่ำกว่า 650 กก./ซม.$^2$ ที่อายุ 28 วัน เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของพฤติกรรมการดัดของคานกับคานคอนกรีตอัดแรงทำด้วยคอนกรีตธรรมดาอย่างชัดเจน

คานคอนกรีตอัดแรงตัวอย่างจะถูกนำไปทดสอบรับน้ำหนักบรรทุกโดยกดลงบนคานแบบ 2 จุด (Two Points Loading) บันทึกค่าน้ำหนักบรรทุก การโก่งตัวของคาน ค่าความเครียดของคอนกรีตและลวดอัดแรงที่เกิดขึ้น การทดสอบจะเป็นแบบ Quick Load Test และจะทำการบันทึกค่าต่อเนื่องจนกระทั่งถึงจุดวิบัติของคาน

งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1958 Klieger[2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Early High Strength Concrete for Prestressing และได้สรุปผลเกี่ยวกับความสำคัญของปริมาณน้ำในคอนกรีตไว้ว่า ในสัดส่วนผสมคอนกรีตใดก็ตามจะให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงสุดก็ต่อเมื่อใช้น้ำในการผสมให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และในระหว่างการบ่ม นอกจากจะต้องป้องกันไม่ให้น้ำระเหยไปแล้วยังต้องเพิ่มเติมน้ำให้พอเพียงอีกด้วย ซึ่งต่อมา Saucier, Smith และ Tynes[3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารผสมคอนกรีตเพื่อช่วยในการไหลลื่นของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ โดยสามารถทดลองผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงได้ถึง 800 กก./ซม.$^2$ และได้สรุปผลไว้ว่า ในการผสมคอนกรีตกำลังสูง โดยการใช้สารช่วยในการไหลลื่นนั้นจะมีผลทำให้สามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในคอนกรีตลงอันจะเป็นผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น แต่การใช้สารผสมคอนกรีตมากจนเกินไปก็อาจมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้เช่นกัน เนื่องจากสารผสมคอนกรีตมีผลต่อปฏิกริยาเคมี หลังจากนั้น ได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการคัดเลือกวัสดุที่จะใช้ในการผสมให้ได้คอนกรีตกำลังสูง ซึ่งพอจะสรุปได้ คือ การใช้หินขนาดเล็กในการผสมมีความจำเป็นเนื่องจากจะทำให้ปริมาณซีเมนต์เพสที่ต้องการในมวลคอนกรีตลดลง ซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและ

กำลังอัดสูงขึ้น[4, 5, 6, 7] ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 จะเหมาะสมกว่าชนิดที่ 3 เนื่องจากชนิดที่ 3 จะต้องการปริมาณมากกว่าเพื่อให้ได้การไหลที่ดีเท่ากันและนอกจากนี้ยังแข็งตัวเร็วในที่มีอากาศร้อน[3] การใช้สารผสมคอนกรีตชนิดที่กักฟองอากาศ (Air-Entrained Admixtures) จะมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงในอัตราที่สูงมากเพื่อเทียบกับปริมาณฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น[8]

สำหรับคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตกำลังสูงที่แตกต่างไปจากคอนกรีตธรรมดานั้น พบว่าโมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น[2, 3, 9, 10] โดย Magura[11] พบว่ามีค่าสูงถึง $5.07 \times 10^5$ กก./ซม.$^2$ ในคอนกรีตที่มีกำลังอัดประมาณ 760 กก./ซม.$^2$ ส่วนคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อน อาทิเช่น การนำและการกระจายความร้อน ความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การยืดหดตัวจะไม่แตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา[9, 12, 13,,14] Freedman[15] ได้สรุปผลจากงานวิจัยเกี่ยวกับการคืบตัวและการหดตัวในคอนกรีต[16, 17, 18] ว่าทั้งการคืบตัวและการหดตัวของคอนกรีตจะลดลงเมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้น นอกจากนี้ คุณสมบัติในการยึดเกาะกับเหล็กเสริมยังดีขึ้นในคอนกรีตกำลังสูงอีกด้วย[2, 10]

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการดัดนั้น Bloem และ Gaynor[19] พบว่า เมื่อคอนกรีตเพิ่มกำลังอัดขึ้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังดัดอย่างมาก Nedderman[20] ได้ทำการศึกษา Flexural Stress Distribution ในรูปของ Stress block ของคอนกรีตที่มีกำลังอัดในช่วง 550-1000 กก./ซม.$^2$ ในปี ค.ศ. 1973 โดยทำการศึกษาถึง Stress Block Parameters และได้สรุปผลโดยเปรียบเทียบกับ ACI Building Code 1971 ว่า ในคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า 800 กก./ซม.$^2$ นั้น ค่าเฉลี่ยของความลึกของ stress block ควรจะมีค่าเท่ากับ $0.77\ f'_c$ ไม่ใช่ $0.85\ f'_c$ และยังแสดงให้เห็นว่าระยะจากผิวรับแรงอัดถึงแรงอัดรวมต่อระยะจากผิวรับแรงอัดถึงแกนสะเทิน ($k_2$) ยังคงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.37 ในคอนกรีตกำลังสูงไม่ได้ลดลงตามที่ ACI กำหนดไว้ นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงอัดต่อกำลังอัดของคอนกรีตยังคงมีค่าคงที่ซึ่งเฉลี่ยเท่ากับ 0.58

Leslie, Rajagopalan และ Everade[21] ได้สรุปผลการวิเคราะห์ผลการทดลองคานคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 12 ตัวอย่างซึ่งคอนกรีตมีกำลังอัดตั้งแต่ 640-810 กก./ซม.$^2$ ว่าไม่สามารถใช้การวิเคราะห์กำลังดัดประลัยของคานตาม ACI 318-71 ได้กับคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า 550 กก./ซม.$^2$ ขึ้นไป และการวิเคราะห์โดยทฤษฎีอีลาสติคจะให้ผลที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะว่า สมควรที่จะมีการเปลี่ยนแปลงพิกัดปริมาณเหล็กเสริมสูงสุดเพื่อให้คานที่ทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก มีความเหนี่ยวพอเพียงกับความปลอดภัย