บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำทั่วไป

การออกแบบก่อสร้างในโครงสร้างช่วงยาว ๆ มักจะประสบปัญหาและมีขีดจำกัดมากด้วยน้ำหนักบรรทุกและขนาดที่ใหญ่เกินไป แต่เมื่อมีการพัฒนาโครงสร้าง แบบคอนกรีตอัดแรงขึ้นในปี ค.ศ.1886 การออกแบบก่อสร้างโครงสร้างช่วงยาวก็สามารถทำได้อย่างประหยัดยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีขนาดเล็กลง แต่กระนั้นโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงก็มีข้อเสียอยู่บ้าง โดยเฉพาะในกรณีที่มีการอัดแรงมากๆ ในส่วนที่ทำให้เกิดการโก่งตัวขึ้น (Camber) มากเกินไป ต่อมาในปี ค.ศ.1939 ได้มีการทดลองใช้ลวดกำลังดึงสูง อัดแรงเพิ่มลงไปในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น และยังเป็นการควบคุมความกว้างของรอยแตกแยก เนื่องจากกำลังของโครงสร้างชนิดนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการอัดแรง อีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากเหล็กเสริมธรรมดา จึงเรียกโครงสร้างชนิดนี้ว่า โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงบางส่วน (Partially Prestressed Concrete Structures) จากนั้นได้มีการทดสอบวิจัยโครงสร้างชนิดนี้กันอย่างกว้างขวางทั้งยุโรปและอเมริกา เพราะวิศวกรส่วนใหญ่ มีความเห็นว่า โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงบางส่วน ได้รวบรวมเอาข้อดีทั้งในส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และในส่วนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงไว้ในองค์อาคารอันเดียวกัน

โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงบางส่วน จะมีพฤติกรรมอยู่ระหว่าง คอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง ฉะนั้นการศึกษาวิจัยจึงจำต้องครอบคลุมถึง กำลังภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบปกติ และภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ อันจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาพฤติกรรมในแง่ต่าง ๆ รวมทั้งกำลังประลัยหลังการกระทำซ้ำ

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

1.2.1 คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน

คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนเป็นการประยุกต์การใช้งานของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก และคานคอนกรีตอัดแรง โดยรวมเอาคุณสมบัติที่ดีของคานคอนกรีตทั้งสองแบบ เข้าไว้ในองค์อาคารอันเดียวกัน (2) เนื่องจากคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนเป็นโครงสร้างที่ใช้ประโยชน์จากทั้งเหล็กเสริมและลวดอัดแรงไปพร้อม ๆ กันในขณะใช้งาน ดังนั้นพฤติกรรมของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนจึงมีลักษณะก้ำกึ่งอยู่ระหว่างพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กและคานคอนกรีตอัดแรง โดยที่คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนที่มีการอัดแรงมาก พฤติกรรมของคานจะมีแนวโน้มไปทางลักษณะของคานคอนกรีตอัดแรง ในขณะเดียวกันคานที่มีการอัดแรงน้อยพฤติกรรมของคานจะมีแนวโน้มไปในลักษณะของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวแปรที่จะบ่งชี้ว่าคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนมีการอัดแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของการอัดแรง (Partial Prestress Ratio, PPR) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของค่าโมเมนต์ดัดจากผลของการอัดแรง (M_p) และโมเมนต์ดัดประลัย (M_u) (10,37,38) จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนของการอัดแรงเท่ากับ 1 นั่นคือ คานคอนกรีตอัดแรงเต็มทั่วไป ซึ่งโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดมาจากผลของการอัดแรงทั้งหมด เช่นเดียวกัน ถ้าอัตราส่วนของการอัดแรงเท่ากับ 0 นั่นคือคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ซึ่งโมเมนต์ดัดประลัยไม่ได้มาจากผลของการอัดแรงเลย การที่จะเลือกใช้อัตราส่วนของการอัดแรงเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน และความสะดวกในการออกแบบเป็นหลัก (32) จะเห็นว่าคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนเป็นการรวมคุณสมบัติที่ดีของคานคอนกรีตเสริมเหล็กและคานคอนกรีตอัดแรงไว้ในองค์อาคารเดียวกัน เนื่องจากผู้ออกแบบสามารถเลือกออกแบบคานให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานได้

คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนได้เริ่มเป็นที่สนใจเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1939 โดยวิศวกรชาวออสเตรียชื่อ Emperger (2) ได้ใช้ลวดกำลังดึงสูง (High Tensioned Wires) อัดแรงเพิ่มเติมลงไปในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อเพิ่มกำลังในการรับน้ำหนักบรรทุกของคาน และพบว่าโครงสร้างมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นในขณะที่เกิดการแตกร้าวน้อยกว่า

คานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา และมีการโก่งตัวขึ้นน้อยกว่าคานคอนกรีตอัดแรงธรรมดา ในขณะที่คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนกำลังเป็นที่สนใจมากขึ้น Abeles (4) ได้ให้ข้อสรุปจากการศึกษาคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนว่า คานคอนกรีตอัดแรงเต็มนั้น แม้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากภายใต้หน้าตัดที่ไม่เกิดการแตกร้าว แต่การที่มีการอัดแรงมาก ๆ จะทำให้โครงสร้างของคอนกรีตเปราะมากเกินไป (Brittle Meterial) ยังผลให้เกิดการวิบัติอย่างฉับพลันหลังการแตกร้าว ซึ่งไม่เป็นการปลอดภัยในทางโครงสร้าง แต่การเลือกใช้คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน จะให้โครงสร้างยังมีลักษณะอีลาสติคอยู่บ้างหลังการแตกร้าว โดยปรากฏการแตกร้าวและการแอ่นตัวให้เห็นอย่างเด่นชัดก่อนการวิบัติ และนอกจากนั้น Lin(17) ได้ให้ข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาการโก่งตัวขึ้นมากเกินไปของคานคอนกรีตอัดแรง โดยการเลือกใช้คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน แม้จะพบว่ามีข้อจำกัดอยู่บ้างในกรณีของโครงสร้างที่ต้องการการใช้งานในสภาวะที่ปราศจากการแตกร้าว เช่น โครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับสารเคมี หรือการกัดกร่อนของชัลเฟต เพราะโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงบางส่วนย่อมเกิดการแตกร้าวภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน ต่อมาปัญหาของ Lin ในกรณีของการแตกร้าวในคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนก็ได้รับการชี้แจง โดย Abeles (3) ผู้ทำการศึกษาวิจัยถึงลักษณะการแตกร้าวของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน พบว่า รอยร้าวบนคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน ไม่มีผลกระทบต่อเหล็กเสริมภายในของคานในแง่ของการกัดกร่อน เนื่องจากลักษณะการแตกร้าวของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนจะเป็นรอยแตกร้าวที่เล็กมาก (Hair Crack) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน และจะปิดตัวลงเมื่อคานถูกลดน้ำหนักบรรทุกลง

ในการออกแบบโครงสร้างช่วงยาว ๆ คานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปมักประสบปัญหาทางด้านการแอ่นตัวและขนาดของรูปร่างหน้าตัด ในขณะที่คานคอนกรีตอัดแรงเต็ม แม้สามารถแก้ปัญหาทางด้านการแอ่นตัว และรูปร่างหน้าตัดไปได้ แต่มักประสบปัญหาทางด้านการโก่งตัวขึ้นมากเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างที่มีสภาพการใช้งานในการรับน้ำหนักบรรทุกจรในปริมาณที่ไม่แน่นอน ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ ด้วยการใช้คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนโดยการเลือกใช้อัตราส่วนของการอัดแรงให้เหมาะสม เนื่องจากคานคอนกรีตบางส่วนที่ถูกออกแบบให้มีกำลังประลัยเท่ากัน แต่อาจมีพฤติกรรมภายใต้การใช้งานที่ต่างกันได้ทั้งในแง่ของ โมเมนต์ดัดแตกร้าว การแอ่นตัว การโก่งตัว การแตกร้าว และการกระจายรอยแตกร้าว (33) โดยทั่วไป คานคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีการกระจายการแตกร้าวได้ดี และมีการ

แอ่นตัวมากก่อนการวิบัติ ในขณะที่ คานคอนกรีตอัดแรงเต็ม มีการกระจายการแตกร้าวน้อย และมีโมเมนต์ตัดแตกร้าวสูง สำหรับในคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนนั้น Bennett และ Dave (41) ทำการศึกษาถึงการแตกร้าวและการแอ่นตัวของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน พบว่า การแอ่นตัวระยะสั้นของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนมีขนาดไม่มากในระยะแรกก่อนเข้าสู่ช่วงคลาก และหลังจากช่วงคลากก่อนเข้าสู่การวิบัติจะมีการแอ่นตัวมาก ในขณะที่ Magura และ Mognestad (16) ทำการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนพบว่า โมเมนต์ตัดแตกร้าวของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน ให้ค่าต่ำกว่าคานคอนกรีตอัดแรงเต็ม ที่กำลังประลัยเท่ากัน และคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนมีการกระจายรอยร้าวได้ดีกว่าคานคอนกรีตอัดแรงเต็มก่อนการวิบัติ

1.1.2 น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ

ภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของวัสดุภายใต้ความล้า เช่น คอนกรีตอาจเกิดการแตกร้าว แม้ขนาดน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ จะมีค่าน้อยกว่า โมดูลัสแตกร้าว (Rupture Modulus) ของคอนกรีต (13) เมื่อคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนรับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำซึ่งก็มีลักษณะคล้ายคลึงกับภาวะการใช้งานจริง จะมีผลกระทบต่อคานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงในโครงสร้างของคาน เช่น คอนกรีต เหล็กเสริม และลวดอัดแรง ภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่เปลี่ยนแปลงไป-มา นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อคานในด้านการใช้งาน เช่น การเพิ่มขนาดของการแอ่นตัว และการขยายตัวของรอยแตกร้าว ตามจำนวนรอบของการกระทำซ้ำที่เพิ่มขึ้น (10,12,16,41) ดังเช่น Prince และ Edwards (12) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำบนคานคอนกรีตอัดแรง พบว่า คานคอนกรีตอัดแรงอาจเกิดการแตกร้าว ภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำจำนวนหนึ่ง แม้น้ำหนักที่กระทำจะน้อยกว่าน้ำหนักบรรทุกแตกร้าว และผลของน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำบนหน้าตัดซึ่งแตกร้าวอยู่ก่อน จะทำให้รอยร้าวเพิ่มจำนวนมากขึ้น หรือเปิดกว้างขึ้น ส่วนผลกระทบจากการกระทำซ้ำที่มีต่อคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนในด้านการใช้งานในแง่ของการขยายตัวของรอยร้าว และการเพิ่มขนาดของการแอ่นตัวนั้น Mansur (39) ได้ทำการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน ภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำในจำนวนต่าง ๆ พบว่า คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนได้มีการเพิ่มขนาดของการแอ่นตัว และมีการขยายตัวของรอยแตกร้าวตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับผลจากการวิจัยของ Harajli และ

Naaman (42) ซึ่งทำการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีของเหล็กเสริม พบว่า การแอ่นตัวของคานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนรอบของการกระทำซ้ำ และจะมีอัตราการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นสูงมากในช่วงก่อนการวิบัติ นอกจากผลกระทบทางด้านการใช้งานภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำแล้ว ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกำลังของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ คือการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในลวดอัดแรงภายใต้การกระทำซ้ำ โดยที่การทดสอบของ Bennett และ Joynes (9) บ่งชี้ว่า การวิบัติภายใต้ความล้าของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน มักเกิดขึ้นที่ลวดอัดแรงในคานมากกว่าเหล็กเสริมธรรมดา โดยที่การวิบัติเนื่องจากความล้าจะไม่เกิดบนโครงสร้างที่ยังไม่เกิดการแตกร้าว (12) นอกจากนั้น Bennett และ Joynes (9) ยังได้แนะนำให้ใช้เหล็กเสริมธรรมดาเพื่อใช้เป็นเหล็กเสริมไม่อัดแรง โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานความล้าของเหล็กเสริมไม่อัดแรงในคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน โดยเปลี่ยนชนิดของเหล็กเสริมไม่อัดแรงเป็นเหล็กเสริมธรรมดาและลวดกำลังสูง พบว่า การใช้เหล็กเสริมธรรมดานอกจากจะเป็นการลดการเสี่ยงต่อการเกิดความล้าในเหล็กเสริม อีกทั้งยังเป็นการกระจายรอยแตกร้าวไม่ให้เกิดขึ้นอย่างรุนแรงเฉพาะที่ ปัญหาทางด้านกำลังของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนภายใต้การกระทำซ้ำนอกจากผลกระทบจากความล้าในลวดอัดแรงแล้ว แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต ภายใต้การกระทำซ้ำก็มีผลต่อกำลังของคานเช่นกัน จากการศึกษาของ Hanson, Halsbos และ Van Horn (11) รวมทั้ง Prince และ Edwards (12) ถึงผลของน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำที่มีต่อแรงยึดเหนี่ยว (Bond Factor) ให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกัน ว่าแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตและเหล็กเสริมมีค่าลดลงภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ อีกทั้งกำลังต้านทานความล้าของลวดอัดแรงในคานยังให้ค่าน้อยกว่ากำลังต้านทานความล้าของลวดอัดแรงเมื่อทดสอบในภาวะปกติ

ผลจากการกระทำซ้ำที่มีต่อคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการกระทำซ้ำมาก่อน จะส่งผลให้คานมีความแกร่งลดน้อยลงกว่าเดิม เนื่องจากการแตกร้าวของคานที่มีอยู่ก่อนขณะรับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ อีกทั้งยังก่อให้เกิดการแอ่นตัวถาวรขึ้นหลังการกระทำซ้ำ (39,42) สำหรับกำลังของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนหลังการกระทำซ้ำ Harajli และ Naaman (42) ทำการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนหลังการกระทำซ้ำ พบว่า กำลังของคานหลังการกระทำซ้ำไม่ต่างจากกำลังของคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำมากนักในขณะที่ Mansur (39) พบว่า กำลังของคานหลังการกระทำซ้ำนอกจากจะ

ไม่ต่างจากกำลังของคานที่ไม่ผ่านการกระทำซ้ำแล้ว ยังมีแนวโน้มว่าจะมีค่าสูงขึ้นอีกเล็กน้อย อีกทั้งหลังการกระทำซ้ำคานยังมีความเหนียวมากขึ้น โดยที่คานจะมีการแอ่นตัวมากก่อนการวิบัติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน ซึ่งเป็นโครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่งที่รวมเอาคุณสมบัติเด่นของคานคอนกรีตอัดแรง และคานคอนกรีตเสริมเหล็กไว้ในองค์อาคารอันเดียวกัน จึงจำต้องศึกษาพฤติกรรมทั้งภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ และพฤติกรรมของคานหลังการรับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ อันมีลักษณะคล้ายคลึงกับภาวะที่เกิดขึ้นจริงข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ในงานวิจัยโครงสร้างชนิดนี้ต่อไป เนื่องจากโครงสร้างชนิดนี้ยังมีผู้ทำการวิจัยน้อยกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กและคานคอนกรีตอัดแรงทั่วไป สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบตัวอย่าง และนำผลมาวิเคราะห์โดยเก็บข้อมูลเกี่ยวกับกำลังดัดประลัย โมเมนต์ดัดแตกร้าว การแอ่นตัว และหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีต เหล็กเสริม และลวดอัดแรง ขณะทำการทดสอบทั้งภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ และหลังการกระทำซ้ำ โดยมีพฤติกรรมของคานที่จะทำการศึกษา คือ

1. พฤติกรรมของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน ขณะรับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ โดยจะพิจารณาถึง

- ลักษณะการแตกร้าว
- พฤติกรรมการแอ่นตัวของคาน
- หน่วยแรงของคอนกรีตที่ผิวรับแรงอัด
- หน่วยแรงในเหล็กเสริมและลวดอัดแรง

โดยทำการศึกษาภายใต้อิทธิพลของตัวแปรหลัก คืออัตราส่วนของการอัดแรง และสัดส่วนน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำต่อน้ำหนักบรรทุกประลัย

2. ผลกระทบจากประวัติการรับน้ำหนักบรรทุกมาก่อน (Pre-History Load) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ (Static Load)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้จำกัดเฉพาะคานหน้าตัดรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 10 x 18 ซม. ยาวทั้งหมด 140 ซม. มีช่วงคานยาว 120 ซม. ตัวอย่างทดสอบประกอบด้วย คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนชุดที่มีค่าอัตราส่วนของการอัดแรงเท่ากับ 0.27 และ 0.59 ทำการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำด้วยความถี่ 10 H_z และจำกัดจำนวนรอบของการกระทำซ้ำที่ 2,000,000 รอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย