บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในงานก่อสร้างอาคาร ระบบพื้น นับเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่มีผลทำให้ราคาต้นทุนการก่อสร้างสูงหรือต่ำ และสืบเนื่องจากราคาวัสดุ, ค่าแรงงาน และอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน จึงทำให้มีการพัฒนาค้นคิดระบบพื้นแบบอื่นมาใช้แทนระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ ซึ่งเป็นระบบพื้นที่สิ้นเปลืองวัสดุและราคาค่าก่อสร้างที่ค่อนข้างสูง เพื่อให้ได้มาซึ่งระบบพื้นที่มีประสิทธิภาพทางด้านโครงสร้างที่ดี และราคาประหยัดลง

พื้นสำเร็จรูป ระบบตงคอนกรีตอัดแรง และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ เป็นระบบพื้นอีกระบบหนึ่ง ที่จะนำมาศึกษาพิจารณาถึงความเหมาะสมทางวิศวกรรมในการ-ใช้งาน พื้นสำเร็จรูประบบตงคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ดังกล่าวนี้ จะประกอบด้วยตงคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป แบบอัดแรงก่อนรูปตัวไอ (I) วางห่างกันเป็นระยะ ๆ และมีแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่หล่อ อมทับตงเหล่านี้ โดยอาศัยแบบหล่อชั่วคราว ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งระบบพื้นดังกล่าวนี้น่าที่จะให้ประสิทธิภาพทางด้านโครงสร้างและเศรษฐกิจที่ดีสำหรับงานอาคาร นอกเหนือไปจากการใช้งานในโครงสร้างสะพานที่นิยมใช้กัน

จากการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมโดยละเอียดของพื้นสำเร็จรูประบบตงคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ในการวิจัยครั้งนี้นั้น จะเป็นส่วนบ่งบอกถึงความเหมาะสมทางด้านโครงสร้างการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้น และเมื่อรวมถึงการวิเคราะห์เปรียบ-เทียบประสิทธิภาพทั้งทางด้านโครงสร้างและเศรษฐกิจในเชิงทฤษฎีของพื้นระบบดังกล่าวนี้ กับพื้นระบบอื่น ๆ ก็จะทำให้ทราบถึงความเหมาะสมเมื่อนำเอาพื้นระบบนี้ไปใช้งาน และจะเป็นแนวทางช่วยในการพิจารณาเลือกใช้ระบบพื้นสำหรับโครงสร้างอาคารต่าง ๆ

1.2 การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว

ระบบการก่อสร้างแบบเชิงประกอบ (Composite construction system) ที่ประกอบด้วยคานคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่นั้น ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1938 ที่ประเทศเยอรมันนี[7] โดยใช้เป็นระบบพื้นของโครงสร้างสะพาน ซึ่งประกอบด้วยคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I) จำนวน 4 ตัว วางห่างกันเป็นระยะ ๆ ที่เท่ากัน แล้วมีแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ (deck slab cast - in - place) หล่อทับคานคอนกรีตอัดแรงดังกล่าว ซึ่งหลักการก่อสร้างและรายละเอียดการคำนวณออกแบบได้ถูกตีพิมพ์ให้ปรากฏเมื่อปี ค.ศ. 1940 และ ค.ศ. 1943 ตามลำดับ

และในปี ค.ศ. 1943 นั้นเอง คานเชิงประกอบรูปตัวที ซึ่งประกอบด้วยตัวอกคาน (Web) เป็นคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I) และตัวปีกคานด้านบนเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ ตัวแรก ได้ถูกสร้างและทดสอบ ณ ประเทศสวิสเซอร์แลนด์[8, 9] ซึ่งให้ผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจ แสดงให้เห็นว่าหน้าตัดเชิงประกอบ (Composite section) เป็นไปได้ หลังจากนั้นเป็นต้นมาระบบเชิงประกอบซึ่งประกอบด้วยคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I) และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ ก็ถูกนำมาก่อสร้างและวิจัยกันอย่างแพร่หลาย แต่จะเป็นในลักษณะของงานโครงสร้างสะพานเป็นส่วนมาก

ณ Imperial college of Science and Technology, London University, Stephen Revesz[10] ได้ทดสอบคานเชิงประกอบรูปตัวที (T) จำนวน 5 ตัว โดยแปรเปลี่ยน คุณภาพของคอนกรีตในปีกคานซึ่งเป็นคอนกรีตหล่อกับที่, เปอร์เซนต์ของเหล็กเสริมอัดแรง, หน่วยแรงดึงในเส้นลวดแต่ละเส้น และได้สรุปผลการทดลองว่า

- หน่วยแรงดึงในเส้นลวด ไม่มีผลต่อน้ำหนักบรรทุกประลัยของคานที่เสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุลย์ (Under - reinforced)
- การแปรเปลี่ยนของคุณภาพของคอนกรีตที่หล่อกับที่นั้นไม่ค่อยจะมีผลกับการรับน้ำหนักบรรทุกของคาน
- การทำผิวสัมผัสระหว่างผิวของตัวอกคาน (Web) ที่หล่อสำเร็จกับแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ให้ขรุขระหรือหยาบจะสามารถป้องกันการวิบัติทางแรงเฉือนแนวนอนได้

- คานเชิงประกอบที่ประกอบด้วยตัวอกคานที่เป็นคอนกรีตอัดแรงจะเตือนภัยของการวิบัติได้ดีกว่าคานเชิงประกอบที่ประกอบด้วยอกคานที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา

R.H. Evans and A.S. Parker[11] ได้ทำการทดสอบคานเชิงประกอบจำนวน 13 ตัว โดยคานทุกตัวนั้นถูกออกแบบด้วยทฤษฎีเส้นตรง (Straight line theory) และได้สรุปผลไว้ว่า

- ทฤษฎีเส้นตรงสามารถใช้กับองค์อาคารเชิงประกอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การยึดเหนี่ยวระหว่างตัวคานคอนกรีตอัดแรงกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ ซึ่งเป็นปีกของคานเชิงประกอบนั้นจะเกิดขึ้นอย่างดี ถ้าผิวของพื้นที่สัมผัสนั้นหยาบ การใช้เหล็กปลอกที่ต่อเนื่องออกจากตัวคานคอนกรีตอัดแรงเข้าไปในแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ (extended Stirrups) สามารถที่จะทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวดีขึ้น แต่ก็ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการนี้ ถ้าหากการยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสมีค่ามากพอ
- ความแตกต่างจากการหดตัว (Differential Shrinkage) ระหว่างชิ้นส่วนประกอบทั้งสอง อาจจะมีผลกับน้ำหนักบรรทุกแตกร้าวในทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของการออกแบบปรกติ

ระหว่างปี ค.ศ. 1957 - 1958 ณ Portland Cement Association Research and Development Laboratories, Hanson N.W.[12] ได้ทดสอบหาลักษณะเชิงประกอบ (Composite action) ระหว่างคานหล่อสำเร็จกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ โดยการดันชิ้นส่วนเชิงประกอบ (Push - off test of small specimens) และให้น้ำหนักบรรทุกกับคานเชิงประกอบรูปตัวที จำนวน 62 ตัว และ 10 ตัว ตามลำดับ และสรุปผลการทดสอบว่า

- หน่วยแรงเฉือนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 35 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร สำหรับผิวขรุขระ และมีค่าเท่ากับ 21 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตรสำหรับผิวเรียบ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราประมาณ 12.25 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร สำหรับการเพิ่มเนื้อที่เหล็กยึด (Stirrup reinforcement crossing the joints) ทุก ๆ 1 เปอร์เซ็นต์ ของเนื้อที่ที่สัมผัส

- ค่าการเคลื่อนตัววิกฤต มีค่าเท่ากับ .013 ซม. ถ้าการเคลื่อนตัวตรงผิวสัมผัสมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตนี้แล้ว ประสิทธิภาพของหน้าตัดเชิงประกอบจะลดลง

- การทดสอบแบบดันออก (Push - off) ของชิ้นส่วนเชิงประกอบสามารถใช้แทนการทดสอบแบบคาน (Girder test) ได้เป็นอย่างดี

ระหว่างปี ค.ศ. 1960 - 1962, Saemann J.C. and Washa G.W.[13] ได้ทดสอบคานเชิงประกอบรูปตัวที (T) ซึ่งประกอบด้วยตัวอกคานเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดารูปตัวไอ (I) และตัวปีกคานด้านบนเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ที่มีกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับตัวอกคาน ทั้งหมดจำนวน 42 ตัว โดยการแปรเปลี่ยน ลักษณะผิวสัมผัส, ค่าของช่วงแรงเฉือน (Shear Span), ตำแหน่งของผิวสัมผัสที่เทียบกับแกน-สะเทิน, เปอร์เซนต์ของเหล็กยึด (Percentage of steel across the joint) และกำลังอัดประลัยของคอนกรีตของคาน ได้สรุปผลการทดสอบว่า

- กำลังรับแรงเฉือนประลัยของผิวสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าอัตราส่วนของช่วงแรงเฉือนต่อความลึกประสิทธิผลของคานลดลง

- คานที่ทำผิวสัมผัสให้ค่อนข้างขรุขระ จะให้ค่าแรงเฉือนประลัยเทียบเท่ากับคานที่มีการยึดทางกล (Shear key)

- การเพิ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีตจาก 210 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ไปเป็น 350 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร จะทำให้ค่าแรงเฉือนประลัยเพิ่มขึ้นบ้าง

- คานเชิงประกอบทุกตัวมีเหล็กยึดมากกว่า .15 เปอร์เซนต์ และผิวสัมผัสค่อนข้างขรุขระ หรือขรุขระ จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกประลัยได้มากกว่า 1.8 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบจากค่าโมเมนต์ดัด (Design load based on moment)

ที่ Lehigh University, Badoux J.C. and Hulsbus C.L.[14] ได้ทดสอบคานเชิงประกอบ จำนวน 29 ตัว โดยการใช้น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำซ้ำซาก ได้สรุปผลไว้ว่า

- การแตกร้าวแบบดึงทะแยง (Diagonal Tension Cracking) ในคานหล่อสำเร็จ (precast beam) จะเป็นจุดเริ่มก่อให้เกิดการแตกร้าวที่ผิวสัมผัส นำมาซึ่งการสูญเสียประสิทธิภาพของหน้าตัดเชิงประกอบในที่สุด

- ผิวสัมผัสที่ขรุขระจะให้ประสิทธิภาพที่ดีต่อการรับน้ำหนักบรรทุกแบบกระทำซ้ำซาก

- กำลังของรอยต่อตรงผิวสัมผัสเนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุกแบบกระทำซ้ำซากจะขึ้นอยู่กับจำนวนเหล็กยึด

- อัตราส่วนของช่วงแรงเฉือนต่อความลึกประสิทธิผลของคานมีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงเฉือนที่รอยต่อของผิวสัมผัสค่อนข้างน้อย

- จากการทดสอบกับขนาดจริง (full - sized) พบว่า ผลจากการทดสอบแบบย่อส่วนของคาน (Small - sized) จะให้ค่าที่ปลอดภัยมากกว่า (Conservative estimate)

Chung H.W. and Chung T.Y.(15) ได้ทำการทดสอบคานเชิงประกอบรูปตัวที (T) จำนวน 18 ตัว โดยแบ่งคานออกเป็น 4 กลุ่ม มีการแปรเปลี่ยนจำนวนเหล็กยึดและความเข้มของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำซ้ำซาก จากผลการทดสอบครั้งนี้ Chung H.W. และ Chung T.Y. ได้สรุปผลว่า

- การวิบัติเนื่องจากการล้า (Fatique failure) ที่รอยต่อของผิวสัมผัสจะไม่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่งล้านรอบของการให้น้ำหนัก ถ้าน้ำหนักบรรทุกแบบกระทำซ้ำซากนั้นมีค่าไม่เกิน 55 เปอร์เซนต์ ของน้ำหนักบรรทุกสถิตย์

- ค่าการเคลื่อนตัววิกฤตเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกแบบกระทำซ้ำซาก มีค่าเท่ากับ .0025 ซม. ถ้าการเคลื่อนตัวตรงผิวสัมผัสมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตนี้แล้วประสิทธิภาพของคานเชิงประกอบจะลดลงอย่างรวดเร็ว

- ลักษณะการกระทำแบบซ้ำซากจะไม่มีผลต่อกำลังที่รอยต่อของผิวสัมผัสแต่อย่างใด ถ้าน้ำหนักบรรทุกแบบกระทำซ้ำซากนั้นมีค่าไม่สูงพอที่จะเกิดการวิบัติเนื่องจากการล้าได้

- การโก่งตัวของคานเชิงประกอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำซ้ำซากจะมีค่ามากกว่าปรกติ ซึ่งบางกรณีอาจมีค่ามากกว่าถึง 25 เปอร์เซนต์

การเคหะแห่งชาติ ประเทศไทย[1] ได้นำระบบพื้น 3 ระบบ คือ ระบบพื้นแบบที่ 1 เรียกว่า ระบบพื้นแบบ SEACON ซึ่งเป็นระบบพื้นที่ประกอบขึ้นจากแผ่นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดารูปตัวยู (U) คว่ำ วางเรียงชิดกัน หยอดร่องด้วยปูนทราย แล้วเทคอนกรีตทับหน้า, ระบบพื้นแบบที่ 2 เรียกว่า ระบบพื้นแบบ FS - 01 เป็นพื้นระบบตงที่ประกอบด้วยตงคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดารูปสี่เหลี่ยมคางหมู วางห่างกันเป็นระยะ 80 ซม. (ศูนย์กลาง - ศูนย์กลาง) แล้วมีแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่หล่อทับอมตงเหล่านี้ โดยอาศัยแบบหล่อชั่วคราว และระบบพื้นแบบที่ 3 เรียกว่า ระบบพื้นแบบ FS - 02 ซึ่งเป็นระบบพื้นที่ประกอบขึ้นจากการวางแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จบนขอบบนของแผ่นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดารูปตัวยู (U) คว่ำ ซึ่งวางห่างกันเป็นช่องว่าง 60 ซม. เป็นระยะ ๆ แล้วเทคอนกรีตเสริมตะแกรงกรงไก่ (Chicken Wire) ทับหน้า มาสร้างเป็นระบบพื้นในแฟลตของการเคหะแห่งชาติ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลเปรียบเทียบระบบพื้นทั้งสามดังกล่าว และสรุปผลว่า ระบบพื้นแบบที่ 1 (SEACON) สามารถทำการก่อสร้างได้เร็วกว่าระบบพื้นคอนกรีตแบบที่ 3 (FS - 02) และระบบพื้นแบบที่ 2 (FS - 01) ตามลำดับ ราคาต้นทุนในการดำเนินงานของระบบพื้นแบบที่ 1 (SEACON) จะลงทุนมากกว่าแบบระบบพื้นแบบที่ 3 (FS - 02) เล็กน้อย แต่ถ้ามีการก่อสร้างถึงปริมาณหนึ่งแล้ว ราคาในการก่อสร้างพื้นแบบที่ 1 (SEACON) จะเริ่มลดลง และมีราคาต่ำกว่าพื้นแบบที่ 3 (FS - 02) แต่อย่างไรก็ดีราคาในการดำเนินงานและก่อสร้างระบบพื้นแบบที่ 2 (FS - 01) นั้นจะต่ำที่สุด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยมีดังนี้คือ

1.3.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมพื้นระบบตงคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกันที่ เกี่ยวกับการกระจายแรงระหว่างแผ่นพื้นและตง ในลักษณะของ

ก. ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัว

ข. การคืนตัวของโครงสร้าง

ค. ความเหนียวของโครงสร้าง

1.3.2 ศึกษาถึงความเหมาะสมทางวิศวกรรมในการใช้พื้นระบบตงคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกันที่กับโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกระหว่าง 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ถึง 500 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ช่วงความยาว 3 เมตร ถึง 5 เมตร และค่าอัตราส่วนช่วงความยาวต่อความลึกระหว่าง 18 ถึง 29

1.3.3 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในเชิงทฤษฎีของพื้นระบบตงคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกันที่ดังกล่าวนี้กับระบบพื้นอื่น ๆ

1.4 ขอบข่ายของการวิจัย

การวิจัยพื้นสำเร็จรูประบบตงคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกันที่ดังกล่าวนี้ จะทำการสร้างตงและแผ่นพื้นเชิงประกอบ (ซึ่งจะเรียกว่าแผ่นพื้น-ตง) ขึ้น เพื่อทดสอบและวิเคราะห์พฤติกรรมโดยมีขนาดของหน้าตัดของตงและแผ่นพื้น-ตง อย่างละ 2 ขนาด และมีค่าเปอร์เซนต์ของเหล็กเสริมอัดแรงตั้งแต่ .616 ถึง .885 สำหรับตง และตั้งแต่ .060 ถึง .111 สำหรับแผ่นพื้น-ตง ซึ่งตงและแผ่นพื้น-ตง ที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดมีลักษณะเป็นคานช่วงเดียวธรรมดา (Simply supported beam) และการใส่น้ำหนักบรรทุกกระทำอย่างสถิตย์ (Static loading) การกระจายของแรงที่เกิดขึ้น เนื่องจากการหดตัวที่ไม่เท่ากัน (Differential shrinkage) ระหว่างตงกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกันที่จะไม่นำมาพิจารณา