บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ถึงแม้ว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กพับมีผู้ทำการค้นคว้าและวิจัยมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1954 แต่จากการวิจัยที่แล้วมาพบว่า แผ่นพื้นส่วนใหญ่ที่ทำการทดสอบเกิดการวิบัติแบบ "Shear-Bond" ซึ่งเป็นการวิบัติที่เกิดขึ้นทันทีทันใดไม่มีการเตือนให้รู้ล่วงหน้า ดังนั้น จึงไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน อย่างไรก็ตาม ในการก่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่ว ๆ ไป นอกจากจะใช้ไม้แบบเพื่อรับน้ำหนักในระหว่างเทคอนกรีตแล้ว ยังจะต้องมีเหล็กเสริมเพื่อรับแรงภายในอีกด้วย การที่จะต้องใช้ทั้งเหล็กเสริมและไม้แบบสำหรับสองวัตถุประสงค์ จึงน่าจะยุบให้เหลือวัสดุเดียว แต่ใช้ได้สำหรับสองวัตถุประสงค์ กล่าวคือ ใช้แผ่นเหล็กเป็นทั้งเหล็กแบบและเหล็กเสริมในขณะเดียวกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเหล็กพับรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Concrete Slab Reinforced with Trapezoidal-Ribbed Cold-Formed Steel) โดยการพับแผ่นเหล็กเพื่อให้แผ่นเหล็กพับมีกำลัง สามารถรับน้ำหนักคอนกรีตในระหว่างเทได้ แต่เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วก็จะทำหน้าที่เป็นเหล็กเสริมได้โดยไม่ต้องเสริมเหล็กเพิ่มเติม ในการออกแบบจะถือหลักให้ใช้เหล็กน้อยกว่าการออกแบบสมดุลย์ ทั้งนี้ เพื่อว่าการวิบัติจะเกิดที่เหล็กรับแรงดึง (Tension Failure) จึงทำให้แผ่นพื้นมีความเหนียวสูง มีการเตือนล่วงหน้าก่อนที่จะเกิดการวิบัติ

แผ่นพื้นชนิดนี้จะประกอบด้วยคอนกรีต แผ่นเหล็กพับรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal-Ribbed Cold-Formed Steel) และแผ่นเหล็กยึดเชิงกล (Mechanical Anchorage) ขณะที่แผ่นพื้นรับน้ำหนักบรรทุก คอนกรีตบริเวณผิวบนของแผ่นพื้นนี้จะทำหน้าที่รับแรงอัด ส่วนแผ่นเหล็กพับซึ่งอยู่ผิวล่างของแผ่นพื้นจะทำหน้าที่รับแรงดึง และแผ่นเหล็กยึดเชิงกลจะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการวิบัติอันเนื่องมาจากการแยกตัวระหว่างเนื้อคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับซึ่งเรียกว่า "Shear-Bond Failure".

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเหล็กพับรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมเชิงดัดของแผ่นพื้นตัวอย่างในด้านการรับน้ำหนักบรรทุกจนถึงขั้นวิบัติ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นลักษณะต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดกับมุมเปลี่ยน (Moment-Curvature Relationship)
2. ลักษณะการโก่งงอเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก (Load-Deflection Relationship)
3. หน่วยการหดตัวสูงสุดในเนื้อคอนกรีตก่อนเกิดการวิบัติ (Maximum Concrete Strain)
4. ลักษณะการแตกร้าวและการวิบัติ (Crack Pattern and Mode of Failure)
5. ความเหนียว (Ductility)
6. ตำแหน่งของแนวแรงดึงรวมที่เกิดในเหล็กเสริมซึ่งพับเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ทั้งนี้โดยใช้ขนาดความหนาของแผ่นเหล็กพับ และระยะของแผ่นเหล็กยึดเชิงกลเป็นตัวแปรในการเตรียมแผ่นพื้นตัวอย่างทดสอบ

1.3 ขอบข่ายของการวิจัย

การวิจัยแผ่นพื้นเสริมเหล็กพับจะจำกัดขอบเขตการวิจัยอยู่กับความหนาของแผ่นเหล็กระหว่าง 0.720 ถึง 1.443 มม. แผ่นเหล็กนี้จะถูกพับเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สูง 9.5 ซม. จำนวน 4 ลอน แต่ละลอนกว้าง 18.3 ซม. คอนกรีตเททับหน้าหนา 5 ซม. โดยให้ความยาวช่วงของแผ่นพื้นยาว 4.00 ม. กำลังอัดของคอนกรีตมีค่า 300 กก/ตร.ซม. ส่วนแผ่นเหล็กยึดเชิงกลที่ใช้มีขนาดเดียว สูง 5 ซม. ยาว 11 ซม. และหนา 0.1443 ซม. เชื่อมยึดให้มีระยะห่างอยู่ระหว่าง 5 ถึง 30 ซม.

1.4 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ในระยะเริ่มแรกของการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับแผ่นพื้นชนิดนี้ จะมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แผ่นเหล็กพับเป็นแบบในการเทคอนกรีต และเรียกแผ่นพื้นชนิดนี้ว่า "Keystone Beam" ซึ่งผลิตโดยบริษัท H.H. Robertson Company[22] ต่อมาบริษัท Granco Steel Product Company[22] ได้ผลิตแผ่นพื้น"Cofar" ซึ่งเป็นแผ่นพื้นที่ใช้แผ่นเหล็กพับทำหน้าที่เป็นทั้งแบบสำหรับรับน้ำหนักคอนกรีตเหลวขณะเท และเป็นเหล็กรับแรงดึงขณะรับน้ำหนักบรรทุกขึ้นใช้เป็นครั้งแรก เหล็กพับที่ใช้มีลักษณะเป็นลอน (Corrugate) มีความต้านทางแรงดึงสูงและมีเส้นลวดเชื่อมติดด้านบนเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับให้ดีขึ้น หลังจากนั้นมีผู้ศึกษาและวิจัยหาพฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของแผ่นพื้นชนิดนี้เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ลักษณะตัวแปรที่ได้ทดสอบและศึกษาวิจัยมาแล้วมีทั้งที่เกี่ยวกับความยาวช่วง [9, 14, 16, 19] ความหนาของแผ่นเหล็กพับ[9, 11, 14, 16, 19] รูปร่างหน้าตัด[3, 8, 11, 13, 16, 19] สภาพผิวเหล็ก[16, 20] ชนิดของน้ำหนักบรรทุก[3, 16, 19, 24] และลักษณะของวัสดุที่เพิ่มการยึดเกาะระหว่างเหล็กกับคอนกรีต[16, 19, 24] จากผลของการศึกษาได้พบลักษณะการวิบัติในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งในระยะแรก ๆ จะพบว่าการวิบัติจะเป็นไปในรูปของ "Shear Bond Failure"[3, 6, 11, 16, 19, 24] หรือขาดตรงรอยเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กกับวัสดุที่ใช้เป็นตัวเพิ่มการยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับเหล็กจะขาดออกจากกัน[9, 14] และเมื่อได้มีการแก้ไขปรับปรุง โดยการเปลี่ยนรูปร่างหน้าตัดของแผ่นเหล็กพับหรือเพิ่มเครื่องยึดเหนี่ยวเชิงกลในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้แผ่นพื้นเหล่านี้รับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นจนกระทั่งแผ่นพื้นเกิดการวิบัติจากแรงดึงในเหล็กหรือแรงอัดในคอนกรีต[16] และจากการวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวข้างต้น พอจะประมวลผลได้ดังนี้คือ

Holfsoy ร่วมกับ Gukild[10] และ Revsky[20] พบว่าชนิดของแผ่นเหล็กพับที่ชุบด้วยสังกะสีจะให้การยึดเกาะระหว่างแผ่นเหล็กพับกับคอนกรีตมากขึ้น โดยให้เหตุผลว่าปฏิกริยาเคมีระหว่างซีเมนต์กับสังกะสีช่วยเพิ่มการยึดเกาะ Luttrell และ Davison[13] กล่าวว่าความสูงของแผ่นเหล็กพับไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักบรรทุกเพียงแต่ช่วยลดค้ำยันในขณะเทคอนกรีตเหลว อีกทั้งแผ่นเหล็กตั้ง (Web) จะรับหน่วยแรงเฉือนทางแนวราบได้น้อยลงประมาณหนึ่งในสามของค่าที่ควรจะรับได้เมื่อใช้แผ่นเหล็กพับมีความสูงน้อยกว่า Porter และ Ekberg[15, 16]

พบว่าลักษณะหน้าตัด กำลังคลากและสภาพผิวของแผ่นเหล็กพับ กำลังของคอนกรีต ความสูงของแผ่นพื้นและความยาวช่วงที่รับแรงเฉือน ตลอดจนชนิดของน้ำหนักบรรทุกมีผลต่อการรับน้ำหนักบรรทุกทั้งสิ้น ส่วนการทดสอบของ Bryl[3] บ่งให้เห็นพฤติกรรมในแต่ละขั้นตอนคือ ในขณะที่คอนกรีตยังไม่เกิดการแตกร้าว การโก่งงอจะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักบรรทุกและหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับสามารถหาได้จากสมการ $\tau_H = \frac{VQ}{Ib}$ โดยที่ τ_H เป็นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับ V เป็นแรงเฉือน Q เป็นโมเมนต์ของพื้นที่หน้าตัด I เป็นโมเมนต์ของความเฉื่อย และ b เป็นความกว้างประสิทธิผลของหน้าตัด เมื่อคอนกรีตเริ่มมีการแตกร้าวเกิดขึ้น การโก่งงอจะเพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักบรรทุกหน่วยแรงยึดเหนี่ยวจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงของคอนกรีตที่สัมผัสกับแผ่นเหล็กพับ ขณะที่แรงดัดเพิ่มขึ้นหน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับจะค่อย ๆ ลดลงจนเกิดการเลื่อนตัว หลังจากนั้นแผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติทันที ในการทดสอบชุดเดียวกันนี้ยังพบว่า เมื่อใส่เครื่องยึดเหนี่ยวเชิงกล (Mechanical Device) เพิ่มเข้าไปในแผ่นเหล็กพับเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเลื่อนตัวระหว่างผิวคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับ จะทำให้แผ่นพื้นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งแผ่นพื้นเกิดการวิบัติจากแรงดึงหรือแรงอัด ส่วนการทดสอบของวิชิต[24] พบว่าการรับน้ำหนักในช่วงก่อนและหลังเกิดการแตกร้าว ก่อนที่จะเกิดการเลื่อนตัวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตจะมีพฤติกรรมคล้าย ๆ กับของ Bryl[3] มาก เมื่อเกิดการเลื่อนตัวแล้ว แผ่นพื้นนี้ยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มขึ้นอีก ทั้งนี้เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับยังมีอยู่และเมื่อการเลื่อนตัวเคลื่อนไปถึงปลายของแผ่นพื้นแล้วจะเกิดการวิบัติอันเนื่องจากแผ่นเหล็กถึงจุดคลาก และบิดงอ (Buckling) ส่วนคอนกรีตจะแตก (Crushing) ออกจากกัน จากการทดสอบต่าง ๆ ยังพบว่า ถ้าเผื่อการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กพับไม่ดี ก็จะเกิดการวิบัติที่ผิวสัมผัสทั้งสองก่อน ดังการทดสอบของ Bryl[3], Revsky[20], Iyenga[11], วิชิต[24], Porter และ Ekberg[16] แต่ถ้าแผ่นเหล็กมีเครื่องยึดเหนี่ยวเชิงกลที่ดีพอก็จะทำให้แผ่นพื้นเกิดการวิบัติจากแรงดึงในเหล็กหรือแรงอัดในคอนกรีต ดังการทดสอบของ Porter และ Ekberg[16] แต่ในบางกรณีแผ่นพื้นอาจเกิดการวิบัติอันเนื่องมาจากเกิดการฉีกขาดตรงรอยเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กกับเครื่องยึดเหนี่ยวเชิงกล ดังเช่นผลการทดสอบของ Friberg[9] และ McDermott[14] จากประสพการณ์และการทดสอบ Friberg[9] แนะนำว่า

อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความลึกของแผ่นพื้นควรมีค่าน้อยกว่า 35 และความสูงของแผ่นพื้นควรมีค่ามากกว่า 8.75 ซม. แต่ Porter และ Ekberg[16] กล่าวว่า อัตราส่วนความยาวช่วงต่อความลึกของแผ่นพื้นควรมีค่าน้อยกว่า 22 และความสูงของแผ่นพื้นควรมีค่ามากกว่า 8.90 ซม. ส่วน Wei-Wen Yu[25] เสนอแนะว่า ระยะโก่งมากที่สุดควรมีค่าน้อยกว่า 1 ต่อ 200 ของความยาวช่วงหรือ 19 มม. ในระหว่างเทคอนกรีตเหลว แต่ควรมีค่าน้อยกว่า 1 ต่อ 360 ของความยาวช่วงขณะรับน้ำหนักบรรทุก และอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความลึกของแผ่นพื้นควรมีค่าน้อยกว่า 25 อีกทั้งความสูงของแผ่นพื้นควรมีค่ามากกว่า 8.75 ซม.