

การทนไฟของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลวงที่มีและไม่มีมอร์ตาร์อุดรอยต่อบริเวณปลาย

Fire Resistance of Hollow-core Concrete Slabs with and without Joint Mortar

นาย ศุภฤตสิน ทองสาย¹ นางสาว สุพิชญา ทีฆธนสุข² และ ศาสตราจารย์ ดร. ชาญวัฒน์ โพธิศิริ³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

ปัจจุบันแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลวงได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม ในสภาวะเพลิงไหม้ แผ่นพื้นดังกล่าวอาจสูญเสียความต้านทานโมเมนต์ดัดเนื่องจากผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและส่งผลให้เกิดการวิบัติของโครงสร้างก่อนระยะเวลาการทนไฟที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคาร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการอุดรอยต่อบริเวณปลายของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลวงด้วยมอร์ตาร์ที่มีต่อการทนไฟของแผ่นพื้น ซึ่งเป็นผลจากการเหนียวรั้งตามแนวแกนที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ผลการทดสอบอัตราการทนไฟขนาดจริงแสดงให้เห็นว่า การใช้มอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 อุดรอยต่อขนาดกว้าง 100 มม. บริเวณปลายของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลวงที่มีความหนา 120 มม. ส่งผลให้เกิดการเหนียวรั้งตามแนวแกน ซึ่งสังเกตได้จากการขยายตัวของแผ่นพื้นที่ลดลง นอกจากนี้ การเหนียวรั้งตามแนวแกนดังกล่าวส่งผลให้ระยะโง่งที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นพื้นลดลงและอัตราการทนไฟของแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการทนไฟที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของมอร์ตาร์อุดรอยต่อดังกล่าวยังคงไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดขั้นต่ำของอัตราการทนไฟในกฎหมาย

คำสำคัญ: แผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลวง, การทนไฟ, การเหนียวรั้งตามแนวแกน, มอร์ตาร์อุดรอยต่อ

Abstract

Hollow-core concrete slabs have been widely used in the construction industry. However, these slabs may lose their flexural capacities under fire due to the increasing temperatures, leading to a premature failure compared with the fire resistance period specified in the building regulations. The current study is aimed to investigate the impact of joint mortar on the fire resistance of hollow-core concrete slabs through providing the axial restraint against thermal expansion. The results from full-

scale fire testing showed that the use of joint mortar with a water-cement ratio of 0.5 at both 100-mm end joints of the 120 mm hollow-core concrete slabs induced the axial restraint, as observed from the reduced thermal expansion of these slabs. Moreover, the effects of the axial restraint in reducing the midspan deflection and enhancing the fire resistance were also observed. Nevertheless, the increase in the fire resistance period was still not sufficient to meet the minimum requirements by the current regulations.

Keywords: Hollow-core concrete slabs, Fire resistance, Axial restraint, Joint mortar

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

แผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลวง (Hollow-core concrete slab) ได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างแพร่หลายเพื่อทดแทนการใช้งานแผ่นพื้นคอนกรีตแบบหล่อในที่ เนื่องจากความสะดวกและรวดเร็วในการติดตั้ง อย่างไรก็ตาม แผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลวงยังคงมีข้อจำกัดด้านสมรรถนะการทนไฟ เมื่อพิจารณาจากกฎกระทรวงกำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคาร และลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร พ.ศ. ๒๕๖๖ หมวดที่ ๗ การทนไฟของวัสดุก่อสร้าง ซึ่งระบุว่า

“ชั้นที่ ๑ ถึงชั้นที่ ๔ จากชั้นบนสุดของอาคาร ตง และพื้น ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง

ชั้นที่ ๕ ถึงชั้นที่ ๑๔ จากชั้นบนสุดของอาคาร ตง และพื้น ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าสองชั่วโมง

ชั้นที่ ๑๕ จากชั้นบนสุดของอาคารตงมา ชั้นใต้ดิน ตง และพื้น ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าสองชั่วโมง”

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1] แสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดและนำมาใช้งานในปัจจุบัน อาจมีอัตราการทนไฟไม่เป็นไปตามตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงดังกล่าว ทั้งนี้ ในสภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิปกติ แผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางส่วนใหญ่จะเกิดการวิบัติเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานที่เพิ่มขึ้น [2-5] ในขณะที่ ในสภาวะเพลิงไหม้ แผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางจะสูญเสียความต้านทานโมเมนต์ตัดเนื่องจากผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในหน้าตัด [6-9] ดังนั้นการเพิ่มอัตราการทนไฟของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางจึงสามารถเพิ่มระยะคอนกรีตหุ้มลวดอัดแรงหรือเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นได้ แต่ด้วยข้อจำกัดด้านกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาแนวทางอื่นๆ ที่เหมาะสม

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [10-11] พบว่าผลกระทบจากการเหนียวรั้งตามแนวแกนอาจช่วยเพิ่มอัตราการทนไฟให้กับแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางได้ ซึ่งการเหนียวรั้งการขยายตัวของแผ่นพื้นภายใต้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในสภาวะเพลิงไหม้สามารถส่งผลให้เกิดแรงผลักดันตามแนวแกนที่ชดเชยการสูญเสียความต้านทานโมเมนต์ตัดของแผ่นพื้นได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแรงตามแนวแกนซึ่งเกิดจากการขยายตัวของแผ่นพื้นที่มีการเหนียวรั้ง

มาตรฐาน ACI 216.1-14 [12] ได้กำหนดระยะคอนกรีตหุ้มลวดอัดแรงอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร สำหรับแผ่นพื้นที่มีการเหนียวรั้งบริเวณปลายเพื่อให้ได้อัตราการทนไฟ 1-2 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดวิธีการมาตรฐานสำหรับการติดตั้งแผ่นพื้นเพื่อให้เกิดการเหนียวรั้งตามแนวแกนไว้อย่างชัดเจน โดยมีเพียงแนวทางการพิจารณาเงื่อนไขการเหนียวรั้งสำหรับการทดสอบอัตราการทนไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างตามมาตรฐาน ASTM E119 [13] ซึ่งระบุให้การใช้มอร์ตาร์อุดรอยต่อบริเวณปลายของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปสามารถพิจารณาเป็นเงื่อนไขของการเหนียวรั้งการขยายตัวของแผ่นพื้นภายใต้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยที่สามารถยืนยันสมรรถนะการทนไฟที่เพิ่มขึ้นของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางจากการใช้มอร์ตาร์อุดรอยต่อบริเวณปลายอย่างชัดเจน ดังนั้น การศึกษาพฤติกรรมการทนไฟของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางในสภาวะเพลิงไหม้ที่มีและไม่มีมอร์ตาร์อุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยการทดสอบโครงสร้างขนาดจริง จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อความปลอดภัยด้านอัคคีภัยตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการอุดรอยต่อที่บริเวณปลายของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางด้วยมอร์ตาร์ที่มีต่อการทนไฟของแผ่นพื้นด้วยการทดสอบขนาดจริง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การศึกษานี้ทำการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางสำเร็จรูปที่มีขนาดความกว้าง 1200 มม. และความหนา 120 มม. โดยแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่มีและไม่มีมอร์ตาร์อุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์ โดยกำหนดให้แผ่นพื้นสัมผัสความร้อนบริเวณท้องพื้นด้านเดียวภายใต้เพลิง

ไหม้มาตรฐาน ISO 834 [14] จนกระทั่งแผ่นพื้นเกิดการวิบัติเพื่อทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมกรรมการทนไฟของแผ่นพื้นทั้งสองกรณี

การกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนแผ่นพื้นแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอที่ระดับน้ำหนักบรรทุก 0.3 โดยให้น้ำหนักบรรทุกดังกล่าวกระทำแบบคงที่ตลอดระยะเวลาการทดสอบ สำหรับวัสดุมอร์ตาร์ที่ใช้ในการอุดรอยต่อบริเวณปลายพิจารณาใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.5 ซึ่งอยู่ภายในช่วงที่มีการใช้งานโดยทั่วไป (0.5-0.6) โดยมีรายละเอียดของสัดส่วนวัสดุผสมดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 สัดส่วนผสมของวัสดุมอร์ตาร์ที่ใช้ในการศึกษานี้

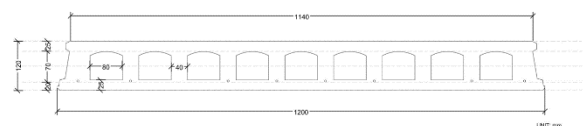
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	ปริมาณวัสดุ (กก./ม. ³)		
	ปูนซีเมนต์	น้ำ	ทราย
0.5	300	180	1884

2. รายละเอียดการทดสอบ

การทดสอบดำเนินการ ณ ศูนย์วิจัยเพื่อความปลอดภัยจากอัคคีภัย (Fire Safety Research Center: FSRC) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

2.1 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ แผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางความหนา 120 มม. กว้าง 1200 มม. ยาว 3400 มม. และมีระยะหุ้มเหล็กเสริม 20 มม. ใช้ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง 8 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. โดยมีรายละเอียดหน้าตัดแสดงดังรูปที่ 2-1 และตารางที่ 2-1 แสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยที่ค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้จากการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางสำเร็จรูปจริงที่ใช้ในการทดสอบด้วยค้อนกระแทกโดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C805-02 [15] ในขณะที่ค่ากำลังครากและกำลังรับแรงดึงของลวดอัดแรงได้จากการเก็บตัวอย่างลวดอัดแรงเพื่อนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASTM A370 [16] สำหรับค่ากำลังอัดของวัสดุมอร์ตาร์ได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม. จำนวน 3 ชิ้น และคำนวณค่ากำลังอัดเฉลี่ยตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M [17]



รูปที่ 2-1 รายละเอียดหน้าตัดของแผ่นพื้น

ตารางที่ 2-1 รายละเอียดสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้

สมบัติเชิงกลของวัสดุ	ค่า
กำลังอัดของคอนกรีต (MPa)	32
กำลังรับแรงดึงของลวดอัดแรง (MPa)	1776
กำลังตราบของลวดอัดแรง (MPa)	1421
กำลังอัดของมอร์ตาร์ (MPa)	28.7

2.2 การติดตั้งชิ้นตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นตัวอย่างทดสอบในแต่ละกรณีประกอบด้วยแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางสำเร็จรูปจำนวน 3 แผ่น ติดตั้งบนโครงคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการวางพาดให้มีระยะแบกทาน 100 มม. และเว้นระยะระหว่างปลายของแผ่นพื้นกับขอบของโครงคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีช่องว่างขนาดกว้าง 100 มม. นอกจากนี้ ทำการอุดรอยต่อด้านข้างระหว่างแผ่นพื้นสำเร็จรูปแต่ละแผ่นด้วยมอร์ตาร์ชนิดเดียวกับที่ใช้ในการอุดรอยต่อบริเวณปลายของแผ่นพื้น ทั้งนี้ โครงคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการติดตั้งแผ่นพื้นสำเร็จรูปดังกล่าวจะถูกนำไปติดตั้งบนเตาทดสอบแนวราบเพื่อทำการทดสอบต่อไป

ทั้งนี้ เนื่องจากมาตรฐาน ASTM E 119 ไม่ได้มีการกำหนดรายละเอียดของการอุดรอยต่อบริเวณปลายของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยมอร์ตาร์เพื่อให้เกิดการเนืวยวรั้งจากการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิอย่างชัดเจน การศึกษาจึงพิจารณากำหนดขนาดความกว้างของรอยต่อบริเวณปลายของแผ่นพื้นเบื้องต้นเพียงค่าเดียวที่ 100 มม.

2.3 การติดตั้งอุปกรณ์การวัด

ในการทดสอบขนาดจริง มีการวัดค่าต่างๆ ระหว่างการทดสอบ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิภายในหน้าตัดของแผ่นพื้น ค่าระยะโก่งที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงความยาวของแผ่นพื้น และค่าการกระจัดบริเวณปลายของแผ่นพื้น โดยมีรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าต่างๆ ดังนี้

2.3.1 ค่าอุณหภูมิภายในหน้าตัดแผ่นพื้น

การวัดค่าอุณหภูมิโดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในหน้าตัดของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลาง โดยใช้อุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิชนิดเค (Type-K thermocouple) ที่มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -270°C ถึง 1260 °C และค่าความคลาดเคลื่อน ± 1.1 °C

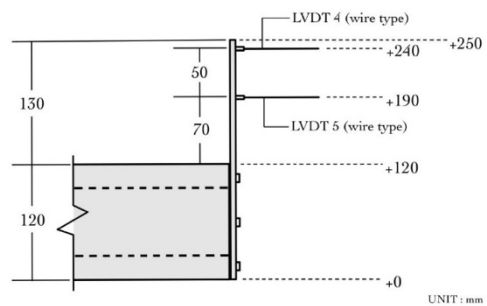
2.3.2 ระยะโก่งของแผ่นพื้น

การวัดค่าระยะโก่งของแผ่นพื้นโดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดการกระจัดเชิงเส้น (Linear Variable Differential Transformer: LVDT) มีช่วงการวัด ± 200 มม. ที่ตำแหน่งต่างๆ บริเวณพื้นผิวด้านที่ไม่สัมผัสเพลิงไหม้ โดยที่ LVDT 1 ทำการวัดค่าระยะโก่งบริเวณกึ่งกลางช่วงความยาวของแผ่นพื้น ในขณะที่ LVDT 2 และ LVDT 3 ใช้ตรวจสอบการทรุดตัวของโครงคอนกรีต

เสริมเหล็กซึ่งรองรับบริเวณปลายแผ่นพื้น โดยนำค่าที่วัดได้จากทั้ง 3 ตำแหน่งมาใช้ในการคำนวณค่าระยะโก่งสุทธิบริเวณกึ่งกลางช่วงความยาวของแผ่นพื้น

2.3.3 ระยะโก่งของแผ่นพื้น

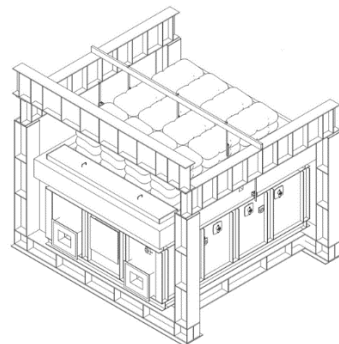
การวัดค่าการกระจัดบริเวณปลายของแผ่นพื้นใช้ในการตรวจสอบการขยายตัวของแผ่นพื้นภายใต้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยการศึกษาประยุกต์ใช้การตรวจสอบการเปลี่ยนตำแหน่งของแผ่นเหล็กที่ติดตั้งบนระนาบหน้าตัดบริเวณปลายของแผ่นพื้นแผ่นกลาง ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถวัดค่าการกระจัดได้ทั้งกรณีที่มีและไม่มีมอร์ตาร์อุดรอยต่อ สำหรับรายละเอียดการติดตั้งแผ่นเหล็กและตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการกระจัดของแผ่นเหล็กสามารถแสดงดังรูปที่ 2-2 โดยอุปกรณ์วัดค่าการกระจัดเป็นชนิดลวด (wire type) Kyowa-DTP-D-500S ซึ่งมีช่วงการวัด ± 500 มม.



รูปที่ 2-2 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดการกระจัดบริเวณปลายแผ่นพื้น

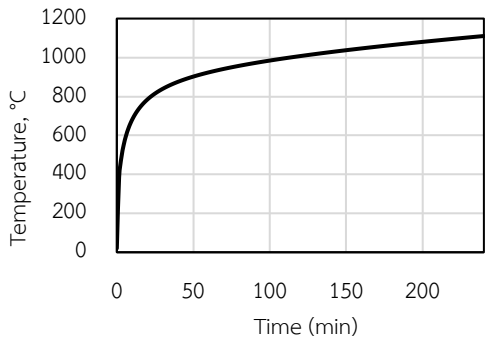
2.4 ขั้นตอนการทดสอบ

ภายหลังจากการติดตั้งชิ้นตัวอย่างทดสอบบนเตาทดสอบแนวราบ ทำการจัดเรียงถังทรายบนชิ้นตัวอย่างทดสอบเพื่อจำลองน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานที่กระทำบนแผ่นพื้นระหว่างการทดสอบอัดรากรทนไฟ โดยกำหนดค่าอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานที่ 0.3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่แผ่นพื้นสามารถรับได้ในสภาวะอุณหภูมิปกติ ทั้งนี้ การจัดเรียงถังทรายแบบซ้อนทับกันเพื่อให้น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำบนชิ้นตัวอย่างแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2-3 และให้น้ำหนักบรรทุกดังกล่าวมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการทดสอบ



รูปที่ 2-3 การให้น้ำหนักบรรทุกด้วยถังทรายบนชิ้นตัวอย่างทดสอบ

ภายหลังจากการจัดเรียงถุขทรายเพื่อจำลองการให้น้ำหนักบรรทุกบนชั้นตัวอย่างทดสอบแล้ว จึงทำการให้ความร้อนโดยกำหนดพื้นผิวสัมผัสความร้อนของชั้นตัวอย่างทดสอบแบบด้านเดียวบริเวณผิวด้านล่างของแผ่นพื้นสำเร็จรูป การควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาทดสอบเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของเพลิงไหม้มาตรฐาน ISO 834 [15] ดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของเพลิงไหม้มาตรฐาน ISO 834

การพิจารณาค่าอัตราการทรนไฟของชั้นตัวอย่างทดสอบในการศึกษาขั้นประยุกต์ใช้เกณฑ์สิ้นสุดการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 834 สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างรับแรงดัด ซึ่งพิจารณาเกณฑ์ระยะโก่งสูงสุด (มม.) ตามสมการที่ (1) และอัตราการโก่งสูงสุด (มม./นาที) ตามสมการที่ (2)

Limiting deflection (mm),

$$(1) \quad \frac{L^2}{400 d}$$

Limiting rate of deflection (mm/min),

$$(2) \quad \frac{L^2}{9000 d}$$

โดยที่ L แทนค่าช่วงความยาวของแผ่นพื้น (3400 มม.) และ d แทนค่าความหนาของแผ่นพื้น (120 มม.) ตามลำดับ ทั้งนี้ เกณฑ์ในสมการที่ (2) จะเริ่มพิจารณาเมื่อค่าระยะโก่งสูงสุดมากกว่า $L/30$ (113 มม.) นอกจากนี้ ยังพิจารณาให้สิ้นสุดการทดสอบเมื่อสังเกตเห็นการวิบัติเชิงโครงสร้างของชั้นตัวอย่างทดสอบอย่างชัดเจน

3. ผลการทดสอบ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบชั้นตัวอย่างกรณีที่มีและไม่มีการใช้มอร์ตาร์อุดรอยต่อบริเวณปลายของแผ่นพื้นสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

3.1 อัตราการทรนไฟของแผ่นพื้น

ชั้นตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 กรณี สามารถพิจารณาค่าอัตราการทรนไฟตามเกณฑ์ระยะโก่งสูงสุดตามมาตรฐาน ISO 834 ดังรายละเอียดในบทที่ 2 ดังนี้

- แผ่นพื้นที่ไม่มีการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์มีอัตราการทรนไฟ เท่ากับ 39 นาที
- แผ่นพื้นที่มีการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์มีอัตราการทรนไฟ เท่ากับ 47 นาที

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้มอร์ตาร์อุดรอยต่อส่งผลให้แผ่นพื้นมีอัตราการทรนไฟเพิ่มขึ้น 8 นาที คิดเป็นร้อยละ 20.5 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการอุดรอยต่อบริเวณปลายของแผ่นพื้นด้วยมอร์ตาร์ ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของอัตราการทรนไฟของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางดังกล่าว ยังไม่เพียงพอตามข้อกำหนดขั้นต่ำของกฎกระทรวง

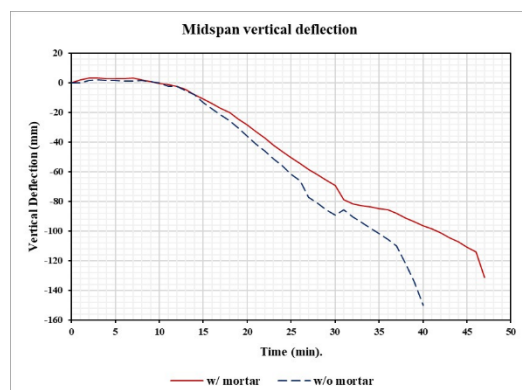
นอกจากนี้ จากการสังเกตการณ์ระหว่างการทดสอบพบว่าชั้นตัวอย่างทดสอบกรณีที่ไม่มีการอุดรอยต่อด้วยมอร์ตาร์เกิดการวิบัติเชิงโครงสร้างแบบทันทีทันใดที่เวลา 40 นาที ในขณะที่ ชั้นตัวอย่างทดสอบกรณีที่มีการอุดรอยต่อด้วยมอร์ตาร์เกิดการวิบัติเชิงโครงสร้างแบบทันทีทันใดที่เวลา 47 นาที รูปที่ 3-1 แสดงภาพถ่ายของชั้นตัวอย่างทดสอบภายหลังการวิบัติเชิงโครงสร้าง



รูปที่ 3-1 ภาพถ่ายของชั้นตัวอย่างทดสอบภายหลังการวิบัติเชิงโครงสร้าง

3.2 ระยะโก่งของแผ่นพื้น

รูปที่ 3-2 แสดงค่าระยะโก่งที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงความยาวระหว่างการทดสอบสำหรับชั้นตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 กรณี

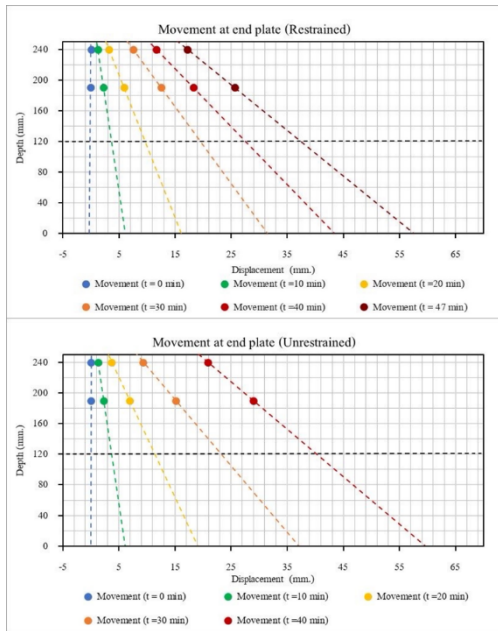


รูปที่ 3-2 ภาพถ่ายของชั้นตัวอย่างทดสอบภายหลังการวิบัติเชิงโครงสร้าง

จากการเปรียบเทียบระยะโค้งของแผ่นพื้นทั้งสองกรณี พบว่า ชั้นตัวอย่างที่มีการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์มีระยะโค้งลดลงจากกรณีที่ไม่มีการอุดรอยต่อด้วยมอร์ตาร์ตลอดช่วงระยะเวลาการทดสอบ โดยระยะโค้งสูงสุดก่อนการวิบัติของแผ่นพื้นที่มีและไม่มีการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์มีค่าเท่ากับ 131.03 และ 149.84 มม. ตามลำดับ ซึ่งการลดค่าระยะโค้งดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการเหนี่ยวรั้งตามแนวแกนที่เกิดขึ้นจากการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์

3.3 การกระจัดบริเวณปลายของแผ่นพื้น

ค่าการกระจัดของแผ่นเหล็กที่ติดตั้งบริเวณปลายของแผ่นพื้นระหว่างการทดสอบสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าการกระจัดของระนาบหน้าตัดบริเวณปลายแผ่นพื้นซึ่งแสดงการขยายตัวของแผ่นพื้นระหว่างการทดสอบดังรูปที่ 3-3



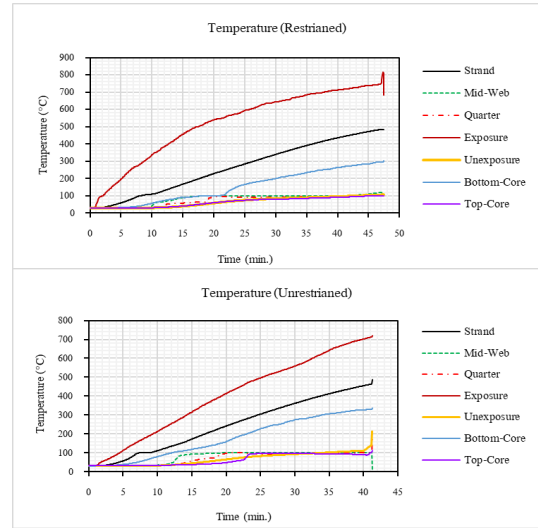
รูปที่ 3-3 การกระจัดของระนาบหน้าตัดบริเวณปลายแผ่นพื้น

จากการเปรียบเทียบการกระจัดของระนาบหน้าตัดบริเวณปลายของแผ่นพื้นสำหรับชั้นตัวอย่างทดสอบทั้งสองกรณี พบว่าแผ่นพื้นมีการขยายตัวที่ใกล้เคียงกันมากในช่วง 10 นาทีแรก แต่หลังจาก 20 นาทีผ่านไป แผ่นพื้นที่ไม่มีการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์มีการขยายตัวมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นเกิดการเหนี่ยวรั้งตามแนวแกนจากการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์

3.4 อุณหภูมิภายในหน้าตัดของแผ่นพื้น

รูปที่ 3-4 แสดงค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในหน้าตัดแผ่นพื้นระหว่างการทดสอบทั้งสองกรณี ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทุกตำแหน่งที่ทำการวัดมีค่าใกล้เคียงกันตลอดช่วงระยะเวลาการทดสอบ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสความร้อนจะแตกต่างกันบ้างในช่วง 20 นาทีแรกของการทดสอบก็ตาม ค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันดังกล่าวเป็นสิ่งยืนยันว่าพฤติกรรม

ที่สังเกตได้จากการทดสอบไม่ได้เป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของค่าอุณหภูมิภายในชั้นตัวอย่างทดสอบทั้งสองกรณี แต่เป็นผลกระทบจากการใช้มอร์ตาร์อุดรอยต่อเป็นหลัก



รูปที่ 3-4 อุณหภูมิภายในหน้าตัดของแผ่นพื้นที่มีและไม่มีการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์

4. บทสรุป

โครงการทางวิศวกรรมโยธานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการอุดรอยต่อบริเวณปลายของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางด้วยมอร์ตาร์ที่มีต่อการทนไฟของแผ่นพื้นด้วยการทดสอบขนาดจริง ในการทดสอบใช้แผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางสำเร็จรูปที่มีความกว้าง 1200 มม. และความหนา 120 มม. โดยแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่มีและไม่มีการอุดรอยต่อบริเวณปลายด้วยมอร์ตาร์ และให้ความร้อนบริเวณท้องพื้นภายใต้เพลิงไหม้มาตรฐาน ISO 834 จนกระทั่งแผ่นพื้นเกิดการวิบัติ และพิจารณาพฤติกรรมการทนไฟของแผ่นพื้นทั้งสองกรณีจากการเปรียบเทียบการขยายตัวของแผ่นพื้นที่บริเวณปลายและระยะโค้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงความยาวของแผ่นพื้นระหว่างทดสอบ รวมถึงอัตราการทนไฟของแผ่นพื้น

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้มอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 อุดรอยต่อขนาดกว้าง 100 มม. บริเวณปลายของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางที่มีความหนา 120 มม. ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวรั้งตามแนวแกน สังเกตจากค่าระยะโค้งและการขยายตัวของแผ่นพื้นที่ลดลงระหว่างการทดสอบ นอกจากนี้ การเหนี่ยวรั้งตามแนวแกนที่เกิดขึ้นส่งผลให้อัตราการทนไฟของแผ่นพื้นคอนกรีตแกนกลางที่ทำการทดสอบเพิ่มขึ้นจาก 39 นาที เป็น 47 นาที คิดเป็นร้อยละ 20.5 อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอัตราการทนไฟดังกล่าวยังคงไม่เพียงพอตามข้อกำหนดขั้นต่ำของกฎกระทรวงกำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคารและลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร พ.ศ. ๒๕๖๖ ซึ่งกำหนดให้ตั้งแต่ชั้นที่ ๑ ถึงชั้นที่ ๔ จากชั้นบนสุดของอาคาร ต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง

ทั้งนี้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณ เวลา และเครื่องมือในการทดสอบ การศึกษานี้จึงมีความจำเป็นต้องจำกัดตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดสอบ ด้วยเหตุดังกล่าว จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อ

พิจารณาตัวแปรศึกษาอื่นๆ ได้แก่ ความหนาของแผ่นพื้น รายละเอียดของรอยต่อ และชนิดของวัสดุ mortar อุดรอยต่อที่แตกต่างกัน รวมถึงการวัดค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเครียดภายใน mortar อุดรอยต่อ เป็นต้น เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบโครงสร้างเพื่อความปลอดภัยด้านอัคคีภัยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจาก ศ.ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาทางวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง รวมถึงขอขอบพระคุณ ศ.ดร. จรุง รุ่งอมรรัตน์ และ ศ.ดร. อัครวัชร เล่นวาริ ที่ให้ความคิดเห็น และให้คำแนะนำจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งข้าพเจ้าอาจไม่ได้กล่าวถึง และไม่สามารถเอ่ยนามทั้งหมดได้ในนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Pothisiri, T. and C. Kositsornwanee, Experimental Investigation of Fire Resistance of Thin Hollow-Core Concrete Slabs with Simple Supports. *Engineering Journal*, 2015. **19**(2): p. 139-155.

[2] Shakya, A.M. and V.K. Kodur. *BEHAVIOUR OF PRESTRESSED CONCRETE HOLLOWCORE SLABS UNDER STANDARD AND DESIGN FIRE EXPOSURE*. In 8th International Conference on Structures in fire. 2014.

[3] Allam, S.M., H.M.F. Elbakry, and A.G.Rabeai, *Behavior of one-way reinforced concrete slabs subjected to fire*. *Alexandria Engineering Journal*, 2013. **52**(4): p.749-761.

[4] Atienza, J. and M. Elices, Behavior of prestressing steels after stimulated fire: Fire-induced damages. *Construction and Building materials*, 2009. **23**(8): p. 2932-2940.

[5] Kodur, V., M. Dwaikat, and R. Fike, *High-temperature properties of steel for fire resistance modeling of structure*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2010. **22**(5): p. 423-434.

[6] Kodur, V.K. and A.M. Shakya, Modeling the response of precast, prestressed concrete hollow-core slabs exposed to fire. *PCI journal*, 2014. **59**(3): p. 78-94.

[7] Kodur, V.K. and A.M. Shakya, Factors governing the shear response of prestressed concrete hollowcore slabs under fire condition. *Fire Safety Journal*, 2017. **88**: p. 67-68

[8] Choi, E. and Y. Shin, The structural behavior and simplified thermal analysis of normal-strength and high-strength

concrete beams under fire. *Engineering Structures*, 2011. **33**(4): p. 1123-1132.

[9] Shakya, A.M. and V.K.R. Kodur, Response of precast prestressed concrete hollowcore slabs under fire conditions. *Engineering Structures*, 2015. **87**: p. 126-138.

[10] Kumar, P. and V.K. Kodur, Effect of fired-induced restraint forces on fire behavior of reinforced and prestressed concrete beams. *Engineering Structures*, 2023. **275**: p. 115200.

[11] Lim, L., A.H. Buchanan, and P.J. Moss, *Restraint of fire-exposed concrete floor systems*. *Fire and Materials*, 2004. **28**(24): p. 95-125.

[12] Committee, A., ACI 216.1-14, Cold Requirements for Determining Fire Resistance of concrete and Masonry Construction Assemblies. ACI Committee, 2014.

[13] E119, A. *Standard Fire Tests of Building Construction and Materials*. in *American Society for Testing and Materials*. 2020.

[14] International Organization for Standardization, *ISO 834-1 Fire Resistance Tests – Elements of Building Construction, Part 1: General Requirements*, 1999.

[15] C805-02, A. *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. in *American Society for Testing and Materials*. 2002.

[16] A370, A. *Standard Test Method and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. in *American Society for Testing and Materials*. 2022.

[17] C109/C109M, A. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars*. in *American Society for Testing and Materials*. 2020.