การเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุก

นางสาวชุติมณฑน์ เสกธีระ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENHANCEMENT OF FIRE-RESISTANCE PERFORMANCE FOR PRECAST CONCRETE LOAD-BEARING WALLS

Miss Chutimon Sektheera

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุก
โดย	นางสาวชุติมณฑน์ เสกธีระ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญวัฒน์ โพธิศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญวัฒน์ โพธิศิริ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทิต ปานสุข)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศ ลิมสัมพันธ์เจริญ)

ชุติมณฑน์ เสกธีระ : การเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุก (ENHANCEMENT OF FIRE-RESISTANCE PERFORMANCE FOR PRECAST CONCRETE LOAD-BEARING WALLS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ธัญวัฒน์ โพธิศิริ, 55 หน้า.

การปรับปรุงประสิทธิภาพการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยนิยมประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชิ้นส่วนโครงสร้างหล่อสำเร็จเพื่อลดระยะเวลาการก่อสร้าง โดยที่ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างประเภทหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากการติดตั้งที่สะดวกรวดเร็วและการคุณภาพของกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตาม สมรรถภาพรองรับน้ำหนักบรรทุกของผนังมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัมผัสเพลิงไหม้โดยที่การวิบัติของโครงสร้างอาจเกิดจากการหลุดล่อนของคอนกรีต

การศึกษานี้พิจารณาแนวทางการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกที่มีความหนา 120 มิลลิเมตรโดยการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กบริเวณระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวคอนกรีตด้านที่สัมผัสความร้อนโดยใช้ลวดตะแกรงเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ขนาดช่องตะแกรง 50.8x50.8 มิลลิเมตร การทดสอบอัตราการทนไฟของผนังดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 834 โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน การทดสอบส่วนแรกกำหนดให้ค่าอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกเป็นตัวแปรศึกษา ในขณะที่การทดสอบส่วนที่ 2 พิจารณาผลกระทบของเส้นใยพอลิโพรไพลีนและลวดตะแกรงเหล็กต่อสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกคงที่เป็นระยะเวลา 180 นาที จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนน้ำบรรทุกมีผลต่อสมรรถภาพรองรับน้ำหนักบรรทุกของผนังภายใต้ภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตสามารถช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตและส่งผลให้สมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเสริมลวดตะแกรงเหล็กที่ระยะลึก 15 จากผิวของชิ้นตัวอย่างผนังด้านที่สัมผัสความร้อนเพียงอย่างเดียวส่งผลให้เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตอย่างรุนแรงและไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะเพิ่มสมรรถนะการทนไฟให้แก่ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ สำหรับการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กไม่ช่วยเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างซึ่งทำการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตเพียงอย่างเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....

ปีการศึกษา 2557

5370634021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORDS: PRECAST CONCRETE; LOAD-BEARING WALLS; CONCRETE SPALLING; FIRE-RESISTANCE; POLYPROPYLENE FIBERS; WIRE MESH

CHUTIMON SEKTHEERA: ENHANCEMENT OF FIRE-RESISTANCE PERFORMANCE FOR PRECAST CONCRETE LOAD-BEARING WALLS. ADVISOR: ASSOC. PROF. THANYAWAT POTHISIRI, Ph.D., 55 pp.

The efficiency of building construction in Thailand has by and large been improved though the use of precast structural members to minimize the erection time, with precast concrete load-bearing walls becoming a popular alternative due to the ease of installation and well-established quality control of the fabrication process. However, the load-bearing capacity of the walls tends to reduce under exposure to fire, with concrete spalling as a possible cause of structural failure.

The current study is aimed to enhance the fire-resistance performance of precast concrete load-bearing walls with a thickness of 120 mm through the use of polypropylene fibers in the concrete mixture and the installation of 50.8x50.8 mm wire mesh with a diameter of 2 mm at the depth of 15 mm from the exposed surface. The fire-resistance tests are carried out in accordance with ISO 834 standard, and can be divided into two parts. The first part considers the load ratio as the varying parameter, while the second part investigates the effect of polypropylene fibers and wire mesh on the fire-resistance performance of the precast concrete walls under a specified load ratio and a heating period of 180 min. Based on the test results, it is found that the load ratio significantly affects the load-bearing capacity of the walls under elevated temperatures. Further, the use of polypropylene fiber in the concrete mixture can effectively reduce the degree of concrete spalling and thereby enhance the fire-resistance performance of the precast concrete walls. Meanwhile, the installation of wire mesh at the depth of 15 mm from the exposed surface of the wall may induce severe concrete spalling and is ineffective in increasing the wall’s fire-resistance performance. Also, the use of wire mesh in conjunction with polypropylene fibers has negligible effect on enhancing the fire-resistance performance of precast concrete walls compared with using polypropylene fibers only.

Department:	Civil Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Civil Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2014		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดระยะเวลาของการศึกษาโดยท่านให้คำปรึกษา แนะนำความรู้และข้อบกพร่องต่างๆเพื่อเป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ พร้อมทั้งประสบการณ์นอกเหนือจากเนื้อหาที่ทำการศึกษา ขอกล่าวขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ศาตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทิต ปานสุข และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นเรศ ลิมสัมพันธ์เจริญ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่มอบวิชาความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และหน่วยงานบัณฑิตวิทยาลัยและหน่วยงานบัณฑิตภาควิศวกรรมโยธา และคุณวรรณา ช้างเกิด ธุรการภาคส่วนประสานงานบัณฑิตศึกษา ในการติดต่อประสานงานระเบียบการจนจบการศึกษา

ขอขอบคุณ บริษัท พฤกษา เรียลเอสเตท จำกัด(มหาชน) สำหรับความอนุเคราะห์การเตรียมตัวอย่างทดสอบผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ และ บริษัท สยาม เกเบียน จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์เส้นใยพอลิโพรไพลีนในการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นายสมพงษ์ ขำแจ้ง ตำแหน่งบริการงานทั่วไป (ช่างไม้) P9 นายอุดมศักดิ์ เกตุบุตร ตำแหน่งบริการงานช่าง P8 นายศิริ ใจซื่อ ตำแหน่งบริการงานทั่วไป P9 นายพงศ์กรณ์ เบญจกรไพศาล นายวรากรณ์ จิตต์สม และทีมงานบุญเยี่ยมในความช่วยเหลืออันดีตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการทดสอบจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นายวรุธ เลิศไพชัยยนต์ และนางสาวศศิธร บรรจงกุลลิขิตในความช่วยเหลือและกำลังใจอันดีตลอดระยะเวลาการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้แต่ง ขอขอบพระคุณ บิดามารดาที่ให้กำเนิดชีวิต ความรัก เลี้ยงดู อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดีและซื่อตรง ให้การศึกษาที่ดีตั้งแต่เล็กจนโตและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อประโยชน์ให้แก่ผู้ที่สนใจหรือผู้ทำวิจัยไม่มากก็น้อยในการจุดประกายความคิดและเป็นรากฐานของวิจัยอื่นต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 4

1.3 ขอบเขตการวิจัย 4

บทที่ 2 การทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา 6

บทที่ 3 การทดสอบ 13

3.1 รายละเอียดตัวอย่างการทดสอบ 13

3.2 การติดตั้งชิ้นตัวอย่างทดสอบ 18

3.3 การทดสอบ 22

บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล 24

4.1 ผลการทดสอบส่วนที่ 1 24

4.2 ผลการทดสอบส่วนที่ 2(1) 31

4.3 ผลการทดสอบส่วนที่ 2(2) 38

4.4 ผลการทดสอบส่วนที่ 2(3) 41

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา 48

รายการอ้างอิง 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ภาคผนวก 52

การคำนวณอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 53

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 รูปแบบและปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลุดล่อนของคอนกรีต (4) 4

ตารางที่ 3.1 สรุปตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 14

ตารางที่ 3.2 ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต 15

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ 16

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของมวลรวม 16

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของสารเคมีผสมเพิ่ม 16

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของเส้นใยพอลิโพรไพลีน 16

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดลวดตะแกรงเหล็ก 17

ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว 17

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบส่วนที่ 1 24

ตารางที่ 4.2 การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนในการทดสอบส่วนที่ 1 24

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดสอบส่วนที่ 2(1) 31

ตารางที่ 4.4 การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนในการทดสอบส่วนที่ 2(1) 31

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการทดสอบส่วนที่ 2(2) 38

ตารางที่ 4.6 การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนในการทดสอบส่วนที่ 2(2) 38

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดสอบส่วนที่ 2(3) 41

ตารางที่ 4.8 การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนในการทดสอบส่วนที่ 2(3) 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 การหลุดล่อนของคอนกรีตในชิ้นตัวอย่างทดสอบเบื้องต้น 2

รูปที่ 2.1 การหลุดล่อนแบบระเบิดเนื่องจากความดันไอน้ำในโพรงร่วมกับหน่วยแรงเชิงความร้อน 7

รูปที่ 3.1 รายละเอียดชิ้นตัวอย่างทดสอบ 14

รูปที่ 3.2 เส้นใยพอลิโพรไพลีน 17

รูปที่ 3.3 ลวดตะแกรงเหล็ก 17

รูปที่ 3.4 รายละเอียดเตาเผาทดสอบ : (ก) รูปด้านหน้า (ข) ภาคตัดแนวราบ (ค) ภาคตัดแนวดิ่ง 18

รูปที่ 3.5 ชิ้นตัวอย่างทดสอบและตำแหน่งอุปกรณ์วัดค่าการกระจัด 20

รูปที่ 3.6 คานรองรับชิ้นตัวอย่าง : (ก) คานบน (ข) คานล่าง 21

รูปที่ 3.7 ตำแหน่งของอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ 22

รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาตามมาตรฐาน ISO 834 23

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WC1 - WC3 25

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดตามแนวแกนและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WC1 - WC3 26

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WC1 – WC3 27

รูปที่ 4.4 การกระจัดในแนวราบของผนัง WC1 – WC3 ในแต่ละทิศทาง : 28

รูปที่ 4.5 สภาพของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ : (ก) WC1 (ข) WC2 (ค) WC3 30

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WP1 – WP3 32

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดตามแนวแกนและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WP1 – WP3 33

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WP1 – WP3 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.9 การกระจัดในแนวราบของผนัง WP1 – WP3 ในแต่ละทิศทาง :..............................35

รูปที่ 4.10 สภาพของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ : (ก) WP1 (ข) WP2 (ค) WP3 37

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM1 38

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดตามแนวแกนและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM1 39

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM1.........39

รูปที่ 4.14 การกระจัดในแนวราบของผนัง WM1 ในแต่ละทิศทาง : (ก) ความกว้าง (ข) ความสูง 39

รูปที่ 4.15 สภาพของชิ้นตัวอย่าง WM1 หลังการทดสอบ...40

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM2 – WM4 42

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดตามแนวแกนและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM2 - WM4 43

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM2 - WM4 44

รูปที่ 4.19 การกระจัดในแนวราบของผนัง WM2 – WM4 ในแต่ละทิศทาง : 45

รูปที่ 4.20 สภาพของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ : (ก) WM2 (ข) WM3 (ค) WM4 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยให้ความสำคัญเรื่องการเพิ่มประสิทธิผลโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชิ้นส่วนโครงสร้างหล่อสำเร็จเพื่อลดระยะเวลาการก่อสร้าง ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุก (precast concrete load-bearing wall) เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างประเภทหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย

ผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกสามารถออกแบบสำหรับรองรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานแทนระบบเสาและคาน โดยการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากโรงงานส่งผลให้สามารถขนส่งชิ้นส่วนเพื่อนำไปติดตั้งบริเวณพื้นที่ก่อสร้างได้อย่างสะดวกรวดเร็ว นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยังสามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมและปัจจัยในการผลิตที่กำหนด

แนวทางการพิจารณาความปลอดภัยด้านอัคคีภัยของชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารในประเทศไทยอ้างอิงกฎกระทรวงฉบับที่ 48 (พ.ศ.2540) (1) และกฎกระทรวงฉบับที่ 60 (พ.ศ.2549) (2) ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคารพ.ศ.2522 ซึ่งกำหนดให้โครงสร้างหลักของอาคารดังต่อไปนี้ก่อสร้างด้วย "วัสดุทนไฟ"

(1) อาคารสำหรับใช้เป็นคลังสินค้า โรงมหรสพ โรงแรม อาคารชุด หรือสถานพยาบาล

(2) อาคารสำหรับใช้เพื่อกิจการพาณิชยกรรม การอุตสาหกรรม การศึกษา การสาธารณสุขหรือสำนักงานหรือที่ทำการที่มีความสูงตั้งแต่สามชั้นขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตร

(3) อาคารสูง[1] อาคารขนาดใหญ่พิเศษ[2] อาคารขนาดใหญ่[3] หรืออาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารที่ใช้เป็นหอประชุม

---

1 อาคารสูง หมายความว่า อาคารที่บุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้โดยมีความสูงตั้งแต่ 23.00 เมตรขึ้นไป การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจการประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป

3 อาคารขนาดใหญ่ หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้อาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารเป็นที่อยู่อาศัยหรือประกอบกิจกาจประเภทเดียวหรือหลายประเภท โดยมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตร หรืออาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15.00 เมตรขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นหรือชั้นหนึ่งชั้นใดในหลังเดียวกันเกิน 1,000 ตารางเมตรแต่ไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า สำหรับอาคารทรงจั่วหรือปั้นหยาให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงยอดผนังของชั้นสูงสุด

ในกรณีที่โครงสร้างหลักก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตอัดแรงที่มีขนาดหรือมีความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมหรือคอนกรีตหุ้มเหล็กน้อยกว่าที่กฎกระทรวงกำหนด จะต้องใช้วัสดุอื่นหุ้มเพิ่มเติมหรือต้องป้องกันโดยวิธีอื่นเพื่อช่วยทำให้เสาหรือคานมีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่าสามชั่วโมง โดยจะต้องมีเอกสารรับรองอัตราการทนไฟจากสถาบันที่เชื่อถือได้ประกอบการขออนุญาต และวิธีการทดสอบอัตราการทนไฟตามข้อกำหนดข้างต้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 834 หรือ ASTM E119 ทั้งนี้ เนื่องจากผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกถูกออกแบบให้รองรับน้ำหนักบรรทุกทดแทนระบบเสาและคานของอาคาร ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างหลักซึ่งต้องมีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าสามชั่วโมง

จากการทดสอบอัตราการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกเบื้องต้น โดยใช้ขนาดชิ้นตัวอย่างทดสอบกว้าง 3500 มิลลิเมตร สูง 3500 มิลลิเมตรและหนา 120 มิลลิเมตร เสริมเหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40 (กำลังครากระบุ : 4000 กก./ซม.^{2}) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และตะแกรงเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ขนาดช่องตะแกรงเหล็ก 250 มิลลิเมตร x 250 มิลลิเมตร (กำลังครากระบุ : 5500 กก./ซม.^{2}) ที่บริเวณกึ่งกลางความหนาของผนัง โดยมีกำลังอัดระบุของคอนกรีต 350 กก/ซม.^{2} ที่ 28 วัน ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 834 (3) โดยให้น้ำหนักบรรทุกในอัตราส่วน 0.5 พบว่าชิ้นตัวอย่างเกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตค่อนข้างรุนแรงบริเวณผิวสัมผัสความร้อน โดยมีความลึกเฉลี่ยและความลึกสูงสุดของการหลุดล่อน 59 และ 93 มิลลิเมตรตามลำดับ รูปที่ 1.1 แสดงการหลุดล่อนของคอนกรีตในชิ้นตัวอย่าง ทั้งนี้ การหลุดล่อนดังกล่าวส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของชิ้นตัวอย่างทดสอบด้านที่ไม่สัมผัสความร้อนสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐาน ISO 834 ที่ระยะเวลา 146 นาที จากการทดสอบดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าผลของการหลุดล่อนของคอนกรีตอาจจะเป็นสาเหตุของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จมีอัตราการทนไฟน้อยกว่าข้อกำหนดตามกฎหมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 1.1 การหลุดล่อนของคอนกรีตในชิ้นตัวอย่างทดสอบเบื้องต้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา (4-12) พบว่าชิ้นส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีสมรรถภาพรองรับน้ำหนักบรรทุกลดลงภายใต้ภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยที่การวิบัติของชิ้นส่วนของโครงสร้างอาจมีสาเหตุมาจากการหลุดล่อนของคอนกรีต ทั้งนี้ การหลุดล่อนของคอนกรีตสามารถจำแนกเป็น 6 ประเภท (4) ได้แก่ การหลุดล่อนของมวลรวม (aggregate spalling) การหลุดล่อนแบบระเบิด (explosive spalling) การหลุดล่อนบริเวณผิว (surface spalling) การหลุดล่อนแบบลอกหลุด (sloughing-off spalling) การหลุดล่อนบริเวณมุม (corner spalling) และการหลุดล่อนหลังทำให้เย็น (post-cooling spalling) ตารางที่ 1.1 แสดงรูปแบบและปัจจัยที่ต่อการหลุดล่อนประเภทต่างๆ

การหลุดล่อนแบบระเบิด (explosive spalling) เป็นรูปแบบที่ส่งผลกระทบร้ายแรงต่อสมรรถภาพรองรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง ถือเป็นรูปแบบที่รุนแรงที่สุดในการหลุดล่อนของคอนกรีตในภาวะเพลิงไหม้ เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้น้ำที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอที่มีความดันสูงขึ้นและไม่สามารถระบายออกได้ทันท่วงที จึงเกิดการระเบิดและส่งผลให้เนื้อคอนกรีตหลุดล่อนออก ผลจากการระเบิดดังกล่าวอาจทำให้ชั้นของคอนกรีตหลุดล่อนไปได้ถึง 25 – 100 มิลลิเมตร

ในงานวิจัยที่ผ่านมา (5-12) พบว่าการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีน (polypropylene fiber) 0.05% - 0.1% โดยปริมาตรลงในส่วนผสมของคอนกรีตสามารถป้องกันการหลุดล่อนของคอนกรีต นอกจากนี้ การเสริมลวดตะแกรงเหล็กที่บริเวณระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวสัมผัสความร้อนของคอนกรีตสามารถช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีต โดยลวดตะแกรงต้องมีความหนาหรือเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 2 มิลลิเมตร และขนาดช่องตะแกรงไม่เกิน 50x50 มิลลิเมตร (11)

อย่างไรก็ตาม จวบจนปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาวิจัยผลกระทบของเส้นใยพอลิโพรไพลีนหรือลวดตะแกรงเหล็กที่มีต่อสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกอย่างชัดเจน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุก จากการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็ก

ตารางที่ 1.1 รูปแบบและปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลุดล่อนของคอนกรีต (4)

ประเภทการหลุดล่อน	เวลาที่เกิด	ลักษณะการเกิด	ผลกระทบ	ปัจจัยหลัก
การหลุดล่อนของมวลรวม	7-30 นาที	กะเทาะ/ มีเสียงเล็กน้อย	เล็กน้อย	ความร้อน[ก] มวลรวม[ง],[จ],[ฉ] คอนกรีต[ซ]
การหลุดล่อนบริเวณมุม	30-90 นาที	ไม่รุนแรง/ ไม่มีเสียง	อาจรุนแรง	ความร้อน[ค] มวลรวม[ง] คอนกรีต[ฌ] เหล็กเสริม
การหลุดล่อนบริเวณผิว	7-30 นาที	รุนแรง/ มีเสียงร้าว	อาจรุนแรง	ความร้อน[ก] คอนกรีต[ซ],[ฌ],[ญ]
การหลุดล่อนแบบระเบิด	7-30 นาที	รุนแรง/ มีเสียงระเบิด	รุนแรง	ความร้อน[ก],[ข] มวลรวม[ง],[จ] คอนกรีต[ซ],[ญ],[ฎ],[ฏ] หน้าตัด[ฐ],[ฑ] เหล็กเสริม น้ำหนักบรรทุก การเหนี่ยวรั้ง
การหลุดล่อนแบบลอกหลุด	เมื่อคอนกรีตเสื่อมสภาพ	ไม่รุนแรง/ ไม่มีเสียง	อาจรุนแรง	ความร้อน[ค] คอนกรีต[ฏ] เหล็กเสริม น้ำหนักบรรทุก การเหนี่ยวรั้ง
การหลุดล่อนหลังทำให้เย็น	ระหว่างและหลังทำให้เย็น	ไม่รุนแรง/ ไม่มีเสียง	อาจรุนแรง	ความร้อน[ค] มวลรวม[ช] คอนกรีต[ฏ],[ฒ] เหล็กเสริม น้ำหนักบรรทุก การเหนี่ยวรั้ง

[ก]อัตราการให้ความร้อน [ข]โพรไฟล์ความร้อน [ค]อุณหภูมิสูงสุด [ง]การขยายตัวเหตุความร้อน
[จ]ขนาดมวลรวม [ฉ]สภาพแพร่ความร้อน [ช]ชนิดมวลรวม [ซ]ปริมาณความชื้น
[ฌ]กำลังดึงของคอนกรีต [ญ]สภาพให้ซึมผ่านได้ [ฎ]กำลังเฉือนของคอนกรีต [ฏ]อายุคอนกรีต
[ฐ]รูปร่างหน้าตัด [ฑ]ขนาดหน้าตัด [ฒ]การดูดซึมความชื้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกโดยการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีน และการเสริมลวดตะแกรงเหล็ก

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้พิจารณาการทดสอบผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ ณ ศูนย์วิจัยเพื่อความปลอดภัยจากอัคคีภัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.3.1 การทดสอบส่วนที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จและเพื่อพิจารณาอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบในส่วนที่ 2 ต่อไป

1.3.2 การทดสอบส่วนที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ขนาดช่องตะแกรง 50.8x50.8 มิลลิเมตร ที่ระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวคอนกรีตด้านที่สัมผัสความร้อน

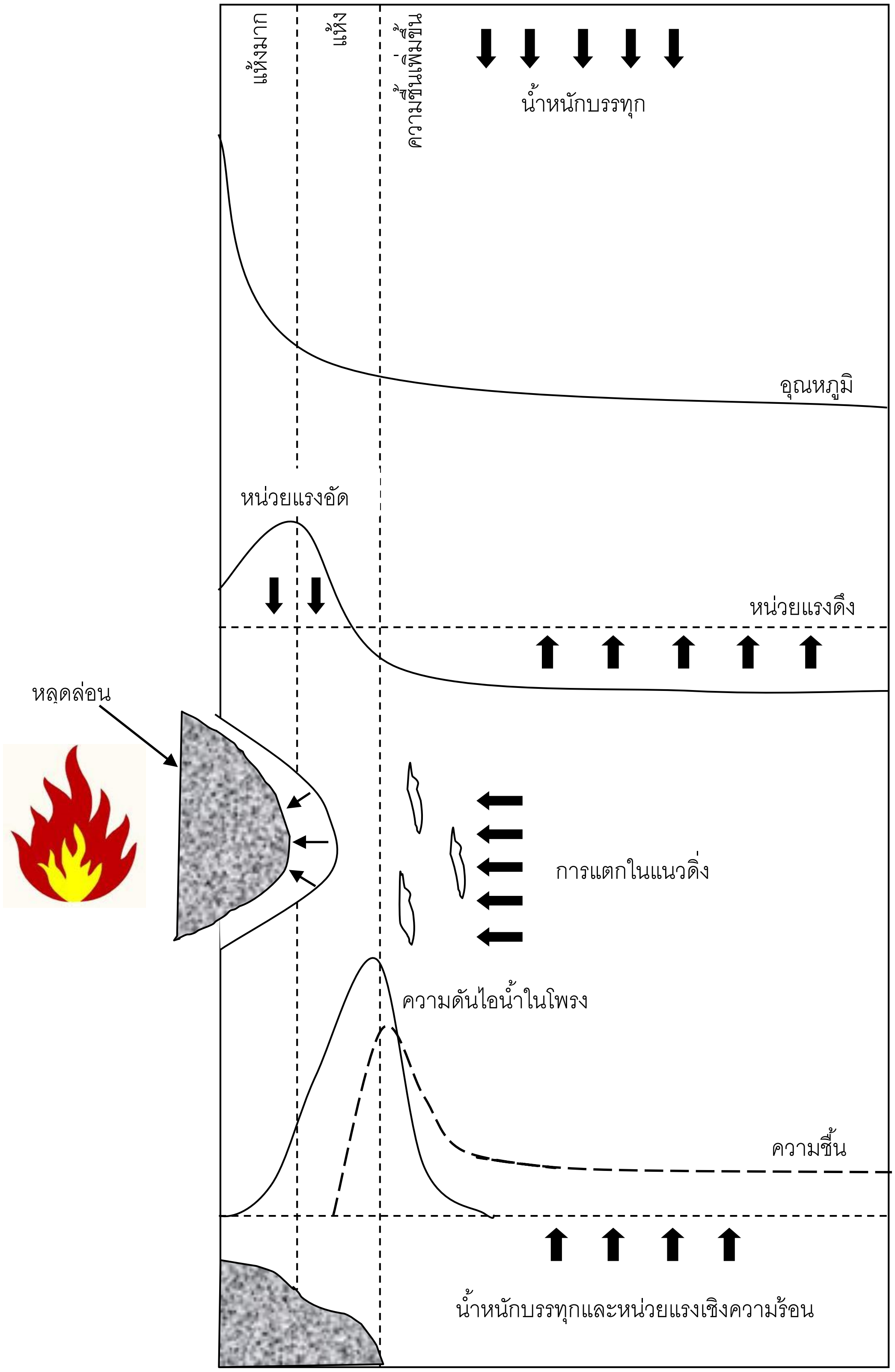
รายละเอียดของการทดสอบทั้ง 2 ส่วนข้างต้นแสดงในบทที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
การทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา

Gabriel และคณะ (5) ได้ศึกษากลไกและประเภทของการหลุดล่อนของคอนกรีตในรูปแบบต่างๆ โดยนิยามการหลุดล่อนคือการแตกออกแบบรุนแรงและไม่รุนแรงของชั้นหรือชิ้นของคอนกรีตจากผิวของชิ้นส่วนโครงสร้างเมื่อชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นสัมผัสกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในภาวะเพลิงไหม้ โดยพบว่าการหลุดล่อนของมวลรวม การหลุดล่อนแบบระเบิด การหลุดล่อนบริเวณผิว เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลา 30 นาทีแรกหลังจากเริ่มให้ความร้อน ในขณะที่การหลุดล่อนแบบลอกหลุด การหลุดล่อนบริเวณมุม และการหลุดล่อนหลังทำให้เย็นเกิดขึ้นหลังจากการให้ความร้อนในช่วงระยะเวลานานกว่า 30 นาที ทั้งนี้ กลไกการหลุดล่อนแบบระเบิดแบ่งเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) การหลุดล่อนเนื่องจากความดันไอน้ำในโพรง (pore pressure) เมื่อชิ้นส่วนของโครงสร้างอยู่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง น้ำที่สะสมอยู่ในเนื้อคอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกลายเป็นไอน้ำที่มีความดันเพิ่มขึ้น ไอน้ำที่มีความดันเพิ่มมากขึ้นและไม่สามารถระบายออกภายนอกเนื้อคอนกรีตได้ทันท่วงทีส่งผลให้เกิดการดันเนื้อคอนกรีตให้แตกระเบิดออก 2) การหลุดล่อนจากหน่วยแรงเชิงความร้อน (thermal stress) เมื่อผิวของคอนกรีตสัมผัสความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความดันไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นและเกิดหน่วยแรงอัดใกล้กับบริเวณผิวคอนกรีตที่สัมผัสความร้อน ในขณะที่เกิดหน่วยแรงดึงในชั้นคอนกรีตที่เย็นกว่า 3) การหลุดล่อนเนื่องจากความดันไอน้ำในโพรงร่วมกับหน่วยแรงเชิงความร้อน ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการหลุดล่อนแบบระเบิด ได้แก่ ความสามารถซึมผ่านได้ของคอนกรีต ระดับความอิ่มตัวของน้ำในคอนกรีตและอัตราการให้ความร้อน รูปที่ 2.1 แสดงกลไกของการหลุดล่อนแบบระเบิด สำหรับแนวทางการลดการหลุดล่อนของคอนกรีตแบบระเบิดอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ การใช้วัสดุป้องกันอัคคีภัย การเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีต การเติมสารกักกระจายฟองอากาศเพื่อเพิ่มความพรุนในเนื้อคอนกรีต การใช้มวลรวมที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ เช่น มวลรวมเนื้อปูน

Cheon-Goo และคณะ (6) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหลุดล่อนและกำลังอัดคงค้างของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกภายใต้ภาวะอุณหภูมิสูงโดยการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการโอบรัดด้านข้าง (lateral confinement) การควบคุมความร้อนระหว่างการทดสอบเป็นไปตามความสัมพันธ์อุณหภูมิ–เวลา มาตรฐาน ISO 834 โดยกำหนดระยะเวลาในการให้ความร้อน 1 ชั่วโมงและแบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสาน 30% ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น 3 ชุดจากปริมาณการเติมซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น 3 ชุดจากปริมาณการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีน ได้แก่ 0% 0.05%



รูปที่ 2.1 การหลุดล่อนแบบระเบิดเนื่องจากความดันไอน้ำในโพรงร่วมกับหน่วยแรงเชิงความร้อน

และ 0.10% โดยปริมาตร แต่ละชุดทดสอบทำการแยกเป็น 2 ชุดย่อย คือ ชิ้นตัวอย่างที่มีและไม่มีการโอบรัดด้านข้างด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ ลวดตะแกรงเหล็กหนา 0.6 มิลลิเมตร ลวดตะแกรงเหล็กหนา 1.6 มิลลิเมตร ตาข่ายเส้นใยแก้วและตาข่ายเส้นใยคาร์บอน กลุ่มที่ 2 แบ่งชิ้นตัวอย่างในลักษณะเดียวกับกลุ่มที่ 1 โดยเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสาน 40% จากผลการทดสอบพบว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่มีการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนและไม่โอบรัดด้านข้างเกิดการหลุดล่อนอย่างเห็นได้ชัด สำหรับชิ้นตัวอย่างทั้งหมดที่เติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมคอนกรีตในปริมาณที่มากกว่า 0.05% โดยปริมาตรไม่เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีต เนื่องจากเส้นใยเกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ความดันไอน้ำในโพรงภายในเนื้อคอนกรีตลดลง จากการทดสอบยังพบอีกว่าการโอบรัดด้านข้างของชิ้นตัวอย่างด้วยลวดตะแกรงเหล็กช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้ดีกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ โดยลวดตะแกรงเหล็กที่หนากว่าจะช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้ดีกว่า ทั้งนี้ การโอบรัดด้วยตาข่ายเส้นใยแก้วและตาข่ายเส้นใยคาร์บอนไม่มีประสิทธิภาพต้านทานการหลุดล่อน โดยมีพฤติกรรมเหมือนชิ้นตัวอย่างที่ไม่มีการโอบรัดด้านข้าง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่มีการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในปริมาณมากกว่า 0.05% โดยปริมาตรประกอบกับการโอบรัดด้านข้างด้วยลวดตะแกรงเหล็กหลังจากสิ้นสุดการทดสอบพบว่าไม่เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีต และมีกำลังอัดคงค้างสูงกว่าชิ้นตัวอย่างที่มีการโอบรัดด้วยตาข่ายเส้นใยแก้วและตาข่ายเส้นใยคาร์บอน

Pothisiri และ Soklin (7) ได้ทำการศึกษาแนวทางการลดการหลุดล่อนของคอนกรีตกำลังปรกติที่อุณหภูมิสูงด้วยการกำหนดลำดับขั้นของการผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตที่แตกต่างกันที่อาจส่งผลต่อการกระจายของเส้นใยในเนื้อคอนกรีต ดังนี้ : (1) การผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับคอนกรีตสด (2) การผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับมวลรวมหยาบ และ (3) การผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับมวลรวมละเอียด การทดสอบนี้พิจารณาวิธีการผสมที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบโดยใช้เส้นใยพอลิโพรไพลีน 0% และ 0.2% โดยปริมาตรที่มีสภาพความชื้นแบบอิ่มตัวผิวแห้งและเก็บชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 150x150x150 มิลลิเมตร จำนวนทั้งสิ้น 24 ตัวอย่างแบ่งเป็น 4 กลุ่มตัวอย่างดังนี้ กลุ่มตัวอย่าง CT1 ไม่ผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีต กลุ่มตัวอย่าง CT2 ผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับคอนกรีตสด กลุ่มตัวอย่าง CT3 ผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับมวลหยาบ และกลุ่มตัวอย่าง CT4 ผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับมวลรวมละเอียด โดยแต่ละกลุ่มประกอบด้วย 6 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 3 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ และส่วนที่เหลือ 3 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบการหลุดล่อนโดยใช้เพลิงไหม้มาตรฐาน ISO 834 เป็นเวลา 45 นาที โดยควบคุมให้ชิ้นตัวอย่างสัมผัสความร้อนเฉพาะบริเวณผิวด้านข้างด้วยการติดตั้งแผ่นวัสดุฉนวนเส้นใยเซรามิกปิดผิวด้านบนและด้านล่างของชิ้นตัวอย่าง จากการทดสอบพบว่าการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีต

ช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ และลำดับขั้นการผสมที่ส่งผลให้การหลุดล่อนน้อยที่สุดมี 2 แบบ คือ การผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับคอนกรีตส และการผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับมวลรวมละเอียด อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาค่าการยุบตัวและค่ากำลังอัดพบว่าค่าการยุบตัวของวิธีการผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับมวลรวมละเอียดสูงกว่าในขณะที่ใช้สารเคมีลดน้ำน้อยกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าลำดับขั้นการผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสมที่สุดคือ การผสมเส้นใยพอลิโพรไพลีนพร้อมกับมวลรวมละเอียด

Cheon-Goo และคณะ (8) ได้ทำการศึกษาแนวทางการลดการสูญเสียกำลังอัดคงค้างและการป้องกันการหลุดล่อนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กประเภทคอนกรีตกำลังสูงจากการเกิดเพลิงไหม้ โดยชิ้นตัวอย่างทดสอบมีขนาด 300x300x600 มิลลิเมตร เหล็กเสริมหลักจำนวน 4 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร และเสริมเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะห่าง 300 มิลลิเมตร โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 กลุ่มดังต่อไปนี้ กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ไม่มีการเติมเส้นใยในส่วนผสมคอนกรีตและไม่มีการโอบรัดด้านข้างด้วยวัสดุประเภทต่างๆ กลุ่มที่ 2 เติมเส้นใยที่แตกต่างกัน 3 ชนิดลงในส่วนผสมของคอนกรีต ได้แก่ เส้นใยพอลิโพรไพลีน เส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยกำหนดปริมาณการเติมเส้นใยแต่ละชนิด 0.1% และ 0.2% โดยปริมาตร กลุ่มที่ 3 ป้องกันชิ้นตัวอย่างไม่ให้สัมผัสความร้อนโดยตรงด้วยวัสดุและวิธีการที่แตกต่างกัน ได้แก่ การทาสีทนไฟ (fire-proof paint) หนา 1-3 มิลลิเมตร การพ่นด้วยวัสดุพ่นป้องกันอัคคีภัย (fire-proof spray) หนา 20 มิลลิเมตร การติดตั้งแผงป้องกันอัคคีภัยมอร์ต้าร์หนา 30 มิลลิเมตรที่บริเวณผิวของชิ้นตัวอย่างทั้งสี่ด้าน โดยเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีน 0.1% โดยปริมาตรลงในส่วนผสมมอร์ต้าร์และเสริมลวดตะแกรงเหล็กหนา 1.6 มิลลิเมตรที่กึ่งกลางความลึกของแผงป้องกันอัคคีภัย แบ่งวิธีการติดตั้งแผงป้องกันอัคคีภัยกับชิ้นตัวอย่างได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ การใช้สปริงยึดระหว่างแผงป้องกันอัคคีภัยและชิ้นตัวอย่าง การใช้น็อตโลหะยึดระหว่างแผงป้องกันอัคคีภัยและชิ้นตัวอย่างโดยมีการเว้นช่องให้มีระยะห่างระหว่างแผ่นและไม่มีการเว้นช่องว่าง กลุ่มที่ 4 การเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในปริมาณ 0.1% โดยปริมาตรประกอบกับการโอบรัดด้านข้างของชิ้นตัวอย่างด้วยลวดตะแกรงเหล็กหนา 1.2 1.6 และ 2.3 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตกลุ่มที่ 1 เกิดการหลุดล่อนแบบระเบิดทุกชิ้นตัวอย่าง สำหรับชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ที่มีการเติมเส้นใยในปริมาณที่มากกว่า 0.1% โดยปริมาตร มีการหลุดล่อนของคอนกรีตลดลงเนื่องจากการหลอมละลายของเส้นใยเมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตและส่งผลให้ไอน้ำที่มีความดันสูงภายในเนื้อคอนกรีตระบายออกสู่ภายนอกได้ทันท่วงที โดยในการทดสอบยังพบอีกว่าการเติมเส้นใยแต่ละประเภทจะส่งผลให้เกิดการหลุดล่อนในรูปแบบที่ต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใย ได้แก่ ความยาว ปริมาณการเติมและจุดหลอมเหลว สังเกตได้จากในกรณีที่มีการเติมเส้นใย

เซลลูโลสซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงและมีความยาวน้อยกว่าเส้นใยพอลิโพรไพลีนและเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ชิ้นตัวอย่างจะเกิดการหลุดล่อนบริเวณขอบ เนื่องจากการที่มีจุดหลอมเหลวสูงทำให้เกิดการหน่วงเวลาในการระบายความดันไอน้ำภายในเนื้อคอนกรีตออกสู่ภายนอกและความยาวที่น้อยกว่าของเส้นใยเซลลูโลสเมื่อเทียบกับเส้นใยอีกสองชนิดไม่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงช่องว่างในเนื้อคอนกรีตดังสังเกตเห็นจากการหลุดล่อนที่บริเวณขอบของชิ้นตัวอย่าง สำหรับชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 3 ที่ทาสีทนไฟเกิดการหลุดล่อนในทุกตัวอย่างและการพ่นวัสดุพ่นป้องกันอัคคีภัยที่บริเวณผิวของชิ้นตัวอย่างไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการหลุดล่อน เนื่องจากชิ้นตัวอย่างเกิดการหลุดล่อนแบบระเบิดรุนแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มชิ้นตัวอย่างควบคุม ในขณะที่การติดตั้งแผงป้องกันอัคคีภัยที่บริเวณผิวของชิ้นตัวอย่างแบบไม่เว้นระยะห่างมีประสิทธิภาพในการป้องกันการหลุดล่อนของคอนกรีตเมื่อทำการทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สำหรับชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 4 การเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนประกอบกับการโอบรัดด้านข้างของชิ้นตัวอย่างทดสอบด้วยลวดตะแกรงเหล็กหนา 1-3 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตที่ดีและมีการสูญเสียกำลังอัดคงค้างน้อยที่สุด

Young-Sun และคณะ (9) ได้ทำการศึกษาการป้องกันเสาคอนกรีตเสริมเหล็กประเภทคอนกรีตกำลังสูงภายใต้น้ำหนักบรรทุกในภาวะเพลิงไหม้โดยวิธีการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตและการโอบรับด้านข้างด้วยลวดตะแกรงเหล็ก การศึกษานี้ควบคุมความร้อนระหว่างการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 834 โดยกำหนดเวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมง ชิ้นตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 300x300x3000 มิลลิเมตร เหล็กเสริมหลักจำนวน 4 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร และเสริมเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะห่าง 300 มิลลิเมตร ใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานเท่ากับ 0.34 และแบ่งชิ้นตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ชิ้นตัวอย่างควบคุม ชิ้นตัวอย่างที่ทำการติดตั้งแผงป้องกันอัคคีภัยมอร์ต้าร์หนา 30 มิลลิเมตรบริเวณผิว โดยใช้มอร์ต้าร์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานเท่ากับ 0.30 เติมเส้นใยพอลิโพรไพลีน 0.1% โดยปริมาตร และเสริมลวดตะแกรงเหล็กหนา 1.6 มิลลิเมตรที่กึ่งกลางความลึกของแผงป้องกันอัคคีภัย และชิ้นตัวอย่างที่เติมเส้นใยพอลิโพรไพลีน 0.1% โดยปริมาตรในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการโอบรัดด้านข้างด้วยลวดตะแกรงเหล็กหนา 1.6 มิลลิเมตร จากการทดสอบพบว่าชิ้นตัวอย่างควบคุมเกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตที่รุนแรงทำให้เหล็กเสริมสัมผัสความร้อนโดยตรง ซึ่งส่งผลให้เกิดการโก่งเดาะของชิ้นตัวอย่างและวิบัติในที่สุด สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ทำการติดตั้งแผงป้องกันอัคคีภัยเกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตแบบลอกหลุด ในขณะที่ไม่เกิดการหลุดล่อนในชิ้นตัวอย่างเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนและโอบรัดด้านข้างด้วยลวดตะแกรงเหล็ก

Tuan และคณะ (10) ได้ทำการทดสอบผนังคอนกรีตเสริมเหล็กประเภทคอนกรีตกำลังปรกติและคอนกรีตกำลังสูงภายใต้เพลิงไหม้มาตรฐาน ASTM E119 ISO 834 และเพลิงไหม้ไฮโดรคาร์บอน

(hydrocarbon fire) โดยตัวอย่างทดสอบเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดสูง 2400 มิลลิเมตร กว้าง 1000 มิลลิเมตรและหนา 150 มิลลิเมตร จำนวนทั้งสิ้น 10 ตัวอย่าง แบ่งกลุ่มการทดสอบออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้ กลุ่มทดสอบที่ 1 ตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังปรกติจำนวน 4 ตัวอย่าง ให้ความร้อนขณะทดสอบตามเพลิงไหม้มาตรฐาน ISO 834 และเพลิงไหม้ไฮโดรคาร์บอนเป็นระยะเวลา 120 นาที กลุ่มทดสอบที่ 2 ตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังสูงจำนวน 4 ตัวอย่าง ให้ความร้อนและระยะเวลาทดสอบเช่นเดียวกับกลุ่มที่ 1 กลุ่มทดสอบที่ 3 ตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังสูงจำนวน 2 ตัวอย่างที่มีการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนปริมาณ 2 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรลงในส่วนผสมของคอนกรีต และควบคุมความร้อนขณะทดสอบแบบเพลิงไหม้ไฮโดรคาร์บอน ทั้งนี้ ในแต่ละกลุ่มทดสอบแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มย่อยที่ 1 ให้น้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนที่ระยะเยื้องศูนย์ 10 มิลลิเมตร กลุ่มย่อยที่ 2 ไม่มีน้ำหนักบรรทุก จากผลการทดสอบพบว่าการถ่ายเทความร้อนภายในชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังสูงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในการทดสอบด้วยเพลิงไหม้ ISO 834 และเพลิงไฮโดรคาร์บอนเมื่อเทียบกับชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังปรกติ และเกิดการหลุดล่อนแบบระเบิดของเนื้อคอนกรีตอย่างรุนแรงในช่วงเวลาเริ่มแรกของการทดสอบ ชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังสูงที่รับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนโดยมีระยะเยื้องศูนย์ 10 มิลลิเมตร เกิดการกระจัดที่แต่ละตำแหน่งน้อยกว่าชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังปรกติเนื่องจากมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงกว่าและการขยายตัวเหตุความร้อนน้อยกว่า แต่หลังจาก 90 นาทีของการทดสอบการกระจัดของชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังปรกติลดลงเนื่องจากการขยายตัวเหตุความร้อนที่เพิ่มขึ้นบริเวณผิวสัมผัสความร้อน ส่งผลให้ชิ้นตัวอย่างโก่งตัวไปในด้านที่อุณหภูมิสูงกว่าและสามารถทนไฟได้มากกว่าชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังสูง ทั้งนี้ ชิ้นตัวอย่างที่ให้น้ำหนักบรรทุกที่ระยะเยื้องศูนย์ 10 มิลลิเมตร และทดสอบด้วยเพลิงไหม้ไฮโดรคาร์บอนเกิดการกระจัดของชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังปรกติมากกว่าชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังสูงเช่นกัน แต่หลังจาก 20 นาทีของการทดสอบชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังสูงกลับมีการโก่งตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตที่รุนแรงจึงส่งผลให้ขนาดหน้าตัดลดลงและเกิดการวิบัติในที่สุด ชิ้นตัวอย่างประเภทคอนกรีตกำลังสูงที่มีการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนและทดสอบด้วยเพลิงไหม้ไฮโดรคาร์บอนเกิดการหลุดล่อนและการแตกร้าวของคอนกรีตน้อยกว่าและสามารถทนไฟได้ 65 นาที ซึ่งมากกว่าชิ้นตัวอย่างประเภทเดียวกันที่ไม่มีการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนซึ่งสามารถทนไฟได้เพียง 31 นาที

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้นพบว่าการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในปริมาณ 0.05% - 0.2% โดยปริมาตรในส่วนผสมคอนกรีตสามารถช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมคอนกรีตประกอบกับการเสริมลวด

ตะแกรงเหล็กช่วยเพิ่มสมรรถนะการทนไฟให้แก่ชิ้นส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กประเภทเสาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ สำหรับผนังคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความเสี่ยงต่อการหลุดล่อนของคอนกรีตในภาวะเพลิงไหม้ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาแนวทางการป้องกันการหลุดล่อนดังกล่าวโดยประยุกต์ใช้เส้นใยพอลิโพรไพลีนและลวดตะแกรงเหล็กต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การทดสอบ

3.1 รายละเอียดตัวอย่างการทดสอบ

ชิ้นตัวอย่างทดสอบเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีขนาดกว้าง 3420 มิลลิเมตร สูง 2650 มิลลิเมตรและหนา 120 มิลลิเมตร เสริมเหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40 (กำลังครากระบุ : 4000 กก./ซม.^{2}) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรและตะแกรงเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ขนาดช่องตะแกรง 250 มิลลิเมตรx250 มิลลิเมตร (กำลังครากระบุ : 5500 กก./ซม.^{2}) ที่บริเวณกึ่งกลางความหนาของผนัง โดยมีกำลังอัดระบุของคอนกรีต 350 กก/ซม^2 ที่ 28 วัน รายละเอียดตัวอย่างการทดสอบแสดงดังต่อไปนี้

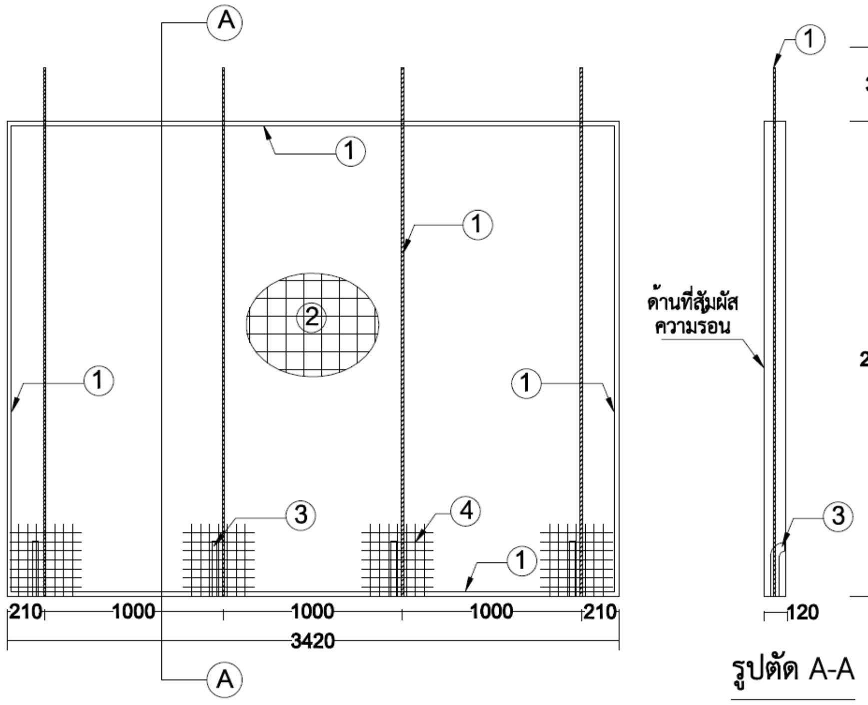
การทดสอบส่วนที่ 1 จำนวน 3 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ชิ้นตัวอย่าง WC1–WC3 เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อพฤติกรรมและสมรรถนะการทนไฟของชิ้นตัวอย่างทดสอบผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยให้น้ำหนักบรรทุกกระทำในรูปอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือ 0 0.1 และ 0.2 รายละเอียดการคำนวณอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกแสดงในภาคผนวก

การทดสอบส่วนที่ 2 แบ่งการทดสอบเป็น 3 ส่วนย่อยดังนี้ *การทดสอบส่วนที่ 2(1)* การเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตในปริมาณที่แตกต่างกัน (ชิ้นตัวอย่าง WP1-WP3) *การทดสอบส่วนที่ 2(2)* การเสริมลวดตะแกรงเหล็กบริเวณระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวคอนกรีตด้านที่สัมผัสความร้อน โดยที่ลวดตะแกรงเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ขนาดช่องตะแกรง 50.8x50.8 มิลลิเมตร (ชิ้นตัวอย่าง WM1) *การทดสอบส่วนที่ 2(3)* การเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็ก (ชิ้นตัวอย่าง WM2-WM4) ตารางที่ 3.1 สรุปตัวอย่างทดสอบ และรูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.1 สรุปตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบส่วนที่	ตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก	เส้นใยพอลิโพรไพลีน (% โดยปริมาตร)	ลวดตะแกรงเหล็ก (มม.xมม.)
1	WC1	0	0	-
	WC2	0.1	0	-
	WC3	0.2	0	-
2(1)	WP1	0.1	ก	-
	WP2	0.1	ข	-
	WP3	0.1	ค	-
2(2)	WM1	0.1	0	50.8x50.8
2(3)	WM2	0.1	ก	50.8x50.8
	WM3	0.1	ข	50.8x50.8
	WM4	0.1	ค	50.8x50.8



①	เหล็กข้ออ้อย กำลังครากระบุ 4000 กก./ซม^2 ขนาด DB12 มม.
②	เหล็กข้ออ้อย กำลังครากระบุ 5500 กก./ซม^2 ขนาด DB8 มม. @ 250 มม.
③	ท่อลูกฟูก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม.
④	ตะแกรงเหล็ก ขนาด RB4 @ 100 มม.

รูปที่ 3.1 รายละเอียดชิ้นตัวอย่างทดสอบ

3.1.1 คุณสมบัติของวัสดุ

ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการหล่อชิ้นตัวอย่างทดสอบประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 โดยมีสัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ สารเคมีผสมเพิ่ม และเส้นใยพอลิโพรไพลีนที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 3.3-3.6 ตามลำดับ ในขณะที่รายละเอียดของลวดตะแกรงเหล็กที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.8 แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตสด คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ซึ่งได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143 (13) และ ASTM C39 (14) รูปที่ 3.2 และ 3.3 แสดงลักษณะของเส้นใยพอลิโพรไพลีนและลวดตะแกรงเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 ปริมาณส่วนผสมของคอนกรีต

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)	0.41
เส้นใยพอลิโพรไพลีน (% โดยปริมาตร)	0/ก/ข/ค
สารเคมีผสมเพิ่ม (%)	1.64
ปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กก./ม.^{3})	
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 3	375
มวลรวมละเอียด (ทราย)	870
มวลรวมหยาบ (หิน)	1100
เส้นใยพอลิโพรไพลีน	0/ก/ข/ค
ปริมาณส่วนผสมโดยปริมาตร (ลิตร/ม.^{3})	
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 3	119
มวลรวมละเอียด (ทราย)	333
มวลรวมหยาบ (หิน)	392
เส้นใยพอลิโพรไพลีน	0/ก/ข/ค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์

ความถ่วงจำเพาะ	3.15
การก่อตัว	
ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (นาที)	90
ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย (นาที)	128

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของมวลรวม

ชนิด	**มวลรวมละเอียด**	**มวลรวมหยาบ**
ความถ่วงจำเพาะ	2.6	2.8
มอดุลัสความละเอียด	3.2	2.3
การดูดซึมน้ำ (%)	0.65	0.37
หน่วยน้ำหนัก (กก./ม.^{3})	1792	1640

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของสารเคมีผสมเพิ่ม

ประเภทของสารเคมี	ซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์
ส่วนประกอบหลัก	เมลามีน ซัลโฟเนต
ชนิด	ของเหลว
สี	น้ำตาลเข้ม
ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25°C	1.185-1.2

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของเส้นใยพอลิโพรไพลีน

ประเภทของเส้นใย	เส้นใยสังเคราะห์พอลิโพรไพลีน
ความหนาแน่น (กก./ซม.^{3})	910
กำลังแรงดึง (MPa)	554
จุดหลอมละลาย (°C)	160-170

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดลวดตะแกรงเหล็ก

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	2
ช่องตะแกรง (มม.xมม.)	50.8x50.8

ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

ชิ้นตัวอย่าง	ค่ายุบตัว (ซม.)	กำลังแรงอัด (กก/ซม^2)		
		3 วัน	7 วัน	28 วัน
WC1	17.5	333	377	452
WC2	17.5	364	433	510
WC3	17.0	326	358	476
WP1	17.5	330	409	440
WP2	17.5	321	382	433
WP3	17.5	312	377	437
WM1	15.0	285	303	402
WM2	17.5	257	322	402
WM3	17.5	310	364	479
WM4	15.0	291	324	435

รูปที่ 3.2 เส้นใยพอลิโพรไพลีน

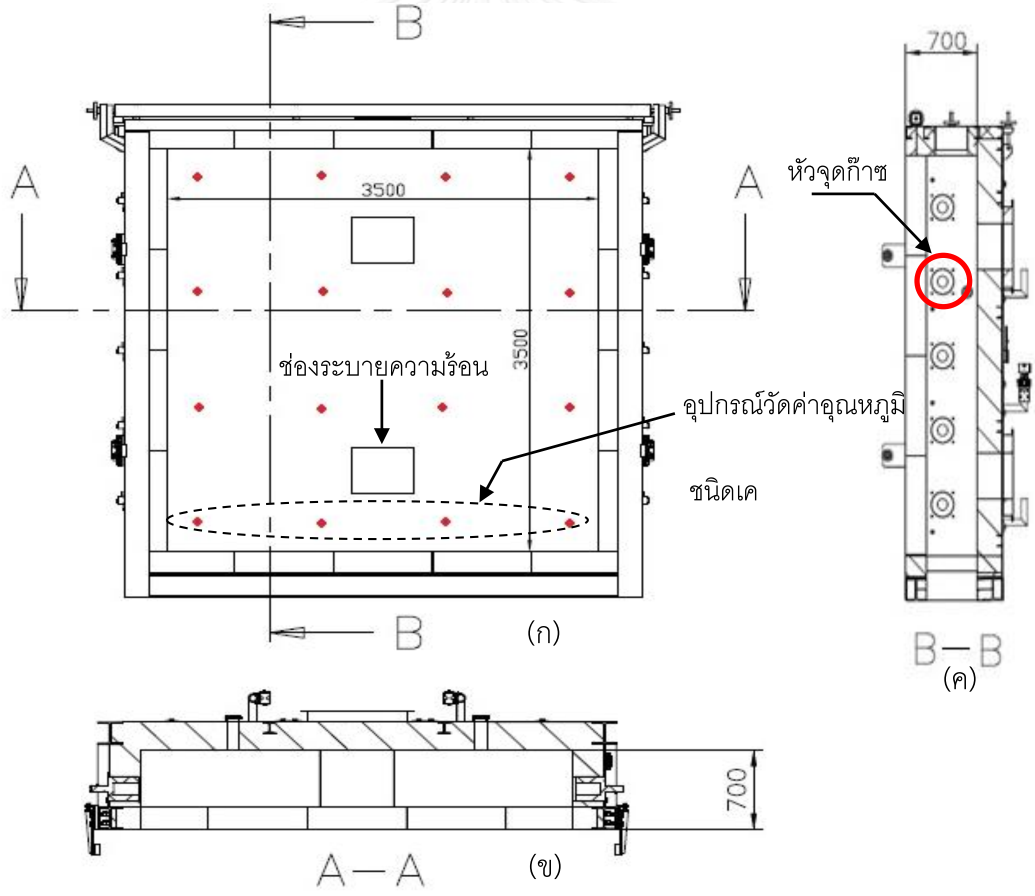
รูปที่ 3.3 ลวดตะแกรงเหล็ก

3.2 การติดตั้งชิ้นตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบดำเนินการ ณ ศูนย์วิจัยเพื่อความปลอดภัยจากอัคคีภัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 เตาเผาทดสอบ

เตาเผาทดสอบมีขนาดความกว้าง 3500 มิลลิเมตร ความยาว 3500 มิลลิเมตรและความลึก 700 มิลลิเมตร ประกอบด้วยหัวจุดก๊าซจำนวน 10 หัว และช่องระบายความร้อนจำนวน 2 ช่อง ค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาทดสอบระหว่างการทดสอบถูกบันทึกค่าโดยอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิชนิดเค (type-K thermocouple) จำนวน 16 ตำแหน่ง โดยทำการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาทดสอบให้เป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาตามมาตรฐาน ISO 834 รายละเอียดของเตาเผาทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รายละเอียดเตาเผาทดสอบ : (ก) รูปด้านหน้า (ข) ภาคตัดแนวราบ (ค) ภาคตัดแนวดิ่ง

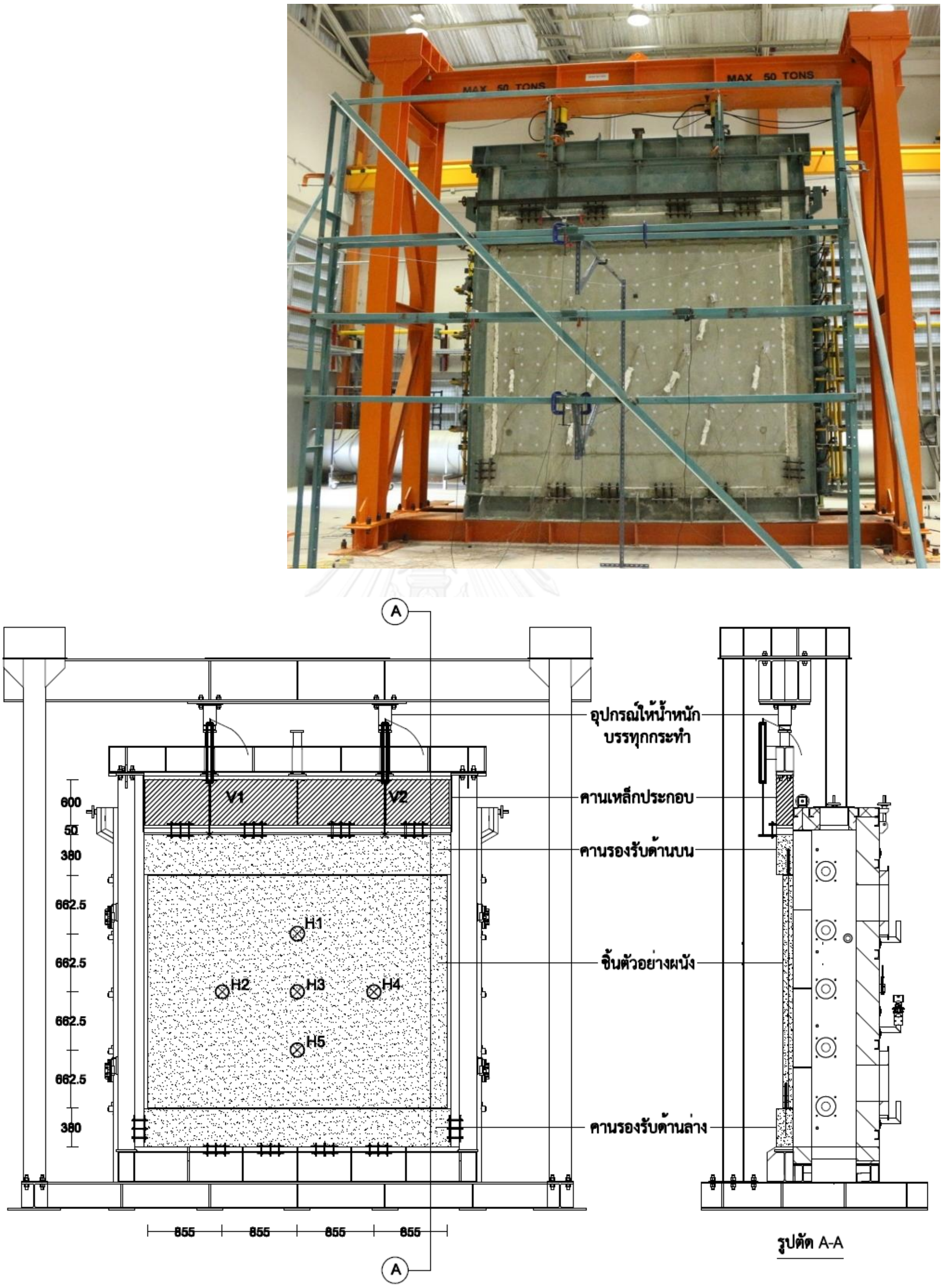
3.2.2 การติดตั้งชิ้นตัวอย่างทดสอบและอุปกรณ์วัดค่า

ชิ้นตัวอย่างทดสอบติดตั้งบนคานรองรับด้านบนและด้านล่างซึ่งมีขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 3500 มิลลิเมตร และสูง 380 มิลลิเมตร และให้น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุดโดยอุปกรณ์กดน้ำหนักบรรทุกผ่านคานเหล็กประกอบรูปตัวเอชขนาด 600x200x20x40 มิลลิเมตร เพื่อกระจายน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่สม่ำเสมอบนชิ้นตัวอย่างทดสอบ

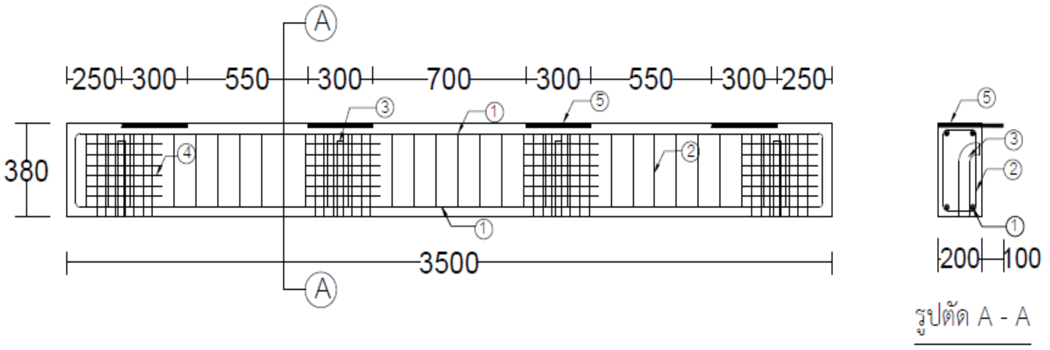
การวัดค่าการกระจัดในแนวราบและการกระจัดตามแนวแกนของผนังระหว่างการทดสอบอาศัยอุปกรณ์วัดค่าการกระจัดเชิงเส้น (linear variable differential transducers, LVDT) โดยติดตั้งอุปกรณ์ซึ่งมีระยะการวัด $\pm$ 200 มิลลิเมตร บริเวณผิวที่ไม่สัมผัสความร้อนของผนังจำนวน 5 ตำแหน่ง (H1-H5) เพื่อวัดการโก่งในแนวราบของผนัง และติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการกระจัดบริเวณคานเหล็กประกอบรูปตัวเอชจำนวน 2 ตำแหน่ง (V1-V2) เพื่อวัดระยะการยืดหดตามแนวแกนของผนัง รูปที่ 3.5 แสดงรายละเอียดการติดตั้งชิ้นตัวอย่างทดสอบและอุปกรณ์วัดค่าการกระจัด และรูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดของคานรองรับบน-ล่าง

การวัดค่าอุณหภูมิของชิ้นตัวอย่างระหว่างการทดสอบอาศัยการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิชนิดเค ทุกระยะลึก 30 มิลลิเมตรของความหนาชิ้นตัวอย่างจากด้านที่สัมผัสความร้อนจนถึงด้านที่ไม่สัมผัสความร้อนในตำแหน่ง T1-T9 ตำแหน่งละ 5 จุด รวมทั้งสิ้น 45 จุด ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.7

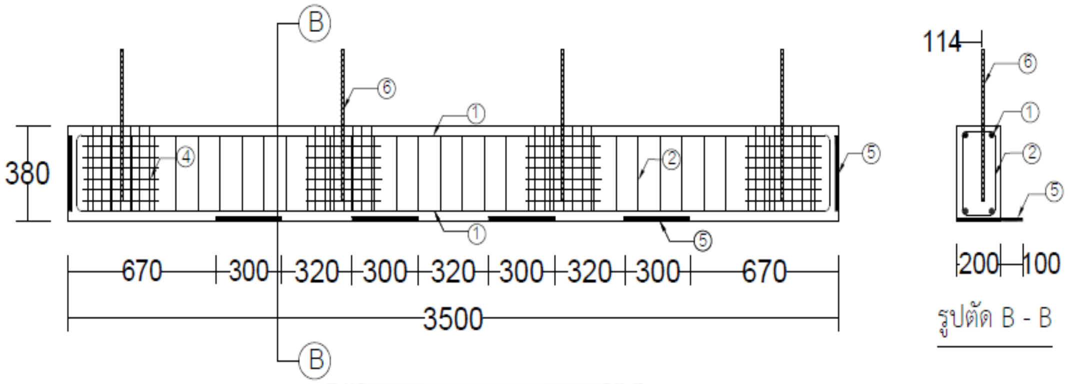
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.5 ชิ้นตัวอย่างทดสอบและตำแหน่งอุปกรณ์วัดค่าการกระจัด



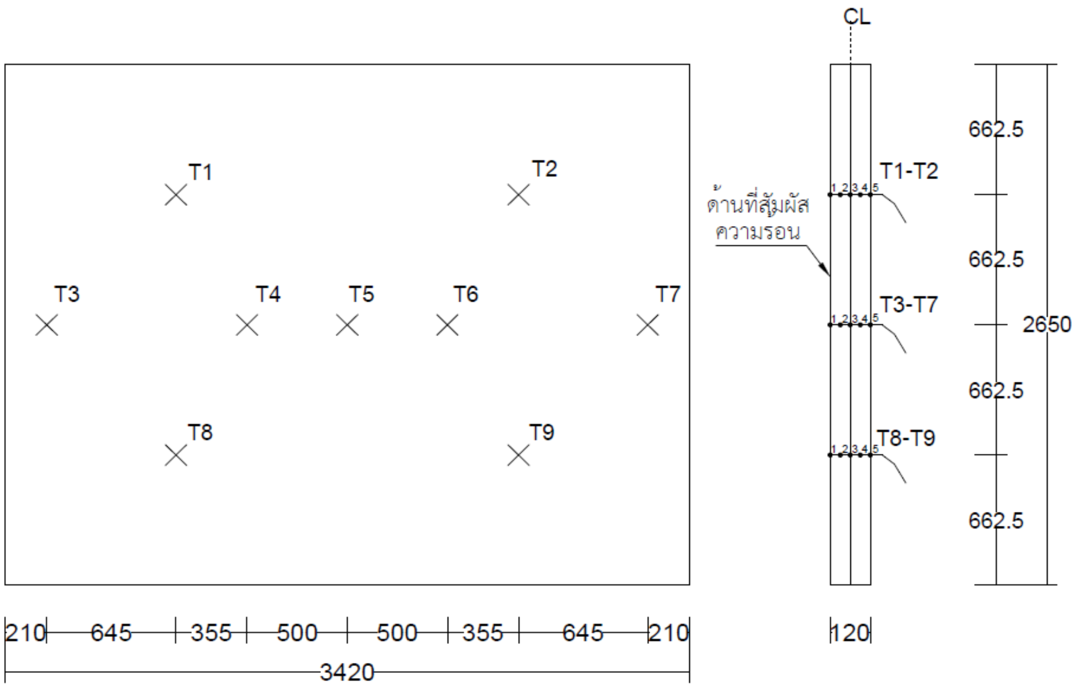
(ก)



(ข)

①	เหล็กข้ออ้อย (เหล็กเสริมหลัก) กำลังครากระบุ 4000 กก./ซม^2 ขนาด DB12 มม.
②	เหล็กข้ออ้อย (เหล็กปลอก) กำลังครากระบุ 4000 กก./ซม^2 ขนาด DB12 มม.
③	ท่อลูกฟูก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม.
④	ตะแกรงเหล็ก ขนาด RB4 @ 100 มม.
⑤	เหล็กแผ่น ขนาด 300x300x15 มม.
⑥	เหล็กข้ออ้อย (เหล็กเดือย) กำลังครากระบุ 4000 กก./ซม^2 ขนาด DB12 มม. ยาว 600 มม.

รูปที่ 3.6 คานรองรับชิ้นตัวอย่าง : (ก) คานบน (ข) คานล่าง



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งของอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ

3.3 การทดสอบ

การทดสอบเริ่มดำเนินการโดยให้น้ำหนักบรรทุกแก่ชิ้นตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์กดน้ำหนักบรรทุกแบบจุดผ่านคานเหล็กประกอบรูปตัวเอชเพื่อกระจายน้ำหนักที่สม่ำเสมอแก่ชิ้นตัวอย่างตามอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกที่กำหนด และควบคุมค่าน้ำหนักบรรทุกให้คงที่ตลอดระยะเวลาการทดสอบ จากนั้นจึงให้ความร้อนแก่ชิ้นตัวอย่างตามมาตรฐาน ISO 834 เป็นระยะเวลา 180 นาทีดังแสดงในรูปที่ 3.8 ระหว่างการทดสอบทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ การกระจัดตามแนวแกน และการกระจัดในแนวราบด้วยอุปกรณ์วัดค่าดังแสดงรายละเอียดในข้อ 3.2

นอกจากนี้ ระหว่างการทดสอบยังพิจารณาเกณฑ์การสิ้นสุดการทดสอบ (termination criteria) ตามมาตรฐาน ISO 834 ดังนี้

1. *สมรรถภาพรองรับน้ำหนักบรรทุก (load-bearing capacity)* : สำหรับชิ้นตัวอย่างทดสอบที่อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกไม่เท่ากับศูนย์ พิจารณาสิ้นสุดการทดสอบเมื่อการหดตัวตามแนวแกน หรืออัตราการหดตัวตามแนวแกนเกินเกณฑ์ที่กำหนด

- ขีดจำกัดการหดตัวตามแนวแกน : *h*/100
- ขีดจำกัดอัตราการหดตัวตามแนวแกน : 3*h*/1000

เมื่อ *h* คือ ความสูงของผนังซึ่งมีค่าเท่ากับ 2650 มิลลิเมตร

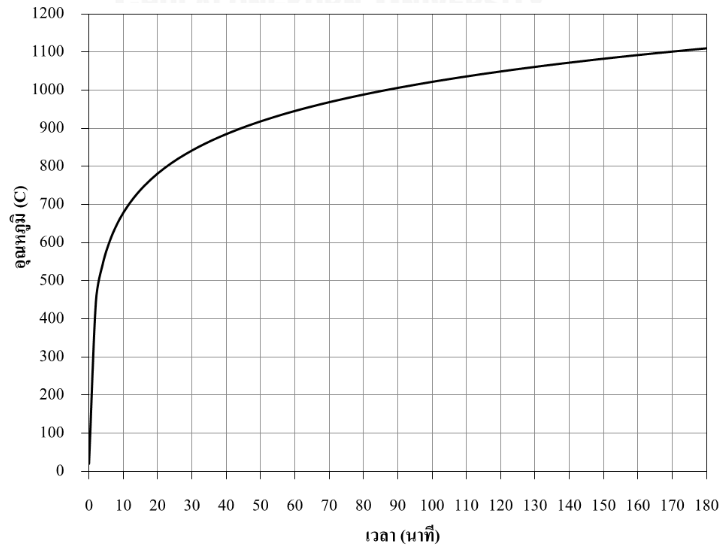
2. *บูรณภาพ (integrity)* : ชิ้นตัวอย่างทดสอบต้องไม่เกิดรอยแยกที่ส่งผลให้เกิดการส่งผ่านของเปลวไฟหรือก๊าซร้อนที่ส่งผลให้แผ่นสำลีติดไฟ และขนาดของรอยแยกที่เกิดขึ้นเมื่อวัดด้วยอุปกรณ์วัด (gap gauge) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรจะต้องมีความยาวไม่เกิน 150 มิลลิเมตร รวมทั้งอุปกรณ์วัดรอยแยกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรจะต้องไม่สามารถทะลุรอยแยกดังกล่าวได้

3. *การฉนวน (insulation)* : ในระหว่างการทดสอบอุณหภูมิบริเวณผิวที่ไม่สัมผัสความร้อนของชิ้นตัวอย่างทดสอบต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด

   - อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นไม่เกิน 140 องศาเซลเซียส
   - อุณหภูมิที่แต่ละตำแหน่งเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นไม่เกิน 180 องศาเซลเซียส

ทั้งนี้ สำหรับเกณฑ์สิ้นสุดการทดสอบด้วยการฉนวนใช้บันทึกค่าอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่างทดสอบโดยยังคงดำเนินการทดสอบต่อไปจนครบระยะเวลา 180 นาที เพื่อเปรียบเทียบระดับการหลุดล่อนของคอนกรีต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาตามมาตรฐาน ISO 834

บทที่ 4
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบส่วนที่ 1

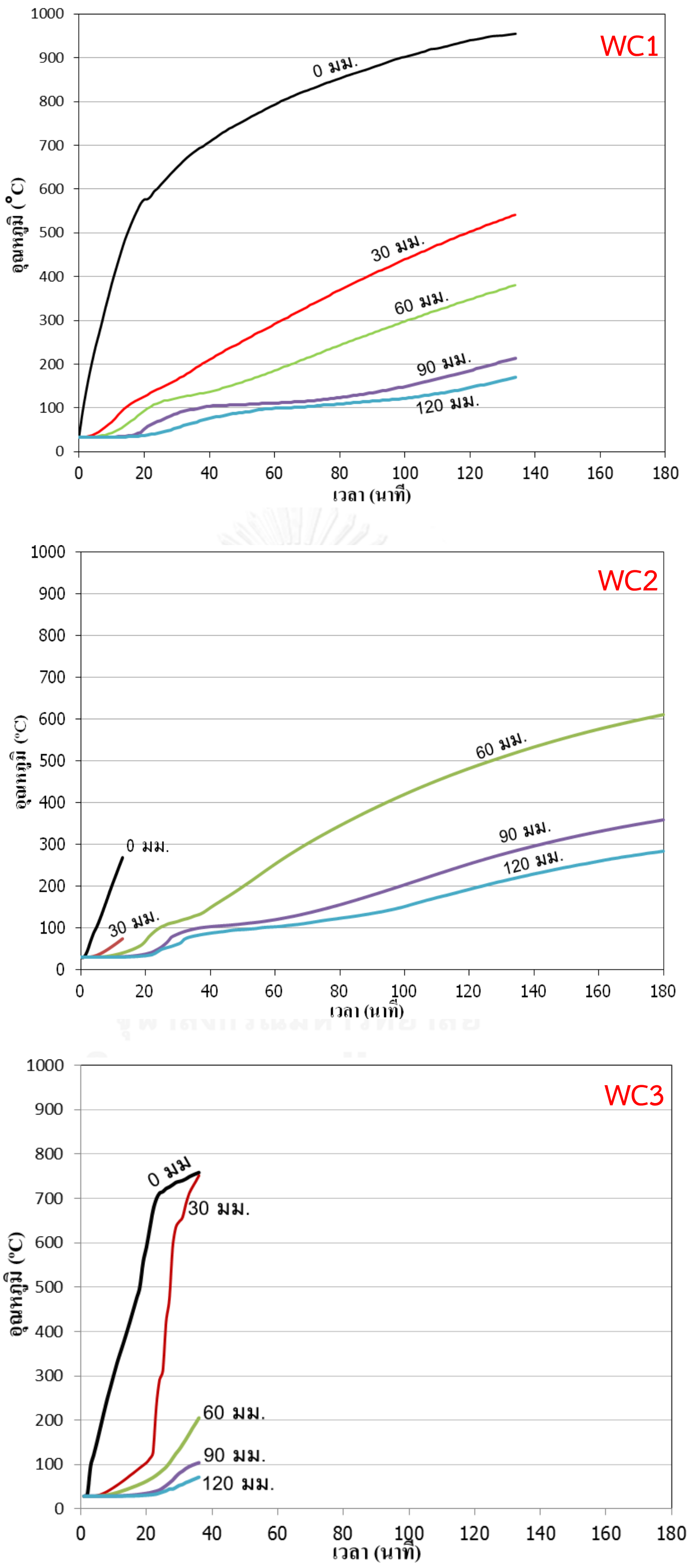
ผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างผนังในส่วนที่ 1 สรุปได้ดังตารางที่ 4.1 โดยที่การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนของชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นแสดงดังตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.1-4.4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณผิวสัมผัสความร้อนจนถึงผิวที่ไม่สัมผัสความร้อนที่ระยะลึก 0 30 60 และ 120 มิลลิเมตร การกระจัดตามแนวแกน และการกระจัดในแนวราบของชิ้นตัวอย่าง

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบส่วนที่ 1

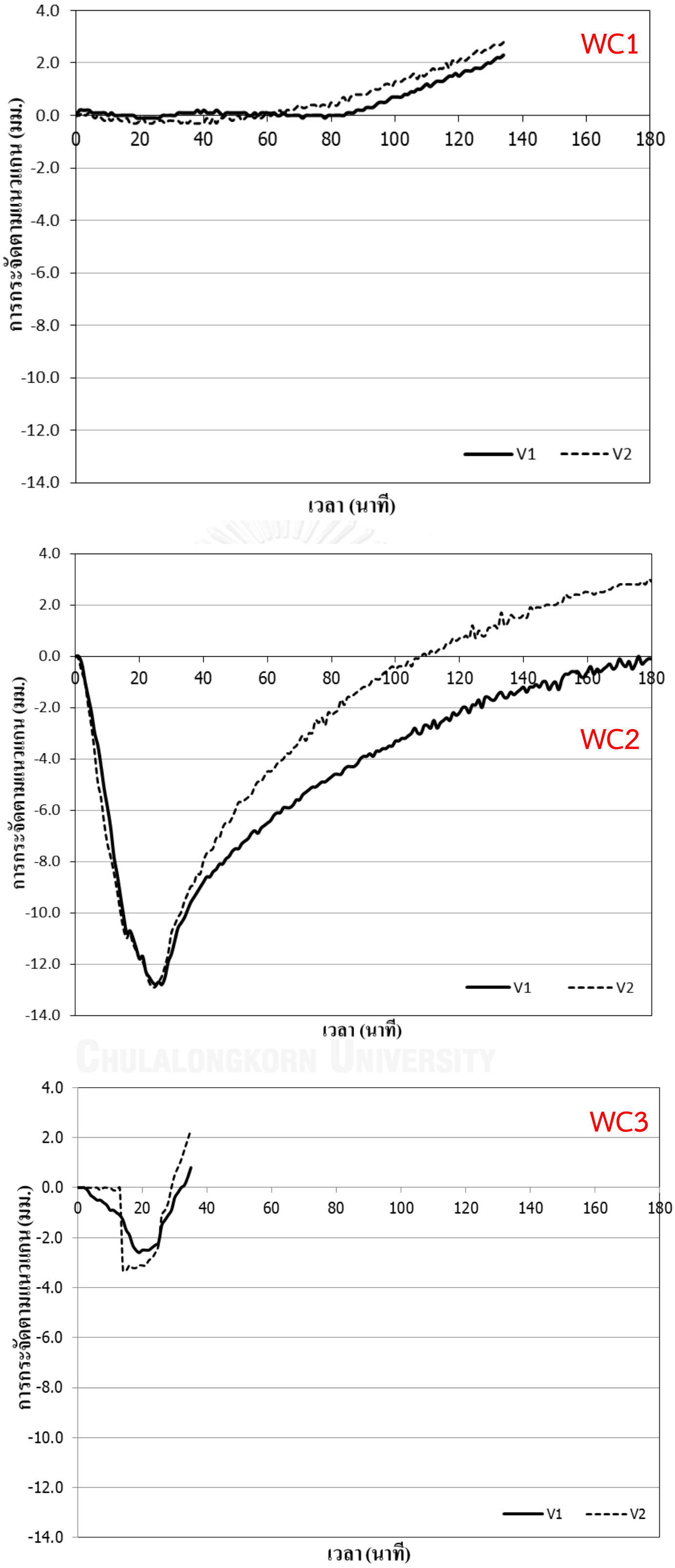
ชิ้นตัวอย่าง	ระยะเวลาได้รับความร้อน (นาที)	ระยะเวลาการวิบัติ (นาที)	ลักษณะการวิบัติ	การกระจัดตามแนวแกนสูงสุด (มม.)	การกระจัดในแนวราบสูงสุด (มม.)
WC1	134	134	การฉนวน	2.9	-83.7
WC2	180	97	การฉนวน	-13.1	-57.5
WC3	35	35	สมรรถภาพรองรับน้ำหนักน้ำหนักบรรทุก	-3.4	-27.9

ตารางที่ 4.2 การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนในการทดสอบส่วนที่ 1

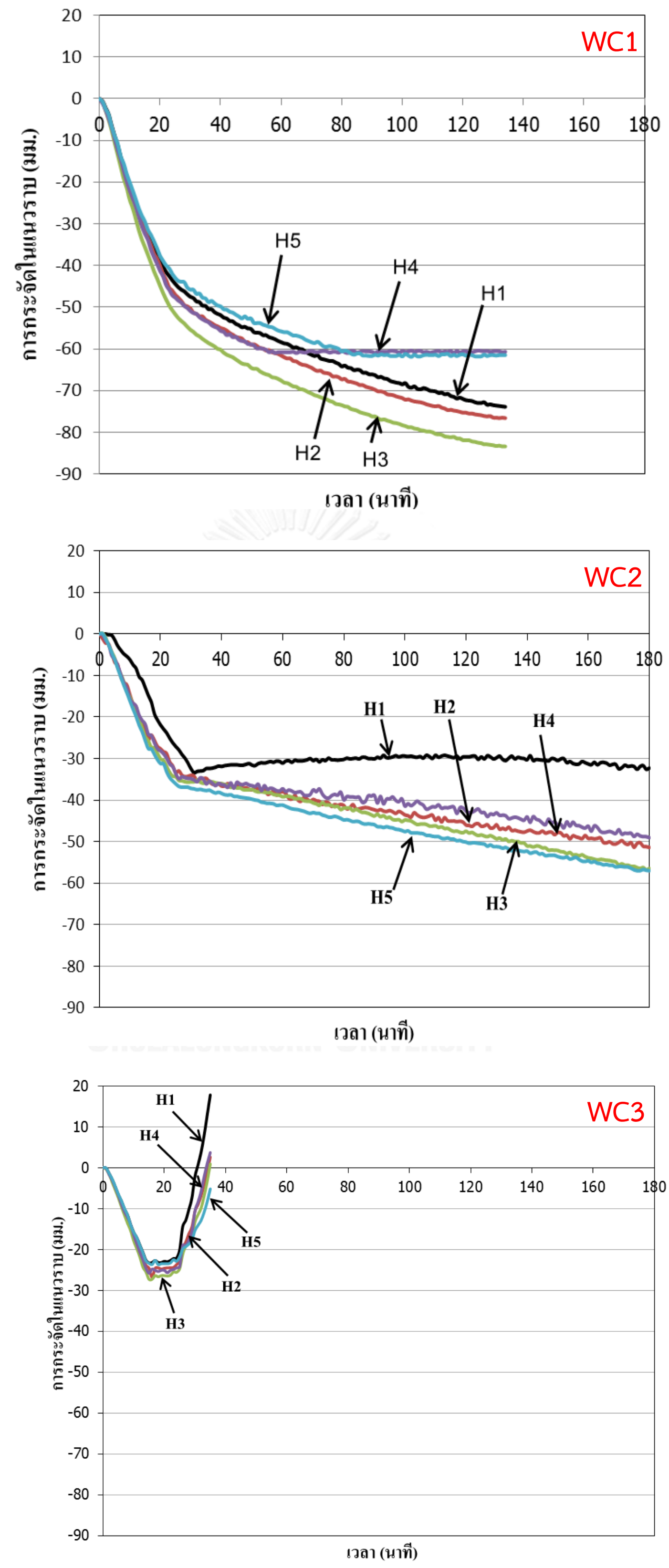
ชิ้นตัวอย่าง	พื้นที่การหลุดล่อน (%)	ความลึกสูงสุด (มม.)	ความลึกเฉลี่ย (มม.)
WC1	3.3	3	1.9
WC2	89	96	45
WC3	100	120	>60



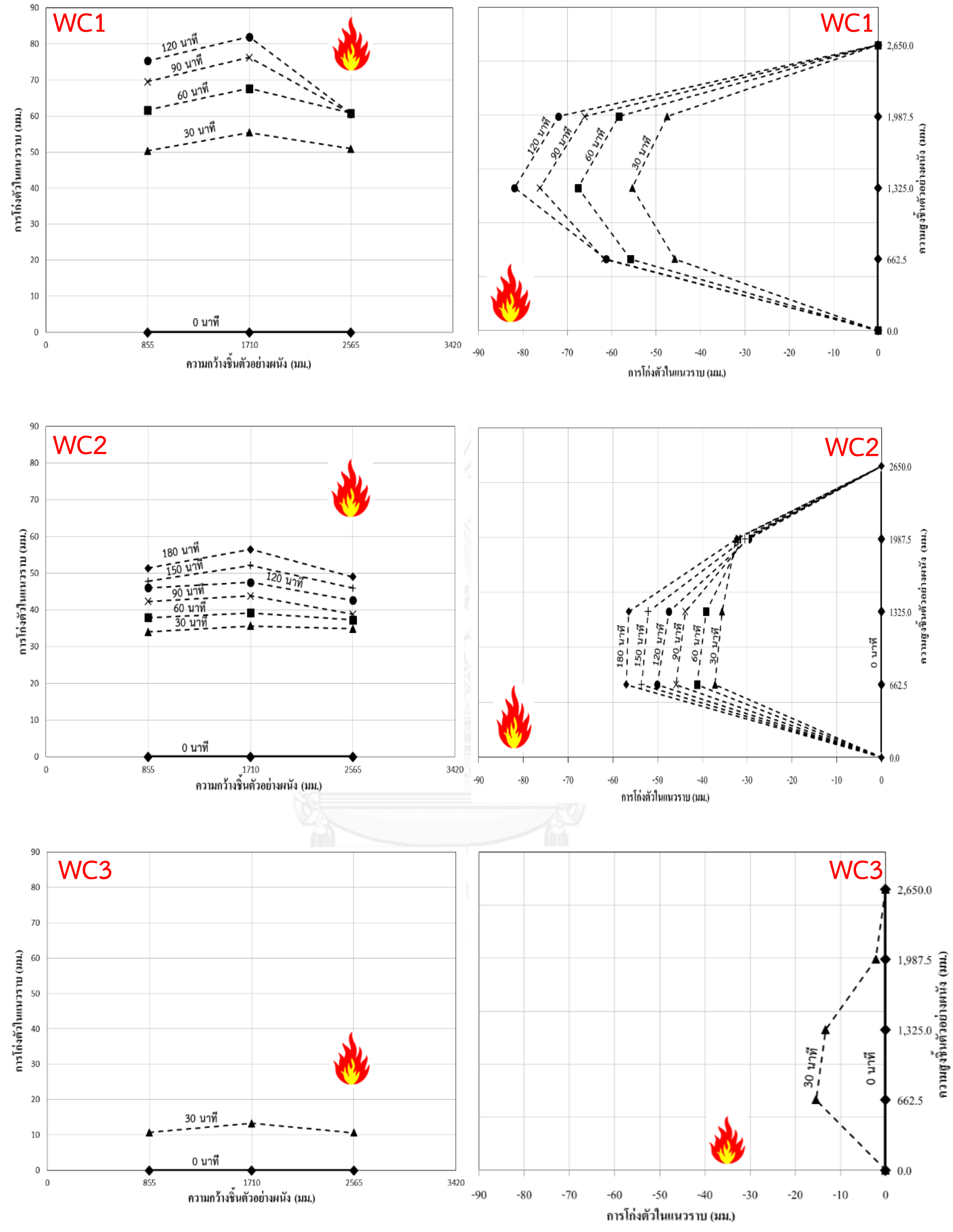
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WC1 - WC3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดตามแนวแกนและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WC1 - WC3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WC1 – WC3



(ก) (ข)

รูปที่ 4.4 การกระจัดในแนวราบของผนัง WC1 – WC3 ในแต่ละทิศทาง :

(ก) ความกว้าง (ข) ความสูง

จากผลการทดสอบส่วนที่ 1 พบว่า **ชิ้นตัวอย่าง WC1** ที่ได้รับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 0 มีการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการยืดตัวเท่ากับ 2.9 มิลลิเมตร และการกระจัดในแนวราบสูงสุดในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อนเท่ากับ 83.7 มิลลิเมตร สำหรับการหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อน พบว่า ชิ้นตัวอย่างเกิดการหลุดล่อนแบบระเบิดของคอนกรีตที่ช่วงระยะเวลาการทดสอบ 30 นาที และการหลุดล่อนคิดเป็นร้อยละ 3 ของพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อน ความลึกของการหลุดล่อนสูงสุดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ความลึกเฉลี่ย 1.9 มิลลิเมตร และชิ้นตัวอย่างวิบัติด้วยเกณฑ์การฉนวนโดยมีอัตราการทนไฟ 134 นาที สำหรับ **ชิ้นตัวอย่าง WC2** ที่ได้รับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 0.1 มีการกระจัดในแนวราบสูงสุดของชิ้นตัวอย่างในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อนเท่ากับ 57.5 มิลลิเมตร และการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัวเท่ากับ 13.1 มิลลิเมตร ซึ่งไม่เกินกว่าเกณฑ์สมรรถภาพรองรับน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน ISO 834 ระหว่างการทดสอบเกิดการหลุดล่อนแบบระเบิดของคอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสความร้อนที่ระยะเวลาการทดสอบ 30 นาที และจากการตรวจสอบผนังภายหลังการให้ความร้อนเป็นเวลา 180 นาที พบว่าเกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตค่อนข้างรุนแรงคิดเป็นร้อยละ 89 ของพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อน โดยที่ความลึกสูงสุดของการหลุดล่อนเท่ากับ 96 มิลลิเมตร ความลึกเฉลี่ย 45 มิลลิเมตร ทั้งนี้ชิ้นตัวอย่างวิบัติด้วยเกณฑ์การฉนวน โดยมีอัตราการทนไฟ 97 นาที **ชิ้นตัวอย่าง WC3** ที่ได้รับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.2 มีการกระจัดในแนวราบสูงสุดของชิ้นตัวอย่างในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อนเท่ากับ 27.9 มิลลิเมตร การกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัวเท่ากับ 3.4 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม ชิ้นตัวอย่างเกิดการวิบัติอย่างทันทีทันใดในระหว่างการทดสอบ ส่งผลชิ้นตัวอย่างให้มีอัตราการทนไฟเพียง 35 นาที โดยที่ชิ้นตัวอย่างเกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตแบบระเบิดอย่างรุนแรงคิดเป็นร้อยละ 100 ของพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อน และมีความลึกของการหลุดล่อนสูงสุดถึง 120 มิลลิเมตรซึ่งเท่ากับความหนาของชิ้นตัวอย่าง ความลึกเฉลี่ยมากกว่าครึ่งหนึ่งของความหนาชิ้นตัวอย่างหรือ 60 มิลลิเมตร รูปที่ 4.5 แสดงสภาพของชิ้นตัวอย่าง WC1-WC3 ภายหลังการทดสอบ

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบส่วนที่ 1 พบว่าค่าอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง สังเกตได้จากชิ้นตัวอย่างที่รองรับน้ำบรรทุกกระทำเพิ่มขึ้นเกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตรุนแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบระดับการหลุดล่อนของชิ้นตัวอย่างผนังแต่ละชิ้นภายหลังการให้ความร้อนเป็นเวลา 180 นาที ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกอัตราส่วนน้ำบรรทุก 0.1 ซึ่งไม่ส่งผลให้เกิดการวิบัติอย่างทันทีทันใดเป็นอัตราส่วนน้ำบรรทุกที่เหมาะสมในการศึกษาแนวทางการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟในการทดสอบส่วนต่อไป

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.5 สภาพของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ : (ก) WC1 (ข) WC2 (ค) WC3

4.2 ผลการทดสอบส่วนที่ 2(1)

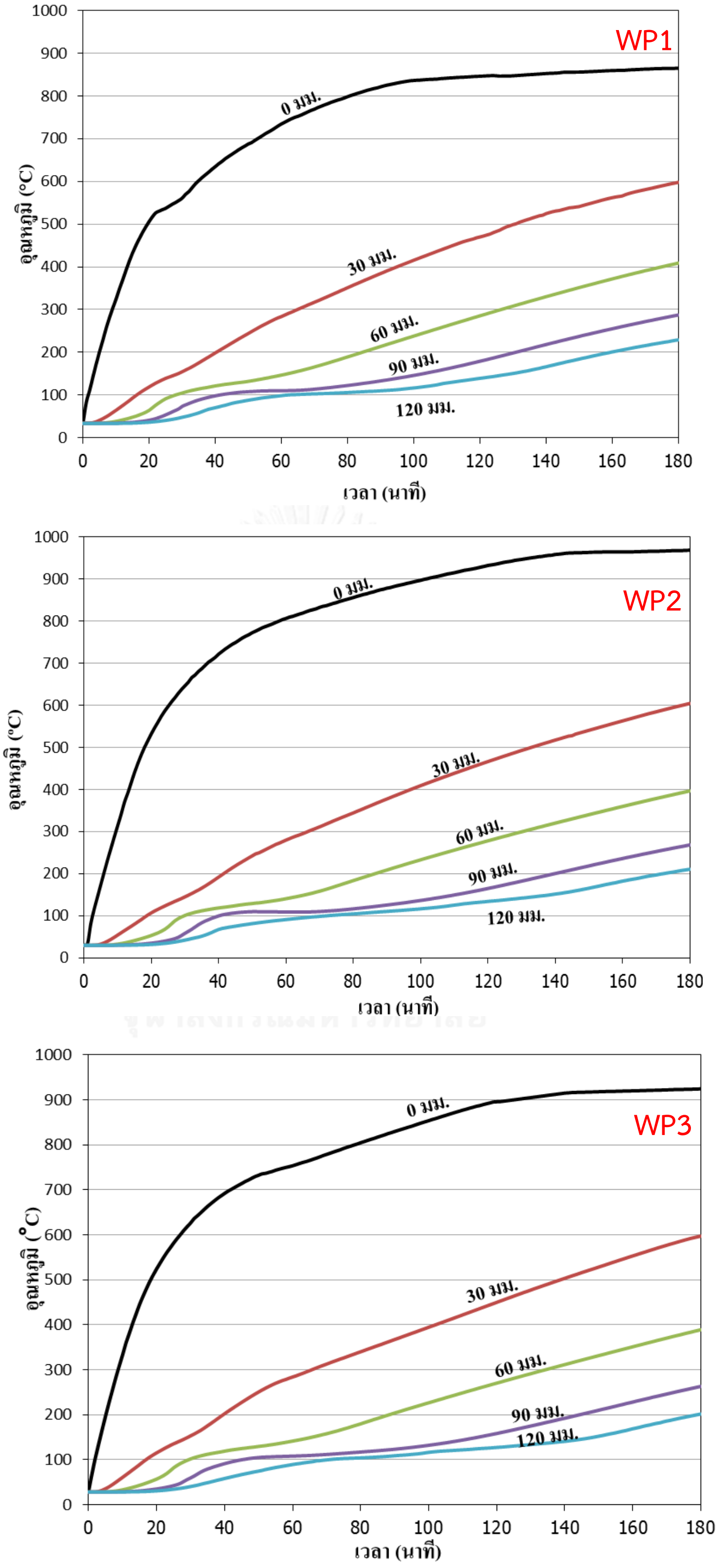
ผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างผนังในส่วนที่ 2(1) สรุปได้ดังตารางที่ 4.3 โดยที่การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนของชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นแสดงดังตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.6-4.9 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระยะลึก 0 30 60 และ 120 มิลลิเมตรจากผิวสัมผัสความร้อนของชิ้นตัวอย่าง รวมทั้งการกระจัดตามแนวแกนและการกระจัดในแนวราบของชิ้นตัวอย่าง

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดสอบส่วนที่ 2(1)

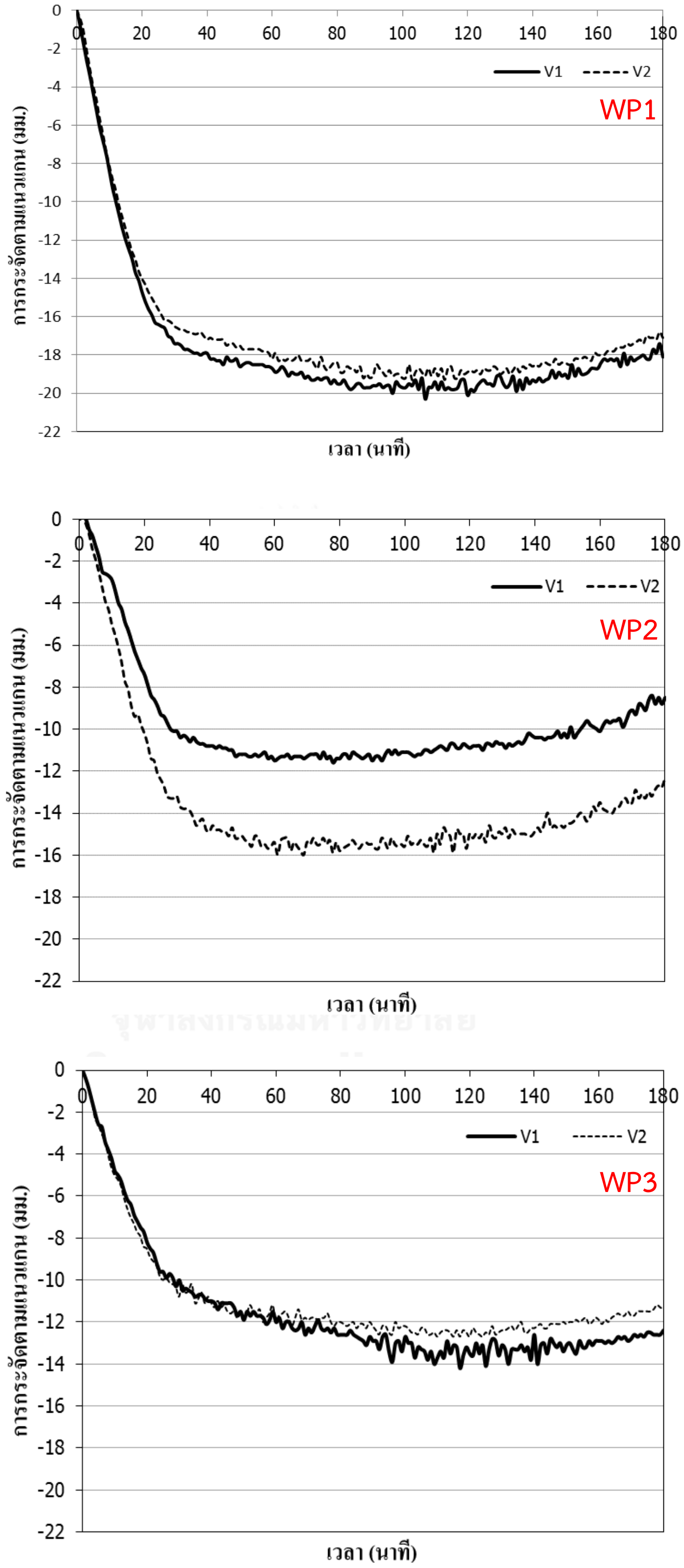
ชิ้นตัวอย่าง	ระยะเวลาได้รับความร้อน (นาที)	ระยะเวลาการวิบัติ (นาที)	ลักษณะการวิบัติ	การกระจัดตามแนวแกนสูงสุด (มม.)	การกระจัดในแนวราบสูงสุด (มม.)
WP1	180	143	การฉนวน	-20.5	-66.2
WP2	180	154	การฉนวน	-16.2	-46.7
WP3	180	160	การฉนวน	-14.6	-62.3

ตารางที่ 4.4 การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนในการทดสอบส่วนที่ 2(1)

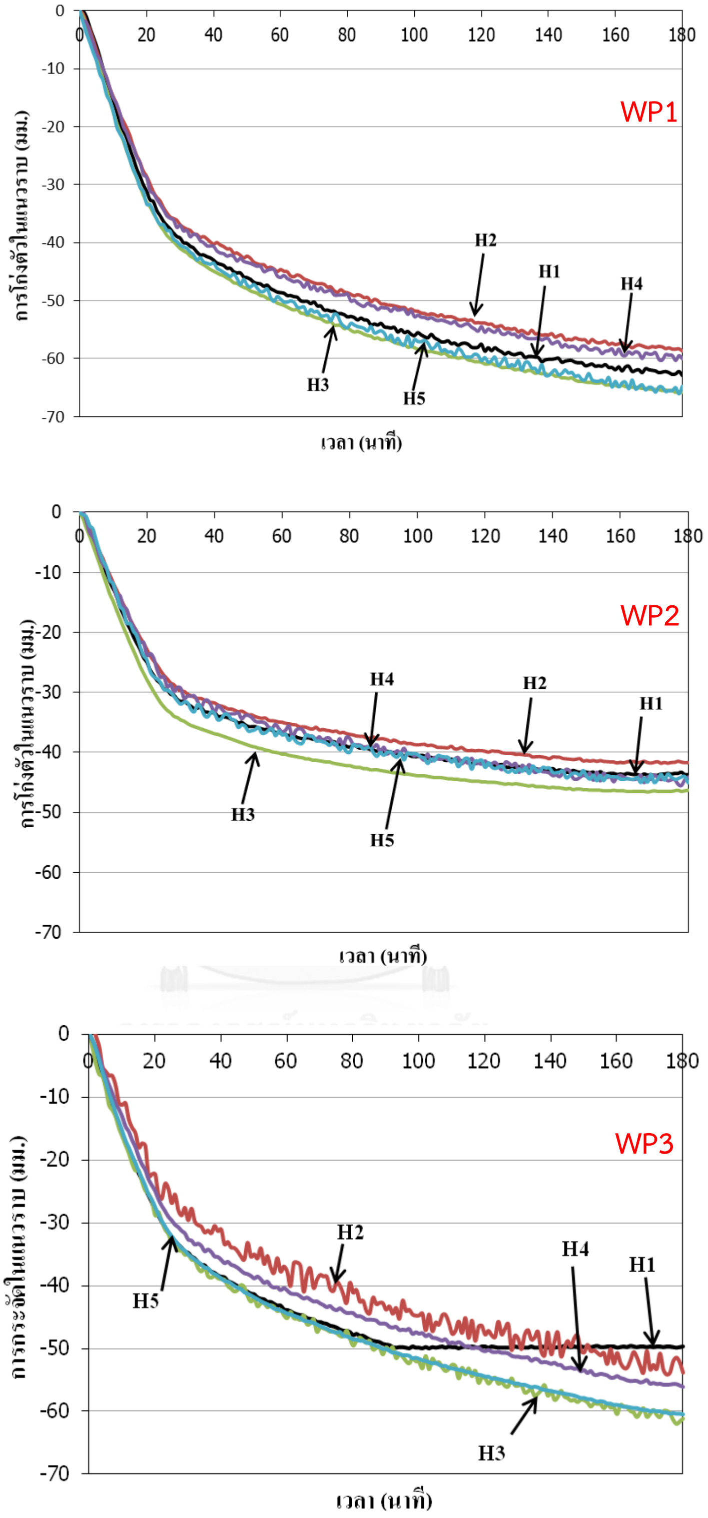
ชิ้นตัวอย่าง	พื้นที่การหลุดล่อน (%)	ความลึกสูงสุด (มม.)	ความลึกเฉลี่ย (มม.)
WP1	ไม่เกิดการหลุดล่อน	-	-
WP2	ไม่เกิดการหลุดล่อน	-	-
WP3	ไม่เกิดการหลุดล่อน	-	-



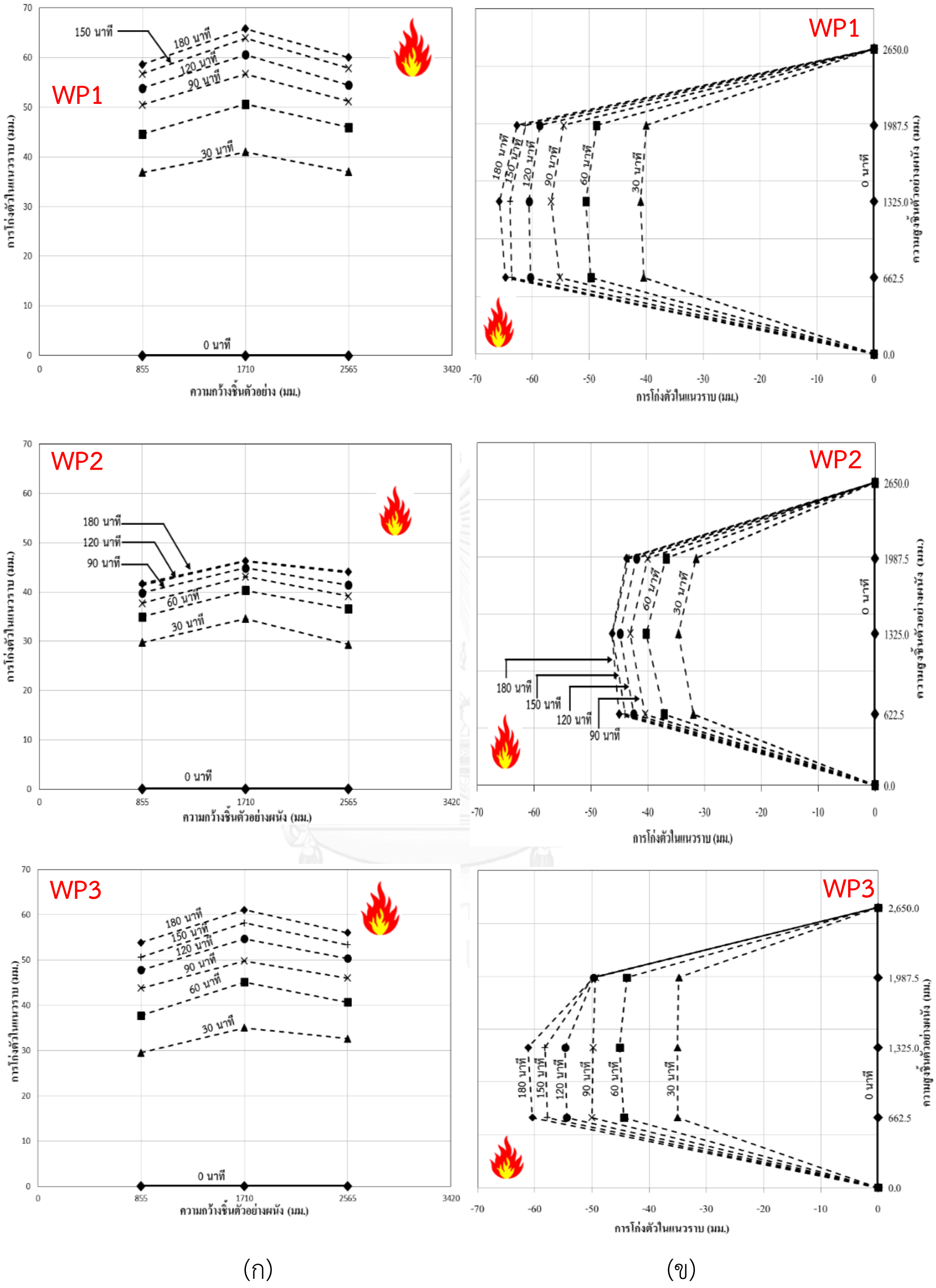
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WP1 – WP3



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดตามแนวแกนและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WP1 – WP3



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WP1 – WP3



รูปที่ 4.9 การกระจัดในแนวราบของผนัง WP1 – WP3 ในแต่ละทิศทาง : (ก) ความกว้าง (ข) ความสูง

จากผลการทดสอบส่วนที่ 2(1) พบว่า **ชิ้นตัวอย่าง WP1** ซึ่งทำการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตในปริมาณ ก และทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.1 มีการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัวเท่ากับ 20.5 มิลลิเมตร โดยที่ค่าการกระจัดในแนวราบสูงสุดในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อนเท่ากับ 66.2 มิลลิเมตร และมีอัตราการทนไฟ (การฉนวน) เท่ากับ 143 นาที สำหรับการหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อน พบว่าชิ้นตัวอย่าง WP1 ไม่เกิดการหลุดล่อนบนพื้นผิวที่สัมผัสความร้อน สำหรับ **ชิ้นตัวอย่าง WP2** ซึ่งเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในปริมาณ ข และทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.1 มีการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัวเท่ากับ 16.2 มิลลิเมตร โดยค่าการกระจัดในแนวราบสูงสุดในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อนมีค่าเท่ากับ 46.7 มิลลิเมตร และมีอัตราการทนไฟ (การฉนวน) เท่ากับ 154 นาที สำหรับการหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนพบว่าไม่เกิดการหลุดล่อนบนพื้นผิวที่สัมผัสความร้อนเช่นเดียวกัน **ชิ้นตัวอย่าง WP3** ซึ่งเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในปริมาณ ค ในส่วนผสมของคอนกรีต และทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.1 เช่นเดียวกับชิ้นตัวอย่าง WP1 และ WP2 มีการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัวเท่ากับ 14.6 มิลลิเมตรและการกระจัดในแนวราบสูงสุดในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อนเท่ากับ 62.3 มิลลิเมตร รวมทั้งไม่เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนเช่นเดียวกับสองตัวอย่างข้างต้น โดยที่ชิ้นตัวอย่าง WP3 มีอัตราการทนไฟ (การฉนวน) 160 นาทีซึ่งมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับชิ้นตัวอย่าง WP1 และ WP2 รูปที่ 4.10 แสดงสภาพของชิ้นตัวอย่าง WP1-WP3 ภายหลังการทดสอบ

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังกล่าวพบว่าการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตมีประสิทธิภาพในการลดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเส้นใยดังกล่าวหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 160-170 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดโพรงขนาดเล็กจำนวนมากภายในเนื้อคอนกรีตเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายซึ่งช่วยให้ไอน้ำที่มีความดันสูงภายในสามารถระบายออกได้อย่างทันท่วงที โดยไม่ดันเนื้อคอนกรีตให้หลุดล่อนหรือระเบิดออก ส่งผลให้สมรรถนะการทนไฟของชิ้นตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างในการทดสอบส่วนที่ 1 ทั้งนี้ ชิ้นตัวอย่าง WP1 WP2 และ WP3 ที่ทำการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตในปริมาณที่แตกต่างกันมีสมรรถนะการทนไฟที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่าการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตสามารถช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอสำหรับการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกที่ทำการศึกษา

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.10 สภาพของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ : (ก) WP1 (ข) WP2 (ค) WP3

4.3 ผลการทดสอบส่วนที่ 2(2)

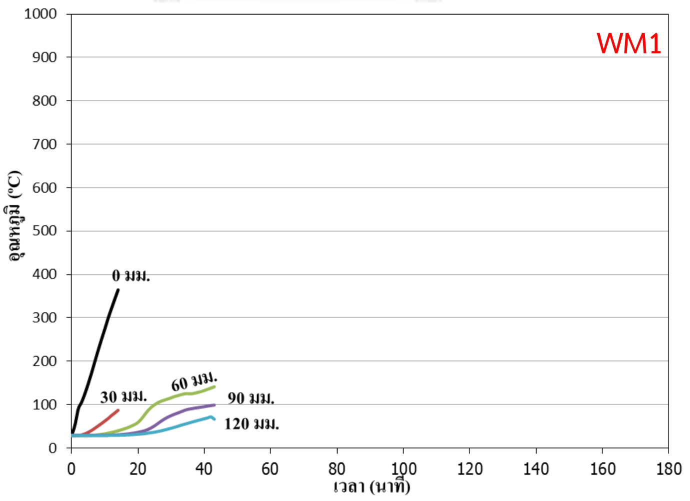
ผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างผนังในส่วนที่ 2(2) สรุปได้ดังตารางที่ 4.5 โดยที่การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนแสดงดังตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.11-4.14 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระยะลึก 0 30 60 และ 120 มิลลิเมตรจากผิวสัมผัสความร้อนของชิ้นตัวอย่าง รวมทั้งการกระจัดตามแนวแกนและการกระจัดในแนวราบของชิ้นตัวอย่าง

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการทดสอบส่วนที่ 2(2)

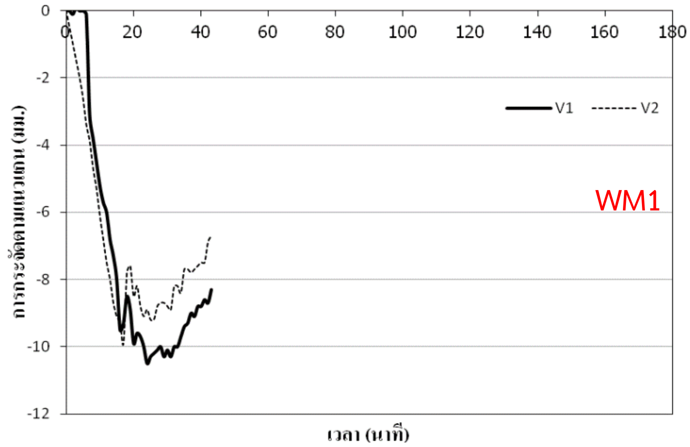
ชิ้นตัวอย่าง	ระยะเวลาได้รับความร้อน (นาที)	ระยะเวลาการวิบัติ (นาที)	ลักษณะการวิบัติ	การกระจัดตามแนวแกนสูงสุด(มม.)	การกระจัดในแนวราบสูงสุด (มม.)
WM1	180	43	บูรณภาพ	-10.7	-33.8

ตารางที่ 4.6 การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนในการทดสอบส่วนที่ 2(2)

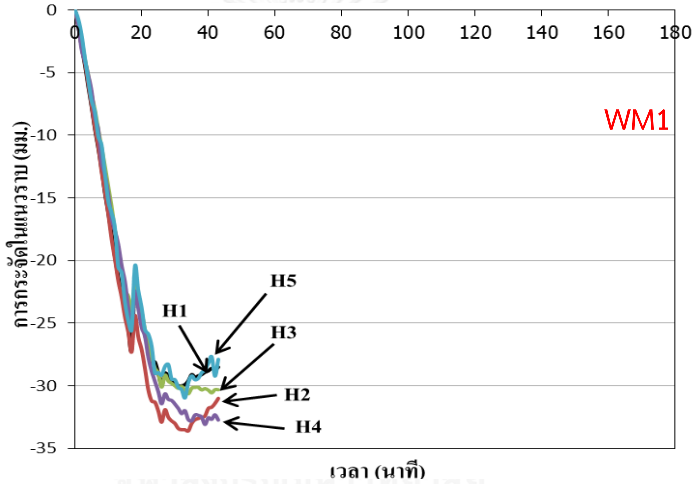
ชิ้นตัวอย่าง	พื้นที่การหลุดล่อน (%)	ความลึกสูงสุด (มม.)	ความลึกเฉลี่ย (มม.)
WM1	77	120	60



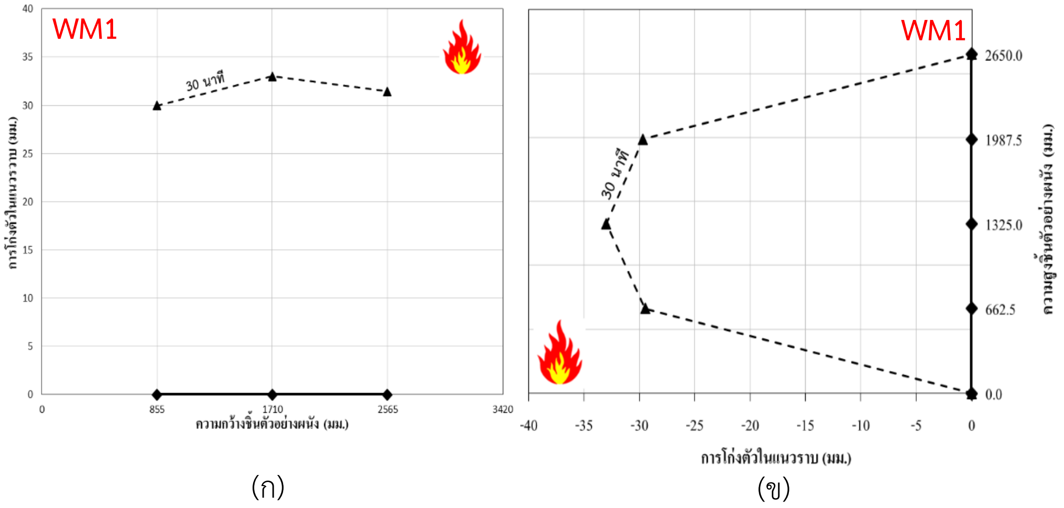
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM1



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดตามแนวแกนและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM1



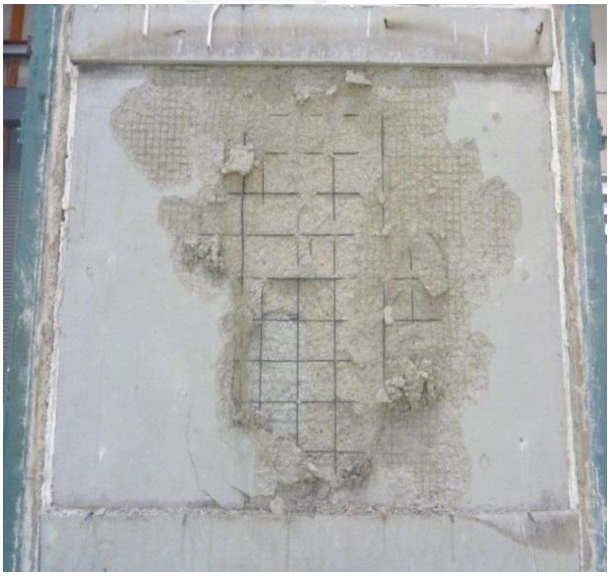
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM1



รูปที่ 4.14 การกระจัดในแนวราบของผนัง WM1 ในแต่ละทิศทาง : (ก) ความกว้าง (ข) ความสูง

จากผลการทดสอบส่วนที่ 2(2) พบว่า **ชิ้นตัวอย่าง WM1** ที่ทำการเสริมลวดตะแกรงเหล็กบริเวณระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวสัมผัสความร้อน และทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.1 มีการกระจัดในแนวราบสูงสุดในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อนเท่ากับ 33.8 มิลลิเมตร และการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัวเท่ากับ 10.7 มิลลิเมตร นอกจากนี้ ภายหลังการให้ความร้อนเป็นเวลา 180 นาที พบว่าชิ้นตัวอย่าง WM1 เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตค่อนข้างรุนแรงคิดเป็นร้อยละ 77 ของพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อน โดยมีความลึกของการหลุดล่อนสูงสุดเท่ากับ 120 มิลลิเมตร และความลึกเฉลี่ยเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ทั้งนี้ ชิ้นตัวอย่างวิบัติด้วยเกณฑ์บูรณภาพ โดยเกิดรอยแยกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 125 มิลลิเมตร ส่งผลให้ชิ้นตัวอย่างมีอัตราการทนไฟเพียง 43 นาที รูปที่ 4.15 แสดงสภาพของชิ้นตัวอย่าง WM1 ภายหลังการทดสอบ

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังกล่าวพบว่าการเสริมลวดตะแกรงเหล็กเพียงอย่างเดียวไม่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟ อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตอย่างรุนแรงที่ส่งผลให้สมรรถนะการทนไฟลดลงและเกิดการวิบัติอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.15 สภาพของชิ้นตัวอย่าง WM1 หลังการทดสอบ

4.4 ผลการทดสอบส่วนที่ 2(3)

ผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างผนังในส่วนที่ 2(3) สรุปได้ดังตารางที่ 4.7 โดยที่การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนของชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นแสดงดังตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.16 - 4.19 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระยะลึก 0 30 60 และ 120 มิลลิเมตรจากผิวสัมผัสความร้อนของชิ้นตัวอย่างรวมทั้งการกระจัดตามแนวแกนและการกระจัดในแนวราบของชิ้นตัวอย่าง

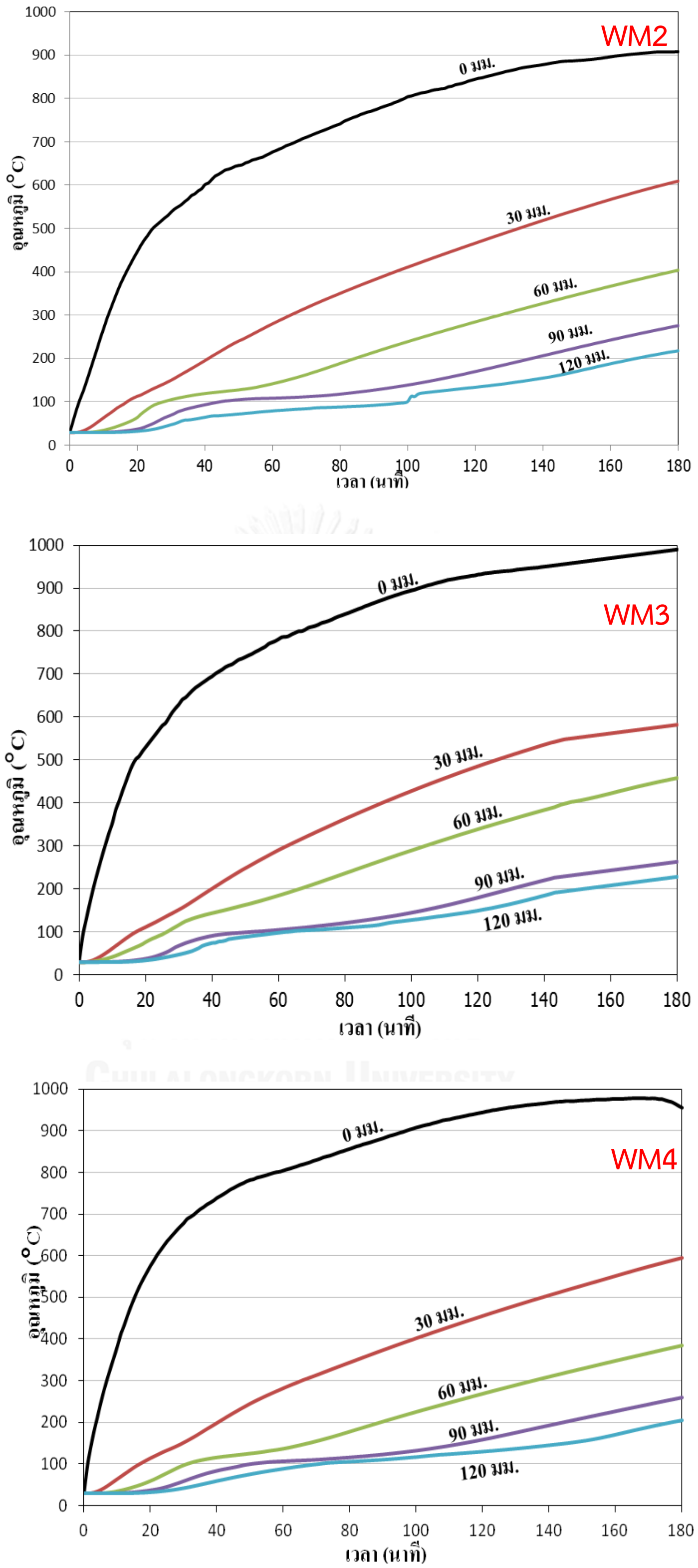
ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดสอบส่วนที่ 2(3)

ชิ้นตัวอย่าง	ระยะเวลาได้รับความร้อน (นาที)	ระยะเวลาการวิบัติ (นาที)	ลักษณะการวิบัติ	การกระจัดตามแนวแกนสูงสุด(มม.)	การกระจัดในแนวราบสูงสุด (มม.)
WM2	180	153	การฉนวน	-22.4	-66.1
WM3	180	132	การฉนวน	-21.6	-65.4
WM4	180	163	การฉนวน	-21.9	-69.3

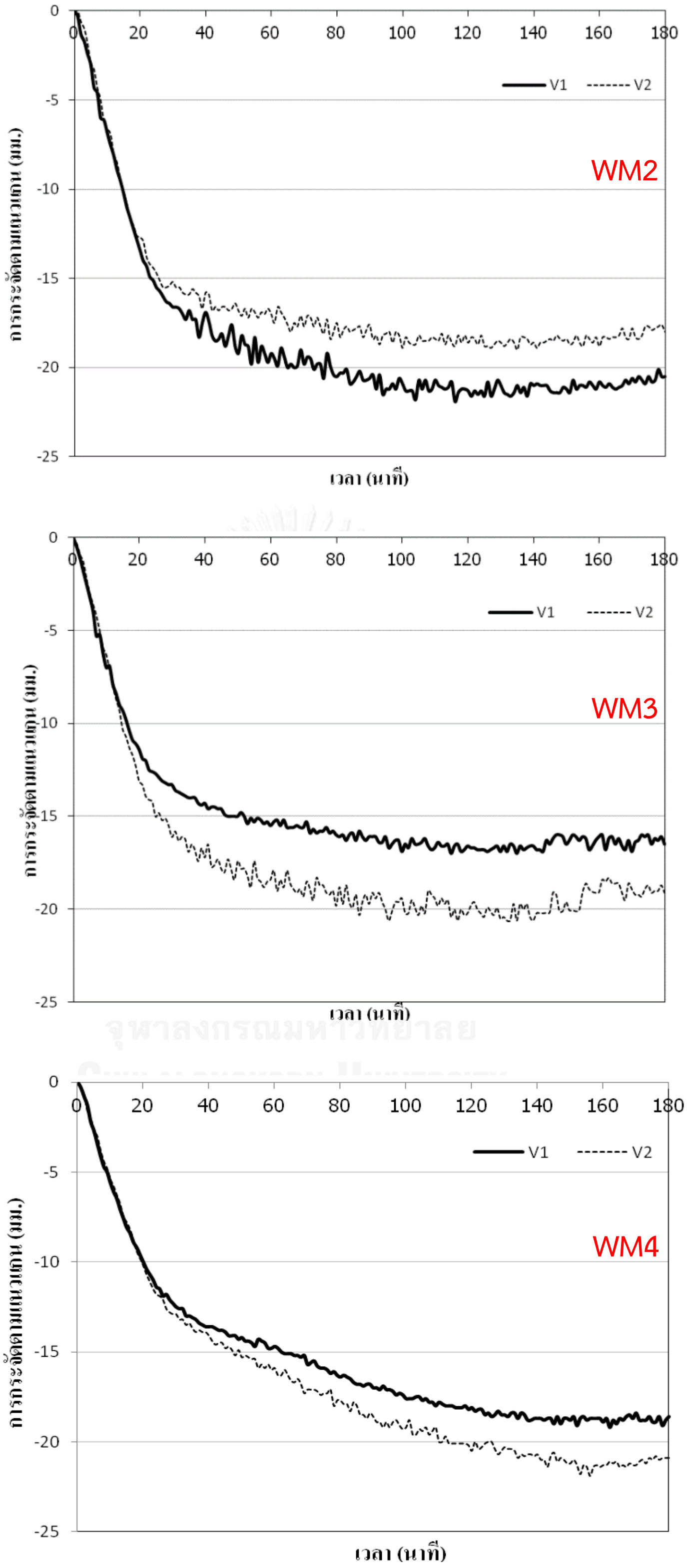
ตารางที่ 4.8 การหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวสัมผัสความร้อนในการทดสอบส่วนที่ 2(3)

ชิ้นตัวอย่าง	พื้นที่การหลุดล่อน (%)	ความลึกสูงสุด (มม.)	ความลึกเฉลี่ย (มม.)
WM2	2.3	5	2
WM3	0.4	5	2
WM4	21	5	2

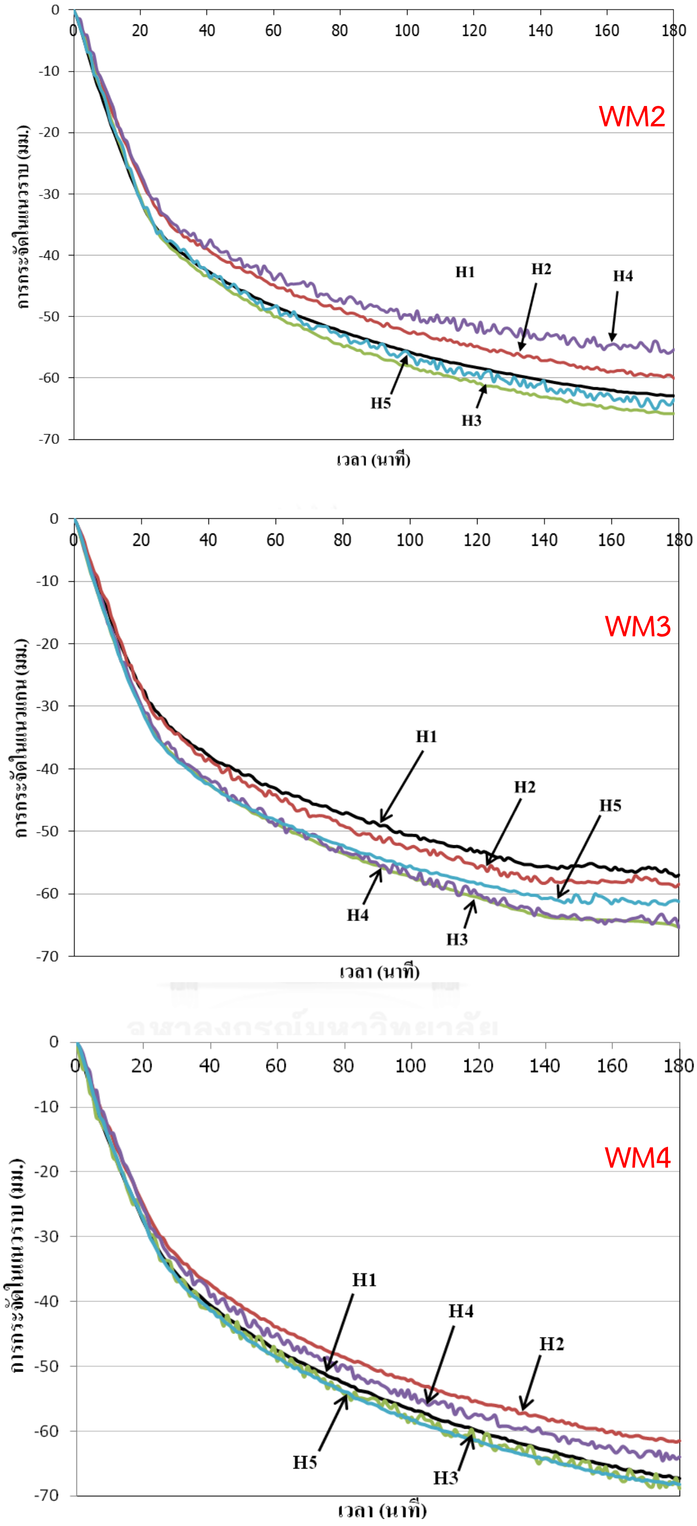
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



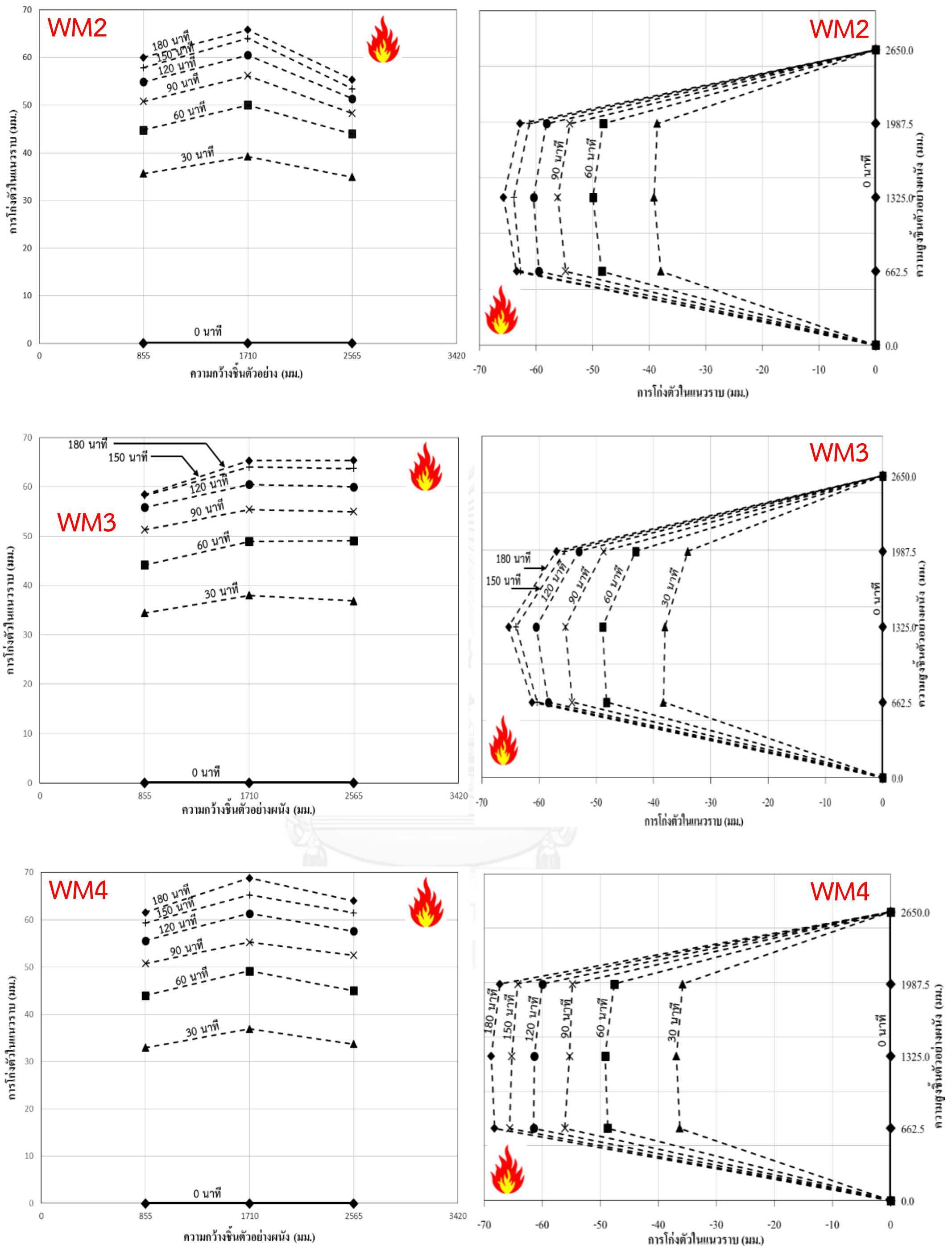
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM2 – WM4



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดตามแนวแกนและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM2 - WM4



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและเวลาของชิ้นตัวอย่าง WM2 - WM4



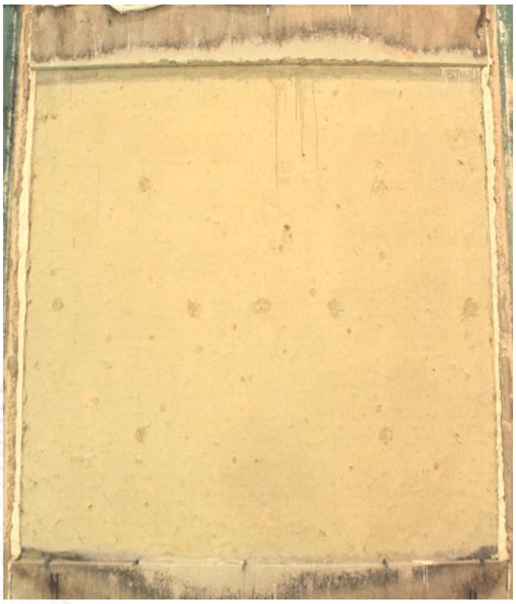
(ก) (ข)

รูปที่ 4.19 การกระจัดในแนวราบของผนัง WM2 – WM4 ในแต่ละทิศทาง : (ก) ความกว้าง (ข) ความสูง

จากผลการทดสอบส่วนที่ 2(3) พบว่า **ชิ้นตัวอย่าง WM2** ซึ่งเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตในปริมาณ ก ประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กบริเวณระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวสัมผัสความร้อน และทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.1 มีการกระจัดในแนวราบสูงสุดในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อนเท่ากับ 66.10 มิลลิเมตร และการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัวเท่ากับ 22.4 มิลลิเมตร มีอัตราการทนไฟ (การฉนวน) 153 นาที สำหรับการหลุดล่อนของคอนกรีตพบว่าชิ้นตัวอย่าง WM2 เกิดการหลุดล่อนบริเวณขอบของชิ้นตัวอย่างเพียงร้อยละ 2.3 ของพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อน โดยมีความลึกสูงสุดของการหลุดล่อน 5 มิลลิเมตร ความลึกเฉลี่ย 2 มิลลิเมตร **ชิ้นตัวอย่าง WM3** ซึ่งทำการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตในปริมาณ ข ประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กบริเวณระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวสัมผัสความร้อน และทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 0.1 มีการกระจัดในแนวราบสูงสุดในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อน 65.4 มิลลิเมตร และการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัว 21.6 มิลลิเมตร มีอัตราการทนไฟ (การฉนวน) 132 นาที สำหรับการหลุดล่อนของคอนกรีตพบว่าชิ้นตัวอย่าง WM3 เกิดการหลุดล่อนเพียงเล็กน้อยที่บริเวณขอบของชิ้นตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 0.4 ของพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อน โดยมีความลึกสูงสุดของการหลุดล่อน 5 มิลลิเมตร ความลึกเฉลี่ย 2 มิลลิเมตร **ชิ้นตัวอย่าง WM4** ซึ่งทำการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตในปริมาณ ค ประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กบริเวณระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวสัมผัสความร้อน และทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.1 มีการกระจัดในแนวราบสูงสุดในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาความร้อน 69.3 มิลลิเมตร และการกระจัดตามแนวแกนสูงสุดในรูปแบบการหดตัว 21.9 มิลลิเมตร มีอัตราการทนไฟ (การฉนวน) 163 นาที โดยที่ชิ้นตัวอย่าง WM4 ไม่เกิดการหลุดล่อนแบบระเบิดขณะทำการทดสอบแต่เกิดการหลุดล่อนหลังจากทำให้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 21 ของพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อน โดยมีความลึกสูงสุดของการหลุดล่อน 5 มิลลิเมตร ความลึกเฉลี่ย 2 มิลลิเมตร รูปที่ 4.20 แสดงสภาพของชิ้นตัวอย่าง WM2-WM4 ภายหลังการทดสอบ

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบส่วนที่ 2(3) พบว่าการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กไม่ช่วยเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างในการทดสอบส่วนที่ 2(1) ซึ่งทำการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตเพียงอย่างเดียว

(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 4.20 สภาพของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ : (ก) WM2 (ข) WM3 (ค) WM4

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้พิจารณาแนวทางการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำบรรทุกที่มีความหนา 120 มิลลิเมตรโดยการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กบริเวณระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวคอนกรีตด้านที่สัมผัสความร้อนโดยใช้ลวดตะแกรงเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ขนาดช่องตะแกรง 50.8x50.8 มิลลิเมตร การทดสอบอัตราการทนไฟของผนังดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 834 โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน การทดสอบส่วนแรกกำหนดให้ค่าอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกเป็นตัวแปรศึกษา ในขณะที่การทดสอบส่วนที่ 2 พิจารณาผลกระทบของเส้นใยพอลิโพรไพลีนและลวดตะแกรงเหล็กต่อสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จที่ทำการทดสอบภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกคงที่เป็นระยะเวลา 180 นาที

จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนน้ำบรรทุกมีผลต่อสมรรถภาพรองรับน้ำหนักบรรทุกของผนังภายใต้ภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.2 เกิดการวิบัติแบบทันทีทันใดที่เวลา 35 นาที ในขณะที่ชิ้นตัวอย่างผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 0.1 ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกใช้งานทั่วไปเกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณผิวด้านที่สัมผัสความร้อนในระดับค่อนข้างรุนแรงหลังจากได้รับความร้อนเป็นเวลา 180 นาที และสูญเสียการฉนวนของผนังที่เวลา 97 นาที นอกจากนี้ การเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตสามารถช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้อย่างมีนัยสำคัญและส่งผลให้สมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเสริมลวดตะแกรงเหล็กเพียงอย่างเดียวที่ระยะลึก 15 มิลลิเมตรจากผิวของผนังด้านที่สัมผัสความร้อนไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการลดการหลุดล่อนของคอนกรีตและยังส่งผลให้สมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จลดลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตประกอบกับการเสริมลวดตะแกรงเหล็กไม่ช่วยเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นตัวอย่างซึ่งทำการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนลงในส่วนผสมของคอนกรีตเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษานี้ สามารถสรุปได้ว่าการเติมเส้นใยพอลิโพรไพลีนในส่วนผสมของคอนกรีตสามารถช่วยลดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอสำหรับการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกที่ทำการศึกษา อย่างไรก็ตาม

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานผนังคอนกรีตหล่อสำเร็จรองรับน้ำหนักบรรทุกหลากหลายรูปแบบ จึงมีความจำเป็นในการศึกษาความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้เส้นใยพอลิโพรไพลีนในการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของผนังคอนกรีตดังกล่าวต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1.กระทรวงมหาดไทย. กฎกระทรวงฉบับที่ 48 ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522. 2540.

2.กระทรวงมหาดไทย. กฎกระทรวง ฉบับที่ 60 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. 2549.

3.Fire resistance tests-element of building constructions-Part 1: General requirements. International Organization for Standardization; 1999.

4.ธัญวัฒน์ โพธิศิริ. การออกแบบโครงสร้างเพื่อความปลอดภัยด้านอัคคีภัย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.

5.Gabriel A. Khouy., Yngve A., Joris F., Carmelo M. Fire design of concrete structures materials structures and modeling. 2007:1562-3610.

6.Cheon-Goo Han, Yin-Seong Hwang, Seong-Hwan Yang , Gowripalan N. Performance of spalling resistance of high performance concrete with polypropylene fiber contents and lateral confinement. Cement and Concrete Research. 2005;35:1747–53.

7.Pothisiri Thanyawat, Soklin Chou . Effects of mixing sequence of polypropylene fibers on spalling resistance of normal strength concrete. Engineering journal. 2013;18(3):55-63.

8.Cheon-Goo Han, Min-Cheol Han , Young-Sun Heo. Improvement of residual compressive strength and spalling resistance of high-strength RC columns subjected to fire. Construction and Building Materials. 2009;23:107–16.

9.Young-Sun Heo, Jay G. Sanjayan, Cheon-Goo Han, Min-Cheol Han. Construction application of Fibre/Mesh method for protecting concrete columns in fire. Construction and Building Materials. 2011;25:2928–38.

10.Tuan Ngo, Fragomeni Sam, Mendis Priyan, Bihn Ta. Testing of Normal- and High-Strength Concrete Walls Subjected to Both Standard and Hydrocarbon Fires. ACI Structural Journal. 2013:110-S40.

11.London: British Standards Institution. European Committee for Standardisation (CEN). Eurocode 2: Design of concrete structures, Part12: General Rules-Structural Fire Design2004.

12.Winterberg R., Dietze R. Efficient passive fire protection systems for high performance shotcrete. Proceeding of the second international conference on Engineering Developments in shortcrete. 2004.

13.American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete. C143/C143M2000.

14.American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. C39/C39M2001.

15.American Concrete Institute (ACI). Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI 318-112011.

16.American Society of Civil Engineers (ASCE). Minimum Design Loads for Building and Other Structures. ASCE 7-10 2010.

17.กระทรวงมหาดไทย. กฎกระทรวงฉบับที่ 6 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. 2527.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก

กำลังรับแรงอัดประลัยตามแนวแกนคำนวณตามมาตรฐาน ACI 318-11(15) :

$$\Phi Pn = \phi 0.80\ (0.85(Ag - As)f'c + fyAs)$$

เมื่อ

Φ คือ ตัวคูณลดกำลัง มีค่าเท่ากับ 0.70 สำหรับเสาปลอกเดี่ยว

Pn คือ กำลังระบุ (KN)

Ag คือ พื้นที่หน้าตัดของผนัง (มม^2)

As คือ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (มม^2)

$f'c$ คือ กำลังอัดระบุของคอนกรีต (MPa)

fy คือ กำลังครากระบุของเหล็กเสริม (MPa)

กำลังรับแรงอัดวิกฤต สำหรับเสา/ผนังรองรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนกรณีที่มีความชะลูด คำนวณตามมาตรฐาน ACI 318-11 (15) :

$$Pc = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{(KL)^2}$$

เมื่อ

Pc = กำลังแรงอัดคอนกรีต จากสูตรของ Euler (KN)

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย (มม^4)

E = ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)

K = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล

L = ความยาวของผนังโดยปราศจากการค้ำยัน (มม.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อัตราส่วนน้ำบรรทุก (Pu/Pc) สามารถคำนวณได้ดังนี้ :

น้ำหนักบรรทุกกระทำ (Pu)	P_D (kN)	P_L (kN)	fy (MPa)	f'c (MPa)	ø	Pu (kN)	Pc (kN)	Pu/Pc
$P_U = 1.2P_D+0.5P_L$	255	200	40	35	0.7	406	4390	0.1
$P_U = 1.7P_D+2.0P_L$	255	200	40	35	0.7	825	5049	0.2

การรวมน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบที่ 1 : $P_U = 1.2P_D+0.5P_L$ คำนวณตามมาตรฐาน ASCE7-10(16)

การรวมน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบที่ 2 : $P_U = 1.7P_D+2.0P_L$ คำนวณตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527) (17)

เมื่อ

P_U = น้ำหนักบรรทุกเพิ่มค่า/น้ำหนักบรรทุกกระทำ (KN)

P_D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ (KN)

P_L = น้ำหนักบรรทุกจร (KN)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชุติมณฑน์ เสกธีระ เกิดวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนประถมสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และสำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ในปีการศึกษา พ.ศ. 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา พ.ศ. 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University