



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การศึกษาอัตราการต้านทานไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

เคลือบด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ในระยะยาว

โดย นายสุรินทร์ สุทธิประภา

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

14 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุคนธ์สุขกุล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชชาติ สิทธิพันธุ์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิทธิ์ อดมวรรัตน์)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุรณัฏฐ์ นัทรวิระ)

การศึกษาอัตราการต้านทานไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ
เคลื่อนด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ในระยะยาว

นายสุรินทร์ สุทธิประภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายสุรินทร์ สุทธิประภา

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาอัตราการต้านทานไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเคลือบด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ในระยะยาว

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุกนรสุขกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จัชชาติ สิทธิพันธุ์

ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่สำคัญอันได้แก่ ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว และอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณซึ่งมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมที่อายุ 1 ปี ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุป้องกันไฟชนิดต่างๆมาใช้กับโครงสร้างเหล็กเพื่อป้องกันความร้อนจากไฟถ่ายเข้าสู่ผิวเหล็ก วัสดุป้องกันไฟประเภทซีเมนต์เชิซสนั้น เป็นวัสดุป้องกันไฟที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากให้อัตราการต้านทานไฟได้ดี อย่างไรก็ตามก็คิ้ออัตราการต้านทานไฟดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่มจะได้มาจากผลการทดสอบชิ้นตัวอย่างที่มีอายุประมาณ 1 เดือน แต่ในสภาพความเป็นจริงโครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะมีอายุการใช้งานหลายปี ดังนั้นจึงต้องแน่ใจได้ว่าคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของวัสดุป้องกันไฟประเภทซีเมนต์เชิซสในระยะยาวนั้นจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาถึงคุณสมบัติในระยะยาวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีแร่เพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม เมื่อทำการติดตั้งบนผิวของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเป็นระยะเวลา 1 ปี ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติด้านความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงยึดเหนี่ยวและอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีแร่เพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟประเภทเดียวกันที่ติดตั้งเป็นระยะเวลา 1 เดือน ผลการศึกษาพบว่า วัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่มีอายุ 1 ปี มีอัตราการต้านทานไฟลดต่ำกว่าวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่มีอายุ 30 วัน

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 159 หน้า)

คำสำคัญ : การต้านทานไฟ, เพอร์ไลท์, วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

25

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

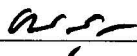
Name : Mr.Surin Sutthiprabha
Thesis Title : A Study Long term Fire Resistance of Structural Steel Member Coated with Perlite
Containing Material
Major Field : Civil Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Assistant Professor Dr.Piti Sukontasukkul
Assistant Professor Dr.Chadchart Sittipunt
Academic Year : 2006

Abstract

This thesis studies the properties, including density, compressive strength, bond strength and fire resistance, of cementitious coating material containing perlite at the age of 1 year. The cementitious coating material has been widely used as fire protection material for steel structures because it provides good fire resistance. The fire resistance of the material is usually based on tests results of specimens at the age of approximately 1 month while structures can last for many years. As a result, it is important that the long-term properties of the fire protection material shall not significantly deteriorate with time. The objective of this study is to investigate the long-term properties of the cementitious coating material containing perlite. The specimens were tested at the age of 1 year in accordance with ASTM standards. The properties studied include density, compressive strength, bond strength and fire resistance of the material. The test results of one-year old specimens were compared with the test results of one-month old specimens. The test results indicate that there is a significant reduction in the fire resistance of the specimens tested at the age of 1 year when compared with the fire resistance of similar specimens tested at the age of 30 days.

(Total 159 pages)

Keywords : Fire-resistance, Perlite, Coating material Fireproof



Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จบรรลุเป้าหมายได้ ก็ด้วยการแนะนำช่วยเหลือจากหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติ สุคนธ์สุขกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำในการทำวิจัย พร้อมทั้งให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายวัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนการเข้าไปใช้ศูนย์วิจัยเพื่อป้องกันไฟแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งได้ให้คำปรึกษาแนะนำแก่ผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสนท์ อุดมวรรัตน์ และรองศาสตราจารย์ ดร.บุรฉัตร ฉัตรวีระ กรรมการสอบในนามของผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ตรวจทานให้ข้อเสนอแนะงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและสำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ คำปลิว ผู้ที่ให้ความรักเมตตาแก่ผู้วิจัยเสมือนญาติสนิทตลอดมา ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตอุเทนถวาย หน่วยงานต้นสังกัดที่ได้ให้การสนับสนุนค่าหน่วยกิตในการศึกษาต่อในครั้งนี้และจะนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาการเรียนการสอนของหน่วยงานต่อไป ขอขอบคุณ คุณสรวิทย์ ญาณภักดิ์ คุณวสินธร ธรรมถาวร นื่องพร นื่องเดีย เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยเพื่อป้องกันไฟทุกๆ คนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทดสอบตัวอย่างวิจัยจนสำเร็จด้วยดี ขอขอบคุณ หลานตึก เจ๊เบบ วุฒิ ที่ช่วยเหลืองานพิมพ์ตลอดมา ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาวและน้องชายของภรรยาทุกๆ คนที่เป็นภาระเลี้ยงดูทุกๆ ทั้ง 2 คนของผู้วิจัย อันเป็นกำลังใจที่สำคัญอย่างยิ่งในระหว่างการทำวิจัย ขอขอบคุณ พี่ชาย พี่สาว พร้อมทั้งญาติๆ ทุกคนที่ได้ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ คุณวนิดา สุทธิประภา ภรรยาของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจ และคอยดูแลเรื่องอาหารสุขภาพของผู้วิจัยตลอดมา และกำลังใจจากเพื่อนๆ น้องๆ ที่เรียนปริญญาโทด้วยกัน รวมทั้งเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบและงานวิจัยนี้.

สุรินทร์ สุทธิประภา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.3 วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ	12
2.4 มาตรฐานที่ใช้สำหรับการทดสอบ	20
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	25
3.1 ความนำ	25
3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง	25
3.3 การทดสอบการทนไฟ	31
3.4 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยว	33
3.5 การทดสอบแรงอัดของวัสดุผสมเพอร์ไลต์	33
บทที่ 4 ผลการวิจัย	35
4.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบอัตราการทนไฟของวัสดุป้องกันไฟ ผสมเพอร์ไลต์ที่ระยะเวลา 1 ปี	35
4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิว ป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี	46
4.3 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุป้องกันไฟ ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก ก	
ตารางข้อมูลอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบ	63
ภาคผนวก ข	
ตารางเปรียบเทียบอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 ปี กับระยะเวลา 1 เดือน	105
ภาคผนวก ค	
แสดงลักษณะรอยร้าวก่อนและหลังการทดสอบของขึ้นตัวอย่าง	133
ประวัติผู้วิจัย	159

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แสดงขนาด Hp/A ตัวอย่างทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัว C ใช้ในงานวิจัย	2
1-2	แสดงขนาด Hp/A ตัวอย่างทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัว H ใช้ในงานวิจัย	3
1-3	แสดงขนาด Hp/A ตัวอย่างทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณทอกลม ใช้ในงานวิจัย	3
2-1	แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแร่หินเพอร์ไลต์	13
2-2	ส่วนประกอบทางเคมีของแร่หินเพอร์ไลต์	13
2-3	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแร่เพอร์ไลต์	14
2-4	แสดงส่วนประกอบทางเคมีแร่เพอร์ไลต์ในประเทศไทยเทียบกับของต่างประเทศ	14
2-5	แสดงสัดส่วนของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่เพอร์ไลต์ในประเทศไทย	15
2-6	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแร่เพอร์ไลต์	15
2-7	เปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตปกติเทียบกับคอนกรีตผสมแร่เพอร์ไลต์	16
2-8	แสดงสารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	17
2-9	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับของอุณหภูมิไฟกับเวลาตาม ASTM E119	21
2-10	แสดงมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติของเพอร์ไลต์	23
2-11	แสดงมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ	24
3-1	แสดงตัวอย่าง เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัวซี (C) ที่ใช้ในการทดสอบ	26
3-2	แสดงตัวอย่างเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัวเอช (H) ที่ใช้ในการทดสอบ	26
3-3	แสดงตัวอย่างเหล็กโครงสร้างรูปพรรณชนิดทอกลมที่ใช้ในการทดสอบ	26
3-4	แสดงสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของแร่เพอร์ไลต์ที่ใช้ในการทดสอบ	29
3-5	แสดงน้ำหนักที่ใช้จริงของส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของแร่เพอร์ไลต์	29

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-1	อัตราการทนไฟของตัวอย่างทดสอบวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ ที่ระยะเวลา 1 ปี	36
4-2	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิว เหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี กับระยะเวลา 1 เดือน	44
4-3	แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ ที่ระยะเวลา 1 ปี	45
4-4	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักปริมาณน้ำวัสดุป้องกันไฟ ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	45
4-5	เปรียบเทียบอัตราการทนไฟวัสดุป้องกันไฟเคลือบผิวเหล็กที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	56
ก-1	แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1501	64
ก-2	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1501	67
ก-3	แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1502, C1503	69
ก-4	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1502	72
ก-5	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1503	75
ก-6	แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C2001	78
ก-7	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C2001	81
ก-8	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1501, H2001	84
ก-9	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1501	87
ก-10	แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1502, H2002	90
ก-11	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1502	93
ก-12	แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1503	96
ก-13	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1503	98
ก-14	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H2001	101
ก-15	แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H2002	104
ก-16	แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ O-40 mm, O-100 mm, O-150 mm	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-17 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด O-40 x 2.9 mm	109
ก-18 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด O-100 x 3.6 mm	111
ก-19 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด O-150 x 4.5 mm	113
ข-1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 1 : C1501 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 cm	116
ข-2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 2 : C1502 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 4 cm	118
ข-3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 3 : C1503 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 5 cm	121
ข-4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 4 : C2001 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 5 cm	124
ข-5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 5 : H1501 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 cm	128
ข-6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 6 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 4 cm	131
ข-7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 7 : H1503 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 5 cm	134
ข-8 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 8 : H2001 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 4 cm	138
ข-9 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 9 : H2002 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 5 cm	142
ข-10 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 10 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 cm	146
ข-11 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 11 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 cm	148
ข-12 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 12 เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 cm	150

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 กราฟแสดงหน่วยแรงครากของเหล็กได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ	11
2-2 กราฟแสดงค่าโมดูลัสของเหล็กลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	12
2-3 แสดงรูปถ่ายของแร่เพอร์ไลต์ที่ถ่ายผ่านกล้องจุลทรรศน์	12
2-4 แสดงขั้นตอนการผลิตแร่เพอร์ไลต์	16
2-5 กราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119	21
2-6 ระดับและจุดที่ทำให้การวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	23
3-1 แสดงตำแหน่งรูเจาะและการยึดเหล็กสตั๊ดหรือเหล็กยึดเข้ากับชิ้นตัวอย่างทดสอบ	27
3-2 แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ในชิ้นตัวอย่างที่ผิวเหล็กรูปพรรณ	28
3-3 แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิลงบนผิวเหล็กรูปพรรณเพื่อเตรียมสำหรับนำไปพ่นเคลือบด้วยวัสดุผสมเพอร์ไลต์	28
3-4 แสดงตำแหน่งการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟบนเหล็กรูปพรรณ	30
3-5 แสดงการพ่นเคลือบผิวเหล็กและตำแหน่งการวัดความหนาของวัสดุเคลือบป้องกันไฟ	30
3-6 แสดงเตาเผาและการติดตั้งชิ้นตัวอย่างในเตาเผา	32
3-7 แสดงขนาดของเตาเผาชินตัวอย่างทดสอบ	32
4-1 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1501 วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm.	37
4-2 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1502 วัสดุป้องกันไฟหนา 4 cm	37
4-3 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1503 วัสดุป้องกันไฟหนา 5 cm	38
4-4 แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ	38
4-5 แสดงการทดสอบชิ้นตัวอย่างและหลังการทดสอบ	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-6	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C2001 วัสดุป้องกันไฟหนา 5 cm	39
4-7	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H1501 วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm	40
4-8	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H1502 วัสดุป้องกันไฟหนา 4 cm	40
4-9	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H1503 วัสดุป้องกันไฟหนา 5 cm	41
4-10	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H2001 วัสดุป้องกันไฟหนา 4 cm	41
4-11	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H2002 วัสดุป้องกันไฟหนา 5 cm	42
4-12	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กท่อกลม O-40 mm วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm	42
4-13	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กท่อกลม O-100 mm วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm	43
4-14	แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กท่อกลม O-150 mm วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm	43
4-15	แสดงวิธีการทดสอบกำลังต้านแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ	44
4-16	เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C1501, C1502, C1503, C2001	46
4-17	เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H1501, H1502, H1503, H2001	46
4-18	เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กท่อกลมกลวง	47
4-19	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1501, H1501, O-40 mm, O-100 mm, O-150 mm	47
4-20	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1502, H1502, H2001	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-21 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1503, C2001, H1503, H2002	48
4-22 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C1501 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	49
4-23 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C1502 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	50
4-24 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C1503 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	50
4-25 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C2001 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	51
4-26 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H1501 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	51
4-27 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H1502 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	52
4-28 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H1503 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	52
4-29 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H2001 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	53
4-30 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H2002 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	53
4-31 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง O-40 mm ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	54
4-32 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง O-100 mm ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	54
4-33 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง O-150 mm ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน	55
5-1 กราฟแสดงการหดตัวของคอนกรีตเมื่อเทียบกับระยะเวลา	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ค-1 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง C1501	154
ค-2 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 1	154
ค-3 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 1	154
ค-4 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 2	155
ค-5 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 2	155
ค-6 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 3	155
ค-7 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 3	155
ค-8 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง C1502	156
ค-9 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 1	156
ค-10 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 1	156
ค-11 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 2	157
ค-12 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 2	157
ค-13 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 3	157
ค-14 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 3	157
ค-15 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง C1503	158
ค-16 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 1	158
ค-17 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 1	158
ค-18 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 2	159
ค-19 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 2	159
ค-20 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 3	159
ค-21 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่	159
ค-22 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง C2001	160

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-23 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 1	160
ก-24 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 1	160
ก-25 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 2	161
ก-26 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 2	161
ก-27 แสดงรอยร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 3	161
ก-28 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 3	161
ก-29 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง H1501	162
ก-30 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 1	162
ก-31 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 1	162
ก-32 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 2	163
ก-33 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 2	163
ก-34 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 3	163
ก-35 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 3	163
ก-36 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง H1502	164
ก-37 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 1	164
ก-38 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 1	164
ก-39 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 2	165
ก-40 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 2	165
ก-41 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 3	165
ก-42 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 3	165
ก-43 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง H1503	166
ก-44 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 1	166
ก-45 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 1	166

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-46 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 2	167
ก-47 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 2	167
ก-48 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 3	167
ก-49 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 3	167
ก-50 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง H2001	168
ก-51 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 1	168
ก-52 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 1	168
ก-53 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 2	169
ก-54 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 2	169
ก-55 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 3	169
ก-56 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 3	169
ก-57 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟ ของชิ้นตัวอย่าง H2002	170
ก-58 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 1	170
ก-59 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 1	170
ก-60 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 2	171
ก-61 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 2	171
ก-62 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 3	171
ก-63 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 3	171
ก-64 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของท่อกลม ขนาด O-40 mm	172
ก-65 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 1	172
ก-66 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 1	172

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-67 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 2	173
ก-68 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 2	173
ก-69 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 3	173
ก-70 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 3	173
ก-71 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของท่อกลม ขนาด O-100 mm	174
ก-72 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 1	174
ก-73 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 1	174
ก-74 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 2	175
ก-75 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 2	175
ก-76 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 3	175
ก-77 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 3	175
ก-78 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของท่อกลม ขนาด O-150 mm	176
ก-79 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 1	176

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ค-80	แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 1	176
ค-81	แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 2	177
ค-82	แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 2	177
ค-83	แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 3	177
ค-84	แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 3	177

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาชิ้นส่วนเหล็กโครงสร้างรูปพรรณมาใช้เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในโครงสร้างอาคารและสิ่งก่อสร้างทั่วไป เนื่องจากชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กจะมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดและแรงดึงได้สูง มีน้ำหนักเบากว่าวัสดุอื่น ๆ ที่นำมาใช้ และยังติดตั้งได้สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆขององค์อาคารและสิ่งก่อสร้างทั่วไปจะทำการพิจารณาออกแบบที่สถานะปกติ แต่ในโครงสร้างจริงที่ได้ออกแบบไว้อาจจะต้องเผชิญกับสถานะที่แตกต่างออกไปและมีความเป็นอันตรายต่อโครงสร้างนั้นๆ ดังเช่น ในกรณีที่มีการเกิดเพลิงไหม้ซึ่งเป็นสถานะที่พบเจออยู่เป็นประจำ และยังก่อให้เกิดความเสียหายทั้งต่อทรัพย์สินและบางที่อาจรุนแรงจนเป็นผลให้เกิดการสูญเสียชีวิตของผู้คนเป็นจำนวนมากจนกระทั่งหน่วยงานทางราชการต้องมีการออกกฎหมายเพิ่มเติมในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารต้านทานอัคคีภัยในกฎกระทรวง ฉบับที่ 48 พ.ศ. 2540 เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารและสิ่งก่อสร้างให้มีความปลอดภัย และลดการสูญเสียที่เกิดจากอัคคีภัย

ด้วยเหตุข้างต้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำเอาวัสดุที่มีความสามารถในการป้องกันไฟ และทนต่อความร้อนที่สูงมาใช้ในการก่อสร้างมากขึ้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้ยังต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศอยู่เนื่องจากในประเทศไทยยังมีการศึกษาการผลิต และพัฒนาวัสดุทนไฟเหล่านี้อยู่น้อยมาก จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงขึ้นมากจากการก่อสร้างด้วยวัสดุทั่วไป งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาและพัฒนาวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่ผลิตได้ในประเทศไทย โดยใช้วัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณประเภทที่มีซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุผสมและมีเฟอร์ไรต์เป็นส่วนผสม โดยผลิตภัณฑ์นี้เป็นผลผลิตที่ได้จากความร่วมมือกันในการศึกษาระหว่าง “จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กับบริษัท ไทยเพอร์โลด เทคโนโลยี จำกัด”

วัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟชนิดนี้ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้านต่างๆ รวมถึงด้านการต้านทานไฟมาแล้ว ซึ่งในการศึกษานั้นได้ทำการศึกษาเพียงในระยะเวลาการติดตั้งบนผิวเหล็กโครงสร้างช่วงสั้น ๆ หรือประมาณ 1 เดือนหลังจากติดตั้งแล้วซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่วัสดุชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพ

แต่ในความเป็นจริงวัสดุเคลือบผิวชนิดนี้จำเป็นต้องถูกติดตั้งในโครงสร้างอาคารเป็นเวลานานปี จึงควรที่จะได้มีการศึกษาคุณสมบัติการต้านทานไฟของวัสดุชนิดนี้หลังจากได้ติดตั้งกับโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเป็นระยะเวลาที่ยาวขึ้นเพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการต้านทานไฟในสภาพความเป็นจริงหลังจากได้ติดตั้งวัสดุเคลือบผิวชนิดนี้ไว้บนโครงสร้างเหล็กแล้ว ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้จะทำการศึกษาคูณสมบัติด้านการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟชนิดนี้ที่ถูกติดตั้งบนโครงอาคารเหล็กเป็นระยะเวลา 1 ปี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาคูณสมบัติด้านการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

1.2.1 เพื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติการต้านทานไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเคลือบผิวด้วยเพอร์ไลต์เป็นระยะเวลา 1 ปี

1.2.2 เพื่อทำการเปรียบเทียบพร้อมทั้งหาข้อสรุปความแตกต่างของของผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเคลือบผิวด้วยเพอร์ไลต์ในระยะเวลาการติดตั้ง 1 ปี กับงานวิจัยเดิมที่ระยะเวลาการติดตั้ง 1 เดือน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคูณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวประเภทเพอร์ไลต์

1.3.2 ระยะเวลาในการเคลือบผิว คือ 1 ปี เปรียบเทียบกับระยะเวลาเคลือบผิวที่เวลา 1 เดือน

1.3.3 ใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณในการทดสอบตามตารางที่ 1-1 , 1-2 , 1-3

ตารางที่ 1-1 แสดงขนาด H_p/A ตัวอย่างทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัว C ใช้ในงานวิจัย

ขนาดที่ระบุ (mm)	น้ำหนัก (kg/m)	H (mm)	B (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	A (cm ²)	H_p (cm)	H_p/A (m ⁻¹)
C-150x18.6	18.6	150	75	6.5	10	23.71	58.7	248
C-150x18.6	18.6	150	75	6.5	10	23.71	58.7	248
C-150x18.6	18.6	150	75	6.5	10	23.71	58.7	248
C-200x24.6	24.6	200	80	7.5	11	31.33	70.5	225

ตารางที่ 1-2 แสดงขนาด H_p/A ตัวอย่างทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัว H ใช้ในงานวิจัย

ขนาดที่ระบุ (mm)	น้ำหนัก (kg/m)	H (mm)	B (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	A (cm ²)	H_p (cm)	H_p/A (m ⁻¹)
H-150x31.5	31.5	150	150	7	10	40.14	89	221
H-150x31.5	31.5	150	150	7	10	40.14	89	221
H-150x31.5	31.5	150	150	7	10	40.14	89	221
H-200x49.9	49.9	200	200	8	12	63.53	118	186
H-200x49.9	49.9	200	200	8	12	63.53	118	186

ตารางที่ 1-3 แสดงขนาด H_p/A ตัวอย่างทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณทอกลมใช้ในงานวิจัย

ขนาดที่ระบุ (mm)	เส้นผ่าศูนย์กลาง ภายใน , (mm)	ความหนา (mm)	น้ำหนัก (kg/m)	A (cm ²)	H_p (cm)	H_p/A (m ⁻¹)
O-40x2.9 mm	40	2.9	3.25	4.14	15.17	367
O-100x3.6 mm	100	3.6	9.83	12.52	35.91	287
O-150x4.5 mm	150	4.5	17.82	22.70	51.87	228

1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

ในการทำวิจัยโครงการนี้ผู้ทำการวิจัยคาดว่าจะได้รับประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และยังสามารถนำเอาผลจากการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างจริงเพื่อความปลอดภัยทั้งของทรัพย์สินและร่างกายของผู้คนที่เข้ามาใช้ประโยชน์จากสิ่งปลูกสร้างหรืออาคารนั้นๆ ดังต่อไปนี้

1.4.1 เข้าใจถึงคุณสมบัติด้านการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมติดตั้งบนชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในระยะเวลาการติดตั้งที่ต่างกัน

1.4.2 สามารถทราบถึงอัตราส่วนการลดลงของอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมติดตั้งไว้บนชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเพื่อป้องกันไฟในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นได้

1.4.3 สามารถเข้าใจถึงลักษณะโดยทั่วไป และคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ ที่ระยะเวลาการบ่มตัวที่นานขึ้นซึ่งไม่น้อยกว่า 1 ปี

1.4.4 สามารถทำนายอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวชนิดนี้ที่ติดตั้งบนชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในระยะยาวได้

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับอฉกฉกในอาคารที่ท่ทำกันในประเทศมีมาตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 19 โดยในระยะเริ่มแรกเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารที่ภาวะอุณหภูมิสูง อันได้แก่ เหล็กและคอนกรีตเป็นหลัก ต่อมาจึงได้มีการขยายผลการวิจัยต่อมาเป็นการวิจัยศึกษาถึงพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้สภาพไฟไหม้ โดยวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟชนิดที่ฉกฉกที่มีแร่เส้นใยผสมอยู่ได้ถูกนำมาใช้เป็นฉนวนกันไฟและความร้อนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 แต่ยังไม่ได้มีการพัฒนาการใช้เป็นวัสดุฉนวนกันไฟจนกระทั่งในช่วงปี ค.ศ.1950 จึงได้มีการนำเอามาใช้ในโครงสร้างสำหรับอาคารสูง โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

ในปี ค.ศ.1966 Dr.-Ing. K. Kordina [1] ได้ทำการทดสอบการทนไฟของคานเหล็ก (Steel-Girder) ขนาดใหญ่ 14 ตัว ซึ่งเป็นเหล็กที่มีกำลังรับแรง 3700 ksc มีความยาว 4.75 m ซึ่งคานแต่ละตัวจะใช้วัสดุเคลือบผิวคนละชนิดกัน, ขนาดและมีการเชื่อมต่อกันแตกต่างกัน เมื่อทำการทดสอบแล้วจะได้ผลคือ

1. อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของคานเหล็กจะขึ้นอยู่กับการขยายมวลของหน้าตัดเหล็กที่เพิ่มขึ้น
2. คานที่มีวัสดุเคลือบผิวและมีการเชื่อมต่อกันจะมีค่าวิกฤติที่ต่ำกว่าในคานทั่วไปที่ไม่มีการเชื่อมต่อ ในกรณีที่มีความหนาในการเคลือบที่เท่ากันแล้วการเพิ่มขึ้นของมวลเหล็กที่มีการเชื่อมต่อเป็นผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง
3. อัตราการถ่ายเทความร้อนและระยะเวลาในการต้านทานไฟ จะขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดของคานเหล็ก
4. ในการทดสอบโดยปราศจากวัสดุป้องกันจะให้เห็นได้ว่าสำหรับคานเหล็กที่มีขนาดใหญ่อาจไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ และในกรณีคานขนาดเล็กอาจไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟถ้าคานเหล็กนั้นมีค่าหน่วยแรงลดลงสอดคล้องกัน

ในปี ค.ศ.1967 Harild W.Brewer [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยนำหนักกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity) ของคอนกรีตที่ระดับความชื้นต่าง ๆ เขาได้สรุปผลการศึกษาของเขาว่า แม้ว่าคอนกรีตที่ทำจากวัสดุผสมชนิดเดียวกันและมีหน่วยนำหนัก

เท่ากันก็อาจให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่างกัน ทั้งนี้เพราะผลของความชื้นมีความสำคัญมากกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอาจคำนวณได้จากสูตรที่เขาได้นำเสนอไว้หาการทราบค่าปริมาณความชื้น หน่วยน้ำหนัก และขนาดของคอนกรีต

ในปี ค.ศ.1972 R.H. Smith [3] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทนทานต่อไฟของคอนกรีตโดยใช้ยิปซัมเป็นวัสดุมวลรวม โดยจากการทดสอบและศึกษาจะได้ผลคือเป็นที่ยอมรับในการใช้ยิปซัมเป็นวัสดุมวลรวมในการต้านทานไฟในคอนกรีตซึ่งจากการทดสอบนี้จะได้ว่า “ยิปซัมเป็นมวลรวมที่ใช้เพิ่มความสามารถในการต้านทานไฟเมื่อเปรียบเทียบกับหินปูนและปูนซีเมนต์ชนิดที่ 5 จะไม่นำมาใช้ในการผสมเนื่องจากมีอันตรายจากซัลเฟต”

ในปี ค.ศ.1974 T.T. Lie และ T.Z. Harmathy [4] ได้ทำการหาสมการที่ใช้ในการทำนายความคงทนของวัสดุที่ใช้ป้องกันไฟสำหรับโครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ โดยมีมาตรฐานการวิบัติที่อุณหภูมิของแกนเสาเหล็กรูปพรรณมีค่าถึง 1000°F (538°C) ซึ่งผลจากการวิจัยจะได้สมการที่ใช้ทำนายมาจากการแก้สมการ 168 สมการและการทำนายผลของการป้องกันเสาเหล็กจะใช้ได้ทั้งกรณีชนิดที่เป็นกล่องครอบเสาเหล็กและเป็นวัสดุเคลือบผิวเสาเหล็ก

ในปี ค.ศ.1975 Tranim Uddin และ Charles G. Culver [5] ได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กที่สภาวะอุณหภูมิสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้างในขณะเกิดไฟไหม้ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ยังมีการกล่าวถึงความไม่น่าเชื่อถือของกราฟไฟมาตรฐาน ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบเกี่ยวกับการทนไฟของโครงสร้าง ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีกราฟที่มีสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองสภาพไฟไหม้ที่ไม่เหมาะสม

ในปี ค.ศ.1976 William A.Rains [6] ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติและลักษณะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟในสมัยปัจจุบัน โดยได้กล่าวถึงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุเคลือบป้องกันไฟได้แก่การนำความร้อนต่ำมีลักษณะเป็นโฟมซึ่งอาจขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงมีการก่อตัวกับน้ำเป็นผลมีความสามารถในการต้านทานการสีกกร่อนจะเกิดควันเมื่อได้รับความร้อนมีการระเหยการแผ่รังสีและสะท้อนและเกิดปฏิกิริยาดูดซับความร้อนทางเคมีและกายภาพ โดยในอดีตจะใช้คอนกรีตเป็นวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟแต่มีปัญหาในเรื่องค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและน้ำหนักที่มาก (2402.7 kg/m^3)

ต่อมาจึงใช้วัสดุประเภทเส้นใยมาผสมเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าวโดยเรื่องแรกจะใช้วัสดุประเภทเส้นใยเอสเบสตอส (Asbestos) แต่ต่อมาพบว่าเป็นสารที่มีอันตรายต่อมนุษย์จึงได้เลิกใช้และใช้วัสดุเส้นใยชนิดอื่นแทนซึ่งวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีวัสดุเส้นใยผสมอยู่เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงราคาถูกแต่มีข้อเสียคือ ขาดความแข็งแรง มีความอ่อนนุ่มและหลุดลอกจากโครงสร้างเหล็กได้ง่าย ซึ่งวัสดุเคลือบผิวประเภทนี้จะมีน้ำหนักหนาแน่นประมาณ $240\text{-}400\text{ kg/m}^3$ โดยวัสดุเส้นใย

แร่ที่ได้นำมาใช้คือ ยิปซัม เวอร์มิคูลไลท์ และเพอร์ไลท์ และในสมัยต่อมาได้ใช้วัสดุประเภท Intumescence ซึ่งแยกเป็นประเภทต่างๆ ได้ คือ วัสดุอินทรีย์ที่มีความหนาแน่นปานกลาง วัสดุอินทรีย์ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าวัสดุอินทรีย์

ในปี ค.ศ.1981 J.C.Payne B.Sc. และ W.R.Grace (Hong Kong) Ltd. [7] ได้ทำการบรรยายผลการศึกษากับ "Fire Protection For Steel Structures By Direct Sprayed Material" โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับการใช้วัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟชนิดฉีดย่น พร้อมทั้งมาตรฐานในการทดสอบรวมถึงเกณฑ์ในการตัดสินใจการวิบัติของโครงสร้างเหล็ก ซึ่งมีเนื้อหาโดยย่อดังนี้ ในการทดสอบการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟจะยึดตามมาตรฐาน British Standard Specification BS476 หรือ The American Society for Testing and Material ASTM E119 โดยมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดจุดวิกฤติไว้คือ สำหรับเสาจะต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 1000 °F (538 °C) และอุณหภูมิที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เกิน 1200 °F (649 °C) และในกรณีของคาน ถ้าเป็นคานที่ยึดครั้งที่ปลายจะต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยของ 4 จุด ไม่เกิน 1000 °F (538 °C) และแต่ละจุดต้องไม่เกิน 1300 °F ซึ่งต้องมีการใส่ Load ระหว่างการทดสอบด้วย ส่วนในกรณีที่ไม่มีที่ยึดครั้งที่ปลายจะทำการวัดค่าอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวได้ และยังคงกล่าวถึงลักษณะที่สำคัญของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟคือ ไม่ติดไฟและไม่เกิดสารพิษเมื่อถูกไฟ มีพฤติกรรมเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM E119 หรือ BS 476 มีความสม่ำเสมอและคงตัวในการป้องกันสามารถที่จะควบคุมคุณภาพได้ และมีแรงยึดเหนี่ยวตัวและความทนทานระหว่างการก่อสร้างได้

ในปี ค.ศ.1983 Gratzol. O. K. และ Diliberto. M. C. [8] ได้ทำการทดสอบการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน ASTM E119 กับมาตรฐาน ASTM E5 โดยใช้ตัวอย่าง 5 ชนิดที่แตกต่างกัน เมื่อทำการทดสอบแล้วจะได้ผลดังนี้คือ พื้นที่ใต้กราฟไฟระหว่างมาตรฐาน ASTM E119 และ ASTM E5 Hydrocarbon Standard จะเป็นบริเวณที่เกิดการวิบัติ การที่จะให้อุณหภูมิของกราฟไฟ Hydrocarbon ขึ้นอย่างรวดเร็วก็ต้องใช้ช่วงเวลาที่สั้นลง, ไม่มีความแตกต่างในด้านผลที่ได้จากการทดสอบของกราฟไฟ Hydrocarbon เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM E119 อัตราการทนไฟที่ 3 ชั่วโมงของมาตรฐาน ASTM E119 จะให้ค่าเท่ากับคอนกรีตหนัก PIP หน้า 50 cm (2 in) ที่ได้รับความร้อนจากกราฟไฟ Hydrocarbon การเทียบเท่าของค่าการทนทานและการขาดความสามารถในการวัดได้ของอุณหภูมิที่ขึ้นสูงได้ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลที่จะต้องใช้กราฟไฟของ Hydrocarbon ยกเว้นในกรณีที่มีการทดสอบการพ่น และในปัจจุบันจะใช้การทดสอบ ASTM E119 ในเวลา 3 ชั่วโมงเป็นข้อกำหนด

ในปี ค.ศ.1994 Dietmar Hosser, Thomas Dorm และ Osama El-Nesr [9] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของคานประกอบที่ทำจากเหล็กรูปตัวไอ และคอนกรีตจำนวน 4 ตัว ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ภายในหน้าตัดและการโก่งตัวที่จุดต่าง ๆ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการ

คำนวณไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธี Finite Element ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดเป็นอย่างดี นอกจากนี้พวกเขายังศึกษาถึงผลของความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นพื้นเนื่องจากไฟไหม้ โดยพวกเขาสรุปว่าปริมาณเหล็กเสริมในแผ่นพื้นมีผลอย่างมากต่อความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นพื้นภายใต้สภาพไฟไหม้

ในปี พ.ศ. 2545 ผศ.ดร.ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ และนายอรรถวุฒิ อุบลจินดา [10] ได้ทำการศึกษาผลของรูปร่างและขนาดขององค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันไฟในรูปของค่าองค์ประกอบหน้าตัดที่มีต่อค่าความสามารถทนไฟของโครงสร้างเหล็กโดยทำการทดสอบการทนไฟตัวอย่างทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีรูปร่างหน้าตัดต่างกันสามแบบคือเหล็กโวลด์แฟลนจ์(WF) เหล็กฉาก ท่อเหล็กกลมกลวงที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดต่างกัน โดยเคลือบด้วยวัสดุป้องกันไฟประเภทซีเมนต์เชิซที่มีแร่เพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมที่มีความหนาต่างกัน และประเภททาสีกันไฟ

ในปี พ.ศ. 2545 ผศ.ดร.ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ และนายสรวุฒิ ญาณภักดิ์ [11] ได้ทำการศึกษาและหาสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟขึ้นมา โดยทำการศึกษา คุณสมบัติด้านการต้านทานไฟ รวมถึงทำการทดสอบอัตราการต้านทานไฟสำหรับโครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่ต่างขนาดกันดังนี้คือ ค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณอันได้แก่ 221 m^2 , 202 m^2 , 167 m^2 และทำการทดสอบหาอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวโดยทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิวที่ติดตั้งบนผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณระยะเวลา 1 เดือน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การถ่ายเทความร้อน

ในการกระจายความร้อนจากไฟสู่ชิ้นส่วนของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะเกิดขึ้นจากกระบวนการดังต่อไปนี้คือ การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีจากผิวสัมผัสเข้าสู่เนื้อเหล็กซึ่งกระบวนการดังที่กล่าวมาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้คือ พื้นที่หน้าตัด พื้นที่ผิวสัมผัส และพื้นที่การถ่ายเทความร้อนพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนที่ควรรู้คือ ความร้อนจะถ่ายเทจากที่อุณหภูมิไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 บริเวณซึ่งการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โครงสร้างเหล็กจะสามารถทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนซึ่งมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ต่ำมาเคลือบผิวของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

2.2.2 การนำความร้อน (Conduction) เป็นการไหลของปริมาณความร้อนในวัสดุเนื้อเดียวจะถูกวิเคราะห์ในลักษณะของการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำซึ่งในวัสดุแต่ละชนิดปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านในเนื้อวัสดุจะถูกกำหนดด้วยปัจจัยดังนี้

2.2.2.1 การนำความร้อนของวัสดุ

2.2.2.2 พื้นที่หน้าตัดของตัวนำความร้อนซึ่งเปรียบได้เหมือนกับเส้นทางในการไหลของปริมาณความร้อน

2.2.2.3 ความลาดชันของอุณหภูมิของการไหลของความร้อน

ในสภาวะการไหลของปริมาณความร้อนแบบสม่ำเสมอ (Steady State) จะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่เนื้อวัสดุกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมามีปริมาณเท่ากัน ซึ่งแต่ละจุดที่พิจารณาจะต้องมีความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากันและที่เวลาใดๆ ก็จะมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากันอีกด้วยแต่ปัญหาเกี่ยวกับความร้อนที่พบส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาที่อยู่ในสภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady State)

สมการการนำความร้อน คือ
$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial L} \quad (2-1)$$

หรือ
$$q = kA \left(\frac{T_1 - T_2}{x} \right) \quad (2-2)$$

เมื่อ q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน (Btu/(hr.ft²))

k คือ ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านในหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลา (Btu/(hr)(ft²)(°F/A))

A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับการไหลของปริมาณความร้อน

dt/dL คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะทาง (°F/ft)

$T_1 - T_2$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิ (°F)

x คือ ความหนาของวัสดุ (ft)

2.2.3 การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนตัวของของเหลวหรือก๊าซจากผิวของวัตถุที่ร้อนหรือเย็นการพาความร้อนนี้อาจเกิดโดยธรรมชาติซึ่งเป็นผลจากความหนาแน่นที่แตกต่างอันเป็นเหตุให้มีอุณหภูมิที่ต่างกันหรืออาจโดนกระตุ้นซึ่งจะทำให้ของไหลเคลื่อนตัวด้วยพลังงานกลสิ่งที่ใช้กระตุ้นได้แก่ ปัมป์หรือพัดลม เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เคลือบอยู่บริเวณผิวสัมผัสและทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นความร้อนเมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่แผ่นฟิล์มนี้จะแยกตัวเป็น 2 ชั้น ชั้นแรกเกิดจากอนุภาคที่ไม่มีการเคลื่อนตัวจะยึดแน่นกับผิววัตถุและการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นกับสัดส่วนของขนาด และลักษณะของผิววัตถุ ตัวแปรที่มีผลต่อการพาความร้อนคือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะและการนำความร้อนของของไหล ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ด้านของแผ่นฟิล์ม และความหนาของแผ่นฟิล์มซึ่งจะขึ้นอยู่กับ

ความเร็วและความหนาแน่นของของไหล การนำความร้อนของแผ่นฟิล์มคือการไหลของความร้อนบนผิววัตถุที่ติดกับของไหลจะหาได้จากสมการในการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนดังที่แสดงในสมการ (2-3)

$$\text{สมการการพาความร้อนคือ} \quad q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2-3)$$

เมื่อ T_∞ คือ อุณหภูมิทางด้านต้นสายของการไหลของของไหล
 T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ
 h คือ สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน (Btu/hr-ft²)

2.2.4 การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีผลจากการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีนี้จะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ยกกำลังสี่ดังในกฎของสเตฟาน-โบลทซ์มานน์ (Stefan-Boltzmann Law)

$$\text{สมการการแผ่รังสี คือ} \quad q = \sigma AT^4 \quad (2-4)$$

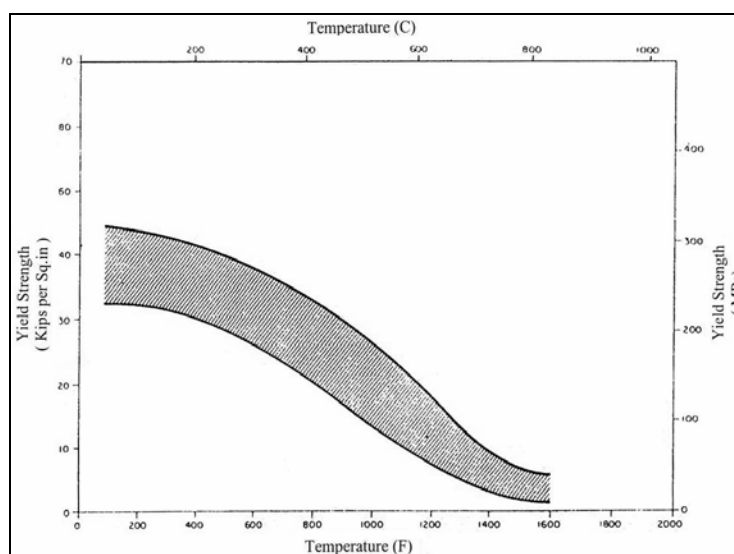
ซึ่งในสมการ (2-4) จะใช้ได้กับตัวแผ่รังสีออกเชิงอุดมคติ (Ideal Emitter) หรือวัตถุดำแต่ในทางปฏิบัติแล้ววัตถุทุกชนิดจะมีการแผ่รังสีน้อยกว่าค่าดังกล่าวซึ่งแสดงไว้ในสมการ (2-5)

$$\text{สมการการแผ่รังสี คือ} \quad q = \varepsilon \sigma AT^4 \quad (2-5)$$

เมื่อ T คือ ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์
 σ คือ ค่าคงที่ไม่ขึ้นกับชนิดของผิววัสดุและอุณหภูมิและจะมีค่าเท่ากับ 0.174×10^{-8} Btu /hr-ft²R⁴

ε คือ ความสามารถในการแผ่รังสีออกของผิวมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

2.2.5 คุณสมบัติของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ ณ อุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อถูกไฟไหม้โครงสร้างเหล็กมีลักษณะที่ไม่ติดไฟและไม่เป็นเชื้อเพลิง และโครงสร้างเหล็กจะสูญเสียกำลังเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงซึ่งส่วนมากมาจากไฟซึ่งอุณหภูมิวิกฤตจะประมาณ 1100 °F เมื่ออุณหภูมิของเหล็กถึงระดับนี้จะทำให้หน่วยแรงครากของเหล็กลดลงเหลือประมาณ 60% ของหน่วยแรงคราก ณ อุณหภูมิห้องซึ่งในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E119 จะถือว่าโครงสร้างเหล็กจะเกิดการวิบัติเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของโครงสร้างเหล็กแต่ละระดับมีค่าถึง 1000 °F หรือมีค่าอุณหภูมิสูงสุดที่จุดใดจุดหนึ่งถึงระดับอุณหภูมิ 1200 °F ดังแสดงในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 กราฟแสดงหน่วยแรงครากของเหล็กได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

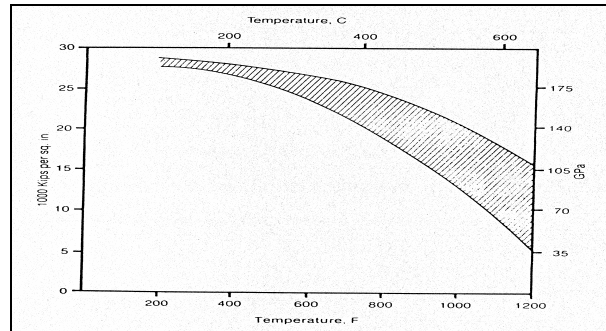
คุณสมบัติของเหล็กรีดร้อน(Hot Rolled Steel) ที่ได้รับอุณหภูมิสูงได้มีผู้ทำการศึกษาล่วงแล้วได้แยกระดับของอุณหภูมิที่มีผลต่อเหล็กไว้ได้ดังนี้

2.2.5.1 ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 600°C เมื่อชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กได้รับความร้อนจากไฟในระดับอุณหภูมิที่ 600°C ในช่วงเวลาที่ไม่นานมากนัก ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กนั้นจะยังคงมีกำลังภายหลังการได้รับความร้อนจากไฟไม่เปลี่ยนแปลง

2.2.5.2 ที่อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 600°C กับ 727°C ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิวิกฤตจะเกิดปฏิกิริยา Spheroidization ซึ่งทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กอ่อนตัวลงและมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น Spheroidization จะเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างเหล็กจะมีส่วนประกอบของคาร์บอนซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำซึ่งโครงสร้างเหล็กจะไม่อ่อนตัวลงที่อุณหภูมิต่ำในลักษณะของสายใยรอบๆขอบของ Austenite เนื่องด้วยสินแร่ Cementite ซึ่งกระจายอยู่ใน Austenite ระหว่างการเย็นตัว ซึ่งนี่เป็นจุดสำคัญซึ่งทำให้โครงสร้างเหล็กอ่อนตัวลงเมื่อถูกความร้อนภายใต้อุณหภูมิวิกฤต ในระหว่างกระบวนการนี้สินแร่ Cementitious ในเหล็กจะเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุภาคเล็กๆ ทำให้โครงสร้างเหล็กอ่อนตัวและมีความเหนียวมากขึ้น

2.2.5.3 ที่อุณหภูมิสูงกว่า 727°C เมื่อถึงอุณหภูมิระดับนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคของโครงสร้างเหล็กไปเป็นอนุภาคที่มีลักษณะหยาบขึ้น เมื่อปล่อยให้โครงสร้างเหล็กเย็นตัวลงจะทำให้เหล็กมีกำลังที่ลดลงอย่างมาก ในกรณีของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น Weigler และ Fischer ได้ศึกษาพบว่าเหล็กจะมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงอย่างช้าๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงระดับอุณหภูมิประมาณ 400°C และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกินกว่า 400°C โมดูลัสยืดหยุ่นของโครงสร้างเหล็กจะลด

อย่างรวดเร็วดังเช่นเหล็กgrupพรรณ ASTM A-36 มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นประมาณ $2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ โดยที่อุณหภูมิประมาณ 400°C ค่าจะลดลงเหลือเพียงประมาณ 70% และจะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งคือ $1.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ที่ 550°C ดังภาพที่ 2-2

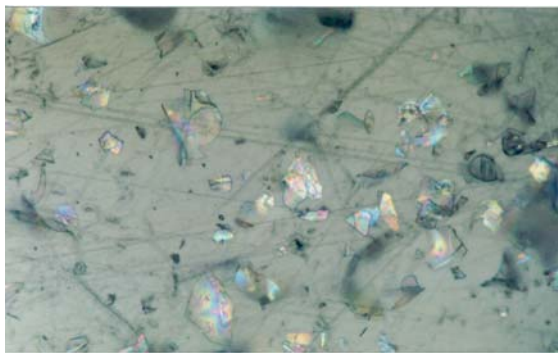


ภาพที่ 2-2 กราฟแสดงค่าโมดูลัสของเหล็กลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

2.3 วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการวิจัยจะใช้วัสดุเคลือบผิวชิ้นส่วนของโครงสร้างเหล็กgrupพรรณป้องกันไฟที่มีแร่เพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมกับวัสดุอื่นซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.3.1 แร่เพอร์ไลต์



(ก) เพอร์ไลต์แห้ง



(ข) เพอร์ไลต์ที่อิมตัวด้วยน้ำ

ภาพที่ 2-3 แสดงรูปถ่ายของแร่เพอร์ไลต์ที่ถ่ายผ่านกล้องจุลทรรศน์

แร่หินเพอร์ไลต์เป็นหินภูเขาไฟเนื้อแก้วมีลักษณะรอยแตกเป็นวง ๆ ซ้อนกันคล้ายกลีบหัวหอมเมื่อถูกเผาภายใต้อุณหภูมิเหมาะสมในเวลาที่จะรวดเร็วจะเกิดขยายตัวทันทีและเปลี่ยนสภาพเป็นสารที่มีน้ำหนักเบา มีความพรุนสูงและมีลักษณะคล้ายหินพัมมิส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขยายตัวของหินเพอร์ไลต์นี้เรียกว่า เพอร์ไลต์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดี คือ มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นต่ำ ไม่เป็นตัวนำความร้อน เป็นสารทนไฟ ป้องกันเสียง มีความสามารถดูดซึมน้ำ เป็นสารที่มีความเป็นกลาง และเป็นสารเชื่อมหินเพอร์ไลต์ส่วนใหญ่เนื้อหินมีลักษณะเป็นแก้ว มักจะมีรอยแตกเป็นวง ๆ

ซ้อนกันคล้ายกลีบหว่านมวยแดงนี้อาจจะมองเห็นด้วยตา หรืออาจต้องอาศัยคู่มือแว่นขยายหรือกล้องจุลทรรศน์ดังภาพที่ 2-3 โดยทั่วไปมีสีเทาอ่อนแต่อาจจะพบสีดำ สีน้ำตาล หรือสีเขียวได้ และในเนื้อหินมักจะมีผลึกแร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่ไบโอไทต์ แร่ฮอร์เนเบลนด์ และเศษหินชนิดอื่นฝังตัวอยู่ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2-1 ถึง 2-7 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมีของแร่หินเพอร์ไลต์

ตารางที่ 2-1 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแร่หินเพอร์ไลต์

คุณสมบัติทางฟิสิกส์	ลักษณะที่ปรากฏ
1. ความแข็ง (Moh 's Scale)	5.5-7.0
2. ความถ่วงจำเพาะ	2.3-2.8
3. จุดหลอมตัว	760-1300 °C
4. ค่าดัชนีหักเหแสง	1.490-1.610

ตารางที่ 2-2 ส่วนประกอบทางเคมีของแร่หินเพอร์ไลต์

สารประกอบ	ค่าเฉลี่ยทั่วโลก	ประเทศไทย
SiO ₂	71.0 - 75.0	71.02
Al ₂ O ₃	12.5 – 18.0	16.09
Fe ₂ O ₃	0.5 – 1.5	0.71
FeO	0.0 – 0.1	0.73
MgO	0.1 – 0.5	0.41
CaO	0.5 – 2.0	0.58
Na ₂ O	2.9 – 4.0	0.90
K ₂ O	4.0 – 5.0	5.59
H ₂ O	3.0 – 5.0	3.57

ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแร่เพอร์ไลต์

คุณสมบัติ	ลักษณะที่ปรากฏ
1. สี	ขาว
2. ดัชนีหักเหของแสง	1.5
3. ปริมาณความชื้นอิสระสูงสุด	0.50 เปอร์เซ็นต์
4. ความเป็นกรดหรือด่างของเพอร์ไลต์เหลว	6.5-8.0
5. ความถ่วงจำเพาะ	2.2-2.4
7. ความหนาแน่นเนื้อแท้	32-400 kg/m ³
8. ขนาดอนุภาค	ขนาดตะแกรงเบอร์ 4-8 หรือละเอียดกว่า
9. ค่าอุณหภูมิที่ทำให้อ่อนตัว(Softening point)	871-1093 °C
10. จุดหลอมเหลว(Fusion point)	1260-1343 °C
11. ความจุความร้อนจำเพาะ(Specific heat)	0.2 Btu/lb-F หรือ 387 J/kg-K
12. ค่าการนำความร้อนที่ 24 °C	0.27-0.41Btu-in/h-ft -F หรือ 0.04-0.06W/m-K
13. ความสามารถในการละลาย	ละลายในด่างเข้มข้น

ตารางที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบทางเคมีแร่เพอร์ไลต์ในประเทศไทยเทียบกับของต่างประเทศ

สารประกอบทางเคมี	ปริมาณคิดเป็นร้อยละ						
	ไทย	สหรัฐอเมริกา		กรีซ เมืองไมโลส	อิตาลี เมืองชามโดเรีย	อังการี	บัลกาเรีย
		รัฐออริโซนา	รัฐนิวเม็กซิโก				
SiO ₂	71.02	73.60	74.10	73-74	72.80	73.50	72-75
Al ₂ O ₃	16.09	12.70	13.30	12-15	13.80	13.00	13-15
Fe ₂ O ₃	0.71	0.70	1.80	0.7-1.2	2.10	1.80	1.50
CaO	0.73	0.60	1.50	0.7	0.90	1.50	1.00
MgO	0.41	0.20	0.40	0.3	0.40	0.40	0.60
K ₂ O	5.59	5.00	3.80	3.0-4.8	5.60	3.80	4.80
Na ₂ O	0.90	3.20	3.50	3.4-4.1	3.30	3.50	2.70
TiO ₂	0.58	0.10	0.05	0.006	0.30	-	-
H ₂ O	3.57	3.80	3.00	2.50	-	3.00	3.0-6.0

ตารางที่ 2-5 แสดงสัดส่วนของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่เพอร์ไลต์ในประเทศไทย

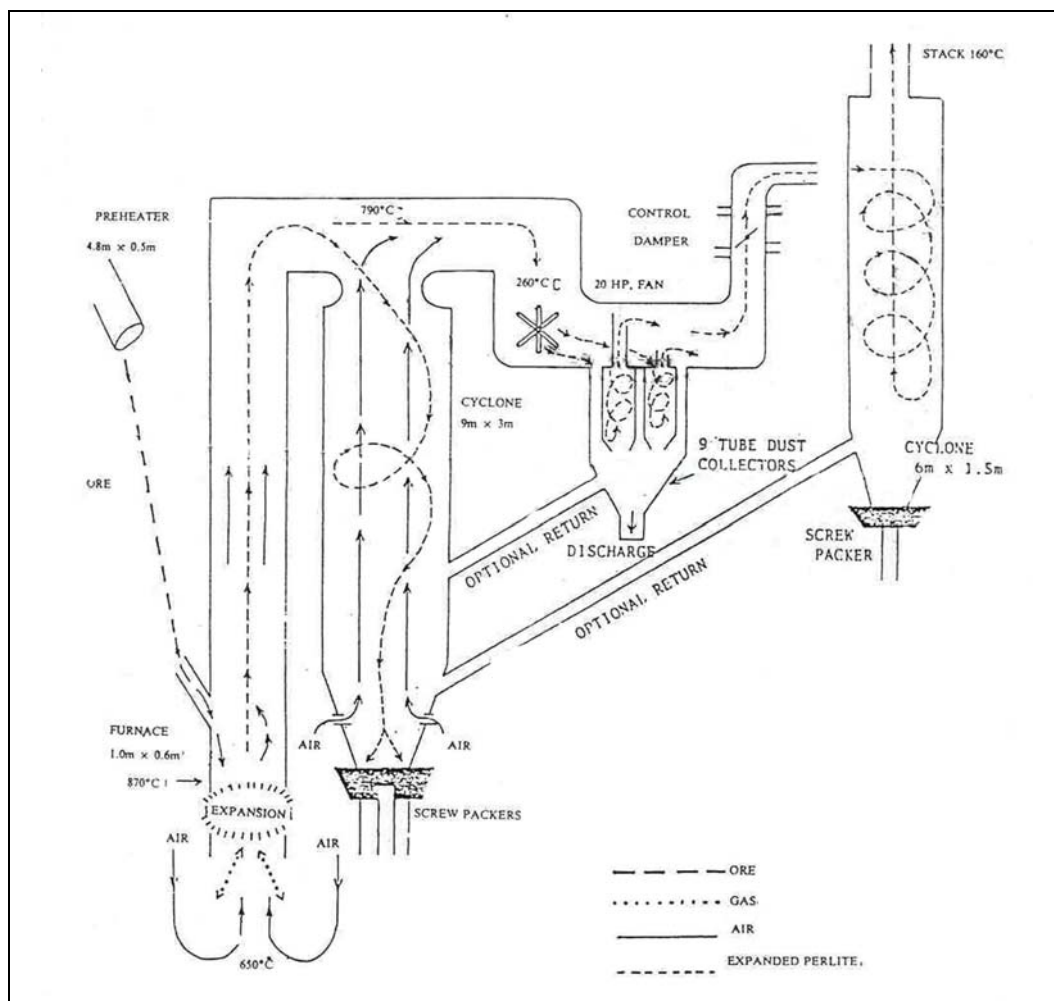
ธาตุ	ปริมาณคิดเป็นร้อยละ
Silicon	33.80
Aluminum	7.20
Potassium	3.50
Sodium	3.40
Iron	0.60
Calcium	0.60
Magnesium	0.20
Trace	0.20
Oxygen	47.50
Bound water	3.00

ตารางที่ 2-6 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแร่เพอร์ไลต์

คุณสมบัติทางกายภาพ	ลักษณะที่ปรากฏ
1. รูปร่างและลักษณะ	มีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นหินภูเขาไฟไฟไลต์(Al-Silicate)
2. สี	ขาว
3. ความสว่าง(G.E. Brightness), %	80-85
4. ดัชนีการหักเหแสง	1.47
5. ความถ่วงจำเพาะ	2.34
6. ความหนาแน่นปรากฏ	2.5-10.5 lb./ft. ³ (40-170kg/m ³)
7. การดูดซึม(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	200-600%
8. การดูดซับน้ำมัน, gms.	50-100
9. ความชื้น(ร้อยละโดยน้ำหนัก)	น้อยกว่า 1
10 การสลายตัวที่อุณหภูมิ1800°F	สูงสุด 2 เปอร์เซ็นต์(ที่ 1 ชั่วโมง)
11. ความหนาแน่น(ที่สภาพอัดตัว)	5.0-20.0 lb./ft. ³ (80-320kg/m ³)
12. ขนาดอนุภาค	0.074-0.8 มิลลิเมตร
13. ความเป็นกรดหรือด่าง	เป็นกลาง
14. ความสามารถในการละลาย	ละลายน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ในกรดธรรมชาติ

ตารางที่ 2-7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตปกติเทียบกับคอนกรีตผสมแร่เพอร์ไลต์

	หน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศ (kg/l)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Kcal/m.h ^o C)
คอนกรีตผสมเพอร์ไลต์	1.20 – 1.60	0.27 – 0.36
ปูนผสมทราย	2.01	1.24



ภาพที่ 2-4 แสดงขั้นตอนการผลิตแร่เพอร์ไลต์

2.3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่าง ๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 ถึง 1,500 °C วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.3.2.1 ประเภทที่ให้ธาตุซิลิเนียม ได้แก่ หินปูน ดินสอพอง ดินปูนขาว

2.3.2.2 ประเภทที่ให้ธาตุซิลิกา และอลูมินา ได้แก่ หินเชล ดินเหนียว หินชนวน

สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเผาส่วนผสมของปูนซีเมนต์แล้วสารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกา อลูมินา และเหล็กจะทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันได้สารประกอบที่สำคัญดังในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 แสดงสารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF

อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate, C_3S) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับกำลังได้เร็ว ให้กำลังสูง และเกิดความร้อนมาก การเพิ่มปริมาณจะทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีสภาพพลาสติกมากขึ้น และช่วยย่นเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ช้าลง

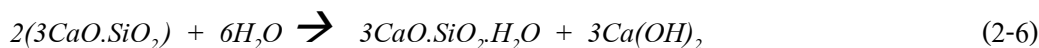
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate, C_2S) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับแรงได้ช้าให้กำลังสูง และเกิดความร้อนน้อยในการเพิ่มปริมาณจะให้ผลย่นเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บ้างเล็กน้อย

3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate, C_3A) จะก่อตัวทันทีที่ผสมกับน้ำให้ความร้อนสูง จะให้กำลังรับแรงได้เล็กน้อยในวันแรก และจะไม่ให้กำลังเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่มีประโยชน์คือ ช่วยเร่งปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกต

4. เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite, C_4AF) จะก่อตัวอย่างรวดเร็วแต่ช้ากว่าและให้ความร้อนน้อยกว่าไตรแคลเซียมอลูมิเนตเล็กน้อยส่วนการให้กำลังรับแรงยังไม่ทราบที่แน่นอน

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบของไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต รวมประมาณ 70-80% และเป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แคลเซียม (CaO) ประมาณ 60% และซิลิกา (SiO_2) ประมาณ 20 % ซึ่งสารเคมีทั้ง 2 นี้เป็นองค์ประกอบสำคัญของไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน อันจะทำให้กำลังรับแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าสูงและเมื่อนำไปผสมกับแร่เพอร์ไลต์ก็จะให้กำลังของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟมีกำลังสูงไปด้วยอันเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) เป็นปฏิกิริยาหลักของการเปลี่ยนสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปเป็นสารเชื่อมประสาน เพื่อพัฒนากำลังรับแรงของปูนซีเมนต์

สารประกอบที่สำคัญอันได้แก่ ไทรคัลเซียมซิลิเกต และไดคัลเซียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำแล้วจะเกิดเป็นสารประกอบคัลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (Calcium Silicate Hydrate) และคัลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, Ca(OH)_2) อีกประมาณ 20-25 % ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นเมื่อผงซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำแล้วเกิดเป็นไฮเดรทคอมพาวด์ (Hydrate-Compound) โดยไทรคัลเซียมซิลิเกต และไดคัลเซียมซิลิเกตจะแตกตัวออกเป็น 2 ส่วนดังสมการด้านล่างนี้



ปฏิกิริยานี้จะดำเนินเรื่อยไปโดยคัลเซียม (CaO) จะแยกตัวออกจากคัลเซียมซิลิเกต ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ไปเป็นคัลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) จนสารละลายนั้นอิ่มตัวด้วยคัลเซียมไฮดรอกไซด์หรือสารประกอบคัลเซียมซิลิเกตทำปฏิกิริยาไปจนหมดจากสารละลายสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันทั้ง 2 ส่วนคือ ส่วนแรกคัลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (CSH) มีสูตรเคมีเป็น ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งจะเป็นสารเชื่อมประสาน และส่วนที่สองเป็นคัลเซียมไฮดรอกไซด์มีสูตรเคมีเป็น (Ca(OH)_2) ซึ่งเป็นคัลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ

2.3.3 สารเคมีผสมเพิ่มชนิดสารกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Agent) เป็นสารอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยาบนผิวโดยก่อให้เกิดฟองอากาศในปริมาณที่สามารถควบคุมได้ในเนื้อวัสดุเคลือบผิวหลัก ป้องกันฟองอากาศขนาดเล็กที่กระจายตัวสม่ำเสมอและจะคงตัว โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25-1 มิลลิเมตร ฟองอากาศนี้จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านความสามารถเทได้และหล่อง่ายขึ้นทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมลงได้ฟองอากาศนี้ (Entrain Air) แตกต่างจากโพรงอากาศ (Entrapped Air) ที่มีขนาดใหญ่และเกิดขึ้นจากการจี้เขย่าที่ไม่ดีพอ สารกักกระจายฟองอากาศนี้ยังช่วยต้านทานมิให้น้ำที่ใช้ผสมแข็งตัวก่อนที่คอนกรีตจะก่อตัวขึ้นอีกทั้งสารกักกระจายฟองอากาศนี้ยังช่วยลดการเยิ้มและการแยกตัวของคอนกรีตเพิ่มความสามารถในการเทได้และการเกาะตัวของส่วนผสม สารกักกระจายฟองอากาศที่เลือกใช้ในการทดสอบนี้คือ Silipon RN60313 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทคอนเนลล์ บราเดอร์ส(ประเทศไทย) จำกัด โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ในการเพิ่มปริมาณฟองอากาศ (Air bubble content) เพิ่มคุณสมบัติด้านความสามารถเทได้ดี (Workability) คุณสมบัติด้านความเป็นพลาสติกของคอนกรีต

2.3.4 เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose) สารอินทรีย์ชนิดนี้จะช่วยเพิ่มความสามารถและประสิทธิภาพดังต่อไปนี้ให้แก่วัสดุผสม คือ

2.3.4.1 เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

2.3.4.2 ประหยัดเวลางบประมาณ และวัตถุดิบ

2.3.4.3 ทำให้สามารถทำงานได้ง่ายและเพิ่มความสามารถในด้านความคงทนแข็งแรงของวัสดุผสม

2.3.4.4 สามารถทำให้เป็นวัสดุผสมที่มีคุณภาพสูงตามมาตรฐาน

คุณสมบัติของสารเมทิลเซลลูโลสที่ผสมลงไปในวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ คือ

ก) ความสามารถในการเก็บกักน้ำ (Water Retaining) คือ สารเมทิลเซลลูโลสนี้ใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการไหลออกมาของน้ำจากผนังน้ำจะเข้ามาแทรกอยู่ในปูนฉาบและมีการยึดเวลาให้ยาวนานขึ้นเพื่อปฏิกิริยาไฮเดรชันสำหรับซีเมนต์ความสามารถในการเก็บกักน้ำจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนืดของ สารเมทิลเซลลูโลส

ข) ความสามารถในการไหลย้อยของซีเมนต์มอร์ตาร์ คือ ความต้านทานการไหลย้อยของปูนมอร์ตาร์ที่ดีจะหมายถึงปูนฉาบที่สามารถประยุกต์ใช้โดยปราศจากการเสี่ยงต่อการไหลย้อยหรือหลุดร่วงหลังจากการฉาบ การเพิ่มคุณสมบัตินี้ให้กับปูนฉาบมอร์ตาร์โดยใช้สารเมทิลเซลลูโลส

ค) สัมประสิทธิ์ปริมาตรน้ำ คือ สัมประสิทธิ์ปริมาตรน้ำหมายความว่าปริมาณน้ำในการผสมมอร์ตาร์ ซึ่งเป็นผลที่มีอิทธิพลหลักต่อความคงทนของมอร์ตาร์ปริมาณน้ำนี้จะไม่สามารถเพิ่มได้เกินค่าที่ต้องการซึ่งถูกจำกัดโดยได้ปริมาณน้ำที่ต้องการของส่วนผสม และการหดตัวของวัสดุผสม การลดลงของความชื้นซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ สำหรับปูนฉาบมอร์ตาร์ที่ผสมสารเมทิลเซลลูโลสถูกพัฒนาซึ่งมีความสามารถในการทำงานได้ดี และความชื้นเหนียวที่ต่ำความหนืดของสารเมทิลเซลลูโลสที่ต่ำกว่าจะส่งผลให้ความชื้นของปูนฉาบต่ำลงดังนั้นจะสามารถทำงานได้ดีแต่ระดับการใช้ของสารเมทิลเซลลูโลสที่มีความหนืดต่ำจะสูงขึ้นเพราะปูนฉาบจะมีค่าปริมาณน้ำที่ต่ำสารเมทิลเซลลูโลสที่ถูกใช้ผสมในการทดสอบครั้งนี้คือ Culminal C8564

2.3.5 สารเพิ่มการยึดเหนี่ยว (Bonding Agent) หรือ ลาเท็กซ์ (Latex)

ลาเท็กซ์เป็นสารโพลิเมอร์ (Polymer) ประเภทหนึ่งที่มีคุณสมบัติในด้าน Bonding-Medium หรือ Adhesive ซึ่งคุณสมบัติของลาเท็กซ์ (Latex) จะคล้ายกับคุณสมบัติของอีพ็อกซี่ (Epoxy) แต่มีราคาที่ต่ำกว่า จุดเด่นของลาเท็กซ์ คือ มีความสามารถในการเสริมกำลังรับแรงยึดเกาะภายในคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ได้ ลาเท็กซ์ที่ผสมคอนกรีตควรมีค่า pH ไม่ต่ำกว่า 10 เมื่อใส่ลาเท็กซ์ลงในส่วนผสมของคอนกรีตเหลวและมอร์ตาร์เหลวอนุภาคของลาเท็กซ์จะกระจายโดยทั่วพร้อมทั้งเกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ชนิด คือ

2.3.5.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Cement Hydration) ทำให้เกิดซีเมนต์เจลขึ้น (Cement Gel)

2.3.5.2 ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม (Latex Film Formation) เกิดจากการรวมตัวของโพลิเมอร์ หรือ ลาเท็กซ์ ซึ่งปฏิกิริยาการก่อตัวของชั้นฟิล์มจะเกิดขึ้นหลังจากปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งก่อให้เกิดเป็น

ซีเมนต์เจลและชั้นฟิล์มของลาเท็กซ์จะเกิดขึ้นปะปนกัน (Interpenetrate) เป็นเนื้อเดียวเรียกว่าโคมาตริก (Comatrix) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุผสม (Binder) มวลรวมในคอนกรีตให้ยึดเกาะเข้าด้วยกันได้ดี

2.3.6 น้ำ เป็นส่วนผสมที่สำคัญอย่างยิ่งในการผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟนี้โดยน้ำจะทำหน้าที่ที่สำคัญ 2 ประการ คือ

2.3.6.1 ทำให้ส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กนี้ทั้งส่วนของวัสดุมวลรวมและวัสดุผสมมีความสามารถในการทำงานได้

2.3.6.2 ทำหน้าที่ผสมกับปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งจะทำให้ผงซีเมนต์มีลักษณะเป็นวุ้นและเป็นซีเมนต์เหนียวไว้ใช้เป็นตัวประสานระหว่างวัสดุผสมเพื่อให้วัสดุผสมเกาะยึดกันแน่นก่อให้เกิดการแข็งตัวขึ้นในเนื้อวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

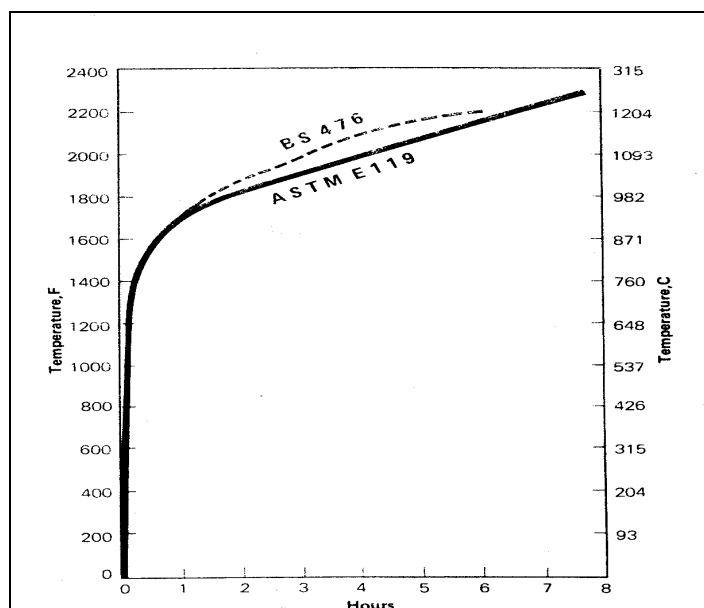
ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมและซีเมนต์ วัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟนี้มีความแข็งแรงทนทานมีรูโพรงหรือแน่นทึบจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใส่ลงไปปริมาณน้ำที่ใส่ผสมโดยมากจะบอกค่าเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณซีเมนต์โดยน้ำหนักถ้าใส่ปริมาณน้ำมากเกินไปจะทำให้คุณสมบัติของวัสดุนี้แย่ลง เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนเกินที่เหลือจากปฏิกิริยาที่น้ำทำกับซีเมนต์จะระเหยออกไปเมื่อวัสดุผสมนี้แข็งตัวและทำให้เกิดเป็นโพรงในเนื้อวัสดุผสมนี้อันเป็นผลให้ความแข็งแรงของวัสดุผสมลดน้อยลงในกรณีสำหรับวัสดุผสมประเภทคอนกรีตทนไฟรวมถึงวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟนี้มีข้อกำหนดในการใช้น้ำคือจะใช้น้ำในปริมาณที่มากพอที่จะทำให้เมื่อผสมส่วนผสมแล้วจะมีลักษณะเป็นพลาสติกและยังคงมี เสถียรภาพอีกด้วยและปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับซีเมนต์อย่างเพียงพอและสมบูรณ์ต้องไม่น้อยกว่า 25-30 % ของปริมาณซีเมนต์โดยน้ำหนัก

2.4 มาตรฐานที่ใช้สำหรับการทดสอบ

2.4.1 กราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 ในการนำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบให้ไฟเผาในเตาเผาจริงนั้นอาจไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ได้เท่ากันทุกจุดได้ดังนั้นจำเป็นต้องจำลองสภาวะไฟไหม้จริงให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E119 ได้กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยโดยรอบชิ้นตัวอย่างทดสอบกับเวลา (Temperature-Time Relation) ที่ได้จากการทดสอบต้องเป็นไปตามกราฟไฟมาตรฐานในภาพที่ 2-5 ซึ่งกราฟไฟดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-8)

$$T - T_0 = 345 \cdot \text{Log}(8t + 1) \quad (2-8)$$

เมื่อ	T	คือ อุณหภูมิเตาที่เวลา t, °C
	T ₀	คือ อุณหภูมิ ณ เวลาเริ่มต้น, °C
	T	คือ เวลานั้นตั้งแต่เริ่มการทดสอบ, นาที



ภาพที่ 2-5 กราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119

2.4.2 ข้อกำหนดทั่วไปที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบจะนำชิ้นตัวอย่างที่ได้ติดตั้งวัสดุป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ในระยะเวลาตามผลเปรียบเทียบกับระยะ 1 เดือน ในการส่งถ่ายความร้อนจากไฟผ่านวัสดุป้องกันไฟเข้าไปยังผิวเหล็กรูปพรรณตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

2.4.2.1 การควบคุมอุณหภูมิไฟ

มาตรฐาน ASTM E119 มีข้อกำหนดให้การทดสอบการทนไฟจะต้องควบคุมอุณหภูมิของไฟให้เป็นไปตามกราฟอุณหภูมิไฟ-เวลามาตรฐานหรือกราฟไฟมาตรฐานดังภาพที่ 2-5 โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ตามตารางที่ 2-9 ข้างล่างนี้

ตารางที่ 2-9 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของอุณหภูมิไฟกับเวลาตาม ASTM E119

ช่วงเวลาทดสอบ 0 ถึง 1 ชั่วโมง	พื้นที่ได้กราฟไฟผิดได้ไม่เกิน 10 %
ช่วงเวลาทดสอบ 1 ถึง 2 ชั่วโมง	พื้นที่ได้กราฟไฟผิดได้ไม่เกิน 7.5 %
ช่วงเวลาทดสอบ 2 ชั่วโมงขึ้นไป	พื้นที่ได้กราฟไฟผิดได้ไม่เกิน 5 %

ในกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่กำหนด ASTM E119 กำหนดให้ต้องมีการปรับแก้ข้อมูลทดสอบโดยบวกเพิ่มข้อมูลทดสอบที่ได้ด้วยค่าปรับแก้ดังสมการ (2-9)

$$C = \frac{2(A - A_s)}{3(A_s + L)} I \quad (2-9)$$

- เมื่อ C คือ ค่าปรับแก้ระยะเวลาทนไฟจากการทดสอบ
- I คือ ระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง
- A คือ พื้นที่ใต้กราฟอุณหภูมิไฟ-เวลา จากการทดสอบจริงภายในเวลาสามในสี่ของระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง
- A_s คือ พื้นที่ใต้กราฟอุณหภูมิไฟ-เวลา ของกราฟไฟมาตรฐานภายในเวลาสามในสี่ของระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง
- L คือ ค่าปรับแก้เนื่องจากผลของความล่าช้าของเทอร์โมคัปเปิลในช่วงแรก $1,800^{\circ}\text{C}.\text{min}.$

2.4.2.2 เกณฑ์สิ้นสุดความสามารถทนไฟของโครงสร้าง

มาตรฐาน ASTM E119 ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อความร้อนที่ถูกส่งผ่านวัสดุป้องกันไฟไปสู่เนื้อของเหล็กรูปพรรณภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่เป็นไปตามกราฟไฟมาตรฐานแล้วทำให้

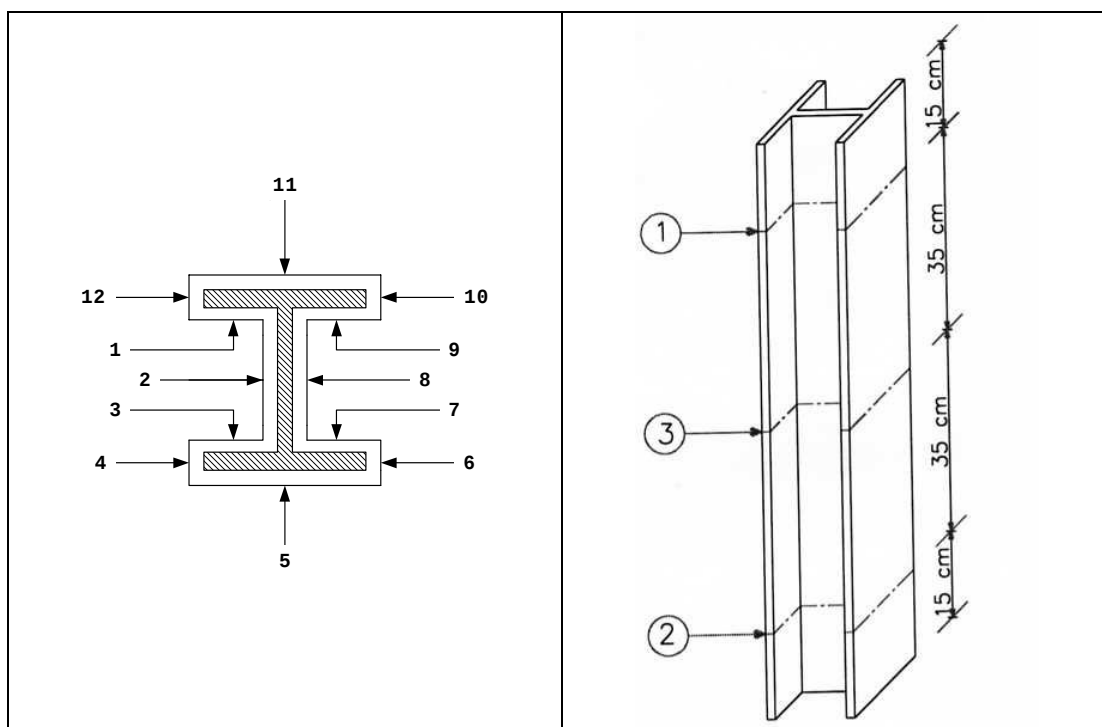
ก) ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับหรือหน้าตัดใดๆ ถึง 538°C ($1,000^{\circ}\text{F}$)

ข) ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใดๆ ถึง 649°C ($1,200^{\circ}\text{F}$)

ให้ถือว่าองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณได้ถึงเกณฑ์สิ้นสุดความสามารถทนไฟ หรือถึงจุดการวิบัติของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

2.4.2.3 มาตรฐานการทดสอบค่าความหนาและความหนาแน่นของวัสดุพ่นกันไฟ

ก่อนที่จะนำเอาตัวอย่างที่มาทดสอบหาอัตราทนไฟโดยการนำมาเผาจะทำการหาค่าความหนาและความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟเมื่อบ่มทิ้งไว้ 1 ปีแล้วโดยจะทำการวัดและหาค่าตามมาตรฐาน ASTM E605-93 (Standard Test Methods for Thickness and Density of Sprayed Fire-Resistive Material (SFRM) Applied to Structural Members) ในการวัดความหนาของชิ้นตัวอย่างจะทำการวัดความหนาที่ 3 ระดับ ในแต่ละระดับจะทำการวัด 4 จุดกรณีเป็นเหล็กท่อกลม ส่วนในเหล็กรูปตัวซี (C) จะทำการวัด 6 จุด และเหล็กรูปตัวเอช (H) ในแต่ละระดับจะวัดความหนา 12 จุด ดังแสดงในภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ระดับและจุดที่ทำการวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ

ค่าความหนาของวัสดุเคลือบ คือ ค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้จากสูตรในสมการ (2-10)

$$\text{สูตรค่าความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวจะมีค่า, } D = \frac{W}{l \times w \times t} \quad (2-10)$$

- เมื่อ
- D คือ ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น kg/m^3 (lb/ft^3)
 - W คือ ค่าน้ำหนักคงที่ของวัสดุเคลือบผิวแห้ง มีหน่วยเป็น kg (lb)
 - l คือ ความยาวของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)
 - w คือ ความกว้างของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)
 - t คือ ค่าความหนาเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)

2.4.2.4 มาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในการทดสอบเกี่ยวกับวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบตามที่แสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2-10 แสดงมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติของเพอร์ไลต์

ประเภทของการทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ
คุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนักของเพอร์ไลต์	ASTM C29
คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเพอร์ไลต์	ASTM C128
คุณสมบัติด้านขนาดผลของเพอร์ไลต์	ASTM C136

ตารางที่ 2-11 แสดงมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ

ประเภทของการทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ
คุณสมบัติด้านความสามารถในการทำงานได้ (Workability)	ASTM C230
คุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนักของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ASTM E605
คุณสมบัติด้านการนำความร้อน	ASTM C117
คุณสมบัติด้านการหดตัว (Shrinkage)	ASTM C490
คุณสมบัติด้านการต้านทานแรงอัด	ASTM C109
คุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ASTM E736

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 ความนำ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการทดสอบการทนไฟขององค์อาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเคลือบด้วยวัสดุผสมเพอร์ไลต์ภายหลังการติดตั้งวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟระยะเวลา 1 ปี เพื่อนำค่าการต้านทานไฟไปเปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณชนิดเดียวกันที่ระยะเวลา 1 เดือน โดยใช้ตัวอย่างทดสอบเป็นเหล็กรูปพรรณหน้าตัดรูปตัวซี (C) ตัวเอช (H) และเหล็กท่อกลมจำนวนทั้งสิ้น 12 ตัวอย่างตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-1 ถึงตารางที่ 1-3 ซึ่งตัวอย่างเหล็กรูปพรรณทั้งหมดจะเคลือบด้วยวัสดุป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมที่มีความหนา 3 เซนติเมตร 4 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนของการเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบ การติดตั้งชิ้นตัวอย่างในเตาเผาเพื่อทำการทดสอบการทนไฟ การทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น และการยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ

3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 เหล็กรูปพรรณ

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบการทนไฟของเหล็กรูปพรรณหน้าตัดไวด์แฟลนจ์หรือรูปเอช (H) รูปซี (C) และเหล็กท่อกลมที่เคลือบด้วยวัสดุผสมเพอร์ไลต์ในการเลือกขนาด ความยาว และจำนวนที่ใช้ในการทดสอบของเหล็กรูปพรรณ จะพิจารณาถึงความเหมาะสม ดังนี้

3.2.1.1 ขนาดที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [10], [11] จำนวน 12 ตัวอย่าง

3.2.1.2 หน้าตัดมีความใกล้เคียงกับหน้าตัดที่ใช้ในโครงสร้างจริงและมีจำหน่ายทั่วไป

3.2.1.3 ขนาดความยาวของชิ้นทดสอบยาว 1.00 เมตร ทุกชิ้นเพื่อให้ใส่เข้าในเตาเผาได้

3.2.1.4 เลือกขนาดของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่เคลือบเพอร์ไลต์ไว้มีความสมบูรณ์ที่สุด

สำหรับขนาดของเหล็กรูปพรรณตัวอย่างที่เคลือบวัสดุผสมป้องกันไฟด้วยเพอร์ไลต์หนา 3 เซนติเมตร, 4 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร ในระยะยาวโดยการบ่มแห้งไว้กับชิ้นทดสอบนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-1 ถึงตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-1 แสดงตัวอย่าง เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัวซี (C) ที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดที่ระบุ (mm)	น้ำหนัก (kg/m)	H (mm)	B (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	A (cm ²)	H_p (cm)	H_p/A (m ⁻¹)
C-150 x 75	18.6	150	75	6.5	10	23.71	58.7	248
C-150 x 75	18.6	150	75	6.5	10	23.71	58.7	248
C-150 x 75	18.6	150	75	6.5	10	23.71	58.7	248
C-200 x 80	24.6	200	80	7.5	11	31.33	70.5	225

ตารางที่ 3-2 แสดงตัวอย่างเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรูปตัวเอช (H) ที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดที่ระบุ (mm)	น้ำหนัก (kg/m)	H (mm)	B (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	A (cm ²)	H_p (cm)	H_p/A (m ⁻¹)
H-150x150	31.5	150	150	7	10	40.14	89	221
H-150x150	31.5	150	150	7	10	40.14	89	221
H-150x150	31.5	150	150	7	10	40.14	89	221
H-200x200	49.9	200	200	8	12	63.53	118	186
H-200x200	49.9	200	200	8	12	63.53	118	186

ตารางที่ 3-3 แสดงตัวอย่างเหล็กโครงสร้างรูปพรรณชนิดท่อกลมที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดที่ระบุ (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน , (mm)	ความหนา (mm)	น้ำหนัก (kg/m)	A (cm ²)	H_p (cm)	H_p/A (m ⁻¹)
O-40x2.9 mm	40	2.9	3.25	4.14	15.17	367
O-100x3.6 mm	100	3.6	9.83	12.52	35.91	287
O-150x4.5 mm	150	4.5	17.82	22.70	51.87	228

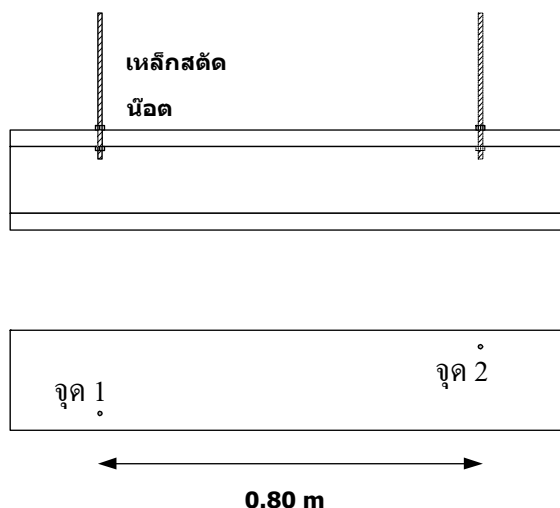
3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.2.1 เตรียมชิ้นตัวอย่างเหล็กรูปพรรณตามที่ได้ระบุไว้ในตารางที่ 3-1 ถึงตารางที่ 3-3

3.2.2.2 ทำการเจาะรูยึดเหล็กเกลียว ที่ปีกบนด้านปลายทั้ง 2 ข้างของเหล็กรูปพรรณ

3.2.2.3 ทำการทำความสะอาดผิวของเหล็กรูปพรรณ พร้อมทั้งทาสีกันสนิม

3.2.2.4 ทำการยึดเหล็กสตั๊ดเข้ากับเหล็กรูปพรรณ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แสดงตำแหน่งรูเจาะและการยึดเหล็กสตัดหรือเหล็กยึดเข้ากับชั้นตัวอย่างทดสอบ

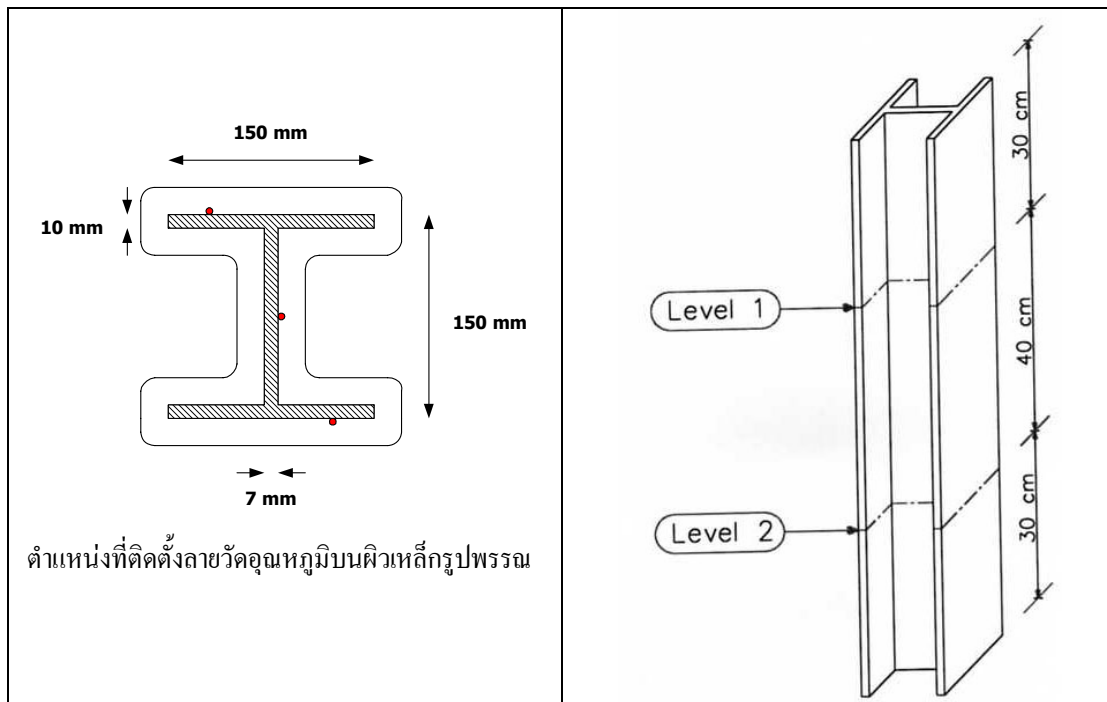
3.2.2.5 ทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิโดยการเชื่อมต่อไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมสแตนเลส โดยตำแหน่งในการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิจะแสดงดังในภาพที่ 3-2 และภาพที่ 3-3

3.2.2.6 ทำการผสมวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมโดยใช้โม้ผสมไฟฟ้าในสัดส่วนที่ได้เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาวิจัยผ่านมาของคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กป้องกันไฟซึ่งจะมีสัดส่วนผสมที่มีปริมาณแร่เพอร์ไลต์ 150 % ของปริมาณน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-4 และตารางที่ 3-5

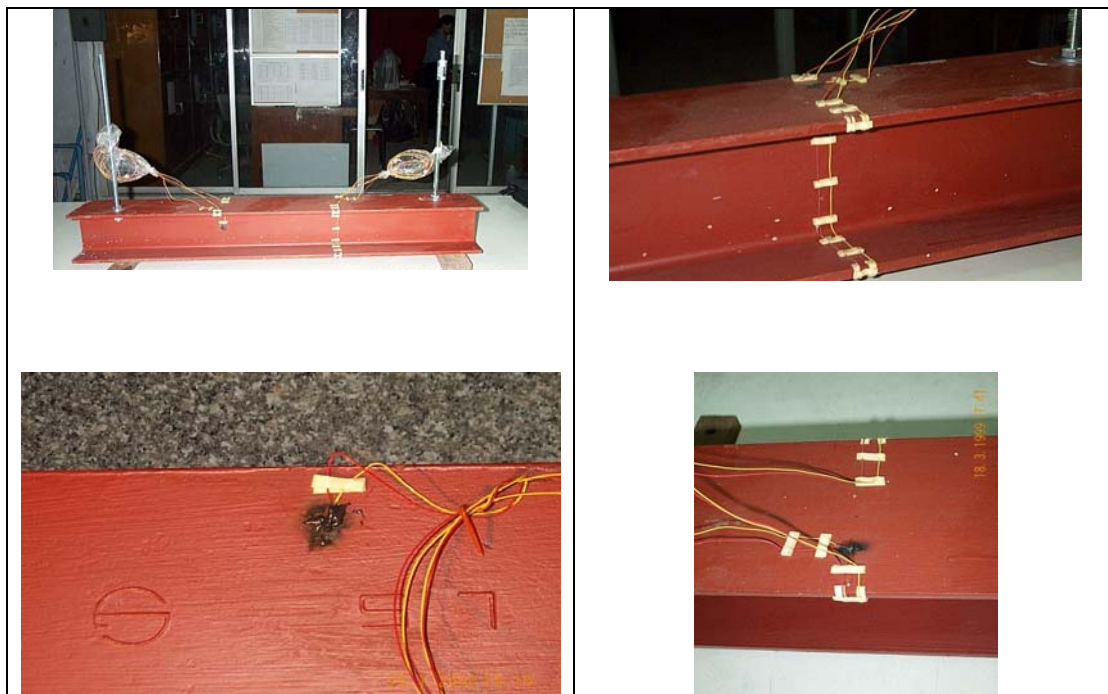
3.2.2.7 ทำการติดตั้งวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟแต่ละตัวอย่างลงบนชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณโดยการพ่น ซึ่งควรทำการพ่นบางๆ ทีละชั้น ๆ

3.2.2.8 ทำการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟไปพร้อมกับการพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟเพื่อให้ได้ความหนาเฉลี่ยโดยรอบชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นตัวอย่างเท่ากับ 3, 4, 5 cm โดยรอบชิ้นตัวอย่างตามลำดับ

3.2.2.9 บ่มชิ้นงานที่เคลือบด้วยวัสดุป้องกันไฟในอากาศจนชิ้นงานแห้งทั้งไว้จนถึงระยะเวลาประมาณ 1 ปี



ภาพที่ 3-2 แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ในชิ้นตัวอย่างที่ผิวเหล็กรูปพรรณ



ภาพที่ 3-3 แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิลงบนผิวเหล็กรูปพรรณเพื่อเตรียมสำหรับนำไปพ่นเคลือบด้วยวัสดุผสมเพอร์ไลต์

ตารางที่ 3-4 แสดงสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของแร่เพอร์ไลต์ที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนัก	หน่วย
ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1	1	กิโลกรัม
แร่เพอร์ไลต์	150% ของน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์	กิโลกรัม
สารกักกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Agent)	0.02% ของน้ำหนักของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์และเพอร์ไลต์	กิโลกรัม
เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose)	0.25% ของน้ำหนักของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์และเพอร์ไลต์	กิโลกรัม
สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Latex)	2% ของน้ำหนักของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์และเพอร์ไลต์	กิโลกรัม
น้ำ	120% ของน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด	กิโลกรัม

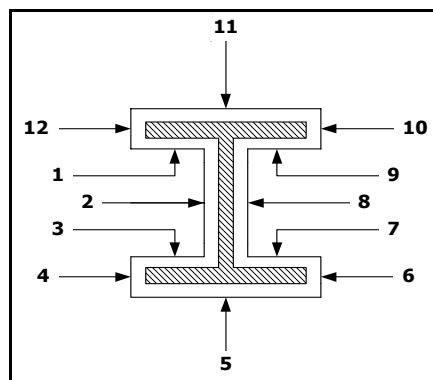
ตารางที่ 3-5 แสดงน้ำหนักที่ใช้จริงของส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของแร่เพอร์ไลต์

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนัก	หน่วย
ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1	6	กิโลกรัม
แร่เพอร์ไลต์	$1.50 \times 6 = 9$	กิโลกรัม
สารกักกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Agent)	$0.0002 \times (6+9) = 3$	กรัม
เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose)	$0.0025 \times (6+9) = 37.5$	กรัม
สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Latex)	$0.02 \times (6+9) = 300$	กรัม
น้ำ	$1.20 \times (6+9+0.003+0.0375+0.3) = 18.4$	กิโลกรัม

3.2.3 วิธีการพ่นวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

เมื่อทำการผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟได้สัดส่วนตามตารางที่ 3-5 แล้วนำส่วนผสมดังกล่าวไปติดตั้งบนเหล็กรูปพรรณโดยการพ่น ในการพ่นวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟจะต้องพ่นรอบขึ้นเหล็กรูปพรรณโดยรอบซึ่งจะต้องพ่นเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นควรมีความหนาไม่เกิน 0.5-1 cm เพื่อให้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีความหนาแน่นและการกระจายตัวที่ดี เพื่อป้องกันการหลุดร่วงหรือการเสื่อมระหว่างการพ่น หลังจากการพ่นแต่ละครั้งควรปล่อยให้แห้งตัวอย่างไ้ประมาณ 20 นาที เพื่อให้วัสดุ

เคลือบผิวป้องกันไฟเกิดการอยู่ตัวในระหว่างการพ่นจะต้องวัดความหนาโดยใช้เข็มวัดความหนาแทงลงไปตรงๆ จนถึงเนื้อเหล็กรูปพรรณที่หน้าตัดเดียวกับหน้าตัดของการติดตั้งสายรัดอุณหภูมิจัดโดยรอบหน้าตัด และพ่นจนได้ความหนาตามที่ต้องการตลอดทั้งหน้าตัดและความยาวของเหล็กรูปพรรณ หลังจากนั้นบ่มตัวอย่างด้วยการใช้กระสอบห่มน้ำคลุมตัวอย่างเอาไว้และทำการฉีบน้ำใส่กระสอบทุกวันเป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นจึงปล่อยให้แห้งในอากาศจนครบ 1 ปี แล้วนำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบการต้านทานไฟ ในภาพที่ 3-4 แสดงตำแหน่งการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟบนเหล็กรูปพรรณรูปตัวเอช (H) ตามมาตรฐาน ASTM E605 ขณะทำการพ่นเคลือบและก่อนการนำไปทดสอบเผาไฟ ส่วนภาพที่ 3-5 แสดงวิธีการพ่นวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟลงบนเหล็กรูปพรรณ



ภาพที่ 3-4 แสดงตำแหน่งการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟบนเหล็กรูปพรรณ



ภาพที่ 3-5 แสดงการพ่นเคลือบผิวเหล็กและตำแหน่งการวัดความหนาของวัสดุเคลือบป้องกันไฟ

3.3 การทดสอบการทนไฟ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมชิ้นตัวอย่างไว้แล้ว 1 ปีมาทำการทดสอบการทนไฟซึ่งก่อนการทดสอบจะนำชิ้นตัวอย่างไปแช่น้ำหนักและวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเสียก่อนจากนั้นจึงนำชิ้นตัวอย่างไปติดตั้งในเตาเผาเพื่อทำการทดสอบการทนไฟดังต่อไปนี้

3.3.1 การติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตาเผาและการต่อสายวัดอุณหภูมิ

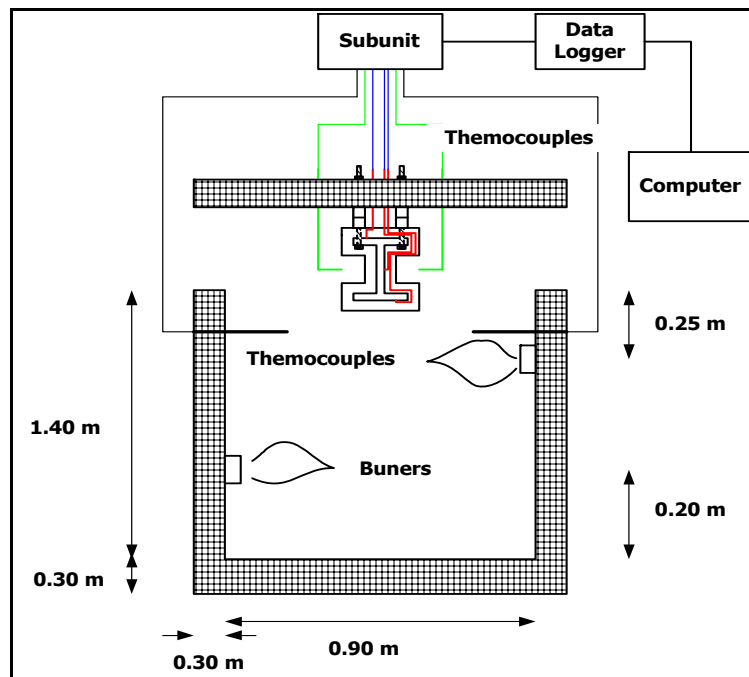
นำชิ้นตัวอย่างที่จะติดตั้งบนฝาเตาเผาทำการปิดหัวและท้ายของชิ้นตัวอย่างด้วยเซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) เนื่องจากสมมติฐานเบื้องต้นในการทดสอบคือ ความร้อนจะถ่ายเทเข้าชิ้นงานทางด้านข้างโดยรอบและจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานจากทางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงาน หลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างขึ้นติดตั้งบนฝาเตาเผาโดยใช้น็อตยึดที่เหล็กยึดที่ยึดติดกับชิ้นตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 3-6 เมื่อทำการติดตั้งชิ้นตัวอย่างเรียบร้อยแล้วจะทำการร้อยสายวัดอุณหภูมิจากชิ้นตัวอย่างที่ได้ติดตั้งไว้แล้วผ่านทางรูเจาะของฝาเตาเผาขึ้นสู่ด้านบนของฝาเตาหลังจากนั้นจะทำการต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งอยู่ด้านบนนอกของเตาเผา โดยมีรายละเอียดการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิด้วยระบบคอมพิวเตอร์ดังนี้ คือ

3.3.1.1 ในการร้อยสายวัดอุณหภูมินี้ต้องทำการแยกสายวัดอุณหภูมิไม่ให้สายวัดอุณหภูมิแต่ละเส้นสัมผัสกัน เนื่องจากถ้ามีการสัมผัสกันของสายวัดอุณหภูมิจะทำให้ข้อมูลอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จะผิดไปจากความเป็นจริง

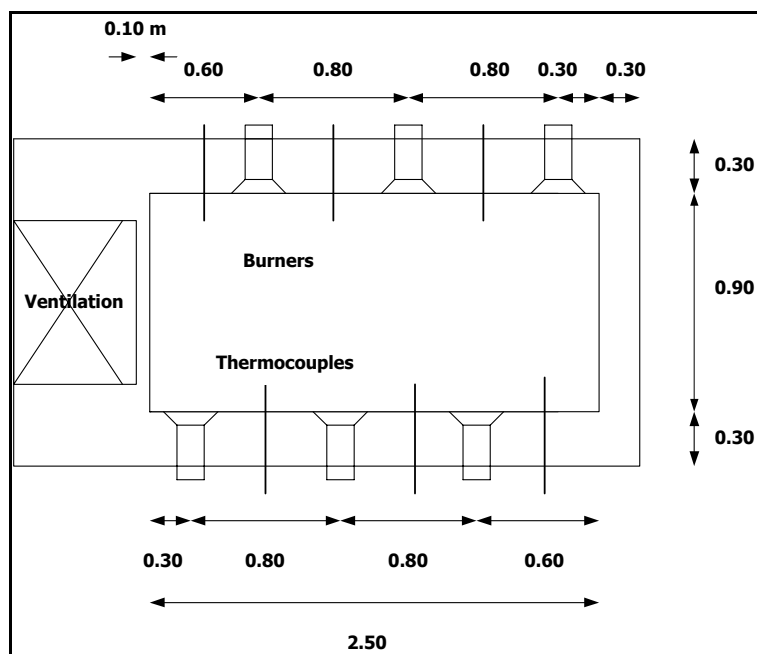
3.3.1.2 เนื่องจากสายวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งที่ชิ้นตัวอย่างมีความยาวไม่มากนักจึงจะต้องใช้สายวัดอุณหภูมิอีกเส้นมาต่อพ่วงเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้ด้านบนนอกของเตาเผา

3.3.1.3 การต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลระบบคอมพิวเตอร์จะทำหลังจากการติดตั้งฝาเตาลงบนเตาเผาเรียบร้อยแล้ว

3.3.1.4 หลังจากติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้วจะนำเอาเซรามิกไฟเบอร์มาอุดตามรูที่ร้อยสายวัดอุณหภูมิขึ้นด้านบนฝาเตาทั้งหมดเพื่อป้องกันไฟหลุดรอดออกมาด้านบนเตาเผาอันจะก่อให้เกิดอันตรายได้



ภาพที่ 3-6 แสดงเตาเผาและการติดตั้งเซ็นเซอร์ตัวอย่างในเตาเผา



ภาพที่ 3-7 แสดงขนาดของเตาเผาเซ็นเซอร์ตัวอย่างทดสอบ

3.3.2 การทดสอบขึ้นตัวอย่าง

ขั้นตอนนี้เป็น การทดสอบปล่อยไฟจริงให้เผาขึ้นตัวอย่างเพื่อทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในเตาเผาโดยการวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลเป็น 3 ชุด คือ

3.3.2.1 ข้อมูลอุณหภูมิของเตาเผา เป็นค่าอุณหภูมิภายในของเตาเผาซึ่งในการทดสอบจะทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิไว้ภายในเตาเผาจำนวน 6 ตำแหน่งโดยรอบเตาเผาซึ่งข้อมูลอุณหภูมิส่วนนี้จะ เป็นข้อมูลที่ สำคัญในการปรับความแรงของไฟภายในเตาเผาให้มีค่าเทียบเท่ากับกราฟมาตรฐานการทดสอบของ ASTM E119 แต่โดยความเป็นจริงแล้วข้อมูลอุณหภูมิในส่วนนี้ไม่ใช่ อุณหภูมิโดยรอบของขึ้นตัวอย่างทดสอบเพียงแค่เป็นอุณหภูมิโดยรวมภายในเตาเผาเท่านั้น

3.3.2.2 ข้อมูลอุณหภูมิภายในขึ้นตัวอย่างตามตำแหน่งที่ได้ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิไว้เป็นค่าอุณหภูมิที่ผิวเหล็ก รูปพรรณ โดยทำการวัดได้จากสายวัดอุณหภูมิที่ได้ติดตั้งไว้ที่ผิวของเหล็ก รูปพรรณก่อนที่จะทำการเคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

3.3.2.3 ข้อมูลอุณหภูมิโดยรอบขึ้นตัวอย่าง เป็นข้อมูลที่ ได้จากการวัดอุณหภูมิตรงบริเวณรอบขึ้นตัวอย่างแต่ละชิ้น เพื่อให้ทราบสภาวะความรุนแรงของไฟตามความเป็นจริงที่ขึ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นได้รับ

ในขณะ การทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลทั้ง 3 ชุดไปพร้อมๆ กันโดยจะมีการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาทุกๆ 30 วินาที ด้วยเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ หลังจากเก็บข้อมูลที่ ได้จากการทดสอบแล้วก็จะนำเอาข้อมูลที่ ได้ไปวิเคราะห์ผลต่อไป ภายหลังจากทดสอบจะนำเอาขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบอัตราการต้านทานไฟแล้วมาตรวจสอบลักษณะของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ และเหล็ก รูปพรรณภายหลังการเผาไฟ เพื่อดูถึงลักษณะการพังทลายของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

3.4 การทดสอบแรงยึดเหนี่ยว

ในการทดสอบแรงยึดเหนี่ยววัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมนั้นจะทำการทดสอบโดยการถ่วงน้ำหนักด้วยอุปกรณ์ยึดติดกับผิวของเพอร์ไลต์จากขึ้นทดสอบจริงจากนั้นจึงใส่น้ำหนักถ่วงเป็นช่วงๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM E736

3.5 การทดสอบแรงอัดของวัสดุผสมเพอร์ไลต์

การทดสอบแรงอัดจะนำก้อนวัสดุป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ ขนาด 5 x 5 x 5 cm ที่ระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศอายุ 1 ปี เพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานของ ASTM C109 และ ASTM E761 ต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติอัตราการทนไฟ การยืดเหนียว และการรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมในระยะเวลาการติดตั้งไว้ 1 ปี โดยการวิเคราะห์ผลขั้นแรกจะทำการวิเคราะห์ผลค่าการทนไฟ ค่าการยืดเหนียว และค่าการรับแรงอัดของวัสดุป้องกันไฟที่มีส่วนผสมเพอร์ไลต์ของชิ้นตัวอย่างทดสอบทั้ง 12 ชิ้นงานเสียก่อนหลังจากนั้นจึงจะนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวัสดุประเภทเดียวกันที่ระยะเวลาการติดตั้ง 1 เดือน ตามรายการวิเคราะห์ผลข้อมูลต่อไปนี้

4.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบอัตราการทนไฟของวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์ที่ระยะเวลา 1 ปี

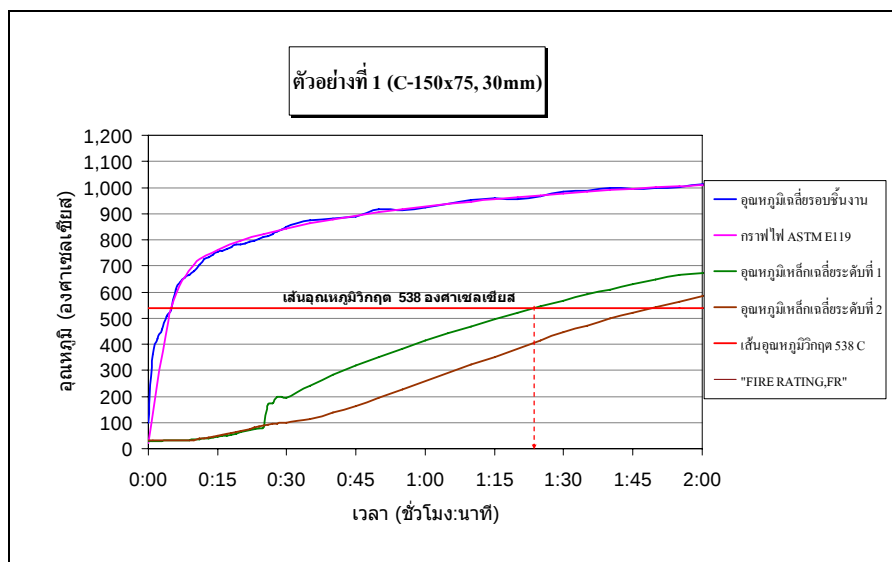
ภายหลังจากการทดสอบเผาชิ้นตัวอย่างทดสอบทั้ง 12 ตัวอย่างแล้วจะถูกนำไปชั่งน้ำหนักและดูลักษณะรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจากไฟไหม้ ซึ่งผลการทดสอบการทนไฟจะเป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกราฟไฟตามมาตรฐาน ASTM E119 อุณหภูมิไฟเฉลี่ยรอบชิ้นงานและอุณหภูมิของตัวอย่างทดสอบโดยเฉลี่ยระดับที่ 1 และระดับที่ 2 กับระยะเวลาที่ทำการทดสอบของตัวอย่างทั้งหมดจะแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยถึง 538 °C ก่อนกับระยะเวลาการทนไฟของทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบ แต่เนื่องจากในขณะที่ทำการทดสอบนั้นไม่สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยรอบชิ้นงานให้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดได้จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยอาจเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากกราฟไฟตามมาตรฐาน ASTM E119 ทั้งในลักษณะที่สูงกว่าและต่ำกว่าซึ่งเป็นผลจากความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิไฟที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเตาดังนั้นผลการทดสอบการทนไฟที่ได้จึงยังไม่สามารถเปรียบเทียบหรือวิเคราะห์ผลได้ทันทีจะต้องมีการปรับแก้ค่าการทนไฟโดยพิจารณาผลของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวก่อน ดังที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ อย่างไรก็ตามในที่นี้จะสรุปผลค่าระยะเวลาทนไฟของตัวอย่างทดสอบทั้ง 12 ตัวอย่าง ที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิวิกฤติ 538 °C ซึ่งได้จากการทดสอบจริงดังแสดงในตารางข้อมูลภาคผนวก ก – ข ในตารางที่ 4-1 จะสรุปอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมดและการวิเคราะห์กราฟอัตราการทนไฟดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-1 อัตราการทนไฟของตัวอย่างทดสอบวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี

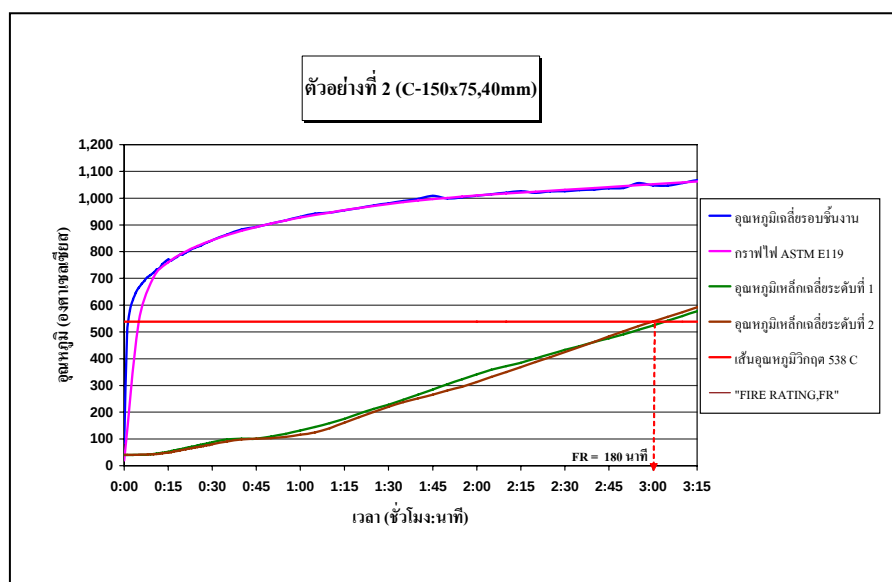
ตัวอย่าง ทดสอบ ที่	ขนาดตัวอย่างที่ระบุ	สัญลักษณ์ ตัวอย่าง ทดสอบ	ค่า Hp/A (m^{-1})	ความหนา วัสดุป้องกัน ไฟ (ซม.)	ค่าการทนไฟ เฉลี่ยอุณหภูมิ วิกฤติ 538 C (นาทิจ)
1	C-150x75x6.5x10 mm	C1501	248	3	85
2	C-150x75x6.5x10 mm	C1502	248	4	180
3	C-150x75x6.5x10 mm	C1503	248	5	200
4	C-200x80x7.5x11 mm	C2001	225	5	235
5	H-150x150x7x10 mm	H1501	221	3	115
6	H-150x150x7x10 mm	H1502	221	4	122
7	H-150x150x7x10 mm	H1503	221	5	145
8	H-200x200x8x12 mm	H2001	186	4	160
9	H-200x200x8x12 mm	H2002	186	5	200
10	O-40x2.9 mm	O-40 mm	367	3	55
11	O-100x3.6 mm	O-100 mm	287	3	70
12	O-150x4.5 mm	O-150 mm	228	3	85

4.1.1 ผลของอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟระยะเวลา 1 ปี

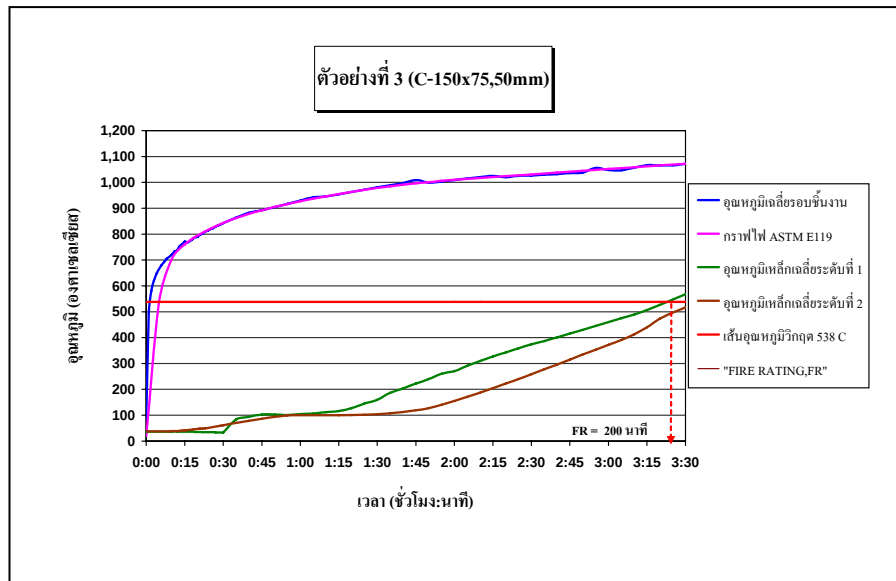
4.1.1.1 ผลจากการทดสอบการทนไฟของตัวอย่างเหล็กรูปพรรณรูปตัวซี(C) ขนาด C150x75x6.5x10 mm จำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งมีค่าองค์ประกอบของหน้าตัด(Hp/A) เท่ากับ $248 m^{-1}$ เคลือบด้วยวัสดุป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมหนา 3, 4 และ 5 cm โดยลำดับได้ค่าอัตราการทนไฟที่อุณหภูมิวิกฤตเฉลี่ยตามมาตรฐาน ASTM E119 ของแต่ละความหนาวัสดุป้องกันไฟ จะมีอัตราการทนไฟที่แตกต่างกันไปซึ่งเพิ่มขึ้นตามความหนาวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ คือ 85, 180 และ 200 นาที ตามลำดับของความหนา 3, 4, 5 cm ตามข้อมูลการทนไฟดังตารางที่ ก-1 ถึงตารางที่ ก-19 ของภาคผนวก ก ค่าอัตราการทนไฟของตัวอย่างทดสอบดังกล่าวจะแสดงไว้ในกราฟอัตราการทนไฟของภาพที่ 4-1 ถึงภาพที่ 4-3 สำหรับในภาพที่ 4-4 และภาพที่ 4-5 นั้นเป็นการแสดงภาพของชิ้นงานก่อนการทดสอบและภายหลังการทดสอบเผาไฟชิ้นตัวอย่างทดสอบ



ภาพที่ 4-1 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1501 วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm



ภาพที่ 4-2 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1502 วัสดุป้องกันไฟหนา 4 cm



ภาพที่ 4-3 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1503 วัสดุป้องกันไฟหนา 5 cm



(ก) แสดงตัวอย่างทดสอบรูปตัว C



(ข) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบ



(ค) แสดงการวัดความหนาวัสดุป้องกันไฟ



(ง) การติดตั้งตัวอย่างกับฝาเตาเผา

ภาพที่ 4-4 แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ



(ก) ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมไฟเตาเผา



(ข) แสดงเตาเผาที่ใส่ตัวอย่างทดสอบแล้ว



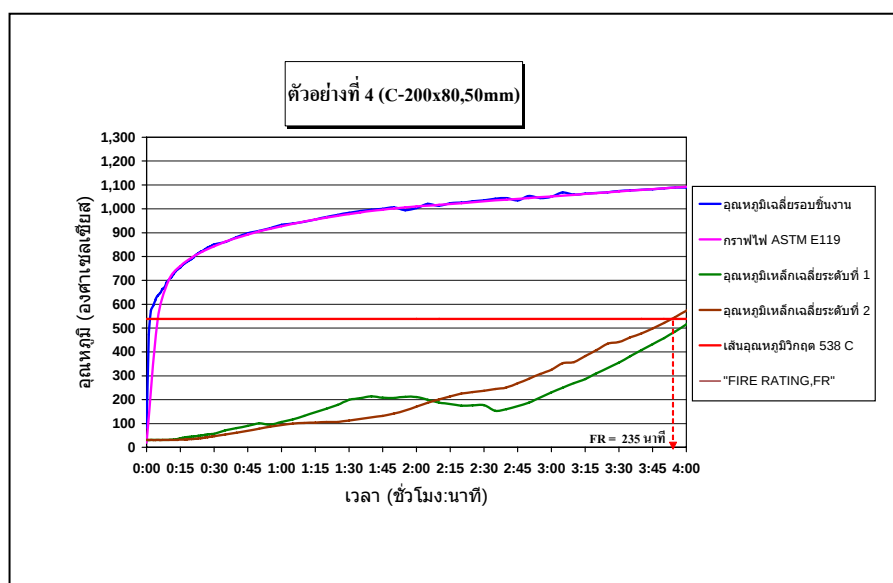
(ค) แสดงตัวอย่างทดสอบหลังการเผาไฟ



(ง) แสดงรอยแตกร้าวของวัสดุป้องกันไฟ

ภาพที่ 4-5 แสดงการทดสอบชิ้นตัวอย่างและหลังการทดสอบ

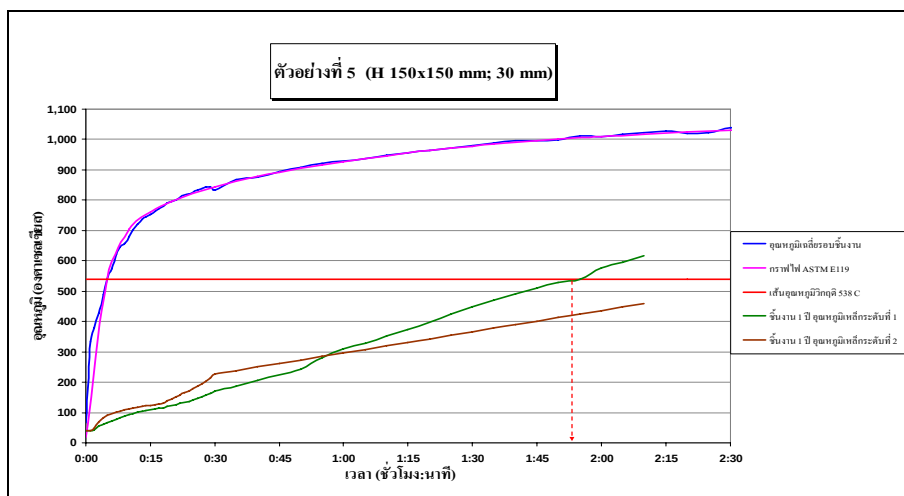
4.1.1.2 ผลการทดสอบการทนไฟของตัวอย่างทดสอบหลักรูปพรรณรูปตัวซี(C) ขนาด C200x80x7.5x11 mm จำนวน 1 ตัวอย่าง มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 225 m^{-1} เคลือบด้วยวัสดุผสมเพอร์ไลต์หนา 5 cm อัตราการทนไฟที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 235 นาที ดังที่แสดงในกราฟอัตราการทนไฟของภาพที่ 4-6



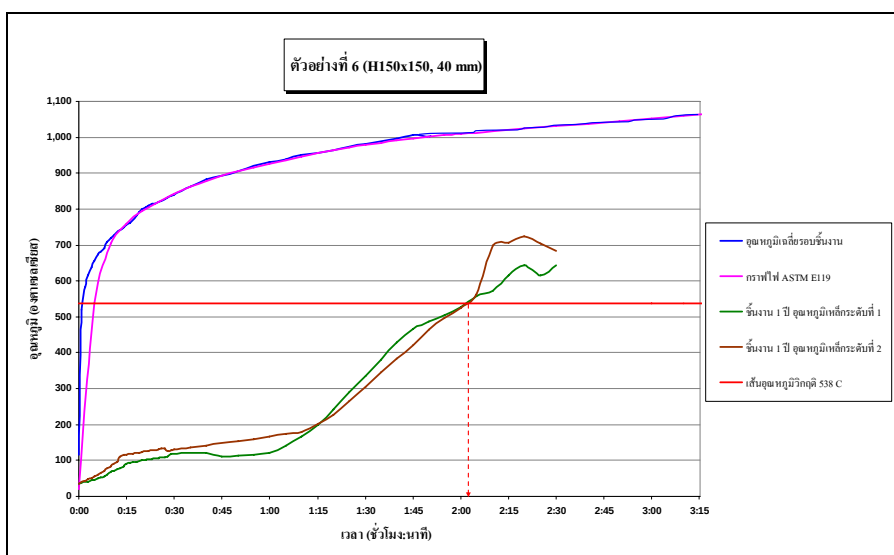
ภาพที่ 4-6 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C2001 วัสดุป้องกันไฟหนา 5 cm

สรุปเมื่อนำผลการทดสอบอัตราการทนไฟของตัวอย่างเหล็กรูปพรรณรูปตัวซี (C) ที่มีขนาดหน้าตัดที่ต่างกันและความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ต่างกันปรากฏว่าเหล็กที่มีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่กว่าและความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมากกว่าจะมีอัตราการทนไฟที่นานกว่า

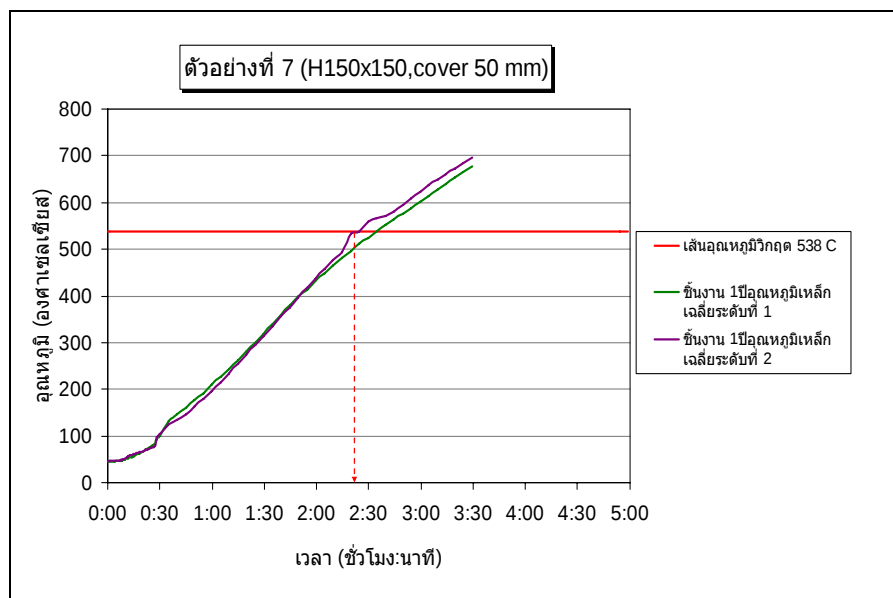
4.1.1.3 ผลการทดสอบการทนไฟของตัวอย่างทดสอบเหล็กรูปพรรณรูปตัวเอ(H) ขนาด H150x150x7x10 mm จำนวน 3 ตัวอย่าง มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 221 m^{-1} เคลือบด้วยวัสดุผสมเพอร์ไลต์หนา 3, 4, 5 cm อัตราการทนไฟที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 113, 122 และ 145 นาที ตามลำดับดังที่แสดงในกราฟของภาพที่ 4-7 ถึงภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-7 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H1501 วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm

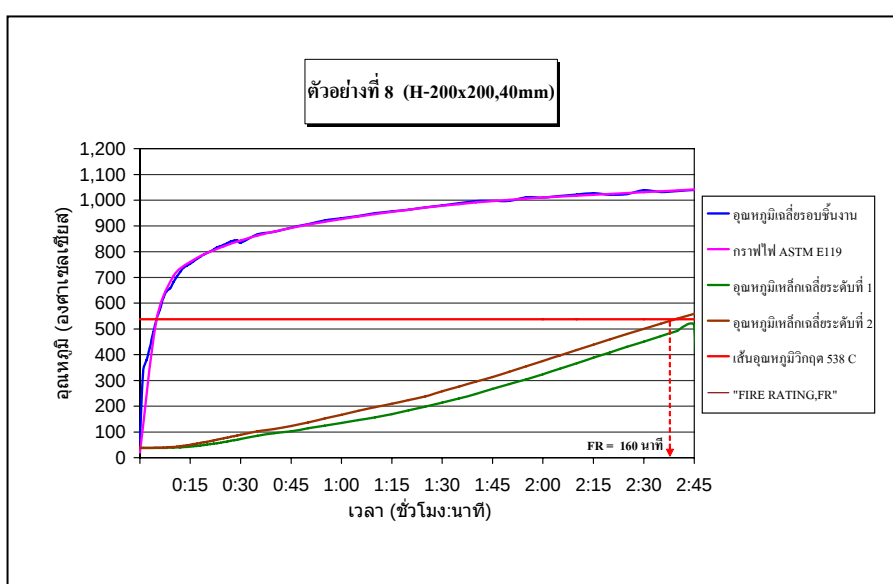


ภาพที่ 4-8 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H1502 วัสดุป้องกันไฟหนา 4 cm

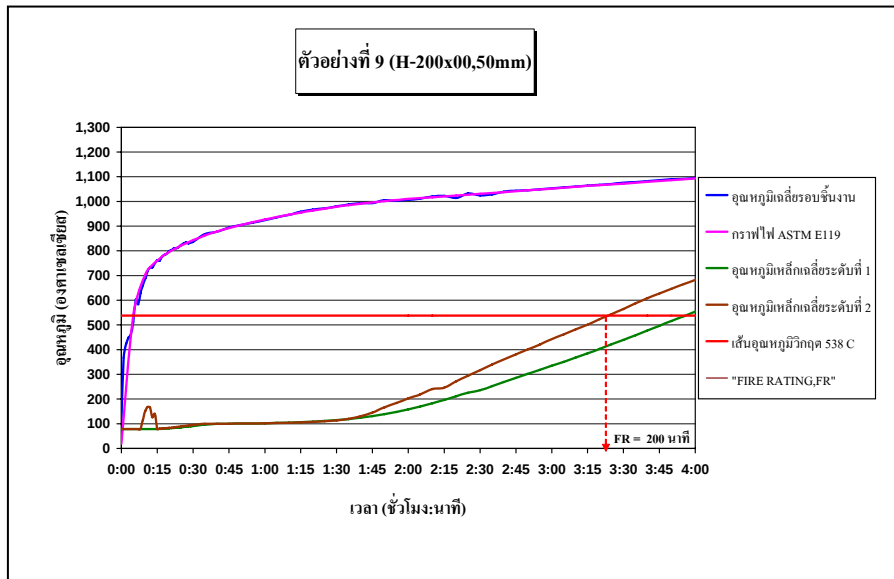


ภาพที่ 4-9 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H1503 วัสดุป้องกันไฟหนา 5 cm

4.1.1.4 ผลการทดสอบการทนไฟของตัวอย่างทดสอบเหล็กรูปพรรณรูปตัวเอช(H) ขนาด H200x200x8x12 mm จำนวน 2 ตัวอย่าง มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 186 m^{-1} เคลือบด้วยวัสดุผสมเพอร์ไลต์หนา 4, 5 cm อัตราการทนไฟที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 160, 200 นาที ดังที่แสดงในกราฟของภาพที่ 4-10 ถึงภาพที่ 4-11

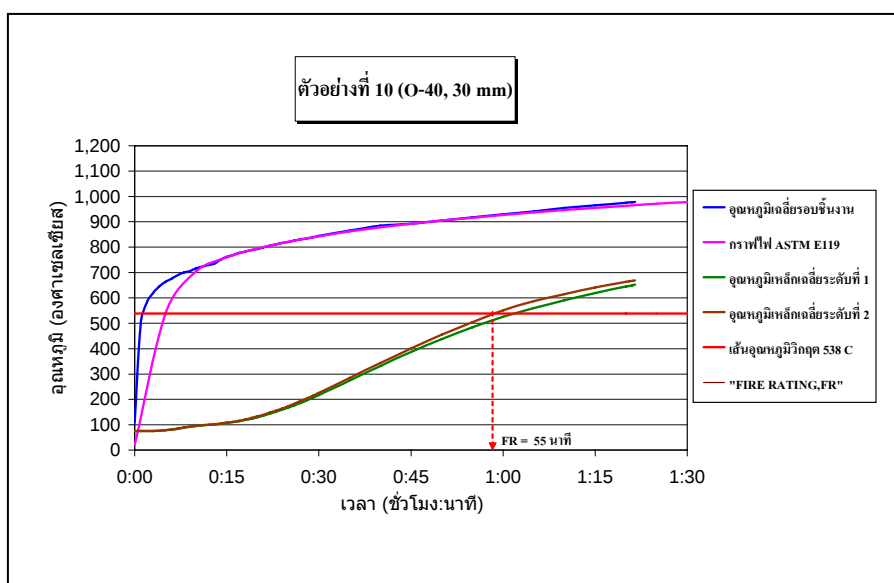


ภาพที่ 4-10 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H2001 วัสดุป้องกันไฟหนา 4 cm



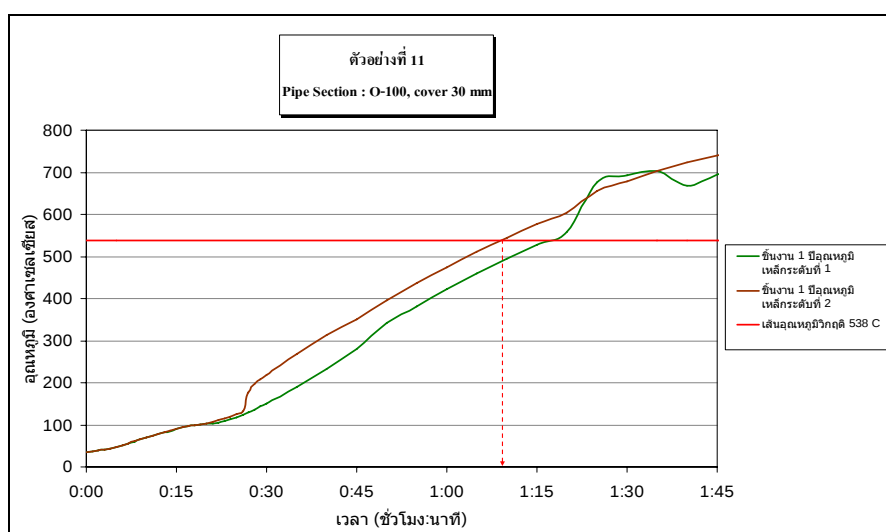
ภาพที่ 4-11 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง H2002 วัสดุป้องกันไฟหนา 5 cm

สรุปเมื่อนำผลการทดสอบอัตราการทนไฟของตัวอย่างเหล็กรูปพรรณรูปตัวเอช (H) ที่มีขนาดหน้าตัดที่ต่างกันและความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ต่างกันมาเปรียบเทียบกันแล้วปรากฏว่าเหล็กที่มีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่กว่าและมีความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมากกว่าจะมีอัตราการทนไฟที่มากกว่าตามไปด้วย

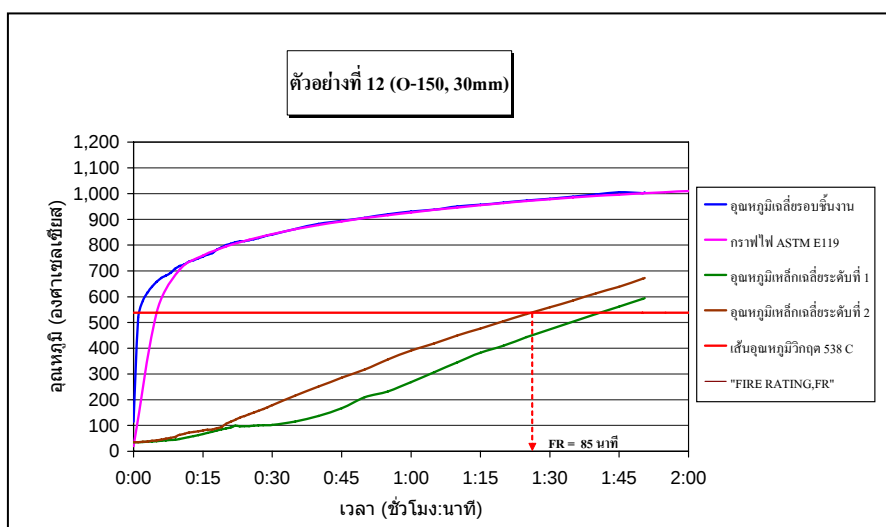


ภาพที่ 4-12 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กท่อกกลม O-40 mm วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm

4.1.1.5 ผลการทดสอบการทนไฟของตัวอย่างทดสอบเหล็กรูปพรรณชนิดท่อกลมกลวง จำนวน 3 ตัวอย่าง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 40, 100, และ 150 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 367, 287, 228 m^{-1} ตามลำดับเคลือบด้วยวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 cm ค่าอัตราการทนไฟที่ได้จากการทดสอบจริงมีค่าเท่ากับ 55, 70, 85 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดหน้าตัดของท่อเหล็กกลมกลวงแตกต่างกันและความหนาของวัสดุป้องกันไฟที่เท่ากันแล้ว อัตราการทนไฟจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าองค์ประกอบของหน้าตัดท่อกลมลดลงดังที่แสดงในกราฟของภาพที่ 4-12 ถึงภาพที่ 4-14



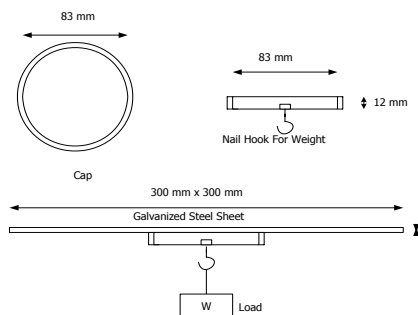
ภาพที่ 4-13 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กท่อกลม O-100 mm วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm



ภาพที่ 4-14 แสดงอัตราการทนไฟของเหล็กท่อกลม O-150 mm วัสดุป้องกันไฟหนา 3 cm

4.1.2 ผลการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟกับเหล็กรูปพรรณ

ในการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวจะทำการทดสอบกับชิ้นตัวอย่างจริงที่มีอายุการติดตั้งวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี โดยการนำเครื่องมือทดสอบไปติดกับชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวโดยใส่น้ำหนักถ่วงทุกๆ 5 kg / min จนกระทั่งวัสดุป้องกันไฟพังทลายลงมา น้ำหนักที่เหมาะสมของการต้านแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดอยู่ระหว่าง 12 – 30 kg ซึ่งยึดตามมาตรฐาน ASTM E736 (Standard Test Method for Cohesive/ Adhesive of Sprayed Fire) ดังแสดงในภาพที่ 4-15 และได้ค่าการยึดเหนี่ยวตามตารางที่ 4-2



(ก) แสดงเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงยึดเหนี่ยว



(ข) การติดตั้งเครื่องมือกับชิ้นงาน



(ค) แสดงการให้น้ำหนักถ่วง 5 kg/ min



(ง) แสดงวัสดุป้องกันไฟหลังการทดสอบ

ภาพที่ 4-15 แสดงวิธีการทดสอบกำลังต้านแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี กับระยะเวลา 1 เดือน

ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (kg/cm^2)	
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยวที่ 1 ปี	กำลังรับแรงยึดเหนี่ยวที่ 1 เดือน
0.835	0.685

4.1.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

การทดสอบการรับแรงอัดของวัสดุป้องกันไฟจะใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ ซึ่งมีอายุการบ่มแห้งต่อเนื่อง 1 ปี มาทำการวัดขนาดด้วยเวอร์เนีย และชั่งน้ำหนักขึ้นตัวอย่าง หลังจากนั้นจะนำไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด เพื่อนำค่าแรงอัดที่ได้ไปคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ ดังแสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่คำนวณได้ภายหลังจากการทดสอบเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดที่ 1 เดือน ดังที่แสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี

ตัวอย่าง ที่	แรงอัด (kg)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	เทียบกำลังอัดเฉลี่ย (kg/cm^2)	
				ที่เวลา 1 ปี	ที่เวลา 1 เดือน
1	514	25.65	20.04	19.61	17.10
2	506	25.85	19.57		
3	525	25.65	20.47		
4	510	26.73	19.08		
5	535	27.04	19.79		
6	498	26.63	18.70		

4.1.4 ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักและปริมาณน้ำของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี เปรียบเทียบกับวัสดุป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ดังที่แสดงในตารางที่ 4-4

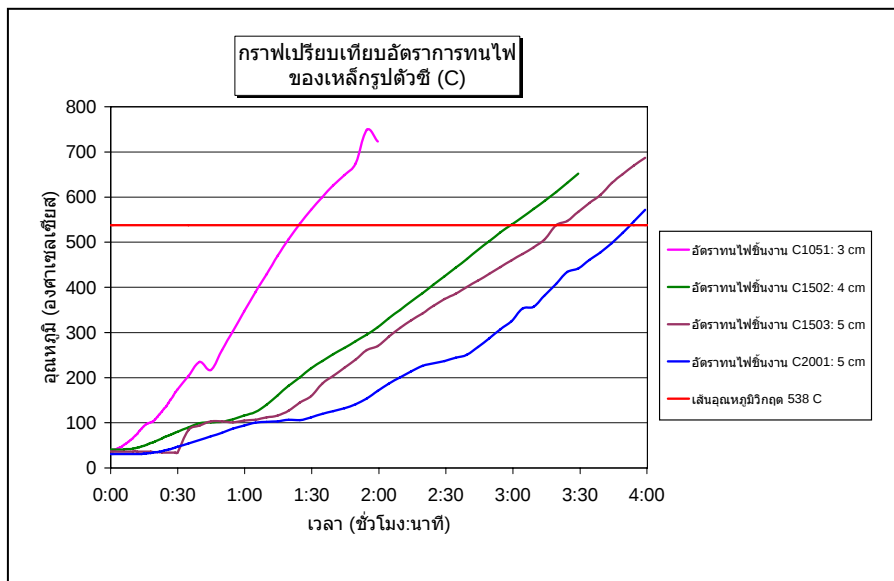
ตารางที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบหน่วยน้ำหนัก ปริมาณน้ำวัสดุป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปีกับ 1 เดือน

ค่าเฉลี่ยหน่วยน้ำหนัก (g/cm^3)		ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ (%)	
ที่เวลา 1 ปี	ที่เวลา 1 เดือน	ที่เวลา 1 ปี	ที่เวลา 1 เดือน
0.696	0.703	3.05	3.42

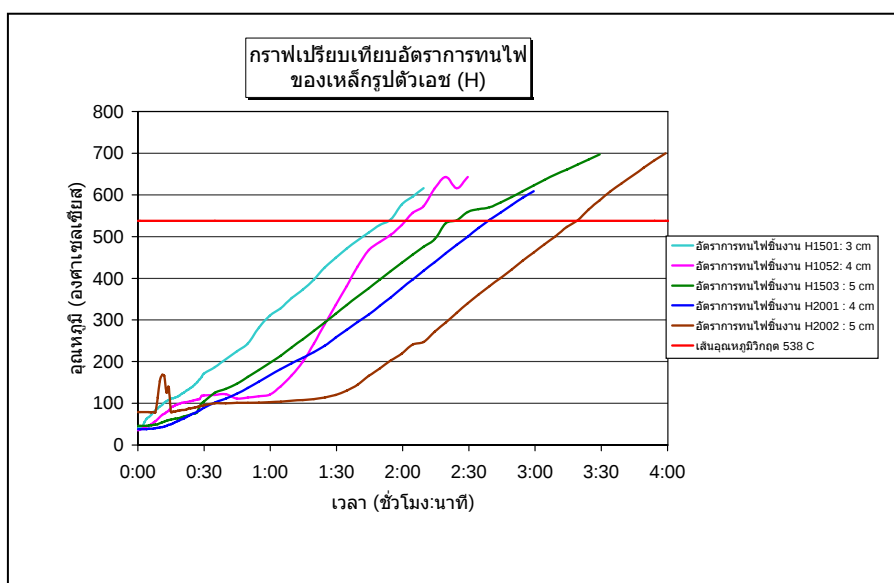
4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี

ในส่วนการวิเคราะห์ผลอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณของแต่ละขนาดหน้าตัดและความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ โดยจะนำข้อมูลจากวิเคราะห์ผลการทดสอบอัตราการทนไฟจากหัวข้อ 4.1 มาเปรียบเทียบกันดังนี้

4.2.1 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ความหนา 3, 4, 5 cm ตัวอย่างเหล็กรูปพรรณขนาด C-150x75x6.5x10 mm และขนาด C-200x80x7.5x11 mm ดังที่แสดงในภาพที่ 4-16



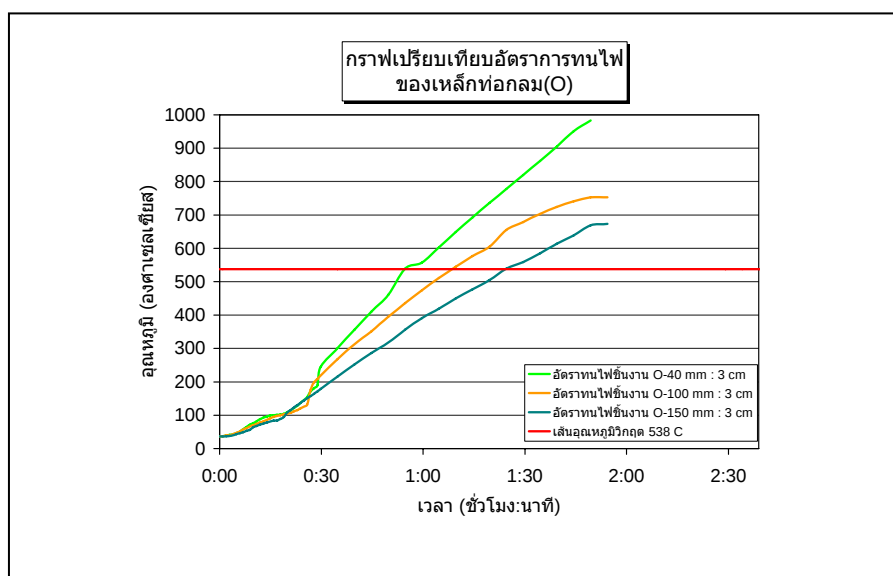
ภาพที่ 4-16 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C1501, C1502, C1503, C2001



ภาพที่ 4-17 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H1501, H1502, H1503, H2001

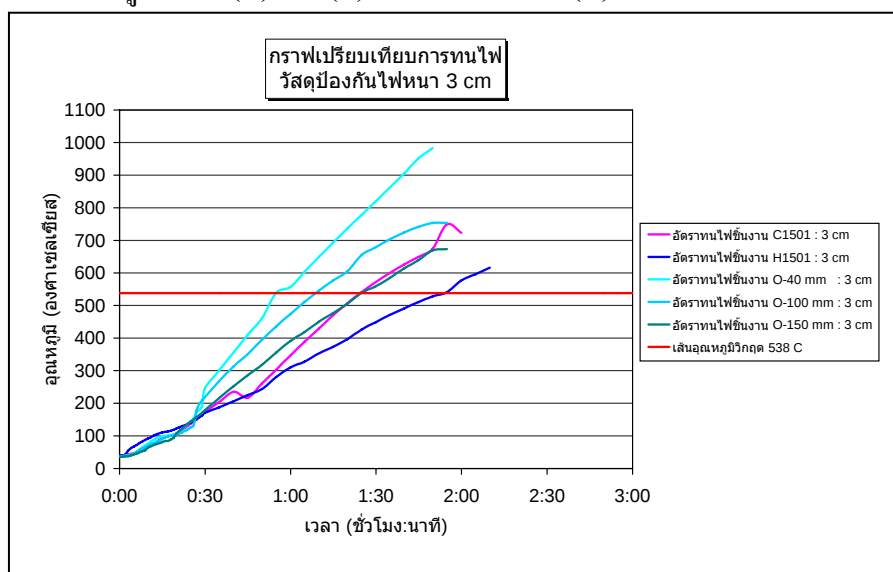
4.2.2 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ความหนา 3, 4, 5 cm ตัวอย่างเหล็กรูปพรรณขนาด H-150x150x7x10 mm และขนาด H-200x200x8x12 mm ดังที่แสดงในภาพที่ 4-17

4.2.3 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ความหนา 3 cm ตัวอย่างเหล็กรูปพรรณชนิดท่อกลมกลวงขนาด O-40 mm,O-100 mm,O-150 mm ดังที่แสดงในภาพที่ 4-18



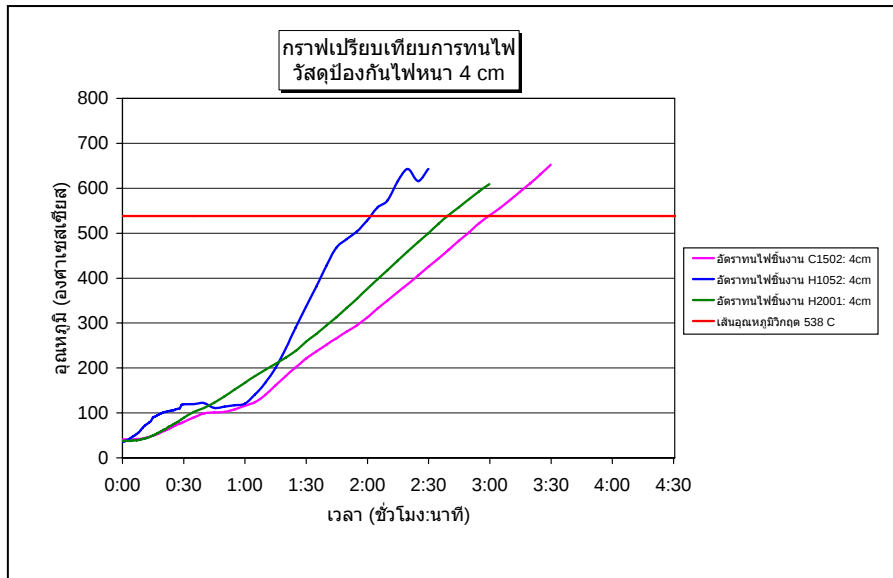
ภาพที่ 4-18 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กท่อกลมกลวง

4.2.4 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ความหนา 3 cm ของตัวอย่างเหล็กรูปพรรณชนิดรูปตัวเอช(H) ตัวซี(C) และท่อกลมกลวง(O) ดังที่แสดงในภาพที่ 4-19



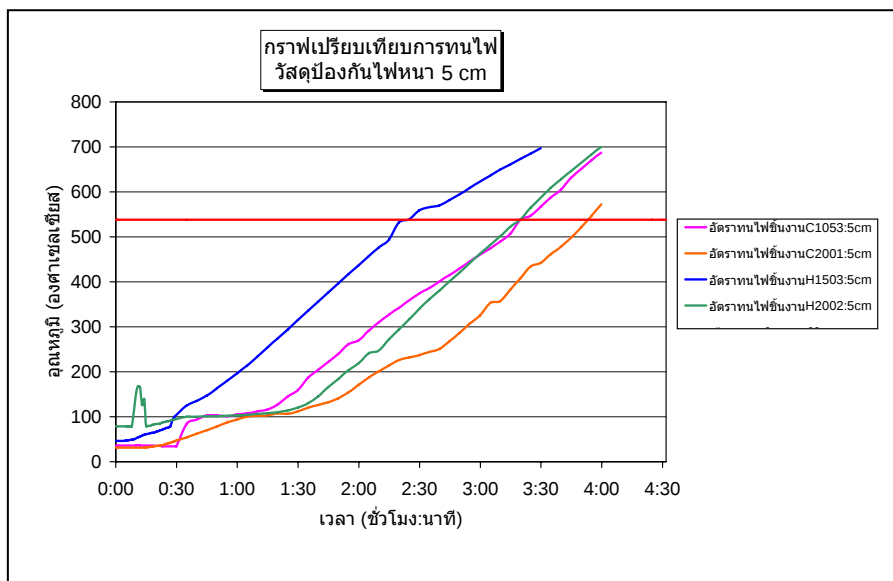
ภาพที่ 4-19 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1501, H1501, O-40,100,150

4.2.5 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ความหนา 4 cm ของชิ้นตัวอย่าง
 เหล็กรูปพรรณชนิดรูปตัวซี(C) ตัวเอช(H) ดังที่แสดงในภาพที่ 4-20



ภาพที่ 4-20 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1502, H1502, H2001

4.2.6 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ความหนา 5 cm ของชิ้นตัวอย่าง
 เหล็กรูปพรรณชนิดรูปตัวซี(C) ตัวเอช(H) ดังที่แสดงในภาพที่ 4-21

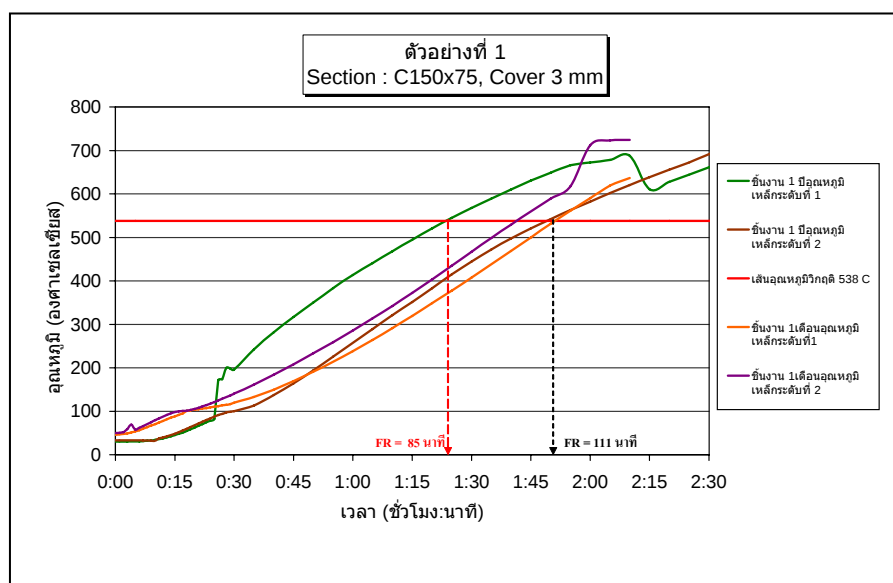


ภาพที่ 4-21 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กตัวอย่าง C1503, C2001, H1503, H2002

4.3 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

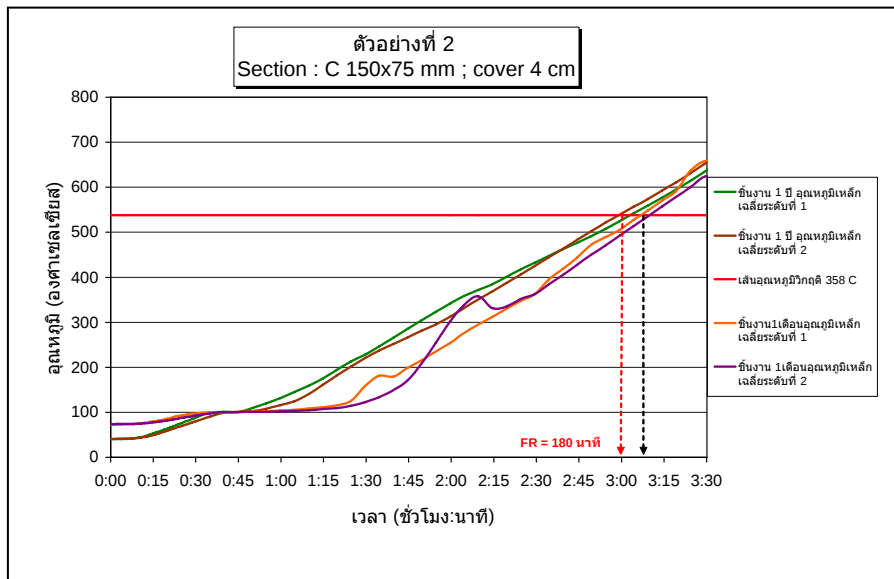
เมื่อได้ผลการวิเคราะห์จากผลทดสอบอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 ปี ของตัวอย่างทั้ง 12 ชิ้น ตัวอย่างในหัวข้อ 4.1.1 แล้วจะนำผลการทดสอบดังกล่าวมาเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็ก รูปพรรณขนาดเดียวกัน และความหนาของวัสดุป้องกันไฟหนาเท่ากับระยะเวลา 1 เดือน เพื่อเปรียบเทียบผลของอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในระยะเวลาการติดตั้งที่ต่าง ช่วงเวลากันตามตารางการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทำวิจัยทั้งหมด ที่อุณหภูมิวิกฤติในภาคผนวก ข

4.3.1 วิเคราะห์การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 3 cm ของเหล็กตัวอย่างรูปตัวซีขนาด C-150x75x6.5x10 mm มีค่าองค์ประกอบของน้ำดีเท่ากับ 248 m^{-1} ที่ระยะเวลาติดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-22



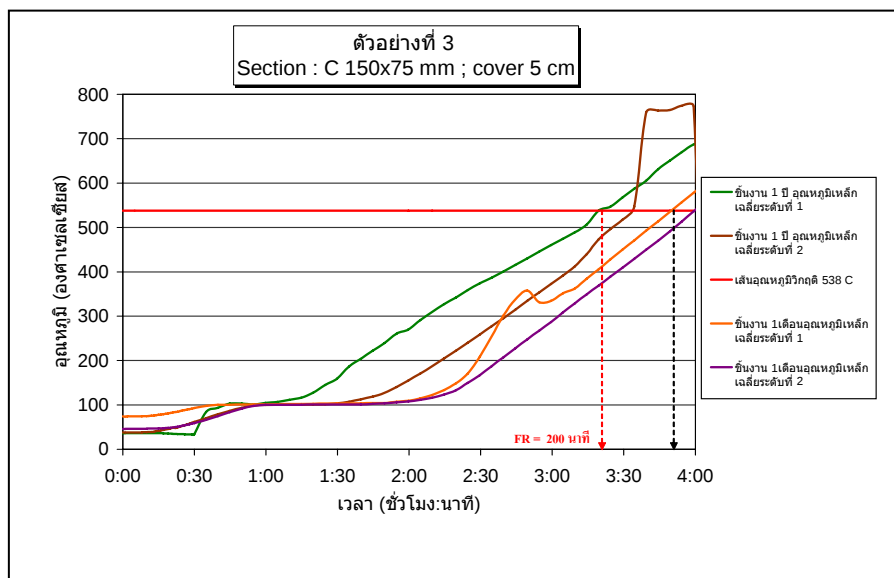
ภาพที่ 4-22 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C1501 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.2 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 4 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปตัวซีขนาด C-150x75x6.5x10 mm มีค่าองค์ประกอบของน้ำดีเท่ากับ 248 m^{-1} ที่ระยะเวลาติดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-23



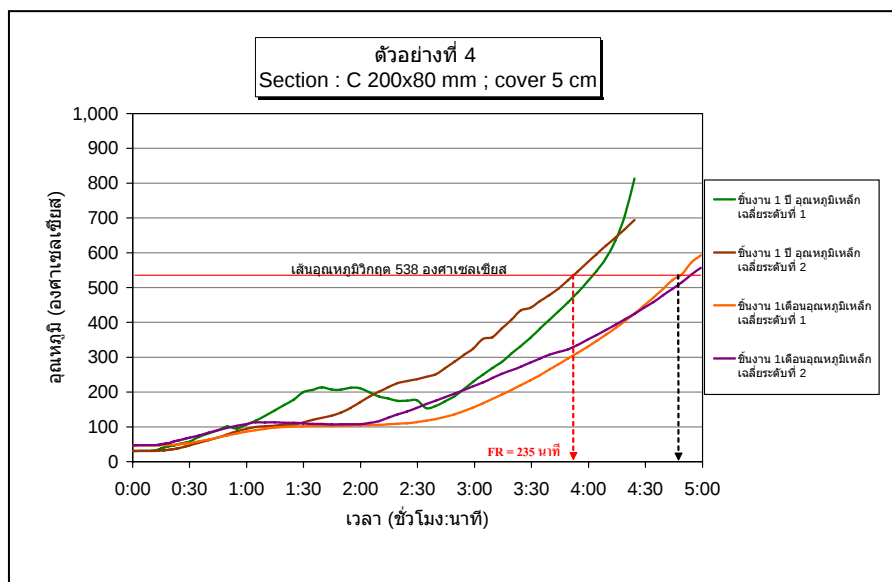
ภาพที่ 4-23 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C1502 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.3 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 5 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปตัวซีขนาด C-150x75x6.5x10 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 248 m^{-1} ที่ระยะเวลาคิดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-24



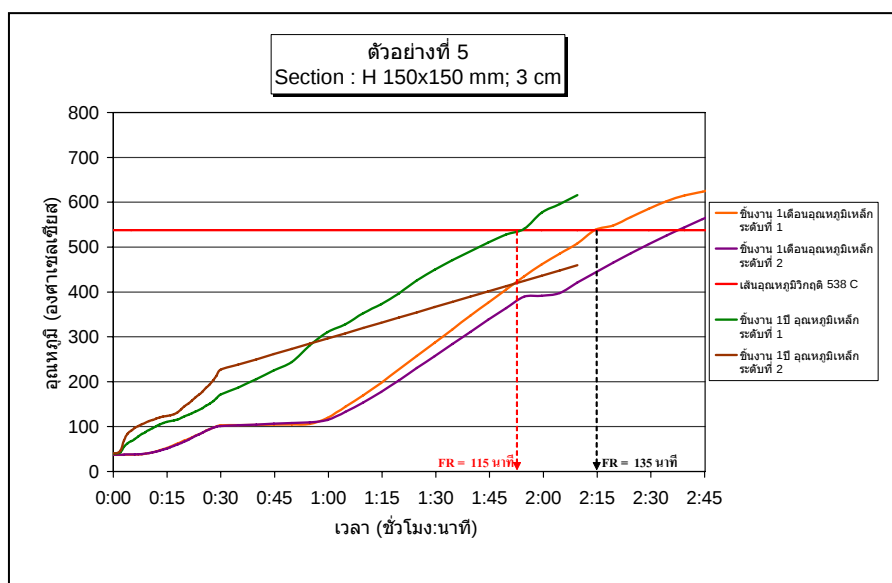
ภาพที่ 4-24 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C1503 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.4 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 5 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปตัวซีขนาด C-200x80x7.5x11 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 225 m^{-1} ที่ระยะเวลาติดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-25



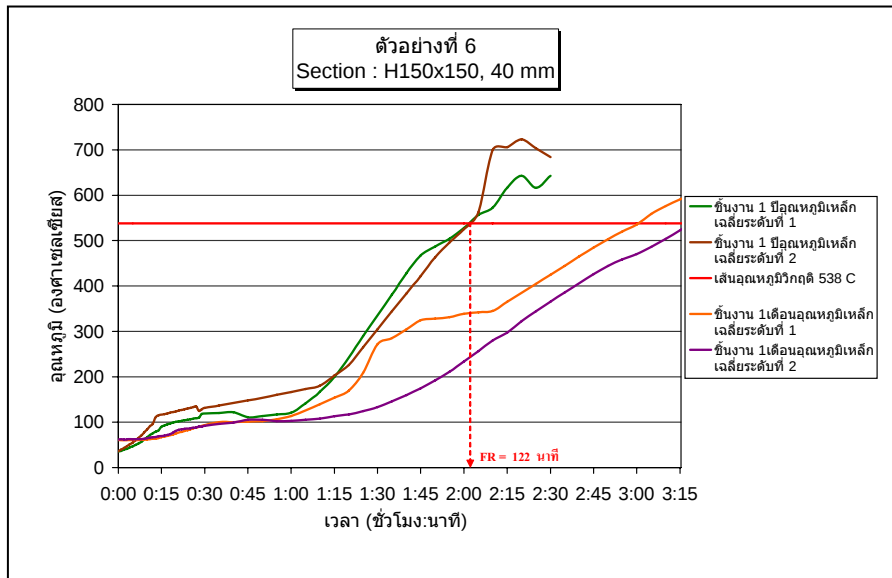
ภาพที่ 4-25 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง C2001 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.5 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 3 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปตัวเอชขนาด H-150x150x7x10 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 221 m^{-1} ที่ระยะเวลาติดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-26



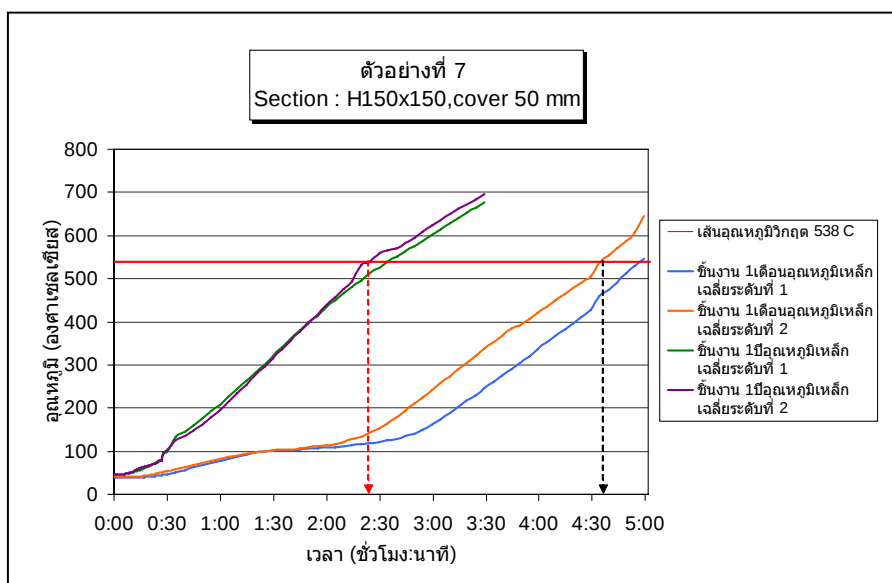
ภาพที่ 4-26 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H1501 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.6 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 4 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปตัวเอชขนาด H-150x150x7x10 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 221 m^{-1} ที่ระยะเวลาคิดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-27



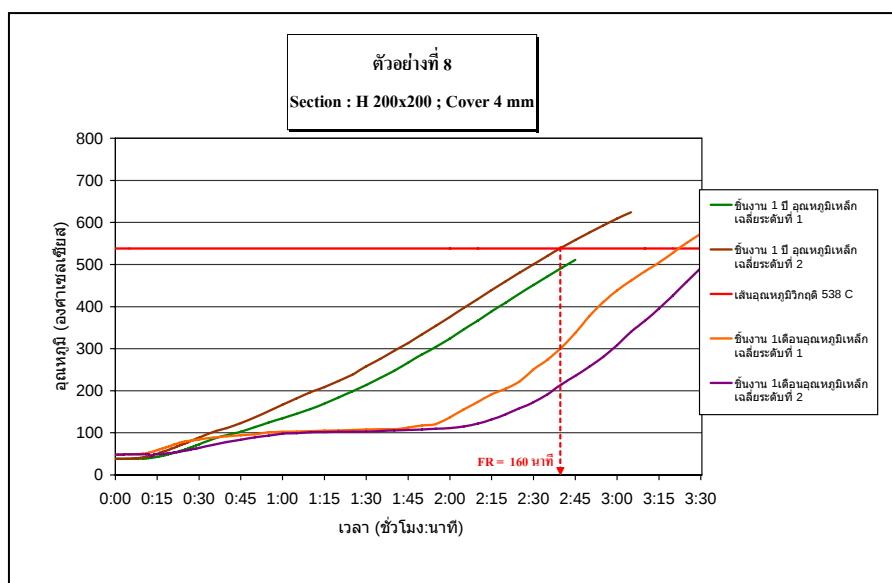
ภาพที่ 4-27 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H1502 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.7 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 5 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปตัวเอชขนาด H-150x150x7x10 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 221 m^{-1} ที่ระยะเวลาคิดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-28



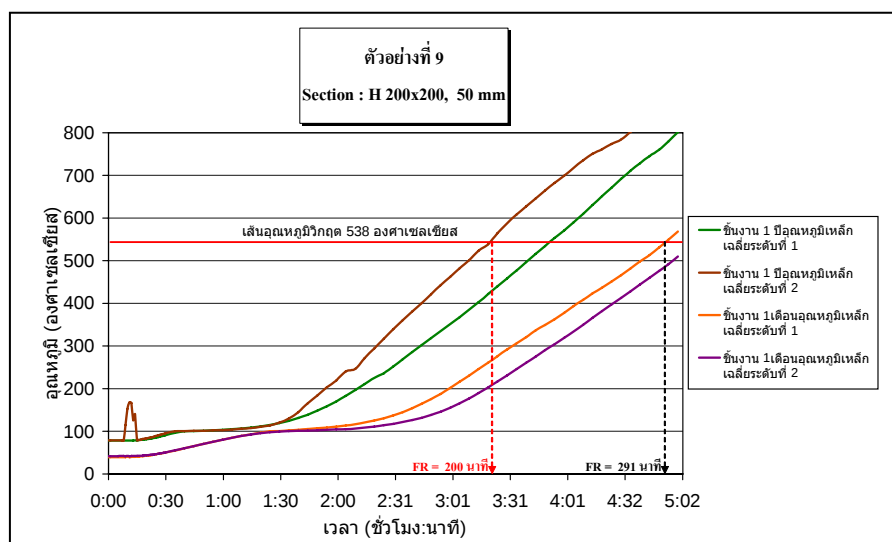
ภาพที่ 4-28 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H1503 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.8 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 4 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปตัวเอชขนาด H-200x200x8x12 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 186 m^{-1} ที่ระยะเวลาติดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-29



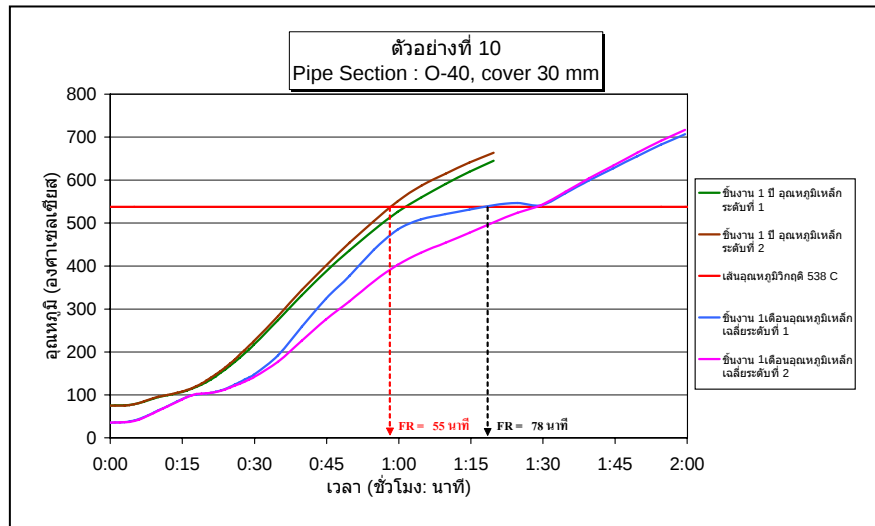
ภาพที่ 4-29 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H2001 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.9 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 5 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปตัวเอชขนาด H-200x200x8x12 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 186 m^{-1} ที่ระยะเวลาติดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-30



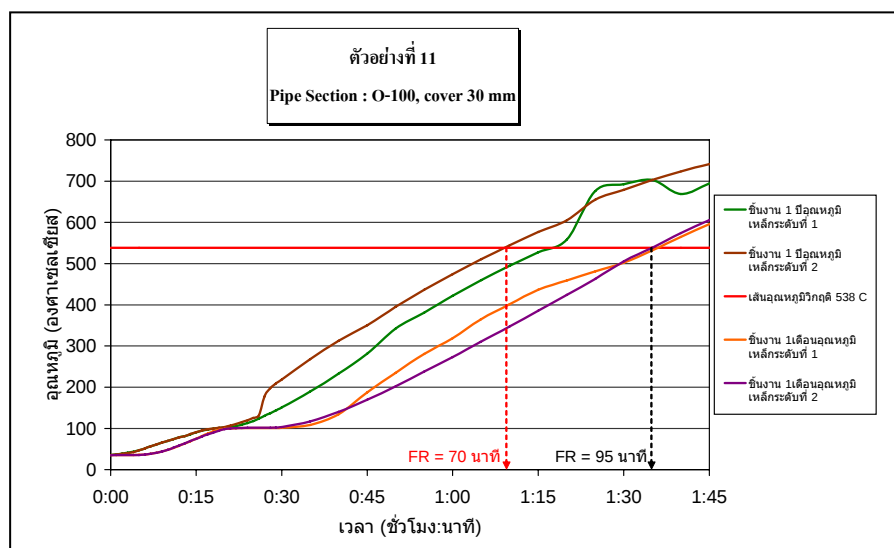
ภาพที่ 4-30 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่าง H2002 ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.10 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 3 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปท่อกกลมขนาด O-40 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 367 m^{-1} ที่ระยะเวลาดัดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปี จะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-31



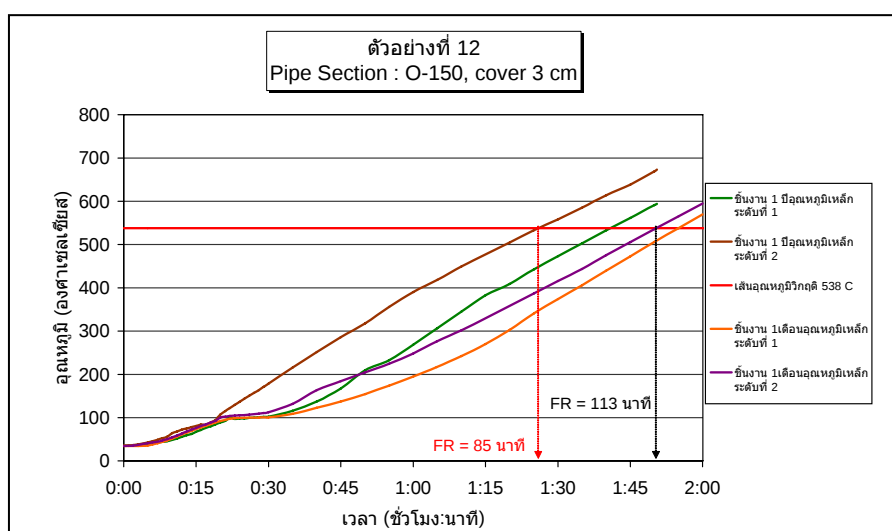
ภาพที่ 4-31 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของขึ้นตัวอย่าง O-40 mm ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.11 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 3 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปท่อกกลมขนาด O-100 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 287 m^{-1} ที่ระยะเวลาดัดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปี จะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-32



ภาพที่ 4-32 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของขึ้นตัวอย่าง O-100 mm ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

4.3.12 การเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 3 cm ของเหล็ก ตัวอย่างรูปท่อกกลมขนาด O-150 mm มีค่าองค์ประกอบของหน้าตัดเท่ากับ 228 m^{-1} ที่ระยะเวลาติดตั้ง 1 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการทนไฟที่ 1 ปีจะลดลงดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4-33



ภาพที่ 4-33 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟของชั้นตัวอย่าง O-150 mm ที่ระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

สรุปเมื่อนำผลการวิเคราะห์อัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ที่ติดตั้งบนชั้นตัวอย่างทดสอบที่ระยะเวลา 1 ปี มาเปรียบเทียบกับอัตราการทนไฟของการติดตั้งวัสดุเคลือบผิวประเภทเดียวกันกับตัวอย่างทดสอบที่ระยะเวลา 1 เดือนแล้วปรากฏว่าอัตราการทนไฟที่ติดตั้งด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟไว้ระยะเวลา 1 ปี มีค่าอัตราการทนไฟลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งพอจะวิเคราะห์ได้จากสาเหตุการลดลงของอัตราการทนไฟเนื่องจากปัญหาการเกิดรอยร้าวเล็กๆ ตามผิวทั่วไปของวัสดุป้องกันไฟเกิดขึ้นเนื่องจากการหดยขยายตัวที่ไม่เท่ากันของเหล็กรูปพรรณกับวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเมื่อมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจากการสูญเสียน้ำไปกับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์จึงทำให้เกิดรอยแตกเพิ่มขึ้นมาเรื่อยๆ โดยลักษณะของรอยแตกร้าวมักจะเกิดขึ้นในสองทิศทางกับหน้าตัดเหล็กรูปพรรณส่วนมากจะเกิดในแนวนานกับหน้าตัดมากกว่าแนวตั้งฉากกับหน้าตัดเพราะเหล็กจะขยายตัวตามแนวแกนได้ดีกว่า ดังที่แสดงลักษณะรอยแตกร้าวมักจะเกิดขึ้นตัวอย่างทดสอบในภาคผนวก ก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวลดลงด้วยจึงเกิดรอยแตกร้าวมากขึ้นทำให้อุณหภูมิความร้อนจากไฟเข้าถึงเนื้อเหล็กรูปพรรณได้เร็วขึ้น ภายหลังการทดสอบเผาชั้นตัวอย่างพบว่าเกิดรอยแตกขนาดใหญ่เกิดขึ้นจำนวนมากรอบๆ ตัวอย่างทดสอบโดยเฉพาะในแนวนานกับหน้าตัดเหล็กจะมีรอยแตกแยกออกขนาดประมาณ 3 mm บางตำแหน่งของตัวอย่างวัสดุป้องกันไฟจะพังทลายหลุด

ออกมาเป็นชั้นๆ ทำให้ไฟเข้าถึงเนื้อเหล็กรูปพรรณได้เร็วมากขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 ปี ลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน ดังที่แสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบอัตราการทนไฟวัสดุป้องกันไฟเคลือบผิวเหล็กระยะเวลา 1 ปี กับ 1 เดือน

ตัวอย่างทดสอบที่	สัญลักษณ์ตัวอย่างทดสอบ	ค่า Hp/A (m^{-1})	ความหนาวัสดุป้องกันไฟ (cm)	อัตราการทนไฟเฉลี่ยอุณหภูมิวิกฤติ 538 C (นาที)		อัตราการทนไฟที่ 1 ปี มีค่าลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน	
				ระยะเวลา 1 ปี	ระยะเวลา 1 เดือน	ค่าทนไฟลดลง(%)	ค่าเฉลี่ย (%)
1	C1501	248	3	85	111	23.42	15 %
2	C1502	248	4	180	187	3.74	
3	C1503	248	5	200	232	13.79	
4	C2001	225	5	235	290	18.96	
5	H1501	221	3	115	135	14.81	24 %
6	H1502	221	4	122	203	39.90	
7	H1503	221	5	145	277	47.65	
8	H2001	186	4	160	181	11.60	
9	H2002	186	5	200	291	31.27	
10	O-40 mm	367	3	55	78	29.48	27 %
11	O-100 mm	287	3	70	95	26.31	
12	O-150 mm	228	3	85	113	24.77	

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

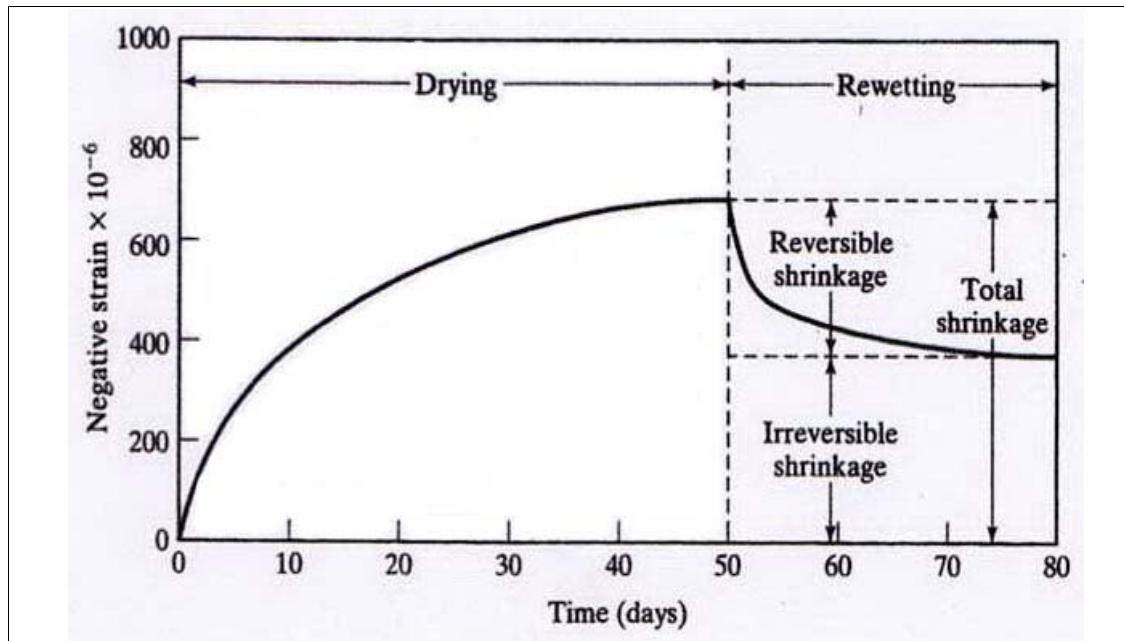
5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบอัตราการทนไฟของตัวอย่างทดสอบของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ในระยะยาวทั้ง 12 ชิ้นตัวอย่าง สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้พร้อมทั้งผลการวิเคราะห์อัตราการทนไฟในระยะเวลา 1 ปีซึ่งอัตราการทนไฟลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา 1 เดือน ผลการวิเคราะห์ค่าแรงยึดเหนี่ยว ค่ากำลังรับแรงอัด และค่าน้ำหนักน้ำหนักรวสคูเคลือบผิวป้องกันไฟ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

จากการวิเคราะห์ผลอัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี มีค่าการทนไฟลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน อาจเป็นเพราะสาเหตุต่อไปนี้

5.1.1 การเกิดรอยแตกร้าวของผิววัสดุเคลือบป้องกันไฟ

5.1.1.1 เกิดรอยร้าวขึ้นกับผิววัสดุป้องกันไฟซึ่งจะเกิดก่อนการทดสอบ รอยร้าวส่วนนี้เกิดขึ้นจากการหดตัวของวัสดุเคลือบป้องกันไฟเนื่องมาจากการสูญเสียไอน้ำขณะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิประจำวันทำให้น้ำจากวัสดุเคลือบป้องกันไฟระเหยออกมาข้างนอกจึงทำให้เกิดรอยแตกร้าวเล็กๆ โดยรอบวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟในระยะเวลาที่นานวันขึ้นลักษณะการหดตัวของวัสดุป้องกันไฟที่มีคุณสมบัติเป็นมอร์ต้า ยิ่งนานวันการหดตัวก็จะยิ่งหดตัวมากตามไปด้วยเมื่อเทียบกับกราฟการหดตัวของคอนกรีต อาจจะพอประมาณการหดตัวของวัสดุป้องกันไฟได้จากกราฟความสัมพันธ์การหดของคอนกรีตดังแสดงในภาพที่ 5-1



ภาพที่ 5-1 กราฟแสดงการหดตัวของคอนกรีตเมื่อเทียบกับระยะเวลา

5.1.1.2 การเกิดรอยแตกร้าวภายหลังการทดสอบซึ่งจะเกิดขึ้นขณะที่ขึ้นตัวอย่างทดสอบถูกไฟเผาทำให้ปริมาณน้ำภายในวัสดุเคลือบป้องกันไฟถูกความร้อนจนน้ำกลายสภาพเป็นไอน้ำระเหยออกสู่ภายนอกผิวของวัสดุป้องกันไฟจึงทำให้ความร้อนผ่านเข้าไปยังเหล็กรูปพรรณตัวอย่างทดสอบได้เร็วขึ้นส่งผลให้เกิดการแตกร้าวเพิ่มมากขึ้นการพังทลายจะหลุดออกเป็นชั้นๆ ในบางตำแหน่งของวัสดุป้องกันไฟทำให้อัตราการทนไฟลดลง

5.1.1.3 การเกิดรอยร้าวเนื่องจากขณะทำการทดสอบการเผาตัวอย่างอยู่นั้นความร้อนจากหัวปล่อยไฟจะมีค่าความร้อนไม่เท่ากันซึ่งอาจทำให้บางตำแหน่งของตัวอย่างได้รับความร้อนมากกว่าจุดอื่น และจากการวิเคราะห์กราฟไฟพบว่าที่อุณหภูมิเข้าใกล้ 100°C การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้าๆ เนื่องจากความร้อนถูกใช้ไปในการระเหยของน้ำดังนั้นหากมีบางจุดของตัวอย่างได้รับความร้อนมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ก็อาจทำให้น้ำระเหยออกหมดเร็วขึ้นกว่าจุดอื่นจึงทำให้อัตราการทนไฟเพิ่มขึ้นรวดเร็วซึ่งเป็นผลให้การทนไฟลดลงไปด้วย

5.1.1.4 เกิดจากสัดส่วนผสมที่ไม่คงที่หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันขณะที่ทำการผสมเพื่อทำการติดตั้งวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟถ้าหากมีปริมาณปูนซีเมนต์ผสมอยู่มากเกินไปก็จะทำให้ปริมาณน้ำลดลงอย่างรวดเร็วเพราะปูนซีเมนต์ต้องการใช้น้ำไปทำปฏิกิริยาทางเคมีและทำให้เกิดความร้อนขึ้นจึงเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้อัตราการทนไฟลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน

5.1.1.5 จากความหนาแน่นที่ไม่สม่ำเสมอหรือไม่แน่นอนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ ซึ่งเกิดจากแรงดันของเครื่องฟ่นวัสดุเคลือบผิว เช่น ขนาดของหัวฟ่น ระยะของการฟ่น ความชำนาญของคนฟ่น ล้วนเป็นสาเหตุของการทำให้เนื้อวัสดุป้องกันไฟไม่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ กัน มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิววัสดุโดยรอบขึ้นตัวอย่างและ ความหนาไม่ได้ตามที่ระบุจึงทำให้การทนไฟ ลดลงได้

สรุปสาเหตุการลดลงของอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 ปี ลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน เนื่องมาจากการสูญเสียและการหดตัวของวัสดุป้องกันไฟทำให้เกิดรอยแตกร้าวและสาเหตุอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งผลการวิเคราะห์อัตราการทนไฟของชิ้นตัวอย่างทดสอบตามที่ได้สรุปผลไว้ใน หัวข้อ 5.1.2 ถึงหัวข้อ 5.1.5

5.1.2 ค่าอัตราการทนไฟวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี ของเหล็กรูปพรรณตัวอย่าง รูปตัวซี (C) มีค่าการทนไฟลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน มีค่าเฉลี่ยลดลงประมาณ 15 เปอร์เซนต์

5.1.3 ค่าอัตราการทนไฟวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี ของเหล็กรูปพรรณตัวอย่าง รูปตัวเอช (H) มีค่าการทนไฟลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน มีค่าเฉลี่ยลดลงประมาณ 24 เปอร์เซนต์

5.1.4 ค่าอัตราการทนไฟวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ระยะเวลา 1 ปี ของเหล็กรูปพรรณตัวอย่าง ชนิดท่อกลมกลวงมีค่าการทนไฟลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน มีค่าเฉลี่ยลดลงประมาณ 27 เปอร์เซนต์

5.1.5 ค่าอัตราการทนไฟวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ ระยะเวลา 1 ปี จะลดลงจากระยะเวลา 1 เดือน จากชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ใช้ทำวิจัยทั้ง 12 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยลดลง ประมาณ 15-22 เปอร์เซนต์ ซึ่งในระยะเวลาที่มากกว่า 1 ปีหรือเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ก็พอจะทำนายได้ว่า อัตราการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟดังกล่าวจะลดลงไปได้เรื่อยๆ เช่นกัน

5.1.6 สำหรับค่าการยึดเหนี่ยว ค่ากำลังรับแรงอัด และค่าหน่วยน้ำหนักเป็นไปตามเกณฑ์ที่ ขอมรับได้เมื่อเทียบกับค่าดังกล่าวของต่างประเทศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรมีการปรับปรุงสัดส่วนผสมโดยเพิ่มวัสดุผสมประเภทที่เป็น ฉนวนเพิ่มขึ้น และวัสดุชนิดที่เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวมีความเหนียวมากขึ้น

5.2.2 การฟ่นวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณควรฟ่นให้มีความหนาที่สม่ำเสมอและ ฟ่นให้เท่าๆ กันในทุกจุดของโครงสร้าง เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่แน่นอนและละเอียดยิ่งขึ้น

5.2.3 ในการวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเพียงอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้าง เหล็กรูปพรรณในระยะยาวเท่านั้นในอนาคตควรมีการศึกษาต่อในด้านพฤติกรรมของเหล็ก

รูปพรรณที่ทำการทดสอบในงานวิจัยนี้ ภายหลังจากการทดสอบอัตราการทนไฟ ผ่านไปแล้วหลัก
รูปพรรณที่ทำการทดสอบยังสามารถที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกหรือไม่ ถ้าใช้ได้ควรจะ
นำมาใช้กับงานในลักษณะใด

5.2.4 ในการทดสอบแต่ละครั้งควรทำการทดสอบชิ้นตัวอย่างเพียงชิ้นตัวอย่างเดียวในการ
ทดสอบการทนไฟเพื่อให้อุณหภูมิความร้อนได้เข้าสู่ชิ้นตัวอย่างทดสอบในทุกๆ ด้านเท่ากันซึ่งจะ
ได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

5.2.5 ควรมีการศึกษาถึงพฤติกรรมการทนไฟของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีรูปร่างหน้าตัด
ประเภทเหล็กรูปรางน้ำ เหล็กรูปกล่อง และเหล็กโครงหลังคา ปัจจุบันนิยมนำมาใช้กันมากเพื่อให้
เกิดความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- ัชชาวล เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เดอะพรินท์ อินเตอร์เนชั่นแนล, 2537.
- ปิติ สุคนธ์สุขกุล. คอนกรีตขั้นพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : ห้างฯ ป. สัมพันธ์พาณิชย์, 2529.
- สมศักดิ์ คำปลิว. คู่มือการออกแบบวิเคราะห์โครงสร้างอาคาร ค.ส.ล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท จริยสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด, 2549.
- สรุติ ญาณภีรต์. การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผสมของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็ก
รูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- สุรินทร์ สุทธิประภา. การศึกษาอัตราการต้านทานไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเคลือบด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ในระยะยาว. รายงานการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 1 สมาคมคอนกรีตไทย (ส.ค.ท.) ตุลาคม 2548, หน้า 108-113.

ภาษาอังกฤษ

- Andrew H. Buchanan. Structural Design for Fire Safety, New York : John Wiley & Sons , 2000.
- Bardell, K. Spray-Applied Fire Resistive Coatings for Steel Building Columns. Fire Resistive Coating : The Need for Standards ASTM, SPT 826 (1983) : 40-55.
- Gratzol., O. K. and Diliberto, M. C. A Comparison of Fire Resistive Coatings in ASTM E119 and Proposed ASTM E5 Hydrocarbon Pool-Fire Test Environments. Fire Resistive Coatings : The Need for Standards ASTM , STP826 (1983) : 68-93.
- Harold W. Brewer. General Relation of Heat Flow Factors to the Unit Weight of Concrete. Journal of PCA Research and Development Laboratories 9, 1(January 1967) .

John A. Purkiss. Fire Safety Engineering Design of Structures, Boston : Butterworth Heinemann, 1996.

J.C. Payne B. Sc. Fire Protection for Steel Structures by Direct Sprayed Materials. Presented at 1st Conference on Structural Engineering. Manila , October 1981.

Lie, T.T. and Harmathy, T.Z. Fire Endurance of Concrete-Protected Steel Columns. ACI Journal **71** , January 1974.

Mindess, S., Yong, J., and Darwin , D., Concrete. 2nd Edition. USA. : Prentice Hall, 2003.

Smith, R.H. Improving the Fire Endurance of Concrete with Gypsum Aggregate. ACI Journal **69** , October 1972.

Tasnim Uddin and Charles G. Culver. Effects of Elevated Temperature on Structural Members, “Journal of Structural Division, ASCE 101” , ST7(July 1975), Proceeding Paper 11440 :1531-1549.

William A. Rains. A New Era in Fire Protection Coatings for Steel. Civil Engineering– ASCE, September 1976.

ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลอุณหภูมิการเผาตัวอย่างทดสอบ

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1501 (C-150x75x18.6 kg)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:00:00	60	55	72	79	133	89	81	0:00:00	20
0:01:00	331	401	490	563	542	447	462	0:05:00	538
0:02:00	420	511	550	625	595	510	535	0:10:00	704
0:03:00	489	533	601	617	615	550	568	0:15:00	760
0:04:00	530	564	625	619	618	583	590	0:20:00	795
0:05:00	556	596	636	645	624	583	607	0:25:00	821
0:06:00	572	614	646	652	630	600	619	0:30:00	843
0:07:00	602	637	653	673	656	602	637	0:35:00	862
0:08:00	622	667	668	696	674	614	657	0:40:00	878
0:09:00	640	680	681	706	681	628	669	0:45:00	892
0:10:00	652	693	688	712	691	638	679	0:50:00	905
0:11:00	673	723	712	745	717	658	705	0:55:00	916
0:12:00	694	749	725	764	734	674	723	1:00:00	927
0:13:00	706	764	737	769	738	688	734	1:05:00	937
0:14:00	720	771	754	783	757	703	748	1:10:00	946
0:15:00	736	784	760	789	770	711	758	1:15:00	955
0:16:00	745	793	768	798	776	718	766	1:20:00	963
0:17:00	754	803	773	803	780	727	773	1:25:00	971
0:18:00	760	806	783	812	791	736	781	1:30:00	978
0:19:00	769	817	790	822	801	739	790	1:35:00	985
0:20:00	774	822	795	822	802	748	794	1:40:00	991
0:21:00	782	825	803	826	809	760	801	1:45:00	996
0:22:00	791	832	807	837	815	764	808	1:50:00	1001
0:23:00	793	838	813	838	822	772	813	1:55:00	1006
0:24:00	800	845	819	838	820	781	817	2:00:00	1010
0:25:00	810	850	824	850	831	781	824	2:10:00	1017
0:26:00	810	856	828	855	830	790	828	2:20:00	1024
0:27:00	819	857	836	856	839	794	834	2:30:00	1031
0:28:00	822	866	839	863	846	797	839	2:40:00	1038
0:29:00	829	871	841	867	852	805	844	2:50:00	1045
0:30:00	834	874	849	873	853	810	849	3:00:00	1052

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:35:00	853	887	866	886	874	832	866	3:10:00	1059
0:40:00	870	906	880	903	887	849	883	3:20:00	1066
0:45:00	885	922	895	916	904	868	898	3:30:00	1072
0:50:00	898	932	906	928	915	878	910	3:40:00	1079
0:55:00	914	945	918	939	929	896	924	3:50:00	1086
1:00:00	921	948	926	943	935	902	929	4:00:00	1093
1:05:00	929	955	934	953	945	912	938	-	-
1:10:00	939	966	942	960	951	923	947	-	-
1:15:00	949	971	955	973	961	934	957	-	-
1:20:00	959	984	963	984	973	944	968	-	-
1:25:00	970	993	970	989	984	956	977	-	-
1:30:00	972	994	969	991	982	957	978	-	-
1:35:00	978	1000	976	996	990	962	984	-	-
1:40:00	982	1003	982	1003	994	967	989	-	-
1:45:00	985	1008	988	1008	997	974	993	-	-
1:50:00	994	1015	995	1012	1003	984	1001	-	-
1:55:00	1001	1020	1001	1019	1008	988	1006	-	-
2:00:00	1003	1024	1007	1025	1013	997	1012	-	-
2:05:00	1011	1032	1014	1032	1018	1003	1018	-	-
2:10:00	1008	1028	1006	1027	1017	999	1014	-	-
2:15:00	1015	1033	1015	1036	1025	1008	1022	-	-
2:20:00	1022	1043	1025	1045	1033	1018	1031	-	-
2:25:00	1024	1046	1027	1047	1036	1017	1033	-	-
2:30:00	1025	1048	1028	1045	1033	1020	1033	-	-
2:35:00	1027	1047	1031	1049	1033	1022	1035	-	-
2:40:00	1032	1053	1035	1053	1037	1028	1040	-	-
2:45:00	1035	1059	1037	1055	1043	1030	1043	-	-

ตารางที่ ก-2 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1501 (C-150x75x18.6 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	39	39	39	39	39	39	39	39
0:01:00	43	41	39	41	41	39	39	40
0:02:00	47	43	40	43	43	40	40	41
0:03:00	51	46	41	46	45	42	41	43
0:04:00	54	50	43	49	48	44	42	45
0:05:00	57	52	46	52	50	47	45	47
0:06:00	61	55	49	55	53	50	49	51
0:07:00	66	58	52	59	56	54	53	54
0:08:00	71	62	56	63	58	59	58	58
0:09:00	77	67	60	68	61	62	63	62
0:10:00	82	72	65	73	64	66	67	66
0:11:00	88	78	69	78	69	72	72	71
0:12:00	95	84	76	85	74	78	76	76
0:13:00	101	91	83	92	80	84	81	82
0:14:00	106	97	90	98	86	90	87	88
0:15:00	112	103	97	104	92	94	92	93
0:16:00	136	107	101	115	96	98	96	97
0:17:00	127	111	103	114	99	99	98	99
0:18:00	128	115	105	116	102	101	99	101
0:19:00	133	120	109	121	105	104	100	103
0:20:00	160	124	113	132	109	109	105	108
0:21:00	159	129	117	135	113	115	111	113
0:22:00	150	135	122	136	117	121	118	119
0:23:00	-	141	129	140	121	128	125	125
0:24:00	-	147	137	142	127	134	132	131
0:25:00	-	154	144	149	132	141	139	137
0:26:00	-	161	152	157	138	148	147	144
0:27:00	-	168	160	164	145	156	155	152
0:28:00	-	176	168	172	151	163	162	159

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:29:00	-	184	176	180	158	171	171	167
0:30:00	-	-	185	185	165	179	179	174
0:35:00	-	-	194	194	204	221	187	204
0:40:00	-	-	203	203	246	265	195	235
0:45:00	-	-	232	232	204	221	226	217
0:50:00	-	-	286	286	246	265	271	261
0:55:00	-	-	393	393	291	-	315	303
1:00:00	-	-	340	340	336	-	358	347
1:05:00	-	-	389	389	380	-	397	389
1:10:00	-	-	436	436	422	-	436	429
1:15:00	-	-	481	481	462	-	477	470
1:20:00	-	-	526	526	501	-	512	507
1:25:00	-	-	562	562	537	-	545	541
1:30:00	-	-	591	591	569	-	574	572
1:35:00	-	-	618	618	598	-	602	600
1:40:00	-	-	644	644	624	-	628	626
1:45:00	-	-	666	666	648	-	650	649

ตารางที่ ก-3 แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1502, C1503

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:00:00	69	67	75	95	112	88	84	0:00:00	20
0:01:00	375	390	594	495	567	549	495	0:05:00	538
0:02:00	492	524	646	608	623	596	582	0:10:00	704
0:03:00	561	587	667	644	648	612	620	0:15:00	760
0:04:00	604	637	679	672	663	625	646	0:20:00	795
0:05:00	623	670	690	701	668	638	665	0:25:00	821
0:06:00	650	692	702	704	686	650	680	0:30:00	843
0:07:00	661	703	715	714	696	665	692	0:35:00	862

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:08:00	677	722	723	728	707	679	706	0:40:00	878
0:09:00	680	734	730	737	712	682	712	0:45:00	892
0:10:00	690	746	733	753	718	687	721	0:50:00	905
0:11:00	704	757	746	757	731	705	733	0:55:00	916
0:12:00	703	766	747	768	730	708	737	1:00:00	927
0:13:00	725	776	760	782	760	715	753	1:05:00	937
0:14:00	741	794	762	795	762	717	762	1:10:00	946
0:15:00	752	803	772	799	769	731	771	1:15:00	955
0:16:00	752	799	766	792	773	723	767	1:20:00	963
0:17:00	758	801	769	804	772	735	773	1:25:00	971
0:18:00	765	805	780	807	784	743	781	1:30:00	978
0:19:00	770	815	787	812	790	754	788	1:35:00	985
0:20:00	779	819	787	812	794	747	790	1:40:00	991
0:21:00	782	827	795	824	796	758	797	1:45:00	996
0:22:00	789	827	801	827	804	764	802	1:50:00	1001
0:23:00	793	833	807	836	814	781	810	1:55:00	1006
0:24:00	799	846	809	838	813	778	814	2:00:00	1010
0:25:00	806	848	813	843	820	783	819	2:10:00	1017
0:26:00	809	850	821	846	824	785	822	2:20:00	1024
0:27:00	816	854	825	849	830	797	829	2:30:00	1031
0:28:00	820	859	829	854	836	803	833	2:40:00	1038
0:29:00	826	864	829	860	842	804	837	2:50:00	1045
0:30:00	830	868	840	866	844	809	843	3:00:00	1052
0:35:00	854	888	860	886	866	830	864	3:10:00	1059
0:40:00	872	906	877	904	886	854	883	3:20:00	1066
0:45:00	886	913	886	910	897	866	893	3:30:00	1072
0:50:00	895	923	899	923	904	882	904	3:40:00	1079
0:55:00	909	934	912	936	918	895	917	3:50:00	1086
1:00:00	921	947	923	948	933	906	930	4:00:00	1093
1:05:00	934	958	935	959	945	922	942	-	-
1:10:00	940	962	938	961	952	922	946	-	-

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
1:15:00	948	971	948	969	958	932	954	-	-
1:20:00	957	979	955	978	965	944	963	-	-
1:25:00	965	989	966	988	974	953	972	-	-
1:30:00	976	996	974	995	982	961	981	-	-
1:35:00	983	1004	983	1005	989	970	989	-	-
1:40:00	990	1013	989	1011	1002	979	997	-	-
1:45:00	1003	1023	1002	1022	1012	990	1009	-	-
1:50:00	990	1011	995	1014	999	984	999	-	-
2:00:00	1002	1023	1003	1023	1010	996	1009	-	-
2:05:00	1008	1030	1007	1026	1017	1001	1015	-	-
2:10:00	1013	1033	1014	1034	1022	1008	1020	-	-
2:15:00	1017	1038	1021	1038	1027	1014	1026	-	-
2:20:00	1014	1029	1013	1032	1018	1010	1019	-	-
2:25:00	1019	1033	1022	1037	1025	1015	1025	-	-
2:30:00	1018	1038	1021	1040	1025	1015	1026	-	-
2:35:00	1021	1041	1025	1044	1029	1020	1030	-	-
2:40:00	1024	1044	1029	1045	1028	1022	1032	-	-
2:45:00	1027	1049	1032	1048	1034	1027	1036	-	-
2:50:00	1031	1051	1031	1051	1036	1027	1038	-	-
2:55:00	1046	1070	1052	1068	1055	1045	1056	-	-
3:00:00	1038	1059	1044	1058	1048	1039	1047	-	-
3:05:00	1038	1060	1042	1059	1043	1037	1047	-	-
3:10:00	1050	1067	1053	1070	1051	1048	1057	-	-
3:15:00	1057	1079	1067	1079	1062	1059	1067	-	-
3:20:00	1057	1076	1063	1078	1061	1059	1066	-	-
3:25:00	1056	1080	1063	1079	1060	1057	1066	-	-
3:30:00	1063	1083	1070	1086	1064	1065	1072	-	-
3:35:00	1063	1089	1075	1088	1067	1071	1075	-	-
3:40:00	1067	1090	1079	1092	1073	1075	1079	-	-
3:45:00	1070	1099	1082	1096	1075	1076	1083	-	-
3:50:00	1073	1102	1084	1096	1074	1079	1085	-	-
3:55:00	865	865	848	824	817	826	841	-	-

ตารางที่ ก-4 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1502 (C-150x75x18.6 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	40	40	40	40		41	41	41
0:01:00	40	40	40	40		41	41	41
0:02:00	40	41	40	40		41	41	41
0:03:00	41	41	40	40		41	42	41
0:04:00	41	41	40	41		41		41
0:05:00	41	41	40	41		41		41
0:06:00	41	41	41	41		41		41
0:07:00	41	42	41	41		42		42
0:08:00	42	42	42	42		42		42
0:09:00	42	44	43	43		42		42
0:10:00	43	45	44	44		43		43
0:11:00	45	46	45	45		44		44
0:12:00	46	48	46	47		45		45
0:13:00	48	50	48	49		46		46
0:14:00	50	52	50	51		48		48
0:15:00	52	55	52	53		49		49
0:16:00	54	57	54	55		51		51
0:17:00	56	59	56	57		53		53
0:18:00	58	62	58	59		55		55
0:19:00	61	64	60	62		57		57
0:20:00	63	66	62	64		59		59
0:21:00	66	69	65	66		61		61
0:22:00	68	71	67	69		63		63
0:23:00	71	74	69	71		65		65
0:24:00	73	76	71	73		68		68
0:25:00	75	78	74	76		70		70
0:26:00	78	81	76	78		72		72
0:27:00	80	84	78	81		74		74
0:28:00	82	86	81	83		76		76

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:29:00	85	89	83	86		78		78
0:30:00	87	92	85	88		80		80
0:35:00	97	104	96	99		90		90
0:40:00	99	106	98	101		99		99
0:45:00	101		101	101		101		101
0:50:00	109		109	109		102		102
0:55:00	121		118	120		108		108
1:00:00	135		128	132		116		116
1:05:00	149		140	145		124		124
1:10:00	164		154	159		140		140
1:15:00	181		169	175		161		161
1:20:00	203		185	194		182		182
1:25:00	224		201	213		201		201
1:30:00	240		217	228		221		221
1:35:00	260		233	247		237		237
1:40:00	282		250	266		252		252
1:45:00	304		266	285		266		266
1:50:00	326		283	304		281		281
1:55:00	346		300	323		295		295
2:00:00	366		317	342		312		312
2:05:00	383		334	358		332		332
2:10:00	392		351	372		350		350
2:15:00	400		369	385		369		369
2:20:00	417		385	401		387		387
2:25:00	432		402	417		406		406
2:30:00	447		419	433		425		425
2:35:00	462		432	447		444		444
2:40:00	477		448	462		463		463
2:45:00	489		464	476		483		483

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
2:50:00	503		480	491		502		502
2:55:00	517		498	508		522		522
3:00:00	533		516	524		539		539
3:05:00	549		535	542		556		556
3:10:00	565		554	559		574		574
3:15:00	581		573	577		592		592
3:20:00	598		593	595		611		611
3:25:00	615		613	614		631		631
3:30:00	634		635	635		652		652
2:50:00	503		480	491		502		502
2:55:00	517		498	508		522		522
3:00:00	533		516	524		539		539
3:05:00	549		535	542		556		556
3:10:00	565		554	559		574		574
3:15:00	581		573	577		592		592
3:20:00	598		593	595		611		611
3:25:00	615		613	614		631		631
3:30:00	634		635	635		652		652

ตารางที่ ก-5 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C1503 (C-150x75x18.6 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	38	34		36	38	37	38	38
0:01:00	39	33		36	38	37	38	38
0:02:00	39	33		36	38	38	38	38
0:03:00	39	33		36	38	38	38	38
0:04:00	39	33		36	38	37	38	38
0:05:00	39	34		36	38	37	38	38
0:06:00	39	33		36	38	37	38	38

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:07:00	39	33		36	39	37	38	38
0:08:00	39	33		36	39	37	38	38
0:09:00	40	33		36	39	37	38	38
0:10:00	41	32		36	39	38	38	38
0:11:00	42	31		37	40	38	39	39
0:12:00	42	31		36	40	38	39	39
0:13:00	43	29		36	41	39	39	39
0:14:00	45	28		36	42		40	41
0:15:00	46	27		36	43		41	42
0:16:00	47	25		36	44		41	42
0:17:00	48	23		36	45		42	43
0:18:00	50	21		36	46		43	44
0:19:00	52	19		35	47		44	46
0:20:00	53	17		35	49		45	47
0:21:00	55	15		35	50		47	48
0:22:00	57	12		35			48	48
0:23:00	59	10		34			49	49
0:24:00	61	8		34			51	51
0:25:00	62	6		34			53	53
0:26:00	64	3		34			54	54
0:27:00	66	1		34			56	56
0:28:00	68	-1		34			58	58
0:29:00	70	-3		34			60	60
0:30:00	72	-5		34			62	62
0:35:00	82	86		84			70	70
0:40:00	94	93		94			79	79
0:45:00	108	98		103			87	87
0:50:00	106	100		103			94	94
0:55:00	102	100		101			99	99

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
1:00:00	108	101		105			100	100
1:05:00	111	103		107			100	100
1:10:00	117	106		112			100	100
1:15:00	121	112		116			100	100
1:20:00	132	122		127			101	101
1:25:00	145			145			102	102
1:30:00	159			159			104	104
1:35:00	176	198		187			107	107
1:00:00	108	101		105			100	100
1:05:00	111	103		107			100	100
1:10:00	117	106		112			100	100
1:15:00	121	112		116			100	100
1:20:00	132	122		127			101	101
1:25:00	145			145			102	102
1:30:00	159			159			104	104
1:35:00	176	198		187			107	107
1:40:00	187	221		204			113	113
1:45:00	201	244		222			119	119
1:50:00	215	264		240			127	127
1:55:00	232	289		261			140	140
2:00:00	248	292		270			155	155
2:05:00	264	318		291			171	171
2:10:00	279	340		310			187	187
2:15:00	295	359		327			205	205
2:20:00	311	374		342			222	222
2:25:00	325	393		359			240	240
2:30:00	339	409		374			258	258
2:35:00	354	419		386			277	277
2:40:00	369	433		401			295	295

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
2:25:00	325	393		359			240	240
2:30:00	339	409		374			258	258
2:35:00	354	419		386			277	277
2:40:00	369	433		401			295	295
2:45:00	384	447		415			315	315
2:50:00	399	461		430			335	335
2:55:00	415	476		445			353	353
3:00:00	430	490		460			373	373
3:05:00	446	503		474			391	391
3:10:00	461	518		489			412	412
3:15:00	476	537		507			439	439
3:20:00	498	578		538			473	473
3:25:00	508	585		547			496	496
3:30:00	524	611		567			517	517
3:35:00	540	634		587			547	547
3:40:00	557	653		605			759	759

ตารางที่ ก-6 แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C2001 (C-200x80x24.6 kg)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:00:00	56	53	77	91	131	90	83	0:00:00	20
0:01:00	351	393	544	493	550	505	473	0:05:00	538
0:02:00	476	507	605	631	659	558	572	0:10:00	704
0:03:00	527	572	617	658	631	561	594	0:15:00	760
0:04:00	576	619	630	677	643	574	620	0:20:00	795
0:05:00	604	641	644	685	653	588	636	0:25:00	821
0:06:00	618	652	666	681	653	609	647	0:30:00	843
0:07:00	637	682	663	716	677	609	664	0:35:00	862
0:08:00	644	682	682	712	675	627	670	0:40:00	878
0:09:00	664	706	707	737	693	646	692	0:45:00	892

ตารางที่ ก-6 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:10:00	683	725	707	744	716	651	704	0:50:00	905
0:11:00	693	731	718	753	716	663	712	0:55:00	916
0:12:00	705	748	736	765	728	678	727	1:00:00	927
0:13:00	719	761	745	779	740	687	738	1:05:00	937
0:14:00	730	768	752	790	748	698	748	1:10:00	946
0:15:00	738	779	754	794	757	702	754	1:15:00	955
0:16:00	746	791	765	803	767	712	764	1:20:00	963
0:17:00	756	795	774	808	776	720	771	1:25:00	971
0:18:00	765	803	775	815	782	724	777	1:30:00	978
0:19:00	771	811	780	825	787	730	784	1:35:00	985
0:20:00	776	813	788	826	792	742	789	1:40:00	991
0:21:00	783	821	797	837	797	747	797	1:45:00	996
0:22:00	795	834	806	846	806	755	807	1:50:00	1001
0:23:00	802	839	810	851	814	762	813	1:55:00	1006
0:24:00	808	845	818	858	822	771	820	2:00:00	1010
0:25:00	813	851	822	857	824	775	824	2:10:00	1017
0:26:00	819	855	830	868	831	782	831	2:20:00	1024
0:27:00	826	861	834	871	838	789	837	2:30:00	1031
0:28:00	830	865	841	878	839	794	841	2:40:00	1038
0:29:00	835	867	844	878	848	800	845	2:50:00	1045
0:30:00	843	876	848	885	851	803	851	3:00:00	1052
0:35:00	850	885	864	892	857	822	862	3:10:00	1059
0:40:00	871	902	880	909	883	843	881	3:20:00	1066
0:45:00	891	921	895	925	898	859	898	3:30:00	1072
0:50:00	898	928	906	931	910	872	907	3:40:00	1079
0:55:00	912	939	917	941	922	887	920	3:50:00	1086
1:00:00	925	953	930	955	934	902	933	4:00:00	1093
1:05:00	932	955	934	962	941	908	939	-	-
1:10:00	938	961	944	964	948	920	946	-	-
1:15:00	949	972	952	976	958	927	956	-	-
1:20:00	958	981	962	986	968	941	966	-	-
1:25:00	969	990	970	994	976	949	975	-	-

ตารางที่ ก-6 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
1:30:00	977	1001	977	1004	983	960	984	-	-
1:35:00	983	1004	986	1006	991	970	990	-	-
1:40:00	989	1009	990	1015	997	975	996	-	-
1:45:00	995	1016	994	1017	1000	981	1000	-	-
1:50:00	1000	1020	1001	1021	1007	987	1006	-	-
1:55:00	992	1008	986	1008	996	976	994	-	-
2:00:00	1001	1015	998	1017	1004	985	1003	-	-
2:05:00	1012	1033	1018	1037	1021	1004	1021	-	-
2:10:00	1009	1025	1008	1028	1013	997	1013	-	-
2:15:00	1017	1037	1018	1040	1024	1005	1023	-	-
2:20:00	1020	1038	1022	1042	1027	1010	1027	-	-
2:25:00	1024	1044	1027	1047	1029	1015	1031	-	-
2:30:00	1029	1048	1032	1050	1031	1021	1035	-	-
2:35:00	1031	1056	1040	1061	1038	1027	1042	-	-
2:40:00	1035	1056	1045	1062	1040	1031	1045	-	-
2:45:00	1027	1048	1034	1051	1029	1024	1035	-	-
2:50:00	1043	1066	1056	1069	1045	1042	1053	-	-
2:55:00	1037	1056	1043	1060	1039	1035	1045	-	-
3:00:00	1042	1065	1049	1066	1045	1041	1051	-	-
3:05:00	1057	1080	1070	1086	1063	1058	1069	-	-
3:10:00	1048	1073	1060	1076	1052	1050	1060	-	-
3:15:00	1053	1075	1065	1080	1056	1057	1064	-	-
3:20:00	1054	1079	1068	1085	1058	1059	1067	-	-
3:25:00	1056	1083	1071	1086	1060	1063	1070	-	-
3:30:00	1059	1088	1076	1091	1067	1068	1075	-	-
3:35:00	1061	1088	1078	1094	1071	1070	1077	-	-
3:40:00	1063	1095	1080	1096	1075	1073	1080	-	-
3:45:00	1065	1095	1085	1100	1074	1075	1082	-	-
3:50:00	1067	1099	1087	1104	1079	1080	1086	-	-
3:55:00	1071	1102	1093	1104	1083	1082	1089	-	-

ตารางที่ ก-7 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ C2001 (C-200x80x24.6 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	31	31	31	31	31	31	31	31
0:01:00	31	30	31	31	31	31	31	31
0:02:00	31	31	31	31	31	31	31	31
0:03:00	31	31	31	31	31	31	31	31
0:04:00	31	31	32	31	31	31	31	31
0:05:00	31	31	32	31	31	31	31	31
0:06:00	31	31	32	31	31	31	31	31
0:07:00	31	31	32	31	31	31	31	31
0:08:00	31	31	32	31	31	31	31	31
0:09:00	31	31	33	31	31	31	31	31
0:10:00	31	31	33	32	31	31	31	31
0:11:00	31	31	34	32	31	31	31	31
0:12:00	31	30	36	32	31	31	31	31
0:13:00	31	30	39	34	31	31	32	31
0:14:00	31	31	45	35	31	31	32	31
0:15:00	32	31	51	38	32	32	33	32
0:16:00	32	31	58	40	32	32	33	32
0:17:00	32	31	63	42	32	32	34	33
0:18:00	32	31	66	43	33	32	35	33
0:19:00	32	32	68	44	33	33	36	34
0:20:00	33	32	70	45	34	33	37	35
0:21:00	33	32	72	46	34	34	38	35
0:22:00	34	33	75	47	35	34	40	36
0:23:00	34	34	78	49	36	35	41	37
0:24:00	35	34	81	50	36	36	43	38
0:25:00	35	35	84	51	37	37	45	40
0:26:00	36	36	85	52	38	38	47	41
0:27:00	37	37	87	54	39	39	49	42
0:28:00	38	38	88	55	40	40	51	44

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:29:00	39	39	89	56	41	41	53	45
0:30:00	41	40	90	57	43	42	55	47
0:35:00	73	47	93	71	49	48	65	54
0:40:00	92	57	94	81	56	56	73	62
0:45:00	106	69	95	90	64	65	80	70
0:50:00	125	81	97	101	73	74	88	78
0:55:00	94	92	99	95	82	83	95	87
1:00:00	108	105		106	90	92	101	94
1:05:00	119	117		118	96	99	104	100
1:10:00	133	131		132	100	102	105	102
1:15:00	144	151		148	102	104	105	103
1:20:00	155	170		162	103	105	111	107
1:25:00	163	193		178	104	108	107	106
1:30:00	182	216		199	106	110	122	112
1:35:00	183	230		206	108	112	138	120
1:40:00	189	238		214	111	115	152	126
1:45:00	189	226		208	114	118	163	132
1:50:00	197	217		207	118	122	183	141
1:55:00	210	215		212	123	127	211	154
2:00:00	211	212		211	130	133	249	171
2:10:00	175	199		187	149	148	306	201
2:20:00	151	198		175	177	169	332	226
2:30:00	154	199		177	209	197	306	237
2:40:00	169	151		160	241	231	281	251
2:50:00	199	177		188	269	270	322	287
3:00:00	233	227		230	311	312	353	325
3:10:00	272	267		269	358	357		357
3:20:00	314	307		311	401	414		408
3:30:00	356	355		355	442			442

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
3:40:00	405	410		407	478			478
3:50:00	455	461		458	521			521
3:55:00	479	493		486	546			546
4:00:00	505	527		516	572			572

ตารางที่ ก-8 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1501, H2001

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:00:00	51	49	59	82	92	68	67	0:00:00	20
0:01:00	247	278	351	408	418	299	334	0:05:00	538
0:02:00	304	345	398	450	440	344	380	0:10:00	704
0:03:00	357	405	444	502	456	398	427	0:15:00	760
0:04:00	442	457	495	512	561	465	489	0:20:00	795
0:05:00	492	501	556	559	595	533	539	0:25:00	821
0:06:00	526	546	603	602	605	570	575	0:30:00	843
0:07:00	575	599	650	638	668	599	621	0:35:00	862
0:08:00	606	637	675	660	683	615	646	0:40:00	878
0:09:00	617	661	684	683	674	629	658	0:45:00	892
0:10:00	649	690	708	700	716	629	682	0:50:00	905
0:11:00	675	719	721	721	737	648	703	0:55:00	916
0:12:00	699	738	740	745	745	662	721	1:00:00	927
0:13:00	722	760	748	760	763	670	737	1:05:00	937
0:14:00	734	773	758	767	766	678	746	1:10:00	946
0:15:00	742	785	759	773	775	686	753	1:15:00	955
0:16:00	753	795	767	789	779	694	763	1:20:00	963
0:17:00	762	801	774	797	789	709	772	1:25:00	971
0:18:00	768	805	784	803	798	722	780	1:30:00	978
0:19:00	779	815	790	812	812	729	789	1:35:00	985
0:20:00	789	820	798	818	809	734	795	1:40:00	991
0:21:00	791	828	803	825	816	749	802	1:45:00	996
0:22:00	801	836	806	833	829	743	808	1:50:00	1001

ตารางที่ ก-8 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:23:00	809	842	816	835	839	757	816	1:55:00	1006
0:24:00	815	846	821	841	839	764	821	2:00:00	1010
0:25:00	816	854	825	848	835	777	826	2:10:00	1017
0:26:00	826	858	832	851	844	782	832	2:20:00	1024
0:27:00	829	866	839	857	858	782	839	2:30:00	1031
0:28:00	833	870	846	865	854	789	843	2:40:00	1038
0:29:00	831	873	847	863	864	790	845	2:50:00	1045
0:30:00	821	859	842	851	850	782	834	3:00:00	1052
0:35:00	852	895	874	881	880	821	867	3:10:00	1059
0:40:00	860	905	880	896	890	828	877	3:20:00	1066
0:45:00	875	916	897	909	911	854	894	3:30:00	1072
0:50:00	891	933	910	921	921	867	907	3:40:00	1079
0:55:00	907	948	922	936	935	880	921	3:50:00	1086
1:00:00	911	954	933	948	940	892	930	4:00:00	1093
1:05:00	920	957	943	957	949	904	938	-	-
1:10:00	931	970	955	964	954	920	949	-	-
1:15:00	939	974	959	971	966	930	957	-	-
1:20:00	944	982	966	973	975	937	963	-	-
1:25:00	954	986	977	984	980	950	972	-	-
1:30:00	964	997	982	988	989	954	979	-	-
1:35:00	971	1003	992	1003	992	968	988	-	-
1:40:00	978	1014	1000	1007	1007	970	996	-	-
1:45:00	984	1013	998	1013	1002	972	997	-	-
1:50:00	983	1013	999	1007	1008	975	998	-	-
1:55:00	994	1025	1013	1021	1021	990	1011	-	-
2:00:00	995	1024	1012	1020	1021	991	1010	-	-
2:05:00	999	1027	1021	1027	1028	998	1017	-	-
2:10:00	1004	1033	1025	1031	1032	1004	1022	-	-
2:15:00	1011	1038	1031	1038	1034	1010	1027	-	-
2:20:00	1004	1033	1023	1032	1026	1004	1020	-	-
2:25:00	1006	1033	1027	1035	1025	1014	1023	-	-
2:30:00	1019	1052	1042	1048	1049	1024	1039	-	-

ตารางที่ ก-8 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
2:35:00	1015	1043	1035	1042	1036	1020	1032	-	-
2:40:00	1016	1044	1040	1046	1041	1022	1035	-	-
2:45:00	1025	1050	1041	1046	1050	1025	1039	-	-
2:50:00	1023	1052	1046	1055	1049	1028	1042	-	-
2:55:00	1027	1054	1048	1053	1052	1030	1044	-	-
3:00:00	1041	1069	1059	1067	1062	1042	1057	-	-

ตารางที่ ก-9 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1501 (H-150x150x31.5 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	37	37	37	37	37	38	38	37
0:01:00	37	37	37	37	37	38	38	37
0:02:00	37	37	37	37	37	38	37	37
0:03:00	37	37	37	37	37	38	37	37
0:04:00	37	37	38	37	37	38	38	38
0:05:00	37	38	38	38	37	39	38	38
0:06:00	37	38		38	38	39	38	38
0:07:00	38	39		38	38	40	38	39
0:08:00	38	39		39	38	40	39	39
0:09:00	39	41		40	39	42	39	40
0:10:00	40	42		41	39	43	40	41
0:11:00	41	44		43	40	46	41	42
0:12:00	43	46		45	41	48	43	44
0:13:00	45	49		47	43	52	44	46
0:14:00	47	53		50	44	55	46	49
0:15:00	49	56		53	46	59	48	51
0:16:00	52	59		56	49	63	51	54
0:17:00	55	62		59	52	67	53	57
0:18:00	59	66		62	55	70	56	60

ตารางที่ ก-9 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:19:00	62	69		65	58	73	59	64
0:20:00	66	72		69	62	77	62	67
0:21:00	69	76		72	67	80	65	71
0:22:00	73	79		76	72	84	69	75
0:23:00	77	82		80	76	87	72	79
0:24:00	80	86		83	81	91	76	83
0:25:00	84	90		87	86	95	80	87
0:26:00	88	94		91	90	99	83	91
0:27:00	91	98		94	94	102	87	94
0:28:00	95	101		98	97	104	91	97
0:29:00	98	103		101	99	106	94	100
0:30:00	100	105		103	100	107	97	101
0:35:00	101	106		103	101	107	100	103
0:40:00	101	107		104	103	108	103	105
0:45:00	101	107		104	104	109	106	106
0:50:00	102	108		105	105	110	109	108
0:55:00	103	109		106	106	111	112	109
1:00:00		119		119	116	122	106	115
1:05:00		144		144	130	147	121	133
1:10:00		170		170	151	172	138	154
1:15:00		197		197	175	200	157	177
1:20:00		228		228	199	231	179	203
1:25:00		257		257	225	265	202	230
1:30:00		287		287	251	294	226	257
1:35:00		317		317	279	323	250	284
1:40:00		347		347	306	353	275	311
1:45:00		376		376	333	382	299	338
1:50:00		405		405	359	409	324	364
1:55:00		435		435	384	435	349	390

ตารางที่ ก-9 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
2:00:00		462		462	408		374	391
2:05:00		485		485			398	398
2:10:00		508		508			421	421
2:15:00		538		538			443	443
2:20:00		548		548			465	465
2:25:00		567		567			486	486
2:30:00		586		586			507	507
2:35:00		602		602			526	526
2:40:00		615		615			544	544
2:45:00		624		624			562	562
2:50:00		635		635			579	579
2:55:00		648		648			595	595
3:00:00		664		664			609	609

ตารางที่ ก-10 แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1502, H2002

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:00:00	89	88	102	122	139	111	108	0:00:00	20
0:01:00	288	303	369	443	442	357	367	0:05:00	538
0:02:00	353	349	458	466	474	449	425	0:10:00	704
0:03:00	385	393	476	487	487	469	449	0:15:00	760
0:04:00	412	427	482	504	480	463	461	0:20:00	795
0:05:00	468	476	526	556	534	513	512	0:25:00	821
0:06:00	549	574	631	632	625	602	602	0:30:00	843
0:07:00	552	564	595	605	609	578	584	0:35:00	862
0:08:00	591	609	654	656	640	619	628	0:40:00	878
0:09:00	623	649	679	690	674	645	660	0:45:00	892
0:10:00	647	678	707	717	712	673	689	0:50:00	905
0:11:00	681	720	731	747	740	693	719	0:55:00	916
0:12:00	696	742	743	759	746	704	732	1:00:00	927

ตารางที่ ก-10 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:13:00	699	739	743	755	755	707	733	1:05:00	937
0:14:00	717	759	762	779	760	718	749	1:10:00	946
0:15:00	730	773	771	787	777	737	762	1:15:00	955
0:16:00	740	783	773	786	759	724	761	1:20:00	963
0:17:00	749	795	782	799	787	741	776	1:25:00	971
0:18:00	759	805	793	806	792	748	784	1:30:00	978
0:19:00	765	813	797	814	789	754	788	1:35:00	985
0:20:00	772	814	806	821	815	765	799	1:40:00	991
0:21:00	779	823	807	824	813	770	803	1:45:00	996
0:22:00	787	830	820	829	815	774	809	1:50:00	1001
0:23:00	789	837	815	835	808	778	810	1:55:00	1006
0:24:00	799	841	824	838	812	780	816	2:00:00	1010
0:25:00	800	849	831	847	834	783	824	2:10:00	1017
0:26:00	807	853	838	848	834	793	829	2:20:00	1024
0:27:00	811	849	841	850	850	801	834	2:30:00	1031
0:28:00	809	857	833	847	838	796	830	2:40:00	1038
0:29:00	813	854	841	854	841	804	834	2:50:00	1045
0:30:00	817	857	847	856	837	807	837	3:00:00	1052
0:35:00	850	889	873	889	870	835	868	3:10:00	1059
0:40:00	862	896	879	896	882	846	877	3:20:00	1066
0:45:00	877	912	898	914	897	869	894	3:30:00	1072
0:50:00	885	919	910	921	913	884	905	3:40:00	1079
0:55:00	897	931	917	931	916	890	914	3:50:00	1086
1:00:00	909	940	925	943	926	906	925	4:00:00	1093
1:05:00	919	950	940	953	941	914	936	-	-
1:10:00	932	964	946	961	947	923	945	-	-
1:15:00	942	973	962	973	958	941	958	-	-
1:20:00	952	985	970	981	968	948	967	-	-
1:25:00	958	988	974	985	976	953	972	-	-
1:30:00	965	995	983	993	980	965	980	-	-
1:35:00	974	1003	989	1005	989	969	988	-	-
1:40:00	981	1011	995	1009	990	974	993	-	-

ตารางที่ ก-10 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
1:45:00	979	1009	993	1005	995	980	994	-	-
1:50:00	991	1020	1006	1018	1007	989	1005	-	-
1:55:00	989	1014	1004	1016	1007	988	1003	-	-
2:00:00	992	1021	1005	1023	1002	996	1007	-	-
2:05:00	1000	1025	1009	1026	1010	998	1011	-	-
2:10:00	1004	1029	1023	1032	1021	1007	1019	-	-
2:15:00	1010	1036	1024	1035	1022	1010	1023	-	-
2:20:00	1005	1025	1014	1024	1013	1003	1014	-	-
2:25:00	1019	1042	1032	1048	1029	1020	1032	-	-
2:30:00	1013	1035	1023	1036	1027	1013	1025	-	-
2:35:00	1018	1035	1030	1038	1024	1024	1028	-	-
2:40:00	1030	1053	1038	1051	1040	1029	1040	-	-
2:45:00	1031	1053	1044	1055	1043	1034	1043	-	-
2:50:00	1035	1054	1045	1058	1044	1033	1045	-	-
2:55:00	1039	1057	1051	1061	1049	1040	1049	-	-
3:00:00	1043	1063	1051	1064	1051	1044	1053	-	-
3:05:00	1045	1064	1055	1070	1058	1048	1057	-	-
3:10:00	1050	1070	1060	1072	1061	1051	1061	-	-
3:15:00	1053	1075	1064	1076	1065	1056	1065	-	-
3:20:00	1058	1075	1068	1079	1063	1060	1067	-	-
3:25:00	1062	1080	1071	1081	1071	1062	1071	-	-
3:30:00	1066	1085	1074	1089	1075	1064	1075	-	-
3:35:00	1069	1085	1078	1090	1075	1070	1078	-	-
3:40:00	1072	1086	1082	1092	1082	1078	1082	-	-
3:45:00	1076	1094	1085	1096	1086	1078	1086	-	-
3:50:00	1080	1097	1090	1101	1090	1084	1090	-	-

ตารางที่ ก-11 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1502 (H-150x150x31.5 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	35	35	36	35	36	36	36	36
0:01:00	36	37	37	37	40	40	38	39
0:02:00	39	41	38	39	47	45	38	43
0:03:00	42	44	38	41	52	50	40	47
0:04:00	46	47	40	44	56	54	44	51
0:05:00	48	50	42	47	61	-	49	55
0:06:00	52	53	45	50	66	-	54	60
0:07:00	55	55	48	53	71	65	59	65
0:08:00	61	57	52	57	77	71	64	71
0:09:00	69	59	57	62	84	78	70	77
0:10:00	78	61	62	67	91	86	76	84
0:11:00	86	63	66	72	98	94	82	91
0:12:00	90	65	71	75	103	99	88	97
0:13:00	93	69	75	79	113	-	110	112
0:14:00	94	74	79	82	115	-	-	115
0:15:00	95	79	95	90	116	-	-	116
0:16:00	96	84	97	92	118	-	-	118
0:17:00	98	90	97	95	119	-	-	119
0:18:00	98	95	97	97	121	-	-	121
0:19:00	100	100	98	99	122	-	-	122
0:20:00	101	103	98	101	124	-	-	124
0:21:00	101	105	99	102	125	-	-	125
0:22:00	102	108	99	103	127	-	-	127
0:23:00	102	110	100	104	128	-	-	128
0:24:00	103	113	100	105	130	-	-	130
0:25:00	103	115	101	106	131	-	-	131
0:26:00	104	118	101	108	133	-	-	133
0:27:00	104	120	102	109	134	-	-	134
0:28:00	105	123	102	110	136	-	114	125

ตารางที่ ก-11 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:29:00	108	140	106	118	137	-	119	128
0:30:00	109	143	106	119	137	-	126	132
0:35:00	109	145	107	120	141	-	132	137
0:40:00	110	148	107	122	145	-	139	142
0:45:00	113	114	106	111	150	-	146	148
0:50:00	116	115	110	114	154	-	153	154
0:55:00	119	117	115	117	160	-	160	160
1:00:00	123	119	120	121	165	-	168	167
1:05:00	145	129	150	141	171	-	175	173
1:10:00	171	144	186	167	177	-	183	180
1:15:00	200	165	234	200	184	-	222	203
1:20:00	-	191	294	243	190	-	262	226
1:25:00	-	226	353	290	226	-	304	265
1:30:00	-	265	406	336	264	-	345	305
1:35:00	-	306	456	381	305	-	384	345
1:40:00	-	348	508	428	345	-	422	384
1:45:00	-	388	547	468	382	-	461	422
1:50:00	-	427	547	487	419	-	507	463
1:55:00	-	463	545	504	455	-	537	496
2:00:00	-	498	558	528	493	-	558	526
2:05:00	-	532	581	557	540	-	586	563
2:10:00	-	563	582	573	589	-	811	700
2:15:00	-	593	639	616	580	-	832	706
2:20:00	-	622	664	643	604	-	842	723
2:25:00	-	593	639	616	627	-	780	704
2:30:00	-	622	664	643	684	-	-	684

ตารางที่ ก-12 แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผาอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1503 (H-150x150x31.5 kg)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:00:00	104	83	101	110	193	100	115	0:00:00	20
0:01:00	419	428	557	594	619	504	520	0:05:00	538
0:02:00	507	524	621	626	650	572	583	0:10:00	704
0:03:00	564	587	641	665	655	581	616	0:15:00	760
0:04:00	603	624	658	674	670	599	638	0:20:00	795
0:05:00	626	656	675	694	677	614	657	0:25:00	821
0:06:00	652	673	683	704	698	626	673	0:30:00	843
0:07:00	662	690	691	718	699	633	682	0:35:00	862
0:08:00	672	699	705	727	708	643	692	0:40:00	878
0:09:00	689	725	717	746	720	656	709	0:45:00	892
0:10:00	700	738	724	755	738	659	719	0:50:00	905
0:11:00	710	744	731	754	742	672	726	0:55:00	916
0:12:00	718	753	741	772	751	682	736	1:00:00	927
0:13:00	723	764	747	772	758	686	742	1:05:00	937
0:14:00	734	768	751	781	762	695	749	1:10:00	946
0:15:00	742	776	759	786	772	703	756	1:15:00	955
0:16:00	750	783	766	791	776	712	763	1:20:00	963
0:17:00	755	789	770	797	782	719	769	1:25:00	971
0:18:00	767	803	785	813	797	726	782	1:30:00	978
0:19:00	777	816	792	820	805	738	791	1:35:00	985
0:20:00	786	822	802	829	814	748	800	1:40:00	991
0:21:00	790	829	806	835	818	755	806	1:45:00	996
0:22:00	795	838	810	842	822	759	811	1:50:00	1001
0:23:00	804	842	813	844	826	760	815	1:55:00	1006
0:24:00	805	838	813	845	828	767	816	2:00:00	1010
0:25:00	808	840	821	848	830	771	820	2:10:00	1017
0:26:00	814	845	821	844	840	776	823	2:20:00	1024
0:27:00	816	850	826	853	840	778	827	2:30:00	1031
0:28:00	824	854	831	855	846	785	833	2:40:00	1038
0:29:00	828	859	838	861	851	791	838	2:50:00	1045
0:30:00	833	860	841	865	853	794	841	3:00:00	1052
0:35:00	854	884	862	880	875	823	863	3:10:00	1059

ตารางที่ ก-12 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:40:00	876	903	878	902	896	839	882	3:20:00	1066
0:45:00	890	913	890	911	905	856	894	3:30:00	1072
0:50:00	899	925	901	923	915	871	906	3:40:00	1079
0:55:00	911	937	915	939	930	887	920	3:50:00	1086
1:00:00	923	949	922	949	943	896	930	4:00:00	1093
1:05:00	933	952	934	953	948	908	938	-	-
1:10:00	948	965	945	967	960	920	951	-	-
1:15:00	953	970	950	969	967	929	956	-	-
1:20:00	961	979	958	980	974	938	965	-	-
1:25:00	968	986	966	988	981	947	973	-	-
1:30:00	976	995	974	994	988	955	980	-	-
1:35:00	983	1004	979	1004	996	963	988	-	-
1:40:00	992	1008	990	1010	1005	972	996	-	-
1:45:00	999	1019	1000	1019	1015	982	1006	-	-
1:50:00	997	1015	995	1017	1010	979	1002	-	-

ตารางที่ ก-13 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H1503 (H-150x150x31.5 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	44	45	46	45	45	48	46	46
0:01:00	45	46	46	45	45	48	46	46
0:02:00	45	46	46	46	45	48	46	46
0:03:00	45	46	46	46	45	48	46	46
0:04:00	45	46	46	46	45	48	46	46
0:05:00	45	47	47	46	45	49	46	47
0:06:00	45	48	47	47	45	50	46	47
0:07:00	46	49	47	47	46	51	47	48
0:08:00	46	51	48	48	46	54	47	49
0:09:00	46	52	49	49	46	57	47	50
0:10:00	47	54	49	50	47	61	47	52

ตารางที่ ก-13 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:11:00	47	55	50	51	47	66	48	54
0:12:00	48	57	52	52	48	72	49	56
0:13:00	49	59	53	54	49	76	49	58
0:14:00	50	61	54	55	50	78	50	60
0:15:00	52	63	56	57	51	80	51	61
0:16:00	53	65	57	58	53	81	53	62
0:17:00	55	67	59	60	54	81	54	63
0:18:00	56	69	61	62	56	82	55	64
0:19:00	58	71	63	64	57	82	57	65
0:20:00	60	74	65	66	59	83	58	67
0:21:00	62	76	66	68	61	84	60	68
0:22:00	63	80	68	70	62	85	62	70
0:23:00	65	83	70	73	64	86	64	71
0:24:00	67	86	72	75	66	87	66	73
0:25:00	68	89	74	77	68	88	68	75
0:26:00	70	93	76	80	70	90	70	76
0:27:00	72	95	78	82	71	91	72	78
0:28:00	86	110	94	96	87	102	88	92
0:29:00	94	-	100	97	95	107	97	100
0:30:00	100	-	101	100	100	112	100	104
0:35:00	125	-	141	133	132	-	119	125
0:40:00	137	-	156	146	143	-	127	135
0:45:00	149	-	172	161	156	-	138	147
0:50:00	163	-	189	176	170	-	155	163
0:55:00	177	-	207	192	185	-	174	180
1:00:00	192	-	226	209	201	-	193	197
1:05:00	207	-	245	226	217	-	211	214
1:10:00	223	-	265	244	234	-	234	234
1:15:00	240	-	285	263	252	-	257	254

ตารางที่ ก-13 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
1:20:00	256	-	307	281	271	-	278	274
1:25:00	273	-	327	300	289	-	300	294
1:30:00	290	-	349	319	309	-	321	315
1:35:00	308	-	372	340	328	-	343	336
1:40:00	325	-	394	359	347	-	365	356
1:45:00	343	-	416	379	366	-	387	376
1:50:00	360	-	436	398	384	-	409	397
1:55:00	378	-	450	414	402	-	431	417
2:00:00	395	-	468	432	421	-	453	437
2:05:00	412	-	486	449	439	-	475	457
2:10:00	429	-	503	466	456	-	495	476
2:15:00	445	-	517	481	473	-	514	494
2:20:00	462	-	532	497	-	-	532	532
2:25:00	478	-	545	511	-	-	539	539
2:30:00	493	-	557	525	-	-	559	559
2:35:00	509	-	569	539	-	-	566	566
2:40:00	524	-	580	552	-	-	570	570
2:45:00	538	-	590	564	-	-	582	582
2:50:00	552	-	599	576	-	-	595	595
2:55:00	565	-	611	588	-	-	609	609
3:00:00	578	-	624	601	-	-	623	623
3:05:00	591	-	638	614	-	-	636	636
3:10:00	604	-	651	627	-	-	649	649
3:15:00	616	-	664	640	-	-	661	661
3:20:00	629	-	677	653	-	-	673	673
3:25:00	641	-	689	665	-	-	685	685
3:30:00	653	-	702	677	-	-	697	697

ตารางที่ ก-14 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H2001 (H-200x200x49.9 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	38	38	38	38	39	38	38	38
0:01:00	38	38	38	38	39	38	38	38
0:02:00	38	38	38	38	38	38	38	38
0:03:00	38	38	38	38	38	38	38	38
0:04:00	38	38	38	38	39	38	39	38
0:05:00	38	38	38	38	39	38	39	39
0:06:00	38	38	38	38	39	38	40	39
0:07:00	38	38	39	38	39	39	40	39
0:08:00	39	38	39	38	39	39	41	40
0:09:00	39	38	39	39	39	40	43	41
0:10:00	39	38	39	39	40	40	45	42
0:11:00	40	39	40	39	40	41	47	43
0:12:00	41	39	40	40	41	42	50	44
0:13:00	43	39	41	41	42	44	53	46
0:14:00	44	40	42	42	43	45	56	48
0:15:00	46	40	43	43	44	47	59	50
0:16:00	48	41	44	44	46	49	62	52
0:17:00	50	42	46	46	47	51	65	55
0:18:00	52	42	47	47	49	54	68	57
0:19:00	53	43	49	49	51	56	71	59
0:20:00	55	45	51	50	53	58	74	62
0:21:00	58	46	53	52	56	61	77	64
0:22:00	60	47	56	54	58	63	80	67
0:23:00	62	49	58	56	61	65	83	70
0:24:00	64	51	60	58	63	68	86	72
0:25:00	67	52	63	61	66	70	89	75
0:26:00	69	54	65	63	68	72	92	77
0:27:00	72	56	68	65	71	74	96	80
0:28:00	74	58	70	68	74	76	99	83
0:29:00	77	60	73	70	77	78	103	86
0:30:00	80	63	76	73	79	80	107	89
0:35:00	92	74	89	85	92	90	124	102

ตารางที่ ก-14 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:40:00	99	86	99	95	100	101	132	111
0:45:00	107	95	105	102	103	109	156	123
0:50:00	120	104	117	114	113	119	177	137
0:55:00	133	111	129	124	129	130	196	152
1:00:00	145	117	142	135	145	142	214	167
1:05:00	157	124	155	145	161	153	231	182
1:10:00	169	133	169	157	176	165	249	196
1:15:00	182	144	184	170	192	177	258	209
1:20:00	196	156	199	184	208	191	271	223
1:25:00	210	170	214	198	225	206	284	238
1:30:00	225	185	231	214	243	222	308	258
1:35:00	241	201	248	230	262	240	326	276
1:40:00	258	219	266	247	281	258	347	295
1:45:00	278	237	286	267	292	278	369	313
1:50:00	297	256	305	286	314	298	389	334
1:55:00	315	276	321	304	336	319	408	354
2:00:00	334	297	340	324	359	339	428	376
2:05:00	355	323	360	346	381	361	450	397
2:10:00	374	345	380	366	402	382	470	418
2:15:00	393	372	400	388	425	403	490	439
2:20:00	413	394	420	409	447	425	508	460
2:25:00	433	420	439	431	468	446	527	480
2:30:00	452	443	458	451	489	467	545	500
2:35:00	471	468	477	472	510	489	563	521
2:40:00	489	492	495	492	531	509	580	540
2:45:00	527	492	513	511	550	527	597	558
2:50:00	-	513	530	522	570	543	615	576
2:55:00	-	540	547	543	589	559	631	593
3:00:00	-	560	562	561	607	574	647	609

ตารางที่ ก-15 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ H2002 (H-200x200x49.9 kg)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	78	79	-	78	78	79	79	79
0:01:00	78	79	-	78	78	79	79	79
0:02:00	78	79	-	78	78	79	79	79
0:03:00	78	78	-	78	78	79	79	79
0:04:00	78	79	-	78	78	79	79	79
0:05:00	78	78	-	78	78	79	79	79
0:06:00	78	78	-	78	78	79	79	78
0:07:00	78	78	-	78	78	79	79	79
0:08:00	78	78	-	78	78	79	79	78
0:09:00	78	78	-	78	78	79	186	114
0:10:00	78	78	-	78	78	79	301	153
0:11:00	78	78	-	78	78	79	346	168
0:12:00	78	79	-	78	78	79	341	166
0:13:00	78	79	-	78	79	79	221	126
0:14:00	78	79	-	79	79	79	259	139
0:15:00	78	79	-	79	80	79	-	79
0:16:00	79	80	-	79	80	79	-	80
0:17:00	79	80	-	80	81	80	-	80
0:18:00	80	81	-	80	82	-	-	82
0:19:00	80	81	-	81	83	-	-	83
0:20:00	81	82	-	81	84	-	-	84
0:21:00	81	83	-	82	84	-	-	84
0:22:00	82	83	-	83	85	-	-	85
0:23:00	83	84	-	84	87	-	-	87
0:24:00	84	85	-	84	88	-	-	88
0:25:00	85	86	-	85	89	-	-	89
0:26:00	85	87	-	86	90	-	-	90
0:27:00	87	88	-	87	91	-	-	91
0:28:00	88	90	-	89	93	-	-	93
0:29:00	89	91	-	90	94	-	-	94
0:30:00	90	92	-	91	95	-	-	95
0:35:00	95	97	-	96	100	-	-	100

ตารางที่ ก-15 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:40:00	100	100	-	100	100	-	-	100
0:45:00	101	101	-	101	101	-	-	101
0:50:00	102	101	-	101	101	-	-	101
0:55:00	103	101	-	102	102	-	-	102
1:00:00	105	102	-	103	103	-	-	103
1:05:00	107	102	-	105	104	-	-	104
1:10:00	110	104	-	107	106	-	-	106
1:15:00	112	106	-	109	108	-	-	108
1:20:00	115	108	-	112	110	-	-	110
1:25:00	119	110	-	115	114	-	-	114
1:30:00	125	113	-	119	120	-	-	120
1:35:00	131	118	-	124	130	-	-	130
1:40:00	139	123	-	131	145	-	-	145
1:45:00	148	130	-	139	166	-	-	166
1:50:00	158	139	-	148	184	-	-	184
1:55:00	169	149	-	159	203	-	-	203
2:00:00	180	160	-	170	219	-	-	219
2:05:00	193	172	-	183	241	-	-	241
2:10:00	207	186	-	197	247	-	-	247
2:15:00	221	201	-	211	272	-	-	272
2:20:00	236	214	-	225	294	-	-	294
2:25:00	252	221	-	236	317	-	-	317
2:30:00	268	237	-	252	340	-	-	340
2:35:00	284	254	-	269	361	-	-	361
2:40:00	300	271	-	286	381	-	-	381
2:45:00	316	288	-	302	401	-	-	401
2:50:00	332	305	-	318	421	-	-	421
2:55:00	348	321	-	335	442	-	-	442
3:00:00	365	338	-	351	462	-	-	462
3:05:00	382	354	-	368	482	-	-	482
3:10:00	399	371	-	385	501	-	-	501
3:15:00	417	389	-	403	523	-	-	523

ตารางที่ ก-15 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
3:20:00	436	408	-	422	539	-	-	539
3:25:00	454	427	-	440	565	-	-	565
3:30:00	472	445	-	458	587	-	-	587
3:35:00	491	464	-	477	609	-	-	609

ตารางที่ ก-16 แสดงค่าอุณหภูมิในเตาเผารอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่ O-40 , O-100, O-150 mm

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:00:00	104	83	101	110	193	100	115	0:00:00	20
0:01:00	419	428	557	594	619	504	520	0:05:00	538
0:02:00	507	524	621	626	650	572	583	0:10:00	704
0:03:00	564	587	641	665	655	581	616	0:15:00	760
0:04:00	603	624	658	674	670	599	638	0:20:00	795
0:05:00	626	656	675	694	677	614	657	0:25:00	821
0:06:00	652	673	683	704	698	626	673	0:30:00	843
0:07:00	662	690	691	718	699	633	682	0:35:00	862
0:08:00	672	699	705	727	708	643	692	0:40:00	878
0:09:00	689	725	717	746	720	656	709	0:45:00	892
0:10:00	700	738	724	755	738	659	719	0:50:00	905
0:11:00	710	744	731	754	742	672	726	0:55:00	916
0:12:00	718	753	741	772	751	682	736	1:00:00	927
0:13:00	723	764	747	772	758	686	742	1:05:00	937
0:14:00	734	768	751	781	762	695	749	1:10:00	946
0:15:00	742	776	759	786	772	703	756	1:15:00	955
0:16:00	750	783	766	791	776	712	763	1:20:00	963
0:17:00	755	789	770	797	782	719	769	1:25:00	971
0:18:00	767	803	785	813	797	726	782	1:30:00	978
0:19:00	777	816	792	820	805	738	791	1:35:00	985
0:20:00	786	822	802	829	814	748	800	1:40:00	991
0:21:00	790	829	806	835	818	755	806	1:45:00	996
0:22:00	795	838	810	842	822	759	811	1:50:00	1001

ตารางที่ ก-16 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Furnace Temperature (°C)							Time (hr:mm:sec)	ASTM E119 (°C)
	A	B	C	D	E	F	Average		
0:23:00	804	842	813	844	826	760	815	1:55:00	1006
0:24:00	805	838	813	845	828	767	816	2:00:00	1010
0:25:00	808	840	821	848	830	771	820	2:10:00	1017
0:26:00	814	845	821	844	840	776	823	2:20:00	1024
0:27:00	816	850	826	853	840	778	827	2:30:00	1031
0:28:00	824	854	831	855	846	785	833	2:40:00	1038
0:29:00	828	859	838	861	851	791	838	2:50:00	1045
0:30:00	833	860	841	865	853	794	841	3:00:00	1052
0:35:00	854	884	862	880	875	823	863	3:10:00	1059
0:40:00	876	903	878	902	896	839	882	3:20:00	1066
0:45:00	890	913	890	911	905	856	894	3:30:00	1072
0:50:00	899	925	901	923	915	871	906	3:40:00	1079
0:55:00	911	937	915	939	930	887	920	3:50:00	1086
1:00:00	923	949	922	949	943	896	930	4:00:00	1093
1:05:00	933	952	934	953	948	908	938	-	-
1:10:00	948	965	945	967	960	920	951	-	-
1:15:00	953	970	950	969	967	929	956	-	-
1:20:00	961	979	958	980	974	938	965	-	-
1:25:00	968	986	966	988	981	947	973	-	-
1:30:00	976	995	974	994	988	955	980	-	-
1:35:00	983	1004	979	1004	996	963	988	-	-
1:40:00	992	1008	990	1010	1005	972	996	-	-

ตารางที่ ก-17 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด O-40 x 2.9 mm

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	37	37	35	36	37	36	36	36
0:01:00	41	40	35	39	39	37	36	37
0:02:00	46	44	36	42	41	39	37	39
0:03:00	50	48	36	45	44	41	38	41
0:04:00	54	54	36	48	47	43	39	43

ตารางที่ ก-17 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:05:00	58	60	36	51	50	47	42	46
0:06:00	62	66	37	55	55	52	46	51
0:07:00	68	72	38	59	61	60	52	58
0:08:00	76	79	40	65	67	67	60	65
0:09:00	84	87	42	71	70	72	-	71
0:10:00	90	94	45	76	75	76	-	76
0:11:00	96	99	49	81	82	81	-	82
0:12:00	100	103	54	86	88	88	-	88
0:13:00	103	106	59	89	93	93	-	93
0:14:00	106	110	64	93	96	96	-	96
0:15:00	111	116	69	99	99	98	-	99
0:16:00	116	124	73	104	100	99	-	100
0:17:00	123	133	77	111	101	100	-	101
0:18:00	130	144	81	118	102	101	-	102
0:19:00	138	154	84	125	105	102	-	104
0:20:00	146	165	86	132	111	105	-	108
0:21:00	155	176	89	140	118	110	-	114
0:22:00	164	187	92	148	125	116	-	121
0:23:00	173	198	95	155	132	124	-	128
0:24:00	183	209	98	163	140	133	-	137
0:25:00	193	220	100	171	148	142	-	145
0:26:00	203	232	101	179	156	152	-	154
0:27:00	214	243	101	186	173	171	-	172
0:28:00	224	255	101	193	181	180	-	181
0:29:00	235	268	102	202	190	190	-	190
0:30:00	246	279	101	209	251	239	-	245
0:35:00	300	320	103	241	310	291	-	301
0:40:00	353	380	111	281	370	342	-	356
0:45:00	403	449	132	328	430	389	-	410
0:50:00	449	512	165	375	490	431	-	461

ตารางที่ ก-17 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:55:00	491	577	200	423	585	492	-	539
1:00:00	527	641	236	468	610	504	-	557
1:05:00	561	706	270	512	670	536	-	603
1:10:00	591	770	304	555	730	567	-	649
1:15:00	618	835	338	597	790	596	-	693
1:20:00	643	899	370	637	850	621	-	736
1:25:00	666	964	400	677	910	646	-	778
1:30:00	689	1028	431	716	970	670	-	820
1:35:00	712	1093	460	755	1030	694	-	862
1:40:00	735	1157	492	795	1090	719	-	905
1:45:00	749	1222	521	831	1150	751	-	951

ตารางที่ ก-18 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด O-100 x 3.6 mm

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	36	36	35	36	36	35	36	36
0:01:00	37	37	38	37	37	36	37	37
0:02:00	39	37	41	39	40	37	39	39
0:03:00	41	38	44	41	42	38	41	40
0:04:00	43	40	47	43	44	40	44	43
0:05:00	46	45	50	47	47	46	47	47
0:06:00	48	54	53	52	50	54	50	51
0:07:00	52	62	56	57	54	61	55	57
0:08:00	56	67	59	61	59	66	59	61
0:09:00	60	72	64	65	63	71	63	66
0:10:00	65	76	68	70	67	75	68	70
0:11:00	69	80	73	74	72	79	72	74
0:12:00	72	84	79	78	75	83	76	78
0:13:00	74	87	84	82	76	86	83	82
0:14:00	77	90	89	85	82	89	88	86
0:15:00	84	94	94	91	87	93	93	91

ตารางที่ ก-18 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:16:00	90	96	98	95	92	96	97	95
0:17:00	94	98	100	97	96	98	99	98
0:18:00	97	99	103	100	98	100	101	100
0:19:00	99	100	105	101	100	102	103	102
0:20:00	100	101	107	103	101	106	104	104
0:21:00	101	102	109	104	102	112	107	107
0:22:00	103	104	111	106	105	118	110	111
0:23:00	106	107	114	109	108	125	113	115
0:24:00	110	112	117	113	112	131	117	120
0:25:00	114	118	121	118	117	138	122	126
0:26:00	120	126	125	124	123	145	127	132
0:27:00	126	134	131	130	129	270	133	177
0:28:00	132	142	136	137	136	318	139	198
0:29:00	139	150	142	144	142	340	145	209
0:30:00	146	159	148	151	149	356	151	219
0:35:00	184	202	182	189	188	430	186	268
0:40:00	226	252	220	233	232	480	226	313
0:45:00	272	310	262	281	279	502	271	351
0:50:00	318	355	354	342	325	542	318	395
0:55:00	363	399	-	381	370	576	363	436
1:00:00	405	439	-	422	413	605	405	474
1:05:00	444	475	-	460	453	634	445	511
1:10:00	480	509	-	495	491	660	483	545
1:15:00	515	540	-	528	526	684	520	577
1:20:00	548	569	-	559	557	705	553	605
1:25:00	756	596	-	676	-	726	584	655
1:30:00	763	622	-	693	-	746	612	679
1:35:00	761	645	-	703	-	767	638	703
1:40:00	-	669	-	669	-	786	661	724

ตารางที่ ก-19 แสดงค่าอุณหภูมิการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบขนาด O-150 x 4.5 mm

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:00:00	35	35	35	35	35	35	37	36
0:01:00	35	36	35	35	35	35	37	36
0:02:00	37	36	35	36	36	36	38	37
0:03:00	39	37	35	37	37	37	40	38
0:04:00	41	38	35	38	39	38	44	40
0:05:00	43	40	35	39	40	38	50	43
0:06:00	44	41	36	40	41	39	57	46
0:07:00	46	43	38	42	43	40	64	49
0:08:00	48	44	40	44	45	42	71	53
0:09:00	49	46	42	46	47	44	77	56
0:10:00	51	48	46	48	-	46	82	64
0:11:00	53	51	51	52	-	48	88	68
0:12:00	56	54	56	55	-	51	93	72
0:13:00	59	57	61	59	-	54	96	75
0:14:00	62	61	65	63	-	58	98	78
0:15:00	67	65	70	67	-	62	99	81
0:16:00	72	68	74	71	-	66	102	84
0:17:00	78	73	78	76	75	70	107	84
0:18:00	82	78	81	80	80	74	114	89
0:19:00	87	82	85	85	82	78	123	94
0:20:00	91	87	89	89	-	82	132	107
0:21:00	94	91	92	92	-	88	142	115
0:22:00	109	94	95	99	-	93	151	122
0:23:00	-	98	96	97	-	98	162	130
0:24:00	-	99	97	98	-	102	172	137
0:25:00	-	99	97	98	-	105	183	144
0:26:00	-	101	98	100	-	107	194	151
0:27:00	-	102	98	100	-	109	205	157
0:28:00	-	103	99	101	-	111	216	164
0:29:00	-	104	99	102	-	113	229	171
0:30:00	-	105	100	103	-	115	243	179
0:35:00	-	114	117	116	-	124	308	216

ตารางที่ ก-19 (ต่อ)

Time (hr:mm:sec)	Level 1				Level 2			
	Point 1	Point 2	Point 3	Average	Point 4	Point 5	Point 6	Average
0:24:00	-	99	97	98	-	102	172	137
0:25:00	-	99	97	98	-	105	183	144
0:26:00	-	101	98	100	-	107	194	151
0:27:00	-	102	98	100	-	109	205	157
0:28:00	-	103	99	101	-	111	216	164
0:29:00	-	104	99	102	-	113	229	171
0:30:00	-	105	100	103	-	115	243	179
0:35:00	-	114	117	116	-	124	308	216
0:40:00	-	130	145	138	-	139	364	252
0:45:00	171	157	175	168	-	157	415	286
0:50:00	235	188	206	210	-	177	458	318
0:55:00	234	222	241	232	-	209	503	356
1:00:00	273	257	276	269	-	240	541	391
1:05:00	315	294	312	307	-	264	573	419
1:10:00	357	331	347	345	-	295	604	450
1:15:00	398	368	382	383	-	322	632	477
1:20:00	408	404	416	409	-	353	657	505
1:25:00	441	439	448	443	-	399	679	539
1:30:00	473	469	478	473	-	418	699	559
1:35:00	503	501	504	503	-	450	720	585
1:40:00	533	533	531	532	-	482	745	614
1:45:00	563	563	559	562	-	515	762	639
1:50:00	591	593	589	591	-	547	791	669
1:55:00	594	596	592	594	-	551	795	673

ภาคผนวก ข

ตารางเปรียบเทียบอัตราการทนไฟที่ระยะเวลา 1 ปี กับเวลา 1 เดือน

ตารางที่ ข-1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 1 : C1501

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 เซนติเมตร (C 150x18.6 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	34	35	39	39
0:01:00	35	35	41	40
0:02:00	35	36	43	41
0:03:00	37	39	46	43
0:04:00	39	42	49	45
0:05:00	41	43	52	47
0:06:00	43	46	55	51
0:07:00	45	49	59	54
0:08:00	47	52	63	58
0:09:00	51	57	68	62
0:10:00	55	62	73	66
0:11:00	59	67	78	71
0:12:00	63	73	85	76
0:13:00	68	78	92	82
0:14:00	72	84	98	88
0:15:00	77	89	104	93
0:16:00	81	94	115	97
0:17:00	85	99	114	99
0:18:00	89	103	116	101
0:19:00	93	107	121	103
0:20:00	100	109	132	108
0:21:00	103	113	135	113
0:22:00	104	117	136	119
0:23:00	105	122	135	125
0:24:00	105	129	142	131
0:25:00	106	139	149	137
0:26:00	107	145	157	144
0:27:00	108	151	164	152
0:28:00	109	157	172	159
0:29:00	111	162	180	167
0:30:00	113	166	185	174
0:35:00	132	183	194	204
0:40:00	164	206	203	235
0:45:00	184	240	232	217

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:50:00	205	264	286	261
0:55:00	224	286	393	303
1:00:00	248	308	340	347
1:05:00	276	330	389	389
1:10:00	302	355	436	429
1:15:00	329	378	481	470
1:20:00	359	400	526	507
1:25:00	387	422	562	541
1:30:00	416	442	591	572
1:40:00	475	485	644	626
1:50:00	536	531	686	674
2:00:00	595	574	719	723

ตารางที่ ข-2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 2 : C1502

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 4 เซนติเมตร (C 150x18.6 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	72	74	40	41
0:01:00	72	74	40	41
0:02:00	73	74	40	41
0:03:00	73	74	40	41
0:04:00	73	74	41	41
0:05:00	73	74	41	41
0:06:00	73	74	41	41
0:07:00	73	74	41	42
0:08:00	73	74	42	42
0:09:00	74	74	43	42
0:10:00	75	75	44	43
0:11:00	75	75	45	44
0:12:00	77	76	47	45
0:13:00	77	76	49	46
0:14:00	79	77	51	48
0:15:00	79	78	53	49
0:16:00	81	78	55	51

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:17:00	81	79	57	53
0:18:00	83	80	59	55
0:19:00	84	81	62	57
0:20:00	86	82	64	59
0:21:00	87	83	66	61
0:22:00	89	84	69	63
0:23:00	91	85	71	65
0:24:00	91	86	73	68
0:25:00	93	87	76	70
0:26:00	94	88	78	72
0:27:00	95	90	81	74
0:28:00	96	90	83	76
0:29:00	97	92	86	78
0:30:00	98	93	88	80
0:35:00	100	98	99	90
0:40:00	100	100	101	99
0:45:00	101	101	101	101
0:50:00	101	101	109	102
0:55:00	102	101	120	108
1:00:00	104	102	132	116
1:05:00	106	103	145	124
1:10:00	108	105	159	140
1:15:00	111	107	175	161
1:20:00	116	109	194	182
1:25:00	125	114	213	201
1:30:00	159	123	228	221
1:35:00	181	133	247	237
1:40:00	179	149	266	252
1:45:00	199	171	285	266
1:50:00	216	208	304	281
1:55:00	235	254	323	295
2:00:00	254	301	342	312
2:05:00	276	338	358	332
2:10:00	294	358	372	350
2:15:00	312	331	385	369

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
2:20:00	330	335	401	387
2:25:00	348	351	417	406
2:30:00	363	363	433	425
2:35:00	395	384	447	444
2:40:00	419	405	462	463
2:45:00	444	428	476	483
2:50:00	472	450	491	502
2:55:00	489	471	508	522
2:55:00	489	471	508	522
3:00:00	505	493	524	539
3:05:00	527	514	542	556
3:10:00	549	535	559	574
3:15:00	570	557	577	592
3:20:00	592	579	595	611
3:25:00	636	600	614	631
3:30:00	658	624	635	652
3:35:00	658	626		
3:40:00	658	628		

ตารางที่ ข-3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 3 : C1503

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 5 เซนติเมตร (C 150x18.6 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	74	46	36	38
0:01:00	74	46	36	38
0:02:00	74	46	36	38
0:03:00	74	46	36	38
0:04:00	74	46	36	38
0:05:00	74	46	36	38
0:06:00	74	46	36	38
0:07:00	74	46	36	38
0:08:00	74	46	36	38
0:09:00	74	46	36	38
0:10:00	75	46	36	38

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:11:00	75	47	37	39
0:12:00	76	47	36	39
0:13:00	76	47	36	39
0:14:00	77	47	36	41
0:15:00	78	47	36	42
0:16:00	78	47	36	42
0:17:00	79	47	36	43
0:18:00	80	48	36	44
0:19:00	81	48	35	46
0:20:00	82	49	35	47
0:21:00	83	49	35	48
0:22:00	84	50	35	48
0:23:00	85	51	34	49
0:24:00	86	52	34	51
0:25:00	87	53	34	53
0:26:00	88	54	34	54
0:27:00	90	55	34	56
0:28:00	90	56	34	58
0:29:00	92	58	34	60
0:30:00	93	59	34	62
0:35:00	98	66	84	70
0:40:00	100	75	94	79
0:45:00	101	83	103	87
0:50:00	101	91	103	94
0:55:00	101	98	101	99
1:00:00	101	100	105	100
1:05:00	102	100	107	100
1:10:00	102	101	112	100
1:15:00	102	101	116	100
1:20:00	102	101	127	101
1:25:00	103	101	145	102
1:30:00	103	101	159	104
1:35:00	103	101	187	107
1:40:00	104	101	204	113
1:45:00	104	102	222	119

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
1:50:00	104	104	240	127
1:55:00	107	106	261	140
2:00:00	109	108	270	155
2:05:00	114	111	291	171
2:10:00	123	116	310	187
2:15:00	133	123	327	205
2:20:00	149	133	342	222
2:25:00	171	150	359	240
2:30:00	208	167	374	258
2:35:00	254	187	386	277
2:40:00	301	208	401	295
2:45:00	338	228	415	315
2:50:00	358	248	430	335
2:55:00	331	268	445	353
3:00:00	335	287	460	373
3:05:00	351	308	474	391
3:10:00	363	329	489	412
3:15:00	384	349	507	439
3:20:00	405	369	538	473
3:25:00	428	389	547	496
3:30:00	450	409	567	517
3:35:00	471	429	587	547
3:40:00	493	450	605	759
3:45:00	514	470	631	763
3:50:00	535	491	651	765

ตารางที่ ข-4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 4 : C2001

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 5 เซนติเมตร (C 200x24.6 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	46	47	31	31
0:01:00	46	47	31	31
0:02:00	47	47	31	31
0:03:00	47	48	31	31
0:04:00	47	48	31	31
0:05:00	47	48	31	31
0:06:00	47	47	31	31
0:07:00	47	47	31	31
0:08:00	47	47	31	31
0:09:00	47	47	31	31
0:10:00	47	47	32	31
0:11:00	47	48	32	31
0:12:00	47	48	32	31
0:13:00	47	48	34	31
0:14:00	47	49	35	31
0:15:00	47	50	38	32
0:16:00	47	51	40	32
0:17:00	48	52	42	33
0:18:00	48	53	43	33
0:19:00	48	54	44	34
0:20:00	48	54	45	35
0:21:00	49	57	46	35
0:22:00	49	59	47	36
0:23:00	49	60	49	37
0:24:00	49	61	50	38
0:25:00	50	62	51	40
0:26:00	51	64	52	41
0:27:00	51	65	54	42
0:28:00	52	67	55	44
0:29:00	52	68	56	45
0:30:00	53	69	57	47
0:35:00	58	75	71	54
0:40:00	64	83	81	62

ตารางที่ ข-4 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:45:00	70	91	90	70
0:50:00	76	97	101	78
0:55:00	81	103	95	87
1:00:00	86	108	106	94
1:05:00	91	113	118	100
1:10:00	94	113	132	102
1:15:00	97	113	148	103
1:20:00	100	112	162	107
1:25:00	101	112	178	106
1:30:00	102	110	199	112
1:35:00	102	109	206	120
1:40:00	102	108	214	126
1:45:00	103	107	208	132
1:50:00	103	108	207	141
1:55:00	104	108	212	154
2:00:00	104	108	211	171
2:05:00	105	111	199	187
2:10:00	106	116	187	201
2:15:00	108	127	181	214
2:20:00	109	136	175	226
2:25:00	111	144	176	232
2:30:00	114	155	177	237
2:35:00	118	165	154	244
2:40:00	123	175	160	251
2:45:00	129	185	173	268
2:50:00	136	196	188	287
2:55:00	146	206	209	307
3:00:00	156	217	230	325
3:05:00	168	228	250	353
3:10:00	180	240	269	357

ตารางที่ ข-4 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
3:15:00	193	252	287	383
3:20:00	206	262	311	408
3:25:00	219	273	332	434
3:30:00	233	284	355	442
3:35:00	249	296	382	461
3:40:00	265	307	407	478
3:45:00	281	315	432	498
3:50:00	297	323	458	521
3:55:00	313	335	486	546
4:00:00	329	350	516	572
4:05:00	347	363		
4:10:00	365	378		
4:15:00	384	394		
4:20:00	404	409		
4:25:00	426	425		
4:30:00	448	442		
4:35:00	471	459		
4:40:00	496	478		
4:45:00	522	496		
4:50:00	538	515		
4:55:00	572	537		
5:00:00	593	557		

ตารางที่ ข-5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 5 : H1501

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 เซนติเมตร (H 150x31.5 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	37	37	40	41
0:01:00	37	37	40	41
0:02:00	37	37	43	47
0:03:00	37	37	55	70
0:04:00	37	38	63	84
0:05:00	38	38	67	91
0:06:00	38	38	72	97

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:07:00	38	39	78	101
0:08:00	39	39	83	105
0:09:00	40	40	88	109
0:10:00	41	41	92	112
0:11:00	43	42	96	115
0:12:00	45	44	101	118
0:13:00	47	46	105	121
0:14:00	50	49	108	123
0:15:00	53	51	111	124
0:16:00	56	54	112	125
0:17:00	59	57	114	128
0:18:00	62	60	116	132
0:19:00	65	64	119	138
0:20:00	69	67	123	145
0:21:00	72	71	126	151
0:22:00	76	75	130	158
0:23:00	80	79	133	165
0:24:00	83	83	137	171
0:25:00	87	87	141	178
0:26:00	91	91	146	186
0:27:00	94	94	151	194
0:28:00	98	97	157	204
0:29:00	101	100	163	214
0:30:00	103	101	171	227
0:35:00	103	103	187	238
0:40:00	104	105	206	250
0:45:00	104	106	225	262
0:50:00	105	108	244	273
0:55:00	106	109	281	285
1:00:00	119	115	310	296
1:05:00	144	133	328	308
1:10:00	170	154	353	320
1:15:00	197	177	373	331
1:20:00	228	203	397	343

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
1:25:00	257	230	426	355
1:30:00	287	257	449	366
1:35:00	317	284	471	378
1:40:00	347	311	491	390
1:45:00	376	338	510	401
1:50:00	405	364	528	413
1:55:00	435	390	541	425
2:00:00	462	391	577	436
2:05:00	485	398	596	448
2:10:00	508	421	616	460
2:15:00	538	443		
2:20:00	548	465		
2:25:00	567	486		
2:30:00	586	507		
2:35:00	602	526		
2:40:00	615	544		
2:45:00	624	562		
2:50:00	635	579		
2:55:00	648	595		
3:00:00	664	609		

ตารางที่ ข-6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 6

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 4 เซนติเมตร (H 150x31.5 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	60	62	35	36
0:01:00	60	62	37	39
0:02:00	60	62	39	43
0:03:00	60	62	41	47
0:04:00	61	62	44	51
0:05:00	61	62	47	55
0:06:00	61	62	50	60
0:07:00	61	62	53	65
0:08:00	61	63	57	71

ตารางที่ ข-6 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:09:00	61	63	62	77
0:10:00	62	65	67	84
0:11:00	63	66	72	91
0:12:00	63	67	75	97
0:13:00	64	68	79	112
0:14:00	65	69	82	115
0:15:00	67	69	90	116
0:16:00	68	71	92	118
0:17:00	70	72	95	119
0:18:00	71	74	97	121
0:19:00	73	77	99	122
0:20:00	75	81	101	124
0:21:00	77	83	102	125
0:22:00	79	84	103	127
0:23:00	81	85	104	128
0:24:00	82	86	105	130
0:25:00	84	86	106	131
0:26:00	86	88	108	133
0:27:00	88	88	109	134
0:28:00	90	90	110	125
0:29:00	92	90	118	128
0:30:00	93	92	119	132
0:35:00	100	96	120	137
0:40:00	100	99	122	142
0:45:00	101	105	111	148
0:50:00	102	105	114	154
0:55:00	107	102	117	160
1:00:00	113	103	121	167
1:05:00	126	106	141	173
1:10:00	140	108	167	180
1:15:00	154	113	200	203
1:20:00	169	117	243	226
1:25:00	208	124	290	265
1:30:00	272	133	336	305
1:35:00	285	146	381	345

ตารางที่ ข-6 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
1:40:00	304	160	428	384
1:45:00	325	175	468	422
1:50:00	328	192	487	463
1:55:00	331	211	504	496
2:00:00	339	233	528	526
2:05:00	342	257	557	563
2:10:00	345	280	573	700
2:15:00	365	297	616	706
2:20:00	385	323	643	723
2:25:00	405	344	616	704
2:30:00	425	366	643	684
2:35:00	444	386		
2:40:00	465	406		
2:45:00	485	426		
2:50:00	503	444		
2:55:00	520	459		
3:00:00	535	471		
3:05:00	559	486		
3:10:00	576	504		
3:15:00	591	523		
3:20:00	603	542		
3:25:00	613	563		
3:30:00	626	584		
3:35:00	639	606		

ตัวอย่างที่ ข-7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการผลิตไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 7 : H1503

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 5 เซนติเมตร (H 150x31.5 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	38	40	45	46
0:01:00	38	41	45	46
0:02:00	39	40	46	46
0:03:00	39	41	46	46
0:04:00	39	40	46	46

ตารางที่ ข-7 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:05:00	39	40	46	47
0:06:00	39	40	47	47
0:07:00	39	40	47	48
0:08:00	39	40	48	49
0:09:00	39	40	49	50
0:10:00	39	41	50	52
0:11:00	39	40	51	54
0:12:00	39	41	52	56
0:13:00	39	41	54	58
0:14:00	39	41	55	60
0:15:00	39	42	57	61
0:16:00	39	42	58	62
0:17:00	40	42	60	63
0:18:00	40	43	62	64
0:19:00	40	44	64	65
0:20:00	41	44	66	67
0:21:00	41	45	68	68
0:22:00	42	46	70	70
0:23:00	42	47	73	71
0:24:00	43	48	75	73
0:25:00	43	49	77	75
0:26:00	44	50	80	76
0:27:00	45	51	82	78
0:28:00	45	52	96	92
0:29:00	46	53	97	100
0:30:00	47	53	100	104
0:35:00	51	58	133	125
0:40:00	56	63	146	135
0:45:00	62	68	161	147
0:50:00	68	73	176	163
0:55:00	73	78	192	180
1:00:00	78	82	209	197
1:05:00	83	86	226	214
1:10:00	87	90	244	234
1:15:00	92	94	263	254

ตารางที่ ข-7 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
1:20:00	96	97	281	274
1:25:00	100	100	300	294
1:30:00	101	101	319	315
1:35:00	101	103	340	336
1:40:00	103	105	359	356
1:45:00	104	106	379	376
1:50:00	105	108	398	397
1:55:00	107	111	414	417
2:00:00	108	113	432	437
2:05:00	110	117	449	457
2:10:00	112	121	466	476
2:15:00	114	128	481	494
2:20:00	116	134	497	532
2:25:00	119	142	511	539
2:30:00	122	152	525	559
2:35:00	125	164	539	566
2:40:00	129	179	552	570
2:45:00	135	194	564	582
2:50:00	141	210	576	595
2:55:00	149	226	588	609
3:00:00	161	242	601	623
3:05:00	175	258	614	636
3:10:00	188	273	627	649
3:15:00	203	289	640	661
3:20:00	217	305	653	673
3:25:00	231	322	665	685
3:30:00	247	337	677	697
3:35:00	261	352		
3:40:00	275	367		
3:45:00	290	384		
3:50:00	306	393		
3:55:00	320	406		
4:00:00	335	421		
4:05:00	352	435		
4:10:00	366	450		

ตารางที่ ข-7 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
4:15:00	383	464		
4:20:00	396	478		
4:25:00	411	491		
4:30:00	427	505		
4:35:00	459	537		
4:40:00	473	553		
4:45:00	492	570		
4:50:00	512	587		
4:55:00	531	606		
5:00:00	546	645		

ตารางที่ ข-8 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการผลิตไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 8 : H2001

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 4 เซนติเมตร (H 200x49.9 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	48	48	38	38
0:01:00	48	48	38	38
0:02:00	48	48	38	38
0:03:00	49	48	38	38
0:04:00	49	49	38	38
0:05:00	49	49	38	39
0:06:00	49	49	38	39
0:07:00	49	49	38	39
0:08:00	49	49	38	40
0:09:00	50	49	39	41
0:10:00	50	49	39	42
0:11:00	51	49	39	43
0:12:00	53	49	40	44
0:13:00	54	44	41	46
0:14:00	56	49	42	48
0:15:00	59	49	43	50
0:16:00	61	50	44	52
0:17:00	63	50	46	55
0:18:00	65	51	47	57

ตารางที่ ข-8 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:19:00	67	51	49	59
0:20:00	69	52	50	62
0:21:00	72	53	52	64
0:22:00	74	54	54	67
0:23:00	76	55	56	70
0:24:00	78	56	58	72
0:25:00	79	58	61	75
0:26:00	80	59	63	77
0:27:00	81	60	65	80
0:28:00	82	61	68	83
0:29:00	83	63	70	86
0:30:00	84	64	73	89
0:35:00	89	71	85	102
0:40:00	92	78	95	111
0:45:00	94	84	102	123
0:50:00	97	89	114	137
0:55:00	101	93	124	152
1:00:00	102	98	135	167
1:05:00	103	99	145	182
1:10:00	104	101	157	196
1:15:00	105	102	170	209
1:20:00	106	103	184	223
1:25:00	107	103	198	238
1:30:00	108	103	214	258
1:35:00	109	104	230	276
1:40:00	109	106	247	295
1:45:00	112	107	267	313
1:50:00	117	108	286	334
1:55:00	121	110	304	354
2:00:00	137	112	324	376
2:05:00	155	115	346	397
2:10:00	173	122	366	418
2:15:00	191	132	388	439
2:20:00	205	144	409	460
2:25:00	222	158	431	480

ตารางที่ ข-8 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
2:30:00	251	173	451	500
2:35:00	274	192	472	521
2:40:00	302	215	492	540
2:45:00	337	235	511	558
2:50:00	377	257	522	576
2:55:00	411	281	543	593
3:00:00	439	308	561	609
3:05:00	462	340		
3:10:00	484	367		
3:15:00	504	395		
3:20:00	528	427		
3:25:00	551	459		
3:30:00	573	491		
3:35:00	592	524		
3:40:00	605	555		
3:45:00	609	586		
3:50:00	625	614		
3:55:00	633	643		
4:00:00	657	665		
4:05:00	674	693		
4:10:00	719	721		
4:15:00	755	745		
4:20:00	780	770		
4:25:00	789	800		
4:30:00	785	833		
4:35:00	808	863		
4:40:00	810	893		
4:45:00	840	926		
4:50:00	865	954		
4:55:00	894	980		
5:00:00	920	1004		

ตัวอย่างที่ ข-9 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการผลิตไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 9 : H2002

เกลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 5 เซนติเมตร (H 200x49.9 kg)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	39	41	78	78
0:01:00	40	42	78	78
0:02:00	39	42	78	79
0:03:00	40	42	78	79
0:04:00	39	42	78	79
0:05:00	40	42	78	79
0:06:00	39	42	78	79
0:07:00	40	42	78	79
0:08:00	39	42	78	79
0:09:00	40	42	78	79
0:10:00	40	42	78	79
0:11:00	40	42	78	79
0:12:00	40	42	78	79
0:13:00	40	42	78	79
0:14:00	40	42	79	79
0:15:00	40	42	79	79
0:16:00	41	43	79	80
0:17:00	41	43	80	80
0:18:00	41	43	80	82
0:19:00	42	44	81	83
0:20:00	43	44	81	84
0:21:00	43	44	82	84
0:22:00	44	45	83	85
0:23:00	44	45	84	87
0:24:00	45	45	84	88
0:25:00	46	46	85	89
0:26:00	47	47	86	90
0:27:00	48	48	87	91
0:28:00	48	49	89	93
0:29:00	49	50	90	94
0:30:00	50	50	91	95
0:35:00	55	55	96	100
0:40:00	60	60	100	100
0:45:00	65	65	101	101

ตัวอย่างที่ ข-9 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:50:00	70	70	101	101
0:55:00	75	75	102	102
1:00:00	80	81	103	103
1:05:00	85	85	105	104
1:10:00	89	89	107	106
1:15:00	93	93	109	108
1:20:00	96	96	112	110
1:25:00	100	98	115	114
1:30:00	101	100	119	120
1:35:00	102	100	124	130
1:40:00	104	101	131	145
1:45:00	105	102	139	166
1:50:00	107	102	148	184
1:55:00	109	103	159	203
2:00:00	111	104	170	219
2:05:00	114	105	183	241
2:10:00	117	107	197	247
2:15:00	121	109	211	272
2:20:00	125	111	225	294
2:25:00	130	114	236	317
2:30:00	137	118	252	340
2:35:00	145	122	269	361
2:40:00	154	126	286	381
2:45:00	165	132	302	401
2:50:00	175	138	318	421
2:55:00	187	146	335	442
3:00:00	202	155	351	462
3:05:00	216	166	368	482
3:10:00	231	177	385	501
3:15:00	246	189	403	523
3:20:00	261	203	422	539
3:25:00	276	217	440	565
3:30:00	292	231	458	587
3:35:00	307	246	477	609
3:40:00	321	261	497	628
3:45:00	337	275	516	646
3:50:00	349	290	535	665
3:55:00	363	304	554	683

ตัวอย่างที่ ข-9 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
4:00:00	378	319	571	700
4:05:00	393	334		
4:10:00	408	350		
4:15:00	423	366		
4:20:00	437	382		
4:25:00	451	397		
4:30:00	466	413		
4:35:00	482	429		
4:40:00	498	444		
4:45:00	513	460		
4:50:00	531	476		
4:55:00	549	492		
5:00:00	568	510		

ตารางที่ ข-10 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการผลิตไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 10

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 เซนติเมตร (ท่อ O-40 mm)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	35	35	36	36
0:01:00	36	36	39	37
0:02:00	36	36	42	39
0:03:00	36	36	45	41
0:04:00	38	37	48	43
0:05:00	40	39	51	46
0:06:00	44	43	55	51
0:07:00	48	47	59	58
0:08:00	53	52	65	65
0:09:00	58	58	71	71
0:10:00	64	63	76	76
0:11:00	69	68	81	82
0:12:00	74	74	86	88
0:13:00	80	79	89	93
0:14:00	85	84	93	96
0:15:00	90	89	99	99

ตารางที่ ข-10 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:16:00	95	94	104	100
0:17:00	99	99	111	101
0:18:00	101	102	118	102
0:19:00	102	103	125	104
0:20:00	103	103	132	108
0:21:00	105	104	140	114
0:22:00	107	107	148	121
0:23:00	110	109	155	128
0:24:00	114	113	163	137
0:25:00	118	117	171	145
0:26:00	124	121	179	154
0:27:00	130	126	186	172
0:28:00	135	131	193	181
0:29:00	141	136	202	190
0:30:00	147	141	209	245
0:35:00	192	177	241	301
0:40:00	258	226	281	356
0:45:00	324	276	328	410
0:50:00	378	318	375	461
0:55:00	438	364	423	539
1:00:00	485	403	468	557
1:05:00	509	431	512	603
1:10:00	521	454	555	649
1:15:00	532	478	597	693
1:20:00	542	502	637	736
1:25:00	547	524	677	778
1:30:00	542	542	716	820
1:35:00	569	572	755	862
1:40:00	600	604	795	905
1:45:00	627	634	831	951

ตารางที่ ข-11 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 11

เคลือบวัสดุป้องกันไฟผสมเพอร์ไลต์หนา 3 เซนติเมตร (ท่อ O-100 mm)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	35	35	36	36
0:01:00	35	35	37	37
0:02:00	35	36	39	39
0:03:00	35	36	41	40
0:04:00	36	36	43	43
0:05:00	36	36	47	47
0:06:00	37	37	52	51
0:07:00	38	38	57	57
0:08:00	41	41	61	61
0:09:00	44	44	65	66
0:10:00	48	48	70	70
0:11:00	53	53	74	74
0:12:00	58	58	78	78
0:13:00	63	64	82	82
0:14:00	69	69	85	86
0:15:00	75	75	91	91
0:16:00	82	80	95	95
0:17:00	88	85	97	98
0:18:00	93	90	100	100
0:19:00	97	94	101	102
0:20:00	99	98	103	104
0:21:00	100	100	104	107
0:22:00	101	101	106	111
0:23:00	101	101	109	115
0:24:00	101	102	113	120
0:25:00	101	102	118	126
0:26:00	101	102	124	132
0:27:00	101	102	130	177
0:28:00	101	102	137	198
0:29:00	101	102	144	209
0:30:00	102	104	151	219
0:35:00	109	117	189	268
0:40:00	135	140	233	313

ตารางที่ ข-11 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:45:00	188	170	281	351
0:50:00	235	202	342	395
0:55:00	281	238	381	436
1:00:00	319	273	422	474
1:05:00	364	310	460	511
1:10:00	401	348	495	545
1:15:00	436	386	528	577
1:20:00	459	424	559	605
1:25:00	481	463	676	655
1:30:00	502	505	693	679
1:35:00	532	538	703	703
1:40:00	565	574	669	724

ตารางที่ ข-12 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของเหล็กรูปพรรณ ตัวอย่างที่ 12

เคลือบวัสดุป้องกันไฟสเมเพอร์ไลท์หนา 3 เซนติเมตร (ท่อ O-150 mm)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:00:00	34	34	35	36
0:01:00	35	35	35	36
0:02:00	35	35	36	37
0:03:00	35	37	37	38
0:04:00	35	39	38	40
0:05:00	36	41	39	43
0:06:00	38	43	40	46
0:07:00	41	45	42	49
0:08:00	44	47	44	53
0:09:00	48	51	46	56
0:10:00	52	55	48	64
0:11:00	56	59	52	68
0:12:00	61	63	55	72
0:13:00	65	68	59	75
0:14:00	70	72	63	78
0:15:00	74	77	67	81
0:16:00	78	81	71	84
0:17:00	82	85	76	84
0:18:00	85	89	80	89
0:19:00	89	93	85	94
0:20:00	92	100	89	107
0:21:00	95	103	92	115
0:22:00	98	104	99	122
0:23:00	99	105	97	130
0:24:00	100	105	98	137
0:25:00	100	106	98	144
0:26:00	100	107	100	151
0:27:00	100	108	100	157
0:28:00	100	109	101	164
0:29:00	101	111	102	171
0:30:00	101	113	103	179
0:35:00	109	132	116	216
0:40:00	123	164	138	252
0:45:00	137	184	168	286

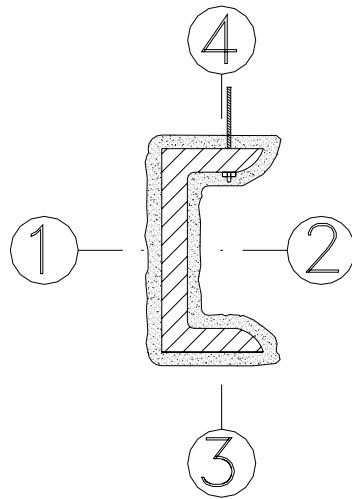
ตารางที่ ข-12 (ต่อ)

เวลาในการเผา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	ที่การบ่มอายุ 1 เดือน อุณหภูมิ (°C)		ที่การบ่มอายุ 1 ปี อุณหภูมิ (°C)	
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
0:50:00	155	205	210	318
0:55:00	174	224	232	356
1:00:00	195	248	269	391
1:05:00	217	276	307	419
1:10:00	242	302	345	450
1:15:00	270	329	383	477
1:20:00	303	359	409	505
1:25:00	341	387	443	539
1:30:00	374	416	473	559
1:35:00	406	444	503	585
1:40:00	439	475	532	614
1:45:00	473	505	562	639
1:50:00	506	536	591	669
1:55:00	538	565	594	673

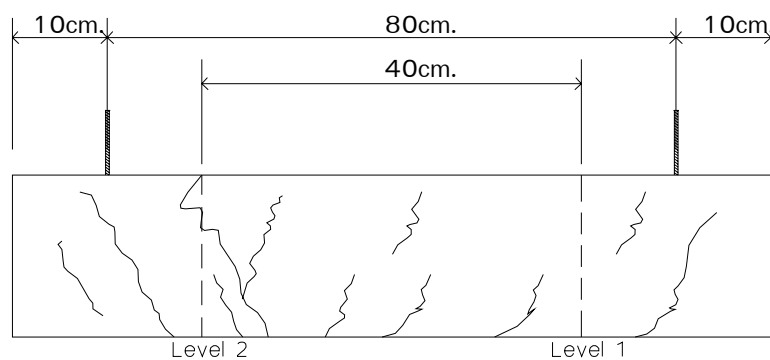
ภาคผนวก ค

แสดงลักษณะรอยแตกร้าวก่อนและหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง

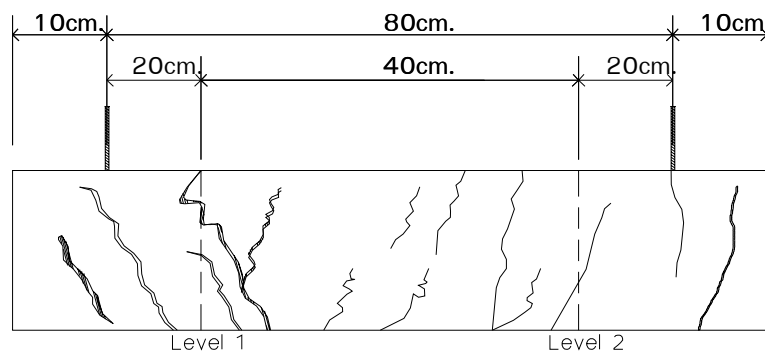
ตัวอย่างที่ 1 ชี้นตัวอย่างทดสอบ C1501 : C-150x75 mm , Cover 3 cm



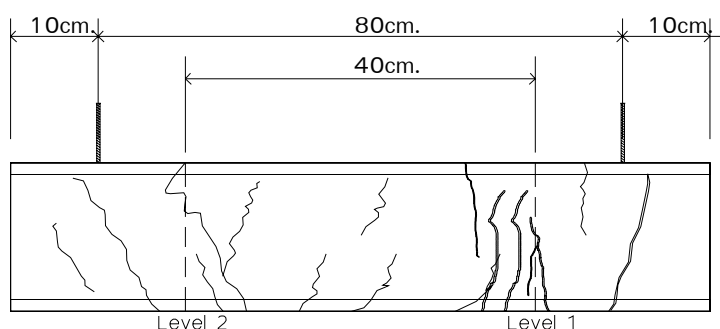
ภาพที่ ค-1 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชี้นตัวอย่าง C1501



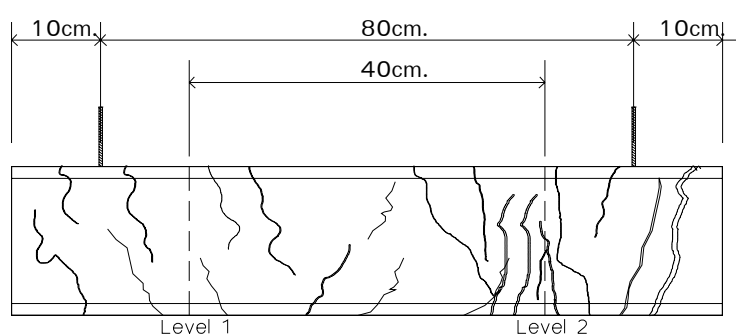
ภาพที่ ค-2 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชี้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 1



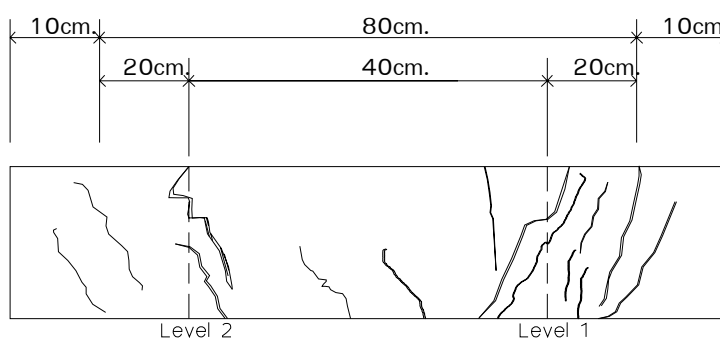
ภาพที่ ค-3 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชี้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 1



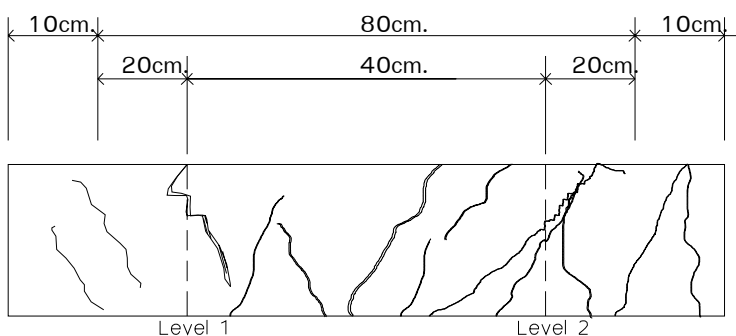
ภาพที่ ค-4 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-5 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 2

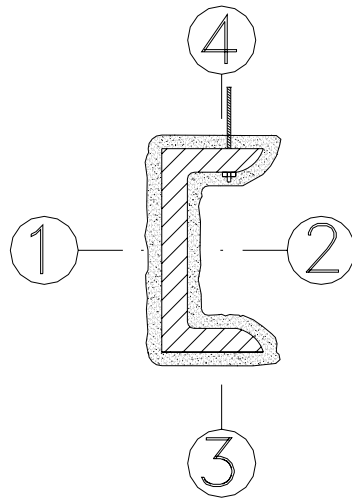


ภาพที่ ค-6 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 3

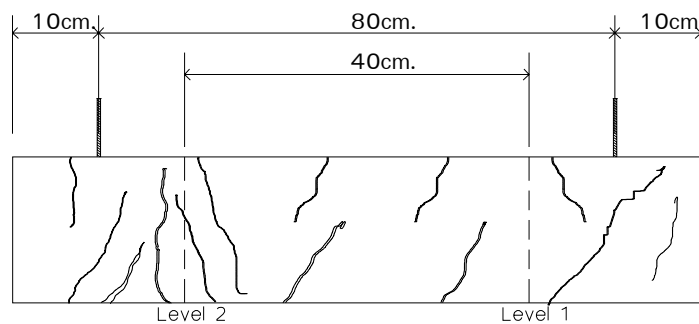


ภาพที่ ค-7 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1501 ด้านที่ 3

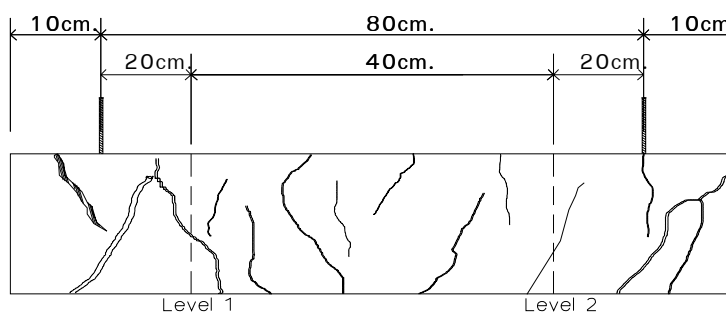
ตัวอย่างที่ 2 ชี้นตัวอย่างทดสอบ C1502 : C-150x75 mm , Cover 4 cm



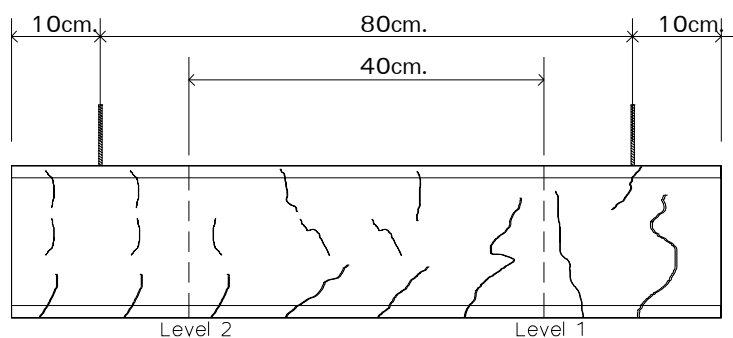
ภาพที่ ค-8 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชี้นตัวอย่าง C1502



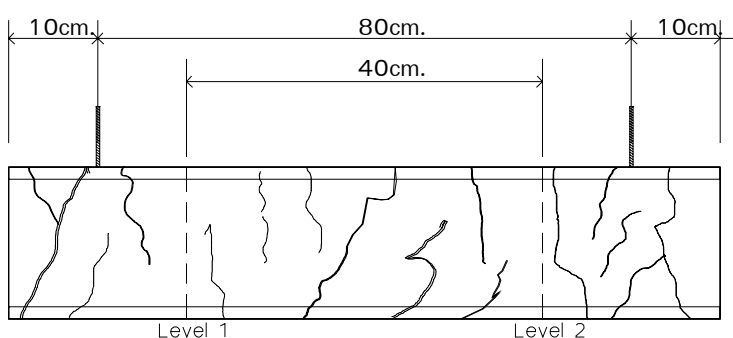
ภาพที่ ค-9 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชี้นตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 1



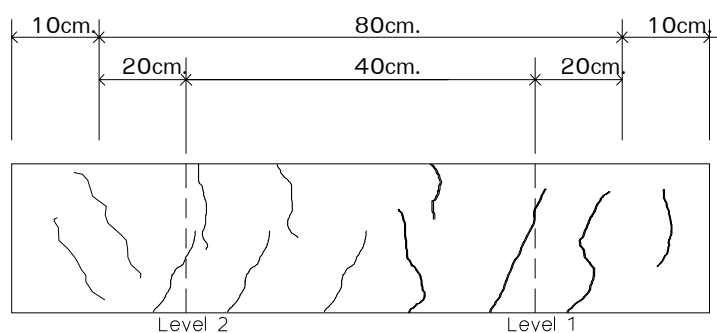
ภาพที่ ค-10 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชี้นตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 1



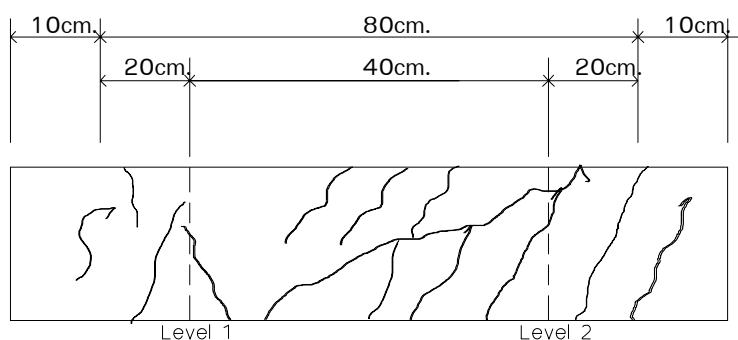
ภาพที่ ค-11 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของดินตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-12 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของดินตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 2

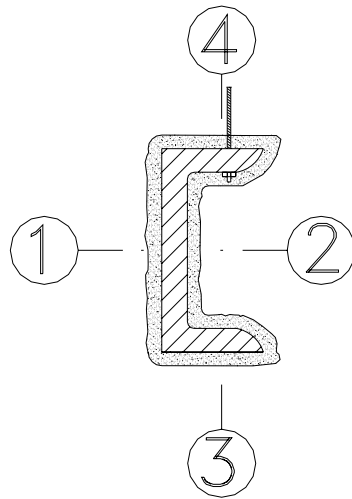


ภาพที่ ค-13 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของดินตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 3

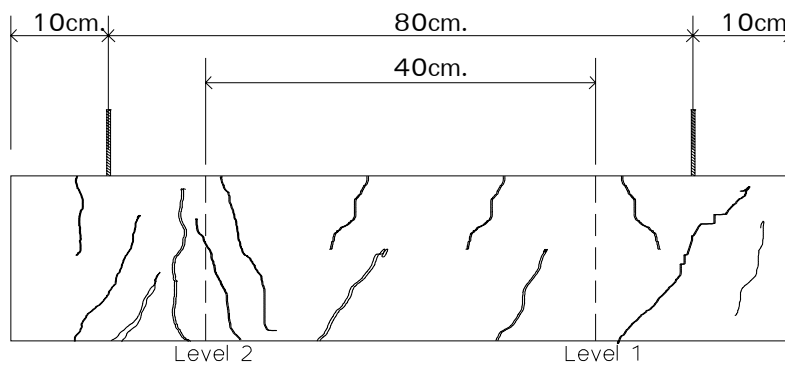


ภาพที่ ค-14 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของดินตัวอย่าง C1502 ด้านที่ 3

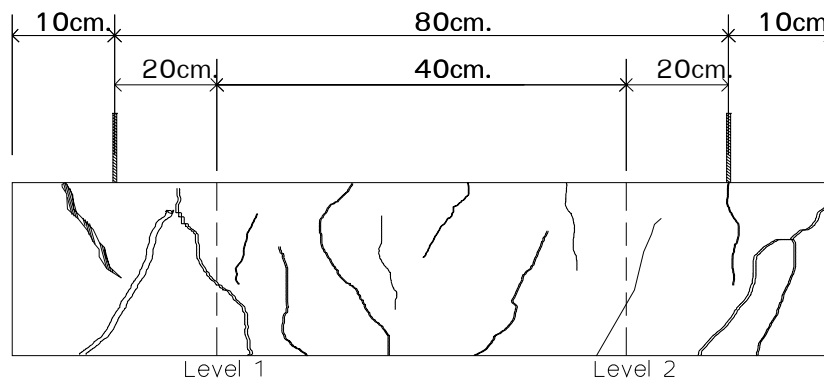
ตัวอย่างที่ 3 ชี้นตัวอย่างทดสอบ C1503 : C-150x75 mm , Cover 5 cm



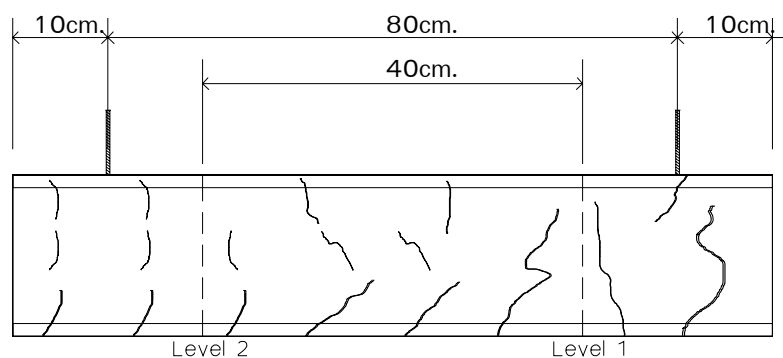
ภาพที่ ค-15 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชี้นตัวอย่าง C1503



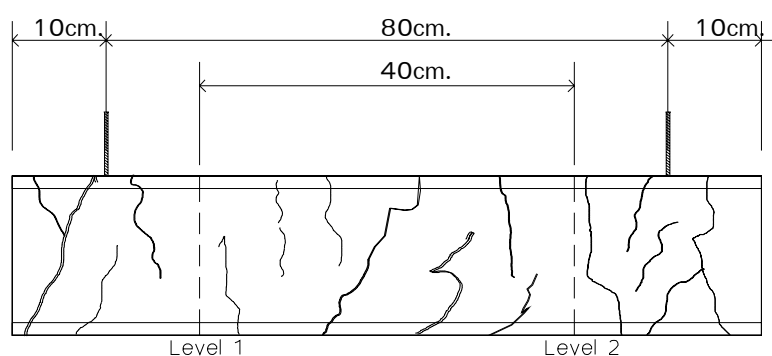
ภาพที่ ค-16 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชี้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 1



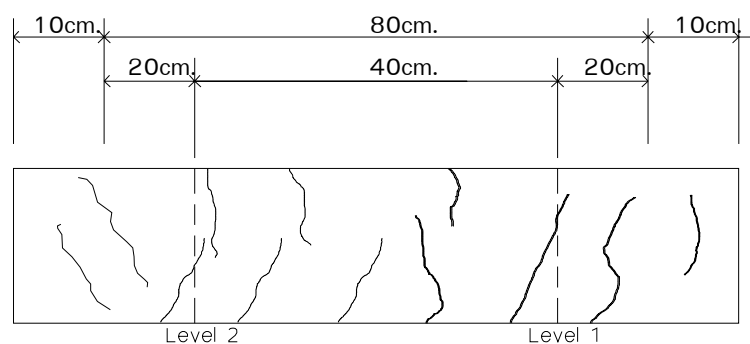
ภาพที่ ค-17 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชี้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 1



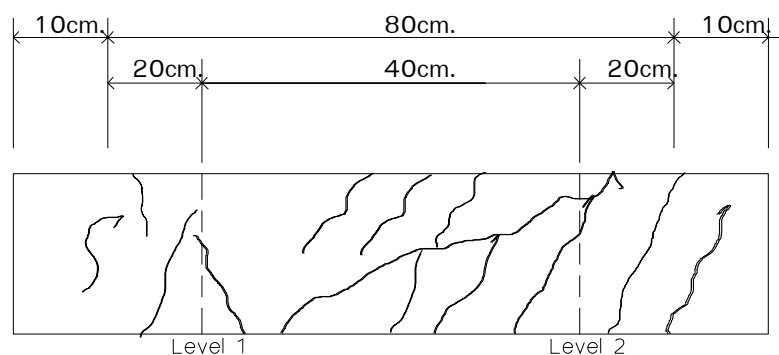
ภาพที่ ค-18 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-19 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 2

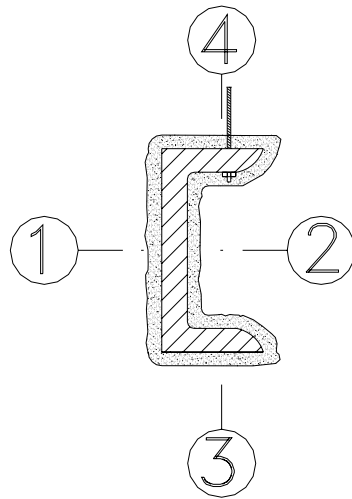


ภาพที่ ค-20 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 3

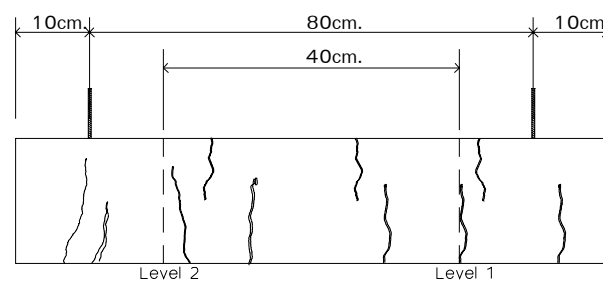


ภาพที่ ค-21 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C1503 ด้านที่ 3

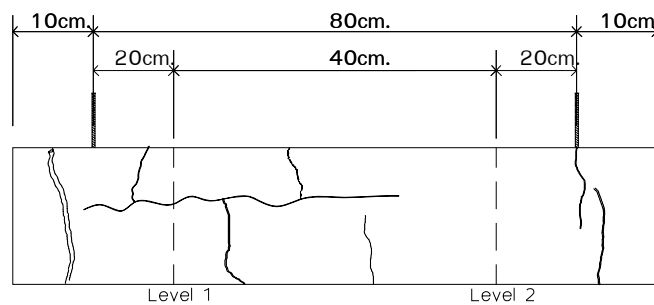
ตัวอย่างที่ 4 ชี้นตัวอย่างทดสอบ C2001 : C-200x80 mm , Cover 5 cm



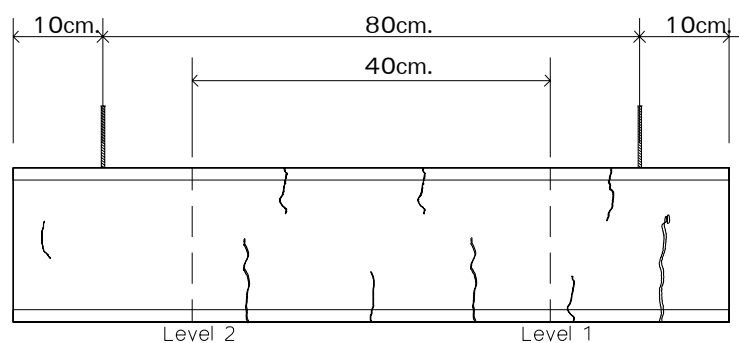
ภาพที่ ค-22 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชี้นตัวอย่าง C2001



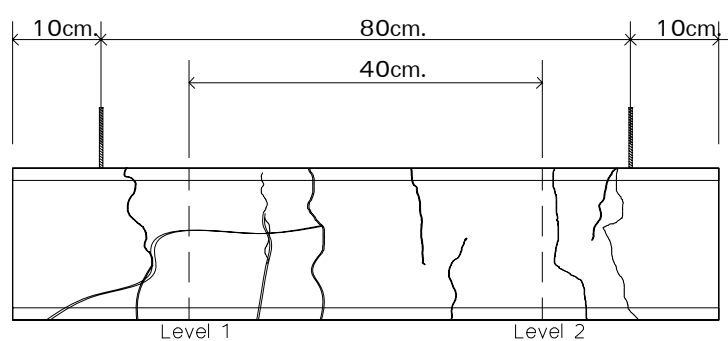
ภาพที่ ค-23 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชี้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 1



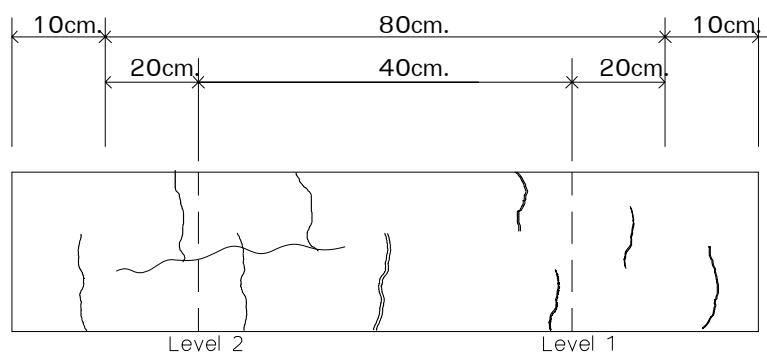
ภาพที่ ค-24 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชี้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 1



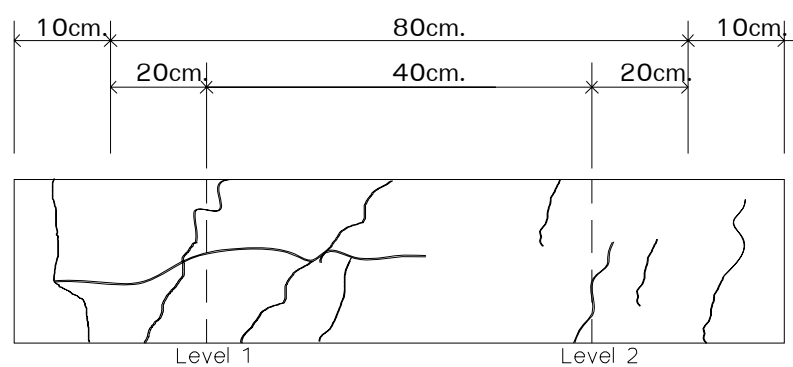
ภาพที่ ค-25 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-26 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 2

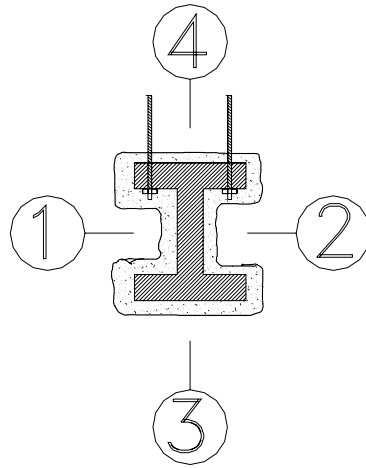


ภาพที่ ค-27 แสดงรอยร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 3

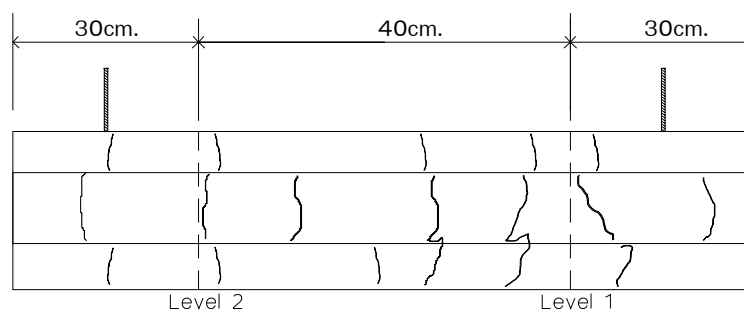


ภาพที่ ค-28 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง C2001 ด้านที่ 3

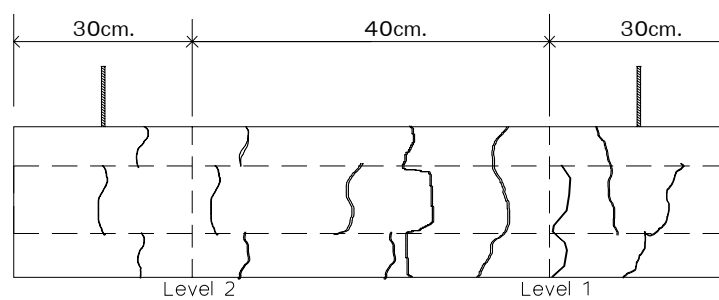
ตัวอย่างที่ 5 ชั้นตัวอย่างทดสอบ H1501 : H-150x150 mm , Cover 3 cm



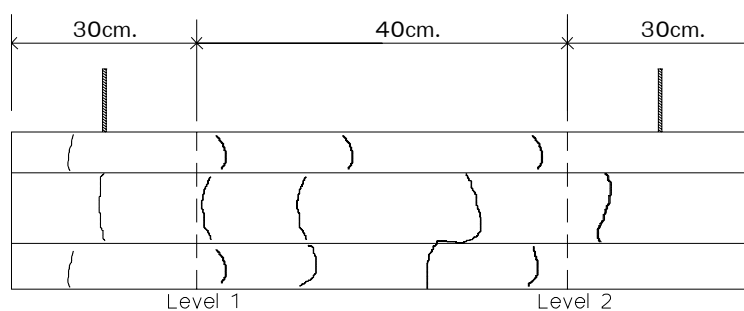
ภาพที่ ค-29 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชั้นตัวอย่าง H1501



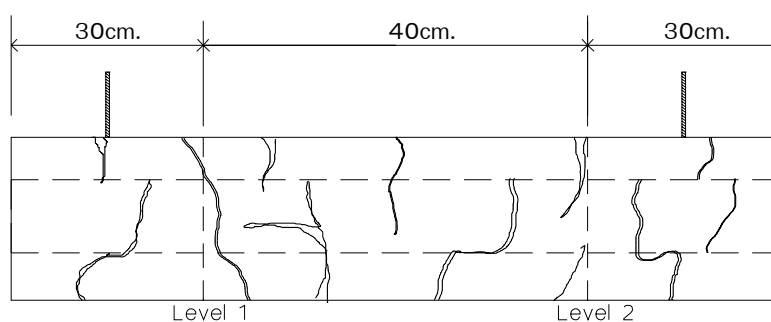
ภาพที่ ค-30 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชั้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 1



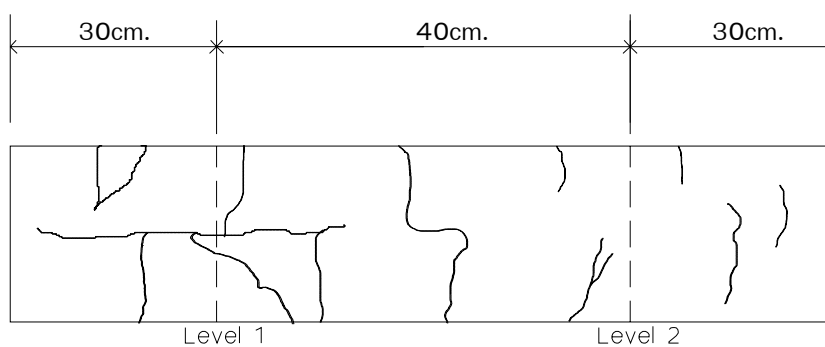
ภาพที่ ค-31 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชั้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 1



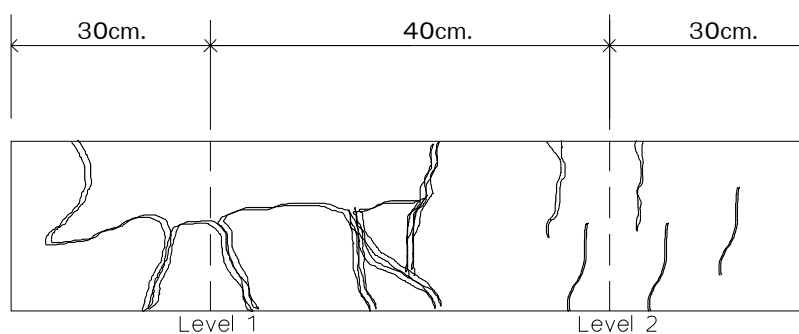
ภาพที่ ค-32 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-33 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 2

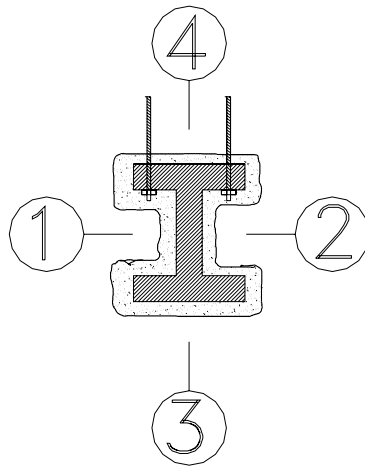


ภาพที่ ค-34 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 3

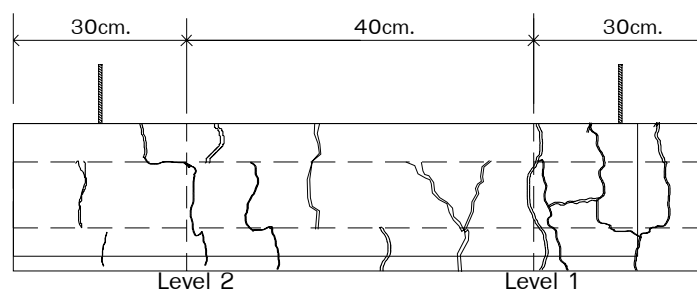


ภาพที่ ค-35 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1501 ด้านที่ 3

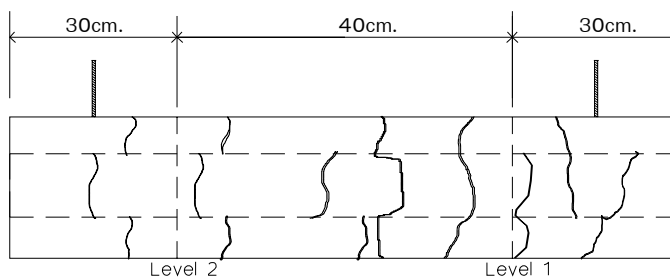
ตัวอย่างที่ 6 ชินตัวอย่างทดสอบ H1502 : H-150x150 mm , Cover 4 cm



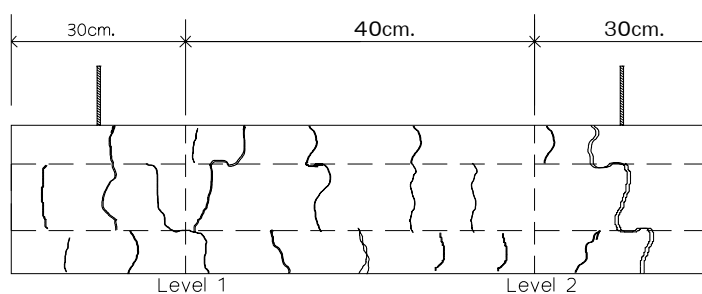
ภาพที่ ค-36 แสดงการเคลือบผิวเหล็กgrupพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชินตัวอย่าง H1502



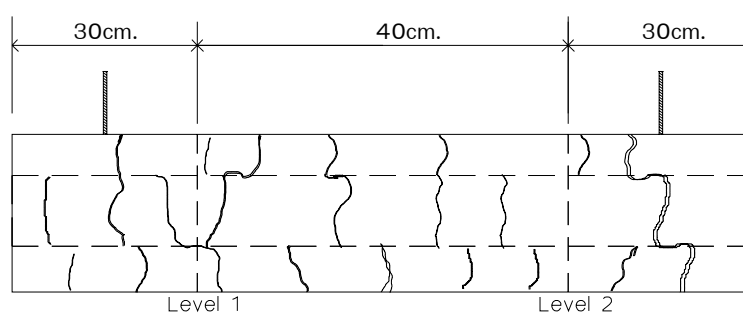
ภาพที่ ค-37 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชินตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 1



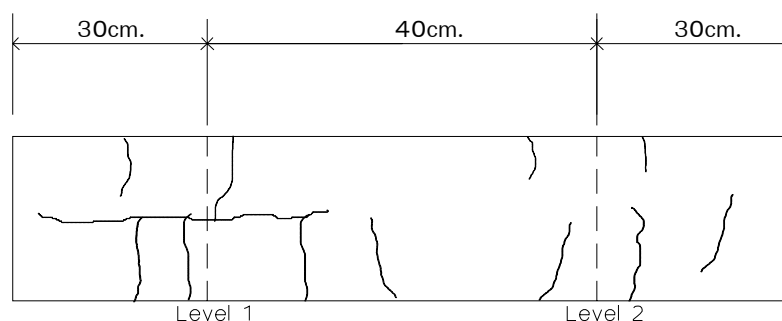
ภาพที่ ค-38 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชินตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 1



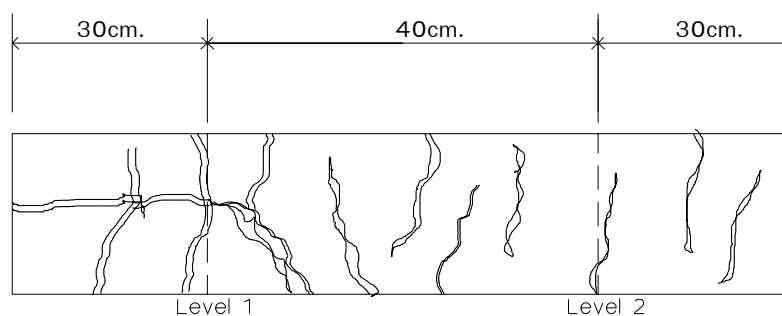
ภาพที่ ค-39 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชั้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-40 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชั้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 2

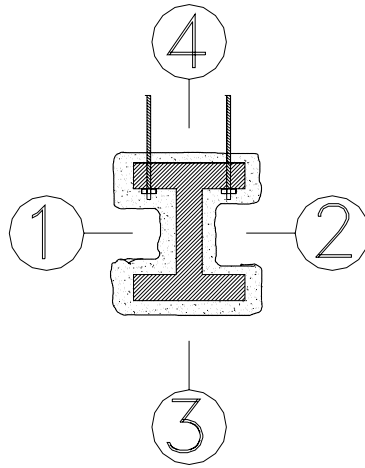


ภาพที่ ค-41 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชั้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 3

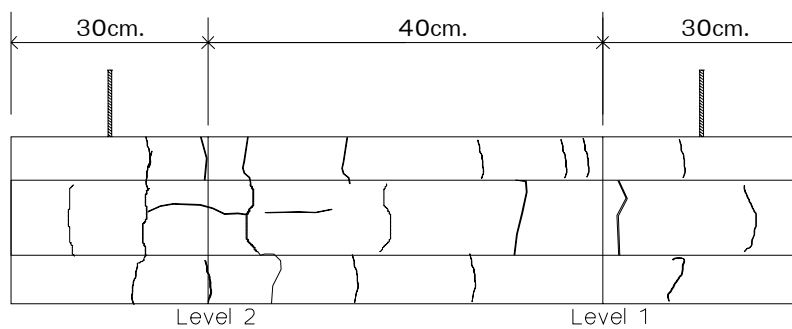


ภาพที่ ค-42 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชั้นตัวอย่าง H1502 ด้านที่ 3

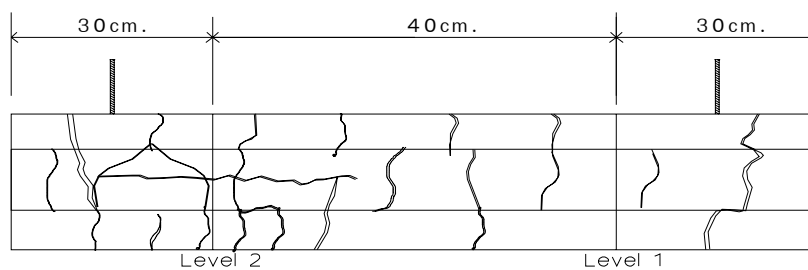
ตัวอย่างที่ 7 ชี้นตัวอย่างทดสอบ H 1503 : H-150x150 mm , Cover 5 cm



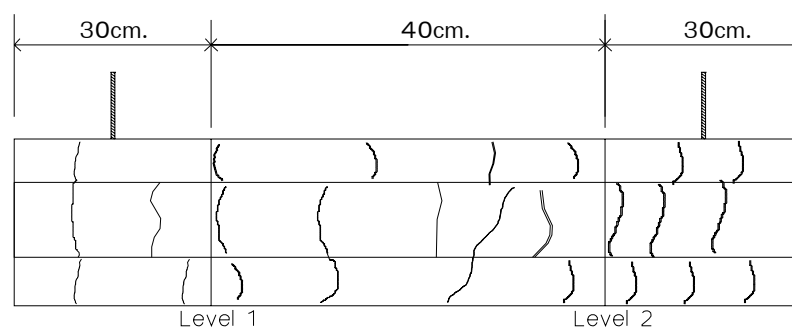
ภาพที่ ค-43 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชี้นตัวอย่าง H1503



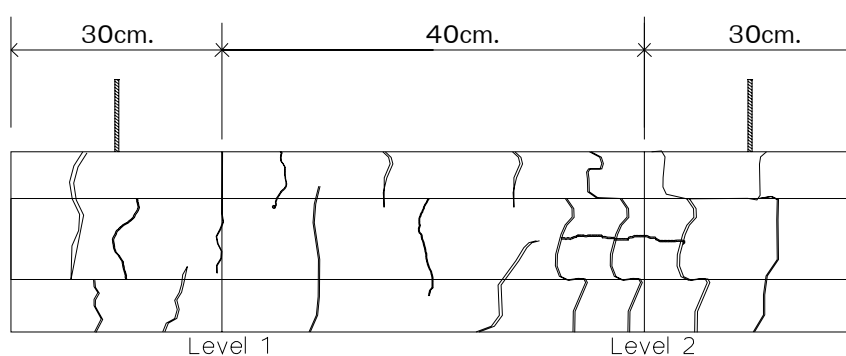
ภาพที่ ค-44 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชี้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 1



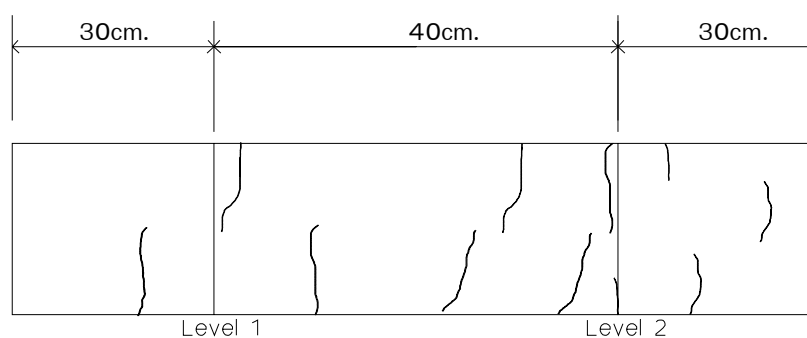
ภาพที่ ค-45 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชี้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 1



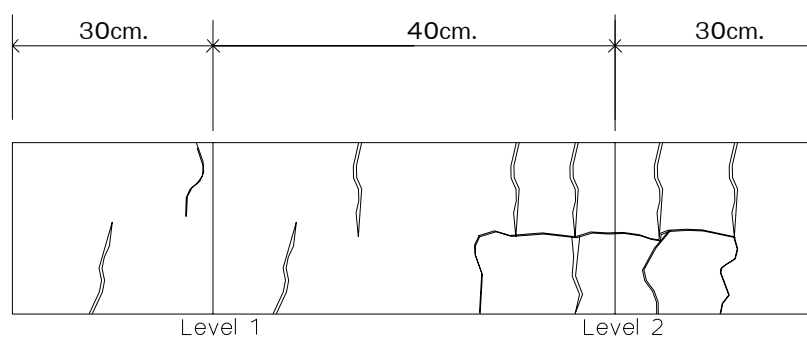
ภาพที่ ค-46 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-47 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 2

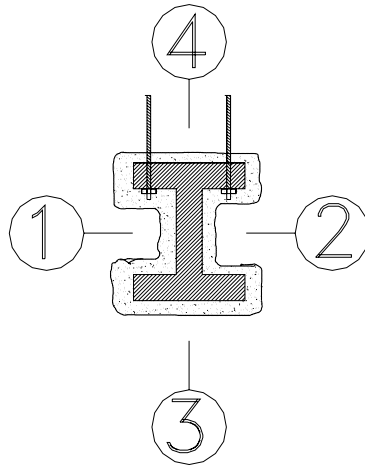


ภาพที่ ค-48 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 3

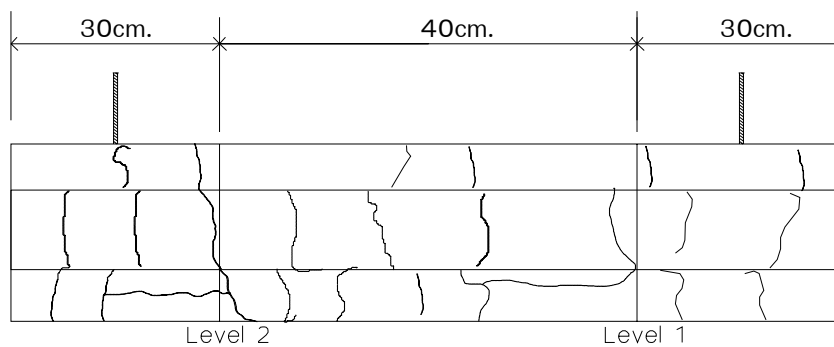


ภาพที่ ค-49 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H1503 ด้านที่ 3

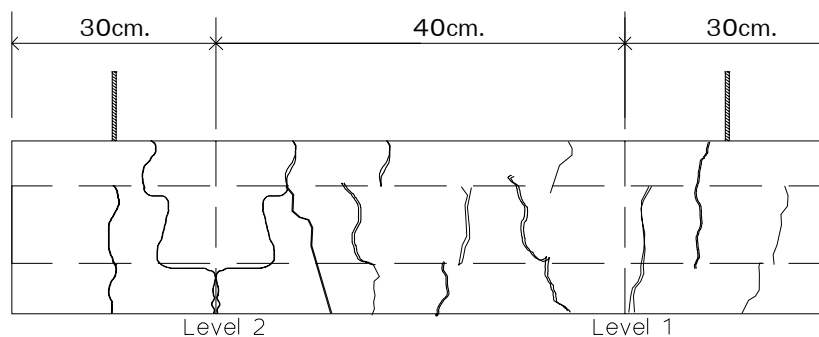
ตัวอย่างที่ 8 ชี้นตัวอย่างทดสอบ H 2001 : H-200x200 mm , Cover 4 cm



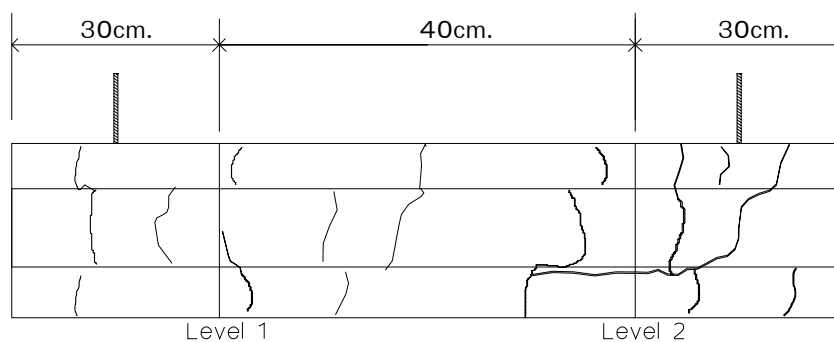
ภาพที่ ค-50 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชี้นตัวอย่าง H2001



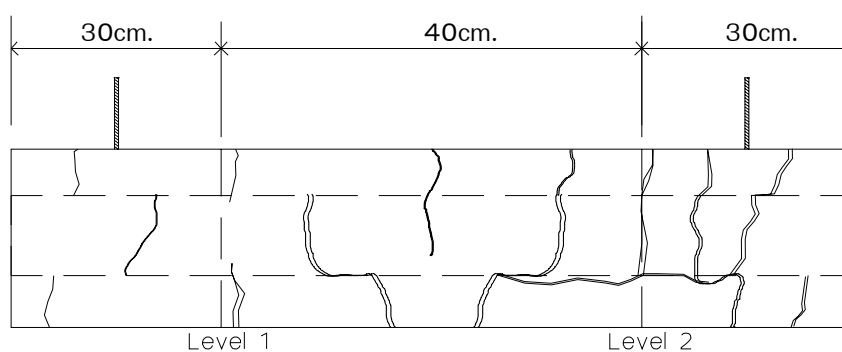
ภาพที่ ค-51 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชี้นตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 1



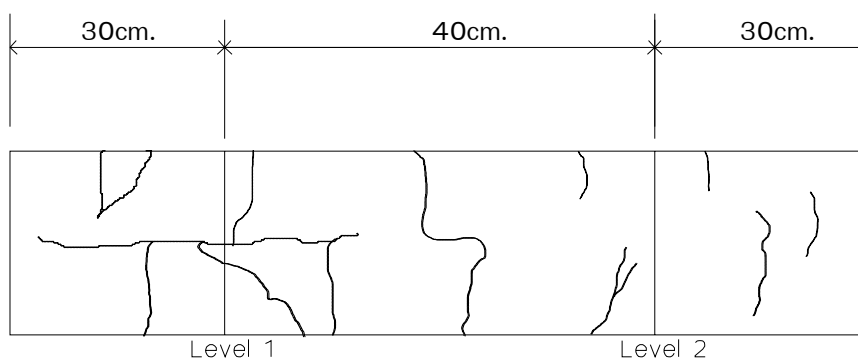
ภาพที่ ค-52 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชี้นตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 1



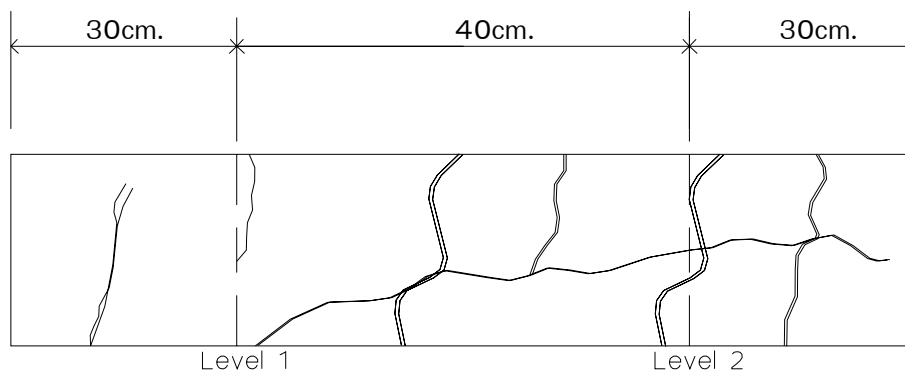
ภาพที่ ค-53 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของหินตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-54 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของหินตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 2

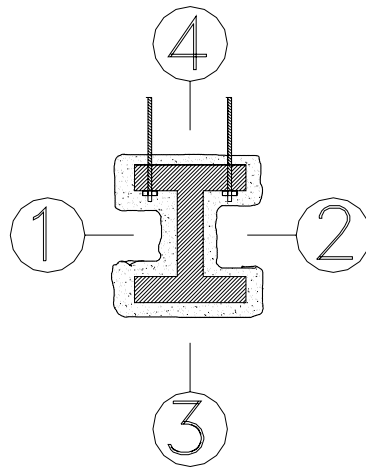


ภาพที่ ค-55 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของหินตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 3

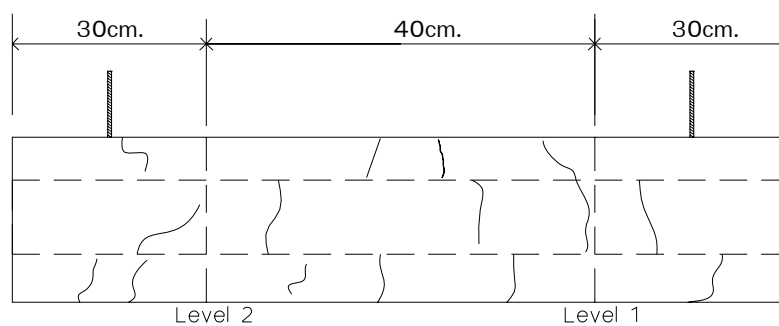


ภาพที่ ค-56 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของหินตัวอย่าง H2001 ด้านที่ 3

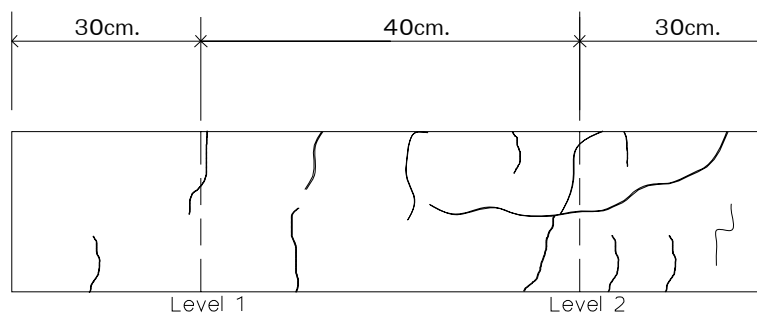
ตัวอย่างที่ 9 ชี้นตัวอย่างทดสอบ H2002 : H-200x200 mm , Cover 5 cm



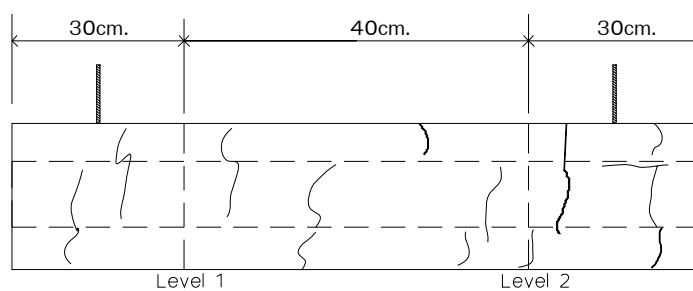
ภาพที่ ค-57 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของชี้นตัวอย่าง H2002



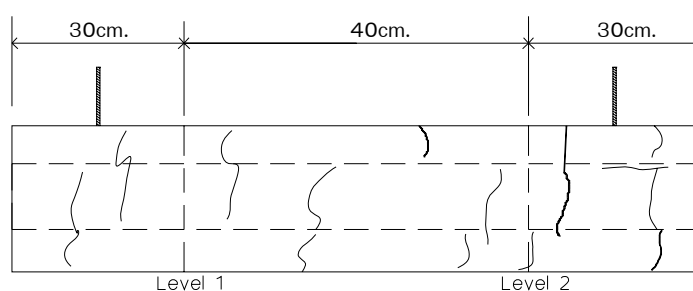
ภาพที่ ค-58 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชี้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 1



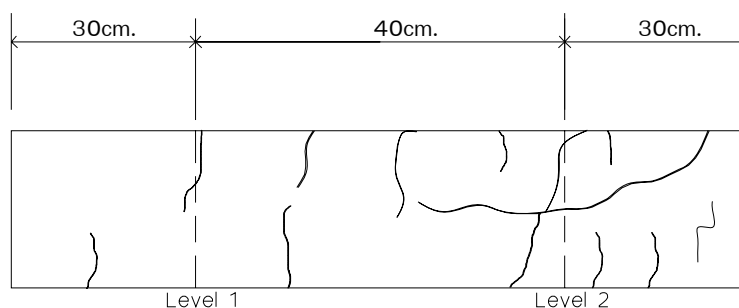
ภาพที่ ค-59 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชี้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 1



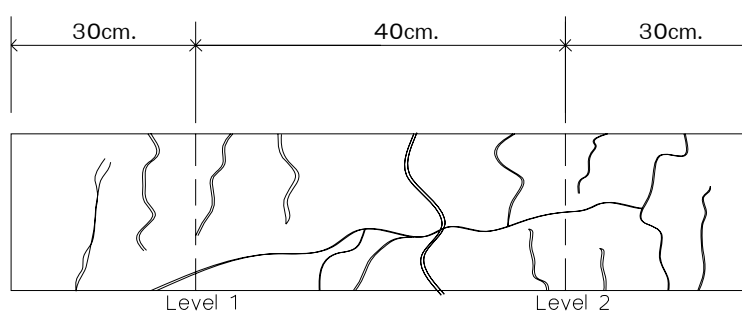
ภาพที่ ค-60 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-61 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 2

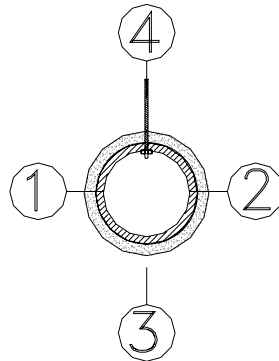


ภาพที่ ค-62 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 3

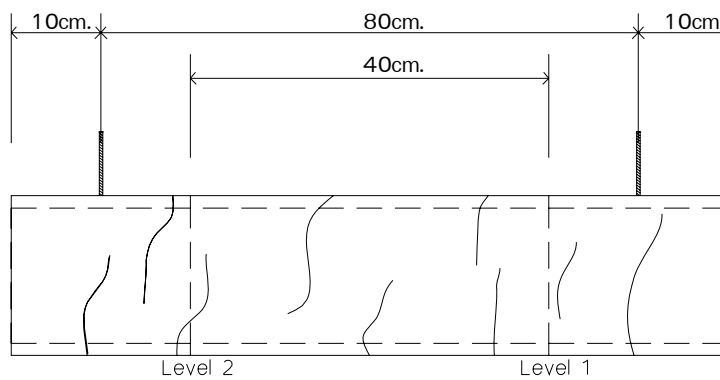


ภาพที่ ค-63 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่าง H2002 ด้านที่ 3

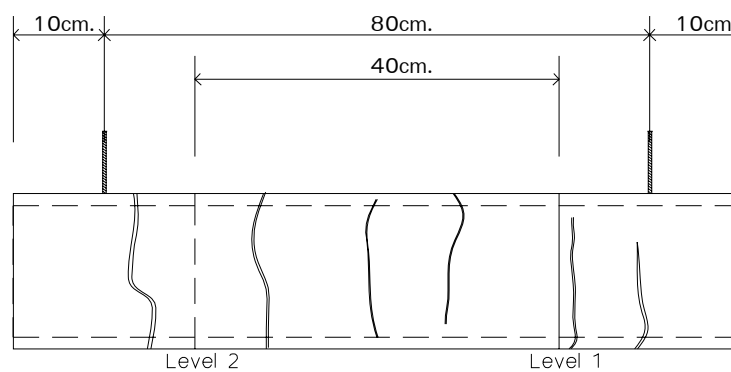
ตัวอย่างที่ 10 ชี้นตัวอย่างทดสอบ O-40 mm, Cover 3 cm



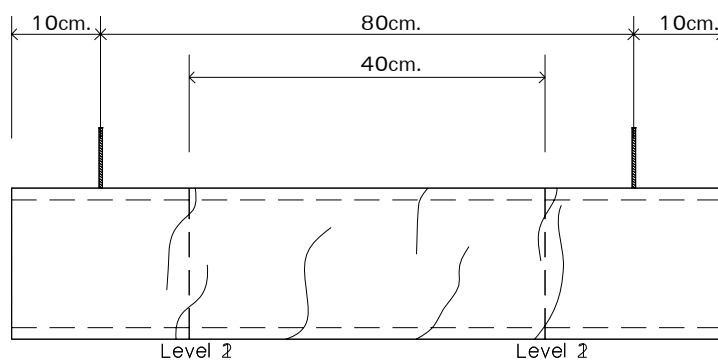
ภาพที่ ค-64 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของท่อกลมขนาด O-40 mm



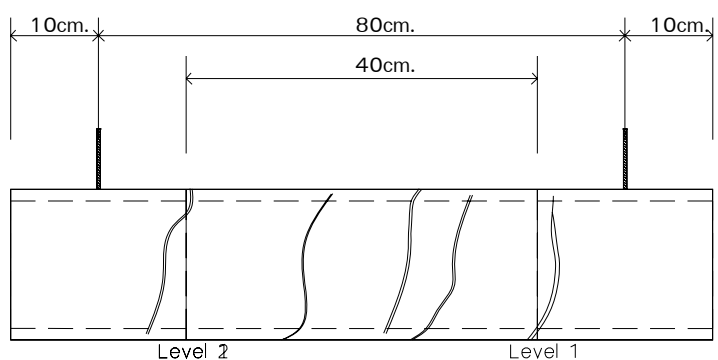
ภาพที่ ค-65 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชี้นตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 1



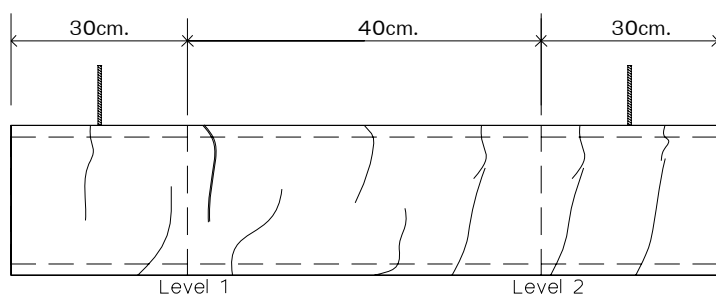
ภาพที่ ค-66 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชี้นตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 1



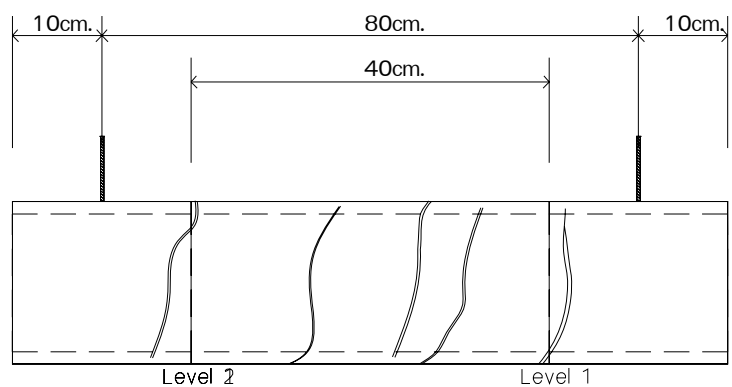
ภาพที่ ค-67 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของหินตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-68 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของหินตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 2

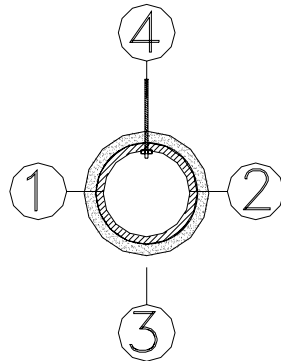


ภาพที่ ค-69 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของหินตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 3

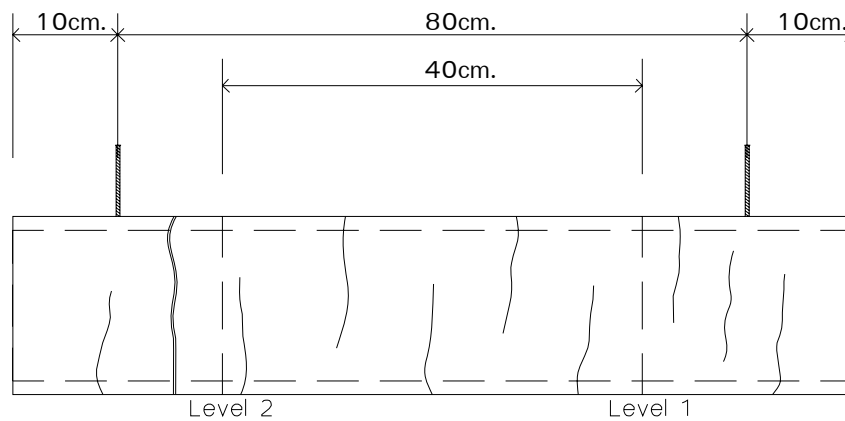


ภาพที่ ค-70 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของหินตัวอย่าง ขนาด O-40 mm ด้านที่ 3

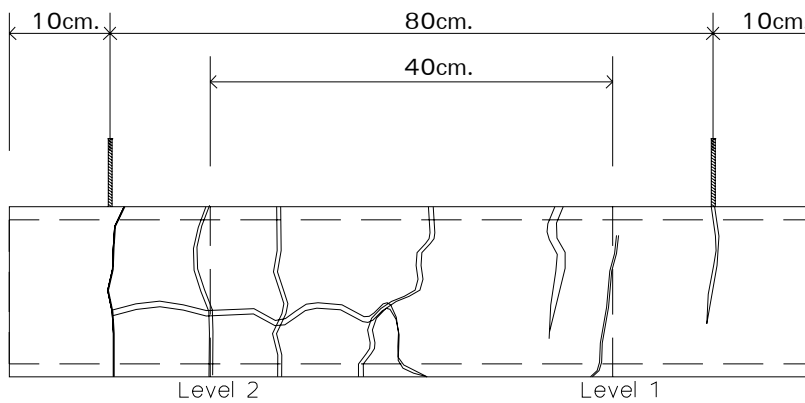
ตัวอย่างที่ 11 ชั้นตัวอย่างทดสอบ O-100 mm , Cover 3 cm



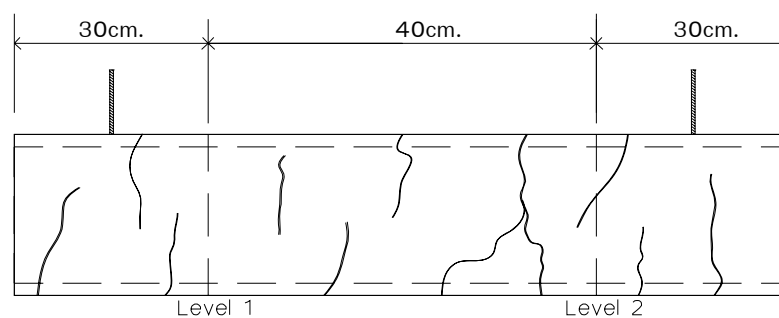
ภาพที่ ก-71 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของท่อกลมขนาด O-100 mm



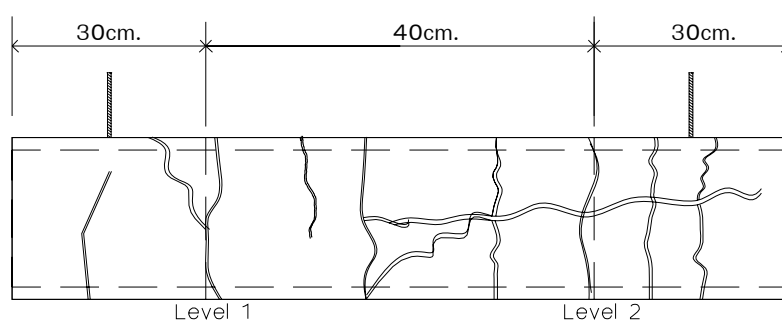
ภาพที่ ก-72 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชั้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 1



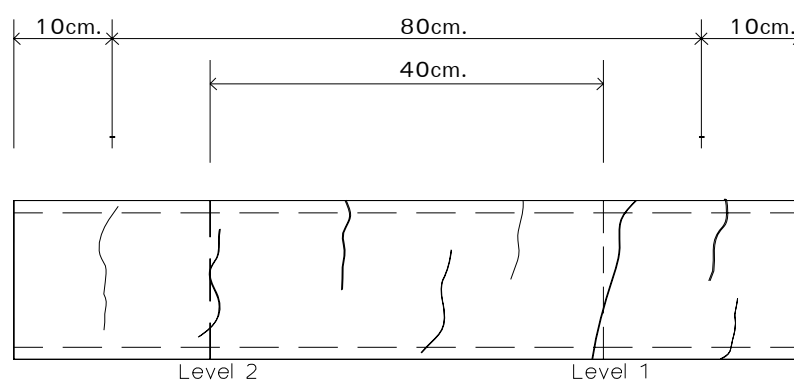
ภาพที่ ก-73 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชั้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 1



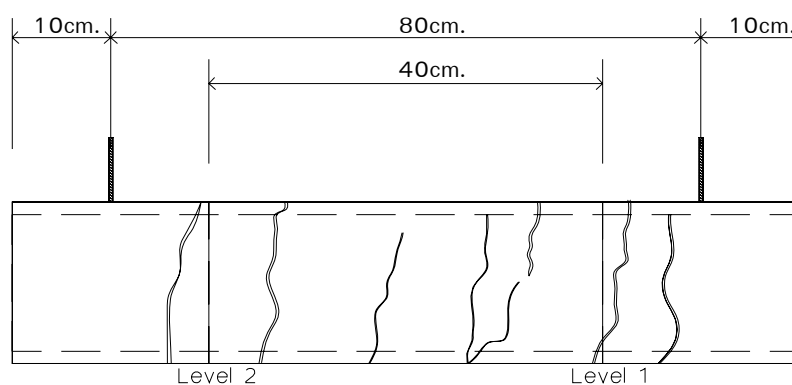
ภาพที่ ก-74 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 2



ภาพที่ ก-75 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 2

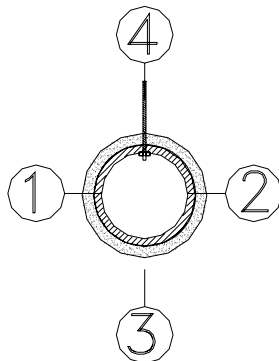


ภาพที่ ก-76 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 3

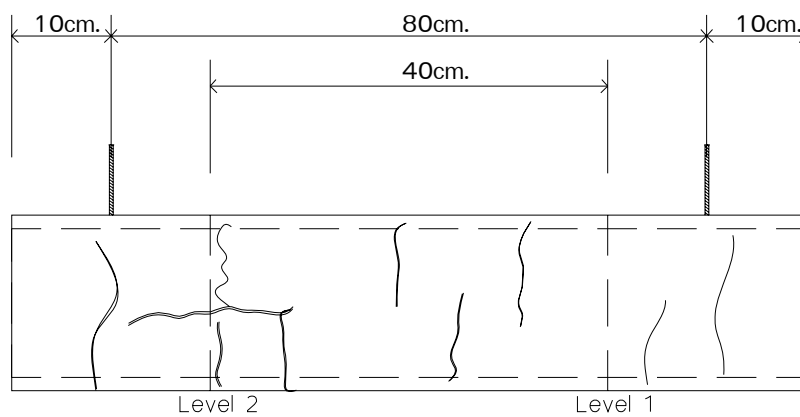


ภาพที่ ก-77 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-100 mm ด้านที่ 3

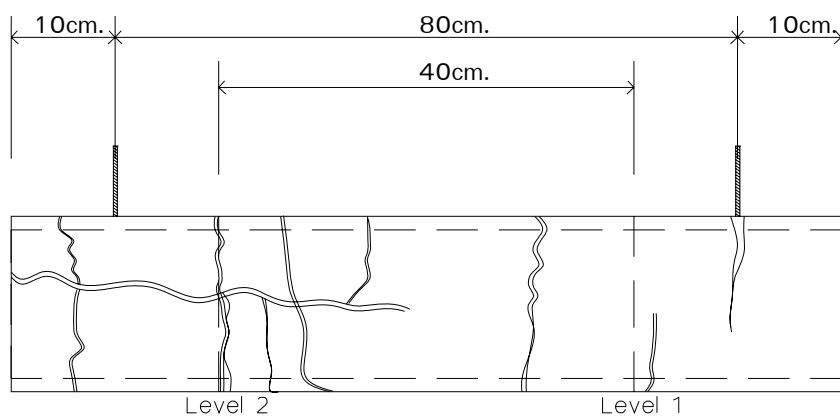
ตัวอย่างที่ 12 ชั้นตัวอย่างทดสอบ O-150 mm , Cover 3 cm



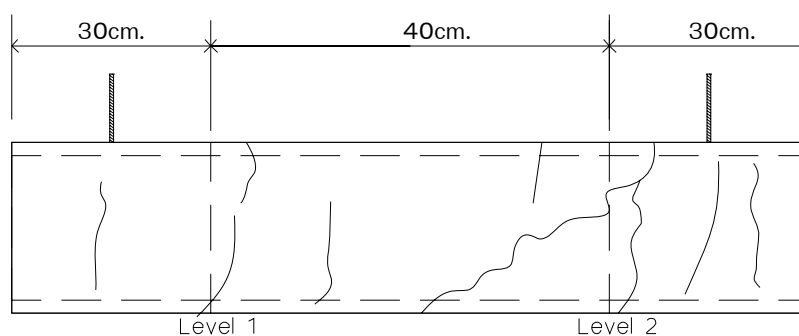
ภาพที่ ก-78 แสดงการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณด้วยวัสดุป้องกันไฟของท่อกลมขนาด O-150 mm



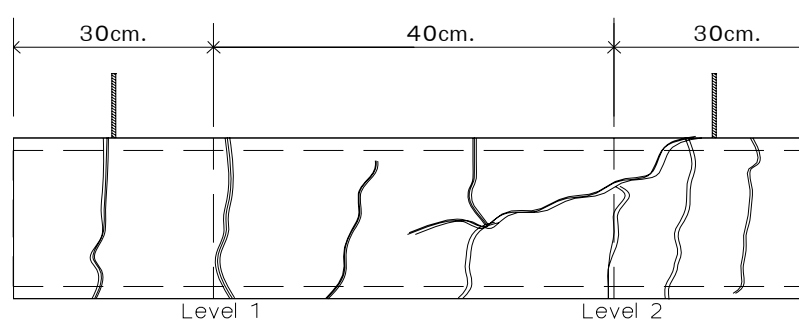
ภาพที่ ก-79 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชั้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 1



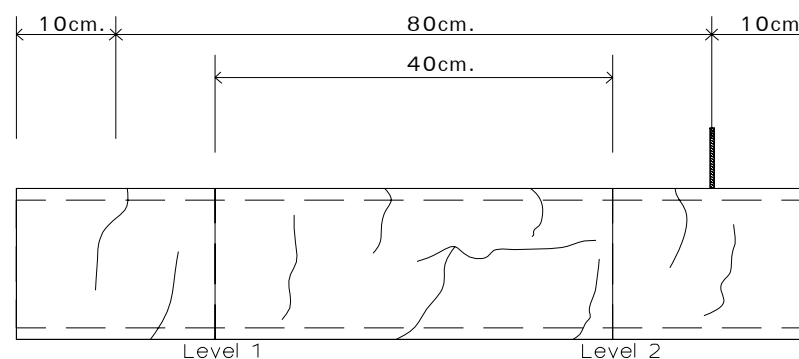
ภาพที่ ก-80 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชั้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 1



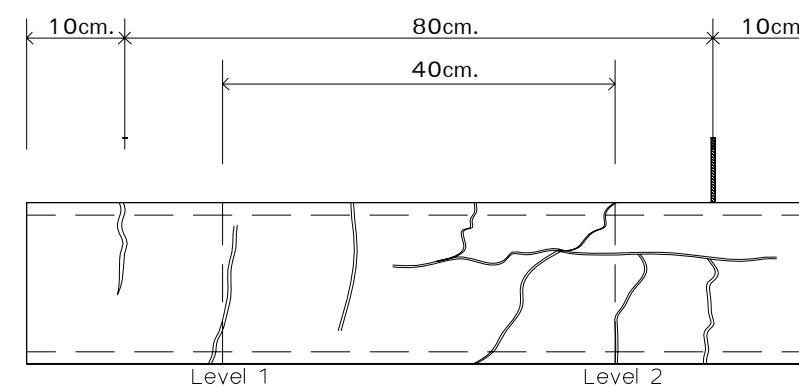
ภาพที่ ค-81 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-82 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 2



ภาพที่ ค-83 แสดงรอยร้าวก่อนการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 3



ภาพที่ ค-84 แสดงรอยแตกร้าวหลังการทดสอบของชิ้นตัวอย่างขนาด O-150 mm ด้านที่ 3

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายสุรินทร์ สุทธิประภา
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาอัตราการต้านทานไฟของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ
 เคลือบด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมของเพอร์ไลต์ในระยะยาว
 สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดที่บ้านดอน ตำบลเหนือเมือง อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ มีพี่น้อง
 ทั้งหมด 9 คน เป็นบุตรคนที่ 9 ของคุณแม่สมยา และคุณพ่อลี สุทธิประภา สมรสกับ คุณวนิดา
 สุทธิประภา มีบุตรหญิง บุตรชาย 2 คน

ประวัติการศึกษา จบปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (โยธา-ก่อสร้าง) ปีการศึกษา
 2527 วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทเวศร์ และจบปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร
 บัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) ปีการศึกษา 2533 จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
 เข้าศึกษาต่อระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 พระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2546

ประวัติการทำงาน 17 มิถุนายน พ.ศ. 2528 เริ่มรับราชการในตำแหน่งอาจารย์ 1 ระดับ 3
 ที่สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตอุเทนถวาย จนถึงปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ 3 ระดับ 8

สถานที่ติดต่อ

225 คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
 ตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
 โทร. 022527029 ต่อ 37