

การศึกษาคุณสมบัติของสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม
สำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ



นายสรวุฒิ ญาณภีร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

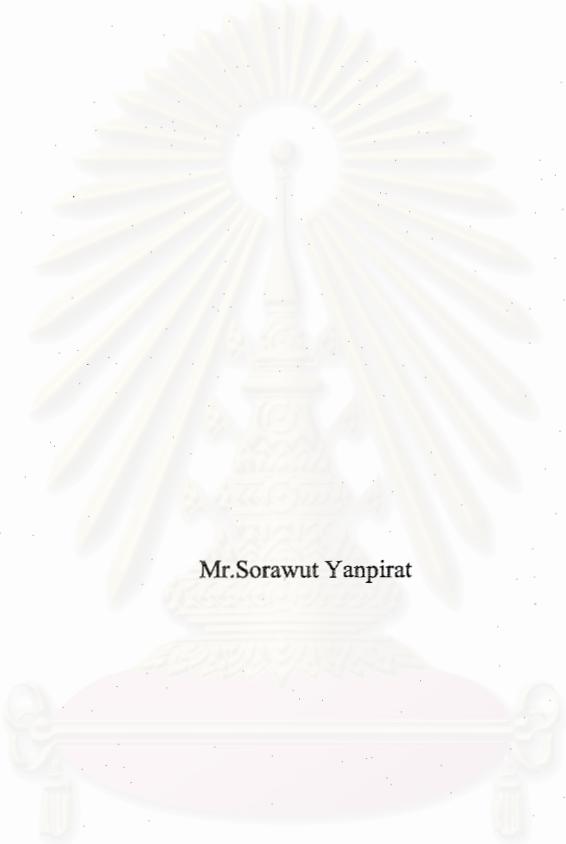
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1252-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF PROPERTIES OF FIRE PROOFING MATERIAL CONTAINING PERLITE FOR
STRUCTURAL STEEL MEMBERS



Mr.Sorawut Yanpirat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1252-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาคุณสมบัติของสัณฐานผสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มี
เพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

โดย

นายสรวุฒิ ญาณภีร์


สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

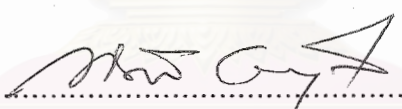
อาจารย์ที่ปรึกษา

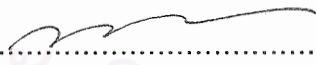
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม)

สรุควิ ญานภริต : การศึกษาคุณสมบัติของสัคส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (A STUDY OF PROPERTIES OF FIRE PROOFING MATERIAL CONTAINING PERLITE FOR STRUCTURAL STEEL MEMBERS) อ. ที่ปริกษา : ผศ.ดร.ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ 189 หน้า ISBN: 974-17-1252-9

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาสัคส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม และเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการด้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมในสัคส่วนที่เหมาะสม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิวและค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ อันได้แก่ คุณสมบัติด้านการไหลตัว, คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด, คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงยึดเหนียว, คุณสมบัติด้านการนำความร้อน, คุณสมบัติด้านการยึดหดตัว และคุณสมบัติด้านการด้านทานไฟ และได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาที่ 1 ทำการศึกษาโดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพอร์ไลต์ในสัคส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟคือ 50%, 100%, 150%, 200%, 250%และ300% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 และใช้เหล็กรูปพรรณ W150mmx31.5kg เป็นตัวอย่างทดสอบ กรณีศึกษาที่ 2 ทำการศึกษาอัตราการด้านทานไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณอันได้แก่ 221 m¹, 202 m¹, 167 m¹และความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟอันได้แก่ 2 cm, 3cm, 4 cm ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะนำเอาสัคส่วนผสมที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 มาทำการศึกษาต่อ

ผลการทดสอบแสดงอย่างชัดเจนว่า ปริมาณเพอร์ไลต์ในสัคส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่เหมาะสมคือ 150% และ 200% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 และอัตราการด้านทานไฟจะสูงขึ้นตามค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณที่ลดลงและค่าความหนาที่เพิ่มขึ้นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ โดยในการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบจะได้อัตราการด้านทานไฟที่เกินกว่า 3 ชั่วโมง ที่ค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟประมาณ 4 cm สำหรับสัคส่วนผสมที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ 150%โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่1และสำหรับเหล็กรูปพรรณที่มีขนาด W175mmx40.2kg ค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 m¹ และ W200mmx56.2kg ค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 m¹

นอกจากนี้ในงานวิจัยยังทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟและความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับแต่ละสัคส่วนผสมและค่าองค์ประกอบหน้าตัดเพื่อนำไปใช้ในการหาค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ให้ค่าอัตราการด้านทานไฟที่ต้องการได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา 2545.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปริกษา.....

##4270584021: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORDS: FIREPROOF / PERLITE / CEMENTITIOUS MATERIAL / FIRE PROTECTION / FIRE PROOFING / FIRE RESISTANT / MINERAL FIBER

SORAWUT YANPIRAT : A STUDY OF PROPERTIES OF FIRE PROOFING MATERIAL CONTAINING PERLITE FOR STRUCTURAL STEEL MEMBERS, THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHADCHART SITTIPUNT, Ph.D. 189 pp. ISBN: 974-17-1252-9

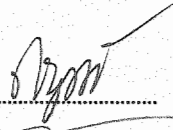
The objectives of this research are to develop the optimal mix-ratio of fire proofing material containing perlite and to study fire resistance of such material with different thickness on steel sections with different section factors (H_p/A). Properties of the materials studied in this research include: flow properties, compressive strength, bond strength, thermal conductivity, shrinkage, and fire resistance. Two groups of experimental work were conducted in this research. Group 1 was designed to study properties of fire proofing materials with different amount of perlite in the mix-ratio. The percentages of perlite compared to that of Portland cement type 1 used as binding material in these mixes are 50%, 100%, 150%, 200%, 250% and 300%. Steel section W 150 mm x 31.5 kg was used in the fire resistance tests of all these specimens. Group 2 was designed to study fire resistance properties of the material on steel sections with different section factors and different thickness of the fire proofing material. The optimal mix-ratios obtained from experimental results in Group 1 were used. Steel sections with section factors of 221, 202, and 167 m^{-1} and with thickness of fire proofing material of 2, 3 and 4 cm were used in the specimens for fire resistance testing.


Test results clearly indicated that the optimal mix-ratios for fire proofing material in this study should contain perlite of 150%-200% by weight of Portland Cement Type 1. Fire resistance increased with a decrease in section factors and an increase in thickness of fire proofing material. Fire resistance of more than 3 hours for steel section W 175mm x 40.2 kg was obtained from 4 cm thickness of fire proofing with 150% of perlite to cement by weight. Relationship between fire resistance, section factors and thickness of fire proofing material was also developed from analytical results for each proposed mix-ratio of the proposed fire proofing material.

Department Civil Engineering

Field of study Civil Engineering

Academic year 2002

Student's signature..... 

Advisor's signature..... 

กิตติกรรมประกาศ

อันดับแรกต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้การอุปถัมภ์และให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา ขอขอบคุณคุณไพรัช พิพัฒนามุขันธ์ ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับสารผสมเพิ่ม ขอขอบคุณคุณสมโภชน์ พงษ์ธนากุล บริษัท ไทยเพอร์ไลท์ จำกัด หรือ บริษัท ควิก โคท โปรดักส์ จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ความรู้ด้านเพอร์ไลท์และวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ อีกทั้งยังอนุเคราะห์เพอร์ไลท์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้อีกด้วย ขอขอบคุณบริษัท คอนเนลล์ บราเดอร์ส (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้อุปการะมอบวัสดุประเภทสารผสมเพิ่มให้กระผมได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณคุณทวิศ ศรีสกุลเมธี บริษัท อาร์ แอนด์ ดี คลินิก จำกัด ที่คอยสนับสนุนกระผมในเรื่องเครื่องฟ่นวัสดุเคลือบป้องกันไฟ

งานวิจัยนี้อาจสำเร็จได้โดยถ้าปราศจากพี่ๆ และเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พี่วิรัตน์ มณีกาญจนสิงห์ วิศวกรรมควบคุมเตาเผา รวมถึง คุณชูเกียรติ ฉิมรุ่ง เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการคอนกรีต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนช่วยให้การดำเนินงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายต้องขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวที่มีส่วนช่วยผลักดันให้ตัวกระผมก้าวเดินอย่างไม่ย่อท้อแม้จะยากลำบากเท่าไรก็ตาม ขอขอบคุณคุณพ่อเฉลิมไท และคุณแม่ภาวิณี ญาณภีร์รัต ที่คอยเป็นกำลังใจ สอนให้รู้จักอดทนต่อสู้อย่างไม่ย่อท้อ คอยส่งเสริมให้ตัวกระผมได้เล่าเรียน และคอยเป็นห่วงสุขภาพของกระผมตลอดเวลา ขอขอบคุณน้องสาวของกระผมที่คอยเป็นกำลังใจให้ตัวกระผมตลอดมา

สรุวุฒิ ญาณภีร์รัต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 ความสำคัญของงานวิจัย.....	8
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.3.1 การถ่ายเทความร้อน.....	8
2.3.2 คุณสมบัติของเหล็กเสริมเมื่อเผาไฟ.....	10
2.3.3 คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟประเภทที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม.....	12
2.3.4 ส่วนผสม.....	13
2.3.4.1 ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1.....	13
2.3.4.2 เพอร์ไลท์.....	15
2.3.4.3 สวมผสมเพิ่ม.....	21
2.3.4.4 น้ำ.....	26
บทที่ 3 วิธีการทดสอบและการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ	
3.1 การเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบสำหรับกรณีศึกษาที่ 1.....	27
3.2 การเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบสำหรับกรณีศึกษาที่ 2.....	34

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบ	
4.1 ผลการทดสอบวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ.....	39
4.2 ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 1.....	39
4.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเพอร์ไลต์.....	40
4.2.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ.....	40
4.3 ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 2.....	64
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	
5.1 การปรับสภาวะจันทัวอย่างให้อยู่ภายใต้กราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119.....	72
5.2 การปรับค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ.....	79
5.3 การใช้โปรแกรมไฟในเอลิเมนต์ด้านความร้อนมาวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	86
5.3.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสำหรับกรณีศึกษาที่ 1.....	86
5.3.1.1 การวิเคราะห์หาค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ.....	86
5.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสำหรับกรณีศึกษาที่ 2.....	92
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุป.....	108
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	112
รายการอ้างอิง.....	113
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	116
ภาคผนวก ข.....	124
ภาคผนวก ค.....	171
ภาคผนวก ง.....	187
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	189

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1-1	ขอบเขตการศึกษาคุณสมบัติของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม และมีแร่เพอร์ไลท์เป็นส่วนผสมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1.....	3
1-2	รายละเอียดชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษากรณีศึกษาที่ 1.....	3
1-3	รายละเอียดของชิ้นตัวอย่างและขอบเขตการศึกษาคณะศึกษาที่ 2.....	4
2-1	แสดงสารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์.....	14
2-2	แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของหินเพอร์ไลท์.....	15
2-3	ส่วนประกอบทางเคมีของหินเพอร์ไลท์.....	16
2-4	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเพอร์ไลท์.....	17
2-5	แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเพอร์ไลท์ในประเทศไทยเทียบกับของต่างประเทศ.....	17
2-6	แสดงสัดส่วนของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่เพอร์ไลท์ในประเทศไทย.....	18
2-7	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเพอร์ไลท์.....	18
2-8	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตปกติเทียบกับคอนกรีตผสมเพอร์ไลท์.....	19
3-1	แสดงมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติของเพอร์ไลท์.....	27
3-2	แสดงมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ.....	27
4-1	แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ.....	39
4-2	คุณสมบัติทางกายภาพของแร่เพอร์ไลท์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย.....	40
4-3	แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม.....	41
4-4	แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลท์ผสมอยู่ 50% โดยน้ำหนักซีเมนต์ โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห่งผลการทดสอบแบบไม่ทำลายของคานตัวอย่างก่อนและหลังการเผาไฟ 30 นาที.....	41
4-5	แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลท์ผสมอยู่ 100% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01% , 0.02% , 0.03% , 0.04% , 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห่งทั้งหมด.....	42
4-6	แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลท์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01% , 0.02% , 0.03% , 0.04% , 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห่งทั้งหมด.....	43
4-7	แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลท์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01% , 0.02% , 0.03% , 0.04% , 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห่งทั้งหมด.....	44

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4-15	แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสม ในปริมาณ 0% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง, เมทริลเซลลูโลสผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งและ สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% , 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งตาม.....	59
4-16	แสดงส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟในแต่ละสัดส่วนที่เหมาะสม.....	60
4-17	แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟในแต่ละสัดส่วนที่เหมาะสม.....	61
5-1	แสดงพื้นที่ได้กราฟอัตราการด้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ H%1, H%2, H%3, H%4, H%5, H%6.....	73
5-2	แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมให้จากกราฟไฟ มาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ H%1, H%2, H%3, H%4, H%5, H%6.....	74
5-3	แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการด้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ H%1, H%2, H%3, H%4, H%5, H%6.....	74
5-4	แสดงพื้นที่ได้กราฟอัตราการด้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ H1, H2, H3.....	75
5-5	แสดงพื้นที่ได้กราฟอัตราการด้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF1, HF2, HF3, HS1, HS2, HS3.....	75
5-6	แสดงพื้นที่ได้กราฟอัตราการด้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF4, HF5, HF6, HS4, HS5, HS6.....	75
5-7	แสดงพื้นที่ได้กราฟอัตราการด้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF7, HF8, HF9, HS7, HS8, HS9.....	76
5-8	แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมให้จากกราฟไฟ มาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ H1, H2, H3.....	76
5-9	แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมให้จากกราฟไฟ มาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF1, HF2, HF3, HS1, HS2, HS3.....	76
5-10	แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมให้จากกราฟไฟ มาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF4, HF5, HF6, HS4, HS5, HS6.....	77
5-11	แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมให้จากกราฟไฟ มาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF7, HF8, HF9, HS7, HS8, HS9.....	77
5-12	แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการด้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ H1, H2, H3.....	77

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5-13	แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการต้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ HF1, HF2, HF3, HS1, HS2, HS3..... 78
5-14	แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการต้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ HF4, HF5, HF6, HS4, HS5, HS6..... 78
5-15	แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการต้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ HF7, HF8, HF9, HS7, HS8, HS9..... 78
5-16	แสดงค่าการนำความร้อน, ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่นของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ..... 87
5-17	แสดงค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในสัดส่วนผสมต่างๆกัน..... 88
5-18	แสดงค่าการนำความร้อนของแต่ละสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ..... 88
6-1	แสดงปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ..... 108
6-2	แสดงค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟ... 109
6-3	แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟ..... 109
6-4	แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแต่ละสัดส่วนผสม.... 110
6-5	แสดงอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟทั้ง 6 สัดส่วนผสม..... 111
ก-1	แสดงความผิดพลาดของพื้นที่ได้กราฟไฟที่มาตรฐาน ASTM E119 ยอมให้..... 121
ข-1	แสดงคุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนักของเพอร์ไลต์..... 124
ข-2	แสดงคุณสมบัติทางด้านความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเพอร์ไลต์..... 124
ข-3	แสดงคุณสมบัติทางด้านขนาดคละของเพอร์ไลต์..... 125
ข-4	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการทดสอบ..... 125
ข-5	แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ..... 135
ข-6	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยที่ไม่มีกรลงสีรองพื้นบนผิวเหล็กรูปพรรณ..... 136
ข-7	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยที่มีการลงสีรองพื้นบนผิวเหล็กรูปพรรณ..... 136
ข-8	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ไม่มีสารเมทริคเซลลูลอสในส่วนผสม..... 137

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข-27	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF4.....	152
ข-28	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF5.....	153
ข-29	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF6.....	154
ข-30	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF7.....	155
ข-31	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF8.....	156
ข-32	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF9.....	157
ข-33	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS1.....	158
ข-34	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS2.....	159
ข-35	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS3.....	160
ข-36	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS4.....	161
ข-37	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS5.....	162
ข-38	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS6.....	163
ข-39	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS7.....	164
ข-40	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS8.....	165
ข-41	แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS9.....	166
ข-42	แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง H%1, H%2, H%3, H%4, H%5, H%6 ตาม มาตรฐาน E605.....	167
ข-43	แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HF1, HF2, HF3 ตามมาตรฐาน E605.....	168
ข-44	แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HS1, HS2, HS3 ตามมาตรฐาน E605.....	168
ข-45	แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HF4, HF5, HF6 ตามมาตรฐาน E605.....	169
ข-46	แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HS4, HS5, HS6 ตามมาตรฐาน E605.....	169
ข-47	แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HF7, HF8, HF9 ตามมาตรฐาน E605.....	170
ข-48	แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HS7, HS8, HS9 ตามมาตรฐาน E605.....	170

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1	กราฟแสดงหน่วยแรงครากของเหล็กรูปพรรณเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ..... 10
2-2	กราฟแสดงค่าโมดูลัสของเหล็กที่ลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น..... 11
2-3	แสดงรูปถ่ายของเพอร์ไลต์ที่ถ่ายผ่านกล้องจุลทรรศน์..... 19
2-4	แสดงการผลิตเพอร์ไลต์..... 20
3-1	แสดงตำแหน่งรูเจาะและการยึดเหล็กสตัดเข้ากับชิ้นตัวอย่าง..... 29
3-2	แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ในชิ้นตัวอย่างที่ผิวเหล็กรูปพรรณ..... 29
3-3	แสดงระดับและจุดที่ทำการวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟกรณีศึกษาที่ 1..... 30
3-4	แสดงเตาเผาและการติดตั้งชิ้นตัวอย่างในเตาเผา..... 32
3-5	แสดงขนาดของเตาเผา..... 32
3-6	แสดงขนาดหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในการทดสอบในกรณีศึกษาที่ 2 และตำแหน่งการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ..... 35
3-7	แสดงระดับและจุดที่ทำการวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟกรณีศึกษาที่ 2..... 36
4-1	แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ยังไม่ได้มีการผสมสารเมทริลเซลลูโลสเข้าไปในส่วนผสม..... 47
4-2	แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 50% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์..... 48
4-3	แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 100% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์..... 49
4-4	แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์..... 50
4-5	แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์..... 51
4-6	แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 250% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์..... 52
4-7	แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์..... 53
4-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน. 61
4-9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมกับกำลังรับแรงยึดเหนี่ยว..... 62

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมกับกำลังรับแรงอัด..... 62
4-11	แสดงผลการทดสอบอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H%1 , H%2 , H%3 , H%4 , H%5 , H%6..... 64
4-12	แสดงอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H1 , HF1 , HF4 , HF7..... 66
4-13	แสดงอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H2 , HF2 , HF5 , HF8..... 67
4-14	แสดงอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H3 , HF3 , HF6 , HF9..... 67
4-15	แสดงอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H1 , HS1 , HS4 , HS7..... 68
4-16	แสดงอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H2 , HS2 , HS5 , HS8..... 69
4-17	แสดงอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H3 , HS3 , HS6 , HS9..... 69
4-18	แสดงอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H1, H2, H3, HF1, HF2, HF3, HF4, HF5, HF6, HF7, HF8, HF9..... 70
4-19	แสดงอัตราการด้านทานไฟของหินตัวอย่างที่ H1, H2, H3, HS1, HS2, HS3, HS4, HS5, HS6, HS7, HS8, HS9..... 71
5-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูป พรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร ⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3..... 80
5-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูป พรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร ⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3..... 81
5-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูป พรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร ⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3..... 82
5-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูป พรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร ⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4..... 83
5-5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูป พรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร ⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4..... 84
5-6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูป พรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร ⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4..... 85
5-7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ..... 86
5-8	แสดงค่าการนำความร้อนของสัดส่วนผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ. 88
5-9	แสดงผลการวิเคราะห์หินตัวอย่างที่ H%1..... 89
5-10	แสดงผลการวิเคราะห์หินตัวอย่างที่ H%2..... 90

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5-11	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H%3.....	90
5-12	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H%4.....	91
5-13	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H%5.....	91
5-14	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H%6.....	92
5-15	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H1.....	93
5-16	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H2.....	94
5-17	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H3.....	94
5-18	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF1.....	95
5-19	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF4.....	96
5-20	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF7.....	96
5-21	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF2.....	97
5-22	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF5.....	98
5-23	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF8.....	98
5-24	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF3.....	99
5-25	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF6.....	100
5-26	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF9.....	100
5-27	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS1.....	101
5-28	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS4.....	102
5-29	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS7.....	102
5-30	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS2.....	103
5-31	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS5.....	104
5-32	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS8.....	104
5-33	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS3.....	105
5-34	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS6.....	106
5-35	แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS9.....	106
ก-1	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาค่าแรงยึดเหนี่ยว.....	118
ก-2	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน.....	120
ก-3	กราฟแสดงอุณหภูมิไฟ-เวลา หรือกราฟไฟตามมาตรฐานการทดสอบการทนไฟต่างๆ.....	121
ก-4	แสดงระดับและจุดที่ทำให้การวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณเปื้อนกันไฟ.....	123

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค-1	แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบการไหลตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ..... 171
ค-2	แสดงการทดสอบการไหลตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างป้องกันไฟ..... 171
ค-3	แสดงการวัดปริมาตรของฉันทัวอย่าง..... 172
ค-4	แสดงการชั่งน้ำหนักของฉันทัวอย่าง..... 172
ค-5	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ..... 172
ค-6	แสดงการทดสอบการยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ..... 172
ค-7	แสดงฉันทัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติด้านการนำความร้อน..... 173
ค-8	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ..... 173
ค-9	แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของฉันทัวอย่าง..... 173
ค-10	แสดงค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด..... 173
ค-11	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและการติดตั้งฉันทัวอย่างเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ..... 174
ค-12	แสดงการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ โดยไม่มีการทาสีรองพื้นที่ฉันทัวอย่าง..... 174
ค-13	แสดงการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ โดยมีการทาสีรองพื้นที่ฉันทัวอย่าง..... 174
ค-14	แสดงตำแหน่งของรูเจาะที่ปีกของเหล็กรูปพรรณและขนาดของเหล็กรูปพรรณที่นำมาใช้ในการทดสอบ..... 175
ค-15	แสดงเหล็กรูปพรรณที่นำมาใช้ในการทดสอบ..... 175
ค-16	แสดงการทำความสะอาดผิวของเหล็กด้วยทรายร้อน..... 175
ค-17	แสดงเหล็กรูปพรรณที่ได้รับการทำความสะอาดผิวแล้ว..... 176
ค-18	แสดงเหล็กรูปพรรณที่ทำการลงสีรองพื้นเพื่อเตรียมสำหรับทำการทดสอบ..... 176
ค-19	แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิลงบนผิวเหล็กรูปพรรณเพื่อเตรียมสำหรับนำไปทดสอบ..... 176-177
ค-20	แสดงการเตรียมวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแห่งโดยการผสมในไมไฟฟ้้า..... 177
ค-21	แสดงการบรรจุวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแห่งลงในถุง..... 177
ค-22	แสดงการจัดตำแหน่งในการวางของเหล็กรูปพรรณเพื่อเตรียมไว้สำหรับพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ..... 178

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค-23	แสดงเครื่องพันวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ..... 178
ค-24	แสดงการผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟกับน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม 179
ค-25	แสดงการพันวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟลงบนเหล็กรูปพรรณ..... 179
ค-26	แสดงการพันวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟชั้นแรกลงบนผิวเหล็กรูป พรรณ..... 179
ค-27	แสดงการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในชั้นแรก โดย ใช้เข็มโลหะเป็นเครื่องวัด..... 179
ค-28	แสดงการขึ้นตัวอย่างเมื่อทำการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณในชั้นแรก..... 180
ค-29	แสดงการพันวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในชั้นที่ 2.. 180
ค-30	แสดงการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในชั้นที่ 2 โดย ใช้เข็มโลหะเป็นเครื่องวัด..... 180
ค-31	แสดงการพันวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในชั้นสุดท้าย..... 181
ค-32	แสดงขึ้นตัวอย่างเมื่อทำการพันเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณเสร็จเรียบร้อยแล้ว..... 181
ค-33	แสดงขึ้นตัวอย่างที่บ่มให้แห้งในอากาศและพร้อมที่จะนำไปติดตั้งทำการทดสอบ..... 182
ค-34	แสดงการติดตั้งขึ้นตัวอย่างบนฝาเตาเผาพร้อมทั้งทำการปกปิดที่ปลายของขึ้นตัวอย่างเพื่อป กั้นการถ่ายเทความร้อนเข้ามายังเหล็กรูปพรรณ..... 182-183
ค-35	แสดงการร้อยสายวัดอุณหภูมิผ่านช่องทางฝาเตาเผา..... 183
ค-36	แสดงการติดตั้งฝาเตาเผาและขึ้นงานลงในฝาเตา..... 184
ค-37	แสดงการต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับสายวัดอุณหภูมิที่ต่อมาจากขึ้นตัวอย่าง..... 184
ค-38	แสดงลักษณะการหลุ่ร่อยของขึ้นตัวอย่างหลังการทดสอบและเอาออกจากเตาเผา..... 185-186
ค-39	แสดงลักษณะของเหล็กรูปพรรณหลังจากทำการทดสอบ..... 186
ง-1	แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ภายในวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ..... 187
ง-2	แสดงการให้อุณหภูมิที่ผิววัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ..... 188
ง-3	แสดงการแผนภาพการกระจายของอุณหภูมิภายในวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและเหล็ก โครง สร้างรูปพรรณ..... 188

บทที่ 1

บทนำ



1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณมาใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการก่อสร้างอาคารและสิ่งก่อสร้างทั่วไป เนื่องจากเหล็กโครงสร้างจะมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดและแรงดึง ได้สูง, มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่นที่นำมาใช้ อีกทั้งยังติดตั้งได้สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ขององค์อาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ไปจะทำการพิจารณาออกแบบที่สภาวะปกติ แต่ในความเป็นจริงแล้วโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ อาจต้องเผชิญกับสภาวะที่แตกต่างออกไปและยังส่งผลให้องค์อาคารที่ได้ออกแบบไว้มีพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม การเกิดเพลิงไหม้ก็เป็นสภาวะหนึ่งที่ทำให้พฤติกรรมขององค์อาคารเปลี่ยนแปลงไป และสภาวะการเกิดเพลิงไหม้ซึ่งเป็นสภาวะที่พบเจออยู่เป็นประจำ อีกทั้งยังก่อให้เกิดความเสียหายทั้งต่อทรัพย์สินและบางที่อาจรุนแรงจนเป็นผลให้เกิดการสูญเสียชีวิตของผู้คนเป็นจำนวนมาก ด้วยความเสียหายอันไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากเพลิงไหม้จึงทำให้ได้มีการแสวงหาในการป้องกันเพื่อลดความเสียหายและการสูญเสียชีวิต ในแนวทางที่ถูกสร้างขึ้นและได้นำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารก็คือ การออกกฎหมายเพิ่มเติมในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารต้านทานอัคคีภัยในกฎกระทรวง ฉบับที่ 48 พ.ศ.2540 เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารและสิ่งก่อสร้างให้มีความปลอดภัย และลดการสูญเสียชีวิตที่เกิดจากอัคคีภัย

ด้วยเหตุข้างต้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำเอาวัสดุที่มีความสามารถในการป้องกันไฟ และทนทานต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมาใช้ในการก่อสร้างมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันวัสดุเหล่านี้ยังคงต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศอยู่ เนื่องจากในประเทศไทยยังมีการศึกษาการผลิต และพัฒนาวัสดุทนไฟเหล่านี้อยู่น้อยมาก จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงขึ้นมาจากเดิม งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาและแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการป้องกันองค์อาคารประเภทชิ้นส่วน โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ จากผลกระทบที่เกิดจากเพลิงไหม้อันเป็นเหตุให้ความแข็งแรงของโครงสร้างเหล็กนี้มีค่าลดลง โดยการนำเอาวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟประเภทที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม (Cementitious Material) มาใช้เคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

วัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณประเภทที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะมีสารประเภทเส้นใย (Mineral Fiber) เป็นวัสดุผสม เพื่อเพิ่มความเป็นฉนวนของวัสดุเคลือบผิวนี้ และยังเป็นการลดค่าความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวนี้อีกด้วย สารประเภทเส้นใยที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ เพอร์ไลต์ (Perlite) เหตุที่นำเอาเพอร์ไลต์มาใช้ในการผลิตวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟนี้เนื่องมาจากเพอร์ไลต์นี้พบมากในประเทศไทยจึงมีราคาไม่สูงนัก อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำเอามาใช้ประโยชน์ในการป้องกันและรักษาความแข็งแรงรวมถึงพฤติกรรมของชิ้นส่วน โครงสร้างเหล็กรูปพรรณให้อยู่ในสภาวะปกติเมื่อได้รับผลกระทบจากสภาวะเพลิงไหม้

ในงานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะผลิตและหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟโดยนำเอาวัสดุที่ผลิตและหาได้ในประเทศไทยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตนี้คือ เพอร์ไลต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาที่ 1 จะศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟและผลของอัตราการต้านทานไฟเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเพอร์ไลต์ในสัดส่วนผสม ส่วนกรณีศึกษาที่ 2 จะศึกษาถึงผลของอัตราการต้านทานไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของการเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ และผลของอัตราการต้านทานไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ (H_p / A , Section Factor) โดยแต่ละกรณีศึกษาจะมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1

1. เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม
2. เพื่อศึกษาหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม
3. เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมที่มีปริมาณสัดส่วนผสมที่เหมาะสม
4. เพื่อศึกษาถึงการวิบัติและเสถียรภาพของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม เมื่อได้รับผลกระทบด้านความร้อนจากไฟ

กรณีศึกษาที่ 2

5. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการป้องกันไฟและอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม
6. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการป้องกันไฟและอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ (H_p / A , Section Factor)
7. เพื่อนำเอาผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้ในการทำนายอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างป้องกันไฟชนิดนี้ ที่ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟและค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณที่ต่างกันได้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในการวิจัยนี้จะทำศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ

1. ทัศนศึกษาที่ 1 เป็นการศึกษาหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม โดยจะใช้มาตรฐานการทดสอบของ ASTM ดังตารางที่ 1-1 เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

ตารางที่ 1-1 ขอบเขตการศึกษาคุณสมบัติของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมสำหรับทัศนศึกษาที่ 1

ประเภทของการทดสอบ	มาตรฐานที่ใช้
คุณสมบัติด้านความสามารถในการทำงานได้ (Workability)	ASTM C230
คุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนักของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ASTM C29 , ASTM E605
คุณสมบัติด้านการนำความร้อน	ASTM C117
คุณสมบัติด้านการหดตัว (Shrinkage)	ASTM C490
คุณสมบัติด้านการต้านทานแรงอัด	ASTM C109
คุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ASTM E736
คุณสมบัติด้านอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ASTM E119

การศึกษาคูสมบัตินี้ของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม ในทัศนศึกษาที่ 1 นี้จะทำการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกจะศึกษาคูสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ ส่วนในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการศึกษาคูสมบัติด้านอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ โดยรายละเอียดของขั้นตอนที่ใช้ในการศึกษานี้จะแสดงดังในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 รายละเอียดขั้นตอนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทัศนศึกษาที่ 1

การจำลองสภาพไฟไหม้	มาตรฐาน ASTM E119
หน้าตัดเหล็กรูปพรรณ	H-Section 150 x 150 x 7 x 10 มม.
ปริมาณเพอร์ไลต์ในสัดส่วนผสม (% โดยน้ำหนักของซีเมนต์)	50% , 100% , 150% , 200% , 300%
ความหนาของวัสดุเคลือบผิว	ประมาณ 3 ซม.

2. ทัศนศึกษาที่ 2 เป็นการศึกษาอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ โดยขนาดโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ (H_f / A , Section Factor) โดยรายละเอียดของขั้นตอนตัวอย่างและขอบเขตของการศึกษาทัศนศึกษาที่ 2 นี้จะแสดงไว้ดังตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 รายละเอียดของชิ้นตัวอย่างและขอบเขตการศึกษากรณีศึกษาที่ 2

การจำลองสภาพไฟไหม้	มาตรฐาน ASTM E119
หน้าตัดเหล็กรูปพรรณ	H150x150x7x10 มม. , H175x175x7.5x11 มม. , H200x200x12x12 มม.
ค่าองค์ประกอบหน้าตัด	221 ม ⁻¹ , 202 ม ⁻¹ , 167 ม ⁻¹
ความหนาของวัสดุเคลือบผิว	ประมาณ 2 ซม. , 3 ซม. , 4 ซม.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในการทำการวิจัยโครงการนี้ผู้ทำการวิจัยคาดว่าจะได้รับประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและยังสามารถนำเอาผลจากการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างจริงเพื่อความปลอดภัยทั้งของทรัพย์สินและร่างกายของผู้คนที่เข้ามาใช้ประโยชน์จากสิ่งปลูกสร้างหรืออาคารนั้นๆ ดังต่อไปนี้

1.เข้าใจถึงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่เป็นส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟประเภทที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมได้

2.เข้าใจถึงต้นเหตุของปัญหาและสามารถหาทางแก้ไขข้อบกพร่องอันเกิดจากการให้สัดส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม ในการใช้ด้านทานเพลิงไหม้

3.เข้าใจถึงพฤติกรรมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟชนิดที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมได้เมื่อได้รับความร้อนสูงจากการเผาด้วยไฟ

4.สามารถสรุปผลการทดสอบแล้วหาค่าสัดส่วนผสมที่เหมาะสมของส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม

5.เข้าใจถึงพฤติกรรมด้านอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ ซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมที่มีสัดส่วนผสมที่เหมาะสม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ ซึ่งมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม หรือมีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ

6.สามารถนำเอาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่ได้มาจากการสรุปผลการทดสอบมาประยุกต์ใช้กับ โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ อีกทั้งสามารถเลือกความหนาของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กป้องกันไฟให้เหมาะสมกับค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ เพื่อให้มีอัตราการต้านทานไฟตามที่ออกแบบไว้และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ที่อาศัยและเข้ามาใช้อาคารเหล่านี้ อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและวัสดุทนไฟชนิดอื่นๆ ภายในประเทศ อันจะนำมาซึ่งการลดลงของต้นทุนการก่อสร้าง

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับอักษิภยในอาคารที่ทากันในต่างประเทศมีมาตั้งแต่นศตวรรษที่ 19 โดยในระยะเริ่มแรกเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติในด้านต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารที่ภาวะอุณหภูมิสูง อันได้แก่ เหล็กและคอนกรีต เป็นหลัก ต่อมาจึงได้มีการขยายผลการวิจัยต่อมาเป็นการวิจัยศึกษาถึงพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้สภาพไฟไหม้ โดยวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟชนิดที่ฉุดพันที่มีแร่เส้นใยผสมอยู่ได้ถูกนำมาใช้เป็นฉนวนกันไฟและความร้อนตั้งแต่ปีค.ศ. 1920 แต่ยังไม่ได้มีการพัฒนาการใช้เป็นวัสดุฉนวนกันไฟจนกระทั่งในช่วงปีค.ศ. 1950 ถึงได้มีการนำเอามาใช้ในโครงสร้างสำหรับอาคารสูง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

ในปี ค.ศ. 1966 Dr.-Ing. K. Kordina ได้ทำการทดสอบการทนไฟของคานเหล็ก (Steel-Girder) ขนาดใหญ่ 14 ตัว ซึ่งเป็นเหล็กที่มีกำลังรับแรง 3700 ksc และมีความยาว 4.75 m ซึ่งคานแต่ละตัวจะใช้วัสดุเคลือบผิวคนละชนิดกัน ,ขนาดและมีการเชื่อมต่อกันแตกต่างกัน เมื่อทำการทดสอบแล้วจะได้ผลคือ 1.อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของคานเหล็กจะขึ้นอยู่กับการขยายมวลของหน้าตัดเหล็กที่เพิ่มขึ้น 2.คานที่มีวัสดุเคลือบและมีการเชื่อมต่อกันจะมีค่าวิกฤติที่ต่ำกว่าในคานทั่วไปที่ไม่มีการเชื่อมต่อกัน ในกรณีที่มีความหนาในการเคลือบที่เท่ากันแล้ว การเพิ่มขึ้นของมวลเหล็กที่มีการเชื่อมต่อกันเป็นผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง 3.อัตราการถ่ายเทความร้อนและระยะเวลาในการต้านทานไฟ จะขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดของคานเหล็ก 4.ในการทดสอบโดยปราศจากวัสดุป้องกันจะทำให้เห็นได้ว่าสำหรับคานเหล็กที่มีขนาดใหญ่อาจไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ และในกรณีคานขนาดเล็กอาจไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟถ้าคานเหล็กนั้นมีค่าหน่วยแรงลดลงสอดคล้องกัน

ในปี ค.ศ. 1967 Harild W.Brewer ^[1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยนำหนักกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity) ของคอนกรีต ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ เขาได้สรุปผลการศึกษาของเขาว่า แม้ว่าคอนกรีตที่ทำจากวัสดุผสมชนิดเดียวกันและมีหน่วยนำหนักเท่ากันก็อาจให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่างกัน ทั้งนี้เพราะผลของความชื้นมีความสำคัญมากกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Transmittance) อาจคำนวณได้จากสูตรที่เขาได้นำเสนอหากทราบ ปริมาณความชื้น หน่วยนำหนัก และขนาดของคอนกรีต

ในปี ค.ศ. 1972 R.H. Smith ^[2] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทนทานต่อไฟของคอนกรีตโดยใช้ยิปซั่มเป็นวัสดุมวลรวม โดยจากการทดสอบและศึกษาจะได้ผลคือเป็นที่ยอมรับในการใช้ยิปซั่มเป็นวัสดุมวลรวมในการต้านทานไฟในคอนกรีตซึ่งจากการทดสอบนี้จะได้ว่า 1.ยิปซั่มเป็นมวลรวมที่ใช้เพิ่มความสามารถในการต้านทานไฟเมื่อเปรียบเทียบกับหินปูน และ 2.ปูนซีเมนต์ชนิดที่ 5 จะไม่นำมาใช้ในการผสมเนื่องจากมีอันตรายจากซัลเฟต

ในปี ค.ศ. 1974 T.T. Lie และ T.Z. Harmathy^[3] ได้ทำการหาสมการที่ใช้ในการทำนายความคงทนของวัสดุที่ใช้ป้องกันไฟสำหรับ โครงสร้างเสาเหล็กรูปพรรณ โดยมีความหนาฐานการวิบัติที่อุณหภูมิของแกนเสาเหล็กรูปพรรณมีค่าถึง 1000° F (538 °C) ซึ่งผลจากการวิจัยจะได้สมการที่ใช้ทำนายมาจากการแก้สมการ 168 สมการและการทำนายผลของการป้องกันเสาเหล็กจะใช้ได้ทั้งกรณีชนิดที่เป็นกล่องครอบเสาเหล็กและเป็นวัสดุเคลือบผิวเสาเหล็ก

ในปี ค.ศ. 1975 Tranim Uddin และ Charles G. Culver^[4] ได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กที่สภาวะอุณหภูมิสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง ในขณะที่เกิดไฟไหม้ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ยังมีการกล่าวถึงความไม่น่าเชื่อถือของกราฟไฟมาครฐาน ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบเกี่ยวกับการทนไฟของโครงสร้าง ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีกราฟที่มีสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองสภาพไฟไหม้ที่ไม่เหมาะสม

ในปี ค.ศ. 1976 William A.Rains^[6] ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติและลักษณะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟในสมัยปัจจุบัน โดยได้กล่าวถึงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุเคลือบป้องกันไฟได้แก่ การนำความร้อนต่ำ , มีลักษณะเป็นโฟมซึ่งอาจขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูง , มีการก่อดังกับน้ำเป็นผลึก , มีความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อน , จะเกิดควันเมื่อได้รับความร้อน , มีการระเหย , การแผ่รังสีและสะท้อน และเกิดปฏิกิริยาดูดซับความร้อนทางเคมีและกายภาพ โดยในอดีตจะใช้คอนกรีตเป็นวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟแต่มีปัญหาในเรื่องค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและน้ำหนักที่มาก (2402.7 กก./ ม³) ต่อมาจึงใช้วัสดุประเภทเส้นใยมาผสมเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าวโดยเรื่องแรกจะใช้วัสดุประเภทเส้นใย Asbestos แต่ต่อมาพบว่าเป็นสารที่มีอันตรายต่อมนุษย์จึงได้เลิกใช้และใช้วัสดุเส้นใยชนิดอื่นแทนซึ่งวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีวัสดุเส้นใยผสมอยู่เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงราคาถูกแต่มีข้อเสียคือขาดความแข็งแรง , มีความอ่อนนุ่มและหลุดลอกจากโครงสร้างเหล็กได้ง่าย ซึ่งวัสดุเคลือบผิวประเภทนี้จะมีความหนาแน่นประมาณ 240-400 กก./ ม³ โดยวัสดุเส้นใยที่ได้นำมาใช้คือ ยิปซัม , เวอร์มิคูลไลท์ และเพอร์ไลท์ และในสมัยต่อมาได้ใช้วัสดุประเภท Intumescence ซึ่งแยกเป็นประเภทต่างๆ ได้คือ วัสดุอินทรีย์ที่มีความหนาแน่นปานกลาง , วัสดุอินทรีย์ที่มีความหนาแน่นต่ำ , วัสดุอินทรีย์

ในปี ค.ศ.1981 J.C.Payne B.Sc. W.R.Grace (Hong Kong) Ltd.^[7] ได้ทำการบรรยายผลการศึกษาเกี่ยวกับ " Fire Protection For Steel Structures By Direct Sprayed Material " โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับการใช้วัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟชนิดฉีดพ่น พร้อมทั้งมาตรฐานในการทดสอบรวมถึงเกณฑ์ในการตัดสินการวิบัติของโครงสร้างเหล็ก 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 ส่วนในกรณีที่ไม่มีการยึดครั้งที่ปลายจะทำการวัดค่าอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวได้ และยังคงกล่าวถึงลักษณะที่สำคัญของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟคือ ไม่ติดไฟและไม่เกิดสารพิษเมื่อถูกไฟ มีพฤติกรรมเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM E119 หรือ BS 476 มีความสม่ำเสมอและคงตัวในการป้องกัน สามารถที่จะควบคุมคุณภาพได้ และมีแรงยึดเหนี่ยวตัวและความหนาแน่นระหว่างการก่อสร้างได้

ในปี ค.ศ. 1983 Gratzol, O. K. และ Diliberto, M. C.^[5] ได้ทำการทดสอบการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเปรียบเทียบกับระหว่างมาตรฐาน ASTM E119 กับมาตรฐาน ASTM E5 โดยใช้ตัวอย่าง 5 ชนิดที่แตกต่างกัน เมื่อทำการทดสอบแล้วจะได้ผลดังนี้คือ พื้นที่ใต้กราฟไฟระหว่างมาตรฐาน ASTM E119 และ ASTM E5 hydrocarbon standard จะเป็นบริเวณที่เกิดการวิบัติ การที่จะให้อุณหภูมิของกราฟไฟ Hydrocarbon ขึ้นอย่างรวดเร็วก็จะต้องใช้ช่วงเวลาที่สั้นลง, ไม่มีความแตกต่างในด้านผลที่ได้จากการทดสอบของกราฟไฟ Hydrocarbon เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM E119 , อัตราการทนไฟที่ 3 ชั่วโมงของมาตรฐาน ASTM E119 จะให้ค่าเทียบเท่ากับคอนกรีตหนัก PIP หนา 50 cm (2 in) ที่ได้รับความร้อนจากกราฟไฟ Hydrocarbon , การเทียบเท่าของค่าการทนทานและการขาดความสามารถในการวัดได้ของอุณหภูมิที่ขึ้นสูงได้คั้งนั้นจึงไม่มีเหตุผลที่จะต้องใช้กราฟไฟของ Hydrocarbon ยกเว้นในกรณีที่มีการทดสอบการทนไฟ และในปัจจุบันจะทำการทดสอบ ASTM E119 ในเวลา 3 ชั่วโมงเป็นข้อกำหนด

ในปี ค.ศ. 1994 Dietmar Hosser , Thomas Dorn และ Osama El-Nesr ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของคานประกอบที่ทำจากเหล็กรูปตัวไอ และคอนกรีตจำนวน 4 ตัว ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ภายในหน้าตัดและการโก่งตัวที่จุดต่าง ๆ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิธี Finite Element ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดเป็นอย่างดี นอกจากนี้พวกเขายังศึกษาถึงผลของความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นพื้นเนื่องจากไฟไหม้ โดยพวกเขาสรุปว่าปริมาณเหล็กเสริมในแผ่นพื้นมีผลอย่างมากต่อความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นพื้นภายใต้สภาพไฟไหม้

U.S. Patent No. 2,939,794 ได้ใช้ asphalt, kerosene, naphtha, asbestos, mica, vermiculite และ alkaline metal tetraborate เป็นส่วนประกอบของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ แต่วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟนี้มีข้อเสีย คือ naphtha และ kerosene จะเป็นวัสดุอันตรายเมื่อถูกไฟอย่างรุนแรงจึงยากที่จะผลิต รวมทั้งต้องใช้เวลาในการผลิตนาน อีกทั้งเตาที่ใช้ในการผลิตยังมีราคาที่สูง

U.S. Patent No. 4,043,862 ได้เสนอวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยมีส่วนผสมคือ vermiculite, ceramic clay, hydrated cellulosic gel, defiberized wood และ starch ซึ่งวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟชนิดนี้มีข้อเสียคือ vermiculite จะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงทำให้ความร้อนผ่านเข้ามาได้ อีกทั้ง cellulose, starch และสารอินทรีย์ที่มีในส่วนผสมจะสลายตัวเกิดเป็นก๊าซที่ทำให้ไฟติดได้และทำให้เกิดการกระจายของไฟ

U.S. Patent No. 4,095,985 ได้เสนอสารที่ใช้ในวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ คือ lithium mica, wollastonite, aluminum trihydrate, nepheline syenite และ soda bicarbonate ซึ่งสารผสมนี้มีข้อเสียเมื่อได้รับความร้อนที่สูงจะขยายตัว

U.S. Patent No. 4,172,735 ได้เสนอโฟมต้านทานไฟซึ่งเกิดจากการผสมของ kieselguhr สารพวก mica ซึ่งคือ biotite หรือ vermiculite ซึ่งโฟมชนิดนี้จะมีข้อเสียคือ การหดตัวของโฟมนี้เมื่อขาดน้ำจะทำให้เกิดการหลุดร่อน

Great Britain Patent No. 1,006,917 ได้เสนอวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยมีส่วนผสมคือ asbestos, vermiculite, kieselguhr และ sodium silicate ซึ่งมีข้อเสียคือ asbestos เป็นสารอันตราย

Canadian Patent No.642,479 ได้เสนอวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยมีส่วนผสมคือ unexpanded vermiculite, สารประเภท polymeric, plasticizer, chlorinated resin, mica และ asbestos ซึ่งมีข้อเสียคือ asbestos เป็นสารอันตรายอีกทั้ง unexpanded vermiculite จะทำให้การการหลุดร่อน

Japanese Patent No.53-64230 ได้เสนอวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีส่วนผสมของ perlite, vermiculite, สารอนินทรีย์, สารเพิ่มกำลัง, sodium silicate และ sodium glycolate cellulose ซึ่งวัสดุนี้มีข้อเสียคือ cellulose จะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน

2.2 ความสำคัญของงานวิจัย

จนถึงปัจจุบันยังมีได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟยังคงมีอยู่น้อย และอีกทั้งวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่มีใช้อยู่ภายในประเทศไทยในปัจจุบันยังคงต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการผลิตวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟจากวัสดุที่ผลิตได้ภายในประเทศไทยเพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศอีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอีกด้วย

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การถ่ายเทความร้อน

การกระจายความร้อนจากไฟสู่ชิ้นส่วน โครงสร้างเหล็กจะเกิดจากกระบวนการดังต่อไปนี้คือ การนำความร้อน , การพาความร้อน และ การแผ่รังสีจากผิวสัมผัสเข้าสู่เนื้อเหล็ก ซึ่งกระบวนการดังที่กล่าวมาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้คือ พื้นที่หน้าตัด, พื้นที่ผิวสัมผัส และ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน พื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนที่ควรรู้คือ ความร้อนจะถ่ายเทจากที่อุณหภูมิไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 บริเวณ ซึ่งการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่โครงสร้างเหล็กจะสามารถทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ซึ่งมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ต่ำมาเคลือบผิวชิ้น โครงสร้างเหล็ก

1.การนำความร้อน (Conduction)

การไหลของปริมาณความร้อนในวัสดุเนื้อเดียวจะถูกวิเคราะห์ในลักษณะของการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำ ซึ่งในวัสดุแต่ละชนิดปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านในเนื้อวัสดุจะถูกกำหนดด้วยปัจจัยดังนี้

- 1.การนำความร้อนของวัสดุ
- 2.พื้นที่หน้าตัดของตัวนำความร้อนซึ่งเปรียบได้เหมือนกับเส้นทางในการไหลของปริมาณความร้อน
- 3.ความลาดชันของอุณหภูมิของการไหลของความร้อน

ในสภาวะการไหลของปริมาณความร้อนแบบสม่ำเสมอ (Steady State) จะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่เนื้อวัสดุกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมามีปริมาณเท่ากัน ซึ่งแต่ละจุดที่พิจารณาจะต้องมีความ

แตกต่างของอุณหภูมิเท่ากัน และที่เวลาใดๆก็จะมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากันอีกด้วย แต่ปัญหาเกี่ยวกับความร้อนที่พบส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาที่อยู่ในสภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady State)

สมการที่ใช้ในการนำความร้อนคือ
$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial L} \quad (2.1)$$

หรือคือ
$$q = kA \left(\frac{T_1 - T_2}{x} \right) \quad (2.2)$$

โดยค่า	q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน (Btu/(hr.ft ²))
	k	คือ	ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านในหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วย เวลา (Btu/(hr)(ft ² (°F/A))
	A	คือ	พื้นที่ที่ตั้งฉากกับการไหลของปริมาณความร้อน
	dt/dL	คือ	อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะทาง (°F/ft)
	$T_1 - T_2$	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิ (°F)
	X	คือ	ความหนาของวัสดุ (ft)

2.การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนตัวของของเหลวหรือก๊าซจากผิวของวัตถุที่ร้อนหรือเย็น การพาความร้อนนี้อาจเกิดโดยธรรมชาติซึ่งเป็นผลจากความหนาแน่นที่แตกต่างอันเป็นเหตุให้มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน หรือ อาจโคจรกระตุ้นซึ่งจะทำให้ของไหลเคลื่อนตัวด้วยพลังงานกลสิ่งที่ใช้กระตุ้นได้แก่ ป้อน หรือ พัดลม

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆเคลือบอยู่บริเวณผิวสัมผัสและทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นความร้อน เมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่แผ่นฟิล์มนี้จะแยกตัวเป็น 2 ชั้น ชั้นแรกเกิดจากอนุภาคที่ไม่มี การเคลื่อนตัวจะยึดแน่นกับผิววัตถุและการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นกับสัดส่วนของขนาดและลักษณะของผิววัตถุ

ตัวแปรที่มีผลต่อการพาความร้อนคือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะและการนำความร้อนของของไหล , ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ด้านของแผ่นฟิล์ม และความหนาของแผ่นฟิล์มซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วและความหนาแน่นของของไหล การนำความร้อนของแผ่นฟิล์มคือการไหลของความร้อนบนผิววัตถุที่ติดกับของไหล สมการในการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนแสดงดังนี้

สมการการพาความร้อนคือ
$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.3)$$

โดย	T_∞	คือ	อุณหภูมิทางด้านต้นสายของการไหลของของไหล
	T_s	คือ	อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ
	h	คือ	สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน (Btu/hr-ft ²)

3. การแผ่รังสี (Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีผลจากการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีนี้จะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ยกกำลังสี่ ดังในกฎของสเตฟาน โบลทซ์สมานน์ (Stefan – Boltzmann Law)

สมการการแผ่รังสีคือ
$$q = \sigma AT^4 \quad (2.4)$$

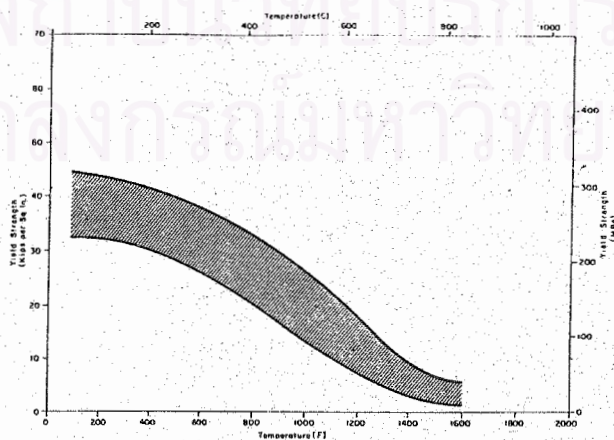
ซึ่งในสมการด้านบนจะใช้ได้กับ Ideal Emitter (ตัวแผ่รังสีออกเชิงอุดมคติ) หรือวัตถุดำแต่ในทางปฏิบัติแล้ววัตถุทุกชนิดจะมีการแผ่รังสีน้อยกว่าค่าดังกล่าว ซึ่งแสดงไว้ในสมการด้านล่าง

สมการการแผ่รังสีคือ
$$q = \epsilon \sigma AT^4 \quad (2.5)$$

โดย T คือ ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์
 σ คือ ค่าคงที่ไม่ขึ้นกับชนิดของผิววัสดุและอุณหภูมิและมีค่าเท่ากับ 0.174×10^{-8} Btu/hr-ft²R⁴
 ϵ คือ ความสามารถในการแผ่รังสีออกของผิวมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

2.3.2 คุณสมบัติของโครงสร้างเหล็ก ณ.อุณหภูมิสูงที่ถูกกระทำโดยไฟ

โครงสร้างเหล็กมีลักษณะที่ไม่ติดไฟและไม่เป็นเชื้อเพลิง และโครงสร้างเหล็กจะสูญเสียกำลังเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงซึ่งส่วนมากมาจากไฟ ซึ่งอุณหภูมิวิกฤตจะประมาณ 1100 ° F เมื่ออุณหภูมิของเหล็กถึงระดับนี้ จะทำให้หน่วยแรงครากของเหล็กจะลดลงเหลือประมาณ 60% ของหน่วยแรงคราก ณ อุณหภูมิห้อง ดังรูป ซึ่งในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E119 จะถือว่าโครงสร้างเหล็กจะเกิดการวิบัติเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของโครงสร้างเหล็กแต่ละระดับมีค่าถึง 1000 ° F หรือมีค่าอุณหภูมิสูงสุดที่จุดใดจุดหนึ่งถึงระดับอุณหภูมิ 1200 ° F



รูปที่ 2-1 กราฟแสดงหน่วยแรงครากของเหล็กรูปพรรณเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

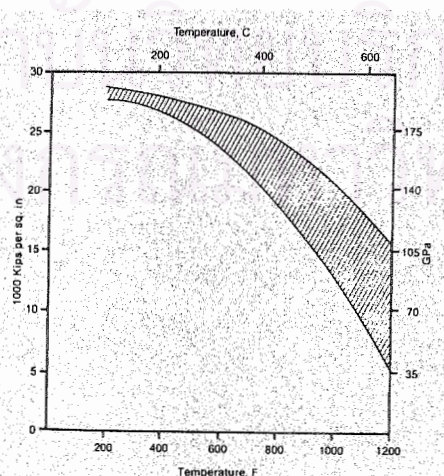
คุณสมบัติของเหล็กรีดร้อน Hot Rolled Steel ที่ได้รับอุณหภูมิสูงได้มีผู้ทำการศึกษาแล้วได้แยกแยะระดับของอุณหภูมิที่มีผลต่อเหล็กไว้ได้ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 600°C เมื่อชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กได้รับความร้อนจากไฟในระดับอุณหภูมิที่ 600°C ในช่วงเวลาที่ไม่นานมากนัก ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กนั้นจะยังคงมีกำลังภายหลังการได้รับความร้อนจากไฟไม่เปลี่ยนแปลง
2. ที่อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 600°C กับ 727°C ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิวิกฤตจะเกิดปฏิกิริยา Spheroidization ซึ่งทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กอ่อนตัวลงและความเหนียวเพิ่มมากขึ้น

Spheroidization: จะเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างเหล็กจะมีส่วนประกอบของคาร์บอนซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำ ซึ่งโครงสร้างเหล็กจะไม่อ่อนตัวลงที่อุณหภูมิต่ำในลักษณะของสายใยรอบๆขอบของ Austenite เนื่องจากยสินแร่ Cementite ซึ่งกระจายอยู่ใน Austenite ระหว่างการเย็นตัว ซึ่งนี่เป็นจุดสำคัญซึ่งทำให้โครงสร้างเหล็กอ่อนตัวลงเมื่อถูกความร้อนภายใต้อุณหภูมิวิกฤตในระหว่างกระบวนการนี้สินแร่ Cementitious ในเหล็กจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุภาคเล็กๆ ทำให้โครงสร้างเหล็กอ่อนตัวลงและมีความเหนียวมากขึ้น

3. ที่อุณหภูมิสูงกว่า 727°C เมื่อถึงอุณหภูมิระดับนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคของโครงสร้างเหล็กไปเป็นอนุภาคที่มีลักษณะหยาบขึ้นเมื่อปล่อยให้โครงสร้างเหล็กเย็นตัวลงจะทำให้เหล็กมีกำลังที่ลดลงอย่างมาก

ส่วนในเรื่องของโมดูลัสความยืดหยุ่นของโครงสร้างเหล็ก Weigler และ Fischer ได้ศึกษาและพบว่าเหล็กจะมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นลดลงอย่างช้าๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงระดับอุณหภูมิประมาณ 400°C และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกินกว่า 400°C โมดูลัสความยืดหยุ่นของโครงสร้างเหล็กจะลดอย่างรวดเร็ว ดังเช่นเหล็ก A-36 จะมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นประมาณ 2.0×10^6 กก./ชม.² โดยที่อุณหภูมิประมาณ 400°C ค่าจะลดลงเหลือเพียงประมาณ 70% และจะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งคือ 1.0×10^6 กก./ชม.² ที่ 550°C ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 กราฟแสดงค่าโมดูลัสของเหล็กที่ลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

2.3.3 คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟประเภทที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม

แร่เพอร์ไลท์เป็นวัสดุแร่เส้นใยที่มีน้ำหนักเบาและมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันไฟ และมีคุณสมบัติไม่ติดไฟ, มีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี, มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ และมีความหนาแน่นต่ำ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ ในอดีตมีการนิยมใช้วัสดุเส้นใยแร่ Asbestos เคลือบผิวเหล็กเพื่อป้องกันไฟจนกระทั่งมาพบว่าวัสดุเส้นใยแร่ Asbestos เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการลดจำนวนการใช้แร่ประเภทนี้ลงจนงดใช้ไปแล้วมีการใช้แร่เส้นใยประเภทอื่นมาแทน เพอร์ไลท์เป็นแร่เส้นใยประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้

ในการใช้วัสดุประเภทแร่เส้นใยเพียงอย่างเดียวมาเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟถึงจะมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันไฟและมีราคาไม่สูงนัก แต่ก็ยังมีปัญหาในการขาดความแข็งแรงในการเคลือบผิวเหล็ก เนื่องจากวัสดุประเภทแร่เส้นใยเพอร์ไลท์นี้มีลักษณะอ่อนตัวและหลุดลอกได้ง่าย ดังนั้นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเป็นอันดับแรกของวัสดุเคลือบผิวเหล็กชนิดนี้คือการยึดติดกับผิวโครงสร้างเหล็ก ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ซีเมนต์มาเป็นวัสดุผสมเพื่อช่วยลดการหลุดลอกจึงเกิดเป็นวัสดุเคลือบผิวเหล็กประเภทที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม

วัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟประเภทที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม ส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของยิปซัม, เพอร์ไลท์ หรือ เวอร์มิคูลไลท์ ซึ่งเป็นวัสดุมวลเบา และมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม วัสดุเคลือบผิวเหล็กประเภทนี้จะมีวิธีการใช้โดยการผสมวัสดุผสมกับน้ำก่อนแล้วจึงนำไปพ่นหรือฉาบบนผิวโครงสร้างเหล็ก ซึ่งวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟนี้ที่ถูกผสมกับน้ำแล้วจะมีความหนาแน่นประมาณ $15-25 \text{ lb/ft}^3$ ($240-400 \text{ kg/m}^3$) ส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวนี้จะมีลักษณะดังนี้

ยิปซัม เป็นแร่ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านทานไฟ เมื่ออุณหภูมิสูงแร่ยิปซัมจะปลดปล่อยน้ำออกจากผลึกซึ่งน้ำที่ระเหยออกมาเมื่อได้รับความร้อนจากไฟระหว่างที่เกิดไฟไหม้ด้านตรงข้ามกับที่ปะทะกับไฟจะยังคงเย็นอยู่จนกระทั่งแร่ยิปซัมนี้ได้ถูกบดจนละเอียดทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ แร่ยิปซัมอาจถูกใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยไม่มีวัสดุผสมอื่นเป็นส่วนผสมร่วมหรือไม่ก็จะใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟชนิดที่มีวัสดุผสมเป็นซีเมนต์

เพอร์ไลท์และเวอร์มิคูลไลท์ เป็นวัสดุผสมประเภทมวลรวมเบาซึ่งมีคุณสมบัติในด้านการต้านทานความร้อนและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนจากไฟ ในความเป็นจริงการใช้วัสดุมวลรวมเหล่านี้เป็นผลเนื่องมาจากวัสดุมวลรวมเหล่านี้มีความต้านทานไฟที่สูงอีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้วัสดุมวลรวมชนิดอื่นได้แก่ ทรายและกรวด ในสัดส่วนผสมโดยจะมีซีเมนต์เป็นวัสดุผสม ซึ่งสิ่งนี้เป็นผลให้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีน้ำหนักที่ลดลง (เพอร์ไลท์ และ เวอร์มิคูลไลท์ จะมีน้ำหนักประมาณ 1/10 เท่าของน้ำหนักทราย) เพอร์ไลท์ เป็นแร่หินภูเขาไฟซึ่งจะมีการขยายตัวขึ้นหลายเท่าตัวเมื่อได้รับความร้อนถึงประมาณ 1800°F ซึ่งเพอร์ไลท์นี้จะมีการสลายตัวขึ้นสุดท้ายเป็นอนุภาคเล็กๆ สีขาว และมีความเงาเหมือนแก้ว ส่วนเวอร์มิคูลไลท์จะเป็นแร่ที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ซึ่งจะมีการขยายตัวเมื่อความร้อนประมาณ 2000°F และจะรวมตัวกับอนุภาคของสารผสมอื่นกลายเป็นสารที่มีน้ำหนักเบา

เมื่อวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟชนิดนี้ถูกกระทำโดยไฟความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับโดยน้ำในปฏิกิริยาไฮเดรชัน และถูกดูดซับออกไปกับอนุภาคของน้ำที่ระเหยออกไป ความสามารถในการดูดซับความร้อนซึ่งเกิดจากคุณสมบัติต่างๆของส่วนผสมทำให้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมที่มีคุณสมบัติในการต้านทานไฟขณะเดียวกันก็มีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตหรืออาจจะเท่ากับความหนาแน่นของคอนกรีตก็เป็นไปได้

2.3.4 ส่วนผสม

ในวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเพื่อป้องกันไฟประเภทที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุผสมและมีแร่เพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม ที่นำมาทำการศึกษานี้จะเกิดจากการผสมกันของวัสดุผสมต่างๆ หลายชนิดซึ่งสามารถแบ่งวัสดุผสมออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. วัสดุที่ใช้เป็นตัวผสมโดยในวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟชนิดที่ใช้ในการวิจัยนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุผสมหลัก

2. เพอร์ไลต์

3. วัสดุผสมเพิ่มเป็นวัสดุที่ใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ อันส่งผลให้วัสดุเคลือบผิวนี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นฉนวนป้องกันไฟในการวิจัยนี้จะใช้วัสดุผสมเพิ่ม 3 ชนิดคือ สารกักกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Agent), สารเพิ่มการยึดเหนี่ยว (Bonding Agent) และ สารเคมีผสมคอนกรีตประเภท เมทริลเซลลูโลส (Methylcellulose)

นอกจากวัสดุผสมทั้ง 3 ชนิดนี้แล้วที่ใช้ในการผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟชนิดนี้ยังมีน้ำเป็นส่วนผสมหลักอีกชนิดที่ใช้ในการผสม

2.3.4.1 ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 ถึง 1,500 องศาเซลเซียส วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทที่ให้ธาตุคลอรีน ได้แก่ หินปูน ดินสอพอง ดินปูนขาว

2. ประเภทที่ให้ธาตุซิลิกาและอลูมินา ได้แก่ หินเชล ดินเหนียว หินชนวน

สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเผาส่วนผสมของปูนซีเมนต์แล้ว สารออกไซด์ของธาตุคลอรีน ซิลิกา อลูมินา และเหล็กจะทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันได้สารประกอบที่สำคัญดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงสารประกอบที่สำคัญในปูนซีเมนต์

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 การเพิ่มยิปซัมจะทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีสภาพพลาสติกมากขึ้น และช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ช้าลง

2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate , C_2S) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับแรงได้ช้า ให้กำลังสูง และเกิดความร้อนน้อยในการเพิ่มยิปซัมจะให้ผลหน่วงการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บ้างเล็กน้อย

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

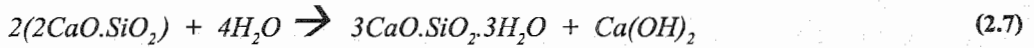
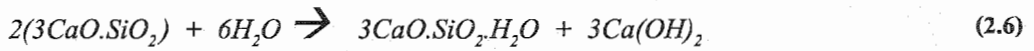
4.เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite , C_4AF) จะก่อตัวอย่างรวดเร็ว แต่ช้ากว่าและให้ความร้อนน้อยกว่าไตรแคลเซียมอลูมิเนตเล็กน้อย ส่วนการให้กำลังรับแรงยังไม่ทราบที่แน่นอน

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบของไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต รวมประมาณ 70-80% และเป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แคลเซียม (CaO) ประมาณ 60% และซิลิกา (SiO_2) ประมาณ 20 % ซึ่งสารเคมีทั้ง 2 นี้เป็นองค์ประกอบสำคัญของไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน อันจะทำให้กำลังรับแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าสูง

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction)

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) เป็นปฏิกิริยาหลักของการเปลี่ยนสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปเป็นสารเชื่อมประสาน เพื่อพัฒนากำลังรับแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สารประกอบที่สำคัญอันได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต เมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำแล้ว จะเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate , CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide , $\text{Ca}(\text{OH})_2$) อีกประมาณ 20-25 %

ขั้นตอนของปฏิกิริยาไฮเดรชันคือ เมื่อผงซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำแล้วเกิดเป็นไฮเดรตคอมพาวด์ (Hydrate Compound) โดยไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต จะแตกตัวออกเป็น 2 ส่วนดังสมการด้านล่างนี้



ปฏิกิริยานี้จะดำเนินเรื่อยไป โดยคัลเซียม (CaO) จะแยกตัวออกจากคัลเซียมซิลิเกต ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) ไปเป็นคัลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) จนสารละลายนั้นอิ่มตัว ด้วยคัลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือสารประกอบคัลเซียมซิลิเกตทำปฏิกิริยาไปจนหมดจากสารละลายสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันทั้ง 2 ส่วน คือ

1. คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (CSH) มีสูตรเคมีเป็น $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งเป็นสารเชื่อมประสาน
2. คัลเซียมไฮดรอกไซด์ มีสูตรเคมีเป็น $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ เป็นคัลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ

2.3.4.2 เฟอร์ไรต์

หินเฟอร์ไรต์เป็นหินภูเขาไฟเนื้อแก้ว มีลักษณะรอยแตกเป็นวง ๆ ซ้อนกันคล้ายกลีบหัวหอม เมื่อถูกเผาภายใต้อุณหภูมิเหมาะสมในเวลาอย่างรวดเร็วจะเกิดขยายตัวทันที และเปลี่ยนสภาพเป็นสารที่มีน้ำหนักเบา มีความพรุนสูงและมีลักษณะคล้ายหินฟัมมิส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขยายตัวของหินเฟอร์ไรต์นี้เรียกว่า เฟอร์ไรต์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดี คือ มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นต่ำ ไม่เป็นตัวนำความร้อน เป็นสารทนไฟ ป้องกันเสียง มีความสามารถดูดซึมน้ำดี เป็นสารที่มีความเป็นกลาง และเป็นสารเฉื่อย จากคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวเหล่านี้จึงมีการนำเฟอร์ไรต์มาใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นฉนวนความร้อน ใช้เป็นเครื่องกรองทำความสะอาดใช้ในการรักษาและปรับสภาพของดินทางการเกษตร แหล่งหินเฟอร์ไรต์ในประเทศไทยพบอยู่ในบริเวณกลุ่มหินภูเขาไฟล้านนารายณ์ ในบริเวณพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และลพบุรี

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของหินเฟอร์ไรต์

หินเฟอร์ไรต์ส่วนใหญ่เนื้อหินมีลักษณะเป็นแก้ว มักจะมีรอยแตกเป็นวงๆ ซ้อนกันคล้ายกลีบหัวหอม รอยแตกนี้อาจจะมองเห็นด้วยตา หรืออาจต้องอาศัยคูด้วยแว่นขยายหรือกล้องจุลทรรศน์ โดยทั่วไปมีสีเทาอ่อน แต่อาจจะพบสีดำ สีน้ำตาล หรือสีเขียวได้ และในเนื้อหินมักจะมีผลึกแร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่ไบโอไทต์ แร่ฮอร์นเบลนด์ และเศษหินชนิดอื่นฝังตัวอยู่ ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของหินเฟอร์ไรต์

ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของหินเฟอร์ไรต์

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

คุณสมบัติทางเคมีของหินเพอร์ไลต์

หินเพอร์ไลต์เป็นหินภูเขาไฟเนื้อแก้ว มีส่วนประกอบเป็นออกไซด์ของธาตุซิลิกาค่อนข้างสูง คือประมาณร้อยละ 70 หรือมากกว่า มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 2 ถึง 5 ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารเคมีอื่นๆ ง่ายนัก จัดอยู่ในจำพวกสารเฉื่อยต่อปฏิกิริยาทางเคมี

เนื้อแก้วของหินเพอร์ไลต์จะเปลี่ยนสภาพจากแก้วเป็นผลึก(Devitrification) เมื่อระยะเวลาของหินเพอร์ไลต์มากขึ้น หินเพอร์ไลต์ที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้น เนื้อแก้วจะต้องไม่เปลี่ยนสภาพแก้วเป็นผลึก ซึ่งพบได้ในหินภูเขาไฟยุคใหม่ประมาณยุคเทอร์เชียรีขึ้นมา หรือน้อยกว่า 65 ล้านปี ส่วนประกอบทางเคมีของหินเพอร์ไลต์ในรูปออกไซด์ของธาตุต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2-3 ซึ่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนประกอบทางเคมีของหินเพอร์ไลต์ระหว่างประเทศไทยกับทั่วโลก

ตารางที่ 2-3 ส่วนประกอบทางเคมีของหินเพอร์ไลต์

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

คุณสมบัติของเพอร์ไลต์

คุณสมบัติของเพอร์ไลต์ ที่จะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ในงานด้านต่างๆ ได้นั้น ขึ้นกับคุณสมบัติทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมีของเพอร์ไลต์ ดังนี้

1. มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นต่ำ ปกติเพอร์ไลต์มีความหนาแน่นประมาณ 30 ถึง 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. เป็นสารที่ไม่นำความร้อน มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k)ต่ำ โดยเพอร์ไลต์ที่ยังไม่ถูกอัดแน่นที่มีความหนาแน่นประมาณ 70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพียง 0.265 W/m-K ส่วนเพอร์ไลต์ที่มีการอัดแน่น มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.25 W/m-K
3. เป็นสารทนไฟ จะไม่หลอมละลายเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส
4. มีคุณสมบัติที่ดีในการป้องกันเสียง เนื่องจากคลื่นเสียงผ่านทะลุไปได้น้อย
5. เป็นสารที่มีความเป็นกลาง มีค่า pH = 7
6. เป็นสารเฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีง่ายนัก

ในตารางที่ 2-4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเพอร์ไลต์ ตารางที่ 2-5 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเพอร์ไลต์ในประเทศไทยเทียบกับของต่างประเทศ โดยคิดเป็นสัดส่วนของธาตุในแร่เพอร์ไลต์ในประเทศไทยได้ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเพอร์ไลต์

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 องศาเซลเซียส
10. จุดหลอมเหลว(Fusion point)	1260-1343 องศาเซลเซียส
11. ความจุความร้อนจำเพาะ(Specific heat)	0.2 Btu/lb-F หรือ 387 J/kg-K
12. ค่าการนำความร้อนที่ 24 องศาเซลเซียส	0.27-0.41Btu-in/h-ft -F หรือ 0.04-0.06W/m-K
13. ความสามารถในการละลาย	ละลายในด่างเข้มข้น

ตารางที่ 2-5 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเพอร์ไลต์ในประเทศไทยเทียบกับของต่างประเทศ

สารประกอบทางเคมี	ปริมาณคิดเป็นร้อยละ						
	ไทย	สหรัฐอเมริกา		กรีซ เมืองไมโลส	อิตาลี เมืองซามโตรี	อังกฤษ	บัลแกเรีย
		รัฐโอริโซนา	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 2-6 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

ประโยชน์ของเพอร์ไลต์ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

คุณสมบัติที่ไม่เป็นตัวนำความร้อน, คลื่นเสียงผ่านทะลุไม่ได้, ความหนาแน่นต่ำและเป็นวัสดุทนไฟ เมื่อนำเพอร์ไลต์ผสมกับปูนซีเมนต์จะทำให้ได้คุณภาพดีกว่าปูนซีเมนต์ที่ผสมแบบธรรมดาเมื่อนำไปฉาบผนังอาคาร เพดานจะทำให้ปูนซีเมนต์มีความสามารถยึดติดผนังดี, แห้งเร็วและไม่เกิดรอยร้าว เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงและยังเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเพอร์ไลต์สรุปดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเพอร์ไลต์

คุณสมบัติทางกายภาพ	ลักษณะที่ปรากฏ
รูปร่างและลักษณะ	มีรูปร่าง ไม่แน่นอน เป็นหินภูเขาไฟ (Al-Silicate)
สี	ขาว
ความสว่าง (G.E. Brightness), %	80-85
ดัชนีการหักเหแสง	1.47
ความถ่วงจำเพาะ	2.34
ความหนาแน่นปรากฏ	2.5-10.5 lb./ft. ³ (40-170kg/m ³)
การดูดซึม (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	200-600%
การดูดซับน้ำมัน, gms.	50-100
ความชื้น (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	น้อยกว่า 1
การสลายตัวที่อุณหภูมิ 1800°F	สูงสุด 2 เปอร์เซ็นต์ (ที่ 1 ชั่วโมง)
ความหนาแน่น (ที่สภาพอัดตัว)	5.0-20.0 lb./ft. ³ (80-320kg/m ³)
ขนาดอนุภาค	0.074-0.8 มิลลิเมตร
ความเป็นกรดหรือด่าง	เป็นกลาง
ความสามารถในการละลาย	ละลายน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ในกรดธรรมชาติ

นอกจากนี้เมื่อนำเพอร์ไลต์ไปผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อผลิตคอนกรีตสำหรับใช้ในงานก่อสร้างต่าง ๆ จะทำให้ลดน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างนั้นลงได้ และยังเป็นตัวฉนวนป้องกันความร้อนและป้องกันการสะท้อนของเสียงได้เป็นอย่างดี คอนกรีตผสมเพอร์ไลต์มีความหนาแน่นต่ำถึง 320 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความหนาประมาณ 2 นิ้ว จะมีประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนความร้อน เท่ากับแผ่นฉนวนความร้อนมาตรฐาน แต่มีความแข็งแรงและคงทนกว่าแผ่นฉนวนความร้อนมาตรฐานมาก ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมด้วยเพอร์ไลต์กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 สรุปได้ดังตารางที่ 2-8

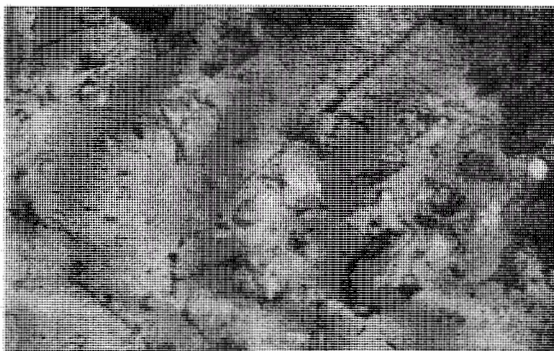
ตารางที่ 2-8 เปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตปกติเทียบกับคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์

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

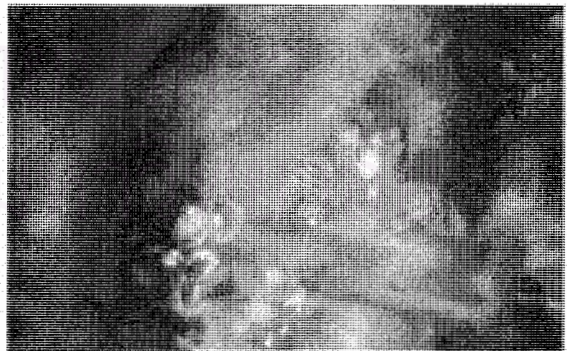
จากเหตุผลข้างต้น ได้มีการนำเพอร์ไลต์ไปใช้งานด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้างกันมาก เช่น ใช้ทำคอนกรีตบนชั้นลาดฟ้า ทำหลังคาหรือพื้นชั้นต่าง ๆ ของอาคารที่มีความสูงมาก ๆ และใช้ผสมปูนซีเมนต์สำหรับฉาบผนังอาคาร เนื่องจากเมื่อใช้คอนกรีตผสมเพอร์ไลต์จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำฐานรากของอาคารลดลงและช่วยประหยัดเหล็กเสริมที่ใช้ทำโครงสร้างได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่จะนำไปใช้กับเครื่องปรับอากาศภายในอาคารที่สร้างด้วยคอนกรีตผสมเพอร์ไลต์ เพราะเป็นฉนวนป้องกันความร้อนไปในตัวอยู่แล้ว

จะเห็นได้ว่าเพอร์ไลต์มีประโยชน์อย่างยิ่งในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณที่มีภูมิอากาศร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ในการก่อสร้างอาคารที่สูงมาก ๆ ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีปัญหาเกี่ยวกับการอ่อนตัวของพื้นดิน และยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับการทำฐานรากของอาคารได้มาก

เพอร์ไลต์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไทยเพอร์ไลต์ จำกัด

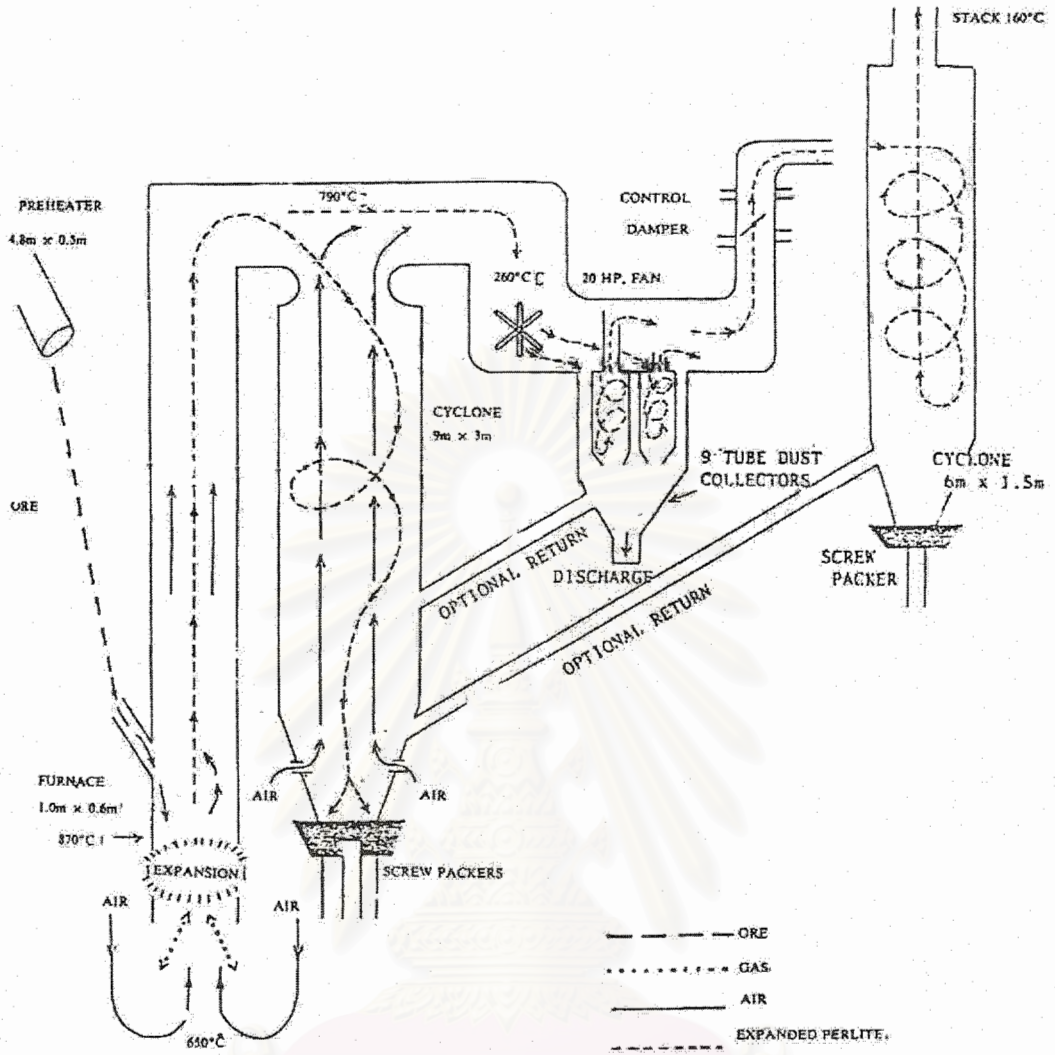


(ก) เพอร์ไลต์แห้ง



(ข) เพอร์ไลต์ที่อิมมิดด้วยน้ำ

รูปที่ 2-3 แสดงรูปถ่ายของเพอร์ไลต์ที่ถ่ายผ่านกล้องจุลทรรศน์



รูปที่ 2-4 แสดงการผลิตเพอร์ไลท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4.3 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มหรือเรียกอีกอย่างว่า สารผสมร่วม (Admixture) หมายถึง สารที่ใช้ผสมเข้าไปในคอนกรีต ในช่วงเวลาหรือระยะเวลาที่กำลังทำการผสมมวลรวมกับซีเมนต์และน้ำ เพื่อให้ได้วัสดุผสมที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับความต้องการ ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตสดหรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

สารผสมเพิ่มที่ใช้ผสมเพิ่มจะให้ผลแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและปริมาณของซีเมนต์ที่ใช้ ขนาดรูปร่างและส่วนขนาดของวัสดุผสม น้ำ สัดส่วนการผสมและอุณหภูมิ ดังนั้นในการใช้สารผสมเพิ่มจึงควรศึกษาถึงส่วนผสมและข้อเสนอแนะของผู้ผลิต โดยละเอียด จะต้องทดสอบและควบคุมปริมาณที่ใช้ให้ถูกต้อง เพราะสารเหล่านี้จะให้ผลดีเมื่อใช้ในอัตราที่พอเหมาะ

ประเภทของสารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มอาจจำแนกได้เป็น 4 ประเภทคือ

- 1.สารกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Admixtures) เป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ ช่วยเพิ่มปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต โดยมีมาตรฐานตาม ASTM C 260
- 2.สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures) เป็นสารประกอบเคมีที่ละลายน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตสด ได้แก่ สารลดปริมาณน้ำ สารหน่วงการก่อตัว สารเร่งการก่อตัว สารลดปริมาณน้ำและเร่งหรือหน่วงการก่อตัว สารลดปริมาณน้ำในอัตราสูงและหน่วงการก่อตัว โดยมีมาตรฐานตาม ASTM C 494
- 3.สารผสมเพิ่มแบบแร่ธาตุ (Mineral Admixtures) เป็นวัสดุผงละเอียด เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตสดและแข็งตัว อาจเรียกว่า วัสดุผสมเพิ่ม เนื่องจากใช้ช่วยปรับปรุงส่วนขนาดของวัสดุผสมให้ดีขึ้น และยังช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงได้บางส่วน โดยมีมาตรฐานตาม ASTM C 618
- 4.สารผสมเพิ่มอื่นๆ (Miscellaneous Admixtures) เป็นสารผสมเพิ่มที่ยังไม่จัดในมาตรฐาน ASTM ได้แก่ สารเพิ่มการยึดเหนี่ยว (Bonding Agent) สารลดการกัดกร่อน (Corrosion Agent) สารเพิ่มการขยายตัว (Expanding Agent) สารกันซึม (Waterproofing Agent)

สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ

2.3.4.3.1 สารกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Agent)

เป็นสารอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยาบนผิวโดยก่อให้เกิดฟองอากาศในปริมาณที่สามารถควบคุมได้ในเนื้อวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟนี้ ฟองอากาศขนาดเล็กที่กระจายตัวสม่ำเสมอและจะคงตัว โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25-1 มิลลิเมตร ฟองอากาศนี้จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านความสามารถเทได้และหล่อง่ายขึ้นทำให้ลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมลงได้

ฟองอากาศนี้ (Entrain Air) แตกต่างจากโพรงอากาศ (Entrapped Air) ที่มีขนาดใหญ่และเกิดขึ้นจากการจีเขยที่ไม่ดีพอ สารกักกระจายฟองอากาศนี้ยังช่วยด้านทานมิให้น้ำที่ใช้ผสมแข็งตัวก่อนที่คอนกรีตจะก่อตัวขึ้น

อีกทั้งสารกักกระจายฟองอากาศนี้ยังช่วยลดการเยิ้มและการแยกตัวของคอนกรีต เพิ่มความสามารถในการเทได้ และการเกาะตัวของส่วนผสม

สารกักกระจายฟองอากาศที่เลือกใช้ในการทดสอบนี้คือ Silipon RN6031 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท คอนเนลล์ บราเดอร์ส (ประเทศไทย) จำกัด โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ปริมาณฟองอากาศ (Air bubble content)

ปริมาณฟองอากาศที่มีมากจะทำให้กำลังรับแรงของวัสดุผสมนี้มีกำลังสูงขึ้น และลดการแตกร้าว และเพิ่มความสามารถในการไหลตัว ซึ่งปริมาณฟองอากาศจะขึ้นกับเวลาในการผสมอีกด้วย

2. คุณสมบัติด้านการเปียก (Wettability)

สารกักกระจายฟองอากาศนี้จะมีหน้าที่ในการเป็นสารเพิ่มและกักเก็บความเปียกขึ้น ซึ่งจะลดแรงตึงผิว ซึ่งจะมีจุดประสงค์เพื่อกระจายส่วนผสมละเอียดของปูนเปียกในการผสมด้วยน้ำ

3. คุณสมบัติด้านความเป็นพลาสติก (Plastification)

สารกักกระจายฟองอากาศนี้จะช่วยปรับปรุงความเป็นพลาสติกของคอนกรีตและยังช่วยในการทำงานอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัตินี้ไม่ได้เกี่ยวข้องกับปริมาณฟองอากาศ

2.3.4.3.2 เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose)

สารอินทรีย์ชนิดนี้จะช่วยเพิ่มความสามารถและประสิทธิภาพดังต่อไปนี้ให้แก่วัสดุผสมดังนี้

-เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

-ประหยัดเวลา งบประมาณ และวัสดุสิ้น

-ทำให้สามารถทำงานได้ง่ายและเพิ่มความสามารถในด้านความคงทนแข็งแรงของวัสดุผสม

-สามารถทำให้เป็นวัสดุผสมที่มีคุณภาพสูงตามมาตรฐาน

คุณสมบัติของสารเมทิลเซลลูโลสที่ผสมลงไปวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟนี้

1. ความสามารถในการเก็บกักน้ำ (Water Retaining)

สารเมทิลเซลลูโลสนี้ใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการไหลออกมานองน้ำจากผนัง น้ำจะเข้ามาแทรกอยู่ในปูนฉาบ และมีการยึดเวลาให้ยาวนานขึ้นเพื่อปฏิกิริยาไฮเดรชันสำหรับซีเมนต์ ความสามารถในการเก็บกักน้ำจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนืดของ สารเมทิลเซลลูโลส

2. ความสามารถในการไหลย้อยของซีเมนต์มอร์ต้า

ความต้านทานการไหลย้อยของปูนมอร์ต้าที่ดีจะหมายถึงปูนฉาบที่สามารถประยุกต์ใช้โดยปราศจากการเสี่ยงต่อการไหลย้อยหรือหลุดร่วงหลังจากการฉาบ การเพิ่มคุณสมบัตินี้ให้กับปูนฉาบมอร์ต้าโดยการใส่สารเมทิลเซลลูโลส

3. สัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำ

สัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำหมายความว่าปริมาณน้ำในการผสมมอร์ต้า ซึ่งเป็นผลที่มีอิทธิพลหลักต่อความคงทนของมอร์ต้าปริมาณน้ำนี้จะไม่สามารถเพิ่มได้เกินค่าที่ต้องการซึ่งถูกจำกัดโดย

- ปริมาณน้ำที่ต้องการของส่วนผสม
- การหดตัวของวัสดุผสม
- คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

ความแตกต่างของสารเมทริลเซลลูโลสช่วยให้รวมตัวกันเป็นวัสดุผสมที่มีคุณสมบัติซึ่งทำให้ปูนมอร์ต้ามีความคงทนซึ่งเป็นผลที่น่าเชื่อถือได้

ปริมาณน้ำที่แท้จริงไม่สามารถจะอ่านได้จากเครื่องวัด เครื่องวัดการไหลของน้ำจะวัดปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อชั่วโมง แต่ยังไม่สามารถรู้ถึงจำนวนของวัสดุแห้งที่ใช้ ความสามารถในการบีบปูนมอร์ต้าให้ไหลไปได้อย่างรวดเร็วตลอดถึงการฉีคพ่นจำเป็นที่ต้องมีปริมาณน้ำที่มากและวัสดุที่แห้ง ต่อหน่วยเวลา

4.การลดลงของความชื้นซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำงานได้

สำหรับปูนฉาบมอร์ต้าที่ผสมสารเมทริลเซลลูโลส ถูกพัฒนาซึ่งมีความสามารถในการทำงานได้ดี และความชื้นเหนียวที่ต่ำ ความเหนียวของสารเมทริลเซลลูโลสที่ต่ำกว่าจะส่งผลให้ความชื้นของปูนฉาบต่ำลง ดังนั้นจะสามารถทำงานได้ดีแต่ละระดับการใช้ของสารเมทริลเซลลูโลสที่มีความเหนียวต่ำจะสูงขึ้นเพราะปูนฉาบจะมีค่าปริมาณน้ำที่ต่ำ

สาร เมทริลเซลลูโลสที่ถูกใช้ในการทดสอบนี้คือ Culminal C8564 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท คอนเนลล์ บราเดอร์ส (ประเทศไทย) จำกัด

2.3.4.3.3 สารเพิ่มการยึดเหนี่ยว (Bonding Agent)

ลาเท็กซ์ (Latex)

ลาเท็กซ์เป็นสารโพลีเมอร์ (Polymer) ประเภทหนึ่งที่มีคุณสมบัติในด้าน Bonding Medium หรือ Adhesive ซึ่งคุณสมบัตินี้ของ Latex จะคล้ายกับคุณสมบัติของ Epoxy แต่มีราคาต่ำกว่า จุดเด่นของ Latex คือ มีความสามารถในการเสริมกำลังรับแรงยึดเกาะภายในคอนกรีตหรือมอร์ต้าสได้

คุณสมบัติของลาเท็กซ์ที่นำมาใช้กับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

คอนกรีตที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีข้อเสียคือ ความสามารถในการรับแรงดึง (Tensile Strength) ต่ำ , ความสามารถในการซึมผ่านได้ (Permeability) ยังมีค่าสูงเกินไป , ไม่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของกรดหรือสารเคมีได้ และความเหนียวยังน้อยไป (Low Ductility) จากข้อเสียเหล่านี้ของคอนกรีตจึงได้มีการค้นคว้าวิจัยพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติที่เป็นข้อเสียของคอนกรีตนี้ให้ดีขึ้น ซึ่งวิธีนี้ก็คือการผสมสารประเภทโพลีเมอร์ (Polymer) ลงไปในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้น

คอนกรีตที่มีส่วนผสมของโพลีเมอร์

ในการผสมโพลีเมอร์ลงในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้นคือมีแรงต้านทานการดึงและแรงอัดสูงขึ้น แต่ยังมีข้อเสียคือทำให้โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตต่ำลงและมีค่า Creep ที่สูง รวมทั้งอาจสลายตัวเมื่อ

โชนรังสีอัลตราไวโอเลต ,พวกจุลินทรีย์หรือสารเคมีบางชนิด ในปัจจุบันคอนกรีตที่มีส่วนผสมของโพลิเมอร์ได้แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1.Polymer Impregnated Concrete (PIC)

PIC จะเกิดจากการขจัดน้ำออกจากคอนกรีตแล้วใส่สารโพลิเมอร์ให้ซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตโดยใช้รังสีแกมมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.Polymer Concrete (PC)

PC เกิดจากการใช้โมโนเมอร์มาเป็นวัสดุผสม (binder) แทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ในคอนกรีตนั้น PC เกิดจากการผสม โมโนเมอร์กับมวลรวมเข้าด้วยกัน

3.Polymer Portland Cement Concrete (PPCC) หรือ Polymer Modified Concrete (PMC)

PPCC หรือ PMC เกิดจากการผสมคอนกรีตสดกับโพลิเมอร์ ในปัจจุบันโพลิเมอร์ที่ใช้มากที่สุดคือ Polymer Latex ในการใช้ Polymer Latex เป็นส่วนผสมจะมีผลให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกักกระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงของคอนกรีตมีค่าลดลงจึงมักเติมสารพวก Antifoaming หรือสารกักกระจายฟองอากาศลงไปด้วยเพื่อลดปริมาณฟองอากาศใน PMC นั้น โพลิเมอร์จะรวมตัวกันเป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องกระจายทั่วเนื้อคอนกรีต

ข้อดีของ PPCC หรือ PMC คือมีความทนทาน (Durable) สูงและมีแรงยึดเหนี่ยวที่ดี การต้านทานแรงกระแทกดีขึ้น แต่มีข้อเสียคือ Creep จะมากกว่าปกติ สำหรับคอนกรีตที่มี Polymer Latex เป็นส่วนผสมมีชื่อเฉพาะว่า Latex Modified Concrete หรือ LMC ส่วนมอร์ต้าจะเรียกว่า Latex Modified Mortar หรือ LMM

คุณสมบัติของ LMC และ LMM

- 1.สามารถรับแรงดึงและแรงอัดสูงขึ้น
- 2.อัตราการซึมผ่านของน้ำจะน้อยลง
- 3.ความทนทานมากขึ้นสามารถต้านทานการกัดกร่อนโดยสารเคมีได้
- 4.ตัว LMC และ LMM มีคุณสมบัติเป็น Bonding Medium
- 5.Latex ที่ใช้เป็นส่วนผสมไม่มีพิษไม่ติดไฟ และการผสมหรือเตรียม LMC และ LMM ง่าย
- 6.ราคา Latex ไม่สูงนัก

กลไกการทำงานของ Latex ใน LMC และ LMM

เมื่อใส่ลาเท็กซ์ลงในส่วนผสมของคอนกรีตเหลวและมอร์ต้าเหลว อนุภาคของ Latex จะกระจายโดยทั่วพร้อมทั้งเกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ชนิดคือ

- 1.ปฏิกิริยา Cement Hydration ทำให้เกิด Cement Gel ขึ้น
- 2.ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม (Latex Film Formation) เกิดจากการรวมตัวของโพลิเมอร์ หรือ ลาเท็กซ์ ซึ่งปกติการก่อตัวของชั้นฟิล์มจะเกิดขึ้นหลังจากปฏิกิริยา Cement Hydration

Cement Gel และชั้นฟิล์มของลาเท็กซ์จะเกิดขึ้นปะปนกัน (Interpenetrate) เป็นเนื้อเดียวเรียกว่า Comatrix ซึ่ง Comatrix ที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน (Binder) มวลรวมในคอนกรีตเข้าด้วยกัน

การแบ่งลาเท็กซ์ ตาม ASTM C 1059 (Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh to Hardened Concrete) จะแบ่งลาเท็กซ์ไว้เป็น 2 ประเภทคือ

1.Type I หรือ Redispersable Latex

เหมาะที่จะใช้งานในบริเวณที่มีความชื้นไม่มากหรือบริเวณที่น้ำท่วมไม่ถึง จึงทำให้ Latex ชนิดนี้เหมาะที่จะใช้ในงานตกแต่งภายใน

2.Type II หรือ Non-Redispersable Latex

สามารถที่จะใช้งานในบริเวณที่มีความชื้นสูงหรือบริเวณที่น้ำท่วมถึงได้

คุณสมบัติของลาเท็กซ์ที่มีผลต่อคอนกรีตขึ้นกับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1.Polymer Composite

พบว่าส่วนประกอบทางเคมีที่ต่างกันของโพลิเมอร์ จะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติที่ต่างกัน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์ก็เป็นองค์ประกอบสำคัญเช่นกัน โดยพบว่า LMC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพดีกว่าทั้งทางด้านการรับกำลังและความเป็น Adhesive หรือ Bonding Medium

2.Surfactant

เป็นสารเคมีที่เติมลงในขบวนการผลิตซึ่งสารนี้จะเข้าไปยึดเกาะผิวอนุภาคของลาเท็กซ์และทำหน้าที่สำคัญคือ ช่วยเพิ่มความสามารถในการเทได้ และช่วยลด W/C Ratio ลง และยังเป็นตัวช่วยควบคุมขนาดอนุภาคของลาเท็กซ์ โดยลาเท็กซ์ที่ตีควรมีอนุภาคขนาดใหญ่และเล็กปะปนกันในส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้มีการรวมตัวกันเป็น Closed-Packed Structure ได้ง่าย พร้อมทั้งมีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อยที่สุด

3.Initiator

การใช้ Initiator ในปริมาณที่สูงจะทำให้ลาเท็กซ์ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

4.Minimum Film Forming Temperature (MFFT)

คืออุณหภูมิค่าสุดท้ายที่ให้อนุภาคของลาเท็กซ์มารวมตัวกันเป็นฟิล์ม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต

5.ค่า pH

โดยทั่วไปลาเท็กซ์ ที่ใช้ในงานปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ควรมีค่า pH ไม่ต่ำกว่า 10

6.สารปรุงแต่งอื่นๆ

ยังมีการเติมสารบางอย่างลงในลาเท็กซ์เช่นสารป้องกัน UV เพื่อป้องกันการสลายตัวของลาเท็กซ์เมื่ออยู่กลางแจ้งเป็นต้น

ทฤษฎีเกี่ยวกับการที่สาร Adhesive ยึดเกาะวัสดุเข้าด้วยกัน

มีทฤษฎีที่ใช้อธิบายกลไกของ Adhesive อยู่ 2 ทฤษฎี คือ

1.ทฤษฎี Mechanical Interlocking

วัตถุที่เห็นว่าผิวเรียบจริงๆแล้วผิวนั้นจะขรุขระ ดังนั้นเมื่อกาว Adhesive ลงไปที่ผิวที่ต้องการจะทำการยึดติดกัน ขณะที่ Adhesive ยังเหลวอยู่ Adhesive นี้จะซึมเข้าไปในรอยขรุขระ และเมื่อ Adhesive เกิดการก่อตัวหรือแข็งตัว จึงก่อให้เกิด Mechanical Interlocking

2. ทฤษฎีการดูดซึม Absorption

เมื่อกาว Adhesive ลงบน Adherend ขณะที่ Adhesive ยังเหลวอยู่โมเลกุลของ Adhesive จะถูกดูดซึมเข้าไปใน Adherend พร้อมทั้งเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของ Adherend กับ Adhesive ในรูปพันธะเคมีและแรงดึงดูดแบบ Van Der Waals

ในปัจจุบันได้เชื่อว่าแรงยึดเหนี่ยวของสาร Adhesive เกิดทั้ง Mechanical Interlocking และแรงยึดเหนี่ยวจากทฤษฎี Absorption ผสมกัน โดย Mechanical Interlocking จะทำให้ Adherend มี Bonding Strength ในการรับ Load ที่มีลักษณะเป็นแรงเฉือนได้ดี ส่วนแรงยึดเหนี่ยวจากทฤษฎี Absorption จะทำให้ Adherend มี Bonding Strength ในการรับ Load ที่มีลักษณะเป็นแรงดึงได้ดี

ในการทดสอบนี้จะเลือกใช้คือ Rovace DP88 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท คอนเนลล์ บราเดอร์ส (ประเทศไทย) จำกัด

2.3.4.4 น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟนี้โดยน้ำจะมีหน้าที่ที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. ทำให้ส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กนี้ทั้งส่วนของวัสดุมวลรวมและวัสดุผสมมีความสามารถในการทำงานได้
2. ทำหน้าที่ผสมกับปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (วัสดุผสม) ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน อันจะทำให้ผงซีเมนต์มีลักษณะเป็นวุ้นและเป็นซีเมนต์เหนียวไว้ใช้เป็นตัวผสมระหว่างวัสดุผสมเพื่อให้วัสดุผสมเกาะยึดกันแน่นก่อให้เกิดการแข็งตัว

ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม และซีเมนต์ วัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟนี้มีความแข็งแรง ทนทาน มีรูพรongหรือแน่นทึบ จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใส่ลงไป ปริมาณน้ำที่ใส่ผสมโดยมากจะบอกค่าเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณซีเมนต์โดยน้ำหนัก ถ้าใส่ปริมาณน้ำมากเกินไปจะทำให้คุณสมบัติของวัสดุนี้แย่ลง เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนเกินที่เหลือจากปฏิกิริยาที่น้ำทำกับซีเมนต์จะระเหยออกไปเมื่อวัสดุผสมนี้แข็งตัว และทำให้เกิดเป็นโพรงในเนื้อวัสดุผสมนี้อันเป็นผลให้ความแข็งแรงของวัสดุผสมลดน้อยลง ในกรณีสำหรับวัสดุผสมประเภทคอนกรีตทนไฟรวมถึงวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟนี้มีข้อกำหนดในการใช้น้ำคือจะใช้น้ำในปริมาณที่มากพอที่จะทำให้เมื่อผสมส่วนผสมแล้วจะมีลักษณะเป็นพลาสติกและยังคงมีเสถียรภาพอีกด้วย และปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับซีเมนต์อย่างเพียงพอและสมบูรณ์ต้องไม่น้อยกว่า 25-30 % ของปริมาณซีเมนต์

บทที่ 3

วิธีการทดสอบและการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

การวิจัยนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณีศึกษาโดยแต่ละกรณีศึกษามีขั้นตอน, กระบวนการทดสอบและตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาและทดสอบต่างกันไป ซึ่งในแต่ละกรณีศึกษาจะมีจุดประสงค์ต่างกัน

1.กรณีศึกษาที่ 1 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเพอร์ไลต์ในวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟกับอัตราการต้านทานไฟ เพื่อหาปริมาณเพอร์ไลต์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ

การทดสอบในกรณีศึกษาที่ 1 จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนจะมีรายละเอียดดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนที่ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ เพื่อนำไปพิจารณาหาสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีค่าคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ โดยงานวิจัยนี้จะเริ่มต้นจากการศึกษาคุณสมบัติของแร่เพอร์ไลต์ซึ่งขอบเขตในการศึกษาจะแสดงไว้ดังในตารางที่ 3-1 หลังจากนั้นจะทำการศึกษาคุณสมบัติของของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งขอบเขตของการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟและมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติจะแสดงไว้ดังในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-1 แสดงมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติของเพอร์ไลต์

ประเภทของการทดสอบ	มาตรฐานที่ใช้
คุณสมบัติด้านหน่วยนำหนักของเพอร์ไลต์	ASTM C29
คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเพอร์ไลต์	ASTM C128
คุณสมบัติด้านขนาดผลึกของเพอร์ไลต์	ASTM C136

ตารางที่ 3-2 แสดงมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

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

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเพอร์ไลต์ในวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟกับอัตราการต้านทานไฟ เพื่อหาปริมาณเพอร์ไลต์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

การศึกษ้อัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพอร์ไลต์ในสัดส่วนผสม โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

- ในการวิจัยนี้จะใช้การทดสอบหาค่าอัตราการทนต่อไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟโดยจะใช้เกณฑ์ในการทดสอบ , การวัดค่า , การพิจารณาจุดวิบัติ และเตาเผาที่ใช้ในการให้ความร้อนตามมาตรฐานของ ASTM E119 (Standard Test Method for Fire Tests of Building Construction and Materials) ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก
- ขนาดเหล็กรูปพรรณที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ W150mm x 31.5kg (H-Section 150mm x 150mm x 7mm x 10 mm) ซึ่งมีค่า H_p / A เท่ากับ 221 เมตร⁻¹ ขนาดความยาว 1 เมตร เนื่องจากเป็นเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขนาดมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบอัตราการต้านทานไฟ
- ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ใช้ในการวิจัยนี้จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3 เซนติเมตร
- ปริมาณเพอร์ไลต์ในสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ใช้ในการทดสอบนี้มีทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง อัน ได้แก่ 50% , 100% , 150% , 200% , 250% และ 300% ของปริมาณน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ใช้
- การวัดค่าอุณหภูมิบนชิ้นตัวอย่างจะทำการวัด 2 ระดับ แต่ละระดับจะทำการวัดค่า 3 จุด ดังแสดงไว้ใน รูปที่ 3-4
- ที่ปลายของชิ้นตัวอย่างจะมีการใช้วัสดุประเภทเซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) หุ้มเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ชิ้นตัวอย่างทางด้านปลาย
- ในการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ จะควบคุมอุณหภูมิภายในเตาให้เป็นไปตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119
- สำหรับตัวอย่างที่จะทำการทดสอบจะทำการติดเหล็กสตั๊ดยาว 50 เซนติเมตร ที่ปีกบนด้านปลายทั้ง 2 ข้างของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ เพื่อใช้ในการติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตาดังรูป 3-4

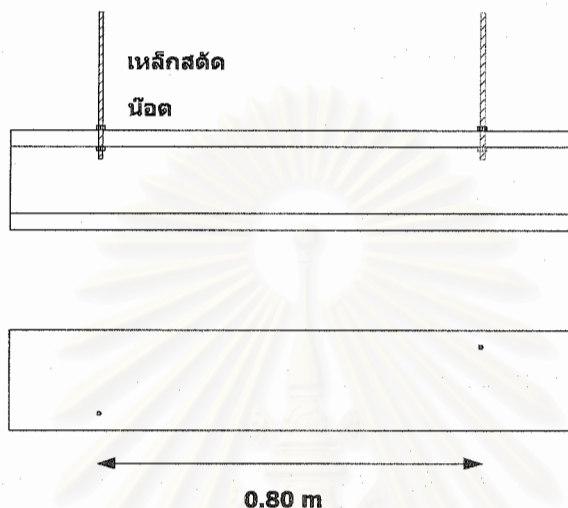
วิธีการทดสอบและการเตรียมตัวอย่าง

รายละเอียดการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟและการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบดังกล่าวจะแสดงไว้ดังนี้

การเตรียมตัวอย่าง

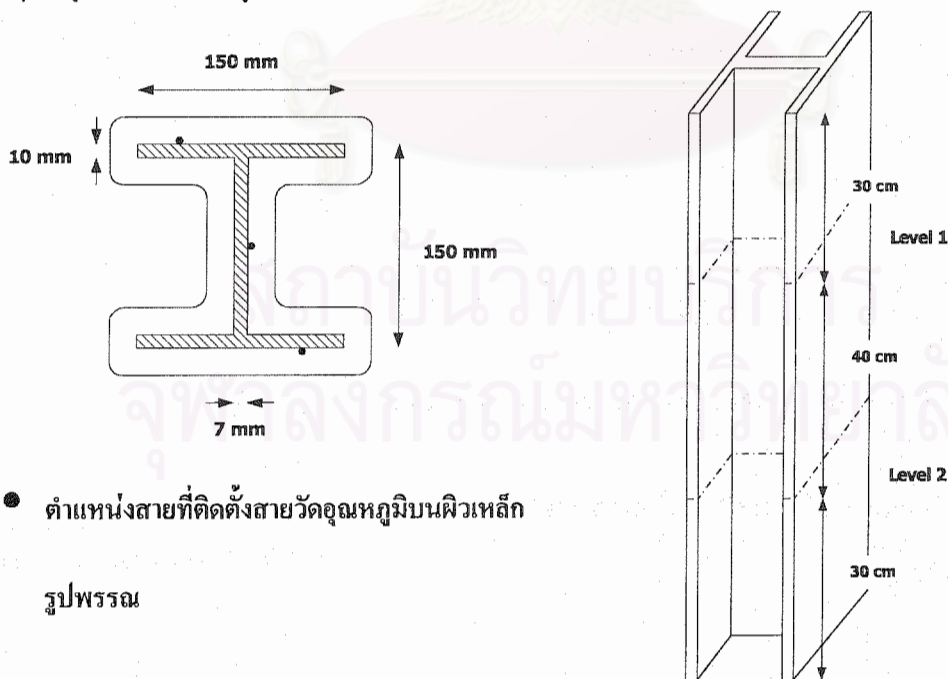
การเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนที่ 2 เพื่อนำมาศึกษาหาอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพอร์ไลต์ในสัดส่วนผสม โดยมีรายละเอียดการเตรียมชิ้นตัวอย่างดังนี้คือ

1. จัดหาเหล็กรูปพรรณ W150mmx31.5kg (H 150mmx150mmx7mmx10mm)ยาวท่อนละ 1 เมตร 6 ท่อน
2. ทำการเจาะรูยึดเหล็กเกลียว ที่ปีกบนด้านปลายทั้ง 2 ข้างของเหล็กรูปพรรณ
3. ทำการทำความสะอาดผิวของเหล็กรูปพรรณ พร้อมทั้งทาสีกันสนิม
4. ยึดเหล็กสตัดเข้ากับเหล็กรูปพรรณ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-1 แสดงตำแหน่งรูเจาะและการยึดเหล็กสตัดเข้ากับชิ้นตัวอย่าง

5. ทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิโดยการเชื่อม ไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมสเตนเลส โดยตำแหน่งในการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิจะแสดงดังในรูปที่ 3-5



- ตำแหน่งสายที่ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิบนผิวเหล็ก

รูปพรรณ

รูปที่ 3-2 แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ในชิ้นตัวอย่างที่ผิวเหล็กรูปพรรณ

6. ทำการผสมวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมโดยใช้ไม่ผสมไฟฟ้า ในสัดส่วนที่ได้เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กป้องกันไฟ ซึ่งจะมีสัดส่วนผสมที่แตกต่างกัน 6 สัดส่วนผสม โดยแต่ละสัดส่วนผสมจะมีปริมาณแร่เพอร์ไลต์ที่แตกต่างกันดังนี้ 50%, 100%, 150%, 200%, 250% และ 300% ของปริมาณน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

7. ทำการติดตั้งวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟแห่งแต่ละตัวอย่างดังข้อ 6 ลงบนชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ โดยการพ่น ซึ่งควรทำการพ่นบางๆ ทีละชั้นๆ

8. ทำการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟไปพร้อมกับการพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ เพื่อให้ได้ความหนาเฉลี่ยโดยรอบชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นตัวอย่างเท่ากับ 3 เซนติเมตร โดยรอบชิ้นตัวอย่าง

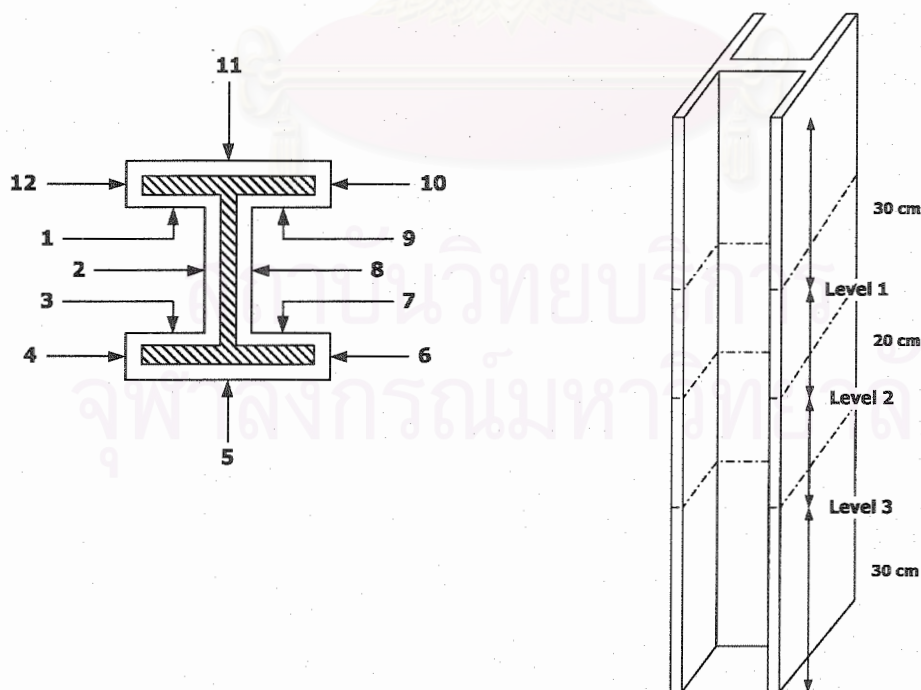
9. บ่มชิ้นงาน ในอากาศ ใ้จันชิ้นงานแห้งประมาณ 28 วัน

การทดสอบชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบชิ้นตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ และน้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง

เป็นขั้นตอนที่นำชิ้นตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักและวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ โดยจะทำการวัดและหาค่าตามมาตรฐาน ASTM E605 (Standard Test Methods for Thickness and Density of Sprayed Fire-Resistive Material (SFRM) Applied to Structural Members) ในการวัดความหนาของชิ้นตัวอย่างจะทำการวัดความหนา 3 ระดับ แต่ละระดับจะวัด 12 จุด ดังรูปที่ 3-6 และนำเอาค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่ 3-3 แสดงระดับและจุดที่ทำการวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

ค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ คือ ค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้
ค่าความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ เท่ากับ

$$D = \frac{W}{l \times w \times t}$$

โดย

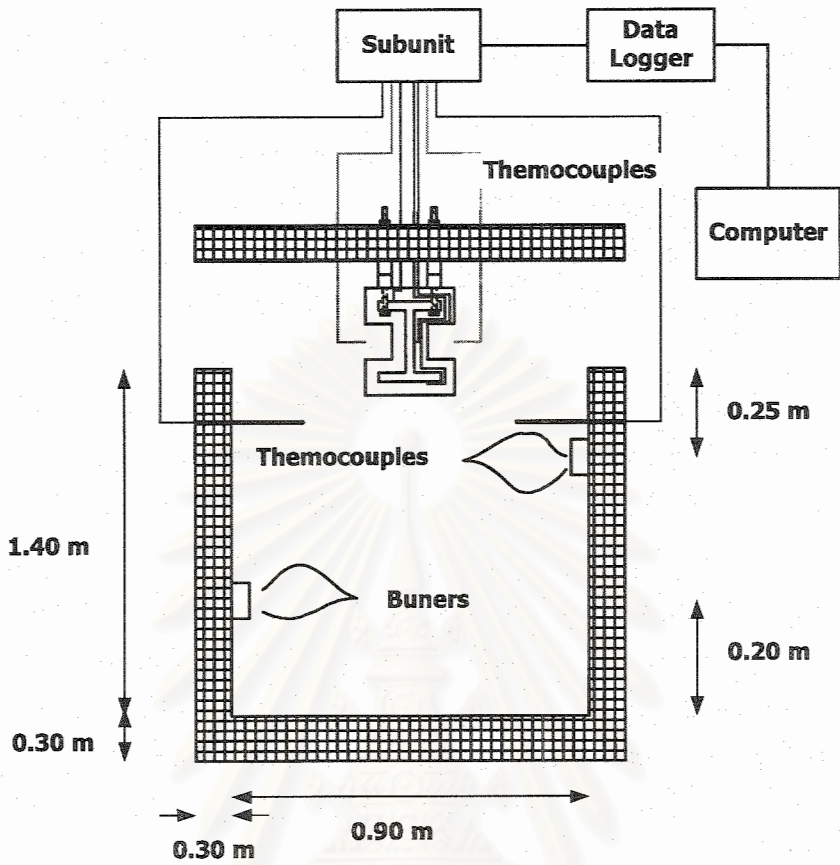
D	คือ	ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น kg/m^3 (lb/ft^3)
W	คือ	ค่าน้ำหนักคงที่ของวัสดุเคลือบผิวแห้ง มีหน่วยเป็น kg (lb)
l	คือ	ความยาวของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)
w	คือ	ความกว้างของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)
t	คือ	ค่าความหนาเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)

2. การติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตาเผาพร้อมทั้งติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลการทดสอบ

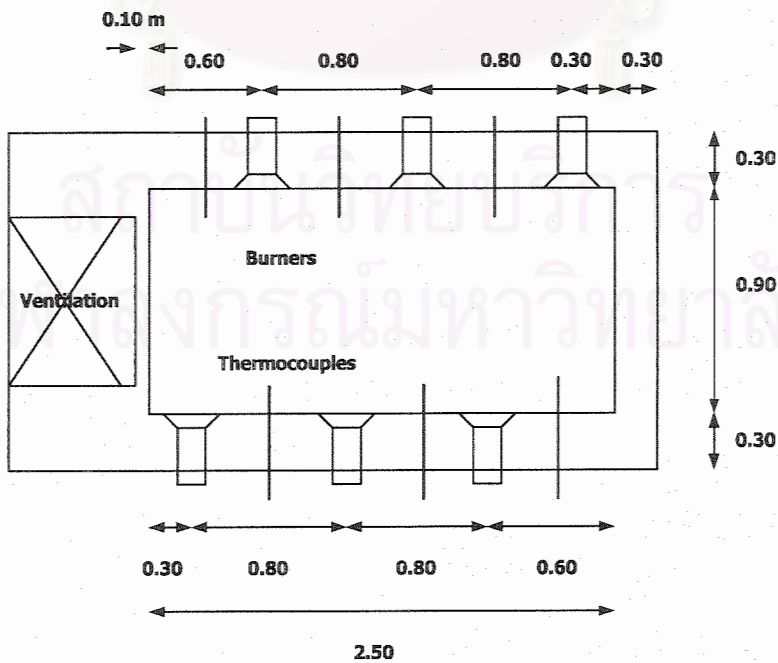
เป็นขั้นตอนที่จะทำการนำเอาชิ้นตัวอย่างที่ได้ทำการวัดความหนาและชั่งน้ำหนักแล้วไปติดตั้งบนฝาเตาเผา เพื่อเตรียมสำหรับจะทำการทดสอบชิ้นตัวอย่างต่อไป ก่อนที่ทำการติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตาเผาจะต้องทำการปิดหัวและท้ายของชิ้นตัวอย่างด้วยเซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) เหตุที่จะเป็นที่ยึดติดกับชิ้นตัวอย่างและท้ายของชิ้นตัวอย่างเนื่องจากสมมติฐานเบื้องต้นในการทดสอบคือ ความร้อนจะถ่ายเทเข้าชิ้นงานทางด้านข้างโดยรอบและจะไม่มีถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานจากด้านหัวและท้ายของชิ้นงาน หลังจากที่ได้ทำการปิดหัวและท้ายของชิ้นตัวอย่างแล้วชิ้นตัวอย่างจะถูกนำขึ้นติดตั้งบนฝาเตาเผาโดยใช้เนื้อยึดที่ยึดติดกับชิ้นตัวอย่างเมื่อทำการติดตั้งชิ้นตัวอย่างเรียบร้อยแล้วทำการร้อยสายวัดอุณหภูมิจากชิ้นตัวอย่างผ่านฝาเตาเผา หลังจากนั้นจะทำการต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งอยู่ด้านนอกของเตาเผา โดยมีรายละเอียดการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิดังนี้คือ

1. ในการร้อยสายวัดอุณหภูมินี้ต้องทำการแยกสายวัดอุณหภูมิไม่ให้สายวัดอุณหภูมิแต่ละเส้นสัมผัสกัน เนื่องจากถ้ามีการสัมผัสกันของสายวัดอุณหภูมิจะทำให้ข้อมูลอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จะผิดไปจากความเป็นจริง
2. เนื่องจากสายวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งที่ชิ้นตัวอย่างมีความยาวไม่มากนักจึงจะต้องใช้สายวัดอุณหภูมิอีกเส้นมาต่อพ่วงเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้ด้านนอกของเตาเผา
3. การต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลจะทำหลังจากติดตั้งฝาเตาลงบนเตาเผาเรียบร้อยแล้ว
4. หลังจากติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้วจะนำเอาเซรามิกไฟเบอร์มาอุดตามรูบนฝาเตาทั้งหมดเพื่อป้องกันไฟหลุ่รอดออกมาด้านนอกอันจะก่อให้เกิดอันตราย

รายละเอียดของเตาเผาและการติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตาเผาจะแสดงไว้ดังในรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-4 แสดงเตาเผาและการติดตั้งเซ็นเซอร์ตัวอย่างในเตาเผา



รูปที่ 3-5 แสดงขนาดของเตาเผา

3. การทดสอบชิ้นตัวอย่าง

เป็นขั้นตอนที่ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิโดยในการวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลเป็น 3 ชุดคือ

1. ข้อมูลอุณหภูมิของเตาเผา

เป็นค่าอุณหภูมิภายในของเตาเผาซึ่งในการทดสอบจะทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิไว้ภายในเตาเผา จำนวน 6 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3-7 โดยรอบเตาเผาซึ่งข้อมูลอุณหภูมิส่วนนี้จะเป็นข้อมูลที่สำคัญในการปรับ ความรุนแรงของไฟภายในเตาเผาให้มีค่าเทียบเท่ากับกราฟมาตรฐานการทดสอบ ASTM E119 แต่โดยความเป็นจริงแล้วข้อมูลอุณหภูมิในส่วนนี้ไม่ใช่อุณหภูมิโดยรอบของชิ้นตัวอย่างเพียงแต่เป็นอุณหภูมิโดยรวมภายในเตาเผา เท่านั้น

2. ข้อมูลอุณหภูมิภายในชิ้นตัวอย่างตามตำแหน่งที่ได้ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิไว้

เป็นค่าอุณหภูมิที่ผิวเหล็กรูปพรรณโดยทำการวัดได้จากสายวัดอุณหภูมิที่ได้ติดตั้งไว้ที่ผิวของเหล็ก รูปพรรณก่อนที่จะทำการเคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

3. ข้อมูลอุณหภูมิโดยรอบชิ้นตัวอย่าง

เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิตรงบริเวณรอบชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้น เพื่อให้ทราบสภาวะ ความรุนแรงของไฟตามความเป็นจริงที่ชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้น ได้รับ

ในส่วนการทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลทั้ง 3 ชุดไปพร้อมๆกันโดยจะมีเก็บข้อมูลทุกๆ 30 วินาที ด้วย เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ หลังจากเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแล้วจะนำเอาข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ ของเพอร์ไลต์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ

4. การตรวจสอบชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบ

เป็นขั้นตอนที่นำเอาชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบอัตราการต้านทานไฟแล้วมาตรวจสอบลักษณะของ วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณและเหล็กรูปพรรณ ภายหลังจากการทดสอบ เพื่อดูถึงลักษณะการพัง ทลายของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ และนำเอาเหล็กรูปพรรณมาชั่งน้ำหนักหลังจากนำ เอาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟออกจากผิวเหล็กจนหมด แล้วนำค่าดังกล่าวไปใช้ร่วมกับค่า ความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและน้ำหนักชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ เพื่อไปคำนวณหาค่าความหนา เน้นของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟตามมาตรฐาน ASTM E605

2. กรณีศึกษาที่ 2 เป็นการศึกษาอัตราการต้านทานไฟ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบ ผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ เพื่อนำเอาผลการทดสอบที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับ โครงสร้างจริง

การศึกษากกรณีศึกษานี้จะเป็นการศึกษาต่อเนื่องจากกรณีศึกษาที่ 1 โดยจะนำเอาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม ที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 มาใช้ในกรณีศึกษานี้ และกรณีศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การศึกษาอัตราการต้านทานไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูป พรรณป้องกันไฟดังนี้คือ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร

2. การศึกษาอัตราการต้านทานไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณดังนี้ คือ W150mm x 31.5kg (H-Section 150mm x 150mm x 7mm x 10 mm) ค่า H_p/A เท่ากับ 221 m^{-1} , W175mm x 40.2kg (H-Section 175mm x 175mm x 7.5mm x 11 mm) ค่า H_p/A เท่ากับ 202 m^{-1} และ W200mm x 56.2kg (H-Section 200mm x 200mm x 12mm x 12mm) ค่า H_p/A เท่ากับ 167 m^{-1}

การศึกษานี้มีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

- ในการวิจัยนี้จะใช้การทดสอบหาค่าอัตราการทนต่อไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟโดยใช้เกณฑ์ในการทดสอบ , การวัดค่า , การพิจารณาจุดวิบัติ และเตาเผาที่ใช้ในการให้ความร้อน ตามมาตรฐานของ ASTM E119 (Standard Test Method for Fire Tests of Building Construction and Materials) ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก
- ขนาดเหล็กรูปพรรณที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ W150mm x 31.5kg (H-Section 150mm x 150mm x 7mm x 10 mm) มีค่า H_p / A เท่ากับ 221 m^{-1} , W175mm x 40.2kg (H-Section 175mm x 175mm x 7.5mm x 11 mm) ค่า H_p/A เท่ากับ 202 m^{-1} และ W200mm x 56.2kg (H-Section 200mm x 200mm x 12mm x 12mm) ค่า H_p/A เท่ากับ 167 m^{-1} ขนาดความยาว 1 ม.
- ความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ใช้ในการวิจัยนี้จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2 , 3 และ 4 เซนติเมตร
- ปริมาณเพอร์ไลต์ในสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่ใช้ในการทดสอบนี้ จะเลือกใช้สัดส่วนผสมที่เหมาะสม 2 สัดส่วนผสมซึ่งได้จากการศึกษาในการศึกษาที่ 1
- จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้จะมีทั้งหมด 18 ตัวอย่าง
- การวัดค่าอุณหภูมิบนชิ้นตัวอย่างจะทำการวัด 2 ระดับ แต่ละระดับจะทำการวัดค่า 3 จุด
- ที่ปลายของชิ้นตัวอย่างจะมีการใช้วัสดุประเภทเซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) หุ้มเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ชิ้นตัวอย่างทางด้านปลาย
- ในการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ จะควบคุมอุณหภูมิภายในเตาให้เป็นไปตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119
- สำหรับตัวอย่างที่จะทำการทดสอบจะทำการติดเหล็กสตั๊ดยาว 50 เซนติเมตร ที่ปีกบนด้านปลายทั้ง 2 ข้างของโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ เพื่อใช้ในการติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตา

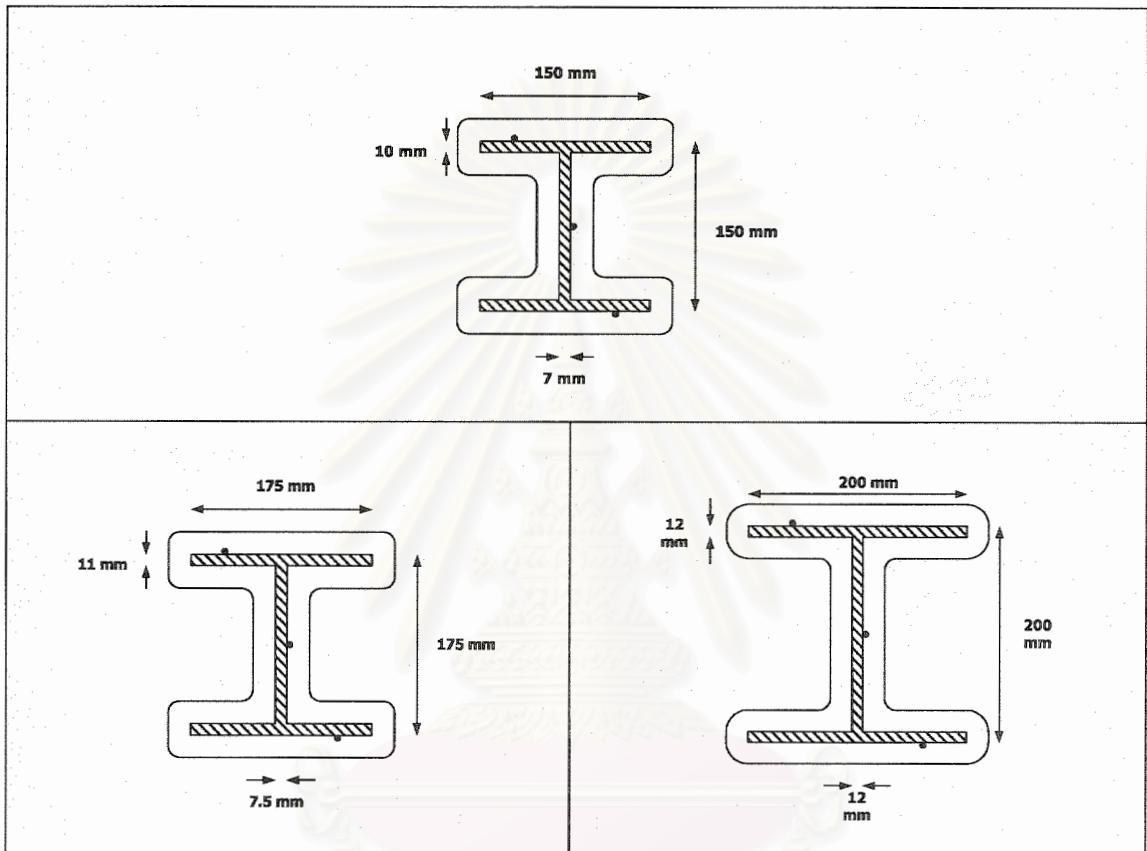
วิธีการทดสอบและการเตรียมตัวอย่าง

รายละเอียดการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ และการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบดังกล่าวจะแสดงไว้ดังนี้

การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีลักษณะเหมือนกับในการศึกษาที่ 1 แต่ต่างกันที่ขนาดหน้าตัดเหล็กรูปพรรณ โดยรายละเอียดการเตรียมตัวอย่างแสดงไว้ดังนี้คือ

1. จัดหาเหล็กรูปพรรณ W150mm x 31.5kg (H-Section 150mm x 150mm x 7mm x 10 mm) ค่า H_p/A เท่ากับ 221 m^{-1} , W175mm x 40.2kg (H-Section 175mm x 175mm x 7.5mm x 11 mm) ค่า H_p/A เท่ากับ 202 m^{-1} และ W200mm x 56.2kg (H-Section 200mm x 200mm x 12mm x 12mm) ค่า H_p/A เท่ากับ 167 m^{-1} ยาวท่อนละ 1 เมตร ขนาดละ 6 ท่อน



รูปที่ 3-6 แสดงขนาดหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในการทดสอบในกรณีศึกษาที่ 2 และตำแหน่งการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ

2. ทำการเจาะรูยึดเหล็กสตัด ที่ปีกบนด้านปลายทั้ง 2 ข้างของเหล็กรูปพรรณ
3. ทำการทำความสะอาดผิวของเหล็กรูปพรรณ พร้อมทั้งทาสีกันสนิม
4. ยึดเหล็กสตัดเข้ากับเหล็กรูปพรรณ
5. ทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิโดยการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมสเตนเลส โดยตำแหน่งในการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิจะแสดงดังในรูปที่ 3-9
6. ทำการผสมวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่มีแร่เพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมในสัดส่วนที่ได้เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในกรณีศึกษาที่ 1 จำนวน 2 สัดส่วนผสม
7. ทำการติดตั้งวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟแต่ละตัวอย่างดังข้อ 6 ลงบนตัวอย่างเหล็กรูปพรรณที่ได้เตรียมไว้ในข้อ 1 โดยการพ่น
8. ทำการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟให้มีความหนาเฉลี่ยโดยรอบชิ้นตัวอย่างแต่ละชิ้นตัวอย่างเท่ากับ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

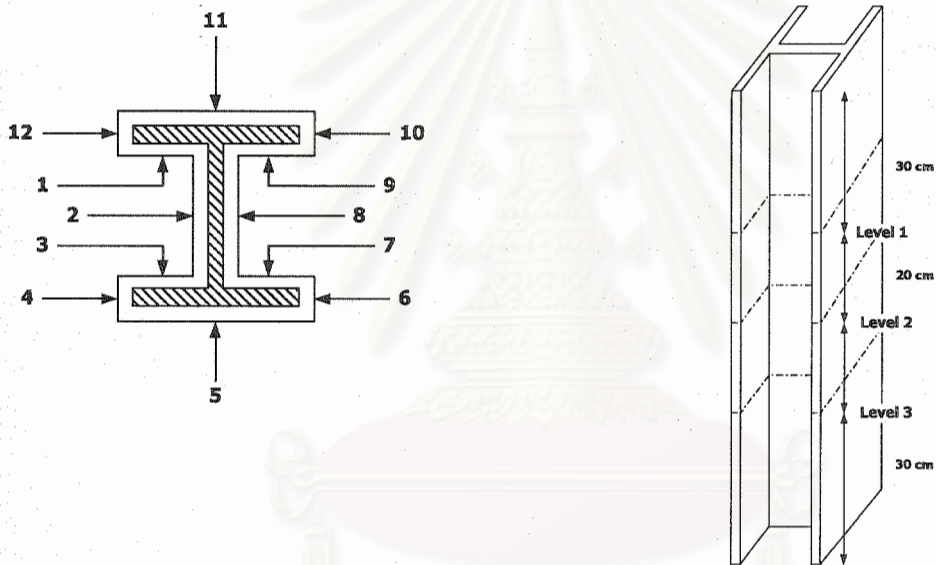
9. บ่มชิ้นงานในอากาศไว้จนชิ้นงานแห้งประมาณ 28 วัน

การทดสอบชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบชิ้นตัวอย่างในขั้นตอนนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ และน้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง

เป็นขั้นตอนที่นำชิ้นตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักและวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟโดยจะทำการวัดและหาค่าตามมาตรฐาน ASTM E605-93 (Standard Test Methods for Thickness and Density of Sprayed Fire-Resistive Material (SFRM) Applied to Structural Members) ในการวัดความหนาของชิ้นตัวอย่างจะทำการวัดความหนา 2 ระดับ แต่ละระดับจะวัด 12 จุด ดังรูปที่ 3-10 และนำเอาค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่ 3-7 แสดงระดับและจุดที่ทำการวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

กรณีศึกษาที่ 2

ค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ คือ ค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้

ค่าความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ เท่ากับ

$$D = \frac{W}{l \times w \times t}$$

โดย

<i>D</i>	คือ	ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น kg/m^3 (lb/ft^3)
<i>W</i>	คือ	ค่าน้ำหนักคงที่ของวัสดุเคลือบผิวแห้ง มีหน่วยเป็น kg (lb)
<i>l</i>	คือ	ความยาวของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)
<i>w</i>	คือ	ความกว้างของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)
<i>t</i>	คือ	ค่าความหนาเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น m (ft)

2. การติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตาเผาพร้อมทั้งติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลการทดสอบ

เป็นขั้นตอนที่จะทำการนำเอาชิ้นตัวอย่างที่ได้ทำการวัดความหนาและชั่งน้ำหนักแล้วไปติดตั้งบนฝาเตาเผา เพื่อเตรียมสำหรับจะทำการทดสอบชิ้นตัวอย่างต่อไป ก่อนที่ทำการติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตาเผาจะต้องทำการปิดหัวและท้ายของชิ้นตัวอย่างด้วยเซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) เหตุที่จะเป็นที่ต้องมีการปิดหัวและท้ายของชิ้นตัวอย่างเนื่องจากสมมติฐานเบื้องต้นในการทดสอบคือ ความร้อนจะถ่ายเทเข้าชิ้นงานทางด้านข้างโดยรอบและจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานจากด้านหัวและท้ายของชิ้นงาน หลังจากที่ได้ทำการปิดหัวและท้ายของชิ้นตัวอย่างแล้วชิ้นตัวอย่างจะถูกนำขึ้นติดตั้งบนฝาเตาเผาโดยใช้มือคีย์ที่เหล็กยึดที่ยึดติดกับชิ้นตัวอย่างเมื่อทำการติดตั้งชิ้นตัวอย่างเรียบร้อยแล้วทำการร้อยสายวัดอุณหภูมิจากชิ้นตัวอย่างผ่านฝาเตาเผา หลังจากนั้นจะทำการต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งอยู่ด้านนอกของเตาเผา โดยมีรายละเอียดการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิดังนี้คือ

1. ในการร้อยสายวัดอุณหภูมินี้ต้องทำการแยกสายวัดอุณหภูมิไม่ให้สายวัดอุณหภูมิแต่ละเส้นสัมผัสกัน เนื่องจากถ้ามีการสัมผัสกันของสายวัดอุณหภูมิจะทำให้ข้อมูลอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จะผิดไปจากความเป็นจริง
2. เนื่องจากสายวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งที่ชิ้นตัวอย่างมีความยาวไม่มากนักจึงจะต้องใช้สายวัดอุณหภูมิอีกเส้นมาต่อพ่วงเข้ากับเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้ด้านนอกของเตาเผา
3. การต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลจะทำหลังจากติดตั้งฝาเตาลงบนเตาเผาเรียบร้อยแล้ว
4. หลังจากติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้วจะนำเอาเซรามิกไฟเบอร์มาอุดตามรูบนฝาเตาทั้งหมดเพื่อป้องกันไฟหลุครอดออกมาด้านนอกอันจะก่อให้เกิดอันตราย

3. การทดสอบชิ้นตัวอย่าง

เป็นขั้นตอนที่ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิโดยในการวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลเป็น 3 ชุดคือ

1. ข้อมูลอุณหภูมิของเตาเผา
2. ข้อมูลอุณหภูมิภายในชิ้นตัวอย่างตามตำแหน่งที่ได้ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิไว้
3. ข้อมูลอุณหภูมิโดยรอบชิ้นตัวอย่าง

ในส่วนการทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลทั้ง 3 ชุดไปพร้อมๆกันโดยจะมีเก็บข้อมูลทุกๆ 30 วินาที ด้วยเครื่องเก็บข้อมูล หลังจากเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแล้วจะนำเอาข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณของแร่เพอร์ไลต์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิว โครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ

4. การตรวจสอบชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบ

เป็นขั้นตอนที่นำเอาชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบอัตราการต้านทานไฟแล้วมาตรวจสอบลักษณะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณและเหล็กรูปพรรณ ภายหลังจากกาทดสอบ เพื่อดูถึงลักษณะการพังทลายของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ และนำเอาเหล็กรูปพรรณมาชั่งน้ำหนักหลังจากนำเอาวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟออกจากผิวเหล็กทั้งหมด แล้วนำค่าดังกล่าวไปใช้ร่วมกับค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและน้ำหนักชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ เพื่อไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟตามมาตรฐาน ASTM E605



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4



ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสม โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณีศึกษา ซึ่งก่อนที่จะทำการศึกษาคูสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุฐานและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมที่ทำการผลิตขึ้นมาเองจะทำการศึกษาคูสมบัติของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศก่อน

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ผลการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศของบริษัทหนึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ		มาตรฐานการทดสอบ
	ค่า	หน่วย	
หน่วยน้ำหนัก	640	kg/m ³	ASTM E119
กำลังรับแรงอัด	10	ksc	ASTM C109 , ASTM E761
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว	1	ksc	ASTM E736

ในงานวิจัยนี้จะนำเอาผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟนี้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีซีเมนต์เป็นวัสดุฐานและมีเพอร์ไลต์เป็นส่วนผสมที่ได้ผลิตขึ้นในงานวิจัยนี้

4.2 ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 1

ในกรณีศึกษาที่ 1 ได้ทำการทดสอบโดยเริ่มจากการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพของเพอร์ไลต์ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในหัวข้อที่ 4.2.1 หลังจากนั้นจะทำการศึกษาคูสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟซึ่งได้จากการนำเอาเพอร์ไลต์, ปอร์ซเลนดีซีเมนต์ประเภทที่ 1 และสารผสมเพิ่ม มาผสมกันในสัดส่วนต่างๆ เพื่อหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ โดยผลการทดสอบแสดงไว้ในหัวข้อ 4.2.2

4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่เพอร์ไลต์

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางการภาพของแร่เพอร์ไลต์ที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่เพอร์ไลต์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติของเพอร์ไลต์	ค่าจากการทดสอบ	
	ปริมาณ	หน่วย
ความหนาแน่นของเพอร์ไลต์ (Density of Perlite)	504	kg / cm ³
เปอร์เซ็นต์การดูดซึม (% Absorbtion)	52.38	%
Bulk Specific Gravity สภาพแห้ง	0.49	-
Bulk Specific Gravity อิมตัวผิวแห้ง	0.75	-
Apparent Specific Gravity	0.67	-
ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)	3.54	-

4.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ

ผลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟจะทำให้ทราบถึงความสำคัญของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ พร้อมทั้งพิจารณาหาปริมาณที่เหมาะสมของวัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ ดังมีรายละเอียดผลการทดสอบดังนี้

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟเมื่อไม่มีสารผสมในสัดส่วนผสม แสดงไว้ในตารางที่ 4-3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณซีเมนต์ (g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ (g)	50.00	100.00	150.00	200.00	250.00	300.00
ปริมาณน้ำ / ปริมาณส่วนผสมแห้ง	0.60	1.00	1.20	1.40	1.50	1.65
ปริมาณน้ำ (g)	90.00	200.00	300.00	420.00	525.00	660.00
ปริมาณสารผสมเพิ่ม	-	-	-	-	-	-
การไหลตัว (%)	102.00	100.00	101.00	104.00	102.00	100.00
หน่วยน้ำหนัก (kg / m^3)	1,487	1,204	864	740	532	480
กำลังรับแรงอัดที่ 14 วัน (kg / cm^2)	243.2	155.2	54.7	22.7	8.5	6.1
กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน (kg / cm^2)	282.9	179.9	61.7	31.5	15.7	9.9

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟเมื่อนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Agent) มาผสมในอัตราส่วนผสม 0% , 0.01% , 0.02% , 0.03% , 0.04% และ 0.05% ของน้ำหนักส่วนผสมแห้ง แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 ถึงตารางที่ 4-9

2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 50% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-4 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 50% โดยน้ำหนักซีเมนต์ โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01%,0.02%,0.03%,0.04%,0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณซีเมนต์ (g)	100	100	100	100	100	100
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ปริมาณเพอร์ไลต์ (g)	50	50	50	50	50	50
ปริมาณน้ำ / ปริมาณส่วนผสมแห้ง	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
ปริมาณน้ำ (g)	90	90	90	90	90	90
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ	-	0.015	0.03	0.045	0.06	0.075
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ/ส่วนผสมแห้ง	-	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005
หน่วยน้ำหนัก (kg / cm^3)	1,487	904	800	736	680	560
กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน (kg / cm^2)	282.9	62.0	38.0	34.0	23.6	20.0

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อผสมสารกักกระจายฟองอากาศปริมาณ 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณจะมีความหนาแน่น 0.56 g/cm^3 และมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเท่ากับ 19.98 kg/cm^2 ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 50 % โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.05% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้งทั้งหมด

2.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 100% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-5 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 100% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณซีเมนต์ (g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ (g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณน้ำ / ปริมาณส่วนผสมแห้ง	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ปริมาณน้ำ (g)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ	-	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ/ส่วนผสมแห้ง	-	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005
หน่วยน้ำหนัก (kg/cm^3)	1,204	640	600	560	520	480
กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน (kg/cm^2)	179.9	48.9	32.6	28.5	20.4	12.6

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อผสมสารกักกระจายฟองอากาศปริมาณ 0.04% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณจะมีความหนาแน่น 0.52 g/cm^3 และมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเท่ากับ 20.39 kg/cm^2 ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 100 % โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.04% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้งทั้งหมด

2.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-6 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01% , 0.02% , 0.03% , 0.04% , 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณซีเมนต์ (g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
ปริมาณเพอร์ไลต์ (g)	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
ปริมาณน้ำ / ปริมาณส่วนผสมแห้ง	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
ปริมาณน้ำ (g)	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ	-	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ/ส่วนผสมแห้ง	-	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005
หน่วยน้ำหนัก (kg/cm^3)	864	560	520	464	440	424
กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน (kg/cm^2)	61.7	30.2	23.6	15.7	11.2	6.9

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อผสมสารกักกระจายฟองอากาศปริมาณ 0.02% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณจะมีความหนาแน่น 0.52 g/cm^3 และมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเท่ากับ 23.65 kg/cm^2 ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150 % โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.02% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้งทั้งหมด

2.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-7 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01% , 0.02% , 0.03% , 0.04% , 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณซีเมนต์ (g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ (g)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
ปริมาณน้ำ / ปริมาณส่วนผสมแห้ง	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
ปริมาณน้ำ (g)	420.00	420.00	420.00	420.00	420.00	420.00
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ	-	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ/ส่วนผสมแห้ง	-	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005
หน่วยน้ำหนัก (kg/cm^3)	740	480	448	408	376	368
กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน (kg/cm^2)	31.5	26.1	22.0	13.9	9.8	5.7

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อผสมสารกักกระจายฟองอากาศปริมาณ 0.02% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณจะมีความหนาแน่น $0.45 \text{ g}/\text{cm}^3$ และมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเท่ากับ $22.02 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 200 % โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.02% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้งทั้งหมด

2.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 250% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-8 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 250% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01% , 0.02% , 0.03% , 0.04% , 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณซีเมนต์ (g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณเปอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
ปริมาณเปอร์ไลต์ (g)	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
ปริมาณน้ำ / ปริมาณส่วนผสมแห้ง	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
ปริมาณน้ำ (g)	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ	-	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ/ส่วนผสมแห้ง	-	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005
หน่วยน้ำหนัก (kg/cm^3)	532	448	400	392	368	360
กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน (kg/cm^2)	24.2	17.2	5.6	5.4	4.0	3.2

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อผสมสารกักกระจายฟองอากาศปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณจะมีความหนาแน่น 0.45 g/cm^3 และมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเท่ากับ 17.24 kg/cm^2 ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 250 % โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.01% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้งทั้งหมด

2.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-9 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01% , 0.02% , 0.03% , 0.04% , 0.05% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณซีเมนต์ (g)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
ปริมาณเพอร์ไลต์ (g)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
ปริมาณน้ำ / ปริมาณส่วนผสมแห้ง	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
ปริมาณน้ำ (g)	560.00	560.00	560.00	560.00	560.00	560.00
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ	-	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ/ส่วนผสมแห้ง	-	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005
หน่วยน้ำหนัก (kg/cm^3)	480	424	408	400	384	368
กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน (kg/cm^2)	11.1	5.2	3.7	3.6	3.3	2.7

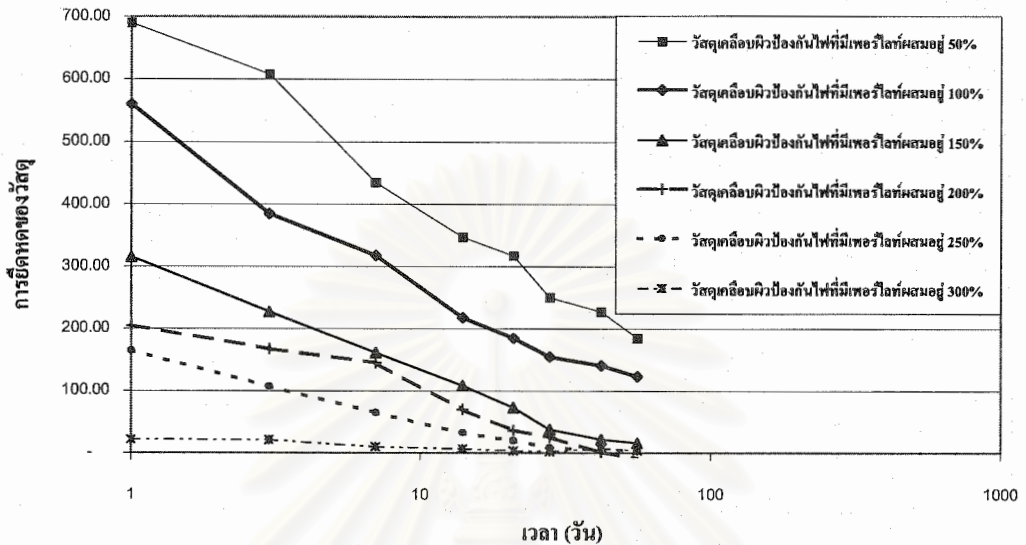
จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อผสมสารกักกระจายฟองอากาศปริมาณ 0% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณจะมีความหนาแน่น 0.48 g/cm^3 และมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเท่ากับ 11.06 kg/cm^2 ซึ่งมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 300 % โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้งทั้งหมด

3. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ในแต่ละส่วนผสมทั้ง 6 สัดส่วนผสม โดยนำเอาสาร เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose) มาผสมในอัตราส่วนผสม 0% , 0.25% , 0.50% , 0.75% และ 1.00% ของน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด

ในการศึกษาในหัวข้อนี้จะเริ่มจากการศึกษาสัดส่วนที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ 2 ซึ่งตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นยังไม่มีกรรมผสมสารเมทิลเซลลูโลสลงไป โดยนำเอาสัดส่วนที่ได้มาทำการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของตัวอย่างซึ่งได้ผลการทดสอบดังกราฟที่ 4-1

กราฟแสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่4-1 แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟที่ยัง ไม่ได้มีการผสม สารเมทิลเซลลูโลสเข้าไปในส่วนผสม

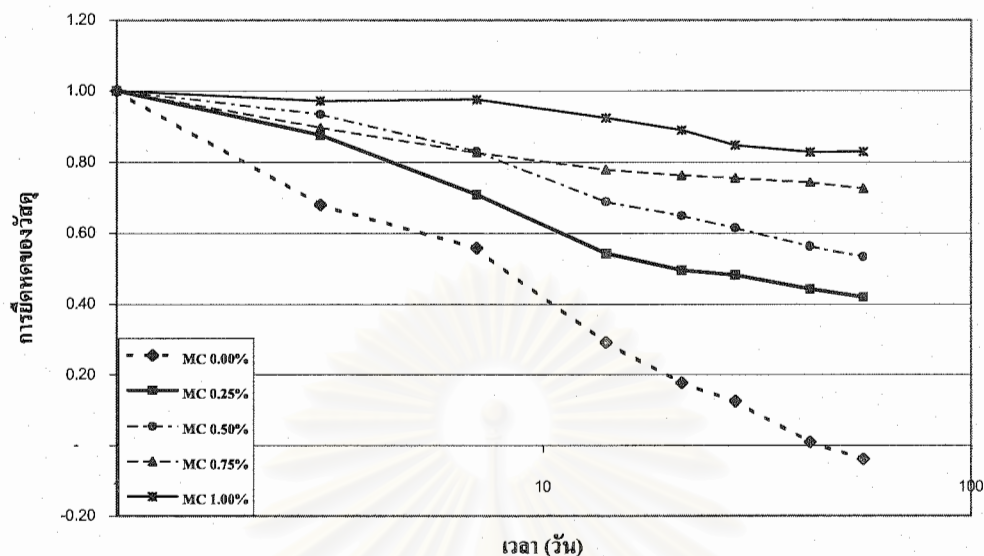
จากผลการทดสอบค่าการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟในกราฟที่4-1 จะแสดงให้เห็นว่าค่าการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟจะขึ้นอยู่กับปริมาณ เฟอร์ไลต์ที่มีอยู่ในสัดส่วนผสมและเห็น ได้ชัดว่าเมื่อปริมาณเฟอร์ไลต์ในสัดส่วนผสมมากขึ้นจะทำให้วัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณมีการยึดหดตัวที่ลดลง

จากกราฟที่ 4-1 จะพบว่าวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุ ยังมีการยึดหดตัวที่สูงอยู่ ในงานวิจัยนี้จึงนำเอาสารเมทิลเซลลูโลสมาผสมในสัดส่วนผสมเพื่อลดการยึดหดตัวซึ่งการยึดหดตัวนี้จะก่อให้เกิดการแตกร้าวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟอันจะเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผิวเหล็กรูปพรรณ ได้เร็วขึ้นอันจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการป้องกัน ไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณนี้มีค่าลดลง

ในงานวิจัยนี้จะนำเอาเมทิลเซลลูโลสปริมาณ 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.00% โดยนำน้ำหนักรวมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟแห่ง โดยมีรายละเอียดการศึกษาและทดสอบดังนี้คือ

3.1 การศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟที่มีปริมาณเฟอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 50% โดยนำน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 โดยนำเอาสารเมทิลเซลลูโลสมาผสมเพิ่มในปริมาณ 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.00% โดยนำน้ำหนักของส่วนผสมแห่ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการยึดหดตัวของวัสดุ

กราฟแสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

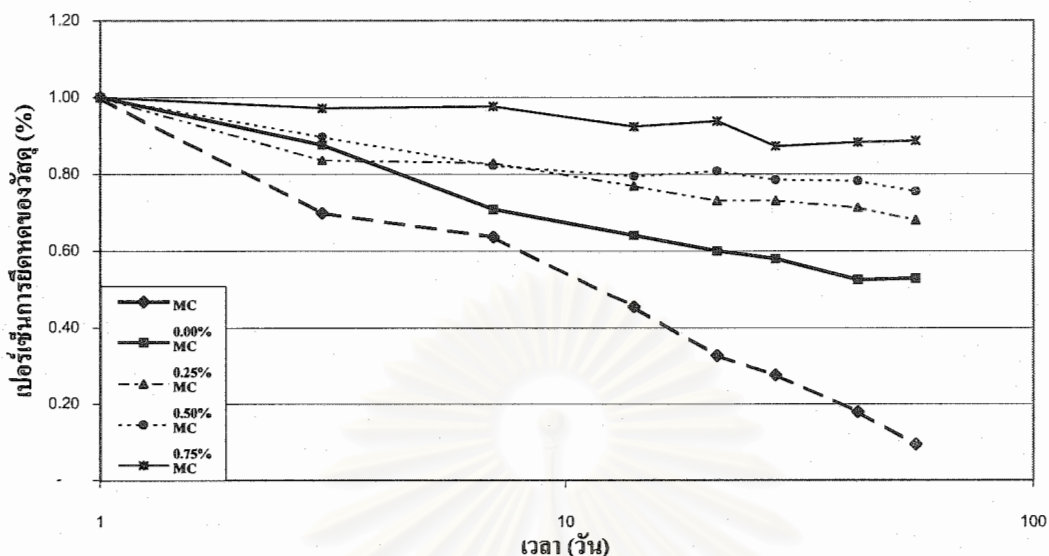


รูปที่ 4-2 แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 50% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์

จากผลการทดสอบจะได้ว่าปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 50% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.75% โดยน้ำหนักทั้งหมดของส่วนผสมแห้งสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

3.2 การศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 100% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 โดยนำเอาสารเมทิลเซลลูโลสมาผสมเพิ่มในปริมาณ 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.00% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการยึดหดตัวของวัสดุ

กราฟแสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



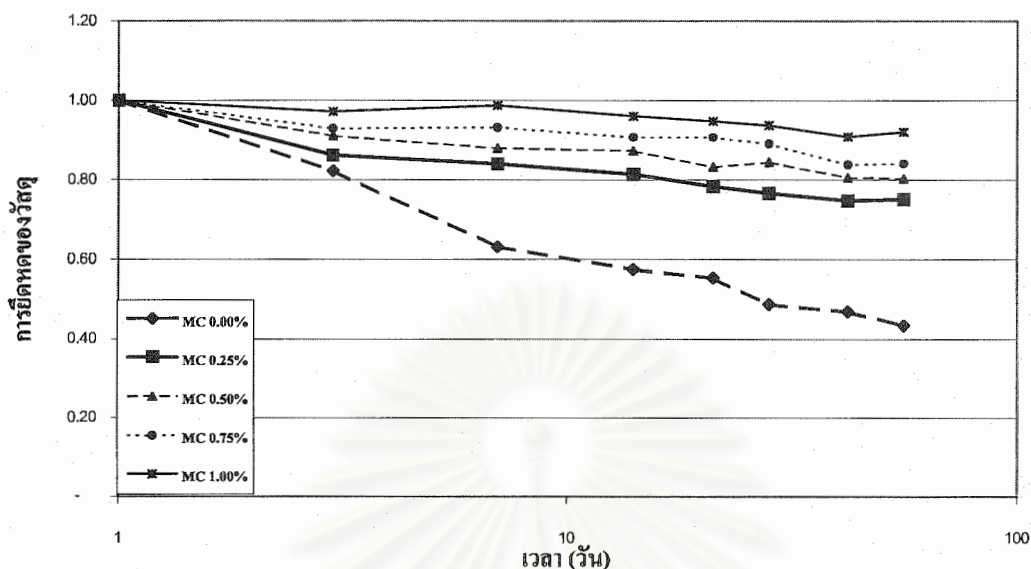
รูปที่ 4-3 แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 100% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 100% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.50% โดยน้ำหนักทั้งหมดของส่วนผสมแห้งสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

3.3 การศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 150% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 โดยนำเอาสารเมทิลเซลลูโลสมาผสมเพิ่มในปริมาณ 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.00% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง เพื่อศึกษาดูการเปลี่ยนแปลงของการยึดหดตัวของวัสดุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

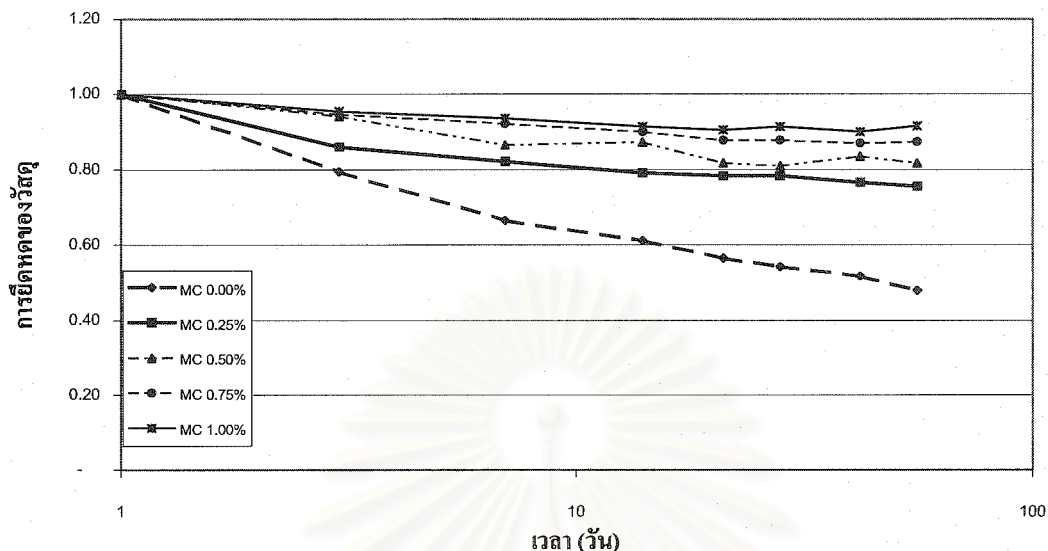


รูปที่ 4-4 แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์

จากผลการทดสอบจะได้ว่าปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 150% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.25% โดยน้ำหนักทั้งหมดของส่วนผสมแห้งสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

3.4 การศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 200% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 โดยนำเอาสารเมทิลเซลลูโลสมาผสมเพิ่มในปริมาณ 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.00% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง เพื่อศึกษาดูการเปลี่ยนแปลงของการยึดหดตัวของวัสดุ

กราฟแสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

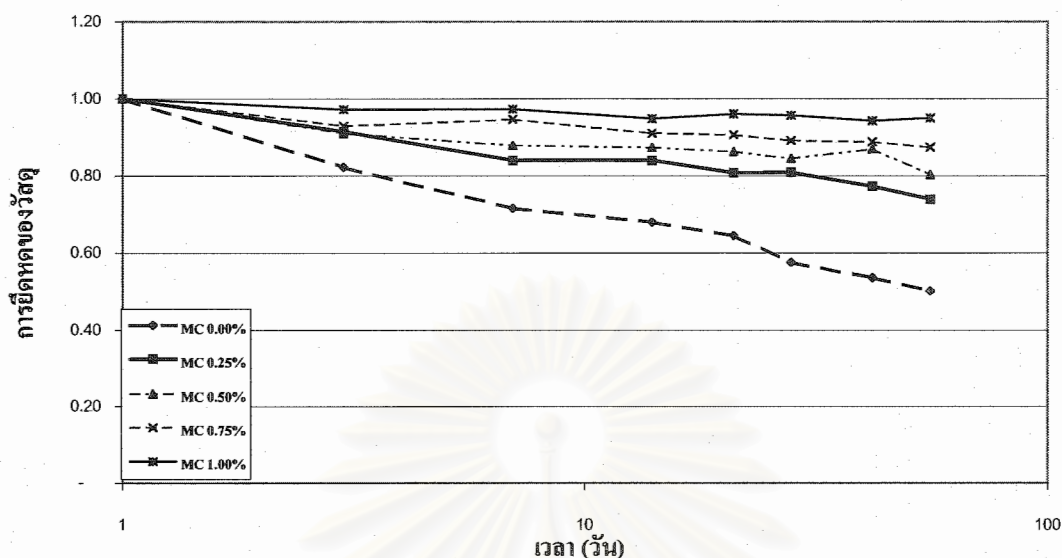


รูปที่ 4-5 แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์

จากผลการทดสอบจะได้ว่าปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 200% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.25% โดยน้ำหนักทั้งหมดของส่วนผสมแห้งสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

3.5 การศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 250% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 โดยนำเอาสารเมทิลเซลลูโลสมาผสมเพิ่มในปริมาณ 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.00% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง เพื่อศึกษาดูการเปลี่ยนแปลงของการยึดหดตัวของวัสดุ

กราฟแสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



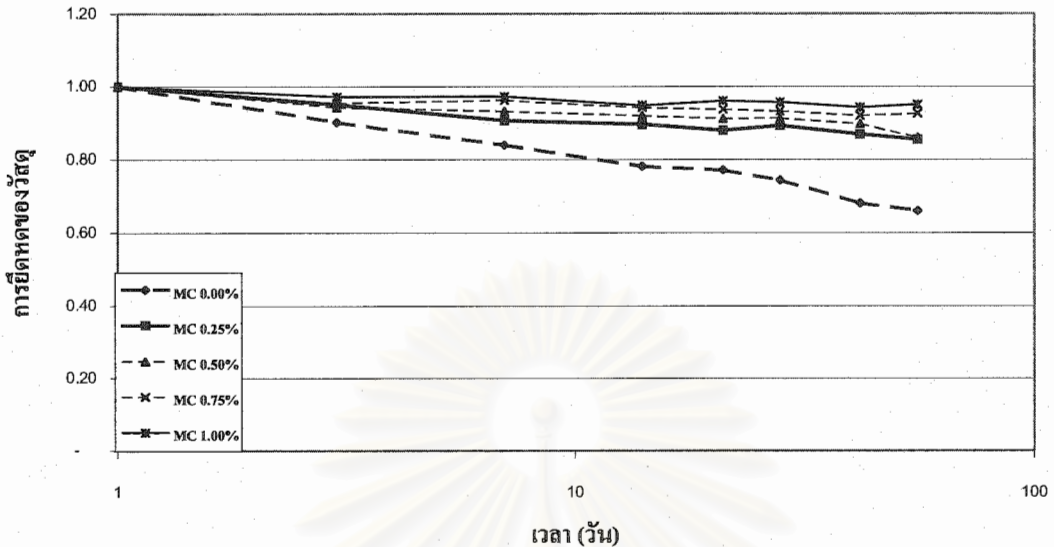
รูปที่ 4-6 แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 250% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์

จากผลการทดสอบจะได้ว่าปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 250% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.25% โดยน้ำหนักทั้งหมดของส่วนผสมแห้งสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

3.6 การศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 300% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 โดยนำเอาสารเมทิลเซลลูโลสมาผสมเพิ่มในปริมาณ 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.00% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง เพื่อศึกษาคูการเปลี่ยนแปลงของการยึดหดตัวของวัสดุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่ 4-7 แสดงคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์

จากผลการทดสอบจะได้ว่าปริมาณสารเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 300% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0% โดยน้ำหนักทั้งหมดของส่วนผสมแห้งสำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

4. ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ในแต่ละส่วนผสมทั้ง 6 สัดส่วนผสม โดยนำเอาสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Latex) มาผสมในอัตราส่วนผสม 0% , 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง แสดงไว้ในตารางที่ 4-10 ถึง ตารางที่ 4-15

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 50% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 50%

โดยนำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.04% โดยนำหนักส่วนผสมแห้ง , เมทซิลเซลลูโลสผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.75% โดยนำหนักส่วนผสมแห้ง และ สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% , 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% โดยนำหนักส่วนผสมแห้งตามลำดับ

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณเปอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ปริมาณน้ำ / ส่วนผสมแห้ง	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ / ส่วนผสมแห้ง	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
ปริมาณสาร Methlycellulose / ส่วนผสมแห้ง	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075
ปริมาณสาร Latex / ส่วนผสมแห้ง	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (kg/cm^2)	1.7	2.6	3.1	3.6	4.3	5.8
กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	32.3	35.9	37.4	40.9	42.8	45.5

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อทำการผสมสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในปริมาณ 0% โดยนำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด วัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 1.70 kg/cm^2 และด้านกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 32.27 kg/cm^2 ซึ่งจะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณของสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 50% โดยนำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0% โดยนำหนักส่วนผสมแห้ง

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 100% โดยนำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์



ตารางที่ 4-11 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 100% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.03% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง , เมทซิลเซลลูโลสผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.50% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง และ สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% , 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งตามลำดับ

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ปริมาณน้ำ / ส่วนผสมแห้ง	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ / ส่วนผสมแห้ง	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
ปริมาณสาร Methycellulose / ส่วนผสมแห้ง	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
ปริมาณสาร Latex / ส่วนผสมแห้ง	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (kg/cm^2)	0.4	1.0	1.9	2.1	2.9	3.2
กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	13.4	16.2	17.2	20.4	23.8	27.5

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อทำการผสมสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 1.00 kg/cm^2 และด้านกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 16.24 kg/cm^2 ซึ่งจะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณของสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 100% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 1% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-12 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยน้ำหนักสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.02% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง , เมทซิลเซลลูโลสผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.25% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งและ สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% , 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง ตามลำดับ

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
ปริมาณน้ำ / ส่วนผสมแห้ง	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ / ส่วนผสมแห้ง	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
ปริมาณสาร Methycellulose / ส่วนผสมแห้ง	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
ปริมาณสาร Latex / ส่วนผสมแห้ง	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (kg/cm^2)	0.4	0.7	1.2	1.8	2.5	2.9
กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	11.6	13.5	15.9	19.0	19.5	21.4

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อทำการผสมสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในปริมาณ 2% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 1.23 kg/cm^2 และด้านกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 13.46 kg/cm^2 ซึ่งจะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณของสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 2% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง

4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-13 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.02% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง, เมทซิลเซลลูโลสผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.25% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งและ สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% , 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งตามลำดับ

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณเพอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ปริมาณน้ำ / ส่วนผสมแห้ง	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ / ส่วนผสมแห้ง	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
ปริมาณสาร Methycellulose / ส่วนผสมแห้ง	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
ปริมาณสาร Latex / ส่วนผสมแห้ง	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (kg/cm^2)	0.3	0.7	0.9	1.6	2.0	2.2
กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	9.9	11.4	14.4	18.0	18.4	19.8

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อทำการผสมสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในปริมาณ 3% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 1.56 kg/cm^2 และด้านกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 18.00 kg/cm^2 ซึ่งจะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณของสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 3% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง

4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 250% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-14 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 250% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง, เมทิลเซลลูโลสผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.25% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งและ สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% , 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% โดยนำน้ำหนักส่วนผสมแห้งตามลำดับ

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณเปอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
ปริมาณน้ำ / ส่วนผสมแห้ง	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ / ส่วนผสมแห้ง	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
ปริมาณสาร Methycellulose / ส่วนผสมแห้ง	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
ปริมาณสาร Latex / ส่วนผสมแห้ง	-	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (kg/cm^2)	0.2	0.4	0.6	0.9	1.2	1.6
กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	7.4	8.2	12.4	14.8	15.2	16.1

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อทำการผสมสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในปริมาณ 4% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 1.23 kg/cm^2 และด้านกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 15.21 kg/cm^2 ซึ่งจะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณของสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 250% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 4% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด

4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

ตารางที่ 4-15 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยนำเอาสารกักกระจายฟองอากาศผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง, เมทซิลเซลลูโลสผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งและ สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวผสมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0% , 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้งตามลำดับ

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กป้องกันไฟ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณเปอร์ไลต์ / ปริมาณซีเมนต์	3	3	3	3	3	3
ปริมาณน้ำ / ส่วนผสมแห้ง	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
ปริมาณสารกักกระจายฟองอากาศ / ส่วนผสมแห้ง	-	-	-	-	-	-
ปริมาณสาร Methycellulose / ส่วนผสมแห้ง	-	-	-	-	-	-
ปริมาณสาร Latex / ส่วนผสมแห้ง	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว (kg/cm^2)	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	1.0
กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	3.6	4.4	6.1	9.7	11.2	12.5

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อทำการผสมสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวในปริมาณ 5% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวเท่ากับ 1.01 kg/cm^2 และด้านกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 12.54 kg/cm^2 ซึ่งจะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ดังนั้นปริมาณของสารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 5% โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง

5. จากผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเปอร์ไลต์ผสมอยู่จากข้อ 1-4 จะได้สัดส่วนผสมที่เหมาะสม 6 สัดส่วนผสม โดยมีรายละเอียดสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 แสดงส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟในแต่ละสัดส่วนที่เหมาะสม

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม (%)			หน่วย
	ส่วนผสม1	ส่วนผสม2	ส่วนผสม3	
ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1	1	1	1	หน่วยน้ำหนัก
แร่เพอร์ไลท์	50%	100%	150%	% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์
สารกักกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Agent)	0.04%	0.03%	0.02%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
เมทซิลเซลลูโลส (Methlycellulose)	0.75%	0.50%	0.25%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Latex)	0%	1%	2%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
น้ำ	60%	100%	120%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง

ตารางที่ 4-16 (ต่อ) แสดงส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟในแต่ละสัดส่วนที่เหมาะสม

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม (%)			หน่วย
	ส่วนผสม4	ส่วนผสม5	ส่วนผสม6	
ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1	1	1	1	หน่วยน้ำหนัก
แร่เพอร์ไลท์	200%	250%	300%	% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์
สารกักกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Agent)	0.02%	0.01%	0%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
เมทซิลเซลลูโลส (Methlycellulose)	0.25%	0%	0%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Latex)	3%	4%	5%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
น้ำ	140%	150%	165%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง

และคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟในแต่ละสัดส่วนที่เหมาะสมดังตารางที่ 4-16 จะแสดงผลดังตารางที่ 4-17 และกราฟที่ 4-8, 4-9, 4-10

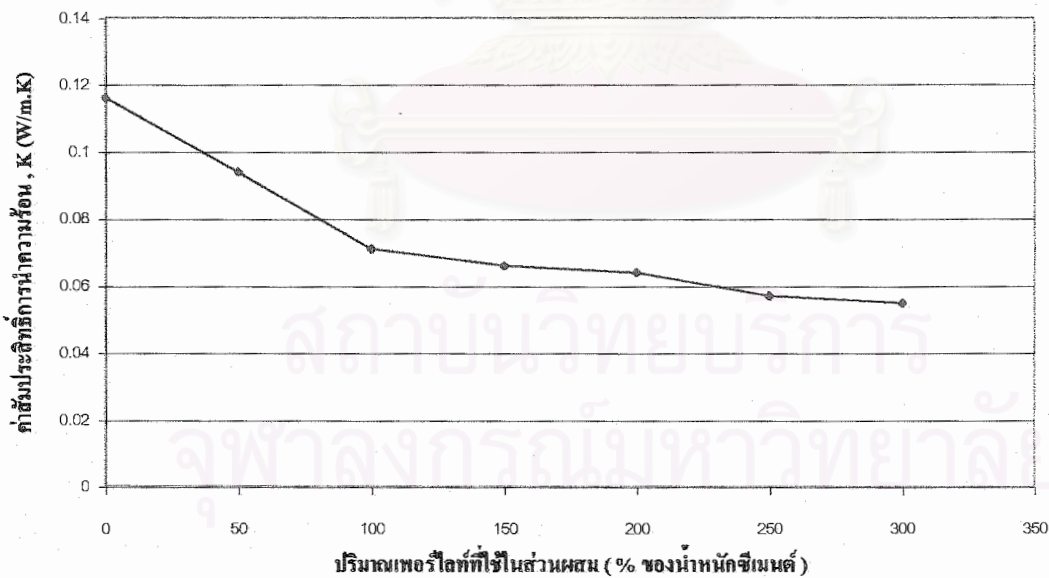
ตารางที่ 4-17 แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างป้องกันไฟในแต่ละสัดส่วนที่เหมาะสม

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ	ค่าจากการทดสอบ			หน่วย
	ส่วนผสมที่1	ส่วนผสมที่2	ส่วนผสมที่3	
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	0.094	0.071	0.066	W/m.K
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว Primer	1.7	1.4	0.9	kg/cm ²
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว Non-Primer	3.5	3.0	2.5	kg/cm ²
กำลังรับแรงอัด	30.5	20.5	17.1	kg/cm ²

ตารางที่ 4-17 (ต่อ) แสดงคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างป้องกันไฟในแต่ละสัดส่วนที่เหมาะสม

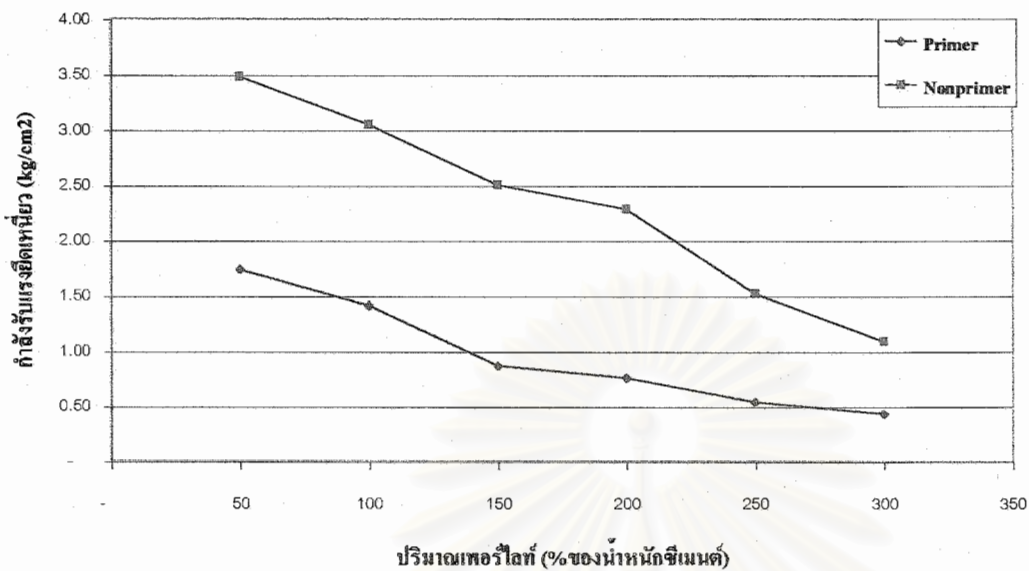
คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ	ค่าจากการทดสอบ			หน่วย
	ส่วนผสมที่4	ส่วนผสมที่5	ส่วนผสมที่6	
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	0.064	0.057	0.055	W/m.K
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว Primer	0.8	0.5	0.4	kg/cm ²
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว Non-Primer	2.3	1.5	1.1	kg/cm ²
กำลังรับแรงอัด	16.2	11.6	7.9	kg/cm ²

กราฟสัมประสิทธิ์การนำความร้อน



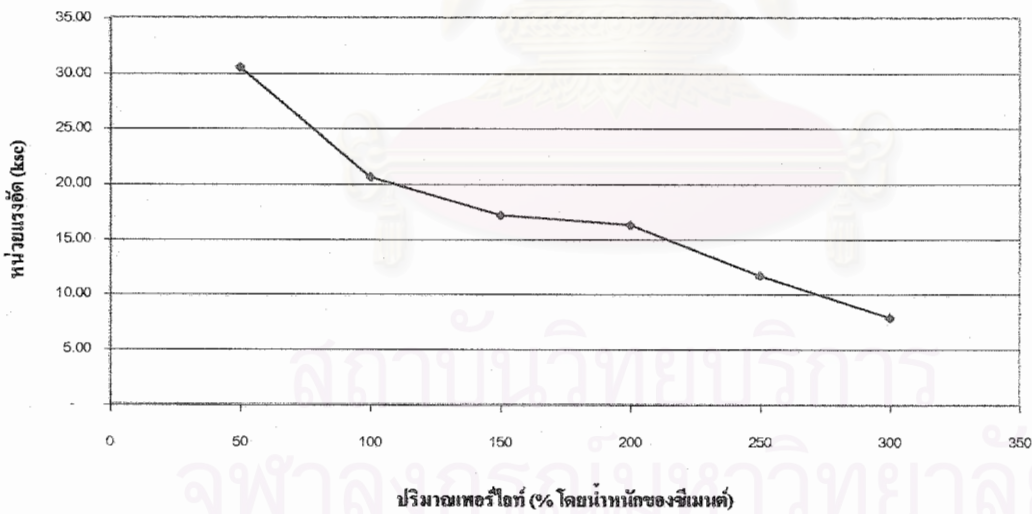
รูปที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวกับปริมาณเพอร์ไลต์



รูปที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมกับกำลังรับแรงยึดเหนี่ยว

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาณเพอร์ไลต์



รูปที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมกับกำลังรับแรงอัด

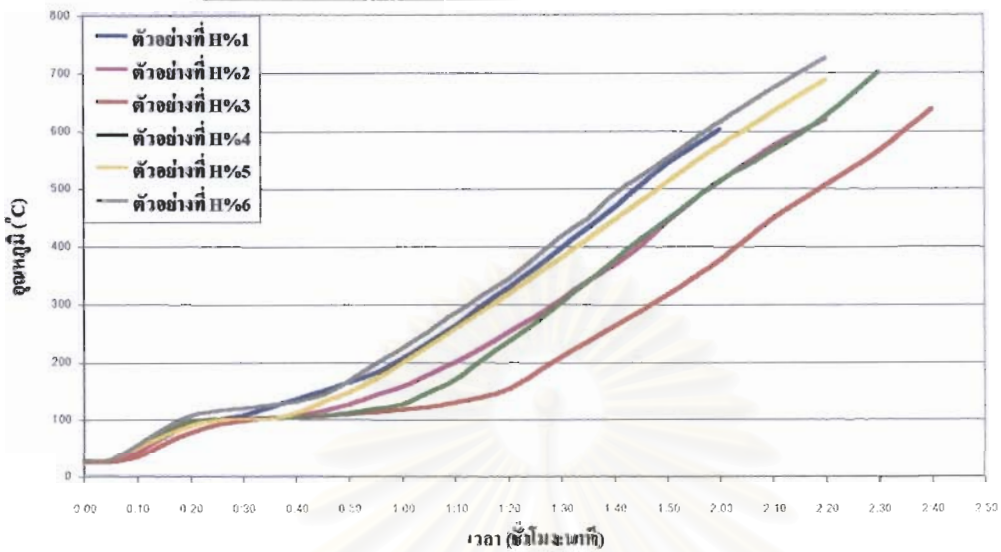
จากผลการทดสอบดังกล่าวด้านบนจะแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนผสมทั้ง 6 สัดส่วนผสม เป็นสัดส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ (ไม่รวมถึงคุณสมบัติด้านอัตราการต้านทานไฟ) หลังจากนั้นจึงจะนำเอาสัดส่วนที่ได้ทั้ง 6 สัดส่วนผสม ไปทำการทดสอบคุณสมบัติด้านอัตราการต้านทานไฟ

6. ผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟทั้ง 6 สัดส่วนผสม ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม โดยนำวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟทั้ง 6 สัดส่วนผสม มาเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณ W150mm. x 31.5kg/m (ขนาด H-Section 150x150x7x10 mm.) ซึ่งการศึกษาในส่วนนี้จะมีขั้นตอนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- H%1 คือ เหล็กรูปพรรณ W150 mm.x31.5 kg/m (ขนาด H-Section 150x150x7x10 mm.) ที่เคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในสัดส่วนผสมที่ 1 ด้วยความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร
- H%2 คือ เหล็กรูปพรรณ W150 mm.x31.5 kg/m (ขนาด H-Section 150x150x7x10 mm.) ที่เคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในสัดส่วนผสมที่ 2 ด้วยความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร
- H%3 คือ เหล็กรูปพรรณ W150 mm.x31.5 kg/m (ขนาด H-Section 150x150x7x10 mm.) ที่เคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในสัดส่วนผสมที่ 3 ด้วยความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร
- H%4 คือ เหล็กรูปพรรณ W150 mm.x31.5 kg/m (ขนาด H-Section 150x150x7x10 mm.) ที่เคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในสัดส่วนผสมที่ 4 ด้วยความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร
- H%5 คือ เหล็กรูปพรรณ W150 mm.x31.5 kg/m (ขนาด H-Section 150x150x7x10 mm.) ที่เคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในสัดส่วนผสมที่ 5 ด้วยความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร
- H%6 คือ เหล็กรูปพรรณ W150 mm.x31.5 kg/m (ขนาด H-Section 150x150x7x10 mm.) ที่เคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในสัดส่วนผสมที่ 6 ด้วยความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร

โดยความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะแสดงไว้ดังในตารางที่ ข-42 ในภาคผนวก ข และผลการทดสอบจะแสดงไว้ดังในกราฟที่ 4-11

กราฟแสดงอุณหภูมิของตัวอย่างทดสอบหมายเลข H%1 - H%6



รูปที่ 4-11 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของจันทันตัวอย่างที่ H%1 , H%2 , H%3 , H%4 , H%5 , H%6

4.3 ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 2

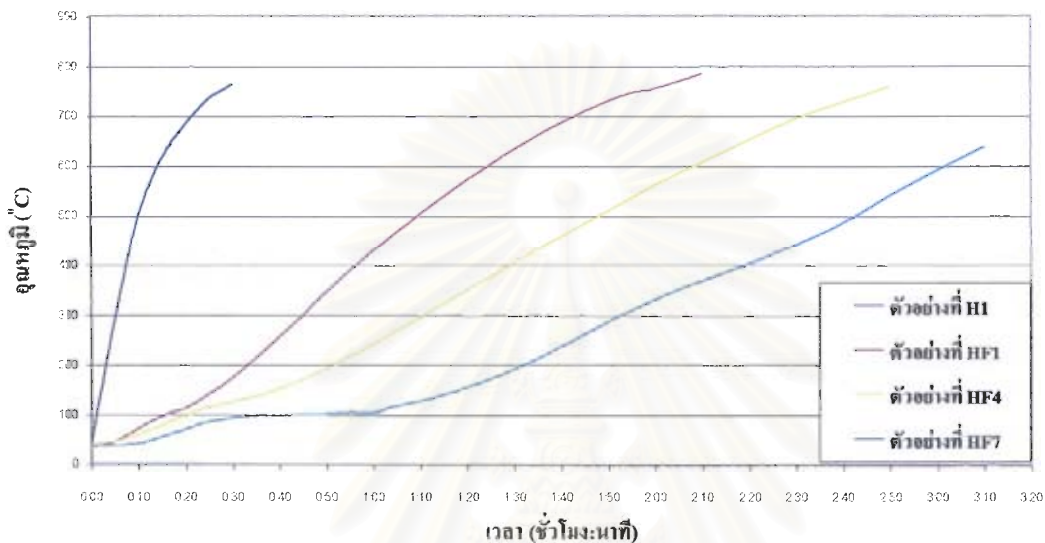
กรณีศึกษานี้จะนำเอาสัดส่วนผสมที่ดีที่สุด 2 สัดส่วนผสมที่ได้จากการศึกษาอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟ ในกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งได้แก่ สัดส่วนผสมที่ 3 (H%3) และ สัดส่วนผสมที่ 4 (H%4) โดยจะทำการศึกษาอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (H_p/A : Section Factor)

ในกรณีศึกษานี้จะศึกษาจันทันตัวอย่างทั้งหมด 21 จันทันตัวอย่าง คือ

- | | | |
|-----|-----|---|
| H1 | คือ | เหล็กรูปพรรณ W150mm.x31.5kg/m (ขนาด H-Section 150x150x7x10 mm.) โดยไม่มีการเคลือบผิวป้องกันไฟ |
| H2 | คือ | เหล็กรูปพรรณ W175mm.x40.2kg/m (ขนาด H-Section 175x175x7.5x11 mm.) โดยไม่มีการเคลือบผิวป้องกันไฟ |
| H3 | คือ | เหล็กรูปพรรณ W200mm.x56.2kg/m (ขนาด H-Section 200x200x12x12 mm.) โดยไม่มีการเคลือบผิวป้องกันไฟ |
| HF1 | คือ | เหล็กรูปพรรณ W150mm.x31.5kg/m โดยมีการเคลือบผิวป้องกันไฟด้วยสัดส่วนผสมที่ 3 ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร |
| HF2 | คือ | เหล็กรูปพรรณ W175mm.x40.2kg/m โดยมีการเคลือบผิวป้องกันไฟด้วยสัดส่วนผสมที่ 3 ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร |

1. ผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ความหนาประมาณ 2 , 3 และ 4 เซนติเมตร สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3 ที่ใช้เคลือบผิวเหล็กรูปพรรณขนาด H-Section 150x150x7x10 mm. โดยมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร⁻¹

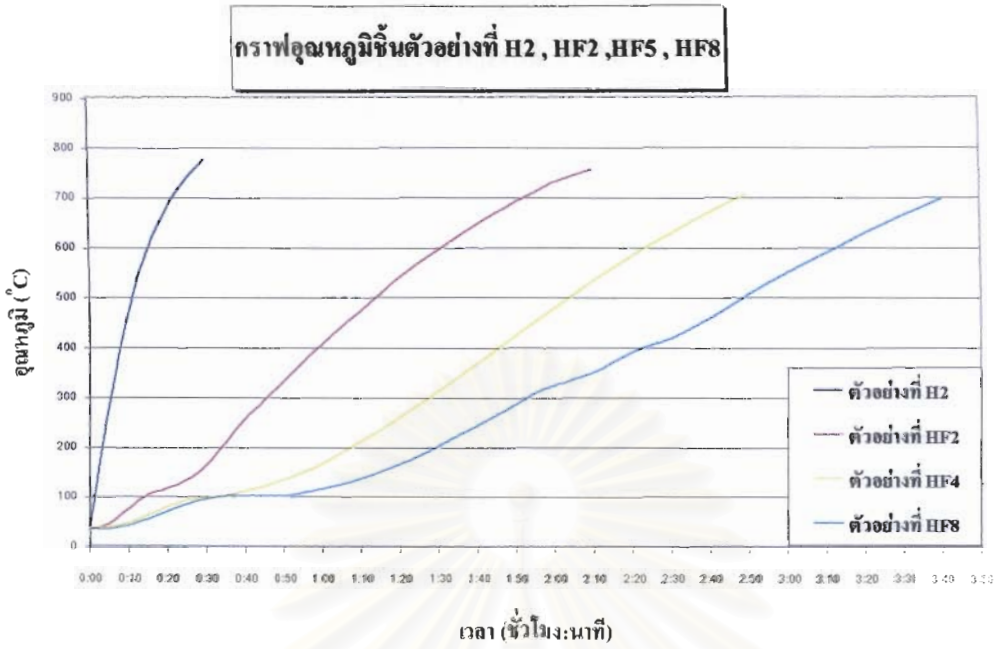
กราฟอุณหภูมิของจีนตัวอย่างที่ H1 , HF1 , HF4 , HF7



รูปที่ 4-12 แสดงอัตราการต้านทานไฟของจีนตัวอย่างที่ H1 , HF1 , HF4 , HF7

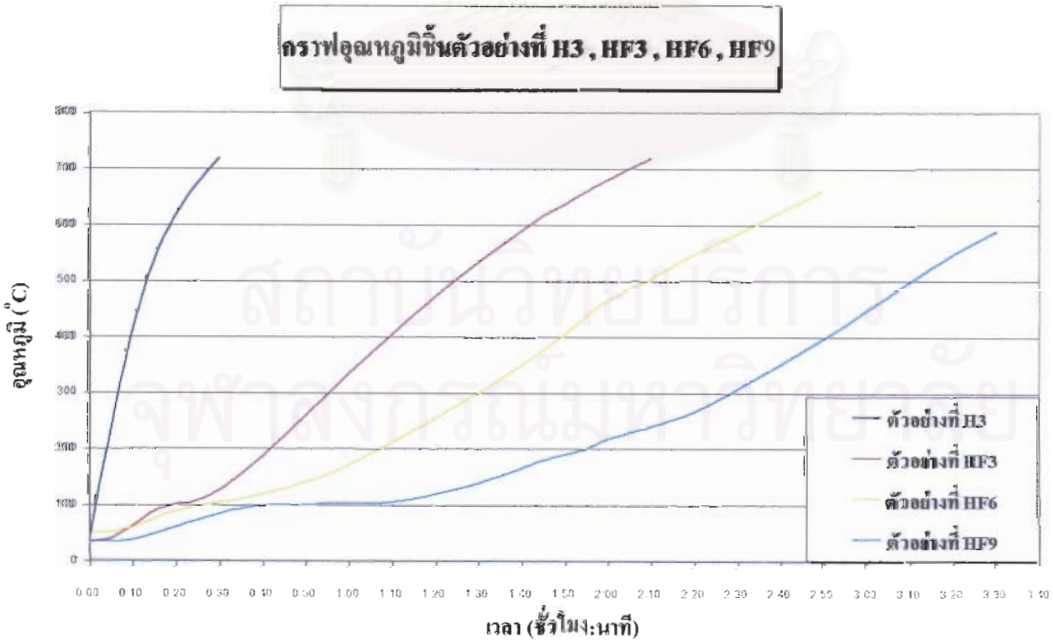
2. ผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ความหนาประมาณ 2 , 3 และ 4 เซนติเมตร สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3 ที่ใช้เคลือบผิวเหล็กรูปพรรณขนาด H-Section 175x175x7.5x11 mm. โดยมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-13 แสดงอัตราการต้านทานไฟของชิ้นตัวอย่างที่ H2 , HF2 , HF5 , HF8

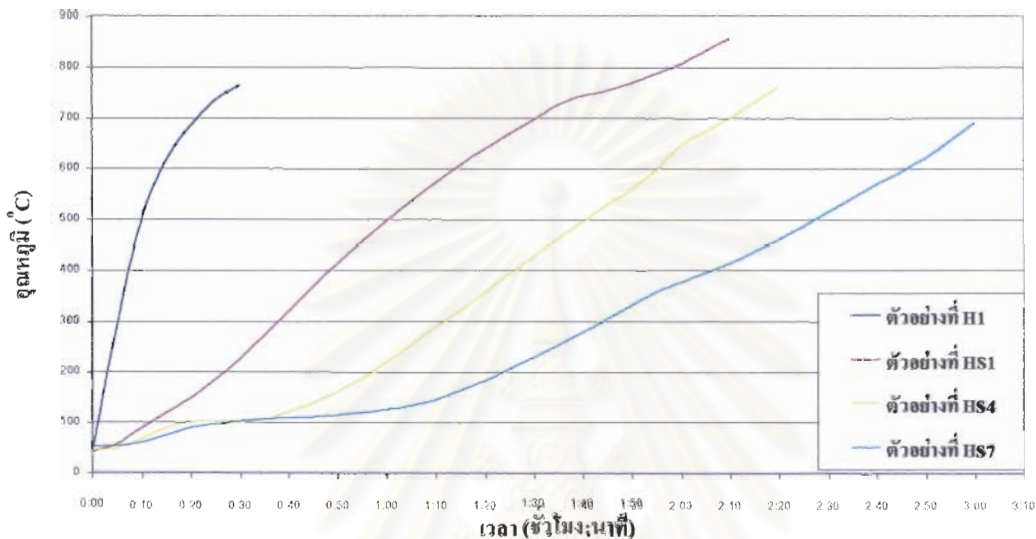
3. ผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ความหนาประมาณ 2 , 3 และ 4 เซนติเมตร สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3 ที่ใช้เคลือบผิวเหล็กรูปพรรณขนาด H-Section 200x200x12x12 mm. โดยมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹



รูปที่ 4-14 แสดงอัตราการต้านทานไฟของชิ้นตัวอย่างที่ H3 , HF3 , HF6 , HF9

4. ผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ความหนาประมาณ 2 , 3 และ 4 เซนติเมตร สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4 ที่ใช้เคลือบผิวเหล็กรูปพรรณขนาด H-Section 150x150x7x10 mm. โดยมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร⁻¹

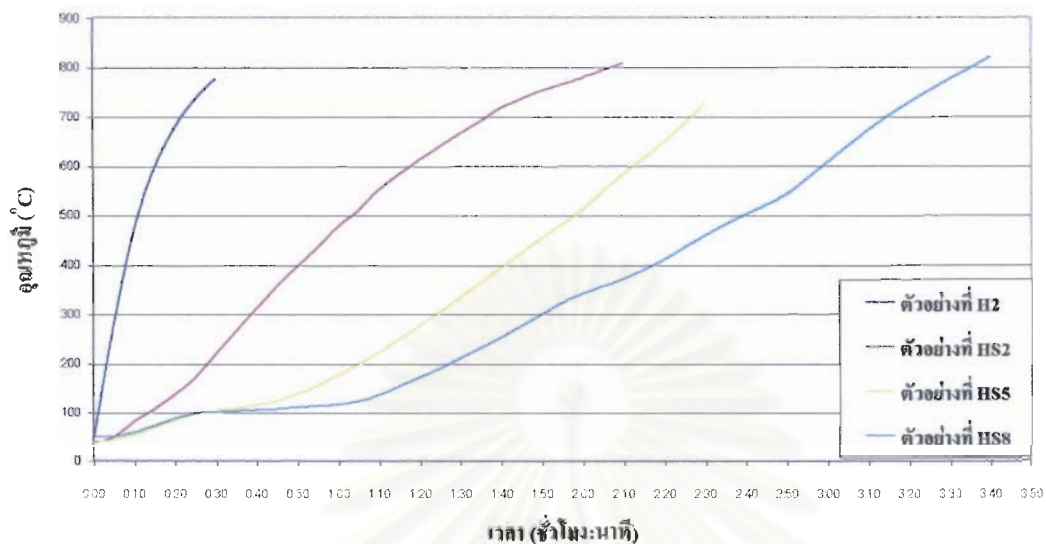
กราฟอุณหภูมิขึ้นตัวอย่างที่ H1 , HS1 , HS4 , HS7



รูปที่ 4-15 แสดงอัตราการต้านทานไฟของขึ้นตัวอย่างที่ H1 , HS1 , HS4 , HS7

5. ผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ความหนาประมาณ 2 , 3 และ 4 เซนติเมตร สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4 ที่ใช้เคลือบผิวเหล็กรูปพรรณขนาด H-Section 175x175x7.5x11 mm. โดยมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹

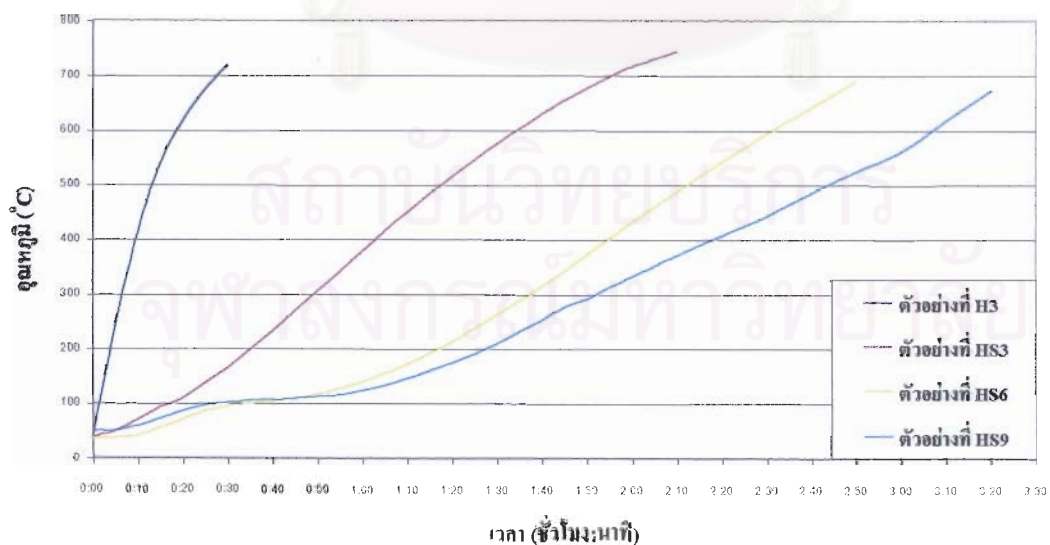
กราฟอุณหภูมิขึ้นตัวอย่างที่ H2 , HS2 , HS5 , HS8



รูปที่ 4-16 แสดงอัตราการต้านทานไฟของจันทันตัวอย่างที่ H2 , HS2 , HS5 , HS8

6. ผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ความหนาประมาณ 2 , 3 และ 4 เซนติเมตร สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4 ที่ใช้เคลือบผิวเหล็กรูปพรรณขนาด H-Section 200x200x12x12 mm. โดยมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹

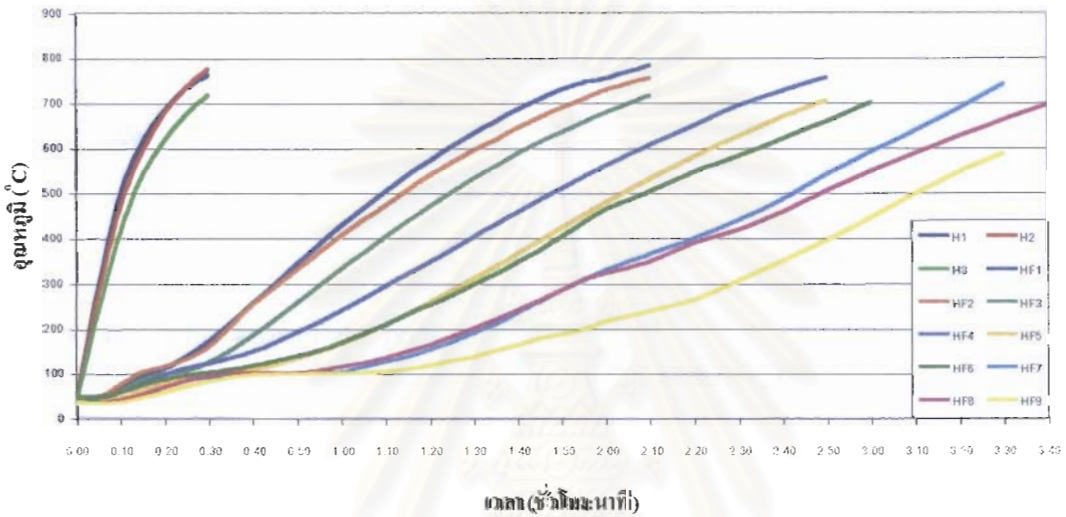
กราฟอุณหภูมิขึ้นตัวอย่างที่ H3 , HS3 , HS6 , HS9



รูปที่ 4-17 แสดงอัตราการต้านทานไฟของจันทันตัวอย่างที่ H3 , HS3 , HS6 , HS9

เมื่อนำเอาผลการทดสอบในกรณีศึกษาที่ 2 สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3 มาพิจารณารวมกัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณ ดังกราฟที่ 4-18

กราฟอุณหภูมิขึ้นตัวอย่างในกรณีศึกษาที่ 2 สัดส่วนผสมที่ 3

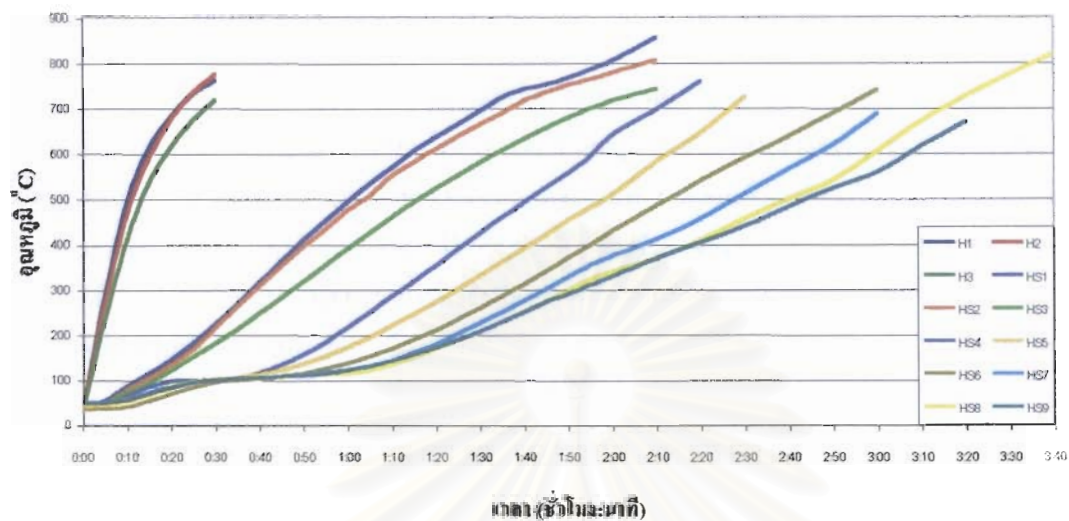


รูปที่ 4-18 แสดงอัตราการต้านทานไฟของชิ้นตัวอย่างที่ H1, H2, H3, HF1, HF2, HF3, HF4, HF5, HF6, HF7, HF8, HF9

เมื่อนำเอาผลการทดสอบในกรณีศึกษาที่ 2 สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4 มาพิจารณารวมกัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณ ดังกราฟที่ 4-19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟอุณหภูมิขึ้นตัวอย่างในกรณีศึกษาที่ 2 สัดส่วนผสมที่ 4



รูปที่ 4-19 แสดงอัตราการต้านทานไฟของชิ้นตัวอย่างที่ H1,H2,H3,HS1,HS2,HS3,HS4,HS5,HS6,HS7,HS8,HS9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



วิเคราะห์ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้นำเอาข้อมูลผลการทดสอบมาวิเคราะห์ผลเพื่อให้สามารถนำเอาผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากขณะที่ทำการทดสอบไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิรอบขึ้นตัวอย่างทุกชั้นตัวอย่างให้มีค่าเท่ากันในทุกตำแหน่งเวลา และในการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณแต่ละชั้นตัวอย่างไม่สามารถควบคุมให้แต่ละชั้นตัวอย่างมีความหนาที่เท่ากันและเท่ากับที่ได้ออกแบบไว้ได้ ซึ่งส่งผลให้เป็นการยากที่จะนำเอาข้อมูลที่ยังไม่ได้วิเคราะห์มาเปรียบเทียบกัน นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังนำเอาโปรแกรมไฟในเอเลเมนต์ด้านความร้อนมาศึกษาหาค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ (Thermal Conductivity) ของแต่ละสัดส่วนผสม เพื่อนำเอาค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟไปใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถในการถ่ายเทความร้อนในแต่ละสัดส่วนผสม อีกทั้งยังนำเอาค่าการนำความร้อนนี้ไปใช้ในการคาดคะเนอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ความหนาต่างๆกัน และค่าองค์ประกอบหน้าตัดที่ต่างกันของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้คือ

1. การปรับค่าสถานะของชั้นตัวอย่างให้อยู่ภายใต้กราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119

เนื่องจากขณะทำการทดสอบไม่สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิโดยรอบขึ้นตัวอย่างให้มีอุณหภูมิเท่ากับมาตรฐาน ASTM E119 ทุกชั้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ข้อมูลการทดสอบให้เป็นข้อมูลอุณหภูมิที่อยู่ในสถานะเทียบเท่ากับมาตรฐานกราฟไฟ ASTM E119 ซึ่งในส่วนมาตรฐาน ASTM E119 ได้กล่าวถึงการปรับแก้ข้อมูลไว้ดังนี้คือ

มาตรฐาน ASTM E119 มีข้อกำหนดให้การทดสอบการต้านทานไฟจะต้องควบคุมอุณหภูมิของไฟให้เป็นไปตามกราฟอุณหภูมิไฟ-เวลามาตรฐานหรือกราฟไฟมาตรฐานดังรูปที่ ก-1 ในส่วนภาคผนวก ก โดยยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

ช่วงเวลา	ความผิดพลาดของพื้นที่ใต้กราฟที่ยอมให้
ช่วงเวลาทดสอบ 0 ถึง 1 ชั่วโมง	10%
ช่วงเวลาทดสอบ 1 ถึง 2 ชั่วโมง	7.5%
ช่วงเวลาทดสอบ 2 ชั่วโมงขึ้นไป	5%

ในกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่ค่าที่ได้กำหนดไว้ ASTM E119 กำหนดให้ต้องมีการปรับแก้ข้อมูลทดสอบโดยบวกเพิ่มข้อมูลทดสอบที่ได้ด้วยค่าปรับแก้ดังต่อไปนี้

$$C = \frac{2(A - A_s)}{3(A_s + L)} I \quad (ก-4)$$

โดย

C = ค่าปรับแก้ข้อมูลทดสอบ

I = ระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง

A = พื้นที่ใต้กราฟอุณหภูมิไฟ-เวลาจากการทดสอบจริงภายในเวลาสามในสี่ของระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง

A_s = พื้นที่ใต้กราฟอุณหภูมิไฟ-เวลาของกราฟไฟมาตรฐานในช่วงระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง

L = ค่าปรับแก้เนื่องจากผลของความล่าช้าของเทอร์โมคัปเปิลในช่วงแรกของการทดสอบ = 1800 °C.min.

จากที่มาตรฐาน ASTM E119 ได้กล่าวไว้ข้างต้น งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและปรับแก้ค่าข้อมูลอัตราการต้านทานไฟให้อยู่ในสภาวะมาตรฐาน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. ทำการตรวจสอบค่าอุณหภูมิโดยรอบขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบว่ามีความผิดพลาดเกินกว่าที่มาตรฐาน ASTM E119 ยอมรับได้หรือไม่

2. ทำการคำนวณหาค่าปรับแก้ข้อมูลจากสมการ ก-4 แล้วนำเอาค่าที่ได้ไปปรับแก้ข้อมูลจากการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟภายใต้สภาวะอุณหภูมิรอบขึ้นตัวอย่างเทียบเท่ากับกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119

โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้คือ

กรณีศึกษาที่ 1

จากการทดสอบเมื่อนำเอาข้อมูลอุณหภูมิรอบขึ้นตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ใต้กราฟแล้วนำมาเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 จะได้ผลการเปรียบเทียบเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเป็นไปดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงพื้นที่ใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ H%1, H%2, H%3, H%4, H%5, H%6

ตัวอย่างที่	พื้นที่ภายใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟ						%ความคลาดเคลื่อน		
	การทดสอบ			มาตรฐาน ASTM E119			0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -			
H%1	46,865.38	46,906.71	-	46,937.50	47,792.06	-	- 0.15	- 1.85	-
H%2	43,310.25	99,796.25	4,169.96	46,937.50	105,425.00	9,902.01	- 7.73	- 5.34	-57.89
H%3	48,091.50	106,565.63	25,956.78	46,937.50	105,425.00	24,704.47	2.46	1.08	5.07
H%4	47,279.75	106,118.00	4,732.25	46,937.50	105,425.00	4,020.06	0.73	0.66	17.72
H%5	43,991.75	50,351.75	-	46,937.50	55,521.52	-	- 6.28	- 9.31	-
H%6	48,973.38	46,409.68	-	46,937.50	44,156.11	-	4.34	5.10	-

และเมื่อนำเอาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไปเทียบกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของมาตรฐาน ASTM E119 จะทำให้รู้ว่าข้อมูลการทดสอบของชิ้นตัวอย่างใดต้องนำมาทำการปรับแก้ค่าอุณหภูมิรอบชิ้นตัวอย่าง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมให้จากกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ H%1, H%2, H%3, H%4, H%5, H%6

ตัวอย่างที่	%ความคลาดเคลื่อน						การปรับแก้
	จากการทดสอบ			ยอมให้			
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	
H%1	- 0.15	- 1.85	-	10	7.5	5	FALSE
H%2	- 7.73	- 5.34	- 57.89	10	7.5	5	TRUE
H%3	2.46	1.08	5.07	10	7.5	5	TRUE
H%4	0.73	0.66	17.72	10	7.5	5	TRUE
H%5	- 6.28	- 9.31	-	10	7.5	5	TRUE
H%6	4.34	5.10	-	10	7.5	5	FALSE

หลังจากนั้นจะทำการคำนวณค่าปรับแก้จากสมการ ก-4 จะได้ค่าปรับแก้แล้วจึงนำเอาค่าปรับแก้ดังกล่าวนี้ไปคำนวณหาค่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟภายใต้สภาวะเทียบเท่ากราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการต้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ H%1, H%2, H%3, H%4, H%5, H%6

ตัวอย่างที่	A at 3/4tc	AS at 3/4tc	C	ASTM Equivalent Failure Time	
	C.min	C.min	C	min.	hh:mm:ss
H%1	-	-	-	109.29	1:49:17
H%2	73,825.11	78,663.75	- 4.98	119.24	1:59:14
H%3	95,495.50	94,387.29	1.12	146.47	2:26:28
H%4	79,395.97	78,983.20	0.42	125.07	2:05:04
H%5	67,083.61	71,270.72	- 4.36	109.77	1:49:46
H%6	-	-	-	107.76	1:47:45

กรณีศึกษาที่ 2

จากการทดสอบเมื่อนำเอาข้อมูลอุณหภูมิรอบชิ้นตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ใต้กราฟแล้วนำมาเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 จะได้ผลการเปรียบเทียบเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเป็นไปดังตารางที่ 5-4, 5-5, 5-6, 5-7

ตารางที่ 5-4 แสดงพื้นที่ใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ H1, H2, H3

ตัวอย่างที่	พื้นที่ภายใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟ						%ความคลาดเคลื่อน		
	การทดสอบ			มาตรฐาน ASTM E119					
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -
H1	6160.822283	-	-	5556.119511	-	-	10.884	-	-
H2	7,113.80	-	-	6,462.17	-	-	10.08	-	-
H3	7,615.60	-	-	8,223.19	-	-	-7.39	-	-

ตารางที่ 5-5 แสดงพื้นที่ใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF1, HF2, HF3, HS1, HS2, HS3

ตัวอย่างที่	พื้นที่ภายใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟ						%ความคลาดเคลื่อน		
	การทดสอบ			มาตรฐาน ASTM E119					
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -
HF1	48,705.00	14,336.28	-	46,937.50	12,311.96	-	3.77	16.44	-
HF2	49,044.25	19,189.06	-	46,937.50	16,691.42	-	4.49	14.96	-
HF3	45,105.25	28,518.50	-	46,937.50	31,566.96	-	- 3.90	- 9.66	-
HS1	47,881.50	5,339.85	-	46,937.50	4,299.08	-	2.01	24.21	-
HS2	50,063.88	8,307.17	-	46,937.50	4,856.89	-	6.66	71.04	-
HS3	45,017.38	21,956.63	-	46,937.50	24,622.72	-	- 4.09	-10.83	-

ตารางที่ 5-6 แสดงพื้นที่ใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF4, HF5, HF6, HS4, HS5, HS6

ตัวอย่างที่	พื้นที่ภายใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟ						%ความคลาดเคลื่อน		
	การทดสอบ			มาตรฐาน ASTM E119					
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -
HF4	45,697.88	52,586.93	-	46,937.50	55,135.12	-	- 2.64	- 4.62	-
HF5	49,696.63	109,641.25	11,664.46	46,937.50	105,425.00	7,140.87	5.88	4.00	63.35
HF6	49,044.25	108,441.88	18,604.09	46,937.50	105,425.00	15,356.95	4.49	2.86	21.14
HS4	48,525.00	45,954.03	-	46,937.50	43,791.82	-	3.38	4.94	-
HS5	45,134.63	101,113.88	3,700.66	46,937.50	105,425.00	8,170.98	- 3.84	- 4.09	- 54.71
HS6	50,063.88	110,342.88	20,421.57	46,937.50	105,425.00	14,927.28	6.66	4.66	36.81

ตารางที่ 5-7 แสดงพื้นที่ใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟเทียบกับกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF7, HF8, HF9, HS7, HS8, HS9

ตัวอย่างที่	พื้นที่ภายใต้กราฟอัตราการต้านทานไฟ						%ความคลาดเคลื่อน		
	การทดสอบ			มาตรฐาน ASTM E119			0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -			
HF7	49,073.50	108,550.38	51,604.45	46,937.50	105,425.00	47,744.59	4.55	2.96	8.08
HF8	49,639.75	109,331.38	60,291.20	46,937.50	105,425.00	55,430.67	5.76	3.71	8.77
HF9	44,944.63	100,648.25	78,204.98	46,937.50	105,425.00	85,963.81	- 4.25	- 4.53	- 9.03
HS7	48,274.13	106,666.75	35,484.55	46,937.50	105,425.00	34,146.89	2.85	1.18	3.92
HS8	44,966.63	101,106.75	49,248.63	46,937.50	105,425.00	54,819.98	- 4.20	- 4.10	- 10.16
HS9	50,002.75	109,680.13	56,681.72	46,937.50	105,425.00	51,290.44	6.53	4.04	10.51

และเมื่อนำเอาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ไปเทียบกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับของมาตรฐาน ASTM E119 จะทำให้รู้ว่าข้อมูลการทดสอบของชิ้นตัวอย่างใดต้องนำมาทำการปรับแก้ค่าอุณหภูมิรอบชิ้นตัวอย่าง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-8, 5-9, 5-10, 5-11

ตารางที่ 5-8 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมรับได้จากกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ H1, H2, H3

ตัวอย่างที่	%ความคลาดเคลื่อน						การปรับแก้
	จากการทดสอบ			ยอมให้			
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	
H1	10.8835451	-	-	10	7.5	5	TRUE
H2	10.08	-	-	10	7.5	5	TRUE
H3	-7.39	-	-	10	7.5	5	FALSE

ตารางที่ 5-9 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมรับได้จากกราฟไฟมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF1, HF2, HF3, HS1, HS2, HS3

ตัวอย่างที่	%ความคลาดเคลื่อน						การปรับแก้
	จากการทดสอบ			ยอมให้			
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	
HF1	3.77	16.44	-	10	7.5	5	TRUE
HF2	4.49	14.96	-	10	7.5	5	TRUE
HF3	- 3.90	- 9.66	-	10	7.5	5	TRUE
HS1	2.01	24.21	-	10	7.5	5	TRUE
HS2	6.66	71.04	-	10	7.5	5	TRUE
HS3	- 4.09	- 10.83	-	10	7.5	5	TRUE

ตารางที่ 5-10 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมให้จากกราฟไฟ
มาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF4, HF5, HF6, HS4, HS5, HS6

ตัวอย่างที่	%ความคลาดเคลื่อน						การปรับแก้
	จากการทดสอบ			ยอมให้			
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	
HF4	- 2.64	- 4.62	-	10	7.5	5	FALSE
HF5	5.88	4.00	63.35	10	7.5	5	TRUE
HF6	4.49	2.86	21.14	10	7.5	5	TRUE
HS4	3.38	4.94	-	10	7.5	5	FALSE
HS5	- 3.84	- 4.09	- 54.71	10	7.5	5	TRUE
HS6	6.66	4.66	36.81	10	7.5	5	TRUE

ตารางที่ 5-11 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดสอบกับที่ยอมให้จากกราฟไฟ
มาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่ HF7, HF8, HF9, HS7, HS8, HS9

ตัวอย่างที่	%ความคลาดเคลื่อน						การปรับแก้
	จากการทดสอบ			ยอมให้			
	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	0 - 1 hr	1 - 2 hr	2 hr -	
HF7	4.55	2.96	8.08	10	7.5	5	TRUE
HF8	5.76	3.71	8.77	10	7.5	5	TRUE
HF9	- 4.25	- 4.53	- 9.03	10	7.5	5	TRUE
HS7	2.85	1.18	3.92	10	7.5	5	FALSE
HS8	- 4.20	- 4.10	- 10.16	10	7.5	5	TRUE
HS9	6.53	4.04	10.51	10	7.5	5	TRUE

หลังจากนั้นจะทำการคำนวณค่าปรับแก้จากสมการ ก-4 จะได้ค่าปรับแก้ แล้วจึงนำเอาค่าปรับแก้ดังกล่าว
นี้ไปคำนวณหาค่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟภายใต้สภาวะเทียบเท่ากราฟไฟมาตรฐาน
ASTM E119 ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5-12, 5-13, 5-14, 5-15

ตารางที่ 5-12 แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการต้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ H1, H2, H3

ตัวอย่างที่	A at 3/4tc	AS at 3/4tc	C	ASTM Equivalent Failure Time	
	C.min	C.min	C	min.	hh:mm:ss
H1	4336.736146	3619.477539	1.00962	12.45240879	0:12:27
H2	5,024.53	4,195.97	1.17	13.85	0:13:50
H3	-	-	-	15.08	0:15:04

ตารางที่ 5-13 แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการต้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ HF1, HF2, HF3, HS1, HS2, HS3

ตัวอย่างที่	A at 3/4tc	AS at 3/4tc	C	ASTM Equivalent Failure Time	
	C.min	C.min	C	min.	hh:mm:ss
HF1	45,166.38	43,452.39	1.89	76.85	1:16:51
HF2	48,958.50	46,853.30	2.30	82.18	1:22:10
HF3	52,579.61	54,751.41	- 2.33	88.80	1:28:47
HS1	37,876.00	37,071.71	0.91	66.52	1:06:31
HS2	41,866.84	39,049.76	3.15	71.68	1:11:40
HS3	47,663.45	49,675.38	- 2.19	81.73	1:21:43

ตารางที่ 5-14 แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการต้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ HF4, HF5, HF6, HS4, HS5, HS6

ตัวอย่างที่	A at 3/4tc	AS at 3/4tc	C	ASTM Equivalent Failure Time	
	C.min	C.min	C	min.	hh:mm:ss
HF4	-	-	-	115.44	1:55:26
HF5	87,495.16	83,824.90	3.75	134.95	2:14:56
HF6	91,733.97	88,939.38	2.83	140.91	2:20:54
HS4	-	-	-	106.94	1:46:56
HS5	75,199.77	78,363.49	- 3.26	120.55	2:00:33
HS6	94,536.66	90,013.69	4.58	144.10	2:24:05

ตารางที่ 5-15 แสดงค่าปรับแก้กับอัตราการต้านทานไฟเมื่อทำการปรับแก้แล้วสำหรับตัวอย่างที่ HF7, HF8, HF9, HS7, HS8, HS9

ตัวอย่างที่	A at 3/4tc	AS at 3/4tc	C	ASTM Equivalent Failure Time	
	C.min	C.min	C	min.	hh:mm:ss
HF7	115,900.79	112,657.66	3.20	172.72	2:52:43
HF8	122,992.22	118,820.81	4.09	181.69	3:01:41
HF9	128,740.34	134,696.08	- 5.77	192.49	3:12:29
HS7	-	-	-	154.61	2:34:36
HS8	107,879.30	112,388.91	- 4.45	164.71	2:44:42
HS9	120,577.39	116,053.14	4.45	178.43	2:58:25

ถึงแม้จะทำการปรับแก้ค่าความรุนแรงของอุณหภูมิรอบขึ้นตัวอย่างแล้วก็ตามในบางกรณีก็ยังไม่สามารถที่จะนำเอาผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากว่าในการทดสอบนั้นความหนาของการเคลือบผิวเหล็กกรุพรรณของแต่ละชั้นตัวอย่างมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลต่อผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของชั้นตัวอย่างที่นำมาทดสอบอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้ค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กกรุพรรณป้องกันไฟให้มีความหนาที่เท่ากันเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันได้ซึ่งจะแสดงวิธีในการปรับแก้ค่าความหนาต่อไปในหัวข้อที่ 2

2. การปรับแก้ค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟที่ทดสอบ

เนื่องจากการเตรียมขึ้นตัวอย่างไม่สามารถที่จะควบคุมความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟให้มีค่าเท่ากันสำหรับขึ้นตัวอย่างที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน ดังนั้นการที่จะนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกันจึงจำเป็นต้องนำเอาข้อมูลที่ได้ออกจากการทดสอบมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟ, ความหนาของวัสดุเคลือบผิว และค่าองค์ประกอบหน้าตัด แล้วนำเอาความสัมพันธ์ที่ได้มาแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบกัน

วิธีการปรับแก้ค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

การปรับแก้ค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ปรับแก้ผลการทดสอบที่ได้มาดังนี้คือ

1. การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ โดยจะพิจารณาที่ละขนาดหน้าตัดเหล็กกรุพรรณนั้นก็จะพิจารณาในแต่ละค่าองค์ประกอบหน้าตัดเหล็กกรุพรรณ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ ในเหล็กกรุพรรณแต่ละหน้าตัดจะแสดงไว้ดังในกราฟที่ 5-4 ถึงกราฟที่ 5-9 ซึ่งในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาสัดส่วนผสม 2 สัดส่วนผสม ที่ได้จากการศึกษาในกรณีศึกษาที่ 1 สัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้คือ สัดส่วนผสมที่ 3 โดยมีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 150% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 และสัดส่วนผสมที่ 4 โดยมีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสมเท่ากับ 200% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1

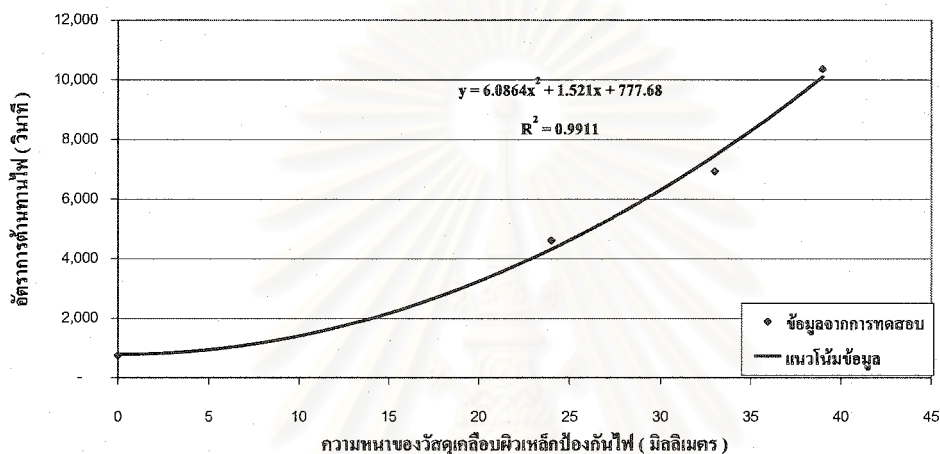
ในส่วนนี้จะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ โดยนำเอาค่าผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมาเทียบกับค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการทดสอบมาเขียนกราฟพร้อมทั้งหาความสัมพันธ์สำหรับเหล็กกรุพรรณแต่ละขนาดคือ W 150mm x 31.5 kg มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร⁻¹, W 175mm x 40.2 kg มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹ และ W 200mm x 56.2 kg มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹ โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้คือ

สัดส่วนผสมที่ 3

ในสัดส่วนผสมนี้จะทำการศึกษาลักษณะรูปพรรณ 3 ขนาดที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดต่างกันดังนี้

1. W 150mm x 31.5kg (H 150x150x7x10mm)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟสำหรับเหล็กรูปพรรณที่มีค่า
องค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3



รูปที่ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณที่มีค่า
องค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3

จากผลการวิเคราะห์จะได้ว่าสำหรับเหล็กรูปพรรณขนาด H 150x150x7x10 mm มีค่าองค์ประกอบหน้า
ตัดเท่ากับ 221 เมตร⁻¹ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้าง
รูปพรรณป้องกันไฟดังนี้คือ

$$y = 6.0864x^2 + 1.521x + 777.68 \quad (5.2)$$

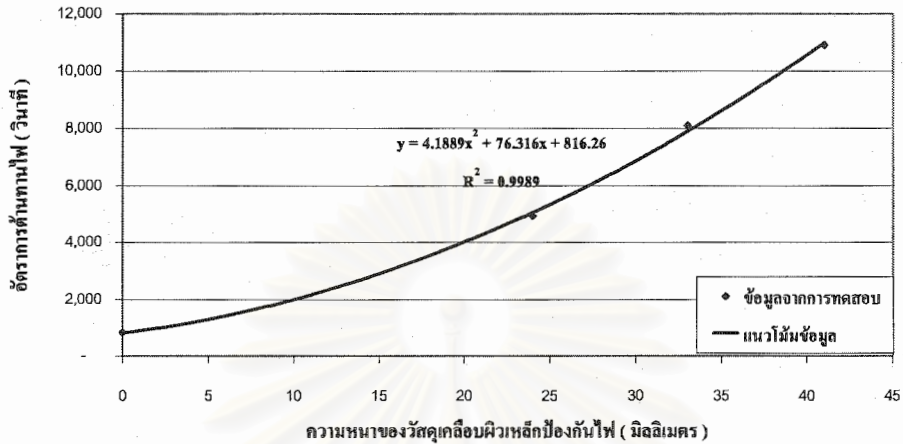
โดย y คือ อัตราการต้านทานไฟมีหน่วยเป็นวินาที

x คือ ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมีหน่วยเป็น
มิลลิเมตร

2. W 175mm x 40.2kg (H175x175x7.5x11 mm)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับอัตราการต้านทานไฟสำหรับเหล็กรูปพรรณที่มีค่า

องค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3



รูปที่ 5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3

จากผลการวิเคราะห์จะได้ว่าสำหรับเหล็กรูปพรรณขนาด H 175x175x7.5x11 mm มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟดังนี้คือ

$$y = 4.1889x^2 + 76.316x + 816.26 \quad (5.3)$$

โดย y คือ อัตราการต้านทานไฟมีหน่วยเป็นวินาที

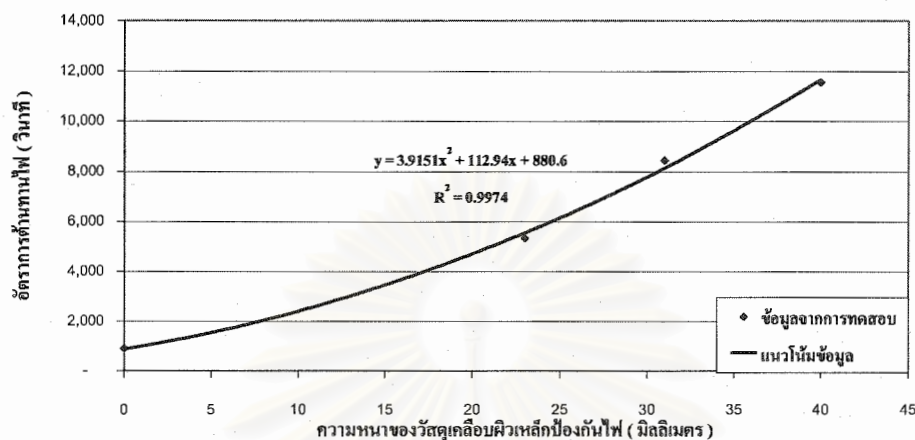
x คือ ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. W 200mm x 56.2kg (H200x200x12x12 mm)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของอิฐการต้านทานไฟสำหรับเหล็กรูปพรรณที่มีค่า

องค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3



รูปที่ 5-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอิฐการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 3

จากผลการวิเคราะห์จะได้ว่าสำหรับเหล็กรูปพรรณขนาด H 200x200x12x12 mm มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างอิฐการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟดังนี้คือ

$$y = 3.9151x^2 + 112.94x + 880.6 \quad (5.4)$$

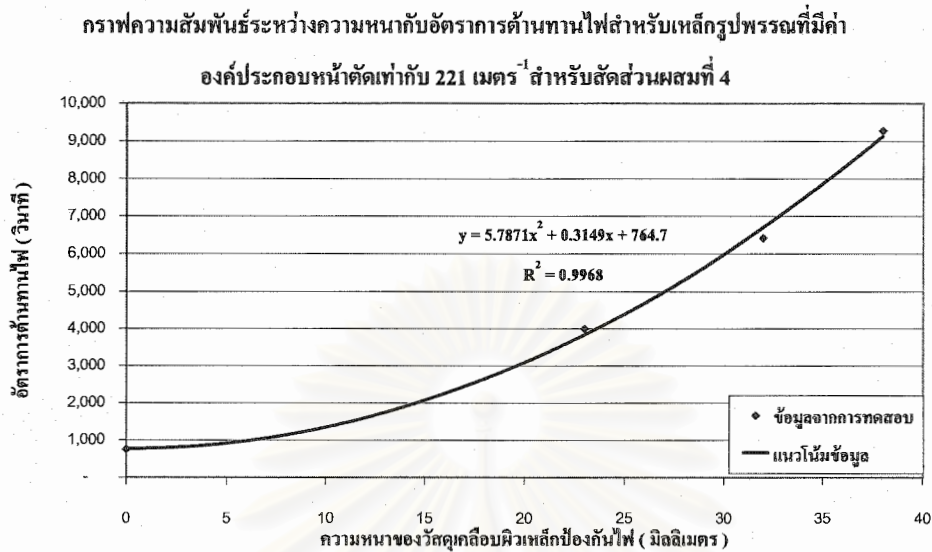
โดย y คือ อิฐการต้านทานไฟมีหน่วยเป็นวินาที

x คือ ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

สัดส่วนผสมที่ 4

ในสัดส่วนผสมนี้จะทำการศึกษาเหล็กรูปพรรณ 3 ขนาดที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดต่างกันดังนี้

1. W 150mm x 31.5kg (H150x150x7x10 mm)



รูปที่ 5-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณที่มีค่า
องค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4

จากผลการวิเคราะห์จะได้ว่าสำหรับเหล็กรูปพรรณขนาด H 150x150x7x10 mm มีค่าองค์ประกอบหน้า
ตัดเท่ากับ 221 เมตร⁻¹ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครง
สร้างรูปพรรณป้องกันไฟดังนี้คือ

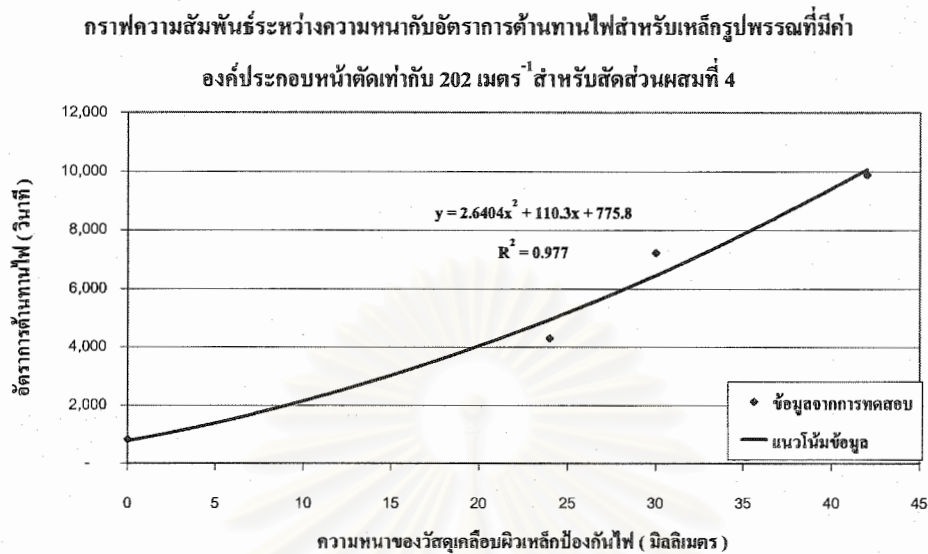
$$y = 5.7871x^2 + 0.3149x + 764.7 \quad (5.5)$$

โดย y คือ อัตราการด้านทานไฟมีหน่วยเป็นวินาที

x คือ ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมีหน่วยเป็น
มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. W 175mm x 40.2kg (H175x175x7.5x11 mm)



รูปที่ 5-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณที่มีค่า
องค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4

จากผลการวิเคราะห์จะได้ว่าสำหรับเหล็กรูปพรรณขนาด H 175x175x7.5x11 mm มีค่าองค์ประกอบ
หน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก
โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟดังนี้คือ

$$y = 2.6404x^2 + 110.3x + 775.8 \quad (5.6)$$

โดย y คือ อัตราการต้านทานไฟมีหน่วยเป็นวินาที

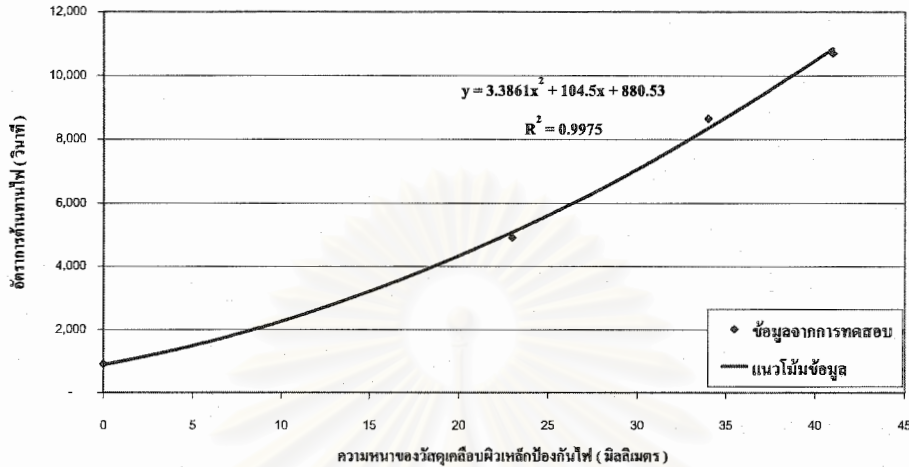
x คือ ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมีหน่วยเป็น
มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. W 200mm x 56.2 kg (H200x200x12x12 mm)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีค่า

องค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4



รูปที่ 5-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹ สำหรับสัดส่วนผสมที่ 4

จากผลการวิเคราะห์จะได้ว่าสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขนาด H 200x200x12x12 mm มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร⁻¹ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟดังนี้คือ

$$y = 3.3861x^2 + 104.5x + 880.53 \quad (5.7)$$

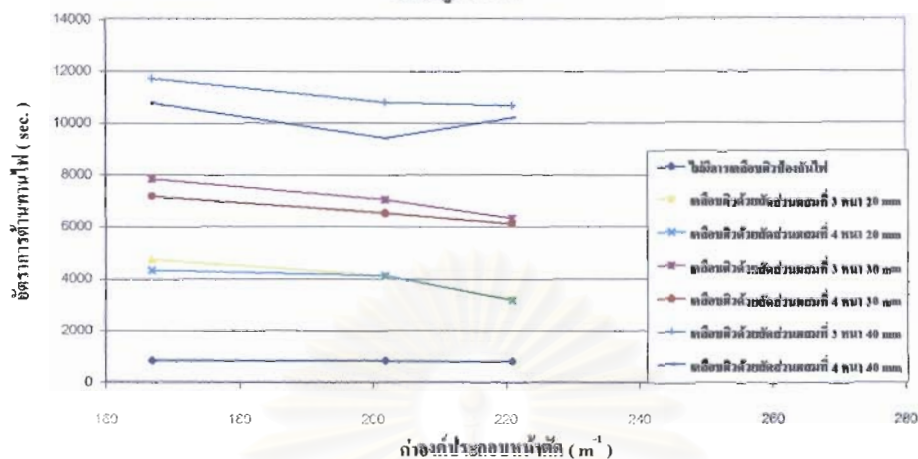
โดย y คือ อัตราการด้านทานไฟมีหน่วยเป็นวินาที

x คือ ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

- นำเอาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ไปคำนวณหาอัตราการด้านทานไฟที่ความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นจะนำเอาค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอัตราการด้านทานไฟกับค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ซึ่งจะได้ดังกราฟที่ 5-7

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับค่าองค์ประกอบหน้าตัดของ

เหล็กรูปพรรณ



รูปที่ 5-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการต้านทานไฟกับค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ

จากกราฟที่ 5-7 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ ป้องกันไฟจะมีค่าลดลงเมื่อค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณมีค่าเพิ่มขึ้น และอัตราการต้านทานไฟของ วัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของการเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

3. การใช้โปรแกรมไฟในออลิเมนต์ด้านความร้อนมาวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้จะนำเอาโปรแกรมไฟในออลิเมนต์ด้านความร้อนมาวิเคราะห์ผลการศึกษา โดยจะแบ่งการ วิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ

กรณีศึกษาที่ 1 การศึกษาอัตราการต้านทานไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่เพอร์ไลต์ในส่วนผสม

ในกรณีศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยการหาค่าการนำความร้อนของหินตัวอย่างในกรณี ศึกษาทั้ง 6 หินตัวอย่าง โดยวิธี Trial and Error แล้วนำเอาค่าการนำความร้อนของแต่ละหินตัวอย่างมาเปรียบเทียบ กันเพื่อหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่นำมาผลิตวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่มีเพอร์ไลต์ เป็นส่วนผสม โดยจะมีรายละเอียดการวิเคราะห์ที่ดังนี้คือ

การวิเคราะห์หาค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

1. ทำการสร้างแบบจำลองหินตัวอย่างพร้อมทั้งทำการแบ่งออลิเมนต์ของหินตัวอย่าง โดยในการสร้าง แบบจำลองจะทำการแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ และวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

- นำค่าความหนาแน่น, การนำความร้อน และค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุทั้ง 2 ชนิด ใส่ลงในโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้านความร้อนโดยค่าคงที่ของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณและวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟที่สำคัญจะมีค่าดังตารางที่ 5-16 และ 5-17 ตามลำดับ ซึ่งค่าความจุความร้อนจำเพาะได้มาจากการส่งวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟไปทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ส่วนค่าการนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณได้มาจากค่าคุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณ

ตารางที่ 5-16 แสดงค่าการนำความร้อน, ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่นของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

คุณสมบัติด้านความร้อนของเหล็ก	ค่าที่ใช้ ณ. อุณหภูมิ								
	0	100	200	300	400	500	600	700	750
ค่าการนำความร้อน (kg.mm/s. $^{\circ}$ C)	5.40E+04	5.07E+04	4.73E+04	4.40E+04	4.07E+04	3.74E+04	3.40E+04	3.07E+04	2.90E+04
ค่าความร้อนจำเพาะ (mm ² /s. $^{\circ}$ C)	4.25E+08	4.88E+08	5.30E+08	5.65E+08	6.06E+08	6.67E+08	7.60E+08	1.01E+09	1.48E+09
ค่าความหนาแน่น (kg/mm ³)	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06

ตารางที่ 5-17 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในสัดส่วนผสมต่าง ๆ กัน

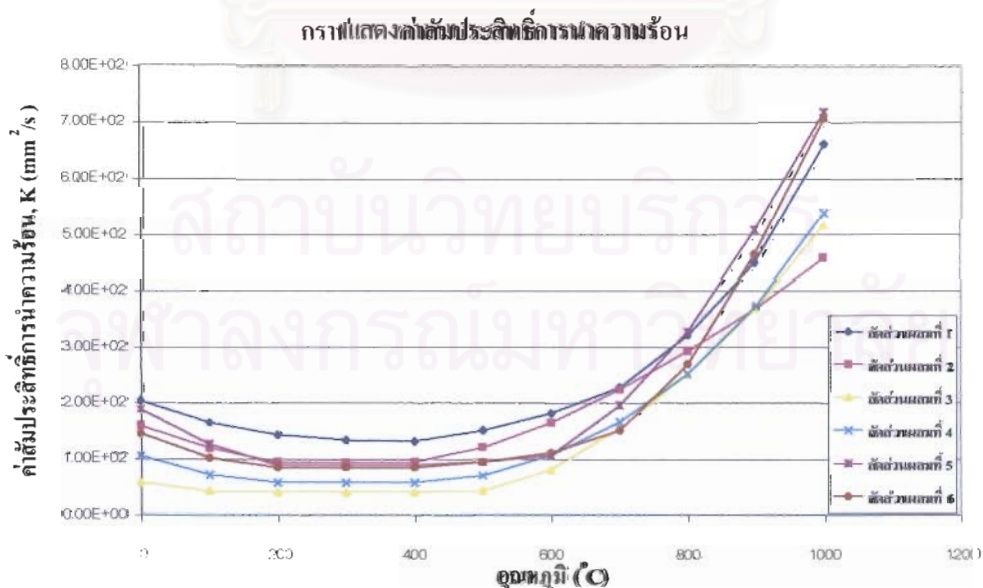
ปริมาณเปอร์ไลต์ในสัดส่วนผสม (% โดยน้ำหนักของซีเมนต์)	ความหนาแน่น (kg/mm ³)	ค่าความร้อนจำเพาะ (mm ² /s. $^{\circ}$ C)
50	1.03E-06	1.00E+09
100	7.99E-07	1.02E+09
150	7.03E-07	1.03E+09
200	6.44E-07	1.08E+09
250	5.68E-07	1.10E+09
300	4.28E-07	1.15E+09

- นำเอาค่าอุณหภูมิรอบชิ้นตัวอย่างใส่ลงในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ด้านความร้อน
- ทำการป้อนค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟโดยการ Trial and Error
- ทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ด้านความร้อน
- นำเอาค่าผลการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ผิวของเหล็กรูปพรรณมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ
- ทำการปรับเปลี่ยนค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ จนได้ค่าอุณหภูมิที่ผิวเหล็กรูปพรรณจากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ผิวเหล็กรูปพรรณที่ได้จากการทดสอบ

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้านความร้อนได้ค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟดังตารางที่ 5-18 และรูปที่ 5-11

ตารางที่ 5-18 แสดงค่าการนำความร้อนของแต่ละสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

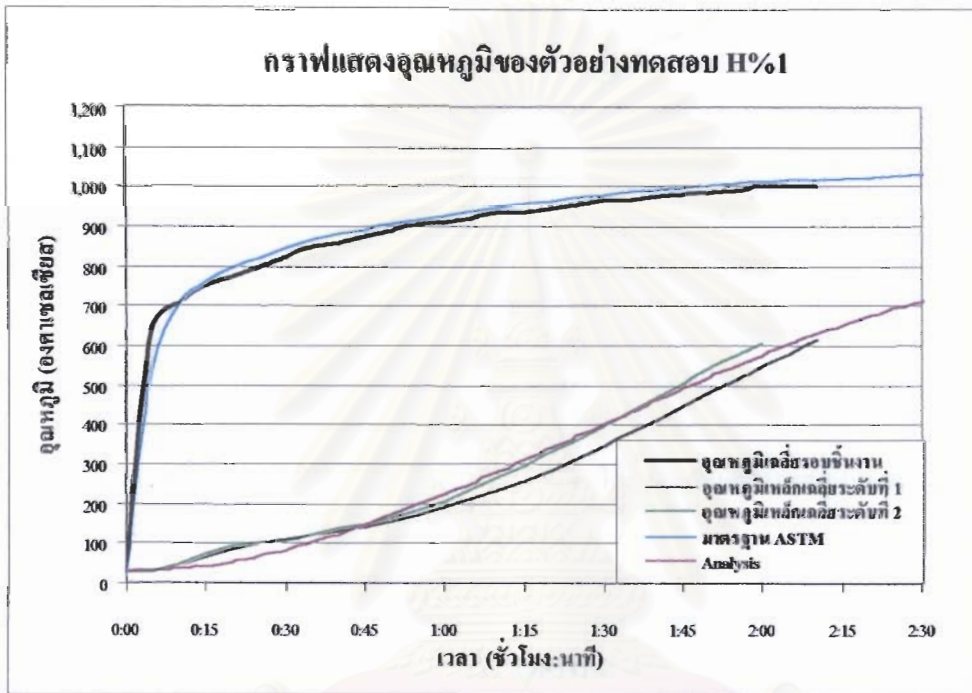
อุณหภูมิ °C	ค่าการนำความร้อน (Conduction ; K) mm ² /s					
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
0	2.03E+02	1.58E+02	5.77E+01	1.04E+02	1.88E+02	1.44E+02
100	1.64E+02	1.18E+02	4.18E+01	7.07E+01	1.25E+02	1.01E+02
200	1.41E+02	9.34E+01	3.97E+01	5.72E+01	8.75E+01	8.38E+01
300	1.32E+02	9.28E+01	3.97E+01	5.72E+01	8.75E+01	8.38E+01
400	1.30E+02	9.38E+01	3.97E+01	5.72E+01	8.75E+01	8.38E+01
500	1.50E+02	1.20E+02	4.28E+01	7.00E+01	9.38E+01	9.36E+01
600	1.80E+02	1.63E+02	8.00E+01	1.05E+02	1.05E+02	1.10E+02
700	2.27E+02	2.23E+02	1.53E+02	1.65E+02	1.95E+02	1.50E+02
800	3.20E+02	2.92E+02	2.50E+02	2.51E+02	3.27E+02	2.68E+02
900	4.50E+02	3.68E+02	3.69E+02	3.72E+02	5.08E+02	4.65E+02
1000	6.60E+02	4.59E+02	5.16E+02	5.39E+02	7.17E+02	7.05E+02



รูปที่ 5-8 แสดงค่าการนำความร้อนของสัดส่วนผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

จากผลการวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณยี่ห้อองกันไฟที่ได้แสดงในตารางที่ 5-18 และ รูปที่ 5-8 จะพบว่าสัดส่วนผสมที่ 3 และ 4 จะมีการนำความร้อนที่ต่ำกว่าสัดส่วนผสมอื่น นั่นคือสัดส่วนผสมที่ 3 และสัดส่วนผสมที่ 4 เป็นสัดส่วนผสมที่มีคุณสมบัติด้านการต้านทาน ไฟที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

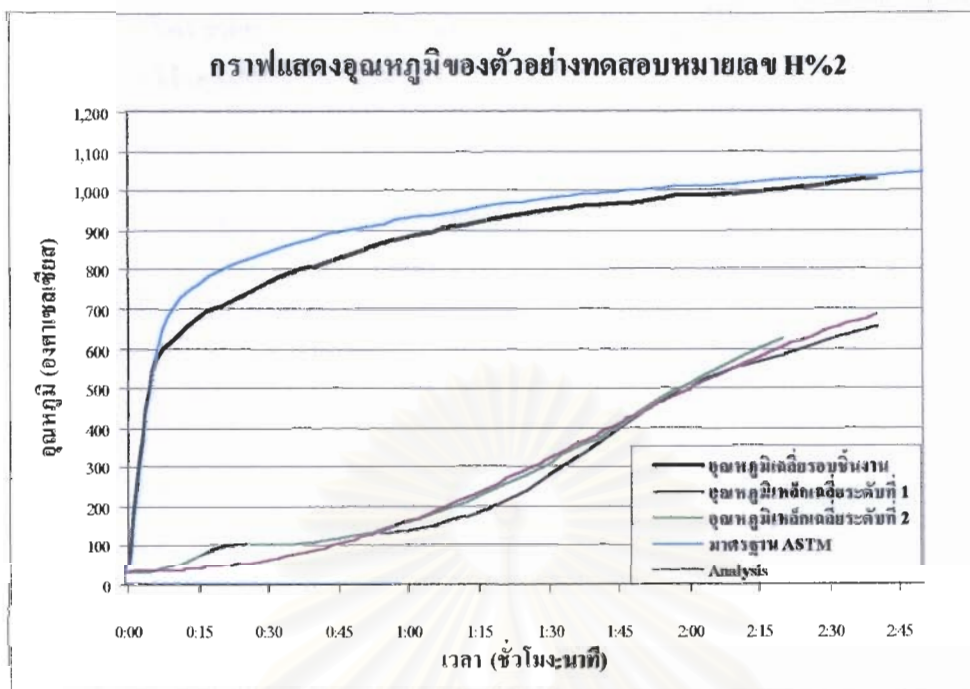
ผลการวิเคราะห์ห้จึ้นตัวอย่างในกรณีศึกษาจะแสดงไว้ดังในรูปที่ 5-9 ถึง รูปที่ 5-14



รูปที่ 5-9 แสดงผลการวิเคราะห์ห้จึ้นตัวอย่างที่ H%1

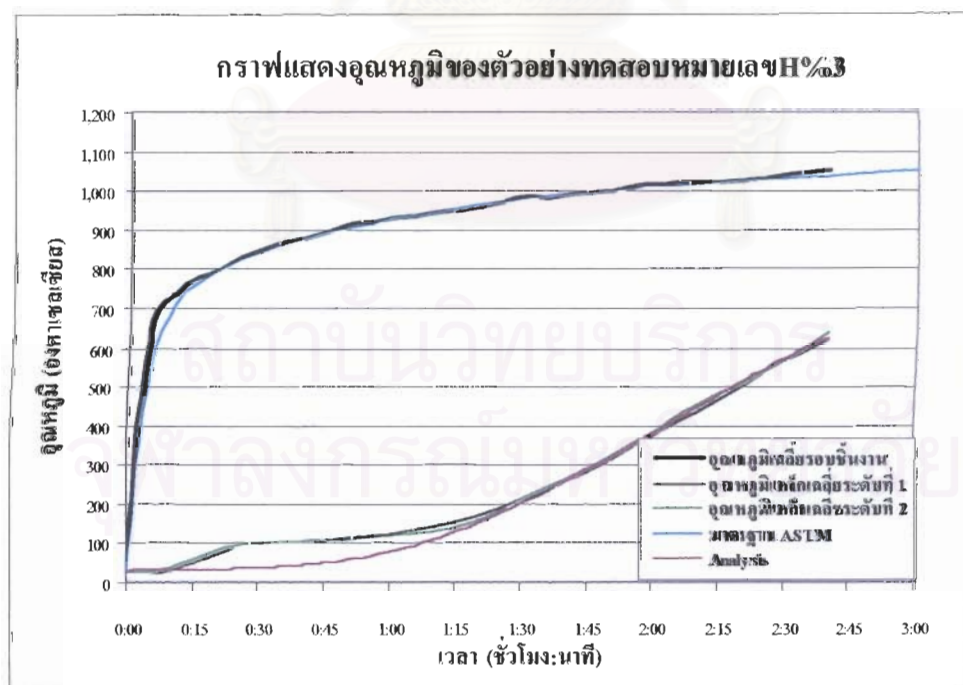
จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ห้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมาก และค่าการนำความร้อนที่วิเคราะห์ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 5-18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



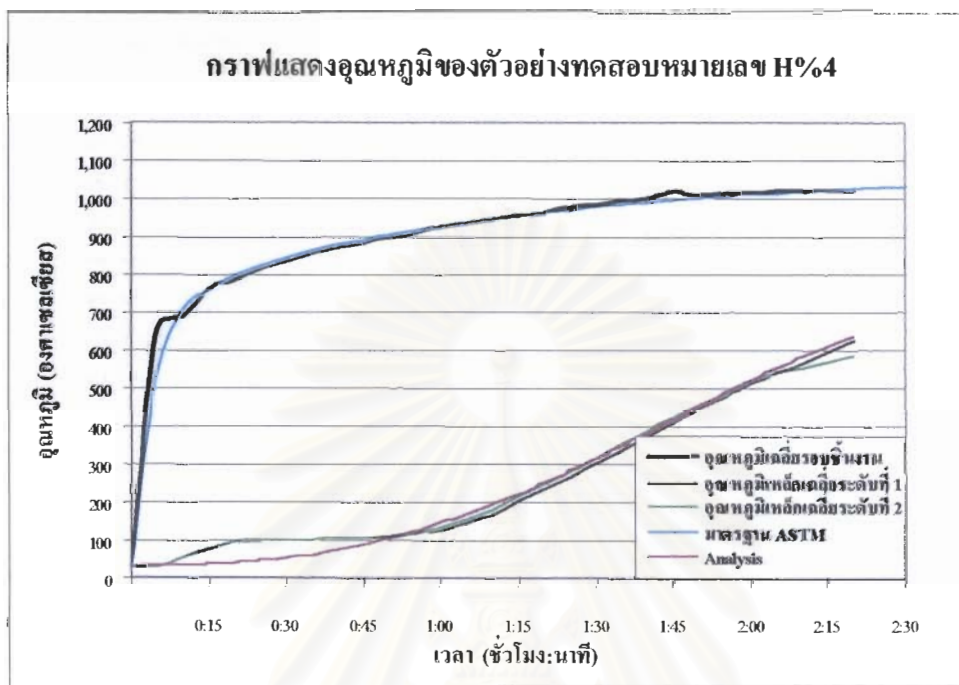
รูปที่ 5-10 แสดงผลการวิเคราะห์หี้งตัวอย่างที่ H%2

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หี้งใกล้เคียงกับผลการทดสอบขนาด และค่าการนำความร้อนที่วิเคราะห์ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 5-18



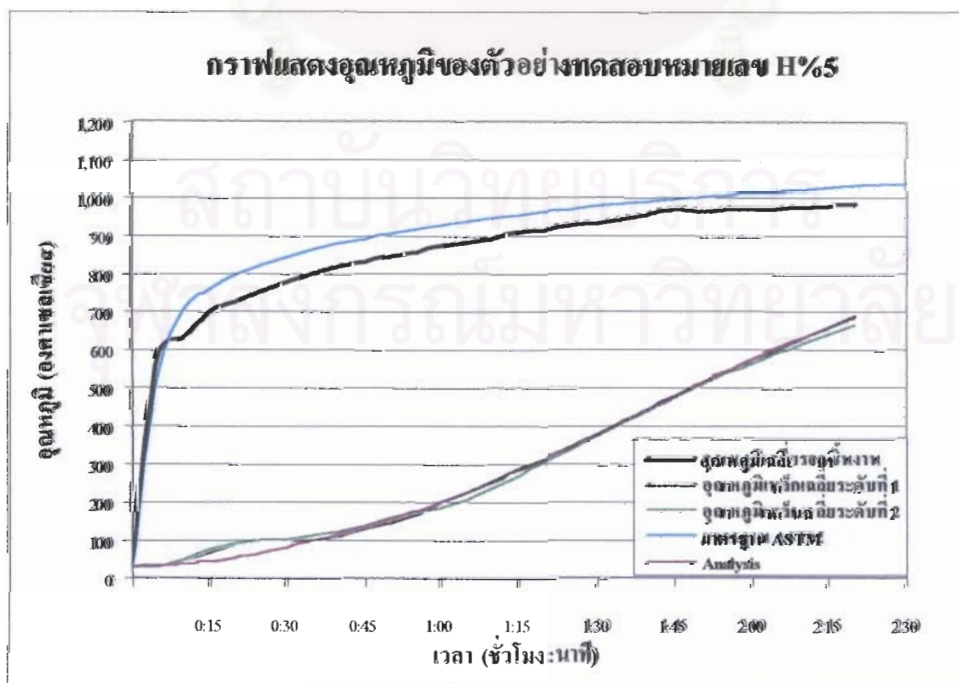
รูปที่ 5-11 แสดงผลการวิเคราะห์หี้งตัวอย่างที่ H%3

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมาก และค่าการนำความร้อนที่วิเคราะห์ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 5-18



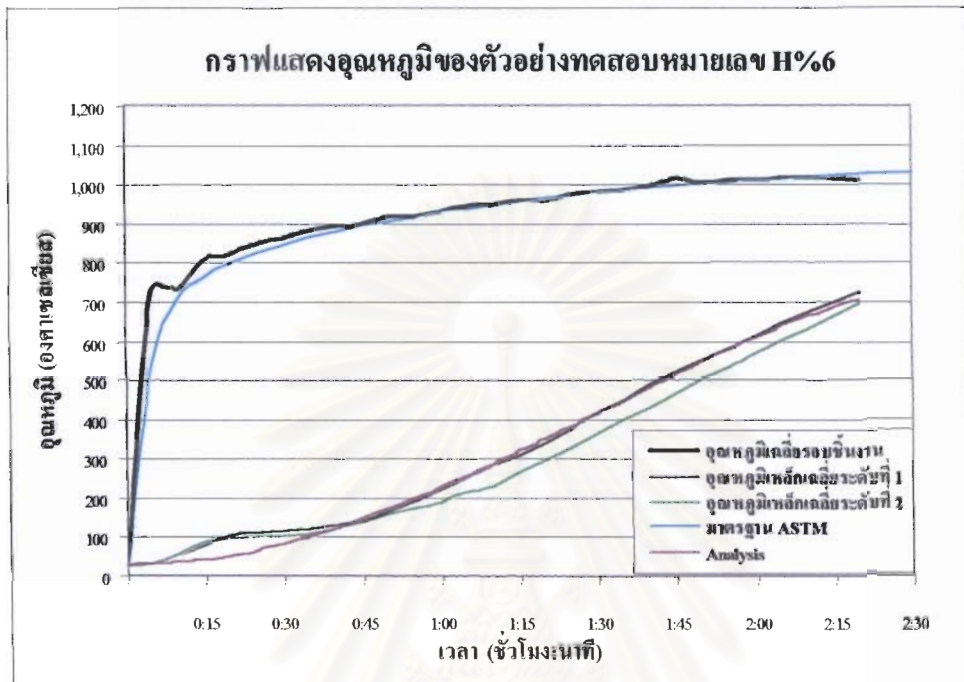
รูปที่ 5-12 แสดงผลการวิเคราะห์หี้นตัวอย่างที่ H%4

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมาก และค่าการนำความร้อนที่วิเคราะห์ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 5-18



รูปที่ 5-13 แสดงผลการวิเคราะห์หี้นตัวอย่างที่ H%5

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมาก และค่าการนำความร้อนที่วิเคราะห์ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 5-18



รูปที่ 5-14 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H%6

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมาก และค่าการนำความร้อนที่วิเคราะห์ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 5-18

กรณีศึกษาที่ 2 การศึกษาอัตราการต้านทานไฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณและค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ

ในกรณีศึกษานี้จะนำเอาค่าการนำความร้อนและค่าการพาความร้อนซึ่งได้มาจากการศึกษาในกรณีศึกษาที่ 1 มาใช้วิเคราะห์หาอัตราการต้านทานไฟ ณ ความหนาต่างๆ กันของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ ป้องกันไฟ และ ค่าองค์ประกอบหน้าตัดต่างๆ กันของเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ โดยจะนำเอาโปรแกรมวิเคราะห์ไฟในเอลิเมนต์ด้านความร้อนมาวิเคราะห์ผล ซึ่งจะมีรายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดสอบดังนี้

1. ทำการสร้างแบบจำลองของชิ้นตัวอย่างโดยแบ่งชิ้นตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วนคือ เหล็กรูปพรรณ และ วัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ
2. นำค่าคงที่ของเหล็กรูปพรรณแล้ววัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟป้อนใส่ในโปรแกรมวิเคราะห์ไฟในเอลิเมนต์ด้านความร้อน โดยค่าคงที่นี้ได้มาจากการทดสอบและวิเคราะห์ในกรณีศึกษาที่ 1
3. ป้อนค่าอุณหภูมิจนตัวอย่าง
4. ทำการวิเคราะห์ผล โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไฟในเอลิเมนต์ด้านความร้อน

5. ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก โปรแกรมวิเคราะห์ไฟในอิเลิเมนต์ด้านความร้อนกับผลการทดสอบ

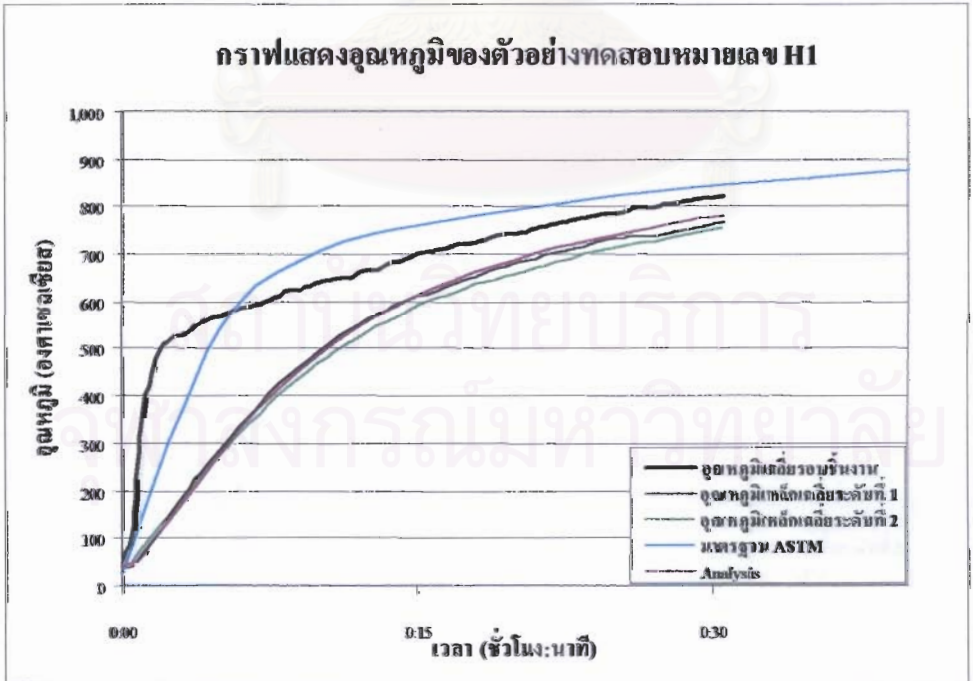
ในกรณีศึกษาที่ 2 นี้จะแบ่งจันทัวอย่างออกเป็น 3 ชุด โดยชุดตัวอย่างที่ 1 จะทำการศึกษาวិเคราะห์เหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ไม่ได้เคลือบผิวป้องกันไฟ, ชุดตัวอย่างที่ 2 จะศึกษาวิเคราะห์จันทัวอย่างที่ได้เคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในสัดส่วนที่ 3 (จากกรณีศึกษาที่ 1) และชุดตัวอย่างที่ 3 จะทำการศึกษาวิเคราะห์จันทัวอย่างที่ได้เคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในสัดส่วนที่ 4 (จากกรณีศึกษาที่ 1) โดยในชุดตัวอย่างที่ 1 จะมีจันทัวอย่างทั้งหมด 3 จันทัวอย่าง ส่วนในชุดตัวอย่างที่ 2 และ 3 จะมีจันทัวอย่างแต่ละชุดตัวอย่างทั้งหมด 9 จันทัวอย่าง แบ่งตามค่าองค์ประกอบหน้าตัด และความหนาของการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลด้วย โปรแกรมไฟในอิเลิเมนต์ด้านความร้อนจะแสดงไว้ดังรูปที่ 5-15 ถึง รูปที่ 5-35

เหล็กรูปพรรณที่ไม่มีการเคลือบผิวป้องกันไฟ

จันทัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ผลในส่วนนี้จะมีทั้งหมด 3 จันทัวอย่าง โดยแบ่งตามค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณ

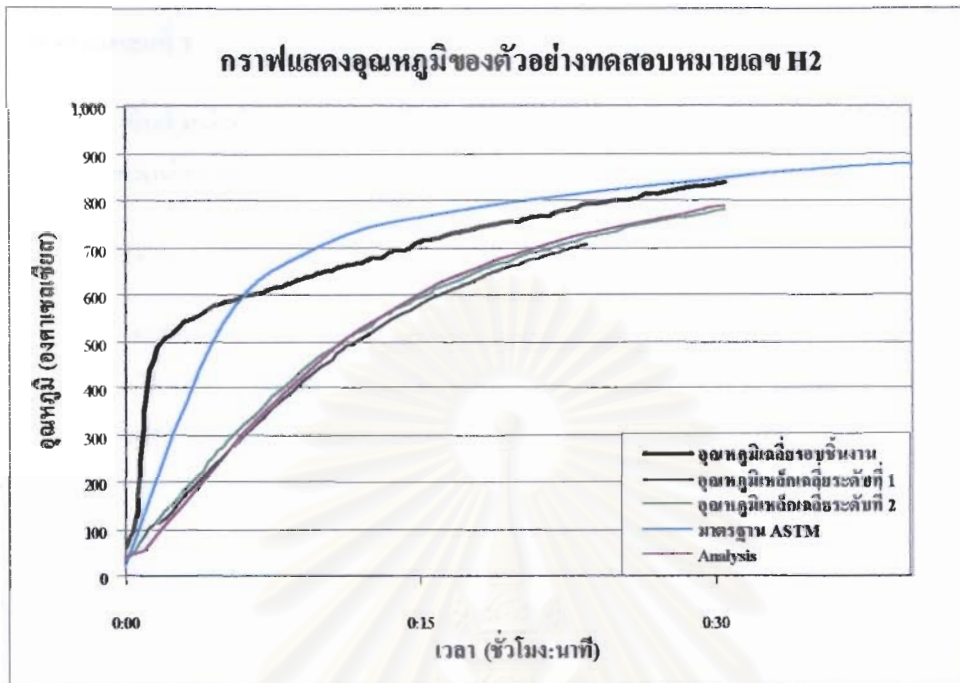
1. W150 mm x 31.5kg



รูปที่ 5-15 แสดงผลการวิเคราะห์จันทัวอย่างที่ H1

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ

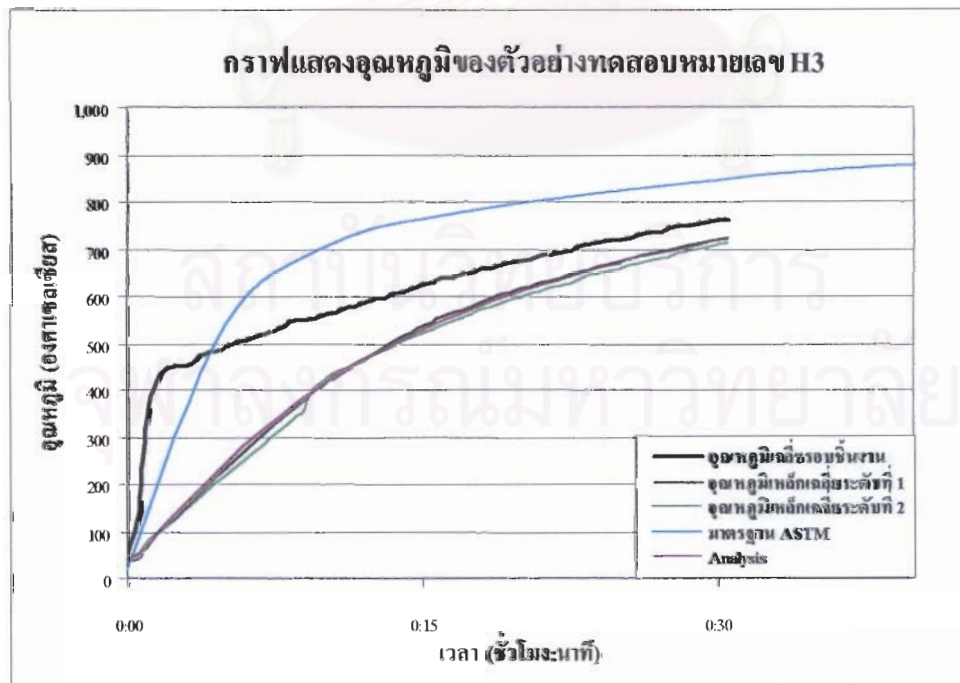
2. W175 mm x 40.2 kg



รูปที่ 5-16 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H2

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หิมค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมาก

3. W200 mm x 56.2 kg



รูปที่ 5-17 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ H3

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมาก

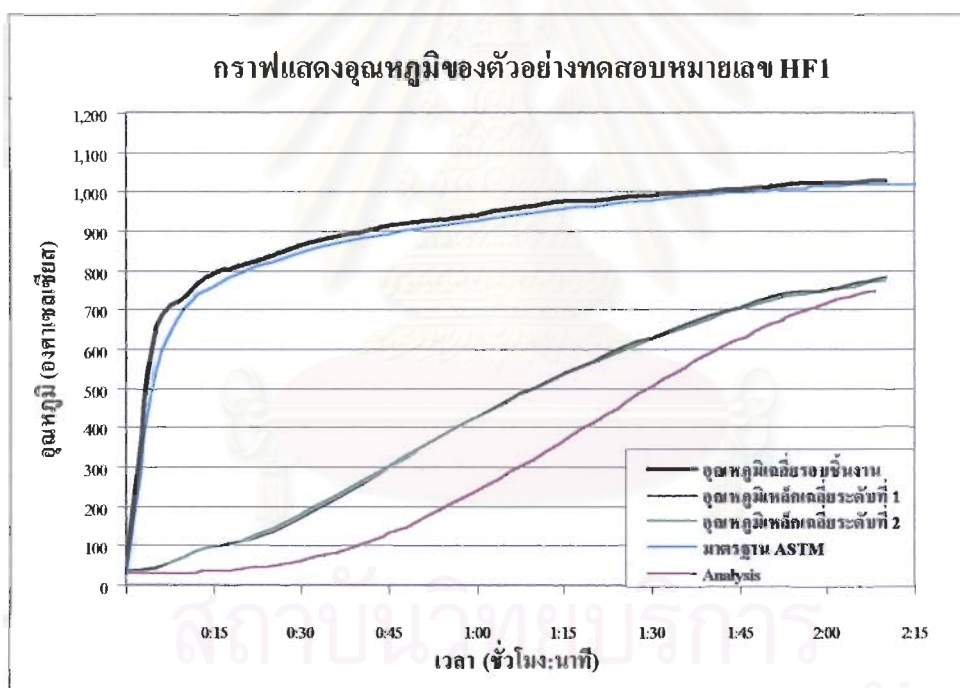
สัดส่วนผสมที่ 3

จันทัวอย่างที่ทำกรวิเคราะห์ผลในส่วนนี้จะมีทั้งหมด 9 จันทัวอย่างโดยแบ่งตามค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณ และค่าความหนาของการเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ

1. W 150 mm x 31.5 kg

จะทำกรวิเคราะห์เหล็กรูปพรรณขนาด H 150x150x7x10 mm ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร¹ โดยจะศึกษาที่ความหนาของการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ประมาณ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

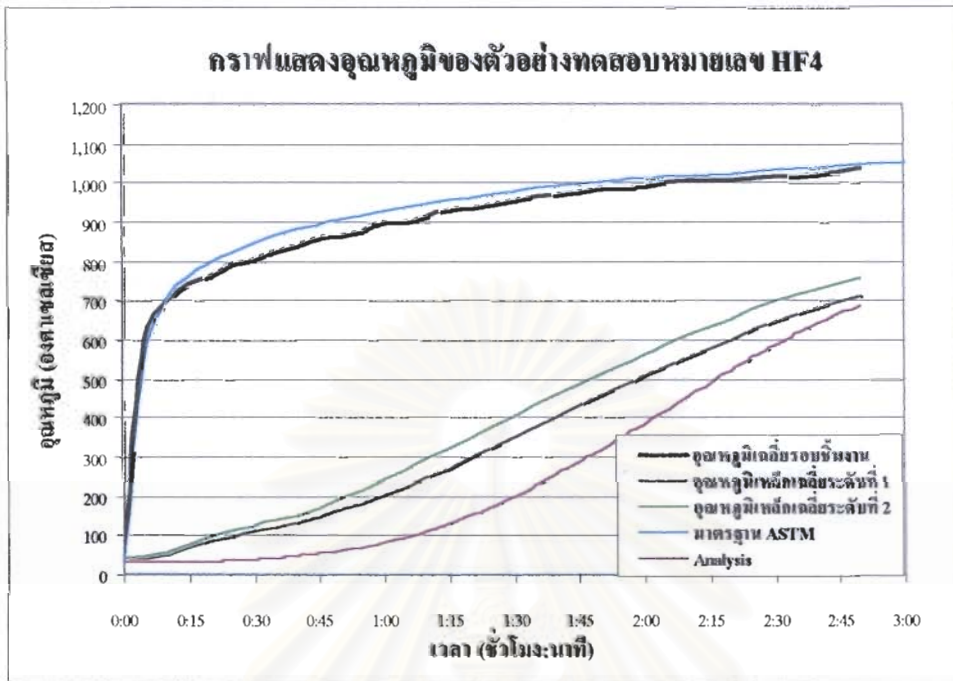
ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร



รูปที่ 5-18 แสดงผลการวิเคราะห์จันทัวอย่าง HF1

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการด้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 19 นาที

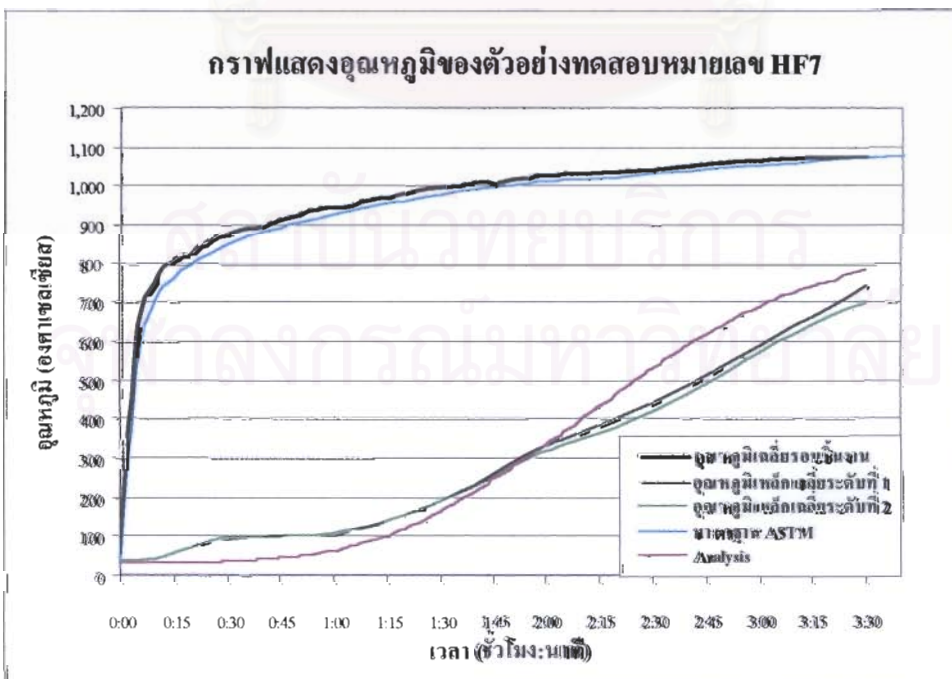
ความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร



รูปที่ 5-19 แสดงผลการวิเคราะห์ห้ชิ้นตัวอย่างที่ HF4

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการเดินทาง ไปของวัสดุเคลื่อนผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟที่ได้จากการวิเคราะห์ห้จะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 25 นาที

ความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร



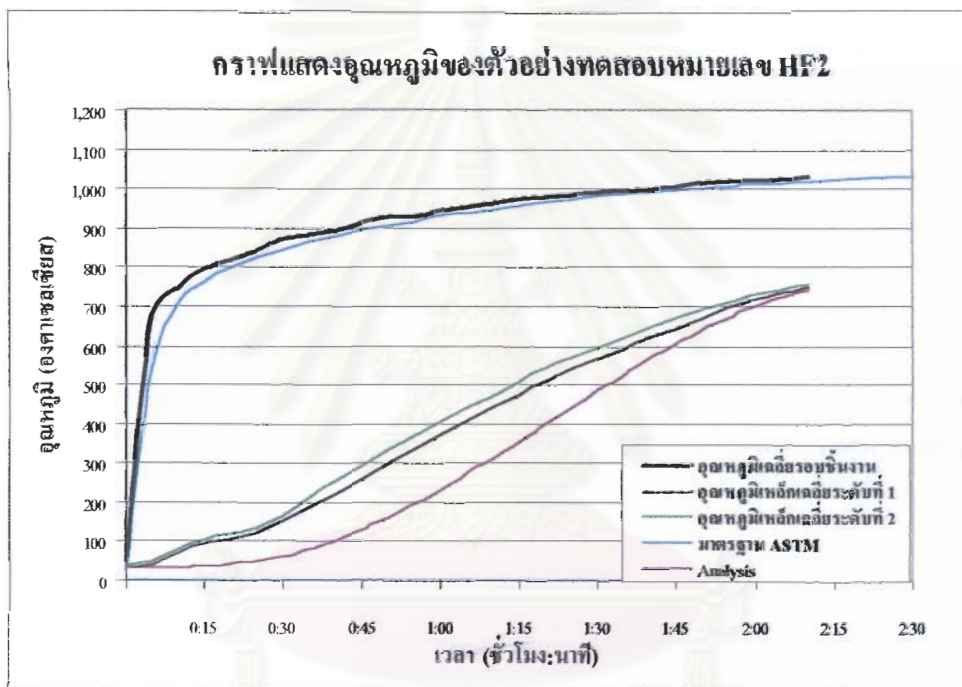
รูปที่ 5-20 แสดงผลการวิเคราะห์ห้ชิ้นตัวอย่างที่ HF7

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าน้อยกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 16 นาที

2. W 175 mm x 40.2 kg

จะทำการวิเคราะห์เหล็กรูปพรรณขนาด H 175x175x7.5x11 mm ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹ โดยจะศึกษาที่ความหนาของการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ประมาณ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

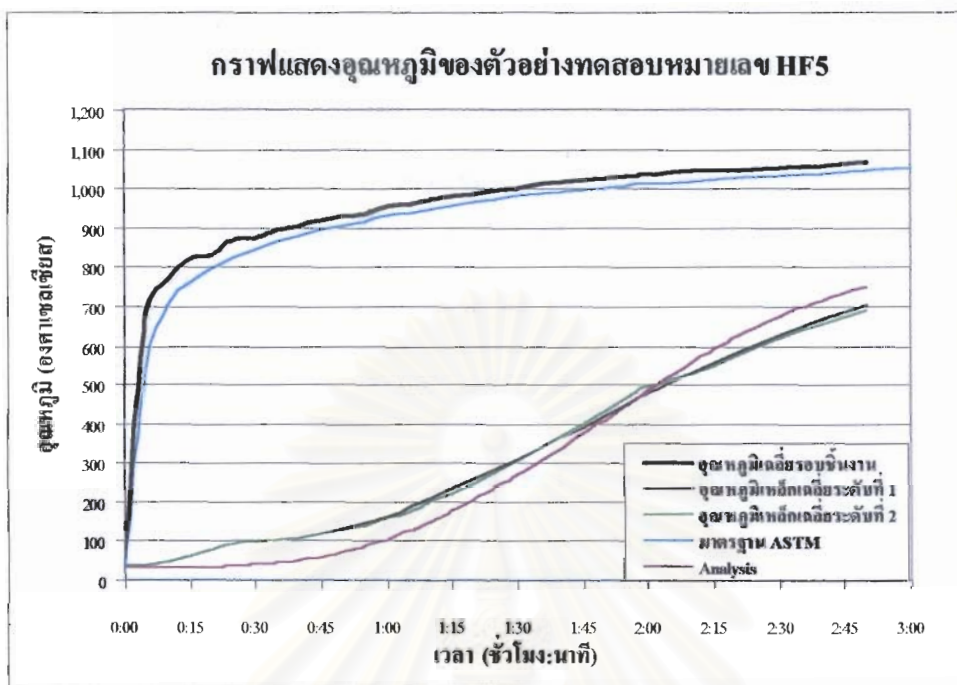
ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร



รูปที่ 5-21 แสดงผลการวิเคราะห์ห้จันตัวอย่างที่ HF2

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 16 นาที

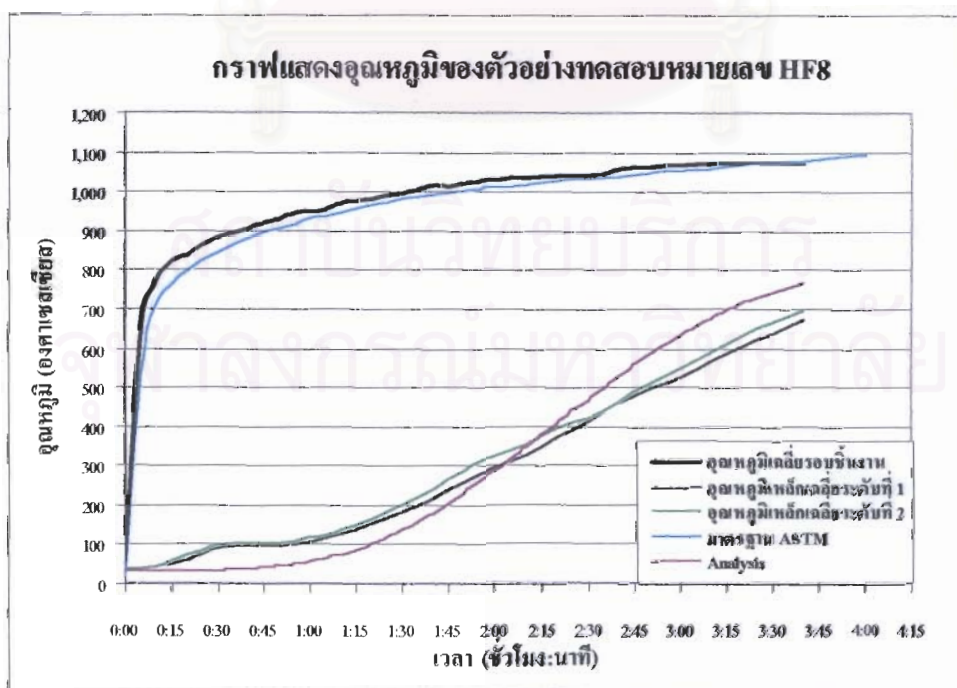
ความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร



รูปที่ 5-22 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF5

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าน้อยกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 2 นาที

ความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร



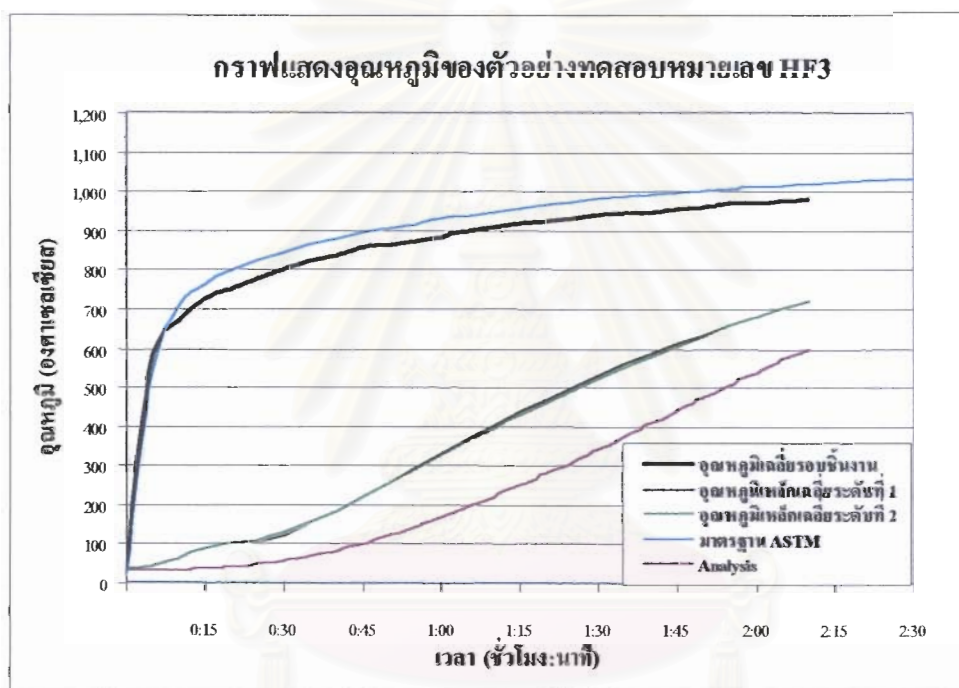
รูปที่ 5-23 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF8

จากผลการวิเคราะห์ที่เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าน้อยกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 15 นาที

3. W 200 mm x 56.2 kg

จะทำการวิเคราะห์เหล็กรูปพรรณขนาด II 200x200x12x12 mm ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 เมตร^{-1} โดยจะศึกษาที่ความหนายของการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ประมาณ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร

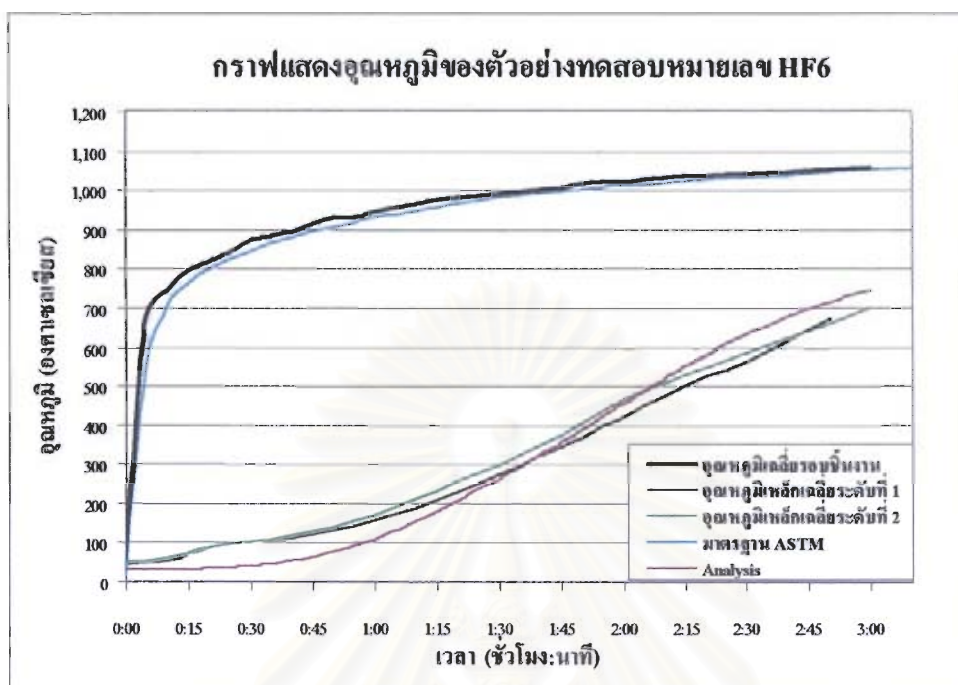


รูปที่ 5-24 แสดงผลการวิเคราะห์ห้ขึ้นตัวอย่างที่ HF3

จากผลการวิเคราะห์ที่เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 25 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

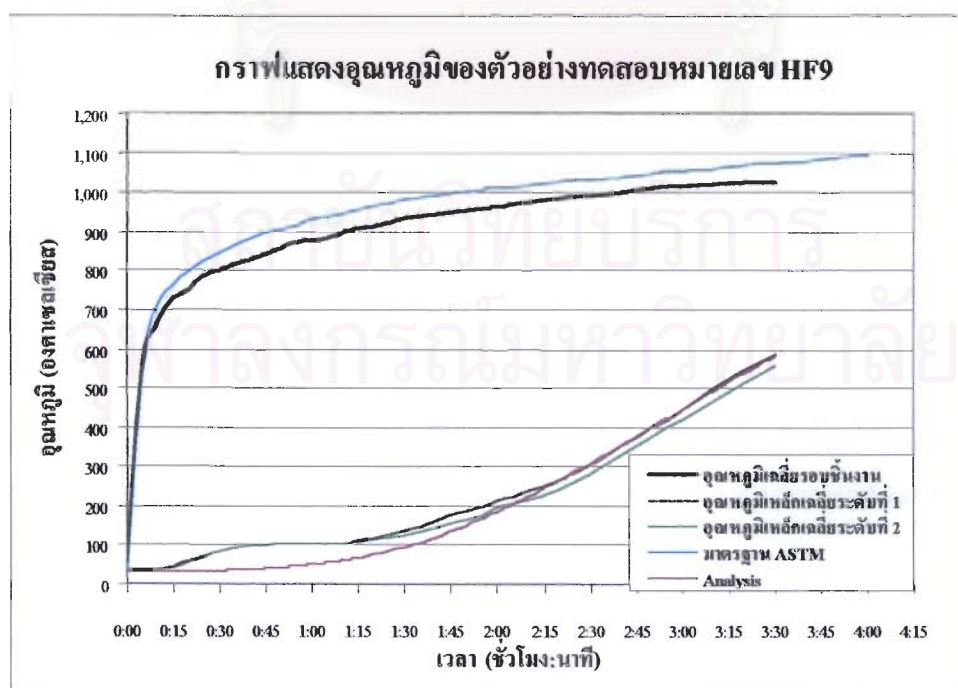
ความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร



รูปที่ 5-25 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF6

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีย่านน้อยกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 5 นาที

ความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร



รูปที่ 5-26 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HF9

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าน้อยกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 1 นาที

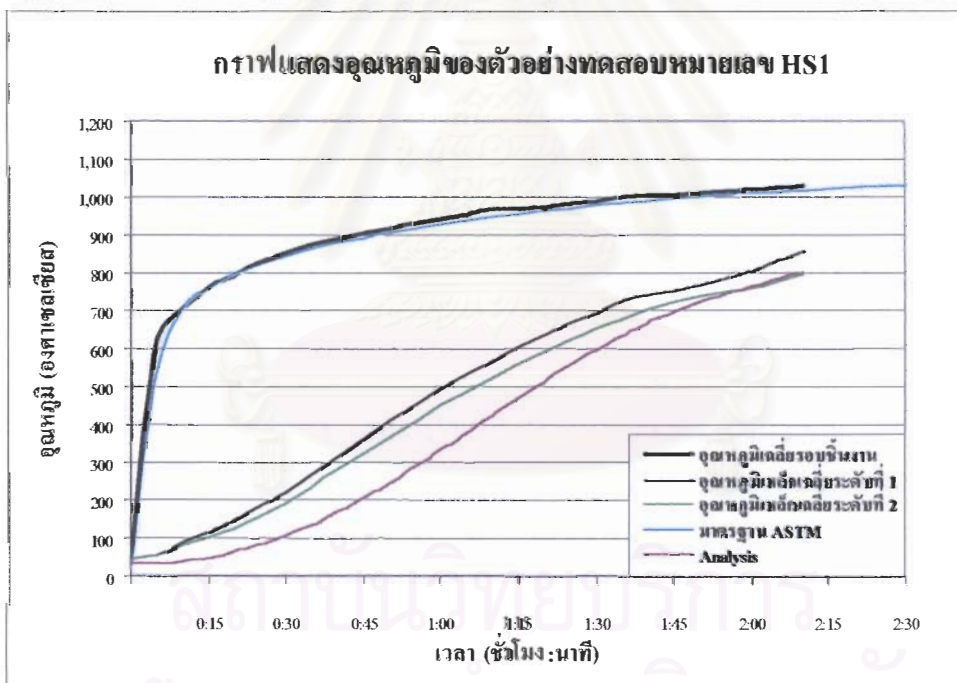
สัดส่วนผสมที่ 4

ชิ้นตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ผลในส่วนนี้จะมีทั้งหมด 9 ชิ้นตัวอย่าง โดยแบ่งตามค่าองค์ประกอบหน้าตัดของเหล็กรูปพรรณ และค่าความหนาของการเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ

1. W 150 mm x 31.5 kg

จะทำการวิเคราะห์เหล็กรูปพรรณขนาด H 150x150x7x10 mm ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 เมตร¹ โดยจะศึกษาที่ความหนาของการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ประมาณ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

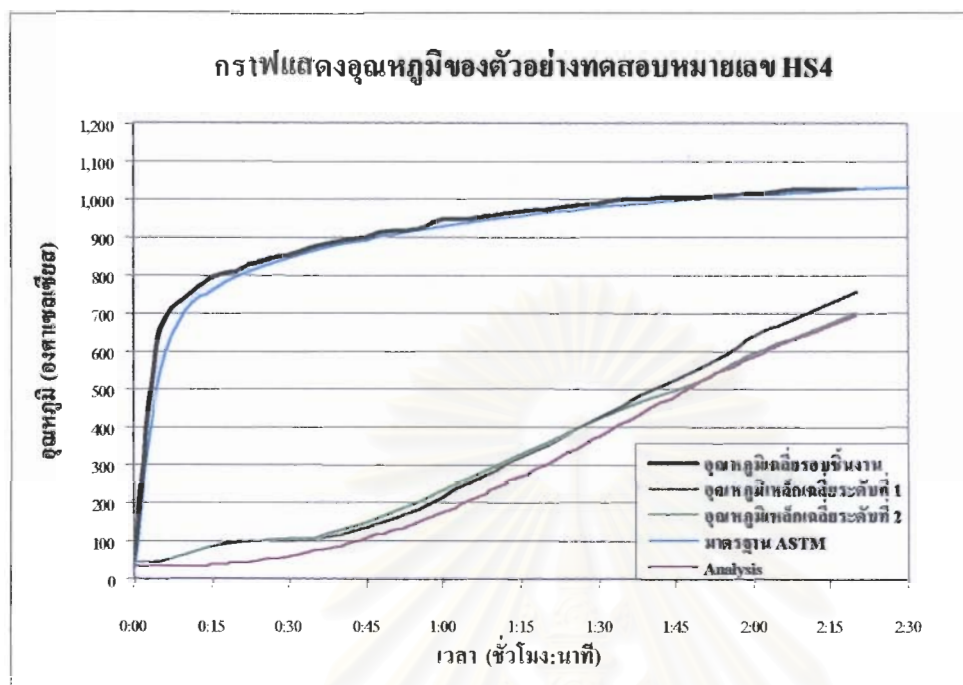
ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร



รูปที่ 5-27 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS1

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 13 นาที

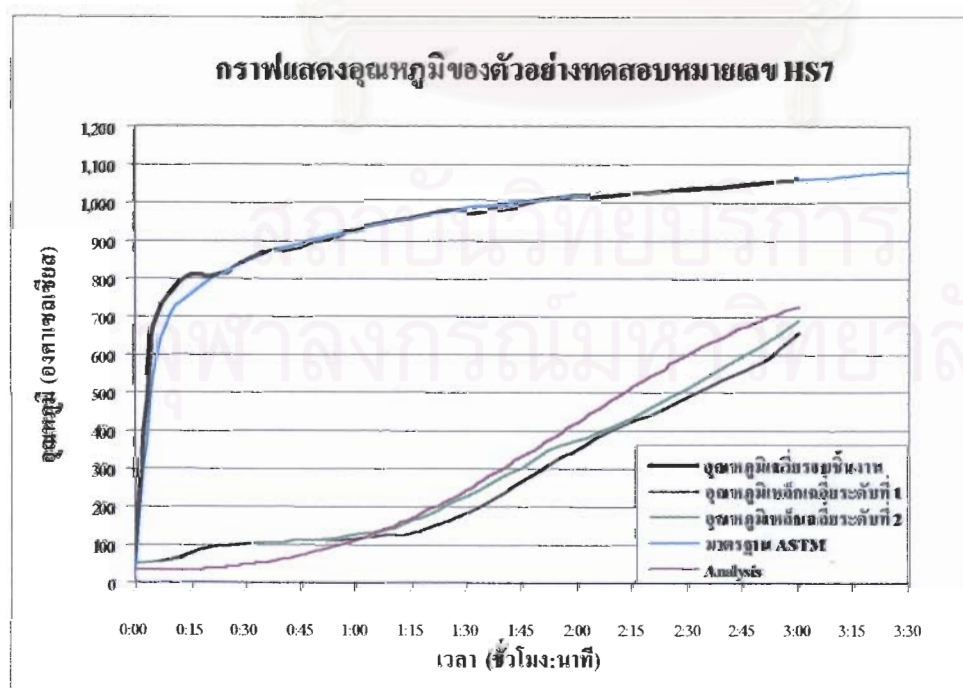
ความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร



รูปที่ 5-28 แสดงผลการวิเคราะห์ห้้นตัวอย่างที่ HS4

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์ห้้นมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 5 นาที

ความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร



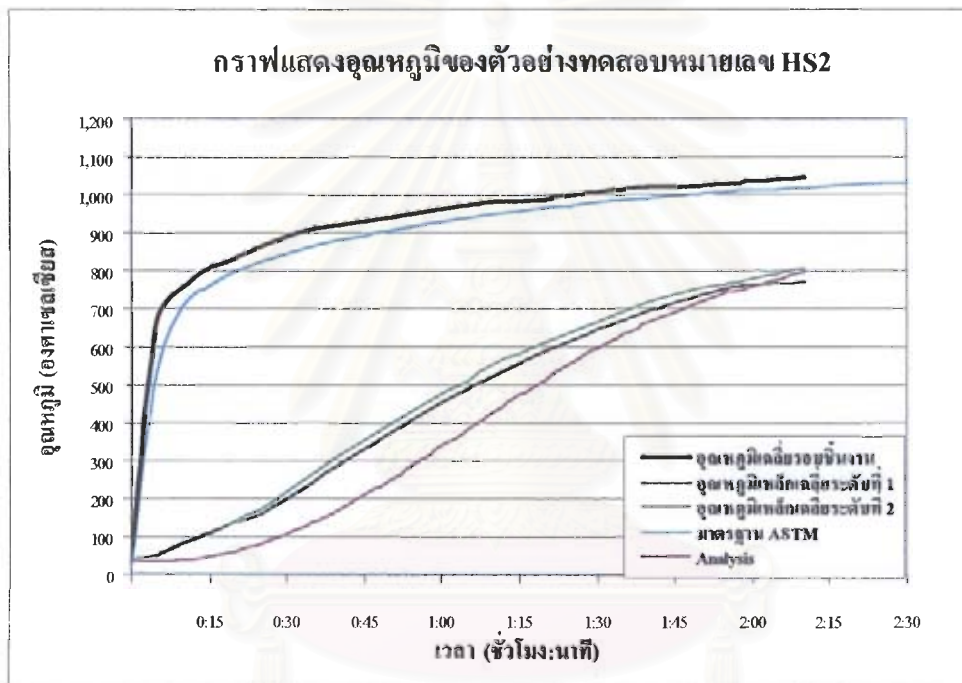
รูปที่ 5-29 แสดงผลการวิเคราะห์ห้้นตัวอย่างที่ HS7

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการด้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าน้อยกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 20 นาที

2. W 175 mm x 40.2 kg

จะทำการวิเคราะห์เหล็กรูปพรรณขนาด H 175x175x7.5x11 mm ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 เมตร⁻¹ โดยจะศึกษาที่ความหนาของการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ประมาณ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร

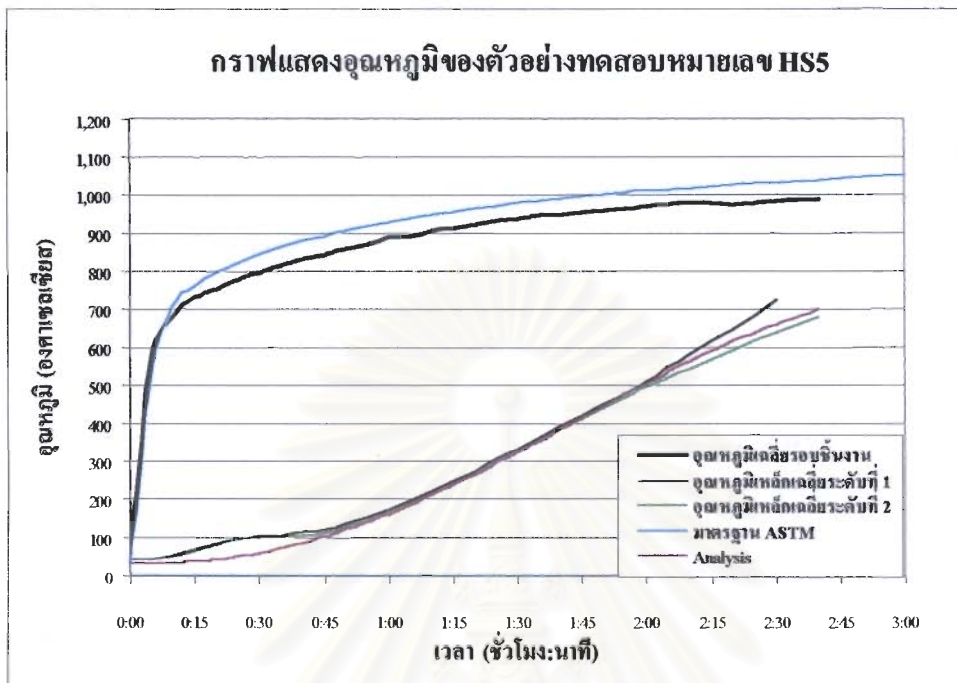


รูปที่ 5-30 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS2

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการด้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

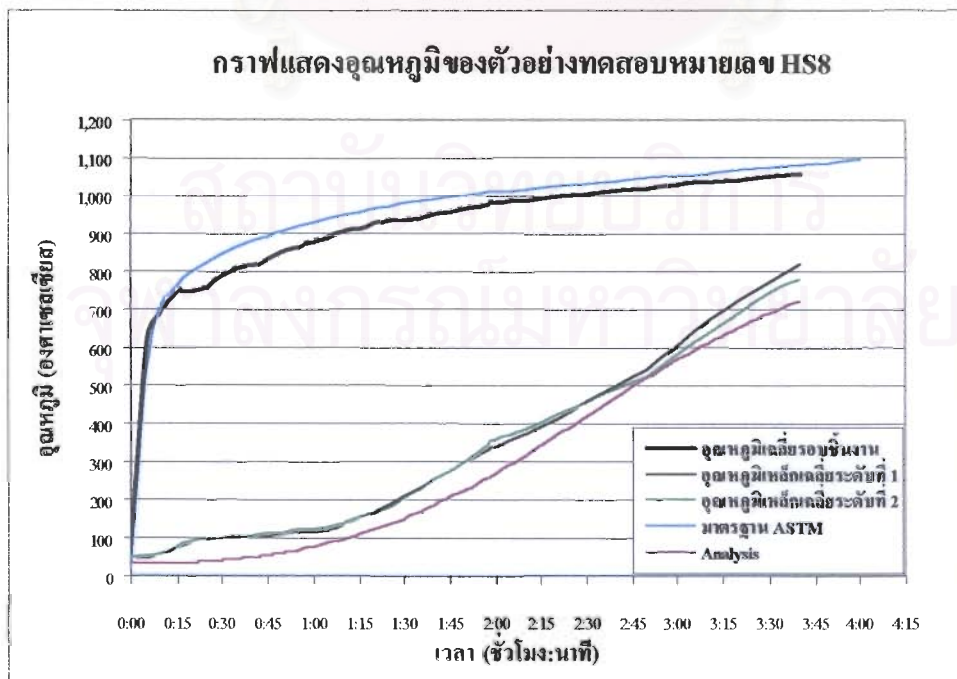
ความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร



รูปที่ 5-31 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS5

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทาน ไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีความมากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 3 นาที

ความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร



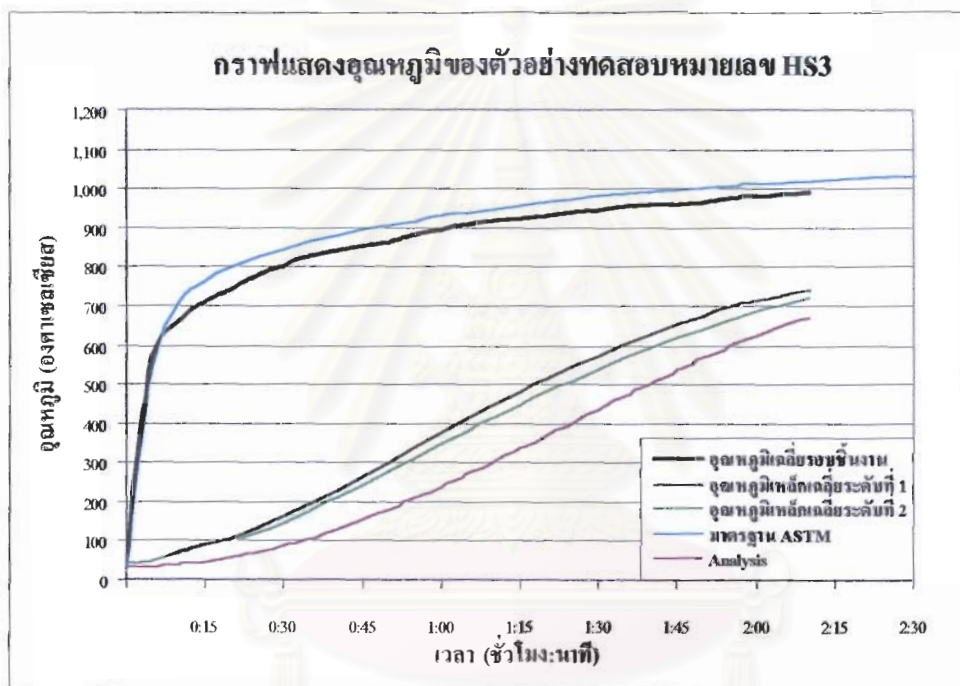
รูปที่ 5-32 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS8

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 7 นาที

3. W 200 mm x 56.2 kg

จะทำการวิเคราะห์เหล็กรูปพรรณขนาด H 200x200x12x12 mm ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 มม.² โดยจะศึกษาที่ความหนาของการเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ประมาณ 2 เซนติเมตร, 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

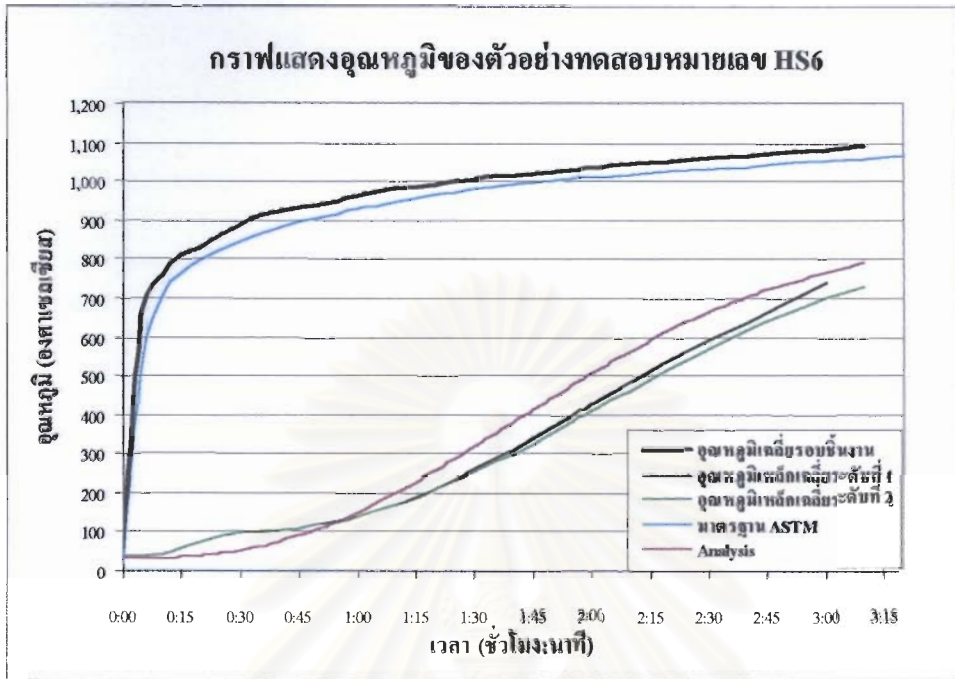
ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร



รูปที่ 5-33 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นตัวอย่างที่ HS3

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 21 นาที

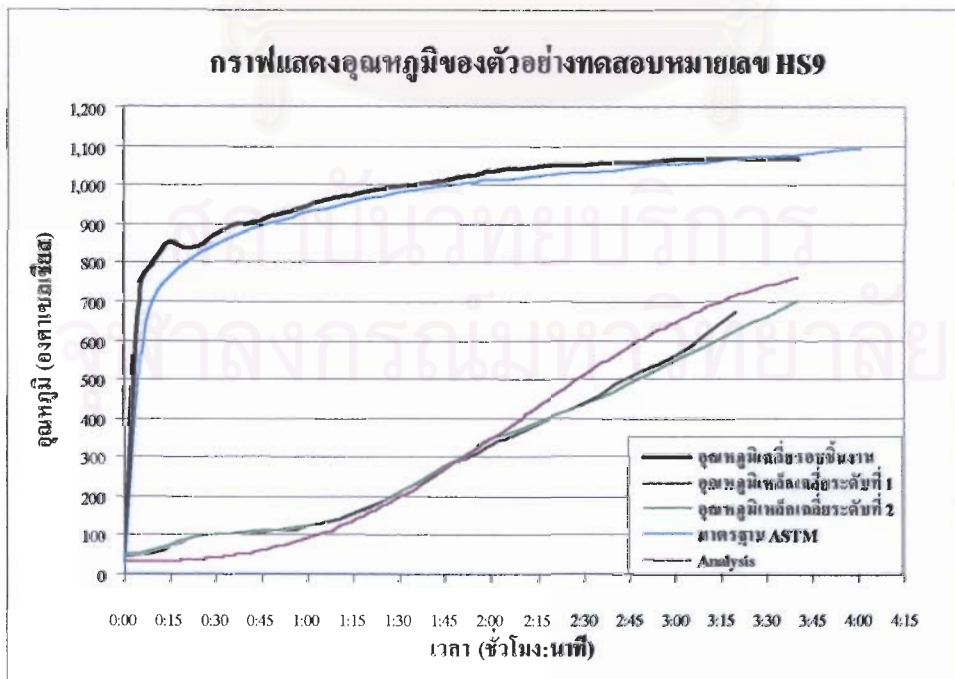
ความหนาประมาณ 3 เซนติเมตร



รูปที่ 5-34 แสดงผลการวิเคราะห์ห้ขึ้นตัวอย่างที่ HS6

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการด้านทาน ไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป่องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์ห้จะมีค่าน้อยกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 15 นาที

ความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร



รูปที่ 5-35 แสดงผลการวิเคราะห์ห้ขึ้นตัวอย่างที่ HS9

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบพบว่าอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจะมีค่าน้อยกว่าผลการทดสอบอยู่ประมาณ 15 นาที



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



6.1 ทั่วไป

6.1.1 จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟจะได้สัดส่วนผสมที่เหมาะสม 6 สัดส่วนผสมที่นำมาใช้ในการเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเพื่อป้องกันไฟ โดยมีสัดส่วนผสมดังตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1 แสดงปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม (%)			หน่วย
	ส่วนผสม1	ส่วนผสม2	ส่วนผสม3	
ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1	1	1	1	หน่วยน้ำหนัก
แร่เพอร์ไลต์	50%	100%	150%	% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์
สารกักกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Agent)	0.04%	0.03%	0.02%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
เมทซิลเซลลูโลส (Methlycellulose)	0.75%	0.50%	0.25%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Latex)	0%	1%	2%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
น้ำ	60%	100%	120%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง

ตารางที่ 6-1 (ต่อ) แสดงปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสม (%)			หน่วย
	ส่วนผสม4	ส่วนผสม5	ส่วนผสม6	
ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1	1	1	1	หน่วยน้ำหนัก
แร่เพอร์ไลต์	200%	250%	300%	% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์
สารกักกระจายฟองอากาศ (Air Entraining Agent)	0.02%	0.01%	0%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
เมทซิลเซลลูโลส (Methlycellulose)	0.25%	0%	0%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
สารเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Latex)	3%	4%	5%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง
น้ำ	140%	150%	165%	% โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง

6.1.2 จากผลการศึกษาอัตราการต้านทานไฟของกรณีศึกษาที่ 1 ทำให้ทราบว่าสัดส่วนผสมที่ 3 และสัดส่วนผสมที่ 4 ดังในตารางที่ 6-1 เป็นสัดส่วนผสมที่มีอัตราในการต้านทานไฟสูงกว่าสัดส่วนผสมอื่นๆ นั่นคือปริมาณเพอร์ไลต์ในสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่นำมาใช้ผลิตวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟควรมีค่าเป็น 150% และ 200% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1

6.1.3 จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบในกรณีศึกษาที่ 1 ทำให้ทราบว่าค่าความหนาแน่น, ค่าความร้อนจำเพาะและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟทั้ง 6 สัดส่วนผสมดังในตารางที่ 6-1 มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 6-2 และตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-2 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟ

ปริมาณเพอร์ไลต์ในสัดส่วนผสม (% โดยน้ำหนักของซีเมนต์)	ความหนาแน่น (kg/mm ³)	ค่าความร้อนจำเพาะ (mm ² /s ² .°C)
50	1.02605E-06	1.00E+09
100	7.98945E-07	1.02E+09
150	7.03E-07	1.03E+09
200	6.44E-07	1.08E+09
250	5.68E-07	1.10E+09
300	4.28E-07	1.15E+09

ตารางที่ 6-3 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟ

อุณหภูมิ °C	ค่าการนำความร้อน (Conduction ; K) mm ² /s					
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
0	2.03E+02	1.58E+02	5.77E+01	1.04E+02	1.88E+02	1.44E+02
100	1.64E+02	1.18E+02	4.18E+01	7.07E+01	1.25E+02	1.01E+02
200	1.41E+02	9.34E+01	3.97E+01	5.72E+01	8.75E+01	8.38E+01
300	1.32E+02	9.28E+01	3.97E+01	5.72E+01	8.75E+01	8.38E+01
400	1.30E+02	9.38E+01	3.97E+01	5.72E+01	8.75E+01	8.38E+01
500	1.50E+02	1.20E+02	4.28E+01	7.00E+01	9.38E+01	9.36E+01
600	1.80E+02	1.63E+02	8.00E+01	1.05E+02	1.05E+02	1.10E+02
700	2.27E+02	2.23E+02	1.53E+02	1.65E+02	1.95E+02	1.50E+02
800	3.20E+02	2.92E+02	2.50E+02	2.51E+02	3.27E+02	2.68E+02
900	4.50E+02	3.68E+02	3.69E+02	3.72E+02	5.08E+02	4.65E+02
1000	6.60E+02	4.59E+02	5.16E+02	5.39E+02	7.17E+02	7.05E+02

ซึ่งสามารถที่จะนำเอาค่าสัมประสิทธิ์นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าอัตราการต้านทานไฟของชั้นตัวอย่างได้โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไฟในอติเม้นต์ทางด้านความร้อนได้ และถ้าพิจารณาค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟทั้ง 6 สัดส่วนผสมที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าสัดส่วนผสมที่ 3 จะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าสัดส่วนผสมอื่นๆ จึงเป็นสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้เคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

6.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในสัดส่วนผสมที่เหมาะสมอันได้แก่สัดส่วนผสมที่ 3 และสัดส่วนผสมที่ 4 ดังข้อ 6.1.2 มีค่าดังตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-4 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแต่ละสัดส่วนผสม

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ	ค่าจากการทดสอบ			หน่วย
	ส่วนผสมที่1	ส่วนผสมที่2	ส่วนผสมที่3	
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	0.094	0.071	0.066	W/m.K
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว Primer	1.74	1.41	0.87	kg/cm ²
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว Non-Primer	3.48	3.05	2.50	kg/cm ²
กำลังรับแรงอัด	30.47	20.54	17.10	kg/cm ²

ตารางที่ 6-4 (ต่อ) แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแต่ละสัดส่วนผสม

คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิว เหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ	ค่าจากการทดสอบ			หน่วย
	ส่วนผสมที่4	ส่วนผสมที่5	ส่วนผสมที่6	
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	0.064	0.057	0.055	W/m.K
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว Primer	0.76	0.54	0.44	kg/cm ²
กำลังรับแรงยึดเหนี่ยว Non-Primer	2.29	1.52	1.09	kg/cm ²
กำลังรับแรงอัด	16.22	11.64	7.88	kg/cm ²

6.1.5 คุณสมบัติด้านอัตราการต้านทานไฟภายใต้กราฟไฟมาตรฐานการทดสอบ ASTM E119 ของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในทั้ง 6 สัดส่วนผสมมีค่าดังตารางที่ 6-5

ตารางที่ 6-5 แสดงอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟทั้ง 6 สัดส่วนผสม

Sample	Size	Hp/A m ⁻¹	Thickness mm	Critical Temp.= 538 °C				
				Failure Time		Area °C.sec	ASTM Equivalent Time	
				min.	hh:mm:ss		min.	hh:mm:ss
H%1	H 150 x 150 x 7 x 10 mm	221	34	109.29	1:49:17	5,626,325	109.29	1:49:17
H%2	H 150 x 150 x 7 x 10 mm	221	35	124.22	2:04:12	6,235,863	119.24	1:59:14
H%3	H 150 x 150 x 7 x 10 mm	221	35	145.36	2:25:21	7,951,344	146.47	2:26:28
H%4	H 150 x 150 x 7 x 10 mm	221	33	124.65	2:04:39	6,651,015	125.07	2:05:04
H%5	H 150 x 150 x 7 x 10 mm	221	33	114.13	1:54:07	5,660,610	109.77	1:49:46
H%6	H 150 x 150 x 7 x 10 mm	221	36	107.76	1:47:45	5,722,983	107.76	1:47:45

6.1.6 จากกราฟวิเคราะห์ผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ความหนาและค่าองค์ประกอบหน้าตัดต่าง ๆ กัน ที่ได้จากการทดสอบในกรณีศึกษาที่ 2 ทำให้สามารถที่จะวิเคราะห์หาอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟสำหรับเหล็กรูปพรรณที่มีขนาด W150mm x 31.5 kg (H150x150x7x10mm) ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 221 m⁻¹, W175mm x 40.2kg (H175x175x7.5x11mm) ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 202 m⁻¹ และ W200mm x 56.2kg (H200x200x12x12mm) ที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดเท่ากับ 167 m⁻¹ ที่ความหนาต่าง ๆ กัน ได้ดังสมการที่ 6-1 ถึงสมการที่ 6-6 สำหรับความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟระหว่าง 0 – 40 มิลลิเมตร โดยสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้คือ

สัดส่วนผสมที่ 3	$y = 6.0864x^2 + 1.521x + 777.68$;H150x150x7x10mm
	$y = 4.1889x^2 + 76.316x + 816.26$;H175x175x7.5x11mm
	$y = 3.9151x^2 + 112.94x + 880.6$;H200x200x12x12mm
สัดส่วนผสมที่ 4	$y = 5.7871x^2 + 0.3149x + 764.7$;H150x150x7x10mm
	$y = 2.6404x^2 + 110.3x + 775.8$;H175x175x7.5x11mm
	$y = 3.3861x^2 + 104.5x + 880.53$;H200x200x12x12mm

โดย y คือ อัตราการต้านทานไฟมีหน่วยเป็นวินาที
 x คือ ความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

6.1.7 สามารถที่จะคำนวณหาอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟโดยนำเอาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, ความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและค่าการแผ่รังสี สำหรับวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบมา ไปคำนวณโดยใช้โปรแกรมไฟในออลิเมนต์

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ในการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการทดสอบคุณสมบัติด้านการต้านทานไฟโดยการเผาขึ้นตัวอย่าง เหล็กรูปพรรณเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิได้เพียงอุณหภูมิเฉลี่ยภายใน เตาเผาเท่านั้น แต่จะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิรอบขึ้นตัวอย่างทุกชั้นให้มีอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาเทียบเท่ากับ กราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 ได้ทั้งหมด และในบางตำแหน่งภายในเตาเผาจะมีอุณหภูมิที่ต่างจะตำแหน่งอื่น ในเตาเผามากถึงทำให้ขึ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบพร้อมกันอาจได้รับความรุนแรงของการเผาที่แตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องในการทดสอบแต่ละครั้งควรทำการทดสอบขึ้นตัวอย่างเพียงขึ้นตัวอย่างเดียวใน การทดสอบแต่ละครั้ง

6.2.2 ในการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติด้านการต้านทานไฟของขึ้นตัวอย่างในส่วนของ การพ่นวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟบนเหล็กรูปพรรณ ควรทำการพ่นเป็นชั้นๆทีละชั้นบางๆ เพื่อให้ได้ความหนาตาม ที่ต้องการ

6.2.3 ในการวิจัยนี้ศึกษาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในช่วงเวลาสั้นหลังจากทำ การติดตั้งวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟลงบนเหล็กรูปพรรณ จึงทำให้ทราบคุณสมบัติและพฤติกรรมของขึ้นตัวอย่าง ในเวลาระยะสั้นเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาต่อไปควรทำการศึกษาวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกัน ไฟในเวลาระยะยาวต่อไป

6.2.4 เหล็กรูปพรรณที่ใช้ในการวิจัยนี้มีเพียงเหล็กรูปพรรณรูปร่างเดียวและมีเพียง 3 ขนาดที่แตกต่างกัน ทางด้านค่าองค์ประกอบหน้าตัด และจากผลการทดสอบจะเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเหล็กรูปพรรณจะ ส่งผลให้อัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ในการศึกษาต่อไปควรรวณาเอาเหล็กรูปพรรณรูปร่างอื่นๆ และขนาดหน้าตัดอื่นๆซึ่งมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดที่แตก ต่างจากงานวิจัยนี้มาทำการศึกษาต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รายการอ้างอิง

1. 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) .
2. Smith, R.H. Improving the Fire Endurance of Concrete with Gypsum Aggregate. ACI Journal 69 , October 1972.
3. Lie, T.T. and Harmathy, T.Z. Fire Endurance of Concrete-Protected Steel Columns. ACI Journal 71 , January 1974.
4. 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.
5. 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.
6. William A. Rains. A New Era in Fire Protection Coatings for Steel. Civil Engineering- ASCE , September 1976.
7. J.C. Payne B. Sc. Fire Protection for Steel Structures by Direct Sprayed Materials. Presented at 1st Conference on Structural Engineering. Manila , October 1981.
8. Bardell, K. Spray-Applied Fire Resistive Coatings for Steel Building Columns. Fire Resistive Coating : The Need for Standards ASTM, SPT 826 (1983) : 40-55
9. Lee, T.T. Temperature of Protected Steel in Fire. Symposium No. 2 : Behaviour of Structural Steel in Fire , Fire Research Station , 1968 : 100-110.
10. Yoshihiko Ohama. Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes . ACI Materials Journal , 1987.
11. Louis A. Kuhlmann. Test Method for Measuring the Bond Strength of Latex-Modified Concrete and Mortar. ACI Materials Journal , 1990.

12. Ingberg S. H. Tests of severity of building fires. NFPA Quarterly 22 : 43, 1928.
13. Harmathy T.Z. Effect of moisture on the fire endurance of building elements. In Moisture in Materials in Relation to Fire Tests, ASTM STP 385, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1965: 74.
14. A. Petzold and M. Rohrs. Concrete for high Temperatures. London : Maclaren and Sons ,1970.
15. Seymour I.Kawaller. Fireproof Coating. New York : Paint Handbook , McGraw-Hill Book , 1981.
16. John A. Purkiss. Fire Safety Engineering Design of Structures. Boston : Butterworth Heinemann, 1996.
17. T.Z. Harmathy. Fire Safety Design and Concrete. New York : John Wiley & Sons , 1993.
18. Andrew H. Buchanan. Structural Design for Fire Safety. New York : John Wiley & Sons , 2000.
19. Neil Schultz. Fire And Flammability Handbook. New York : Van Nostrand Reihold Company ,1952.
20. นิคม จิงอยู่สุข. ประโยชน์ของหินภูเขาไฟเนื้อแก้วเพอร์ไลต์ในงานอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการประชุมเหมืองแร่ประจำปี2531 6 (วันที่ 17-19 สิงหาคม 2531): 133-138.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

มาตรฐานการทดสอบ



มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของเพอร์ไลต์

มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนักของแร่เพอร์ไลต์

งานวิจัยนี้จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29 (Standard Test for Unit Weight and Voids in Aggregate)

อุปกรณ์ประกอบด้วย ภาชนะบรรจุทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 57 มิลลิเมตร สูง 90 มิลลิเมตร, เหล็กค้ำขนาด 16 มิลลิเมตร, เหล็กปาดหน้า, เครื่องชั่ง, ซ้อนคัก

วิธีการทดสอบ ทำได้โดยชั่งภาชนะเปล่า นำเพอร์ไลต์ใส่ลงในภาชนะบรรจุ ใช้เหล็กค้ำค้ำให้แน่น ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ นำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนักจากน้ำหนักวัสดุเคลือบผิวเหล็กในถังหารด้วยปริมาตรของถัง

มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของแร่เพอร์ไลต์

งานวิจัยนี้จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128 (Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate)

อุปกรณ์ประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 กรัม, ขวดทดลองรูปชมพู่ (Volumetric Flask) ขนาดความจุ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร, เหล็กกระทุ้ง (Tampor), ตู้อบ, เทอร์โมมิเตอร์, ถาดสแตนเลส

วิธีการทดสอบ ทำได้โดยชั่งน้ำหนักเพอร์ไลต์ที่จะนำมาทดสอบ S, ต่อมาเทเพอร์ไลต์ลงในขวดชมพู่ แล้วใช้น้ำล้างขวดพร้อมใส่ฟองอากาศจนน้ำถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักขวดชมพู่ C, เทเพอร์ไลต์ออกจากขวดชมพู่ใส่ภาชนะแล้วนำเข้าไปอบในเตาอบ อบให้แห้งจนน้ำหนักเพอร์ไลต์คงที่, นำเอาเพอร์ไลต์ที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก A, เติมน้ำใส่ในขวดชมพู่จนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก B แล้วนำเอาค่าที่ได้บันทึกไปคำนวณ

มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติด้านขนาดคละของแร่เพอร์ไลต์

งานวิจัยนี้จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C136 (Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)

อุปกรณ์ประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 กรัม, ตู้อบ, เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Mechanical Sieve Shaker), ตะแกรงร่อนมาตรฐาน ASTM C33

วิธีการทดสอบ ทำได้โดยทำการเตรียมเพอร์ไลต์, นำเพอร์ไลต์ไปอบจนน้ำหนักคงที่, นำตะแกรงร่อนมาวางซ้อนกัน, เทเพอร์ไลต์ลงในตะแกรงร่อนแล้วปิดฝาให้แน่นแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าพร้อมทั้งเขย่า, ชั่งน้ำหนักเพอร์ไลต์ที่ค้างแต่ละตะแกรง, นำค่าน้ำหนักในตะแกรงแต่ละชั้นไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ค้างบนตะแกรง, เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสมบนตะแกรง, เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสมบนตะแกรงแต่ละชั้น และค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.)

มาตรฐานที่ใช้การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวโครงสร้างเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ

มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติด้านความสามารถในการทำงานได้

งานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบการไหลตัว (Flow Test) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 230-90 (Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement)

อุปกรณ์ประกอบด้วย โต๊ะเขย่า (Flow Table) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.4 ซม. หน้า 2.5 ซม., แบบหล่อรูปกรวยกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 171 มม. และเส้นผ่าศูนย์กลางด้านล่าง 254 มม. , เหล็กกระทุ้ง ขนาด 16 มม.

วิธีการทดสอบ ทำได้โดยทำการวางกรวยคว่ำลงกลางโต๊ะเขย่าให้ตรงรอยขีด ตักวัสดุเคลือบผิวสกลงในแบบโดยแบ่งเป็น 2 ชั้น ในแต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งจำนวน 25 ครั้งต่อชั้น และยกแบบหล่อกรวยออกในแนวตั้ง ทำการหมุนให้โต๊ะเขย่ายกกระแทกเป็นระยะความสูง 12.7 มม. เป็นจำนวน 25 ครั้ง ในเวลา 15 วินาที ทำการวัดค่าเส้นผ่าศูนย์กลางที่แผ่ออกโดยวัดสองแนวที่ตั้งฉากกัน ค่าการไหลตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กนี้คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางที่วัดได้

มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษามาตรฐาน ASTM C109 (Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens))

อุปกรณ์ประกอบด้วย แบบหล่อชิ้นตัวอย่างขนาด 50x50x50 mm , เครื่องผสมไฟฟ้า, เหล็กกระทุ้ง, เตอบ, เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

วิธีการทดสอบ ทำการผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟด้วยเครื่องผสม แล้วทำการหล่อในแบบหล่อ, ใช้เหล็กกระทุ้งเป็นชั้นๆ 2 ชั้นโดยกระทุ้งชั้นละ 32 ครั้ง, ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมงแล้วถอดแบบออก, นำชิ้นตัวอย่างไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 3,7,14,21,28 วันแล้วนำเอาชิ้นตัวอย่างไปวัดขนาดโดยใช้เวอร์เนีย, หลังจากนั้นขีดผิวชิ้นตัวอย่างให้แห้งนำไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด แล้วนำเอาค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในระยะเวลาการบ่มต่างๆกัน

มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟ

งานวิจัยนี้จะทำการวัดหาค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยว Cohesive/Adhesive หรือ Bond Strength ที่ตั้งฉากกับพื้นที่ผิวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟชนิดพ่น โดยการทดสอบนี้จะยึดตาม ASTM E736 (Standard Test Method for Cohesive/ Adhesive of Sprayed Fire)

อุปกรณ์ประกอบด้วย Bottle Screw Cap เป็นโลหะรูปร่างแหวนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 83 mm และมีความลึก 12 mm และจะมีตะขอยึดตรงกลางของ Cap , Galvanized Steel Sheet เป็นแผ่นเหล็กขนาด 300 x 300 mm² หน้า 4 mm และทำการกำจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกบริเวณผิวแผ่นเหล็ก , Weighing Scale ตะขอจะทำหน้าที่รับ Load ที่เหมาะสมซึ่งสำหรับวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟปกติจะอยู่ที่ประมาณ 12 kg ถึง 30 kg และความถูกต้องของการให้ Load จะอยู่ที่ประมาณ 0.1 kg

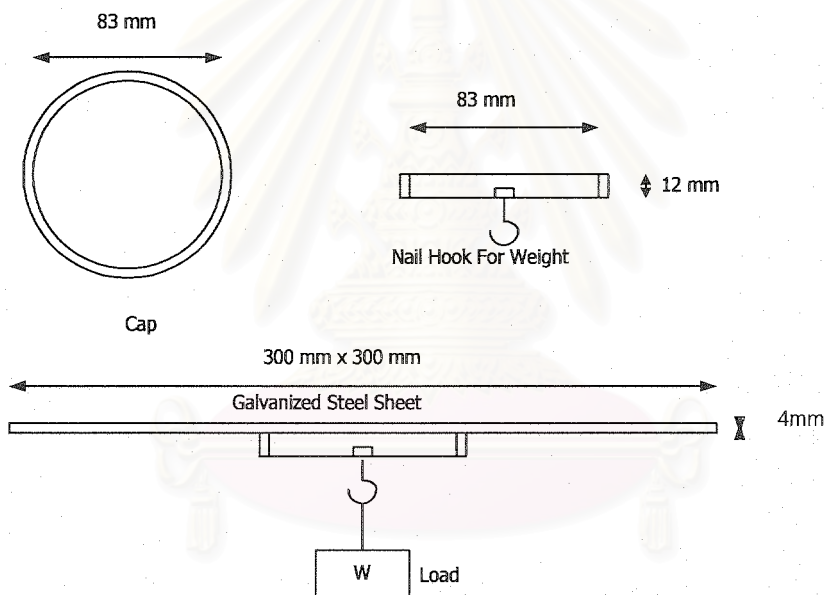
วิธีการทดสอบ ทำได้โดยนำเอาวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟมาพ่นลงบนแผ่นเหล็ก Galvanized Steel Sheet และจะอยู่ใน Bottle Screw Cap รอจนวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟนี้แห้งและแข็งตัวติดกับแผ่นเหล็ก Galvanized Steel Sheet ทำการใส่ Load ให้กับตะขอที่ยึดติดกับวัสดุเคลือบผิวป้องกัน

กันไฟ โดยมีการเพิ่ม Load ขึ้นในอัตรา 5 kg / นาที ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัสกับแผ่นเหล็ก ทำการใส่ Load จนกระทั่งเกิดการพังทลายซึ่งอาจเกิดจากในเนื้อวัสดุเคลือบผิวเอง หรือ เกิดจากบริเวณผิวสัมผัสของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟกับผิวแผ่นเหล็ก ทำการจดบันทึกค่า Load ณ.เวลาที่เกิดการพังของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ การคำนวณหาค่า Cohesive/ Adhesive Force (Bond Strength) ได้ดังนี้

$$C_A = F / A \quad (ก-1)$$

โดย

C_A	คือ	ค่า Cohesive/ Adhesive Force
F	คือ	ค่า Load ที่ได้จดบันทึกไว้ ณ.เวลาที่เกิดการพังของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ
A	คือ	พื้นที่ผิวของ Cap



รูปที่ ก-1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาค่าแรงยึดเหนี่ยว

มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติด้านการหดตัว (Shrinkage)

งานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบหาค่าการหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ โดยใช้เกณฑ์ในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 490

วิธีการทดสอบ ทำโดยการใช้แท่งตัวอย่างขนาด $1 \times 1 \times 1 \frac{1}{4}$ นิ้ว หลังจากหล่อตัวอย่างแล้ว จะทำการคลุมด้วยกระดาษชุบน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงถอดแบบนำแท่งไปแช่น้ำ 15 นาที นำขึ้นจากน้ำวัดความยาวของแท่งตัวอย่างด้วยเกจที่มีความละเอียดถึง 0.0001 นิ้ว เนื่องจากไม่สามารถวัดความยาวของแท่งตัวอย่างในขณะที่อยู่ในสภาวะพลาสติกได้ จึงถือว่าความยาวในขณะนี้เป็นความยาวเริ่มต้นของแท่งตัวอย่าง จากนั้นนำแท่งตัวอย่างไปแช่น้ำจนครบ 3 วัน แล้วจึงนำขึ้นจากน้ำทิ้งไว้ในอากาศ ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-35 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 75- 80 % วัดการเปลี่ยนแปลงความยาวตามเวลาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 3 เดือน

ทั้งนี้ การเก็บตัวอย่าง การบ่ม การวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 157 จากนั้นนำผลการหดตัวมาเขียนความสัมพันธ์เทียบกับเวลา โดยที่แกนการหดตัวเป็นมาตราส่วนแบบลอจ และแกนเวลาเป็นมาตราส่วนแบบผกผัน

มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติด้านการนำความร้อน

งานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 – 85 (Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus)

วิธีการทดสอบ การเตรียมแผ่นตัวอย่างขนาด 1 นิ้ว x 1 ฟุต x 1 ฟุต มา 2 แผ่น ใส่ลงในเครื่องทดสอบ ให้อยู่ระหว่าง Hot Plate และ Cold Plate ดังแสดงในรูปที่ 3-1 จากนั้นก็ให้ความร้อนจาก Heater ถ่ายเทเข้า Hot Plate ผ่านตัวอย่างทั้ง 2 เข้าสู่ Cold Plate ทั้ง 2 ข้าง เมื่อถึงภาวะสมดุลย์ (ประมาณ 6 ถึง 7 ชั่วโมง) ซึ่งอุณหภูมิของผิวตัวอย่างทั้ง 2 ด้านจะคงที่ จึงอ่านค่าต่างๆ เพื่อนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K-Value) ดังสมการ

$$K = \frac{Q}{A} \left(\frac{L}{T_2 - T_1} \right) \quad \text{ที่สภาวะสมดุลย์} \quad (ก-2)$$

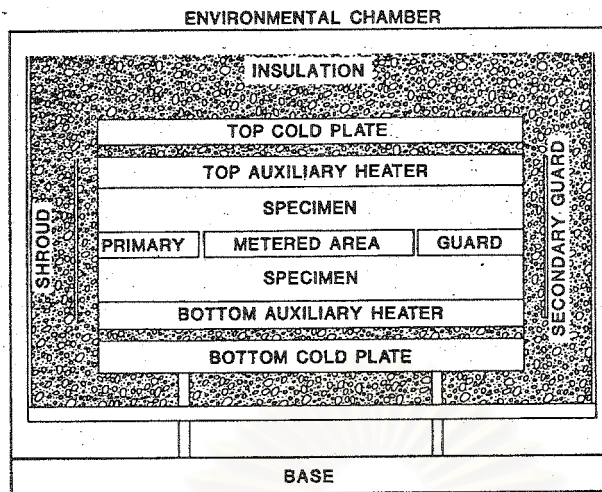
โดย

Q	คือ	ความร้อนที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A
L	คือ	ความหนาของตัวอย่าง
$T_2 - T_1$	คือ	อุณหภูมิที่แตกต่างที่ผิวทั้ง 2 ด้านของตัวอย่าง

Heater เป็นขดลวดความร้อน ทำด้วยอัลนิโครมประกอบด้วยแผ่นทองแดง (Hot Plate) และมี Guard Hot Plate เป็นกรอบล้อมรอบเพื่อกั้นการไหลของความร้อนจาก Hot Plate ออกสู่ด้านข้าง โดยใช้หลักที่ว่าเมื่อจุด 2 จุดที่มีอุณหภูมิเท่ากันจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างจุด 2 จุดนั้น ดังนั้นจึงควบคุมอุณหภูมิของ Hot Plate และ Guard Hot Plate ให้เท่ากัน (ต่างกันไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส)

Cold Plate เป็นทองแดงหล่อด้วยน้ำเย็น และสามารถควบคุมการไหลของน้ำทั้ง 2 ด้านให้มีอัตราการไหลเท่ากันได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-2 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

มาตรฐานการทดสอบการต้านทานไฟขององค์อาคารและวัสดุ

งานวิจัยในครั้งนี้จึงได้ยึดเอามาตรฐาน ASTM E119 (Standard Test Method for Fire Tests of Building Construction and Materials) เป็นแนวทางในการทดสอบการต้านทานไฟโดยมาตรฐาน ASTM E119 แบ่งการทดสอบการต้านทานไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. การทดสอบการต้านทานไฟแบบที่มีการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแคว่ตัวอย่างทดสอบในระหว่างทดสอบ
2. การทดสอบการต้านทานไฟแบบที่ไม่มีการให้น้ำหนักบรรทุกทุกแคว่ตัวอย่างทดสอบในระหว่างทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการทดสอบแบบที่ไม่มีการให้น้ำหนักบรรทุกมาใช้ทดสอบเนื่องจากถือว่าวัสดุกันไฟที่ใช้ทดสอบทำหน้าที่เป็นตัวฉนวนกันไฟเพียงอย่างเดียวเท่านั้นและต้องการดูเฉพาะผลการถ่ายเทความร้อนจากไฟผ่านวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟไปยังเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเท่านั้น

การควบคุมอุณหภูมิไฟ

มาตรฐาน ASTM E119 ได้ทำการจำลองสภาพไฟไหม้จริงในการทดสอบ โดยอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา (Temperature – Time Relation) ซึ่งกราฟนี้ได้มาจากสมมติฐาน 2 ประการคือ

1. อัตราการต้านทานไฟขององค์อาคารขึ้นอยู่กับ “ ความรุนแรงของไฟ (Fire Severity) ” เพียงอย่างเดียว โดยความรุนแรงของไฟที่เกิดขึ้นในอาคารหรือเกิดจากการจำลองของเตาทดสอบคือพื้นที่ใต้กราฟของอุณหภูมิ-เวลา
2. ความรุนแรงของไฟขึ้นอยู่กับความเข้มของปริมาณไฟ เพียงอย่างเดียว (Fire Load Density)

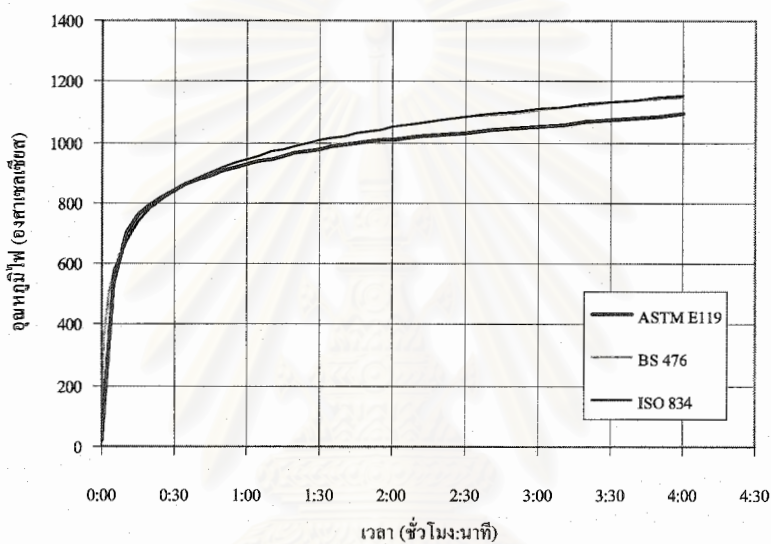
ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-เวลาของกราฟไฟมาตรฐานเป็นไปตามสมการ

$$T - T_0 = 345 \cdot \text{Log}(8t + 1) \quad (\text{ก-3})$$

โดย

T	คือ	อุณหภูมิเตาที่เวลา t , องศาเซลเซียส
T_0	คือ	อุณหภูมิ ณ เวลาเริ่มต้น, องศาเซลเซียส
t	คือ	เวลาในหน่วยนาที่นับตั้งแต่เริ่มการทดสอบ

กราฟอุณหภูมิไฟ-เวลา หรือ กราฟไฟตามมาตรฐานการทดสอบต่างๆ



รูปที่ ก-3 กราฟแสดงอุณหภูมิไฟ-เวลา หรือกราฟไฟตามมาตรฐานการทดสอบการทนไฟต่างๆ

อีกทั้งมาตรฐาน ASTM E119 มีข้อกำหนดให้การทดสอบการต้านทานไฟจะต้องควบคุมอุณหภูมิของไฟให้เป็นไปตามกราฟอุณหภูมิไฟ-เวลามาตรฐานหรือกราฟไฟมาตรฐานดังรูปที่ ก-3 โดยยอมให้มีผลคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

ตารางที่ ก-1 แสดงความผิดพลาดของพื้นที่ได้กราฟไฟที่มาตรฐาน ASTM E119 ยอมให้

ช่วงเวลา	ความผิดพลาดของพื้นที่ได้กราฟที่ยอมให้
ช่วงเวลาทดสอบ 0 ถึง 1 ชั่วโมง	10%
ช่วงเวลาทดสอบ 1 ถึง 2 ชั่วโมง	7.5%
ช่วงเวลาทดสอบ 2 ชั่วโมงขึ้นไป	5%

ในกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่กำหนด ASTM E119 กำหนดให้ต้องมีการปรับแก้ข้อมูลทดสอบ โดยบวกเพิ่มข้อมูลทดสอบที่ได้ด้วยค่าปรับแก้ดังต่อไปนี้

$$C = \frac{2(A - A_s)}{3(A_s + L)} I \quad (\text{ก-4})$$

โดย

- C = ค่าปรับแก้ข้อมูลทดสอบ
- I = ระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง
- A = พื้นที่ใต้กราฟอุณหภูมิไฟ-เวลาจากการทดสอบจริงภายในเวลาสามในสี่ของระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง
- A_s = พื้นที่ใต้กราฟอุณหภูมิไฟ-เวลาของกราฟไฟมาตรฐานในช่วงระยะเวลาทนไฟที่ทดสอบได้จริง
- L = ค่าปรับแก้เนื่องจากผลของความล่าช้าของเทอร์โมคัปเปิลในช่วงแรกของการทดสอบ = 1800 °C.min.

ตัวอย่างทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

มาตรฐาน ASTM E119 กำหนดความยาวขั้นต่ำของตัวอย่างทดสอบเป็น 2.40 และ 3.70 ม.สำหรับโครงสร้างประเภทเสาและคานตามลำดับ บริเวณส่วนหัวและท้ายของตัวอย่างทดสอบจะต้องจัดให้มีความต้านทานความร้อนเพียงพอเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากไฟเข้าที่ปลายตัวอย่างทดสอบ ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple) บนตัวอย่างทดสอบเป็น 4 ระดับหรือหน้าตัดแต่ละระดับมีระยะห่างเท่าๆกันโดยให้ระดับหัวและท้ายอยู่ห่างจากปลายเป็นระยะ 0.6 ม. แต่ละระดับหรือหน้าตัดติดเทอร์โมคัปเปิลอย่างน้อย 3 หรือ 4 ตำแหน่ง

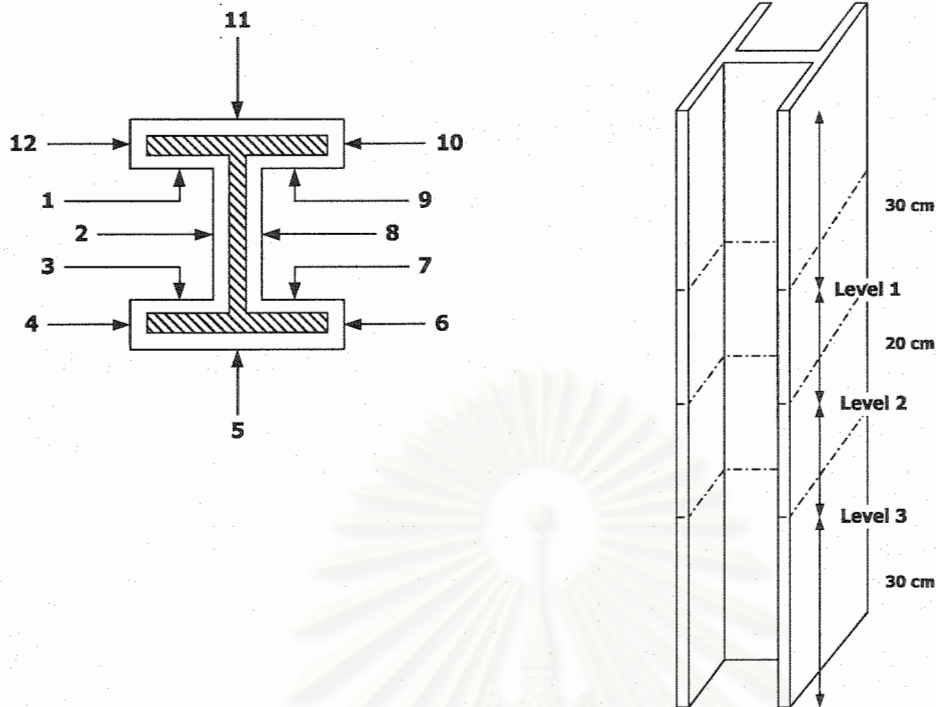
เกณฑ์สิ้นสุดความสามารถทนไฟของโครงสร้าง

มาตรฐาน ASTM E119 กำหนดเกณฑ์สิ้นสุดความสามารถทนไฟขององค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณไว้ดังนี้คือ

- 1) เมื่อค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับหรือหน้าตัดใดๆ ถึง 538 องศาเซลเซียส (1000 องศาฟาเรนไฮต์) หรือ
- 2) เมื่อค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใดๆ ถึง 649 องศาเซลเซียส (1200 องศาฟาเรนไฮต์)

มาตรฐานการทดสอบค่าความหนาและความหนาแน่นของวัสดุพ่นกันไฟ (ASTM E605)

งานวิจัยนี้จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E605 (Standard Test Methods for Thickness and Density of Sprayed Fire-Resistive Material (SFRM) Applied to Structural Members) โดยการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวัดค่าความหนาและความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟชนิดพ่น โดยจะทำการวัดความหนาของชั้นตัวอย่าง 3 ระดับ แต่ละระดับจะทำการวัด 12 จุด ดังรูปที่ ก-4



รูปที่ ก-4 แสดงระดับและจุดที่ทำการวัดค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

ค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ คือ ค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้
 ค่าความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ เท่ากับ $D = \frac{W}{l \times w \times t}$ (ก-5)

โดย

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)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลและผลการทดสอบ

เพอร์ไลต์

1.ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนัก

ตารางที่ ข-1 แสดงคุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนักของเพอร์ไลต์

ตัวอย่างที่	1	2	3	เฉลี่ย
น้ำหนักภาชนะบรรจุ (กรัม)	541.00	541.00	541.00	
น้ำหนักเพอร์ไลต์ + ภาชนะบรรจุ (กรัม)	649.10	653.00	661.00	
น้ำหนักเพอร์ไลต์ (กรัม)	108.10	112.00	120.00	
น้ำหนักน้ำ + ภาชนะบรรจุ (กรัม)	770.60	761.50	766.40	
น้ำหนักน้ำ (กรัม)	229.60	220.50	225.40	
ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.00	1.00	1.00	
ปริมาตรของภาชนะบรรจุ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	229.60	220.50	225.40	
ความหนาแน่นของเพอร์ไลต์ (กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.47	0.51	0.53	0.50

2.ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเพอร์ไลต์

ตารางที่ ข-2 แสดงคุณสมบัติทางด้านความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของเพอร์ไลต์

จีนตัวอย่างที่	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนักของภาชนะ	66.60	60.20	60.30	
น้ำหนักของภาชนะ+Perlite	167.70	160.80	163.10	
น้ำหนักของ Perlite ที่ SSD	101.10	100.60	102.80	
น้ำหนักขวดชมฟู	157.80	157.80	157.80	
น้ำหนักขวดชมฟู+perlite+น้ำ	622.20	622.20	622.20	
น้ำหนักขวดชมฟู+น้ำ	654.10	656.60	656.60	
น้ำหนักของ Perlite แห้ง+ ภาชนะ	129.80	128.90	128.50	
น้ำหนักของ Perlite แห้ง	63.20	68.70	68.20	
% Absorbtion	59.97	46.43	50.73	52.38
Bulk Specific Gravity สภาพแห้ง	0.48	0.51	0.50	0.49
Bulk Specific Gravity อิมตัวผิวแห้ง	0.76	0.75	0.75	0.75
Apparent Specific Gravity	0.66	0.67	0.66	0.67

3.ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านขนาดคละของเพอร์ไลต์

ตารางที่ ข-3 แสดงคุณสมบัติทางด้านขนาดคละของเพอร์ไลต์

ขนาดตระแกรง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง				
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	เฉลี่ย
#4	-	-	-	-	-
#8	5.30	4.95	2.91	2.89	4.01
#16	13.91	14.21	23.83	25.00	19.24
#20	13.48	13.77	15.15	15.74	14.53
#30	17.06	18.65	12.76	13.45	15.48
#40	13.48	14.91	12.88	13.29	13.64
#50	9.53	9.71	12.12	11.71	10.77
#100	14.27	12.94	13.64	14.43	13.82
ถาดรอง	12.97	10.85	6.70	3.49	8.50
F.M.	3.30	3.40	3.67	3.80	3.54

วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อน

ตารางที่ ข-4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟที่ได้จากการทดสอบ

ตัวอย่างที่	ปริมาณเพอร์ไลต์ที่ใช้ % ของน้ำหนักซีเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ค่าความร้อนจำเพาะ (J/g.C)
1	50	0.094	1
2	100	0.071	1.0154
3	150	0.066	1.0259
4	200	0.064	1.0767
5	250	0.057	1.1
6	300	0.055	1.15



ที่ จว 0505/ 16835

ถึง นายสรวิทย์ ญาณเกียรติ์

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ จัดทำตัวอย่าง ตาม คำร้อง
 ลงวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544 เลขรับ 6886 วันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544


กอง ฟิสิกส์และวิศวกรรม

โทร. 0 2201 7130



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อจัดตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข	
ตามและผู้ส่งเรียก	ตรา ฯลฯ	ปฏิบัติกร	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เคลวิน)
วัสดุเคลือบผิวเหล็ก	-	VP.323	0.094
ป้องกันไฟที่มี			
เทอร์โมไลท์ผสมอยู่ 50%			


 (นายทัศนัย ทองทิพย์พร)
 นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะจัดตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
 - ไม่รับรองวัสดุหรือสินค้าที่ใส่รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง



ที่ จว. 0505/ 16836

ถึง นายตราวุฒิ ญาณภีร์

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัดผลตัวอย่าง ตาม คำร้อง
ลงวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544 เลขรับ 6886 วันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

กอง ฟิสิกส์และวิศวกรรม

โทร. 0 2201 7130



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข	
	ตรา ฯลฯ		
ตามและผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ	กำสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร. เคลวิน)
วัสดุเคลือบผิวเหล็ก	-	VP.324	0.071
ป้องกันไฟที่มี			
เพอร์ไลต์ผสมอยู่			100%

(Signature)
(นายกัศณีย์ ทองทิ้มพร)
นักวิทยาศาสตร์ 7 ๑

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

แบบ จค. 1



ที่ วว 0505/ 16837

ถึง นายสรวิทย์ ญาณภักดิ์

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัดจุดตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544 เลขรับ 6886 วันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

กอง ฟิสิกส์และวิศวกรรม

โทร. 0 2201 7130



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข	
	ตรา ฯลฯ		
ตามและผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร. เคลวิน)
วัสดุเคลือบผิวเหล็ก	-	VP.325	0.066
ป้องกันไฟไหม้			
เพอร์ไลท์ผสมอยู่ 150%			

(นายภักดิ์ ทองทีอัมพร)

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง



ที่ วจ 0505/16838

ถึง นายสรวิทย์ ญาณภริต

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง
ถึงวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544 เลขรับ 6886 วันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544


กอง พิสิกส์และวิศวกรรม

โทร. 0 2201 7130



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข	
ตามที่ผู้ส่งเรียก	ตรา ฯลฯ	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติกร
วัสดุเคลือบผิวเหล็ก	-	VP.326	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เคลวิน)
ป้องกันไฟที่มี			0.064
เทอร์โมไลท์ผสมอยู่ 200%			


(นายภักดิ์ ทองทิพย์พร)
นักวิทยาศาสตร์ 7-ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

แบบ ๑๘. ๓



ที่ จว ๐505/ 16839

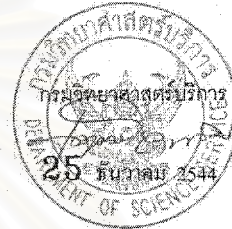
ถึง นายสรวิทย์ ญาณเกียรติ์

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง
ลงวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544 เลขรับ 6886 วันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

กอง ฟิสิกส์และวิศวกรรม

โทร. 0 2201 7130



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข		
ตามและผู้ส่งเรียก	ตรา ฯลฯ	ประเภทตัวอย่าง	ปฏิบัติการ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์ / เมตร. เคลวิน)
วัสดุเคลือบผิวเหล็ก	-	VP.327		0.057
ป้องกันไฟที่มี				
เพอร์ไลต์ผสมอยู่ 250%				

(นายทงตองพร)

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง



ที่ วศ 0505/ 16840

ถึง นายสรวิทย์ ญาอภีร์ดี

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัดจุดตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544 เลขรับ 6886 วันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2544

กอง พิสูจน์และวิศวกรรม

โทร. 0 2201 7130



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัดจุดตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข	
	ตรา ฯลฯ		
ตามและผู้ส่งเรียก	วิธีระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัดค/เมตร. เซลวิน)
วัสดุเคลือบผิวเหล็ก	-	VP.328	0.055
ป้องกันไฟที่มี			
เพอร์ไลท์ผสมอยู่			300%

(นายภักดิ์ ทองทิพย์พร)

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวิธีตัวอย่างที่ได้นำมาตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น

- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง



ที่ วศ 0505/ 6175

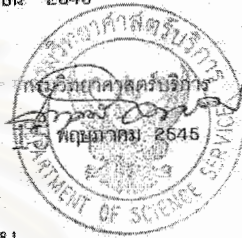
ถึง นายสรวิทย์ ญาณวิจิตร

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 2 เมษายน 2545 เลขรับ 2330 วันที่ 2 เมษายน 2545

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2545

กอง พิสิกส์และวิศวกรรม
โทร. 0 2201 7130



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข	ความร้อนจำเพาะ (จล/กรัม, เซลเซียส)
	ตรา ฯลฯ		
ตามผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ	
วัสดุเคลือบผิวเหล็ก	-	VW.424	1.0154
ป้องกันไฟชนิดที่มี			
เทอร์โมไลท์เป็นส่วนใหญ่			
ผสม 100 %			

ผู้รับรอง

(Signature)
(นายสรศักดิ์ จิตรไศรยวง)

หัวหน้ากลุ่มพิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1

ผู้ทดสอบ

(Signature)
(นายภักดิ์น้อย ทองทิพย์พร)

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองจัดซื้อหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง



ที่ วอ 0505/ 6178

ถึง นายสรวิทย์ ญาณภิรัต

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 2 เมษายน 2545 เลขรับ 2331

วันที่ 2 เมษายน 2545

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่

2 เมษายน 2545

กอง พิสิกส์และวิศวกรรม
โทร. 0 2201 7130

รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข	ความชื้นจำเพาะ (จุล/กรัม, เซลเซียส)
	ตรา ฯลฯ		
ตามและผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ	
วัสดุเคลือบผิวเหล็ก	-	วพ.425	1.0259
ป้องกันไอน้ำที่มี			
เทอร์โมไลท์เป็นส่วน			
ผลส่ง 150 %			

ผู้รับรอง

(นายสรวิทย์ จิตรโคตรวงษ์)

หัวหน้ากลุ่มพิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1

ผู้ทดสอบ

(นายถิกรณ์ ทองดีอมพร)

นักวิทยาศาสตร์ 74

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้: - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง



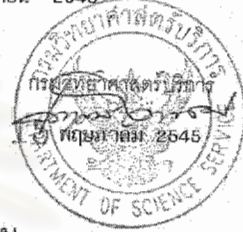
ที่ ๖๖ ๐๕๐๕/ 6177

ถึง นายสรวิทย์ ฤาษภักดิ์

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ จัดดูตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 2 เมษายน 2545 เลขที่ 2332 วันที่ 2 เมษายน 2545

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2545

กอง ศีลิสต์และวิศวกรรม
โทร. ๐ 22๐1 713๐

รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข	ความชื้นจำเพาะ (จุด/กรัม, เซลเซียส)
	ตรา ฯลฯ		
ตามชื่อผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ	
วัตถุเคลือบผิวเหล็ก	-	VW.426	1.0767
ป้องกันไฮดรอนิตที่มี			
เพอร์โลกเป็นส่วนใหญ่			
ผสม 200 %			

ผู้รับรอง

(นายสรวิทย์ จิตรไครสุวรรณ)

หัวหน้ากลุ่มพิธีลิสต์และวิศวกรรมทั่วไป 1

ผู้ทดสอบ

(นายกีตชัย ทองทีลิมทอง)

นักวิทยาศาสตร์ 7๖

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในกรณีโฆษณาหรืออ้างถึง

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ ข-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

ปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสม (%โดยน้ำหนักของซีเมนต์)	ตัวอย่างที่	แรงอัด (kg)	พื้นที่ (cm ²)	กำลังรับแรงอัด (kg/cm ²)	กำลังรับแรงอัดเฉลี่ย (kg/cm ²)
50	1	820.00	26.42	31.04	30.47
	2	720.00	26.06	27.63	
	3	850.00	25.96	32.74	
100	1	498.98	24.45	20.41	20.54
	2	486.24	24.23	20.07	
	3	513.76	24.30	21.15	
150	1	420.49	25.65	16.39	17.10
	2	417.94	25.85	16.17	
	3	480.63	25.65	18.74	
200	1	446.48	26.73	16.70	16.22
	2	405.20	27.04	14.99	
	3	452.09	26.63	16.98	
250	1	292.05	25.85	11.30	11.64
	2	290.52	25.29	11.49	
	3	307.34	25.30	12.15	
300	1	201.83	26.77	7.54	7.88
	2	226.81	26.57	8.54	
	3	200.31	26.52	7.55	

3. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยว

การทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวจะทำการทดสอบเป็น 2 ส่วนคือ ในส่วนแรกจะศึกษากำลังรับแรงยึดเหนี่ยวในกรณีที่ไม่มีการลงสีรองพื้นที่ผิวของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ได้ผลดังตารางที่ ข-6

ตารางที่ ข-6 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยที่ไม่มีการลงสี
รองพื้นบนผิวเหล็กรูปพรรณ

ปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสม (%โดยน้ำหนักของซีเมนต์)	แรงดึง (kg)	พื้นที่ (cm ²)	กำลังรับแรงดึง (kg/cm ²)
50	6.50	45.94	0.14
100	5.50	45.94	0.12
150	4.00	45.94	0.09
200	3.50	45.94	0.08
250	3.00	45.94	0.07
300	2.00	45.94	0.04



ส่วนในส่วนที่ 2 จะศึกษาในกรณีที่มีการลงสีรองพื้นที่ผิวของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ได้ผลดังตาราง
ที่ ข-7

ตารางที่ ข-7 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยที่มีการลงสี
รองพื้นบนผิวเหล็กรูปพรรณ

ปริมาณเปอร์ไลต์ในส่วนผสม (%โดยน้ำหนักของซีเมนต์)	แรงดึง (kg)	พื้นที่ (cm ²)	กำลังรับแรงดึง (kg/cm ²)
50	14.50	45.94	0.32
100	9.00	45.94	0.20
150	6.50	45.94	0.14
200	5.50	45.94	0.12
250	3.50	45.94	0.08
300	2.50	45.94	0.05

4. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยว

ในการทดสอบคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟจะทำการทดสอบเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 ทำการศึกษาคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟซึ่งยังไม่มีส่วนผสมเม
ทิลเซลลูโลส ในส่วนผสม

ตารางที่ ข-8 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ไม่มีสารเมทริลเซลลูโลสในส่วนผสม

ตัวอย่างที่	ปริมาณเพอร์ไลต์ (%โดยน้ำหนักซีเมนต์)	ปริมาณการยึดหดตัว Shrinkage							
		(Microstrain)							
		1	3	7	14	21	28	42	56
1	50	690.00	608.00	434.60	347.00	317.00	250.00	227.00	184.00
2	100	559.90	385.00	317.40	217.80	184.20	154.20	140.00	122.80
3	150	315.00	226.80	160.80	107.70	72.60	37.70	21.50	16.00
4	200	204.50	167.10	145.00	70.00	36.10	25.60	1.80	8.00
5	250	164.00	107.00	65.00	32.00	20.10	8.80	5.00	3.80
6	300	21.60	21.00	10.20	6.60	3.60	2.60	7.10	4.20

ขั้นตอนที่ 2 ทำการศึกษาคุณสมบัติการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟซึ่งมีการผสมสารเมทริลเซลลูโลส ในส่วนผสม

ตารางที่ ข-9 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสม 50% โดยน้ำหนักของซีเมนต์และมีสารเมทริลเซลลูโลสผสมส่วนผสม

ตัวอย่างที่	ปริมาณเมทริลเซลลูโลส (%โดยน้ำหนักส่วนผสม)	ปริมาณการยึดหดตัว Shrinkage							
		1	3	7	14	21	28	42	56
1	-	1.00	0.68	0.56	0.29	0.18	0.13	0.01	0.04
2	0.25	1.00	0.88	0.71	0.54	0.50	0.48	0.44	0.42
3	0.50	1.00	0.93	0.83	0.69	0.65	0.61	0.56	0.53
4	0.75	1.00	0.90	0.83	0.78	0.76	0.76	0.74	0.73
5	1.00	1.00	0.97	0.98	0.92	0.89	0.85	0.83	0.83

ตารางที่ ข-10 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสม 100% โดยน้ำหนักของซีเมนต์และมีสารเมทริลเซลลูโลสผสมส่วนผสม

ตัวอย่างที่	ปริมาณเมทริลเซลลูโลส (%โดยน้ำหนักส่วนผสม)	ปริมาณการยึดหดตัว Shrinkage							
		1	3	7	14	21	28	42	56
1	-	1.00	0.70	0.64	0.46	0.33	0.28	0.18	0.09
2	0.25	1.00	0.88	0.71	0.64	0.60	0.58	0.53	0.53
3	0.50	1.00	0.84	0.83	0.77	0.73	0.73	0.71	0.68
4	0.75	1.00	0.90	0.82	0.80	0.81	0.79	0.78	0.76
5	1.00	1.00	0.97	0.98	0.92	0.94	0.87	0.88	0.89

ตารางที่ ข-11 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสม 150% โดยน้ำหนักของซีเมนต์และมีการเมทริลเซลลูโลสผสมส่วนผสม

ตัวอย่างที่	ปริมาณเมทริลเซลลูโลส (%โดยน้ำหนักส่วนผสม)	ปริมาณการยึดหดตัว Shrinkage							
		1	3	7	14	21	28	42	56
1	-	1.00	0.82	0.63	0.58	0.55	0.49	0.47	0.43
2	0.25	1.00	0.86	0.84	0.81	0.78	0.77	0.75	0.75
3	0.50	1.00	0.91	0.88	0.87	0.83	0.85	0.81	0.80
4	0.75	1.00	0.93	0.93	0.91	0.91	0.89	0.84	0.84
5	1.00	1.00	0.97	0.99	0.96	0.95	0.94	0.91	0.92

ตารางที่ ข-12 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสม 200% โดยน้ำหนักของซีเมนต์และมีการเมทริลเซลลูโลสผสมส่วนผสม

ตัวอย่างที่	ปริมาณเมทริลเซลลูโลส (%โดยน้ำหนักส่วนผสม)	ปริมาณการยึดหดตัว Shrinkage							
		1	3	7	14	21	28	42	56
1	-	1.00	0.79	0.67	0.61	0.57	0.54	0.52	0.48
2	0.25	1.00	0.86	0.82	0.79	0.78	0.78	0.77	0.76
3	0.50	1.00	0.94	0.87	0.87	0.82	0.81	0.84	0.82
4	0.75	1.00	0.95	0.92	0.90	0.88	0.88	0.87	0.87
5	1.00	1.00	0.95	0.94	0.91	0.91	0.91	0.90	0.92

ตารางที่ ข-13 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสม 250% โดยน้ำหนักของซีเมนต์และมีการเมทริลเซลลูโลสผสมส่วนผสม

ตัวอย่างที่	ปริมาณเมทริลเซลลูโลส (%โดยน้ำหนักส่วนผสม)	ปริมาณการยึดหดตัว Shrinkage							
		1	3	7	14	21	28	42	56
1	-	1.00	0.82	0.72	0.68	0.64	0.58	0.54	0.50
2	0.25	1.00	0.92	0.84	0.84	0.81	0.81	0.77	0.74
3	0.50	1.00	0.91	0.88	0.87	0.86	0.85	0.87	0.80
4	0.75	1.00	0.93	0.95	0.91	0.91	0.89	0.89	0.87
5	1.00	1.00	0.97	0.97	0.95	0.96	0.96	0.94	0.95

ตารางที่ ข-14 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีปริมาณเพอร์ไลต์ในส่วนผสม 300% โดยน้ำหนักของซีเมนต์และมีสารเมทิลเซลลูโลสผสมส่วนผสม

ตัวอย่างที่	ปริมาณเมทิลเซลลูโลส (%โดยน้ำหนักส่วนผสม)	ปริมาณการยึดหดตัว Shrinkage							
		1	3	7	14	21	28	42	56
1	-	1.00	0.90	0.84	0.78	0.77	0.74	0.68	0.66
2	0.25	1.00	0.95	0.91	0.90	0.88	0.89	0.87	0.86
3	0.50	1.00	0.94	0.93	0.92	0.91	0.91	0.90	0.86
4	0.75	1.00	0.95	0.96	0.94	0.94	0.93	0.92	0.93
5	1.00	1.00	0.97	0.97	0.95	0.96	0.96	0.94	0.95

5. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านอัตราการต้านทานไฟ

กรณีศึกษาที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-15 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ
ที่มีเปอร์เซ็นต์ผสมอยู่ 50% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	24.8	24.7	24.7	24.7	24.5	24.6	24.7	24.6	51.6	57.3	54.5
0:05:00	300	28.1	25.0	36.0	29.7	26.4	26.0	30.3	27.6	644.7	661.7	653.2
0:10:00	600	43.4	31.6	60.4	45.1	37.5	36.7	56.5	43.6	701.8	714.5	708.2
0:15:00	900	65.6	47.7	87.1	66.8	62.5	57.8	88.2	69.5	751.8	757.3	754.6
0:20:00	1200	84.9	68.5	100.3	84.6	87.4	82.3	101.0	90.2	773.7	771.8	772.8
0:25:00	1500	96.9	85.2	119.8	100.6	99.8	98.1	102.0	100.0	790.8	801.5	796.2
0:30:00	1800	101.4	98.3	134.9	111.5	101.7	101.8	118.5	107.3	819.3	829.3	824.3
0:35:00	2100	104.4	102.0	154.4	120.3	104.1	105.5	152.4	120.7	847.2	849.6	848.4
0:40:00	2400	109.4	107.5	175.8	130.9	107.2	111.0	187.4	135.2	858.8	862.5	860.7
0:45:00	2700	114.9	113.5	198.4	142.3	111.2	118.8	219.0	149.7	871.1	880.9	876.0
0:50:00	3000	122.9	121.4	221.2	155.2	117.1	128.2	249.4	164.9	889.6	895.1	892.4
0:55:00	3300	140.5	130.9	244.5	172.0	126.6	140.9	277.2	181.6	903.6	905.4	904.5
1:00:00	3600	165.9	142.7	267.9	192.2	145.0	166.6	304.1	205.2	907.3	912.1	909.7
1:05:00	3900	190.0	157.7	291.3	213.0	176.6	193.8	331.5	234.0	913.0	922.8	917.9
1:10:00	4200	216.6	175.7	315.4	235.9	209.4	223.1	356.0	262.8	929.8	937.1	933.5
1:15:00	4500	244.9	193.4	340.1	259.5	244.2	254.9	392.5	297.2	932.1	940.5	936.3
1:20:00	4800	274.2	219.4	366.5	286.7	279.4	287.6	421.3	329.4	941.3	947.3	944.3
1:25:00	5100	304.6	245.3	393.3	314.4	314.5	322.2	451.0	362.6	954.3	957.6	956.0
1:30:00	5400	335.9	277.8	421.9	345.2	350.1	356.6	482.1	396.3	963.6	966.2	964.9
1:35:00	5700	369.4	315.7	452.2	379.1	386.9	395.3	514.2	432.1	959.1	972.4	965.8
1:40:00	6000	403.9	354.7	483.4	414.0	422.5	430.4	548.8	467.2	972.8	978.4	975.6
1:45:00	6300	436.6	393.4	514.6	448.2	472.3	465.2	579.4	505.6	974.4	985.2	979.8
1:50:00	6600	468.9	429.9	545.6	481.5	523.8	499.8	606.5	543.4	981.4	987.5	984.5
1:55:00	6900	500.5	466.1	577.0	514.5	553.3	532.2	632.8	572.8	992.6	994.7	993.7
2:00:00	7200	530.5	501.6	608.2	546.8	585.4	564.7	658.4	602.8	999.8	1003.2	1001.5
2:10:00	7800	590.6	559.6	689.3	613.2					996.4	1002.4	999.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-16 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ
ที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 100% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 ที่ผสมอยู่

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	24.1	23.7	23.8	23.9	24.0	24.1	24.1	24.1	60.4	33.0	46.7
0:05:00	300	24.3	23.8	24.8	24.3	27.3	24.6	25.9	25.9	629.8	457.1	543.5
0:10:00	600	37.7	33.4	50.8	40.6	43.7	36.9	43.9	41.5	679.1	564.6	621.9
0:15:00	900	71.1	65.7	76.8	71.2	70.2	67.0	73.8	70.3	727.3	635.3	681.3
0:20:00	1200	93.3	95.8	95.4	94.8	94.9	92.4	93.6	93.6	742.8	670.4	706.6
0:25:00	1500	99.3	100.8	99.9	100.0	100.3	100.5	99.9	100.2	759.7	708.2	734.0
0:30:00	1800	99.6	100.6	99.9	100.0	104.0	100.4	100.2	101.5	793.0	739.0	766.0
0:35:00	2100	100.3	100.1	101.7	100.7	109.5	100.2	100.3	103.3	815.7	767.0	791.4
0:40:00	2400	106.7	100.1	118.8	108.5	117.8	100.9	100.6	106.4	828.3	788.6	808.5
0:45:00	2700	116.8	110.8	123.7	117.1	129.8	105.2	110.6	115.2	846.4	810.1	828.3
0:50:00	3000	127.2	111.6	138.8	125.9	135.2	116.5	126.7	126.1	860.4	832.7	846.6
0:55:00	3300	139.4	117.5	145.8	134.2	148.1	137.9	140.9	142.3	896.1	844.8	870.5
1:00:00	3600	142.5	121.5	151.5	138.5	165.3	154.2	151.1	156.9	902.4	859.6	881.0
1:05:00	3900	150.4	125.8	161.7	146.0	177.1	179.2	178.0	178.1	914.6	874.8	894.7
1:10:00	4200	178.2	130.8	188.9	166.0	196.1	203.7	199.9	199.9	925.5	893.2	909.4
1:15:00	4500	198.5	150.6	199.3	182.8	223.8	221.7	225.1	223.5	932.7	900.8	916.8
1:20:00	4800	224.9	173.9	222.8	207.2	245.8	251.3	255.4	250.8	941.8	913.6	927.7
1:25:00	5100	259.6	213.1	253.3	242.0	271.8	279.1	282.9	277.9	950.2	925.9	938.1
1:30:00	5400	295.5	254.0	287.7	279.1	309.7	309.2	304.9	307.9	959.2	938.9	949.1
1:35:00	5700	333.5	296.3	323.5	317.8	331.1	338.9	349.9	340.0	962.2	943.3	952.8
1:40:00	6000	374.0	340.9	363.0	359.3	368.6	366.2	367.9	367.6	970.8	951.1	961.0
1:45:00	6300	410.2	386.3	402.0	399.5	401.4	395.9	407.0	401.4	974.1	955.6	964.9
1:50:00	6600	444.9	427.7	438.8	437.1	441.6	438.8	444.8	441.7	980.4	962.3	971.4
1:55:00	6900	480.5	466.5	476.3	474.4	477.5	469.8	489.9	479.1	984.7	971.2	978.0
2:00:00	7200	515.8	506.1	513.3	511.7	518.0	498.8	520.8	512.5	994.3	978.7	986.5
2:10:00	7800	553.9	544.8	549.8	549.5	572.5	565.0	581.3	572.9	999.5	983.5	991.5
2:20:00	8400	583.3	580.4	582.5	582.1	630.2	612.4	620.8	621.1	1007.3	996.5	1001.9
2:30:00	9000	613.2	615.0	639.6	622.6					1021.9	1009.7	1015.8
2:40:00	9600	642.2	647.7	674.3	654.7					1036.5	1022.9	1029.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-17 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ
ที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 150% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 ที่ผสมอยู่

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	24.1	24.1	24.3	24.1	24.0	23.7	24.0	23.9	45.4	44.0	44.7
0:05:00	300	24.9	24.3	26.3	24.6	25.3	23.6	24.0	24.5	657.2	678.8	668.0
0:10:00	600	36.6	27.9	68.9	32.3	40.8	27.9	36.8	34.4	726.9	744.1	735.5
0:15:00	900	58.8	43.7	84.4	51.3	66.7	45.5	63.6	56.1	766.3	790.6	778.5
0:20:00	1200	81.1	66.0	95.0	73.6	85.9	66.9	81.9	76.4	784.9	808.1	796.5
0:25:00	1500	94.7	84.9	99.9	89.8	96.4	84.1	93.2	90.3	813.7	839.7	826.7
0:30:00	1800	99.3	96.1	99.9	97.7	100.2	95.0	98.5	97.6	838.1	861.6	849.9
0:35:00	2100	100.6	100.1	99.6	100.4	103.0	99.9	100.4	101.5	854.1	880.5	867.3
0:40:00	2400	104.5	100.6	99.6	102.6	107.0	99.9	100.6	103.5	866.9	891.8	879.4
0:45:00	2700	110.4	101.5	103.0	106.0	111.8	100.0	101.1	105.9	884.9	906.5	895.7
0:50:00	3000	117.1	102.8	136.3	110.0	117.4	101.5	102.9	109.5	904.1	928.2	916.2
0:55:00	3300	125.5	105.4	168.1	115.5	123.3	102.6	106.8	113.0	902.4	934.8	918.6
1:00:00	3600	134.9	109.1	186.5	122.0	130.7	103.2	116.1	117.0	911.4	944.0	927.7
1:05:00	3900	146.7	114.8	202.0	130.8	139.4	104.9	140.6	122.2	918.0	951.2	934.6
1:10:00	4200	160.6	122.2	217.7	141.4	150.2	107.4	163.2	128.8	928.4	965.5	947.0
1:15:00	4500	177.3	132.2	235.0	154.8	165.0	111.4	184.3	138.2	930.5	965.4	948.0
1:20:00	4800	194.7	144.6	253.6	169.7	185.8	118.8	205.2	152.3	944.5	974.8	959.7
1:25:00	5100	214.2	159.6	273.7	186.9	207.5	150.0	226.4	178.8	956.1	985.8	971.0
1:30:00	5400	239.5	177.9	294.9	208.7	229.6	187.9	248.4	208.8	969.0	999.5	984.3
1:35:00	5700	265.0	199.2	316.9	232.1	253.1	217.6	270.9	235.4	966.5	997.2	981.9
1:40:00	6000	291.3	222.5	339.0	256.9	277.0	244.9	294.0	261.0	978.3	1005.2	991.8
1:45:00	6300	317.5	247.9	361.7	282.7	303.2	272.5	317.8	287.9	979.2	1010.1	994.7
1:50:00	6600	345.1	277.1	386.2	311.1	329.8	301.8	342.4	315.8	987.1	1013.7	1000.4
1:55:00	6900	374.4	309.1	412.0	341.8	358.1	332.9	367.1	345.5	996.3	1024.0	1010.2
2:00:00	7200	401.8	342.0	437.8	371.9	387.0	365.8	393.4	376.4	1001.4	1029.9	1015.7
2:10:00	7800	459.5	408.6	494.8	434.1	446.9		447.4	447.2	1003.7	1034.1	1018.9
2:20:00	8400	521.7	477.4	554.5	499.6	508.6		504.5	506.6	1013.0	1044.7	1028.9
2:30:00	9000	581.3	547.3	605.6	564.3	568.3		562.2	565.3	1027.6	1054.7	1041.2
2:40:00	9600	641.6	609.3	668.8	625.5	656.2		621.0	638.6	1042.2	1064.7	1053.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-18 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ
ที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 200% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 ที่ผสมอยู่

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	26.6	26.5	26.6	26.6	27.0	26.9	26.8	26.9	46.3	47.8	47.1
0:05:00	300	27.6	28.3	29.0	28.3	28.5	27.2	29.0	28.2	628.1	683.0	655.6
0:10:00	600	53.5	49.1	60.4	54.3	50.9	36.3	63.4	50.2	653.5	722.0	687.8
0:15:00	900	80.9	73.7	83.7	79.4	74.9	61.8	82.2	73.0	738.9	786.4	762.7
0:20:00	1200	97.8	93.9	98.7	96.8	95.0	86.5	97.5	93.0	759.7	812.0	785.9
0:25:00	1500	100.4	99.2	100.5	100.0	101.6	99.4	101.4	100.8	792.3	837.8	815.1
0:30:00	1800	100.9	99.7	100.8	100.5	102.4	99.8	101.1	101.1	814.1	864.1	839.1
0:35:00	2100	101.4	100.2	103.6	101.7	104.4	99.9	103.0	102.4	830.5	880.4	855.5
0:40:00	2400	103.6	100.5	111.5	105.2	106.3	100.1	105.4	103.9	847.6	897.6	872.6
0:45:00	2700	103.8	102.9	115.6	107.4	108.1	100.2	109.5	105.9	861.2	908.7	885.0
0:50:00	3000	106.3	108.1	121.9	112.1	109.0	100.4	111.7	107.0	878.2	926.4	902.3
0:55:00	3300	110.4	114.5	130.8	118.6	115.1	105.0	129.4	116.5	886.0	931.9	909.0
1:00:00	3600	115.4	120.7	142.4	126.2	125.3	114.2	152.7	130.7	902.8	946.1	924.5
1:05:00	3900	124.3	146.0	170.5	146.9	150.6	126.8	177.1	151.5	915.9	960.2	938.1
1:10:00	4200	139.8	168.2	200.7	169.6	185.7	156.2	199.6	180.5	925.0	967.3	946.2
1:15:00	4500	165.3	194.6	249.2	203.0	227.9	186.4	226.5	213.6	936.6	977.1	956.9
1:20:00	4800	196.4	221.5	285.2	234.4	265.6	216.5	256.3	246.1	943.2	981.9	962.6
1:25:00	5100	231.3	251.3	318.0	266.9	302.1	249.2	288.3	279.9	959.2	995.7	977.5
1:30:00	5400	268.1	285.8	354.6	302.8	332.6	291.7	321.9	315.4	964.5	1000.5	982.5
1:35:00	5700	304.7	322.8	390.7	339.4	367.4	331.1	357.9	352.1	975.7	1008.7	992.2
1:40:00	6000	341.3	357.2	430.4	376.3	399.8	366.9	393.3	386.7	983.2	1015.7	999.5
1:45:00	6300	377.8	394.3	463.6	411.9	424.7	401.4	429.9	418.7	1001.8	1037.7	1019.8
1:50:00	6600	412.8	428.4	495.2	445.5	455.2	437.5	465.9	452.9	991.5	1026.9	1009.2
1:55:00	6900	448.2	462.8	527.1	479.4	487.8	469.0	500.0	485.6	997.5	1030.3	1013.9
2:00:00	7200	484.1	498.7	557.4	513.4	522.9	501.4	535.1	519.8	998.4	1031.1	1014.8
2:10:00	7800	539.1	553.2	606.6	566.3	554.1	535.3	567.8	552.4	1004.7	1036.3	1020.5
2:20:00	8400	603.4	614.2	661.5	626.4	582.8	567.1	599.4	583.1	1005.5	1033.9	1019.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-19 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ
ที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 250% โดยน้ำหนักของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 ที่ผสมอยู่

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	27.1	26.9	27.0	27.0	26.8	27.0	26.9	26.9	63.2	45.9	54.6
0:05:00	300	30.2	27.2	29.3	28.9	28.3	27.6	29.8	28.6	566.8	617.7	592.3
0:10:00	600	50.4	41.1	55.6	49.0	44.2	42.7	55.3	47.4	601.9	666.2	634.1
0:15:00	900	71.3	64.9	74.9	70.4	67.8	70.6	75.5	71.3	666.8	735.5	701.2
0:20:00	1200	90.3	85.7	91.7	89.2	89.1	91.2	93.6	91.3	690.3	762.5	726.4
0:25:00	1500	98.7	98.4	99.6	98.9	99.2	98.8	99.3	99.1	713.9	788.5	751.2
0:30:00	1800	100.1	99.7	99.4	99.7	100.2	99.3	100.1	99.9	745.2	812.5	778.9
0:35:00	2100	106.0	100.1	99.9	102.0	106.2	99.5	119.9	108.5	765.1	831.1	798.1
0:40:00	2400	114.5	101.4	116.4	110.8	117.1	101.4	148.3	122.3	786.4	850.6	818.5
0:45:00	2700	125.7	106.8	157.9	130.1	137.7	104.6	173.5	138.6	797.8	860.4	829.1
0:50:00	3000	143.4	115.5	182.2	147.0	166.5	110.6	197.1	158.1	819.4	878.4	848.9
0:55:00	3300	170.1	134.3	204.9	169.8	175.0	122.4	221.0	172.8	827.8	885.0	856.4
1:00:00	3600	199.1	169.8	227.8	198.9	185.0	168.2	197.1	183.4	843.9	900.8	872.4
1:05:00	3900	228.9	204.9	251.0	228.3	205.5	181.2	225.0	203.9	858.6	913.6	886.1
1:10:00	4200	258.3	239.5	275.4	257.7	235.8	221.4	253.3	236.8	870.0	921.1	895.6
1:15:00	4500	288.5	273.8	300.8	287.7	266.6	258.1	284.9	269.9	884.4	932.5	908.5
1:20:00	4800	319.7	306.4	327.8	318.0	298.6	294.7	318.3	303.9	891.9	938.6	915.3
1:25:00	5100	350.8	339.2	357.2	349.1	331.1	332.5	351.1	338.2	907.9	952.4	930.2
1:30:00	5400	382.7	369.6	387.9	380.1	364.3	365.1	384.4	371.3	916.6	958.3	937.5
1:35:00	5700	414.1	404.1	418.8	412.3	397.7	399.5	418.7	405.3	927.0	966.3	946.7
1:40:00	6000	445.1	438.5	450.6	444.7	430.9	433.5	452.7	439.0	936.8	974.7	955.8
1:45:00	6300	476.7	472.3	482.8	477.3	465.3	469.6	486.2	473.7	952.9	994.7	973.8
1:50:00	6600	510.6	505.7	515.9	510.7	497.5	503.9	518.5	506.6	949.1	985.6	967.4
1:55:00	6900	541.6	540.7	548.9	543.7	526.3	531.3	547.6	535.1	954.2	990.5	972.4
2:00:00	7200	571.6	570.2	580.7	574.2	554.5	559.3	572.6	562.1	955.3	993.1	974.2
2:10:00	7800	629.8	626.8	641.7	632.8	608.1	611.9	624.9	615.0	964.4	998.4	981.4
2:20:00	8400	686.1	680.8	700.2	689.0	658.6	661.3	670.7	663.5	966.8	997.5	982.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-20 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ
ที่มีเพอร์ไลต์ผสมอยู่ 300% โดยน้ำหนักของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ชนิดที่ 1 ที่ผสมอยู่

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	26.9	26.8	27.0	26.9	26.8	26.9	26.6	26.8	53.8	31.2	42.5
0:05:00	300	28.6	27.4	29.9	28.6	26.9	27.5	39.4	31.3	707.6	749.4	728.5
0:10:00	600	51.2	46.6	65.4	54.4	39.6	49.6	72.8	54.0	704.7	750.9	727.8
0:15:00	900	76.4	77.6	94.7	82.9	72.7	100.0	90.3	87.7	779.2	830.2	804.7
0:20:00	1200	95.9	97.4	125.7	106.3	95.4		101.7	98.6	796.1	846.0	821.1
0:25:00	1500	99.9	103.2	139.9	114.3	99.9		103.3	101.6	823.0	873.2	848.1
0:30:00	1800	100.1	104.2	154.8	119.7	100.1		104.6	102.4	833.1	890.6	861.9
0:35:00	2100	103.3	102.7	166.6	124.2	100.7		115.9	108.3	853.7	915.0	884.4
0:40:00	2400	111.6	104.8	176.5	131.0	101.7		138.9	120.3	867.3	922.3	894.8
0:45:00	2700	122.4	109.3	196.2	142.6	104.1		168.8	136.5	875.2	926.6	900.9
0:50:00	3000	146.6	121.8	234.4	167.6	109.6		203.5	156.6	891.3	943.3	917.3
0:55:00	3300	183.6	143.8	261.8	196.4	122.4		227.4	174.9	893.6	943.0	918.3
1:00:00	3600	217.6	175.4	276.8	223.3	145.0		232.0	188.5	906.9	956.2	931.6
1:05:00	3900	253.9	209.1	295.5	252.8	180.7		247.3	214.0	918.9	969.7	944.3
1:10:00	4200	290.5	245.4	319.4	285.1	213.5	213.5	267.5	231.5	925.1	973.6	949.4
1:15:00	4500	326.1	286.2	329.0	313.8	246.0	259.2	294.3	266.5	934.8	981.3	958.1
1:20:00	4800	362.8	322.6	346.4	343.9	279.2	283.0	323.0	295.1	937.7	986.3	962.0
1:25:00	5100	399.3	361.7	378.6	379.9	313.0	316.2	357.6	328.9	950.6	997.5	974.1
1:30:00	5400	431.2	399.5	418.3	416.3	348.0	350.1	392.0	363.4	959.6	1002.4	981.0
1:35:00	5700	463.6	437.5	443.3	448.1	383.5	385.0	421.0	396.5	965.0	1006.7	985.9
1:40:00	6000	497.3	477.1	494.0	489.5	418.9	418.4	451.4	429.6	975.0	1015.8	995.4
1:45:00	6300	531.9	517.0	513.9	520.9	453.8	454.5	484.2	464.2	993.7	1040.6	1017.2
1:50:00	6600	562.6	552.3	540.7	551.9	489.2	490.1	516.2	498.5	982.6	1025.6	1004.1
1:55:00	6900	592.2	588.8	570.2	583.7	523.6	528.4	547.6	533.2	990.6	1030.7	1010.7
2:00:00	7200	621.2	623.2	601.4	615.3	556.5	562.6	578.8	566.0	994.0	1032.4	1013.2
2:10:00	7800	675.5	685.0	659.0	673.2	616.7	624.7	640.6	627.3	995.1	1032.7	1013.9
2:20:00	8400	725.7	738.3	714.9	726.3	673.5	685.0	718.6	692.4	993.6	1029.5	1011.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ ข-21 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง H1

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	37.5	37.6	38.2	37.8	37.4	37.9	38.9	38.1	54.2	45.9	50.1
0:00:30	30	41.5	41.1	48.7	43.8	41.1	53.6	47.3	47.3	125.3	82.4	103.9
0:01:00	60	62.1	65.2	80.8	69.4	65.4	87.5	76.1	76.3	375.6	302.7	339.2
0:01:30	90	84.4	92.9	109.0	95.4	87.5	111.4	103.2	100.7	467.1	417.5	442.3
0:02:00	120	110.4	124.9	142.6	126.0	109.3	135.4	136.3	127.0	498.4	501.9	500.2
0:02:30	150	137.5	154.7	170.8	154.3	130.4	153.5	164.7	149.5	508.7	536.6	522.7
0:03:00	180	163.8	182.6	194.7	180.4	149.3	177.6	194.5	173.8	510.2	541.8	526.0
0:03:30	210	189.8	210.1	225.9	208.6	170.5	201.0	224.7	198.7	520.4	556.1	538.3
0:04:00	240	216.5	237.1	252.2	235.3	192.7	227.7	254.8	225.1	536.0	575.8	555.9
0:04:30	270	243.1	263.9	280.3	262.4	213.9	250.0	282.8	248.9	543.0	584.0	563.5
0:05:00	300	268.4	289.8	306.2	288.1	235.4	279.4	308.6	274.5	551.6	591.8	571.7
0:05:30	330	292.8	315.6	332.5	313.6	256.1	298.8	333.2	296.0	558.3	598.7	578.5
0:06:00	360	316.3	340.2	355.9	337.5	278.5	322.7	356.3	319.2	566.9	603.3	585.1
0:06:30	390	338.8	363.3	379.4	360.5	298.5	342.5	378.7	339.9	571.1	614.0	592.6
0:07:00	420	360.8	384.3	402.5	382.5	318.3	362.0	396.9	359.1	575.3	617.8	596.6
0:07:30	450	381.8	406.3	424.6	404.2	338.2	384.4	420.2	380.9	582.6	626.8	604.7
0:08:00	480	402.3	427.0	445.6	425.0	356.7	405.2	438.9	400.3	592.1	634.2	613.2
0:08:30	510	421.6	446.0	464.0	443.9	375.1	423.8	456.6	418.5	604.8	643.1	624.0
0:09:00	540	439.4	463.6	481.4	461.5	393.1	436.9	473.4	434.5	600.9	647.8	624.4
0:09:30	570	456.6	480.9	498.9	478.8	411.1	453.7	490.3	451.7	606.4	655.8	631.1
0:10:00	600	473.5	496.6	514.9	495.0	426.1	469.3	506.1	467.2	614.6	664.0	639.3
0:10:30	630	489.2	511.6	532.7	511.2	440.8	484.0	523.2	482.7	620.0	667.9	644.0
0:11:00	660	505.2	527.1	546.1	526.1	454.5	497.6	542.6	498.2	623.6	673.7	648.7
0:11:30	690	520.7	541.2	556.7	539.5	467.2	510.5	555.7	511.1	625.0	677.8	651.4
0:12:00	720	534.8	554.1	567.0	552.0	480.8	524.4	567.3	524.2	635.9	686.3	661.1
0:12:30	750	547.4	565.7	576.9	563.3	494.8	538.2	577.9	537.0	643.4	690.7	667.1
0:13:00	780	558.8	577.0	587.6	574.5	510.2	548.2	586.8	548.4	642.5	694.4	668.5
0:13:30	810	568.9	586.1	596.5	583.8	522.2	560.3	593.6	558.7	654.6	703.5	679.1
0:14:00	840	579.0	596.2	607.2	594.1	532.0	568.8	601.7	567.5	656.7	707.1	681.9
0:14:30	870	589.2	606.1	615.9	603.7	544.1	581.5	610.5	578.7	665.9	714.4	690.2
0:15:00	900	599.0	615.6	624.2	612.9	556.1	590.9	619.5	588.8	674.6	723.4	699.0
0:15:30	930	608.4	624.6	633.7	616.5	566.2	600.3	627.7	598.1	680.3	729.4	704.9
0:16:00	960	617.3	632.8	641.3	625.1	574.1	608.2	634.9	605.7	683.4	731.8	707.6
0:16:30	990	625.5	640.5	648.4	633.0	581.8	615.6	642.3	613.2	687.5	736.8	712.2
0:17:00	1020	633.6	647.8	655.3	640.7	589.2	622.9	649.0	620.4	695.3	745.1	720.2
0:17:30	1050	641.3	655.2	662.0	648.3	597.2	631.7	656.2	628.4	699.8	746.8	723.3
0:18:00	1080	648.5	662.4	669.4	655.5	604.2	639.0	662.6	635.3	703.3	751.5	727.4
0:18:30	1110	655.8	669.0	675.6	662.4	611.3	644.7	668.8	641.6	706.6	755.9	731.3
0:19:00	1140	662.8	675.6	681.9	669.2	618.3		674.8	646.6	713.6	761.4	737.5
0:19:30	1170	669.8	682.2	687.9	676.0	626.3		681.2	653.8	721.5	767.8	744.7

ตารางที่ ข-22 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง H2

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)			Area C.sec
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.	
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.				
0:00:00	0	39.0	37.0	38.8	38.3	39.0	37.5	40.5	39.0	67.3	50.6	59.0	0
0:00:30	30	46.7	39.4	64.6	50.2	42.8	43.6	62.0	49.5	146.1	83.4	114.8	2,606
0:01:00	60	88.8	54.4	122.7	88.6	66.5	61.1	130.4	86.0	401.3	345.4	373.4	9,927
0:01:30	90	110.4	71.7	150.4	110.8	88.4	81.4	164.9	111.6	484.6	468.6	476.6	22,676
0:02:00	120	121.4	89.6	164.0	125.0	112.7	101.8	189.3	134.6	483.0	531.4	507.2	37,433
0:02:30	150	143.5	108.3	193.7	148.5	133.0	122.3	219.3	158.2	497.8	551.5	524.7	52,911
0:03:00	180	166.8	125.9	212.9	168.5	150.6	140.3	245.3	178.7	517.7	563.4	540.6	68,889
0:03:30	210	185.2	145.5	244.8	191.8	170.7	163.2	263.3	199.1	522.7	573.1	547.9	85,216
0:04:00	240	208.9	164.8	270.0	214.6	190.1	184.3	292.9	222.4	541.8	585.3	563.6	101,888
0:04:30	270	226.2	183.9	295.7	235.3	208.6	206.6	338.2	251.1	552.6	594.5	573.6	118,944
0:05:00	300	244.2	202.9	319.8	255.6	227.7	226.5	368.8	274.3	564.1	599.3	581.7	136,273
0:05:30	330	267.6	221.8	337.9	275.8	246.9	245.9	399.3	297.4	564.9	612.9	588.9	153,832
0:06:00	360	285.6	241.9	364.0	297.2	266.2	266.2	421.0	317.8	571.1	618.6	594.9	171,588
0:06:30	390	303.6	260.3	387.9	317.3	284.6	285.1	443.7	337.8	577.1	619.1	598.1	189,482
0:07:00	420	321.2	278.8	410.3	336.8	302.8	305.1	468.2	358.7	577.9	631.1	604.5	207,521
0:07:30	450	335.9	296.9	434.3	355.7	320.9	325.7	488.8	378.5	588.0	640.5	614.3	225,803
0:08:00	480	352.6	315.7	453.8	374.0	338.2	345.1	507.5	396.9	596.3	640.7	618.5	244,294
0:08:30	510	369.7	333.9	466.9	390.2	354.3	360.6	517.2	410.7	600.0	654.9	627.5	262,983
0:09:00	540	393.8	352.5	487.3	411.2	369.4	380.0	546.6	432.0	613.8	658.1	636.0	281,934
0:09:30	570	413.4	370.0	501.8	428.4	385.0	400.1	562.4	449.2	615.1	664.4	639.8	301,070
0:10:00	600	427.0	387.4	519.9	444.8	403.9	417.6	581.6	467.7	622.6	673.2	647.9	320,384
0:10:30	630	439.4	405.8	536.1	460.4	418.3	434.7	590.4	481.1	629.5	676.8	653.2	339,900
0:11:00	660	454.4	423.2	559.1	478.9	433.4	451.0	601.2	495.2	636.9	684.9	660.9	359,611
0:11:30	690	469.2	439.1	570.6	493.0	447.3	467.1	613.4	509.3	641.6	682.1	661.9	379,452
0:12:00	720	484.1	454.7	576.9	505.2	461.5	480.5	619.8	520.6	639.7	693.4	666.6	399,378
0:12:30	750	498.4	469.7	588.2	518.8	475.3	495.2	627.9	532.8	650.7	698.8	674.8	419,498
0:13:00	780	515.8	484.7	599.6	533.4	489.0	512.1	640.5	547.2	656.5	700.6	678.6	439,797
0:13:30	810	522.9	498.4	607.2	542.8	501.5	524.4	648.0	558.0	663.4	719.4	691.4	460,346
0:14:00	840	537.3	511.5	617.3	555.4	513.3	536.5	659.6	569.8	670.4	715.0	692.7	481,108
0:14:30	870	545.5	524.9	627.7	566.0	526.3	549.7	663.6	579.9	671.3	727.9	699.6	501,992
0:15:00	900	556.7	538.9	638.1	577.9	538.9	562.9	672.3	591.4	684.7	736.3	710.5	523,144
0:15:30	930	570.1	552.0	647.4	589.8	550.7	573.3	680.8	601.6	685.6	744.2	714.9	544,525
0:16:00	960	577.9	564.3	655.4	599.2	561.7	584.9	693.2	613.3	691.9	746.6	719.3	566,037
0:16:30	990	589.4	576.4	664.5	610.1	572.8	597.0	698.9	622.9	703.6	751.8	727.7	587,741
0:17:00	1020	594.9	585.6	672.2	617.6	581.6	605.9	704.1	630.5	702.9	756.7	729.8	609,604
0:17:30	1050	603.6	595.5	678.3	625.8	591.4	615.6	709.3	638.8	706.4	762.5	734.5	631,568
0:18:00	1080	613.4	605.4	685.9	634.9	600.4	624.9	717.2	647.5	713.1	768.7	740.9	653,698
0:18:30	1110	622.6	614.8	691.1	642.8	609.1	633.7	724.2	655.7	716.2	769.5	742.9	675,954
0:19:00	1140	630.4	623.8	696.2	650.1	618.0	641.5	728.2	662.6	720.9	779.5	750.2	698,350
0:19:30	1170	638.0	632.7	705.0	658.6	626.5	650.7	732.6	669.9	727.9	782.6	755.3	720,932

ตารางที่ ข-23 แสดงผลการทดสอบอัตราการคานทานไฟของตัวอย่าง H3

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	37.9	38.6	38.2	38.2	37.9	39.6	38.9	38.8	58.3	54.2	56.3
0:00:30	30	41.4	47.3	43.6	44.1	41.0	51.2	50.9	47.7	118.2	125.3	121.8
0:01:00	60	67.8	90.5	63.5	73.9	59.8	93.5	75.1	76.1	293.1	375.6	334.4
0:01:30	90	86.5	118.6	82.5	95.9	73.1	116.9	93.7	94.6	375.1	467.1	421.1
0:02:00	120	102.8	136.3	105.3	114.8	82.8	131.9	119.2	111.3	393.3	498.4	445.9
0:02:30	150	119.6	156.4	126.4	134.1	97.2	149.8	139.4	128.8	396.4	508.7	452.6
0:03:00	180	136.1	176.8	146.9	153.3	109.6	164.0	158.1	143.9	393.7	510.2	452.0
0:03:30	210	154.3	202.1	168.0	174.8	124.0	185.2	181.2	163.5	406.8	520.4	463.6
0:04:00	240	173.0	222.6	188.7	194.8	138.6	205.3	203.0	182.3	417.0	536.0	476.5
0:04:30	270	190.5	244.9	210.1	215.2	154.1	221.5	222.3	199.3	422.7	543.0	482.9
0:05:00	300	208.0	265.3	231.1	234.8	168.3	238.5	243.7	216.8	433.6	551.6	492.6
0:05:30	330	224.7	286.5	252.5	254.6	183.8	259.6	263.6	235.7	444.1	558.3	501.2
0:06:00	360	240.9	305.1	272.2	272.7	198.1	275.4	283.2	252.2	446.2	566.9	506.6
0:06:30	390	257.7	326.5	292.2	292.1	213.9	292.8	302.7	269.8	456.3	571.1	513.7
0:07:00	420	274.3	343.6	311.5	309.8	229.2	312.4	320.1	287.2	464.8	575.3	520.1
0:07:30	450	289.6	363.4	329.6	327.5	243.3	326.1	338.5	302.6	472.3	582.6	527.5
0:08:00	480	306.5	381.7	347.4	345.2	258.0	344.0	356.0	319.3	481.8	592.1	537.0
0:08:30	510	322.0	400.1	364.6	362.2	272.9	358.0	372.4	334.4	490.0	604.8	547.4
0:09:00	540	337.3	418.3	380.8	378.8	287.7	377.7	392.1	352.5	493.9	600.9	547.4
0:09:30	570	351.7	435.4	399.8	395.6	301.6	489.8	410.7	400.7	502.5	606.4	554.5
0:10:00	600	367.7	450.2	415.4	411.1	315.1	508.3	426.7	416.7	506.2	614.6	560.4
0:10:30	630	380.9	462.7	430.5	424.7	328.4	532.8	438.0	433.1	513.5	620.0	566.8
0:11:00	660	396.0	476.6	445.0	439.2	342.6	528.4	451.4	440.8	527.1	623.6	575.4
0:11:30	690	409.2	488.7	459.0	452.3	355.1	529.8	466.1	450.3	533.7	625.0	579.4
0:12:00	720	422.7	501.3	472.8	465.6	367.5	529.2	478.7	458.5	538.5	635.9	587.2
0:12:30	750	435.1	512.7	485.4	477.7	380.1	543.9	491.2	471.7	545.1	643.4	594.3
0:13:00	780	447.1	527.3	498.1	490.8	394.1	549.4	504.7	482.7	552.4	642.5	597.5
0:13:30	810	458.1	537.4	510.4	502.0	405.2	550.5	516.6	490.8	554.0	654.6	604.3
0:14:00	840	469.1	550.9	522.5	514.2	416.7	563.7	529.8	503.4	562.5	656.7	609.6
0:14:30	870	480.0	561.4	533.2	524.9	427.6	564.7	539.6	510.6	566.1	665.9	616.0
0:15:00	900	491.4	574.2	543.8	536.5	438.8	571.1	548.5	519.5	574.0	674.6	624.3
0:15:30	930	502.7	581.5	553.5	545.9	449.7	576.0	557.4	527.7	581.8	680.3	631.1
0:16:00	960	515.2	589.8	563.1	556.0	460.4	582.2	566.0	536.2	589.6	683.4	636.5
0:16:30	990	526.5	595.6	572.1	564.7	470.8	585.3	575.7	543.9	590.5	687.5	639.0
0:17:00	1020	533.9	601.3	579.7	571.6	481.2	598.6	583.0	554.3	597.9	695.3	646.6
0:17:30	1050	543.0	607.8	588.0	579.6	491.4	601.6	590.6	561.2	602.6	699.8	651.2
0:18:00	1080	552.5	615.9	595.8	588.1	501.6	609.1	597.9	569.5	611.6	703.3	657.5
0:18:30	1110	560.8	621.8	603.4	595.3	510.9	608.3	605.5	574.9	614.0	706.6	660.3
0:19:00	1140	569.6	628.9	610.7	603.1	520.3	618.0	613.1	583.8	620.5	713.6	667.1
0:19:30	1170	577.5	634.5	617.3	609.8	529.2	629.2	619.2	592.5	625.9	721.5	673.7

ตารางที่ ข-24 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF1

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	34.4	34.7	34.6	34.6	34.5	34.4	34.7	34.5	53.6	48.1	50.9
0:05:00	300	42.6	47.5	39.9	43.3	43.9	39.8	45.4	43.0	608.4	704.7	656.6
0:10:00	600	70.2	76.0	66.0	70.7	72.0	65.7	75.8	71.2	690.2	778.3	734.3
0:15:00	900	94.9	97.9	95.2	96.0	96.8	93.8	97.3	96.0	748.7	832.8	790.8
0:20:00	1200	108.5	120.2	103.2	110.6	119.7	103.5	114.3	112.5	774.9	850.9	812.9
0:25:00	1500	136.8	154.8	123.0	138.2	153.6	124.9	148.6	142.4	801.0	872.9	837.0
0:30:00	1800	172.1	194.0	151.3	172.5	189.2	157.6	185.9	177.6	828.6	901.2	864.9
0:35:00	2100	210.5	235.2	191.8	212.5	226.4	201.0	225.2	217.5	848.6	917.1	882.9
0:40:00	2400	250.9	279.4	235.9	255.4	266.2	246.8	266.3	259.8	862.3	929.6	896.0
0:45:00	2700	291.7	325.7	281.1	299.5	306.0	292.2	308.9	302.4	885.3	948.3	916.8
0:50:00	3000	333.3	373.3	326.0	344.2	346.6	337.0	353.5	345.7	892.7	953.6	923.2
0:55:00	3300	375.2	414.9	370.1	386.7	386.3	381.1	395.8	387.7	899.5	960.0	929.8
1:00:00	3600	416.1	454.1	412.0	427.4	424.7	421.2	435.7	427.2	912.1	971.0	941.6
1:05:00	3900	455.2	491.7	451.7	466.2	460.9	459.2	474.0	464.7	925.7	981.7	953.7
1:10:00	4200	493.0	526.8	489.6	503.1	496.5	495.2	510.1	500.6	935.8	991.7	963.8
1:15:00	4500	528.5	560.5	525.9	538.3	530.5	528.3	544.2	534.3	947.1	1002.1	974.6
1:20:00	4800	562.2	593.3	559.7	571.7	562.7	560.6	577.1	566.8	950.6	1000.0	975.3
1:25:00	5100	593.8	624.1	591.7	603.2	593.6	591.0	607.7	597.4	957.9	1009.9	983.9
1:30:00	5400	623.2	652.9	621.9	632.7	622.2	619.7	636.3	626.1	965.7	1015.3	990.5
1:35:00	5700	650.7	679.7	650.2	660.2	648.8	647.4	663.3	653.2	971.3	1020.4	995.9
1:40:00	6000	676.6	703.9	676.3	685.6	674.0	673.0	688.0	678.3	975.8	1024.0	999.9
1:45:00	6300	700.0	726.9	700.0	709.0	696.6	696.5	710.1	701.1	984.6	1030.6	1007.6
1:50:00	6600	721.2	747.3	721.2	729.9	718.6	718.0	730.9	722.5	989.6	1036.9	1013.3
1:55:00	6900	739.9	759.7	738.7	746.1	737.6	738.1	743.2	739.6	998.0	1042.1	1020.1
2:00:00	7200	749.3	769.7	746.2	755.1	744.7	747.0	753.9	748.5	998.4	1043.2	1020.8
2:10:00	7800	777.0	800.3	775.8	784.4	770.2	771.0	784.9	775.4	1006.9	1050.6	1028.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-25 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF2

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	33.8	33.8	34.3	34.0	33.8	33.9	34.2	34.0	68.7	53.7	61.2
0:05:00	300	40.6	37.5	48.7	42.3	36.1	42.1	54.8	44.3	635.6	725.3	680.5
0:10:00	600	70.5	62.7	79.0	70.7	66.2	70.8	87.6	74.9	699.6	790.9	745.3
0:15:00	900	95.0	92.1	98.8	95.3	95.4	97.9	117.4	103.6	752.7	840.1	796.4
0:20:00	1200	100.7	99.6	114.2	104.8	104.0	109.9	133.0	115.6	770.7	859.4	815.1
0:25:00	1500	119.0	106.2	146.2	123.8	109.1	117.7	169.9	132.2	797.9	884.1	841.0
0:30:00	1800	149.0	133.0	181.4	154.5	133.3	149.0	200.8	161.0	829.9	911.8	870.9
0:35:00	2100	181.1	167.0	216.8	188.3	180.3	194.9	246.6	207.3	847.0	924.6	885.8
0:40:00	2400	217.5	203.7	252.3	224.5	227.5	243.0	294.4	255.0	858.5	931.7	895.1
0:45:00	2700	254.6	241.2	288.7	261.5	263.6	281.8	333.4	292.9	882.2	949.9	916.1
0:50:00	3000	292.1	278.8	325.4	298.8	298.5	320.4	374.0	331.0	893.1	962.7	927.9
0:55:00	3300	328.6	316.3	362.7	335.9	335.3	358.6	414.8	369.6	902.9	960.5	931.7
1:00:00	3600	368.1	352.9	399.4	373.5	369.1	396.3	451.4	405.6	916.9	973.9	945.4
1:05:00	3900	404.0	388.6	434.7	409.1	402.0	432.8	485.7	440.2	927.7	984.8	956.3
1:10:00	4200	437.5	422.9	468.7	443.0	428.3	468.8	518.2	471.8	937.6	993.4	965.5
1:15:00	4500	471.0	456.6	501.7	476.4	464.1	503.4	550.4	506.0	948.4	1007.0	977.7
1:20:00	4800	503.2	488.7	533.0	508.3	499.2	535.5	581.7	538.8	949.6	1008.4	979.0
1:25:00	5100	534.2	519.8	562.5	538.8	525.4	564.2	610.4	566.7	959.2	1010.2	984.7
1:30:00	5400	563.3	548.8	590.4	567.5	549.5	592.7	638.2	593.5	964.2	1020.2	992.2
1:35:00	5700	590.1	576.2	617.0	594.4	572.9	620.0	664.1	619.0	968.4	1022.1	995.3
1:40:00	6000	616.4	603.6	642.7	620.9	597.0	646.9	688.7	644.2	974.4	1027.1	1000.8
1:45:00	6300	641.0	629.0	666.9	645.6	619.0	671.6	711.1	667.2	982.1	1034.8	1008.5
1:50:00	6600	666.1	652.9	689.0	669.3	640.2	694.9	732.4	689.2	987.1	1044.4	1015.8
1:55:00	6900	688.4		709.7	699.1	659.2	716.7	751.3	709.1	993.5	1047.4	1020.5
2:00:00	7200	709.3		728.0	718.7	691.4	736.2	761.5	729.7	996.9	1046.4	1021.7
2:10:00	7800	741.7		754.7	748.2	714.1	761.5	792.4	756.0	1006.8	1055.4	1031.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-26 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF3

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	34.1	34.1	34.4	34.2	33.8	33.8	34.0	33.9	56.6	54.0	55.3
0:05:00	300	37.5	39.3	41.4	39.4	37.5	41.0	42.8	40.4	537.1	631.3	584.2
0:10:00	600	59.1	61.7	63.9	61.6	55.8	64.6	67.9	62.8	621.6	712.2	666.9
0:15:00	900	85.2	89.6	88.0	87.6	83.4	90.3	89.9	87.9	679.7	769.1	724.4
0:20:00	1200	99.8	99.9	100.3	100.0	98.8	99.7	100.6	99.7	707.7	791.9	749.8
0:25:00	1500	104.0	107.3	107.6	106.3	104.0	112.5	112.5	109.7	734.5	816.0	775.3
0:30:00	1800	124.3	126.2	124.5	125.0	116.1	137.4	131.4	128.3	759.9	843.8	801.9
0:35:00	2100	150.7	154.0	152.5	152.4	134.8	164.1	160.4	153.1	781.5	860.9	821.2
0:40:00	2400	181.9	185.3	186.9	184.7	165.9	194.7	193.4	184.7	796.7	874.9	835.8
0:45:00	2700	217.0	220.4	222.8	220.1	202.4	228.6	226.8	219.3	819.0	894.8	856.9
0:50:00	3000	253.9	258.2	260.4	257.5	241.0	265.2	261.9	256.0	826.3	900.8	863.6
0:55:00	3300	290.9	295.9	297.5	294.8	278.3	300.3	297.5	292.0	835.8	908.3	872.1
1:00:00	3600	327.4	333.6	335.4	332.1	314.1	329.5	333.4	325.7	845.1	920.9	883.0
1:05:00	3900	362.9	369.0	373.1	368.3	349.1	365.7	370.0	361.6	862.2	931.8	897.0
1:10:00	4200	397.1	404.7	408.4	403.4	383.2	400.4	403.1	395.6	874.3	943.0	908.7
1:15:00	4500	430.1	439.4	442.3	437.3	416.1	434.0	436.0	428.7	883.6	954.8	919.2
1:20:00	4800	461.4	473.0	475.5	470.0	447.5	465.9	468.9	460.8	891.9	956.3	924.1
1:25:00	5100	492.2	505.3	507.5	501.7	478.6	497.3	501.1	492.3	897.7	964.3	931.0
1:30:00	5400	522.2	535.2	537.2	531.5	508.6	526.1	531.0	521.9	904.3	971.6	938.0
1:35:00	5700	550.4	563.8	566.0	560.1	537.2	554.5	559.2	550.3	911.7	976.6	944.2
1:40:00	6000	578.2	591.7	592.6	587.5	563.8	581.8	586.5	577.4	914.8	979.4	947.1
1:45:00	6300	604.1	618.7	618.7	613.8	589.5	607.8	612.5	603.3	923.8	987.2	955.5
1:50:00	6600	627.9		642.9	635.4	612.9	632.3	636.7	627.3	930.3	993.1	961.7
1:55:00	6900	650.4		665.4	657.9	635.4	684.0	659.5	659.6	937.5	999.6	968.6
2:00:00	7200	672.0		687.1	679.6	657.3	703.9	681.4	680.9	941.8	1001.1	971.5
2:10:00	7800	709.7		726.9	718.3	695.8	751.2	719.2	722.1	948.5	1007.8	978.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-27 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HSI

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	40.2	40.3	40.9	40.5	40.1	40.1	40.4	40.2	61.2	55.5	58.4
0:05:00	300	53.1	47.9	63.9	55.0	52.2	45.3	55.0	50.8	605.3	646.8	626.1
0:10:00	600	84.9	76.4	99.5	86.9	81.1	71.4	83.0	78.5	689.5	725.6	707.6
0:15:00	900	108.8	99.1	139.9	115.9	103.3	97.3	100.4	100.3	741.6	783.6	762.6
0:20:00	1200	147.9	120.9	167.7	145.5	132.5	101.8	126.8	120.4	765.7	809.5	787.6
0:25:00	1500	190.8	151.6	203.8	182.1	167.3	127.8	160.2	151.8	804.4	846.9	825.7
0:30:00	1800	234.8	191.2	244.8	223.6	205.2	168.0	196.7	190.0	832.3	876.9	854.6
0:35:00	2100	280.0	237.6	288.9	268.8	246.9	212.9	237.6	232.5	853.6	898.6	876.1
0:40:00	2400	325.5	288.1	334.1	315.9	290.0	259.6	281.8	277.1	865.1	912.5	888.8
0:45:00	2700	370.9	341.2	380.0	364.0	333.1	305.0	325.8	321.3	881.2	924.1	902.7
0:50:00	3000	415.8	391.8	425.1	410.9	375.9	349.7	369.2	364.9	894.3	934.3	914.3
0:55:00	3300	458.2	436.3	467.1	453.9	417.3	392.9	411.4	407.2	907.2	951.8	929.5
1:00:00	3600	498.5	477.2	507.2	494.3	457.0	433.3	451.4	447.2	924.4	962.5	943.5
1:05:00	3900	537.2	516.9	546.3	533.5	495.0	472.3	490.9	486.1	935.4	973.8	954.6
1:10:00	4200	573.0	553.8	583.4	570.1	531.1	509.6	528.7	523.1	945.0	987.0	966.0
1:15:00	4500	607.5	589.5	618.8	605.3	566.1	545.3	563.8	558.4	945.6	987.7	966.7
1:20:00	4800	639.8	623.8	646.9	636.8	598.7	578.1	596.3	591.0	956.1	996.1	976.1
1:25:00	5100	668.8	655.1	675.2	666.4	628.5	609.6	627.2	621.8	961.8	1002.7	982.3
1:30:00	5400	695.7	685.0	704.2	695.0	656.1	638.8	655.7	650.2	971.5	1010.2	990.9
1:35:00	5700	720.3		728.8	724.6	681.5	665.5	681.7	676.2	980.5	1020.4	1000.5
1:40:00	6000	737.9		747.6	742.8	705.5	690.7	706.0	700.7	983.7	1022.0	1002.9
1:45:00	6300	748.2		757.3	752.8	725.4	713.3	724.9	721.2	987.4	1024.8	1006.1
1:50:00	6600	762.6		772.2	767.4	740.3	734.3	740.5	738.4	994.7	1028.1	1011.4
1:55:00	6900	782.3		790.0	786.2	746.8	741.7	748.3	745.6	1002.2	1032.9	1017.6
2:00:00	7200	801.7		808.5	805.1	760.2	753.0	762.5	758.6	1005.5	1039.5	1022.5
2:10:00	7800	854.7		857.8	856.3	796.3	785.5	798.4	793.4	1016.5	1048.4	1032.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-28 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS2

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	37.6	37.7	38.0	37.8	37.6	37.8	38.2	37.9	74.0	62.5	68.3
0:05:00	300	50.9	54.3	53.8	53.0	48.9	49.7		49.3	632.3	723.5	677.9
0:10:00	600	84.4	82.3	88.1	84.9	79.9	80.9		80.4	713.4	805.0	759.2
0:15:00	900	112.7	107.1		109.9	107.7	103.9		105.8	773.6	850.6	812.1
0:20:00	1200	143.4	126.5		135.0	141.3	128.2		134.8	793.4	869.6	831.5
0:25:00	1500	164.0	146.9		155.5	176.7	163.4		170.1	824.2	903.5	863.9
0:30:00	1800	203.6	192.9		198.3	222.0	211.6		216.8	854.2	927.5	890.9
0:35:00	2100	244.8	242.6		243.7	267.4	259.4		263.4	876.0	950.0	913.0
0:40:00	2400	287.0	291.5		289.3	312.1	306.6		309.4	890.5	954.5	922.5
0:45:00	2700	329.5	337.6		333.6	356.7	352.2		354.5	903.8	962.8	933.3
0:50:00	3000	371.3	380.5		375.9	397.6	394.3		396.0	911.2	971.4	941.3
0:55:00	3300	412.1	420.5		416.3	436.0	434.5		435.3	921.3	980.4	950.9
1:00:00	3600	449.5	457.9		453.7	477.8	472.7		475.3	933.9	995.3	964.6
1:05:00	3900	485.4	496.9		491.2	507.7	507.8		507.8	947.9	1003.0	975.5
1:10:00	4200	519.1	531.9		525.5	550.9	550.3		550.6	956.4	1010.3	983.4
1:15:00	4500	552.3	564.5		558.4	582.0	580.9		581.5	960.6	1009.8	985.2
1:20:00	4800	583.1	595.2		589.2	611.4	610.2		610.8	964.1	1019.2	991.7
1:25:00	5100	611.5	623.8		617.7	638.8	638.2		638.5	975.7	1022.7	999.2
1:30:00	5400	639.4	650.7		645.1	664.3	664.1		664.2	982.6	1031.6	1007.1
1:35:00	5700	664.7	675.5		670.1	687.9	691.4		689.7	993.2	1038.3	1015.8
1:40:00	6000	688.4	700.0		694.2	709.5	724.6		717.1	996.8	1040.6	1018.7
1:45:00	6300	710.9	722.0		716.5	723.3	748.1		735.7	997.5	1042.5	1020.0
1:50:00	6600	728.7	743.2		736.0	736.8	766.2		751.5	1000.7	1050.7	1025.7
1:55:00	6900	741.9	759.8		750.9	752.5	775.7		764.1	1009.1	1057.2	1033.2
2:00:00	7200	756.3	770.6		763.5	769.5	787.9		778.7	1014.0	1059.0	1036.5
2:10:00	7800	773.2	778.7		776.0	807.4			807.4	1027.7	1068.1	1047.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-29 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS3

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	38.4	38.5	38.7	38.5	38.2	38.4	38.5	38.4	72.1	61.3	66.7
0:05:00	300	48.3	45.8	51.3	48.5	45.6	44.9	46.2	45.6	540.9	605.5	573.2
0:10:00	600	73.3	67.3	68.6	69.7	66.1	64.9	66.7	65.9	628.5	686.6	657.6
0:15:00	900	94.8	90.3	89.5	91.5	88.7	86.4	88.5	87.9	678.3	741.0	709.7
0:20:00	1200	122.7	99.6	101.3	107.9	100.3	98.2	104.6	101.0	707.6	768.2	737.9
0:25:00	1500	151.8	117.1	135.2	134.7	126.7	102.7	124.3	117.9	743.9	805.8	774.9
0:30:00	1800	181.7	145.7	164.2	163.9	155.1	126.9	147.4	143.1	773.5	834.0	803.8
0:35:00	2100	213.4	180.5	195.0	196.3	185.4	161.2	176.2	174.3	797.1	855.2	826.2
0:40:00	2400	248.5	217.5	227.9	231.3	217.2	196.7	208.0	207.3	812.1	869.1	840.6
0:45:00	2700	284.2	255.6	262.9	267.6	250.9	232.4	240.8	241.4	823.0	882.3	852.7
0:50:00	3000	319.6	292.8	298.2	303.5	285.1	268.6	275.0	276.2	837.1	893.7	865.4
0:55:00	3300	355.4	330.7	334.2	340.1	319.0	304.0	309.2	310.7	852.7	909.5	881.1
1:00:00	3600	391.4	368.9	371.3	377.2	352.9	339.3	344.0	345.4	865.4	923.9	894.7
1:05:00	3900	426.5	407.0	408.1	413.9	386.3	374.8	379.3	380.1	878.5	935.2	906.9
1:10:00	4200	460.6	442.2	443.4	448.7	418.8	408.2	413.4	413.5	889.7	946.8	918.3
1:15:00	4500	493.0	476.1	477.0	482.0	450.3	441.3	447.0	446.2	895.1	948.8	922.0
1:20:00	4800	523.7	509.7	509.0	514.1	481.1	472.9	479.1	477.7	903.9	957.0	930.5
1:25:00	5100	553.1	541.3	539.4	544.6	509.6	503.1	510.3	507.7	911.0	964.4	937.7
1:30:00	5400	580.9	571.8	568.5	573.7	537.6	532.4	539.9	536.6	920.1	972.7	946.4
1:35:00	5700	607.4	601.4	596.6	601.8	564.8	560.8	568.1	564.6	930.8	981.7	956.3
1:40:00	6000	632.8	629.6	623.0	628.5	590.6	588.2	595.5	591.4	933.5	984.8	959.2
1:45:00	6300	656.5	654.6	647.4	652.8	615.0	614.3	621.4	616.9	937.3	986.7	962.0
1:50:00	6600	679.3	678.7	670.1	676.0	637.8	638.4	645.4	640.5	941.2	992.5	966.9
1:55:00	6900	700.0	700.2	692.0	697.4	659.3	661.2	668.5	663.0	946.9	1000.0	973.5
2:00:00	7200	717.4	721.5	707.8	715.6	677.4	681.9	689.9	683.1	954.3	1004.0	979.2
2:10:00	7800	743.6	749.4	735.8	742.9	711.4	720.0	723.0	718.1	966.4	1015.1	990.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-30 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF4

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	39.0	39.4	40.4	39.6	39.4	39.6	40.4	39.8	72.8	61.2	67.0
0:05:00	300	40.4	40.1	46.3	42.3	40.9	40.2	51.4	44.2	589.7	610.7	600.2
0:10:00	600	49.6	44.5	65.4	53.2	50.1	47.3	76.8	58.1	685.0	711.3	698.2
0:15:00	900	66.3	56.7	83.8	68.9	70.0	63.5	95.9	76.5	712.3	768.9	740.6
0:20:00	1200	83.4	72.4	96.3	84.0	89.1	81.8	119.5	96.8	737.2	789.3	763.3
0:25:00	1500	95.7	87.6	109.5	97.6	98.4	97.2	141.9	112.5	766.7	817.6	792.2
0:30:00	1800	101.7	98.7	131.5	110.6	102.4	101.1	166.3	123.3	779.8	829.2	804.5
0:35:00	2100	109.8	101.6	154.1	121.8	109.3	105.4	190.5	135.1	790.9	852.1	821.5
0:40:00	2400	120.2	106.6	175.5	134.1	120.2	113.5	215.0	149.6	811.6	862.9	837.3
0:45:00	2700	134.6	114.2	196.8	148.5	139.5	128.0	239.2	168.9	838.2	882.8	860.5
0:50:00	3000	152.8	124.6	218.4	165.3	164.4	147.7	263.0	191.7	836.8	891.5	864.2
0:55:00	3300	171.2	140.1	239.4	183.6	189.1	169.3	287.5	215.3	849.2	900.5	874.9
1:00:00	3600	191.7	157.9	260.2	203.3	214.6	194.5	310.7	239.9	872.9	923.0	898.0
1:05:00	3900	214.1	178.3	282.4	224.9	240.9	222.6	336.5	266.7	876.8	927.2	902.0
1:10:00	4200	237.3	200.6	305.3	247.7	267.4	251.0	363.5	294.0	894.5	937.5	916.0
1:15:00	4500	261.4	226.2	328.5	272.0	294.3	279.9	390.2	321.5	908.0	949.6	928.8
1:20:00	4800	286.6	254.0	355.6	298.7	321.1	308.3	414.9	348.1	918.3	957.1	937.7
1:25:00	5100	310.3	281.4	378.3	323.3	348.8	337.9	438.7	375.1	928.4	966.9	947.7
1:30:00	5400	336.2	309.9	403.1	349.7	376.7	366.9	464.6	402.7	939.9	975.1	957.5
1:35:00	5700	363.1	339.4	428.1	376.9	404.6	396.9	492.0	431.2	949.1	984.3	966.7
1:40:00	6000	388.6	370.0	452.3	403.6	429.3	426.0	517.6	457.6	958.3	986.9	972.6
1:45:00	6300	416.0	400.6	478.3	431.6	455.5	454.5	543.1	484.4	958.5	990.6	974.6
1:50:00	6600	442.0	429.0	502.7	457.9	481.6	482.1	567.8	510.5	970.4	997.5	984.0
1:55:00	6900	468.0	454.9	528.1	483.7	507.0	509.1	591.1	535.7	970.0	1001.9	986.0
2:00:00	7200	493.1	479.7	551.7	508.2	532.4	536.1	615.2	561.2	978.9	1008.6	993.8
2:10:00	7800	541.5	528.2	599.3	556.3	579.0	585.4	659.1	607.8	992.4	1017.9	1005.2
2:20:00	8400	585.6	575.7	643.0	601.4	622.7	632.0	699.0	651.2	997.9	1019.0	1008.5
2:30:00	9000	626.7	618.0	685.0	643.2	662.2		726.5	694.4	1007.9	1026.6	1017.3
2:40:00	9600	662.3	656.8	719.3	679.5	698.6		755.1	726.9	1014.7	1033.1	1023.9
2:50:00	10200	695.2	691.9	742.4	709.8	727.5		787.9	757.7	1027.1	1044.6	1035.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-31 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF5

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	37.0	36.9	37.6	37.2	36.9	36.9	37.7	37.2	44.3	58.8	51.6
0:05:00	300	37.6	37.2	38.5	37.8	37.5	37.5	39.0	38.0	695.1	682.8	689.0
0:10:00	600	48.0	40.8	50.6	46.5	44.9	43.6	51.9	46.8	776.7	767.0	771.9
0:15:00	900	63.5	53.3	67.7	61.5	60.9	55.2	68.0	61.4	827.6	819.6	823.6
0:20:00	1200	81.3	69.7	83.5	78.2	78.0	69.5	83.0	76.8	834.4	833.0	833.7
0:25:00	1500	94.6	85.0	94.4	91.3	92.0	83.3	93.8	89.7	867.9	865.5	866.7
0:30:00	1800	99.7	96.1	99.0	98.3	98.4	94.6	99.3	97.4	871.2	877.3	874.3
0:35:00	2100	106.6	99.3	101.4	102.4	101.1	99.3	101.2	100.5	891.2	896.4	893.8
0:40:00	2400	120.8	99.8	107.9	109.5	109.3	99.9	106.9	105.4	902.3	904.4	903.4
0:45:00	2700	139.9	100.6	118.3	119.6	125.6	100.2	123.5	116.4	919.5	920.2	919.9
0:50:00	3000	159.3	103.0	136.9	133.1	143.6	101.5	137.3	127.5	925.5	928.6	927.1
0:55:00	3300	178.0	109.3	156.3	147.9	160.4	107.6	152.7	140.2	929.9	935.5	932.7
1:00:00	3600	196.2	122.4	176.6	165.1	177.6	121.3	171.2	156.7	952.7	958.3	955.5
1:05:00	3900	214.6	147.1	197.7	186.5	195.2	140.8	191.0	175.7	959.5	957.9	958.7
1:10:00	4200	234.6	173.5	220.2	209.4	214.3	164.0	213.2	197.2	968.1	968.4	968.3
1:15:00	4500	256.1	201.1	243.7	233.6	235.0	189.0	237.6	220.5	977.9	979.5	978.7
1:20:00	4800	278.7	229.2	267.9	258.6	257.1	214.8	268.5	246.8	985.1	986.9	986.0
1:25:00	5100	302.2	257.4	293.6	284.4	280.8	241.7	310.1	277.5	991.8	995.7	993.8
1:30:00	5400	327.0	286.7	319.4	311.0	304.7	269.1	352.0	308.6	999.5	1003.5	1001.5
1:35:00	5700	352.9	314.8	346.4	338.0	329.8	297.5	386.3	337.9	1008.0	1016.1	1012.1
1:40:00	6000	380.7	343.4	375.9	366.7	356.2	326.9	421.9	368.3	1011.4	1019.8	1015.6
1:45:00	6300	408.2	373.5	403.9	395.2	383.6	357.4	458.8	399.9	1017.2	1022.9	1020.1
1:50:00	6600	434.7	403.3	432.1	423.4	410.8	390.3	496.5	432.5	1024.4	1031.4	1027.9
1:55:00	6900	461.3	432.0	460.6	451.3	437.1	420.8	538.5	465.5	1024.5	1035.3	1029.9
2:00:00	7200	487.8	460.5	489.1	479.1	463.3	445.9	571.2	493.5	1034.8	1040.3	1037.6
2:10:00	7800	538.7	514.5	543.1	532.1	514.5	492.2	578.4	528.4	1040.4	1049.7	1045.1
2:20:00	8400	586.1	565.1	592.9	581.4	563.3	543.6	608.8	571.9	1040.0	1049.9	1045.0
2:30:00	9000	629.6	611.8	638.1	626.5	607.5	590.6	648.2	615.4	1046.5	1056.7	1051.6
2:40:00	9600	669.6	656.1	679.4	668.4	647.6	634.0	675.9	652.5	1054.4	1064.3	1059.4
2:50:00	10200	706.1	696.6	716.0	706.2	684.5	673.2	715.2	691.0	1062.1	1073.8	1068.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-32 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF6

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	48.0	48.4	49.1	48.5	48.2	48.7	48.8	48.6	68.7	53.7	61.2
0:05:00	300	49.3	49.0	50.9	49.7	49.4	49.6	51.3	50.1	635.6	725.3	680.5
0:10:00	600	57.8	50.9	64.1	57.6	59.4	52.5	64.4	58.8	699.6	790.9	745.3
0:15:00	900	72.6	58.7	81.4	70.9	75.8	63.1	80.9	73.3	752.7	840.1	796.4
0:20:00	1200	88.1	71.6	93.9	84.5	91.2	76.6	93.6	87.1	770.7	859.4	815.1
0:25:00	1500	99.1	85.2	101.4	95.2	99.8	89.6	99.0	96.1	797.9	884.1	841.0
0:30:00	1800	104.8	96.6	107.8	103.1	104.8	98.4	105.1	102.8	829.9	911.8	870.9
0:35:00	2100	111.3	100.0	115.7	109.0	113.5	100.3	113.0	108.9	847.0	924.6	885.8
0:40:00	2400	119.0	100.6	124.9	114.8	126.7	101.6	125.3	117.9	858.5	931.7	895.1
0:45:00	2700	127.7	102.5	138.5	122.9	141.0	104.7	137.6	127.8	882.2	949.9	916.1
0:50:00	3000	137.9	105.7	153.6	132.4	156.4	109.9	151.3	139.2	893.1	962.7	927.9
0:55:00	3300	153.3	110.6	168.6	144.2	173.0	118.2	166.2	152.5	902.9	960.5	931.7
1:00:00	3600	170.9	117.5	185.5	158.0	190.9	133.1	184.2	169.4	916.9	973.9	945.4
1:05:00	3900	189.2	127.0	203.5	173.2	209.3	153.6	204.2	189.0	927.7	984.8	956.3
1:10:00	4200	207.7	139.6	222.0	189.8	228.4	175.7	224.8	209.6	937.6	993.4	965.5
1:15:00	4500	227.1	156.5	241.2	208.3	248.1	198.8	246.6	231.2	948.4	1007.0	977.7
1:20:00	4800	246.9	182.2	260.7	229.9	268.4	222.1	268.1	252.9	949.6	1008.4	979.0
1:25:00	5100	267.0	207.6	281.0	251.9	289.4	246.1	290.3	275.3	959.2	1010.2	984.7
1:30:00	5400	288.0	232.9	301.9	274.3	310.8	270.3	314.1	298.4	964.2	1020.2	992.2
1:35:00	5700	309.9	258.7	323.6	297.4	333.1	296.0	337.5	322.2	968.4	1022.1	995.3
1:40:00	6000	331.8	285.1	346.7	321.2	357.1	325.7	361.5	348.1	974.4	1027.1	1000.8
1:45:00	6300	354.9	311.3	370.8	345.7	380.7	357.1	384.9	374.2	982.1	1034.8	1008.5
1:50:00	6600	377.8	338.8	393.9	370.2	404.7	395.5	410.6	403.6	987.1	1044.4	1015.8
1:55:00	6900	402.0	367.0	418.4	395.8	429.4	442.9	435.5	435.9	993.5	1047.4	1020.5
2:00:00	7200	426.4	395.0	442.9	421.4	454.1	479.6	460.5	464.7	996.9	1046.4	1021.7
2:10:00	7800	475.7	450.1	494.1	473.3	502.2	496.1	512.2	503.5	1006.8	1055.4	1031.1
2:20:00	8400	522.5	501.0	547.8	523.8	547.4	530.9	560.4	546.2	1012.4	1057.7	1035.1
2:30:00	9000	567.4	551.7		559.6	590.1	574.2		582.2	1019.0	1061.7	1040.4
2:40:00	9600	609.6	624.1		616.9	629.3	613.4		621.4	1025.7	1065.7	1045.7
2:50:00	10200	651.0	692.4		671.7	665.7	653.6		659.7	1032.3	1069.7	1051.0
3:00:00	10800					699.5	701.9		700.7	1039.0	1073.7	1056.4

ตารางที่ ข-33 แสดงผลการทดสอบอัตราการค้ำทานไฟของตัวอย่าง HS4

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	42.4	42.8	43.2	42.8	41.1	41.5	42.1	41.6	65.9	59.1	62.5
0:05:00	300	43.5	43.8	51.9	46.4	42.6	43.5	44.9	43.7	610.1	703.8	657.0
0:10:00	600	59.5	58.6	77.9	65.3	56.2	59.7	69.0	61.6	708.6	779.2	743.9
0:15:00	900	82.9	80.6	93.6	85.7	78.0	81.3	89.6	83.0	764.2	828.0	796.1
0:20:00	1200	98.2	96.6	101.3	98.7	95.2	96.0	98.4	96.5	780.7	838.9	809.8
0:25:00	1500	99.3	98.2	104.2	100.6	100.5	97.5	104.2	100.7	805.5	871.7	838.6
0:30:00	1800	100.1	99.3	107.8	102.4	104.5	98.1	108.8	103.8	821.9	884.5	853.2
0:35:00	2100	100.9	99.6	114.4	105.0	108.6	98.4	115.8	107.6	841.7	907.5	874.6
0:40:00	2400	111.4	101.8	139.3	117.5	122.4	112.3	139.4	124.7	856.8	918.4	887.6
0:45:00	2700	130.4	109.3	166.6	135.4	143.2	128.8	166.7	146.2	870.2	932.3	901.3
0:50:00	3000	155.5	124.9	193.7	158.0	165.8	149.0	200.4	171.7	883.7	945.8	914.8
0:55:00	3300	182.5	150.8	221.7	185.0	190.1	173.8	232.9	198.9	894.3	951.2	922.8
1:00:00	3600	211.8	189.6	251.1	217.5	216.4	203.6	266.9	229.0	917.8	979.2	948.5
1:05:00	3900	241.7	229.5	282.7	251.3	243.5	235.2	303.9	260.9	918.6	977.5	948.1
1:10:00	4200	272.9	270.2	315.7	286.3	271.0	267.3	341.7	293.3	932.9	988.0	960.5
1:15:00	4500	302.6	307.3	349.1	319.7	299.4	299.5	379.2	326.0	938.1	996.4	967.3
1:20:00	4800	337.3	344.5	382.9	354.9	328.3	332.7	416.3	359.1	948.0	1004.4	976.2
1:25:00	5100	373.4	382.9	415.6	390.6	357.7	367.4	448.1	391.1	956.5	1010.5	983.5
1:30:00	5400	406.7	419.0	449.5	425.1	387.9	400.1	474.1	420.7	963.3	1019.5	991.4
1:35:00	5700	443.3	453.7	482.9	460.0	417.1	430.7	494.3	447.4	970.8	1025.9	998.4
1:40:00	6000	475.5	487.9	515.0	492.8	446.8	461.2	507.7	471.9	972.9	1024.3	998.6
1:45:00	6300	510.9	520.5	546.0	525.8	476.3	490.8	521.1	496.1	977.7	1029.4	1003.6
1:50:00	6600	543.8	551.1	576.6	557.2	504.1	518.3	546.1	522.8	980.5	1033.3	1006.9
1:55:00	6900	582.3	585.4	615.3	594.3	542.2	555.5	572.3	556.7	985.9	1039.5	1012.7
2:00:00	7200	632.6	635.1	659.3	642.3	581.0	592.0	618.8	597.3	990.0	1043.3	1016.7
2:10:00	7800	661.5	749.8	685.0	698.8	632.8	642.7	666.8	647.4	999.9	1053.8	1026.9
2:20:00	8400	710.8	842.8	727.6	760.4	677.1	710.9	715.1	701.0	999.8	1051.1	1025.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-34 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS5

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	41.0	41.3	41.7	41.3	41.2	41.3	42.0	41.5	74.5	63.2	68.9
0:05:00	300	41.6	41.7	46.8	43.4	41.6	42.1		41.9	555.1	621.6	588.4
0:10:00	600	47.8	47.1	65.7	53.5	47.2	50.2		48.7	641.6	720.0	680.8
0:15:00	900	62.1	61.3	80.7	68.0	61.0	65.2		63.1	696.8	767.9	732.4
0:20:00	1200	77.8	78.4	92.9	83.0	79.4	82.8		81.1	717.9	785.7	751.8
0:25:00	1500	91.8	92.8	101.6	95.4	94.1	96.8		95.5	748.0	814.1	781.1
0:30:00	1800	99.7	99.6	111.7	103.7	99.3	98.9		99.1	763.3	829.2	796.3
0:35:00	2100	99.1	99.7	123.7	107.5	101.0	99.1		100.1	781.3	852.9	817.1
0:40:00	2400	101.4	102.2	138.9	114.2	104.5	102.1		103.3	796.4	863.8	830.1
0:45:00	2700	104.9	106.5	157.6	123.0	110.3	112.6		111.5	808.5	877.2	842.9
0:50:00	3000	118.7	114.2	177.0	136.6	119.9	129.5		124.7	822.3	891.3	856.8
0:55:00	3300	136.3	126.5	197.4	153.4	137.1	148.4		142.8	838.1	901.2	869.7
1:00:00	3600	156.3	146.6	219.0	174.0	157.5	170.2		163.9	856.2	925.4	890.8
1:05:00	3900	178.0	170.4	241.7	196.7	179.7	194.1		186.9	858.3	925.9	892.1
1:10:00	4200	202.5	195.8	265.8	221.4	204.4	220.1		212.3	870.9	936.5	903.7
1:15:00	4500	227.6	222.9	290.8	247.1	230.3	247.5		238.9	876.9	946.0	911.5
1:20:00	4800	254.7	250.8	317.6	274.4	257.2	279.1		268.2	890.1	954.7	922.4
1:25:00	5100	281.3	280.0	348.0	303.1	285.0	309.8		297.4	897.2	962.8	930.0
1:30:00	5400	307.8	310.1	378.6	332.2	313.2	340.5		326.9	905.7	971.4	938.6
1:35:00	5700	335.4	340.5	410.0	362.0	341.7	370.4		356.1	915.1	979.8	947.5
1:40:00	6000	364.5	371.1	442.2	392.6	370.2	398.9		384.6	916.9	980.1	948.5
1:45:00	6300	392.1	400.1	476.0	422.7	398.2	427.3		412.8	920.8	984.9	952.9
1:50:00	6600	419.9	429.6	508.6	452.7	425.5	454.9		440.2	924.2	990.0	957.1
1:55:00	6900	447.3	457.7	539.4	481.5	452.3	481.6		467.0	931.4	994.4	962.9
2:00:00	7200	474.8	485.5	570.2	510.2	478.0	507.9		493.0	934.3	999.5	966.9
2:10:00	7800		538.9	627.6	583.3	527.6	557.9		542.8	943.9	1009.1	976.5
2:20:00	8400		591.7	703.0	647.4	572.4	608.1		590.3	942.4	1008.6	975.5
2:30:00	9000	676.4		775.2	725.8	612.7	656.5		634.6	950.3	1014.4	982.4
2:40:00	9600					649.0	709.7		679.4	957.5	1023.0	990.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-35 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS6

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	35.4	34.9		35.2	34.4	34.4	34.8	34.5	74.0	62.5	68.3
0:05:00	300	37.7	35.3		36.5	35.3	34.8	36.3	35.5	632.3	723.5	677.9
0:10:00	600	45.1	37.5		41.3	40.5	37.0	48.4	42.0	713.4	805.0	759.2
0:15:00	900	60.1	47.7		53.9	55.2	47.1	65.3	55.9	773.6	850.6	812.1
0:20:00	1200	76.1	63.1		69.6	73.5	62.8	80.8	72.4	793.4	869.6	831.5
0:25:00	1500	89.9	79.3		84.6	89.7	79.4	92.7	87.3	824.2	903.5	863.9
0:30:00	1800	98.4	91.9		95.2	96.9	92.1	98.2	95.7	854.2	927.5	890.9
0:35:00	2100	102.4	97.9		100.2	99.1	97.3	101.0	99.1	876.0	950.0	913.0
0:40:00	2400	108.2	99.3		103.8	103.0	98.9	106.1	102.7	890.5	954.5	922.5
0:45:00	2700	115.6	102.1		108.9	109.6	100.5	113.9	108.0	903.8	962.8	933.3
0:50:00	3000	125.9	105.0		115.5	116.7	103.1	126.8	115.5	911.2	971.4	941.3
0:55:00	3300	140.2	111.5		125.9	125.4	106.8	141.5	124.6	921.3	980.4	950.9
1:00:00	3600	155.3	121.1		138.2	136.5	113.3	159.9	136.6	933.9	995.3	964.6
1:05:00	3900	172.9	133.7		153.3	150.3	123.4	179.6	151.1	947.9	1003.0	975.5
1:10:00	4200	192.7	148.0		170.4	167.0	136.5	200.2	167.9	956.4	1010.3	983.4
1:15:00	4500	214.2	166.3		190.3	186.2	152.3	220.1	186.2	960.6	1009.8	985.2
1:20:00	4800	236.0	186.8		211.4	208.0	171.1	241.4	206.8	964.1	1019.2	991.7
1:25:00	5100	260.2	212.5		236.4	231.5	191.0	262.5	228.3	975.7	1022.7	999.2
1:30:00	5400	283.4	237.6		260.5	255.6	212.3	285.8	251.2	982.6	1031.6	1007.1
1:35:00	5700	308.3	264.9		286.6	281.3	233.7	308.5	274.5	993.2	1038.3	1015.8
1:40:00	6000	334.1	292.8		313.5	307.0	256.5	331.6	298.4	996.8	1040.6	1018.7
1:45:00	6300	359.3	322.5		340.9	332.8	279.9	356.3	323.0	997.5	1042.5	1020.0
1:50:00	6600	387.4	355.2		371.3	359.4	308.5	381.5	349.8	1000.7	1050.7	1025.7
1:55:00	6900	414.5	386.7		400.6	385.3	339.4	407.0	377.2	1009.1	1057.2	1033.2
2:00:00	7200	442.5	417.6		430.1	411.8	377.3	432.2	407.1	1014.0	1059.0	1036.5
2:10:00	7800	497.1	474.9		486.0	464.6	434.3	483.3	460.7	1027.7	1068.1	1047.9
2:20:00	8400	551.3	530.0		540.7	517.5	496.1	534.3	516.0	1035.5	1072.3	1053.9
2:30:00	9000	601.7	582.8		592.3	568.7	553.2	583.3	568.4	1044.8	1077.8	1061.3
2:40:00	9600	647.1	630.9		639.0	616.3	603.4	628.3	616.0	1054.1	1083.2	1068.7
2:50:00	10200	702.5	674.7		688.6	658.7	648.1	669.3	658.7	1063.4	1088.7	1076.1
3:00:00	10800	764.2	720.3		742.3	696.7	689.0	707.0	697.6	1072.7	1094.1	1083.4
3:10:00	11400					729.3	723.2	735.0	729.2	1082.0	1099.6	1090.8

ตารางที่ ข-36 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF7

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	35.4	34.9		35.2	34.4	34.4	34.8	34.5	58.3	52.3	55.3
0:05:00	300	37.7	35.3		36.5	35.3	34.8	36.3	35.5	619.2	650.6	634.9
0:10:00	600	45.1	37.5		41.3	40.5	37.0	48.4	42.0	733.3	770.0	751.7
0:15:00	900	60.1	47.7		53.9	55.2	47.1	65.3	55.9	788.7	827.3	808.0
0:20:00	1200	76.1	63.1		69.6	73.5	62.8	80.8	72.4	809.1	842.4	825.8
0:25:00	1500	89.9	79.3		84.6	89.7	79.4	92.7	87.3	842.0	875.5	858.8
0:30:00	1800	98.4	84.9		91.7	96.9	92.1	98.2	95.7	855.4	892.7	874.1
0:35:00	2100	99.1	89.1		97.0	97.5	94.8	99.3	97.2	870.5	905.0	887.8
0:40:00	2400	101.8	92.3		98.0	98.9	96.5	100.9	98.8	877.6	913.7	895.7
0:45:00	2700	103.7	95.6		99.7	99.1	97.3	101.0	99.1	895.9	931.4	913.7
0:50:00	3000	105.4	97.8		101.6	102.3	98.2	104.8	101.8	907.5	942.1	924.8
0:55:00	3300	108.2	99.3		103.8	103.0	98.9	106.1	102.7	923.6	956.4	940.0
1:00:00	3600	105.6	102.1		103.9	109.6	100.5	113.9	108.0	928.1	960.3	944.2
1:05:00	3900	125.9	105.0		115.5	116.7	103.1	126.8	115.5	931.5	965.3	948.4
1:10:00	4200	140.2	111.5		125.9	125.4	106.8	141.5	124.6	949.6	983.8	966.7
1:15:00	4500	155.3	121.1		138.2	136.5	113.3	159.9	136.6	954.8	990.9	972.9
1:20:00	4800	172.9	133.7		153.3	150.3	123.4	179.6	151.1	961.5	997.1	979.3
1:25:00	5100	192.7	148.0		170.4	167.0	136.5	200.2	167.9	971.3	1007.5	989.4
1:30:00	5400	214.2	166.3		190.3	186.2	152.3	220.1	186.2	976.7	1012.5	994.6
1:35:00	5700	236.0	186.8		211.4	208.0	171.1	241.4	206.8	985.8	1021.8	1003.8
1:40:00	6000	260.2	212.5		236.4	231.5	191.0	262.5	228.3	991.5	1029.9	1010.7
1:45:00	6300	283.4	237.6		260.5	255.6	212.3	285.8	251.2	989.2	1025.3	1007.3
1:50:00	6600	308.3	264.9		286.6	281.3	233.7	308.5	274.5	995.6	1035.3	1015.5
1:55:00	6900	329.1	287.8		308.5	302.0	251.5	326.6	293.4	1002.8	1040.8	1021.8
2:00:00	7200	349.3	312.5		330.9	322.8	269.9	346.3	313.0	1006.2	1045.9	1026.1
2:10:00	7800	382.4	350.2		366.3	354.4	303.5	376.5	344.8	1015.3	1052.6	1034.0
2:20:00	8400	414.5	386.7		400.6	385.3	339.4	407.0	377.2	1021.8	1057.1	1039.5
2:30:00	9000	452.5	427.6		440.1	421.8	387.3	442.2	417.1	1022.9	1057.4	1040.2
2:40:00	9600	497.1	474.9		486.0	464.6	434.3	483.3	460.7	1037.0	1071.6	1054.3
2:50:00	10200	551.3	530.0		540.7	517.5	496.1	534.3	516.0	1044.6	1078.9	1061.8
3:00:00	10800	601.7	582.8		592.3	568.7	553.2	583.3	568.4	1050.8	1085.3	1068.1
3:10:00	11400	647.1	630.9		639.0	616.3	603.4	628.3	616.0	1055.8	1090.8	1073.3
3:20:00	12000	702.5	674.7		688.6	658.7	648.1	669.3	658.7	1056.3	1091.7	1074.0
3:30:00	12600	764.2	720.3		742.3	696.7	689.0	707.0	697.6	1056.8	1092.6	1074.7

ตารางที่ ข-37 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF8

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	33.7	33.8		33.8	33.6	33.7	34.2	33.8	71.7	56.3	64.0
0:05:00	300	35.0	34.1		34.6	34.5	34.0	35.0	34.5	608.2	705.3	656.8
0:10:00	600	42.9	35.5		39.2	43.2	35.8	46.5	41.8	726.8	815.8	771.3
0:15:00	900	56.6	41.3		49.0	58.9	44.1	62.0	55.0	783.3	864.3	823.8
0:20:00	1200	71.8	53.5		62.7	73.8	59.4	77.9	70.4	791.8	878.2	835.0
0:25:00	1500	84.9	69.5		77.2	86.1	76.0	89.6	83.9	823.3	907.4	865.4
0:30:00	1800	95.7	86.2		91.0	96.2	90.3	97.8	94.8	840.7	921.5	881.1
0:35:00	2100	100.3	96.9		98.6	101.7	97.8	102.7	100.7	854.5	931.3	892.9
0:40:00	2400	100.3	96.9		98.6	101.7	97.8	102.7	100.7	864.5	939.9	902.2
0:45:00	2700	100.3	96.9		98.6	101.7	97.8	102.7	100.7	884.4	955.0	919.7
0:50:00	3000	100.3	96.9		98.6	101.7	97.8	102.7	100.7	894.8	965.3	930.1
0:55:00	3300	106.9	99.0		103.0	109.3	99.1	113.0	107.1	907.1	980.8	944.0
1:00:00	3600	118.8	99.6		109.2	118.1	99.4	127.3	114.9	912.1	983.3	947.7
1:05:00	3900	131.7	102.1		116.9	129.9	100.5	142.5	124.3	920.7	985.6	953.2
1:10:00	4200	144.6	107.6		126.1	143.0	105.1	159.4	135.8	938.4	1005.7	972.1
1:15:00	4500	158.6	115.7		137.2	157.2	113.3	177.3	149.3	945.4	1008.8	977.1
1:20:00	4800	174.4	127.5		151.0	173.1	125.5	194.9	164.5	950.0	1012.5	981.3
1:25:00	5100	190.7	141.8		166.3	189.3	142.7	212.8	181.6	962.9	1021.0	992.0
1:30:00	5400	207.3	156.3		181.8	206.7	164.2	231.6	200.8	967.6	1028.5	998.1
1:35:00	5700	225.3	174.8		200.1	225.0	186.0	251.6	220.9	976.4	1036.6	1006.5
1:40:00	6000	243.5	192.8		218.2	244.8	208.3	272.3	241.8	985.5	1042.1	1013.8
1:45:00	6300	263.1	213.6		238.4	264.8	231.4	294.9	263.7	984.3	1038.1	1011.2
1:50:00	6600	282.7	235.0		258.9	286.0	254.3	317.5	285.9	994.1	1046.7	1020.4
1:55:00	6900	304.2	258.7		281.5	307.6	277.6	342.8	309.3	995.6	1052.7	1024.2
2:00:00	7200	315.5	273.4		294.5	319.5	291.9	358.8	323.4	1004.9	1054.6	1029.8
2:10:00	7800	347.8	309.6		328.7	341.8	325.7	382.2	349.9	1011.4	1063.9	1037.7
2:20:00	8400	389.4	358.9		374.2	385.9	362.2	424.5	390.9	1018.2	1067.4	1042.8
2:30:00	9000	425.4	406.7		416.1	398.7	399.2	458.0	418.6	1017.9	1065.6	1041.8
2:40:00	9600	441.0	477.9		459.5	444.1	442.9	486.3	457.8	1028.8	1080.4	1054.6
2:50:00	10200	487.3	500.9		494.1	492.8	492.3	531.7	505.6	1035.8	1085.8	1060.8
3:00:00	10800	532.1	518.1		525.1	537.0	531.3	576.5	548.3	1040.0	1089.5	1064.8
3:10:00	11400	574.0	554.6		564.3	579.3	567.5	616.7	587.8	1051.3	1093.8	1072.6
3:20:00	12000	612.7	593.0		602.9	618.4	608.2	655.9	627.5	1051.1	1095.1	1073.1
3:30:00	12600	648.1	629.0		638.6	654.3	644.8	691.0	663.4	1050.9	1096.4	1073.7
3:40:00	13200	683.0	662.3		672.7	688.4	680.0	722.5	697.0	1050.7	1097.7	1074.2



ตารางที่ ข-38 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HF9

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	33.8	33.8	34.4	34.0	33.8	33.3	33.4	33.5	68.7	55.5	62.1
0:05:00	300	33.7	33.5	34.6	33.9	34.1	33.6	34.1	33.9	529.8	603.0	566.4
0:10:00	600	36.5	34.4	39.8	36.9	36.7	33.7	35.7	35.4	613.7	726.1	669.9
0:15:00	900	44.4	37.5	59.4	47.1	45.8	37.7	44.2	42.6	674.3	783.5	728.9
0:20:00	1200	56.9	46.7	72.6	58.7	59.4	46.0	56.1	53.8	697.9	801.9	749.9
0:25:00	1500	70.5	59.9	83.1	71.2	73.5	58.5	69.8	67.3	732.5	835.5	784.0
0:30:00	1800	83.1	73.9	90.8	82.6	85.2	72.3	82.8	80.1	753.3	850.6	802.0
0:35:00	2100	92.9	86.9	96.2	92.0	93.5	85.4	92.6	90.5	770.2	865.0	817.6
0:40:00	2400	98.6	95.9	99.0	97.8	97.5	95.6	97.3	96.8	781.7	873.4	827.6
0:45:00	2700	99.6	98.6	99.6	99.3	99.2	99.2	99.2	99.2	796.7	890.8	843.8
0:50:00	3000	100.2	99.5	100.3	100.0	100.3	99.0	99.5	99.6	812.6	901.8	857.2
0:55:00	3300	102.0	99.6	102.9	101.5	103.4	99.6	101.2	101.4	827.0	917.6	872.3
1:00:00	3600	102.3	99.7	103.4	101.8	105.6	99.7	101.9	102.4	830.8	922.9	876.9
1:05:00	3900	103.5	100.0	104.5	102.7	107.5	100.0	102.5	103.3	840.3	929.0	884.7
1:10:00	4200	105.1	100.0	107.3	104.1	108.4	100.0	103.4	103.9	855.6	945.0	900.3
1:15:00	4500	113.7	100.6	116.1	110.1	114.5	101.1	106.9	107.5	865.6	952.2	908.9
1:20:00	4800	122.8	101.8	131.4	118.7	121.5	101.7	110.4	111.2	872.4	957.9	915.2
1:25:00	5100	132.0	104.3	146.0	127.4	133.3	104.2	114.9	117.5	882.4	968.1	925.3
1:30:00	5400	142.7	108.4	161.3	137.5	144.7	107.5	120.8	124.3	893.4	973.2	933.3
1:35:00	5700	156.3	116.1	179.0	150.5	158.1	112.4	127.2	132.6	898.3	981.8	940.1
1:40:00	6000	171.0	125.5	195.7	164.1	171.6	118.1	136.3	142.0	904.4	988.4	946.4
1:45:00	6300	185.8	136.4	213.3	178.5	186.1	127.0	150.5	154.5	911.7	985.0	948.4
1:50:00	6600	195.0	148.6	221.0	188.2	194.1	136.6	157.0	162.6	915.2	995.5	955.4
1:55:00	6900	207.0	152.0	238.8	199.3	204.5	138.6	176.4	173.2	920.9	1001.5	961.2
2:00:00	7200	223.7	169.3	257.9	217.0	220.3	158.8	197.3	192.1	927.5	1006.1	966.8
2:10:00	7800	240.4	200.9	276.4	239.2	235.4	189.3	218.7	214.5	937.7	1014.7	976.2
2:20:00	8400	267.7	223.4	305.6	265.6	262.4	211.3	251.1	241.6	945.9	1023.0	984.5
2:30:00	9000	305.2	269.1	345.6	306.6	298.2	254.2	297.0	283.1	952.2	1024.5	988.4
2:40:00	9600	346.3	315.6	388.2	350.0	338.6	300.0	340.4	326.3	964.3	1039.1	1001.7
2:50:00	10200	391.7	365.4	431.8	396.3	381.2	348.3	384.1	371.2	974.7	1048.4	1011.6
3:00:00	10800	438.9	421.3	479.4	446.5	425.4	398.4	430.7	418.2	982.1	1054.0	1018.1
3:10:00	11400	486.6	481.7	526.4	498.2	469.4	448.4	477.6	465.1	986.8	1058.3	1022.6
3:20:00	12000	534.4	531.5	573.3	546.4	514.6	497.8	524.4	512.3	991.7	1059.7	1025.7
3:30:00	12600	579.4	568.9	616.6	588.3	557.6	544.0	567.0	556.2	996.6	1061.1	1028.9

ตารางที่ ข-39 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS7

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	49.8	50.0	50.0	49.9	49.9	50.0	50.0	50.0	61.0	60.0	60.5
0:05:00	300	51.6	50.2		50.9	52.0	50.7	52.1	51.6	672.1	677.5	674.8
0:10:00	600	66.1	55.5		60.8	62.0	53.6	58.1	57.9	757.8	773.1	765.5
0:15:00	900	84.8	69.9		77.4	78.4	67.8	72.1	72.8	805.1	816.4	810.8
0:20:00	1200	99.0	86.7		92.9	94.8	82.0	86.1	87.6	806.8	805.6	806.2
0:25:00	1500	107.4	94.7		101.1	97.4	93.1	95.2	95.2	810.3	820.8	815.6
0:30:00	1800	110.1	96.1		103.1	103.6	98.8	98.8	100.4	842.4	856.4	849.4
0:35:00	2100	112.8	97.5		105.2	112.0	99.9	104.2	105.4	861.6	874.5	868.1
0:40:00	2400	114.5	98.2		106.4	112.4	101.8	106.1	106.8	865.2	880.7	873.0
0:45:00	2700	116.9	99.3		108.1	115.8	104.7	107.3	109.3	877.9	892.9	885.4
0:50:00	3000	118.1	100.7		109.4	119.2	108.4	110.5	112.7	895.8	906.1	901.0
0:55:00	3300	120.0	101.0		110.5	130.2	106.0	116.8	117.7	906.4	918.3	912.4
1:00:00	3600	127.4	102.3		114.9	139.9	108.3	124.5	124.2	917.9	933.0	925.5
1:05:00	3900	131.9	108.8		120.4	145.2	118.9	129.5	131.2	930.1	944.5	937.3
1:10:00	4200	137.4	113.3		125.4	158.2	135.8	137.2	143.7	939.7	951.1	945.4
1:15:00	4500	145.9	120.8		133.4	180.1	141.0	163.8	161.6	947.6	961.9	954.8
1:20:00	4800	169.3	121.5		145.4	198.8	161.3	182.0	180.7	957.6	971.2	964.4
1:25:00	5100	192.3	135.1		163.7	222.0	186.2	204.6	204.3	966.9	982.8	974.9
1:30:00	5400	216.3	153.5		184.9	244.4	210.4	226.4	227.1	966.6	979.9	973.3
1:35:00	5700	241.5	178.2		209.9	268.5	236.0	249.3	251.3	971.6	984.7	978.2
1:40:00	6000	267.8	207.3		237.6	293.0	262.8	273.2	276.3	978.4	993.6	986.0
1:45:00	6300	295.6	238.0		266.8	319.0	290.4	297.8	302.4	984.3	995.5	989.9
1:50:00	6600	324.5	269.7		297.1	346.1	318.4	323.9	329.5	994.7	1007.0	1000.9
1:55:00	6900	354.1	302.4		328.3	371.2	346.1	350.4	355.9	998.4	1011.6	1005.0
2:00:00	7200	375.1	325.4		350.3	396.2	361.8	366.7	374.9	1005.1	1018.7	1011.9
2:10:00	7800	425.5	380.5		403.0	426.7	402.5	408.3	412.5	1010.9	1026.2	1018.6
2:20:00	8400	469.7	419.1		444.4	471.4	447.9	454.7	458.0	1019.8	1034.9	1027.4
2:30:00	9000	510.8	469.6		490.2	525.7	502.8	510.7	513.1	1026.6	1042.8	1034.7
2:40:00	9600	555.9	518.3		537.1	578.3	556.9	566.1	567.1	1034.0	1050.9	1042.4
2:50:00	10200	597.8	563.7		580.8	627.7	608.9	624.8	620.5	1041.3	1059.0	1050.2
3:00:00	10800	717.5	597.4		657.5	677.7	708.5	682.2	689.5	1048.7	1067.1	1057.9

ตารางที่ ข-40 แสดงผลการทดสอบอัตราการค้ำทานไฟของตัวอย่าง HS8

Time	Time , sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	49.4	49.1	49.1	49.2	49.0	49.1	49.3	49.1	71.2	61.7	66.5
0:05:00	300	50.5	49.4	50.1	50.0	49.7	49.9	52.0	50.5	562.4	662.7	612.6
0:10:00	600	60.2	53.9	60.2	58.1	58.6	54.3	68.1	60.3	641.6	746.2	693.9
0:15:00	900	75.4	66.3	74.2	72.0	74.7	64.5	80.9	73.4	695.2	795.0	745.1
0:20:00	1200	90.1	82.1	88.5	86.9	90.3	77.8	94.8	87.6	702.1	797.5	749.8
0:25:00	1500	99.5	95.7	97.2	97.5	98.7	91.2	101.1	97.0	713.5	804.5	759.0
0:30:00	1800	101.3	98.7	102.3	100.8	100.7	95.1	103.7	99.8	740.9	836.7	788.8
0:35:00	2100	102.8	101.2	104.7	102.9	102.4	97.4	106.2	102.0	764.5	856.5	810.5
0:40:00	2400	105.1	103.8	106.9	105.3	105.7	100.4	109.5	105.2	773.5	860.8	817.2
0:45:00	2700	107.9	105.5	108.3	107.2	109.0	104.0	113.6	108.9	788.4	874.5	831.5
0:50:00	3000	111.3	109.6	112.5	111.1	113.8	108.8	116.8	113.1	808.3	893.1	850.7
0:55:00	3300	113.5	111.9	115.2	113.5	119.5	117.9		118.7	821.7	904.2	863.0
1:00:00	3600	115.8	114.1	117.2	115.7	124.2	121.2		122.7	836.7	916.1	876.4
1:05:00	3900	127.5	109.9	128.1	121.8	129.7	127.5		128.6	851.4	928.4	889.9
1:10:00	4200	142.0	121.2	144.3	135.8	136.0	138.6		137.3	865.9	939.9	902.9
1:15:00	4500	157.4	136.6	162.0	152.0	163.8	138.8		151.3	874.7	948.1	911.4
1:20:00	4800	173.9	156.6	180.4	170.3	186.5	141.9		164.2	889.2	958.6	923.9
1:25:00	5100	190.8	178.9	198.9	189.5	219.2	143.5		181.4	900.6	968.1	934.4
1:30:00	5400	208.8	202.5	217.5	209.6	241.7	164.0		202.9	905.1	968.3	936.7
1:35:00	5700	228.0	227.1	234.7	229.9	264.7	187.8		226.3	912.2	973.9	943.1
1:40:00	6000	248.2	252.8	254.7	251.9	287.7	216.4		252.1	920.3	981.8	951.1
1:45:00	6300	269.3	279.2	275.5	274.7	310.8	231.9		271.4	931.3	986.4	958.9
1:50:00	6600	291.5	306.6	297.6	298.6	336.9	258.4		297.7	942.9	998.0	970.5
1:55:00	6900	315.0	334.4	321.3	323.6	366.4	287.2		326.8	949.4	1002.5	976.0
2:00:00	7200	330.0	352.6	337.9	340.2	393.9	319.6		356.8	955.0	1010.3	980.0
2:10:00	7800	354.9	384.9	373.4	371.1	418.6	354.5		386.6	961.2	1016.1	988.7
2:20:00	8400	397.7	423.5		410.6	443.2	395.5		419.4	973.1	1026.8	1000.0
2:30:00	9000	446.5	469.3		457.9	467.4	442.3		454.9	982.9	1029.2	1006.1
2:40:00	9600	486.5	515.2		500.9	491.4	483.2		487.3	991.6	1037.5	1014.6
2:50:00	10200	537.4	545.4		541.4	515.3	522.2		518.8	998.0	1040.4	1019.2
3:00:00	10800	596.6	615.9		606.3	560.2	597.9		579.1	1007.9	1051.5	1029.7
3:10:00	11400	654.2	689.3		671.8	601.8	672.1		637.0	1015.5	1057.1	1036.3
3:20:00	12000	706.7	748.8		727.8	642.2	739.0		690.6	1023.6	1064.1	1043.9
3:30:00	12600	746.3	805.1		775.7	679.9	800.4		740.2	1031.8	1071.1	1051.5
3:40:00	13200	790.3	850.9		820.6	715.1	847.2		781.2	1039.9	1078.1	1059.0

ตารางที่ ข-41 แสดงผลการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่าง HS9

Time	Time, sec	Specimen Temperature (C)								Bulk Temperature (C)		
		Level 1				Level 2				CH7	CH8	Avg.
		CH1	CH2	CH3	Avg.	CH4	CH5	CH6	Avg.			
0:00:00	0	48.0	48.4	49.1	48.5	48.2	48.7	48.8	48.6	70.5	60.9	65.7
0:05:00	300	49.3	49.0	50.9	49.7	49.4	49.6	51.3	50.1	702.2	753.8	728.0
0:10:00	600	57.8	50.9	64.1	57.6	59.4	52.5	64.4	58.8	779.7	822.2	801.0
0:15:00	900	72.6	58.7	81.4	70.9	75.8	63.1	80.9	73.3	830.2	872.2	851.2
0:20:00	1200	88.1	71.6	93.9	84.5	91.2	76.6	93.6	87.1	818.0	858.8	838.4
0:25:00	1500	99.1	85.2	101.4	95.2	99.8	89.6	99.0	96.1	824.3	860.9	842.6
0:30:00	1800	102.8	94.6	105.8	101.1	102.8	93.4	103.1	99.8	851.2	896.8	874.0
0:35:00	2100	104.3	99.0	110.7	104.7	105.5	96.3	107.0	102.9	871.1	916.2	893.7
0:40:00	2400	105.8	100.8	112.4	106.3	109.7	100.6	112.3	107.5	877.2	916.4	896.8
0:45:00	2700	107.3	104.1	115.2	108.9	112.9	103.9	116.6	111.1	891.6	929.0	910.3
0:50:00	3000	108.8	107.8	118.9	111.8	115.1	106.2	120.9	114.1	907.2	945.6	926.4
0:55:00	3300	119.0	100.6	124.9	114.8	118.3	109.5	124.2	117.3	909.8	954.3	932.1
1:00:00	3600	127.7	102.5	138.5	122.9	122.5	115.8	128.5	122.3	928.1	965.3	946.7
1:05:00	3900	137.9	105.7	153.6	132.4	141.0	104.7	137.6	127.8	942.0	975.9	959.0
1:10:00	4200	153.3	110.6	168.6	144.2	156.4	109.9	151.3	139.2	951.4	986.4	968.9
1:15:00	4500	170.9	117.5	185.5	158.0	173.0	118.2	166.2	152.5	958.3	993.4	975.9
1:20:00	4800	189.2	127.0	203.5	173.2	190.9	133.1	184.2	169.4	968.2	1001.6	984.9
1:25:00	5100	207.7	139.6	222.0	189.8	209.3	153.6	204.2	189.0	975.5	1008.8	992.2
1:30:00	5400	227.1	156.5	241.2	208.3	228.4	175.7	224.8	209.6	979.0	1007.7	993.4
1:35:00	5700	246.9	182.2	260.7	229.9	248.1	198.8	246.6	231.2	985.2	1015.3	1000.3
1:40:00	6000	267.0	207.6	281.0	251.9	268.4	222.1	268.1	252.9	989.4	1022.7	1006.1
1:45:00	6300	288.0	232.9	301.9	274.3	289.4	246.1	290.3	275.3	997.1	1027.7	1012.4
1:50:00	6600	299.9	253.7	318.6	290.7	310.8	270.3	314.1	298.4	1006.0	1039.5	1022.8
1:55:00	6900	321.8	275.1	336.7	311.2	333.1	296.0	337.5	322.2	1011.9	1043.9	1027.9
2:00:00	7200	339.9	296.3	355.8	330.7	357.1	325.7	361.5	348.1	1021.5	1053.2	1037.4
2:10:00	7800	377.8	338.8	393.9	370.2	380.7	357.1	384.9	374.2	1025.8	1056.3	1041.1
2:20:00	8400	412.0	377.0	428.4	405.8	404.7	395.5	410.6	403.6	1036.6	1063.7	1050.2
2:30:00	9000	446.4	415.0	462.9	441.4	429.4	442.9	435.5	435.9	1039.4	1059.7	1049.6
2:40:00	9600	485.7	460.1	504.1	483.3	454.1	479.6	460.5	464.7	1047.4	1067.6	1057.5
2:50:00	10200	522.5	501.0	547.8	523.8	502.2	496.1	512.2	503.5	1047.4	1068.4	1057.9
3:00:00	10800	567.4	551.7		559.6	547.4	530.9	560.4	546.2	1054.5	1076.4	1065.5
3:10:00	11400	609.6	624.1		616.9	590.1	574.2		582.2	1054.5	1076.4	1065.5
3:20:00	12000	651.0	692.4		671.7	629.3	613.4		621.4	1054.5	1076.4	1065.5
3:30:00	12600					665.7	653.6		659.7	1054.5	1076.4	1065.5
3:40:00	13200					699.5	701.9		700.7	1054.5	1076.4	1065.5

ตารางที่ ข-42 แสดงความหนาและความหนาแน่นของหินตัวอย่าง H%1, H%2, H%3, H%4, H%5, H%6 ตามมาตรฐาน E605

ตัวอย่างที่	A (ซม ²)	H _p (ซม.)	H _p /A (ม ⁻¹)	ระดับ ที่	ความหนาดำแหน่งที่													ความหนา เฉลี่ย (มม.)	น้ำหนักชิ้นงาน (กก.)	น้ำหนักเหล็ก (กก.)	ความหนาแน่น (กก./ม ³)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ย				
H%1	40.14	88.6	221	1	5.15	3.1	2.8	2.7	3.4	2.5	3.4	2.35	4.1	2.8	5.2	3.7	3.4	3.4	62.8	31.5	1,026.05
				2	4.95	3.45	2.9	2.8	3.4	2.2	3.4	2.35	4.2	2.45	5.0	3.6	3.4				
				3	4.9	3.75	3.6	2.9	3.4	2.6	3.4	2.05	4.1	2.85	4.9	3.7	3.5				
H%2	40.14	88.6	221	1	4.9	3.2	3.1	2.65	4.7	2.8	4.7	2.6	3.6	3	4.9	3.0	3.6	3.5	56	31.5	798.94
				2	4.45	2.9	2.8	2.65	4.3	3.2	4.3	2.7	3.1	2.65	4.5	3.6	3.4				
				3	4.65	3.05	2.9	2.65	4.2	3.1	4.2	2.75	2.9	2.6	4.7	2.9	3.4				
H%3	40.14	88.6	221	1	3.35	2.85	4.5	3.1	3.6	3.7	3.6	3.9	4.3	3	3.4	3.9	3.6	3.5	53	31.5	703.09
				2	2.9	3	3.9	2.9	3.6	3.2	3.6	3.9	4.4	2.7	2.9	3.8	3.4				
				3	2.9	3.25	3.7	3.2	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	2.55	2.9	4.2	3.4				
H%4	40.14	88.6	221	1	3.15	3.5	3.15	2.42	2.7	3.8	3.1	3.8	2.9	2.82	2.7	3.5	3.1	3.3	50.2	31.5	643.96
				2	3.15	3.7	3.37	3.2	3.0	3.8	3.3	3.8	3.05	2.92	2.5	3.7	3.3				
				3	3.15	4.15	3.15	3.6	2.8	3.8	3.6	3.8	3.3	3.47	2.3	4.2	3.4				
H%5	40.14	88.6	221	1	3.15	3.2	2.75	3.2	3.1	3.4	3.1	3.4	3.2	3.57	3.2	3.2	3.2	3.3	48	31.5	568.35
				2	3.8	3.1	3.1	2.8	3.4	3.4	3.0	3.4	3.5	3.14	3.2	3.5	3.3				
				3	4	3	3.4	2.9	3.6	3.1	4.0	3.1	3.2	3.05	3.6	3.4	3.4				
H%6	40.14	88.6	221	1	3.15	4.65	3	3.2	3.2	3.5	3.4	3.5	3.4	3.56	3.3	4.7	3.5	3.6	45	31.5	428.44
				2	3.15	4.9	3.1	2.7	3.2	4.6	2.9	4.6	3	3.35	2.9	4.9	3.6				
				3	3.15	4.7	2.85	3	3.3	4.3	3.4	4.3	2.88	2.76	3.2	4.7	3.5				

ตารางที่ ข-43 แสดงความหนาและความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่าง HF1, HF2, HF3 ตามมาตรฐาน E605

ตัวอย่างที่	A (ซม.)	H _p (ซม.)	H _p /A (ม.)	ระดับ ที่	ความหนาตำแหน่งที่												เฉลี่ย	ความหนา เฉลี่ย (มม.)	น้ำหนักชิ้นงาน (กก.)	น้ำหนักเหล็ก (กก.)	ความหนาแน่น (กก./ม.)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
HF1	40.14	88.6	221	1	2.28	2.4	2	2.25	2.68	2.2	2.7	2.25	3	2.71	2.3	2.7	2.5	2.4	44.5	31.5	601.68
				2	2.38	2.58	1.8	2.11	3.1	2.0	3.1	2.35	3.2	2.43	2.4	2.7	2.5				
				3	2.13	2.4	2.5	2.25	2.28	2.2	2.3	2.4	3	2.39	2.1	2.3	2.4				
HF2	51.21	103.5	202	1	2.3	2.7	2	2.75	2.5	2.6	2.5	2.83	2.5	2.58	2.3	2.6	2.5	2.4	55.8	40.2	624.33
				2	1.9	2.9	1.6	2.9	2.4	2.1	2.4	2.74	2	2.3	1.9	2.4	2.3				
				3	2.05	2.65	2.1	2.75	2.3	2.8	2.3	2.58	2.3	2.85	2.1	2.7	2.4				
HF3	71.53	119.2	167	1	2.46	2.85	2.5	2.72	1.7	2.5	1.7	2.28	2.5	2.58	2.5	3.1	2.4	2.3	73.2	56.2	618.84
				2	2.84	2.45	2.7	2.4	1.6	1.7	1.6	2.39	2	2.13	2.8	2.8	2.3				
				3	1.8	2.4	2.2	2.25	1.8	2.4	1.8	2.65	2	2.4	1.8	2.8	2.2				

ตารางที่ ข-44 แสดงความหนาและความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่าง HS1, HS2, HS3 ตามมาตรฐาน E605

ตัวอย่างที่	A (ซม.)	H _p (ซม.)	H _p /A (ม.)	ระดับ ที่	ความหนาตำแหน่งที่												เฉลี่ย	ความหนา เฉลี่ย (มม.)	น้ำหนักชิ้นงาน (กก.)	น้ำหนักเหล็ก (กก.)	ความหนาแน่น (กก./ม.)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
HF1	40.14	88.6	221	1	2.3	2.3	1.2	2.25	2.81	2.0	2.8	2.25	2	2.2	2.3	2.0	2.2	2.3	48.6	31.5	839.75
				2	2.35	2.5	1.7	2.7	3.36	1.7	3.4	2.15	1.8	2.25	2.4	2.0	2.4				
				3	2.45	2.75	1.2	2.55	2.65	2.0	2.7	2.2	3.1	2.4	2.5	1.7	2.3				
HF2	51.21	103.5	202	1	2	2.75	2.5	2.75	2.1	2.2	2.1	3.1	2.6	2.35	2.0	2.3	2.4	2.4	62.6	40.2	905.97
				2	1.95	2.65	2.5	2.55	2.2	2.5	2.2	3.15	2.2	2.35	2.0	2.4	2.4				
				3	2.1	2.5	2.5	2.7	2.0	2.7	2.0	2.95	2.2	2.8	2.1	2.2	2.4				
HF3	71.53	119.2	167	1	2.15	2.45	2.8	2.1	2.6	2.5	2.6	2.65	2.6	1.85	2.2	2.2	2.4	2.3	83.5	56.2	999.39
				2	1.8	2	1.9	2.3	3.2	2.2	3.2	2.3	1.9	2.15	1.8	1.9	2.2				
				3	1.5	2.55	2.8	2.25	3.0	2.8	3.0	2.3	1.5	2.3	1.5	1.9	2.3				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-45 แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HF4, HF5, HF6 ตามมาตรฐาน E605

ตัวอย่างที่	A (ซม.)	H _p (ซม.)	H _p /A (ม.)	ระดับ ที่	ความหนาตำแหน่งที่													ความหนา เฉลี่ย (มม.)	น้ำหนักชิ้นงาน (กก.)	น้ำหนักเหล็ก (กก.)	ความหนาแน่น (กก./ม.)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ย				
HF1	40.14	88.6	221	1	3.2	4.5	3.1	2.8	2.5	3.8	2.5	4.3	3.4	3.1	3.2	3.4	3.3	3.3	49.2	31.5	600.32
				2	4.8	2.6	3.2	4.1	2.8	3.5	2.8	3.1	3.2	2.6	4.8	3.7	3.4				
				3	2.9	3.1	3.2	2.8	4.3	3.6	4.3	2.8	3.3	3.1	2.9	2.5	3.2				
HF2	51.21	103.5	202	1	3.5	4	3.4	3.2	2.5	3.4	2.5	3.63	3.7	3.68	3.5	3.5	3.4	3.3	61	40.2	606.44
				2	3.55	3.45	3	2.85	2.3	3.7	2.3	3.35	3.3	3.65	3.6	3.9	3.2				
				3	3.49	3.57	3.2	3.05	2.5	3.8	2.5	3.65	2.9	4.16	3.5	3.7	3.3				
HF3	71.53	119.2	167	1	2.85	3.35	3.6	3.55	3.1	3.2	3.1	3.4	3.8	3.2	2.9	3.6	3.3	3.1	78.8	56.2	612.70
				2	2.7	3.4	3.6	2.95	3.3	2.6	3.3	3.15	3.2	2.65	2.7	3.3	3.1				
				3	2.3	3.15	3.6	2.9	3.4	2.8	3.4	2.7	2.6	2.8	2.3	3.2	2.9				

ตารางที่ ข-46 แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HS4, HS5, HS6 ตามมาตรฐาน E605

ตัวอย่างที่	A (ซม.)	H _p (ซม.)	H _p /A (ม.)	ระดับ ที่	ความหนาตำแหน่งที่													ความหนา เฉลี่ย (มม.)	น้ำหนักชิ้นงาน (กก.)	น้ำหนักเหล็ก (กก.)	ความหนาแน่น (กก./ม.)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ย				
HF1	40.14	88.6	221	1	2.5	3.6	2.3	3.1	4.2	3.2	4.2	3.1	2.5	3.3	2.5	3.4	3.2	3.2	49.5	31.5	639.32
				2	2.6	3.1	3.2	3.6	2.8	2.9	2.8	3.1	3.4	3.5	2.6	3.6	3.1				
				3	3.1	3.4	3.1	3.5	3.3	3.3	3.3	3.2	3.1	3.4	3.1	3.5	3.3				
HF2	51.21	103.5	202	1	2.15	3.6	3.3	2.75	2.8	3.0	2.8	3.45	3.7	2.95	2.2	3.7	3.0	3.0	62	40.2	699.83
				2	2.5	3.5	3.3	3	2.2	3.1	2.2	3.2	3.7	3.4	2.5	3.2	3.0				
				3	2.1	3.8	3	3.25	2.0	3.5	2.0	3.65	3.7	3.7	2.1	3.6	3.0				
HF3	71.53	119.2	167	1	2.8	3.15	3	3.2	3.8	3.4	3.8	3.8	4	3.25	2.8	3.6	3.4	3.4	78.8	56.2	555.14
				2	3.2	3.15	3	3.2	4.1	3.8	4.1	3.45	3.5	3.05	3.2	3.4	3.4				
				3	3.1	2.9	3.6	3.25	3.9	3.5	3.9	3.75	3.5	3.3	3.1	3.4	3.4				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-47 แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HF7, HF8, HF9 ตามมาตรฐาน E605

ตัวอย่างที่	A (ซม.)	H _p (ซม.)	H _p /A (ม.)	ระดับ ที่	ความหนาดำแหน่งที่													ความหนา เฉลี่ย (มม.)	น้ำหนักชิ้นงาน (กก.)	น้ำหนักเหล็ก (กก.)	ความหนาแน่น (กก./ม.)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ย				
HF1	40.14	88.6	221	1	2.3	3.75	4.2	3.4	3.4	4.1	3.4	3.75	5	3.25	2.3	4.5	3.6	3.3	48.6	31.5	581.67
				2	2.5	3	3.8	3	2.55	3.9	2.6	3.75	3.5	3.5	2.5	3.8	3.2				
				3	1.9	3.25	3.7	3	3.1	3.6	3.1	3.5	3.5	3	1.9	4.2	3.1				
HF2	51.21	103.5	202	1	2.7	3.7	4.2	3.55	2.6	4.0	2.6	3.85	4.2	3.7	2.7	4.5	3.5	3.4	62.6	40.2	638.11
				2	3.05	3.65	3.8	3.3	2.9	3.5	2.9	3.4	3.5	3.85	3.1	4.5	3.4				
				3	2.95	3.65	3.5	3.35	2.9	3.2	2.9	2.8	3.5	3.4	3.0	3.5	3.2				
HF3	71.53	119.2	167	1	3	3.65	4.2	3.65	2.8	4.5	2.8	3.9	4	4.1	3.0	5.0	3.7	3.5	83.5	56.2	661.45
				2	3	3.35	4.4	3.65	2.2	4.2	2.2	3.8	3.6	3.7	3.0	4.0	3.4				
				3	2.45	2.7	4	3.9	2.1	4.1	2.1	3.5	4	3.65	2.5	4.1	3.2				

ตารางที่ ข-48 แสดงความหนาและความหนาแน่นของชั้นตัวอย่าง HS7, HS8, HS9 ตามมาตรฐาน E605

ตัวอย่างที่	A (ซม.)	H _p (ซม.)	H _p /A (ม.)	ระดับ ที่	ความหนาดำแหน่งที่													ความหนา เฉลี่ย (มม.)	น้ำหนักชิ้นงาน (กก.)	น้ำหนักเหล็ก (กก.)	ความหนาแน่น (กก./ม.)
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ย				
HF1	40.14	88.6	221	1	3.6	3.65	5.2	3.7	3.4	4.5	3.4	4.15	4.3	3.25	3.6	5.0	4.0	3.8	50	31.5	549.48
				2	3.55	3.3	5	3.7	3.4	4.3	3.4	3.2	4	3.15	3.6	5.0	3.8				
				3	3.2	3	5.2	2.9	3.1	4.0	3.1	3.5	4	3.3	3.2	5.0	3.6				
HF2	51.21	103.5	202	1	4.9	3.5	4.4	3.55	4.1	4.5	4.1	4.05	5	3.8	4.9	4.2	4.2	4.2	65.8	40.2	594.42
				2	5.15	2.55	3.8	3.65	4.1	4.7	4.1	3.9	4.5	3.55	5.2	4.2	4.1				
				3	4.9	2.7	3.8	4.2	4.0	5.5	4.0	4.2	5	2.85	4.9	3.6	4.1				
HF3	71.53	119.2	167	1	2.8	3.9	4.2	3.5	2.6	3.5	2.6	3.5	5.3	3.65	2.8	3.8	3.5	3.5	81	56.2	600.88
				2	2.9	3.9	4.5	3.15	2.5	4	2.5	3.15	5	3.9	2.9	4.3	3.6				
				3	2.65	3.15	4	3.75	2.7	3.5	2.7	3.55	4	3.25	2.7	4.0	3.3				

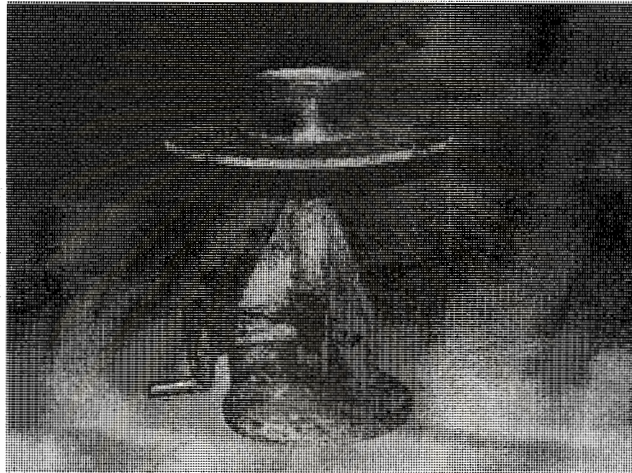
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

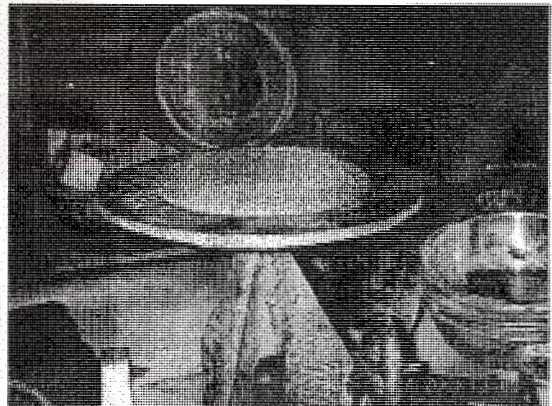
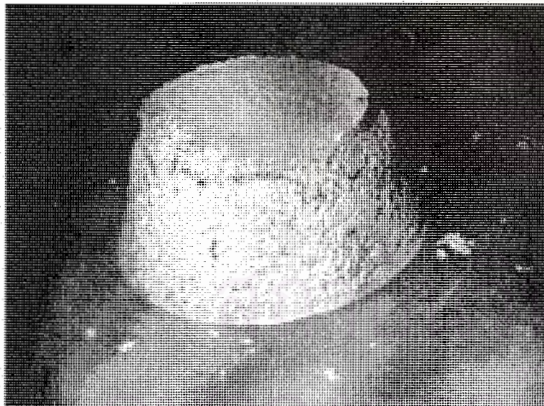
ภาพการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

คุณสมบัติด้านการไหลตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการไหลตัวและการทดสอบคุณสมบัติด้านการไหลตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแสดงไว้ดังรูป



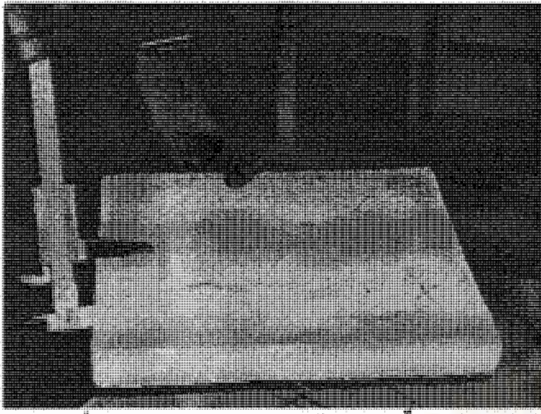
รูปที่ ก-1 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบการไหลตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



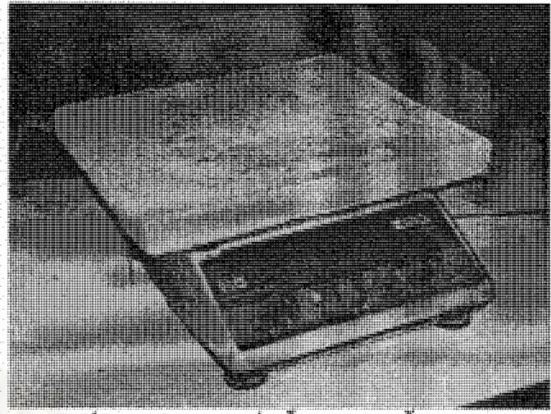
รูปที่ ก-2 แสดงการทดสอบการไหลตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างป้องกันไฟ

คุณสมบัติด้านของหน่วยน้ำหนักของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

การทดสอบคุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนักของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ ทำได้โดยการวัดปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง และน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างเมื่อนำชิ้นตัวอย่างไปอบจนแห้งแล้วดังรูป



รูปที่ ค-3 แสดงการวัดปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง



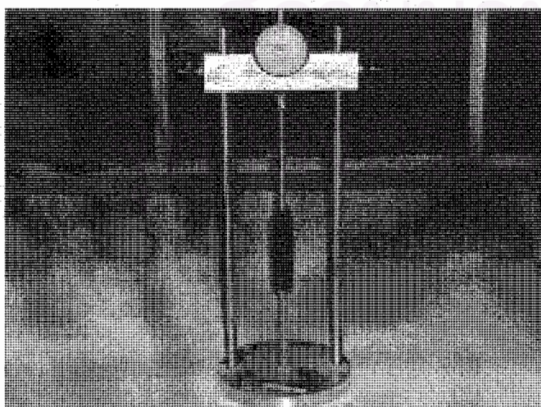
รูปที่ ค-4 แสดงการชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง

คุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

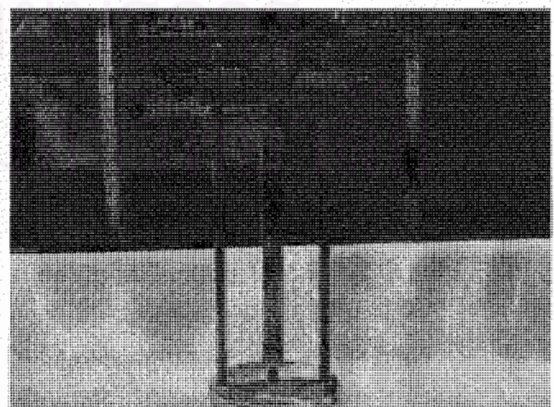
เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟและการทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแสดงไว้ดังรูป



รูปที่ ค-5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่ ค-6.1 แสดงการวัดค่าความยาวของแท่งมาตรฐาน

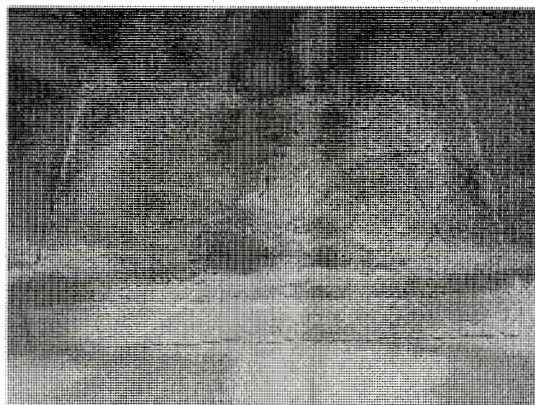


รูปที่ ค-6.2 แสดงการวัดค่าความยาวของตัวอย่าง

รูปที่ ค-6 แสดงการทดสอบการยึดหดตัวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

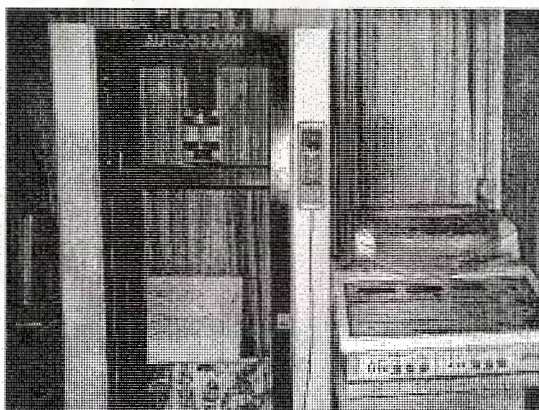
คุณสมบัติด้านการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ และการทดสอบคุณสมบัติด้านการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแสดงไว้ ดังรูป

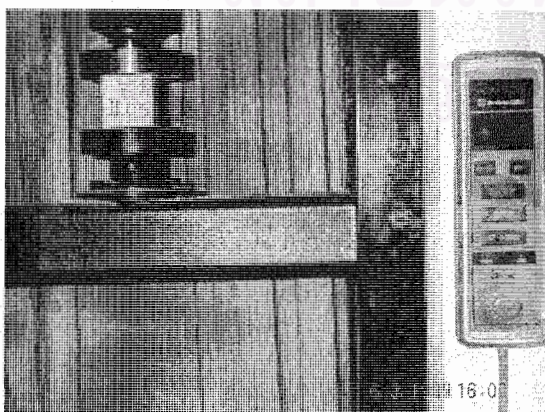


รูปที่ ก-7 แสดงชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติด้านการนำความร้อน

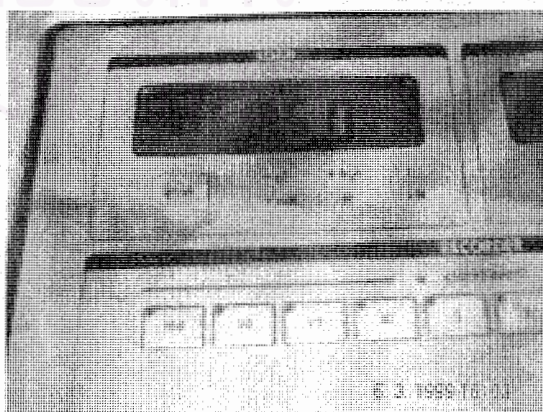
คุณสมบัติด้านการรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่ ก-8 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

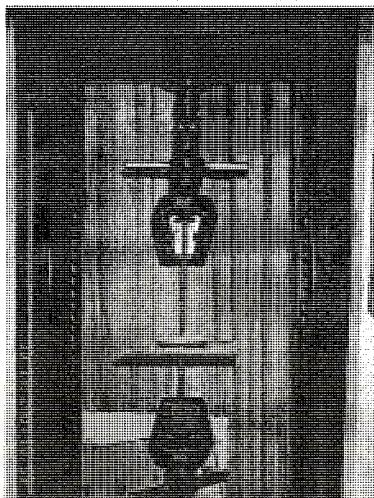


รูปที่ ก-9 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของ
ชิ้นตัวอย่าง

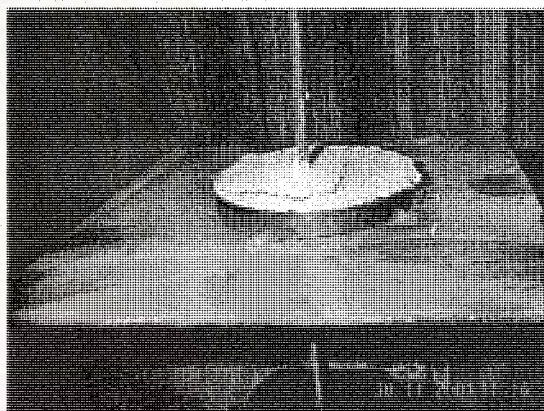
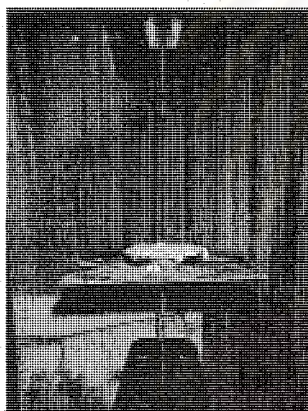


รูปที่ ก-10 แสดงค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังรับ
แรงอัด

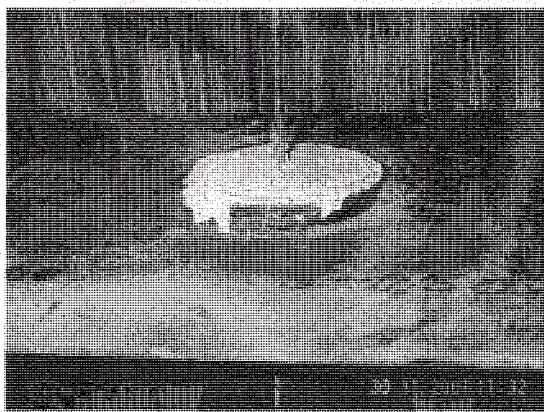
คุณสมบัติด้านการยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่ ค-11 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและการติดตั้งชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่ ค-12 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟโดยไม่มี การทำสีรองพื้นที่ขึ้นตัวอย่าง



รูปที่ ค-13 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟโดยมี การทำสีรองพื้นที่ขึ้นตัวอย่าง

คุณสมบัติด้านอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

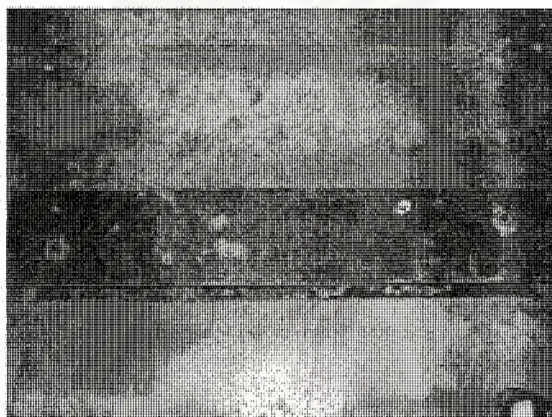
การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นตัวอย่างในการทดสอบอัตราการต้านทานไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเตรียมเหล็กรูปพรรณและวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

1. การเตรียมเหล็กรูปพรรณ

ในส่วนนี้เป็นการเตรียมเหล็กรูปพรรณ โดยเริ่มจากการตัดเหล็กรูปพรรณเป็นท่อนยาวท่อนละ 1 เมตร พร้อมเจาะรูที่ปีกด้านบนของเหล็กรูปพรรณในตำแหน่งดังรูป

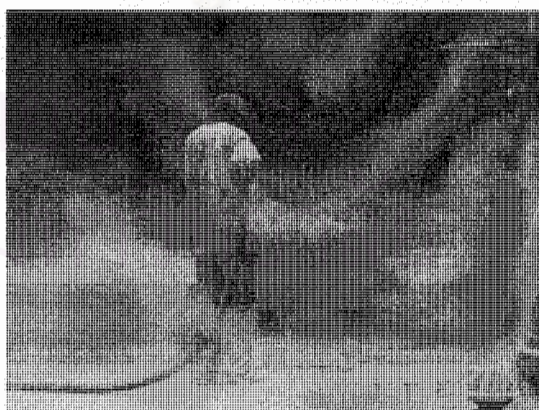


รูปที่ ค-14 แสดงตำแหน่งของรูเจาะที่ปีกของเหล็กรูปพรรณและขนาดของเหล็กรูปพรรณที่นำมาใช้ในการทดสอบ

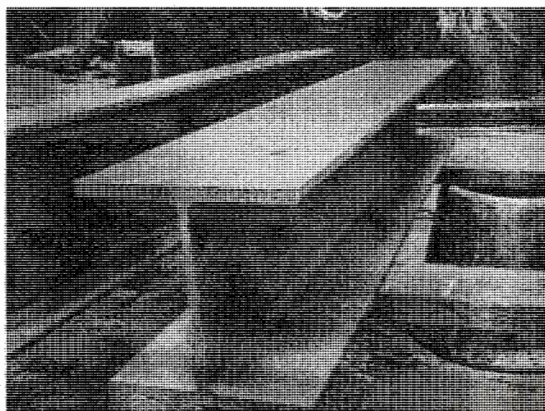
ต่อจากนั้นจะนำเอาเหล็กรูปพรรณที่ได้เตรียมไว้ไปทำความสะอาดผิวโดยการใช้ทรายร้อน (Sand Blast) หลังจากนั้นเหล็กรูปพรรณไปทาสีรองพื้นและนำเอาเหล็กสัดความยาว 50 เซนติเมตร มายึดติดกับเหล็กที่ได้เตรียมไว้ในตำแหน่งรูเจาะทั้ง 2 รู แล้วยึดด้วยน็อตและแหวนรอง



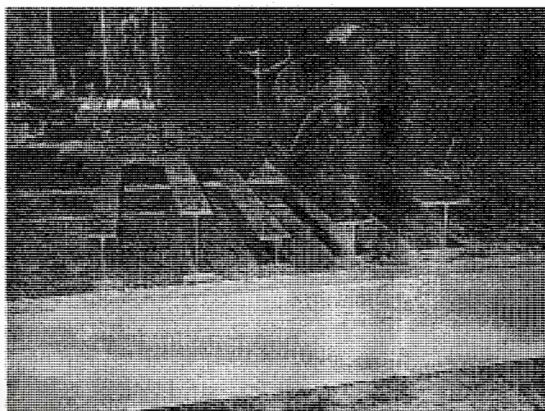
รูปที่ ค-15 แสดงเหล็กรูปพรรณที่นำมาใช้ในการทดสอบ



รูปที่ ค-16 แสดงการทำทำความสะอาดผิวของเหล็กด้วยทรายร้อน

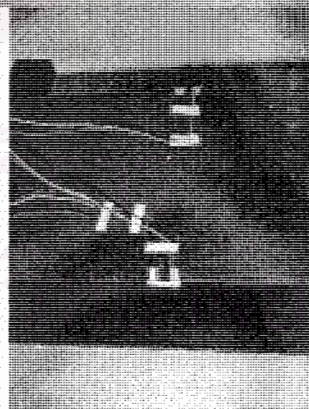
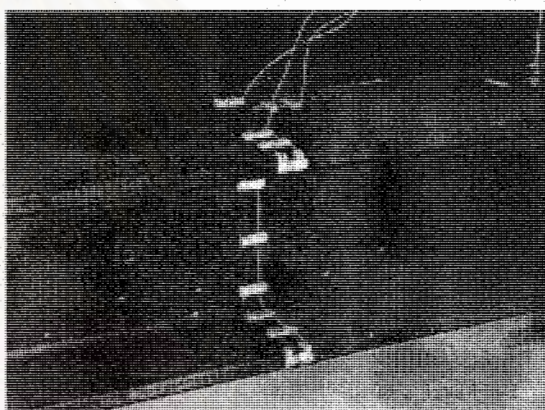
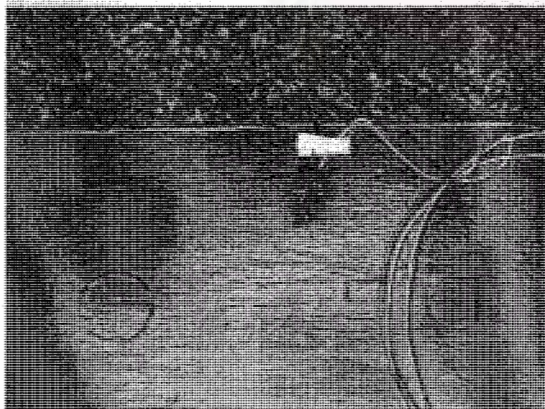
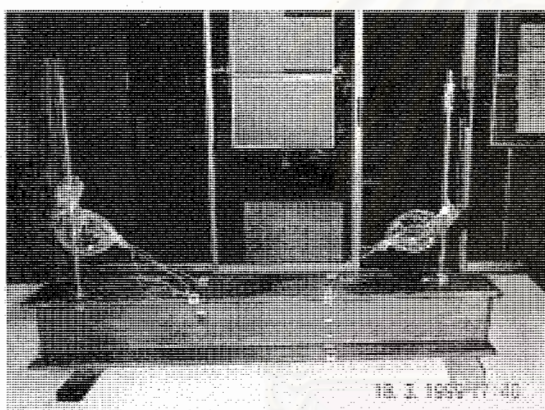


รูปที่ ค-17 แสดงเหล็กรูปพรรณที่ได้รับการทำความสะอาดแล้ว

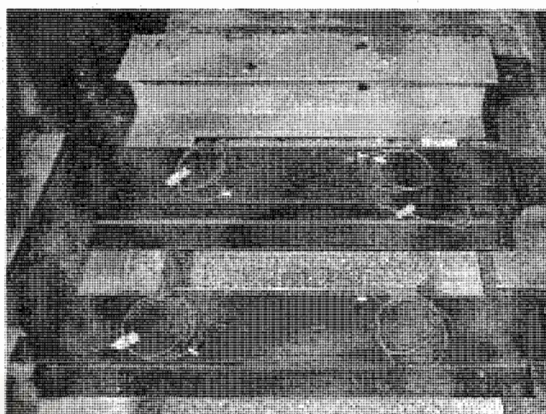
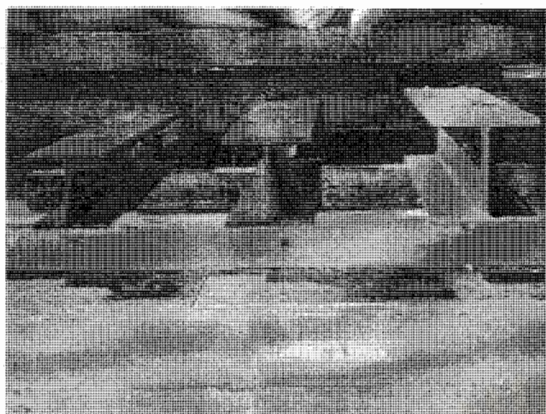


รูปที่ ค-18 แสดงเหล็กรูปพรรณที่ทำการลงสีรองพื้นเพื่อเตรียมสำหรับการทดสอบ

นำเอาสายวัดอุณหภูมิมาติดตั้งลงบนผิวเหล็กรูปพรรณที่ได้เตรียมไว้ พร้อมทั้งทำการแยกสายวัดอุณหภูมิและลากสายไปไว้ด้านบนของเหล็กรูปพรรณดังรูป



รูปที่ ค-19 แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิลงบนผิวเหล็กรูปพรรณเพื่อเตรียมสำหรับนำไปทดสอบ



รูปที่ ค-19 (ต่อ) แสดงการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิลงบนผิวเหล็กรูปพรรณเพื่อเตรียมสำหรับนำไปทดสอบ

2. การเตรียมวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ

นำเอาส่วนผสมทั้งหมดของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแต่ละสัดส่วนผสมที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ เทลงในโมไฟฟ้างัดรูป แล้วทำการเปิดเครื่องโม่ผสมสัดส่วนผสมทั้งหมดเป็นเวลาประมาณ 10 นาที เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน แล้วนำเอาส่วนผสมที่ได้บรรจุใส่ถุงหรือภาชนะบรรจุ



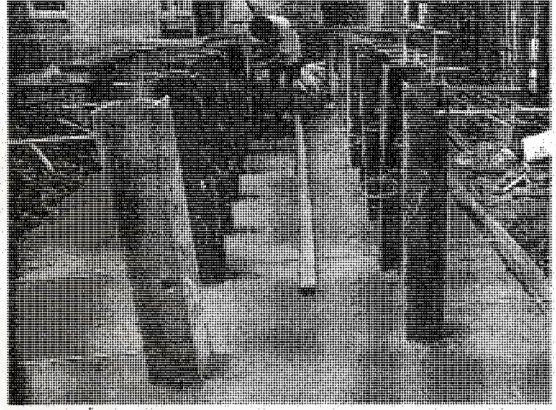
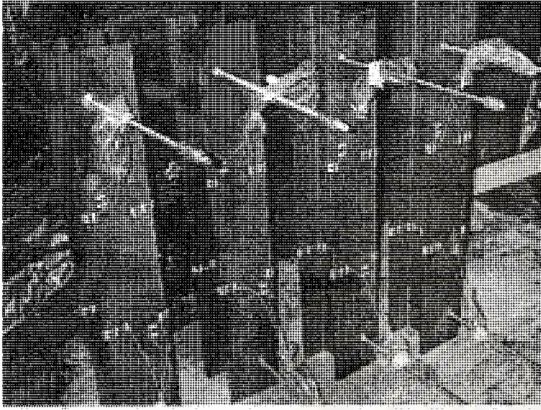
รูปที่ ค-20 แสดงการเตรียมวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแห้งโดยการผสมในโมไฟฟ้างัด



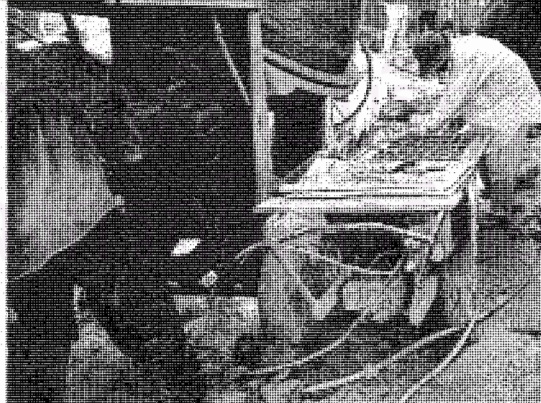
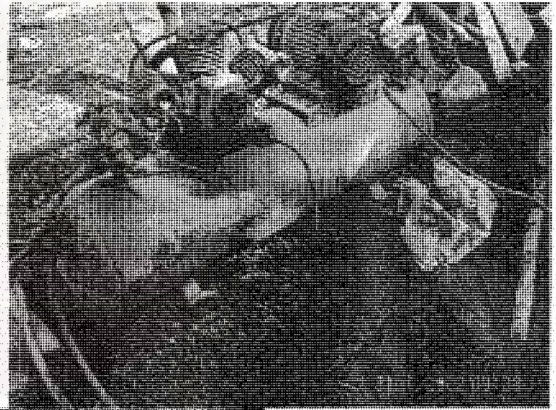
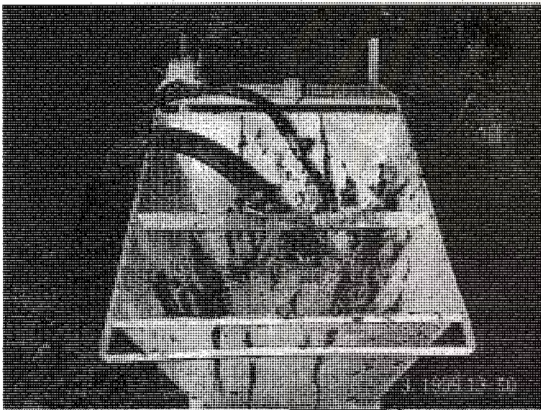
รูปที่ ค-21 แสดงการบรรจุวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแห้งลงในถุง

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการนำเอาวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟไปเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณ

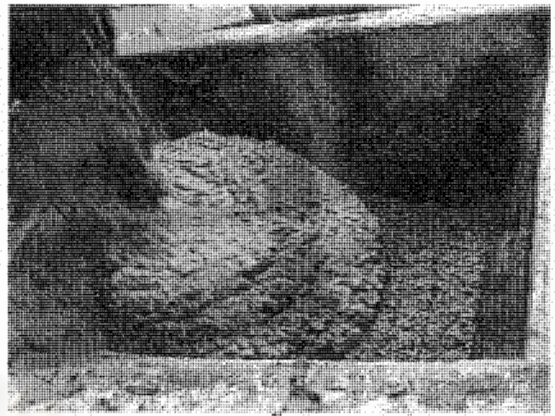
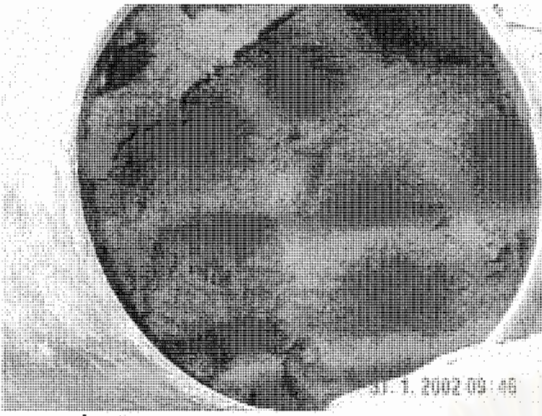
ขั้นตอนนี้จะนำเอาวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟแห้งที่ได้เตรียมไว้ไปผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ได้ศึกษาไว้แล้วนำไปพ่นเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณโดยใช้เครื่องพ่นดังรูป



รูปที่ ก-22 แสดงการจัดตำแหน่งในการวางของเหล็กรูปพรรณเพื่อเตรียมไว้สำหรับพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณป้องกันไฟ

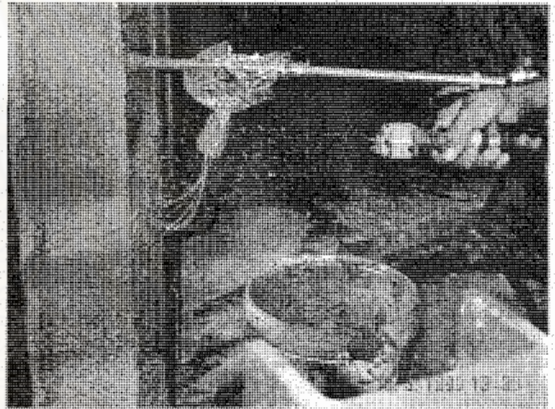


รูปที่ ก-23 แสดงเครื่องพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟ



รูปที่ ค-24 แสดงการผสมวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟกับน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม

ในการพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟไปบนเหล็กรูปพรรณจะทำการพ่นเคลือบเป็นชั้นๆ โดยทำการวัดความหนาด้วยเข็มดังรูป



รูปที่ ค-25 แสดงการพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟลงบนเหล็กรูปพรรณ

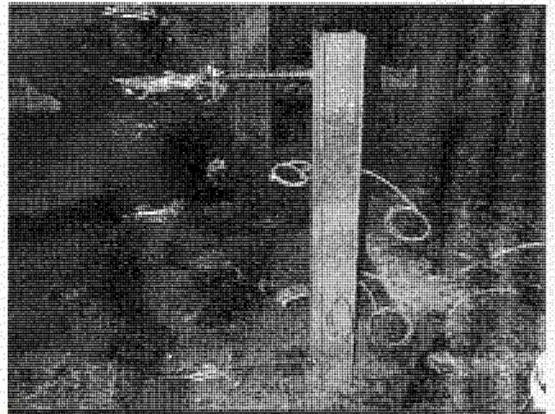
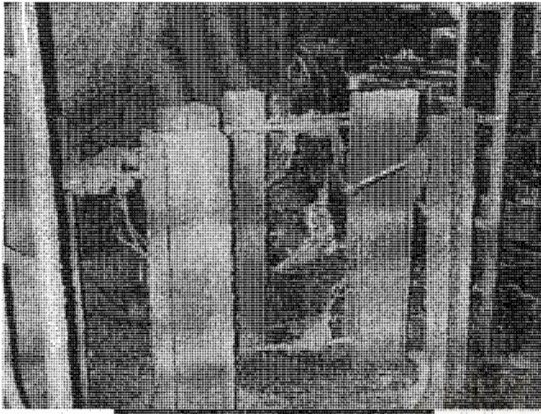


รูปที่ ค-26 แสดงการพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟชั้นแรกลงบนผิวเหล็กรูปพรรณ



รูปที่ ค-27 แสดงการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในชั้นแรก โดยใช้เข็มโลหะเป็นเครื่องวัด





รูปที่ ค-28 แสดงการขึ้นตัวอย่างเมื่อทำการเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณในชั้นแรก



รูปที่ ค-29 แสดงการพ่นวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในชั้นที่ 2

รูปที่ ค-30 แสดงการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในชั้นที่ 2 โดยใช้ เจ็มโลหะเป็นเครื่องวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

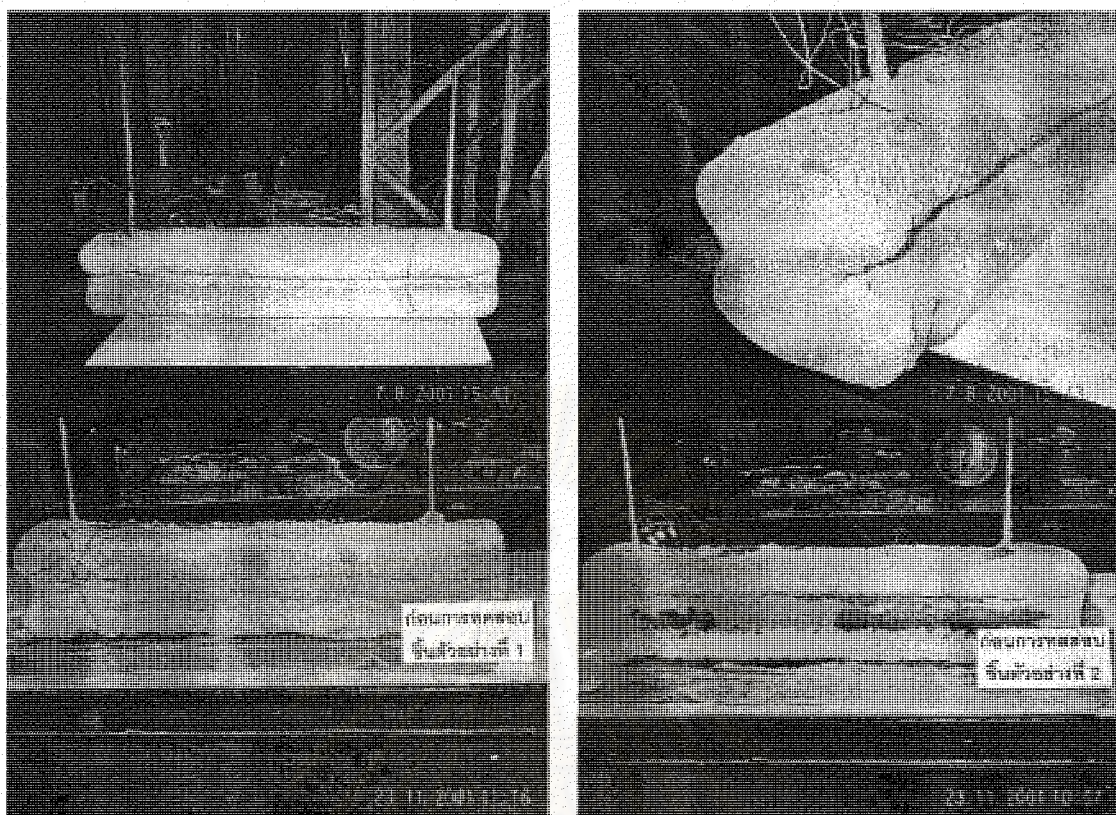


รูปที่ ค-31 แสดงการพันวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในชั้นสุดท้าย



รูปที่ ค-32 แสดงชิ้นตัวอย่างเมื่อทำการพันเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณเสร็จเรียบร้อยแล้ว

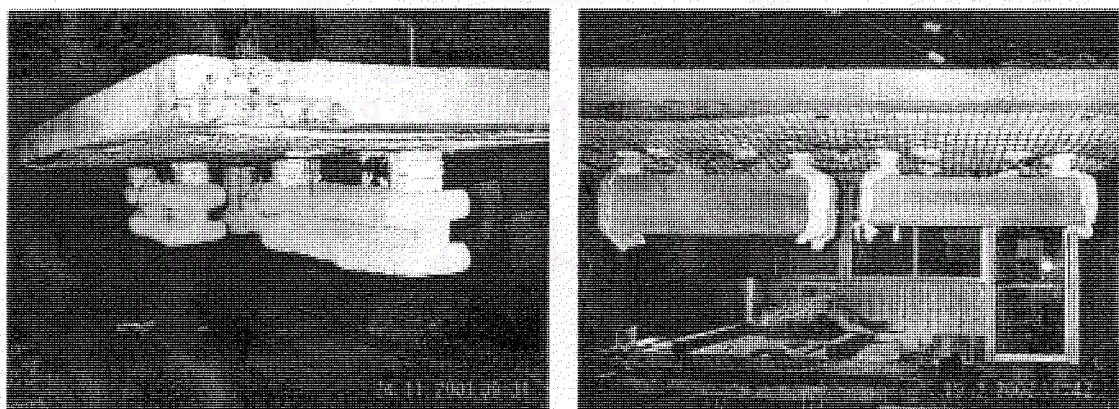
เมื่อเคลือบผิวเหล็กรูปพรรณได้ความหนาตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจะทำการบ่มชิ้นตัวอย่างที่ได้ในอากาศให้วัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟให้แห้งเป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นจะทำการวัดความหนาของวัสดุเคลือบผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟในตำแหน่งตั้งรูป แล้วทำการชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่าง



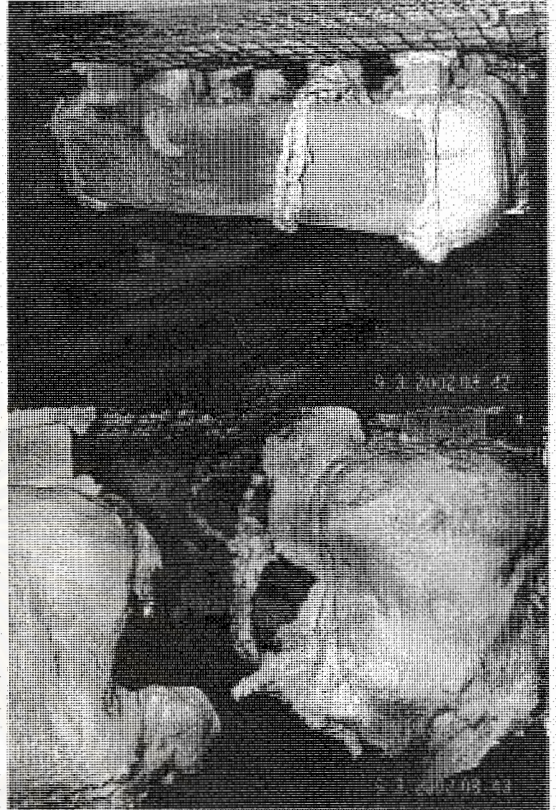
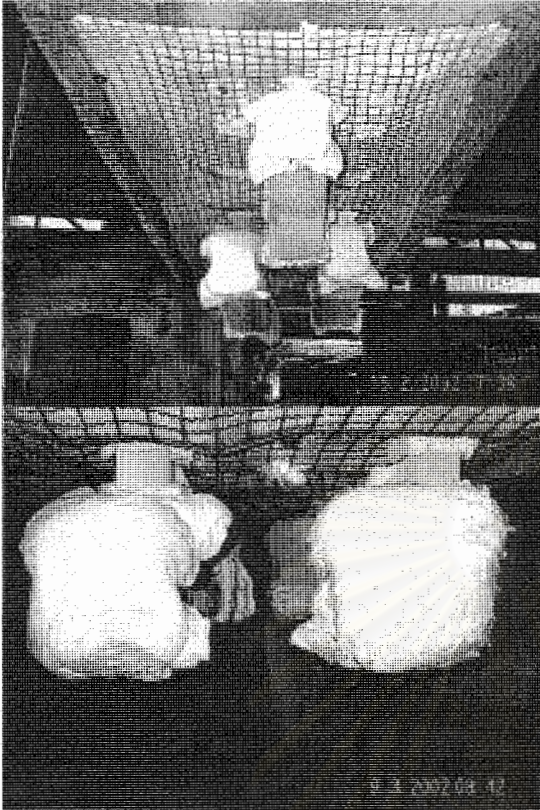
รูปที่ ค-33 แสดงชิ้นตัวอย่างที่บ่มให้แห้งในอากาศและพร้อมที่จะนำไปติดตั้งทำการทดสอบ

การติดตั้งชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ

นำเอาชิ้นตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ไปปิดปลายของชิ้นตัวอย่างทั้ง 2 ปลาย ด้วยเซรามิคไฟเบอร์เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนจากไฟฉายทำการทดสอบถ่ายเข้าสู่ชิ้นตัวอย่างทางด้านปลายของชิ้นตัวอย่าง หลังจากนั้นนำเอาชิ้นตัวอย่างที่ปิดปลายแล้วไปติดตั้งบนฝาเตาเผาโดยยึดชิ้นตัวอย่างตรงเหล็กสตั๊ดติดกับฝาเตาเผาด้วยน็อตและแผ่นเหล็กทรง

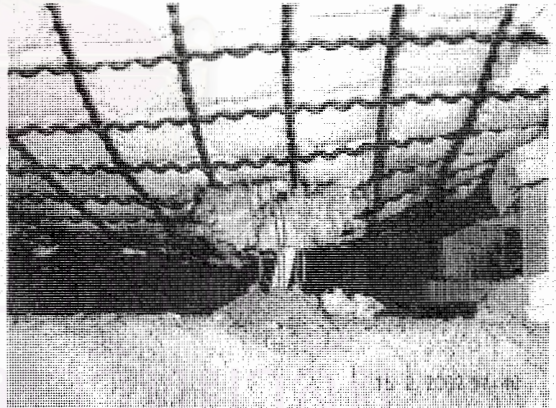
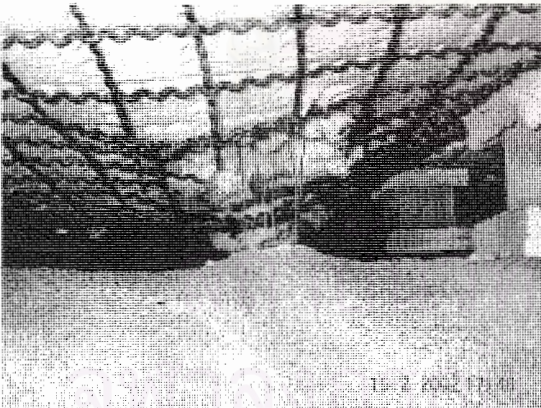


รูปที่ ค-34 แสดงการติดตั้งชิ้นตัวอย่างบนฝาเตาเผาพร้อมทั้งทำการปกปิดที่ปลายของชิ้นตัวอย่างเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้ามายังเหล็กรูปพรรณ

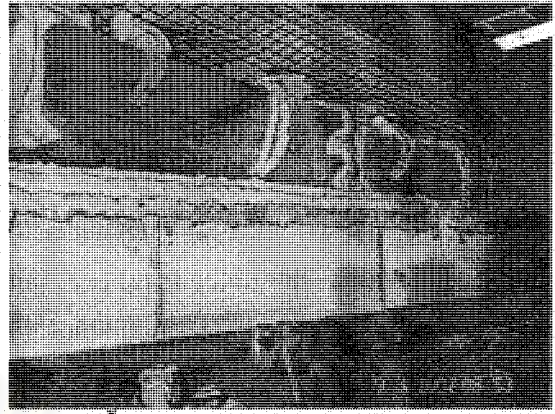
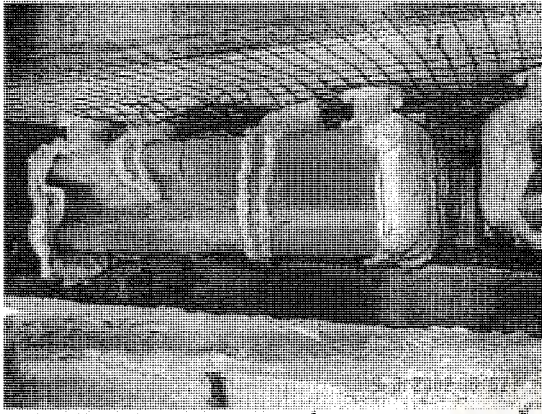


รูปที่ ค-34 (ต่อ) แสดงการติดตั้งรั้วด้วยตาข่ายบนฝาเตาเผาพร้อมทั้งทำการปกปิดที่ปลายของชิ้นค้ำอย่างเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้ามายังเหล็กรูปพรรณ

หลังจากนั้นจะทำการร้อยสายรัดอุณหภูมิต่อทางรูที่เจาะไว้ที่ฝาเตาเผาในตำแหน่งดังรูป พร้อมทั้งอุดรูที่เหลือทั้งหมดบนฝาเตาเผาด้วยเซรามิกไฟเบอร์เพื่อป้องกันไฟ

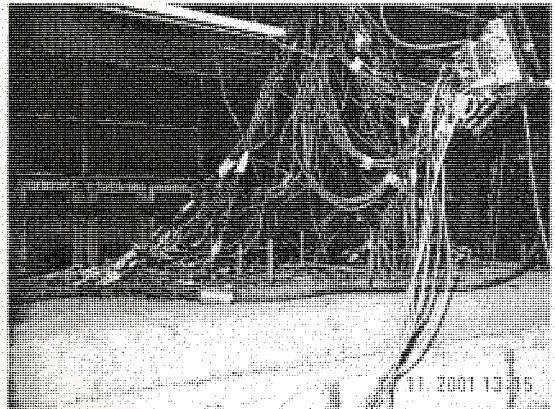
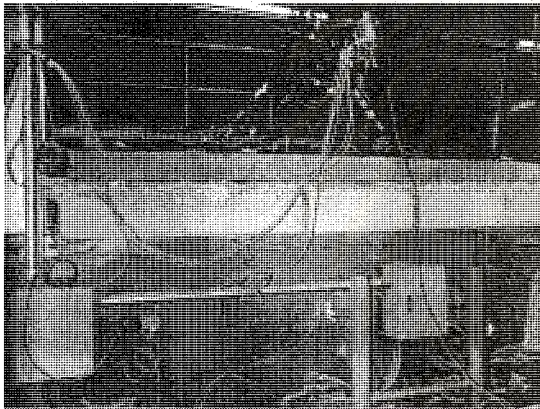


รูปที่ ค-35 แสดงการร้อยสายรัดอุณหภูมิต่อทางรูที่เจาะไว้ที่ฝาเตาเผา



รูปที่ ๓-๓๖ แสดงการติดตั้งฝาเตาเผาและชิ้นงานลงในฝาเตา

นำเอาฝาเตาเผาที่ได้ติดตั้งขึ้นตัวอย่างไว้เรียบร้อยแล้วปิดลงบนเตาเผา หลังจากนั้นทำการต่อสายวัดอุณหภูมิที่ร้อยออกจากฝาเตาเผาเข้าไปยังเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิดังรูป



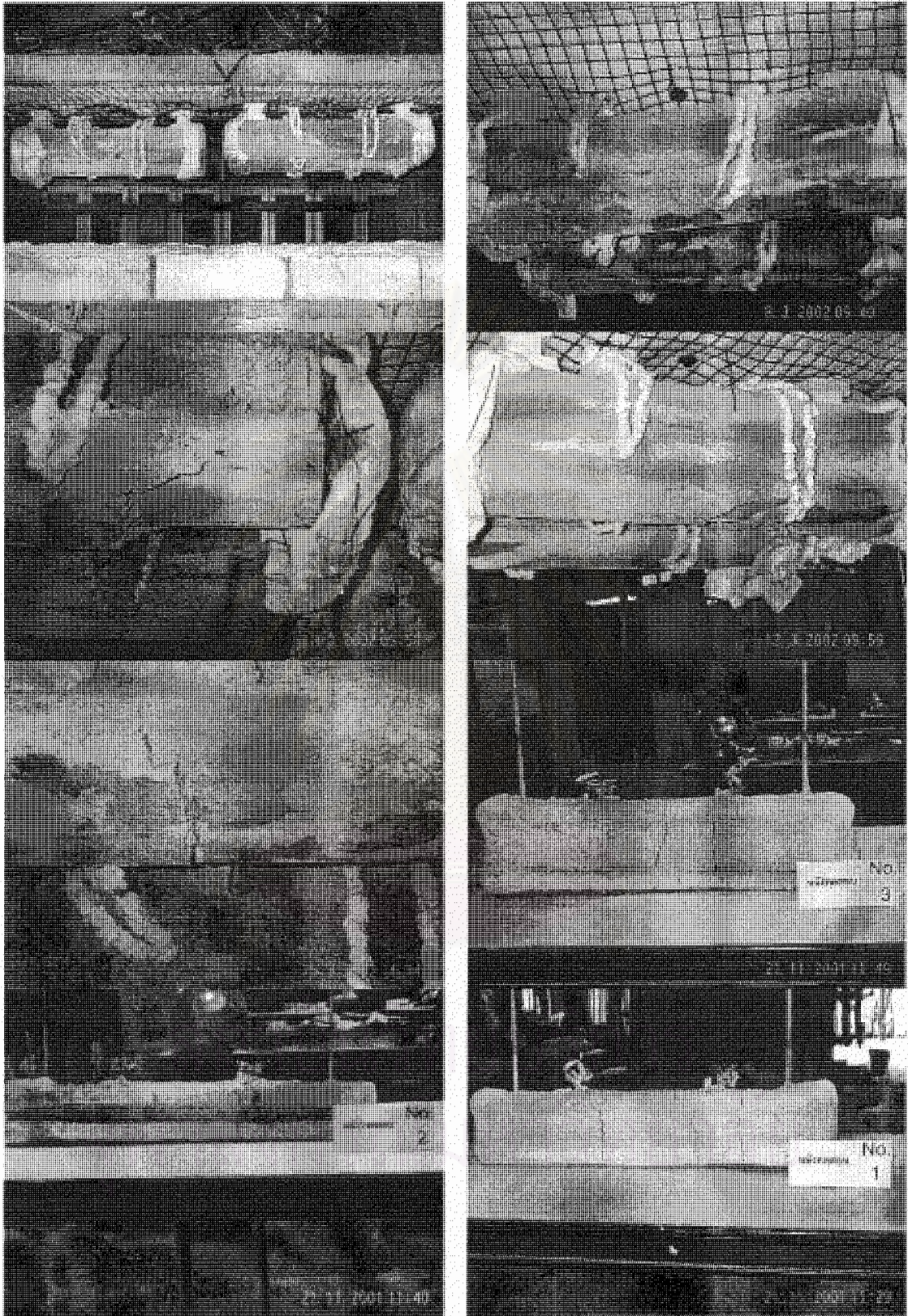
รูปที่ ๓-๓๗ แสดงการต่อสายวัดอุณหภูมิเข้ากับสายวัดอุณหภูมิที่ต่อมาจากชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบชิ้นตัวอย่าง

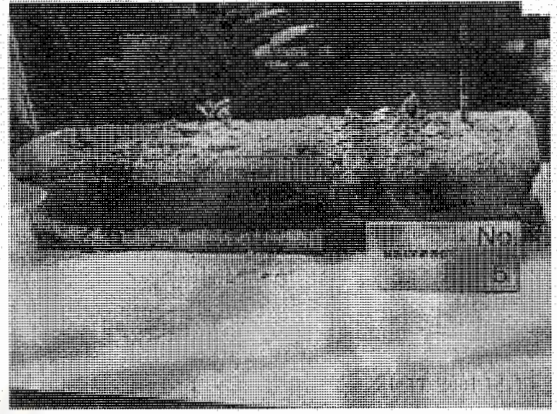
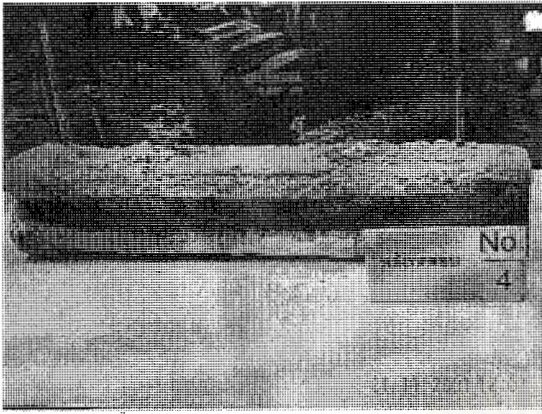
ทำการเปิดโปรแกรมในการตรวจวัดอุณหภูมิ หลังจากนั้นทำการเปิดแก๊สเข้ามายังเตาเผาพร้อมทั้งจุดไฟที่เตาเผาเพื่อทำการทดสอบ ซึ่งในระหว่างทำการทดสอบจะต้องควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาให้เป็นไปตามกราฟไฟมาครฐาน ASTM E119

การตรวจสอบชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ

ตรวจสอบวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟหลังจากผ่านการทดสอบแล้วโดยดูลักษณะการพังทลายของวัสดุเคลือบผิว ซึ่งมีลักษณะดังรูป

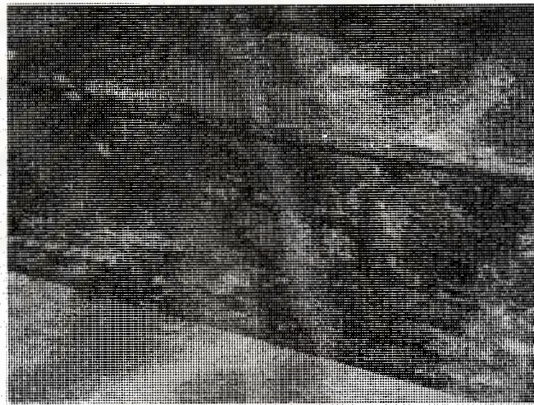


รูปที่ ค-38 แสดงลักษณะการหลุดร่อนของรีนคิ้วอย่างหลังการทดสอบและเอาออกจากเดาเผา



รูปที่ ค-38(ต่อ) แสดงลักษณะการหลุดร่อนของชั้นตัวอย่างหลังการทดสอบและเอาออกจากเตาเผา

หลังจากนั้นจะทำการลอกวัสดุเคลือบผิวเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณป้องกันไฟเพื่อดูลักษณะของเหล็กรูปพรรณเมื่อผ่านการทดสอบแล้ว และนำเอาเหล็กรูปพรรณดังกล่าวไปชั่งน้ำหนัก



รูปที่ ค-39 แสดงลักษณะของเหล็กรูปพรรณหลังจากทำการทดสอบ

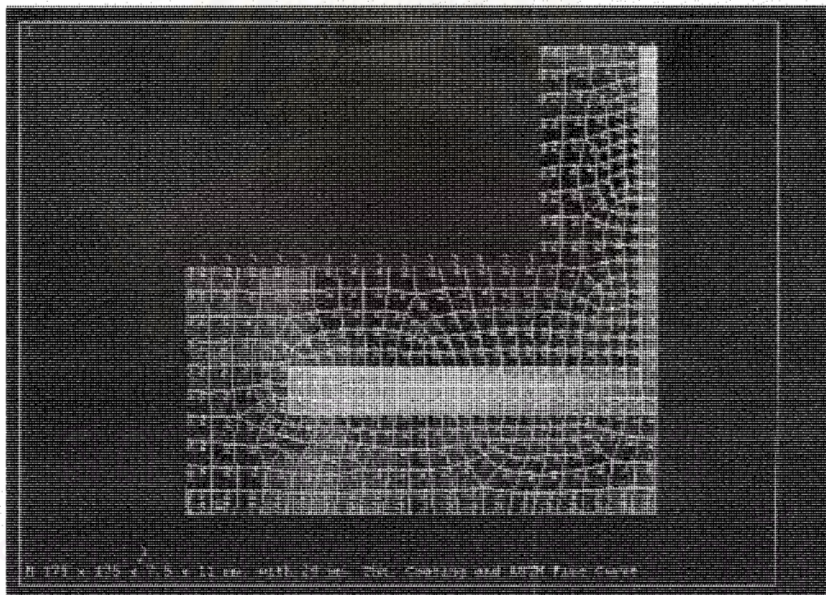
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมไฟในเอลิเมนต์

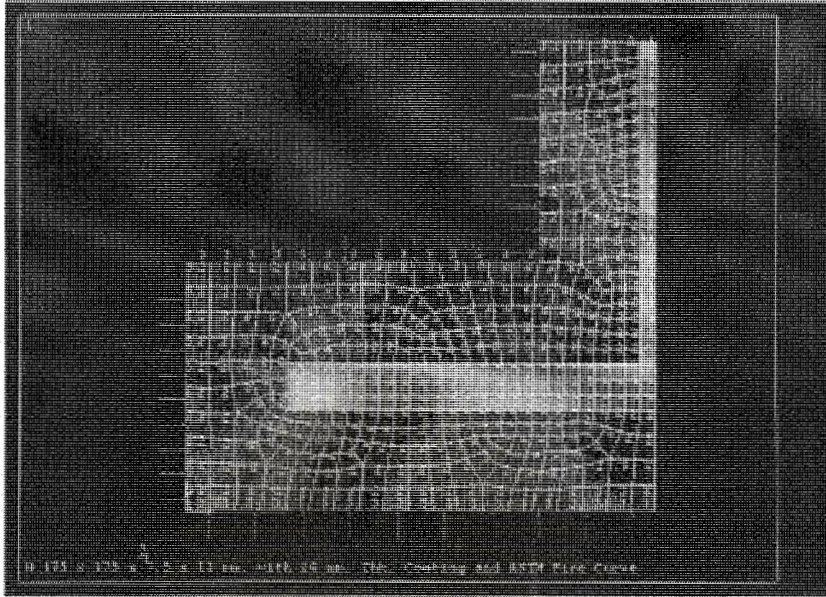
ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมไฟในเอลิเมนต์มีขั้นตอนในการใช้ดังนี้คือ

1. สร้างแบบจำลองขึ้นตัวอย่างโดยในการวิจัยนี้จะจำลองขึ้นตัวอย่างโดยใช้คุณสมบัติด้านความสมมาตรทั้งแนวแกน x และ แกน y แล้วทำการแบ่งส่วนของแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ โดยในการแบ่งส่วนของเอลิเมนต์จะต้องพิจารณาถึงขนาดที่เหมาะสมในการแบ่งด้วยซึ่งจะได้ลักษณะดังรูป ง-1 พร้อมทั้งทำการใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุโดยแบ่งออกเป็น เหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ ซึ่งค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ทำการใส่ค่าลงในโปรแกรมมีดังนี้คือ
 1. ความหนาแน่นของวัสดุ
 2. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ
 3. ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ
 4. ค่าการพาความร้อน และ
 5. ค่าการแผ่กระจายรังสี



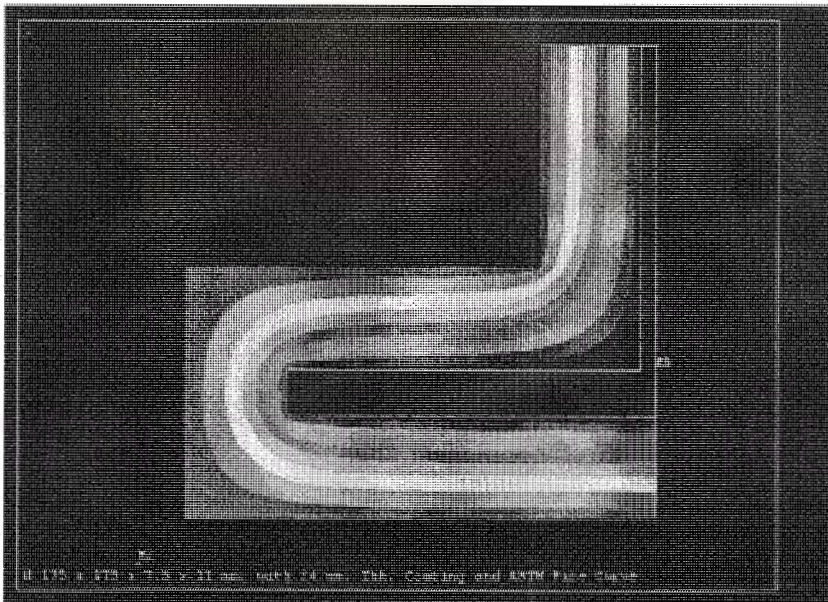
รูปที่ ง-1 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ภายในวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ

2. ทำการใส่ค่าอุณหภูมิรอบขึ้นตัวอย่างที่ผิวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟบริเวณที่สัมผัสกับอากาศโดยจะทำการใส่ค่าอุณหภูมิทุกเวลา 1 นาที (อุณหภูมิที่ใส่จะเป็นอุณหภูมิที่วัดได้รอบขึ้นตัวอย่างในการทดสอบอัตราการต้านทานไฟแต่ละชั้นตัวอย่าง) พร้อมทั้งกำหนดให้โปรแกรมมีค่าช่วงของการวิเคราะห์ (Step Size) เท่ากับ 1 นาทีหรือ 60 วินาที



รูปที่ 4-2 แสดงการให้อุณหภูมิที่ผิววัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

3. ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมจะได้ข้อมูลอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่างและแผนภาพการกระจายความร้อนในชิ้นตัวอย่างดังรูป ง-3 ซึ่งจากแผนภาพรูป ง-3 จะพบว่าค่าอุณหภูมิจะสูงที่ผิวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งสัมผัสกับผิวเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ และจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ หลังจากนั้นจะนำเอาค่าข้อมูลอัตราการต้านทานไฟของตัวอย่างมาวิเคราะห์เทียบผลการวิเคราะห์กับผลการทดสอบ



รูปที่ 5-3 แสดงการแผนภาพการกระจายของอุณหภูมิภายในวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสรวุฒิ ญาณภีร์ เกิดเมื่อวันที่ 15 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2520 เป็นบุตรคนที่ 1 จากทั้งหมด 2 คนของคุณพ่อเฉลิมไท ญาณภีร์ และคุณแม่ภาวิณี ญาณภีร์ เข้ารับการศึกษาในระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนสมิทธิโชติ และมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสตรีวิทยา 2 และสอบเทียบเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาตรี ที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2542 หลังจากนั้นได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท ที่สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีเดียวกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย