การประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

นาย วงศ์รวี คงมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-53-1925-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ESTIMATION OF OPTIMAL THICKNESS OF FIRE PROTECTION COATING FOR STRUCTURAL STEEL MEMBERS

Mr. Wongrawee Kongmark

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 2004

ISBN 974-53-1925-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ
โดย	นาย วงศ์รวี คงมาก
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชาติ สิทธิพันธุ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วงศ์รวี คงมาก : การประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ (ESTIMATION OF OPTIMAL THICKNESS OF FIRE PROTECTION COATING FOR STRUCTURAL STEEL MEMBERS) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ, 55 หน้า, ISBN 974-53-1925-2

เป็นที่ทราบกันดีว่าโครงสร้างเหล็กไม่สามารถทนต่อสภาวะอุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานานอย่างในกรณีไฟไหม้ได้ เนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลของโครงสร้างเหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ส่งผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกและอาจเกิดการวิบัติได้ ในการเพิ่มความสามารถทนไฟขององค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณสามารถใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟซึ่งปกติแล้วการใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟด้วยความหนาที่น้อยเกินไปจะทำให้โครงสร้างเหล็กไม่สามารถทนไฟได้ภายในเวลาที่กำหนด ในขณะที่การใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟด้วยความหนาที่มากเกินไปจะทำให้เกิดความสิ้นเปลือง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ซึ่งจะทำให้โครงสร้างเหล็กสามารถทนไฟได้ภายในเวลาที่กำหนด วิธีการประมาณหาความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่นำเสนออาศัยการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่

ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง พบว่าผลการประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟและผลการทดสอบการทนไฟจากงานวิจัยในอดีตมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี วิธีการที่นำเสนอมีความไหวตัวต่อความคลาดเคลื่อนของค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในกรณีที่ค่าการนำความร้อนคงที่ แต่มีความไหวตัวต่อความคลาดเคลื่อนของค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....
ปีการศึกษา.....2547.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4470500421: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORDS: STEEL / FIRE RESISTANCE / FIRE PROTECTION / FIRE INSULATION / OPTIMAL THICKNESS

WONGRAWEE KONGMARK: ESTIMATION OF OPTIMAL THICKNESS OF FIRE PROTECTION COATING FOR STRUCTURAL STEEL MEMBERS: THESIS ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR THANYAWAT POTHISIRI, Ph.D., 55 pp, ISBN: 974-53-1925-2

Steel structures have been well known to suffer from long exposure to high temperature, e.g. fire, in which certain properties of the structural steel can change dramatically, affecting the load-bearing capacity and leading to structural failure. Fire protection coatings are normally used to enhance the fire resistance capability of structural steel members. The use of fire protection coating with insufficient thickness may cause inadequate fire resistance rating of the steel structure while overestimated thickness means wasting more coating material.

The objective of this research is to investigate the estimation of optimal thickness of fire protection coatings for structural steel members for the specified fire resistance ratings. The proposed method employs the finite element model utilizing two-dimensional transient heat transfer analysis.

The results from testing the efficacy of the proposed method show that the estimated thickness is in good agreement with the fire test results in the literature. The estimated thickness is, however, sensitive to the variation in the thermal conductivity of the coating material for the case of constant conductivity. Nevertheless, the estimated thickness is virtually insensitive to the variation in the specific heat and the density of the coating material.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....CIVIL ENGINEERING... Student's signature.....

Concentration...CIVIL ENGINEERING... Advisor's signature...Thanyawat P. Thisiri

Academic year.....2004.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการเสนอแนะแนวทางในการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ที่ช่วยแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้เขียนขอขอบคุณอย่างสุดซึ้งต่อ พี่สาว น้องสาว รุ่นพี่ เพื่อนๆ และรุ่นน้องที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำงาน และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งคอยให้กำลังใจและสนับสนุนการทำงานเป็นอย่างดี ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกๆท่านที่เคยสั่งสอน อบรม และให้ความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ พระคุณของท่านเหล่านี้ ผู้เขียนจะระลึกถึงจนกว่าชีวิตจะหาไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง .....ฌ

สารบัญรูป.....ญ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....2

1.3 วัตถุประสงค์.....4

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....6

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....6

2.2 คุณสมบัติทางความร้อนของเหล็ก.....9

2.3 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ.....10

2.4 ระยะเวลาการทนไฟตามมาตรฐาน ASTM E119.....12

บทที่ 3 การประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับ
องค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ.....14

3.1 แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่โดยใช้
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....14

3.2 วิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ
สำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ.....35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ.....40
4.1 การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความหนาที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดสอบ 40
4.2 การตรวจสอบความไหวตัวของค่าความหนาที่ประมาณได้ต่อความคลาดเคลื่อนของค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ 43

บทที่ 5 บทสรุป.....45

รายการอ้างอิง.....47
ภาคผนวก.....48
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างแฟ้มข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นสำหรับประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟกรณีเหล็กไวด์แฟลนจ์ W 125 × 23.8.....49
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางด้านความร้อนของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟทดสอบ..... 17
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความหนาที่ได้จากแบบจำลองและ
ผลการทดสอบ..... 42
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ใช้ในการทดสอบ
ความไหวตัวของแบบจำลอง..... 44
ตารางที่ 4.3 ความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ประมาณได้ในกรณีศึกษาต่างๆ..... 44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 .ค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ 10
รูปที่ 2.2 .ค่าการนำความร้อนของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ 10
รูปที่ 2.3 กราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119..... 12
รูปที่ 2.4 การวัดอุณหภูมิผิวเหล็กที่หน้าตัดใดๆ..... 13
รูปที่ 3.1 การสร้างแบบจำลองหน้าตัดเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ..... 15
รูปที่ 3.2 .แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่..... 16
รูปที่ 3.3 .การป้อนค่าความร้อนที่บริเวณผิวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ 18
รูปที่ 3.4 การกระจายอุณหภูมิในหน้าตัดเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม.
ซึ่งได้รับ ความร้อนตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง..... 19
รูปที่ 3.5 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 150 x 14.0 และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 20
รูปที่ 3.6 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 200 x 21.3 และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 21
รูปที่ 3.7 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 100 x 17.2 และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 22
รูปที่ 3.8 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 125 x 23.8 และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 23
รูปที่ 3.9 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 175 x 40.2 และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 24
รูปที่ 3.10 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 75X75X6 มม. และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 25
รูปที่ 3.11 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 90 x 90 x 7 มม. และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 26
รูปที่ 3.12 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 65 x 65 x 8 มม. และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 27
รูปที่ 3.13 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 75 x 75 x 9 มม. และ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง..... 28

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.14 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 90 x 90 x 10 มม.
และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง.....29
รูปที่ 3.15 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 2" x 2.0 มม.
และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง.....30
รูปที่ 3.16 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 2" x 2.866 มม.
และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง.....31
รูปที่ 3.17 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 3 1/2" x 3.0 มม.
และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง.....32
รูปที่ 3.18 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 3" x 4.0 มม.
และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง.....33
รูปที่ 3.19 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 4" x 4.5 มม.
และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง.....34
รูปที่ 3.20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของ
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ.....36
รูปที่ 3.21 ลักษณะของหน้าต่างที่ใช้ในการป้อนข้อมูลเพื่อประมาณค่าความหนา
ที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กไวด์แฟลนจ์.....39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย