บทที่ 4

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง การประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากงานวิจัยของ อรรถวุฒิ อุบลจินดา (2545) ซึ่งเป็นการศึกษาการทนไฟขององค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันไฟและมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดสูง โดยใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการพ่นด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟประเภทซีเมนติเชียสที่มีแร่เพอร์ไลท์เป็นส่วนผสมด้วยความหนาต่างๆ กัน และการทดสอบการทนไฟตามมาตรฐาน ASTM E119

นอกจากนั้นยังทำการพิจารณาความไหวตัวของค่าความหนาที่ประมาณได้ต่อความคลาดเคลื่อนของค่าการนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟของแบบจำลอง

4.1 การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความหนาที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดสอบ

อรรถวุฒิ อุบลจินดา (2545) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการทนไฟขององค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันไฟและมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดสูง โดยเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการพ่นด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟประเภทซีเมนติชียสที่มีแร่เพอร์ไลท์เป็นส่วนผสมทั้งหมด 2 ความหนาคือ 20 มม. และ 40 มม. เหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่นำมาใช้ในการทดสอบหาระยะเวลาทนไฟมีรูปร่างหน้าตัด 3 แบบได้แก่ เหล็กไวด์แฟลนจ์ จำนวน 5 ขนาด เหล็กฉาก จำนวน 6 ขนาด และท่อเหล็กกลมกลวง จำนวน 5 ขนาด

ในการทดสอบ ตัวอย่างเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟได้ถูกนำไปเผาในเตาทดสอบซึ่งมีการเพิ่มของอุณหภูมิตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 โดยใช้เกณฑ์การสิ้นสุดความสามารถในการทนไฟของโครงสร้างเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E119 กล่าวคือเมื่อค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับหรือหน้าตัดใดๆ ถึง 538 °C (1,000 °F) หรือเมื่อค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใดๆ ถึง 649 °C (1,200 °F)

แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ ใช้การแบ่งเอลิเมนต์ของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟประมาณ 1000 เอลิเมนต์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ความร้อนที่ให้แก่องค์อาคารเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเป็นไปตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่า 25 $W/m^2°C$ และค่าคุณสมบัติทางความร้อนของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟตามตารางที่ 3.1 ในการวิเคราะห์กำหนดค่าอุณหภูมิเริ่มต้น 30 °C และกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนในแบบจำลองตามระยะเวลาทนไฟจากผลการทดสอบของอรรถวุฒิ อุบลจินดา (2545) เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหนาที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลองและความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ใช้ในการทดสอบ ผลการเปรียบเทียบการประมาณค่าความหนาที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดสอบ เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความหนาที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดสอบ

ขนาดหน้าตัดเหล็ก	H_{ps}/A_s ($ม^{-1}$)	ระยะเวลาทนไฟ (นาที)	ผลการทดสอบ			ผลที่ได้จากการประมาณค่า		
			ความหนา (มม.)	เกณฑ์การทนไฟ 538°C	เกณฑ์การทนไฟ 650°C	ความหนา (มม.)	เกณฑ์การทนไฟ 538°C	เกณฑ์การทนไฟ 650°C
W150×40.2	331	55.9	19.4	/		19.6	/	
		139.4	43.5	/		41.8	/	
W200×21.3	291	52.4	18.7	/		17.1	/	
		-	-	/		-	/	
W100×17.2	268	67.2	22.3	/		21.5	/	
		138.0	40.4	/		39.2	/	
W125×23.8	243	67.2	20.1	/		20.8	/	
		145.0	41.7	/		40.3	/	
W175×40.2	202	65.9	19.0	/		18.7	/	
		156.0	41.5	/		40.5	/	
L 75×75×6	344	67.4	21.1	/		21.7	/	
		102.5	38.7	/		39.0	/	
L 90×90×7	295	69.4	22.1	/		21.8	/	
		117.2	41.0	/		39.2	/	
L 65×65×8	266	69.4	22.7	/		21.7	/	
		109.8	40.3	/		39.8	/	

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าความหนาที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดสอบ (ต่อ)

ขนาดหน้าตัดเหล็ก	H_{ps}/A_s ($ม^{-1}$)	ระยะเวลาทนไฟ (นาที)	ผลการทดสอบ			ผลที่ได้จากการประมาณค่า		
			ความหนา (มม.)	เกณฑ์การทนไฟ 538°C	เกณฑ์การทนไฟ 650°C	ความหนา (มม.)	เกณฑ์การทนไฟ 538°C	เกณฑ์การทนไฟ 650°C
L 75×75×9	236	70.8	21.5	/		20.7	/	
		115.8	38.2	/		38.0	/	
L 90×90×10	212	68.8	21.8	/		20.5	/	
		123.0	40.8	/		38.9	/	
L 75×75×12	181	75.3	21.6	/		20.4	/	
		133.1	39.7	/		39.2	/	
ϕ 2" ×2.0 มม.	518	48.7	22.5	/		21.7	/	
		84.8	41.9	/		40.5	/	
ϕ 2" × 2.8 มม.	575	46.7	21.8	/		21.1	/	
		97.0	42.3	/		41.5	/	
ϕ 3"1/2 × 3.0 มม.	343	53.9	21.1	/		22.1	/	
		98.0	40.1	/		39.0	/	
ϕ 3" × 4.0 มม.	262	53.2	21.4	/		19.9	/	
		95.5	38.9	/		38.2	/	
ϕ 4" × 4.5 มม.	231	56.6	20.3	/		19.8	/	
		120.6	42.3	/		41.6	/	

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลองมีค่าแตกต่างจากความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ใช้ในการทดสอบไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ ดังนั้นแบบจำลองที่เสนอในงานวิจัยนี้จึงสามารถประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟได้ค่อนข้างแม่นยำ

4.2 การตรวจสอบความไหวตัวของค่าความหนาที่ประมาณได้ต่อความคลาดเคลื่อนของค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

ในการตรวจสอบความไหวตัวของแบบจำลองที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ต่อความคลาดเคลื่อนของค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ อาศัยการประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยใช้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

ในการตรวจสอบความไหวตัวของค่าความหนาที่ประมาณได้ต่อความคลาดเคลื่อนของค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ อาศัยการประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กไวด์แฟลนจ์ W150×40.2 ซึ่งมีความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ 19.4 มม. ผลการทดสอบระยะเวลาทนไฟ 55.9 นาที สำหรับอุณหภูมิวิกฤติ 538 °C การสร้างแบบจำลองใช้จำนวนเอลิเมนต์ 1374 เอลิเมนต์ และ 1451 จุดต่อ ความร้อนที่ให้แก่องค์อาคารเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเป็นไปตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่า 25 $W/m^2{}^\circ C$ โดยทำการแบ่งกรณีศึกษาโดยใช้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าความหนาที่ประมาณได้ในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกับความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ใช้ในการทดสอบไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ ยกเว้นกรณีของการใช้ค่าการนำความร้อนมีค่าคงที่ k_p = 0.104 $W/m^\circ C$ ให้ผลที่แตกต่างอย่างชัดเจน จึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่เสนอในงานวิจัยนี้จึงมีความไหวตัวต่อความคลาดเคลื่อนของค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟต่ำ กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟจะส่งผลกระทบต่อการประมาณค่าความหนาของแบบจำลองเพียงเล็กน้อย ในทางกลับกันแบบจำลองที่เสนอนี้มีความไหวตัวต่อความคลาดเคลื่อนของค่าการนำความร้อนค่อนข้างสูงในกรณีที่กำหนดให้ค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีค่าคงที่ ในความเป็นจริงแล้วในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ อุณหภูมิของอากาศรอบๆ โครงสร้างอาคารจะมีค่าสูงมากซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีค่าสูงขึ้นอย่างมาก ดังนั้นการกำหนดให้ค่าการนำความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีค่าคงที่จึงทำให้การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผิดพลาดส่งผลให้การประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเกิดความคลาดเคลื่อนไปด้วย

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ใช้ในการทดสอบความไหวตัวของแบบจำลอง

กรณี	ค่าการนำความร้อน (W/m°C)	ค่าความร้อนจำเพาะ (J/kg°C)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
I-1	$1.065\times10^{-4}T_p+9.35\times10^{-2}$	970.1	890
I-2	0.104		
I-3	$7.02\times10^{-5}T_p+9.94\times10^{-2}$		
II-1	$1.065\times10^{-4}T_p+9.35\times10^{-2}$	970.1	890
II-2		$922.33-0.48T_p$	
II-3		$877.89-0.92T_p$	
III-1	$1.065\times10^{-4}T_p+9.35\times10^{-2}$	970.1	890
III-2			$896.88-0.23T_p$
III-3			$903.76-0.46T_p$

ตารางที่ 4.3 ความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่ประมาณได้ในกรณีศึกษาต่างๆ

กรณี	ความหนาที่ประมาณได้ (มม.)	เกณฑ์การทนไฟ		ความคลาดเคลื่อนจากผลการทดสอบ (%)
		538 °C	650 °C	
I-1	19.6	/		1.0
I-2	15.2	/		21.6
I-3	19.0	/		2.1
II-1	19.3	/		0.5
II-2	19.1	/		1.5
II-3	19.1	/		1.5
III-1	19.3	/		0.5
III-2	20.3	/		4.6
III-3	21.0	/		8.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย