บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณได้ถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างต่างๆ มากขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากข้อดีหลายประการ ได้แก่ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่สูงเมื่อเทียบกับน้ำหนัก ความเหนียวและความยืดหยุ่นสูง เป็นต้น โดยทั่วไปเหล็กโครงสร้างรูปพรรณจะถูกใช้ในงานโครงสร้างสะพานและโครงหลังคาสำหรับอาคารที่ต้องการช่วงเปิดกว้าง อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันดีว่า โครงสร้างเหล็กมีความเสี่ยงต่อสภาวะอุณหภูมิสูง เนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ส่งผลให้โครงสร้างเหล็กเกิดการวิบัติในที่สุด

จากการเกิดเหตุเพลิงไหม้จนเกิดการพังทลายของอาคารโรงงานบริษัท เคเดอร์ อินดัสเตรียล (ไทยแลนด์) จำกัด ซึ่งเป็นอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณเมื่อกลางปี พ.ศ. 2536 ก่อให้เกิดความตระหนักถึงภัยจากเพลิงไหม้ หน่วยงานราชการจึงได้ออกกฎหมายควบคุมอาคารทางด้านความปลอดภัยจากอัคคีภัย ได้แก่ กฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 48 พ.ศ. 2540 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารต้านทานอัคคีภัย ซึ่งได้กำหนดระยะเวลาที่โครงสร้างในอาคารต้องมีความสามารถในการทนไฟ เช่น ในกรณีโครงสร้างหลักที่เป็นเสาหรือคานที่ก่อสร้างด้วยเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ไม่ได้ใช้คอนกรีตหุ้มต้องป้องกันด้วยวิธีอื่นเพื่อให้มีอัตราการทน ได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง โดยจะต้องมีเอกสารรับรองอัตราการทนไฟจากสถาบันที่เชื่อถือได้ประกอบการขออนุญาต

การใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการเพิ่มความสามารถในการทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ เนื่องจากวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีค่าการนำความร้อนต่ำ ทำให้อุณหภูมิที่ผิวเหล็กในกรณีที่มีการเคลือบผิวป้องกันไฟมีค่าต่ำกว่าเหล็กที่ไม่ได้เคลือบผิวมาก อย่างไรก็ดีในการใช้วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟนั้น หากใช้ในความหนาที่มากเกินไป ถึงแม้จะทำให้โครงสร้างเหล็กสามารถทนไฟได้นานขึ้น แต่ก็ทำให้โครงสร้างต้องรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นเช่นกัน อีกทั้งยังทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเนื่องจากค่าใช่จ่ายในส่วนของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟด้วย หรือในทางตรงกันข้ามหากวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีความหนาน้อยเกินไปก็จะทำให้โครงสร้างเหล็กไม่สามารถทนไฟได้ตามระยะเวลาที่กำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ โดยที่ความหนาที่เหมาะสมจะต้องส่งผลให้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณสามารถทนต่อสภาพอุณหภูมิที่กำหนดภายในเวลาที่กำหนดและส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายโดยการใช้ปริมาณของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟน้อยที่สุด

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lee (1967) ได้ทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากไฟไปยังเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันโดยพิจารณาให้เกิดการนำความร้อนในหนึ่งมิติภายในฉนวนทนไฟผ่านเข้าไปยังผิวเหล็กด้านใน และพิจารณาให้เหล็กมีค่าอุณหภูมิเท่ากันตลอดผิวสัมผัส ความร้อนภายในเป็นตามกราฟไฟมาตรฐาน ISO-TC/92 ค่าอุณหภูมิของเหล็กที่ได้จากการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ตามสมมติฐานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความหนาของฉนวนทนไฟที่ใช้และค่าน้ำหนักต่อพื้นที่สัมผัสความร้อนของเหล็ก จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและผลการทดสอบการทนไฟจริงของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการฉีดพ่นด้วยสเปรย์แอสเบสตอสที่ความหนาต่างๆกันพบว่าผลการคำนวณที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบเป็นอย่างดี

Wakamatsu (1972) ได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสามวิธี ได้แก่ วิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method) วิธีอินทิกรัล (Integral method) และวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) โดยวิธีเชิงวิเคราะห์เป็นการใช้สมการพื้นฐานทางกระบวนการถ่ายเทความร้อนในการคำนวณหาความหนาวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ซึ่งข้อเสียของวิธีนี้คือ ต้องมีการสุ่มค่าของความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเพื่อใช้ในแบบจำลองการถ่ายเทความร้อน แต่ก็มีข้อดีตรงที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายและมีการพิจารณาถึงปริมาณความชื้นในวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในการชะลอการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเหล็กเมื่อถึงอุณหภูมิ 100 °C ส่วนวิธีอินทิกรัลนั้นเป็นการใช้สมการพื้นฐาน 2 สมการเช่นเดียวกันกับวิธีเชิงวิเคราะห์ในการหาค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ แต่ก็มีข้อเสียเรื่องการสุ่มค่าของความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเช่นเดียวกัน สำหรับวิธีเชิงตัวเลขเป็นการอาศัยหลักการของวิธีเชิงวิเคราะห์และวิธีอินทิกรัลในการวิเคราะห์หาค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟซึ่งถือว่ามีความสะดวกในการคำนวณความหนาอยู่พอสมควรเนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ แต่เนื่องจากมีการตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์ค่อนข้างมาก ทำให้ค่าความหนาที่คำนวณได้อาจไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง

Lee และ Harmathy (1974) ได้อาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างสมการแบบเอมไพริคัลสำหรับทำนายค่าระยะเวลาการทนไฟสำหรับเสาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันไฟด้วยการหุ้มด้วยแผ่นคอนกรีตแบบกล่องโดยรอบทั้งสี่ด้านและเปรียบเทียบผลการทดสอบการทนไฟของเสาเหล็กรูปพรรณจริง พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกันโดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในระดับที่ไม่เกิน 4 % จากสมการที่ได้พบว่าค่าระยะเวลาการทนไฟของโครงสร้างขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กต่อเส้นรอบรูปพื้นผิวที่สัมผัสความร้อน ความหนาของฉนวนทนไฟ และอัตราส่วนของค่าความจุความร้อนของเหล็กต่อคอนกรีต

Payne (1981) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้วัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟชนิดฉีดพ่นพร้อมทั้งมาตรฐานในการทดสอบรวมถึงเกณฑ์ในการตัดสินการวิบัติของโครงสร้างเหล็ก โดยในการทดสอบการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟจะยึดตามมาตรฐาน BS 476 หรือ ASTM E119 โดยมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดจุดวิกฤติ คือ สำหรับเสาจะต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 1000 °F (538 °C) และอุณหภูมิที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เกิน 1200 °F (649 °C) สำหรับกรณีของคาน ถ้าเป็นคานที่ยึดรั้งที่ปลายจะต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยของ 4 จุด ไม่เกิน 1000 °F (538 °C) และแต่ละจุดต้องไม่เกิน 1300 °F (704 °C) โดยต้องมีการให้น้ำหนักบรรทุกระหว่างการทดสอบด้วย สำหรับกรณีที่ไม่มีการยึดรั้งอาจอาศัยการวัดค่าอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวได้ นอกจากนี้ลักษณะที่สำคัญของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟคือ ต้องไม่ติดไฟและไม่เกิดสารพิษเมื่อถูกไฟ มีความสม่ำเสมอและคงตัว สามารถควบคุมคุณภาพได้ และมีแรงยึดเหนี่ยวรวมทั้งความทนทานระหว่างการก่อสร้าง

อรรถวุฒิ อุบลจินดา (2545) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการทนไฟขององค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันไฟและมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดสูง โดยใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ใช้ทดสอบมีการพ่นด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟประเภทซีเมนติเชียสที่มีแร่เพอร์ไลท์เป็นส่วนผสมด้วยความหนาต่างกัน หน้าตัดเหล็กที่ศึกษาได้แก่ เหล็กไวด์แฟลนจ์ เหล็กฉาก และท่อเหล็กกลมกลวงที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดโดยประมาณ 200 $ม^{-1}$ ขึ้นไป ในการทดสอบการทนไฟเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E119 จากผลการทดสอบการทนไฟพบว่าเหล็กที่มีรูปร่างเดียวกันจะมีค่าความสามารถทนไฟเพิ่มขึ้นเมื่อค่าองค์ประกอบหน้าตัดลดลง แต่สำหรับเหล็กที่มีรูปร่างต่างกันเมื่อค่าองค์ประกอบหน้าตัดและความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเท่ากันเหล็กไวด์แฟลนจ์จะมีความสามารถทนไฟสูงกว่าเหล็กฉากและท่อเหล็กกลมกลวงตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี

Lee และ Harmathy (1974) ได้อาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างสมการแบบเอมไพริคัลสำหรับทำนายค่าระยะเวลาการทนไฟสำหรับเสาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันไฟด้วยการหุ้มด้วยแผ่นคอนกรีตแบบกล่องโดยรอบทั้งสี่ด้านและเปรียบเทียบผลการทดสอบการทนไฟของเสาเหล็กรูปพรรณจริง พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกันโดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในระดับที่ไม่เกิน 4 % จากสมการที่ได้พบว่าค่าระยะเวลาการทนไฟของโครงสร้างขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กต่อเส้นรอบรูปพื้นผิวที่สัมผัสความร้อน ความหนาของฉนวนทนไฟ และอัตราส่วนของค่าความจุความร้อนของเหล็กต่อคอนกรีต

Payne (1981) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้วัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟชนิดฉีดพ่นพร้อมทั้งมาตรฐานในการทดสอบรวมถึงเกณฑ์ในการตัดสินการวิบัติของโครงสร้างเหล็ก โดยในการทดสอบการทนไฟของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟจะยึดตามมาตรฐาน BS 476 หรือ ASTM E119 โดยมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดจุดวิกฤติ คือ สำหรับเสาจะต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 1000 °F (538 °C) และอุณหภูมิที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เกิน 1200 °F (649 °C) สำหรับกรณีของคาน ถ้าเป็นคานที่ยึดรั้งที่ปลายจะต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยของ 4 จุด ไม่เกิน 1000 °F (538 °C) และแต่ละจุดต้องไม่เกิน 1300 °F (704 °C) โดยต้องมีการให้น้ำหนักบรรทุกระหว่างการทดสอบด้วย สำหรับกรณีที่ไม่มีการยึดรั้งอาจอาศัยการวัดค่าอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวได้ นอกจากนี้ลักษณะที่สำคัญของวัสดุเคลือบผิวเหล็กป้องกันไฟคือ ต้องไม่ติดไฟและไม่เกิดสารพิษเมื่อถูกไฟ มีความสม่ำเสมอและคงตัว สามารถควบคุมคุณภาพได้ และมีแรงยึดเหนี่ยวรวมทั้งความทนทานระหว่างการก่อสร้าง

อรรถวุฒิ (2545) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการทนไฟขององค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันไฟและมีค่าองค์ประกอบหน้าตัดสูง โดยใช้เหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ใช้ทดสอบมีการพ่นด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟประเภทซีเมนติเชียสที่มีแร่เพอร์ไลท์เป็นส่วนผสมด้วยความหนาต่างกัน หน้าตัดเหล็กที่ศึกษาได้แก่ เหล็กไวด์แฟลนจ์ เหล็กฉาก และท่อเหล็กกลมกลวงที่มีค่าองค์ประกอบหน้าตัดโดยประมาณ 200 $ม^{-1}$ ขึ้นไป ในการทดสอบการทนไฟเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E119 จากผลการทดสอบการทนไฟพบว่าเหล็กที่มีรูปร่างเดียวกันจะมีค่าความสามารถทนไฟเพิ่มขึ้นเมื่อค่าองค์ประกอบหน้าตัดลดลง แต่สำหรับเหล็กที่มีรูปร่างต่างกันเมื่อค่าองค์ประกอบหน้าตัดและความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเท่ากันเหล็กไวด์แฟลนจ์จะมีความสามารถทนไฟสูงกว่าเหล็กฉากและท่อเหล็กกลมกลวงตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี

1.3 วัตถุประสงค์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาวิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

1.3.1 เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.3.2 เพื่อเสนอวิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

1.3.3 เพื่อสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์สำหรับวิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่นำเสนอ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ในการศึกษาวิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณมีขอบเขตการวิจัยดังต่อไปนี้

1.4.1 การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากไฟสูองค์อาคารเหล็กรูปพรรณที่มีวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟอาศัยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.4.2 วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่พิจารณา จำกัดเฉพาะวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่มีความหนาคงที่ระหว่างได้รับความร้อน เช่น วัสดุประเภทซีเมนติเชียส

1.4.3 แบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ ใช้สำหรับการประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณประเภทเหล็กไวด์แฟลนจ์ เหล็กฉาก และ ท่อเหล็กกลมกลวงเท่านั้น

1.4.4 ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น อาศัยการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบจากงานวิจัยในอดีตซึ่งมีการทดสอบการทนไฟของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่มีการป้องกันไฟ และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย