การเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมแบบรองรับน้ำหนักบรรทุก

(Enhancement of fire performance for load-bearing gypsum wall systems)

วิชา โครงงานทางวิศวกรรมโยธา

CIVIL ENGINEERING PROJECT

2101499

นาย จิรัฏฐ์ สุรศักดิ์นิธิกุล นายนิธิศ นาคสุทธิ์ นาย อธิศ สุริโย และ ศ. ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

ระบบผนังยิปซัมแบบรองรับน้ำหนักบรรทุกมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบันอย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดด้านกฎหมายที่กำหนดเรื่องความปลอดภัยด้านอัคคีภัยของโครงสร้างหลักต้องมีอัตราทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีระบบผนังยิปซัมที่สมรรถนะการทนไฟผ่านเกณฑ์ดังกล่าว

ทางคณะผู้ศึกษาจึงหาแนวทางในการเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) ในการสร้างแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบอัตราการทนไฟของระบบผนังยิปซัมที่ไม่มีการติดตั้งฉนวน และระบบผนังยิปซัมที่ติดตั้งฉนวนบริเวณด้านในของเหล็กยึน โดยใช้เกณฑ์การวิบัติของโครงสร้างจากค่าอุณหภูมิของเหล็กยึนที่ตำแหน่งปีกเหล็กด้านติดไฟ พบว่าแบบจำลองที่ใส่ฉนวนเพอร์ไลต์สามารถเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมได้ จากเดิมมีอัตราการทนไฟที่ 111 นาที เพิ่มขึ้นเป็น (130 นาที) แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่ผ่านเกณฑ์ที่ข้อกฎหมายประเทศไทยกำหนด แต่ผลลัพธ์แสดงถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ในการพัฒนาสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมในอนาคตต่อไป

Abstract

Light Gauge Steel Framing (LSF) walls are commonly used in residential and commercial building as load-bearing and non-load bearing element and LSF walls are made of cold-formed, thin-walled steel lipped channel studs with plasterboard linings on both sides. However, there are also legal restrictions in Thailand that require the major structure's fire resistance rating to be at least 3 hours. Furthermore, the fire performance of load-bearing gypsum wall systems dose not approach that criterion currently.

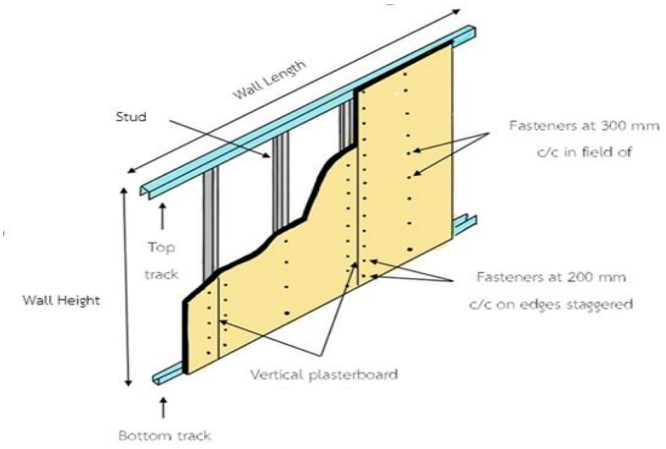
A research studied finite element method (FEA) to form model of gypsum wall systems for Enhancement of fire performance for load-bearing gypsum wall systems. The experiment of this paper is comparison fire resistance of a gypsum walls system without insulation and with insulation on the inside of the steel lipped channel. This model used the criterion of failure structure is the temperature of hot-flange. The result revealed the Light gauge steel framing installed insulation as perlite. the effect of perlite is simply to delay the resistance fire rate from 111 minute to 130 minute. Even thought, this result of experiment has not approached the Thai criterion requirement. However, this result also displayed the possibility of improvement for load-bearing gypsum wall systems.

1. คำนำ

ระบบผนังยิปซัมโดยทั่วไปประกอบด้วย เหล็กยึน เหล็กราง (ใช้สำหรับรองรับเหล็กยึน) และแผ่นยิปซัม ซึ่งประกบอยู่ทั้งสองด้านของเหล็กยึน (ดังรูปที่1) และในบางกรณีอาจมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนระหว่างแผ่นยิปซัม โดยเมื่อระบบผนังยิปซัมอยู่ภายใต้สภาวะเพลิงไหม้ อุณหภูมิของเหล็กยึนภายในผนังเพิ่มสูงขึ้นจนส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงจนนำไปสู่การวิบัติของโครงสร้างได้ โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกการวิบัติแบ่งออกเป็น 3 เกณฑ์ ได้แก่ 1.) ความสามารถในการที่จะรับน้ำหนักได้ (Loadbearing capacity) พิจารณาจากกรณีที่เหล็กยึนเกิดการพังทลาย หรือมีค่าระยะการโก่งตัวที่มากกว่า

ข้อกำหนด 2.) ความสมบูรณ์ของตัวผนังยิปซัม (Integrity) โดยสามารถสังเกตุได้จากตัววัสดุผนังว่ามีการผุพังหรือมีรอยขาดจนเพลิงไม้และก๊าซต่างๆสามารถทะลุไปถึงอีกฝั่งนึงได้ 3.) ความสามารถในการเป็นฉนวน (Insulation) ของตัวผนังโดยจะทำการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ตัวผนังด้านที่ไม่โดนไฟจนกระทั่งอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจากสภาวะปกติ 140 องศาเซลเซียส จะถือว่าเกิดการวิบัติ หรือดูค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ โดยหากอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นเกิน 180 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะมีแผ่นยิปซัมเป็นตัวป้องกันไฟก่อนมาถึงตัวเหล็กยืน แต่สมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมก็ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับต่อความต้านทานน้ำหนักบรรทุกของระบบผนังที่อุณหภูมิปกติ (Load ratio) ประเภทของเหล็กยืน ระยะห่างระหว่างเหล็กยืน ขนาดหน้าตัดของเหล็กยืน ความหนาของผนังยิปซัม คุณสมบัติของผนังยิปซัม ประเภทของเพลิงไหม้ ชนิดและความหนาของฉนวนกันความร้อน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับวิศวกรในการทำความเข้าใจพฤติกรรมของเพลิงไหม้และอัตราการทนไฟของระบบผนังยิปซัม เพื่อนำไปใช้คาดการณ์เวลาในการวิบัติของโครงสร้าง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตในหัวข้อพฤติกรรมของระบบผนังยิปซัมภายใต้สภาวะเพลิงไหม้ โดยในการศึกษาสภาวะเพลิงไหม้จะใช้เพลิงไหม้มาตรฐาน ISO834 ในการให้ความร้อน [1-11] และเมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการศึกษาพบว่าในงานวิจัย [2,8,10,12] เมื่อมีการใส่ฉนวนกันความร้อนด้านอกระหว่างแผ่นยิปซัมจะช่วยเพิ่มสมถรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมได้ แต่ผลการทดลองของ Mahen et al.'s [2] แสดงระบบผนังยิปซัมที่ไม่ได้ใส่ฉนวนกันความร้อนมีสมถรรถนะการทนไฟที่สูงกว่าระบบผนังยิปซัมที่ใส่ฉนวนกันความร้อนไว้ด้านในระบบกำแพง การศึกษาการใช้เหล็กแบบกลวง (Hollow section) เป็นเหล็กยืน ของ Yunxiang et al.'s [10] และ Sivakumar et al.'s [12] ได้มีการใช้เหล็กยืนรูปตัวซีที่มีความหนาและความลึกของหน้าตัดที่มากกว่า [2,8,10,12] และมีส่วนที่เป็นหน้าตัดกลวงในช่วงปีก (Hollow flange) พบว่าเหล็กยืนทั้งสองแบบมีระยะเวลาการทนไฟที่มากกว่าเหล็กยืนรูปตัวซี ผลการศึกษาของ Mahen et al.'s [7] ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังโดยใช้วัสดุยิปซัมกับแผ่นยิปซัมที่ห่อหุ้มด้วยพาราฟิล์ม (PCM Plasterboard) พบว่าระบบผนังยิปซัมที่มีแผ่นยิปซัม 2 ชั้น มีสมรรถนะการทนไฟที่ดีกว่าระบบผนังที่มีแผ่นยิปซัม 1 แผ่นประกบกับแผ่น PCM Plasterboards งานวิจัยของ Anthony et al.'s [17] ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังโดยใช้วัสดุยิปซัมกับวัสดุแคลเซียมซิลิเกต พบว่าสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังแบบไม่รองรับน้ำหนักบรรทุกมีพฤติกรรมที่คล้ายกัน แต่ในระบบผนังแบบรองรับน้ำหนักบรรทุกระบบผนังแคลเซียมซิลิเกตนั้นจะมีสมรรถนะการทนไฟที่ดีกว่า เพราะมีแรงต้านต่อแรงบิดและแรงในแนวแกนที่ดีกว่าแผ่นยิปซัม อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้ทำการสืบค้นมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากมาตรฐานของเหล็กยืนและแผ่นยิปซัมของประเทศไทยมีความแตกต่างกับมาตรฐานของงานวิจัยที่สืบค้น (มาตรฐานเหล็กรูปพรรณรีดเย็นของไทยมีกำลังและความหนามากกว่า)



รูปที่ 1 ระบบผนังยิปซัม

2. แบบจำลองระบบผนังยิปซัม

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะในการทนไฟของระบบผนังยิปซัมกับระบบผนังยิปซัมที่ได้มีการใส่ฉนวนกันไฟเพอร์ไลต์ ซึ่งแบบจำลองของระบบผนังยิปซัมประกอบด้วยเหล็กยืนรูปตัวซีขนาดดังนี้ ขนาด 90 x 45 x 15 x 1.6 mm (SSC400, มอก.1228-2549), 90 x 40 x 15 x 1.15 มม. (G500), 90 x 36 x 7 x 0.75 มม. (G500) และ 92 × 50 × 1.15 มม. โดยใช้ผนังยิปซัมที่มีความหนาชั้นละ 16 มม. จำนวน 2 ชั้น ซึ่งได้มีการอ้างอิงคุณสมบัติของวัสดุตามผลวิจัยอ้างอิง [13-16] โดยแบบจำลองจะใช้เพลิงไหม้แบบ มาตรฐาน ISO 834 ในการให้ความร้อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform heat) แก่ระบบผนังยิปซัม ในส่วนเกณฑ์การวิบัติของโครงสร้างจะใช้ค่าจากอุณหภูมิของเหล็กยืนที่ตำแหน่งกึ่งกลางปีกเหล็กด้านติดไฟเป็นเกณฑ์ที่อุณหภูมิ 642 องศาเซลเซียส อีกทั้งในแบบจำลองจะไม่คิดการสูญเสียความร้อนจากเตาเผา เนื่องจากในโมเดลอุณหภูมิระหว่างไฟกับผิวที่ยิปซัมด้านที่โดนไฟไม่ต่างกันมาก

2.1 แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ (Finite element modelling)

ในการสร้างแบบจำลองระบบผนังยิปซัม จะวิเคราะห์ในรูปแบบ 2 มิติ โดยใช้โปรแกรม Ansys 2020 R2 โดยอ้างอิงรายละเอียดของระบบผนังยิปซัมจาก [1] เพื่อให้การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทนไฟพบว่ากรณีผนังยิปซัม 2 ชั้นและไม่มีการใส่ฉนวนเป็นกรณีที่เหมาะสมที่สุดแม้จะไม่ใช่กรณีที่มีสมรรถนะการทนไฟสูงที่สุดเนื่องจาก 1.) จากการศึกษาการใช้วัสดุ Calcium silicate เปรียบเทียบกับ Gypsum Board และ PCM-Plasterboards พบว่ายิปซัมเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีสมรรถนะการทนไฟสูงที่สุดอีกทั้งยังง่ายต่อการจัดหาในประเทศไทย 2.) กรณีศึกษาการใช้แผ่นยิปซัมจำนวน 1 แผ่น นั้นมีสมรรถนะการทนไฟที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาก 3.) ในกรณีที่นำฉนวนใส่เข้าไปในระหว่างแผ่นยิปซัมจะส่งผลให้กำแพงมีความหนามากขึ้นส่งผลให้มีพื้นที่ใช้สอยลดลง และทำให้การติดตั้งกำแพงที่หน้างานเกิดความยุ่งยากมากขึ้น 4.) จากการศึกษา

พบว่าเหล็กยืนรูปตัวซีขนาด 90 x 45 x 20 มม. เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน มอก.1228-2549 [12] ของประเทศไทย

การให้ความร้อนแก่แบบจำลองระบบผนังยิปซัมอุณหภูมิที่กำหนดในแบบจำลองเป็นประเภทกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Heat) ทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงผลเนื่องจากความลึกของระบบผนังยิปซัมจึงเลือกใช้แบบจำลองแบบ 2 มิติ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ในการทดสอบจริง อุณหภูมิของเตาเผาและผิวระบบกำแพงด้านรับไฟนั้นมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยยะ ดังนั้นจึงเลือกใช้สมมติฐานว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานระหว่างระบบผนังยิปซัมกับเตาเผา อีกทั้งโปรแกรม Ansys 2020 R2 สามารถกำหนดอุณหภูมิที่ตำแหน่งผิวของระบบผนังยิปซัมตามเพลิงไหม้มาตราฐาน ISO834 (ในความเป็นจริง การทดสอบสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมรับแรงจะใช้ความร้อนจากเตาเผา ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนระหว่างเตาเผากับระบบผนังยิปซัม)

2.2 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis)

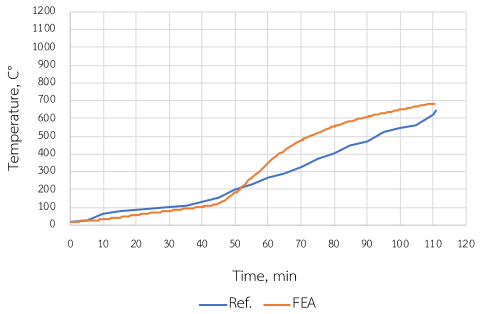
การวิเคราะห์วัสดุด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นวิธีที่อาศัยคณิตศาสตร์ที่นำค่าประมาณจากแบบจำลองการแก้ปัญหาระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยมาใช้ประมาณผลลัพธ์ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นที่นิยมในงานวิศวกรรม โดย Ansys 2020 R2 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมที่สามารถใช้จำลอง และใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในการวิเคราะห์ เช่น ด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanic), การวิเคราะห์กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanic) และ การวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics)) เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาได้นำโปรแกรมมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองระบบผนังยิปซัมโดยมีเหล็กรูปตัวซีเป็นเหล็กยืนในสถานการณ์เกิดเพลิงไหม้ ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ผลอุณหภูมิ ณ เวลาและตำแหน่งต่าง ๆ ได้

2.3 การวิเคราะห์ระบบผนังยิปซัมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ภายใต้สภาวะเพลิงไหม้

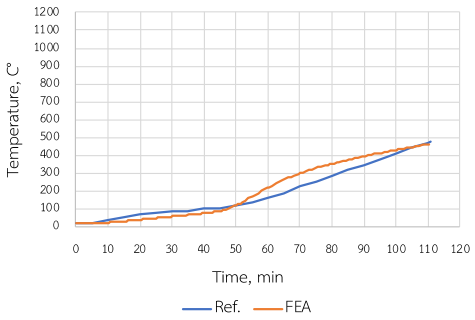
การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer) จากเตาเผาไปสู่ระบบผนังยิปซัม โดยมีการถ่ายเทความร้อน 2 รูปแบบ ได้แก่ การพาความร้อน (Heat Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ซึ่งมีค่าคุณสมบัติดังนี้ 1.) ค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนระหว่าง อากาศกับแผ่นยิปซัม ด้านติดไฟมีค่าเท่ากับ 25 W/m^2 และด้านที่ไม่ติดกับเตาเผาเท่ากับ 9 W/m^2 2.) ค่า Emissivity ของแผ่นยิปซัมเท่ากับ 0.8 เนื่องจากสภาวะตามมาตราฐาน ISO834 เป็นรูปแบบการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเวลาจึงเลือกใช้การวิเคราะห์แบบ Transient state conditions

2.4 การตรวจสอบแบบจำลอง

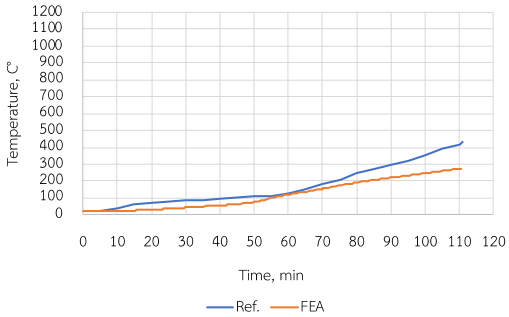
ในการตรวจสอบแบบจำลองจะใช้วิธีการเปรียบเทียบอุณหภูมิของระบบผนังยิปซัมแบบไม่มีฉนวน ณ เวลาที่เกิดเพลิงไหม้จริงที่อุณภูมิที่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดวิบัติกับอุณหภูมิของแบบจำลอง ณ เวลาเดียวกัน โดยจะทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่ง กึ่งกลางปีกเหล็กด้านติดไฟ กึ่งกลางเอวของเหล็กยืนรูปตัวซี และกึ่งกลางปีกเหล็กด้านไม่ติดไฟ ดังรูปที่ *2.1, 2.2 และ 2.3 เป็นลำดับ*



รูปที่ 2.1 *กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการทดสอบจริง (Ref) กับแบบจำลอง (FEA) ณ* ตำแหน่งปีกเหล็กด้านติดไฟ

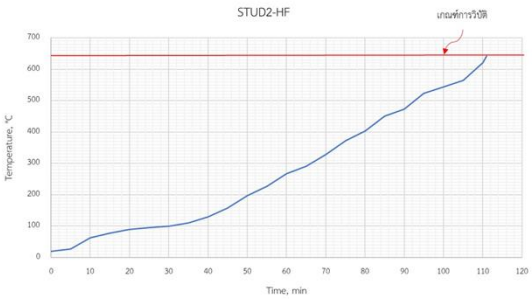


รูปที่ 2.2 *กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการทดสอบจริง (Ref) กับแบบจำลอง (FEA) ณ* ตำแหน่งกึ่งกลางเอวของเหล็กยืนรูปตัวซี



รูปที่ 2.3 *กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการทดสอบจริง (Ref) กับแบบจำลอง (FEA) ณ* ตำแหน่งกึ่งกลางปีกเหล็กด้านไม่ติดไฟ

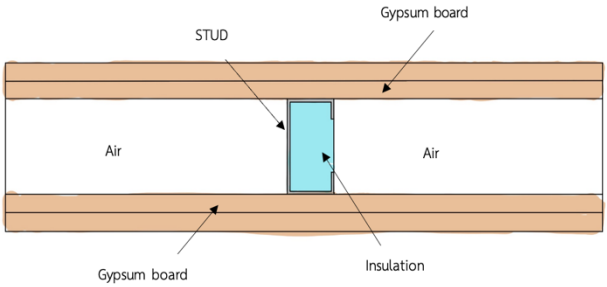
จากการศึกษางานวิจัยของ Mahen et al.'s [2] และ **Anthony et al.'s [6]** พบว่าเกิดการวิบัติประเภทกำลังรับแรงแบกทาน (Loadbearing capacity) ที่เหล็กยืน ซึ่งเกิดการบิดงอของปีกเหล็กด้านที่ติดไฟ (Hot flange) เหมือนกัน ดังนั้นจึงเลือกผลการศึกษาของ Mahen et al.'s [2] ในกรณีระบบผนังยิปซัมกรณีใช้แผ่นยิปซัมจำนวน 2 แผ่น ไม่ใส่ฉนวนภายในเป็นกรณีศึกษาเกณฑ์การวิบัติของระบบผนังยิปซัม โดยพิจารณาจากอุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของปีกเหล็กด้านที่ติดไฟ ซึ่งจะใช้อุณหภูมิที่จุดวิบัติที่ 642 องศาเซลเซียส เป็นเกณฑ์ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุณหภูมิ ณ จุดวิบัติของระบบกำแพง

3. การเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัม

ในการศึกษาครั้งนี้จะเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมด้วยการติดตั้งฉนวนบริเวณภายในเหล็กยืนรูปตัวซี โดยมีความคาดหวังว่าฉนวนจะช่วยต้านทานความทำให้อุณภูมิของเหล็กยืนมีอัตราการเพิ่มที่ลดลงภายใต้สภาวะเพลิงไหม้ ซึ่งจะใช้แบบจำลองที่ได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่า อุณหภูมิที่ตำแหน่งปีกเหล็กด้านติดไฟ ตำแหน่งกึ่งกลางเอวของเหล็กยืน และตำแหน่งปีกเหล็กด้านไม่ติดไฟ มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจริง ดังรูปที่ 4

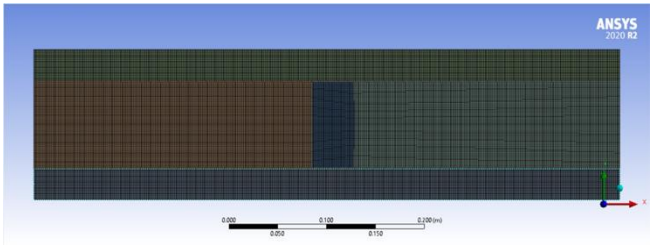


รูปที่ 4 รายละเอียดของระบบผนังยิปซัมที่มีการใส่ฉนวนบริเวณภายในเหล็กยืนรูปตัวซี

3.1 แบบจำลองระบบผนังยิปซัมที่ใส่ฉนวนเพอร์ไลต์

งานวิจัยในอดีต [2,6] มักจะติดตั้งฉนวนชนิด Glass fiber, Rock fiber, Cellulose fiber และ Rock wool พบว่าวัสดุ Rock wool สามารถเพิ่มสมรรถนะการทนไฟได้ดีที่สุดที่เวลา 110 นาที ซึ่งยังไม่ผ่านเกณฑ์ตามกฎหมายของประเทศไทย ดังนั้นผู้ศึกษาจึงทำการค้นคว้าหาวัสดุฉนวนชนิดอื่นมาติดตั้งในระบบผนังยิปซัมแทน โดยเลือกฉนวนชนิดเพอร์ไลต์มาติดตั้งภายในแบบจำลองผนังยิปซัมบริเวณช่องว่างของเหล็กรูปตัวซีดังรูปที่ 5 และ มีคุณสมบัติดังตารางที่ 1

รูปที่ 5 แบบจำลองระบบผนังยิปซัมที่ใส่ฉนวนด้วยโปรแกรม



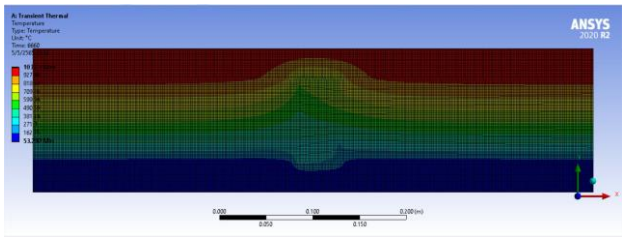
ANSYS 2020 R2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของฉนวนเพอร์ไลต์

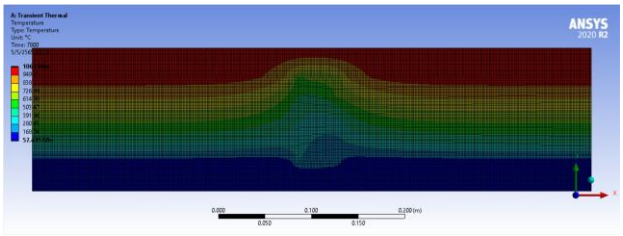
ชนิดฉนวน	Specific heat (J/kg-K)	Conductivity (W/m-K)	Density (kg/m3)
เพอร์ไลต์	1200	0.12	550

3.2 *การเปรียบเทียบแบบจำลองระบบผนังยิปซัมที่ไม่ใส่ฉนวนกับใส่ฉนวน*

จากรูปที่ 6 และ 7 จะแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณเหล็กยืนรูปตัวซีที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าระบบผนังยิปซัมที่ใส่ฉนวนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณเหล็กยืนที่ต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของระบบผนังที่ไม่มีการใส่ฉนวน สังเกตได้จากพื้นที่ส่วนใหญ่จะถูกปกคลุมด้วยสีที่เป็นโทนสีน้ำเงินและสีฟ้าเป็นจำนวนมาก อีกทั้งอุณหภูมิของอากาศบริเวณรอบเหล็กยืนสำหรับระบบผนังยิปซัมที่ใส่ฉนวนจะมีค่าที่สูงมากกว่าระบบผนังที่ไม่มีฉนวน

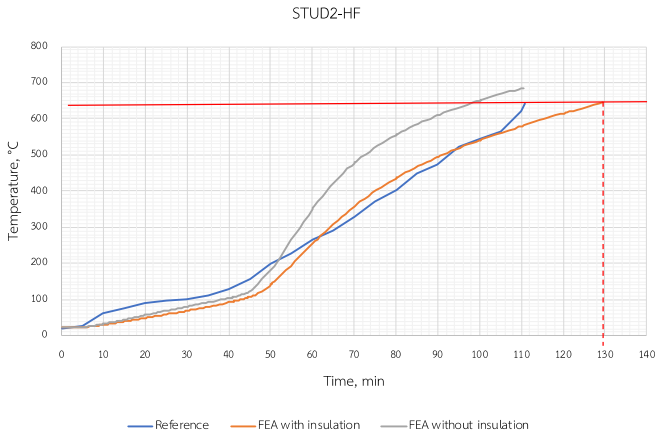


รูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิ ณ เวลา 111 นาที ของชนิดไม่มีฉนวน



รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิ ณ เวลา 130 นาที ของชนิดมีชนวน

ในรูปที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิของที่ตำแหน่งของปีกเหล็กยืนด้านที่โดนไฟ ทั้งกรณีการทดลองจริง แบบจำลองระบบกำแพงที่ไม่ใส่ฉนวน และแบบจำลองระบบกำแพงที่ใส่ฉนวน จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดค่าเกณฑ์การวิบัติของระบบผนังยิปซัมที่อุณหภูมิ 642 องศาเซลเซียส พบว่าระบบผนังยิปซัมแบบมีฉนวนสามารถเพิ่มอัตราการทนไฟของระบบผนังจาก 111 นาทีเป็น 130 นาที



รูปที่ 8 กราฟอุณหภูมิตามเวลาของแบบจำลองระบบผนังมีฉนวน ไม่มีฉนวน และจากการทดสอบจริง

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 การเปรียบเทียบแบบจำลองระบบผนังยิปซัมที่ไม่ใส่ฉนวนกับใส่ฉนวน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมแบบรองรับน้ำหนักบรรทุกด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งจะเป็นการศึกษาพฤติกรรมในสภาวะเพลิงไหม้มาตรฐาน ISO834 โดยจะเริ่มจากการทำแบบจำลองของระบบผนังยิปซัมแบบไม่มีการใส่ฉนวน ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทำแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่ามีใกล้เคียงกับที่วัดได้จากการทดลองจริง ดังนั้นจึงเลือกแบบจำลองของระบบผนังยิปซัมแบบไม่มีการใส่ฉนวนมาเป็นแบบที่ใช้สำหรับในการพัฒนาสมรรถนะการทนไฟ จากนั้นได้ทำการใส่ฉนวนชนิดเพอร์ไลต์ลงไปในช่องว่างของเหล็กยืนแล้ววิเคราะห์ด้วยไฟ-ไนต์เอลิเมนต์ซ้ำอีกครั้ง ผลปรากฏว่าระบบผนังยิปซัมแบบมีฉนวนสามารถเพิ่มอัตราการทนไฟของระบบผนังจาก 111 นาทีเป็น 130 นาที แสดงให้เห็นว่าการใส่ฉนวนเพอร์ไรต์ลงไปในระบบกำแพงสามารถเพิ่มสมรรถนะการทนไฟของระบบผนังยิปซัมได้ อย่างไรก็ตาม อัตราการทนไฟของระบบผนังยิปซัมได้ยังคงไม่ผ่านเกณฑ์ของกฎกระทรวงฉบับที่ 60 พ.ศ. 2549 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ที่ระบุเอาไว้ว่าโครงสร้างหลักต้องทนไฟได้อย่างน้อย 3 ชั่วโมงหรือ 180 นาที

4.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อมูลที่สืบค้นส่วนใหญ่ คุณสมบัติวัสดุจะเป็นมาตรฐานของประเทศออสเตรเลียซึ่งมีความแตกต่างกับมาตรฐานไทยอยู่พอสมควร วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้วัสดุมาตรฐานไทยอาจได้ค่าที่แตกต่างกัน จึงควรมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมหรืออาจทำการทดลองจริงโดยที่ใช้วัสดุที่หาได้ในประเทศไทยเพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งานในอนาคต

งานวิจัยในอดีตนั้นมีข้อมูลอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งบางผลลัพธ์ในงานวิจัยนั้นให้ผลขัดแย้งกัน แต่ด้วยความจำกัดของมาตรฐานวัสดุที่ใช้ของแต่ละประเทศจึงทำให้ผลการทดลองนั้นอาจไม่เหมือนกันดังนั้นจึงควรมีการนำรูปแบบระบบผนังยิปซัมภายใต้สภาวะเพลิงไหม้มาทดสอบจริงเพื่อจะได้นำผลลัพธ์มาพัฒนาต่อ

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Hiranvarodom, “Modeling of Strategy for Photovoltaic Development and Dissemination in Thailand”, *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 2003, pp. 123-133. **(In case of Articles from Conference Proceedings (published))**

[2] Shanmuganathan Gunalan, Prakas Kolarkar, Mahen Mahendran. (2013). Experimental study of load bearing cold-formed steel wall systems under fire conditions. Thin-Walled Structures, 72-92.

[3] J.E. Bowles. *Foundation and Analysis Design*. The McGraw-Hill Companies, Inc., 1996, pp. 123-132. **(In case of Book)**

[4] S. Thongmunee,T. Matsumoto, S. Kobayashi, P. Kitiyodom and K. Kurosawa. “DEM simulations of push-up load tests for sand plug in steel pipe pile”. *Soils and Foundations*, 51(5), pp. 959-974, May. 2011. **(In case of Journal)**

[5] S. Mack. “Desperate.” M.A. thesis, University of Calgary, Canada, 2000. **(In case of Dissertation and Theses)**

[6] Anthony Deloge Ariyanayagam, M. M. (2019). Influence of cavity insulation on the fire resistance of light gauge steel framed walls. Construction and Building Materials.

[7] Sayilacksha Gnanachelvam, Anthony Ariyanayagam, Mahen Mahendram. (2019). Fire resistance of light gauge steel framed wall systems lined with PCM-plasterboards. Fire Safety Journal. (Page ไม่บอก)

[8] Parisa Samiee, S. E. (2022). Thermal and structural behavior of cold-formed steel frame wall under fire condition. Engineering Structures.

[9] Sivakumar Kesawan, Mahen Mahendra. (2015). Fire tests of load-bearing LSF walls made of hollow flange channel sections. Journal of Constructional Steel Research.

[10] Anthony Ariyanayagam, Yunxiang Tao, Mahen Mahedran. (2021). Numerical study of LSF walls made of cold-formed steel hollow section studs in fire. . Thin-Walled Structures.

[11] Yomal Dias, Mahen Mahendran, Keerthan Poologanathan. (2019). Full-scale fire resistance tests of steel and plasterboard sheathed web-stiffened stud walls. Thin-Walled Structures, 81-93.

[12] Sivakumar Kesawan, Mahen Mahendran. (2016). Fire design rules for LSF Walls made of hollow flange channel sections. Thin-Walled Structures, 300-314.

[13] Edward Steau, Mahen Mahendran, Keerthan Poologanathan. (2020). Elevated temperature thermal properties of carbon steels used in cold-formed light gauge steel frame systems. Journal of Building Engineering.

[14] S. A. Klein and F. L. Alvarado. (2012, December 13). Properties of air at 1 atm pressure. Retrieved April 10, 2022, from https://www.me.psu.edu/cimbala/me433/Links/Table

[15] Edward Steau, Mahen Mahendran. (2021). Elevated temperature thermal properties of fire protective boards and insulation materials for light steel frame systems. Journal of Building Engineering.

[16] Ima, R. (2011). Thermal and mechanical properties of gypsum their influences on fire resistance of gypsum boards based system. Manchester City: The University of Manchester.

[17] Anthony Deloge Ariyanayagam, Mahen Mahendran. (2017). Fire tests of non-load bearing light gauge steel frame walls lined with calcium silicate boards and gypsum plasterboards. Thin-Walled Structures, 86-99.

[18] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2551). การทดสอบความทนไฟ-ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างอาคาร มอก.1334 เล่ม 8. กระทรวงอุตสาหกรรม.