การจำลองความสัมพันธ์ของควันไฟและการอพยพ
Simulation of Smoke and Evacuation Relation

วรากร กฤษณเกรียงไกร[1]*, อภิชาต แจ้งบำรุง[2] และ พลกฤต กฤชไมตรี[2]

[1]นิสิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900
*ติดต่อ: อีเมล์ varakorn_job@hotmail.com, โทร 0-2928-6070, 08-4670-7363

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของควันไฟ และการแพร่กระจายของควันไฟ จากการจำลองเพลิงไหม้จากห้องไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board) ของอาคารแห่งหนึ่ง ด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ Fire Dynamics Simulator (FDS) ที่พัฒนาโดย National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา การวิจัยได้ดำเนินการจำลองเพลิงไหม้ที่ห้องไฟฟ้าหลักโดยมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของแหล่งกำเนิดเพลิงไหม้ขนาด 2 เมกะวัตต์ เพื่อวิเคราะห์การไหลของควันไฟในอาคารในสองกรณีคือการจำลองสถานการณ์จากโครงสร้างอาคารเดิมเพื่อศึกษาแนวโน้มและระยะเวลาการไหลของควันไฟภายในอาคาร และการจำลองสถานการณ์จากโครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นโดยใช้วิธีการสร้างห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ (Vestibule) ผลการจำลองสถานการณ์โครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไขโดยใช้วิธีการสร้างห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ พบว่าการแพร่กระจายของควันไฟเข้าสู่บันไดหนีไฟช้าลง 30 วินาที และเขม่าจากควันไฟมีปริมาณที่ลดลงเหลือ 32.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับโครงสร้างอาคารเดิม ควันไฟเบาบางลงเนื่องจากถูกการพาควันไฟจากห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟออกสู่ภายนอกอาคาร ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลและแนวทางสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบการหนีไฟจากควันไฟ ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นได้

คำหลัก: พฤติกรรมของควันไฟ; การแพร่กระจายของควันไฟ; พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

The objective of this research is to investigate the smoke behavior and smoke spread due to the fire originated at the main distribution board room of a building. The simulations are performed by Computational Fluid Dynamics (CFD) program called Fire Dynamics Simulator (FDS) which is developed by the National Institute of Standards and Technology (NIST), USA. The research simulation is conducted under the assumption of the fire having the heat release rate of 2 MW in order to analyze the smoke movement within the building. The simulated building models are the actual building and the modified building models to investigate the trend and duration of the smoke movement. The building is modified by construct the vestibule prior to the fire stair. The simulation result of the

modified building model shows that the duration of smoke spreading into the fire stair of the modified building is delayed by 30 seconds and the soot dispersing is significantly decreased 32.9 percent comparing to the actual model of the building. The smoke is diluted because it is diffused due to the convection from the smoke in the vestibule to the outside of the building. This result could be suggested as a guideline for the improvement of fire escape system.

Keywords: Smoke Behavior; Smoke Spread; Computational Fluid Dynamics

1. บทนำ

การอพยพคนจากเหตุเพลิงไหม้ ถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่ควรคำนึงเป็นอย่างมาก ส่วนที่สำคัญของอาคารที่ใช้ในการอพยพ คือ ทางหนีไฟ ดังนั้นความสำคัญที่ทำให้การอพยพมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น คือความปลอดภัยของเส้นทางหนีไฟ

ปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมากสำหรับการหนีไฟในพื้นที่เสี่ยงภัยต่างๆ คือ ควันไฟ ส่วนมากจะเสียชีวิตจากควันไฟเป็นหลัก

ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญ จึงได้จัดทำการจำลองอาคารแห่งหนึ่ง ซึ่งเป็นอาคารสร้างใหม่ ที่ได้ออกแบบไว้ มีอุปกรณ์ป้องกันอัคคีภัย แต่ยังไม่เคยมีการทำแบบจำลองเพลิงไหม้และแผนการอพยพ โดยใช้แบบจำลองจากโปรแกรมแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ Fire Dynamics Simulator (FDS) ของสถาบัน NIST เพื่อศึกษาการกระจายตัวของควันไฟและความร้อน โดยพิจารณาจากพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง เพื่อให้เกิดการตรวจสอบและวิเคราะห์การกระจายตัวของควันไฟและความร้อน ที่ส่งผลกระทบต่อเส้นทางหนีไฟ ในกรณีที่มีเหตุการณ์เพลิงไหม้

ในกรณีที่ควันไฟสามารถเข้าสู่เส้นทางหนีไฟ จะส่งผลกระทบอย่างมากต่อผู้ที่ทำการอพยพ เนื่องจากควันไฟเป็นสารพิษ จึงส่งผลกระทบในระบบหายใจของบุคคล อีกทั้งยังลดวิสัยทัศน์การมองเห็นของบุคคลที่กำลังอพยพ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ควรตรวจสอบถึงความปลอดภัยของอาคาร รวมถึงสมรรถนะของเส้นทางหนีไฟด้วย

ซึ่งผลจากการจำลอง จะสามารถใช้เป็นสิ่งบ่งชี้ได้ถึงความปลอดภัยของอาคาร ควรให้ความสำคัญในการตรวจสอบการกระจายตัวของควันไฟ เพื่อดูถึงสมรรถนะของอาคารนั้นๆ และหาแนวทางในการปรับปรุงอาคารในกรณีที่มีความปลอดภัยต่ำ เพื่อพัฒนาสมรรถนะของระบบความปลอดภัยในอาคาร

2. ทฤษฎี

โปรแกรม Pyrosim คือ โปรแกรมที่แสดงเป็นภาพโดยเชื่อมต่อกับแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ เป็นโปรแกรมที่ใช้หลักการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics) โดยใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของควันไฟ โดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) ในการแก้ไขสมการการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นการไหลความเร็วต่ำ (Low Speed) โดยมีการอ้างอิงจากการแก้สมการ ประกอบด้วย Navier-Stokes Equations ในการแก้สมการการเคลื่อนที่ และสมการพลังงานของของไหล จะใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) เพื่อใช้ในการอธิบายเกี่ยวกับการเกิดความร้อนจากเพลิงไหม้ในห้องปิดล้อม โดย ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสสาร ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสอง จะมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดในลักษณะแบบปั่นป่วน ในหลักการคำนวณจะกำหนดให้มีค่า Prandtl Number (Pr) และ Schmidt Number (Sc) เป็นค่าคงที่ โดยการจำลองของโปรแกรม Pyrosim จะกำหนดให้ค่าคงที่ของ Smagorinsky มีค่าเท่ากับ 0.2 สำหรับการจำลอง นอกจากนี้ LES สามารถอธิบายความแปรปรวนของอัตราการไหล โดยความแปรปรวนนี้เป็นสาเหตุให้แก๊สเคลื่อนที่ไปได้ในระยะที่กว้าง และสามารถ

อธิบายเกี่ยวกับการเผาไหม้ในรูปแบบง่ายๆ คือ เชื้อเพลิงและออกซิเจนจะถูกเผาทันทีที่ผสมกัน

3. ขั้นตอนศึกษาวิจัย

วิธีการในการทำการวิจัยในครั้งนี้ สามารถจำแนกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่สนับสนุนงานวิจัย ลักษณะโครงสร้างอาคาร ศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์

- ศึกษาลักษณะโครงสร้างของอาคาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำลอง

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> สร้างแบบจำลองของอาคารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

- สร้างแบบจำลองโดยกำหนดขนาดกริดไซส์โดยมีข้อมูลอ้างอิง และแบบอาคารเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> วิเคราะห์ผลและสรุปผลแบบจำลองอาคาร

- วิเคราะห์ผลการจำลอง และนำข้อมูลมาพิจารณาความปลอดภัยของอาคาร

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> แนวทางการปรับปรุงแก้ไขอาคาร

- ศึกษาแนวทางแก้ไข และนำมาวิเคราะห์ผลการจำลอง และนำข้อมูลมาพิจารณาความปลอดภัยของอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข
-

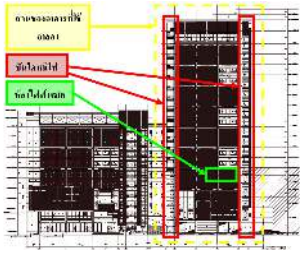
<u>ขั้นตอนที่ 5</u> สรุปผลการวิจัยและการปรับปรุง

- เปรียบเทียบผลการจำลองอาคาร และอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข และวิเคราะห์ถึงข้อแตกต่าง

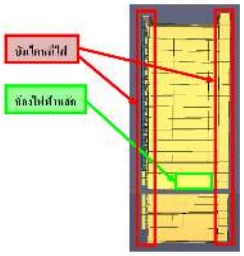
4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการจำลองอาคาร

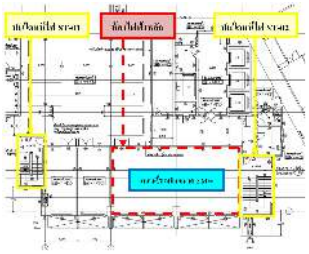
อาคารแห่งหนึ่ง เป็นอาคารสูง 19 ชั้น กว้าง 24.2 เมตร ยาว 32.1 เมตร และความสูงอาคารวัดจากระดับพื้นดินถึงยอดระดับหลังผนังชั้นหลังคา มีความสูง 85.15 เมตร จากแบบดังกล่าว ผู้วิจัยได้ดำเนินการเขียนแบบจำลองลงใน Pyrosim เพื่อนำมาใช้ในการจำลองโดยโดเมนหรือกรอบในการคำนวณ มีขนาดความกว้าง 43 เมตร ยาว 43 เมตร และสูง 70.2 เมตร ดังนั้นขนาดกริดที่ใช้ในการจำลองครั้งนี้ มีขนาด 0.43m x 0.43m x 0.33m สามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง [1] โดยมีจำนวนปริมาตรจำกัดทั้งสิ้น 7,031,170 ปริมาตร



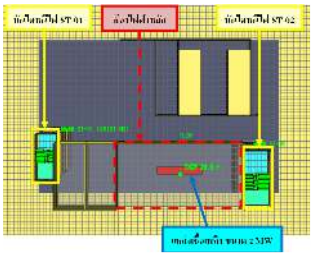
รูปที่ 1 ภาพด้านหน้าแสดงตำแหน่งของห้องไฟฟ้าหลักและบันไดหนีไฟ จาก Autocad



รูปที่ 2 ภาพด้านหน้าแสดงตำแหน่งของห้องไฟฟ้าหลักและบันไดหนีไฟ จาก Pyrosim



รูปที่ 3 แบบโครงสร้างอาคารเดิมจาก Autocad



รูปที่ 4 แบบโครงสร้างอาคารเดิมจาก Pyrosim

โดยภายในอาคาร จะมีบันไดหนีไฟที่ใช้เป็นเส้นทางหนีไฟ 2 เส้นทาง คือ
บันไดหนีไฟ ST-01 ซึ่งมีการระบายควันโดย มีช่องเปิดยาวเป็นช่องเปิดโล่ง ที่ติดกับภายนอกอาคาร
บันไดหนีไฟ ST-02 ซึ่งมีการระบายควันโดย มีช่องเปิดขนาด 1.4 ตารางเมตร ที่ติดกับภายนอกอาคาร

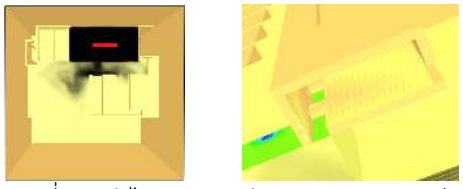
ในการวิเคราะห์จะใช้เกณฑ์การพิจารณาดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์จากเหตุการณ์ไฟไหม้ในพื้นที่ที่เป็นไปได้มากที่สุดหรือจากเหตุการณ์ไฟไหม้ที่มีข้อมูลมากที่สุด เพื่อใช้ในการเลือกห้องในการวิเคราะห์ โดยในการวิเคราะห์ครั้งนี้ เลือกใช้ห้องไฟฟ้าหลัก เป็นห้องที่เกิดเพลิงไหม้

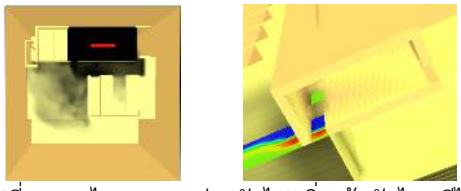
2. เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะเหตุการณ์และระบบภายในอาคาร จะพิจารณาในเงื่อนไขอาคารที่ก่อสร้างใหม่ (New Building) มีแหล่งต้นเพลิงเพียงแหล่งเดียว (Single Fire Source) อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของแหล่งกำเนิดเพลิงไหม้ขนาด 2 เมกะวัตต์ สามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง [2, 3] ระบบความปลอดภัยในอาคารเกิดความผิดพลาดทั้งหมด ผู้ใช้อาคารสามารถหนีได้เฉพาะทางบันไดหนีไฟเท่านั้น

บันไดหนีไฟ ST-01

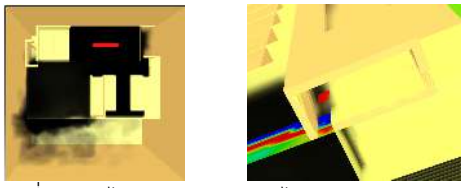
วิเคราะห์ผลอัตราการไหลและเขม่าควันไฟ ผ่านบันไดหนีไฟ



รูปที่ 5 ควันไฟกระจายตัว ณ เวลา 30 วินาที

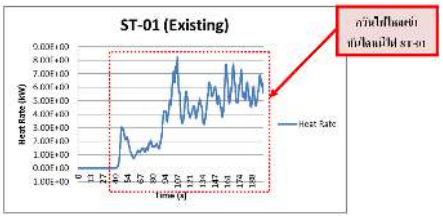


รูปที่ 6 การไหลและเขม่าควันไฟ เริ่มเข้าบันไดหนีไฟ



รูปที่ 7 การไหลและเขม่าควันไฟ ณ สภาวะคงตัว

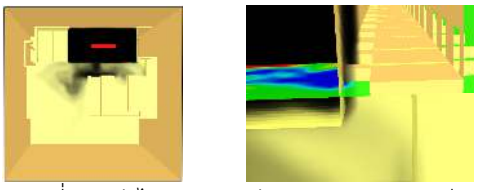
วิเคราะห์ผลอัตราความร้อนของควันไฟ ผ่านบันไดหนีไฟ



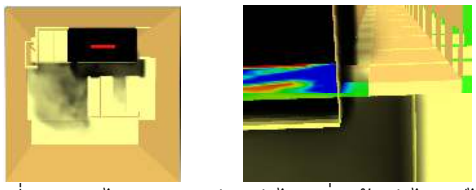
รูปที่ 8 อัตราความร้อนที่ผ่านประตูบันไดหนีไฟ ST-01

บันไดหนีไฟ ST-02

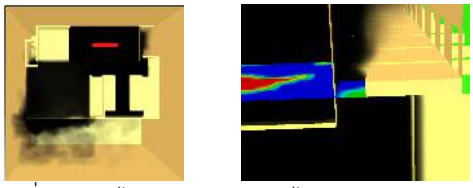
วิเคราะห์ผลอัตราการไหลและเขม่าควันไฟ ผ่านบันไดหนีไฟ



รูปที่ 9 ควันไฟกระจายตัว ณ เวลา 30 วินาที

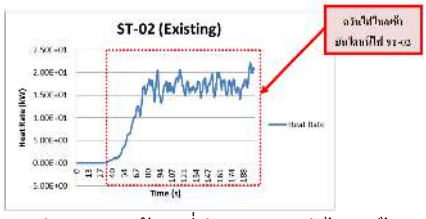


รูปที่ 10 การไหลและเขม่าควันไฟ เริ่มเข้าบันไดหนีไฟ



รูปที่ 11 การไหลและเขม่าควันไฟ ณ สภาวะคงตัว

วิเคราะห์ผลอัตราความร้อนของควันไฟ ผ่านบันไดหนีไฟ



รูปที่ 12 อัตราความร้อนที่ผ่านประตูบันไดหนีไฟ ST-02

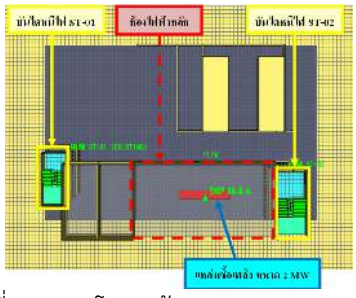
จากการวิเคราะห์ผลการจำลองของอาคารนี้ สรุปผลได้ว่าอาคารดังกล่าว ในกรณีที่มีเหตุเพลิงไหม้นั้น การแพร่กระจายของควันไฟถึงบันไดหนีไฟ ST-01 อยู่ที่เวลา 44.2 วินาที ซึ่งสามารถดูได้จากการไหลของควันไฟที่ผ่านประตูของบันไดหนีไฟ ST-01 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 m^3/s ในช่วงสภาวะคงตัว และการแพร่กระจายของควันไฟถึงบันไดหนีไฟ ST-02 อยู่ที่เวลา 39.8 วินาที ซึ่งสามารถดูได้จากการไหลของควันไฟที่ผ่านประตูของบันไดหนีไฟ ST-02 ค่าอัตราการไหลของควันไฟที่ผ่านประตูของบันไดหนีไฟ ST-02 มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากควันไม่สามารถระบายออกจากช่องเปิดขนาด 1.4 ตารางเมตร ได้เพียงพอ ดังนั้นทั้ง ST-01 และ ST-02 ควันไฟจะมีการไหลเข้าสู่บันไดหนีไฟและลามไปยังชั้นอื่นๆขึ้นไป

ในส่วนเขม่าของควันไฟ บันไดหนีไฟ ST-01 ที่สภาวะคงตัวจะมีค่าฟลักซ์ของอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 4.25×10^{-6} $kg/s/m^2$ และบันไดหนีไฟ ST-02 ที่สภาวะคงตัวจะมีค่าฟลักซ์ของอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 1.50×10^{-4} $kg/s/m^2$ ดังนั้นทั้ง ST-01 และ ST-02 ควันไฟจะมีการไหลเข้าสู่บันไดหนีไฟและลามไปยังชั้นอื่นๆขึ้นไป ซึ่งเขม่าของควันไฟเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อบุคลากรที่อพยพ เนื่องจากเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตเพราะทำให้การหายใจนั้นลำบากยิ่งขึ้น

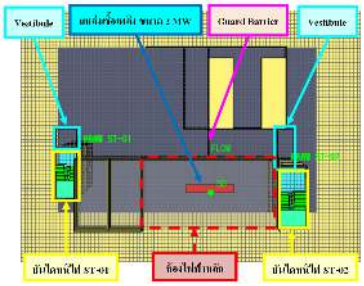
ในส่วนเรื่องค่าอัตราความร้อนที่ผ่านช่องประตูของบันไดหนีไฟ ST-01 และ ST-02 มีผลต่อเรื่องการพาความร้อนสู่บุคลากรที่กำลังอพยพ เนื่องจากมีความร้อนสะสมสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้มีการแผ่ความร้อนเข้าสู่ช่องบันไดหนีไฟ ทำให้สภาพของการอพยพมีความลำบากมากยิ่งขึ้น

4.2 แนวทางปรับปรุงแก้ไขอาคาร

โดยการศึกษาทางผู้วิจัยเห็นว่า การใช้หลักการสร้างห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ (Vestibule) เพื่อให้มีการป้องกันควันไฟเข้าสู่บันไดหนีไฟโดยตรง อีกทั้งยังช่วยในการระบายควันไฟสู่ภายนอกอาคารโดยวิธีธรรมชาติ และเพิ่มแนวประตูรักษาความปลอดภัย (Guard Barrier) ของชั้น 5 เพื่อช่วยในการกักควัน อีกทั้งเพื่อช่วยในการถ่วงเวลาของควันไฟในการไหลเข้าสู่บันไดหนีไฟ ลดอัตราความร้อนของควันไฟ และลดเขม่าของควันไฟ เพื่อช่วยให้บุคลากรสามารถอพยพได้ดียิ่งขึ้นด้วย



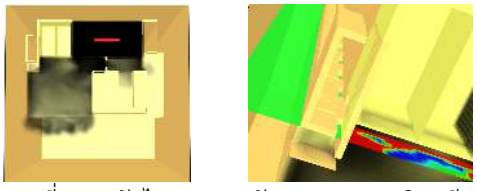
รูปที่ 13 แบบโครงสร้างอาคารจาก Pyrosim



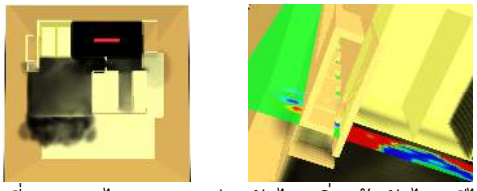
รูปที่ 14 แบบโครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข จาก Pyrosim

บันไดหนีไฟ ST-01

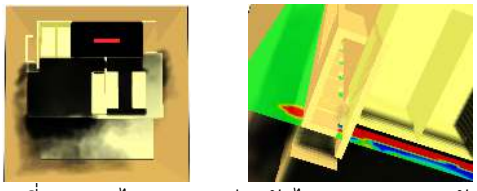
วิเคราะห์ผลอัตราการไหลและเขม่าควันไฟ ผ่านบันไดหนีไฟ



รูปที่ 15 ควันไฟกระจายตัว ณ เวลา 60 วินาที

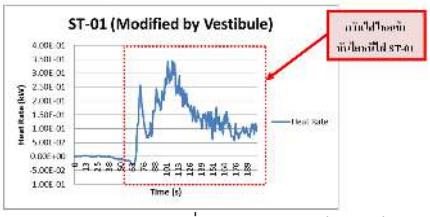


รูปที่ 16 การไหลและเขม่าควันไฟ เริ่มเข้าบันไดหนีไฟ



รูปที่ 17 การไหลและเขม่าควันไฟ ณ สภาวะคงตัว

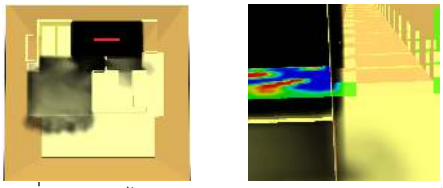
วิเคราะห์ผลอัตราความร้อนของควันไฟ ผ่านบันไดหนีไฟ



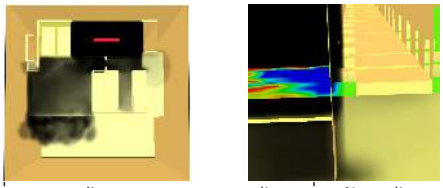
รูปที่ 18 อัตราความร้อนที่ผ่านประตูบันไดหนีไฟ ST-01

บันไดหนีไฟ ST-02

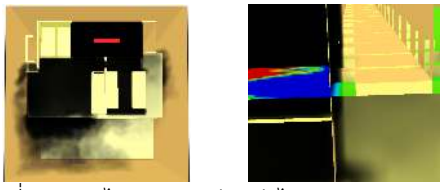
วิเคราะห์ผลอัตราการไหลและเขม่าควันไฟ ผ่านบันไดหนีไฟ



รูปที่ 19 ควันไฟกระจายตัว ณ เวลา 60 วินาที

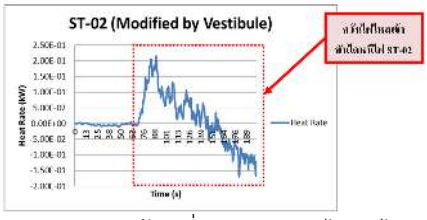


รูปที่ 20 การไหลและเขม่าควันไฟ เริ่มเข้าบันไดหนีไฟ



รูปที่ 21 การไหลและเขม่าควันไฟ ณ สภาวะคงตัว

วิเคราะห์ผลอัตราความร้อนของควันไฟ ผ่านบันไดหนีไฟ



รูปที่ 22 อัตราความร้อนที่ผ่านประตูบันไดหนีไฟ ST-02

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองของอาคารที่ปรับปรุงแก้ไข สรุปผลได้ว่า ในกรณีที่มีเหตุเพลิงไหม้นั้น การแพร่กระจายของควันไฟถึงบันไดหนีไฟ ST-01 อยู่ที่เวลา 69.8 วินาที ซึ่งสามารถดูได้จากการไหลของควันไฟที่ผ่านประตูของบันไดหนีไฟ ST-01 ค่าอัตราการไหลของควันไฟที่ผ่านประตูของบันไดหนีไฟ ST-01 มีค่าที่ลดลงและเมื่อเวลาผ่านไปจะค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยในการพาของควันไฟไหลออกจากบันไดหนีไฟโดยผ่านช่องเปิดเท่ากับ 0.20 m^3/s ในช่วงสภาวะคงตัว และการแพร่กระจายของควันไฟถึงบันไดหนีไฟ ST-02 อยู่ที่เวลา 70.2 วินาที ซึ่งสามารถดูได้จากการไหลของควันไฟที่ผ่าน

ประตูของบันไดหนีไฟ ST-02 ค่าอัตราการไหลของควันไฟที่ผ่านประตูของบันไดหนีไฟ ST-02 มีค่าที่ลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปจะค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยในการพาของควันไฟไหลออกจากบันไดหนีไฟโดยผ่านช่องเปิดเท่ากับ 0.35 m^3/s ในช่วงสภาวะคงตัว

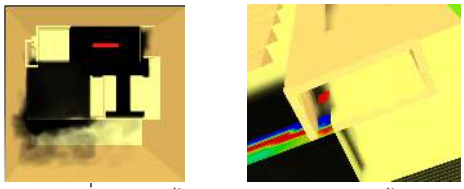
ในส่วนเขม่าของควันไฟ บันไดหนีไฟ ST-01 ที่สภาวะคงตัว เขม่าของควันไฟจะมีค่าฟลักซ์ของอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 1.40×10^{-6} $kg/s/m^2$ และบันไดหนีไฟ ST-02 ที่สภาวะคงตัว เขม่าของควันไฟจะมีค่าฟลักซ์ของอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 2.0×10^{-5} $kg/s/m^2$ ดังนั้นทั้ง ST-01 และ ST-02 ควันไฟจะมีการไหลเข้าสู่บันไดหนีไฟและลามไปยังชั้นอื่นๆขึ้นไป แต่เนื่องจากควันไฟจะไหลออกผ่านช่องเปิดของห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ ทำให้อัตราการไหลของควันไฟมีอัตราลดลง เนื่องจากการพาของควันไฟที่ผ่านช่องเปิด ช่วยพาให้ควันระบายออกสู่ภายนอก และลดการแพร่กระจายไปสู่ชั้นอื่นๆที่อยู่เหนือชั้นที่ 5

ในส่วนเรื่องค่าอัตราความร้อนที่ผ่านช่องประตูของบันไดหนีไฟ ST-01 และ ST-02 มีค่าอัตราความร้อนของควันไฟเมื่อเริ่มกระจายตัวเข้าสู่บันไดหนีไฟที่ผ่านช่องประตูสูงขึ้นในช่วงแรก และเมื่อเวลาผ่านไป อัตราความร้อนที่ผ่านช่องประตูจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากถูกควันไฟที่ระบายสู่ภายนอกผ่านช่องเปิดภายในห้องโถงหน้าบันไดหนีไฟพาควันไฟที่มีความร้อนออกไปสู่ภายนอกอาคาร ส่งผลให้มีการแผ่ความร้อนเข้าสู่ช่องบันไดหนีไฟลดลง ทำให้สภาพของการอพยพดียิ่งขึ้น

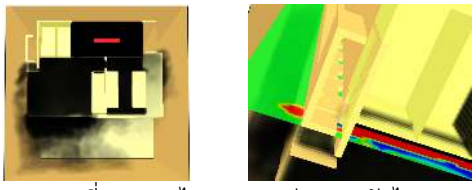
จากการวิเคราะห์ผลการจำลองในกรณีโครงสร้างอาคารและโครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข การแพร่กระจายของควันไฟ อัตราการไหลของควันไฟ อัตราความร้อนของควันไฟ และเขม่าของควันไฟ จะมีอัตราที่ดีขึ้น โดยสามารถเปรียบเทียบจากกราฟด้านล่าง

บันไดหนีไฟ ST-01

เปรียบเทียบผลการจำลองอัตราการไหลของควันไฟผ่านบันไดหนีไฟ



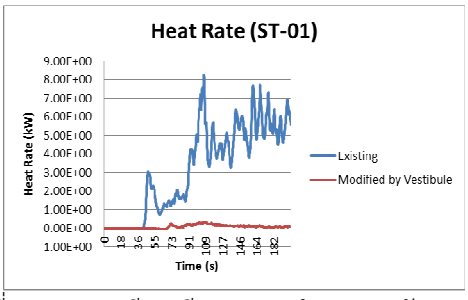
รูปที่ 23 การไหลและเขม่าของควันไฟ ณ สภาวะคงตัว (โครงสร้างอาคาร)



รูปที่ 24 การไหลและเขม่าของควันไฟ ณ สภาวะคงตัว (โครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข)

จากผลการจำลอง เมื่อปรับปรุงแก้ไขอาคารโดยมีการสร้างห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ สามารถช่วยหน่วงเวลาการแพร่กระจายของควันไฟจาก 40.4 วินาที เป็น 69.8 วินาที ควันไฟจะมีอัตราการไหลลดลง โดยจากโครงสร้างอาคารที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 m^3/s ในช่วงสภาวะคงตัว เมื่อมีการปรับปรุงแก้ไข อัตราการไหลมีค่าที่ลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปจะค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยในการพาของควันไฟไหลออกจากบันไดหนีไฟโดยผ่านช่องเปิดเท่ากับ 0.20 m^3/s ในช่วงสภาวะคงตัว อัตราการไหลจะลดลงเนื่องจากการพาของควันไฟที่ช่องเปิดในส่วนของห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ เขม่าของควันไฟลดลงจาก 4.25×10^{-6} $kg/s/m^2$ เหลือเพียง 1.40×10^{-6} $kg/s/m^2$ เนื่องจากการพาของควันไฟที่ช่องเปิดในส่วนของห้องโถงบริเวณทางเข้าบันไดหนีไฟ

เปรียบเทียบผลการจำลองอัตราความร้อนของควันไฟผ่านบันไดหนีไฟ

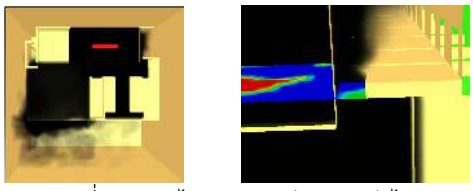


รูปที่ 25 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองของอัตราความร้อนที่ผ่านประตูของบันไดหนีไฟ ST-01

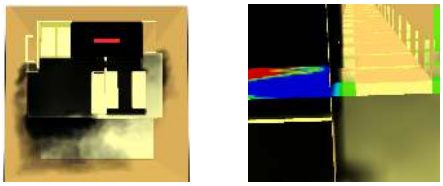
จากกราฟ เมื่อปรับปรุงแก้ไขอาคารโดยมีการสร้างห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ อัตราความร้อน จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าอัตราความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.344 kW เนื่องจากการพาของควันไฟที่ช่องเปิดในส่วนของห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ ทำให้ความร้อนสะสมมีน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด

บันไดหนีไฟ ST-02

เปรียบเทียบผลการจำลองอัตราการไหลของควันไฟผ่านบันไดหนีไฟ



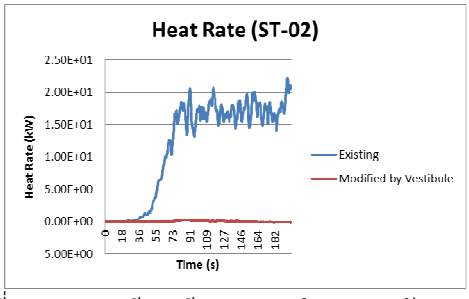
รูปที่ 26 การไหลและเขม่าของควันไฟ ณ สภาวะคงตัว (โครงสร้างอาคาร)



รูปที่ 27 การไหลและเขม่าของควันไฟ ณ สภาวะคงตัว (โครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข)

จากผลการจำลอง เมื่อปรับปรุงแก้ไขอาคารโดยมีการสร้างห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ สามารถช่วยหน่วงเวลาการแพร่กระจายของควันไฟจาก 39.8 วินาที เป็น 70.2 วินาที ควันไฟจะมีอัตราการไหลลดลง โดยจากโครงสร้างอาคารจะมีค่าอัตราการไหลสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการปรับปรุงแก้ไข อัตราการไหลมีค่าที่ลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปจะค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยในการพาของควันไฟไหลออกจากบันไดหนีไฟโดยผ่านช่องเปิดเท่ากับ 0.35 m^3/s ในช่วงสภาวะคงตัว เนื่องจากการพาของควันไฟที่ช่องเปิดในส่วนของห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ เขม่าของควันไฟลดลงจาก 1.50×10^{-4} $kg/s/m^2$ เหลือเพียง 2.0×10^{-5} $kg/s/m^2$ เนื่องจากการพาของควันไฟที่ช่องเปิดในส่วนของห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ

เปรียบเทียบผลการจำลองอัตราความร้อนของควันไฟผ่านบันไดหนีไฟ



รูปที่ 28 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองของอัตราความร้อนที่ผ่านประตูของบันไดหนีไฟ ST-02

จากกราฟ เมื่อปรับปรุงแก้ไขอาคารโดยมีการสร้างห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ อัตราความร้อน จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าอัตราความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.216 kW เนื่องจากการพาของควันไฟที่ช่องเปิดในส่วนของห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ ทำให้ความร้อนสะสมมีน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด

5. สรุป

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์โครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไขโดยใช้วิธีการสร้างห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ พบว่าสามารถช่วยลดความอันตรายของการอพยพในบันไดหนีไฟได้ดังนี้

การแพร่กระจายของควันไฟเข้าสู่บันไดหนีไฟ ST-01 สามารถชะลอการแพร่กระจายเข้าสู่บันไดหนีไฟจากเวลา 44.2 วินาที เป็น 69.8 วินาที ซึ่งช้าลงเป็นเวลา 25.6 วินาที และการแพร่กระจายของควันไฟเข้าสู่บันไดหนีไฟ ST-02 สามารถชะลอการแพร่กระจายเข้าสู่บันไดหนีไฟจากเวลา 39.8 วินาที เป็น 70.2 วินาที ซึ่งช้าลงเป็นเวลา 30.4 วินาที เมื่อเปรียบในแง่ของช่วงเวลาที่การแพร่กระจายของควันไฟเข้าสู่บันไดหนีไฟเร็วที่สุด กรณีโครงสร้างอาคาร การแพร่กระจายของควันไฟสู่บันไดหนีไฟอยู่ที่ 39.8 วินาที ซึ่งกรณีโครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข การแพร่กระจายของควันไฟสู่บันไดหนีไฟอยู่ที่ 69.8 วินาที ซึ่งหมายความว่า เวลาในการแพร่กระจายเข้าสู่บันไดหนีไฟ ช้าลง 30 วินาที ซึ่งตามกฎหมายกำหนดว่าจะต้องอพยพหนีไฟไปยังจุดปลอดภัย (ในที่นี้คือจากพื้นที่ใช้สอยสู่บันไดหนีไฟ) ภายใน 5 นาที และการอพยพของบุคคลในอาคารสู่ภายนอกอาคาร ต้องสามารถอพยพภายใน 1 ชั่วโมง (ในที่นี้คือจากพื้นที่ใช้สอยสู่ภายนอกอาคาร) ดังนั้นจึงถือว่าเวลาในการแพร่กระจายของควันไฟสู่บันไดหนีไฟ เร็วกว่าตามที่กฎหมายได้กำหนดไว้

ในส่วนของเรื่องอัตราความร้อน สถานการณ์โครงสร้างอาคารหลังปรับปรุงแก้ไข จะสามารถช่วยลดอัตราความร้อนของควันไฟได้เป็นอย่างมาก ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เนื่องจากช่องเปิดของห้องโถงบริเวณทางเข้าของบันไดหนีไฟ ได้มีการพาควันไฟและความร้อนระบายสู่ภายนอกอาคาร

และส่วนของเขม่าควันไฟ การแพร่กระจายของเขม่าควันไฟเข้าสู่บันไดหนีไฟ ST-01 สามารถลดเขม่าของควันไฟจาก 4.25×10^{-6} kg/s/m^2 เหลือเพียง 1.40×10^{-6} kg/s/m^2 ในสภาวะคงตัว ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 32.9 ของเขม่าควันไฟในสถานการณ์โครงสร้างเดิม และการแพร่กระจายของเขม่าควันไฟเข้าสู่บันไดหนีไฟ ST-02 สามารถลดเขม่าของควันไฟจาก 1.50×10^{-4} kg/s/m^2 เหลือเพียง 2.0×10^{-5} kg/s/m^2 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 13.3 ของเขม่าควันไฟในสถานการณ์โครงสร้างเดิม เนื่องจากช่องเปิดของห้องโถงบริเวณหน้าบันไดหนีไฟมีการพาควันไฟระบายสู่ภายนอกอาคาร

จากผลการจำลองทั้งสองสถานการณ์สามารถสรุปได้ว่า ในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ อาคารนี้จะมีความเสี่ยงสูงมาก ควันไฟสามารถแพร่กระจายเข้าสู่บันไดหนีไฟ ซึ่งส่งผลต่อบุคลกรที่อพยพเป็นอย่างมาก โดยมีส่วนทำให้ระบบการหายใจและวิสัยทัศน์ในการมองเห็นลดลง โดยการสร้างห้องโถงบริเวณหน้าโถงบันไดหนีไฟ สามารถช่วยในการระบายควันไฟ โดยวัตถุประสงค์หลักคือ ลดอัตราความร้อน และเขม่าของควันไฟ สู่บันไดหนีไฟ ซึ่งสามารถช่วยพัฒนาให้ระบบความปลอดภัยของอาคารดียิ่งขึ้นได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเห็นว่า การวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อช่วยในการออกแบบระบบการหนีไฟให้มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากยิ่งขึ้นได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐศักดิ์ บุญมี (2554). การจำลองเชิงตัวเลขระบบระบายควันไฟด้วยวิธีธรรมชาติภายในโถงอาคาร, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25

[2] ASHRAE Research (2011). Chapter 53 Fire and Smoke Management, ASHRAE Handbook.

[3] ณัฐศักดิ์ บุญมี (2559). เอกสารการสอน พฤติกรรมของเพลิงไหม้ภายในอาคาร, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] John H. Klote, James A. Milke (2009). Chapter 13: Fundamental Concepts for Atria, Principles of Smoke Management.

[5] คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร (2550). ทฤษฎีการควบคุมควันไฟ, มาตรฐานการควบคุมควันไฟ

[6] George T. Tamura, P.E. (2004). Smoke Movement, Smoke Movement and Control in High-rise Buildings.

[7] National Fire Protection Association (2006). Standard for Smoke-Control System Utilizing Barriers and Pressure
Difference, NFPA 92A.

[8] L. Jeffrey Mattern (2002). Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems, NFPA 90A.

[9] National Fire Protection Association (2009). Life Safety Code, NFPA 101.