การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิโดยใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์อัคคีภัย

The study of fire evacuation in Suvarnabhumi Institute of Technology by fire dynamics programs

พสชนัน ศรีโพธิ์ทอง* และ วสุรัตน์ บุญเพ็ง

สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ

Potchanun Sripothong* and Wasurat Bunpheng

Suvarnabhumi Institute of Technology

**Corresponding Author: potchanun.srg@svit.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองการอพยพหนีไฟและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟของอาคารสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นอาคารสูง 8 ชั้น มีความสูง 33.17 เมตร มีพื้นที่รวม 20,367 ตารางเมตร และมีเส้นทางหนีไฟทั้งหมด 3 เส้นทาง การทดลองในครั้งนี้ใช้โปรแกรม PyroSim และ Pathfinder ในการสร้างแบบจำลองอาคารและจำลองการอพยพหนีไฟ การจำลองแบ่งออกเป็น 7 กรณี จากผลการจำลองการอพยพหนีไฟที่เปรียบเทียบในกรณีที่คล้ายวันที่ทำการอพยพจริง คือกรณีที่เส้นทางหนีไฟสามารถใช้งานได้แค่ เส้นทางที่ 1 และ 2 จำนวนผู้อพยพ 181 คน สรุปได้ว่า ผลจากการจำลองการอพยพหนีไฟนั้นใช้เวลาเพียง 2 นาที 34 วินาที แต่ผลที่ได้จากการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟพบว่าใช้เวลาถึง 4 นาที 56 วินาที

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการอพยพหนีไฟกับการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟประจำปี พบว่าผลการจำลองการอพยพหนีไฟใช้เวลาในการอพยพที่น้อยกว่าการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ จริง ซึ่งผลทั้งสองเป็นไปตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 ที่กำหนดว่า การอพยพหนีไฟลูกจ้างที่ทำงานในเวลาเดียวกันทั้งหมดสู่จุดปลอดภัยได้โดยปลอดภัย ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที นอกจากนี้จากการจำลองการอพยพหนีไฟพบว่า การอพยพหนีไฟที่ใช้ทางหนีไฟทางครบทั้ง 3 เส้นทาง เป็นวิธีการอพยพหนีไฟที่เหมาะสมที่สุด สามารถอพยพหนีไฟภายในเวลา 5 นาที

คำสำคัญ: อัคคีภัย , เส้นทางหนีไฟ , การอพยพหนีไฟ

Received : 23 April 2021

Revised : 23 May 2021

Accepted : 4 June 2021

Online publication date : 30 June 2021

Abstract

This research was simulation of fire evacuation and fire evacuation training of the Technology building Suvarnabhumi Institute. The building has 8 floors with a height of 33.17 meters, with a total area of 20,367 square meters, and 3 fire exits. This experiment used PyroSim and Pathfinder programs to create building models and fire evacuation simulations. The total number of people in the experiment was 181. The simulation was performed for 7 cases, In the case of fire evacuation, use routes 1 and 2, the number of 181 people were evacuated. The result of the fire evacuation time was 2:34 minutes, compared to fire evacuation trainings in 2019, with 181 participants using the time of 4:56 minutes.

Therefore, when comparing the results between the experiment and the actual annual fire evacuation training are complies with Ministerial regulations standards for the management and operation of safety, occupational health and working environment on the prevention and fire suppression B.E. 2555 (2012) requires all employees who are working at the same time to the safety Point Safely no later than 5 minutes. In addition, the simulation of the fire evacuation was found that Fire evacuation using all three fire exits is the most suitable method of evacuation. Able to evacuate the fire within 5 minutes.

Keywords: Fire, Means of egress, fire evacuation

บทนำ

อัคคีภัย ถือเป็นอุบัติเหตุอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดความสูญเสีย ทั้งชีวิตและทรัพย์สิน หากไม่สามารถควบคุมเพลิงไหม้ได้ ก็จะเกิดการลุกลามเป็นวงกว้าง ซึ่งอัคคีภัยสามารถเผาผลาญทรัพย์สินให้วอดวายในชั่วระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง เหตุอัคคีภัยครั้งใหญ่โรงงานตุ๊กตาเคเดอร์ เกิดเหตุเมื่อ พ.ศ. 2536 มีผู้เสียชีวิตถึง 188 คน และมีผู้บาดเจ็บ 469 คน นับเป็นเหตุอัคคีภัยครั้งใหญ่ที่ผู้คนยังจดจำ นอกจากนี้ยังมีเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้อีกมากมาย เช่น เพลิงไหม้ซานติก้าผับ เมื่อ พ.ศ. 2551 มีผู้เสียชีวิต 66 คน เพลิงไหม้อาคารหอพักโรงเรียนพิทักษ์เกียรติวิทยา เมื่อ พ.ศ. 2559 มีผู้เสียชีวิต 17 คน เป็นต้น โดยจากการเก็บสถิติของศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย กรมป้องกันสาธารณภัยพบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 ถึง พ.ศ. 2560 มีอัคคีภัยเกิดขึ้นกว่า 58,000 ครั้ง มีผู้เสียชีวิตกว่า 2,000 คน และมีผู้ได้รับบาดเจ็บ 5,200 คน มูลค่าความเสียหายรวมกว่า 40,000 ล้านบาท โดยเป็นเหตุการณ์ที่เกิดในวัด โรงเรียนและสถานที่ราชการกว่า 3,000 ครั้ง

สถานศึกษาถือเป็นสถานที่ที่มีผู้ใช้อาคารเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาที่ยังขาดความรู้และความเข้าใจในหลักของความปลอดภัย และขาดประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหาหากเกิดเหตุเพลิงไหม้ นอกจากนี้อาคารเรียนส่วนใหญ่จะเป็นอาคารที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้เพียงพอต่อการจัดการเรียนการสอน ซึ่งจัดเป็นอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความใน

พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ที่จะต้องมีการดำเนินการตามมาตรฐานด้านการปองกันและระงับอัคคีภัย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ที่ใช้อาคาร นอกจากนี้โครงสร้างหรือลักษณะของอาคารก็เป็นปัจจัยหนึ่งในการอพยพหนีไฟ หากสถานศึกษาสร้างไม่ได้มาตรฐาน เชน ขนาดความกวางบันได ขนาดประตูกวางไมเพียงพอแลว ก็อาจทำใหการอพยพนั้นเกิดอุปสรรคและทำให้ผู้ที่อยู่ในอาคารเสียชีวิตได้ โดยปัจจุบันมีประกาศกฎกระทรวงแรงงาน เรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 เพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ให้นายจ้างจัดให้มีเส้นทางหนีไฟทุกชั้นของอาคารอย่างน้อยชั้นละสองเส้นทางซึ่งสามารถอพยพลูกจ้างที่ทำงานในเวลาเดียวกันทั้งหมดสู่จุดที่ปลอดภัยในเวลาไม่เกิน 5 นาที และให้มีการฝึกซ้อมดับเพลิงและฝึกซ้อมอพยพหนีไฟอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง

การอพยพคนออกจากอาคารได้อย่างถูกต้องปลอดภัย ใช้เวลาไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญในการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาพฤติกรรมการอพยพหนีไฟ การเคลื่อนที่ของคนจากการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ อนุรักษ์ (2553) ศึกษาการจำลองการอพยพจากอาคารสำนักงานศูนย์วิจัยและพัฒนารถยนต์ โดยใช้โปรแกรม Pathfinder สร้างภาพเสมือนจริงด้านการอพยพ สุรพงษ์ (2556) ทำการจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกลด้วยโปรแกรม Pyrosim และ Pathfinder พบว่าโปรแกรม Pathfinder มีรูปแบบการอพยพที่เป็นระเบียบแต่โปรแกรม Pyrosim มีรูปแบบการอพยพที่ไม่เป็นระเบียบ แสดงว่าในการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม Pathfinder เหมาะสมที่สุด นรินทร์ (2559) ได้ทำการจำลองการอพยพหนีไฟในอาคารสูงที่มีพื้นที่ครอบครองหลายประเภท ด้วยโปรแกรม Pathfinder พบว่า การอพยพหนีไฟแบบ Steering เป็นการเคลื่อนที่แบบรักษาระยะห่างระหว่างบุคคลไว้ เส้นการเดินเป็นแนววิถีโค้ง แตกต่างกับแบบ SFPE ที่เป็นเคลื่อนที่แนวเส้นตรง มีการทับซ้อนระหว่างบุคคล

อาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ จัดเป็นอาคารสูงอาคารหนึ่ง มีทั้งหมด 8 ชั้น ซึ่งมีผู้ใช้อาคารเป็นจำนวนมาก อาคารเรียนสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิประกอบไปด้วย ห้องเรียน ห้องสมุด ห้องคอมพิวเตอร์ และห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ หากเกิดเหตุอัคคีภัยที่ระบบป้องกันอัคคีภัยนั้นควบคุมไม่ได้ ก็จะก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นการป้องกันอัคคีภัยในอาคารจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ไม่อาจมองข้าม

ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการจำลองการอพยพหนีไฟในอาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ ว่าหากเกิดเหตุเพลิงไหม้จะมีการอพยพอย่างไร และเส้นทางหนีไฟสามารถใช้ได้จริงหรือไม่ โดยใชโปรแกรมทางพลศาสตรอัคคีภัย มาจำลองการอพยพหนีไฟและนำผลที่ได้จากการจำลองการอพยพหนีไฟมาเปรียบเทียบกับการอพยพหนีไฟจริงว่ามีผลลัพธ์ต่างกันมากน้อยเพียงใด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อจำลองสถานการณ์การอพยพหนีไฟในอาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ โดยใช้โปรแกรมจำลองทางพลศาสตร์อัคคีภัย

2. เพื่อจำลองสถานการณ์การอพยพหนีไฟของคนที่อยู่ภายในอาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ ตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555

3. เพื่อเปรียบเทียบสถานการณ์จำลองการอพยพหนีไฟจากโปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัยกับการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟจริง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาโครงสร้างอาคารและข้อมูลประชากรสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ โดยศึกษาจากแบบแปลนของอาคารและการสำรวจอาคาร โดยจะศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับขนาดพื้นที่ ขนาดประตูของเส้นทางหนีไฟ จำนวนคนในแต่ละพื้นที่ ลักษณะกิจกรรมในพื้นที่ และระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยของอาคาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองอาคารและจำลองสถานการณ์อพยพหนีไฟ

2. สร้างแบบจำลองอาคารสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ โดยใช้โปรแกรม Pyrosim (Free trial) ในการสร้างแบบจำลองเสมือนของอาคาร โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโครงสร้างอาคารและข้อมูลประชากรสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ โปรแกรม Pyrosim เป็นโปรแกรมที่มีพื้นฐานจาก Fire Dynamics Simulator สามารถทำนายควัน อุณหภูมิ ก๊าซพิษและสารอื่นๆที่เกิดขึ้นระหว่างเกิดเพลิงไหม้ โดยแบบจำลองเหล่านี้ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจรับรองความปลอดภัยก่อนก่อสร้างอาคาร, เพื่อประเมินความปลอดภัยของอาคารที่สร้างแล้ว , จำลองเพลิงไหม้เพื่อสอบสวนหลังการเกิดอุบัติเหตุ, เพื่อช่วยในการฝึกอบรมของนักผจญเพลิงและสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการอพยพหนีไฟได้

3. จำลองสถานการณ์อพยพหนีไฟจากโปรแกรมทางพลศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Pathfinder (Free trial) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกนำมาใช้ในการจำลองการอพยพหนีไฟค่อนข้างมากและน่าเชื่อถือ ลักษณะเด่นของโปรแกรมคืออพยพที่เป็นระเบียบ โดยวัดผลของระยะเวลาอพยพทั้งหมด (total evacuation) ที่จะสิ้นสุดลงเมื่อผู้ใช้อาคารอพยพออกเป็นคนสุดท้าย นอกจากนี้ได้แสดงผลทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของการอพยพคนในสถานการณ์จริง ในการจำลองการอพยพหนีไฟของคนที่อยู่ภายในอาคารเพื่อคำนวณระยะเวลาในการอพยพหนีไฟ โดยการป้อนชุดคำสั่งตั้งแต่โครงข่ายที่ใช้ในการอพยพ กำหนดสิ่งกีดขวาง กำหนดประเภทของบุคคล ความเร็ว ตำแหน่งที่เริ่มอพยพ ระยะเวลาในการตรวจจับระยะเวลาเริ่มที่จะอพยพ

4. การฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ

สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิจัดทำแผนการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ โดยมีขั้นตอนในการอพยพดังนี้

4.1 พบเหตุเพลิงไหม้ที่บริเวณห้องเก็บพัสดุชั้นที่ 5 หน้าบันไดหลัก

4.2. ผู้พบเหตุไม่สามารถดับเพลิงได้ จึงแจ้งเหตุให้ผู้อำนวยการดับเพลิงทราบ

4.3 ผู้อำนวยการแจ้งทีมดับเพลิงเข้าระงับเหตุและแจ้งฝ่ายประชาสัมพันธ์ แล้วกดสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้

4.4 ทีมอพยพในแต่ละชั้นนำทางอพยพออกจากอาคารตามเส้นทางที่กำหนด

4.5 ทีมอพยพนำทางนักศึกษาและบุคลากรมาถึงจุดรวมพล และทำการตรวจสอบจำนวนคน แล้วรายงานแก่ผู้อำนวยการดับเพลิง

4.6 ผู้อำนวยการได้รับรายงานว่ามีผู้สูญหาย อยู่ที่ชั้น 5 จึงแจ้งทีมค้นหาไปตรวจสอบ

4.7 ทีมค้นหาพบผู้สูญหายได้รับบาดเจ็บแล้วทำการเคลื่อนย้ายออกจากอาคารด้วยเปลมาที่จุดรวมพล

4.8 ทีมปฐมพยาบาล ปฐมพยาบาลผู้บาดเจ็บเบื้องต้นแล้วส่งโรงพยาบาล

4.9 ผู้อำนวยการสรุปรายละเอียดการอพยพหนีไฟและประกาศการยุติการอพยพหนีไฟครั้งนี้

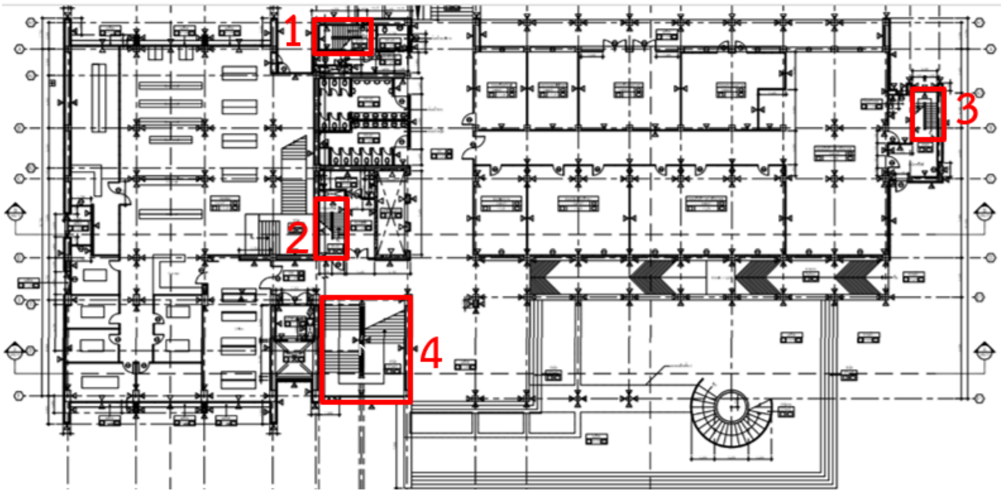
5. เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder และการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟจริง ว่าใช้ระยะเวลาในการอพยพหนีไฟแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร และผลทั้งสองกรณีเป็นไปตามที่ประกาศกฎกระทรวงแรงงานเรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและ ดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 หรือไม่

ผลการวิจัย

1. **ศึกษาโครงสร้างอาคารและข้อมูลประชากรสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ**

1.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

อาคารสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิมีความสูงประมาณ 33.17 เมตร มีพื้นที่รวมประมาณ 20,367 ตารางเมตร มีจำนวน 8 ชั้น มีบันไดหนีไฟ 3 บันได ซึ่งจัดเป็นอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ปัจจุบันจำนวนผู้ใช้อาคารใน พ.ศ. 2563 มีจำนวน 840 คน ตามข้อมูลในแผนกทะเบียนและประมวลผล และทางผู้วิจัยได้ศึกษาความกว้าง ความยาว ความสูงของส่วนประกอบของเส้นทางหนีไฟในแต่ละชั้น ตามตารางที่ 1 โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิตั้งอยู่ที่ 55/56 หมู่ 7 ซอยสามมิตร ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540 ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงเส้นทางหนีไฟ

จากภาพที่ 1 แสดงเส้นทางหนีไฟ โดย หมายเลข 1 แสดงตำแหน่งเส้นทางหนีไฟที่ 1 หมายเลข 2 แสดงตำแหน่งเส้นทางหนีไฟที่ หมายเลข 3 แสดงตำแหน่งเส้นทางหนีไฟที่ 3 และหมายเลขที่ 4 แสดงตำแหน่งบันไดหลัก

ตารางที่ 1 ขนาดขององค์ประกอบเส้นทางหนีไฟของอาคารสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิแต่ละชั้น

องค์ประกอบของอาคาร	ขนาด (เมตร)							
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3	ชั้น 4	ชั้น 5	ชั้น 6	ชั้น 7	ชั้น 8
ความกว้าง	30.75	30.75	30.75	30.75	30.75	30.75	30.75	30.75
ความยาว	76.55	76.55	76.55	76.55	76.55	76.55	76.55	35.80
ความสูง	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94
ความกว้างของบันไดหลัก	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55
ความกว้างของบันไดหนีไฟที่ 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ความกว้างของบันไดหนีไฟที่ 2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ความกว้างของบันไดหนีไฟที่ 3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-
ความกว้างของประตูหนีไฟ	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
ความกว้างของประตู	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-
ความกว้างของประตูแบบคู่	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ทางเดินร่วม(หน้าห้องเรียน)	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	-	-
ทางเดินร่วม(หน้าลิฟท์)	3.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ทางเดินร่วม (หน้าบันไดหลัก)	6.00	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50

จำนวนผู้ใช้อาคารจากการคำนวณ

คำนวณผู้ใช้อาคารโดยใช้มาตรฐาน National Fire Protection Association 101 Life Safety Code โดยคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารจากขนาดพื้นที่ (Area) และค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor) ตามสูตรที่แสดงด้านล่าง สำหรับจำนวนผู้ใช้อาคารที่คำนวณได้แสดงตามตารางที่ 2

$$\text{จำนวนผู้ใช้อาคาร} = \frac{\text{ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)}}{\text{ค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (ตารางเมตรต่อคน)}}$$

ตารางที่ 2 จำนวนผู้ใช้อาคารจากการคำนวณตามมาตรฐาน NFPA 101

ชั้นที่	ลักษณะ	ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)	ขนาดพื้นที่ต่อคน (ตารางเมตรต่อคน)	ความจุ (คน)
1	ห้องสมุด	553.50	04.60	120
	สำนักงาน	405.00	14.00	28
2	ห้องสมุด	553.50	04.60	120
	สำนักงาน	504.00	14.00	36
3	ห้องเรียน	657.00	01.90	345
4	ห้องเรียน	657.00	01.90	345
5	ห้องเรียน	504.00	01.90	265
	สำนักงาน	220.50	14.00	15
6	ห้องเรียน	504.00	01.90	265
	สำนักงาน	220.50	14.00	15
7	สำนักงาน	220.50	14.00	15
8	ห้องเรียน	153.00	01.90	80
รวม				1,649

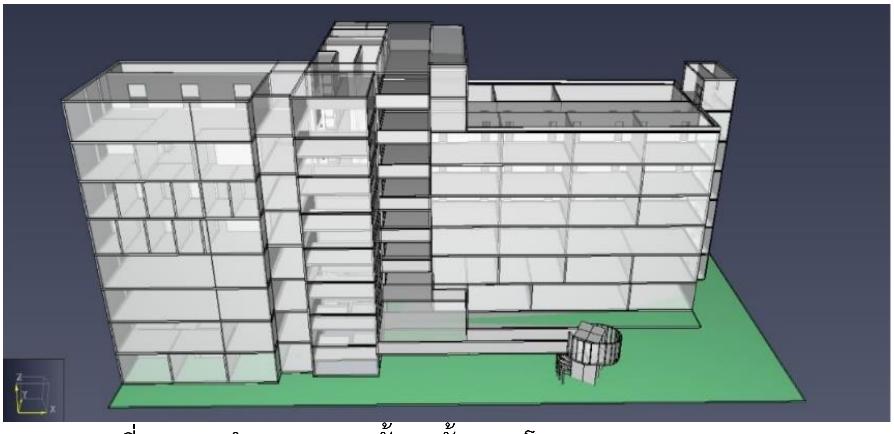
จากตารางที่ 2 คำนวณผู้ใช้อาคารโดยโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA 101 ได้ผลลัพธ์คือ 1,649 คน ซึ่งมีความหมายว่าอาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ สามารถจุคนได้ทั้งหมด 1,649 คน

ผลการศึกษาระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยของอาคาร มีรายละเอียด ดังนี้

- อุปกรณ์รับแจ้งเหตุอัตโนมัติ : Smoke Detector / Heat detector
- อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ : Manual Pull Down , Manual Push Down
- อุปกรณ์ส่งสัญญาณ : Alarm Bell
- ถังดับเพลิง : ถังดับเพลิงแบบ Dry Chemical / ถังดับเพลิงแบบ Carbon dioxide
- ระบบดับเพลิง : ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติทั่วพื้นที่อาคารและระบบ FM 200 บริเวณห้องควบคุมระบบ sever
- ระบบจ่ายน้ำดับเพลิง : ใช้ระบบจ่ายน้ำดับเพลิงจากส่วนกลาง Diesel Engine Fire Pump
- อุปกรณ์ดับเพลิงอื่นๆ : ตู้สายฉีดน้ำดับเพลิง (FHC) ภายในอาคาร ระยะไม่เกิน 64 เมตร
- ระบบปรับอากาศ : ระบบปรับอากาศภายในอาคารเป็นแบบแยกส่วน
- ระบบลิฟต์ : ลิฟต์โดยสาร จำนวน 3 ตัว ไม่มีลิฟต์ดับเพลิง

2. วาดแบบจำลองอาคารสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ

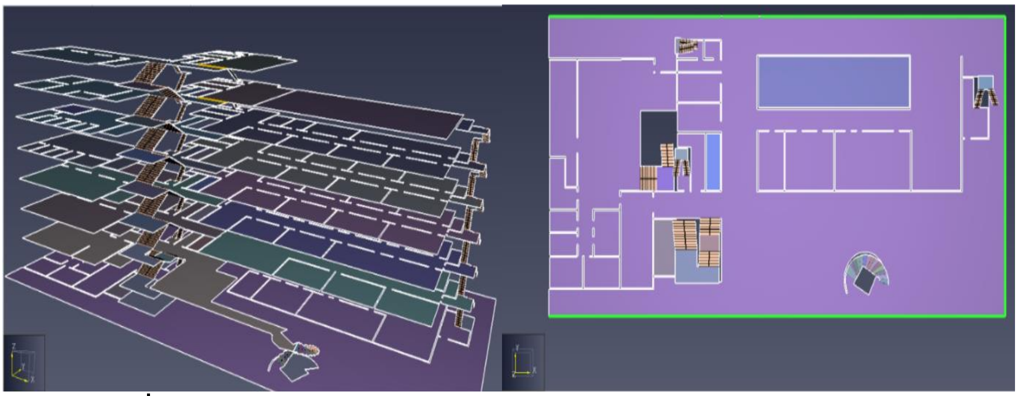
2.1 วาดแบบจำลองอาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ ตามแบบแปลนอาคารโดยใช้โปรแกรม Pyrosim ในการวาดแบบจำลอง โดยกำหนดขนาดกริดเพื่อสร้างแบบจำลองตามขนาดพื้นที่จริง, สร้างห้องและส่วนประกอบต่างๆของอาคารให้เทียบเท่ากับอาคารจริง



ภาพที่ 2 แบบจำลองอาคารทั้ง 8 ชั้น จากโปรแกรม Pyrosim

2.2 **สร้างเส้นทางหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder**

นำเข้าโมเดลอาคารจำลองจากโปรแกรม PyroSim และสร้างเส้นทางหนีไฟ โดยกำหนดขนาดความสูง ความกว้าง ของเส้นทางหนีไฟตามตารางที่ 1 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เส้นทางหนีไฟและทางออกของอาคารจากโปรแกรม Pathfinder

3. **จำลองสถานการณ์อพยพหนีไฟจากโปรแกรม Pathfinder**

การจำลองการอพยพหนีไฟจะกำหนดจำนวนประชากรในแต่ละชั้นดังตารางที่ 3 และสุ่มเพศของประชากรที่อยู่ภายในอาคาร โดยตั้งค่าให้โปรแกรม Pathfinder แยกการจำลองพฤติกรรมของบุคคลออกจากกันอย่างเป็นอิสระ ในค่าเริ่มต้นของโปรแกรมผู้อพยพแต่ละคนจะเคลื่อนที่ไปยังทางออกที่คาดว่าใช้เวลาน้อยที่สุด โดยเวลาที่ใช้จะคำนวณจากตัวแปร เช่น จำนวนผู้อพยพในบริเวณรอบๆ ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางเป็นต้น

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนประชากรในแต่ละชั้น

ชั้น	**จำนวนประชากร (คน)**
1	100
2	200
3	200
4	100
5	100
6	50
7	50
8	40
รวม	840

การจำลองสถานการณ์อพยพหนีไฟจากโปรแกรมทางพลศาสตร์ภาพแสดงการจำลองการอพยพหนีไฟ ดังภาพที่ 4 ทางผู้วิจัยได้กำหนดสถานการณ์ในการอพยพหนีไฟออกเป็น 7 กรณี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กรณีที่ 1 ผู้อพยพสามารถใช้งานได้ทุกเส้นทาง แต่ระบบป้องกันอัคคีภัยไม่สามารถทำงานได้ รวมทั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมด ใช้จำนวนประชากรตามตารางที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพ 3 นาที 33 วินาที

2. กรณีที่ 2 ผู้อพยพไม่สามารถใช้บันไดหลักได้ และระบบป้องกันอัคคีภัยไม่สามารถทำงานได้ รวมทั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมด ใช้จำนวนประชากรตามตารางที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพ 4 นาที 42 วินาที

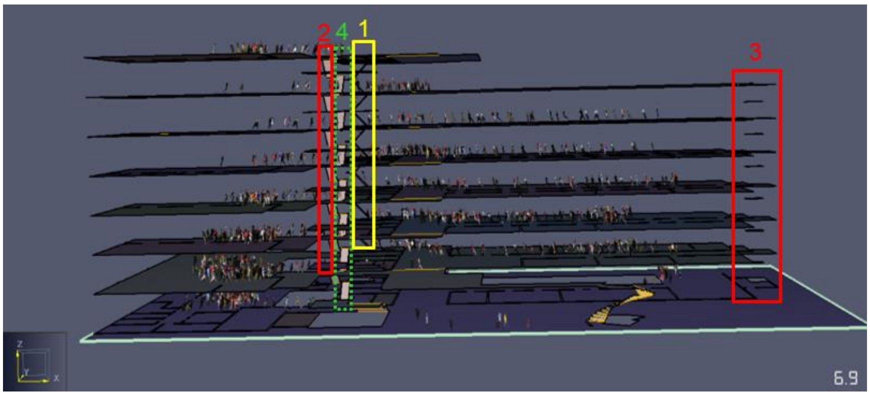
3. กรณีที่ 3 ผู้อพยพไม่สามารถใช้บันไดหลักและบันไดหนีไฟที่ 1 ได้ และระบบป้องกันอัคคีภัยไม่สามารถทำงานได้ รวมทั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมด ใช้จำนวนประชากรตามตารางที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพ 6 นาที 42 วินาที

4. กรณีที่ 4 ผู้อพยพใช้ได้เพียงบันไดหนีไฟที่ 3 เท่านั้นระบบป้องกันอัคคีภัยไม่สามารถทำงานได้ รวมทั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมด ใช้จำนวนประชากรตามตารางที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพ 12 นาที 30 วินาที

5. กรณีที่ 5 ผู้อพยพใช้ได้เพียงบันไดหลัก เท่านั้นและระบบป้องกันอัคคีภัยไม่สามารถทำงานได้ รวมทั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมด ใช้จำนวนประชากรตามตารางที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพ 3 นาที 34 วินาที

6. กรณีที่ 6 ผู้อพยพใช้ได้เพียงบันไดหนีไฟที่ 1 และ 2 เท่านั้น และระบบป้องกันอัคคีภัยไม่สามารถทำงานได้ รวมทั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมด และกำหนดประชากรในแต่ละชั้นดังตารางที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพ 8 นาที 21 วินาที

7. กรณีที่ 7 ผู้อพยพใช้ได้เพียงบันไดหนีไฟที่ 1 และ 2 เท่านั้น และระบบป้องกันอัคคีภัยไม่สามารถทำงานได้ รวมทั้งระบบไฟฟ้าทั้งหมด ใช้ประชากร 181 คน และกำหนดประชากรในแต่ละชั้นดังตารางที่ 3 ใช้เวลาในการอพยพ 2 นาที 34 วินาที



ภาพที่ 4 แสดงการจำลองการอพยพหนีไฟ

จากภาพที่ 4 แสดงเส้นทางหนีไฟ โดย หมายเลข 1 แสดงตำแหน่งเส้นทางหนีไฟที่ 1 หมายเลข 2 แสดงตำแหน่งเส้นทางหนีไฟที่ หมายเลข 3 แสดงตำแหน่งเส้นทางหนีไฟที่ 3 และหมายเลข 4 แสดงตำแหน่งบันไดหลัก

4. **การฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ**

สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิได้จัดกิจกรรมการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟในวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 โดยมีผู้เข้าร่วมการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟทั้งหมด 181 คน แบ่งเป็นชาย 83 คน หญิง 98 คน มีจำนวนประชากรในแต่ละชั้น ดังตารางที่ 4 โดยในการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟในครั้งนี้จะใช้เส้นทางหนีไฟทางที่ 1 และ 2 เท่านั้น เนื่องจากเส้นทางหนีไฟทางที่ 3 บริเวณจุดปล่อยออกเป็นพื้นที่ต่างระดับซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้ที่อพยพหนีไฟออกมา จึงพิจารณาไม่ใช้เส้นทางหนีไฟเส้นทางที่ 3 ในการฝึกซ้อมอพยพ โดยผลการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟพบว่าใช้เวลาในการอพยพหนีไฟทั้งสิ้น 4 นาที 56 วินาที

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนประชากรในแต่ละชั้นตามวันซ้อมอพยพจริง

ชั้น	**จำนวนประชากร (คน)**
1	18
2	9
3	47
4	90
5	8
6	9
7	0
8	0
รวม	181

5. เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองการอพยพหนีไฟและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟจริง

ผลเปรียบเทียบระหว่างการจำลองการอพยพหนีไฟและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟจริงจากการจำลองการอพยพหนีไฟ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์จากการจำลองอพยพหนีไฟและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ

กรณี	**เวลาที่ใช้อพยพจากการจำลอง (นาที)**	**เวลาที่ใช้อพยพจากการฝึกซ้อมอพยพ (นาที)**
1	03:33	-
2	04:42	-
3	06:42	-
4	12:30	-
5	03:34	-
6	08:21	-
7	02:34	04:56

จากตารางที่ 5 แสดงผลจากการจำลองอพยพหนีไฟและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ โดยในกรณีที่ 7 เป็นการจำลองการอพยพหนีไฟที่มีการกำหนดตัวแปรได้แก่ จำนวนผู้อพยพ จำนวนเส้นทางหนีไฟ ให้เหมือนกับการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ ที่มีจำนวนคนเข้าร่วม 181 คน และใช้เส้นทางหนีไฟเส้นทางที่ 1 และ 2 เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการอพยพหนีไฟจากการจำลองและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ

ผลการวิจัย

จากผลการจำลองการอพยพหนีไฟอาคารเรียนสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ เมื่อกำหนด 2 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนผู้อพยพ จำนวนเส้นทางหนีไฟ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปผลการจำลองการอพยพหนีไฟกรณีที่ 1 – 7

กรณี	**ตัวแปร**		**ผลการจำลอง**			
	เส้นทางหนีไฟที่สามารถใช้งานได้	**จำนวนผู้อพยพ**	**จำนวนคนที่ออกได้ภายใน 5 นาที**	**จำนวนคนที่ออกไม่ได้ภายใน 5 นาที**	**เวลา (นาที)**	**ความสามารถในการอพยพภายใน 5 นาที**
1	1,2,3,4	840	840	0	03:33	ใช่
2	1,2,3	840	840	0	04:42	ใช่
3	2,3	840	648	192	06:42	ไม่ใช่

4	3	840	391	449	12:30	ไม่ใช่
5	4	840	840	0	03:34	ใช่
6	1,2	840	612	228	08:21	ไม่ใช่
7	1,2	181	181	0	02:34	ใช่

จากตารางที่ 6 พบว่า การจำลองการอพยพหนีไฟภายในอาคารสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ พบว่าผู้อพยพจะไม่สามารถออกจากอาคารได้ทันเวลา 5 นาที ในกรณีที่ 3, 4 และ 6 แต่สามารถออกได้ทันเวลา 5 นาที ในกรณีที่ 1, 2, 5 และ 7

สรุปผลการดำเนินงาน

การจำลองการอพยพหนีไฟอาคารสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ พบว่าผู้อพยพจะไม่สามารถออกจากอาคารได้ทันเวลา 5 นาที ในกรณีที่ 3, 4 และ 6 โดยผลจากการจำลองการอพยพหนีไฟ ใช้เวลา 6 นาที 42 วินาที , 12 นาที 30 วินาที และ 8 นาที 21 วินาที ตามลำดับ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอพยพหนีไฟมากกว่าที่กฎหมายกำหนดไว้ ในส่วนกรณีที่ 1, 2, 5 และ 7 จากการจำลองการอพยพหนีไฟพบว่าสามารถอพยพหนีไฟได้ทัน 5 นาที ตามที่กฎหมายกำหนด ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลการจำลองจากโปรแกรมและอพยพจริง

แบบเส้นทางหนีไฟ	**ผลการจำลอง**				
	จำนวนคนใช้อาคาร	**ความสามารถในการอพยพภายใน 5 นาที**	**จำนวนคนที่ออกทันภายใน 5 นาที**	**จำนวนคนที่ออกไม่ทันภายใน 5 นาที**	**เวลา**
การจำลองจากโปรแกรม					
กรณีที่ 1	840	ผ่าน	840	0	03:33 นาที
กรณีที่ 2	840	ผ่าน	840	0	04:42 นาที
กรณีที่ 3	840	ไม่ผ่าน	192	648	06:42 นาที
กรณีที่ 4	840	ไม่ผ่าน	449	391	12:30 นาที
กรณีที่ 5	840	ผ่าน	840	0	03:34 นาที
กรณีที่ 6	840	ไม่ผ่าน	612	228	08:21 นาที
กรณีที่ 7	181	ผ่าน	181	0	02:34 นาที
การซ้อมอพยพหนีไฟ จริงวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2563					
	181	ผ่าน	181	0	04:56 นาที

จากผลการจำลองการอพยพหนีไฟและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟจริง ที่เปรียบเทียบในกรณีที่คล้ายวันที่ทำการอพยพจริง คือ กรณีที่ 7 เส้นทางหนีไฟสามารถใช้งานได้แค่ เส้นทางที่ 1 และ 2 จำนวนผู้อพยพ 181 คน สรุปได้ว่า ผลจากการจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder นั้นใช้เวลาเพียง 2 นาที 34 วินาที แต่ผลที่ได้จากการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟพบว่าใช้เวลาถึง 4 นาที 56 วินาที

อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการจำลองการอพยพหนีไฟ โดยกำหนดตัวแปร 2 ตัวแปร 7 กรณี 2 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนผู้ใช้อาคาร และจำนวนเส้นทางที่ใช้อพยพ และ 7 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 สามารถใช้เส้นทางหนีไฟได้ทุกเส้นทาง กรณีที่ 2 ไม่สามารถใช้บันไดหลักได้ กรณีที่ 3 ไม่สามารถใช้บันไดหลัก และทางหนีไฟที่ 1 ได้ กรณีที่ 4 สามารถใช้ได้เพียงเส้นทางหนีไฟที่ 3 กรณีที่ 5 ใช้ได้เพียงบันไดหลัก กรณีที่ 6 สามารถใช้ได้เพียงเส้นทางหนีไฟที่ 1 และเส้นทางหนีไฟที่ 2 และกรณีที่ 7 สามารถใช้ได้เพียงเส้นทางหนีไฟที่ 1 และเส้นทางหนีไฟที่ 2 เท่านั้น ซึ่งในกรณีที่ 7 มีจำนวนผู้อพยพ 181 คน

จากผลการจำลองการอพยพหนีไฟเมื่อพิจารณาตามจำนวนผู้ใช้อาคาร 840 คน พบว่า ในกรณีที่ 1 ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟน้อยที่สุด โดยใช้เวลาเพียง 3 นาที 33 วินาที รองลงมาคือกรณีที่ 5 ใช้เวลาเพียง 3 นาที 33 วินาที และกรณีที่ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟน้อยที่สุดเป็นอันดับสามคือกรณีที่ 2 ใช้เวลาเพียง 4 นาที 42 วินาที ทั้ง 3 กรณีนี้ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด เมื่อพิจารณาตามผลดังกล่าว พบว่า ในกรณีที่ 1 เป็นกรณีที่มีเส้นทางหนีไฟให้ผู้ที่อยู่ภายในอาคารใช้ในการอพยพหนีไฟมากที่สุด แต่เนื่องจากบันไดหลัก เป็นบันไดที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้ในการอพยพหนีไฟ เพราะบันไดหลักไม่มีการปิดล้อมด้วยผนังทนไฟ หากเกิดเหตุเพลิงไหม้ ผู้ใช้บันไดหลักในการอพยพหนีไฟนั้น อาจได้รับอันตรายจากเพลิงไหม้ ความร้อน หรือก๊าซพิษต่างๆที่เกิดจากการเพลิงไหม้ ดังนั้น กรณีที่ 1 และกรณีที่ 5 จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ และเมื่อพิจารณากรณีที่ 3 ,4 และ 6 ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้เส้นทางหนีไฟไม่ครบทั้ง 3 เส้นทาง พบว่า ผลจากการจำลองการอพยพหนีไฟ ใช้เวลา 6 นาที 42 วินาที , 12 นาที 30 วินาที และ 8 นาที 21 วินาที ตามลำดับ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอพยพหนีไฟมากกว่าที่กฎหมายกำหนดไว้ ในส่วนกรณีที่ 2 ที่สามารถใช้ทางหนีไฟทางที่ 1, 2 และ 3 ได้นั้น จึงถือว่าเป็นวิธีการอพยพหนีไฟที่เหมาะสมที่สุดจากการจำลองการอพยพหนีไฟ การใช้เส้นทางหนีไฟครบทั้ง 3 เส้นทางจะส่งผลดีต่อการอพยพหนีไฟเพราะสามารถที่จะลดจำนวนคนในการอพยพหนีไฟในแต่ละเส้นทางให้น้อยลง และสามารถอพยพหนีไฟได้อย่างรวดเร็วและมีความปลอดภัยมากขึ้น

จากการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟของคนที่อยู่ภายในอาคาร มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 181 คน แบ่งเป็นชาย 83 คน หญิง 98 คน การอพยพใช้เวลาทั้งสิ้น 4 นาที 56 วินาที ซึ่งเป็นไปตามที่กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 กำหนดไว้

เมื่อนำผลการจำลองการอพยพหนีไฟและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟมาเปรียบเทียบกัน ในการจำลองกรณีที่ 7 ที่มีการกำหนดตัวแปรให้มีความคล้ายคลึงกับวันฝึกซ้อมอพยพหนีไฟจริงมากที่สุด โดยการกำหนด

เส้นทางหนีไฟสามารถใช้งานได้แค่ เส้นทางที่ 1 และ 2 จำนวนผู้อพยพ 181 คน สรุปได้ว่า ผลจากการจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder นั้นใช้เวลาเพียง 2 นาที 34 วินาที แต่ผลที่ได้จากการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟพบว่าใช้เวลาถึง 4 นาที 56 วินาที จะพบว่าระยะเวลามีความแตกต่างกัน เนื่องจากผลการจำลองการอพยพหนีไฟเป็นการจำลองโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้ผลที่ได้อาจคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง อันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆที่อาจส่งผลต่อการอพยพหนีไฟจริง เช่น สภาพพื้นที่ สิ่งกีดขวางในระหว่างเส้นทางอพยพหนีไฟ การให้ความร่วมมือในการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ ปัจจัยทางด้านบุคคล รวมไปถึงการตระหนักถึงความปลอดภัย และความรู้ความเข้าใจต่อการอพยพหนีไฟ หากเกิดเหตุเพลิงไหม้และมีการอพยพหนีไฟจริง อาจใช้เวลาในการอพยพหนีไฟที่มากกว่าเวลาที่ได้จากการจำลองหรือเวลาที่ได้จากการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ อย่างไรก็ดีผลจากการจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟได้ เพราะผลที่ได้จากการจำลองสามารถคาดคะเนถึงแนวโน้มระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟในสถานการณ์ที่แตกต่างกันไปเบื้องต้นได้

ในส่วนข้อเสนอแนะ ทางผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ควรมีการปรับปรุงบริเวณจุดปล่อยออกของเส้นทางหนีไฟทางที่ 3 ที่เป็นทางต่างระดับให้มีความสามารถรองรับคนที่อพยพหนีไฟออกมาจากเส้นทางนี้ได้อย่างปลอดภัย เช่น การปรับปรุงพื้นที่ให้มีระดับความสูงที่เท่ากัน หรือจัดทำทางลาดเพื่อให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น
2. ควรทำการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟในวันและเวลาที่มีจำนวนผู้ใช้อาคารมากที่สุด และควรพิจารณาใช้เส้นทางหนีไฟครบทั้ง 3 เส้นทางในการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ
3. ควรจำกัดจำนวนผู้ใช้อาคารไม่ให้มีความหนาแน่นมากเกินไปเพื่อความปลอดภัยในการใช้เส้นทางหนีไฟ
4. การจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder ควรกำหนดขนาดกริดที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด โดยอาจกำหนดขนาดกริดให้อยู่ในช่วง 0.110 ถึง 0.171 ตามงานวิจัยของ (ณัฐศักดิ์ บุญมี, 2549)

บรรณานุกรม

กระทรวงแรงงาน. (2556). **กฎกระทรวงแรงงานเรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและ ดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555.**

ณัฐศักดิ์ บุญมี. (2549). **การหาขนาดกริดที่เหมาะสมสำหรับการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร.** การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20.

นรินทร์ บุญประเสริฐ. (2559). **การเปรียบเทียบเวลาอพยพในอาคารสูงระหว่างวิธีคือ SFPE และ Steering ด้วยโปรแกรม Pathfinder**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรพงษ์ สุประดิษฐอาภรณ์. (2556). **การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกลด้วยโปรแกรม Pyrosim และ Pathfinder**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุรักษ์ นิธิจารุเมธี. (2553). **การจำลองการอพยพจากอาคารสำนักงานศูนย์วิจัยและพัฒนารถยนต์**. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.