การจำลองระบบอัดอากาศของบันไดหนีไฟในอาคารสูงด้วยแบบจำลองการไหลของอากาศแบบหลายโซน

SIMULATION OF STAIRWELL PRESSURIZATION IN A HIGH-RISE BUILDING USING MULTI-ZONE AIRFLOW MODEL

ประชา กิ่งมณี[1]

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการจำลองระบบอัดอากาศบันไดหนีไฟโดยใช้แบบจำลองการไหลของอากาศแบบหลายโซน(CONTAM) โดยทำการจำลองค่าจากการออกแบบและปรับปรุงระบบอัดอากาศบันไดหนีไฟของอาคารสูง 22 ชั้น จำนวน 2 ช่องบันไดหนีไฟ และลิฟต์ดับเพลิง จำนวน 1 ชุด ตามข้อกำหนดกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2533) ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และค่าการแนะนำตามมาตรฐาน NFPA-101 ของ National Fire Protection Association ในการศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูล โดยเก็บข้อมูลขนาดพื้นที่ของอาคาร ขนาดของบันไดหนีไฟ ค่าความดันลม รวมถึงพัดลมอัดอากาศ และศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของควันไฟ เพื่อนำข้อมูลตามค่าการออกแบบจำลองการไหลของอากาศ โดยใช้โปรแกรม CONTAM วิเคราะห์และปรับปรุงระบบอัดอากาศบันไดหนีไฟ ในการศึกษานี้มีค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟที่1 ช่องบันไดหนีไฟที่2 และโถงลิพท์ดับเพลิง โดยทำการจำลอง3 กรณี โดยกรณีที่ 1 เป็นการจำลองโดยใช้ค่าจากการออกแบบ กรณีที่ 2 เป็นการปรับปรุงโดยการเพิ่มช่องระบายอากาศในแต่ละชั้น จำนวน 1 ช่อง และกรณีที่ 3 เพิ่มช่องระบายอากาศเป็น 2 ช่อง ผลการวิเคราะห์พบว่าในกรณีที่ 3 มีค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟ ดีที่สุด โดยช่องบันไดหนีไฟที่ 1 มีค่าเท่า 40.93 Pa ช่องบันไดหนีไฟที่ 2 มีค่าเท่า 40.86 Pa และโถงลิฟต์ผจญเพลิง มีค่าเท่า 43.25 Pa ซึ่งเป็นค่าแรงดันอัดอากาศที่สามารถต้านทานการไหลของควันเข้ามาในช่องทางหนีไฟ ทำให้ผู้ใช้อาคารอพยพออกจากอาคารที่เกิดเพลิงไหม้ได้อย่างปลอดภัย

---

[1] หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[2] ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก

บทนำ

อาคารสูงหลาย ๆ โครงการในพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีความปลอดภัยไม่เพียงพอ เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ทำให้การอพยพออกจากอาคารเป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งเกิดจาก การออกแบบอาคารและระบบอัดอากาศที่ไม่ถูกต้อง ก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยขณะทำการอพยพหนีไฟจนถึงขั้นเสียชีวิต สาเหตุจากกลุ่มควันที่ฟุ้งกระจายเข้ามาในบันไดหนีไฟ จึงจำเป็น ต้องมีการตรวจสอบแรงดันตกคร่อมอากาศในโถงบันไดหนีไฟ และตรวจสอบแรงดันตกคร่อมอากาศระบบอัดอากาศบันไดหนีไฟ เพื่อไม่ให้กลุ่มควันแพร่กระจายเข้าสู่บันไดหนีไฟขณะทำการอพยพหนีไฟ ทำให้ผู้ใช้อาคารอพยพออกจากอาคารที่เกิดเพลิงไหม้ได้อย่างปลอดภัย ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัดค่าแรงดันตกคร่อมอากาศ อาคารสำนักงานสูง 22 ชั้น ที่ใช้เป็นอาคารกรณีศึกษาพบว่า มีค่าแรงดันลมตกคร่อมในบันไดหนีไฟต่ำกว่ามาตรฐาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงระบบพัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟ เพื่อให้มีประสิทธิภาพและแรงดันตกคร่อมของลมในโถงบันไดหนีไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA)และ ตามกฎกระทรวงตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ในการออกแบบระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟอย่างเหมาะสม เพื่อปรับปรุงระบบที่ใช้ในการควบคุมควันไฟในช่องบันไดหนีไฟของอาคารสูงกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ให้ถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งการออกแบบค่าความแตกต่างของความดันอากาศในช่องบันไดหนีไฟ นับว่าเป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับการควบคุมควันไฟในบันไดหนีไฟโดยใช้ระบบอัดอากาศ เนื่องจากค่าของความดันที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งบ่งบอกถึงสมรรถนะการต้านทานควันที่ป้องกันไม่ให้เคลื่อนที่เข้าสู่ ช่องบันไดหนีไฟได้ หากค่าความแตกต่างของความดันน้อยเกินไปควันจะสามารถไหลเข้าไป ในช่องบันไดหนีไฟได้ แต่หากค่าความดันสูงมากเกินไปก็จะทำให้ผู้อพยพไม่สามารถที่จะเปิดประตูหนีไฟออกไปได้เช่นกัน

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำการจำลองระบบอัดอากาศและออกแบบปรับปรุงระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟในอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นอาคารสูง 22 ชั้น

ขอบเขตงานการศึกษา

1. เพื่อหาสมรรถนะของระบบพัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟ ในอาคารกรณีศึกษาซึ่งเป็นอาคารประเภทสำนักงานสูง 22 ชั้น

2. ใช้แบบจำลอง CONTAM ในการจำลองและปรับปรุงการออกแบบระบบพัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟของอาคารกรณีศึกษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบปัญหาต่างๆและสมรรถนะระบบพัดลมอัดอากาศทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ
2. ได้แนวทางการปรับปรุงและเพิ่มสมรรถนะของระบบพัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟ
3. นำแนวทางในการศึกษานี้ไปใช้ เพื่อนำเสนอกับเจ้าของอาคารในการปรับปรุงระบบพัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟ เพื่อความปลอดภัยสูงสุดของผู้ใช้อาคาร

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2533) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 กำหนดให้บันไดหนีไฟที่อยู่ในอาคาร และไม่มีช่องระบายอากาศเปิดสู่ภายนอกอาคาร ต้องมีระบบอัดอากาศภายในช่องบันไดที่มีแรงดันอากาศขณะมีการใช้งานไม่น้อยกว่า 3.86 Pa ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4407 (พ.ศ. 2555) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 6 ระบบอัดอากาศเพื่อควบคุมควันไฟ ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมถึงข้อกำหนดในการการออกแบบ ติดตั้ง บำรุงรักษา และการทดสอบ การทำงานของระบบอัดอากาศ เพื่อควบคุมควันไฟสำหรับบันไดหนีไฟและโถงลิฟต์ดับเพลิง เรียกว่า มาตรฐานระบบอัดอากาศ ซึ่งใช้กับระบบอัดอากาศที่เป็นระบบควบคุมควันไฟระบบเดียวกันกับภายในอาคาร ไม่ใช้ร่วมกับระบบควบคุมควันไฟรูปแบบอื่น ๆ เช่น ระบบอัดอากาศสำหรับบันไดหนีไฟที่ใช้งานร่วมกับระบบควบคุมควันไฟชนิดแบ่งเขตพื้นที่ความดันอากาศ (Zone Smoke Control System) ซึ่งต้องทดสอบตามวิธีการเฉพาะตามการออกแบบ

NFPA 2009 National Fire Protection Association เป็นองค์กรชั้นนำของโลกที่สนับสนุนกิจกรรมด้านการป้องกันอัคคีภัย มีภารกิจหลักในการจัดทำและสนับสนุนการกำหนดมาตรฐาน ที่พัฒนามาจากสถิติและข้อมูลความเสียหายจริงของชีวิตและทรัพย์สิน อันเนื่องมาจากอัคคีภัยและอุบัติภัยต่าง ๆ ด้วยวิธีประชามติ การวิจัย การฝึกอบรม และการให้ความรู้ โดยมีจุดมุ่งหมาย ที่จะลดปัญหาและความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นจากอัคคีภัยและอุบัติภัยต่าง ๆ เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของประชากรโลก ซึ่งมาตรฐานความปลอดภัยของ NFPA กว่า 300 ประเภท เป็นแหล่งรวมข้อมูลที่สำคัญด้านความปลอดภัยของสาธารณชน ที่ได้รับการยอมรับจากนานาประเทศ และนำมาใช้ ในกระบวนการก่อสร้างและบริหารจัดการอาคารให้มีความปลอดภัย ครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบ ติดตั้ง ตรวจสอบ จนถึงการดับเพลิงเมื่อเกิดอัคคีภัย ซึ่งมาตรฐานที่สำคัญ คือ NFPA-101 NFPA 2009 ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเพื่อความมั่นใจในการลดความสูญเสียจากเหตุเพลิงไหม้และเหตุฉุกเฉินในอาคารได้ รวมถึงวิธีการคำนวณค่าการออกแบบระบบ อัดอากาศบันไดหนีไฟที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการไหลกลับของควันสู่อาคารในบริเวณอื่น ๆ

ความดันแตกต่างของอากาศภายในบันไดหนีไฟกับความดันอากาศของพื้นที่เกิดควันภายในอาคารเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ออกแบบควรคำนึง โดยกำหนดค่าความดันแตกต่างสูงสุดตกคร่อมประตู ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความดันแตกต่างสูงสุดตกคร่อมประตู

แรงจากอุปกรณ์ดึงประตูปิดกลับด้วยตัวเอง	**ความดันแตกต่างสูงสุดตกคร่อมประตูที่ความกว้างของประตู (Pa)**				
(N)	**0.8 m**	**0.9 m**	**1.0 m**	**1.1 m**	**1.2 m**
26.4	112	112	112	112	112
35.2	102	02	02	02	02
44.0	92	92	92	92	92
52.8	85	85	85	85	85
61.1	75	75	75	75	75

อ้างอิงข้อมูล: จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 6 ระบบอัดอากาศเพื่อควบคุมควันไฟ

จากตารางที่ 1 แสดงค่าความดันแตกต่างสูงสุดตกคร่อมประตู จากการทดสอบแรง ที่ใช้ในการเปิดประตูทำโดยให้แรง 133 N กระทำที่ตำแหน่งห่างจากขอบประตูด้านตรงข้ามบานพับ 7.5 cm และคำนวณโดยใช้ความสูงของประตู 2.0 m ข้อกำหนดของความดันแตกต่างสูงสุดตกคร่อมประตูแบ่งออกเป็น 2 กรณี

กรณีประตูบันไดหนีไฟปิดหมดทุกบาน ความดันแตกต่างต้องไม่เกินค่าตามตารางที่ 1 โดยทำให้แรงที่ใช้เปิดประตูไม่เกิน 133 N ซึ่งรวมผลของแรงที่เกิดจากอุปกรณ์ดึงประตูปิดกลับด้วยตัวเอง ความดันแตกต่างของอากาศภายในบันไดหนีไฟกับความดันอากาศของพื้นที่เกิดควันภายในอาคารในระดับเดียวกัน ในทุกกรณีต้องไม่ต่ำกว่า 38 Pa

กรณีประตูบันไดหนีไฟเปิดค้าง ชั้นบนและชั้นล่างที่ติดกับชั้นที่ประตูเปิดค้าง ต้องมีความดันแตกต่างไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa ส่วนชั้นอื่นต้องมีความดันแตกต่างเหมือนที่ระบุในกรณีประตูบันไดหนีไฟปิดทุกบานเช่นกัน ซึ่งผู้ออกแบบสามารถคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าสู่บันไดหนีไฟได้จากสมการ

$$Q = ac + bN$$

เมื่อ; Q = ปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าสู่บันไดหนีไฟ (m^3)

a = อัตราการไหลของอากาศผ่านประตูที่เปิดค้างสู่ภายนอก 7.08 m^3/s ต่อหนึ่งประตู

c = จำนวนประตูที่เปิดค้างสู่ภายนอก

b = อัตราการไหลของอากาศผ่านรอยรั่วของผนังและประตูของบันไดหนีไฟ 0.094 m^3/s ต่อชั้น

N = จำนวนชั้นของอาคาร

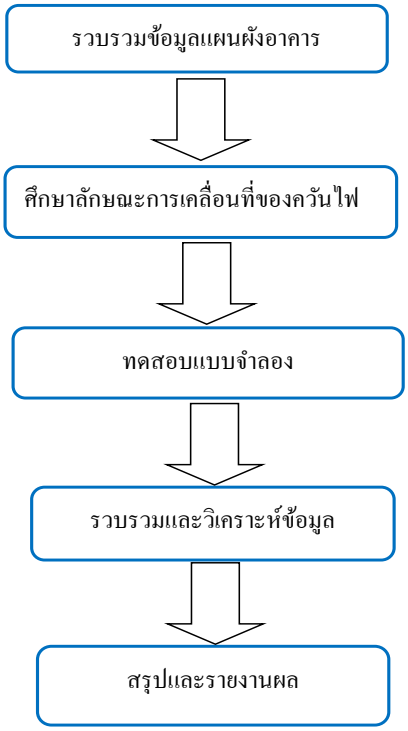
วิธีการอัดอากาศเข้าบันไดหนีไฟ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบอัดอากาศแบบจุดเดียว ใช้ได้กับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 23 m เท่านั้น ซึ่งตำแหน่งช่องอัดอากาศ สามารถอยู่ในตำแหน่งใด ๆ ก็ได้ในบันไดหนีไฟ โดยตำแหน่งพัดลมต้องห่างจากประตูบานที่ออกแบบให้เปิดค้างไม่น้อยกว่า 11 m หรือไม่น้อยกว่า 3 ชั้น เช่น ประตูชั้นล่างที่เปิดสู่ภายนอกอาคาร โดยทั่วไปตำแหน่งช่องอัดอากาศอยู่ที่ตำแหน่งด้านบนสุดของบันไดหนีไฟ และระบบอัดอากาศแบบหลายจุด ใช้ได้กับอาคารไม่จำกัดความสูง โดยกำหนดตำแหน่งช่องอัดอากาศเข้าแต่ละจุด ต้องห่างกัน ไม่เกิน 3 ชั้น

Klote และ Milke (2002) ได้เขียนคู่มือแนะนำหลักการจัดการควัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์เพื่อใช้การออกระบบควบคุมควัน ในส่วนของการสร้างค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันภายนอกและภายในช่องทางหนีไฟ โดยการเพิ่มแรงดันในโถงบันไดหนีไฟ และโถงลิฟต์ผจญเพลิง เพื่อการควบคุมควันไฟไว้เฉพาะส่วนตามการออกแบบ ในแต่ละอาคาร ซึ่ง Principles of Smoke Management เป็นหนังสือคู่มือเล่มแรก ที่มีข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่ายโดยเฉพาะในส่วนของการออกแบบระบบการจัดการควบคุมควันสำหรับสถานที่ต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา แคนาดา และประเทศอื่น ๆ ทั่วโลก

สาริณี ชมภู (2561) ได้ทำการศึกษาระบบอัดอากาศของบันไดหนีไฟโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองจากโปรแกรม CONTAM ในอาคารสูง 19 ชั้น ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟในอาคารไม่เพียงพอสำหรับต้านทานการไหลของควันที่จะเข้ามาในช่องทางหนีไฟ สำหรับการควบคุมควันด้วยระบบอัดอากาศ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการอพยพหนีไฟ จำเป็นจะต้องปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศที่ต้องจ่ายให้กับช่องบันไดหนีไฟ ซึ่งช่องบันไดที่ 1 เท่ากับ 12,000 l/s และช่องบันไดหนีไฟ 2 เท่ากับ 15,000 l/s และปล่องลิฟต์ดับเพลิงเท่ากับ 7,200 l/s ในกรณีที่ประตูบันไดหนีไฟเปิดค้าง บางประตู จะทำให้ค่าความแตกต่างของความดันลดลงจึงต้องมีการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ ที่ต้องจ่ายให้ระบบ

วิธีการดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการทำวิจัยโดยทำการ รวบรวมข้อมูลของอาคารสูง 22 ชั้น โดยทำการเก็บข้อมูลขนาดพื้นที่ของอาคาร ขนาดของบันไดหนีไฟและค่าความดันลมรวมถึงพัดลม อัดอากาศ และศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของครัวไฟว่ามีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางไหน เพื่อนำค่า ที่บันทึก ไปเขียนในแบบจำลอง โดยใช้ โปรแกรม CONTAM ในการรวบรวมและวิเคาระห์ข้อมูลและปรับปรุงในแบบจำลอง โดยจะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดัง ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

อาคารกรณีศึกษานี้ เป็นอาคารสำนักงาน มีพื้นที่ใช้สอยรวมประมาณ 16,520 m^2ความสูง 67 m มี จำนวน 22 ชั้น จากการสำรวจพื้นที่เพื่อวิจัยระบบพัดลมอัดอาการบันไดหนีไฟ ที่มีการติดตั้งระบบอัดอากาศไว้ในแต่ละบันได โดยมีพัดลมทั้งหมด 3 เครื่อง สำหรับบันไดหนีไฟ จำนวน 2 ช่องบันไดหนีไฟ และลิฟต์ดับเพลิง 1 ชุด ซึ่งการเก็บข้อมูลในการทดสอบมีการวัดค่า ทั้งก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง เพื่อให้ได้ค่าตามเกณฑ์ มาตรฐาน ที่ระบุไว้ โดยใช้เครื่องมือ ดังนี้

(1) เครื่องวัดความเร็วลม

(2) เครื่องวัดค่าความดันตกคร่อมบันไดหนีไฟ

(3) เครื่องวัดแรงผลัก-แรงดึงของประตู

การทดสอบวัดค่าความเร็วลม

ทำการตรวจสอบว่าประตูทุกบานและทุกชั้นปิดสนิทเรียบร้อย จึงดำเนินการแบ่ง จุดทดสอบวัดความเร็วลม 5 จุด และทำการทดสอบวัดค่าความเร็วลมในแต่ละจุดตามตำแหน่งที่ตั้งไว้ แล้วทำการจดบันทึกค่าความเร็วลมที่วัดได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดสอบหัวจ่ายลม

ผลบันทึกผลการทดสอบหัวจ่ายลม			
ชั้น	**บันไดหนีไฟที่ 1**	**บันไดหนีไฟที่ 2**	**โถงลิฟต์ผจญเพลิง**
	m^3/s	**m^3/s**	**m^3/s**
ชั้น 1	2.59	2.59	3.02
ชั้น 3	1.22	1.22	1.04
ชั้น 6	1.22	1.22	1.04
ชั้น 9	1.22	1.22	1.04
ชั้น 12	1.22	1.22	1.04
ชั้น 15	1.22	1.22	1.04
ชั้น 18	1.22	1.22	1.04
ชั้น 20	1.22	1.22	1.04
ชั้น 22	1.22	1.22	1.04

การทดสอบวัดความดันตกคร่อม

ตรวจสอบว่าประตูทุกบานได้ปิดสนิทแล้ว ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดความดัน โดยสอดเอาสายวัดแรงดันด้านหนึ่งไว้ด้านในบันได และอีกด้านหนึ่งไว้ด้านนอกบันได แล้วจดบันทึกค่าที่ได้ หลังจากนั้นให้เปิดประตูบันได ชั้นที่ทดสอบ เพื่อทดสอบค่าความดันที่ลดลง แล้วจดบันทึกค่าความดันตกคร่อมที่วัดได้ เปิดประตูบันไดอีก 1 ประตูชั้นบนสุดหรือชั้นล่างสุด เพื่อทดสอบค่าความดันที่ลดลง แล้วจดบันทึกค่าที่วัดได้ และเปิดประตูบันไดชั้นที่ทดสอบ แล้ววัดค่าความดันระหว่างชั้นบนกับชั้นล่างของชั้นที่ทดสอบ เพื่อทดสอบค่าความดันที่ลดลง แล้วจดบันทึกค่าที่วัดได้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 บันทึกผลการทดสอบแรงดันตกคร่อมประตู

ผลบันทึกผลการทดสอบแรงดันตกคร่อมประตู			
ชั้น	**บันไดหนีไฟที่ 1**	**บันไดหนีไฟที่ 2**	**โถงลิฟต์ผจญเพลิง**
	Pa	**Pa**	**Pa**
ชั้น 1	40	40	35
ชั้น 3	30	30	25
ชั้น 6	25	25	25
ชั้น 9	25	25	25
ชั้น 12	25	25	25
ชั้น 15	25	25	25
ชั้น 18	25	25	25
ชั้น 20	25	25	25
ชั้น 22	27	27	25

การสร้างแบบจำลองใน CONTAM

ในการสร้างแบบจำลอง คำนวณค่าความแตกต่างของความดัน และการไหลของอากาศ เพื่อนำไปวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศ ในช่องทางหนีไฟ จำนวน 3 ช่องทาง โดยมีรายละเอียดวิธีการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ลักษณะ การเคลื่อนที่ของควัน ดังนี้

(1) วาดแบบอาคารที่ต้องการศึกษาการเคลื่อนที่ของควัน ชั้นที่ 1-22 และชั้นหลังคาลงในโปรแกรม CONTAM โดยการ วาดห้องแต่ละห้องนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องมีสัดส่วนเทียบเท่ากับขนาดจริง แต่จะต้องมีลักษณะการวางตำแหน่งด้านของ ผนังห้องที่ติดกันเป็นตามแบบจริง เพื่อที่จะระบุตำแหน่งของ Flow Path ได้เหมือนจริง

(2) กำหนดชื่อของแต่ละชั้น (Level) และระบุความสูงของแต่ละชั้นตามแบบจริงโดยการใส่ข้อมูลลงในหน้าต่างคำสั่ง Level Data ที่ช่อง Elevation และกำหนดหน่วยของความสูงของชั้น

(3) กำหนด Zone ของแต่ละพื้นที่ในทุกๆพื้นที่มีการกั้นแยกด้วยผนัง (Wall) โดยจะต้องตั้งชื่อ Zone ระบุพื้นที่ ปริมาตร อุณหภูมิ ความดัน ตามข้อมูลในแบบของ ความดันกำหนดให้เป็นแบบ Variable เนื่องจากมีความแปรผันได้ตามผลกระทบของปัจจัยแวดล้อม

(4) ระบุตำแหน่งและข้อมูลของช่องทางการไหล (Flow Path) ในทุก Zone โดยใช้คำสั่ง Flow Path หลังจากนั้นให้เลือกรูปแบบฟังก์ชั่นการไหล (Type) ในการวิจัยนี้เลือกแบบ One-Way Flow

Using Power Law เลือกสูตรการไหล (Formula) ที่เหมาะสมกับลักษณะของช่องทางการไหลนั้นๆ ช่องทางการรั่วไหล ที่ประตูจะใช้สูตรการไหล แบบ Orifice Area Data ช่องทางการรั่วไหลเช่น รอย Crack ที่ผนังและพื้น จะเลือกเป็น แบบ Leakage Area Data ที่ช่องบันไดเลือกเป็นแบบ Stairwell Description และที่ปล่องลิฟต์เลือกแบบ Shaft Description ตั้งชื่อ Flow Path ระบุรายละเอียดของตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการจำลองโดยโปรแกรม

Discharge Coefficient คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (Flow Coefficient) หรือค่า C ของพื้นที่การรั่วไหลที่ ระดับค่าความแตกต่างของความดันอ้างอิง ในการวิจัยนี้ ในการไหลผ่านช่องว่างหรือรูรั่วที่พื้น และ ผนัง เลือกค่า C = 0.65 การไหลผ่านช่องว่างรอบประตูปิด เลือกค่า C = 0.65 การไหลผ่านประตูเปิด เลือกค่า C = 0.35 (Klote & Milke, 2002) A คือพื้นที่การไหล Aw คือ พื้นที่ผนัง และ Af คือ พื้นที่ชั้นพื้น

Leakage Area คือ พื้นที่การรั่วไหล ใช้ค่าตามค่าแนะนำในหนังสือ Principles of Smoke Management (Klote & Milke, 2002)

(5) เมื่อกำหนดข้อมูลตามแบบอาคารลงในโปรแกรมเรียบร้อยแล้วสั่งให้โปรแกรม ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศ โดยใช้คำสั่ง Simulation เลือก Run simulation แล้วเลือก Start simulation จะได้ผลของ การวิเคราะห์ดังแสดงตัวอย่างในรูป ผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของควันก็คือค่าความแตกต่างของ ความดัน และการไหลของอากาศ

การจำลองสถานการณ์

ในการวิจัยนี้ได้ทำการจำลองสถานการณ์ของบันไดหนีไฟที่ 1 บันไดหนีไฟที่ 2 และโถงผจญเพลิง ของอาคารสูง 22 ชั้น โดยจำลอง 3 กรณี เพื่อวิเคราะห์ว่า กรณีไหนดีที่สุดสำหรับอาคารโดยมีรายละเอียด ดังนี้

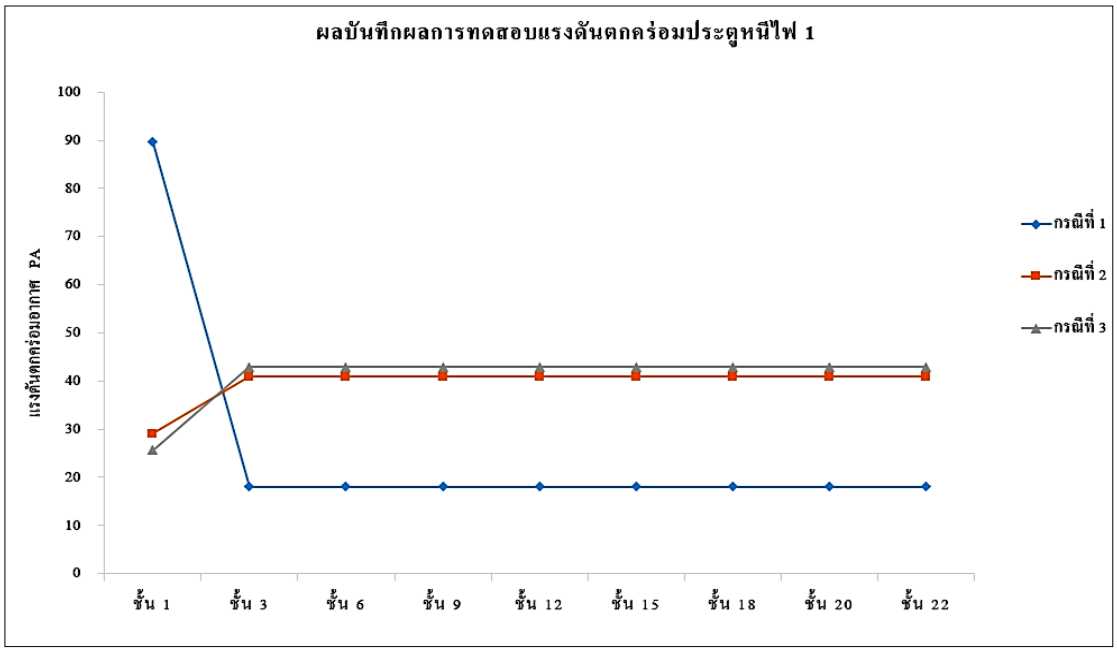
กรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลจากการบันทึกของอาคาร แล้วนำข้อมูลลงในโปรแกรม โดยใส่ค่าความเร็วลม (m^3/s) ในแต่ละชั้น เป็นข้อมูลที่บันทึกจากอาคารสำนักงานสูง 22 ชั้น ซึ่งได้มีการตรวจวัดค่าก่อนทำการวิจัย ส่วนพัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟที่ 1 มีความเร็วลม 12.41 m^3/s พัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟ 2 มีความเร็วลม 12.41 m^3/s และพัดลมอัดอากาศโถงผจญเพลิง มีความเร็วลม 9.53 m^3/s ในกรณีที่ 1 ประตูหนีไฟเปิดค้างไว้ที่ชั้น 1

กรณีที่ 2 ใช้ข้อมูลจากกรณีที่ 1 แล้วเพิ่มช่องระบายอากาศให้กับอาคารในแต่ทุกชั้น จำนวนชั้นละ 1 ช่อง ในกรณีที่ 2 ประตูหนีไฟเปิดค้างไว้ที่ชั้น 1 จากนั้น ทำการ Simulation ในโปรแกรม CONTAM

กรณีที่ 3 ใช้ข้อมูลจากกรณีที่ 1 แล้วเพิ่มช่องระบายอากาศให้กับอาคารในแต่ทุกชั้น จำนวนชั้นละ 2 ช่อง ในกรณีที่ 2 ประตูหนีไฟเปิดค้างไว้ที่ชั้น 1 จากนั้น ทำการ Simulation ในโปรแกรม CONTAM

วิเคราะห์ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟ

จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี พบว่า ในกรณีที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟที่ 1 ชั้นที่ 1 มีค่าสูงกว่าชั้นที่ 2 - 22 เนื่องจากไม่มีช่องระบายอากาศของระบบพัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟ จึงทำให้ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟต่ำ กรณีที่ 2 เพิ่มช่องระบายอากาศ 1 ช่องเพิ่มทุกชั้น ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงขึ้นและชั้น 1 ยังมีค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟ อยู่ในช่วงค่าแนะนำคือค่าอยู่ในช่วง 25 – 90 Pa ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa กรณีที่ 3 เพิ่มช่องระบายอากาศ 2 ช่องเพิ่มทุกชั้น ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงขึ้นชั้นที่ 2 - 22 ส่วนชั้นที่ 1 ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟต่ำลง ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa ตามภาพที่ 2

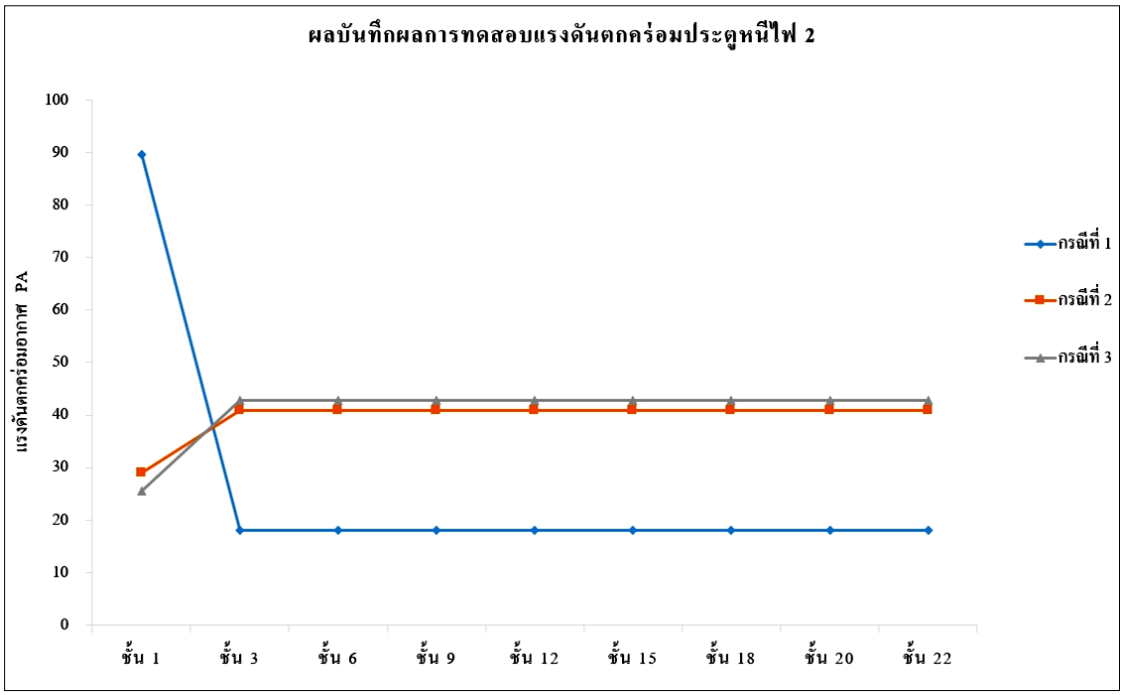


ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าความดันตกคร่อมบันไดหนีไฟ 1

จากภาพที่ 2 การวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี ของโถงบันไดหนีไฟที่ 1 พบว่า ในกรณีที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟ 1 ชั้นที่ 1 มีความดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงกว่าชั้นที่ 2 - 22 เนื่องจากในชั้นไม่มีช่องระบายอากาศออกนอกอาคาร จึงทำให้ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟต่ำ กรณีที่ 2 เพิ่มช่องระบายอากาศ 1 ช่องเพิ่มทุกชั้นในโปรแกรม ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟชั้นที่ 1 ยังมีค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟ อยู่ ในช่วงค่าแนะนำคือค่าอยู่ในช่วง 25 - 90 Pa ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า

12.5 Pa ส่วนชั้นที่ 2-22 ความดันตกคร่อมประตูหนีไฟเพิ่มขึ้นเนื่องจากในแต่ละชั้นได้เพิ่มช่องระบายอากาศออกนอกอาคาร กรณีที่ 3 เพิ่มช่องระบายอากาศ 2 ช่องเพิ่มทุกชั้น ในแบบจำลอง ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟ ชั้นที่ 2 - 22 มีค่าแรงดันของอากาศสูงขึ้น เนื่องจากอากาศในแต่ละชั้นสามารถไหลออกนอกอาคารได้สะดวก ส่วนชั้น 1 มีค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟลดลง อยู่ในช่วงค่าแนะนำคือค่าอยู่ในช่วง 25 – 90 Pa ซึ่งมีไม่ค่าต่ำกว่ามาตราฐาน

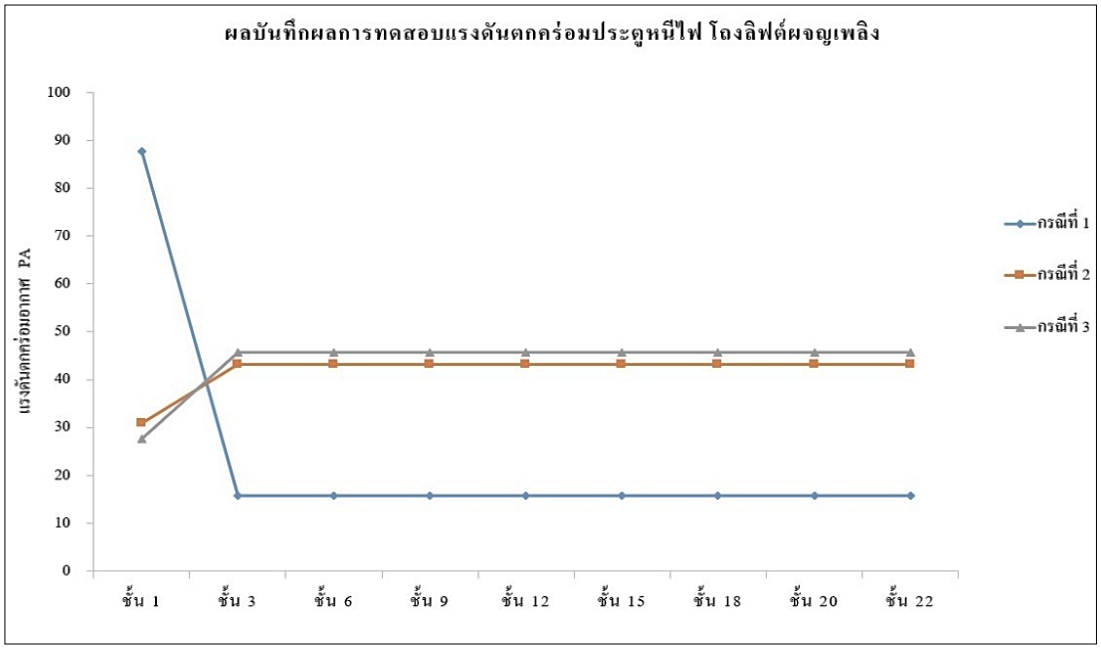
จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี พบว่า ในกรณีที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟที่ 2ชั้นที่ 1 มีค่าสูงกว่าชั้น 2 - 22 เนื่องจากไม่มีช่องระบายอากาศของระบบพัดลมอัดอากาศบันไดหนีไฟ จึงทำให้ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟต่ำ กรณีที่ 2 เพิ่มช่องระบายอากาศ 1 ช่องเพิ่มทุกชั้น ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงขึ้นและชั้น 1 ยังมีค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟอยู่ในช่วงค่าแนะนำคือ อยู่ในช่วง 25 – 90 Pa ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa กรณีที่ 3 เพิ่มช่องระบายอากาศ 2 ช่องเพิ่มทุกชั้น ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงขึ้นชั้นที่ 2 ถึง ชั้นที่ 22 ส่วนชั้นที่ 1 ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟ ไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าความดันตกคร่อมบันไดหนีไฟ 2

จากภาพที่ 2 การวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี ของโถงบันไดหนีไฟที่ 2 พบว่า ในกรณีที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟที่ 2 ชั้นที่ 1 มีความดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงกว่าชั้นที่ 2 - 22 เนื่องจากในชั้นไม่มีช่องระบายอากาศออกนอกอาคาร จึงทำให้ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟต่ำ กรณีที่ 2 เพิ่มช่องระบายอากาศ 1 ช่องเพิ่มทุกชั้นในโปรแกรม ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟชั้นที่ 1

ยังมีค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟ ส่วนชั้นที่ 2-22 ความดันตกคร่อมประตูหนีไฟเพิ่มขึ้น เนื่องจากในแต่ละชั้นได้เพิ่มช่องระบายอากาศออกนอกอาคาร กรณีที่ 3 เพิ่มช่องระบายอากาศ 2 ช่องเพิ่มทุกชั้นในแบบจำลอง ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟ ชั้นที่ 2 - 22 มีค่าแรงดันของอากาศสูงขึ้น เนื่องจากอากาศในแต่ละชั้นสามารถไหลออกนอกอาคารได้สะดวก ส่วนชั้น 1 มีค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟลดลง อยู่ในช่วงค่าแนะนำคือค่าอยู่ในช่วง 25 – 90 Pa ซึ่งมีไม่ค่าต่ำกว่ามาตราฐาน



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าความดันตกคร่อมโถงลิฟต์ ผจญเพลิง

จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี พบว่า ในกรณีที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมโถงลิฟต์ ผจญเพลิงชั้นที่ 1 มีค่าสูงกว่าชั้นที่ 2 ถึง ชั้นที่ 22 เนื่องจากไม่มีช่องระบายอากาศของระบบพัดลมอัดอากาศโถงลิฟต์ผจญเพลิง จึงทำให้ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟต่ำ กรณีที่ 2 เพิ่มช่องระบายอากาศ 1 ช่องเพิ่มทุกชั้น ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงขึ้นและชั้นที่ 1 ยังมีค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟ อยู่ในช่วงค่าแนะนำคือค่าอยู่ในช่วง 25 – 90 Pa ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa กรณีที่ 3 เพิ่มช่องระบายอากาศ 2 ช่องเพิ่มทุกชั้น ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงขึ้นชั้น 2 ถึง ชั้น 22 ส่วนชั้น 1 ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟ ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 12.5 ตามภาพที่ 4

การวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี ของโถงลิฟต์ผจญเพลิง พบว่า ในกรณีที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟชั้นที่ 1 มีความดันตกคร่อมประตูหนีไฟสูงกว่าชั้นที่ 2 - 22 เนื่องจากในชั้นที่ไม่มีช่องระบายอากาศออกนอกอาคาร จึงทำให้ค่าความดันตกคร่อมประตูหนีไฟต่ำ กรณีที่ 2 เพิ่มช่องระบายอากาศ 1 ช่องเพิ่มทุกชั้นในโปรแกรม ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟชั้นที่ 1 ยังมีค่าความดันตก

คร่อมประตูหนีไฟ อยู่ในช่วงค่าแนะนำคือค่าอยู่ในช่วง 25 – 90 Pa ซึ่งมีค่า ไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa ส่วนชั้นที่ 2-22 ความดันตกคร่อมประตูหนีไฟเพิ่มขึ้นเนื่องจากในแต่ละชั้นได้เพิ่มช่องระบายอากาศออกนอกอาคาร กรณีที่ 3 เพิ่มช่องระบายอากาศ 2 ช่องเพิ่มทุกชั้นในแบบจำลอง ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟ ชั้นที่ 2 - 22 มีค่าแรงดันของอากาศสูงขึ้น เนื่องจากอากาศในแต่ละชั้นสามารถไหลออกนอกอาคารได้สะดวก ส่วนชั้นที่ 1 มีค่าแรงดันตกคร่อมประตูหนีไฟลดลง อยู่ ในช่วงค่าแนะนำคือค่าอยู่ในช่วง 25 – 90 Pa ซึ่งมีค่าไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa

สรุปผลการวิจัย

ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของควันในสถานการณ์ที่มีวิธีทางกลโดยระบบอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟ 1 ช่องบันไดหนีไฟ 2 และลิฟต์ดับเพลิง ทั้ง 3 กรณี พบว่าอาคารที่ใช้ทำการศึกษามีค่าความแตกต่าง เริ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มช่องระบายอากาศทุกชั้น ซึ่งกรณี 3 เป็นค่าที่ดีที่สุด ช่องบันไดหนีไฟที่ 1 มีค่าเท่า 40.93 Pa ช่องบันไดหนีไฟที่ 2 มีค่าเท่า 40.86 Pa และโถงลิฟต์ดับเพลิง มีค่าเท่า 43.25 Pa ซึ่งค่าต่ำสุดที่พบอยู่ที่ช่องบันไดหนีไฟ 1 ชั้น 1 มีค่าเท่ากับ 10.36 Pa ซึ่งเป็นชั้นที่เปิดประตูค้างไว้ ซึ่งพบว่าการปรับปรุงที่ทำให้ค่าความแตกต่างของความดันในทุกช่องทางการไหลที่ทำการวิเคราะห์ยกเว้นในชั้นที่ประตูเปิด ซึ่งมีรายละเอียดตำแหน่ง และอัตราการไหลของอากาศ ที่เกิดขึ้นสามารถต้านการไหลของควันเข้าสู่ช่องบันไดหนีไฟและ ลิฟต์ดับเพลิงได้ ซึ่งยังพบอีกว่าเมื่อมีการกำหนดสถานการณ์ให้มีการปิดประตูของบันไดหนีไฟทุกประตู ค่าอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบอัดอากาศที่สามารถสร้างระดับความดันในช่องบันไดหนีไฟและลิฟต์ดับเพลิง ให้อยู่ในช่วง 38.6 – 90 Pa ซึ่งเป็นค่าการออกแบบที่ปลอดภัย นั้นมีค่าน้อยกว่าอัตราการไหลของอากาศที่ต้องจ่ายเข้าสู่ระบบอัดอากาศในสถานการณ์ที่มีการเปิดประตูบันไดหนีไฟค้างไว้เพื่อให้มีค่าความแตกต่างของความดันมีค่าไม่ตำกว่า 12.5 Pa ในชั้นที่ติดกันกับชั้นที่มีประตูเปิดค้างไว้

ข้อเสนอแนะสำหรับศึกษาต่อไป

(1) ควรนำปัจจัยเรื่อง Wind Effect หรือผลกระทบจากแรงลมมาพิจารณาในการออกแบบระบบควบคุมควันในอาคารด้วย

(2) ในการวิจัยนี้ไม่ได้ออกแบบพัดลมอากาศให้กับช่องบันไดหนีไฟ ทำแต่เพียงหาค่าอัตราการไหลของ อากาศที่ชั้นต่างๆของอาคารเท่านั้น ควรพิจารณาถึงเรื่องความสูญเสียความดันในระบบท่อจ่ายอากาศร่วมด้วยเพื่อที่จะ สามารถหาขนาดของพัดลมที่เหมาะสมในการควบคุมควันไฟในช่องบันไดหนีไฟ

(3) ควรพิจารณาเรื่องต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ ในการที่จะออกแบบระบบควบคุมควันให้ได้ผลดีและประหยัดงบในการลงทุนและบำรุงรักษา

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กฎกระทรวง ฉบับที่ 33 (2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. (2535, กุมภาพันธ์ 17). ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 109 ตอนที่ 11. หน้า 6-23.

กฎกระทรวง ฉบับที่ 39 (2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. (2551, พฤษภาคม 20). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 69 ก.

สาริณี ชมภู. (2561). *การจำลองระบบอัดอากาศของบันไดหนีไฟด้วยโปรแกรม CONTAM. นครราชสีมา* : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนาชัย จงสมชัย และ พิชัย กฤชไมตรี. (2555*). โปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคาร*.[ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. วิศวกรรมสาร มก., 25(79), 65-71.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). ข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 2 ประตูทนไฟและชุดแผ่นปรับลมสำหรับช่องเปิด. มอก.2541 เล่ม 2 – 2555.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 44407 (2555) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2551. เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 6 ระบบอัดอากาศเพื่อควบคุมควันไฟ.

ภาษาต่างประเทศ

John H. Klote and James A. Milke. (2002). *Principles of Smoke Management*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 63-86.

NFPA. (2009). *Recommended Practice for Smoke Control System*. NFPA 92A, Massachusetts: National Fire Protection Association.

NFPA. (2009). *NFPA 101 Life Safety Codes*. National Fire Protection Association.