

## การจำลองระบบอัดอากาศของบันไดหนีไฟด้วยโปรแกรม CONTAM A Simulation of Stairwell Pressurization via CONTAM

สารินี ชมภู<sup>1</sup> พลกฤต กฤษไมตรี<sup>2</sup> ณัฐศักดิ์ บุญมี<sup>3</sup> เอกไท วิโรจน์สกุลชัย<sup>4</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้โปรแกรม CONTAM ในการจำลองระบบอัดอากาศและปรับปรุงการออกแบบระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟของอาคารสูง 19 ชั้น โดยโปรแกรม CONTAM เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของควันในช่องบันไดหนีไฟและอัตราการไหลของอากาศที่ต้องจ่ายให้กับระบบอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟได้ ผลการวิเคราะห์พบว่าอาคารสูง 19 ชั้นที่ทำการศึกษามีค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟไม่เพียงพอที่จะต้านทานการไหลของควันเข้ามาในช่องทางหนีไฟได้ หากจะควบคุมควันให้เกิดความปลอดภัยต่อการอพยพหนีไฟด้วยระบบอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟในกรณีที่ประตูบันไดหนีไฟปิด อัตราการไหลของอากาศที่ต้องจ่ายให้กับช่องบันไดหนีไฟ 1 คือ 12,000 l/s ช่องบันไดหนีไฟ 2 คือ 15,000 l/s และปล่องลิฟต์ดับเพลิงคือ 7,200 l/s ในกรณีที่ประตูบันไดหนีไฟเปิดค้างบางประตู จะทำให้ค่าความแตกต่างของความดันลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศที่ต้องจ่ายให้ระบบด้วย

**คำสำคัญ:** ระบบอัดอากาศ, โปรแกรม CONTAM, การควบคุมควันไฟ

### Abstract

This research aims to apply the CONTAM program to simulate and redesign the stairwell pressurization system of a 19 floor high-rise building. The CONTAM program is a computer program that has been employed to analyze a smoke and air flow supplied to the pressurization system in the stairwell. The results show that the building has insufficient pressure difference within the stairwell. Consequently, it cannot prevent the smoke flow entering the stairwell. For the safe evacuation, in case of all stairwell doors are closed, the air flow in stairwell shafts no. 1, 2, and an elevator shaft is 12,000, 15,000, and 7,200 l/s, respectively. In case of some stairwell doors are opened, the pressure difference within the stairwell is decreased. Therefore, the air flow supplied to the pressurization system must be increased.

**Keywords:** CONTAM, Smoke control, Pressurization system

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโทสาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมลล์ jenisa\_tu@hotmail.com

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อีเมลล์ polkrit@ipst.ac.th

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมลล์ fengnab@ku.ac.th

<sup>4</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมลล์ fengeka@ku.ac.th

## บทนำ

ธรรมชาติของการเกิดเพลิงไหม้ คิวไฟจะสามารถเคลื่อนที่แพร่กระจายออกไปทั้งในแนวราบและแนวตั้งอย่างรวดเร็ว ผ่านทางช่องเปิดต่างๆของโครงสร้างอาคารเช่นช่องลิฟต์ ช่องท่อของระบบปรับอากาศ ขอบประตู หน้าต่าง รอยรั่ว รอยแตกแยกของผนัง พื้น และเพดาน กลไกสำคัญที่ทำให้เกิดการไหลของอากาศ คิวไฟ และเปลวไฟก็คือ การขยายตัวของอากาศร้อน การไหลเข้ามาแทนที่ของอากาศเย็นหรือที่เรียกว่าแรงลอยตัว เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคาร จะพบว่าความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นนั้นมีทั้งความสูญเสียต่อทรัพย์สิน และต่อร่างกายของผู้ที่ใช้งานหรืออยู่ใกล้เคียงกับอาคาร โดยความสูญเสียนั้นอาจอยู่ในระดับตั้งแต่เล็กน้อยไปจนถึงขั้นรุนแรงเช่นการบาดเจ็บ พิการของร่างกายหรือการเสียชีวิต ซึ่งส่วนมากสาเหตุหลักที่ทำให้ผู้คนเสียชีวิตก็คือคิวไฟ เนื่องจากเพลิงไหม้จะดึงเอาออกซิเจนในอากาศเข้าไปใช้ในปฏิกิริยาการลุกไหม้ของการเกิดไฟ และได้ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ออกมาเป็นคิวไฟซึ่งประกอบด้วยก๊าซและสารต่างๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไอระเหยอื่นๆ มีผลต่อปอดและระบบการหายใจ เมื่อผู้ใช้อาคารมีการหายใจเอาคิวไฟเข้าไปในร่างกายก็จะทำให้สารเคมี หรือก๊าซพิษในคิวไฟเข้าไปทำปฏิกิริยาต่อร่างกาย หรืออาจเข้าไปเกาะกับฮีโมโกลบิน ส่งผลให้เม็ดเลือดแดงขาดออกซิเจน ไม่สามารถนำพาออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆของร่างกายได้เพียงพอ ในที่สุดก็นำไปสู่การเสียชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยมีการสร้างอาคารในลักษณะเป็นอาคารสูงเพิ่มมากขึ้น หากเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารสูงแล้วจะยังมีโอกาสและความรุนแรงของการเกิดความสูญเสียได้มากขึ้นกว่าพื้นที่ลักษณะอื่น สิ่งสำคัญประการหนึ่งของการออกแบบอาคารคือจะต้องมีระบบควบคุมคิวไฟ ซึ่งการควบคุมการแพร่กระจายของคิวไฟสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการจำกัดบริเวณ การทำให้เจือจาง การใช้อากาศผลักดัน การสร้างความดันอากาศ หรือการปล่อยให้ลอยตัว การออกแบบระบบควบคุมคิวไฟที่ถูกต้องและมีความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะการควบคุมคิวไฟไม่ให้เข้าไปสู่ช่องทางที่ใช้อพยพหนีไฟ เช่นบันไดหนีไฟ และลิฟต์ดับเพลิง จะช่วยการอพยพหนีไฟความปลอดภัยมากขึ้น และทำให้เจ้าหน้าที่ดับเพลิงเข้าถึงต้นเพลิงได้อย่างรวดเร็วและทำการดับเพลิงได้ปลอดภัยมากขึ้น

การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการหาการออกแบบระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟที่เหมาะสม เพื่อเป็นการปรับปรุงออกแบบการควบคุมคิวไฟในช่องบันไดหนีไฟของอาคารสูงกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ให้ถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร ซึ่งการออกแบบค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟ นับว่าเป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับการควบคุมคิวไฟในบันไดหนีไฟโดยใช้ระบบอัดอากาศ เนื่องจากค่าของความดันที่เกิดขึ้นจะเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าสามารถที่จะต้านทานไม่ให้คิวไฟเคลื่อนที่เข้าไปในช่องบันไดหนีไฟได้หรือไม่ ถ้าความแตกต่างของความดันน้อยเกินไปคิวไฟก็จะสามารถไหลเข้าไปในช่องบันไดหนีไฟได้แต่หากค่าความดันสูงมากเกินไปก็จะทำให้ผู้อพยพไม่สามารถที่จะเปิดประตูหนีไฟออกไปได้เช่นกัน มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟ มีดังนี้

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4407 (พ.ศ. 2555) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 6 ระบบอัดอากาศเพื่อควบคุมคิวไฟ กำหนดให้อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตร ขึ้นไป หากมีระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟหรือโถงลิฟต์ดับเพลิง จะต้องมีการติดตั้งประตูซึ่งมีอุปกรณ์ดึงประตูกลับด้วยตัวเอง (door-closer) และแรงที่ใช้ผลักเปิดประตูต้องไม่เกิน 133 N

- กรณีประตูบันไดหนีไฟปิดหมดทุกบานความดันแตกต่างสูงสุดที่ตกร่วมประตูต้องไม่เกินค่าตามตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าค่าความดันแตกต่างสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับแรงของ door-closer และขนาดความกว้างของบานประตูด้วย ส่วนค่าความดันแตกต่างต่ำสุดที่ตกร่วมประตูในทุกกรณีจะต้องไม่น้อยกว่า 38 Pa

- กรณีที่มีประตูบันไดหนีไฟเปิดค้าง ค่าความดันแตกต่างสูงสุดที่ออกแบบได้ใช้หลักเกณฑ์เดียวกันกับกรณีประตูปิด และในชั้นที่ติดกับชั้นที่ประตูหนีไฟเปิดค้างต้องมีความดันแตกต่างต่ำสุดไม่น้อยกว่า 12.5 Pa ส่วนชั้นอื่นต้องมีความดันแตกต่างตามตารางที่ 1

ตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) กำหนดให้บันไดหนีไฟและโถงลิฟต์ดับเพลิงต้องมีการอัดอากาศที่มีความดันลมระหว่าง 38.6 - 90 Pa สำหรับประตูบานกว้าง 90 cm เพื่อให้แรงผลักประตูไม่เกิน 133 N

**ตารางที่ 1** ค่าความแตกต่างของความดันสูงสุดระหว่างประตู

แรงจากอุปกรณ์ดึงประตู ปิดกลับด้วยตัวเอง (N)	ความดันแตกต่างสูงสุดตกร่วมประตูที่ความกว้างของประตู (Pa)				
	0.8 m	0.9 m	1.0 m	1.1 m	1.2 m
26.4	112	100	92	85	77
35.2	102	92	85	77	70
44.0	92	85	75	70	65
52.8	85	75	67	62	57
61.6	75	67	60	55	52

ตามมาตรฐาน NFPA 101 กล่าวไว้ว่าแรงที่ต้องการสำหรับเปิดประตูทางหนีไฟจะต้องไม่มากกว่า 133 N สำหรับประตูซึ่งมีบานพับอยู่ด้านข้าง มีลูกบิดเพียงลูกเดียว มีความสูงของประตู 2.13 m และค่าความแตกต่างของความดันตกร่วมประตูแสดงในตารางที่ 2 และ NFPA 92A ได้แนะนำค่าความแตกต่างของความดันต่ำสุดสำหรับชั้นที่อยู่ติดกันของอาคารแบบที่มีระบบหัวโปรยน้ำ Sprinkler system (AS) คือ 12.4 Pa และสำหรับอาคารแบบที่ไม่มีระบบหัวโปรยน้ำ (NS) มีค่าได้ถึง 44.8 Pa ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของระดับเพดานในแต่ละชั้นด้วย

**ตารางที่ 2** ค่าความแตกต่างของความดันสูงสุดที่ตกร่วมประตูที่ยอมรับได้

แรงจากอุปกรณ์ดึงประตู ปิดกลับด้วยตัวเอง (N)	ความดันแตกต่างสูงสุดตกร่วมประตูที่ความกว้างของประตู (Pa)				
	0.813 m	0.914 m	1.02 m	1.12 m	1.17 m
26.7	122	99.5	92.1	84.6	77.1
35.6	102	92.1	84.5	77.1	69.7
44.5	92.1	84.5	74.6	69.7	64.7
53.4	84.5	74.6	67.2	62.2	57.2
62.3	74.6	67.2	59.7	45.7	52.2

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ใช้ประตูหนีไฟตามมาตรฐาน มอก. 2541 เล่ม 2 โดยมีแรงจาก door-closer เท่ากับ 35 N ความกว้างของประตู 0.9 m ความสูง 2.0 m จากการพิจารณาตามมาตรฐานเรื่องการออกแบบค่าความแตกต่างของ

ความดันที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นในกรณีที่ประตูหนีไฟปิดทุกประตู ผู้วิจัยจึงออกแบบค่าความดันแตกต่างสูงสุดที่ 90 Pa และ ค่าความดันแตกต่างต่ำสุดที่ 38.6 Pa ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตามที่ 3 มาตรฐานที่กล่าวไว้ข้างต้น กำหนด และนอกจากสถานการณ์ที่ประตูหนีไฟปิดทุกประตูแล้ว ในการออกแบบระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟยังต้องคำนึงถึงสถานการณ์ที่จะทำให้ระดับค่าความแตกต่างของความดันตกรวมประตูลดลงอย่างมาก เช่นการเปิดประตูหนีไฟค้างไว้ด้วย ดังนั้นในกรณีที่ประตูของบันไดหนีไฟเปิดค้าง ผู้วิจัยออกแบบค่าความดันแตกต่างสูงสุดที่ 90 Pa และ ค่าความดันแตกต่างต่ำสุดในขั้นที่ติดกันกับขั้นที่ประตูเปิดค้างคือ 12.5 Pa

การสร้างความดันในช่องบันไดหนีไฟทำได้โดยการอัดอากาศให้กับช่องบันไดหนีไฟให้เหมาะสม สำหรับอาคารขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน การคำนวณหาค่าอัตราการไหลของอากาศที่จะอัดเข้าบันไดหนีไฟ หรือโถงลิฟต์ให้สามารถสร้างความแตกต่างของความดันได้ตามค่าที่ออกแบบไว้ นั้น ในความเป็นจริงทำได้ยากมาก เพราะมีความต่อเนื่องกันของสมการการไหลหลายๆสมการ หากแบ่งพื้นที่ของอาคารต่างๆ เช่น ทางเดิน สำนักงาน ห้องต่างๆ บันไดหนีไฟ ช่องเปิด หน้าต่าง ประตู เป็น Node การไหลของมวลในช่องทางการไหลระหว่าง Node แสดงได้ตั้งสมการ  $m_{ij} = f_{ij}(\Delta p_{ij})$  เมื่อ  $m_{ij}$  คือ การไหลของมวลจาก node i ถึง node j  $f_{ij}$  คือ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของช่องทางการไหล จาก node i ถึง node j  $\Delta p_{ij}$  คือ ค่าความแตกต่างของความดันจาก node i ถึง node j ซึ่งค่าฟังก์ชันความสัมพันธ์ของช่องทางการไหลความสัมพันธ์ที่ถูกนำมาใช้ส่วนใหญ่คือความสัมพันธ์แบบสมการออริฟิซ

การแก้สมการนี้เป็นการหาคำตอบจากการแก้สมการต่อเนื่อง ต้องใช้เวลามาก และอาจเกิดความผิดพลาดในการแก้สมการได้ง่าย การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการแก้สมการเหล่านี้ในการวิจัยครั้งนี้เลือกโปรแกรม CONTAM เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งโปรแกรม CONTAM นั้นเป็น Network Model ที่ถูกสร้างและพัฒนาโดยหน่วยงาน National Institute of Standards and Technology (NIST) ของสหรัฐอเมริกา สามารถดาวน์โหลดมาใช้จากเว็บไซต์ [www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis](http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis) ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ระบบคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยแบบจำลอง CONTAM นี้จะสามารถจำลองการไหลของสิ่งปนเปื้อนในอากาศ ตลอดจนการไหลของอากาศภายในอาคาร ที่สำคัญโปรแกรมนี้นี้ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ในเรื่องของการจัดการควันไฟได้อีกด้วย

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

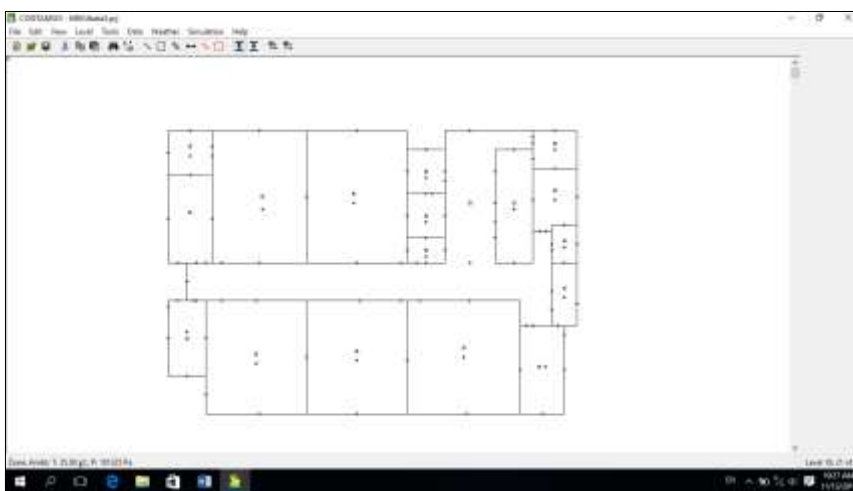
1. ประยุกต์ใช้โปรแกรม CONTAM ในการจำลองระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟของอาคารสูง 19 ชั้น
2. ใช้โปรแกรม CONTAM ในการปรับปรุงการออกแบบระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟของอาคารสูง 19 ชั้น

### วิธีดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลแผนผังโครงสร้างอาคารสูง 19 ชั้น
2. ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของควันไฟในอาคารสูง 19 ชั้น โดยใช้โปรแกรม CONTAM ซึ่งในการวิจัยได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของควันไฟในช่องทางหนีไฟ และช่องทางผจญเพลิงของอาคารสูง ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้สำหรับการเรียนการสอนจำนวน 19 ชั้น ประกอบไปด้วยลานจอดรถ ห้องเรียน ห้องพักอาจารย์ ห้องประชุม ห้องทดลองปฏิบัติการ และห้องเอนกประสงค์อื่นๆ โดยช่องทางที่นำมาศึกษาวิเคราะห์พิจารณาจากการเป็นบริเวณที่มีความสำคัญต่อการอพยพหนีไฟ และการผจญเพลิง มีลักษณะเป็นช่องเปิดหรือบริเวณที่เชื่อมต่อกับช่องเปิดที่ควันนั้นสามารถที่จะเคลื่อนที่เข้าไปได้ ซึ่งช่องทางในอาคารที่ทำการศึกษานี้มี 4 ช่องทาง ได้แก่ บันไดหนีไฟ 1 บันไดหนีไฟ 2 โถงลิฟต์ดับเพลิง และปล่องลิฟต์ดับเพลิง เนื่องจากควันไฟนั้นจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นไปตามทิศทางการเคลื่อนที่

ของอากาศภายในช่องเปิด จึงสามารถใช้การเคลื่อนที่ของอากาศอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของควันไฟในอาคารได้ และเนื่องมาจากการคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศในอาคารมีความซับซ้อนมาก ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของควันไฟในช่องทางต่างๆด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งให้ผลที่รวดเร็วและลดความผิดพลาดจากการคำนวณมือได้ ซึ่งโปรแกรมที่นำมาใช้สำหรับการวิจัยครั้งนี้คือโปรแกรม CONTAM โดยผู้วิจัยจะใช้โปรแกรมคำนวณค่าความแตกต่างของความดัน และการไหลของอากาศ เพื่อนำไปวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศในช่องทางทั้ง 4 ช่องทาง รายละเอียดวิธีการใช้งานโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของควันมีดังนี้

2.1. วาดแบบอาคารที่ต้องการศึกษาการเคลื่อนที่ของควัน ชั้นที่ 1, P2, 2, 3, 4, P5-4, P6-4, P7-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, ชั้นดาดฟ้า และหลังคาลงในโปรแกรม CONTAM โดยการวาดห้องแต่ละห้องนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องมีส่วนเทียบเท่ากับขนาดจริง แต่จะต้องมีลักษณะการวางตำแหน่งด้านของผนังห้องที่ติดกันเป็นตามแบบจริง เพื่อที่จะระบุตำแหน่งของ flow path ได้เหมือนจริง



ภาพที่ 1 ลักษณะการวาดห้องภายในอาคารลงในโปรแกรม CONTAM

2.2 กำหนดชื่อของแต่ละชั้น (level) และระบุความสูงของแต่ละชั้นตามแบบจริงโดยการใส่ข้อมูลลงในหน้าต่างคำสั่ง Level Data ที่ช่อง Elevation และกำหนดหน่วยของความสูง

2.3 กำหนด Zone ของแต่ละพื้นที่ในทุกๆพื้นที่ที่มีการกั้นแยกด้วยผนัง (wall) โดยจะต้องตั้งชื่อ Zone ระบุพื้นที่ ปริมาตร อุณหภูมิ ความดัน ตามข้อมูลในแบบของอาคาร โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารคือ 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในอาคารคือ 30 องศาเซลเซียส ความดันกำหนดให้เป็นแบบ Variable เนื่องจากมีความแปรผันได้ตามผลกระทบของปัจจัยแวดล้อม

2.4 ระบุตำแหน่งและข้อมูลของช่องทางการไหล (Flow Path) ในทุก Zone โดยใช้คำสั่ง Flow Path หลังจากนั้นให้เลือกรูปแบบฟังก์ชันการไหล (Type) ในการวิจัยนี้เลือกแบบ One-way flow using power law เลือกสูตรการไหล (Formula) ที่เหมาะสมกับลักษณะของช่องทางการไหลนั้นๆ ในการวิจัยนี้สำหรับช่องทางการรั่วไหลที่ประตูจะใช้สูตรการไหล แบบ Orifice Area Data ช่องทางการรั่วไหลเช่น รอย crack ที่ผนังและพื้น จะเลือกเป็นแบบ leakage area data ที่ช่องบันไดเลือกเป็นแบบ stairwell description และที่ปล่องลิฟต์เลือกแบบ shaft description ตั้งชื่อ Flow Path ระบุรายละเอียดของตัวแปรต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการจำลองโดยโปรแกรม ได้แก่

- cross-sectional area คือ พื้นที่หน้าตัดของรูรั่วหรือช่องทางการไหล ได้แก่พื้นที่หน้าตัดของช่องบันไดหนีไฟ ปล่องลิฟต์ และพื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดหรือรูรั่วที่ประตู ในกรณีประตูปิดค่านี้คือค่าพื้นที่ช่องว่างรอบประตูปิด และในกรณีประตูเปิดค่านี้คือค่าพื้นที่ของบานประตู ซึ่งได้มาจากการสังเกตหรือการวัดพื้นที่จริง

- hydraulic diameter มีค่าเท่ากับ 4 ไปด้วยพื้นที่ของรูรั่ว ทหารความยาวของเส้นรอบรูป แต่ในรูรั่วที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสค่า hydraulic diameter จะเท่ากับ รากที่สองของพื้นที่รูรั่ว และในรูรั่วที่มีลักษณะเป็นรอยแตกแคบๆและยาวขึ้นไปในแนวตั้ง ค่า hydraulic diameter จะมีค่าเท่ากับสองเท่าของความกว้างของรูรั่วนั้น เนื่องจากค่า hydraulic diameter มีผลกระทบต่อการคำนวณ ค่าแนะนำของโปรแกรมจึงให้ใช้ค่า default ที่ได้จากการที่โปรแกรมคำนวณจากการใส่ข้อมูลค่าพื้นที่หน้าตัดของรูรั่ว

- transition Reynolds number คือ ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ซึ่งเป็นค่าบอกลักษณะการไหลของของไหล ในการวิจัยนี้พิจารณาว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบ และเนื่องจากค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีผลกระทบต่อการคำนวณ ค่าแนะนำของการใช้โปรแกรมจึงให้ใช้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เท่ากับ 30 ซึ่งเป็นค่า default ของโปรแกรม

- discharge coefficient คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (Flow coefficient) หรือค่า C ของพื้นที่การรั่วไหลที่ระดับค่าความแตกต่างของความดันอ้างอิง ในการวิจัยนี้ ในการไหลผ่านช่องว่างหรือรูรั่วที่พื้น และ ผัง เลือกค่า C = 0.65 การไหลผ่านช่องว่างรอบประตูปิด เลือกค่า C = 0.65 การไหลผ่านประตูเปิด เลือกค่า C = 0.35 ตามคำแนะนำในหนังสือ Principles of Smoke Management (Klote & Milke, 2002)

**ตารางที่ 3** พื้นที่การรั่วไหลของผนัง และพื้นของอาคาร ที่มีค่า C=0.65

Constructions Element	Tightness	Area Ratio $A/A_w$
Exterior Building Walls (includes construction cracks, cracks around windows and doors)	Tight	$0.50 \times 10^{-4}$
	Average	$0.17 \times 10^{-3}$
	Loose	$0.35 \times 10^{-3}$
	Very Loose	$0.12 \times 10^{-2}$
Stairwell Walls (includes construction cracks but not cracks around window or doors)	Tight	$0.14 \times 10^{-4}$
	Average	$0.11 \times 10^{-3}$
	Loose	$0.35 \times 10^{-3}$
Elevator Shaft Walls (includes construction cracks but not cracks around doors)	Tight	$0.18 \times 10^{-3}$
	Average	$0.84 \times 10^{-3}$
	Loose	$0.18 \times 10^{-2}$
		$A/A_f$
Floors (includes construction cracks and gaps around penetrations)	Tight	$0.66 \times 10^{-5}$
	Average	$0.52 \times 10^{-4}$
	Loose	$0.17 \times 10^{-3}$

A คือพื้นที่การไหล  $A_w$  คือ พื้นที่ผนัง และ  $A_f$  คือ พื้นที่ชั้นพื้น

- Flow exponent คือ ค่าที่ต้องประมาณให้กับโปรแกรม โดยพิจารณาจากลักษณะของรูรั่วหรือช่องทางการรั่วไหลแต่ละช่อง โดยใช้ค่า Flow exponent เท่ากับ 0.5 ที่ช่องทางการรั่วไหลที่มีขนาดใหญ่ ใช้ค่า Flow exponent

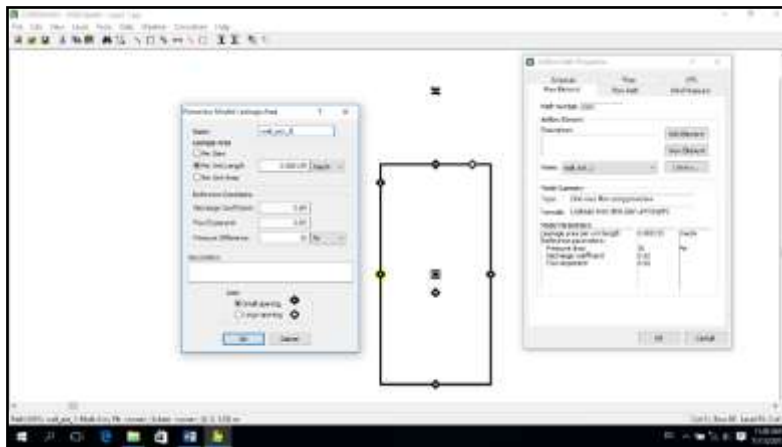
เท่ากับ 1.0 ที่ช่องทางการรั่วไหลแคบ และ ใช้ค่า Flow exponent เท่ากับ 0.6-0.7 สำหรับช่องทางการรั่วไหลแบบ รั่วซึม (infiltration) สำหรับการไหลในบันไดหนีไฟ ใช้ค่า Flow exponent เท่ากับ 0.5

- Leakage area คือ พื้นที่การรั่วไหล ใช้ค่าตามคำแนะนำในหนังสือ Principles of Smoke Management (Klote & Milke, 2002) ดังมีรายละเอียดดังตารางที่ 3

- Type of stair treads คือ ชนิดของชั้นบันได ซึ่งมี 2 แบบ ได้แก่ ชั้นบันไดที่ด้านหน้าเปิด (Opened) และ ชั้นบันไดที่ด้านหน้าปิด (Closed)

- Perimeter คือ ความยาวของเส้นรอบรูปของรูรั่วหรือช่องทางการไหล

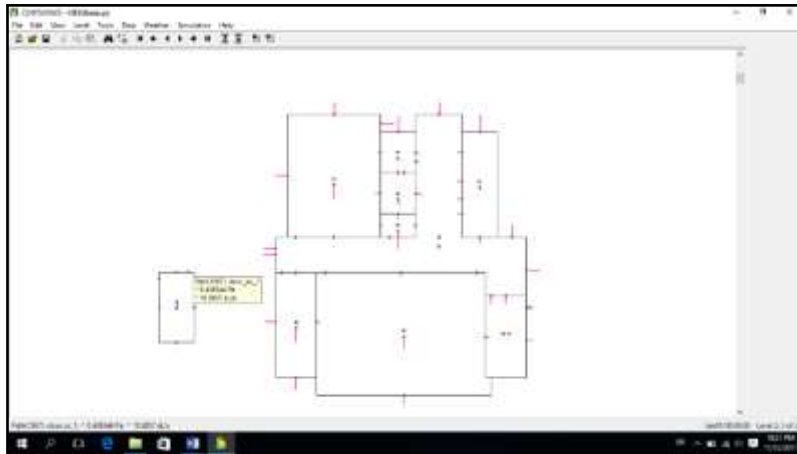
เลือกไอคอนของสัญลักษณ์ Flow Path ว่าเป็นแบบช่องเปิดขนาดเล็ก (small opening) เช่นรอยแยก หรือ ช่องว่างระหว่างขอบประตู หรือเป็นแบบช่องเปิดขนาดใหญ่ (large opening) เช่นประตู ช่องระบายอากาศขนาดใหญ่ เป็นต้น



ภาพที่ 2 หน้าต่างสำหรับการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆสำหรับ flow path

2.5 หากมีอุปกรณ์ในวิธีทางกลอื่นๆที่มีผลต่อการไหลของอากาศ เช่น พัดลมอัดอากาศ พัดลมดูดอากาศ หรือแผ่นกั้นลมต่างๆ ก็ให้ระบุลงไปแบบที่วาดในโปรแกรม CONTAM ด้วย ตามคำแนะนำการใช้งานโปรแกรม CONTAM

2.6 เมื่อกำหนดข้อมูลตามแบบอาคารลงในโปรแกรมเรียบร้อยแล้วสั่งให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศ โดยใช้คำสั่ง Simulation เลือก Run simulation แล้วเลือก Start simulation จะได้ผลของการวิเคราะห์ที่แสดงตัวอย่างในรูป ผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของควันก็คือค่าความแตกต่างของความดัน และการไหลของอากาศ



ภาพที่ 3 ลักษณะของผลการ simulation ด้วยโปรแกรม CONTAM

ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของควันไฟในช่องบันไดหนีไฟ 1 ช่องบันไดหนีไฟ 2 โถงลิฟต์ดับเพลิง และปล่องลิฟต์ดับเพลิง ตามข้อมูลการออกแบบจริง เพื่อทราบลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นทำการจำลองการอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟ จนสามารถสร้างค่าความแตกต่างของความดันได้ตามที่ออกแบบไว้เพื่อควบคุมควันไฟในช่องทางหนีไฟของอาคารให้มีความปลอดภัยต่อการอพยพหนีไฟได้ โดยจำลองการอัดอากาศในสถานการณ์ที่ทุกประตูหนีไฟปิด และในสถานการณ์เลวร้ายที่สุด (worst case) ที่มีประตูหนีไฟในบางชั้นเปิดค้างไว้ด้วย

3. สรุปผลที่ได้จากการศึกษาการจำลองระบบอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟในสถานการณ์ต่างๆ เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ให้เกิดปลอดภัย

#### ผลการวิจัย

##### การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศในช่องบันไดหนีไฟในสถานการณ์ที่ทุกประตูปิด

จากการวิเคราะห์พบว่าอาคารที่ใช้ทำการศึกษา มีค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟ 1 บันไดหนีไฟ 2 โถงลิฟต์ดับเพลิง และปล่องลิฟต์ดับเพลิง ต่ำมาก ซึ่งค่าสูงสุดที่พบอยู่ที่บันไดหนีไฟ 1 ชั้น 18 มีค่าเท่ากับ 2.66 Pa ในกรณีนี้ค่าความแตกต่างของความดันที่ตกรวมประตูหนีไฟจะไม่สามารถต้านทานการไหลของควันไฟเข้าไปได้ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้อพยพหนีไฟ และนักผจญเพลิงเมื่อใช้ช่องทางเหล่านี้ขณะเกิดเหตุเพลิงไหม้

เมื่อทำการปรับปรุงการออกแบบช่องทางหนีไฟด้วยการจำลองว่ามีระบบอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟ พบว่าการออกแบบที่ทำให้ค่าความแตกต่างของความดันในทุกช่องทางไหลที่ทำการวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วงค่าแนะนำคือ 38.6 – 90 Pa ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของความดันที่สามารถต้านทานไม่ให้ควันไหลเข้ามาในช่องทางอพยพ และผู้อพยพยังสามารถเปิดประตูออกไปสู่ภายนอกอาคารได้อย่างปลอดภัย คือ การปิดล้อมช่องบันไดหนีไฟ 1 และ 2 ปิด Top vent ที่ปล่องลิฟต์ ติดพัดลมอัดอากาศ และติด barometric damper ซึ่งมีรายละเอียดตำแหน่ง และอัตราการไหลของอากาศ ดังตารางที่ 4



**ตารางที่ 4** อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าในชั้นต่างๆของอาคาร

ชั้น	อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าในชั้นต่างๆ (l/s)			
	บันไดหนีไฟ 1	บันไดหนีไฟ 2	โถงลิฟต์ดับเพลิง	ปล่องลิฟต์ดับเพลิง
P5-4	2,000	3,000	-	1,200
7	2,000	2,500	-	1,200
10	2,000	2,500	-	1,200
13	2,000	2,500	-	1,200
16	2,000	2,500	-	1,200
19	2,000	2,000	-	1,200
รวม	12,000	15,000	-	7,200

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศในช่องบันไดหนีไฟในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด (worst case) ที่มีประตูหนีไฟเปิดค้างไว้ในบางชั้น

จากการออกแบบระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟตามตารางที่ 2 เมื่อตั้งสมมติฐานสถานการณ์เลวร้ายที่สุด (worst case) ให้มีเหตุการณ์เพลิงไหม้แล้วผู้ใช้อาคารอพยพออกจากอาคารโดยบันไดหนีไฟ 1 และบันไดหนีไฟ 2 ซึ่งมีการเปิดประตูทิ้งไว้ที่ชั้นล่างสุด และชั้นจอตลอด P7-4 ของบันไดหนีไฟ 1 และบันไดหนีไฟ 2 ส่วนที่โถงลิฟต์ดับเพลิงมีประตูเปิดในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 9 พบว่าค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟ 1 มีค่าต่ำกว่า 38.6 Pa เกือบทุกชั้นยกเว้นในชั้น 7 และชั้นดาดฟ้า และค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟ 2 มีค่าต่ำกว่า 38.6 Pa เกือบทุกชั้นยกเว้นในชั้น P5-4 , P6-4 , 5 และชั้นดาดฟ้า ซึ่งจะทำให้ควันสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในช่องบันไดหนีไฟ 1 และ 2 ได้

เมื่อทำการปรับปรุงการออกแบบระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟใหม่ พบว่าการปรับปรุงที่ทำให้ค่าความแตกต่างของความดันในทุกช่องทางการไหลที่ทำการวิเคราะห์ยกเว้นในชั้นที่ประตูเปิด มีค่าอยู่ในช่วง 38.6 – 90 Pa และมีค่าไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa ในชั้นที่ติดกันกับชั้นที่มีประตูเปิดค้างไว้ ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของความดันที่สามารถต้านทานไม่ให้ควันไหลเข้ามาในช่องทางอพยพ และผู้อพยพยังสามารถเปิดประตูออกไปสู่ภายนอกอาคารได้อย่างปลอดภัย คือการปรับเพิ่มอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าในชั้นต่างๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าในชั้นต่างๆของอาคาร

ชั้น	อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าในชั้นต่างๆ (l/s)			
	บันไดหนีไฟ 1	บันไดหนีไฟ 2	โถงลิฟต์ดับเพลิง	ปล่องลิฟต์ดับเพลิง
P2	3,000	4,000	-	N/A
P5-4	4,000	4,000	-	1,200
7	3,000	3,500	-	1,200
10	3,000	3,500	-	1,200
13	3,000	3,000	-	1,200
16	2,000	3,500	-	1,200
19	2,000	2,400	-	1,200
รวม	20,000	23,900	-	7,200

## อภิปรายผล

การใช้โปรแกรม CONTAM ในการจำลองระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟ เป็นวิธีที่สะดวก และให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว แม้จะมีการปรับปรุงการออกแบบของระบบหลายครั้ง ก็สามารถที่จะตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างของความดันได้ในทุกๆ ขั้นตอนของการปรับปรุงการออกแบบด้วยระยะเวลาอันสั้น

จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อใช้โปรแกรม CONTAM ในการจำลองการเคลื่อนที่ของควันในอาคารสูงในสถานการณ์ที่ไม่มีวิธีทางกลในการควบคุมควันในบันไดหนีไฟที่อยู่ภายในอาคาร มีแต่วิธีธรรมชาติโดยช่องระบายอากาศที่มีพื้นที่อย่างน้อย  $1.4 \text{ m}^2$  ไม่สามารถที่จะป้องกันให้ควันเคลื่อนเข้าสู่ช่องบันไดหนีไฟได้ เนื่องจากค่าความแตกต่างของความดันสูงสุดมีค่าเพียง 2.66 Pa และทิศทางการเคลื่อนที่ของควันนั้นมีลักษณะเคลื่อนเข้าในช่องบันไดหนีไฟด้วยอิทธิพลของค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร ตามทฤษฎี Stack effect (Klote & Milke, 2002)

เมื่อทำการจำลองการเคลื่อนที่ของควันในสถานการณ์ที่มีวิธีทางกลโดยระบบอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟ และลิฟต์ดับเพลิง พบว่าค่าความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นสามารถต้านการไหลของควันเข้าสู่ช่องบันไดหนีไฟและลิฟต์ดับเพลิงได้ ซึ่งยังพบอีกว่าเมื่อมีการกำหนดสถานการณ์ให้มีการปิดประตูของบันไดหนีไฟทุกประตู ค่าอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบอัดอากาศที่สามารถสร้างระดับความดันในช่องบันไดหนีไฟและลิฟต์ดับเพลิงให้อยู่ในช่วง 38.6 – 90 Pa ซึ่งเป็นค่าการออกแบบที่ปลอดภัย นั้นมีค่าน้อยกว่า อัตราการไหลของอากาศที่ต้องจ่ายเข้าสู่ระบบอัดอากาศในสถานการณ์ที่มีการเปิดประตูบันไดหนีไฟค้างไว้เพื่อให้มีค่าความแตกต่างของความดันในช่วง 38.6 – 90 Pa และมีค่าไม่ต่ำกว่า 12.5 Pa ในชั้นที่ติดกันกับชั้นที่มีประตูเปิดค้างไว้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ธนาชัย (2555) ที่ศึกษาการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในอาคาร 16 ชั้น พบว่าเมื่อจำนวนประตูหนีไฟเปิดเพิ่มมากขึ้นขนาดพัดลมที่ต้องการเพื่อใช้อัดอากาศเข้าสู่บันไดหนีไฟจะยิ่งสูงขึ้น จนกระทั่งเมื่อมีประตูบันไดหนีไฟในชั้นที่เปิดค้างจำนวน 11 ชั้น ขนาดพัดลมของอาคารที่มีอยู่จะไม่สามารถรักษาความดันในบันไดหนีไฟได้

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ในการออกแบบค่าความแตกต่างของความดันในช่องบันไดหนีไฟ และโถงลิฟต์ดับเพลิง ควรคำนึงถึงปัจจัยที่ทำให้ค่าความแตกต่างของความดันที่ออกแบบไว้ลดลงอย่างมาก จนมีผลให้ควันสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องทางหนีไฟได้ เช่นกรณีที่มีการเปิดประตูหนีไฟทิ้งไว้ที่ชั้นต่างๆ ดังนั้นในการใช้โปรแกรม CONTAM จำลองระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟ จะต้องพิจารณาถึงจำนวนประตูที่อาจเปิดค้างไว้ด้วย

(2) ในการออกแบบระบบอัดอากาศในบันไดหนีไฟต้องคำนึงถึงการรักษาระดับความดันในช่องบันไดหนีไฟไว้ให้ได้เมื่อมีจำนวนประตูเปิดออกมากที่สุดตามการออกแบบ ซึ่งทางปฏิบัติทำได้ยาก ดังนั้นจะต้องจำกัดจำนวนประตูที่อนุญาตให้เปิดค้าง ซึ่งมักจะกำหนดให้เปิดค้างได้เพียงประตูเดียวที่ชั้นซึ่งเปิดออกนอกอาคารไปยังพื้นที่ปลอดภัย โดยจะต้องบริหารจัดการด้านความปลอดภัยในการอพยพหนีไฟด้วยการกำหนดวิธีการในแผนและการซ้อมอพยพหนีไฟให้ผู้อพยพหนีไฟออกมาชั้นล่างสุดของอาคารที่จะออกสู่พื้นที่ปลอดภัยได้ และให้ความรู้กับผู้ใช้อาคารเกี่ยวกับผลกระทบของการเปิดประตูหนีไฟทิ้งไว้ ถ้าหากเกิดเหตุเพลิงไหม้จะไม่สามารถควบคุมความดันในช่องบันไดหนีไฟให้ต้านทานการไหลของควันไฟเข้าสู่ช่องบันไดหนีไฟได้

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ควรนำปัจจัยเรื่อง wind effect หรือผลกระทบจากแรงลมมาพิจารณาในการออกแบบระบบควบคุมควันในอาคารด้วย
- (2) ในการวิจัยนี้ไม่ได้ออกแบบระบบท่อจ่ายอากาศให้กับห้องบันไดหนีไฟ ทำแต่เพียงหาค่าอัตราการไหลของอากาศที่ชั้นต่างๆของอาคารเท่านั้น ควรพิจารณาถึงเรื่องความสูญเสียความดันในระบบท่อจ่ายอากาศร่วมด้วยเพื่อที่จะสามารถหาขนาดของพัดลมที่เหมาะสมในการควบคุมควันไฟในห้องบันไดหนีไฟ
- (3) ควรพิจารณาเรื่องต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ ในการที่จะออกแบบระบบควบคุมควันไฟให้ได้ผลดีและประหยัดงบในการลงทุนและบำรุงรักษา

### เอกสารอ้างอิง

- คณะอนุกรรมการมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล. (2559). **มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ**. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา. (2546). การออกแบบระบบอัดอากาศห้องบันไดหนีไฟ. บทความวิชาการ, 4(4), 58-87. สืบค้นจาก [http://www.acat.or.th/download/acat\\_or\\_th/journal-4/04%20-%2004.pdf](http://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-4/04%20-%2004.pdf)
- ธนาชัย จงสมชัย และ พิชัย กฤษไมตรี. (2555). โปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคาร [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]. วิศวกรรมสาร มก., 25(79), 65-71.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). ข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 2 ประตุนไฟและชุดแผ่นปรับลมสำหรับช่องเปิด. มอก.2541 เล่ม 2 – 2555.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2555). ข้อกำหนดในการป้องกันอัคคีภัย เล่ม 6 ระบบอัดอากาศเพื่อควบคุมควันไฟ. มอก.2541 เล่ม 6 – 2555.
- John H. Klote and James A. Milke. (2002). **Principles of Smoke Management**. [n.p.].
- NFPA. (2000). **Recommended Practice for Smoke Control System, NFPA 92A**, Massachusetts: National Fire Protection Association.
- NFPA. (2000). **NFPA 101 Life Safety Codes**, Massachusetts: National Fire Protection Association.