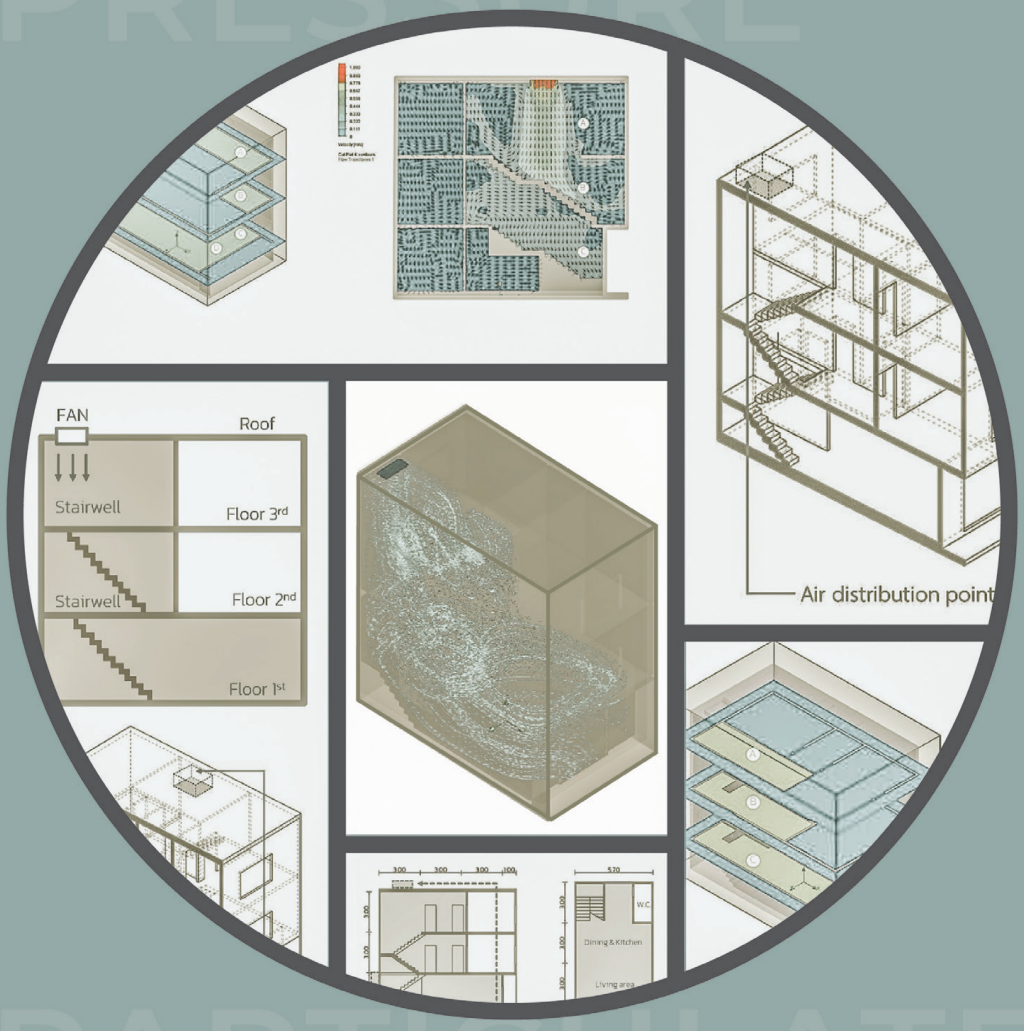
POSITIVE PRESSURE



PARTICULATE MATTER

การศึกษาผลจากการจ่ายลมในโถงบันไดของทาวน์เฮาส์ด้วยระบบอัดอากาศแบบจุดเดียวเพื่อป้องกันฝุ่นละออง

A study on the air distribution effect in the stairwell of a townhouse using single-injection air-pressurized system to prevent particulate matter

จุฑามาศ พุทธา[1] และ ยุทธนา ทองท้วม[2]
Chuthamat Puttha[1] and Yuttana Tongtuam[2]

Received: 2023-05-12 **Revised:** 2023-10-05 **Accepted:** 2023-10-19

บทคัดย่อ

จากปัญหาฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนของประเทศไทยมีค่าเกินกว่ามาตรฐานถึง 3.6 เท่าของค่าแนวทางคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก นำมาซึ่งแนวทางป้องกันฝุ่นละอองโดยการทำให้พื้นที่ภายในอาคารเป็นพื้นที่ปลอดฝุ่นด้วยระบบห้องความดันบวกพร้อมระบบฟอกอากาศ โดยบ้านพักอาศัยประเภททาวน์เฮาส์มีลักษณะของพื้นที่โล่งระหว่างชั้นของโถงบันไดเชื่อมต่อกัน เป็นลักษณะที่สามารถนำหลักการของระบบอัดอากาศของบันไดหนีไฟมาประยุกต์ใช้ได้ ซึ่งรูปแบบทาวน์เฮาส์ทั่วไปจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน คือ ลักษณะและตำแหน่งโถงบันได เมื่อจำลองการจ่ายลมแบบจุดเดียวในกรณีจ่ายลมที่ด้านบนและด้านล่างอาคารโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation พบว่า จุดจ่ายลมไม่ค่อยมีผลต่อสภาวะความดันโดยรวม แต่มีผลต่อทิศทางการไหลของอากาศ ซึ่งการจ่ายลมด้านบนสามารถทำให้อากาศไหลได้ทั่วถึงกว่าด้านล่าง และรูปแบบลักษณะของโถงบันไดส่งผลต่อความดันที่เกิดขึ้น โดยรูปแบบที่ 1 ลักษณะบันไดเป็นแนวตรงเยื้องมาทางด้านหน้าอาคารกับรูปแบบที่ 3 ลักษณะบันไดเป็นตัวยูอยู่บริเวณด้านหลังของอาคาร มีค่าความดันแตกต่างเฉลี่ยตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ 46.85 Pa และ 63.05 Pa (กรณีจ่ายลมที่ด้านบนอาคาร) ตามลำดับ แต่รูปแบบที่ 2 ลักษณะโถงบันไดเป็นช่องโล่งอยู่บริเวณตรงกลางอาคาร จะมีค่าความดันแตกต่างเกินกว่าเกณฑ์ คือ 111.32 Pa แต่เนื่องจากรูปแบบทาวน์เฮาส์ทั่วไปไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้

[1] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
(Faculty of Architecture, Chiang Mai University)
ผู้เขียนหลัก (corresponding author) E-mail: chuthamat.ptn@gmail.com

[2] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
(Faculty of Architecture, Chiang Mai University,

หลักการนี้โดยเฉพาะ ทำให้ยังมีปัญหาในเรื่องของทิศทางการไหลของกระแสอากาศที่ไปได้ไม่ทั่วถึงและการควบคุมสภาวะความดันที่เหมาะสม

คำสำคัญ: โถงบันไดทาวน์เฮาส์ ฝุ่นละออง ระบบอัดอากาศแบบจุดเดียว SOLIDWORKS flow simulation

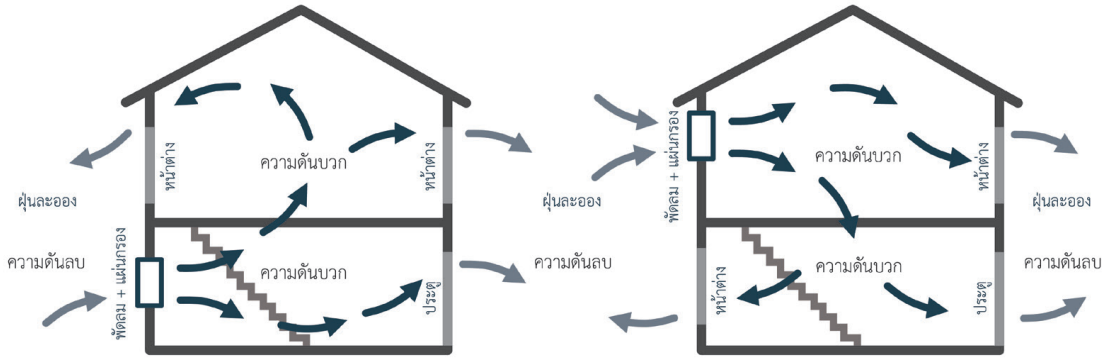
Abstract

Due to the problem of particulate matter with diameter of less than 2.5 micron in Thailand, the values exceed the standard by 3.6 times the air quality guidelines of the World Health Organization. Bringing in guidelines to prevent dust by making the interior space a dust-free area with a positive pressure room system with an air purification system. Townhouses have open spaces between the floors with connected stairways. It is a characteristic to which the principles of the compressed air system of fire escape stairs can be applied. In the general townhouse style, the differences can be clearly seen in the layout of the stairwell. When simulating the single-point air supply in the case of air supply at the top and bottom of the building using the SOLIDWORKS Flow Simulation program, it was found that the air supply point had little effect on the overall pressure condition but had an effect on the air flow direction. The air supply at the top can make the air flow more evenly than at the bottom. As for the layout of the stairwell, it affects the pressure generated. Model 1 has a straight staircase facing the front of the building, and Model 3 has a U-shaped staircase at the back of the building. There is an average differential pressure value according to the specified criteria, which is 46.85 Pa and 63.05 Pa (in the case of air supply at the top of the building) respectively. But Model 2 has an open stairwell located in the middle of the building. There will be a differential pressure value exceeding the threshold which is 111.32 Pa. However, the general townhouse model is not specifically designed to use this principle. This causes problems in the direction of the air flow that is not completely accessible and in controlling the appropriate pressure conditions.

Keywords: townhouse stairwell, particulate matter, single-injection air-pressurized system, SOLIDWORKS flow simulation

บทนำ

จากสถานการณ์ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในประเทศไทยมีค่าเกินมาตรฐานขององค์การอนามัยโลกมาต่อเนื่องตลอดหลายปี และกลายเป็นประเด็นที่ตื่นตัวมาก ตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2562 เพราะฝุ่นละออง PM 2.5 มาค่อนข้างเร็วและอยู่นานกว่าปีที่ผ่าน ๆ มา เป็นวิกฤตต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบันในช่วงที่เปลี่ยนฤดูกาลจากฤดูหนาวสู่ฤดูร้อน (เดือนพฤศจิกายน-เดือนเมษายน) จากรายงานคุณภาพอากาศโลกของไอคิวแอร์ (IQAir, 2022) พบว่า ปี พ.ศ. 2565 คุณภาพอากาศของไทยแย่ติดอันดับ 5 จากทั้งหมด 9 ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยความเข้มข้น PM 2.5 มีค่าเฉลี่ยเป็น 3.6 เท่าของค่าแนวทางคุณภาพอากาศประจำปีขององค์การอนามัยโลก โดยต้นเหตุของฝุ่นละอองนั้น เกิดจากการเผาในที่โล่งและในที่ไม่โล่งจากทางภาคเกษตรและภาคอุตสาหกรรม รวมถึงไอเสียของยานพาหนะ ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจและสุขภาพเป็นอย่างมาก (Department of Health, 2020) จากการศึกษาแนวทางป้องกันฝุ่นละออง พบว่ามีหลากหลายวิธี โดยหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งของภาครัฐและเอกชนได้มีการเพิ่มเครื่องฟอกอากาศและทำห้องปลอดฝุ่นภายในอาคาร แต่ในภาคส่วนของประชาชนวิธีการที่ยั่งยืนมีผลระยะยาว คือ การทำให้พื้นที่ภายในอาคารเป็นพื้นที่ปลอดฝุ่นละอองด้วยระบบห้องความดันบวก พร้อมระบบฟอกอากาศซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือ ห้องความดันบวกเป็นห้องสภาวะที่ความดันภายในห้องมากกว่าความดันภายนอกหรือมากกว่าความดันบรรยากาศ โดยอัดอากาศสะอาดเข้าไปภายในทำให้เกิดการไหลของอากาศ นำอากาศเสียออกไปภายนอกและป้องกันไม่ให้อากาศเสียจากภายนอกเข้ามาภายในอาคารได้ (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 หลักการของบ้านความดันบวกเพื่อให้ภายในบ้านเป็นพื้นที่ปลอดฝุ่นด้วยระบบอัดอากาศและฟอกอากาศ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษารูปแบบบ้านพักอาศัย ระบบห้องความดันบวกภายในอาคาร ระบบอัดอากาศช่องบันไดหนีไฟ และทำการจำลองทดสอบในโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation เบื้องต้น พบว่า บ้านพักอาศัยประเภททาวน์เฮาส์มีลักษณะของพื้นที่โล่งระหว่างชั้นของโถงบันไดที่เชื่อมต่อกัน เป็นลักษณะที่สามารถนำหลักการของระบบอัดอากาศช่องบันไดหนีไฟมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ให้ทุกชั้นของอาคารมีความดันเป็นบวกสามารถป้องกันฝุ่นละอองเข้ามาภายในทุกหน่วยของแต่ละชั้นของอาคารได้

โดยงานวิจัยของ Khrutpum (2009) ได้มีการศึกษารูปแบบอาคารที่พักอาศัยประเภททาวน์เฮาส์ พบว่า โดยทั่วไปจะมีลักษณะพื้นที่ใช้สอยคล้ายกัน แต่ส่วนที่มีความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจน คือ ตำแหน่งของ

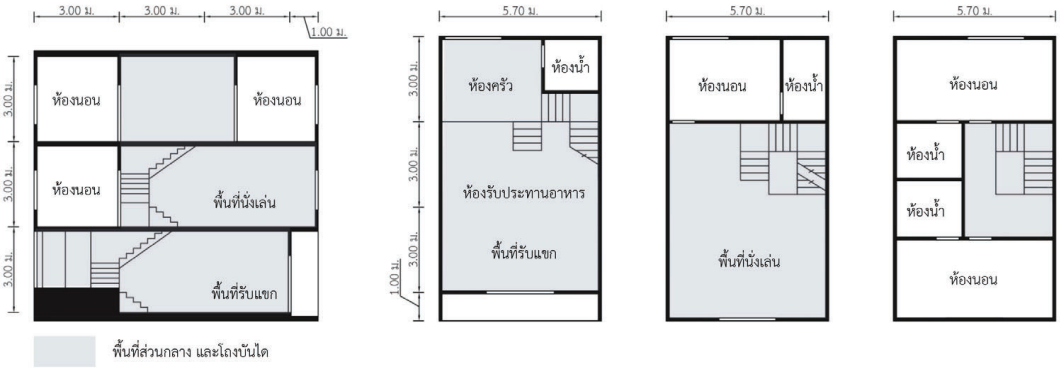
โถงบันได ซึ่งเป็นพื้นที่โล่งที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นต่าง ๆ ของแต่ละหน่วย ส่งผลต่อลมหรือการไหลอากาศภายในทุกชั้น โดยแบ่งลักษณะของโถงบันไดได้ดังนี้

1. ทาวน์เฮาส์ที่มีการวางตำแหน่งโถงบันไดด้านหน้าหรือเยื้องไปทางด้านหน้า

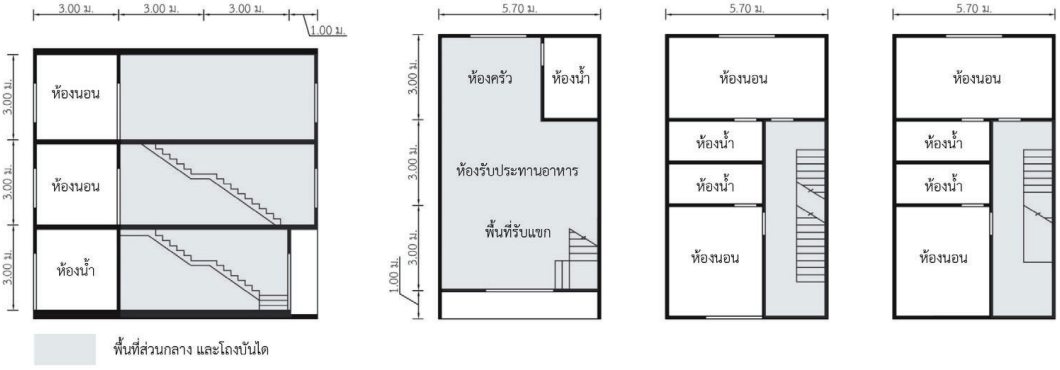
2. ทาวน์เฮาส์ที่มีการวางตำแหน่งโถงบันไดตรงกลาง

3. ทาวน์เฮาส์ที่มีการวางตำแหน่งโถงบันไดด้านหลัง

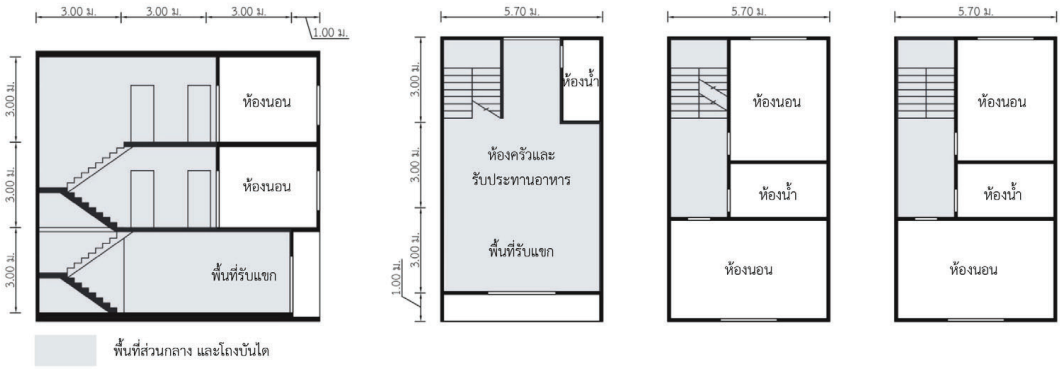
โดยพบว่า ข้อกำหนดทางกฎหมายทาวน์เฮาส์ส่วนใหญ่ในปัจจุบัน จะมีขนาดหน้ากว้างอยู่ที่ 5.70 เมตร ความสูงพื้นชั้นล่างถึงพื้นชั้นบนจะไม่น้อยกว่า 2.60 เมตร (Akaneeyut, 2019) ผู้วิจัยจึงสามารถสรุปรูปแบบทั่วไปได้ 3 รูปแบบ คือ อาคารที่มีลักษณะโถงบันไดเยื้องไปด้านหน้า ตรงกลาง และด้านหลังอาคาร (ดังภาพที่ 2-4)



ภาพที่ 2 รูปแบบทั่วไปของทาวน์เฮาส์แบบที่ 1 อาคารที่มีการวางตำแหน่งโถงบันไดด้านหน้า

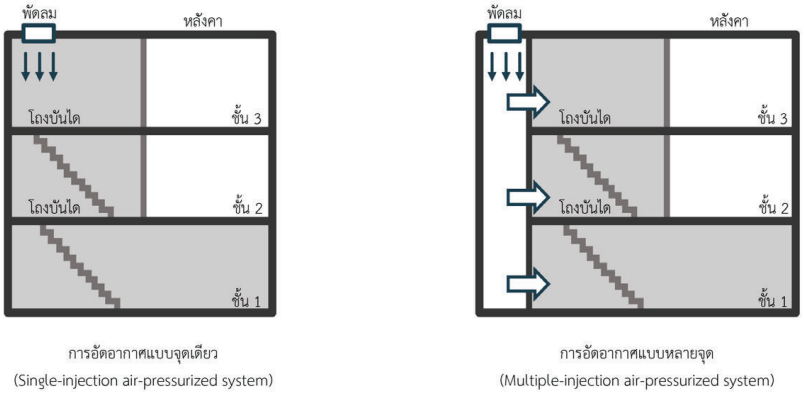


ภาพที่ 3 รูปแบบทั่วไปของทาวน์เฮาส์แบบที่ 2 อาคารที่มีการวางตำแหน่งโถงบันไดตรงกลาง



ภาพที่ 4 รูปแบบทั่วไปของทาวน์เฮาส์แบบที่ 3 อาคารที่มีการวางตำแหน่งบันไดด้านหลัง

ในส่วนของระบบอัดอากาศของช่องบันไดหนีไฟ จะมีทั้งการอัดเข้ามาในโถงบันไดโดยตรง เป็นการอัดอากาศแบบจุดเดียวและการอัดผ่านช่องลมหรือท่อลมเป็นการอัดอากาศแบบหลายจุด (Manewattana, 1998) ดังภาพที่ 5 การศึกษานี้จะเป็นการศึกษาผลของการประยุกต์การจ่ายลมจุดเดียวในโถงบันไดหนีไฟกับรูปแบบบ้านทาวน์เฮาส์ทั่วไปที่สรุปรูปแบบจากงานวิจัยและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation เป็นโปรแกรมสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) จำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศและสภาวะความดันอากาศภายในอาคาร และวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นเพื่อหาแนวทางในการออกแบบต่อไป



ภาพที่ 5 ระบบอัดอากาศช่องบันได (ซ้าย) แบบจุดเดียว และ (ขวา) แบบหลายจุด

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เป็นการศึกษาผลของการจ่ายลมในโถงบันไดของรูปแบบทาวน์เฮาส์ทั่วไป ด้วยระบบอัดอากาศแบบจุดเดียว เพื่อให้ภายในอาคารเป็นพื้นที่ความดันบวกและสามารถป้องกันฝุ่นละอองเข้ามาภายในอาคารได้

ขอบเขตของการศึกษา

1. ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการทดสอบในโปรแกรมจำลอง จากรายงานสถานการณ์ของกรมควบคุมมลพิษของประเทศไทย (Pollution Control Department, 2022) พบว่า ช่วงที่เกิดวิกฤตฝุ่นละออง PM 2.5 มากที่สุดจะเป็นช่วงเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน โดยเฉพาะในทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกพื้นที่เขตสภาพอากาศของเชียงใหม่ และช่วงเดือนที่เกิดวิกฤตมากที่สุด โดยอุณหภูมิพิจารณากรณีที่มีค่าสูงเพื่อประเมินกรณีที่อากาศอยู่ในสภาวะที่ไม่ดี มาทดสอบในโปรแกรมจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศและสภาวะความดัน กล่าวคือ ใช้ค่า 964,286 พาสคาลเป็นค่าความดันอากาศ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเป็น 36.5 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 37 เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงที่เกิดวิกฤติ (ดังตารางที่ 1)

2. แผงฟอกอากาศในระบบ (filter) จากการศึกษาและการจำลองนี้จะยังไม่รวมถึงการศึกษาในรายละเอียดของแผงฟอกอากาศในระบบความดันบวก ที่เป็นอุปกรณ์ที่กรองอากาศหรือกรองฝุ่นละอองในจุดที่นำอากาศเข้ามาภายในอาคาร รวมถึงชนิดของพัดลมที่ใช้ในการจ่ายลม

3. การจำลองรูปแบบทาวน์เฮาส์ ที่นำมาทดสอบแบ่งเป็น 3 รูปแบบที่กล่าวไปข้างต้นในส่วนบทนำ และจำลองในกรณีประตูทุกบานปิดเท่านั้น โดยกำหนดให้มีบริเวณรั่วไหลของอากาศเท่ากันทุกรูปแบบบริเวณประตูชั้น 1 ของอาคาร จะยังไม่รวมพื้นที่การรั่วไหลของผนังที่เกิดจากรอยแยกหรือรอยรั่วตามผนัง โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation จำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศและสภาวะความดันแบบรวมภายนอกอาคารด้วย (external analysis type) โดยยังไม่คำนึงถึงแรงโน้มถ่วงโลกและระยะเวลาอัดอากาศ ตามขั้นตอนการใช้โปรแกรมของ Chanyuak (2016) โดยวิเคราะห์เฉพาะบริเวณพื้นที่โถงบันไดและพื้นที่อเนกประสงค์ชั้นหนึ่งเทียบกับภายนอกอาคาร มิได้รวมถึงห้องนอนและห้องน้ำของอาคารซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่ปิดในการจำลอง

ตารางที่ 1 ข้อมูลสภาพอากาศภายนอกอาคารที่นำมาใช้ในการจำลอง

ข้อมูลที่ใช้กำหนดในโปรแกรม	ค่าที่กำหนด	หน่วย	รายละเอียด
1. ความกดอากาศภายนอกอาคาร	964,286	พาสคาล	เป็นค่าเฉลี่ยคำนวณจากแผนที่ความกดอากาศในช่วงที่เกิดวิกฤตบริเวณเชียงใหม่
2. อุณหภูมิ	36.5	องศาเซลเซียส	เป็นค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนของจังหวัดเชียงใหม่
3. ความเร็วลม	2	เมตรต่อวินาที	เป็นค่าเฉลี่ยคำนวณจากแผนที่ความเร็วลมในช่วงที่เกิดวิกฤตบริเวณเชียงใหม่
4. ความชื้นสัมพัทธ์	37	ร้อยละ	เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงกลางวันของเดือนมีนาคมและเมษายนของจังหวัดเชียงใหม่

ข้อกำหนด หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. หลักการออกแบบระบบอัดอากาศ

จากการศึกษาข้อกำหนดตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระบบอัดอากาศ มาตรฐานการควบคุมควันไฟของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (The Engineering Institute of Thailand H.M. The King's Patronage, 2019) ที่มีการอ้างอิงจากมาตรฐาน ASHRAE คู่มือวิศวกรรมควบคุมควัน (John, et al., 2012) และคู่มือมาตรฐานระบบควบคุมควัน 2012 (National Fire Protection Association, 2013) สามารถสรุปข้อกำหนดในการควบคุมความดันและการคำนวณที่นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบได้ดังนี้

1.1 ความดันแตกต่างของอากาศ ที่ต้องการภายในบันไดกับความดันอากาศภายนอกอาคารที่มีฝุ่นละออง ในกรณีประตูที่ติดกับบันไดปิดหมดทุกบาน ความดันแตกต่างของอากาศภายในบันไดกับภายนอกอาคารไม่ควรต่ำกว่า 38 Pa

1.2 การอัดอากาศต้องคำนึงถึงความดันแตกต่างสูงสุดตกคร่อมประตู ความดันในระบบต้องไม่มากเกินไป เพื่อให้ยังสามารถเปิดประตูได้ โดยประตูบ้านทั่วไปแรงที่ใช้ดึงประตูอยู่ที่ประมาณไม่เกิน 44 นิวตัน ที่ขนาดความกว้างประตู 80 และ 90 เซนติเมตร ความดันแตกต่างสูงสุดตกคร่อมประตูที่ความกว้างของประตูต้องไม่เกิน 92 และ 85 Pa ตามลำดับ โดยผู้เชี่ยวชาญแนะนำให้ใช้เป็นค่าไม่เกิน 90 Pa

1.3 การคำนวณปริมาณลมไหลออก จากความดันแตกต่างขณะประตูปิด

$$\text{Air Leak } (m^3/s) = 0.839 \times A_{leak}(m^2) \times \sqrt{\Delta P}\ (Pa)$$

เมื่อ Air Leak คือ ปริมาณลมไหลออกจากความดันแตกต่าง หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A_{leak} คือ ขนาดพื้นที่รั่วไหลของประตู หน่วยเป็น ตารางเมตร

ΔP คือ ค่าความดันแตกต่างที่กำหนด หน่วยเป็น พาสคาล

1.4 ความเร็วของอากาศภายในระบบอัดอากาศ อ้างอิงจากการออกแบบระบบอัดอากาศบันไดหนีไฟ กำหนดให้ความเร็วของอากาศภายในช่องท่อหรือท่อลม สำหรับระบบอัดอากาศต้องไม่เกิน 2500 FPM (12.7 m/s) โดยความเร็วลมที่ออกจากช่องท่อหรือท่อลม สำหรับระบบอัดอากาศต้องไม่เกิน 1,500 FPM (7.62 m/s)

1.5 การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าสู่บันได คำนวณได้จากสมการ

$$Q = ac + bN$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าสู่บันได หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

a คือ อัตราการไหลของอากาศผ่านประตูที่เปิดค้างสู่ภายนอก 7.08 m^3/s ต่อหนึ่งประตู

c คือ จำนวนประตูที่เปิดค้างสู่ภายนอก

b คือ อัตราการไหลของอากาศผ่านรอยรั่วของผนังและประตูของบันได 0.094 m^3/s ต่อชั้น

N คือ จำนวนชั้นของอาคาร

1.6 ตำแหน่งในการจ่ายลม มีทั้งจ่ายลมด้านบน (top injection) และจ่ายที่ด้านล่างของอาคาร (bottom injection) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาตำแหน่งการจ่ายลมเข้าจึงต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับพื้นที่ด้วย (Manewattana, 1998) (ดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระบบอัดอากาศแบบหลายจุดเมื่อติดตั้งระบบจ่ายลมด้านบนและด้านล่างอาคาร

ระบบจ่ายลมด้านบน	ระบบจ่ายลมด้านล่าง
1. ใช้พื้นที่ไม่เยอะ ไม่เกะกะ	1. ต้องจัดหาพื้นที่หรือสร้างห้องเพื่อติดตั้ง
2. อาจดึงอากาศเสีย หรืออากาศไม่บริสุทธิ์ที่ลอยอยู่ในอากาศกลับเข้ามาได้	2. สามารถเลือกตำแหน่งที่ดึงอากาศบริสุทธิ์เข้ามาได้ ทำให้ระบบลดหรือไม่ดึงอากาศเสียเข้ามาในระบบ
3. สูญเสียแรงดันอากาศได้น้อยกว่า การรักษาแรงดันบวกไว้ทั่วทั้งช่องบันได มีส่วนทำให้เกิดแรงดันที่สม่ำเสมอมากขึ้น	3. การรักษาแรงดันอากาศถ้าจ่ายลมจากด้านล่าง จะทำให้ด้านบนสูญเสียแรงดันได้มาก

แต่จากการทดลองใช้สูตรคำนวณในข้อ 1.5 เพื่อหาปริมาณอากาศที่ต้องเติมเข้าไปในโถงบันได พบว่า ค่าที่ได้มากเกินความจำเป็นในบ้านพักอาศัยประเภททาวน์เฮาส์ ในการกำหนดปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปในโถงจึงกำหนดจากการคำนวณปริมาณลมไหลออกในสูตรข้อ 1.3 ร่วมกับการทดสอบการจำลองเบื้องต้นในโปรแกรม

2. ระดับความแตกต่างของความดันระหว่างห้อง

จากการศึกษาคู่มือการออกแบบห้องสะอาด (Eungphakorn, 2012) พบว่า ค่าความแตกต่างของความดันที่มีค่าประมาณ 25 Pa ภายในอาคาร เพียงพอสำหรับการใช้งานเกือบทุกชนิด ถ้าห้องมีการ

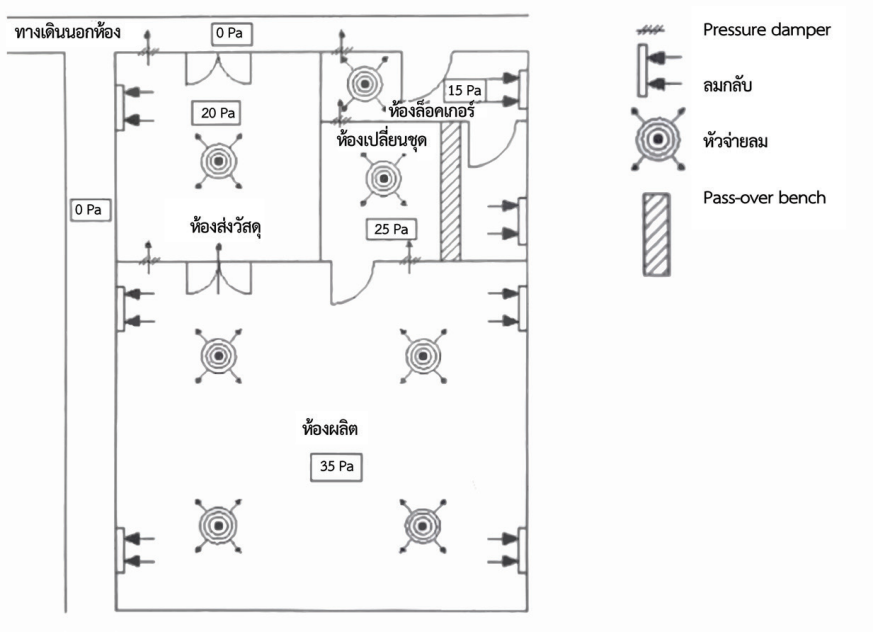
เชื่อมต่อกับห้องสะอาดอื่น ๆ ต้องออกแบบความดันให้สูงมากขึ้นตามความเหมาะสม ซึ่งความแตกต่างของความดันระหว่างห้องเมื่อประตูทุกบานปิดหมด ไม่ควรน้อยกว่า 12.5 Pa ตามระดับชั้นความสะอาดที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1 (ดังตารางที่ 3) โดยห้องที่มีระดับความสะอาดสูงสุดและลดหลั่นกันลงมาทีละ 12.5 Pa เพื่อให้สามารถกำหนดความดันแตกต่างที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ได้

ตารางที่ 3 ชั้นคุณภาพของอากาศและการนำกลับมาใช้งาน (air classification and recirculation)

ระดับชั้น คุณภาพอากาศ	รายละเอียด	พื้นที่ใช้งาน
Air Class 1	คุณภาพดี ใช้ Recirculate และใช้ Transfer ไปยังห้องที่มี Air Class ต่ำกว่าได้	ห้องนอน ห้องทำงาน
Air Class 2	คุณภาพพอใช้ได้ ใช้Recirculate ในพื้นที่เดิมได้ และใช้ Transfer ไปยังห้องน้ำได้	ห้องนั่งเล่น โถงทางเดิน โถงบันได
Air Class 3	คุณภาพแย่ใช้ Recirculate ในพื้นที่เดิมได้ แต่ใช้ Transfer ไปยังพื้นที่อื่น ๆ ไม่ได้	ห้องครัว
Air Class 4	คุณภาพแย่มาก ต้องทิ้งอย่างเดียว ห้ามนำกลับมาใช้	ห้องน้ำ ที่จอดรถ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและตัวอย่างการกำหนดความดันแตกต่างที่เหมาะสม

จากบทความแนวทางการออกแบบการปรับอากาศและระบายอากาศ สำหรับโรงพยาบาลของ Tetchaamnuaywit (2008) กล่าวเรื่องแรงดันแตกต่างของแต่ละห้องในโรงพยาบาลเพื่อเป็นการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่าง ๆ ไม่ให้ติดต่อไปยังบุคคลอื่น โดยแรงดันแตกต่างมักจะอยู่ระหว่าง 5-20 Pa เมื่อเทียบกับห้องข้างเคียงตามลำดับความสำคัญ ซึ่งอาจสูงถึง 45 Pa ได้เมื่อเทียบกับบรรยากาศปกติ รวมถึงคู่มือการออกแบบห้องสะอาดของ Eungphakorn (2012) มีการยกตัวอย่างการกำหนดค่าความดันแตกต่างโดยการจัดระดับความดันในห้องต่าง ๆ ได้แก่ ห้องผลิต ห้องเปลี่ยนชุด ห้องส่งผ่านวัสดุ และห้องเก็บของ ในขั้นแรกจะเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้นให้ความดันอากาศในห้องล็อกเกอร์สูงกว่าทางเดินด้านนอก 15 Pa ห้องเปลี่ยนชุดเสื้อผ้าซึ่งต้องการระดับความสะอาดสูงกว่าไม่น้อยกว่า 10 Pa จึงต้องให้มีความดันเท่ากับ 25 Pa เช่นกันกับผลต่างของความดันของห้องผลิตและห้องเปลี่ยนชุด จึงต้องมีความดันเท่ากับ 35 Pa และให้ผลต่างระหว่างห้องผลิตกับห้องส่งผ่านวัสดุเท่ากับ 15 Pa ดังนั้น ห้องส่งผ่านวัสดุจึงมีความดันเท่ากับ 20 Pa ซึ่งเป็นระดับที่สูงกว่าทางเดินรอบนอก ถึงแม้ว่าความดันแตกต่าง 20 Pa อาจจะสูงมากเกินกว่าที่จำเป็นแต่เป็นที่ยอมรับได้ ถ้าจัดระดับความดันแตกต่างสูงเกินความต้องการ อาจก่อให้เกิดปัญหาในการเปิดปิดประตูตามมาได้ ดังนั้น ควรใช้ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างห้องสะอาดสองห้องเท่ากับ 10 Pa และใช้ค่าระหว่างห้องสะอาดใด ๆ กับพื้นที่ที่ไม่ใช่เขตสะอาด ถ้าไม่สามารถจัดความดันในระดับดังกล่าวได้จะใช้ความดันแตกต่างเท่ากับ 5 Pa เป็นค่าต่ำสุดระหว่างห้องสะอาดด้วยกัน (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ตัวอย่างห้องสะอาดที่แสดงถึงความดันแตกต่างที่เหมาะสม
ที่มา: Eungphakorn (2012)

วิธีดำเนินการวิจัย

กิจกรรมที่ 1 กำหนดตัวแปรต้นโดยการศึกษารูปแบบทาวน์เฮาส์ทั่วไป เพื่อสรุปรูปแบบอาคารที่ใช้ในการทดสอบและกำหนดจุดจ่ายลมในแต่ละแบบ รวมถึงวิเคราะห์จากความเหมาะสมในการติดตั้ง (ดังตารางที่ 4) ประกอบด้วย รูปแบบที่มีลักษณะของโถงบันไดเป็นแนวตรงเยื้องมาด้านหน้า รูปแบบที่มีลักษณะโถงบันไดเป็นช่องโล่งอยู่บริเวณกลางอาคาร และรูปแบบที่มีบันไดเป็นตัวยูเยื้องไปทางด้านหลังอาคาร โดยกำหนดให้ขนาดอาคาร ความสูงระหว่างชั้น ขนาดช่องเปิด ขนาดพื้นที่รั่วไหลของประตูที่ชั้น 1 เท่ากันทุกรูปแบบ นอกจากนี้ กำหนดให้ห้องน้ำและห้องนอนเป็นห้องปิดสนิทไม่มีการรั่วไหลของอากาศ

กิจกรรมที่ 2 ทำการทดสอบรูปแบบจำลอง โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศและค่าความดันแตกต่างในแต่ละจุด โดยกำหนดค่าต่าง ๆ ในการจำลองดังนี้

2.1 กำหนดค่าสภาพอากาศภายนอกใช้ค่าความดันอากาศ 964,286 พาสคาล ค่าอุณหภูมิเป็น 36.5 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 37 (ดังตารางที่ 1)

2.2 กำหนดให้วัสดุอาคารเป็นผนังคอนกรีต

2.3 กำหนดให้ขนาดช่องปล่อยลมเข้าโถงบันไดเท่ากันทุกรูปแบบ กว้าง 0.60 เมตร ยาว 1.20 เมตร

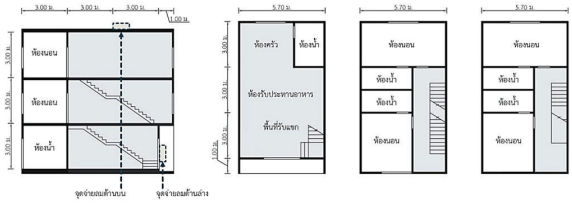
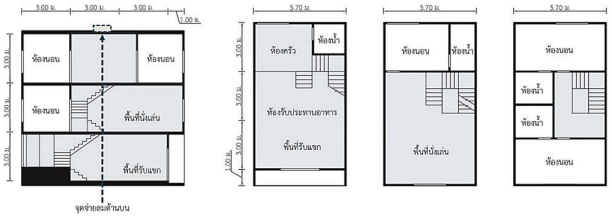
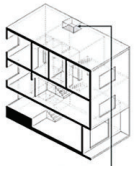
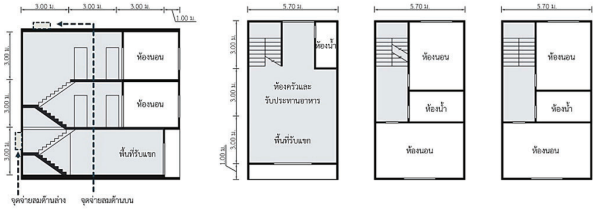
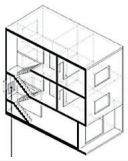
2.4 กำหนดให้ขนาดพื้นที่รั่วซึมเท่ากันทุกรูปแบบ คือ 0.2 ตารางเมตร และอยู่ตำแหน่งเดียวกันเฉพาะที่ประตูด้านหน้าอาคาร

2.5 กำหนดให้ปริมาณอากาศที่อัดเข้าสู่ระบบเป็น 0.5 m3/s

2.6 กำหนดจุดวัดค่าความเร็วลมและระดับแตกต่างของความดันอากาศในแต่ละจุดกรณีประตูทุกบานปิดอยู่ ตำแหน่งที่วัดค่ามีบริเวณโถงบันไดทุกชั้น วัดที่ความสูง 1.50 เมตร จากระดับพื้นของชั้นนั้น ๆ กำหนดที่ชั้น 3 เป็นจุด A ชั้น 2 เป็นจุด B ชั้น 1 เป็นจุด C และพื้นที่อเนกประสงค์ชั้น 1 บริเวณประตูด้านหน้าเป็นจุด D

กิจกรรมที่ 3 ทำการวิเคราะห์จากผลการทดสอบในโปรแกรม โดยวิเคราะห์จากพฤติกรรมการไหลของอากาศเมื่อทำการอัดอากาศในตำแหน่งที่กำหนด ค่าความเร็วลม และค่าความแตกต่างของระดับความดันภายในอาคารเทียบกับภายนอก จากนั้นทำการสรุปและอภิปรายผล

ตารางที่ 4 รูปแบบทาวน์เฮาส์ที่ใช้ในการทดสอบและตำแหน่งจุดจ่ายลม

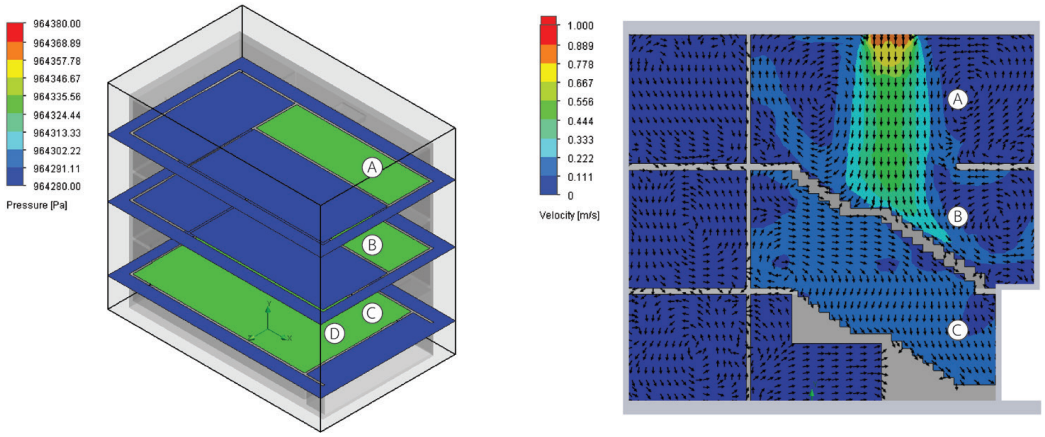
แผนผังและรูปตัด	ตำแหน่งจุดจ่ายลม
รูปแบบที่ 1 ทาวน์เฮาส์ที่มีลักษณะโถงบันไดเป็นแนวตรงเยื้องมาทางด้านหน้าอาคาร โดยกำหนดตำแหน่งจุดจ่ายลมกรณีจ่ายลมด้านบนเป็นช่วงกึ่งกลางของโถงและกรณีจ่ายลมด้านล่างเป็นบริเวณที่หน้าอาคารในตำแหน่งตรงกับโถงบันได 	กรณีจ่ายลมด้านบน กรณีจ่ายลมด้านล่าง
รูปแบบที่ 2 ทาวน์เฮาส์ที่ลักษณะบันไดแบบเล่นระดับ ที่มีช่องโล่ง อยู่บริเวณกลางอาคาร โดยกำหนดจุดจ่ายลมบนอาคารช่วงกึ่งกลางของโถง แต่ไม่มีกรณีจ่ายลมด้านล่างเนื่องจากไม่มีตำแหน่งที่สามารถติดตั้งได้ 	 กรณีจ่ายลมด้านบน
รูปแบบที่ 3 ทาวน์เฮาส์ที่มีลักษณะบันไดเป็นตัวยูอยู่บริเวณด้านหลังของอาคาร โดยกำหนดตำแหน่งจุดจ่ายลมกรณีจ่ายลมด้านบนเป็นช่วงกึ่งกลางของโถงเยื้องไปด้านหลังให้ตรงกับบันไดและกรณีจ่ายลมด้านล่างเป็นบริเวณหลังอาคารช่วงกึ่งกลางโถงเหนือชานพัก 	กรณีจ่ายลมด้านบน  กรณีจ่ายลมด้านล่าง

ผลการศึกษา

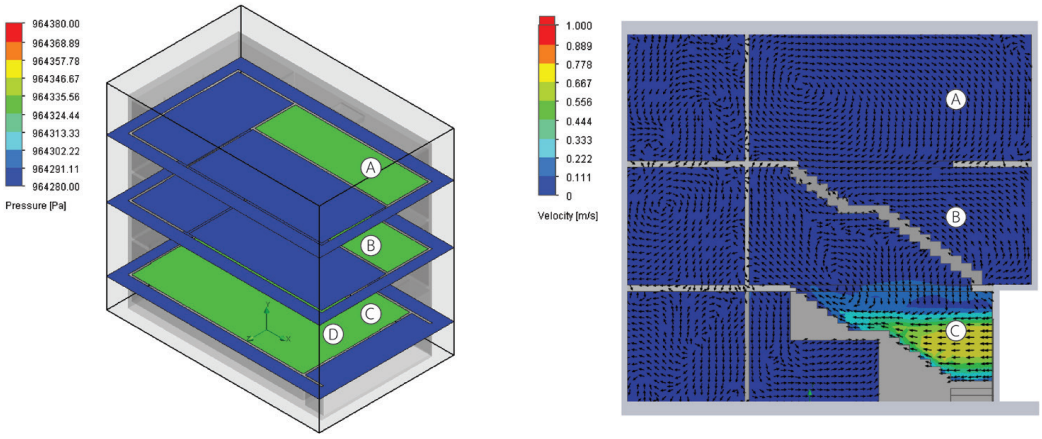
จากการทดสอบด้วยการใช้โปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation จำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศและสภาวะความดันอากาศภายในอาคาร โดยตัวชี้วัดที่นำมาเปรียบเทียบประเมิน คือ ค่าความดันแตกต่างจากผลต่างของค่าความดันอากาศในอาคารที่วัดได้กับค่าความดันอากาศภายนอกที่กำหนดไว้ ค่าความเร็วลมตำแหน่งที่กำหนดจุดวัดค่า (จุด A, B, C และ D) และพฤติกรรมการไหลของอากาศโดยจากการจำลองในโปรแกรม ซึ่งมีผลการทดสอบในแต่ละรูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ทาวน์เฮาส์ที่มีลักษณะโถงบันไดอยู่บริเวณด้านหน้าของอาคาร

สามารถกำหนดจุดจ่ายลมได้ 2 กรณี คือ บริเวณหลังคา และบริเวณหน้าอาคารชั้นหนึ่ง เมื่อทำการจำลองการจ่ายลมเข้าไปในระบบ พบว่า ค่าความดันแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนค่าความเร็วลมภายในกรณีจ่ายลมที่ด้านบนอาคารใกล้เคียงกับกรณีจ่ายลมที่ด้านล่างอาคาร แต่กระแสอากาศไปได้ไม่ทั่วถึงทั้งอาคารเมื่อเป็นกรณีจ่ายลมที่ด้านล่าง จากภาพที่ 7 ภาพที่ 8 และตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ทาวน์เฮาส์รูปแบบที่ 1 เมื่อทำการจ่ายลมที่ด้านบนอาคาร พบว่า ค่าความดันแตกต่างภายในและภายนอกอาคารเฉลี่ยอยู่ที่ 46.85 Pa ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์กำหนด และค่าความเร็วลมจะเฉลี่ยอยู่ที่ 0.13 m/s แต่ทิศทางการไหลของอากาศจะค่อนข้างไม่ทั่วถึงชั้นล่าง เนื่องจากโดนบันไดบังทิศทางของกระแสลม ทำให้ความเร็วลมที่ชั้นหนึ่งค่อนข้างน้อย ส่วนกรณีจ่ายลมที่บริเวณด้านล่างอาคาร พบว่า ความดันแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 48.49 Pa และมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยเป็น 0.14 m/s ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับกรณีแรก แต่ทิศทางของกระแสอากาศกระจายแค่บริเวณชั้นหนึ่ง ส่งผลให้ลมไปไม่ถึงชั้นที่สองและสาม หรือพิจารณาได้ว่าการจ่ายลมที่ด้านบนจะทำให้ทิศทางการไหลของอากาศ สามารถไหลได้ทั่วถึงมากกว่าการจ่ายลมด้านล่าง แต่ทั้งนี้ค่าความดันแตกต่างของทั้งสองแบบจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก



ภาพที่ 7 ผลการจำลอง (ซ้าย) สภาวะความดัน และ (ขวา) ความเร็วทิศทางการไหลของอากาศ โดยแสดงเป็นแถบสีและทิศทางลูกศรสีของรูปแบบที่ 1 กรณีจ่ายลมด้านบนอาคาร



ภาพที่ 8 ผลการจำลอง (ซ้าย) สภาวะความดัน และ (ขวา) ความเร็วทิศทางการไหลของอากาศ โดยแสดงเป็นแถบสีและทิศทางลูกศรของรูปแบบที่ 1 กรณีจ่ายลมด้านล่างอาคาร

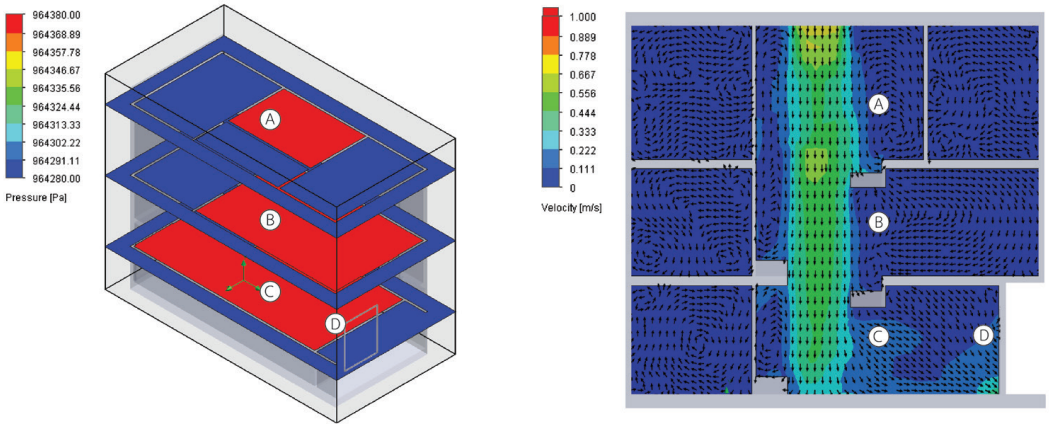
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบรูปแบบทาวน์เฮาส์แบบที่ 1 กรณีจ่ายลมด้านบนและด้านล่างอาคาร

กรณีจ่ายลมด้านบนอาคาร			
ตำแหน่งที่วัดค่า	**ค่าความดันอากาศ (Pa)**	**ค่าความดันแตกต่าง (Pa)**	**ค่าความเร็วลม (m/s)**
A	964,332.91	46.91	0.19
B	964,333.19	47.19	0.08
C	964,332.66	46.66	0.17
D	964,332.63	46.63	0.06
ค่าเฉลี่ย	964,332.85	46.85	0.13
กรณีจ่ายลมด้านล่างอาคาร			
ตำแหน่งที่วัดค่า	**ค่าความดันอากาศ (Pa)**	**ค่าความดันแตกต่าง (Pa)**	**ค่าความเร็วลม (m/s)**
A	964,334.66	48.66	0.01
B	964,334.65	48.45	0.02
C	964,334.42	48.42	0.42
D	964,334.43	48.43	0.10
ค่าเฉลี่ย	964,334.54	48.49	0.14

2. รูปแบบที่ 2 ทาวน์เฮาส์ที่มีลักษณะโถงบันไดอยู่บริเวณกลางอาคาร

สามารถกำหนดจุดจ่ายลมได้เพียงกรณีเดียว คือ บริเวณหลังคา เนื่องจากบริเวณโถงบันไดติดกับผนังของทาวน์เฮาส์อีกหน่วยหนึ่ง จึงไม่สามารถจ่ายลมด้านล่างอาคารจากจุดนี้ได้ เมื่อทำการจำลองการจ่ายลมเข้าไปในระบบ พบว่า ค่าความดันแตกต่างมากเกินเกณฑ์ที่กำหนดและค่าความเร็วลมภายในอาคารค่อนข้างสูงในบริเวณที่ชั้นสองและชั้นสาม แต่กระแสอากาศไปได้ไม่ค่อยทั่วถึงชั้นล่าง เนื่องจากกระแสอากาศลงมา

ในช่องปล่องโดยตรง จึงมีกระแสอากาศมากแต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั่วอาคาร จากภาพที่ 9 และตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ทาวน์เฮาส์รูปแบบที่ 2 เมื่อทำการจ่ายลมที่ด้านบนอาคาร พบว่า ค่าความดันแตกต่างภายในและภายนอกอาคารอยู่ที่ประมาณ 111.32 Pa เป็นค่าที่เกินเกณฑ์กำหนด ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการเปิดปิดประตู และค่าความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.38 m/s เนื่องจากลักษณะของโถงบันไดมีส่วนที่เป็นช่องโล่ง ไม่มีส่วนของตัวบันไดมาขวาง ทำให้ชั้นด้านบนมีความเร็วลมค่อนข้างมากและกระแสอากาศลงมาถึงด้านล่างบริเวณช่องโล่งของบันไดพอดี ส่งผลให้ค่าความดันแตกต่างค่อนข้างสูง หรืออาจพิจารณาได้ว่าลักษณะของโถงบันไดลักษณะนี้ มีช่องโล่งที่เอื้อต่อการส่งลมไปยังพื้นที่อเนกประสงค์ชั้นหนึ่งโดยตรง



ภาพที่ 9 ผลการจำลอง (ซ้าย) สภาวะความดัน และ (ขวา) ความเร็วทิศทางการไหลของอากาศ โดยแสดงเป็นแถบสีและทิศทางลูกศรของรูปแบบที่ 2 กรณีจ่ายลมด้านบนอาคาร

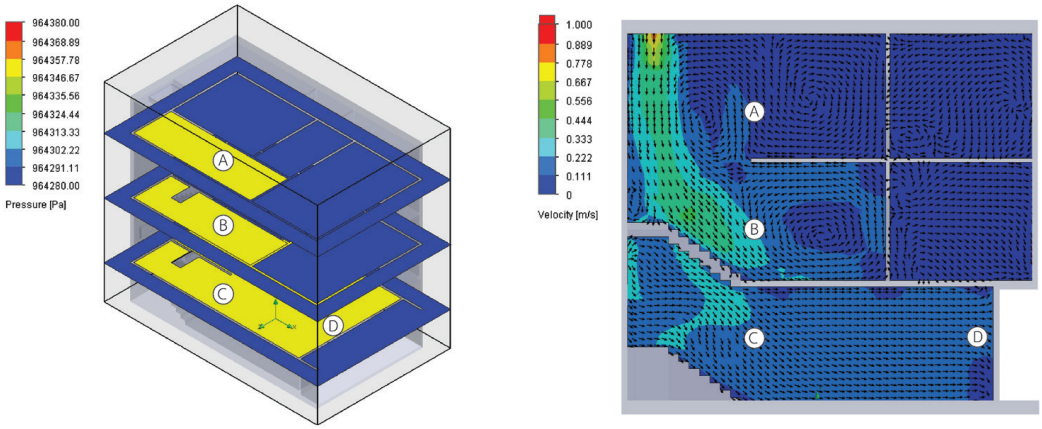
ตารางที่ 6 ผลการทดสอบรูปแบบทาวน์เฮาส์แบบที่ 2 กรณีจ่ายลมด้านบนอาคาร

กรณีจ่ายลมด้านบนอาคาร			
ตำแหน่งที่วัดค่า	**ค่าความดันอากาศ (Pa)**	**ค่าความดันแตกต่าง (Pa)**	**ค่าความเร็วลม (m/s)**
A	964,397.24	111.24	0.69
B	964,397.33	111.33	0.64
C	964,397.34	111.34	0.10
D	964,397.37	111.37	0.09
ค่าเฉลี่ย	964,397.32	111.32	0.38

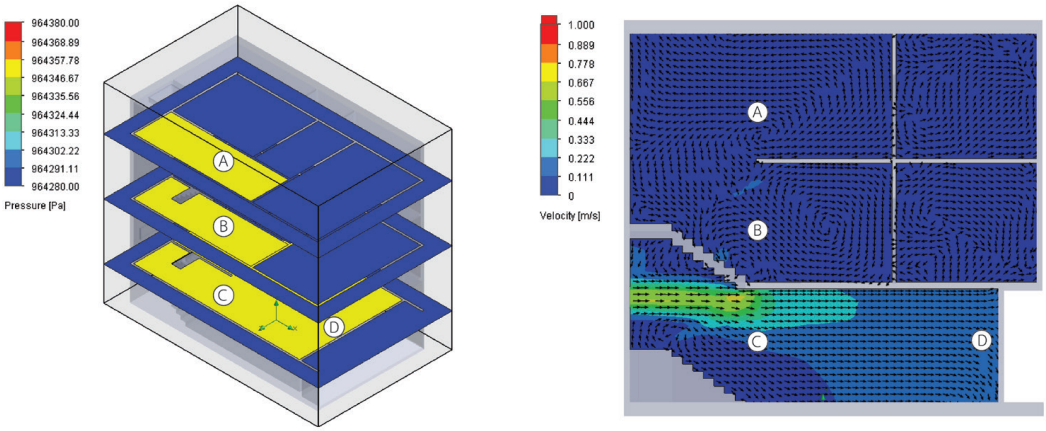
3. รูปแบบที่ 3 ทาวน์เฮาส์ที่มีลักษณะโถงบันไดอยู่บริเวณด้านหลังของอาคาร

สามารถกำหนดจุดจ่ายลมได้ 2 กรณี คือ บริเวณหลังคาและบริเวณที่ด้านหลังอาคารชั้นหนึ่ง เมื่อทำการจ่ายลมเข้าไป พบว่า ค่าความดันแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนค่าความเร็วลมภายในกรณี

จ่ายลมที่ด้านบนอาคารจะใกล้เคียงกับกรณีจ่ายลมที่ด้านล่างอาคาร แต่กระแสอากาศไปได้ไม่ทั่วถึงทั้งอาคาร เมื่อเป็นกรณีจ่ายลมที่ด้านล่าง จากภาพที่ 10 ภาพที่ 11 และตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า รูปแบบทาวน์เฮาส์แบบที่ 3 เมื่อทำการจ่ายลมที่ด้านบนของอาคาร พบว่า ค่าความดันแตกต่างภายในและภายนอกอาคารเฉลี่ยอยู่ที่ 63.05 Pa ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง แต่ยังอยู่ในเกณฑ์กำหนด และค่าความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.14 m/s โดยทิศทางการไหลของอากาศค่อนข้างครอบคลุมได้ทั่วจนถึงพื้นชั้นหนึ่ง แต่ที่ชั้นบนสุดจะไม่ค่อยทั่วถึง เนื่องจากตำแหน่งการจ่ายลมที่อยู่ตรงกับตัวบันไดทำให้อากาศไหลลงไปยังชั้นสองโดยตรงและไม่ได้กระจายไปในชั้นสามก่อน ส่วนกรณีการจ่ายลมที่ด้านล่างอาคาร พบว่า ค่าความดันแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 61.24 Pa และค่าความเร็วลมเฉลี่ยเป็น 0.14 m/s เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับกรณีจ่ายลมด้านบนอาคาร แต่ทิศทางของกระแสอากาศกระจายแค่บริเวณชั้นหนึ่ง ส่งผลให้ลมไปไม่ถึงชั้นที่สองและสาม ทั้งนี้ เนื่องจากกระแสลมมีทิศทางการไหลจากบนลงล่าง อีกทั้งบริเวณเหนือจุดจ่ายลมยังมีพื้นที่บันไดขวางทำให้ลมส่งไปได้ไม่ทั่วถึง



ภาพที่ 10 ผลการจำลอง (ซ้าย) สภาวะความดัน และ (ขวา) ความเร็วทิศทางการไหลของอากาศ โดยแสดงเป็นแถบสีและทิศทางลูกศรของรูปแบบที่ 3 กรณีจ่ายลมด้านบนอาคาร



ภาพที่ 11 ผลการจำลอง (ซ้าย) สภาวะความดัน และ (ขวา) ความเร็วทิศทางการไหลของอากาศ โดยแสดงเป็นแถบสีและทิศทางลูกศรของรูปแบบที่ 3 กรณีจ่ายลมด้านล่างอาคาร

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบรูปแบบทาวน์เฮาส์แบบที่ 3 กรณีจ่ายลมด้านบนและด้านล่างอาคาร

กรณีจ่ายลมด้านบนอาคาร			
ตำแหน่งที่วัดค่า	**ค่าความดันอากาศ (Pa)**	**ค่าความดันแตกต่าง (Pa)**	**ค่าความเร็วลม (m/s)**
A	964,349.62	63.62	0.11
B	964,349.65	63.65	0.23
C	964,348.46	62.46	0.12
D	964,348.48	62.48	0.09
ค่าเฉลี่ย	964,349.05	63.05	0.14
กรณีจ่ายลมด้านล่างอาคาร			
ตำแหน่งที่วัดค่า	**ค่าความดันอากาศ (Pa)**	**ค่าความดันแตกต่าง (Pa)**	**ค่าความเร็วลม (m/s)**
A	964,347.51	61.51	0.01
B	964,347.47	61.47	0.11
C	964,347.02	61.02	0.19
D	964,346.97	60.97	0.14
ค่าเฉลี่ย	964,347.24	61.24	0.11

สรุปผลและอภิปรายผลการศึกษา

จากการประยุกต์ใช้หลักการระบบอัดอากาศของบันไดหนีไฟกับอาคารบ้านพักอาศัยประเภททาวน์เฮาส์ ด้วยการจ่ายลมแบบจุดเดียวในโถงบันไดสามารถทำให้ภายในอาคารเป็นพื้นที่ความดันบวกได้ ซึ่งรูปแบบทาวน์เฮาส์ที่มีลักษณะและตำแหน่งโถงบันไดแตกต่างกัน เมื่อทำการจำลองแต่ละกรณีในโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation แสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของอากาศและความดันในแต่ละพื้นที่ได้ไม่เหมือนกัน โดยสามารถสรุปได้เป็นประเด็นดังต่อไปนี้

1. ความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น กรณีจ่ายลมที่ด้านบนและกรณีจ่ายลมที่ด้านล่างอาคารจะมีค่าความดันแตกต่างใกล้เคียงกันในแต่ละรูปแบบ ตำแหน่งจุดจ่ายลมจึงไม่ค่อยมีผลต่อสภาวะความดันโดยรวม แต่รูปแบบลักษณะของโถงบันไดส่งผลต่อความดันที่เกิดขึ้น โดยรูปแบบที่ 1 ที่มีลักษณะบันไดเป็นแนวตรงเยื้องมาทางด้านหน้าอาคารและ รูปแบบที่ 3 ที่มีลักษณะบันไดเป็นตัวยูอยู่บริเวณด้านหลังของอาคาร มีค่าความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่รูปแบบที่ 2 ที่มีลักษณะโถงบันไดมีช่องโล่ง อยู่บริเวณตรงกลางอาคาร จะมีค่าความดันแตกต่างเกินกว่าเกณฑ์ เนื่องจากลักษณะของโถงปล่องบันไดที่มีช่องโล่งทะลุลงมาถึงชั้นหนึ่ง ทำให้กระแสอากาศไหลลงมาถึงชั้นล่างโดยตรง กล่าวได้ว่า การมีช่องโล่งเอื้อต่อการส่งกระแสลมได้ทุกชั้น และสามารถควบคุมสภาวะความดันให้เหมาะสมเป็นไปตามเกณฑ์ได้ โดยการปรับปริมาณลมที่จ่ายเข้าไปในระบบ

2. ความเร็วลมและทิศทางการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบ โดยกรณีการจ่ายลมที่ด้านบนอาคารจะส่งผลให้กระแสลมไปได้ถึงทุกชั้นมากกว่ากรณีการจ่ายลมด้านล่าง ส่วนลักษณะของโถงบันไดก็มีผลต่อความเร็วลมและทิศทางการไหลอากาศที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ของตัวบันไดมาบดบังทิศทางของกระแสอากาศ ซึ่งรูปแบบที่ 2 ที่มีลักษณะเป็นช่องโล่งทำให้กระแสอากาศลงมาถึงชั้นหนึ่งได้มากกว่ารูปแบบที่ 1 และ 3 ที่ไม่มีช่องโล่งโดยตรงถึงชั้นล่าง อีกทั้งรูปแบบที่ 3 ที่มีตำแหน่งการจ่ายลมในด้านตรงข้ามกับจุดที่กำหนดเป็นพื้นที่รั่วไหลจะมีทิศทางการไหลของอากาศได้มากกว่ารูปแบบที่ 1 ซึ่งมีตำแหน่งการจ่ายลมอยู่ด้านเดียวกันกับพื้นที่รั่วไหลของอากาศ จึงกล่าวได้ว่าการอัดอากาศแบบจุดเดียวยังมีประสิทธิภาพไม่มากพอ ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ จึงควรพิจารณาปรับปรุงในกรณีการอัดอากาศแบบหลายจุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของอากาศให้ทั่วถึงได้มากขึ้น

นอกจากนี้ ค่าความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าค่อนข้างสูง เพราะในการกำหนดพื้นที่รั่วไหลของอากาศในโมเดลที่ใช้จำลองในโปรแกรม กำหนดแค่เพียงชั้นหนึ่งที่ประตูทางเข้าในเบื้องต้น ช่องเปิดและประตูยังไม่ได้มีการกำหนดแต่อย่างใด ซึ่งอาจทำให้ระบบมีค่าความดันที่สูงกว่าในความเป็นจริง

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในเบื้องต้น มีการลดทอนรายละเอียดของโมเดลในการจำลองทดสอบในโปรแกรม เพื่อให้การประยุกต์ใช้ระบบอัดอากาศของบันไดหนีไฟในโถงบันไดของทาวน์เฮาส์สามารถป้องกันฝุ่นละอองให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ควรคำนึงถึงตัวแปรหรือปัจจัยอื่น ๆ เพิ่ม เช่น การจ่ายลมแบบหลายจุดในระบบอัดอากาศ การคิดพื้นที่รั่วไหลและสร้างความดันแตกต่างในทุก ๆ ห้องของทาวน์เฮาส์ การคำนึงถึงระบบฟอกอากาศ ชนิดของพัดลม การจำกัดเสียงรบกวนจากเครื่องกลหรือพัดลม รวมถึงการใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Akaneeyut, V. (2019). **Baan thaeo**. (In Thai) [**Townhouse**]. Bangkok: Baan Lae Suan Amarin Printing and Publishing.

Chanyuak, W. (2016). **Theknik karn chai ngan wikhro karn lai duai SOLIDWORKS Flow simulation**. (In Thai) [**Techniques for using flow analysis with SOLIDWORKS Flow simulation**]. Bangkok: Applicad Public Company Limited.

Department of Health. (2020). **Naeothang karn tham hong plot foon samrap banruean lae akhan satharana**. (In Thai) [**Guidelines to create clean air shelter for homes and public buildings**]. Bangkok: Health Impact Assessment.

Engphakorn, W. (2012). **Khu mue karn okbaep hong sa at**. (In Thai) [**Cleanrooms design manual**]. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

IQAir. (2022). **Rai ngan khunnaphap akat lok 2022**. (In Thai) [**2022 World air quality report**]. Goldach: Author.

John, K., et al. (2012). **Handbook of smoke control engineering**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Khrutpum, A. (2009). Karn sueksa karn rabai akat phainai thao hao nai khet krungthepmahanakhon. (In Thai) [A study of ventilation for townhouse in Bangkok]. **Journal of The Faculty of Architecture King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**, 10 (2), 31-42.

Manewattana, T. (1998). Karn okbaep rabop at akat chong bandai ni fai. (In Thai) [Design of stairwell pressurization system]. In Naphirong, S. (Ed.). **Samakhom witsawakam prap akat haeng prathet Thai botkhwam chut thi 4**. (In Thai) [**Air conditioning engineering association of Thailand journal 4**] (pp.58-87). Bangkok: Engineering Institute of Thailand Building.

National Fire Protection Association. (2013). **NFPA 92: standard for smoke control systems handbook 2012**. Massachusetts: Author.

Pollution Control Department (2021). **Sathanakan lae karn chatkan panha monlaphit thang akat lae ciang khong prathet Thai pi 2563**. (In Thai) [**Air and noise pollution situation and management issues in Thailand, 2020**]. Bangkok: Author.

Tetchaamnuaywit, S. (2008). Naeo thang karn okbaep karn prap akat lae rabai akat samrap rongphayaban. (In Thai) [Guidelines for designing air conditioning and ventilation for hospitals]. In Surawatthanawan, P. (Ed.). **Samakhom witsawakam prap akat haeng prathet Thai botkhwam chut thi 18**. (In Thai) [**Air conditioning engineering association of Thailand journal 18**] (pp.51-59). Bangkok: Engineering Institute of Thailand Building.

The Engineering Institute of Thailand H.M. The King's Patronage. (2019). **Mattrathan khuapkhum khwan fai**. (In Thai) [**Smoke Control Standard**]. Bangkok: EIT Standrad.