ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย — **สาขา**

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

เรื่อง โปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคาร

Program Aided Designed for Smoke Control System in Building

นามผู้วิจัย นายธนาชัย จงสมชัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย กฤชไมตรี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(รองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

โปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคาร

Program Aided Designed for Smoke Control System in Building

โดย

นายธนาชัย จงสมชัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธนาชัย จงสมชัย 2553: โปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคาร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย กฤชไมตรี, Ph.D. 156 หน้า

งานวิจัยเรื่องโปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคารเกิดจากแนวความคิดที่ว่า พัดลมที่ใช้ในตัวอาคารมีความสำคัญต่อระบบการควบคุมควันไฟ โดยสามารถรักษาระดับควันไฟ เพื่อสามารถอพยพคนหนีไฟได้อย่างปลอดภัย

ดังนั้นหัวใจในการออกแบบของโปรแกรมนี้จึงมุ่งเน้นที่จะช่วยในการคำนวณเรื่องความถูกต้อง แม่นยำของพัดลมอัดอากาศหรือพัดลมระบายควันให้เหมาะสมกับอาคารต่างๆ เนื่องจากการออกแบบโปรแกรมที่ถูกต้องจะช่วยทำให้โครงสร้างของอาคารที่ออกแบบมีความปลอดภัยกับบุคคลที่อาศัยอยู่ในอาคารมากยิ่งขึ้น

โดยงานวิจัยนี้ออกแบบโปรแกรมเพื่อให้สามารถคำนวณหาขนาดของพัดลมที่ใช้อัดอากาศหรือระบายควัน ที่ติดตั้งภายในอาคาร โดยใช้โปรแกรม visual basic นำเสนอในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้และเข้าใจได้ง่ายสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวได้ถูกทดสอบความถูกต้องแม่นยำ โดยทดสอบจริงกับอาคารตัวอย่าง แล้วเปรียบเทียบขนาดพัดลมที่คำนวณได้กับขนาดพัดลมที่ติดตั้งอยู่แล้ว

ผลของการทดสอบพบว่า อาคารที่ใช้เป็นอาคารตัวอย่างมีความสูง 16 ชั้น และโปรแกรมสามารถคำนวณพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ ได้เหมาะสมตรงกับขนาดพัดลมที่ติดตั้ง ภายในอาคารอยู่แล้วทั้งทางทฤษฎีและโดยตัวโปรแกรมเอง

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Thanachai Jongsomchai 2010: Program Aided Designed for Smoke Control System in Building. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Phichai Kritmaitree, Ph.D. 156 pages.

The Thesis of Aided Designed for Smoke Control System in Building Program has been established accordance to the pressurized fan in the building is important for smoke control system, it controls the smoke level and can safe the people during fire evacuation.

Therefore, the key of program designing is focused on the accuracy of pressurized fan for different building by using the theoretical calculation. Because the correction at the first designing supports human life safety in the building.

This thesis has been designed for pressurized fan calculation by applying the visual basic likely easy user format. The validation has been passed by simulating the real condition in the example building and compare calculation result with existing fans.

The result presents the calculation of pressurized fans in the simulated building 16 floors is suitable by theoretical checking and program itself.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. พิชัย กฤชไมตรี ประธานกรรมการ และ รศ.ดร. สุรชัย รดาการ ประธานสาขาวิชา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษาและสนับสนุนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นิติบุคคลอาคารชุด สามภูมิการ์เด้น ที่ให้ใช้อาคารเป็นอาคารตัวอย่างและสนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยของอาคารทั้งหมดในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนวิศวกรที่ให้แนวทางในการทำวิจัยจนสำเร็จได้

ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้เวลาในการทำงานวิจัยเต็มที่จนสำเร็จได้

ธนาชัย จงสมชัย

เมษายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญญาลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	48
อุปกรณ์	48
วิธีการ	48
ผลและวิจารณ์	52
ผล	52
วิจารณ์	65
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก วิธีการติดตั้งและใช้งานโปรแกรม Smoke Control v1.1	71
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศและระบายควัน	91
ภาคผนวก ค โปรแกรม Smoke Control v1.1	111
ภาคผนวก ง กราฟสมรรถนะพัดลม	142
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	156

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	จำนวนห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศตามความสูงของอาคาร	17
2	ความเร็วของอากาศที่ผ่านประตูหนีไฟเพื่อป้องกันควันย้อนกลับ	18
3	จำนวนห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศตามความสูงของอาคาร	19
4	ความเร็วของอากาศที่ผ่านประตูหนีไฟเพื่อป้องกันควันย้อนกลับ	20
5	แสดงผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ	59
6	ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟเมื่อให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่	61
7	ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟเมื่อให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่	62
8	ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟเมื่อให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่	63
9	ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟเมื่อให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่	64

ตารางผนวกที่

ข1	ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ	92
ข2	ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในปล่องลิฟต์	95
ข3	ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในโถงลิฟต์ดับเพลิง	96
ข4	ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันโดยตรงที่ผนังด้านนอก	98
ข5	ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันโดยใช้พัดลมระบายควัน	100
ข6	ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงกลางพื้นที่	102
ข7	ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงมุมพื้นที่	104

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข8 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงผนัง 106

ข9 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงระเบียง 108

ข10 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงช่องเปิด 109

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงภายในห้องประชุม 1207 อาคาร 1 คณะ วิศวกรรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และตำแหน่งที่ เกิดไฟไหม้	4
2	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณปริมาณควันไฟที่เกิดขึ้นแบบ Axisymmetric Plume	6
3	แสดงความดันแตกต่างเมื่อทุกประตูปิดหมด	12
4	แสดงความดันแตกต่างเมื่อบางประตูเปิด	12
5	แสดงความดันแตกต่าง เมื่อบางประตูเปิด	13
6	แสดงการแบ่งเขตควบคุมควันแบบต่าง ๆ	14
7	แสดงรูปแบบควันเกิดกลางพื้นที่	45
8	รูปแบบควันเกิดที่มุมห้อง	45
9	รูปแบบควันที่สัมผัสกับผนัง	46
10	รูปแบบควันเกิดที่ชานระเบียง	46
11	รูปแบบควันเกิดที่หน้าต่าง	47
12	ขั้นตอนการออกแบบ	50
13	ด้านหน้าอาคารตัวอย่างอาคารชุดสามภูมิการเด้น	53
14	แบบด้านหน้าอาคารชุดสามภูมิการเด้น	54
15	แบบด้านข้างอาคารชุดสามภูมิการเด้น	54
16	แบบภายในอาคารชุดสามภูมิการเด้น	55
17	การติดตั้งพัดลมอัดอากาศบนชั้นดาดฟ้า	55
18	ป้ายบอกชนิดและขนาดของพัดลม	56
19	ชนิดของพัดลม ใช้สายพานขับด้วยมอเตอร์	56
20	ชนิดของพัดลม ใช้สายพานขับด้วยมอเตอร์	57
21	พัดลมอัดอากาศแบบอัดอากาศเข้าปล่องอากาศ	57
22	แสดงช่องจ่ายอากาศบันไดหนีไฟ	58
23	แสดงผลการคำนวณเมื่อจำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ 2 ชั้น	59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับจำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ	60
25	แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร ขณะประตูเปิด (ft^2)	61
26	แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร ขณะประตูปิด (ft^2)	62
27	แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างภายนอกกับอาคาร ขณะประตูเปิด (ft^2)	63
28	แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับผลต่างความดันระหว่างบันไดกับอาคาร	64

ภาพผนวกที่

ก1	แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม	72
ก2	แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม	73
ก3	แสดงทูลบาร์	73
ก4	แสดงหน้าต่างการออกแบบพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ	74
ก5	แสดงหน้าต่างการออกแบบพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ	75
ก6	แสดงส่วนที่จะต้องป้อนข้อมูล	76
ก7	แสดง ส่วนผลการคำนวณ	78
ก8	แสดง ผลการคำนวณ	78
ก9	แสดงหน้าต่างการออกแบบพัดลมอัดอากาศกับลิฟต์	79
ก10	แสดงส่วนที่ต้องป้อนข้อมูลคำนวณพัดลมอัดอากาศกับลิฟต์	80
ก11	แสดงหน้าต่างการออกแบบออกแบบพัดลมระบายควันแบบแบ่งเขต	81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ก12 แสดงหน้าต่างการออกแบบออกแบบพัดลมระบายควันแบบแบ่งเขตในกรณีการระบายควันโดยตรงที่ผนังด้านนอก 82

ก13 แสดงหน้าต่างการออกแบบออกแบบพัดลมระบายควันแบบแบ่งเขตในกรณีการใช้พัดลมระบายควัน 83

ก14 แสดงหน้าต่างออกแบบพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ 84

ก15 แสดง กรณีควันเกิดกลางพื้นที่และผลการคำนวณ 85

ก16 แสดง กรณีควันเกิดสัมผัสกับผนังและผลการคำนวณ 86

ก17 แสดง กรณีควันเกิดที่ชานระเบียงและผลการคำนวณ 87

ก18 แสดง กรณีควันเกิดที่หน้าต่างและผลการคำนวณ 88

ก19 แสดงหน้าต่างแปลงหน่วย 89

ก20 แสดงปุ่มแปลงหน่วย 89

ง1 แสดงลักษณะพัดลม Centrifugal 143

ง2 แสดงลักษณะพัดลม 144

ง3 แสดงลักษณะพัดลม 145

ง4 แสดงลักษณะพัดลม 146

ง5 แสดงลักษณะพัดลม 147

ง6 กราฟแสดงสมรรถนะพัดลม 148

ง7 แสดงแบบพัดลม 149

ง8 กราฟแสดงสมรรถนะพัดลม 150

ง9 แสดงแบบพัดลม 151

ง10 กราฟแสดงสมรรถนะพัดลม 152

ง11 แสดงแบบพัดลม 153

ง12 กราฟแสดงสมรรถนะพัดลม 154

ง13 แสดงแบบพัดลม 155

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ΔP_{min} = ผลต่างความดัน บันไดกับอาคารต่ำสุดที่ต้องการ (นิ้วน้ำ)

ΔP_{max} = ผลต่างความดัน บันไดกับอาคารสูงสุดที่ต้องการ (นิ้วน้ำ)

T_S = อุณหภูมิภายในอาคาร (แรงคิน)

T_O = อุณหภูมิภายนอกอาคาร (แรงคิน)

A_{SB} = พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร (ตารางฟุต)

A_{BO} = พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างอาคารกับภายนอก (ตารางฟุต)

b = ตัวประกอบอุณหภูมิ

A_{SOe} = พื้นที่การไหลหวังผลระหว่างบันไดกับภายนอก (ตารางฟุต)

y = จำนวนชั้นที่ประตูหนีไฟเปิด

G = ตัวประกอบความเร็วของอากาศ

Q_1 = ปริมาณอากาศที่ไหลออกจากประตูชั้นที่เปิด (ปอนด์ต่อวินาที)

Q_2 = ปริมาณอากาศที่ไหลออกสู่ภายนอก (ปอนด์ต่อวินาที)

H_M = ความสูงจำกัดของระบบอัดอากาศ (ฟุต)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

Z_1 = ความสูงจำกัดของไฟ (ฟุต)

E. = ปริมาณความร้อน (บีทียูต่อวินาที)

m. = ปริมาณควัน (ปอนด์ต่อวินาที)

W = ความกว้างของควันที่ออกจากใต้ระเบียง (ฟุต)

z_b = ความสูงจากระเบียงถึงส่วนล่างของชั้นควัน (ฟุต)

H = ความสูงจากไฟถึงส่วนล่างของระเบียง (ฟุต)

A_w = พื้นที่ของช่องเปิด (ตารางฟุต)

H_w = ความสูงของช่องเปิด (ฟุต)

z_w = ความสูงจากส่วนบนของช่องเปิดถึงส่วนล่างสุดของชั้นควัน (ฟุต)

a = Characteristic height

K_{pe} = สัมประสิทธิ์ 1.66×10^{-6}

A_S = พื้นที่หน้าตัดของปล่องลิฟต์ (ตารางฟุต)

A_{iO} = พื้นที่รอยรั่วระหว่างอาคารกับภายนอก (ตารางฟุต)

A_a = พื้นที่อาคารรอบตัวลิฟต์ (ตารางฟุต)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

A_{Si}	=	พื้นที่รอยรั่วระหว่างลิฟต์กับอาคาร (ตารางฟุต)
V	=	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลิฟต์
C_c	=	ค่าคงที่ 0.94 สำหรับปล่องลิฟต์หลายตัว
C_c	=	ค่าคงที่ 0.83 สำหรับปล่องลิฟต์ตัวเดียว
ΔP_{cni}	=	ความดันวิกฤติของการเกิด Piston Effect (นิ้วน้ำ)
A_e	=	พื้นที่การไหลเข้าสู่ขอบเขตของโซนเกิดควัน (ตารางฟุต)
ρ_S	=	ความหนาแน่นของก๊าซที่ผ่านพัดลม
ΔP_h	=	ผลต่างความดันที่ระดับฝ้าเพดาน (นิ้วน้ำ)
ρ_B	=	ความหนาแน่นของอากาศในโซนปลอดควัน
ρ_T	=	ความหนาแน่นของก๊าซในโซนเกิดควันในเส้นทางที่ถูกระบายออก
h	=	ความสูงฝ้าเพดานเหนือพื้น (ฟุต)
ΔP	=	ผลต่างความดันเฉลี่ย (นิ้วน้ำ)
A_e	=	พื้นที่การไหลหวังผลด้านเข้าจากโซนที่อยู่รอบ (ตารางฟุต)
P_F	=	ความดันในโซนเกิดเพลิง (นิ้วน้ำ)
P_O	=	ความดันภายนอกอาคาร (นิ้วน้ำ)
P_B	=	ความดันของอาคารนอกโซนเกิดเพลิงไหม้ (นิ้วน้ำ)
P_{BF}	=	ความดันแตกต่างที่อาคารกับต้นเพลิง (นิ้วน้ำ)
P_{BO}	=	ความดันแตกต่างที่อาคารกับภายนอก (นิ้วน้ำ)
A_V	=	ช่องเปิดที่ผนังด้านนอก (ตารางฟุต)
k_o	=	ค่าคงที่ 776
kg	=	ค่าคงที่ 1740
C	=	ค่าคงที่ 0.65
K_m	=	ค่าคงที่ 0.131

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคาร

Program Aided Designed for Smoke Control System in Building

คำนำ

สาเหตุที่คนเสียชีวิตเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ส่วนมากเนื่องมาจากควันไฟซึ่งประกอบด้วยก๊าซและสารต่างๆ เช่น คาร์บอน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอระเหยอื่นๆ มีผลต่อปอดและระบบการหายใจ เมื่อสมองขาดออกซิเจนไปหล่อเลี้ยง ก็จะทำให้หมดสติและเสียชีวิต ควันสามารถกระจายไปตามส่วนต่าง ๆ ของอาคารได้ ทำลายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ควันจะเคลื่อนที่ไปตามช่องบันไดและปล่องลิฟต์ซึ่งเป็นช่องทางเดินของควันและเป็นที่สะสมควัน ซึ่งในที่สุดเมื่อควันหนาแน่นมากขึ้นผู้ใช้อาคารไม่สามารถใช้บันไดเพื่อหนีไฟได้และพนักงานดับเพลิงก็ไม่สามารถเข้าดับเพลิงได้โดยง่าย จึงจำเป็นที่จะต้องมีระบบควบคุมควันไฟเพื่อให้การอพยพหนีไฟเป็นไปอย่างปลอดภัย การควบคุมการแพร่กระจายของควันสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกำจัดบริเวณ การทำให้เจือจาง การใช้อากาศผลักดัน การสร้างความดันอากาศ หรือการปล่อยให้ลอยตัวเป็นต้น

การออกแบบระบบควบคุมควันไฟที่ถูกต้องและมีความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่จะช่วยให้เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นการอพยพหนีไฟมีความปลอดภัยมากขึ้นและเจ้าหน้าที่ดับเพลิงเข้าถึงต้นเพลิงได้อย่างรวดเร็วและทำการดับเพลิงได้ปลอดภัยมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสร้างโปรแกรมสำหรับออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคารโดยออกแบบโปรแกรมให้สามารถคำนวณขนาดพัดลมระบายควัน พัดลมอัดอากาศได้อย่างรวดเร็วถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดและสามารถปรับเปลี่ยนค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบได้อย่างรวดเร็วทำให้การออกแบบก่อนการติดตั้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของควันไฟกับส่วนต่างๆ ของอาคาร

2. เพื่อใช้คำนวณหาขนาดอุปกรณ์ควบคุมควันไฟ พัดลมอัดอากาศ พัดลมระบายควันภายในอาคาร

3. เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบระบบควบคุมควันไฟภายในอาคาร

4. เพื่อพิจารณาค่าตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบมากที่สุด ความสำคัญของค่าดังกล่าวต่อความปลอดภัย

ความสำคัญของปัญหา

จากปัญหาที่พบว่าเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้คนจะเสียชีวิตจากควันไฟเป็นอันดับแรก เนื่องจากสำลักควันและขาดอากาศหายใจ

จึงมีความจำเป็นที่จะต้องรักษาระดับควันไฟไว้ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการอพยพหนีไฟ และอุปกรณ์ที่จะช่วยรักษาระดับควันไฟที่เมื่อเกิดเพลิงไหม้ไว้ได้ คือ พัดลมอัดอากาศและพัดลมระบายควัน แต่การคำนวณขนาดพัดลมมีความยุ่งยากและซับซ้อนใช้เวลามาก การมีโปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดพัดลมได้จะช่วยให้สามารถคำนวณหาขนาดพัดลมได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

ขอบเขตงานวิจัย

ออกแบบและจัดสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการออกแบบระบบควบคุมควันไฟในอาคาร โดยโปรแกรม สามารถคำนวณหาขนาดของพัดลมอัดอากาศหรือระบายควันได้และโปรแกรม สามารถใช้ได้กับอาคาร ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. อาคารมีระบบอัดอากาศภายในบันไดหนีไฟ

2. อาคารมีระบบอัดอากาศกับลิฟต์

3. อาคารมีระบบระบายควัน กับการแบ่งเขตการเกิดเพลิงไหม้ของอาคาร

4. อาคารที่มีโถงเปิดโล่งขนาดใหญ่

โปรแกรมที่ได้จะนำมาใช้ทดสอบกับอาคารตัวอย่าง คือ อาคารชุดสามภูมิการ์เด้นท์ และนำผลการคำนวณขนาดพัดลมที่ได้มาเปรียบเทียบความถูกต้องของพัดลมที่มีการติดตั้งอยู่แล้วว่าถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎีการคำนวณและมาตรฐานงานระบบควบคุมควันไฟอย่างไร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โปรแกรมออกแบบระบบควบคุมควันไฟสำหรับโถงสูงและช่องเปิดขนาดใหญ่ โดย (สกล, 2546) นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมออกแบบระบบควบคุมควันไฟสำหรับโถงสูงและช่องเปิดขนาดใหญ่ซึ่งพัฒนาบนโปรแกรม Visual Basic โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อความสะดวกรวดเร็ว แม่นยำและง่ายต่อการใช้งานเนื่องจากข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมมีลักษณะที่เข้าใจได้ง่ายและสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลของการออกแบบได้ตลอดเวลา ผลจากการนำโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมควันไฟสำหรับห้องประชุม 1207 อาคาร 1 คณะวิศวกรรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 1 แสดงภายในห้องประชุม 1207 อาคาร 1 คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และตำแหน่งที่ เกิดไฟไหม้

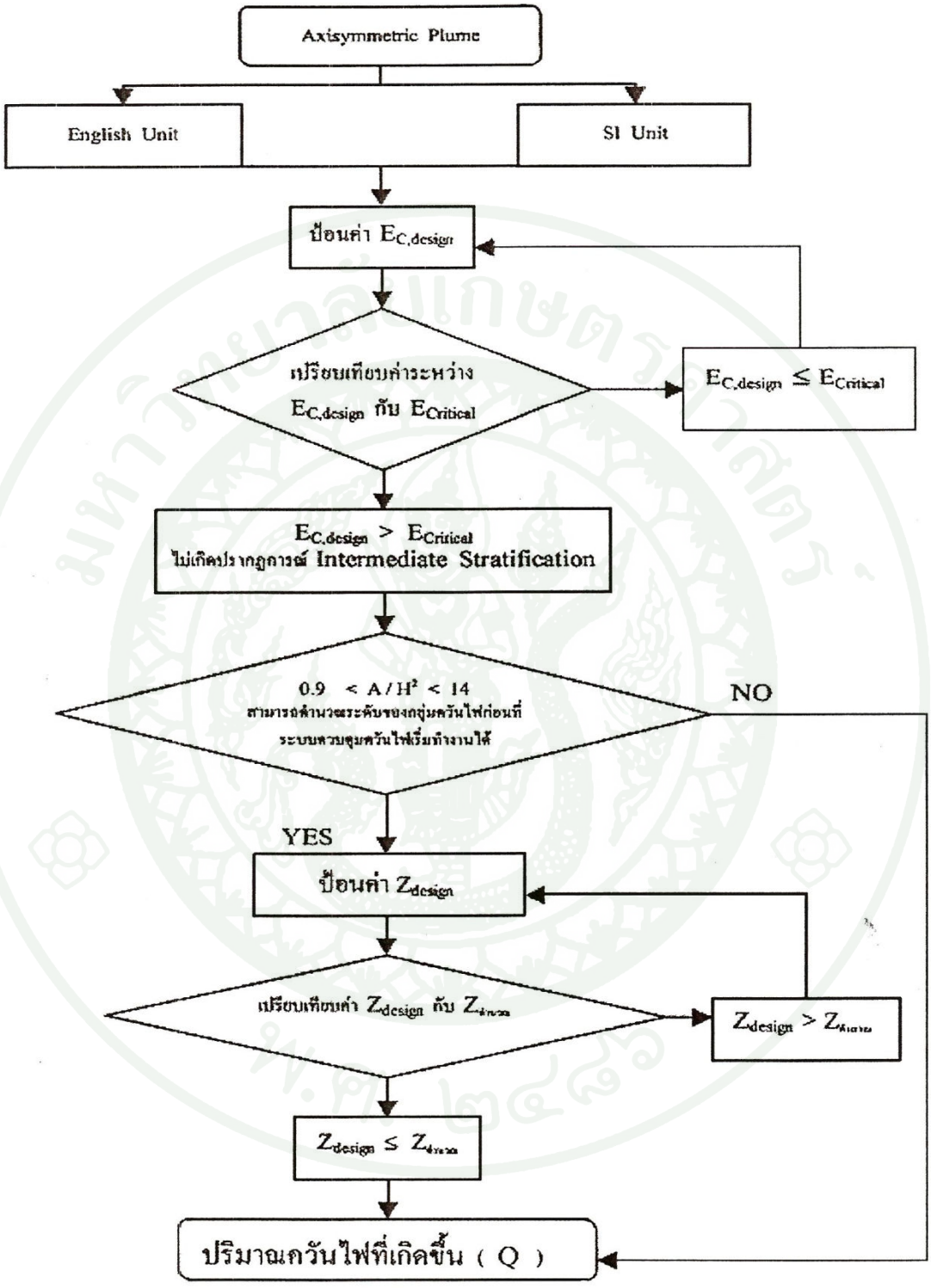
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พบว่ากรณีการเกิดเพลิงไหม้ใต้ระเบียงภายในห้องประชุมมีปริมาณควันมากที่สุด จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์การไหล Cosmos Design Star ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดการไหลของควันไฟ รวมถึงความเร็ว ความดันและอุณหภูมิของควันไฟที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องประชุมหลังการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟแล้วอย่างละเอียด พบว่าขนาดของพัดลมที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นได้ สามารถระบายควันไฟได้อย่างเหมาะสม โดยความดันภายในห้องมีค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศเพียงเล็กน้อยในห้องบริเวณเส้นทางการหนีไฟจะอยู่ที่ 60 °C ซึ่งผู้ที่ติดอยู่ภายในห้องประชุมสามารถใช้เส้นทางในการอพยพได้

การออกแบบระบบควบคุมควันไฟในโถงสูงและช่องเปิดขนาดใหญ่ ผู้ออกแบบต้องพิจารณารายละเอียดต่างๆ ซึ่งได้แก่ แบบแปลนของโถงสูงหรือช่องปิดในแบบต่างๆ ระดับของกลุ่มควันที่ปลอดภัยต่อการอพยพผู้คน ปริมาณของควันไฟที่เกิดจากไฟในตำแหน่งต่างๆ และวิธีการเติมอากาศโดยอ้างอิงตามมาตรฐานของ NFPA 92B โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมออกแบบระบบควบคุมควันไฟสำหรับโถงสูงและช่องเปิดขนาดใหญ่ หลังจากนั้นจะนำโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ไปออกแบบระบบควบคุมควันไฟสำหรับห้องประชุมดังกล่าว เพื่อเลือกขนาดของพัดลมระบายควันที่เหมาะสมและสุดท้ายจะนำโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์การไหลมาจำลองลักษณะการไหลของควันในห้องประชุม เพื่อทดสอบความเหมาะสมของขนาดพัดลมที่ได้ทำการติดตั้งซึ่งได้มาจากการคำนวณของโปรแกรมออกแบบระบบควบคุมควันไฟ

ผลการออกแบบระบบควบคุมควันไฟสำหรับอัคคีภัยที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุมสามารถเกิดได้ 3 กรณีได้แก่ ไฟเกิดกลางพื้นที่ ไฟเกิดใต้ระเบียง และไฟเกิดภายในห้องควบคุมแสงเสียง จากผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมพบว่าปริมาณควันไฟที่เกิดจากต้นเพลิงที่อยู่กึ่งกลางพื้นที่ คือ 44,061 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที ในขณะที่ต้นเพลิงใต้ระเบียงเกิดปริมาณควันไฟ 101,462 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที และสุดท้าย สำหรับต้นเพลิงเกิดในห้องควบคุมแสงเสียงปริมาณควันไฟ 1,596 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณปริมาณควันไฟที่เกิดขึ้นแบบ Axisymmetric Plume

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นจากผลจากคำนวณทำให้ทราบว่าเพลิงไหม้บริเวณใต้ระเบียงเกิดปริมาณควันไฟสูงสุด ดังนั้นเลือกใช้ค่านี้ในการออกแบบขนาดพัดลม โดยมีข้อกำหนดขอการออกแบบ คือต้องรักษาระดับของกลุ่มควันไม่ให้ต่ำกว่า 3 เมตรวัดจากระดับพื้นชั้นสูงสุดที่มีเส้นทางการหนีไฟตามมาตรฐาน NFPA 92B กำหนด ดังนั้นการติดตั้งระบบควบคุมควันไฟในห้องประชุมแบ่งออกเป็น 2 สอง คือ

1. ส่วนระบายควันไฟออกจากห้องซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนี้ เช่นพัดลม มอเตอร์ ฯลฯ ต้องสามารถทนอุณหภูมิ 200 ^{o}C เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง จากผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมพบว่า ปริมาณควันที่เกิดขึ้นมากที่สุด 101,462 cfm ดังนั้นขนาดของพัดลมที่เหมาะสม คือ พัดลมที่มีอัตราการระบาย 22,000 cfm มอเตอร์ขนาด 14 กิโลวัตต์ การพิจารณาเลือกขนาดพัดลมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ราคาของอุปกรณ์ สถานที่ติดตังโดยใช้ทั้งหมด 5 ตัวซึ่งมีอัตราการระบายควันได้รวม 110,000 cfm เหตุผลที่เลือกใช้พัดลมที่มีอัตราการระบายควันไฟมากกว่าปริมาณควันไฟที่เกิดขึ้นเล็กน้องเพื่อเพิ่มความมีเสถียรภาพของระบบควบคุมควันไฟ ส่วนตำแหน่งของการติดตั้งชิองสำหรับดูดควันไฟออกจากห้องควรอยู่ที่เพดานและควรวางกระจายให้สมดุลกัน

2. ส่วนระบบเติมอากาศเข้าในห้องอุปกรณ์ในระบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แบบที่ทนอุณหภูมิสูงได้ การเลือกขนาดพัดลมที่เหมาะสมกับระบบนี้ต้องมีขนาดเช่นเดียวกันกับพัดลมที่ใช้ในระบบระบายควันไฟ เพราะจะทำให้ปริมาณการระบายควันไฟเท่ากับปริมาณอากาศเติมเข้า เพื่อป้องกันการเกิดความดันที่แตกต่างระหว่างภายในห้องและนอกห้อง ตำแหน่งของช่องนำอากาศเข้าควรอยู่ภายในระยะ 3 เมตร วัดจากพื้นห้องขึ้นไปเพราะถ้าเติมอากาศเข้าไปในบริเวณที่เป็นแหล่งสะสมควันก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณควันที่ต้องระบายออกไปซึ่งอาจจะส่งผลให้ระบบควบคุมควันไม่สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพดังที่ได้ออกแบบไว้ ตำแหน่งที่สำคัญที่ต้องติดตั้ง คือ บริเวณเหนือประตูของเส้นทางหนีไฟ ส่วนตำแหน่งอื่นๆ ควรกระจายทั่วห้อง

สรุปผลการทดลองการออกแบบระบบควบคุมควันไฟสำหรับโถงสูงและช่องเปิดขนาดใหญ่มีการคำนวณปริมาณควันไฟที่เกิดขึ้นแตกต่างกันตามตำแหน่งของต้นเพลิงและลักษณะของโถงสูงหรือช่องเปิดขนาดใหญ่ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยลดเวลาและเพิ่มความถูกต้องของการออกแบบโดยเฉพาะลดความซับซ้อนในขั้นตอนของการออกแบบเพราะสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลต่างๆ ของโถงสูงหรือช่องเปิดขนาดใหญ่ได้โดยสะดวก นอกจากนี้ลักษณะเด่นของโปรแกรม คือ ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมควันไฟ เพราะข้อมูลที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต้องป้อนเข้าไปสามารถเป็นค่าที่เข้าใจได้ง่ายในกรณีที่ป้อนข้อมูลผิดพลาดหรือไม่เหมาะสม โปรแกรมสามารถแสดงถึงตำแหน่งของข้อมูลและวิธีการที่ต้องแก้ไข เพื่อที่จะสามารถที่จะคำนวณปริมาณควันที่เกิดขึ้นต่อไปได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ควันไฟ ควันไฟประกอบด้วยก๊าซและสารต่างๆ เช่น คาร์บอน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอระเหยอื่นๆ ควันไฟจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ภายในอาคารต้องอาศัย

1.1 แรงลอยตัว คือแรงผลักดันให้ควันลอยขึ้นสูงเนื่องจากความหนาแน่นที่ลดน้อยลงของก๊าซร้อน หาได้จากสมาการ

$$\Delta p = K_s \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s}\right) h \qquad (1)$$

โดยที่ Δp = ความดันแตกต่าง, Pa (in.WG)

T_o = อุณหภูมิภายนอกอาคาร, K (^oR)

T_s = อุณหภูมิภายในอาคาร, K (^oR)

h = ความสูง, m (ft)

K_s = ค่าคงที่ 3460 (7.64)

1.2 การขยายตัวของอากาศ ซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงขับดันให้ควันแพร่ออกไปตามช่องเปิดต่าง ๆหาได้จากสมาการ

$$\frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{T_{out}}{T_{in}} \qquad (2)$$

โดยที่ Q_{out} = อัตราการไหลออกของควันไฟ, m^3/s (cfm)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Q_{in} = อัตราการเติมอากาศเข้า, m^3/s (cfm)

T_{out} = อุณหภูมิของควันไฟ, K (^oR)

T_{in} = อุณหภูมิของอากาศ, K (^oR)

1.3 แรงลมจากภายนอก จะมีผลอย่างมากกับอาคารสูง

1.4 Stack Effect ซึ่งเกิดเฉพาะกับอาคารสูง Stack Effect เกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายใน และภายนอกอาคาร ทำให้เกิดความดันแตกต่างระหว่าง ส่วนบน และส่วนล่างของอาคาร จึงมีการไหลของอากาศเกิดขึ้นภายในช่องเปิดตามแนวดิ่งของอาคาร เช่น ปล่องบันได ปล่องลิฟต์ ช่องท่อ เป็นต้น โดยที่ในเมืองหนาวอากาศจะไหลขึ้นด้านบน สำหรับเมืองร้อนจะเกิดในทิศทางตรงกันข้ามคือ อากาศไหลลงด้านล่างจึงทำให้เรียกชื่อว่า Reverse Stack Effect การควบคุมควันจะใช้ ผนัง พื้น และเพดาน เป็นขอบเขตป้องกันควัน ร่วมกับการใช้การไหลของอากาศ และความดันแตกต่างระหว่างขอบเขตป้องกันควัน

ที่มา: NFPA (1988)

2. หลักของการควบคุมควัน

การควบคุมควันจะใช้ ผนัง พื้น และเพดาน เป็นขอบเขตป้องกันควัน ร่วมกับการใช้การไหลของอากาศ และความดันแตกต่างระหว่างขอบเขตป้องกันควัน (จักรพันธ์, 2546)

การใช้ความดันแตกต่างเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของควันโดยทั่วไปหมายถึงการอัดความดัน การอัดความดันจะทำให้เกิดการไหลของอากาศผ่านรอยแยกเล็กๆ (เช่น รอยแยกรอบๆ ประตู) ซึ่งสามารถป้องกันไม่ให้ควันผ่านรอยแยกเล็กๆ เหล่านั้น จะเห็นได้ว่าการใช้ความดันแตกต่างก็เป็นส่วนหนึ่งของการใช้การไหลของอากาศเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของควัน แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาวิธีการทั้งสองแยกกันก็จะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ สำหรับขอบเขตป้องกันควันที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่เช่น ประตู การวัดความเร็วของอากาศจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมทั้งในการออกแบบ และการทดสอบ แต่สำหรับช่องเปิดเล็ก ๆ เช่น รอยแยกรอบๆ ประตู การวัดความเร็วลมไม่สามารถทำได้ ตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบก็คือความดันแตกต่าง

วิธีประมาณความเร็วลมเพื่อป้องกันควันผ่านทางเดิน (Corridor) ในการออกแบบระบบจัดการควัน (ASHRAE, 1992) วิธีนี้สามารถนำมาประมาณความเร็วลมสำหรับประตูเปิด หรือช่อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปิดขนาดใหญ่ได้ ความเร็วลมนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยพลังงานจากเพลิงไหม้และความกว้างของช่องเปิด ตัวอย่างเช่นไฟที่ปลดปล่อยพลังงาน 125 KW. ความเร็วลมที่ป้องกันควันได้คือ 1.5 m/s (300 fpm) ที่ความกว้างของทางเดินเท่ากับ 0.9 เมตร อย่างไรก็ตาม หากเป็นอาคารที่มีระบบดับเพลิงที่ใช้หัวฉีดน้ำอัตโนมัติ ควันจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิบรรยากาศ ความเร็วลมเพียง 0.25 m/s (50 fpm) ก็เพียงพอที่จะป้องกันควัน

มีปัญหาสองประการเกี่ยวกับการควบคุมควันในอาคารที่ไม่มีระบบหัวฉีดน้ำอัตโนมัติ อย่างแรกคือต้องการอัตราไหลของอากาศสูงมาก ทำให้ระบบมีราคาแพง อย่างที่สองคือ อัตราการไหลของอากาศจำนวนมาก ๆ ทำให้เกิดแรงดันที่ประตูมาก ทำให้ต้องใช้แรงในการเปิดมาก

ดังนั้นวิธีการใช้อากาศไหลเพื่อป้องกันควันจึงไม่ใช่วิธีการหลัก วิธีการใช้อากาศไหลเหมาะกับการใช้งานกรณีพิเศษ เช่น ในอุโมงค์ แต่จะไม่กล่าวถึงในบทความนี้

การอัดความดัน คือวิธีการควบคุมควันในอาคารที่ใช้กันโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม ผลกระทบจากการเปิดประตูผ่านขอบเขตป้องกันควันเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาให้ดี ถ้าหากมีการเปิดประตูเป็นระยะเวลาสั้นๆ เช่น คนคนเดียวหนีออกจากบริเวณที่มีควัน ทำให้มีควันเล็ดลอดเข้ามาได้เล็กน้อย กรณีอย่างนี้จะไม่ส่งผลเสียต่อระบบควบคุมควันโดยรวมมากนัก

ความดันแตกต่างที่ใช้ในการออกแบบในการออกแบบจะต้องพิจารณาทั้งความดันแตกต่างมากที่สุด และน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ ความดันแตกต่างมากที่สุดที่ยอมรับได้ คือความดันที่ไม่ทำให้แรงที่ใช้เปิดประตูเกินกว่าค่าที่กำหนดใน NFPA 101 คือ 133N (30LB) แรงที่ต้องใช้ในการเปิดประตูจะประกอบด้วยแรงเนื่องจากความดันแตกต่างคร่อมประตู และแรงเนื่องจากอุปกรณ์ช่วยปิดประตู (Door Closer) ดังนั้นความดันแตกต่างมากที่สุดที่ยอมรับได้ จึงขึ้นอยู่กับ ความกว้างของประตู, ความดันแตกต่างคร่อมประตูและแรงจากอุปกรณ์ช่วยปิดประตู

การเปลี่ยนแปลงของความดันแตกต่างเล็กน้อยจากค่าที่กำหนดเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ จะไม่ทำให้เกิดผลกระทบร้ายแรงกับระบบควบคุมควัน อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปที่แน่นอนว่าจะยอมให้ความดันแตกต่างมีค่าแตกต่างจากค่าแนะนำได้เท่าไร โดยทั่วไปค่าที่เปลี่ยนไป 50% ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ถือว่ายอมรับได้

2.1 บันไดอัดความดัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การออกแบบบันไดอัดความดันมีเป้าหมายเพื่อให้มีทางหนีที่มีสภาวะภายในปลอดภัย พอประมาณถ้าเกิดเพลิงไหม้อาคาร จะเห็นได้ว่าเป้าหมายนี้ก็ยังคงประสบผลแม้ว่าจะมีควันเล็ดลอดเข้าไปบ้างเล็กน้อย การออกแบบบันไดอัดความดันมีสิ่งสำคัญที่ต้องตระหนักถึง 3 ประการ

1. ความดันแตกต่างระหว่างบันไดกับอาคารมีค่าไม่คงที่ตลอดความสูงของอาคาร

2. เมื่อมีการเปิดและปิดประตูหนีไฟ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันภายในบันได ค่อนข้างมาก

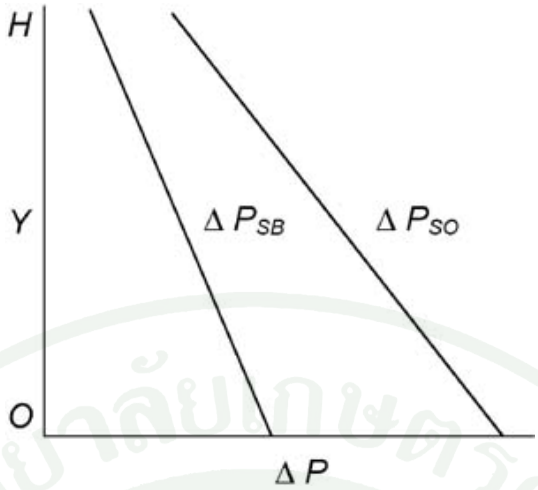
3. ตำแหน่งของพัดลม และช่องนำลมเข้าต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ

โดยทั่วไปมักจะคิดกันว่าความดันแตกต่างระหว่างบันไดกับอาคารจะมีค่าเท่ากันทุกๆชั้น แต่ความจริงหาเป็นเช่นนั้นไม่

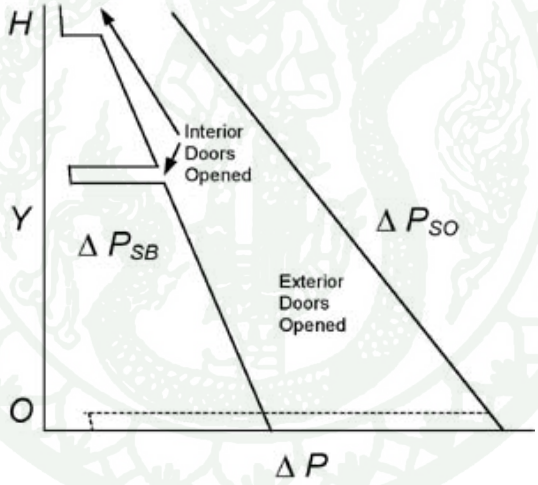
สำหรับอาคารที่ไม่มีรอยรั่วตามแนวดิ่ง ผ่านพื้น หรือช่องท่อ ยกเว้นช่องบันได Pressure Profile จะเป็นเส้นตรง อาคารที่มีรอยรั่วตามแนวดิ่งซับซ้อนสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ความดันของทั้งอาคารได้ เมื่อมีการเปิดประตูบันไดอัดความดันประตูใดประตูหนึ่ง ความดันแตกต่างคร่อมประตูอื่นๆจะลดต่ำลงอย่างมาก แนวคิดในการออกแบบเพื่อแก้ปัญหานี้มีสองแบบคือ อย่างแรกจ่ายลมเข้าบันไดคงที่ แล้วให้มีการ Relief เมื่อความดันแตกต่างสูงเกิน และอย่างที่สองแปรเปลี่ยนปริมาณลมจ่ายเข้าบันไดโดยขึ้นอยู่กับความดันแตกต่างขณะนั้นๆ รูปที่ 3 แสดงระบบที่มีการจ่ายลมเข้าบันไดคงที่ แล้วใช้การ Relief ผ่านประตูที่เปิดออกสู่ภายนอก ซึ่งประตูนี้จะเปิดโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ระบบนี้มีชื่ออีกอย่างหนึ่งคือ Canadian System เพราะเป็นระบบที่ใช้บังคับในประเทศแคนาดา

ความดันแตกต่างระหว่างบันไดกับภายนอกอาคาร มีค่าต่างกับความดันแตกต่างระหว่างบันไดกับภายในอาคาร และความดันแตกต่างระหว่างบันไดกับอาคารจะมีค่าลดต่ำลงตรงชั้นที่มีการเปิดประตู

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

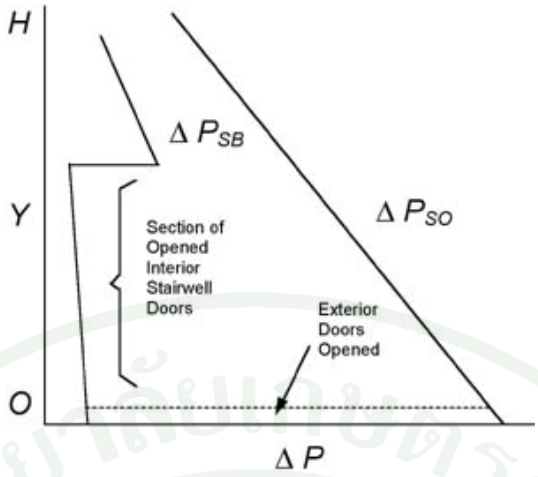


ภาพที่ 3 แสดงความดันแตกต่างเมื่อทุกประตูปิดหมด



ภาพที่ 4 แสดงความดันแตกต่างเมื่อบางประตูเปิด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



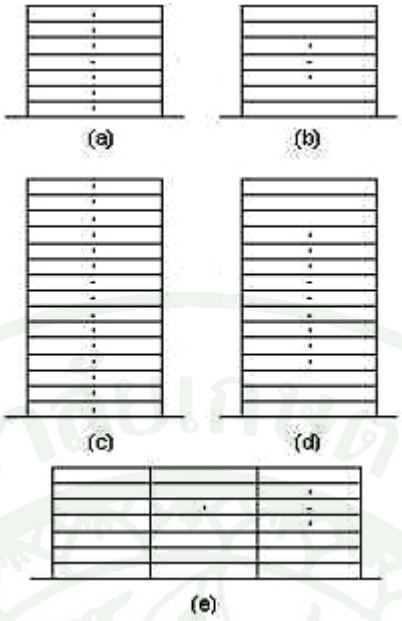
ภาพที่ 5 แสดงความดันแตกต่าง เมื่อบางประตูเปิด

ระบบบันไดอัดความดันมีโอกาสที่จะดูดควันอัดเข้ามาภายในบันไดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจจับควันเพื่อตัดการทำงานของระบบโดยอัตโนมัติเมื่อตรวจจับควันได้ ช่องทางลมเข้าของระบบอัดความดันควรอยู่ห่างจากช่องระบายอากาศ,บริเวณจุดปล่อยควันของระบบระบายควัน (Smoke Exhaust System), ช่องระบายอากาศของปล่องลิฟต์ และช่องอื่นๆ ที่มีโอกาสจะเป็นช่องทางออกของควัน เนื่องจากควันร้อนจะลอยสูงขึ้น ดังนั้นการพิจารณาให้ช่องนำอากาศเข้าอยู่ต่ำกว่าช่องเปิดอื่นๆ ของอาคารจึงน่าจะดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ของควันภายนอกอาคารอาจจะได้รับอิทธิพลจากลม และลักษณะของอาคาร จึงไม่สามารถประกันได้ว่า ควันจะไม่วกลงไปในที่ต่ำกว่า ตามข้อมูลที่มีในปัจจุบันจึงไม่สามารถยืนยันได้ว่าการตั้งพัดลมที่ระดับพื้นดินดีกว่าการตั้งพัดลมที่ระดับหลังคา ผู้ออกแบบบางท่านจึงออกแบบให้มีพัดลมทั้งที่ระดับพื้นดิน และชั้นหลังคา เพื่อว่าเมื่อมีการตรวจจับควันได้ที่ใดที่หนึ่งระบบอัดความดันก็ยังคงทำงานอยู่ได้

2.2 การควบคุมควันแบบแบ่งเขต

อาคารในหนึ่งอาคารสามารถแบ่งได้เป็นหลายเขต โดยที่แต่ละเขตถูกแบ่งจากกันด้วยผนังและพื้น หนึ่งเขตอาจจะเป็นหนึ่งชั้นของอาคาร หรือมากกว่า หรือหนึ่งชั้นของอาคารอาจแบ่งเป็นหลายเขตก็ได้ รูปแบบต่าง ๆ ของการแบ่งเขตแสดงในรูปที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 แสดงการแบ่งเขตควบคุมควันแบบต่าง ๆ

เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ จะมีการสร้างความดันแตกต่าง โดยใช้พัดลมดูดอากาศออกจากเขตเพลิงไหม้ เพื่อไม่ให้ควันในเขตเพลิงไหม้แพร่กระจายออกไปยังเขตอื่นๆ ปริมาณอากาศที่ดูดจากเขตเพลิงไหม้โดยทั่วไปใช้ 6 ACH.(Air Changes Per Hour) อย่างไรก็ตามการดูดควันออกจากเขตเพลิงไหม้จะทำให้มีอากาศจากเขตอื่นที่อยู่รอบๆ ไหลเข้ามาในเขตเพลิงไหม้ซึ่งกลับกลายเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับไฟ การออกแบบในปัจจุบันตั้งอยู่บนสมมติฐานว่า ผลเสียจากการจ่ายออกซิเจนจากอากาศที่อัตรา 6 ACH. ไม่มีผลสำคัญเมื่อเทียบกับประโยชน์ที่ได้จากการควบคุมไม่ให้ควันแพร่กระจายไปยังเขตอื่นๆ ดังนั้นอัตราระบายควัน 6 ACH. จึงเป็นอัตราสูงสุดที่แนะนำให้ใช้

ถึงแม้จะมีระบบระบายควัน ภายในเขตเพลิงไหม้ก็ยังคงมีควันอยู่ค่อนข้างหนาแน่น และเป็นอันตรายต่อคน ดังนั้นคนในเขตเพลิงไหม้จะต้องอพยพบออกไปอย่างเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

2.2.1 การสั่งการทำงานของระบบควบคุมควันแบบแบ่งเขต

การสั่งการทำงานของระบบเป็นเรื่องที่มีความคิดขัดแย้งกันค่อนข้างมาก โดยเฉพาะเรื่องที่ควรจะเป็นการสั่งการทำงานโดยอัตโนมัติ หรือให้สั่งการทำงานด้วยมือ ในช่วงแรกๆมีความเห็นตรงกันว่าควรเป็นการสั่งทำงานโดยอัตโนมัติโดยใช้สัญญาณ จากอุปกรณ์ตรวจจับควันซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับควันมีข้อดี คือ ตอบสนองเร็ว ผู้ออกแบบบางท่าน เริ่มคิดได้ว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ควันอาจเคลื่อนที่ไปได้ไกล และอาจถูกตรวจจับได้ในเขตอื่น ซึ่งไม่ใช่เขตเพลิงไหม้ ทำให้มีการดูดอากาศผิดเขต ดังนั้นจึงเริ่มมีความคิดว่าระบบควบคุมควันน่าจะถูกสั่งให้ทำงานด้วยมือโดยพนักงานดับเพลิงซึ่งได้ทราบแน่ชัดแล้วว่าเกิดเพลิงไหม้ในบริเวณใด อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบอีกหลายๆ ท่านมีความเห็นว่าการสั่งการทำงานด้วยมือจะล่าช้าเกินไปในปัจจุบันนี้โดยทั่วไปมีความเห็นว่าระบบควบคุมควันแบบแบ่งเขตควรถูกสั่งให้ทำงานโดยอัตโนมัติ โดยใช้สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน และอุปกรณ์จับการไหลของน้ำในระบบดับเพลิงแบบหัวฉีดน้ำอัตโนมัติ ถึงแม้จะมีความเห็นขัดแย้งตามที่กล่าวมา ยังคงมีความเห็นหนึ่งที่ทุกคนเห็นพ้องต้องกันคือระบบควบคุมควันแบบแบ่งเขต ไม่ควร ใช้การสั่งการทำงานจาก Manual Pull Box เนื่องจากมีโอกาสสูงมากที่จะมีการดึง Manual Pull Box นอกเขตเพลิงไหม้ เช่น เมื่อคนพบเห็นเพลิงไหม้แล้ววิ่งหนีลงทางบันได แต่นึกขึ้นได้ระหว่างทางว่าควรแจ้งเตือนผู้อื่นด้วย จึงดึง Manual Pull Box ในขณะที่วิ่งผ่านในชั้นที่อาจจะอยู่ห่างจากเขตเพลิงไหม้หลายๆชั้น กรณีเช่นนี้จะทำให้ระบบควบคุมควันระบุเขตเพลิงไหม้ผิด และมีการระบายควันผิดชั้น

โดยทั่วไป มีความคิดเห็นตรงกันว่าบันไดอัดความดันสามารถสั่งการทำงานโดยใช้สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ชนิดใดก็ได้

2.2.2 การทดสอบเพื่อการยอมรับ (Acceptance Testing)

การทดสอบจำเป็นต้องมีเพื่อทำให้แน่ใจได้ว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ ระบบควบคุมควันมักจะต้องการการปรับปริมาณลม หรือการตั้งความดันอยู่แล้ว การปรับแต่งนี้จึงสามารถทำในขณะการทดสอบได้เลย ระบบควบคุมควัน ซึ่งได้รับการจ่ายไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง ต้องได้รับการทดสอบขณะที่ได้รับไฟจากเครื่องจ่ายไฟฟ้าสำรองด้วย สำหรับระบบควบคุมควันแบบแบ่งเขตให้สมมุติว่ามีเขตหนึ่งเป็นเขตเพลิงไหม้ แล้วทำการวัดความดันแตกต่างคร่อมขอบเขตนั้น ๆ เมื่อทำการทดสอบเสร็จเขตหนึ่ง ก็ทำการทดสอบเขตอื่นๆจนครบทุกเขต ระบบซึ่งสั่งการทำงานโดยอัตโนมัติควรมีการทดสอบโดยทำให้อุปกรณ์ตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ทำงาน แล้วดูว่าระบบควบคุมควันถูกสั่งให้ทำงานอย่างถูกต้องหรือไม่ ระบบบันไดอัดความดัน ให้เริ่มทำการทดสอบเมื่อทุกประตูปิดหมด แล้วทำการวัดความดันแตกต่างคร่อมประตูทุกประตู หลังจากนั้นให้เริ่มเปิดประตูหนึ่งประตู แล้ววัดความดันแตกต่างคร่อมประตูทุกประตูทุกชั้น ให้ค่อยๆเปิดทีละประตูไปเรื่อยๆจนครบตามที่ออกแบบ มี ข้อควรระวังเมื่อมีการใช้ควันจากสารเคมีในการทดสอบระบบ ปัญหาก็คือในการทดสอบมักจะดูกันว่าควันภายในเขตเพลิงไหม้จะถูกดูดออกไปได้ หมดเมื่อไร ซึ่งเป็นความเข้าใจผิดๆ เกี่ยวกับระบบควบคุมควันแบบแบ่งเขต ซึ่งมัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เข้าใจกันว่าระบบระบายควันจะทำให้สภาพภายในเขตเพลิงไหม้ดีขึ้น แต่เป้าหมายที่แท้จริงของระบบควบคุมควันแบบแบ่งเขตคือ ป้องกันไม่ให้ควันแพร่กระจายไปยังเขตอื่นๆ ไม่ใช่การทำให้เขตเพลิงไหม้ปราศจากควัน ปัญหาสำคัญอีกประการของการใช้ควันจากสารเคมีคือควันจากสารเคมีไม่มีความร้อน ต่างจากควันที่เกิดจากไฟจริงๆ ซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณ 650-1000 ^{o}C ดังนั้น ควันจากสารเคมีจะมีแรงลอยตัวน้อยกว่าควันจริงๆมาก แต่อย่างไรก็ตามสามารถประมาณได้ว่าควันจากสารเคมีมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับ ควันที่เกิดจากไฟจริงในอาคารที่มีระบบดับเพลิงแบบหัวฉีดน้ำดับเพลิง อัตโนมัติ ซึ่งน้ำที่ฉีดออกมาจะทำให้อุณหภูมิของควันมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของ บรรยากาศ

ที่มา: NFPA (1991)

3. ระบบควบคุมควัน

3.1 การออกแบบและติดตั้ง

3.1.1 ระบบอัดอากาศภายในบันไดหนีไฟ

3.1.1.1 พื้นอาคารส่วนที่ต่ำกว่าระดับถนนหน้าอาคารตั้งแต่ชั้นที่ 3 ลงไป หรือต่ำกว่าระดับถนนหน้าอาคารตั้งแต่ 7 เมตร (23 ฟุต) ลงไป ต้องจัดให้มีบันไดหนีไฟที่มีระบบอัดลมที่มีความดันขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 38.6 ปาสกาล (0.15 นิ้ว น้ำ) ทำงานอยู่ตลอดเวลา

3.1.1.2 บันไดหนีไฟที่อยู่ภายในอาคารต้องมีอากาศถ่ายเทจากภายนอกอาคารได้ แต่ละชั้นต้องมีช่องระบายอากาศที่มีพื้นที่รวมกันไม่น้อยกว่า 1.4 ตารางเมตร เปิดสู่ภายนอกอาคารได้ หรือมีระบบอัดลมภายในช่องบันไดหนีไฟที่มีความดันลมขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 38.6 ปาสกาล (0.15 นิ้ว น้ำ) ที่ทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้

3.1.1.3 ตำแหน่งที่ตั้งของพัดลมอดอากาศควรอยู่ห่างแหล่งกำเนิดควันไฟและต้องไม่อยู่ในทิศทางที่สามารถดูดควันกลับเข้ามาในอาคารได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.1.4 ในกรณีที่อาคารมีความสูงไม่เกิน 23 เมตร อนุญาตให้จ่ายลมจากพัดลมอัดอากาศเข้าสู่บันไดโดยตรง หากอาคารมีความสูงเกินนี้ให้ใช้ช่องท่ออัดอากาศในการลำเลียงลมจากพัดลมอัดอากาศเข้าไปในบันได

3.1.1.5 ช่องท่ออัดอากาศสำหรับบันไดหนีไฟ จะต้องสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ผิวด้านในต้องเรียบ

3.1.1.6 จำนวนห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศ สำหรับบันไดหนีไฟ 1 บันได จะต้องไม่น้อยกว่าที่ปรากฏตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศตามความสูงของอาคาร

จำนวนชั้นของอาคาร	จำนวนห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศ
1-20	1
1-40	2
1-60	3

3.1.1.7 ในกรณีที่อาคารมีความสูงมาก ๆ จะต้องออกแบบให้มีห้องเครื่องมากกว่า 1 ตำแหน่งตามตารางที่ 1

3.1.1.8 ในกรณีที่บันไดหนีไฟมีการเปลี่ยนตำแหน่งไม่ตรงกันตลอดความสูงอาคารจำเป็นต้องมีทางปลอดควัน (Fire Escape Route) เชื่อมต่อระหว่างบันไดและทางปลอดควันจะต้องมีระบบอัดอากาศที่มีความดันขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 38.6 ปาสกาล (0.15 นิ้ว น้ำ) ที่ทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้

3.1.1.9 ความเร็วของอากาศภายในช่องท่ออัดอากาศจะต้องไม่เกิน 6 เมตรต่อวินาที

3.1.1.10 ความเร็วของอากาศที่ผ่านออกทางประตูหนีไฟขณะที่ประตูเปิดจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุในตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ความเร็วของอากาศที่ผ่านประตูหนีไฟเพื่อป้องกันควันย้อนกลับ

ชนิดของระบบป้องกันเพลิงไหม้	ความเร็วลมที่ผ่านประตูต่ำสุดที่ยอมรับได้ (เมตร/วินาที)
อาคารมีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง	0.30
อาคารไม่มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง	0.80

3.1.1.11 ความเร็วของอากาศที่จ่ายออกจากช่องท่ออัดอากาศจะต้องอยู่ในช่อง 2-3 เมตรต่อวินาที

3.1.1.12 พัดลมอัดอากาศควรมีอย่างน้อย 2 ชุดที่มีขนาดชุดละ 100% พัดลมชุดสำรองจะต้องสามารถทำงานโดยอัตโนมัติในกรณีที่พัดลมหลักหยุดทำงานไม่ว่าในกรณีใด ๆ

3.1.1.13 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันในท่อส่งลมก่อนเข้าช่องท่ออัดอากาศเพื่อตัดการทำงานในกรณีที่ดูดควันเข้ามาในเครื่องพัดลมอัดอากาศ

3.1.1.14 ติดตังระบบควบคุมความดันและลิ้นควบคุมความดัน (Relief Damper) เพื่อควบคุมความดันภายในบันไดไม่ให้สูงจนเกินไป

ก. ระบบควบคุมความดัน ใช้สวิทซ์ความดันติดตั้งที่ระยะ 50-75% ของระยะทางวัดจากพัดลมอัดอากาศ

ข. ลิ้นควบคุมความดันที่ควบคุมการทำงานจากสวิทซ์ความดันต้องติดตั้งบริเวณที่ระบายอากาศจากภายในบันไดออกสู่ภายนอกอาคารได้โดยตรง

3.1.1.15 ในกรณีที่พัดลมอัดอากาศสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบได้เมื่อต้องใช้ในการควบคุมควันจะต้องทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุด

3.1.1.16 ระบบอัดอากาศภายในบันไดหนีไฟ ต้องไม่มีการติดตั้งลิ้นกันไฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.1.17 ระบบควบคุมความดันภายในบันไดหนีไฟจะต้องควบคุมความดันตกคร่อมประตูเพื่อให้แรงที่เปิดประตูไม่มากเกินกว่า 132 นิวตัน

3.1.2 ระบบอัดอากาศภายในโถงลิฟต์ดับเพลิง

3.1.2.1 โถงลิฟต์ดับเพลิงทุกชั้นของอาคารต้องจัดให้มีระบบจัดอากาศที่มีความดันขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 38.6 ปาสกาล (0.15 นิ้ว น้ำ) ที่ทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้

3.1.2.2 ระบบอัดอากาศภายในโถงลิฟต์ดับเพลิงจะต้องทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้

3.1.2.3 ตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมอัดอากาศควรอยู่ห่างแหล่งกำเนิดควันไฟและต้องไม่อยู่ในทิศทางที่สามารถจะดูดควันกลับเข้ามาในอาคารได้

3.1.2.4 ระบบจ่ายลมสำหรับโถงลิฟต์ดับเพลิงจะต้องใช้ท่ออัดอากาศในการลำเลียงลมจากพัดลมอัดอากาศเข้าไปในโถงลิฟต์ดับเพลิง

3.1.2.5 ช่องท่ออัดอากาศสำหรับโถงลิฟต์ดับเพลิง จะต้องสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมงและผิวด้านในต้องเรียบ

3.1.2.6 จำนวนห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศสำหรับโถงลิฟต์ดับเพลิง จะต้องไม่น้อยกว่าที่ปรากฏในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศตามความสูงของอาคาร

จำนวนชั้นของอาคาร	จำนวนห้องเครื่องพัดลมอัดอากาศ
1-20	1
1-40	2
1-60	3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.2.7 ในกรณีที่อาคารมีความสูงมาก ๆ จะต้องออกแบบให้มีห้องเครื่องมากกว่า 1 ตำแหน่ง ตามตารางที่ 3

3.1.2.8 ในกรณีที่โถงลิฟต์ดับเพลิงมีการเปลี่ยนตำแหน่งไม่ตรงกันตลอดความสูงอาคารจำเป็นต้องมีทางปลอดควัน (Fire Escape Route) เชื่อมต่อระหว่างโถงลิฟต์และทางปลอดควันจะต้องมีระบบอัดอากาศที่มีความดันขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 38.6 ปาสกาล (0.15 นิ้ว น้ำ) ที่ทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้

3.1.2.9 ความเร็วของอากาศภายในช่องท่ออัดอากาศจะต้องไม่เกิน 6 เมตรต่อวินาที

3.1.2.10 ความเร็วของอากาศที่ผ่านประตูโถงลิฟต์ขณะประตูเปิดจะต้องไม่น้อยกว่าค่าคงที่ระบุในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเร็วของอากาศที่ผ่านประตูหนีไฟเพื่อป้องกันควันย้อนกลับ

ชนิดของระบบป้องกันเพลิงไหม้	ความเร็วลมที่ผ่านประตูต่ำสุดที่ยอมรับได้ (เมตร/วินาที)
อาคารมีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง	0.30
อาคารไม่มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง	0.80

3.1.2.11 ความเร็วของอากาศที่จ่ายออกจากช่องท่ออัดอากาศจะต้องอยู่ในช่วง 2-3 เมตรต่อวินาที

3.1.2.12 พัดลมอัดอากาศควรมีอย่างน้อย 2 ชุดที่มีขนาดชุดละ 100% พัดลมชุดสำรองจะต้องสามารถทำงานโดยอัตโนมัติในกรณีหลักที่พัดลมหลักหยุดทำงานไม่ว่ากรณีใด ๆ

3.1.2.13 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันในท่อลมก่อนเข้าช่องท่ออัดอากาศเพื่อตัดการทำงานในกรณีที่ดูดควันเข้ามาในเครื่องพัดลมอัดอากาศ

3.1.2.14 พัดลมอัดอากาศจะต้อง Restart ได้โดยการใช้ผู้ควบคุมสั่ง Restart โดยที่สวิตซ์ในการ Restart จะต้องติดตั้งอยู่ในห้องควบคุมการดับเพลิง (Fire Command Center)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.2.15 ติดตั้งระบบควบคุมความดันและลิ้นควบคุมความดัน (Relief Damper) เพื่อควบคุมความดันภายในโถงลิฟต์ดับเพลิงไม่ให้สูงจนเกินไป

3.1.2.16 ในกรณีที่พัดลมอัดอากาศสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบได้เมื่อต้องใช้ในการควบคุมควันจะต้องทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุด

3.1.3 ระบบระบายควัน

ระบบระบายควันแบ่งได้ 2 ประเภท ตามลักษณะของอาคาร

3.1.3.1 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปกติ

3.1.3.1.1 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปกติ หมายถึง ระบบระบายควันที่ใช้กับพื้นที่ปิดล้อม (Confined Space) ที่มีขอบเขตแน่นอน เช่น ห้องภายในสำนักงานหรือชั้นทั่วไป 1 ชั้นภายในอาคาร หรือพื้นที่ปิดล้อมที่มีการปิดล้อมด้วยพื้น กำแพงและเพดานที่ชัดเจน

3.1.3.1.2 ระบบระบายควันตามข้อ 3.1.3.1.1 ไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่ที่เป็นโถงโล่ง (Atrium) ที่มีทางเดินติดต่อจากทางเดินส่วนอื่นของอาคารเข้ามายังโถงโล่งอันก่อให้เกิดช่องลำเลียงควัน (Smoke Path) ได้ ระบบระบายควันในข้อ 3.1.3.2.2 นี้จะอ้างอิงกับมาตรฐานในข้อ 3.1.3.2

3.1.3.1.3 อัตราการระบายควันภายในพื้นที่ปิดล้อมสำหรับระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ที่ปกติจะต้องไม่มากกว่า 6 เท่าของปริมาตรห้องในเวลา 1 ชั่วโมง (6 air changes per hour)

3.1..3.1.4 พัดลมที่ใช้กับระบบระบายควันต้องเป็นชนิดที่ทนความร้อนและใช้งานได้ในสภาวะอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

3.1.3.1.5 มอเตอร์สำหรับพัดลมระบายควันแบ่งได้ 2 ชนิด ขึ้นกับประเภทของพัดลม ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก. พัดลมแบบขับตรง (Direct Drive) ด้วยมอเตอร์สำหรับพัดลมประเภทนี้ มอเตอร์และอุปกรณ์ประกอบพัดลมทั้งหมดจะต้องมีอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง

ข. พัดลมแบบขับผ่านสายพาน (Belt Drive) ด้วยมอเตอร์สำหรับพัดลมประเภทนี้ มอเตอร์และอุปกรณ์ประกอบพัดลมทั้งหมดจะต้องมีอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส

3.1.3.1.6 ส่วนประกอบทางไฟฟ้าและสายไฟฟ้าทั้งหมดจะต้องเป็นแบบกันไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง รวมทั้งต้องสามารถทนความร้อนและกันน้ำได้

3.1.3.1.7 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปกติจะต้องรับไฟฟ้าจากระบบสำรองไฟฟ้าฉุกเฉิน (Emergency Power) และระบบจะต้องทำงานขึ้น โดยอัตโนมัติเมื่อมีคำสั่งจากระบบเตือนอัคคีภัยทำงาน (Fire Alarm System)

3.1.3.1.8 ในกรณีที่อาคารไม่มีระบบเตือนอัคคีภัยจะต้องติดตังอุปกรณ์ตรวจจับควันที่เป็นแบบปกติเปิด (Normally Open) เข้ากับระบบระบายควันเพื่อให้ระบบอุปกรณ์ตรวจจับควันต่อวงจรไฟฟ้า สำหรับระบบระบายควันให้กับวงจร เพื่อให้ระบบระบายควันสามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง

3.1.3.1.9 ท่อลมสำหรับระบบระบายควันจะต้องเป็นวัสดุที่ไม่ติดไฟในกรณีที่ ใช้ช่องท่อลมทำด้วยคอนกรีตหรือวัสดุอย่างอื่น วัสดุทำท่อลมรวมถึงอุปกณ์ประกอบจะต้องมีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

3.1.3.1.10 ในกรณีที่ท่อลมระบายควันเดินผ่านไปในพื้นที่ ที่มีโอกาสจะติดไฟได้ด้วยตัวเอง (Self Ignition) ท่อลมระบายควันจะต้องมีการป้องกันการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ด้วยการหุ้มฉนวนเพื่อที่จะทำให้ผิวหน้าด้านนอกของฉนวนมีอุณหภูมิสูงไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ฉนวนที่ใช้จะต้องเป็นวัสดุที่ไม่ติดไฟ

3.1.3.1.11 ระบบท่อลมระบายควันจะต้องออกแบบให้มีความดันภายในท่อลมต่ำกว่าบรรยากาศภายนอกเพื่อป้องกันควันรั่วออกจากท่อลมระบายควัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.3.1.12 พัดลมระบายควันและช่องระบายควันออกจากอาคารควรอยู่ห่างจากช่องดูดลมเข้าอาคารให้ได้มากที่สุด ระยะทางอย่างน้อยที่ยอมรับได้ คือ ไม่น้อยกว่า 15 เมตร

3.1.3.1.13 ช่องดูดควันเข้า (Intake Grille) จากพื้นที่ปิดล้อม (Confined Space) จะต้องมีลิ้นกันควัน (Smoke Damper) ติดตั้งอยู่ลิ้นกันควันจะต้องมีโครงสร้างและคุณสมบัติทางด้านการทนความร้อนตามมาตรฐาน UL 555 S Leakage Class 1

3.1.3.1.14 ในกรณีที่ท่อลมทะลุผ่านผนังกันไฟ จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันดังนี้

ก. ติดตั้งลิ้นกันไฟที่มีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าผนังที่ทะลุผ่าน

ข. ในกรณีที่ผนังทนไฟ ดังกล่าวมีการติดตั้งลิ้นกันควันอยู่ด้วยแล้วจำเป็นจะต้องติดลิ้นกันไฟอนุกรมเข้าไปด้วยกัน อนุญาตให้ใช้ชุดลิ้นกันควันและไฟแบบร่วม (Smoke & Fire Damper Combination Set) ตามมาตรฐาน UL 555 ที่มีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่าผนังที่ทะลุผ่าน

3.1.3.1.15 ในกรณีที่ระบบระบายควันแบบปกติถูกประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีลักษณะทางกายภาพ (Physical Properties) ที่เหมือนกันสามารถทำได้โดยจัดหาให้มี

ก. กล่องระบายควันแนวดิ่ง ทำด้วยวัสดุที่ไม่ติดไฟตามข้อ 3.1.3.1.9 ที่มีความยาวตั้งแต่ชั้นล่างสุดจนถึงชั้นบนสุด

ข. พัดลมระบายควันตามข้อ 3.1.3.1.4 ติดตั้งที่ชั้นบนสุด

ค. ลิ้นระบายควันตามข้อ 3.1.3.1.13

ง. ลิ้นกันไฟตามข้อ 3.1.3.1.14

จ. ถ้าไม่ทำตามข้อ 3.1.3.1.15 อนุญาตให้ใช้ท่อลมเหล็กหักฉาก 90 องศาที่ติดตั้งในลักษณะงอขึ้น (Sub Duct) โดยมีปลายเปิดด้านบนสูงกว่าหลังท่อแนวนอนไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้อยกว่า 550 มิลลิเมตร ในกรณีที่ทำเช่นนี้จะต้องตรวจสอบขนาดหน้าตัดของปล่องระบายควันแนวดิ่งให้มีพื้นที่เหมาะสมไม่ทำให้เกิดความดันมากเกินไป

3.1.3.1.16 อนุญาตให้มีระบบอัดอากาศในชั้นที่อยู่ต่ำกว่าและสูงกว่าชั้นที่เกิดเพลิงไหม้ เพื่อควบคุมควันให้อยู่ในพื้นที่จำกัดมากขึ้น โดยเรียกว่า ระบบเดินอากาศและระบายควัน (Sandwich Smoke Exhaust)

3.1.3.1.17 ถ้ามีพัดลมสำหรับระบบเติมอากาศระบบท่อลมจะต้องเป็นไปตามข้อ 3.1.3.1.4 และ 3.1.3.1.9

3.1.3.1.18 ในกรณีที่ใช้ระบบเติมอากาศจะต้องให้มีการติดตั้งลิ้นปรับปริมาณลมแบบขับด้วยมอเตอร์ (Motorized Damper) ชนิดการรั่วน้อย (Low Leakage Type) ที่ทุกหัวจ่ายลม โดยมีปริมาณการรั่วไหลของอากาศ จะต้องไม่มากกว่า 23 ลิตรต่อวินาที ต่อพื้นที่ลิ้นปรับปริมาณลม 1 ตารางเมตรที่ความดัน 250 ปาสกาล

3.1.3.1.19 พัดลมสำหรับเติมอากาศและลิ้นปรับปริมาณลมแบบขับด้วยมอเตอร์จะต้องรับไฟฟ้าจาก ระบบสำรองไฟฟ้าฉุกเฉินและรับคำสั่งการทำงานจากระบบเตือนอัคคีภัยหรืออุปกรณ์ตรวจจับควัน

3.1.3.1.20 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปกติจะต้องถูกทดสอบหลังการติดตั้ง ดังนี้

ก. ปริมาณการระบายอากาศของพัดลมระบายควัน

ข. ปริมาณการระบายอากาศของพัดลมเติมอากาศ (ถ้ามี)

ค. ทดสอบการทำงานของลิ้นระบายควัน

ง. ทกสอบการทำงานของลิ้นปรับปริมาณลมแบบขับด้วยมอเตอร์ (ถ้ามี)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จ. ทดสองระบบควันโดยกระตุ้นระบบเตือนอัคคีภัย

ฉ. ทดสอบระบบเติมอากาศ (ถ้ามี) โดยกระตุ้นเตือนระบบอัคคีภัย

3.1.3.1.21 ทดสอบระบบควบคุมควันทุก ๆ เดือน โดยทดสอบตามข้อ 3.1.3.1.20

3.1.3.2 ระบบระบายควันสำหรับโถงโล่ง (Atrium)

3.1.3.2.1 โถงโล่ง หมายถึง พื้นที่ที่มีปริมาตรขนาดใหญ่ โดยที่ปริมาตร ดังกล่าวเกิดจากการเปิดพื้นของชั้นต่าง ๆ ถึงกันตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป ด้านบนและด้านล่างของโถงดล่งจะถูกปิดด้วยโครงสร้างด้านข้างของชั้นต่าง ๆ ที่ต่อเข้ามาถึงโถงโล่ง อาจเป็นได้ทั้งทางเดิน ระเบียง ผนังทึบ

3.1.3.2.2 ระบบระบายควันสำหรับโถงโล่ง หมายถึง ระบบระบายควันที่ใช้พื้นที่ ตามข้อ 3.1.3.2.1 เท่านั้น

3.1.3.2.3 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่อื่นที่ต่างจากข้อ 3.1.3.1 จะถูกจัดเข้าอยู่ในระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปกติตามข้อ 3.1.3.1

3.1.3.2.4 ระบบระบายควันสำหรับโถงโล่งมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาอย่างน้อย 3 ส่วน ดังนี้

ก. ในกรณีที่แหล่งกำเนิดควันอยู่บนพื้นของโถงโล่งบริเวณกึ่งกลางพื้นที่ (Axisymmetric Plumes) ปริมาณการระบายควันจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ได้จากสมการต่อไปนี้

$$m_p = 0.071\, Q_c^{1/3}\, Z^{5/3} + 0.0018\, Q_c \;,\; Z > Z_l \qquad (3)$$

$$m_p = 0.035\, Q_c \;,\; Z = Z_l \qquad (4)$$

$$m_p = 0.032\, Q_c^{3/5}\, Z \;,\; Z < Z_l \qquad (5)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยที่ m_p คือ ปริมาณควัน, กิโลกรัม/ วินาที

Q_c คือ ความร้อนจากกาการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟแบบ Steady State ,กิโลวัตต์

Z คือ ระยะห่างจากเชื้อเพลิงถึงระดับล่างของควัน (Smoke Layer) ,เมตร

Z_1 คือ ความสูงจำกัดของเปลวไฟ ,เมตร โดยที่สามารถคำนวณหา Z_1 ได้จากสมการต่อไปนี้

$$Z_1 = 0.166\ Q_c^{2/5} \qquad (6)$$

และสามารถคำนวณหาอัตราการระบายควันได้จากสมการต่อไปนี้

$$V = m_p / d \qquad (7)$$

โดยที่ V คือ อัตราปริมาตรของควัน, ลูกบาศก์เมตร / วินาที

d คือ ความหนาแน่นของอากาศ ณ อุณหภูมิของระดับล่างของควัน (Smoke Layer) กิโลกรัม / ลบ.เมตร

และสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของควันได้จากสมการต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$T_S = (Q_C / m_p C) + T_a \quad (8)$$

โดยที่ T_S คือ อุณหภูมิของควัน, เคลวิน

C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของควัน ณ อุณหภูมิของระดับล่างของควัน (Smoke Layer) กิโลจูล / กิโลกรัม.เคลวิน

T_a คือ อุณหภูมิรอบข้าง (Ambient Temperature) เคลวิน

ข. ในกรณีที่แหล่งกำเนิดควันอยู่บนระเบียง หรือ พื้นที่ที่ยื่นเข้ามาในโถงโล่ง (Balcony Spill Plumes) ปริมาณการระบายควันจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ได้จากสมการต่อไปนี้

$$m_p = 0.41(QW^2)^{1/3} (Z_b+0.3H)[1+ 0.063 (Z_b+0.6H)/W]^{2/3} \quad (9)$$

โดยที่ H คือ ความสูงของระเบียงชั้นบนที่อยู่เหนือแหล่งกำเนิดไฟที่อยู่ชั้นล่าง , เมตร

W คือ ความกว้างของควันที่ม้วนตัวไปตามระเบียงชั้นบน , เมตร

Z_b คือ ความสูงจากระเบียงชั้นบนถึงระดับล่างของชั้นควัน (Smoke Layer), เมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และสามารถใช้สมการที่ (7) และ (8) ในการคำนวณหา

อัตราปริมาตรของควันและอุณหภูมิของควันได้

ค. ในกรณีที่แหล่งกำเนิดควันออกจากช่องเปิดที่ติดกับโถงโล่ง ปริมาณการระบายควันจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ได้จากสมการต่อไปนี้

$$m = 0.68(A_w H_w^{1/2})^{1/3}(Z_w+a)^{5/3}+1.5A_w H_w^{1/2} \quad (10)$$

โดยที่ A_w คือ พื้นที่ของช่องเปิด, เมตร

H_w คือ ความสูงของช่องเปิด, เมตร

Z_w คือ ความสูงจากขอบบนของช่องเปิดถึงขอบล่างของด้าน (Smoke Layer), เมตร

และสามารถคำนวณหาค่า a ได้จากสมการต่อไปนี้

$$a = 2.4\, A_w^{2/5} H_w^{1/5} - 2.1\, H_w \quad (11)$$

และสามารถใช้สมการที่ (7) และ (8) ในการคำนวณหา

อัตราปริมาตรของควันและอุณหภูมิของควันได้

3.1.3.2.5 ขนาดของไฟที่เล็กที่สุด ที่ยอมได้สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์ระบบระบายควันจะต้องอยู่ในช่วง 1,055-5,275 KW และความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟจะมีค่าไม่น้อยกว่า 70% ของขนาดไฟที่เล็กที่สุด

3.1.3.2.6 ในทุกกรณีระดับล่างของควัน (Smoke Layer) ต้องถูกควบคุมให้อยู่ในระดับที่ไม่น้อยกว่า 3.0 เมตรเหนือพื้นทางเกินใด ๆ ที่อยู่ในเขตควันไฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.3.2.7 จะต้องมีการเติมอากาศชดเชยเพื่อปรับสมดุลกับปริมาณควันที่ถูกระบายออก การเติมอากาศสามารถทำได้ทั้งวิธีการทางธรรมชาติและวิธีกล ในทุกกรณีปริมาณการเติมอากาศจะต้องไม่มากกว่าปริมาณควันที่ถูกระบายและความเร็วของอากาศเติมในทิศทางที่สวนกลับการแผ่กระจายของควันไฟจะต้องไม่เกิน 1 เมตรต่อวินาที

3.1.3.2.8 พัดลมที่ใช้กับระบบระบายควันต้องเป็นชนิดทนความร้อนและใช้งานได้ในภาวะอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

3.1.3.2.9 มอเตอร์สำหรับพัดลมระบายควันแบ่งได้ 2 ชนิดขึ้นกับประเภทของพัดลม ดังนี้

ก. พัดลมแบบขับตรง (Direct Drive) ด้วยมอเตอร์สำหรับพัดลมประเภทนี้ มอเตอร์และอุปกรณ์ประกอบพัดลมทั้งหมดจะต้องมีอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

ข. พัดลมแบบขับผ่านสายพาน (Belt Drive) ด้วยมอเตอร์สำหรับพัดลมประเภทนี้ มอเตอร์และอุปกรณ์ประกอบพัดลมทั้งหมดจะต้องมีอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส

3.1.3.2.10 ส่วนประกอบทางไฟฟ้าและสายไฟฟ้าทั้งหมดจะต้องเป็นแบบกันไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง รวมทั้งต้องสามารถทนความร้อนและกันน้ำได้

3.1.3.2.11 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปกติจะต้องรับไฟฟ้าจากระบบสำรองไฟฟ้าฉุกเฉิน (Emergency Power) และระบบจะต้องทำงานขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่อมีคำสั่งจากระบบเตือนอัคคีภัยทำงาน

3.1.3.2.12 ในกรณีที่อาคารไม่มีระบบเตือนอัคคีภัย (Fire Alarm System) จะต้องติดตังอุปกรณ์ตรวจจับควันที่เป็นแบบปกติเปิด (Normally Open) เข้ากับระบบระบายควันเพื่อให้ระบบอุปกรณ์ตรวจจับควันต่อวงจรไฟฟ้า สำหรับระบบระบายควันให้กับวงจรเพื่อให้ระบบระบายควันสามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.3.2.13 ท่อลมสำหรับระบบระบายควันจะต้องเป็นวัสดุที่ไม่ติดไฟ ในกรณีที่ ใช้ช่องท่อลมทำด้วยคอนกรีตหรือวัสดุอย่างอื่น วัสดุทำท่อลมรวมถึงอุปกณ์ประกอบจะต้องมีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

3.1.3.2.14 ในกรณีที่ท่อลมระบายควันเดินผ่านไปในพื้นที่ที่มีโอกาสจะติดไฟได้ด้วยตัวเอง (Self Ignition) ท่อลมระบายควันจะต้องมีการป้องกันการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ด้วยการหุ้มฉนวนเพื่อที่จะทำให้ผิวหน้าด้านนอกของฉนวนมีอุณหภูมิสูงไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ฉนวนที่ใช้จะต้องเป็นวัสดุที่ไม่ติดไฟ

3.1.3.2.15 ระบบท่อลมระบายควันจะต้องออกแบบให้มีความดันภายในท่อลมต่ำกว่าบรรยากาศภายนอกเพื่อป้องกันควันรั่วออกจากท่อลมระบายควัน

3.1.3.2.16 ช่องดูดควันเข้า (Intake Grille) จากพื้นที่ปิดล้อม (Confined Space) จะต้องมีลิ้นกันควัน (Smoke Layer) ติดตั้งอยู่ลิ้นกันควัน (Smoke Damper) จะต้องมีโครงสร้างและคุณสมบัติทางด้านการทนความร้อนตามมาตรฐาน UL 555 S Leakage Class 1

3.1.3.2.17 ระบบระบายควันสำหรับโถงโล่งจะต้องถูกติดตั้งให้ถูกต้องและเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ที่ติดตั้งและจะต้องไม่ให้เกิดผลกระทบข้างเคียงกับระบบประกอบอาคารอื่นๆ ตามมา

3.1.3.2.18 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปกติจะต้องถูกทดสอบหลังการติดตั้ง ดังนี้

ก. ปริมาณการระบายอากาศของพัดลมระบายควัน

ข. ปริมาณการระบายอากาศของพัดลมเติมอากาศ (ถ้ามี)

ค. ทดสอบการทำงานของลิ้นระบายควัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ง . ทดสอบการทำงานของลิ้นปรับปริมาณลมแบบขับด้วยมอเตอร์ (ถ้ามี)

จ. ทดสองระบบควันโดยกระตุ้นระบบเตือนอัคคีภัย

ฉ. ทดสอบระบบเติมอากาศ (ถ้ามี) โดยกระตุ้นเตือนระบบอัคคีภัย

3.1.3.2.19 ทดสอบระบบควบคุมควันทุก ๆ เดือน โดยทดสอบตามข้อ 3.1.3.2.18

ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2545)

4. ระบบควบคุมควันไฟ

4.1 ระบบอัดอากาศสำหรับบันไดหนีไฟ

4.1.1 ข้อกำหนดทั่วไป

4.1.1.1 อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 25 เมตรขึ้นไปต้องจัดให้มีบันไดหนีไฟจากชั้นสูงสุด หรือดาดฟ้าสู่พื้นดินอย่างน้อย 2 บันได ตั้งอยู่ในที่ที่บุคคลไม่ว่าอยู่จุดใดของอาคารสามารถมาถึงบันไดหนีไฟได้สะดวก แต่ละบันไดหนีไฟจ้องออยู่ห่างกันไม่เกิน 60 เมตร วัดตามแนวทางเดินบันไดด้านที่ติดกับภายในอาคารหรือที่จะเกิดเพลิงไหม้ได้ต้องสร้างด้วยวัสดุที่มีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

4.1.1.2 บันไดหนีไฟที่อยู่ภายในอาคารต้องมีอากาศถ่ายเทจากภายนอกอาคารได้ แต่ละชั้นต้องมีช่องระบายอากาศที่มีพื้นที่รวมกันไม่น้อยกว่า 1.4 ตารางเมตรต่อ 1 ชั้น เปิดสู่ภายนอกอาคารได้ หรือมีระบบอัดอากาศเข้าไปในบันไดหนีไฟที่ทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้ โดยทำให้ความดันอากาศภายในบันไดหนีไฟสูงกว่าภายในอาคารระดับเดียวกันเป็นจำนวน ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก. ถ้าประตูบันไดหนีไฟปิดหมดทุกบาน ความดันแตกต่างอยู่ระหว่าง 38 ปาสกาล (0.15 นิ้ว น้ำ) ถึง 90 ปาสกาล (0.35 นิ้ว น้ำ) และประตูต้องเปิดได้ตามหัวข้อ 1.2.1.5

ข. ถ้าประตูบันไดหนีไฟเปิดค้างชั้นที่ติดกับชั้นที่เปิดประตูค้างทั้งบนและล่างต้องมีความดันแตกต่างไม่ต่ำกว่า 12.5 ปาสกาล (0.05 นิ้ว น้ำ) ส่วนชั้นอื่นๆ เหมือนข้อ ก

4.1.1.3 พื้นอาคารส่วนที่ต่ำกว่าระดับถนนหน้าอาคารมากกว่า 2 ชั้น หรือต่ำกว่าระดับถนนหน้าอาคารมากกว่า 7 เมตร ต้องจัดให้มีบันไดหนีไฟที่มีระบบอัดอากาศเหมือนข้างต้น

4.1.1.4 ในกรณีที่บันไดหนีไฟมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไม่ตรงกันตลอดความสูงของอาคารจำเป็นต้องมีทางปลอดควันเชื่อมต่อระหว่างบันได ทางปลอดควันจะต้องปฏิบัติเช่นเดียวกับบันไดหนีไฟ เช่น อัตราการทนไฟของวัสดุที่ใช้ ช่องระบายอากาศมากพอหรือมีระบบอัดอากาศเป็นต้น

4.1.1.5 ประตูที่จะเปิดได้ ระบบควบคุมความดันภายในบันไดหนีไฟ จะต้องควบคุมความดันตกคร่อมประตู เพื่อให้แรงที่เปิดประตูไม่มากเกินกว่า 132 นิวตัน (14 Kg) โดยต้องคำนึงถึงแรงที่เกิดจากอุปกรณ์ช่วยปิดประตูเอง (Door Closer) ด้วย

4.1.1.6 ปริมาณอากาศที่ต้องเข้าสู่บันไดหนีไฟสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = ac + bN \qquad (12)$$

โดยที่ Q = ปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าสู่บันไดหนีไฟ m^3 / s (cfm)

a = อัตราการไหลของอากาศผ่านประตูที่เปิดค้างสู่ภายนอกต่อ 1 ประตู

7.08 m^3 / s (15,000 cfm)

c = จำนวนประตูที่เปิดค้างสู่ภายนอก

b = อัตราการไหลของอากาศผ่านรอยรั่วซึมบริเวณผนังและประตูของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บันไดหนีไฟ 0.0944 m^3 / s (200 cfm)

N = จำนวนชั้นของอาคาร

ประตูอื่น ๆ จะต้องมีอุปกรณ์ช่วยปิดเองและจะต้องไม่สามารถเปิดค้างไว้ได้ กรณีที่ต้องการเปิดค้างไว้ได้ให้ใช้วิธีคำนวณวิธีอื่นๆ เช่นใช้หลักการในหมวดที่ 6

4.1.1.7 เพื่อป้องกันควันย้อนกลับความเร็วของลมที่ผ่านออกทางประตูหนีไฟชั้นที่ไฟไหม้ ขณะที่ประตูเปิดจะต้องไม่น้อยกว่า 0.8 เมตรต่อวินาที (160 ฟุตต่อนาที) และเพื่อไม่ให้เป็นการเติมออกซิเจนมากนักความเร็วของลมไม่ควรเกิน 2 เมตรต่อวินาที (400 ฟุตต่อนาที)

4.1.1.8 พัดลมอัดอากาศควรมีอย่างน้อย 2 ชุดซึ่งมีขนาดเท่ากัน โดยชุดหนึ่งเป็นชุดสำรอง พัดลมชุดสำรองจะต้องสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติในกรณีที่พัดลมหลักหยุดทำงานระหว่างไฟไหม้ไม่ว่าเนื่องด้วยกรณีใด ๆ

4.1.2 วิธีการอัดอากาศเข้าบันไดหนีไฟ

4.1.2.1 การอัดอากาศแบบจุดเดียว

ก. เป็นการอัดอากาศเข้าบันไดหนีไฟโดยตรงอนุญาตให้ใช้ได้กับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 23 เมตร หากอาคารมีความสูงเกินนี้ให้ใช้การอัดอากาศแบบหลายจุด

ข. จุดที่อัดลมเข้าต้องห่างจากประตูบานที่ออกแบบให้เปิดค้างได้เกินกว่า 11 เมตรหรือ 3 ชั้น

4.1.2.2 การอัดอากาศแบบหลายจุด

ก. ใช้พัดลมความดันสูงพอเพียงที่จะอัดอากาศเข้าช่องท่อหรือท่อลมเพื่อส่งลมเข้าไปในบันไดตลอดระยะความสูงหรือใช้พัดลมความดันต่ำขนาดเล็กหลาย ๆ ตัวอัดอากาศเข้าแต่ละจุดห่างกันไม่เกิน 3 ชั้นโดยไม่มีการต่อท่อลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข. ช่องท่อหรือท่อลมสำหรับอัดอากาศเข้าสู่บันไดหนีไฟถ้าเดินภายนอกบันไดหนีไฟจะต้องสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหรือวัสดุอื่นที่มีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ผิวด้านในท่อจะต้องเรียบอย่างน้อย 2 ด้าน

ค. ความเร็วของอากาศภายในช่องท่อหรือท่อลมอัดอากาศจะต้องไม่เกิน 10 เมตรต่อวินาที (2,000 ฟุตต่อนาที)

ง. ความเร็วของอากาศที่จ่ายออกจากช่องท่อหรือท่อลมอัดอากาศจะต้อไม่เกิน 6 เมตรต่อวินาที (1,200 ฟุตต่อนาที)

จ. ต้องไม่มีระบบอื่นๆ ภายในช่องท่ออัดอากาศของบันไดหนีไฟที่จะรบกวนการทำงานของระบบอัดอากาศ

ฉ. ช่องจ่ายลมในแต่ละจุดต้องอยู่ห่างกันไม่เกิน 3 ชั้นตามความสูงของอาคาร

ช. ช่องจ่ายลมเข้ากับบันไดหนีไฟจากช่องท่อหรือช่องท่ออัดอากาศต้องไม่มีการติดตั้งชุดแผ่นปรับลมกันไฟลามหรือชุดแผ่นปรับลมกันควันลาม

4.1.3 ตำแหน่งของพัดลมอัดอากาศ

4.1.3.1 ตำแหน่งที่ตั้งของพัดลมอัดอากาศช่องที่ดูดอากาศเข้าต้องอยู่ห่างแหล่งกำเนิดควันไฟและต้องไม่อยู่ในทิศทางที่สามารถจะดูดควันกลับเข้ามาในอาคารได้

4.1.3.2 ควรติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันบริเวณทางดูดของพัดลมเพื่อสั่งหยุดการทำงานของพัดลมเพื่อป้องกันการดูดควันเข้ามาในบันไดหนีไฟ

4.1.3.3 จำนวนห้องเครื่องพัดลมปรับอากาศ ถ้าอาคารสูงเกิน 25 ชั้นหรือสูงเกิน 100 เมตรควรมีเพิ่ม 1 ห้องหรือ เพิ่มขึ้น 1 ห้องต่อทุก ๆ 100 เมตร

4.1.4 ชนิดของพัดลมอัดอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1.4.1 พัดลมใบแฉกหรือแบบใบพัด (Propeller Fan)

ก. อนุญาตให้ใช้พัดลมใบแฉกได้กับระบบที่เป็นการอัดอากาศเข้าบันไดแบบจุดเดียว กรณีต้องการการอัดอากาศแบบหลายจุดต้องใช้พัดลมหลายตัว แต่ละตัวต้องดูดอากาศจากภายนอกแล้วจ่ายเข้าบันไดโดยตรง ไม่มีการต่อเข้าท่อลมหรือช่องท่อ

ข. ควรมีอุปกรณ์ป้องกันลมจากภายนอกอาคารในการออกแบบต้องคำนึงถึงอิทธิพลของลมที่พัดปะทะอาคารเป็นสำคัญ เพราะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของพัดลม

4.1.4.2 พัดลมหอยโข่งหรือแบบใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal Fan) และพัดลมตามแนวแกน (In line Axial Fan) สำหรับระบบที่เป็นการอัดอากาศเข้าบันไดแบบหลายจุด ซึ่งใช้ช่องท่อหรือท่อลมเป็นทางส่งลม ควรใช้พัดลมหอยโข่งหรือแบบไหลตามแนวแกน

4.1.5 การควบคุมความดันในบันไดหนีไฟ

4.1.5.1 ระบบที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมช่วย อากาศจะถูกอัดเข้ามาในบันไดหนีไฟด้วยพัดลมอัดอากาศที่มีความเร็วรอบคงที่ทำให้ความดันภายในบันไดหนีไฟอยู่ที่ค่าหนึ่งเมื่อประตูปิดทั้งหมดและจะไม่เปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ตามจำนวนประตูที่ถูกเปิดเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการออกแบบต้องคำนึงถึงการรักษาความดันในบันไดหนีไฟไว้ให้ได้ เมื่อมีจำนวนประตูที่ถูกปิดออกสูงสุดตามการออกแบบซึ่งทางปฏิบัติค่อนข้างยาก วิธีที่อาจจะทำได้ คือ ต้องกำหนดประตูที่อนุญาตให้เปิดค้างได้ไม่เกิน 1-2 ประตู อย่างไรก็ตามควรใช้แบบที่มีระบบอุปกรณ์ช่วย

4.1.5.2 ระบบที่มีอุปกรณ์ช่วย

เป็นระบบที่สามารถรักษาความดันภายในบันไดให้คงที่ได้ แม้ประตูจะปิดทุกบานหรือมีการเปิดประตูโดยเปลี่ยนแปลงของจำนวนประตูที่เปิดออกมีหลักการใหญ่ๆ ก็คือ การระบายอากาศส่วนเกินออกจากบันไดหนีไฟโดยอัตโนมัติหรือการปรับปริมาณลมที่อัดเข้าบันไดหนีไฟ สามารถใช้ได้หลายวิธี

ก. โดยใช้ชุดแผ่นปรับลมระบายลมอัตโนมัติอาศัยน้ำหนักตัวเอง (Barometric / Gravity Damper) หรือใช้ชุดแผ่นปรับลมระบายความดันแบบใช้มอเตอร์ขับควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ด้วยสัญญาณความดันแตกต่าง (Motorized Relief Damper with Differential Pressure Controller) เพื่อระบายอากาศออกให้ความดันภายในบันไดหนีไฟไม่มากเกินที่จะทำให้เปิดประตูหนีไฟไม่ได้ โดยติดตั้งที่ผนังบันไดหนีไฟ การระบายอากาศออกถ้าระบายเข้าสู่อาคารต้องมีชุดแผ่นปรับลมกันไฟลาม (Fire Damper) ชนิดและจำนวนแผ่นระบายลมอัตโนมัติต้องมีพอเพียงโดยจำนวนต้องไม่ร้อยกว่า 4 ชุด การระบายลมสามารถใช้มอเตอร์เปิดประตูบานที่หนีไฟสู่ภายนอกโดยอัตโนมัติหรือกรณีจำเป็นอาจจะใช้พัดลมระบายอากาศทิ้งเพื่อลดความดันก็ได้

ข. โดยการลดปริมาณลมที่จะอัดเข้าสู่บันไดหนีไฟซึ่งอาศัยสัญญาณความดันแตกต่าง (Differential Pressure Sensor / Controller , DPC) ไปควบคุมชุดแผ่นระบายลมอัตโนมัติใช้มอเตอร์ขับ (Motorized Relief Damper) ติดตั้งท่อลมส่งที่ออกจากพัดลมอัดอากาศเพื่อลดปริมาณลมที่อัดเข้าสู่บันไดหนีไฟหรือไปปรับรอบพัดลมปรับอากาศโดยอัตโนมัติโดยอาศัยอินเวอร์เตอร์หรืออุปกรณ์ปรับรอบอัตโนมัติตัวอื่นๆ เพื่อให้อัดปริมาณลมที่เหมาะสมเข้าสู่บันไดหนีไฟและควรมีอุปกรณ์รับสัญญาณและควบคุมอีก 1 ชุดทำงานแทนเมื่อเกิดการทำงานผิดพลาดทำให้ความดันภายในบันไดหนีไฟมากกว่าที่อนุญาตถึง 50%

4.2 ระบบอัดอากาศสำหรับโถงลิฟต์ดับเพลิงและปล่องลิฟต์ดับเพลิง

4.2.1 ข้อกำหนดทั่วไป

4.2.1.1 โถงลิฟต์ดับเพลิงทักชั้นของอาคาร ต้องจัดให้มีระบบอัดอากาศที่ทำงานได้โดยอัตโนมัติเพื่อเกิดเพลิงไหม้ โดยทำให้ความดันอากาศภายในโถงลิฟต์ดับเพลิงสูงกว่าภายในอาคารในระดับเดียวกันไม่น้อยกว่า 38 ปาสกาล (0.15 นิ้ว น้ำ) และต้องไม่น้อยกว่าความดันแตกต่างที่เกิดจากตัวลิฟต์เหมือนลูกสูบหรือปรากฏการณ์ลูกสูบ (Piston Effect) ในหัวข้อ 4.2.1.5

4.2.1.2 ระบบจ่ายลมสำหรับโถงลิฟต์ดับเพลิงจะต้องใช้พัดลมความดันสูงพอเพียงที่จะอัดอากาศเข้าช่องท่อหรือท่อลมเพื่อส่งลมเข้าไปในโถงลิฟต์ดับเพลิงทุกชั้น

4.2.1.3 ช่องท่อหรือท่อลมสำหรับอัดอากาศเข้าสู่โถงลิฟต์ดับเพลิง ถ้าเดินภายนอกโถงลิฟต์จะต้องสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหรือวัสดุอื่นที่มีอัตราการทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง ผิวด้านในท่อต้องเรียบอย่างน้อย 2 ด้าน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2.1.4 ปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าสู่โถงลิฟต์ดับเพลิง สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = ac + bN \quad (13)$$

โดยที่ Q = ปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าสู่โถงลิฟต์ดับเพลิง m^3 / s (cfm)

a = อัตราการไหลของอากาศ 7.08 m^3 / s (15,000 cfm) ต่อหนึ่งประตูที่เปิดค้างสู่ภายนอกอาคาร

c = จำนวนประตูที่เปิดค้างสู่ภายนอก

b = อัตราการไหลของอากาศผ่านรอยรั่วซึมบริเวณผนังและประตูของโถงลิฟต์ 0.142 m^3 / s (300 cfm)

N = จำนวนชั้นของอาคาร

ประตูอื่น ๆ จะต้องมีอุปกรณ์ช่วยปิดเองและจะต้องไม่สามารถเปิดค้างไว้ได้ กรณีที่ต้องการเปิดค้างไว้ได้ให้ใช้วิธีคำนวณวิธีอื่นๆ เช่นใช้หลักการในหมวดที่ 6

4.2.1.5 ความดันแตกต่างที่เกิดจากตัวลิฟต์เหมือนลูกสูบสำหรับปล่องลิฟต์ที่ไม่มีโถงลิฟต์ต้องจัดให้มีระบบอัดอากาศเข้าไปที่ปล่องลิฟต์แทนทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้ โดยทำให้ความดันภายในปล่องลิฟต์ดับเพลิงสูงกว่าภายในอาคารในระดับเดียวกันไม่น้อยกว่า 38 ปาสกาล (0.15 นิ้ว น้ำ) และต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ เพื่อป้องกันการแพร่ของควันไปตามปล่องลิฟต์

ก. สำหรับปล่องลิฟต์

$$\Delta P_{crit} = 0.5\ \rho\ K_{pe}\ \left(\frac{A_S\ A_e V}{A_a\ A_{Si} C_c}\right)^2 \quad (14)$$

โดยที่ ΔP_{crit} คือ ค่าผลต่างความดันวิกฤติระหว่างปล่องลิฟต์กับตัวอาคาร, Pa (in.WG)

ρ คือ ความหนาแน่นอากาศในปล่องลิฟต์ , Kg/m^3 (lb/ft^3)

A_s คือ พื้นที่หน้าตัดของปล่องลิฟต์, m^2 (ft^2)

A_{SI} คือ พื้นที่รอยรั่วซึมระหว่างลิฟต์กับอาคาร, m^2 (ft^2)

A_a คือ พื้นที่อาคารรอบตัวลิฟต์, m^2 (ft^2)

A_e คือ พื้นที่การไหลหวังผลระหว่างปล่องลิฟต์กับภายนอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาคาร, m^2 (ft^2)

$$A_e = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_{Si}{}^2} + \frac{1}{A_{iO}{}^2}}} \quad (15)$$

โดยที่ A_{io} คือ พื้นที่รอยรั่วซึมระหว่างอาคารกับภายนอก, m^2 (ft^2)

V คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลิฟต์,m/s (fpm)

C_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของอากาศรอบตัวลิฟต์ (0.94 สำหรับปล่องลิฟต์หลายตัว, 0.83 สำหรับปล่องลิฟต์ตัวเดียว)

K_{pe} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ 1.66 x 10^{-6}

ข. สำหรับลิฟต์ที่มีโถงลิฟต์

$$\Delta P_{crit} = 0.5\ \rho\ K_{pe}\ \left(\frac{A_S\ A_e V}{A_a\ A_{ir} C_c}\right)^2 \quad (16)$$

โดยที่ ΔP_{crit} คือ ความดันวิกฤติของการเกิด Piston Effect, Pa (in.WG)

A_{ir} คือ พื้นที่รอยรั่วระหว่างโถงลิฟต์กับอาคาร, m^2 (ft^2)

A_e คือ พื้นที่การไหลหวังผลระหว่างปล่องลิฟต์กับภายนอก,m^2(ft^2)

$$A_e = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_{SR}{}^2} + \frac{1}{A_{ir}{}^2} + \frac{1}{A_{iO}{}^2}}} \quad (17)$$

โดยที่ A_{iO} คือ พื้นที่รอยรั่วระหว่างอาคารกับภายนอก, m^2 (ft^2)

A_{SR} คือ พื้นที่รอยรั่วระหว่างปล่องลิฟต์กับโถงลิฟต์, m^2 (ft^2)

4.2.1.6 ขณะที่ประตูเปิดจะต้องไม่น้อยกว่า 1.6 เมตรต่อวินาที (300 ฟุตต่อนาที) และเพื่อไม่ให้เป็นการเติมออกซิเจนมากนัก ความเร็วของอากาศภายในช่องท่อหรือท่อลมอัดอากาศจะต้องไม่เกิน 10 เมตรต่อวินาที (500 ฟุตต่อนาที)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2.1.7 ความเร็วของอากาศภายในช่องท่อหรือท่อลมอัดอากาศจะต้องไม่เกิน 10 เมตรต่อวินาที (2,000 ฟุตต่อนาที)

4.2.1.8 ความเร็วของอากาศที่จ่ายออกจากช่องท่อหรือท่อลมอัดอากาศจะต้องไม่เกิน 7.5 เมตรต่อวินาที (1,500 ฟุตต่อนาที)

4.2.1.9 ตำแหน่งที่ตั้งของพัดลมอัดอากาศช่องที่ดูดอากาศเข้าต้องอยู่ห่างแหล่งกำเนิดควันไฟและต้องไม่อยู่ในทิศทางที่สามารถจะดูดควันกลับเข้ามาในอาคารได้

4.2.1.10 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันบริเวณทางดูดของพัดลมเพื่อสั่งหยุดการทำงานของพัดลมเพื่อป้องกันการดูดควันเข้ามาในโถงลิฟต์ดับเพลิง

4.2.1.11 จำนวนห้องเครื่องพัดลมปรับอากาศ ถ้าอาคารสูงเกิน 25 ชั้นหรือสูงเกิน 100 เมตรควรมีเพิ่ม 1 ห้องหรือ เพิ่มขึ้น 1 ห้องต่อทุก ๆ 100 เมตร

4.2.2 การควบคุมความดันในโถงลิฟต์ดับเพลิง

4.2.2.1 โถงลิฟต์ดับเพลิงควรออกแบบลักษณะการเปิดปิดประตูให้ห่างจากประตูบันไดหนีไฟ คือ ควรให้ทุกประตูเป็นลักษณะเมื่อพนักงานดับเพลิงอยู่ภายในโถงลิฟต์ ใช้ผลักออก แต่ถ้าอยู่ภายนอกโถง (อยู่ในอาคาร) ก็สามารถดึงเปิดได้ การทำเช่นนี้จะช่วยให้การควบคุมง่ายเพราะจะไม่ถูกจำกัดด้วยความดันที่เปิดประตูไม่ได้ เนื่องจากความดันจะช่วยในการเปิดประตูอยู่แล้ว แต่ถ้าความดันสุ.มากเกินไปอาจจะทำให้ อุปกรณ์ช่วยเปิดประตูเองต้านไม่อยู่ ประตูจะเผยอ ทำให้อากาศไหลเข้าชั้นที่เกิดเพลิงไหม้มากเกินไป

4.2.2.2 โถงลิฟต์ดับเพลิงที่การเปิดปิดประตูเป็นลักษณะเมื่อพนักงานดับเพลิงอยู่ภายในโถงลิฟต์ ใช้ดึงเข้าหาตัวต้องควบคุมความดันแตกต่างให้อยู่ระหว่าง 38 ปาสกาล (0.15 นิ้วน้ำ) ถึง 90 ปาสกาล (0.35 นิ้ว น้ำ) โดยใช้ชุดแผ่นระบายลมอัตโนมัติอาศัยน้ำหนักตัวเอง (Barometric/ Gravity Damper) หรือใช้ชุดแผ่นระบายลมอัตโนมัติใช้มอเตอร์ขับควบคุมด้วยความดันแตกต่าง (Motorized Relief Damper with Differential Pressure Controller) ที่มีขนาดเพียงพอเพื่อระบายอากาศออกให้ความดันภายในโถงลิฟต์ดับเพลิง ทำให้ใช้แรงในการเปิดประตูไม่เกินกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

132 นิวตัน (14 kg) โดยติดตั้งที่ผนังโถงลิฟต์ดับเพลิงให้ระบายอากาศออก ถ้าระบายเข้าสู่อาคาร ต้องมีชุดแผ่นปรับลมกันไฟลาม (Fire damper)

4.3 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปิด

4.3.1 ระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ปิด (Confined Space) หมายถึงระบบระบายควันที่ใช้กับพื้นที่ที่มีขอบเขตแน่นอน เช่นบริเวณที่มีการปิดล้อมกำแพงและเพดานหรือหลังคาที่ชัดเจน

4.3.2 ระบบระบายควันตามข้อนี้ไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่ที่เป็นโถงโล่ง (Atrium) ที่มีทางเดินติดต่อจากส่วนอื่นของอาคารเข้ามายังโถงโล่งอันก่อให้เกิดเป็นชองลำเลียงควันได้

4.3.3 การระบายควันในพื้นที่ปิดล้อมอาจเลือกทำได้ 3 กรณีตามความเหมาะสม

1. การระบายควันไฟโดยตรงที่กำแพงด้านที่ติดภายนอก

2. การระบายควันไฟโดยใช้ปล่องระบายควันไฟ

3. การะบายควันไฟโดยใช้พัดลมระบายควัน

วิธีที่ 1 และ 2 จะต้องมีการอัดอากาศให้กับพื้นที่อื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียงกับพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้เพื่อรักษาความดันให้มากกว่าพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ซึ่งทำให้ควันถูกผลักดันออกจากพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ วิธีที่ 3 จะเป็นการระบายควันโดยใช้พัดลมระลายควันดูดควันออกจากพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ออกไปทิ้งภายนอกอาคารการระบายควันโดยใช้พัดลมนั้นเราต้องคำนึงถึงปริมาณอากาศใหม่ที่เข้ามาในพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ไม่ให้มากเกินไป อันจะทำให้ออกซิเจนที่เข้ามามาใหม่ทำให้ไฟติดมากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปมักนิยมกำหนดอัตราการระบายอากาศออกไม่เกิน 6 เท่าของปริมาตรห้องต่อ 1 ชั่วโมง และต้องคำนึงถึงตำแหน่งควันที่ปล่อยควันออก ซึ่งจะต้องไม่ทำให้ควันระบายไปยังพื้นที่อื่นๆ รวมทั้งต้องมีการป้องกันไม่ให้ไฟจากที่เกิดเพลิงไหม้ลามเข้าช่องระบายควัน

4.3.4 อนุญาตให้ใช้ระบบระบายอากาศในพื้นที่นั้นๆ สลับหน้าที่เป็นระบบระบายควันได้ โดยทั้งนี้จะต้องมีการเตรียมการไว้แล้วในการออกแบบและติดตั้งระบบโดยต้องถือเอาระบบระบายควันเป็นสำคัญและต้องป้องกันการรั่วไหลของควันเป็นอย่างดี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3.5 อัตราการระบายควันต้องไม่ทำให้การเปิดประตูหนีไฟหรือประตูภายในบริเวณห้องดังกล่าว เปิดได้ยากสั่งการควบคุมอุปกรณ์ของระบบระบายอากาศและระบบปรับอากาศขณะเกิดเพลิงไหม้ให้เป็นไปตามหัวข้อต่อๆ ไป

4.3.6 ท่อระบายควันที่ต่อระบายควันร่วมกันหลายชั้นต้องติดตั้งชุดแผ่นปรับลมกันไฟและควันลามในกรณีใช้ต่อลมกับของระบบปรับอากาศเป็นต่อระบายควันด้วย แม้นว่าในท่อลมกลับจะมีชุดแผ่นปรับลมป้องกันลมกลับแล้วก็ตาม ก็ต้องมีชุดแผ่นปรับลมกันไฟและควันลาม

4.3.7 ตำแหน่งชุดแผ่นปรับลมกันควันลาม ต้องติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถป้องกันควันจากท่อระบายควันแพร่ไปยังที่อื่นได้

4.3.8 อาคารที่ต้องมีระบบระบายควัน คือ บริเวณพื้นที่ปิดล้อมของอาคาร ดังกล่าวต่อไปนี้ อาคารใต้ระดับดิน อาคารโรงมหรสพ อาคารดิสโกเทค อาคารโรงงาน และคลังสินค้าเคมี กระดาษส้นใยและพลาสติกที่ก่อเกิดควันพิษเมื่อมีไฟเกิดขึ้น เว้นแต่อาคารโรงงานหรือคลังสินค้านั้น ๆ ไม่มีคนเข้าไปอาศัยหรือทำงานอยู่

4.3.9 ในการควบคุมควันไฟ ผู้ออกแบบสามารถออกแบบให้มีระบบอัดอากาศในชั้นที่อยู่ต่ำกว่าและชั้นที่อยู่สูงกว่าชั้นที่เกิดเพลิงไหม้เพื่อเป็นการควบคุมควันให้อยู่ในที่ที่จำกัดได้โดยความดันต้องสูงกว่าชั้นที่เกิดเพลิงไหม้ไม่น้อยกว่า 12.5 ปาสกาล

4.3.10 ถ้ามีระบบอัดอากาศในชั้นที่อยู่ต่ำกว่าและชั้นที่อยู่สูงกว่าชั้นที่เกิดเพลิงไหม้เข้าสู่บริเวณข้างเคียง ในการออกแบบและติดตั้งท่อลมร่วมกันต้องป้องกันไม่ให้อัดอากาศเข้าชั้นที่เกิดเพลิงไหม้โดยต้องใช้ชุดแผ่นปรับลมกันไฟและควันลามซึ่งเปิดปิดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

4.3.11 พัดลมอัดอากาศและชุดแผ่นปรับลมกันไฟและควันลาม ต้องใช้ระบบไฟฟ้าสำรองฉุกเฉินและระบบจะต้องทำงานอัตโนมัติเมื่อมีสัญญาณจากระบบป้องกันอัคคีภัยทำงาน

4.3.12 ในการติดตั้งและก่อสร้างอาคารที่มีระบบระบายควันสำหรับพื้นที่ที่ปิดล้อมจะต้องมีการเตรียมการสำหรับอุปกรณ์วัดหรืออุปกรณ์ทดสอบให้สามารถใช้ได้สะดวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4 ระบบระบายควันสำหรับโถงสูงหรือช่องเปิดขนาดใหญ่

4.4.1 โถงเปิดโล่ง หมายถึง ช่องเปิดตั้งแต่ 1 ชั้น ขึ้นไปมีพื้นที่ที่เป็นช่องเปิดมากกว่าหรือเท่ากับ 93 ตารางเมตรและมีระยะระหว่างขอบของพื้นแนวตรงข้ามส่วนใดส่วนหนึ่งมากกว่า 6 เมตร ด้านบนและล่างของโถงโล่งจะถูกปิดด้วยโครงสร้างและโดยส่วนใหญ่ด้านข้างของชั้นต่างๆ ที่ต่อเข้ามาโถงโล่งอาจเป็นได้ทั้งทางเดินระเบียงหรือผนังทึบ

4.4.2 ระบบระบายควันของโถงเปิดโล่งดังกล่าวในแต่ละชั้นรอบขอบโถงจะต้องติดตั้งแผงกันควันไฟ

4.4.3 ระบบระบายควันในพื้นที่อื่นนอกเหนือจากพื้นที่ในข้อ 1.5.1 จัดเป็นระบบระบายควันในพื้นที่ปิดล้อมปกติตามข้อ 1.4.1

4.4.4 ขนาดของไฟหรือเพลิงที่ใช้สำหรับการออกแบบระบบและวิเคราะห์ระบบระบายควันจะต้องไม่น้อยกว่า 1,055 KW และ อัตราความร้อนจากการพาโดยอากาศให้ใช้ค่าประมาณ 70% ของความร้อนทั้งหมด

4.4.5. ในการติดตั้งและก่อสร้างอาคารที่มีระบบระบายควันสำหรับโถงเปิดโล่งจะต้องมีการเตรียมการสำหรับอุปกรณ์วัดหรืออุปกรณ์ทดสอบให้สามารถใช้ได้สะดวก

4.4.6 การระบายควันจากโถงโล่งขึ้นอยู่กับกำหนดตำแหน่งเพลิงหรือเชื้อเพลิงซึ่งมี 5 ตำแหน่ง คือ

4.4.6.1 ควันไฟเกิดกลางโถง

4.4.6.2 ควันไฟเกิดที่ผนัง

4.4.6.3 ควันไฟเกิดที่มุมห้อง

4.4.6.4 ควันไฟเกิดใต้ระเบียง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4.6.5 ควันไฟจากหน้าต่างหรือช่องเปิดบนผนัง

4.4.7 กรณีถ้าไม่ทราบตำแหน่งเพลิงหรือเชื้อเพลิงจะต้องใช้วิธีการคำนวณควันไฟเกิดการโถง (Axisymmetric Plumes)

4.4.8 ควันเกิดกลางโถง (Axisymmetric Plumes) คือ แหล่งกำเนิดควันไฟอยู่บนพื้นของโถงโล่งบริเวณกึ่งกลางพื้นที่ดังแสดงดังรูปที่ ปริมาณการระบายควันจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ได้จากสมการต่อไปนี้

มวลการเกิดควัน หรือ อัตรามวลควัน m [Mass Flow Rate , kg/s (lb/s)]

$$E_c = 0.7E \quad (18)$$

Z_1 คือ ความสูงของเปลวไฟที่ต่อเนื่องหรือที่เกิดขึ้น 50% ของเวลาทางทฤษฎี หาได้ดังนี้

$$Z_1 = C\,E_c^{2/5} \qquad C = 0.159\ (0.533) \quad (19)$$

$$Z < Z_l,\ m = C_1 E_c^{3/5} Z \qquad C_1 = 0.030\ (0.0208) \quad (20)$$

$$Z = Z_l,\ m = C_2 E_c \qquad C_2 = 0.00474\ (0.011) \quad (21)$$

$$Z > Z_l,\ m = C_3 E_c^{1/3} Z^{5/3} + C_4 E_c \qquad C_3 = 0.071\ (0.022)\ C_4 = 0.0018\ (0.0042) \quad (22)$$

หรือคิดเป็นปริมาตรการไหล [Volumetric Flow Rate , m^3/s (cfm)]
(ความหนาแน่น 1.2 kg/m^3)

$$Z < Z_1,\quad Q = C_5 E_c^{3/5} Z \qquad C_5 = 0.025\ (16.64) \quad (23)$$

$$Z = Z_1,\quad Q = C_6 E_c \qquad C_6 = 0.00395\ (8.8) \quad (24)$$

$$Z > Z_1,\quad Q = C_7 E_c^{1/3} Z^{5/3} + C_8 E_c \qquad C_7 = 0.059\ (17.6)\ \ C_8 = 0.0015\ (3.36) \quad (25)$$

โดยที่ m คือ อัตราควันไฟ, kg/s (lb/s)

Q คือ อัตราปริมาตรควันไฟ, m^3/s (cfm)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E คือ Fire heat release rate, kW (btu/s)

E_c คือ Convection Heat, kW (btu/s)

Z คือ ความสูงของระดับควันไฟ, m (ft)

4.4.9 จะต้องมีการเติมอากาศชดเชย เพื่อปรับสมดุลกับปริมาณควันที่ถูกระบายออก การเติมอากาศควรใช้วิธีธรรมชาติ คือ เปิดช่องให้พอที่จะให้อากาศเข้ามาได้เอง การใช้พัดลมอัดอากาศเข้าค่อนข้างเสี่ยงกับการเพิ่มความดันให้กับควันไฟทำให้ควันแพร่กระจายได้ดี ดังนั้นปริมาณอากาศที่เติมจะต้องน้อยกว่าปริมาณควันที่ถูกระบายออกพอควร การเติมอากาศก็เพื่อป้องกันการที่ความดันลดลงมากจนเปิดประตูหนีไฟไม่ได้ แรงดึงหรือแรงผลักสำหรับผู้หญิงไม่แข็งแรงต้องไม่เกิน 132 นิวตัน ที่ลูกบิดประตู

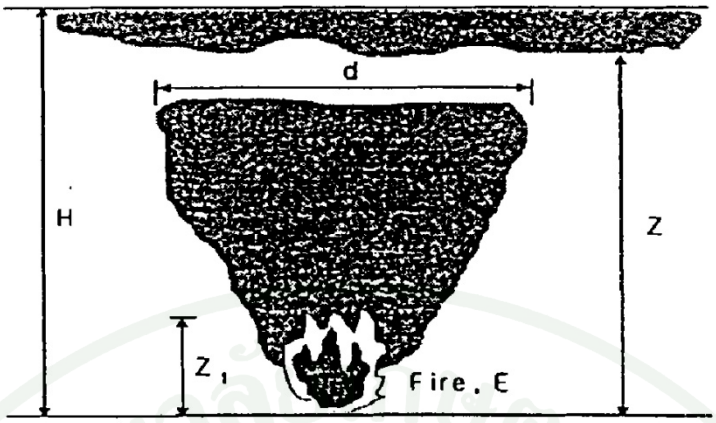
ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2540)

5. รูปแบบการเกิดควัน

เนื่องจากโถงเปิดโล่งในปัจจุบันมีหลังคาทำให้ผนังโดยรอบสามารถเปิดเข้าสู่โถงเปิดโล่งได้โดยไม่ต้องกลัวสภาวะอากาศ การที่มีช่องเปิดเข้าสู่โถงเปิดโล่งมากขึ้นก็ยิ่งเป็นการเพิ่มโอกาสให้มีการ เคลื่อนที่ของไฟและควันมากยิ่งขึ้นทั้งในแนวดิ่งและแนวระดับ

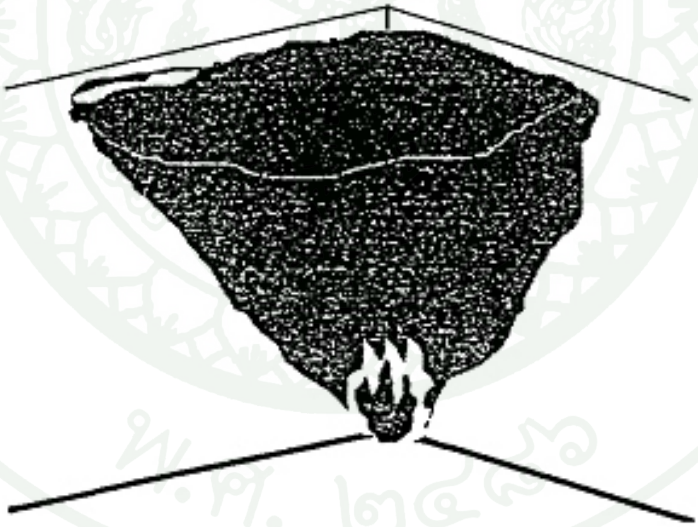
5.1 รูปแบบควันเกิดกลางพื้นที่ (Axisymmetric plumes)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 แสดงรูปแบบควันเกิดกลางพื้นที่

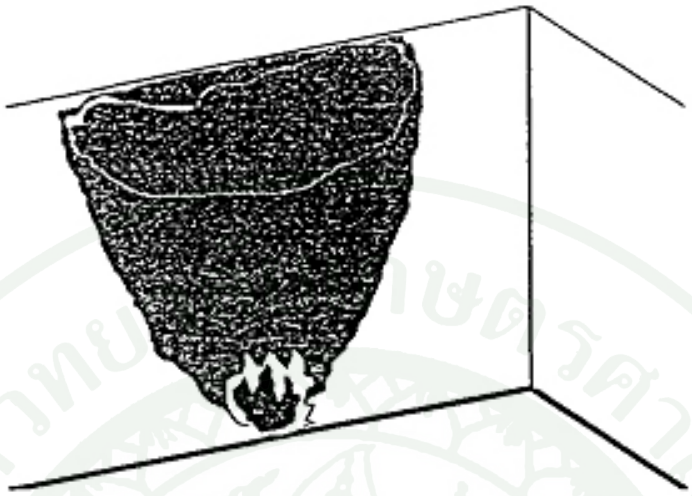
5.2 รูปแบบควันเกิดที่มุมห้อง (Corner plumes)



ภาพที่ 8 รูปแบบควันเกิดที่มุมห้อง

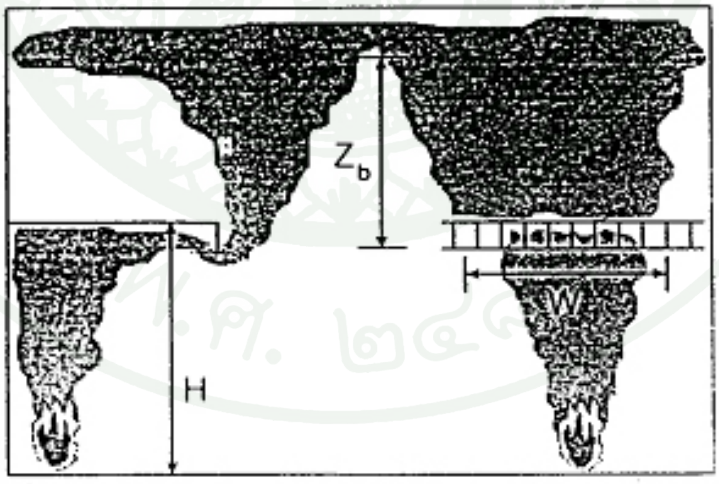
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3 ควันที่สัมผัสกับผนัง (Wall plumes)



ภาพที่ 9 รูปแบบควันที่สัมผัสกับผนัง

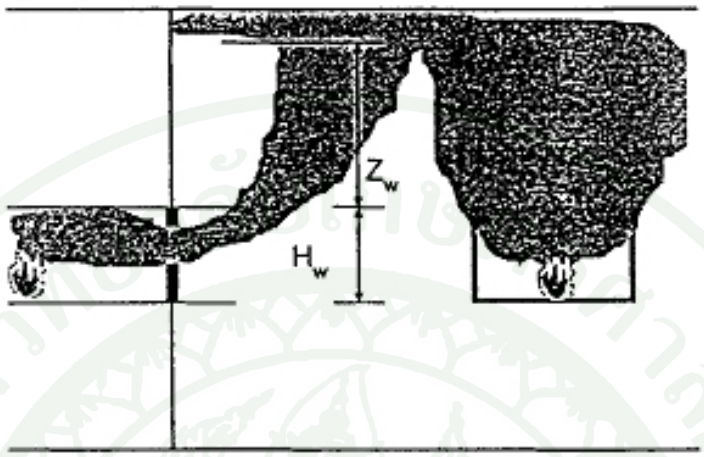
5.4 รูปแบบควันเกิดที่ชานระเบียง (Balcomy Spill Plumes)



ภาพที่ 10 รูปแบบควันเกิดที่ชานระเบียง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.5 รูปแบบควันเกิดที่หน้าต่าง (Window plumes)



ภาพที่ 11 รูปแบบควันเกิดที่หน้าต่าง

ที่มา: NFPA (2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์

2. โปรแกรม Visual Basic 6

3. โปรแกรม Adobe Photoshop 6

4. เครื่องพิมพ์ Hewlett Packard Deskjet psc 1210

วิธีการ

ใช้โปรแกรม Visual Basic 6 ทำการวิจัยและออกแบบพัฒนาโปรแกรม โดยเปรียบเทียบการคำนวณกับการคำนวณด้วยมือจากสูตรการคำนวณ และทดสอบโปรแกรมกับอาคารตัวอย่างว่าสามารถคำนวณ ขนาดพัดลมอัดอากาศได้ถูกต้องแม่นยำหรือไม่

ขั้นตอนการออกแบบ และคำนวณ

1. ทำการออกแบบโปรแกรม เพื่อใช้คำนวณหาขนาดของพัดลมอัดอากาศ และระบายอากาศ จากความรู้ การควบคุมควันไฟ แบ่งประเภทการควบคุมควันได้เป็น 4 กรณี คือ

1.1 พัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ

1.2 พัดลมอัดอากาศกับลิฟต์

1.2.1 พัดลมอัดอากาศป้องกันควันแพร่กระจายไปตามปล่องลิฟต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.2. พัดลมอัดอากาศป้องกันควันแพร่กระจายไปไปสู่โถงหน้าลิฟต์

1.3 พัดลมระบายควันแบบแบ่งเขต

1.3.1 ระบายควันโดยตรงที่ผนังด้านนอก

1.3.2. ระบายควันโดยใช้พัดลมระบายควัน

1.4 พัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่

1.4.1 พัดลมระบายควันเกิดกลางพื้นที่

1.4.2 พัดลมระบายควันเกิดที่มุมห้อง

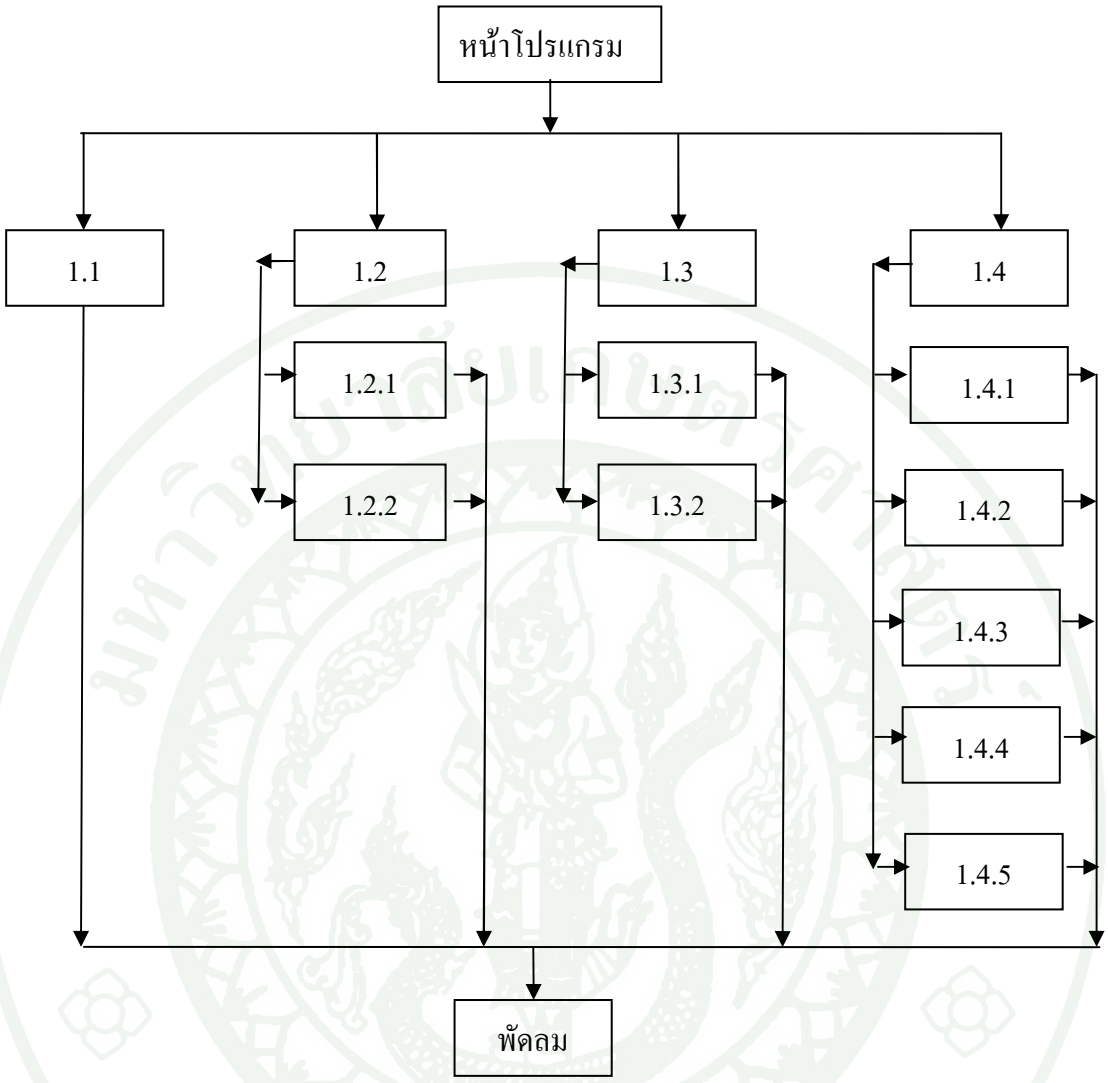
1.4.3 พัดลมระบายควันที่สัมผัสกับผนัง

1.4.4 พัดลมระบายควันเกิดที่ชานระเบียง

1.4.5 พัดลมระบายควันเกิดที่หน้าต่าง

เขียนเป็นขั้นตอนการออกแบบโดยให้มี 4 หน้าต่าง แต่ละหน้าต่างทำเป็น Tab ตามจำนวนกรณีการเกิดควันไฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการออกแบบ

2. ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6 เขียนโปรแกรมเพื่อใช้คำนวณหาขนาดพัดลม

3. ทำการตรวจสอบอาคารที่จะใช้เป็นอาคารตัวอย่างเพื่อทดสอบและเก็บข้อมูลของอาคารที่จำเป็นในการใช้คำนวณ

4. เก็บข้อมูลของอาคาร โดยเก็บข้อมูล จำนวนชั้น ความสูงแต่ละชั้น ขนาดประตูหนีไฟ พื้นที่การไหลของอากาศระหว่าง บันไดกับอาคาร และอาคารกับภายนอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ทดสอบการทำงานของพัดลมอัดอากาศว่าสร้างแรงดันได้หรือไม่ และตรวจสอบว่ามากหรือน้อยไปหรือไม่ ถ้ามากไปประตูหนีไฟจะเปิดไม่ออก

6. คำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศตามขั้นตอนการทำงานจากสูตรการคำนวณ โดยใช้ค่าที่แนะนำดังนี้

ผลต่างความดันบันไดกับอาคารที่ต่ำสุดที่ต้องการ = 0.15 in.WG

ผลต่างความดันบันไดกับอาคารที่สูงสุดที่ต้องการ = 0.40 in.WG

อุณหภูมิภายในอาคารเมืองไทย = 536 ^{o}R

อุณหภูมิภายนอกอาคารเมืองไทย = 555 ^{o}R

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟโดยโปรแกรมควบคุมควันไฟ

1. ข้อมูลทั่วไปของอาคารที่ทำการวิจัย

1.1 ข้อมูลอาคารและสถานที่ตั้งอาคาร

อาคารชุดสามภูมิการเด้น ตั้งอยู่ เลขที่ 126/67 ซอย สาทร 14 แขวงสาทร เขต บางรัก กรุงเทพมหานคร

ลักษณะของอาคารและข้อมูลสิ่งก่อสร้าง ประเภทของอาคาร เป็นอาคารสูง (สูงมากกว่า 23 เมตร)

ประเภทอาคารตามลักษณะโครงสร้าง เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

จำนวนชั้นของอาคารเหนือพื้นดิน 16 ชั้น

จำนวนชั้นใต้ดิน 2 ชั้น

ความสูงของอาคาร 52.40 เมตร

ความยาวของอาคาร 34 เมตร

ความกว้างของอาคาร 26 เมตร

ทางหนีไฟ 2 ทาง ระยะสัญจรไกลที่สุด 20 เมตร

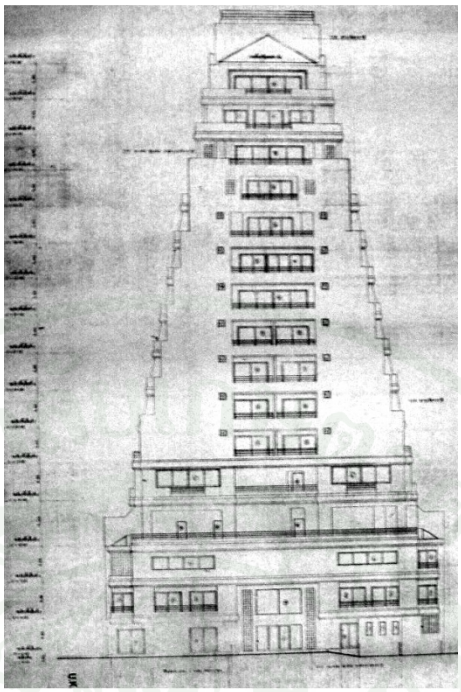
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิฟต์ 2 ตัว

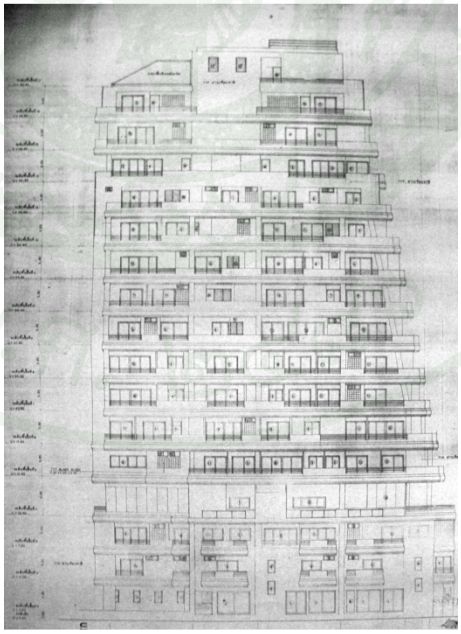
ลักษณะการใช้งานหรือการประกอบกิจกรรมของอาคาร ใช้เป็นอาคารที่พักอาศัย ลักษณะเป็นอาคารชุดมีห้องพักรวม 108 ชุด พื้นที่ใช้สอยแต่ละห้องไม่เท่ากัน พื้นที่ใช้สอยรวม 10,000 ตารางเมตร

ภาพที่ 13 ด้านหน้าอาคารตัวอย่างอาคารชุดสามภูมิการเด้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

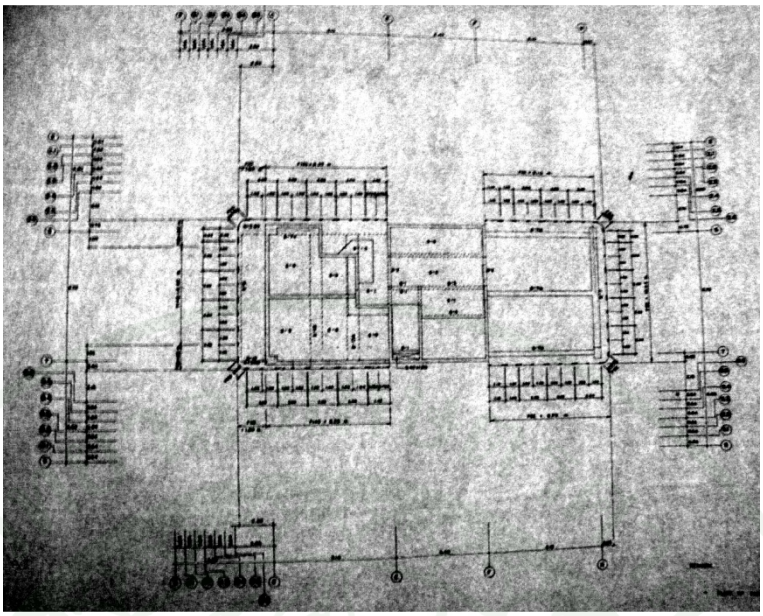


ภาพที่ 14 แบบด้านหน้าอาคารชุดสามภูมิการเด้น

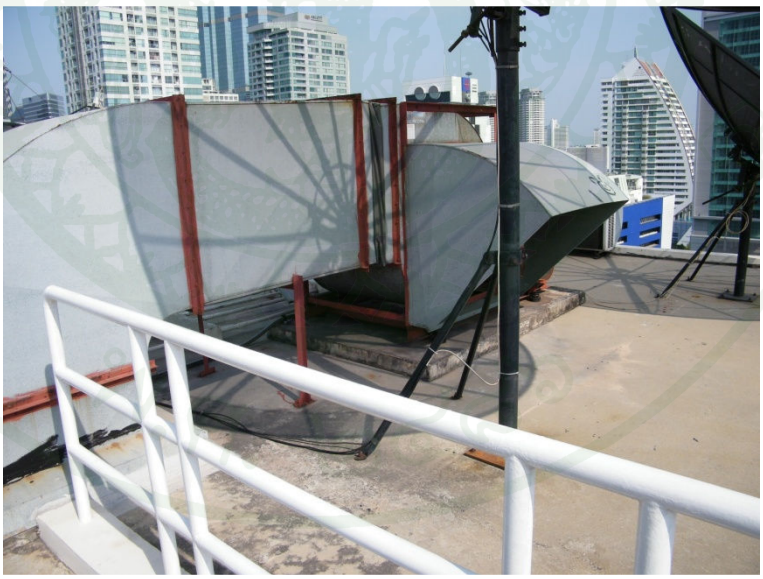


ภาพที่ 15 แบบด้านข้างอาคารชุดสามภูมิการเด้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

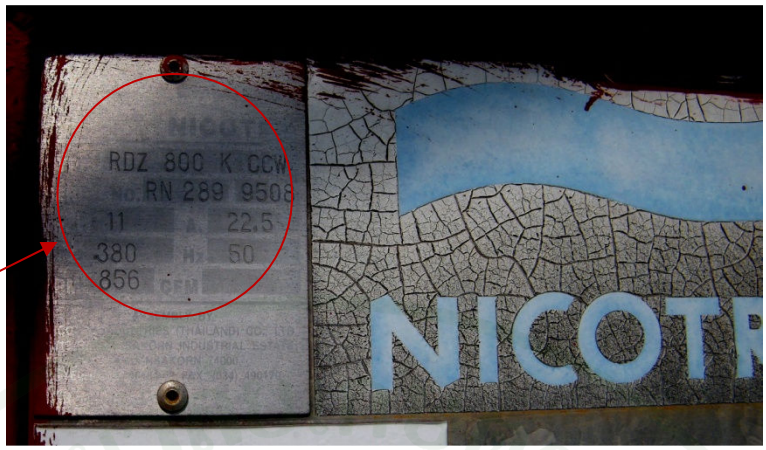


ภาพที่ 16 แบบภายในอาคารชุดสามภูมิการเด้น



ภาพที่ 17 การติดตั้งพัดลมอัดอากาศบนชั้นดาดฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 ป้ายบอกชนิดและขนาดของพัดลม

ภาพที่ 19 ชนิดของพัดลมใช้สายพานขับด้วยมอเตอร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 20 ชนิดของพัดลมใช้สายพานขับด้วยมอเตอร์

ภาพที่ 21 พัดลมอัดอากาศแบบอัดอากาศเข้าปล่องอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 22 แสดงหัวจ่ายอากาศเข้าบันไดหนีไฟ

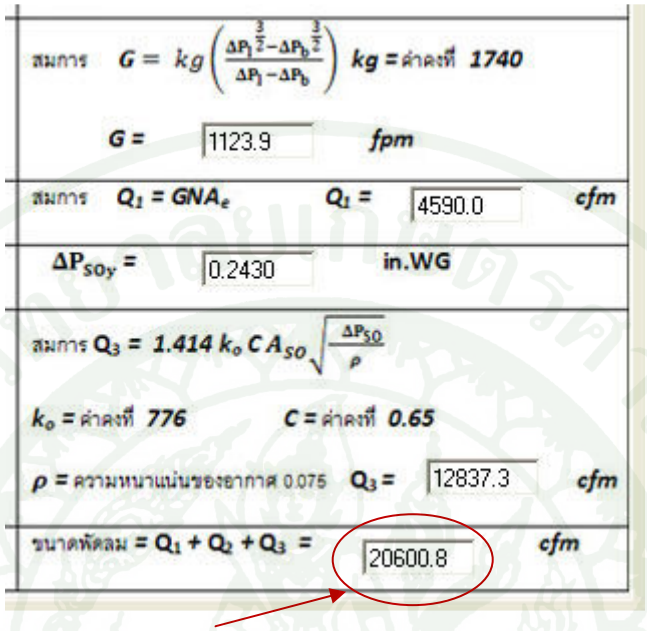
1.2 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบคำนวณ

จำนวนชั้นอาคาร 16 ชั้น
ความสูงแต่ละชั้น 3.4 เมตร
ประตูหนีไฟ 2.00 x 0.90 เมตร
ขนาดพัดลมอัดอากาศ 30,000 cfm
อุณหภูมิอาคาร ภายใน 25 C ภายนอก 35 C
ใช้ค่าตามคำแนะนำเพื่อคำนวณขนาดพัดลมอัดอากาศ
จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟตั้งแต่ 1 ชั้น ถึง 15 ชั้น
ผลต่างความดันบันไดกับอาคารที่ต่ำสุดที่ต้องการ = 0.15 in.WG
ผลต่างความดันบันไดกับอาคารที่สูงสุดที่ต้องการ = 0.40 in.WG
อุณหภูมิภายในอาคารเมืองไทย = 536 ^{o}R
อุณหภูมิภายนอกอาคารเมืองไทย = 555 ^{o}R

1.3 ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟโดยโปรแกรมควบคุมควันไฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3.1 กรณี ให้จำนวนชั้นที่ประตูเพื่อหนีไฟมีการเปลี่ยนแปลงโดยเปิดเพื่อหนีไฟ ตั้งแต่ 1 ชั้น จน ถึง 15 ชั้น



ภาพที่ 23 แสดงผลการคำนวณเมื่อจำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ 2 ชั้น

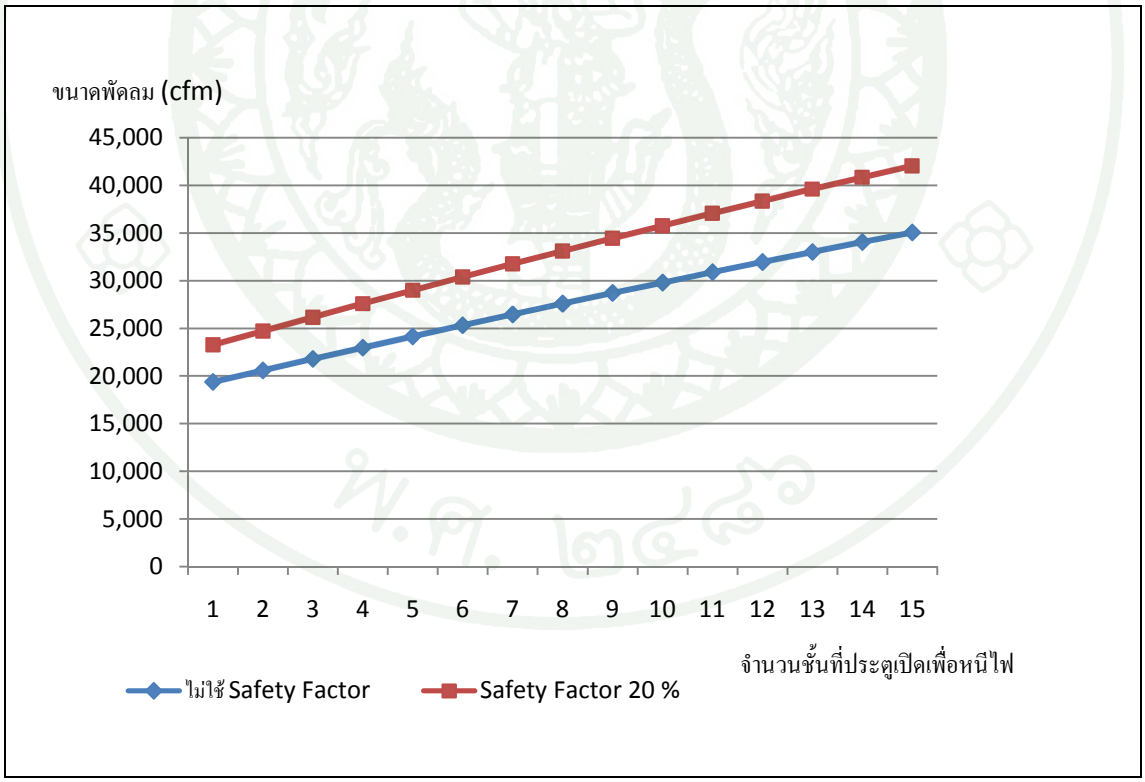
ตารางที่ 5 แสดงผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ

จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ	ขนาดพัดลมอากาศ (cfm)	
	ไม่ใช้ safety factor	Safety factor = 20%
1	19,386	23,263
2	20,600	24,720
3	21,803	26,163
4	22,992	27,590
5	24,166	28,999
6	25,330	30,396
7	26,475	31,770
8	27,605	33,126
9	28,720	34,464

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 (ต่อ)

จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ	ขนาดพัดลมอากาศ (cfm)	
	ไม่ใช้ safety factor	Safety factor = 20%
10	29,820	35,784
11	30,905	37,086
12	31,975	38,370
13	33,026	39,631
14	34,062	40,874
15	35,082	42,069



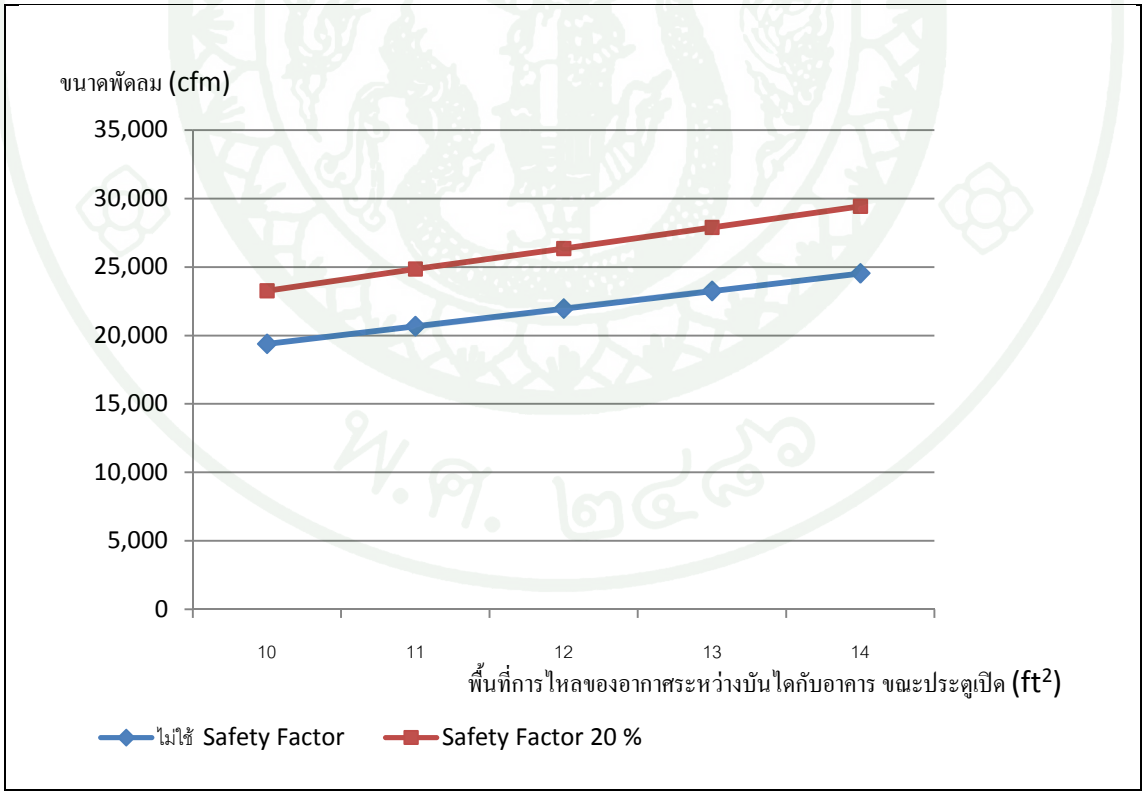
ภาพที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับจำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ

1.3.2. กรณีให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่ โดยให้เปิดเพียงชั้นเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟเมื่อให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่

จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ	พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคารขณะประตูเปิด (ft^2)	ขนาดพัดลมอากาศ (cfm)	
		ไม่ใช้ safety factor	Safety factor = 20%
1	10	19,386	23,263
1	11	20,672	24,860
1	12	21,958	26,349
1	13	23,243	27,891
1	14	24,528	29,433

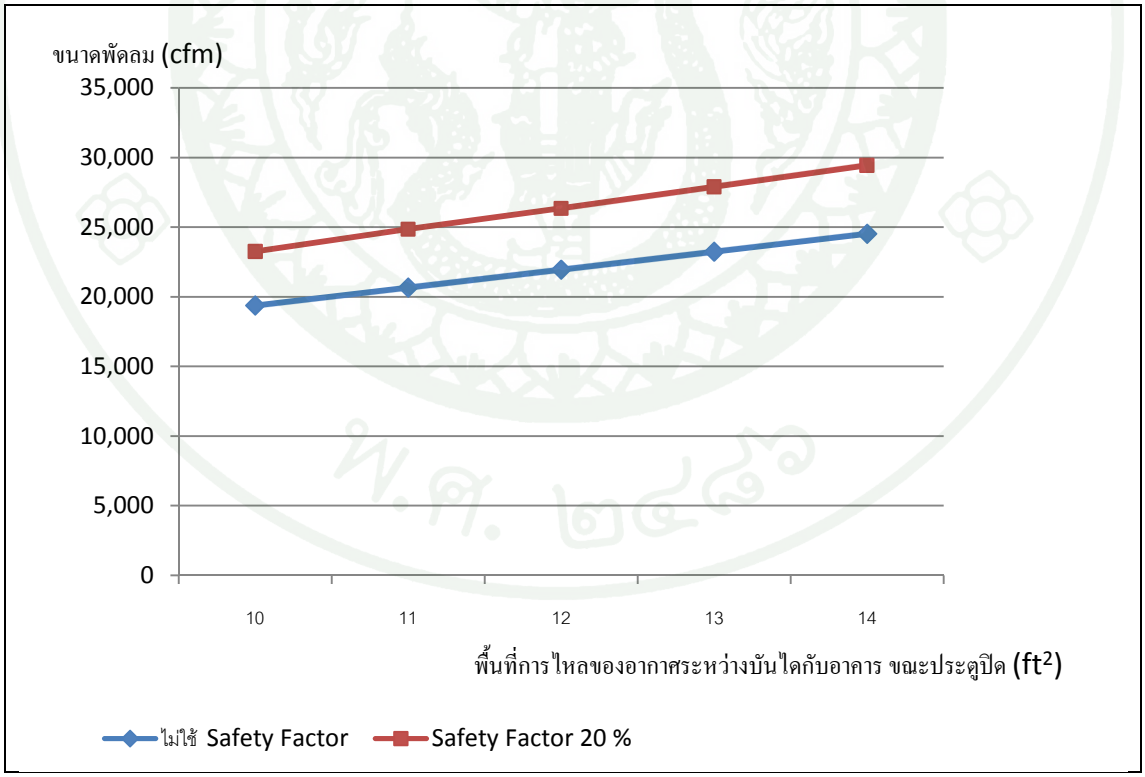


ภาพที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร ขณะประตูเปิด (ft^2)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟเมื่อให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่

จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ	พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคารขณะประตูปิด (ft^2)	ขนาดพัดลมอากาศ (cfm)	
		ไม่ใช้ safety factor	Safety factor = 20%
1	0.3	19,386	23,263
1	0.4	21,073	25,287
1	0.5	22,694	27,232
1	0.6	24,236	29,083
1	0.7	25,696	30,835

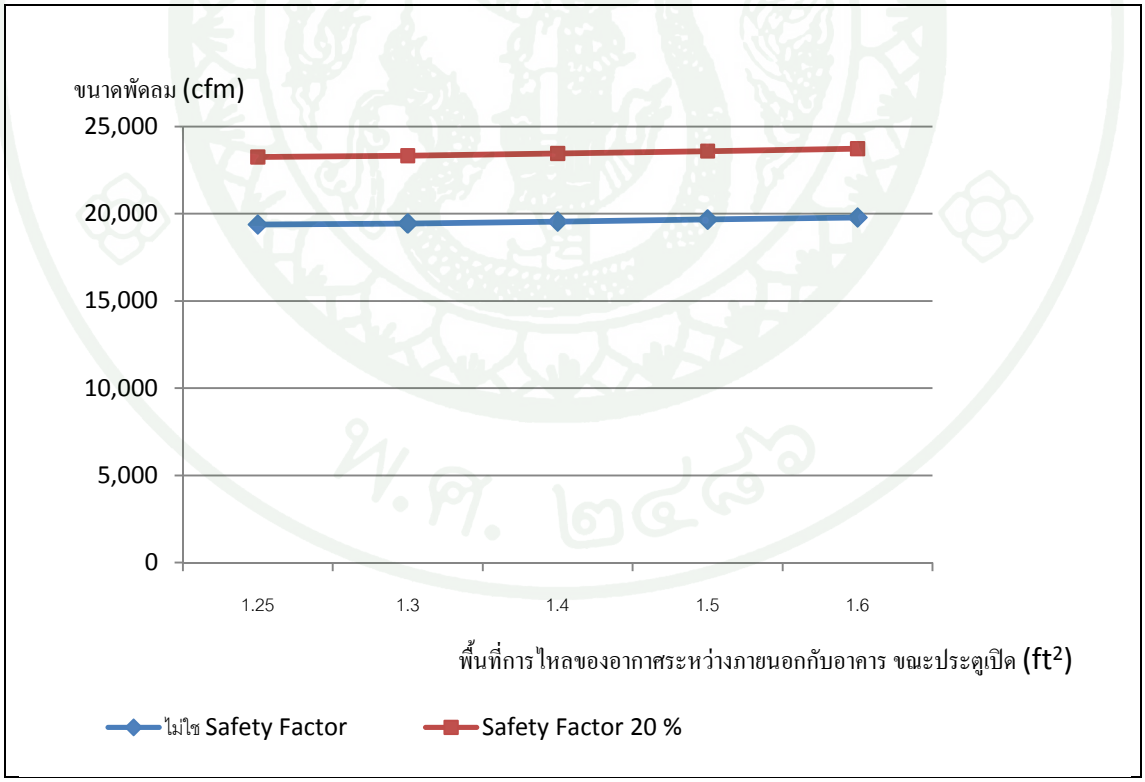


ภาพที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร ขณะประตูปิด (ft^2)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟเมื่อให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่

จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ	พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างภายนอกกับอาคารขณะประตูเปิด (ft^2)	ขนาดพัดลมอากาศ (cfm)	
		ไม่ใช้ safety factor	Safety factor = 20%
1	1.25	19,386	23,263
1	1.3	19,442	23,330
1	1.4	19,554	23,464
1	1.5	19,669	23,602
1	1.6	19,784	23,740



ภาพที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างภายนอกกับอาคาร ขณะประตูเปิด (ft^2)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟเมื่อให้จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟคงที่

จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ	ผลต่างความดันระหว่างบันไดกับอาคาร	ขนาดพัดลมอากาศ (cfm)	
		ไม่ใช้ safety factor	Safety factor = 20%
1	0.05	26,858	32,229
1	0.10	25,199	30,238
1	0.15	23,424	28,108
1	0.20	21,501	25,801
1	0.25	19,386	23,263

ภาพที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับผลต่างความดันระหว่างบันไดกับอาคาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

เมื่อคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศภายในบันไดหนีไฟโดยใช้โปรแกรมที่ออกแบบจะได้ขนาดพัดลมอัดอากาศ ไม่แตกต่างจากการใช้สูตรคำนวณเลย จะแตกต่าง เล็กน้อยก็มาจากการปัดเศษทศนิยมแต่ละขั้นตอนที่ใช้การคำนวณ โปรแกรมที่ออกแบบมาจึงสามารถทำงานได้จริงและช่วยประหยัดเวลา

ขั้นตอนในการออกแบบ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6 เขียนโปรแกรมในส่วนการคำนวณหาค่าต่าง ๆ จำเป็นจะต้องใช้การคำนวณมือมาอ้างอิงความถูกต้องในแต่ละขั้นตอน ผู้ออกแบบจึงสามารถจะตรวจสอบด้วยตนเองว่าโปรแกรมที่ออกแบบมีความถูกต้องหรือไม่ ซึ่งง่ายต่อการเขียนโปรแกรมด้วยตนเอง

แต่การคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศของบันไดหนีไฟ มีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากใช้ตัวแปรจำนวนมาก และการคำนวณโดยสูตรต้องใช้สมการหลายสมการ จึงเสียเวลามาก จากผลการทดสอบโปรแกรมมีความถูกต้องแม่นยำในส่วนการคำนวณ สามารถนำไปใช้งานได้จริงและประหยัดระยะเวลาในการออกแบบมาก

ในปัจจุบันจะพบว่า โปรแกรมที่ช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟ โดยช่วยคำนวณหาขนาดของพัดลมไม่มีให้เห็นมากนัก ส่วนใหญ่แล้วผู้ผลิต พัดลม จะมีโปรแกรมให้เลือกชนิดของพัดลมที่ต้องการ จากกราฟประสิทธิภาพพัดลมพัดลม มาให้ แต่การเลือกพัดลมที่ถูกต้องจะต้องอาศัยค่าสองค่า คือ อัตราการไหลของอากาศ (cfm) กับ ความดันสถิตของพัดลม (Static Pressure) (in.WG) ซึ่งผู้ออกแบบยังต้องคำนวณด้วยตนเองอยู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

เมื่อได้ออกแบบโปรแกรมช่วยออกแบบระบบควบคุมควันไฟและนำไปทดลองใช้จริงกับอาคารตัวอย่าง (ขนาดพัดลมอาคารตัวอย่าง 30,000 cfm) พบว่า การคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศ ขนาดพัดลมมีการเปลี่ยนแปลงตามความสัมพันธ์กับตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปดังนี้

ในกรณีที่เมื่อให้จำนวนชั้นของประตูหนีไฟที่เปิดเพื่อหนีไฟมีการเปลี่ยนแปลง โดยจำนวนชั้นของประตูหนีไฟที่เปิดเปลี่ยนจาก 1 ชั้น จนถึง 15 ชั้น ส่วนตัวแปรที่กำหนดให้คงที่ มี

1. พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร ขณะประตูเปิด (ft^2)

2. พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร ขณะประตูเปิด (ft^2)

3. พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างภายนอกกับอาคาร ขณะประตูเปิด (ft^2)

4. ผลต่างความดันระหว่างบันไดกับอาคาร

5. อุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร

เมื่อประตูหนีไฟที่เปิดเพียงชั้นเดียว คำนวณหาขนาดพัดลมโดยไม่ใช้ Safety Factor ได้ 19,386 cfm ซึ่งเป็นขนาดพัดลมที่ต่ำกว่าของอาคารที่มีอยู่คือ 30,000 cfm และเมื่อประตูหนีไฟเปิด 2 ชั้น คำนวณหาขนาดพัดลมได้ 20,600 cfm และเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อ จำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพิ่มขึ้น พบว่าที่จำนวนชั้นเป็น 11 ชั้น พัดลมจะไม่สามารถรักษาความดันภายในบันไดหนีไฟได้ จึงเป็นอันตรายในการอพยพหนีไฟ

จากกราฟ ความสัมพันธ์ของขนาดพัดลมอัดอากาศกับจำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ พบขนาดพัดลมอัดอากาศแปรผันตามจำนวนชั้นที่ ประตูหนีไฟเปิดเพื่อหนีไฟ โดยเมื่อจำนวนชั้นที่ประตูหนีไฟเปิดเพิ่มขึ้น ขนาดของพัดลมก็จะเพิ่มตามไปด้วยและพัดลมจะเริ่มไม่สามารถรักษาความดันภายในบันไดหนีไฟได้ เมื่อประตูหนีไฟเปิดตั้งแต่ 11 ชั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในกรณีที่ให้ประตูหนีไฟเปิดเพียงชั้นเดียว และทดลองเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ

เมื่อเปลี่ยนค่า พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร ขณะประตูเปิด พบว่า ขนาดพัดลมจะเพิ่มตาม พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร

เมื่อเปลี่ยนค่า พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร ขณะประตูปิด พบว่าขนาดพัดลมจะเพิ่มตาม พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร

เมื่อเปลี่ยนค่า พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างภายนอกกับอาคาร ขณะประตูเปิด พบว่า ขนาดพัดลมจะเพิ่มตาม พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างภายนอกกับอาคาร

เมื่อเปลี่ยนค่า ผลต่างความดันระหว่างบันไดกับอาคาร พบว่าขนาดพัดลมจะลดลงเมื่อผลต่างความดันระหว่างบันไดกับอาคารเพิ่มขึ้น

จากกรณีที่ให้ประตูหนีไฟเปิดเพียงชั้นเดียว และทดลองเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ จะมีเพียงค่าผลต่างความดันระหว่างบันไดกับอาคารที่ทำให้ขนาดพัดลมลดลงเมื่อผลต่างความดันเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าการอพยพหนีไฟที่ปลอดภัย คือจะต้องทำให้ผลต่างความดันระหว่างบันไดกับอาคารมีค่าสูง ๆ ค่าที่แนะนำคือ ผลต่างความดันบันไดกับอาคารที่ต่ำสุดที่ต้องการ0.15 in.WG ผลต่างความดันบันไดกับอาคารที่สูงสุดที่ต้องการ 0.40 in.WG ตามมาตรฐานการควบคุมควันไฟของ ว.ส.ท.

กราฟความสัมพันธ์ จากผลการทดลอง พบว่า พื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคารขณะประตูปิด มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดพัดลมอัดอากาศมากที่สุด คือ เมื่อค่าพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคารขณะประตูปิดเปลี่ยนเพียงเล็กน้อยจะทำให้ขนาดพัดลมเปลี่ยนไปมาก ดูจากกราฟมีความชันมากที่สุด เพื่อความปลอดภัยของการอพยพหนีไฟมากที่สุด ผู้ออกแบบทางหนีไฟจะต้องพิจารณาค่าพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคารขณะประตูปิดเป็นพิเศษ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมช่วยในการออกแบบระบบควบคุมควันไฟนี้เขียนขึ้นมาเพื่อใช้คำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศ และ พัดลมระบายควัน เพื่อจะใช้ในการเลือกพัดลม จาก Performance Curve ของผู้ผลิตต่าง ๆ ต่อไป โดยในการเลือกพัดลมที่เหมาะสม ยังต้องอาศัย ค่า Static Pressure ด้วย ซึ่งการหา ค่า Static Pressure ก็มีความซับซ้อนและยุ่งยากเช่นเดียวกับการหาอัตราการไหล

การเขียนโปรแกรมให้ถูกต้องผู้ออกแบบจะต้องมีความเข้าใจในเงื่อนไข ต่าง ๆ ในส่วนที่จะใช้กับการคำนวณ ไม่เช่นนั้นการคำนวณจะไม่ถูกต้องและได้คำตอบครบถ้วน การเขียนโปรแกรมให้ดี นอกจากต้องต้องมีการศึกษาทำความเข้าใจกับ ภาษาที่จะเขียนแล้วยังขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมของผู้ออกแบบด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สกล สกุลนคร. 2546. **โปรแกรมออกแบบระบบควบคุมควันไฟสำหรับโถงสูงและช่องเปิดขนาดใหญ่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2540. **มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย.** พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

_____. 2545. **มาตรฐานการควบคุมควันไฟ.** พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

จักรพันธ์ ภวังคะรัตน์. 2546. **ระบบควบคุมควัน.** แหล่งที่มา: http://thaihvac.com/knowledge/smokecontrol/smokecontrol_eit38.htm, 19 กันยายน 2546.

John Klote and James Milk, 1992., **Design of Smoke Management Systems**, ASHRAE and Society of Fire Protection Engineers..

NFPA. 1988., **Recommended Practice for Smoke Control System**, NFPA 92A, National Fire Protection Association.

_____. 1991., **Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas**, NFPA 92B, National Fire Protection Association.

_____. 2005., **Guide for Standard for Ventilation control and Fire Protection of Commercial Cooking Operations**. NFPA 96, National Fire Protection Association.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

วิธีการติดตั้งและใช้งานโปรแกรม Smoke Control v1.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

1. ติดตั้ง Smoke Control v1.1

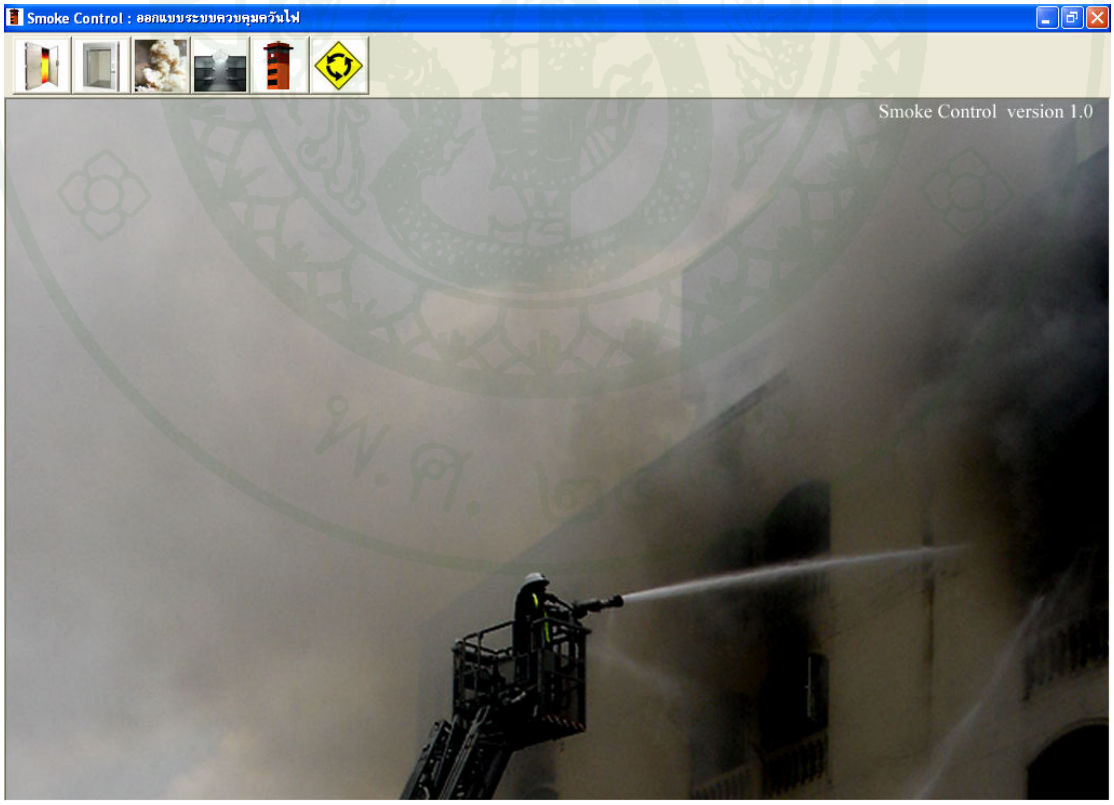
2. Double Click ที่ Icon “setup”

3. เลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการติดตั้งโปรแกรม หรือใช้ตามค่าตั้งต้น แล้ว Click Install

4. รอจนติดตั้งเสร็จสิ้น เข้าโฟลเดอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม แล้ว Double Click ที่ Icon “smoke_control.exe” เพื่อเข้าสู่โปรแกรม

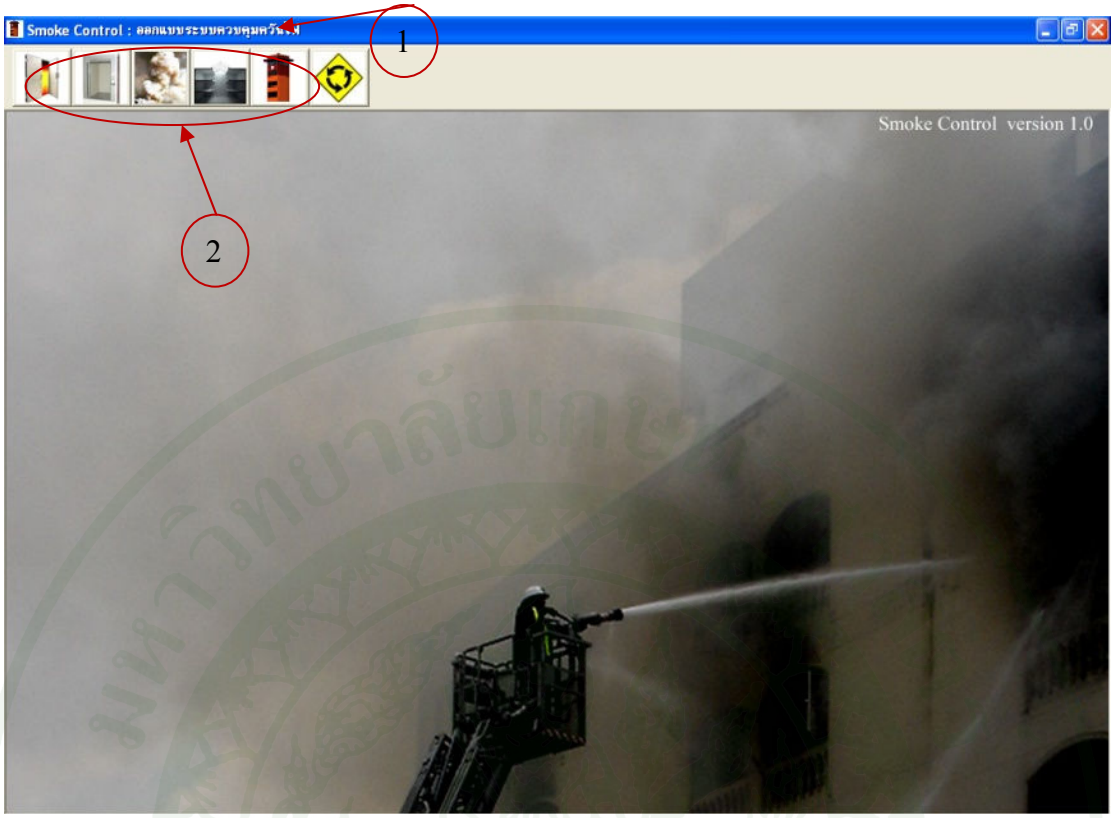
การใช้งานโปรแกรม

1 เมื่อเปิดโปรแกรม Smoke Control v1.1 จะพบหน้าต่างหลักของโปรแกรม



ภาพผนวกที่ ก1 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม

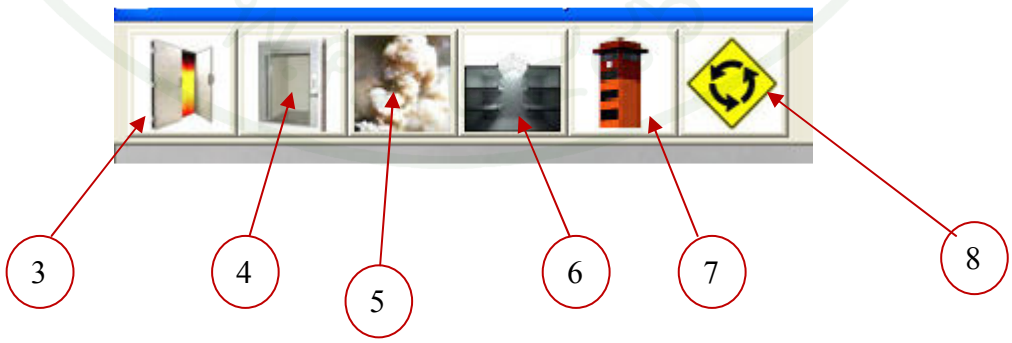
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ก2 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม

1.1 (1) ไตเติลบาร์จะแสดงชื่อโปรแกรม

1.2 (2) ทูลบาร์ ประกอบด้วยปุ่มสั่งงานต่าง ๆ



ภาพผนวกที่ ก3 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 (3) สั่งให้ไปที่หน้าต่างคำนวณพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ

1.4 (4) สั่งให้ไปที่หน้าต่างคำนวณพัดลมอัดอากาศกับลิฟต์

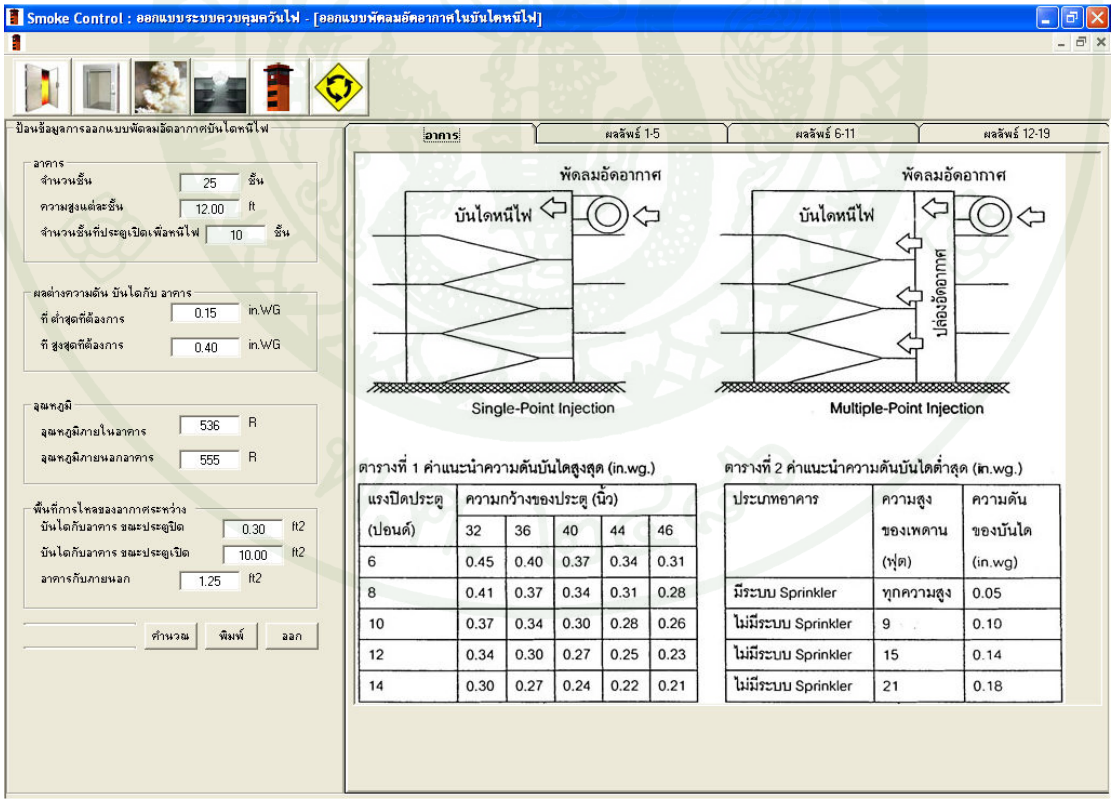
1.5 (5) สั่งให้ไปที่หน้าต่างคำนวณพัดลมระบายควันแบบแบ่งเขต

1.6 (6) สั่งให้ไปที่หน้าต่างคำนวณพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่

1.7 (7) สั่งให้ไปที่หน้าต่างเกี่ยวกับผู้จัดทำ

1.8 (8) สั่งให้ไปที่หน้าต่างแปลงหน่วย

2 เมื่อเลือกปุ่มที่ (3) จะเข้าสู่หน้าต่างคำนวณพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ

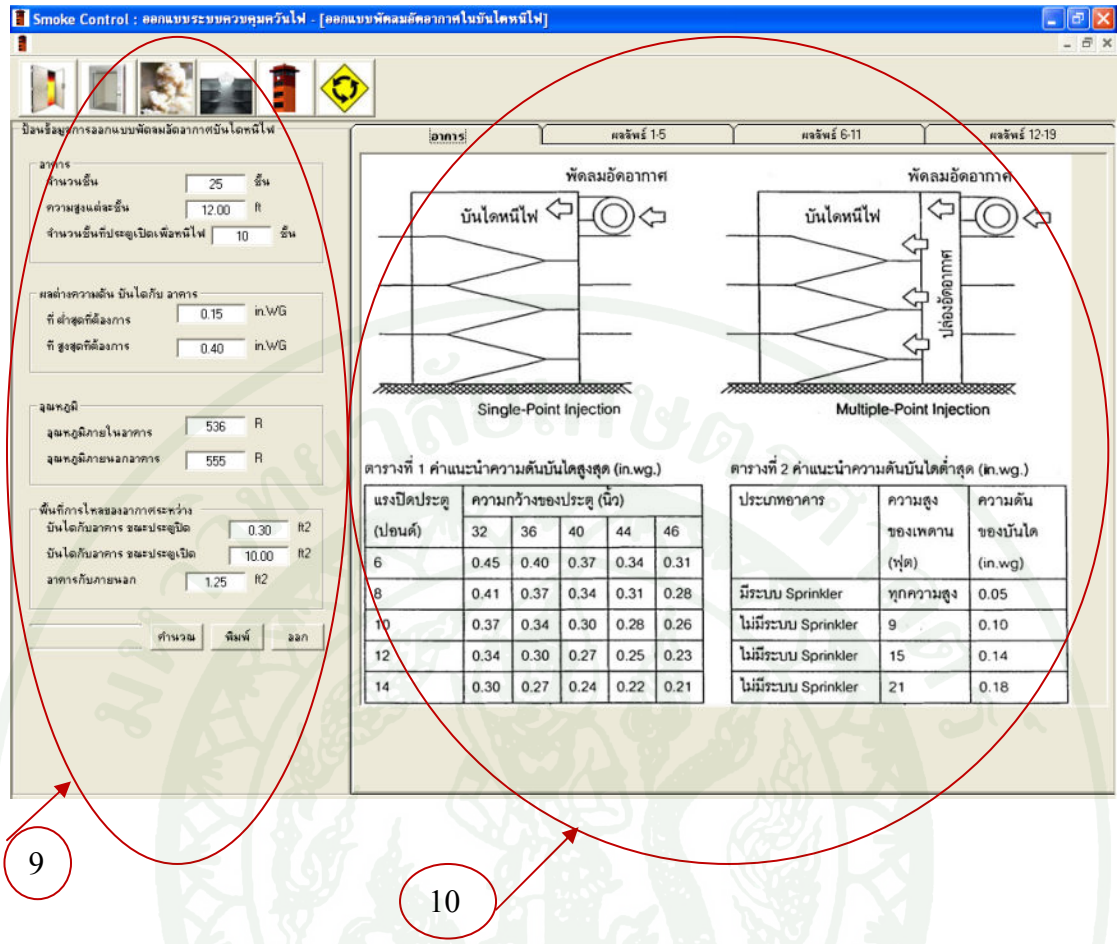


แรงปิดประตู (ปอนด์)	ความกว้างของประตู (นิ้ว) 32	36	40	44	46
6	0.45	0.40	0.37	0.34	0.31
8	0.41	0.37	0.34	0.31	0.28
10	0.37	0.34	0.30	0.28	0.26
12	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23
14	0.30	0.27	0.24	0.22	0.21

ประเภทอาคาร	ความสูงของเพดาน (ฟุต)	ความดันของบันได (in.wg)
มีระบบ Sprinkler	ทุกความสูง	0.05
ไม่มีระบบ Sprinkler	9	0.10
ไม่มีระบบ Sprinkler	15	0.14
ไม่มีระบบ Sprinkler	21	0.18

ภาพผนวกที่ ก4 แสดงหน้าต่างการออกแบบพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



แรงปิดประตู	ความกว้างของประตู (นิ้ว)				
(ปอนด์)	32	36	40	44	46
6	0.45	0.40	0.37	0.34	0.31
8	0.41	0.37	0.34	0.31	0.28
10	0.37	0.34	0.30	0.28	0.26
12	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23
14	0.30	0.27	0.24	0.22	0.21

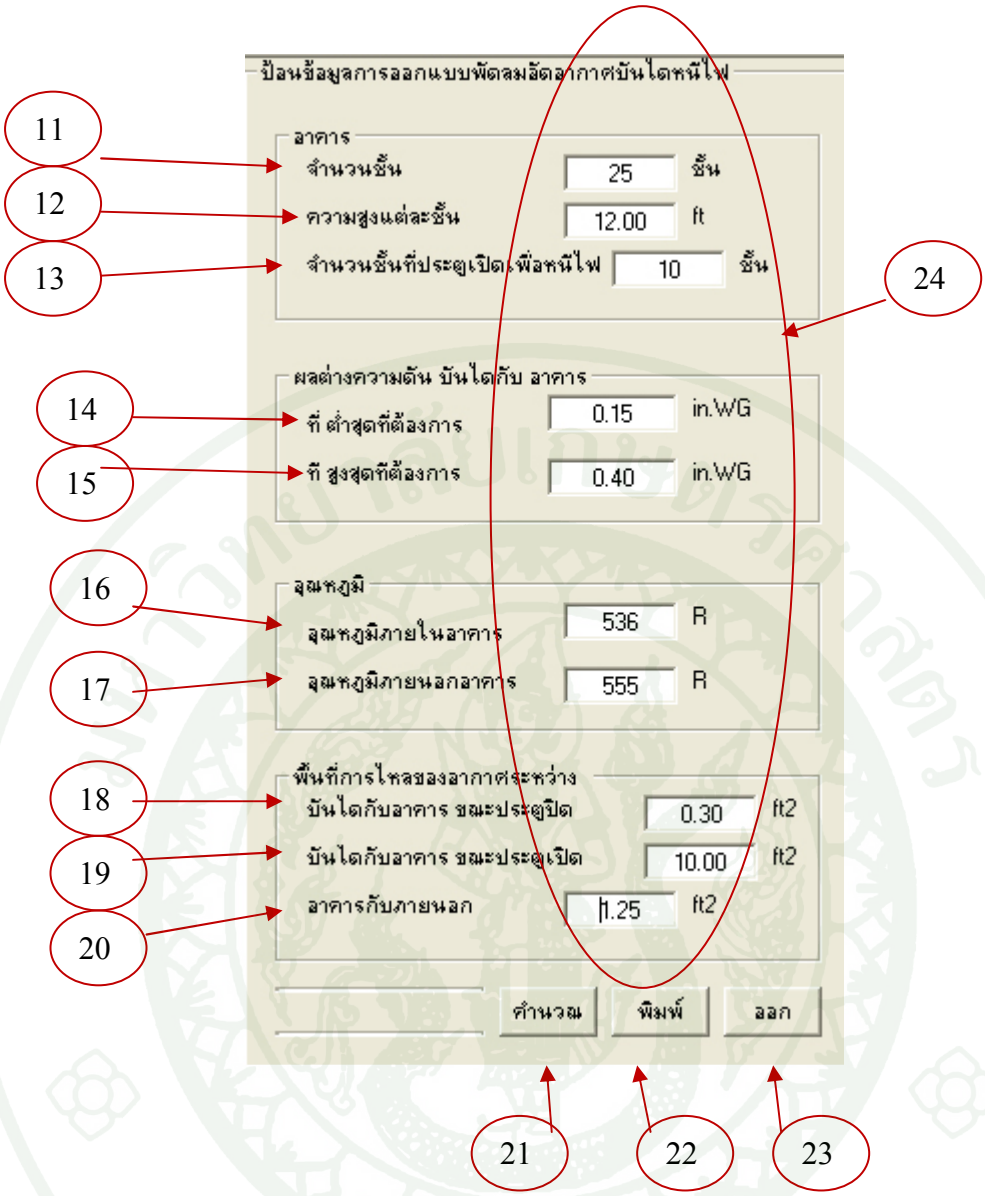
ประเภทอาคาร	ความสูงของเพดาน (ฟุต)	ความดันของบันได (in.wg)
มีระบบ Sprinkler	ทุกความสูง	0.05
ไม่มีระบบ Sprinkler	9	0.10
ไม่มีระบบ Sprinkler	15	0.14
ไม่มีระบบ Sprinkler	21	0.18

ภาพผนวกที่ ก5 แสดงหน้าต่างการออกแบบพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ

2.1 (9) ส่วนที่ต้องใส่ค่าเริ่มต้น (Input)

2.2 (10) ส่วนที่แสดงผลการคำนวณอยู่ด้านขวา จอภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ก6 แสดงส่วนที่จะต้องป้อนข้อมูล

2.3 (11) ใส่ข้อมูลจำนวนชั้น

2.4 (12) ใส่ข้อมูลความสูงแต่ละชั้น

2.5 (13) ใส่ข้อมูลจำนวนชั้นที่ประตูเปิดเพื่อหนีไฟ

2.6 (14) ใส่ข้อมูลผลต่างความดัน บันไดกับอาคารต่ำที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.7 (15) ใส่ข้อมูลผลต่างความดัน บันไดกับอาคารสูงที่สุด

2.8 (16) ใส่ข้อมูลอุณหภูมิภายในอาคาร

2.9 (17) ใส่ข้อมูลอุณหภูมิภายนอกอาคาร

2.10 (18) ใส่ข้อมูลพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างกับบันไดกับอาคารขณะประตูปิด

2.11 (19) ใส่ข้อมูลพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างกับบันไดกับอาคารขณะประตูเปิด

2.12 (20) ใส่ข้อมูลพื้นที่การไหลของอากาศระหว่างกับภายนอกกับอาคาร

2.13 (21) เมื่อใส่ข้อมูลครบแล้วกดปุ่มคำนวณ

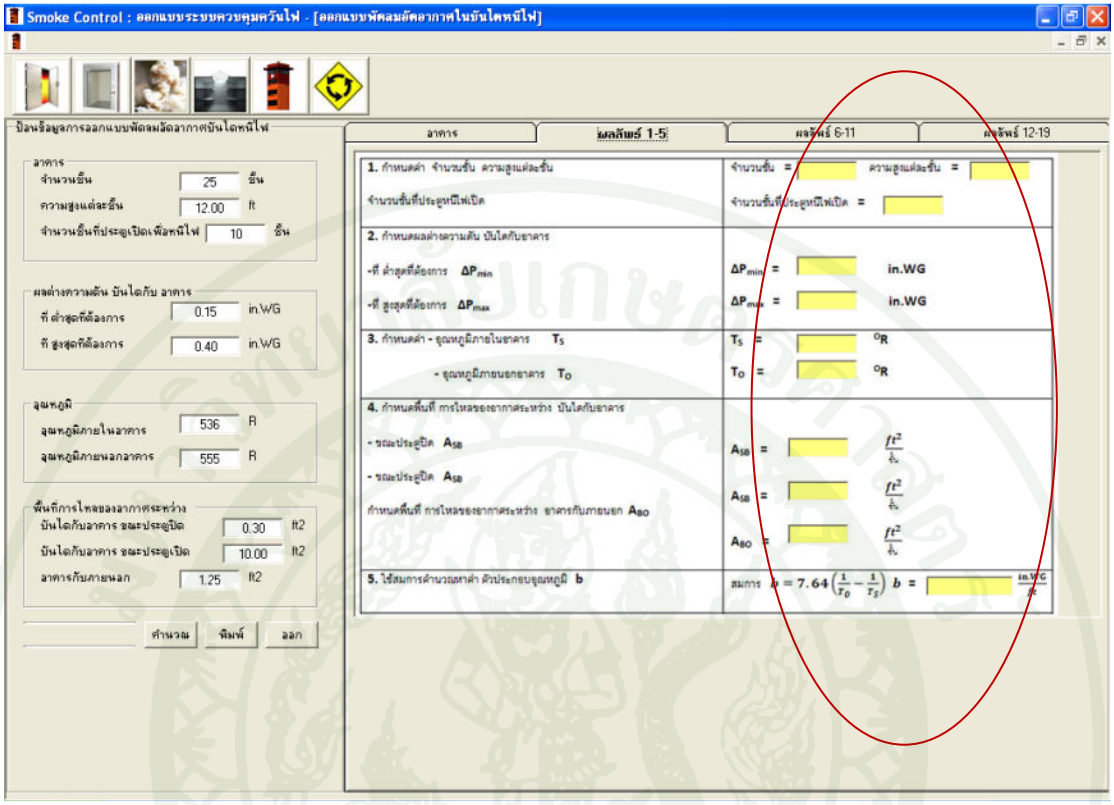
2.14 (22) เมื่อต้องการพิมพ์ผลการคำนวณ

2.15 (23) กดเมื่อต้องการออกจากการคำนวณ

2.15 (24) แสดงค่าเริ่มต้นของการคำนวณให้ดู

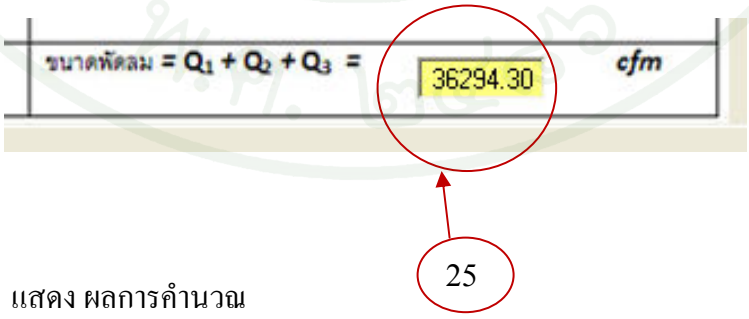
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3 เมื่อใส่ข้อมูลครบแล้วกดปุ่มคำนวณดูผลการคำนวณด้านขวามือ



ภาพผนวกที่ ก7 แสดง ส่วนผลการคำนวณ

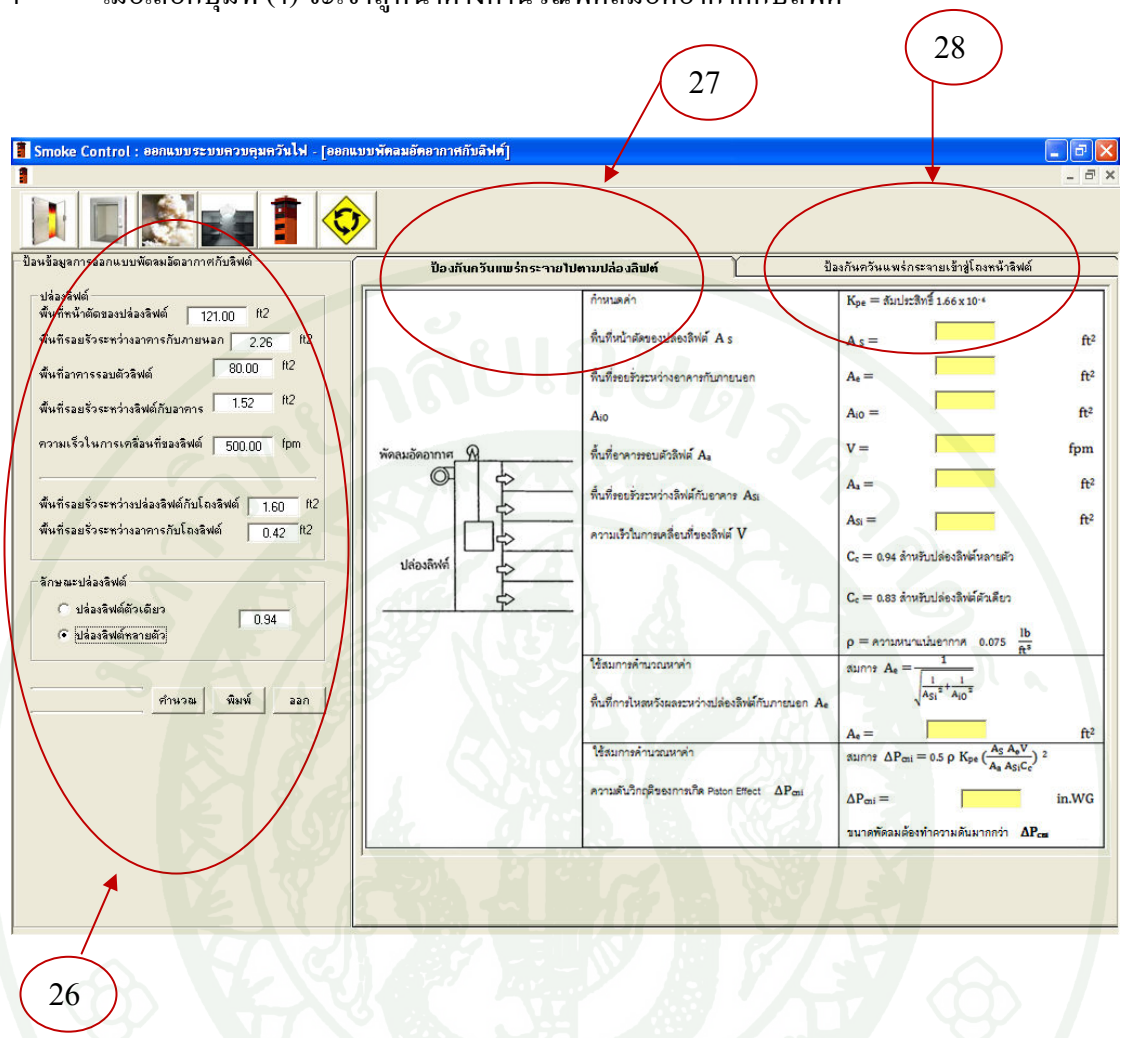
3.1 (25) ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ หน่วย cfm



ภาพผนวกที่ ก8 แสดง ผลการคำนวณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4 เมื่อเลือกปุ่มที่ (4) จะเข้าสู่หน้าต่างคำนวณพัดลมอัดอากาศกับลิฟต์



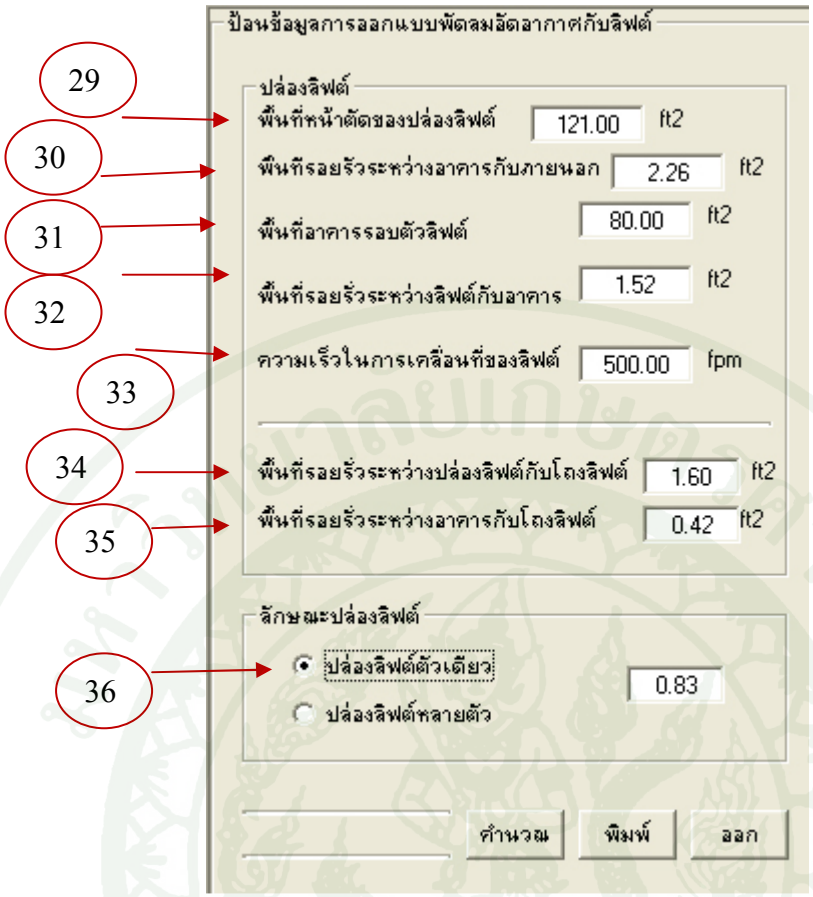
ภาพผนวกที่ ก9 แสดงหน้าต่างการออกแบบพัดลมอัดอากาศกับลิฟต์

4.1 (26) ด้านซ้ายส่วนที่ต้องป้อนข้อมูล

4.2 (27) กรณีป้องกันควันแพร่กระจายไปตามปล่องลิฟต์

4.3 (28) กรณีป้องกันควันแพร่กระจายเข้าสู่โถงหน้าลิฟต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ก10 แสดงส่วนที่ต้องป้อนข้อมูลคำนวณพัดลมอัดอากาศกับลิฟต์

4.4 (29) ใส่ข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของปล่องลิฟต์

4.5 (30) ใส่ข้อมูลพื้นที่รอยรั่วระหว่างอาคารกับภายนอก

4.6 (31) ใส่ข้อมูลพื้นที่อาคารรอบตัวลิฟต์

4.7 (32) ใส่ข้อมูลพื้นที่รอยรั่วระหว่างลิฟต์กับอาคาร

4.8 (33) ใส่ข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่ของลิฟต์

4.9 (34) ใส่ข้อมูลพื้นที่รอยรั่วระหว่างลิฟต์กับโถงลิฟต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

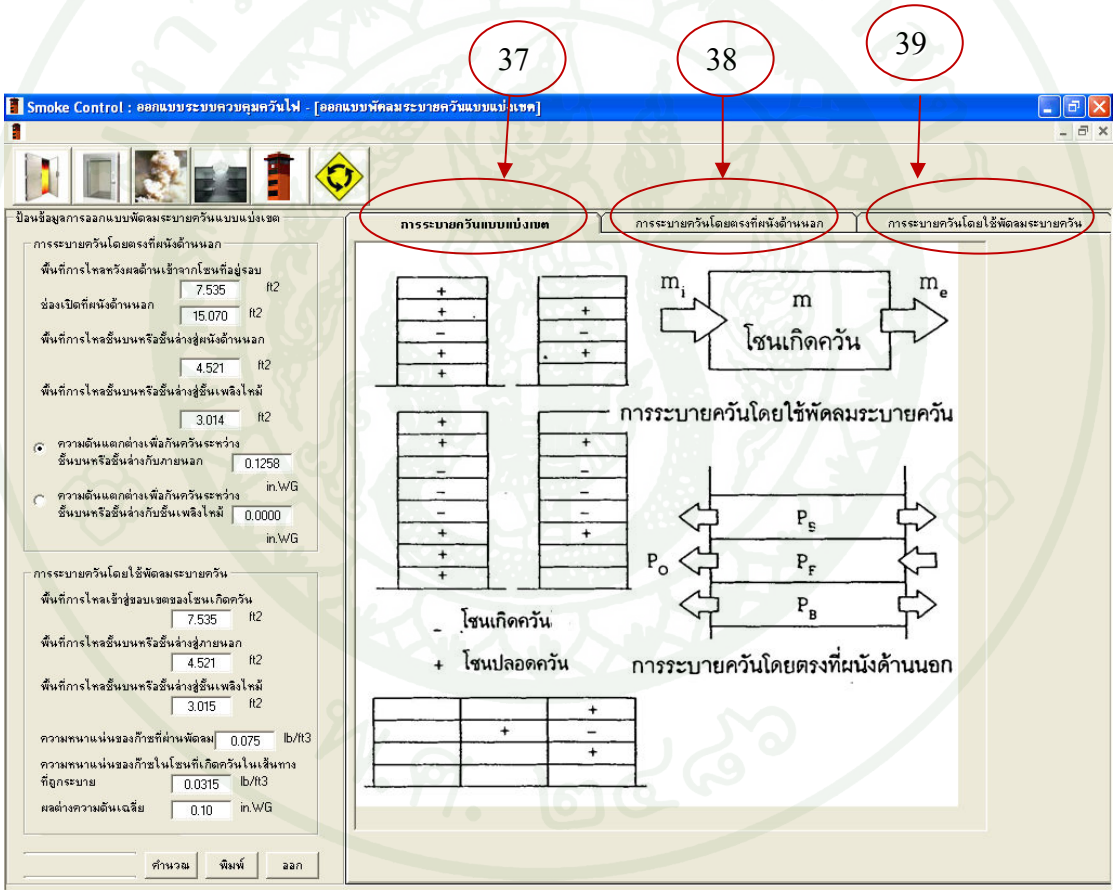
4.10 (35) ใส่ข้อมูลพื้นที่รอยรั่วระหว่างอาคารกับโถงลิฟต์

4.11 (36) เลือกข้อมูล ลักษณะปล่องลิฟต์

4.12 เมื่อใส่ข้อมูลครบหมดแล้ว กดปุ่มคำนวณ

4.13 ออกจากหน้าต่างเมื่อคำนวณเสร็จ

5 เมื่อเลือกปุ่มที่ (5) จะเข้าสู่หน้าต่างคำนวณพัดลมระบายควันแบบแบ่งเขต



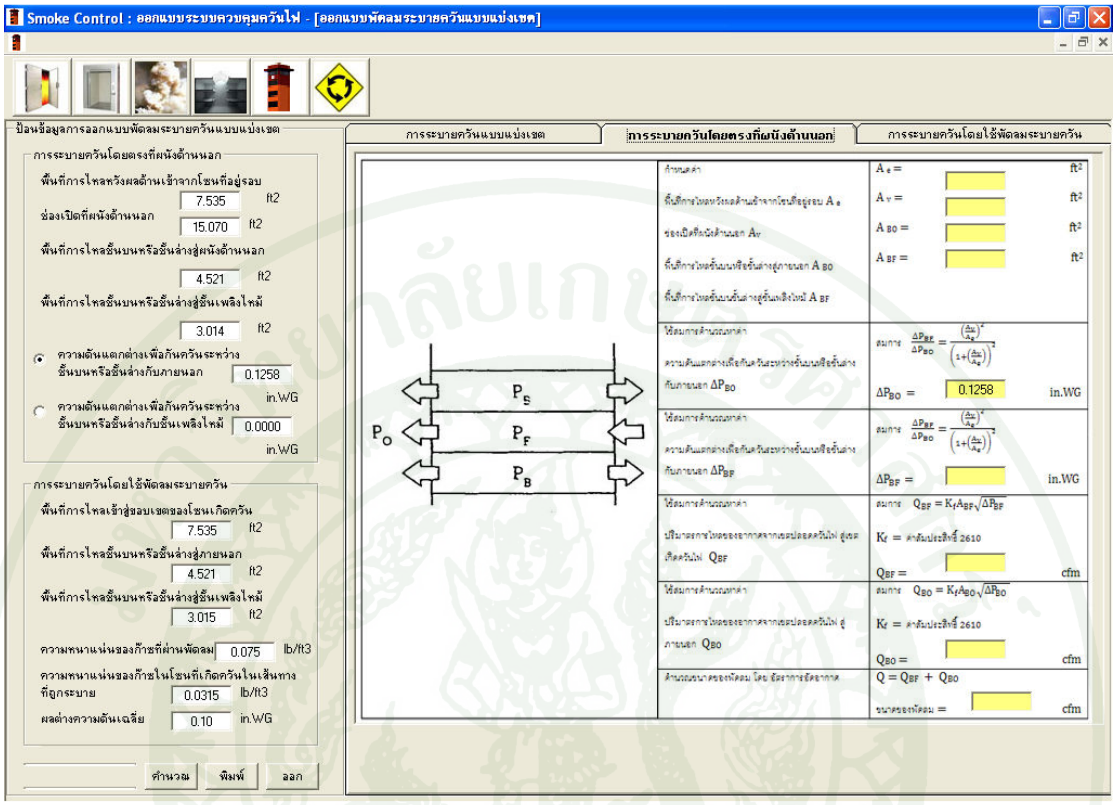
ภาพผนวกที่ ก11 แสดงหน้าต่างการออกแบบออกแบบพัดลมระบายควันแบบแบ่งเขต

5.1 (37) ส่วนที่เป็นรูปภาพประกอบ

5.2 (38) กรณีการระบายควันโดยตรงที่ผนังด้านนอก

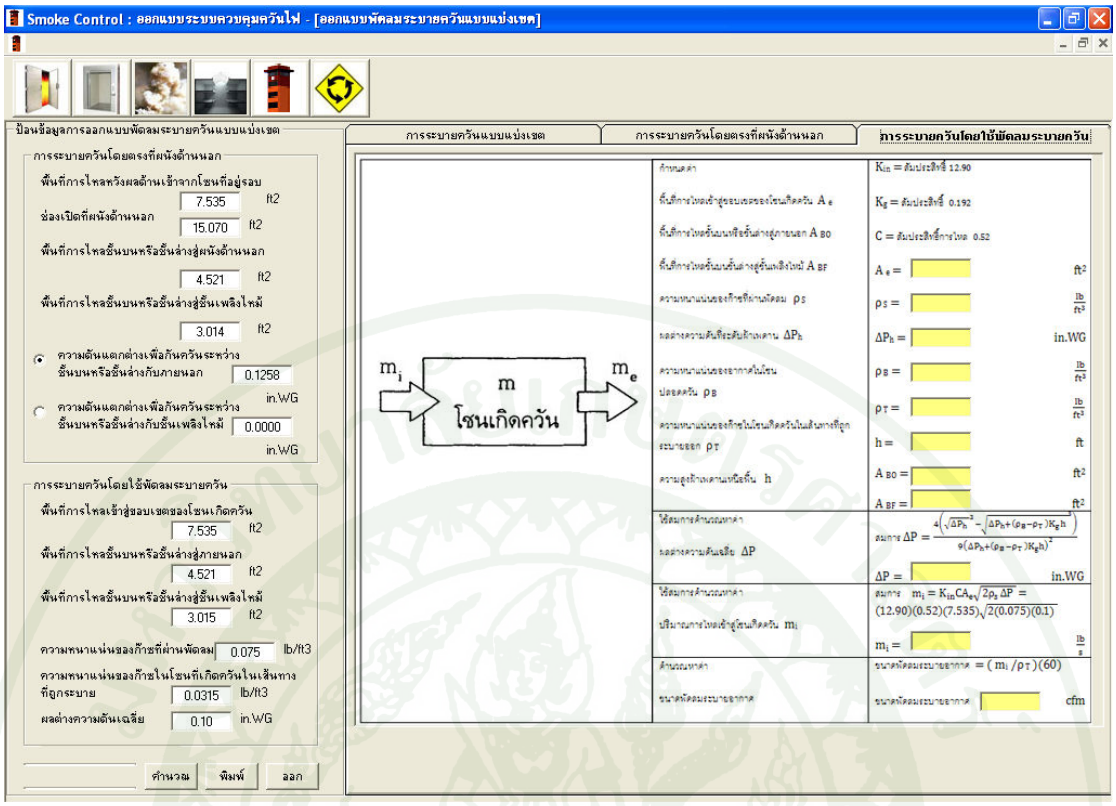
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3 (39) กรณีการระบายควันโดยใช้พัดลมระบายควัน



ภาพผนวกที่ ก12 แสดงหน้าต่างการออกแบบออกแบบพัดลมระบายควันแบบแบ่งเขตในกรณีการระบายควันโดยตรงที่ผนังด้านนอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



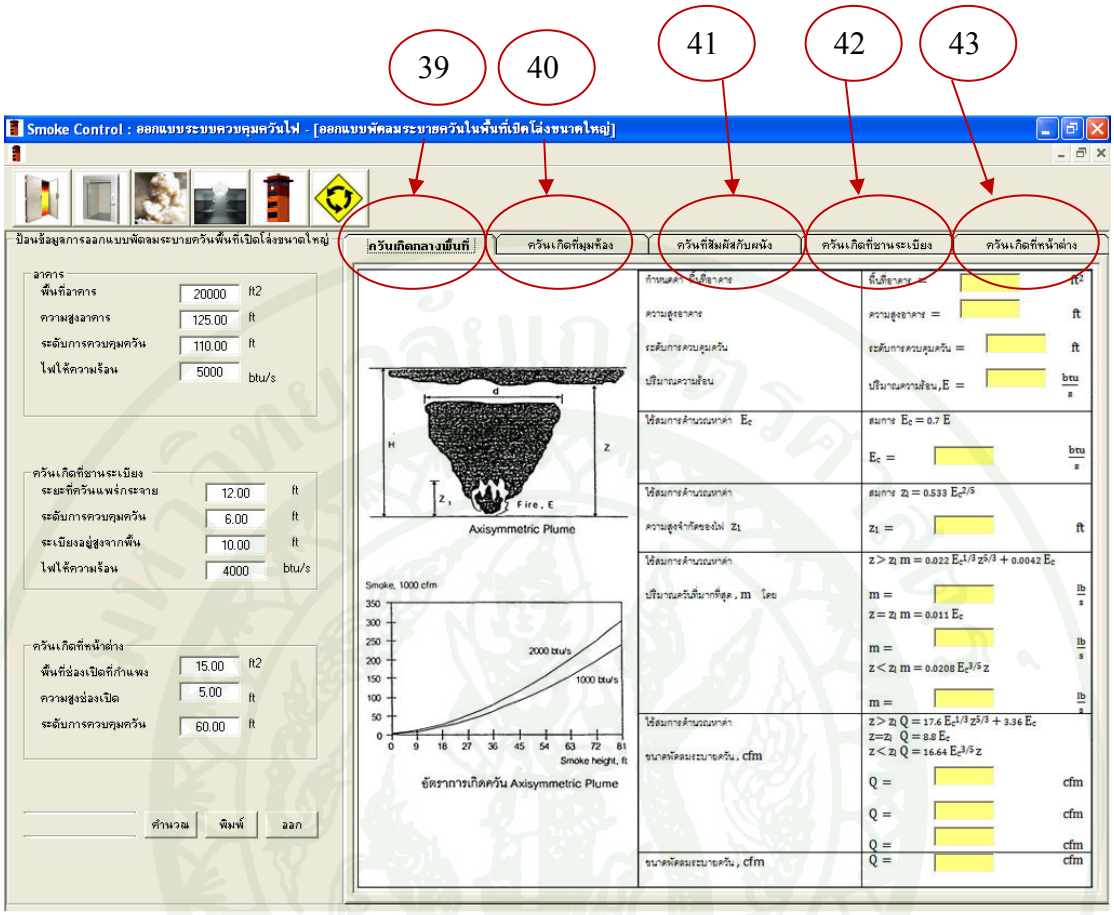
ภาพผนวกที่ ก13 แสดงหน้าต่างการออกแบบออกแบบพัดลมระบายควันแบบแบ่งเขตในกรณีการใช้พัดลมระบายควัน

5.4 เมื่อใส่ข้อมูลครบหมดแล้ว กดปุ่มคำนวณ

5.5 ออกจากหน้าต่างเมื่อคำนวณเสร็จ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6 เมื่อเลือกปุ่มที่ (6) จะเข้าสู่หน้าต่างคำนวณพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่



ภาพผนวกที่ ก14 แสดงหน้าต่างออกแบบพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่

6.1 (39) กรณีควันเกิดกลางพื้นที่

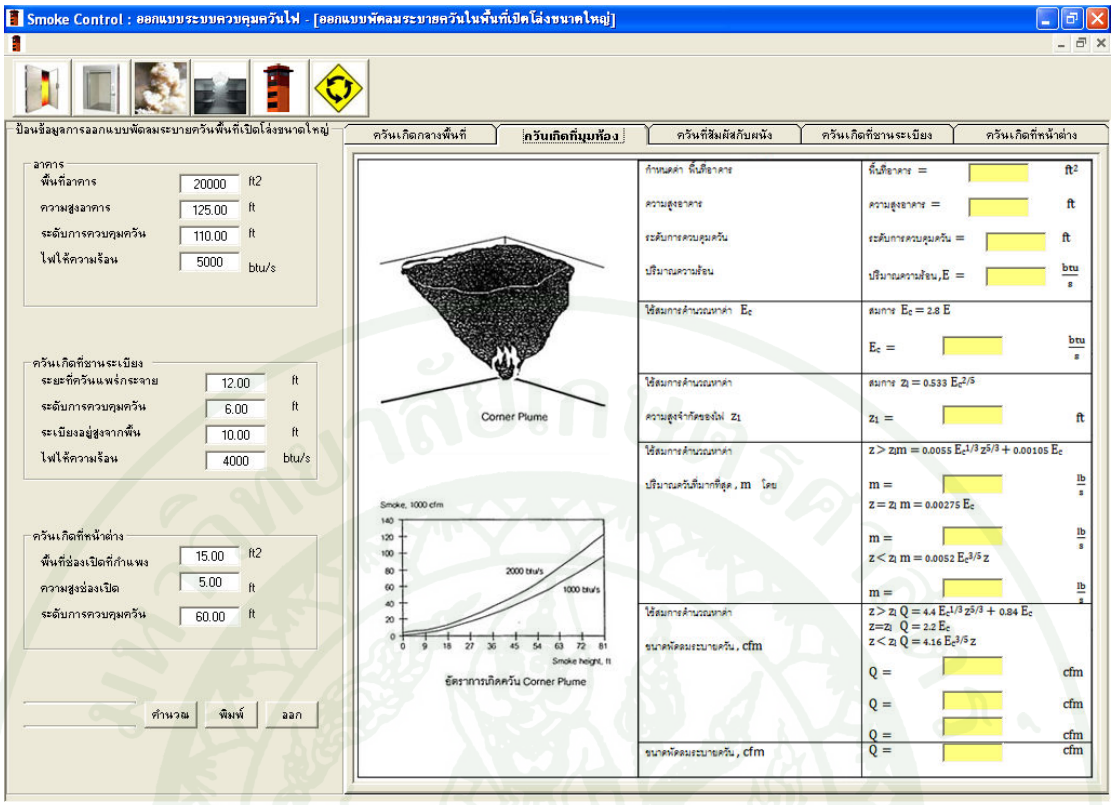
6.2 (40) กรณีควันเกิดมุมห้อง

6.3 (41) กรณีควันเกิดสัมผัสผนัง

6.4 (42) กรณีควันเกิดที่ชานระเบียง

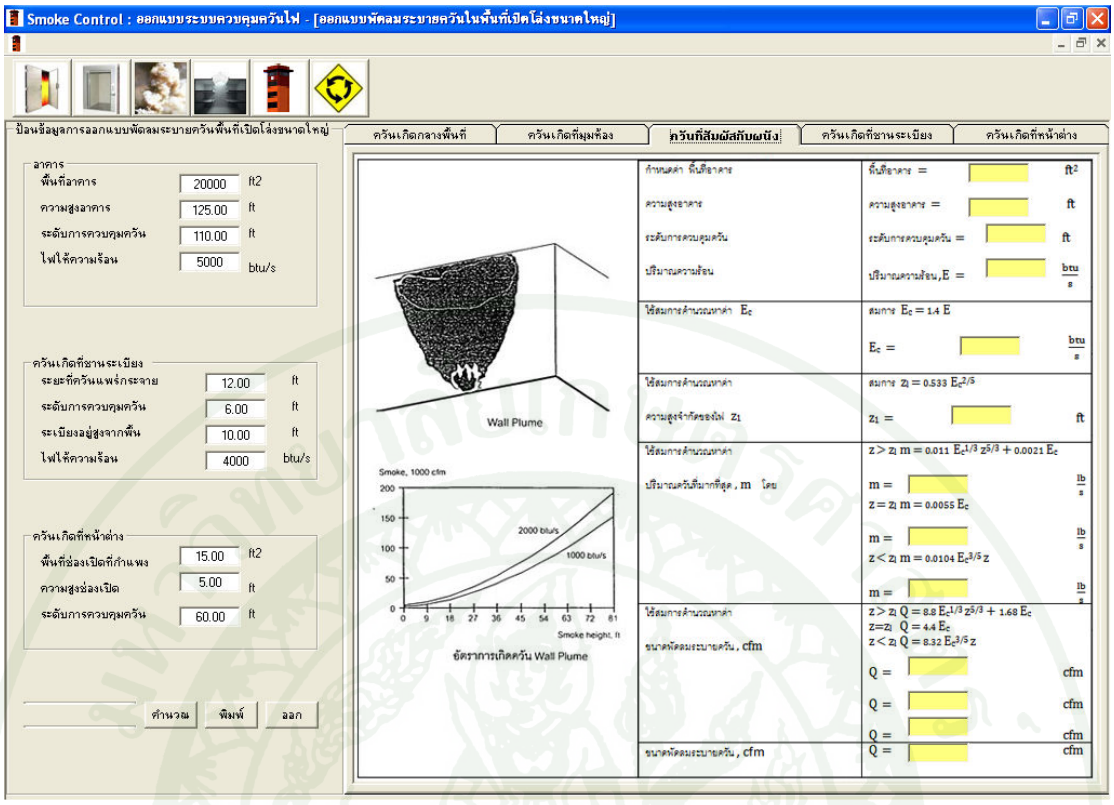
6.5 (43) กรณีควันเกิดที่หน้าต่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



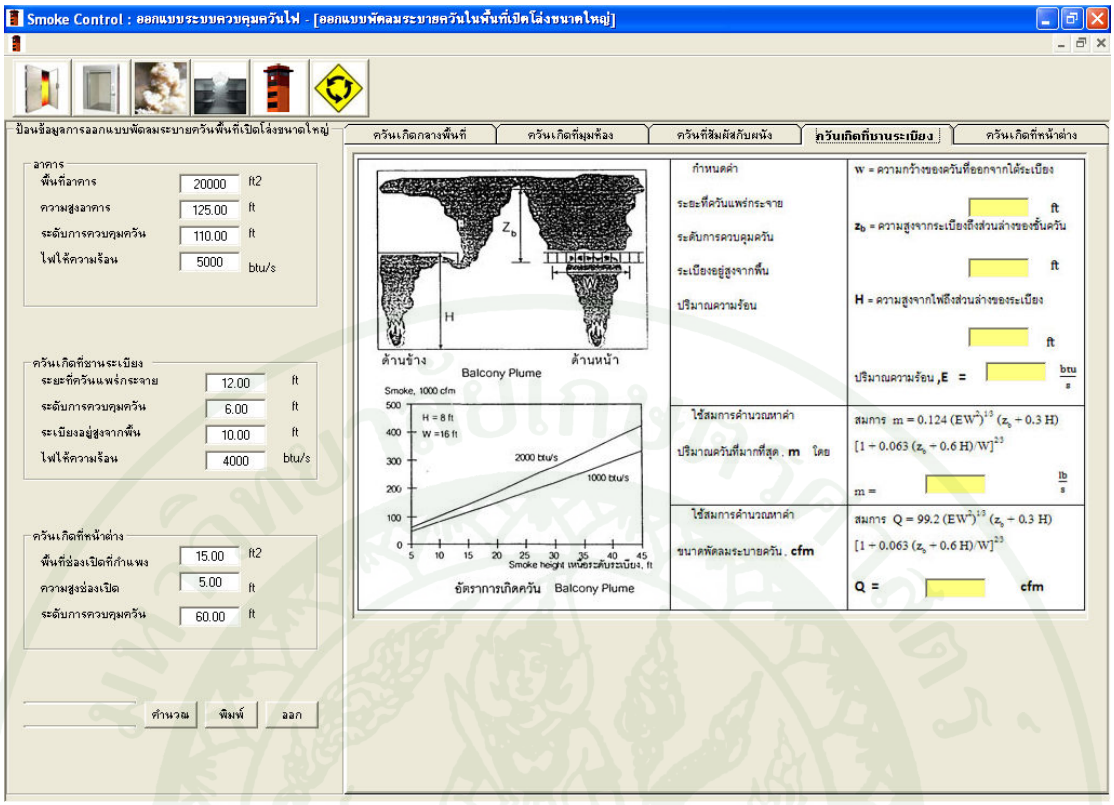
ภาพผนวกที่ ก15 แสดง กรณีควันเกิดกลางพื้นที่และผลการคำนวณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



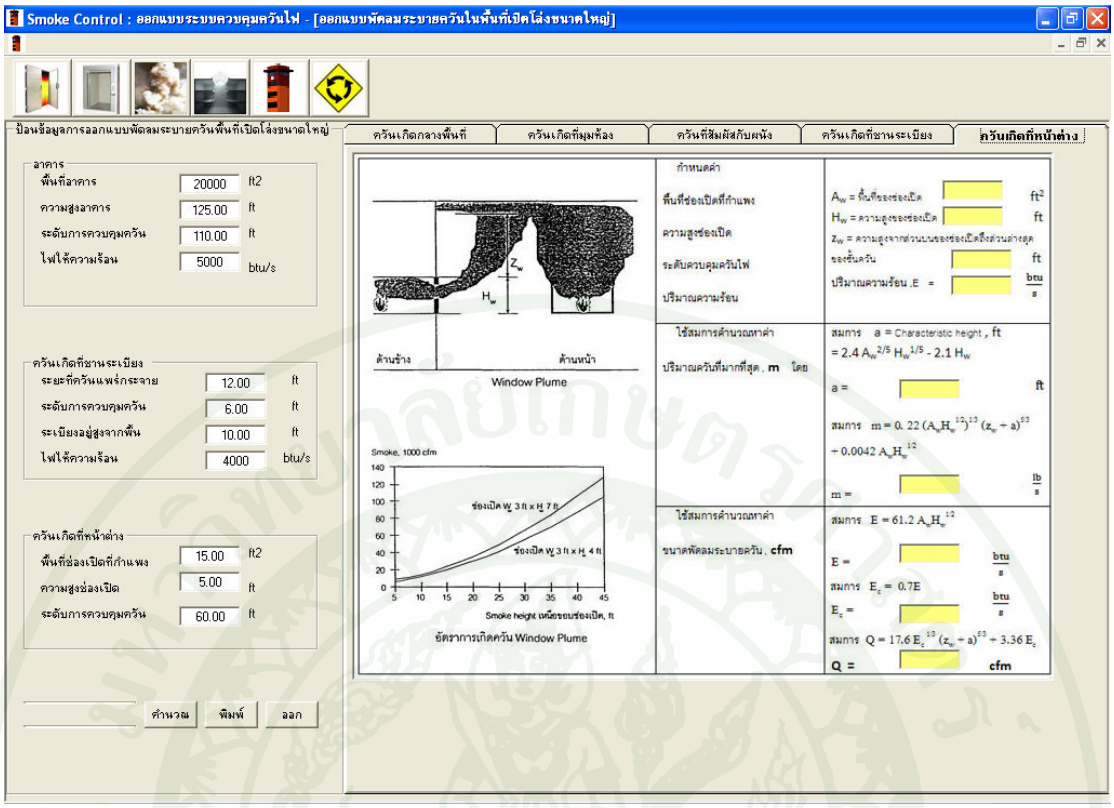
ภาพผนวกที่ ก16 แสดง กรณีควันเกิดสัมผัสกับผนังและผลการคำนวณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ก17 แสดง กรณีควันเกิดที่ชานระเบียงและผลการคำนวณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



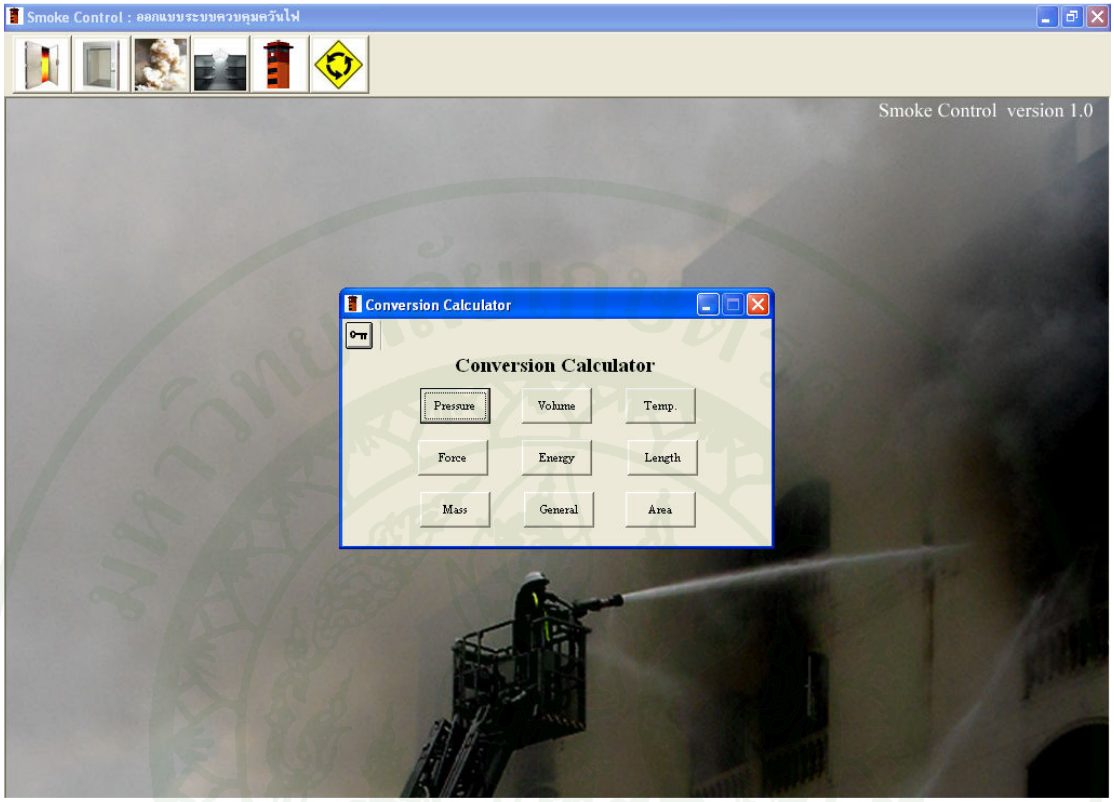
ภาพผนวกที่ ก18 แสดง กรณีควันเกิดที่หน้าต่างและผลการคำนวณ

6.6 เมื่อใส่ข้อมูลครบหมดแล้ว กดปุ่มคำนวณ

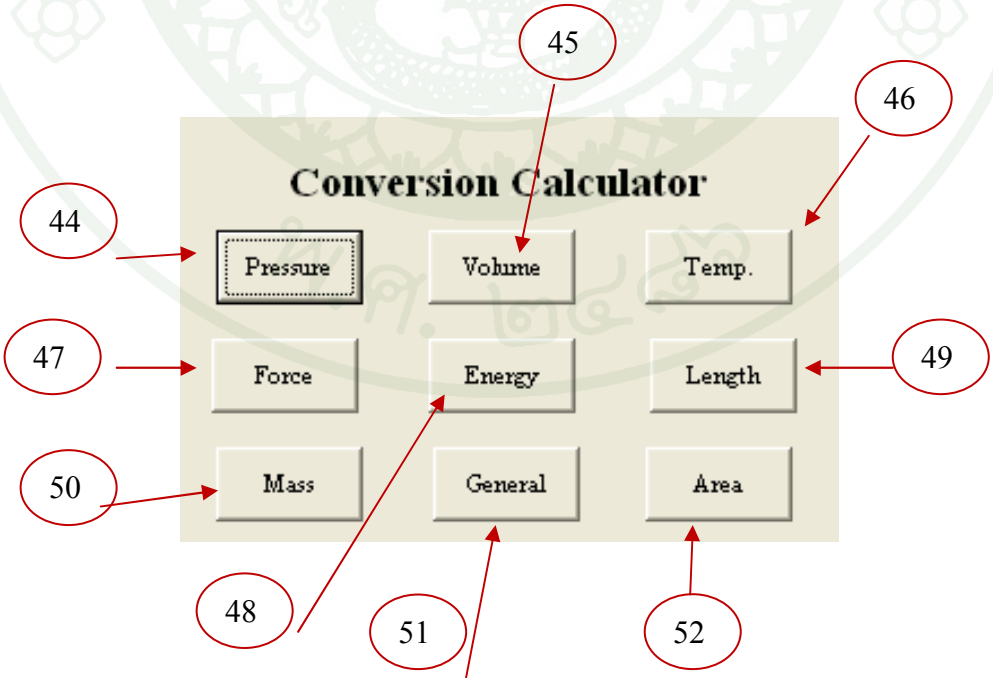
6.7 ออกจากหน้าต่างเมื่อคำนวณเสร็จ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7 เมื่อเลือกปุ่มที่ (8) จะเข้าสู่หน้าต่างการแปลงหน่วย



ภาพผนวกที่ ก19 แสดงหน้าต่างแปลงหน่วย



ภาพผนวกที่ ก20 แสดงปุ่มแปลงหน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.1 (44) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของความดัน

7.2 (45) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของปริมาตร

7.3 (46) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของอุณหภูมิ

7.4 (47) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของแรง

7.5 (48) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของพลังงาน

7.6 (49) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของระยะทาง

7.7 (50) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของมวล

7.8 (51) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของอื่น ๆ

7.9 (52) เมื่อต้องการแปลงหน่วยของพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศและระบายควัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศและระบายควัน

ตารางผนวกที่ ข1 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในบันไดหนีไฟ

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า จำนวนชั้น ความสูงแต่ละชั้น จำนวนชั้นที่ประตูหนีไฟเปิด	จำนวนชั้น = 25 ชั้น ความสูงแต่ละชั้น = 12 ft จำนวนชั้นที่ประตูหนีไฟเปิด = 10 ชั้น
2	กำหนดผลต่างความดัน บันไดกับอาคาร -ที่ ต่ำสุดที่ต้องการ ΔP_{min} -ที่ สูงสุดที่ต้องการ ΔP_{max}	ΔP_{min} = 0.15 in.WG ΔP_{max} = 0.40 in.WG
3	กำหนดค่า - อุณหภูมิภายในอาคาร T_S - อุณหภูมิภายนอกอาคาร T_O	T_S = 536 ^{O}R T_O = 555 ^{O}R
4	กำหนดพื้นที่ การไหลของอากาศระหว่างบันไดกับอาคาร - ขณะประตูปิด A_{SB} - ขณะประตูปิด A_{SB} กำหนดพื้นที่ การไหลของอากาศระหว่างอาคารกับภายนอก A_{BO}	A_{SB} = 0.30 $\frac{ft^2}{ชั้น}$ A_{SB} = 10 $\frac{ft^2}{ชั้น}$ A_{BO} = 1.25 $\frac{ft^2}{ชั้น}$
5	ใช้สมการคำนวณหาค่า ตัวประกอบอุณหภูมิ b	สมการ $b = 7.64\left(\frac{1}{T_O} - \frac{1}{T_S}\right)$ b = -0.00048796 $\frac{in.WG}{ft}$
6	ใช้สมการคำนวณหาค่า ความสูงจำกัดของระบบอัดอากาศ H_M	สมการ $H_M = K_M\left(\frac{\Delta P_{max} - \Delta P_{min}}{\frac{1}{T_O} - \frac{1}{T_S}}\right)$ ค่า $K_M = 0.131$, H_M = 512.76 ft
7	ใช้สมการคำนวณหาค่า พื้นที่การไหลหวังผลระหว่าง บันได กับ ภายนอก A_{SOe} - ขณะประตูปิด - ขณะประตูเปิด	สมการ $A_{SOe} = \frac{A_{SB} \times A_{SO}}{\sqrt{A_{SB}^2 + A_{SO}^2}}$ - ขณะประตูปิด A_{SOe} = 0.29 ft^2 - ขณะประตูเปิด A_{SOe} = 1.24 ft^2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
8	ใช้สมการคำนวณหาค่า ปริมาณอากาศที่ออกทางประตู เปิดบางส่วน ΔP_{SO}	สมการ $\Delta P_{SB} = \frac{\Delta P_{SO}}{1+\left(\frac{A_{SB}}{A_{BO}}\right)^2}$ ΔP_{SO} = 0.16 in.WG
9	สร้างความสัมพันธ์ ΔP_{SOy} กับ Y	สมการ $\Delta P_{SOy} = \Delta P_{SOb} + bY$ ΔP_{SOb} = 0.31 in.WG
10	สร้างความสัมพันธ์ ΔP_{SBy} กับ Y	สมการ $\Delta P_{SBy} = \Delta P_{SBb} + \frac{bY}{1+\left(\frac{A_{SB}}{A_{BO}}\right)^2}$ ΔP_{SBb} = 0.29 in.WG
11	ใช้ความสัมพันธ์คำนวณค่า ผลต่างความดันบันได - ที่ จุดสูงสุด ของ Section ΔP_l (y = จำนวนชั้นที่ประตูหนีไฟเปิด) - ที่ จุดต่ำสุด ของ Section ΔP_b (y = 0)	สมการ $\Delta P_{SOy} = \Delta P_{SOb} + bY$ ΔP_l = 0.25 in.WG ΔP_b = 0.31 in.WG
12	ใช้สมการคำนวณหาค่า ตัวประกอบความเร็วของอากาศ G	สมการ $G = kg\left(\frac{\Delta P_l^{\frac{3}{2}} - \Delta P_b^{\frac{3}{2}}}{\Delta P_l - \Delta P_b}\right)$ kg = ค่าคงที่ 1740 G = 1,369.92 fpm
13	ใช้สมการคำนวณหาค่า ปริมาณอากาศที่ไหลออกจากประตูชั้นที่เปิด Q_l	สมการ $Q_l = GNA_e$ Q_l = 16,991.76 cfm
14	ใช้ความสัมพันธ์คำนวณค่า ผลต่างความดันบันได - ที่ จุดสูงสุด ของ Section ΔP_l (y = ความสูงทั้งหมด) - ที่ จุดต่ำสุด ของ Section ΔP_b (y = จำนวนชั้นที่ประตูหนีไฟเปิด)	สมการ $\Delta P_{SBy} = \Delta P_{SBb} + \frac{bY}{1+\left(\frac{A_{SB}}{A_{BO}}\right)^2}$ ΔP_l = 0.15 in.WG ΔP_b = 0.23 in.WG
15	ใช้สมการคำนวณหาค่า ตัวประกอบความเร็วของอากาศ G	สมการ $G = kg\left(\frac{\Delta P_l^{\frac{3}{2}} - \Delta P_b^{\frac{3}{2}}}{\Delta P_l - \Delta P_b}\right)$ kg = ค่าคงที่ 1740 G = 1,139.97 fpm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
16	ใช้สมการคำนวณหาค่า ปริมาณอากาศที่ไหลออกจากประตูชั้นที่เปิด Q_2	สมการ $Q_1 = GNA_e$ Q_1 = 4,988.22 cfm
17	คำนวณหาค่า ผลต่างความดันภายในกับภายนอก ที่ความสูงกึ่งหนึ่งประตู	ΔP_{SOy} = 0.30 in.WG
18	ใช้สมการคำนวณหาค่า ปริมาณอากาศที่ไหลออกสู่ภายนอก Q_3	สมการ $Q_3 = 1.414\, k_o\, C\, A_{SO}\sqrt{\frac{\Delta P_{SO}}{\rho}}$ k_o = ค่าคงที่ 776 C = ค่าคงที่ 0.65 ρ = ความหนาแน่นของอากาศ 0.075 $\frac{lb}{ft^3}$ Q_3 = 14,314.31 cfm
19	คำนวณขนาดพัดลม	ขนาดพัดลม = $Q_1 + Q_2 + Q_3$ = 36,294.3 cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในปล่องลิฟต์

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า พื้นที่หน้าตัดของปล่องลิฟต์ A_S พื้นที่รอยรั่วระหว่างอาคารกับภายนอก A_{iO} พื้นที่อาคารรอบตัวลิฟต์ A_a พื้นที่รอยรั่วระหว่างลิฟต์กับอาคาร A_{Si} ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลิฟต์ V	K_{pe} = สัมประสิทธิ์ 1.66×10^{-6} A_S = 121 ft^2 A_e = 1.26 ft^2 A_{iO} = 2.26 ft^2 V = 500 fpm A_a = 80 ft^2 A_{Si} = 1.52 ft^2 C_c = 0.94 สำหรับปล่องลิฟต์หลายตัว C_c = 0.83 สำหรับปล่องลิฟต์ตัวเดียว ρ = ความหนาแน่นอากาศ 0.075 $\frac{lb}{ft^3}$
2	ใช้สมการคำนวณหาค่า พื้นที่การไหลหวังผลระหว่างปล่องลิฟต์กับภายนอก A_e	สมการ $A_e = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_{Si}^2}+\frac{1}{A_{iO}^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(1.52)^2}+\frac{1}{(2.26)^2}}}$ A_e = 1.26 ft^2
3	ใช้สมการคำนวณหาค่า ความดันวิกฤติของการเกิด Piston Effect ΔP_{cni}	สมการ $\Delta P_{cni} = 0.5\ \rho\ K_{pe} \left(\frac{A_S\ A_e V}{A_a\ A_{Si} C_c}\right)^2$ $= 0.5\ (0.075)\ (1.66 \times 10^{-6}) \left(\frac{121 \times 1.26 \times 500}{80 \times 1.52 \times 0.94}\right)^2$ ΔP_{cni} = 0.028 in.WG ขนาดพัดลมต้องทำความดันมากกว่า ΔP_{cni}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมอัดอากาศในโถงลิฟต์ดับเพลิง

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า พื้นที่หน้าตัดของปล่องลิฟต์ A_S พื้นที่รอยรั่วระหว่างอาคารกับภายนอก A_{iO} พื้นที่อาคารรอบตัวลิฟต์ A_a พื้นที่รอยรั่วระหว่างปล่องลิฟต์กับโถงลิฟต์ A_{SR} พื้นที่รอยรั่วระหว่างอาคารกับโถงลิฟต์ A_{ir} ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลิฟต์ V	K_{pe} = สัมประสิทธิ์ 1.66×10^{-6} A_S = 121 ft^2 A_e = 0.32 ft^2 A_{iO} = 0.54 ft^2 V = 500 fpm A_a = 80 ft^2 A_{SR} = 1.60 ft^2 A_{ir} = 0.42 ft^2 C_c = 0.94 สำหรับปล่องลิฟต์หลายตัว C_c = 0.83 สำหรับปล่องลิฟต์ตัวเดียว ρ = ความหนาแน่นอากาศ 0.075 $\frac{lb}{ft^3}$
2	ใช้สมการคำนวณหาค่า พื้นที่การไหลหวังผลระหว่างปล่องลิฟต์กับภายนอก A_e	สมการ $A_e = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_{SR}{}^2}+\frac{1}{A_{Si}{}^2}+\frac{1}{A_{iO}{}^2}}}$ $= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{1.60^2}+\frac{1}{1.52^2}+\frac{1}{0.54^2}}}$ A_e = 0.32 ft^2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
3	ใช้สมการคำนวณหาค่า ความดันวิกฤติของการเกิด Piston Effect ΔP_{cni}	สมการ $\Delta P_{cni} = 0.5\ \rho\ K_{pe}\ (\frac{A_S\ A_e V}{A_a\ A_{ir} C_c})^2$ $= 0.5\ (0.075)\ (1.66 \times 10^{-6})\ (\frac{121 \times 0.32 \times 500}{80 \times 0.42 \times 0.94})^2$ $\Delta P_{cni} =$ 0.024 in.WG ขนาดพัดลมต้องทำความดันมากกว่า ΔP_{cni}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันโดยตรงที่ผนังด้านนอก

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า พื้นที่การไหลหวังผลด้านเข้าจากโซนที่อยู่รอบ A_e ช่องเปิดที่ผนังด้านนอก A_v พื้นที่การไหลชั้นบนหรือชั้นล่างสู่ภายนอก A_{BO} พื้นที่การไหลชั้นบนชั้นล่างสู่ชั้นเพลิงไหม้ A_{BF}	A_e = 7.535 ft^2 A_v = 15.07 ft^2 A_{BO} = 4.521 ft^2 A_{BF} = 3.014 ft^2
3	ใช้สมการคำนวณหาค่าความดันแตกต่างเพื่อกันควันระหว่างชั้นบนหรือชั้นล่างกับภายนอก ΔP_{BO}	สมการ $\frac{\Delta P_{BF}}{\Delta P_{BO}} = \frac{\left(\frac{A_v}{A_e}\right)^2}{\left(1+\left(\frac{A_v}{A_e}\right)^2\right)}$, $\frac{0.1004}{\Delta P_{BO}} = \frac{\left(\frac{15.07}{7.535}\right)^2}{\left(1+\left(\frac{15.07}{7.535}\right)^2\right)}$ ΔP_{BO} = 0.1258 in.WG
4	ใช้สมการคำนวณหาค่าความดันแตกต่างเพื่อกันควันระหว่างชั้นบนหรือชั้นล่างกับภายนอก ΔP_{BF}	สมการ $\frac{\Delta P_{BF}}{\Delta P_{BO}} = \frac{\left(\frac{A_v}{A_e}\right)^2}{\left(1+\left(\frac{A_v}{A_e}\right)^2\right)}$ ΔP_{BF} = 0.1004 in.WG
5	ใช้สมการคำนวณหาค่าปริมาตรการไหลของอากาศจากเขตปลอดควันไฟ สู่เขตเกิดควันไฟ Q_{BF}	สมการ $Q_{BF} = K_f A_{BF}\sqrt{\Delta P_{BF}}$ $Q_{BF} = (2610)(3.014)\sqrt{0.1004}$ K_f = ค่าสัมประสิทธิ์ 2610 Q_{BF} = 2,495.57 cfm
6	ใช้สมการคำนวณหาค่าปริมาตรการไหลของอากาศจากเขตปลอดควันไฟ สู่ภายนอก Q_{BO}	สมการ $Q_{BO} = K_f A_{BO}\sqrt{\Delta P_{BO}}$ $Q_{BO} = (2610)(4.521)\sqrt{0.13}$ K_f = ค่าสัมประสิทธิ์ 2610 Q_{BO} = 4,185.19 cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
7	คำนวณขนาดของพัดลม โดย อัตราการอัดอากาศ	$Q = Q_{BF} + Q_{BO}$ ขนาดของพัดลม = 6,681 cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันโดยใช้พัดลมระบายควัน

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า พื้นที่การไหลเข้าสู่ขอบเขตของโซนเกิดควัน A_e พื้นที่การไหลชั้นบนหรือชั้นล่างสู่ภายนอก A_{BO} พื้นที่การไหลชั้นบนชั้นล่างสู่ชั้นเพลิงไหม้ A_{BF} ความหนาแน่นของก๊าซที่ผ่านพัดลม ρ_S ผลต่างความดันที่ระดับฝ้าเพดาน ΔP_h ความหนาแน่นของอากาศในโซนปลอดควัน ρ_B ความหนาแน่นของก๊าซในโซนเกิดควันในเส้นทางที่ถูกระบายออก ρ_T ความสูงฝ้าเพดานเหนือพื้น h	K_{in} = สัมประสิทธิ์ 12.90 K_g = สัมประสิทธิ์ 0.192 C = สัมประสิทธิ์การไหล 0.52 A_e = 7.535 ft^2 ρ_S = 0.075 $\frac{lb}{ft^3}$ ΔP_h = - in.WG ρ_B = - $\frac{lb}{ft^3}$ ρ_T = 0.0315 $\frac{lb}{ft^3}$ h = - ft A_{BO} = 4.521 ft^2 A_{BF} = 3.014 ft^2
2	ใช้สมการคำนวณหาค่าผลต่างความดันเฉลี่ย ΔP	สมการ $\Delta P = \frac{4\left(\sqrt{\Delta P_h}^3 - \sqrt{\Delta P_h + (\rho_B - \rho_T)K_g h}^3\right)}{9\left(\Delta P_h + (\rho_B - \rho_T)K_g h\right)^2}$ ΔP = 0.1 in.WG
3	ใช้สมการคำนวณหาค่าปริมาณการไหลเข้าสู่โซนเกิดควัน m_i	สมการ $m_i = K_{in} C A_e \sqrt{2\rho_s \Delta P} = (12.90)(0.52)(7.535)\sqrt{2(0.075)(0.1)}$ m_i = 6.19 $\frac{lb}{s}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
4	คำนวณหาค่า ขนาดพัดลมระบายอากาศ	ขนาดพัดลมระบายอากาศ $= (m_i / \rho_T)(60)$ ขนาดพัดลมระบายอากาศ 11,791 cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข6 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงกลางพื้นที่

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า พื้นที่อาคาร ความสูงอาคาร ระดับการควบคุมควัน ปริมาณความร้อน	พื้นที่อาคาร = 20,000 ft^2 ความสูงอาคาร = 125 ft ระดับการควบคุมควัน = 110 ft ปริมาณความร้อน ,E = 5,000 $\frac{btu}{s}$
2	ใช้สมการคำนวณหาค่า E_c	สมการ $E_c = 0.7\ E = (0.7)(5000)$ E_c = 3,500 $\frac{btu}{s}$
3	ใช้สมการคำนวณหาค่า ความสูงจำกัดของไฟ z_1	สมการ $z_1 = 0.533\ E_c^{2/5}$ $z_1 = (0.533)\ (3500)^{2/5} = 13.94$ ft
4	ใช้สมการคำนวณหาค่า ปริมาณควันที่มากที่สุด , m โดย	$z > z_1$ $m = 0.022\ E_c^{1/3}\ z^{5/3} + 0.0042\ E_c$ $m = 0.022\ (3500)^{1/3}\ (110)^{5/3} + 0.0042(3500)$ $= 858.23$ $\frac{lb}{s}$ $z = z_1$ $m = 0.011\ E_c$ $m = (0.011)(3500) = 38.50$ $\frac{lb}{s}$ $z < z_1$ $m = 0.0208\ E_c^{3/5}\ z$ $m = (0.0208)\ (3500)^{3/5}\ (110) = 306.12$ $\frac{lb}{s}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
5	ใช้สมการคำนวณหาค่าขนาดพัดลมระบายควัน , cfm	$z > z_1$ $Q = 17.6\ E_c^{1/3}\ z^{5/3} + 3.36\ E_c$ $z = z_1$ $Q = 8.8\ E_c$ $z < z_1$ $Q = 16.64\ E_c^{3/5}\ z$ $Q = 17.6\ (3500)^{1/3}\ (110)^{5/3} + 3.36\ (3500)$ $= 68,700$ cfm $Q = 8.8\ (3500) = 30,800$ cfm $Q = 16.64\ (3500)^{3/5}\ (110) = 244,899$ cfm
6	ขนาดพัดลมระบายควัน , cfm	$Q = 244,899$ cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงมุมพื้นที่

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า พื้นที่อาคาร ความสูงอาคาร ระดับการควบคุมควัน ปริมาณความร้อน	พื้นที่อาคาร = 20,000 ft^2 ความสูงอาคาร = 125 ft ระดับการควบคุมควัน = 110 ft ปริมาณความร้อน ,E = 5,000 $\frac{btu}{s}$
2	ใช้สมการคำนวณหาค่า E_c	สมการ $E_c = 2.8\ E = (2.8)(5000)$ E_c = 14,000 $\frac{btu}{s}$
3	ใช้สมการคำนวณหาค่า ความสูงจำกัดของไฟ z_1	สมการ $z_1 = 0.533\ E_c^{2/5}$ $z_1 = (0.533)\ (14000)^{2/5} = 24.28$ ft
4	ใช้สมการคำนวณหาค่า ปริมาณควันที่มากที่สุด , m โดย	$z > z_1 m = 0.0055\ E_c^{1/3}\ z^{5/3} + 0.00105\ E_c$ $m = 0.055\ (14000)^{1/3}\ (110)^{5/3} +$ $0.00105(14000)$ $= 546.09$ $\frac{lb}{s}$ $z = z_1\ m = 0.0055\ E_c$ $m = (0.055)(7000) = 38.50$ $\frac{lb}{s}$ $z < z_1\ m = 0.0104\ E_c^{3/5}\ z$ $m = (0.0104)\ (7000)^{3/5}\ (110) = 175.82$ $\frac{lb}{s}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
5	ใช้สมการคำนวณหาค่า ขนาดพัดลมระบายควัน , cfm	$z > z_1$ $Q = 4.4\ E_c^{1/3}\ z^{5/3} + 0.84\ E_c$ $z = z_1$ $Q = 2.2\ E_c$ $z < z_1$ $Q = 4.16\ E_c^{3/5}\ z$ $Q = 4.4\ (14000)^{1/3}\ (110)^{5/3} + 0.84\ (7000)$ $= 279{,}564$ cfm $Q = 2.2\ (14000) = 30{,}800$ cfm $Q = 4.16\ (14000)^{3/5}\ (110) = 140{,}657$ cfm
6	ขนาดพัดลมระบายควัน , cfm	$Q = 279{,}564$ cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข8 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงผนัง

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า พื้นที่อาคาร ความสูงอาคาร ระดับการควบคุมควัน ปริมาณความร้อน	พื้นที่อาคาร = 20,000 ft^2 ความสูงอาคาร = 125 ft ระดับการควบคุมควัน = 110 ft ปริมาณความร้อน ,E = 5,000 $\frac{btu}{s}$
2	ใช้สมการคำนวณหาค่า E_c	สมการ $E_c = 1.4\ E = (1.4)(5000)$ E_c = 7,000 $\frac{btu}{s}$
3	ใช้สมการคำนวณหาค่า ความสูงจำกัดของไฟ z_1	สมการ $z_1 = 0.533\ E_c^{2/5}$ $z_1 = (0.533)\ (7000)^{2/5} = 18.4$ ft
4	ใช้สมการคำนวณหาค่า ปริมาณควันที่มากที่สุด , m โดย	$z > z_1$ m $= 0.011\ E_c^{1/3}\ z^{5/3} + 0.0021\ E_c$ $m = 0.011\ (7000)^{1/3}\ (110)^{5/3} + 0.0021(7000)$ $= 546.09$ $\frac{lb}{s}$ $z = z_1$ m $= 0.0055\ E_c$ $m = (0.055)(7000) = 38.50$ $\frac{lb}{s}$ $z < z_1$ m $= 0.0104\ E_c^{3/5}\ z$ $m = (0.0104)\ (7000)^{3/5}\ (110) = 232$ $\frac{lb}{s}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
5	ใช้สมการคำนวณหาค่า ขนาดพัดลมระบายควัน , cfm	$z > z_1$ $Q = 8.8\ E_c^{1/3}\ z^{5/3} + 1.68\ E_c$ $z = z_1$ $Q = 4.4\ E_c$ $z < z_1$ $Q = 8.32\ E_c^{3/5}\ z$ $Q = 8.8\ (7000)^{1/3}\ (110)^{5/3} + 1.68\ (7000)$ $= 436{,}872$ cfm $Q = 4.4\ (7000) = 30{,}800$ cfm $Q = 8.32\ (7000)^{3/5}\ (110) = 185{,}599$ cfm
6	ขนาดพัดลมระบายควัน , cfm	$Q = 436{,}872$ cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข9 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงระเบียง

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า ระยะที่ควันแพร่กระจาย ระดับการควบคุมควัน ระเบียงอยู่สูงจากพื้น ปริมาณความร้อน	W = ความกว้างของควันที่ออกจากใต้ระเบียง 12 ft z_b = ความสูงจากระเบียงถึงส่วนล่างของชั้นควัน 6 ft H = ความสูงจากไฟถึงส่วนล่างของระเบียง 10 ft ปริมาณความร้อน , E = 40 $\frac{btu}{s}$
2	ใช้สมการคำนวณหาค่าปริมาณควันที่มากที่สุด , m โดย	สมการ $m = 0.124\,(EW^2)^{1/3}\,(z_b + 0.3\,H)\,[1 + \frac{0.063\,(zb + 0.6\,H)}{W}]^{2/3}$ $= 0.124\,(40(12)^2)^{1/3}\,(6 + 0.3\,(10))\,[1 + \frac{0.063\,(6 + 0.6\,(10))}{12}]^{2/3}$ m = 97.98 $\frac{lb}{s}$
3	ใช้สมการคำนวณหาค่าขนาดพัดลมระบายควัน , cfm	สมการ $Q = 99.2\,(EW^2)^{1/3}\,(z_b + 0.3\,H)\,[1 + \frac{0.063\,(zb + 0.6\,H)}{W}]^{2/3}$ $= 99.2\,(40(12)^2)^{1/3}\,(6 + 0.3\,(10))\,[1 + \frac{0.063\,(6 + 0.6\,(10))}{12}]^{2/3}$ Q = 78,388 cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข10 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดพัดลมระบายควันในพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่ตรงช่องเปิด

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	กำหนดค่า พื้นที่ช่องเปิดที่กำแพง ความสูงช่องเปิด ระดับควบคุมควันไฟ ปริมาณความร้อน	A_w = พื้นที่ของช่องเปิด 15 ft^2 H_w = ความสูงของช่องเปิด 5 ft z_w = ความสูงจากส่วนบนของช่องเปิดถึงส่วนล่างสุดของชั้นควัน 60 ft ปริมาณความร้อน , E = 2,053 $\frac{btu}{s}$
2	ใช้สมการคำนวณหาค่าปริมาณควันที่มากที่สุด , m โดย	สมการ a = Characteristic height , ft $= 2.4\ A_w^{2/5}\ H_w^{1/5} - 2.1\ H_w$ $= 2.4\ (15)^{2/5}\ (5)^{1/5} - 2.1\ (5)$ a = - 0.72 ft สมการ $m = 0.22\ (A_w H_w^{1/2})^{1/3}\ (z_w + a)^{5/3} + 0.0042\ A_w H_w^{1/2}$ $= 0.22\ ((15)\ (5)^{1/2})^{1/3}\ (60 + (-0.72))^{5/3} + 0.0042\ (15)\ (5)^{1/2}$ m = 229.79 $\frac{lb}{s}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการคำนวณ	ผลการคำนวณ
3	ใช้สมการคำนวณหาค่า ขนาดพัดลมระบายควัน , cfm	สมการ $E = 61.2\ A_w H_w^{1/2} = 61.2\ (15)\ (5)^{1/2}$ $E = 2053$ $\frac{btu}{s}$ สมการ $E_c = 0.7E = 0.7(2053)$ $E_c = 1437$ $\frac{btu}{s}$ สมการ $Q = 17.6\ E_c^{1/3}\ (z_w + a)^{5/3} + 3.36\ E_c$ $= 17.6\ (1437)^{1/3}\ (60 + (-0.72))^{5/3} + 3.36\ (1437)$ $Q = 183{,}832$ cfm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

โปรแกรม Smoke Control v1.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

FrmMain

```
Private Sub Toolbar1_ButtonClick(ByVal Button As MSComctlLib.Button)
   Select Case Button.Key
      Case "About"
         frm_About.Show
      Case "fire_exit"
        frm_fire_exit.Show
      Case "atrium"
        frm_atrium.Show
      Case "lift"
        frm_lift.Show
      Case "zone"
        frm_zone.Show
      Case "conversion"
        Form1.Show
   End Select
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Click()
frm_fire_exit.SetFocus
End Sub
Private Sub cmdSolve_Click()
On Error Resume Next
' Input
  With frm_fire_exit
    a1 = txtf1.Text
    a2 = txtf2.Text
    a3 = txtf3.Text
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    a4 = txtf4.Text
    a5 = txtf5.Text
    a6 = txtf6.Text
    a7 = txtf7.Text
    a8 = txtf8.Text
    a9 = txtf9.Text
    a10 = txtf10.Text
    End With
  ' Process
  txtfa1.Text = txtf1.Text
  txtfa2.Text = txtf2.Text
  txtfa28.Text = txtf3.Text
  txtfa3.Text = txtf4.Text
  txtfa4.Text = txtf5.Text
  txtfa5.Text = txtf6.Text
  txtfa6.Text = txtf7.Text
  txtfa7.Text = txtf8.Text
  txtfa8.Text = txtf9.Text
  txtfa9.Text = txtf10.Text
  txtfa10.Text = 7.64 * ((1 / txtfa6.Text) - (1 / txtfa5.Text))
  txtfa11.Text = 0.131 * (txtfa3.Text - txtfa4.Text) / ((1 / txtfa6.Text) - (1 / txtfa5.Text))
  txtfa12.Text = (txtfa7.Text * txtfa9.Text) / ((txtfa7.Text ^ 2) + (txtfa9.Text ^ 2)) ^ (1 / 2)
  txtfa13.Text = (txtfa8.Text * txtfa9.Text) / ((txtfa8.Text ^ 2) + (txtfa9.Text ^ 2)) ^ (1 / 2)
  txtfa14.Text = txtfa3.Text * (1 + ((txtfa7.Text / txtfa9.Text) ^ 2))
  txtfa15.Text = (txtfa14.Text) - (txtfa10.Text * txtfa1.Text * txtfa2.Text)
  txtfa16.Text = (txtfa3.Text) - ((txtfa10.Text * txtfa1.Text * txtfa2.Text) / (1 + ((txtfa7.Text /
txtfa9.Text) ^ 2)))
  txtfa17.Text = txtfa15.Text + (txtfa10.Text * txtfa2.Text * txtfa28.Text)
  txtfa18.Text = txtfa15.Text
  txtfa19.Text = 1740 * ((txtfa17.Text ^ (3 / 2)) - (txtfa18.Text ^ (3 / 2))) / (txtfa17.Text -
txtfa18.Text)
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  txtfa20.Text = txtfa19.Text * txtfa28.Text * txtfa13.Text
  txtfa21.Text = txtfa16.Text + ((txtfa10.Text * txtfa2.Text * txtfa1.Text) / (1 + ((txtfa7.Text /
txtfa9.Text) ^ 2)))
  txtfa22.Text = txtfa16.Text + ((txtfa10.Text * txtfa2.Text * txtfa28.Text) / (1 + ((txtfa7.Text /
txtfa9.Text) ^ 2)))
  txtfa23.Text = 1740 * ((txtfa22.Text ^ (3 / 2)) - (txtfa21.Text ^ (3 / 2))) / (txtfa22.Text -
txtfa21.Text)
  txtfa24.Text = txtfa23.Text * (txtfa1.Text - txtfa28.Text) * txtfa12.Text
  txtfa25.Text = txtfa15.Text + (txtfa10.Text * (txtfa2.Text / 2))
  txtfa26.Text = 1.414 * 776 * 0.65 * txtfa8.Text * ((txtfa25.Text / 0.075) ^ (1 / 2))
  txtfa27.Text = txtfa26.Text * 1 + txtfa24.Text * 1 + txtfa20.Text * 1
  ' Output
  With frm_fire_exit
    b10 = txtfa10.Text
    b11 = txtfa11.Text
    b12 = txtfa12.Text
    b13 = txtfa13.Text
    b14 = txtfa14.Text
    b15 = txtfa15.Text
    b16 = txtfa16.Text
    b17 = txtfa17.Text
    b18 = txtfa18.Text
    b19 = txtfa19.Text
    b20 = txtfa20.Text
    b21 = txtfa21.Text
    b22 = txtfa22.Text
    b23 = txtfa23.Text
    b24 = txtfa24.Text
    b25 = txtfa25.Text
    b26 = txtfa26.Text
    b27 = txtfa27.Text
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    End With
  txtfa10.Text = Format(b10, decSix)
  txtfa11.Text = Format(b11, decTwo)
  txtfa12.Text = Format(b12, decTwo)
  txtfa13.Text = Format(b13, decTwo)
  txtfa14.Text = Format(b14, decFour)
  txtfa15.Text = Format(b15, decFour)
  txtfa16.Text = Format(b16, decFour)
  txtfa17.Text = Format(b17, decFour)
  txtfa18.Text = Format(b18, decFour)
  txtfa19.Text = Format(b19, decOne)
  txtfa20.Text = Format(b20, decFour)
  txtfa21.Text = Format(b21, decTwo)
  txtfa22.Text = Format(b22, decOne)
  txtfa23.Text = Format(b23, decOne)
  txtfa24.Text = Format(b24, decOne)
  txtfa25.Text = Format(b25, decFour)
  txtfa26.Text = Format(b26, decOne)
  txtfa27.Text = Format(b27, decOne)
End Sub
Private Sub txtf1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then cmdSolve.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
With frm_fire_exit
    'Initial Value
    If a1 <= 0 Then a1 = 25
    If a2 <= 0 Then a2 = 12
    If a3 <= 0 Then a3 = 10
    If a4 <= 0 Then a4 = 0.15
    If a5 <= 0 Then a5 = 0.4
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    If a6 <= 0 Then a6 = 536
    If a7 <= 0 Then a7 = 555
    If a8 <= 0 Then a8 = 0.3
    If a9 <= 0 Then a9 = 10
    If a10 <= 0 Then a10 = 1.25
    'Show Input Data
    txtf1.Text = Format(a1)
    txtf2.Text = Format(a2, decTwo)
    txtf3.Text = Format(a3)
    txtf4.Text = Format(a4, decTwo)
    txtf5.Text = Format(a5, decTwo)
    txtf6.Text = Format(a6, decTwo)
    txtf7.Text = Format(a7, decTwo)
    txtf8.Text = Format(a8, decTwo)
    txtf9.Text = Format(a9, decTwo)
    txtf10.Text = Format(a10, decTwo)
   End With
ClearResult
End Sub
  Sub ClearResult()
  End Sub
  Private Sub txtf1_Click()
  txtf1.SelStart = 0
  txtf1.SelLength = Len(txtf1.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtf2_Click()
  txtf2.SelStart = 0
  txtf2.SelLength = Len(txtf2.Text)
  ClearResult
End Sub
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
Private Sub txtf3_Click()
  txtf3.SelStart = 0
  txtf3.SelLength = Len(txtf3.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtf4_Click()
  txtf4.SelStart = 0
  txtf4.SelLength = Len(txtf4.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtf5_Click()
  txtf5.SelStart = 0
  txtf5.SelLength = Len(txtf5.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtf6_Click()
  txtf6.SelStart = 0
  txtf6.SelLength = Len(txtf6.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtf7_Click()
  txtf7.SelStart = 0
  txtf7.SelLength = Len(txtf7.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtf8_Click()
  txtf8.SelStart = 0
  txtf8.SelLength = Len(txtf8.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtf9_Click()
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  txtf9.SelStart = 0
  txtf9.SelLength = Len(txtf9.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtf10_Click()
  txtf10.SelStart = 0
  txtf10.SelLength = Len(txtf10.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Click()
frm_atrium.SetFocus
End Sub
Private Sub cmdSolve_Click()
On Error Resume Next
' Input
  With frm_atrium
    a1 = txta1.Text
    a2 = txta2.Text
    a3 = txta3.Text
    a4 = txta4.Text
    a5 = txta5.Text
    a6 = txta6.Text
    a7 = txta7.Text
    a8 = txta8.Text
    a9 = txta9.Text
    a10 = txta10.Text
    a11 = txta11.Text
    End With
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
' Process
txtaa1.Text = txta1.Text
txtaa2.Text = txta2.Text
txtaa3.Text = txta3.Text
txtaa4.Text = txta4.Text
txtaa5.Text = 0.7 * txta4.Text
txtaa6.Text = (txtaa5.Text ^ (2 / 5)) * 0.533
txtaa7.Text = (0.022) * (txtaa5.Text ^ (1 / 3)) * (txta3.Text ^ (5 / 3)) + (0.0042 * txtaa5.Text)
txtaa8.Text = 0.011 * txtaa5.Text
txtaa44.Text = (0.0208 * (txtaa5.Text ^ (3 / 5))) * txta3.Text

txtaa9.Text = txta1.Text
txtaa10.Text = txta2.Text
txtaa11.Text = txta3.Text
txtaa12.Text = txta4.Text
txtaa13.Text = 2.8 * txta4.Text
txtaa14.Text = (txtaa13.Text ^ (2 / 5)) * 0.533
txtaa15.Text = (0.0055) * (txtaa13.Text ^ (1 / 3)) * (txta3.Text ^ (5 / 3)) + (0.00105 *
txtaa13.Text)
txtaa16.Text = 0.00275 * txtaa13.Text
txtaa17.Text = (0.0052 * (txtaa13.Text ^ (3 / 5))) * txta3.Text
txtaa19.Text = txta1.Text
txtaa20.Text = txta2.Text
txtaa21.Text = txta3.Text
txtaa22.Text = txta4.Text
txtaa23.Text = 2 * 0.7 * txta4.Text
txtaa24.Text = (txtaa23.Text ^ (2 / 5)) * 0.533
txtaa25.Text = (0.011) * (txtaa23.Text ^ (1 / 3)) * (txta3.Text ^ (5 / 3)) + (0.0021 * txtaa23.Text)
txtaa26.Text = 0.0055 * txtaa23.Text
txtaa27.Text = (0.0104 * (txtaa23.Text ^ (3 / 5))) * txta3.Text
txtaa29.Text = txta5.Text
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  txtaa30.Text = txta6.Text
  txtaa31.Text = txta7.Text
  txtaa32.Text = txta8.Text
  txtaa33.Text = (0.124 * (txta8.Text * (txta5.Text ^ 2)) ^ (1 / 3)) * (6 + (0.3 * txta7.Text)) * (1 +
(0.063 * (6 + txta7.Text) / txta5.Text)) ^ (2 / 3)
  txtaa35.Text = txta9.Text
  txtaa36.Text = txta10.Text
  txtaa37.Text = txta11.Text
  txtaa38.Text = 61.2 * txta9.Text * (txta10.Text ^ (1 / 2))
  txtaa39.Text = 2.4 * txta9.Text ^ (2 / 5) * txta10.Text ^ (1 / 5) - (2.1 * txta10.Text)
  txtaa40.Text = 0.022 * ((txta9.Text * txta10.Text ^ (1 / 2)) ^ (1 / 3)) * (txta11.Text +
txtaa39.Text) ^ (5 / 3) + (0.0042 * txta9.Text * txta10.Text ^ (1 / 2))
  txtaa41.Text = 61.2 * txta9.Text * (txta10.Text ^ (1 / 2))
  txtaa42.Text = 0.7 * txtaa41.Text
  txtaa43.Text = 17.6 * txtaa42.Text ^ (1 / 3) * (txta11.Text + txtaa39.Text) ^ (5 / 3) + (2.1 *
txta10.Text)
  txta12.Text = 61.2 * txta9.Text * (txta10.Text ^ (1 / 2))
  ' Output
  With frm_atrium
    b10 = txtfa10.Text
    b11 = txtfa11.Text
    b12 = txtfa12.Text
    b13 = txtfa13.Text
    b14 = txtfa14.Text
    b15 = txtfa15.Text
    b16 = txtfa16.Text
    b17 = txtfa17.Text
    b18 = txtfa18.Text
    b19 = txtfa19.Text
    b20 = txtfa20.Text
    b21 = txtfa21.Text
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    b22 = txtfa22.Text
    b23 = txtfa23.Text
    b24 = txtfa24.Text
    b25 = txtfa25.Text
    b26 = txtfa26.Text
    b27 = txtfa27.Text
    End With
  txtfa10.Text = Format(b10, decSix)
  txtfa11.Text = Format(b11, decTwo)
  txtfa12.Text = Format(b12, decTwo)
  txtfa13.Text = Format(b13, decTwo)
  txtfa14.Text = Format(b14, decFour)
  txtfa15.Text = Format(b15, decFour)
  txtfa16.Text = Format(b16, decFour)
  txtfa17.Text = Format(b17, decFour)
  txtfa18.Text = Format(b18, decFour)
  txtfa19.Text = Format(b19, decOne)
  txtfa20.Text = Format(b20, decFour)
  txtfa21.Text = Format(b21, decTwo)
  txtfa22.Text = Format(b22, decOne)
  txtfa23.Text = Format(b23, decOne)
  txtfa24.Text = Format(b24, decOne)
  txtfa25.Text = Format(b25, decFour)
  txtfa26.Text = Format(b26, decOne)
  txtfa27.Text = Format(b27, decOne)
End Sub
Private Sub txtf1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then cmdSolve.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
With frm_atrium
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
    'Initial Value
    If a1 <= 0 Then a1 = 20000
    If a2 <= 0 Then a2 = 125
    If a3 <= 0 Then a3 = 110
    If a4 <= 0 Then a4 = 5000
    If a5 <= 0 Then a5 = 12
    If a6 <= 0 Then a6 = 6
    If a7 <= 0 Then a7 = 10
    If a8 <= 0 Then a8 = 4000
    If a9 <= 0 Then a9 = 15
    If a10 <= 0 Then a10 = 5
    If a11 <= 0 Then a11 = 60
  'Show Input Data
    txta1.Text = Format(a1)
    txta2.Text = Format(a2, decTwo)
    txta3.Text = Format(a3)
    txta4.Text = Format(a4, decTwo)
    txta5.Text = Format(a5, decTwo)
    txta6.Text = Format(a6, decTwo)
    txta7.Text = Format(a7, decTwo)
    txta8.Text = Format(a8, decTwo)
    txta9.Text = Format(a9, decTwo)
    txta10.Text = Format(a10, decTwo)
    txta11.Text = Format(a11, decTwo)
   End With
ClearResult
End Sub
  Sub ClearResult()
  End Sub
  Private Sub txta1_Click()
  txta1.SelStart = 0
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  txta1.SelLength = Len(txta1.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta2_Click()
  txta2.SelStart = 0
  txta2.SelLength = Len(txta2.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta3_Click()
  txta3.SelStart = 0
  txta3.SelLength = Len(txta3.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta5_Click()
  txta5.SelStart = 0
  txta5.SelLength = Len(txta5.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta6_Click()
  txta6.SelStart = 0
  txta6.SelLength = Len(txta6.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta4_Click()
  txta4.SelStart = 0
  txta4.SelLength = Len(txta4.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta7_Click()
  txta7.SelStart = 0
  txta7.SelLength = Len(txta7.Text)
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta8_Click()
  txta8.SelStart = 0
  txta8.SelLength = Len(txta8.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta9_Click()
  txta9.SelStart = 0
  txta9.SelLength = Len(txta9.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta10_Click()
  txta10.SelStart = 0
  txta10.SelLength = Len(txta10.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta11_Click()
  txta11.SelStart = 0
  txta11.SelLength = Len(txta11.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txta12_Click()
  txta12.SelStart = 0
  txta12.SelLength = Len(txta12.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Click()
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
frm_lift.SetFocus
End Sub
Private Sub cmdSolve_Click()
On Error Resume Next
' Input
  With frm_lift
    a1 = txtl1.Text
    a2 = txtl2.Text
    a3 = txtl3.Text
    a4 = txtl4.Text
    a5 = txtl5.Text
    a6 = txtl6.Text
    a7 = txtl7.Text
    a19 = txtl19.Text
    End With
  ' Process
  txtla1.Text = txtl1.Text
  txtla2.Text = txtla7.Text
  txtla3.Text = txtl2.Text
  txtla4.Text = txtl5.Text
  txtla5.Text = txtl3.Text
  txtla6.Text = txtl4.Text
  txtla7.Text = 1 / ((((1 / txtl4.Text) ^ 2) + ((1 / txtl2.Text) ^ 2)) ^ 0.5)
  txtla8.Text = (((txtl1.Text * txtla7.Text * txtl5.Text) / (txtl3.Text * txtl4.Text * txtl7.Text)) ^ 2)
* (0.5 * 1.66 * 0.075 / 1000000)
  txtla10.Text = txtl1.Text
  txtla11.Text = txtla16.Text
  txtla12.Text = txtl2.Text
  txtla13.Text = txtl5.Text
  txtla14.Text = txtl3.Text
  txtla15.Text = txtl6.Text
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  txtla16.Text = 1 / ((((1 / txtl6.Text) ^ 2) + ((1 / txtl2.Text) ^ 2) + ((1 / txtl19.Text) ^ 2)) ^ 0.5)
  txtla17.Text = (((txtl1.Text * txtl2.Text * txtl5.Text) / (txtl3.Text * txtl6.Text * txtl7.Text)) ^ 2)
* (0.5 * 1.66 * 0.075 / 1000000)
  ' Output
  With frm_lift
    b10 = txtla10.Text
    b11 = txtla16.Text
    b12 = txtla12.Text
    b13 = txtla13.Text
    b14 = txtla14.Text
    b15 = txtla15.Text
    b16 = txtla16.Text
    b17 = txtla17.Text
    b18 = txtla18.Text
    b2 = txtla7.Text
    b7 = txtla7.Text
    b8 = txtla8.Text
    b9 = txtla9.Text
    End With
  txtla2.Text = Format(b2, decSix)
  txtla10.Text = Format(b10, decSix)
  txtla11.Text = Format(b11, decTwo)
  txtla12.Text = Format(b12, decTwo)
  txtla13.Text = Format(b13, decTwo)
  txtla14.Text = Format(b14, decFour)
  txtla15.Text = Format(b15, decFour)
  txtla16.Text = Format(b16, decFour)
  txtla17.Text = Format(b17, decFour)
  txtla18.Text = Format(b18, decFour)
  txtla7.Text = Format(b7, decOne)
  txtla8.Text = Format(b8, decFour)
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  txtla9.Text = Format(b9, decTwo)
End Sub
Private Sub txtf1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then cmdSolve.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
With frm_lift
    'Initial Value
    If a1 <= 0 Then a1 = 25
    If a2 <= 0 Then a2 = 12
    If a3 <= 0 Then a3 = 10
    If a4 <= 0 Then a4 = 0.15
    If a5 <= 0 Then a5 = 0.4
    If a6 <= 0 Then a6 = 536
    If a7 <= 0 Then a7 = 0.83
    If a19 <= 0 Then a19 = 0.83
    'Show Input Data
    txtl1.Text = Format(a1)
    txtl2.Text = Format(a2, decTwo)
    txtl3.Text = Format(a3)
    txtl4.Text = Format(a4, decTwo)
    txtl5.Text = Format(a5, decTwo)
    txtl6.Text = Format(a6, decTwo)
    txtl7.Text = Format(a7, decTwo)
    txtl19.Text = Format(a19, decTwo)
   End With
ClearResult
End Sub
  Sub ClearResult()
  End Sub
  Private Sub txtl1_Click()
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  txtl1.SelStart = 0
  txtl1.SelLength = Len(txtl1.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtl2_Click()
  txtl2.SelStart = 0
  txtl2.SelLength = Len(txtl2.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtl3_Click()
  txtl3.SelStart = 0
  txtl3.SelLength = Len(txtl3.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtl4_Click()
  txtl4.SelStart = 0
  txtl4.SelLength = Len(txtl4.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtl5_Click()
  txtl5.SelStart = 0
  txtl5.SelLength = Len(txtl5.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtl6_Click()
  txtl6.SelStart = 0
  txtl6.SelLength = Len(txtl6.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtl7_Click()
  txtl7.SelStart = 0
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
  txtl7.SelLength = Len(txtl7.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub txtl19_Click()
  txt19.SelStart = 0
  txt19.SelLength = Len(txt19.Text)
  ClearResult
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
Unload Me
End Sub
Private Sub Form_Click()
frm_zone.SetFocus
End Sub
Private Sub Command1_Click()
Form2.Show
End Sub
Private Sub Command10_Click()
Form10.Show
End Sub
Private Sub Command2_Click()
Form3.Show
End Sub
Private Sub Command3_Click()
Form4.Show
End Sub
Private Sub Command4_Click()
Form6.Show
End Sub
Private Sub Command5_Click()
Form7.Show
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
End Sub
Private Sub Command6_Click()
Form9.Show
End Sub
Private Sub Command7_Click()
Form8.Show
End Sub
Private Sub Command8_Click()
Form11.Show
End Sub
Private Sub Command9_Click()
End Sub
Private Sub Form_Click()
Form1.SetFocus
End Sub
Private Sub Toolbar1_ButtonClick(ByVal Button As MSComctlLib.Button)
Select Case Button.Index
Case 1
Form5.Show
End Select
End Sub
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Text2.Text = Text1.Text * 1: Text3.Text = Text1.Text * 1.0133:
Text4.Text = Text1.Text * 1.0332: Text5.Text = Text1.Text * 14.7: Text6.Text = Text1.Text *
760: Text7.Text = Text1.Text * 407.14: Text8.Text = Text1.Text * 101.33
If Combo1.ListIndex = 1 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.9869: Text3.Text = Text1.Text * 1:
Text4.Text = Text1.Text * 1.0197: Text5.Text = Text1.Text * 14.504: Text6.Text = Text1.Text *
750: Text7.Text = Text1.Text * 401.81: Text8.Text = Text1.Text * 100
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
If Combo1.ListIndex = 2 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.9678: Text3.Text = Text1.Text *
0.9807: Text4.Text = Text1.Text * 1: Text5.Text = Text1.Text * 14.22: Text6.Text = Text1.Text
* 735.5: Text7.Text = Text1.Text * 394.05: Text8.Text = Text1.Text * 98.07
If Combo1.ListIndex = 3 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.068: Text3.Text = Text1.Text *
0.0689: Text4.Text = Text1.Text * 0.0703: Text5.Text = Text1.Text * 1: Text6.Text = Text1.Text
* 51.7: Text7.Text = Text1.Text * 27.69: Text8.Text = Text1.Text * 6.89
If Combo1.ListIndex = 4 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.001316: Text3.Text = Text1.Text *
0.001333: Text4.Text = Text1.Text * 0.00136: Text5.Text = Text1.Text * 0.01934: Text6.Text =
Text1.Text * 1: Text7.Text = Text1.Text * 0.536: Text8.Text = Text1.Text * 0.133
If Combo1.ListIndex = 5 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.002456: Text3.Text = Text1.Text *
0.002489: Text4.Text = Text1.Text * 0.002538: Text5.Text = Text1.Text * 0.03611: Text6.Text
= Text1.Text * 1.867: Text7.Text = Text1.Text * 1: Text8.Text = Text1.Text * 0.249
If Combo1.ListIndex = 6 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.009869: Text3.Text = Text1.Text *
0.01: Text4.Text = Text1.Text * 0.0102: Text5.Text = Text1.Text * 0.145: Text6.Text =
Text1.Text * 7.5: Text7.Text = Text1.Text * 4.018: Text8.Text = Text1.Text * 1
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Click()
Form2.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
End Sub
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Text2.Text = Text1.Text * 1: Text3.Text = Text1.Text * 0.001:
Text4.Text = Text1.Text * 1000#: Text5.Text = Text1.Text * 0.03532: Text6.Text = Text1.Text *
0.22: Text7.Text = Text1.Text * 0.264
If Combo1.ListIndex = 1 Then Text2.Text = Text1.Text * 1000#: Text3.Text = Text1.Text * 1:
Text4.Text = Text1.Text * 1000000#: Text5.Text = Text1.Text * 35.32: Text6.Text = Text1.Text
* 220: Text7.Text = Text1.Text * 264
If Combo1.ListIndex = 2 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.001: Text3.Text = Text1.Text *
0.000001: Text4.Text = Text1.Text * 1: Text5.Text = Text1.Text * 0.00003532: Text6.Text =
Text1.Text * 0.00022: Text7.Text = Text1.Text * 0.00022
If Combo1.ListIndex = 3 Then Text2.Text = Text1.Text * 28.32: Text3.Text = Text1.Text *
0.028: Text4.Text = Text1.Text * 28.317: Text5.Text = Text1.Text * 1: Text6.Text = Text1.Text
* 6.23: Text7.Text = Text1.Text * 6.23
If Combo1.ListIndex = 4 Then Text2.Text = Text1.Text * 4.546: Text3.Text = Text1.Text *
0.004546: Text4.Text = Text1.Text * 4546: Text5.Text = Text1.Text * 0.16: Text6.Text =
Text1.Text * 1: Text7.Text = Text1.Text * 1.2
If Combo1.ListIndex = 5 Then Text2.Text = Text1.Text * 3.787: Text3.Text = Text1.Text *
0.003788: Text4.Text = Text1.Text * 3787.879: Text5.Text = Text1.Text * 0.1337: Text6.Text =
Text1.Text * 0.833: Text7.Text = Text1.Text * 1
End Sub
Private Sub Form_Click()
Form3.SetFocus
End Sub

Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
End Sub
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Text2.Text = Text1.Text * 1: Text3.Text = (Text1.Text * 1.8) +
32: Text4.Text = Text1.Text + 273.2: Text5.Text = (Text1.Text * 1.8) + 459.7
If Combo1.ListIndex = 1 Then Text2.Text = (Text1.Text - 32) / 1.8: Text3.Text = Text1.Text * 1:
Text4.Text = (Text1.Text * 459.7) / 1.8: Text5.Text = Text1.Text * 459.7
If Combo1.ListIndex = 2 Then Text2.Text = Text1.Text - 273.2: Text3.Text = (Text1.Text * 1.8)
- 459.7: Text4.Text = Text1.Text * 1: Text5.Text = Text1.Text * 1.8
If Combo1.ListIndex = 3 Then Text2.Text = (Text1.Text - 491.7) / 1.8: Text3.Text = Text1.Text -
459.7: Text4.Text = Text1.Text / 1.8: Text5.Text = Text1.Text * 1
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Click()
Form4.SetFocus
End Sub
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show

End Sub
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Text2.Text = Text1.Text * 1: Text3.Text = Text1.Text * 980.665:
Text4.Text = Text1.Text * 100000#: Text5.Text = Text1.Text * 13825.49544: Text6.Text =
Text1.Text * 1000
If Combo1.ListIndex = 1 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.001019716: Text3.Text = Text1.Text
* 1: Text4.Text = Text1.Text * 101.9716213: Text5.Text = Text1.Text * 14.09808185:
Text6.Text = Text1.Text * 1.019716213
If Combo1.ListIndex = 2 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.00001: Text3.Text = Text1.Text *
0.00980665: Text4.Text = Text1.Text * 1: Text5.Text = Text1.Text * 0.13825495: Text6.Text =
Text1.Text * 0.01
If Combo1.ListIndex = 3 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.00007233: Text3.Text = Text1.Text
* 0.07093164: Text4.Text = Text1.Text * 7.23301385: Text5.Text = Text1.Text * 1: Text6.Text
= Text1.Text * 0.07233014
If Combo1.ListIndex = 4 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.001: Text3.Text = Text1.Text *
0.980665: Text4.Text = Text1.Text * 100: Text5.Text = Text1.Text * 13.82549544: Text6.Text =
Text1.Text * 1
End Sub
Private Sub Form_Click()
Form6.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
End Sub
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Text2.Text = Text1.Text * 1: Text3.Text = Text1.Text *
41868000: Text4.Text = Text1.Text * 4.1868: Text5.Text = Text1.Text * 2.613: Text6.Text =
Text1.Text * 0.001163: Text7.Text = Text1.Text * 0.003968
If Combo1.ListIndex = 1 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.0000000238846: Text3.Text =
Text1.Text * 1: Text4.Text = Text1.Text * 0.0000001: Text5.Text = Text1.Text *
0.0000000624104: Text6.Text = Text1.Text * 2.77778E-11: Text7.Text = Text1.Text *
9.47741E-11
If Combo1.ListIndex = 2 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.2338459: Text3.Text = Text1.Text *
10000000: Text4.Text = Text1.Text * 1: Text5.Text = Text1.Text * 0.62410433: Text6.Text =
Text1.Text * 0.00027778: Text7.Text = Text1.Text * 0.00094774
If Combo1.ListIndex = 3 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.38270188: Text3.Text = Text1.Text
* 16022962.11251: Text4.Text = Text1.Text * 1.60229621: Text5.Text = Text1.Text * 1:
Text6.Text = Text1.Text * 0.00044508: Text7.Text = Text1.Text * 0.00151856
If Combo1.ListIndex = 4 Then Text2.Text = Text1.Text * 859.84522786: Text3.Text =
Text1.Text * 36000000000#: Text4.Text = Text1.Text * 3600: Text5.Text = Text1.Text *
2246.775804: Text6.Text = Text1.Text * 1: Text7.Text = Text1.Text * 3.41186586
If Combo1.ListIndex = 5 Then Text2.Text = Text1.Text * 252.016129: Text3.Text = Text1.Text
* 10551411290#: Text4.Text = Text1.Text * 1055.141129: Text5.Text = Text1.Text *
658.5181452: Text6.Text = Text1.Text * 0.293094758: Text7.Text = Text1.Text * 1
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
End Sub
Private Sub Form_Click()
Form7.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
End Sub
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Text2.Text = Text1.Text * 1: Text3.Text = Text1.Text * 0.001:
Text4.Text = Text1.Text * 0.000001: Text5.Text = Text1.Text * 0.0022046: Text6.Text =
Text1.Text * 15.43: Text7.Text = Text1.Text * 0.03524229: Text8.Text = Text1.Text *
0.0060221
If Combo1.ListIndex = 1 Then Text2.Text = Text1.Text * 1000: Text3.Text = Text1.Text * 1:
Text4.Text = Text1.Text * 0.001: Text5.Text = Text1.Text * 2.2046: Text6.Text = Text1.Text *
15430: Text7.Text = Text1.Text * 35.24229: Text8.Text = Text1.Text * 6.0221
If Combo1.ListIndex = 2 Then Text2.Text = Text1.Text * 1000000: Text3.Text = Text1.Text *
1000: Text4.Text = Text1.Text * 1: Text5.Text = Text1.Text * 2204.6: Text6.Text = Text1.Text *
15430000: Text7.Text = Text1.Text * 35242.29: Text8.Text = Text1.Text * 6022.1
If Combo1.ListIndex = 3 Then Text2.Text = Text1.Text * 453.5970244: Text3.Text = Text1.Text
* 0.4536: Text4.Text = Text1.Text * 0.0004536: Text5.Text = Text1.Text * 1: Text6.Text =
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
Text1.Text * 6999.00208655: Text7.Text = Text1.Text * 15.98579788: Text8.Text = Text1.Text
* 2.73160664
If Combo1.ListIndex = 4 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.06480881: Text3.Text = Text1.Text
* 0.0000648088: Text4.Text = Text1.Text * 0.00000006: Text5.Text = Text1.Text * 0.00014288:
Text6.Text = Text1.Text * 1: Text7.Text = Text1.Text * 0.00228401: Text8.Text = Text1.Text *
0.00039029
If Combo1.ListIndex = 5 Then Text2.Text = Text1.Text * 28.3750006: Text3.Text = Text1.Text
* 0.028375001: Text4.Text = Text1.Text * 0.000028375: Text5.Text = Text1.Text *
0.062555526: Text6.Text = Text1.Text * 437.8262593: Text7.Text = Text1.Text * 1: Text8.Text
= Text1.Text * 0.170877091
If Combo1.ListIndex = 6 Then Text2.Text = Text1.Text * 166.05503064: Text3.Text =
Text1.Text * 0.16605503: Text4.Text = Text1.Text * 0.00016606: Text5.Text = Text1.Text *
0.36608492: Text6.Text = Text1.Text * 2562.22912273: Text7.Text = Text1.Text * 5.85215955:
Text8.Text = Text1.Text * 1
End Sub
Private Sub Form_Click()
Form8.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
End Sub
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
Private Sub Command1_Click()
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Text2.Text = Text1.Text * 1: Text3.Text = Text1.Text * 39370:
Text4.Text = Text1.Text * 1094: Text5.Text = Text1.Text * 0.62137: Text6.Text = Text1.Text *
3280.948: Text7.Text = Text1.Text * 49.727272: Text8.Text = Text1.Text * 4.9727272
If Combo1.ListIndex = 1 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.0000254001: Text3.Text =
Text1.Text * 1: Text4.Text = Text1.Text * 0.027787656: Text5.Text = Text1.Text *
0.0000157828: Text6.Text = Text1.Text * 0.083336246: Text7.Text = Text1.Text *
0.001263075: Text8.Text = Text1.Text * 0.000126308
If Combo1.ListIndex = 2 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.0009: Text3.Text = Text1.Text * 36:
Text4.Text = Text1.Text * 1: Text5.Text = Text1.Text * 0.00056798: Text6.Text = Text1.Text *
3: Text7.Text = Text1.Text * 0.04545455: Text8.Text = Text1.Text * 0.00454545
If Combo1.ListIndex = 3 Then Text2.Text = Text1.Text * 1.60934709: Text3.Text = Text1.Text
* 63359.99485: Text4.Text = Text1.Text * 1760.62571415: Text5.Text = Text1.Text * 1:
Text6.Text = Text1.Text * 5280.18410931: Text7.Text = Text1.Text * 80.02844086: Text8.Text
= Text1.Text * 8.00284409
If Combo1.ListIndex = 4 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.00030479: Text3.Text = Text1.Text
* 12: Text4.Text = Text1.Text * 0.33344021: Text5.Text = Text1.Text * 0.00018939: Text6.Text
= Text1.Text * 1: Text7.Text = Text1.Text * 0.01515637: Text8.Text = Text1.Text * 0.00151564
If Combo1.ListIndex = 5 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.020109689: Text3.Text = Text1.Text
* 791.7184712: Text4.Text = Text1.Text * 22: Text5.Text = Text1.Text * 0.01249558:
Text6.Text = Text1.Text * 65.97884517: Text7.Text = Text1.Text * 1: Text8.Text = Text1.Text *
0.1
If Combo1.ListIndex = 6 Then Text2.Text = Text1.Text * 0.2011: Text3.Text = Text1.Text *
7917.1847: Text4.Text = Text1.Text * 220: Text5.Text = Text1.Text * 0.125: Text6.Text =
Text1.Text * 659.7885: Text7.Text = Text1.Text * 10: Text8.Text = Text1.Text * 1
End Sub
Private Sub Form_Click()
Form9.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
End Sub
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Text2.Text = Text1.Text * 1: Text3.Text = Text1.Text *
0.000001: Text4.Text = Text1.Text * 0.01: Text5.Text = Text1.Text * 0.0002471: Text6.Text =
Text1.Text * 0.0001: Text7.Text = Text1.Text * 0.000000386
If Combo1.ListIndex = 1 Then Text2.Text = Text1.Text * 1000000: Text3.Text = Text1.Text * 1:
Text4.Text = Text1.Text * 10000: Text5.Text = Text1.Text * 247.1: Text6.Text = Text1.Text *
100: Text7.Text = Text1.Text * 0.386
If Combo1.ListIndex = 2 Then Text2.Text = Text1.Text * 100: Text3.Text = Text1.Text *
0.0001: Text4.Text = Text1.Text * 1: Text5.Text = Text1.Text * 0.02471: Text6.Text =
Text1.Text * 0.01: Text7.Text = Text1.Text * 0.0000386
If Combo1.ListIndex = 3 Then Text2.Text = Text1.Text * 4046.94455686: Text3.Text =
Text1.Text * 0.00405: Text4.Text = Text1.Text * 40.46944557: Text5.Text = Text1.Text * 1:
Text6.Text = Text1.Text * 0.40469446: Text7.Text = Text1.Text * 0.00156212
If Combo1.ListIndex = 4 Then Text2.Text = Text1.Text * 10000: Text3.Text = Text1.Text *
0.01: Text4.Text = Text1.Text * 100: Text5.Text = Text1.Text * 2.471: Text6.Text = Text1.Text
* 1: Text7.Text = Text1.Text * 0.00386
If Combo1.ListIndex = 5 Then Text2.Text = Text1.Text * 2590673.575: Text3.Text = Text1.Text
* 2.590673575: Text4.Text = Text1.Text * 25906.73575: Text5.Text = Text1.Text *
640.1554404: Text6.Text = Text1.Text * 259.0673575: Text7.Text = Text1.Text * 1
End Sub
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
Private Sub Form_Click()
Form10.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
End Sub
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
Private Sub Command1_Click()
On Error Resume Next
If Combo1.ListIndex = 0 Then Label4.Caption = "Faraday": Text2.Text = Text1.Text * 1.0364
If Combo1.ListIndex = 1 Then Label4.Caption = "Coulomb": Text2.Text = Text1.Text / 1.0364
End Sub
Private Sub Command2_Click()
On Error Resume Next
If Combo2.ListIndex = 0 Then Label5.Caption = "Radian": Text4.Text = Text3.Text / 57.295
If Combo2.ListIndex = 1 Then Label5.Caption = "Degree": Text4.Text = Text3.Text * 57.295
End Sub
Private Sub Command3_Click()
On Error Resume Next
If Combo3.ListIndex = 0 Then Label6.Caption = "Horsepower": Text6.Text = Text5.Text *
0.001341
If Combo3.ListIndex = 1 Then Label6.Caption = "Watt": Text6.Text = Text5.Text / 0.001341
End Sub
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

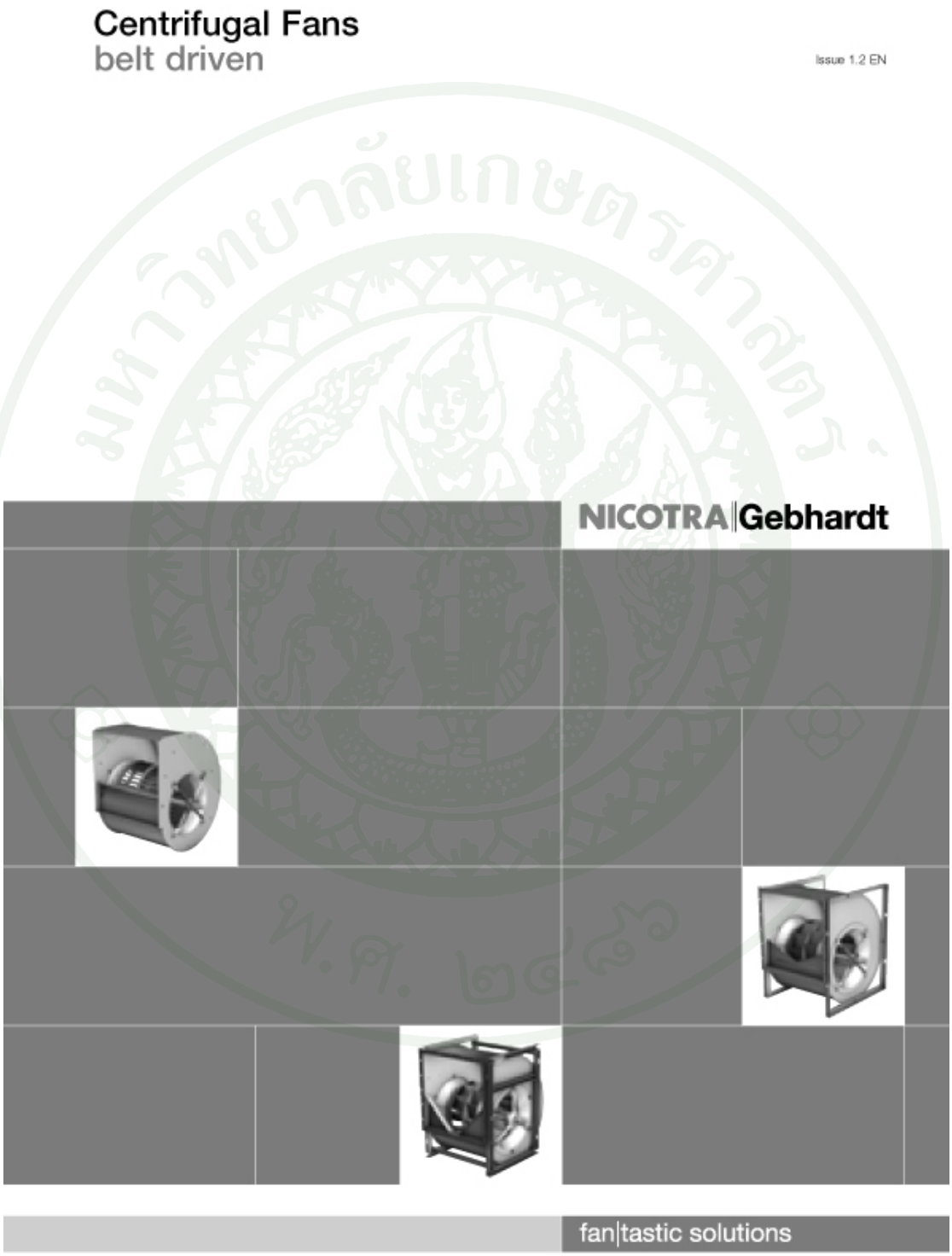
```
Private Sub Form_Click()
Form11.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Load()
Form1.Hide
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Form1.Show
End Sub
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then Command1.SetFocus
End Sub
Private Sub Form_Activate()
Text1.SetFocus
End Sub
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ง

กราฟสมรรถนะพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง1 พัดลมชนิด Centrifugal

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

A strong provider for many optimal solutions:
The Nicotra-Gebhardt portfolio

When it comes to radial fans, we are the first people you should talk to. From belt-driven radial fans to plugfans, it's all there in our product portfolio. We offer the largest, most comprehensive range of products in this area – and of course the matching services.

ADH-E / ADH

double-inlet
forward-curved impeller geometry

RDH-E / RDH

double-inlet
backward-curved impeller geometry

RZR *rotavent*

double-inlet
hollow aerofoil impeller geometry

When everything fits:
100% compatible product series

To us, perfection in our product portfolio means that all product series in the area of encased radial fans are attuned to one another and are 100% compatible in their dimensions.

How did we do it?

By using an identical design for the connection dimensions of every fan size in our newly developed series ADH-E and RDH-E and carefully coordinating our options and accessories.

In this way, we have standardised and harmonised our product portfolio in all relevant areas.

Well designed, easy to install, economical –
The compact base frame from Nicotra-Gebhardt

Greater system efficiency

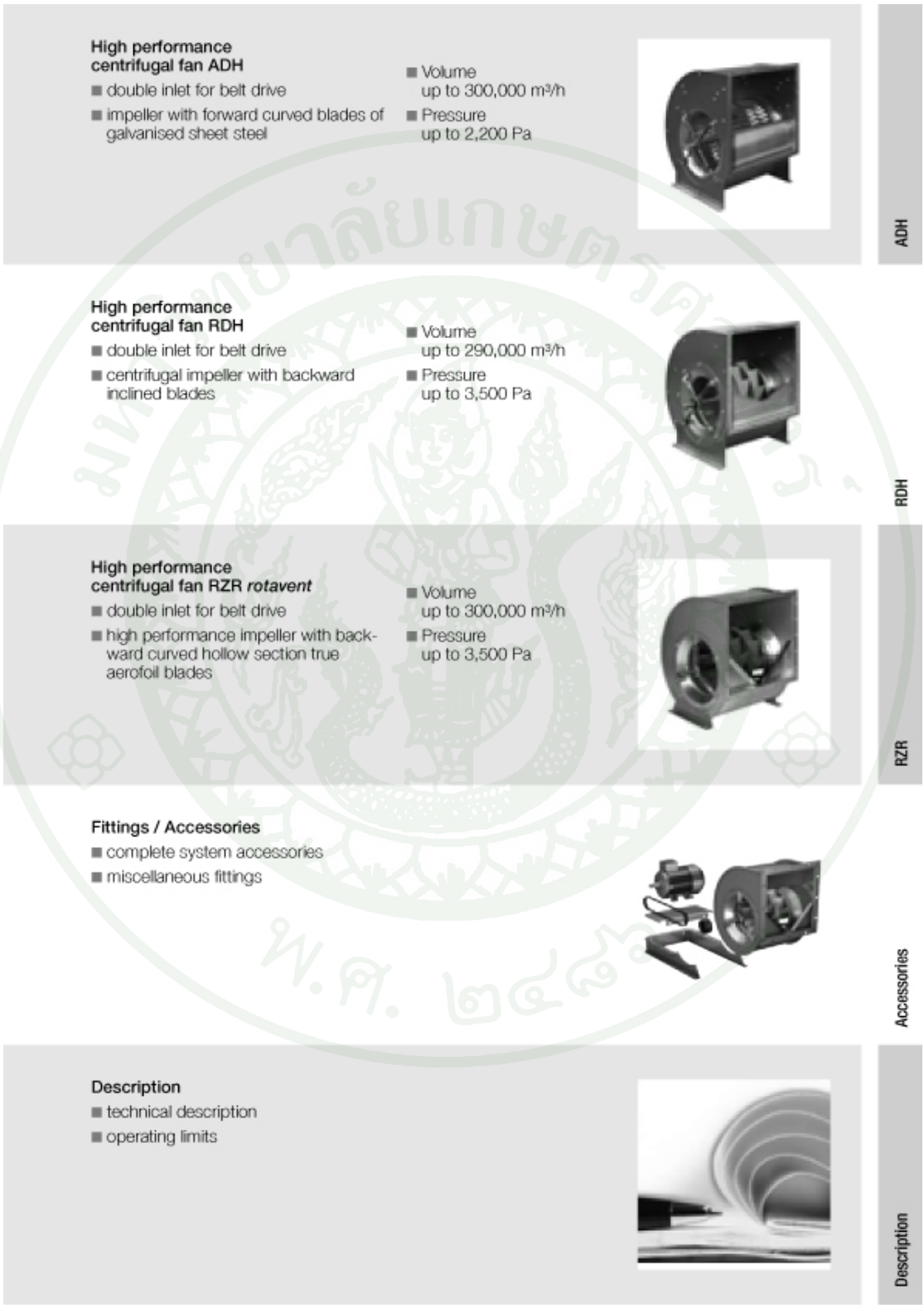
A system that saves space, time, and money – in an air handling unit or any other application: our compact base frame offers decisive advantages:

- The frame lengths have been optimised and adjusted for the casing position and motor installation height to achieve the smallest possible overall height and length
- Exact, optimised coordination of all components, all the way through to installation, adjustment and testing
- Suitable for all fans of the series ADH-E0, RDH-E0 and RZR-11 up to size 0500

fan|tastic solutions

ภาพผนวกที่ ง2 แสดงลักษณะพัดลม

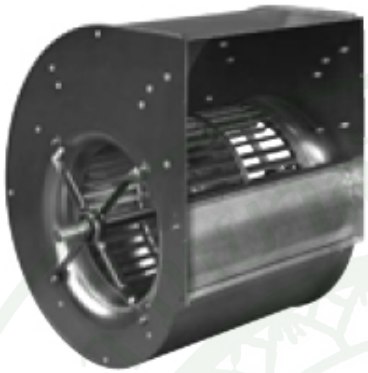
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง3 แสดงลักษณะพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

NICOTRA|Gebhardt



Working towards perfection:
The ADH-E and ADH series

By further developing sizes 0160 to 0560 of our successful ADH model range, we have created a product series which boasts a whole host of improvements. The result is the ADH-E generation, one which will overcome the challenges of any application.

During development, we paid particularly close attention to four factors: air volume flow, pressure, energy efficiency and noise. These aspects are the key to success: all of the models are on a par with or superior to their predecessors in terms of these parameters.

New choice of models

Whether you are looking for single or twin fans, the new ADH-E series offers impressive further improvements in terms of functionality and potential uses, whatever the application.

The ultimate in compatibility

Minimised design effort for you means that:

- All accessories and equipment are carefully coordinated and compatible to further product ranges like RDH-E / RDH (backward curved centrifugal fans) and RZR (hollow-aerofoil blade geometry-rotavent®).
- The connection dimensions for ADH-E (sizes 0160 to 0560) are identical with the corresponding models from the ADH range.
- The models for sizes ADH 0630 to 1000 remain unchanged.
- All ADH E models up to size 0500 are compatible with the new compact base frame – a unique feature which makes completing your system ultra simple and affordable!

Top quality for performance and a long service life!

Alongside an intelligent construction, aspects such as the quality of materials and workmanship play a crucial role in ensuring a long life cycle. That's why we have made the casing of the new ADH-E even sturdier by means of a standing seam construction. In addition to this, the way in which the blades are attached to the impeller has been optimised and the shafts have been galvanised for more effective corrosion protection – further factors which significantly increase the service life of this range.

ภาพผนวกที่ ง4 แสดงลักษณะพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

The product range at a glance:
The technical specifications of the ADH-E and ADH series

The standard series are designed for permanent ventilation at up to +80C resp. +100C. The specifications conform to accuracy class 2 according to DIN 24166.

ADH-E and ADH G2E series

- Sizes 0160 up to 0560
- Scroll of galvanised sheet steel with standing seam and straight cut off
- New cylindrical impeller with forward-curved blade geometry
- Galvanised shaft
- Volume up to 120.000 m³/h
- Pressure up to 2.200 Pa

ADH and ADH G2 Series

- Sizes 0630 up to 1000
- Lap jointed scroll of galvanized sheet steel with Pittsburgh-Seam and V-cut off
- Volume up to 300.000 m³/h
- Pressure up to 1.800 Pa

The ADH-E and ADH range of models:
The right fan for every specification!

Depending on the fan size, the ADH-E and ADH series have up to 5 mechanical versions of the single fan and up to 4 additional twin fan options. In this way, we ensure that we have the perfect model for all requirements and any application.

Version	Description	Figure
ADH E0 / ADH L	Lap jointed scroll without feet and discharge flange. Light duty bearing execution with pressed steel housing/strut assemblies.	
ADH E2 / ADH R	Lap jointed scroll with rectangular side frame, without discharge flange. Light duty bearing execution with pressed steel housing/strut assemblies.	
ADH E4 / ADH K	Lap jointed scroll with heavy duty reinforced side frames, without discharge flange. Medium duty bearing execution with cast iron pillow block, mounted on a robust pedestal.	
ADH E6 / ADH K1	Lap jointed scroll with heavy duty reinforced side frames, without discharge flange. Medium-heavy duty bearing execution with cast iron pillow block, mounted on a robust pedestal.	
ADH E7 / ADH K2	Lap jointed scroll with heavy duty reinforced side frames, without discharge flange. Heavy duty bearing execution with single-piece resp. split-type plummer block, mounted on a robust pedestal.	

Version	Description	Figure
ADH G2E0	The two single fans ADH E0 or ADH L are fitted together to a robust assembly by means of 3 U-channels. Both impellers are fitted on a common shaft supported by 3 bearings.	
ADH G2E2 / ADH G2R	The two single fans ADH E2 or ADH R are fitted together to a robust assembly by means of 3 angle bars. Both impellers are fitted on a common shaft supported by 3 bearings.	
ADH G2E4 / ADH G2K	The two single fans ADH E4 or ADH K are fitted together to a robust assembly by means of 3 angle bars. Both impellers are fitted on a common shaft supported by 3 bearings (sizes 0250/-0630) or the fans have separated shafts being connected by a elastic coupling (sizes 0710/-1000).	
ADH G2E7 / ADH G2K2	The two single fans ADH E7 or ADH K2 are fitted together to a robust assembly by means of 3 angle bars. Both impellers are fitted on a common shaft supported by 3 bearings (sizes 0250/-0630) or the fans have separated shafts being connected by a elastic coupling (sizes 0710/-1000).	

fan|tastic solutions

ภาพผนวกที่ ง5 แสดงลักษณะพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

NICOTRA|Gebhardt — Centrifugal fans for belt drive

Curves
ADH E_-0160

Performance certified is for installation type B - free inlet, ducted outlet..
Power rating (kW) does not include transmission losses.
Performance ratings do not include the effects of appurtenances (accessories).

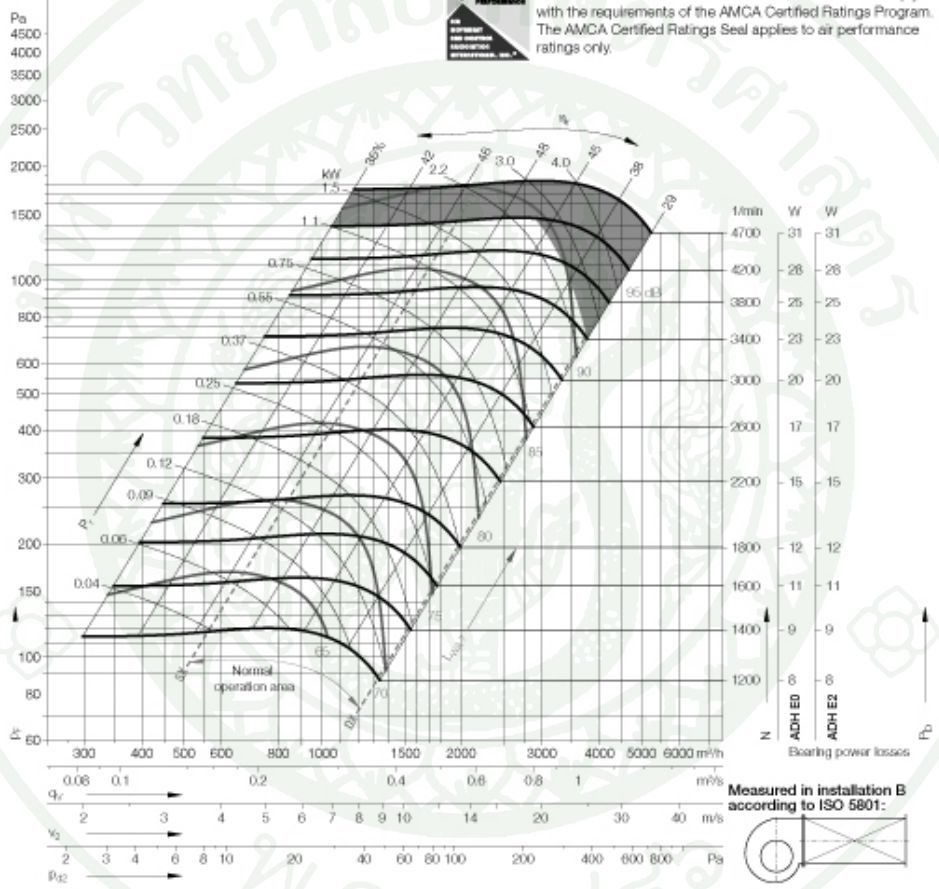
Technical Data

Impeller Data			
Impeller diameter	D_2	160	mm
Number of blades	z	36	
Moment of Inertia	J	0,006	kgm²

Impeller Data			
Impeller weight	m	1,1	kg
Density of media	ρ_1	1,2	kg/m³
Tolerance class (DIN 24166)		2	

Please note coloured area!
- all types suitable
- do not use in this area

Nicotra Gebhardt S.p.A certifies that the fan shown herein is licensed to bear the AMCA Seal.
The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 211 and comply with the requirements of the AMCA Certified Ratings Program. The AMCA Certified Ratings Seal applies to air performance ratings only.

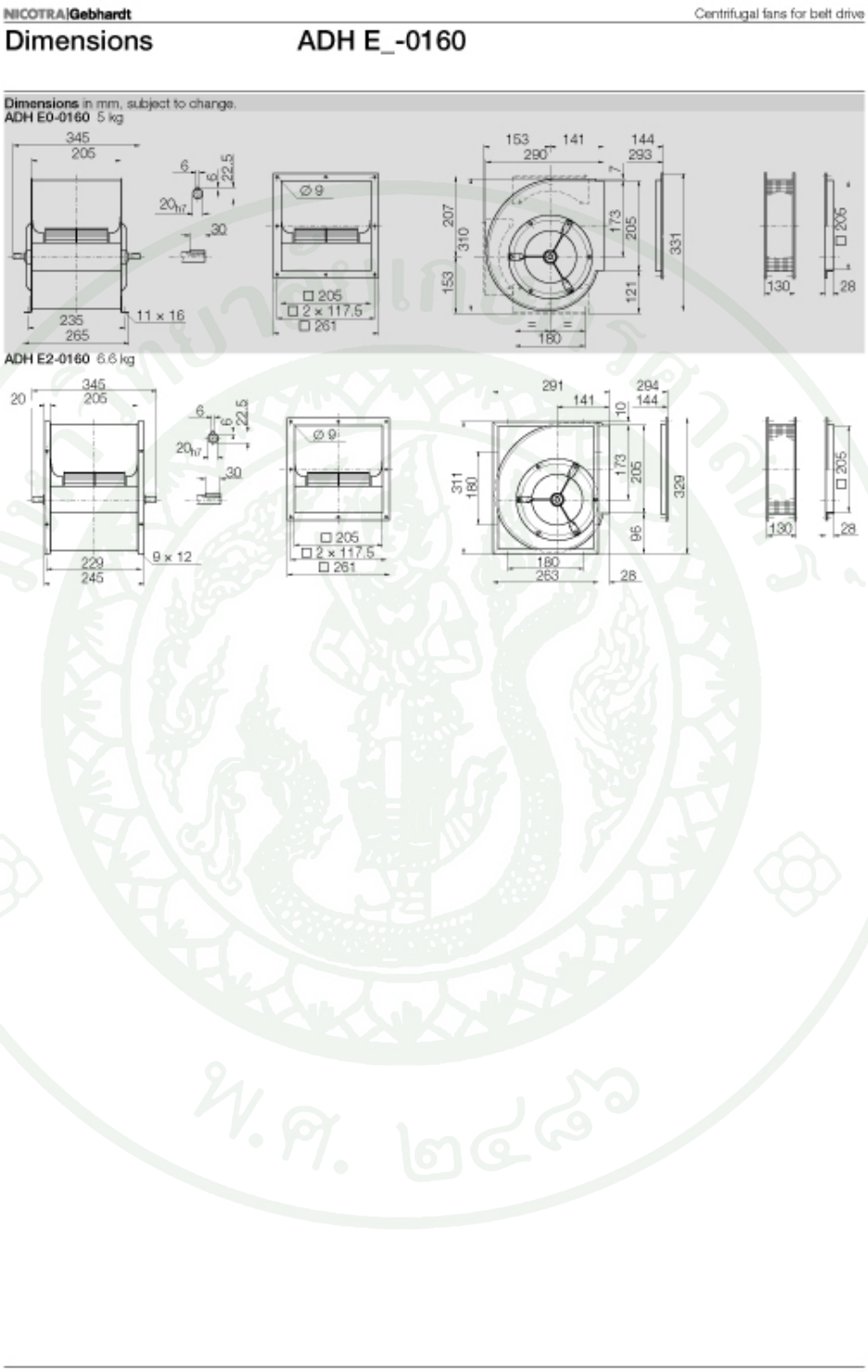


Measured in installation B according to ISO 5801:

Duty point	Speed	ΔL_{WA2}(A)	Relative sound power level for inlet side L_{WA7} at octave centre frequencies f_m									Relative sound power level for discharge side L_{WA4} at octave centre frequencies f_m								
	1/min	dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
SX	3500	2	0	-9	-3	-5	-7	-7	-8	-11	dB	9	8	6	-3	-5	-8	-10	-13	dB
SX	2200	1	-5	-4	-3	-11	-4	-6	-9	-14	dB	9	8	1	-4	-6	-9	-11	-16	dB
SX	1400	-1	-5	-1	-5	-4	-5	-6	-11	-17	dB	10	5	-1	-4	-7	-9	-13	-19	dB
$q_{V\,opt}$	3500	2	-4	-10	-4	-5	-7	-6	-7	-12	dB	8	6	4	-3	-5	-8	-10	-12	dB
$q_{V\,opt}$	2200	0	-8	-5	-3	-11	-5	-6	-8	-13	dB	7	6	-0	-4	-6	-9	-10	-15	dB
$q_{V\,opt}$	1400	-1	-7	-2	-6	-5	-5	-6	-11	-16	dB	7	4	-2	-4	-7	-9	-12	-18	dB
DX	3500	2	-10	-15	-6	-7	-10	-6	-7	-7	dB	-2	2	4	-4	-6	-6	-8	-8	dB
DX	2200	1	-14	-8	-6	-13	-7	-6	-6	-9	dB	0	5	-3	-5	-5	-8	-8	-11	dB
DX	1400	0	-11	-5	-8	-8	-6	-6	-7	-11	dB	5	1	-4	-6	-6	-8	-9	-13	dB

ภาพผนวกที่ ง6 กราฟแสดงสมรรถนะพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง7 แสดงแบบพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

NICOTRA|Gebhardt — Centrifugal fans for belt drive

Curves
ADH E_-0180

Performance certified is for installation type B - free inlet, ducted outlet..
Power rating (kW) does not include transmission losses.
Performance ratings do not include the effects of appurtenances (accessories).

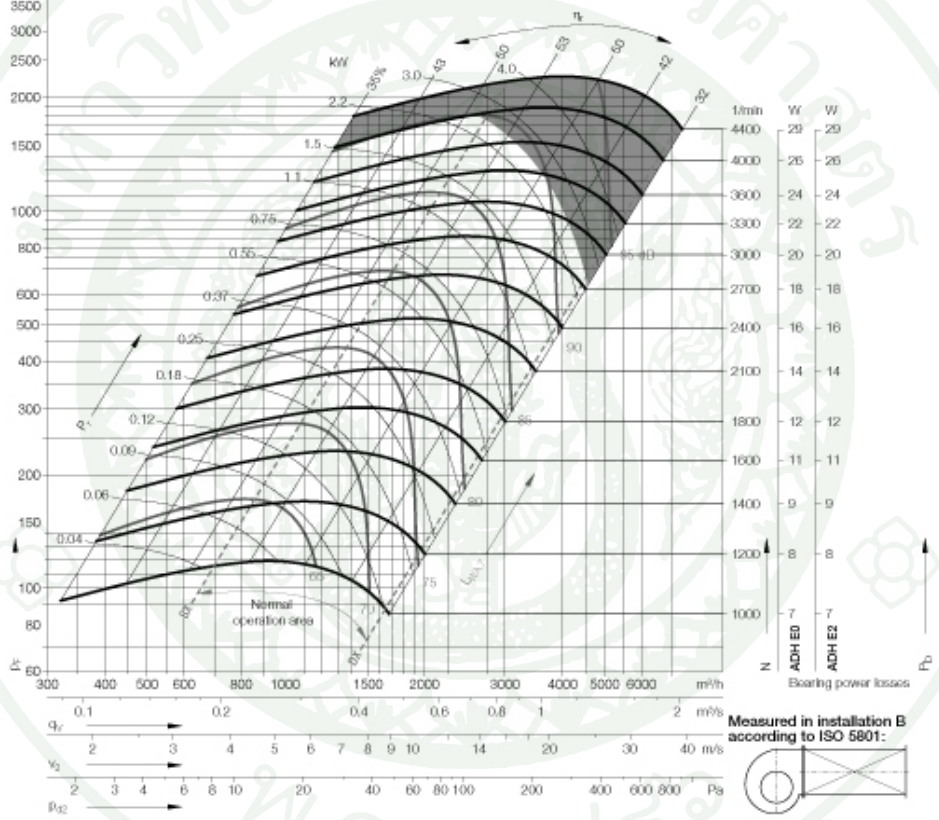
Technical Data

Impeller Data			
Impeller diameter	D_2	180	mm
Number of blades	z	40	
Moment of Inertia	J	0,010	kgm²

Impeller Data			
Impeller weight	m	1,5	kg
Density of media	ρ_1	1,2	kg/m³
Tolerance class (DIN 24166)		2	

Please note coloured area!
- all types suitable
- do not use in this area

Nicotra Gebhardt S.p.A certifies that the fan shown herein is licensed to bear the AMCA Seal.
The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 211 and comply with the requirements of the AMCA Certified Ratings Program. The AMCA Certified Ratings Seal applies to air performance ratings only.

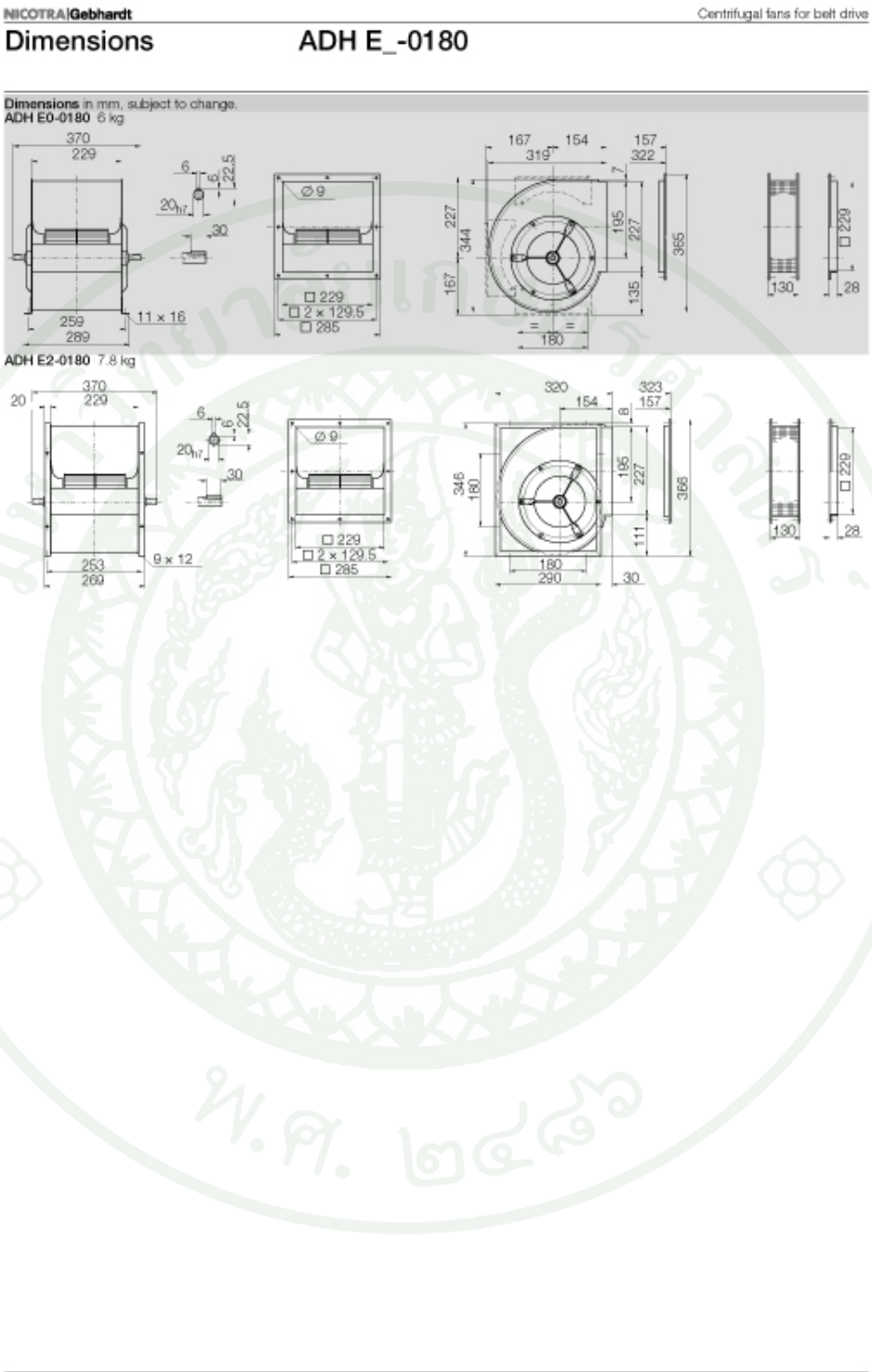


Measured in installation B according to ISO 5801:

Duty point	Speed	ΔL_{WA2}(A)	Relative sound power level for inlet side L_{WA7} at octave centre frequencies f_m									Relative sound power level for discharge side L_{WA4} at octave centre frequencies f_m								
	1/min	dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
SX	3500	3	-9	-7	-2	-5	-9	-7	-7	-10	dB	7	10	5	-1	-5	-5	-8	-11	dB
SX	2400	2	-7	-4	-1	-10	-6	-6	-9	-11	dB	10	8	2	-2	-5	-6	-8	-13	dB
SX	1400	1	-4	1	-7	-6	-5	-6	-9	-14	dB	11	5	0	-4	-4	-7	-10	-16	dB
$q_{V\,opt}$	3500	3	-11	-9	-3	-6	-9	-7	-7	-9	dB	4	9	4	-1	-6	-5	-7	-10	dB
$q_{V\,opt}$	2400	2	-8	-6	-2	-10	-6	-6	-7	-10	dB	8	6	2	-3	-5	-6	-8	-12	dB
$q_{V\,opt}$	1400	1	-6	-1	-8	-6	-5	-6	-9	-14	dB	9	4	-1	-4	-4	-6	-10	-15	dB
DX	3500	2	-19	-15	-8	-10	-10	-6	-6	-6	dB	-5	3	1	-4	-7	-4	-6	-8	dB
DX	2400	1	-17	-12	-7	-13	-7	-6	-6	-8	dB	-1	3	-4	-5	-6	-4	-7	-10	dB
DX	1400	0	-13	-7	-12	-8	-6	-6	-7	-11	dB	4	-2	-5	-6	-4	-7	-9	-13	dB

ภาพผนวกที่ ง8 กราฟแสดงสมรรถนะพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง9 แสดงแบบพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

NICOTRA|Gebhardt

Centrifugal fans for belt drive

Curves
ADH E_-0200

Performance certified is for installation type B - free inlet, ducted outlet..
Power rating (kW) does not include transmission losses.
Performance ratings do not include the effects of appurtenances (accessories).

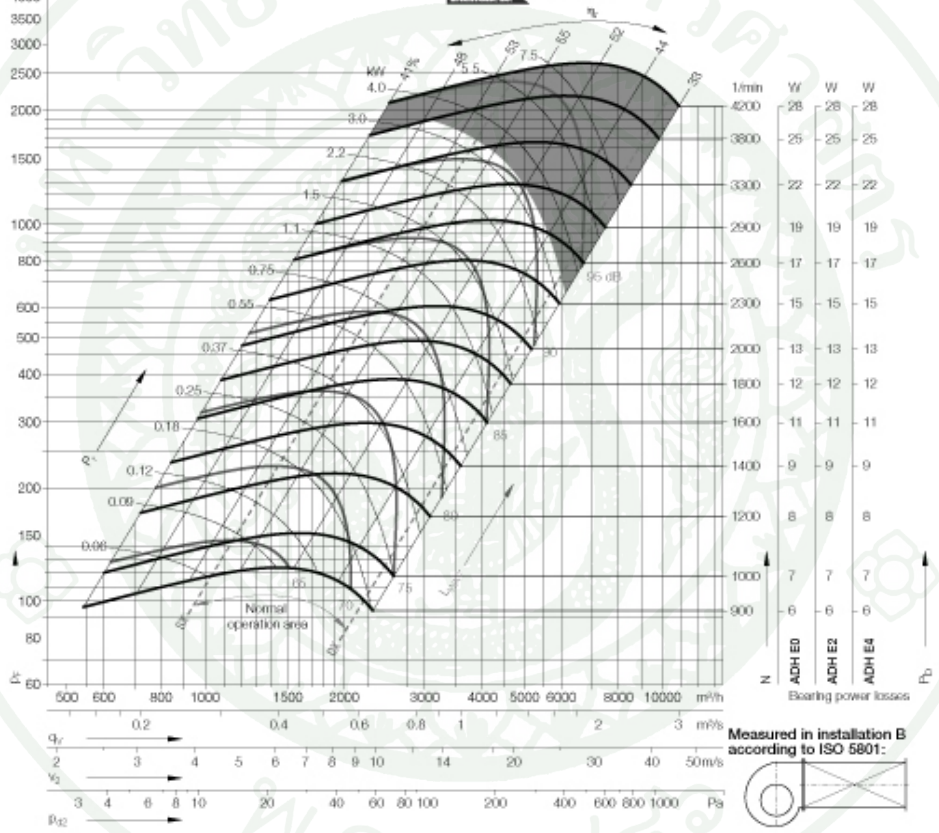
Technical Data

Impeller Data			
Impeller diameter	D_2	200	mm
Number of blades	z	38	
Moment of Inertia	J	0,014	kgm²

Impeller Data			
Impeller weight	m	1,6	kg
Density of media	ρ_1	1,2	kg/m³
Tolerance class (DIN 24166)		2	

Please note coloured area!
- all types suitable
- do not use in this area

Nicotra Gebhardt S.p.A certifies that the fan shown herein is licensed to bear the AMCA Seal.
The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 211 and comply with the requirements of the AMCA Certified Ratings Program. The AMCA Certified Ratings Seal applies to air performance ratings only.

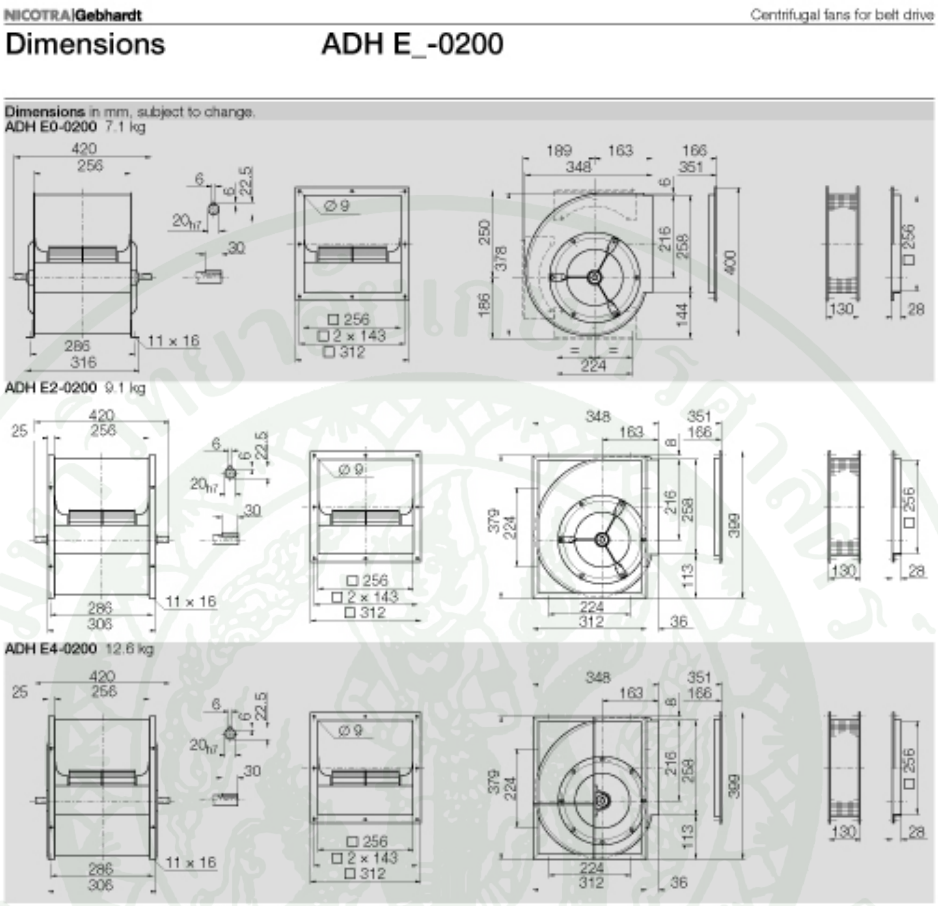


Measured in installation B according to ISO 5801:

Duty point	Speed	ΔL_{WA2}(A)	Relative sound power level for inlet side L_{WA7} at octave centre frequencies f_m									Relative sound power level for discharge side L_{WA4} at octave centre frequencies f_m								
	1/min	dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
SX	3300	2	-11	-9	1	-5	-10	-7	-8	-10	dB	5	8	4	-2	-6	-6	-8	-11	dB
SX	2000	2	-8	1	-2	-9	-6	-7	-8	-13	dB	8	6	2	-4	-4	-7	-8	-14	dB
SX	1200	1	-3	3	-6	-6	-5	-6	-10	-16	dB	8	4	-1	-3	-5	-7	-10	-19	dB
$q_{V\,opt}$	3300	2	-14	-11	-0	-6	-10	-6	-8	-9	dB	3	5	2	-2	-6	-4	-8	-9	dB
$q_{V\,opt}$	2000	2	-11	-0	-3	-9	-6	-7	-7	-12	dB	5	3	1	-5	-3	-7	-7	-13	dB
$q_{V\,opt}$	1200	1	-5	1	-7	-6	-5	-6	-9	-15	dB	5	3	-2	-3	-4	-7	-9	-18	dB
DX	3300	3	-19	-15	-6	-8	-11	-6	-6	-7	dB	-4	2	0	-3	-7	-3	-5	-7	dB
DX	2000	2	-16	-8	-7	-12	-6	-6	-6	-9	dB	-0	2	-2	-6	-3	-5	-6	-9	dB
DX	1200	1	-12	-5	-11	-8	-6	-6	-8	-10	dB	3	-1	-5	-5	-3	-6	-8	-12	dB

ภาพผนวกที่ ง10 กราฟแสดงสมรรถนะพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง11 แสดงแบบพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

NICOTRA|Gebhardt — Centrifugal fans for belt drive

Curves
ADH E_-0225

Performance certified is for installation type B - free inlet, ducted outlet..
Power rating (kW) does not include transmission losses.
Performance ratings do not include the effects of appurtenances (accessories).

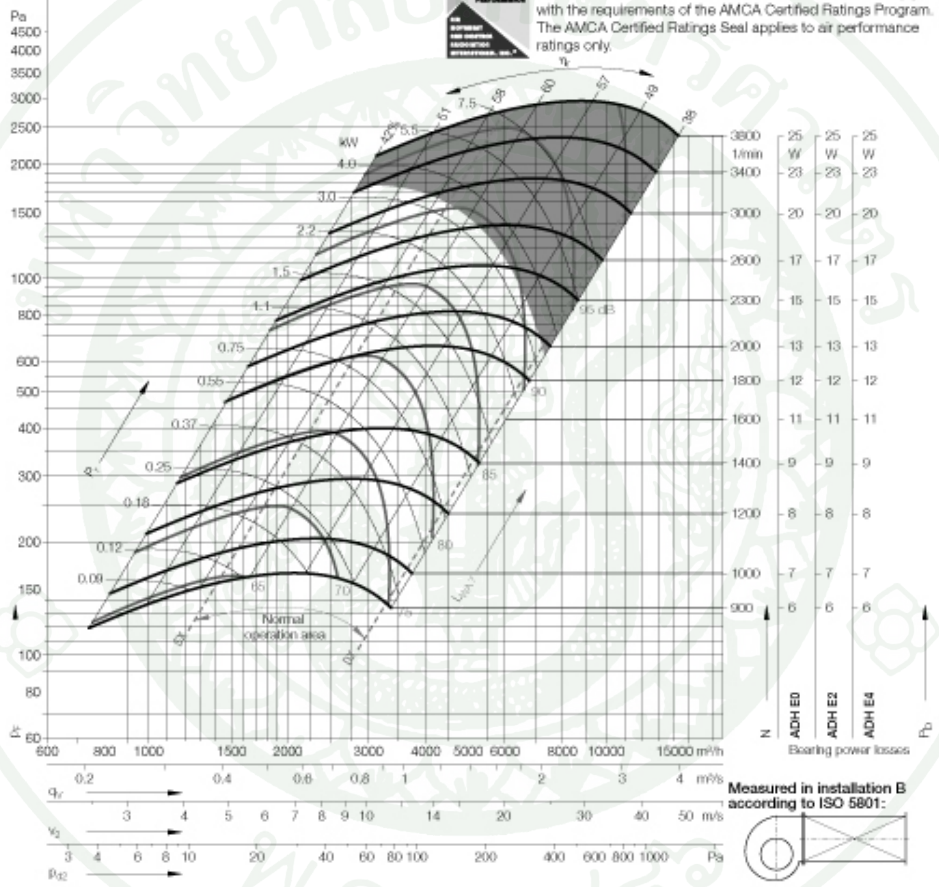
Technical Data

Impeller Data			
Impeller diameter	D_2	225	mm
Number of blades	z	42	
Moment of Inertia	J	0,020	kgm²

Impeller Data			
Impeller weight	m	1,8	kg
Density of media	ρ_1	1,2	kg/m³
Tolerance class (DIN 24166)		2	

Please note coloured area!
all types suitable
do not use in this area

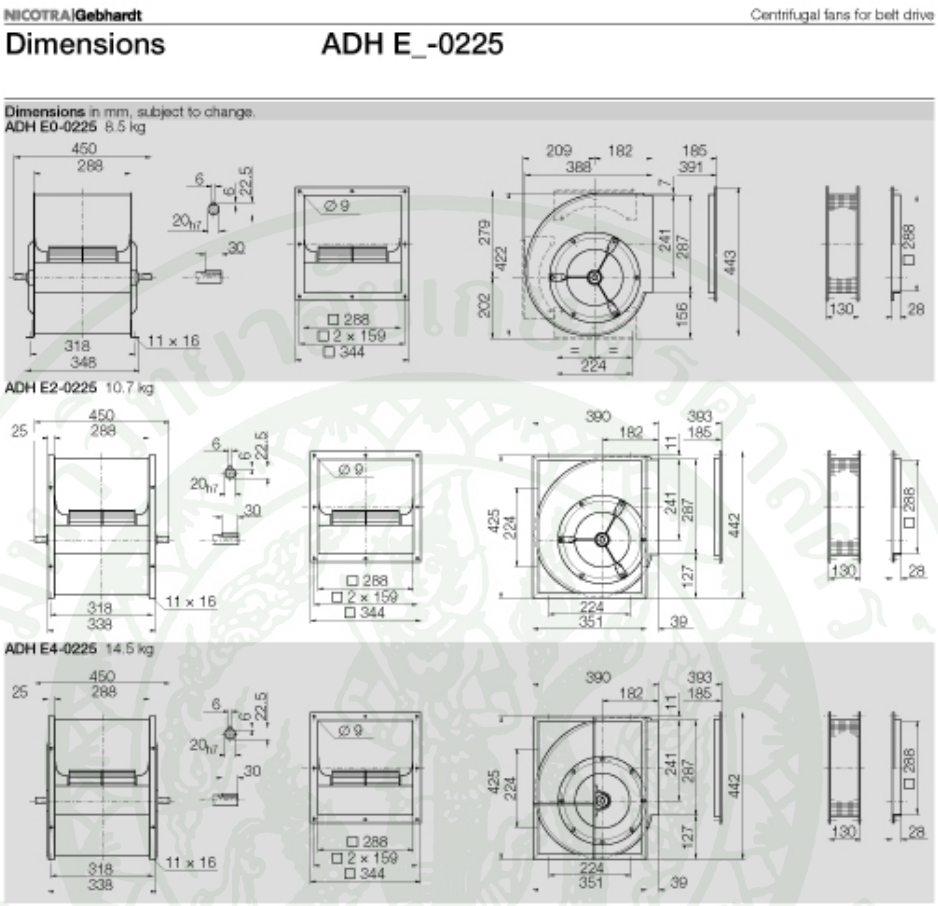
Nicotra Gebhardt S.p.A certifies that the fan shown herein is licensed to bear the AMCA Seal.
The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 211 and comply with the requirements of the AMCA Certified Ratings Program. The AMCA Certified Ratings Seal applies to air performance ratings only.



Duty point	Speed	ΔL_{WA5}(A)	Relative sound power level for inlet side L_{WA7} at octave centre frequencies f_m									Relative sound power level for discharge side L_{WA4} at octave centre frequencies f_m								
	1/min	dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
SX	3000	4	-9	-7	2	-4	-11	-7	-8	-11	dB	6	7	9	-2	-6	-6	-10	-12	dB
SX	1800	2	-7	2	0	-9	-7	-6	-8	-13	dB	8	10	4	-4	-4	-8	-10	-14	dB
SX	1000	1	2	4	-6	-5	-5	-6	-11	-16	dB	12	9	-1	-3	-5	-8	-12	-19	dB
$q_{V\,opt}$	3000	3	-12	-10	1	-5	-11	-6	-8	-9	dB	4	5	8	-2	-6	-4	-9	-10	dB
$q_{V\,opt}$	1800	2	-10	-0	-1	-9	-6	-7	-7	-12	dB	5	8	3	-4	-3	-7	-8	-12	dB
$q_{V\,opt}$	1000	1	-1	2	-7	-5	-5	-6	-10	-15	dB	9	7	-2	-2	-5	-7	-10	-16	dB
DX	3000	3	-16	-14	-7	-6	-11	-6	-7	-7	dB	-1	2	2	-3	-6	-3	-5	-7	dB
DX	1800	2	-15	-9	-5	-11	-6	-7	-6	-8	dB	0	3	-1	-5	-3	-5	-6	-9	dB
DX	1000	1	-10	-4	-10	-7	-6	-6	-8	-11	dB	3	1	-4	-4	-4	-5	-8	-12	dB

ภาพผนวกที่ ง12 กราฟแสดงสมรรถนะพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง13 แสดงแบบพัดลม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายธนาชัย จงสมชัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 พฤษภาคม 2516
สถานที่เกิด	ขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าพนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถานีดับเพลิงบางเขน กองปฏิบัติการดับเพลิง 3 สำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรุงเทพมหานคร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์