ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย | โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาการรั่วไหลของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนเพื่อการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินของห้องเลเซอร์

The Study of Fluorine Gas and Neon Gas Mixture Leakage for Emergency Exhaust Design of Laser Room

นามผู้วิจัย นายสุธีระ วุฒิศักดิ์ไพศาล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

กรรมการ .....

(อาจารย์อนุชา บวรธรรมรัตน์, M.S.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 30 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการรั่วไหลของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนเพื่อการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินของห้องเลเซอร์

The Study of Fluorine Gas and Neon Gas Mixture Leakage for Emergency Exhaust Design of Laser Room

โดย

นายสุธีระ วุฒิศักดิ์ไพศาล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1302-4

สุธีระ วุฒิศักดิ์ไพศาล 2549: การศึกษาการรั่วไหลของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออน เพื่อการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินของห้องเลเซอร์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D. 125 หน้า
ISBN 974-16-1302-4

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาอันตรายของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนรั่วในห้องเลเซอร์, การออกแบบระบบระบายฉุกเฉินและหาเวลาที่ปลอดภัยในการอพยพพนักงานออกจากอาคารผลิตโดยใช้ควันทดสอบการเคลื่อนที่ของอากาศ ร่วมกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulation และ Smokeview เพื่อหาผลที่เกิดขึ้นจากการรั่วของก๊าซตั้งแต่เริ่มต้นจนหมดถัง ทำให้ทราบถึงความเข้มข้นของก๊าซที่ระดับเวลาต่างๆ ผลที่ได้ในเวลา 5 นาที มีค่าความเข้มข้นของก๊าซเหลืออยู่ในห้อง 52.07 ส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม) ซึ่งเป็นอันตรายถึงชีวิตต่อผู้ปฏิบัติงานในห้อง เมื่อคำนวณการที่ก๊าซเริ่มรั่วเข้าสู่ระบบปรับอากาศในสภาพห้องปัจจุบันจะพบว่าที่เวลา 85 วินาที ค่าความเข้มข้นของก๊าซจะมีค่า 23.92 พีพีเอ็ม ซึ่งไม่เกินค่า IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) และเป็นเวลาที่ปลอดภัยในการอพยพพนักงานออกจากพื้นที่ เมื่อเกิดเหตุก๊าซรั่วไหล

ผลที่ได้จากการศึกษาในข้างต้น นำมาออกแบบระบบระบายฉุกเฉินเป็น 6 แบบ โดยการออกแบบที่ 1-3 ใช้ความเร็วลมในการระบายอากาศออก 12.02 เมตรต่อวินาที และหัวระบายอากาศขนาด 30 x 60 เซนติเมตร อยู่ในตำแหน่งริมห้อง, กลางห้อง และเหนือจุดก๊าซรั่ว ตามลำดับ การออกแบบที่ 4-6 ใช้ความเร็วลมในการระบายอากาศออก 1.20 เมตรต่อวินาที และหัวระบายอากาศขนาด 60 x 60 เซนติเมตร อยู่ในตำแหน่งเช่นเดียวกับแบบที่ 1-3 ผลการออกแบบที่ดีที่สุด คือ แบบที่ 2 มีค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เหลือในห้องเพียง 0.99 พีพีเอ็ม หลังจากระบบระบายก๊าซฉุกเฉินทำงานไปได้ 194.16 วินาที และเหลือน้อยที่สุดในห้องเมื่อเวลาผ่านไป 300 วินาที ในขณะที่มีก๊าซที่รั่วเข้าระบบปรับอากาศที่ค่าความเข้มข้น 1.33 พีพีเอ็ม ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่อื่นที่ใช้ระบบปรับอากาศร่วมกันกับห้องที่ก๊าซรั่วไหล

สุธีระ วุฒิศักดิ์ไพศาล
ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

22 / มีค. / 49

Suteera Wuttisakpisan 2006: The Study of Fluorine Gas and Neon Gas Mixture Leakage for Emergency Exhaust Design of Laser Room. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Thongchai Srinophakun, Ph.D.
125 pages.
ISBN 974-16-1302-4

The aim of this study was to explore the dangers of a mixture of fluorine and neon gas mixture leaking into the laser room, the design of emergency exhaust system and the proper safety time in which employees should evacuate the production building by using Smokeview together with the Fire Dynamics Simulation program. This study investigated the effect of gas leakage from a gas cylindrical container and illustrated the gas concentration level. The results at 5 minutes found that the concentration remained at 52.07 ppm (Part Per Million) which still was in the dangerous level to human life. The calculation of gas leakage to the air conditioning system at 85 seconds was a gas concentration of 23.92 ppm which was lower than IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) and could be the evacuation time for employees.

In this study, an emergency exhaust system was proposed into 6 types. The types 1-3 used a velocity for ventilation at 12.02 meters/second and the ventilation grill size of 30x60 centimeters located at the room-side, center of room and above the leakage point; respectively. Design types 4-6 used ventilation velocity at 1.20 meters/second and a ventilation grill size of 60x60 centimeters at the same points as type 1-3. The best design was type 2. In this design, the remaining concentration of gas was 0.99 ppm, after emergency exhaust operated for 194.16 seconds and the lowest concentration remained after 300 seconds. The gas leakage to air conditioning system was 1.33 ppm. This level is considerably safe for other working areas.

Suteera W.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

22 / 03 / 06

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ ประธานที่ปรึกษาที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก อาจารย์อนุชา บวรธรรมรัตน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อซา คุณแม่ซิน แซ่ลิ้ม ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาจนสำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณชนก ปิติปาละ ที่สละเวลาเพื่อช่วยเหลือแนะนำในการใช้โปรแกรมสร้างภาพเสมือนและหลักวิธีคิดจนสามารถนำมาสร้างแบบจำลองตามที่ต้องการได้

ขอขอบคุณ คุณจิรานุช คงสุข คุณพรศิริ มงคลจาตุรงค์ คุณไพรพรรณา โกพลรัตน์ และบริษัทฟาบริเนท ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณวิมลพิศ ชีววิจิตรกุล คุณนงเยาว์ จโนภาส คุณนพคุณ แสนโพธิ์ คุณบรรยงค์ ปั่นเทพ เพื่อนๆ ที่ทำงานทุกท่าน และทุกคนในครอบครัว ตลอดจนพี่น้องชาววิศวกรรมความปลอดภัย รุ่นที่ 4 ทุกท่าน ที่ช่วยในการสนับสนุนข้อมูลวิชาการ เอื้อเฟื้ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล ชี้แนะข้อมูลทางเทคนิค รวมถึงให้กำลังใจในยามที่พบปัญหาและอุปสรรค์จนสามารถสำเร็จลุล่วงได้

สุธีระ วุฒิศักดิ์ไพศาล

มีนาคม 2549

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (3)

สารบัญภาพ (4)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (6)

คำนำ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของงานวิจัย 2

การตรวจเอกสาร 4

ก๊าซฟลูออรีนและอันตรายจากก๊าซฟลูออรีน 4

ข้อมูลความปลอดภัยของฟลูออรีน 5

แบบจำลองการแพร่กระจายของก๊าซ 9

วิธีการควบคุมสิ่งปนเปื้อน 14

ระบบระบายอากาศอุตสาหกรรม 19

อุปกรณ์และวิธีการ 28

อุปกรณ์ 28

วิธีการ 28

ผลการดำเนินการ 30

บันทึกผลข้อมูลของห้องทำงานที่ได้จากเครื่องมือวัด 30

ผลการทดลองเมื่อทดสอบโดยใช้ควัน 31

ผลการทดลองด้วยโปรแกรมสร้างภาพเสมือน 34

ผลการทดลองการออกแบบระบบระบายอากาศ 39

วิจารณ์และข้อเสนอแนะ 47

วิจารณ์ 47

ข้อเสนอแนะ 52

ปัญหาและอุปสรรคของการทำงาน 53

สรุป 54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารและสิ่งอ้างอิง 56
ภาคผนวก 57
ภาคผนวก ก แสดงวิธีการคำนวณ 58
ภาคผนวก ข แสดงการเขียนข้อมูลเพื่อใช้รันโปรแกรม Fire Dynamics Simulator 64
ภาคผนวก ค แสดงข้อมูลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรม 96
ภาคผนวก ง แสดงแผนผังห้องที่ทำการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบการดึงอากาศบริสุทธิ์เข้ามาเจือจางกับการดึงอากาศเสียออกไปข้างนอก	26
2	ผลการออกแบบระบบระบายที่ 1	48
3	ผลการออกแบบระบบระบายที่ 2	49
4	ผลการออกแบบระบบระบายที่ 3	49
5	ผลการออกแบบระบบระบายที่ 4	50
6	ผลการออกแบบระบบระบายที่ 5	50
7	ผลการออกแบบระบบระบายที่ 6	51

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การแพร่กระจายของก๊าซแบบ Plume model	10
2	การแพร่กระจายของก๊าซแบบ Puff model	11
3	การเช็ค Slumping	12
4	ระบบหมุนเวียนอากาศแบบ HVAC	15
5	การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน	21
6	การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวระดับ	22
7	การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวดิ่ง	23
8	ทิศทางการเคลื่อนที่ของควันภายในห้องที่เวลา 0 – 30 วินาที	31
9	การเคลื่อนที่ของควันภายในห้องบริเวณกลางห้อง	32
10	การเคลื่อนที่ของควันภายในห้องบริเวณหัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศ	32
11	ตำแหน่งหัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศ	33
12	แสดงหัวจ่ายอากาศบริเวณใกล้เคียงที่มีท่อชุดเดียวกับห้องที่จำลองการเกิดก๊าซรั่ว	33
13	แสดงห้องที่เขียนและแสดงภาพจากโปรแกรม Smokeview	35
14	แสดงรายละเอียดภายในห้องจากคำสั่ง Outlines ของโปรแกรม Smokeview	35
15	แสดงผลกลุ่ม Particles ของก๊าซที่ช่วงเวลา 0 – 60 วินาที ภายในห้อง	36
16	แสดงความเร็วลมภายในห้องที่เกิดก๊าซรั่วในแนวดิ่งที่ระยะความสูง 1.5 เมตร	37
17	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลาและน้ำหนักของก๊าซก่อนการออกแบบ	38
18	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซก่อนการออกแบบ	38
19	แสดงตำแหน่งของการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 1	39
20	แสดงตำแหน่งของการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 2	40
21	แสดงตำแหน่งของการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 3	41
22	การเปรียบเทียบระหว่างเวลากับน้ำหนักของก๊าซของการออกแบบที่ 1-3	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	การเปรียบเทียบระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซ ของการออกแบบที่ 1-3	42
24	แสดงตำแหน่งการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 4	43
25	แสดงตำแหน่งการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 5	44
26	แสดงตำแหน่งการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 6	44
27	การเปรียบเทียบระหว่างเวลากับน้ำหนักของก๊าซของการออกแบบที่ 4-6	45
28	การเปรียบเทียบระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซ ของการออกแบบที่ 4-6	46

ภาพผนวกที่

1	แสดงตำแหน่งห้องที่ทำการทดลอง	119
2	แสดงเครื่องมือตรวจจับก๊าซฟลูออรีนรั่วที่ใช้ในปัจจุบัน	120
3	แสดงเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ DIGICON Model DA44	121
4	แสดงเครื่องมือตรวจวัดความเร็วลมระบบใบพัด DAVIS Model DA4000	122
5	แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 1	123
6	แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 2	123
7	แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 3	124
8	แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 4	124
9	แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 5	125
10	แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 6	125

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	Area of orifice
Ar	Argon
C	Concentration
C_0	Constant discharge coefficient
C_R	Concentration of Return air
F_2	Fluorine
g_c	Gravitational constant
He	Helium
HF	Hydrofluoric acid
Kr	Krypton
M	Molecular weight
P_0	Absolute pressure leak to out side
Q_m	Instantaneous Mass Flow Rate
Q_v	Instantaneous Flow Rate
R_g	Ideal gas constant
r	Heat capacity ratio
SiF	Silicontetrafluoride
T_0	Temperature of the source
V	Volume

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ASHRAE	American Society of Heating , Refrigerating , and Air – Conditioning Engineers
BEI	Biological Exposure Indices
EPA	Environmental Protection Agency
HVAC	Heat Ventilating and Air condition
IAQ	Indoor Air Quality
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
NIOSH	The National Institute for Occupational Safety and Health

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

NIST	National Institute of Standard and Technology
OSHA	U.S. Department of Labor Occupational Safety & Health Administration
PEL-TWA	Permissible Exposure Limits-Time Weight Average
ppm	Part per million
REL-TWA	Recommended Exposure Limits- Time Weight Average
SAR	Supplied Air Respirator
SCBA	Self-Contained Breathing Apparatus
Stand.62-1999	Standard: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
TLV-TWA	Threshold Limit Value-Time Weight Average
TLV-STEL	Threshold Limit Value-Short Term Exposure Limits

การศึกษาการรั่วไหลของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนเพื่อการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินของห้องเลเซอร์

The Study of Fluorine Gas and Neon Gas Mixture Leakage for Emergency Exhaust Design of Laser Room

คำนำ

ในปัจจุบันแสงเลเซอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพที่โดดเด่นในการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การรับและส่งสัญญาณด้วยลำแสงเลเซอร์ ซึ่งจะมีความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลที่รวดเร็วยิ่งขึ้น และมีการสูญเสียในการรับและส่งสัญญาณน้อย หรือใช้ในการสลักผิวโลหะ เพื่อให้ได้รูปแบบตามต้องการแม้กระทั่งการใช้ลำแสงเลเซอร์ในวงการแพทย์ในเรื่องของศัลยกรรมความงาม และการผ่าตัดด้วยลำแสงเลเซอร์และอื่นๆ อีกมากมายที่มนุษย์ใช้ประโยชน์จากแสงเลเซอร์ ดังนั้นเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์จึงเป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการผลิตแสงเลเซอร์เพื่อใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ของมนุษย์

การทำให้เกิดแสงเลเซอร์โดยเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีชื่อว่า The PulseMaster® PM-800 นั้นจำเป็นต้องมีองค์ประกอบ คือ Rare gas, Halogen, Buffer, Compressed air ในการทำให้เกิดแสง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Rare gas ประกอบด้วย Argon (Ar) ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.998 % กับ Krypton (Kr) ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.995 %

- Halogen ประกอบด้วย Fluorine (F_2) 3 % ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 98.0 % ผสมกับ Neon 97 % ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.995 %

- Buffer ประกอบด้วย Helium (He) ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.995 %

ด้วยองค์ประกอบที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ขึ้นมานั้น จะเห็นว่ามีความอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานอยู่ได้แก่ ฟลูออรีน ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่มีฤทธิ์กัดกร่อนและมีค่า TLV-TWA (Threshold Limit Value – Time Weighted Average) ของ ACGIH ที่ 1 พีพีเอ็ม ซึ่งตั้งอยู่ในห้องที่ผลิตแสงเลเซอร์ และอยู่ในระบบปรับอากาศรวมของอาคาร ดังนั้นเมื่อเกิดการรั่วไหลของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนนี้ พนักงานที่ทำงานอยู่ ณ จุดที่มีก๊าซอยู่จึงอาจเกิดความเสี่ยงอันตรายจากการรั่วไหลของก๊าซนี้

การทำงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้นเมื่อก๊าซฟลูออรีนรั่วในระบบปรับอากาศที่มีต่อพนักงานฝ่ายผลิต ทั้งในห้องกำเนิดแสงเลเซอร์และพนักงานที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงที่ระบบปรับอากาศจ่ายอากาศไปถึง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำแผนอพยพฉุกเฉินเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่

<u>วัตถุประสงค์ของงานวิจัย</u>

1. เพื่อศึกษาระดับอันตรายเมื่อเกิดก๊าซฟลูออรีนรั่วในระบบปรับอากาศ โดยใช้การคำนวณน้ำหนักของก๊าซที่รั่วเข้าในระบบปรับอากาศ

2. เพื่อสามารถกำหนดระยะเวลาที่ปลอดภัยในการอพยพพนักงานออกจากพื้นที่การรั่วของก๊าซฟลูออรีนที่ผสมในก๊าซนีออน

3. เพื่อการออกแบบระบบระบายอากาศ สำหรับการนำก๊าซออกจากห้องที่เกิดการรั่วไหล

<u>ขอบเขตของงานวิจัย</u>

1. ศึกษาเฉพาะกรณีรั่วของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนที่อยู่ในถัง และมีการผสมกับระบบปรับอากาศ ที่ใช้ร่วมกันกับห้องผลิตลำแสงเลเซอร์ที่มีก๊าซรั่วภายในบริษัท ฟาบริเนท จำกัด เท่านั้น

2. หาระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยคือ 1 พีพีเอ็ม ตามมาตรฐาน ACGIH และระยะเวลาที่ปลอดภัยในการอพยพพนักงานออกจากพื้นที่ จากการรั่วของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออน

3. ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (Version 4.05) จำลองสภาพการรั่วไหลเป็นแบบร้ายแรงที่สุดโดยใช้ข้อมูลของก๊าซไนโตรเจนแทนอากาศในระบบปรับอากาศที่จ่ายให้ห้องเลเซอร์ที่สมมติเหตุก๊าซรั่ว และใช้ข้อมูลของก๊าซอาร์กอนทั้งนี้เนื่องจากมีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกันแทนก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนที่รั่วออกมา

การตรวจเอกสาร

ก๊าซฟลูออรีนและอันตรายจากก๊าซฟลูออรีน

ก๊าซฟลูออรีน (F_2) ฟลูออไรด์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ฟลูออรีน ชื่อสามชื่อนี้มีความเกี่ยวโยงกัน "ฟลูออรีน" เป็นธาตุ มีสถานะเป็นก๊าซ ฟลูออไรด์และไฮโดรเจนฟลูออไรด์ คือ สารประกอบที่มีฟลูออรีนจับกับธาตุอื่น เมื่อจับกับไฮโดรเจนจะเป็นไฮโดรเจนคลอไรด์ซึ่งเป็นก๊าซ เมื่อก๊าซนี้ละลายน้ำก็กลายเป็นกรดไฮโดรฟลูออริก เรามักได้ยินคำโฆษณายาสีฟันยี่ห้อโน้นยี่ห้อนี้ว่าสามารถป้องกันฟันผุได้ เพราะผสมฟลูออไรด์ในน้ำยาบ้วนปากก็ผสมฟลูออไรด์ ในบางท้องถิ่นที่น้ำมีฟลูออไรด์ปริมาณต่ำ อาจมีการเติมฟลูออไรด์ลงไปเพื่อช่วยป้องกันฟันผุปกติสารประกอบ

ฟลูออไรด์นั้นมีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ ไม่มีอันตรายอยู่แล้ว แต่ถ้าได้รับมากเกินไปก็ไม่ดี เด็กที่ฟันกำลังขึ้น และได้รับฟลูออไรด์มากเกินไปฟันจะตกกระ ส่วนในผู้ใหญ่ถ้าได้รับฟลูออไรด์มากเกินไป นานเข้าจะสะสมที่กระดูก เกิดอาการปวดตามข้อ เคลื่อนไหวได้ลำบาก ดังนั้นทุกอย่างจะต้องมีความพอดี ฟลูออรีนเป็นก๊าซที่อยู่ในหมู่ธาตฮาโลเจน หมู่ธาตุฮาโลเจน ได้แก่ ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน และแอสทาทีน เป็นธาตุหมู่ 7 ในตารางธาตุที่มีพิษและมีกลิ่นแรงโมเลกุลของธาตุฮาโลเจน ประกอบด้วย 2 อะตอม เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะจะได้เกลือฮาโลเจนไอออน มีประจุลบหนึ่งสารประกอบฟลูออรีนในธรรมชาติที่มีมากที่สุด อยู่ในรูปของแร่ฟลูออไรด์ (แคลเซียมฟลูออไรด์) ไอโอดีนพบในทะเลและเคยสกัดได้จากสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่ง โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยฟลูออรีนปะปนเข้าสู่บรรยากาศนั้น มีโรงงานทำอลูมิเนียม ทำอิฐจากดินชนิดต่างๆ ถลุงเหล็ก ทำปุ๋ยเคมี และเคมีภัณฑ์ประเภทฟอสเฟต เป็นต้น จะเห็นได้ว่าสารประกอบฟลูออรีนนั้นได้ใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นโอกาสที่สารประกอบฟลูออรีนจะสะสมอยู่ในอากาศจึงมีมากขึ้นด้วย

อาการแพ้พิษฟลูออรีนชนิดเฉียบพลัน ในกรณีที่ได้รับฟลูออรีนเป็นจำนวนมาก มักจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร น้ำหนักลดอย่างรวดเร็ว อ่อนเพลีย สุขภาพทรุดโทรม ท้องเดิน กล้ามเนื้ออ่อนเปลี้ยและตายในที่สุด ถ้าทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของกระดูกจะพบฟลูออรีนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก และถ้าทำการตรวจปัสสาวะจะพบฟลูออรีนเป็นจำนวนมากเช่นกัน อาการแพ้พิษฟลูออรีนชนิดเรื้อรังในกรณีที่ได้รับฟลูออรีนในปริมาณไม่มากนักก็จะเกิดการสะสมของฟลูออรีนไว้ในร่างกายทีละน้อย จะทำให้เกิดความเสียหายและข้อบกพร่อง

ขึ้นกับระบบโครงกระดูกและฟัน สำหรับความผิดปกติของฟันเกิดขึ้น โดยเคลือบฟันจะมีลักษณะเป็นจุดสีขาวขุ่นๆ ซึ่งเดิมมีลักษณะใส นอกจากนี้ยังทำให้ฟันไม่แข็งแรงเท่าที่ควร ฟันจึงมักชำรุดแตกบิ่นง่าย ส่วนในระบบโครงกระดูกอาการที่พบคือ กระดูกจะเจริญเร็วมาก ซึ่งอาจจะสังเกตได้จากกระดูกขา กราม กระดูกซี่โครง ขากระเผลก เดินลำบาก ซึ่งเป็นผลจากการเจริญมากเกินไปของกระดูก หรือเกิดจากที่หินปูนไปจับกับเอ็นและข้อต่อของขา จึงทำให้ขาแข็ง ซึ่งอาการเหล่านี้จะเป็นอาการแบบถาวร ฟลูออรีนเข้าปะปนอยู่ในบรรยากาศได้ 2 สถานะ คือ

1. ในรูปของก๊าซ เช่น ไฮโดรฟลูออริกแอซิด (Hydrofluoric acid) (HF) ซิลิคอนเตต้าฟลูออไรด์ (Silicontetrafluoride)(SiF)

2. ในรูปของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เช่น โซเดี่ยมอลูมิเนียมฟลูออไรด์ (Sodium aluminium fluoride), เอพาไตต์ (Apatite), แคลเซียมฟลูออไรด์ (Calcium fluoride), ไอออนฟลูออไรด์ (Iron fluoride)

ข้อมูลความปลอดภัยของฟลูออรีน (Material Safety Data Sheet)

มีสูตรทางเคมีว่า F_2 มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) เท่ากับ 38 มี UN number1045 การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม ใช้เป็นสารออกซิไดซิ่งอย่างแรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับจรวด อุตสาหกรรมผลิตฟลูออไรด์ ฟลูออโรคาร์บอนและสารเคมีอื่นๆ ฟลูออรีนเหลวใช้เป็นสารทำความเย็น ลักษณะสีและกลิ่น (Appearance Colour and Odor) เป็นก๊าซในสภาวะปกติหรือเป็นของเหลวเมื่ออยู่ภายใต้ความดัน มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุนรุนแรง มีจุดเดือด (Boiling Point) - 188 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลว (Melting Point) - 220 องศาเซลเซียส มีความดันไอ (Vapour Pressure) มากกว่า 1 บรรยากาศ มีความหนาแน่นไอ (Vapour Density) 1 บรรยากาศที่ 21.1 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นกรด และเป็นสารเคมีจำพวกก๊าซที่ไม่ไวไฟแต่เป็นสารออกซิไดเซอร์อย่างแรง

ด้านอันตรายจากไฟและการระเบิด (Fire and Explosion Hazard) ปกติแล้วฟลูออรีนทั้งในรูปของก๊าซและของเหลวเป็นสารไม่ติดไฟ แต่ไม่ควรใช้น้ำในการดับเพลิงเนื่องจากอาจทำให้เกิดก๊าซที่เป็นพิษได้ ควรระวังภาชนะที่บรรจุสารเคมี ซึ่งอาจระเบิดขณะเกิดอัคคีภัยได้

สารที่ใช้ในการดับเพลิง (Extinguishing Media) ไม่ควรใช้น้ำในการดับเพลิง เนื่องจากอาจทำให้เกิดก๊าซที่เป็นพิษได้ เลือกใช้สารดับเพลิงที่เหมาะสมกับวัสดุติดไฟรอบๆ ข้าง ไม่ควรใช้สารเคมีประเภทคาร์บอนไดออกไซด์หรือสารเคมีอื่นๆ ในการดับเพลิง แต่ควรใช้วิธีการกำจัดต้นกำเนิดที่ปล่อยก๊าซฟลูออรีนออกมา วิธีปฏิบัติในการดับเพลิง (Fire Fighting Procedures) ผู้ทำหน้าที่ดับเพลิงควรได้รับการฝึกฝนหรือผ่านการอบรมในการดับเพลิงจากสารเคมีมาเป็นอย่างดี รวมทั้งได้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลครบถ้วน การดับเพลิงที่เกิดจากฟลูออรีนทำได้เพียงการตัดต้นกำเนิดของฟลูออรีน และไม่ควรใช้น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์หรือสารเคมีอื่นๆ ในการดับเพลิง เนื่องจากจะเป็นการเพิ่มสารเคมีหรือเชื้อเพลิงในการเกิดอัคคีภัยก๊าซฟลูออรีนมีความเป็นเสถียร สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง (Conditions to Avoid) สถานที่ที่มีน้ำ ไอน้ำ ความร้อนสูง และเปลวไฟ

สารที่ต้องหลีกเลี่ยง (Materials to Avoid) ได้แก่ น้ำและสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่ เช่น เบนซีนเอทธิลแอลกอฮอล์ สารประเภทโบรมีน ไอโดไดด์ ซัลเฟอร์ (กำมะถัน) โลหะบางประเภท (เช่น โซเดียม โปแตสเซียม) กรดไนตริก โฮโดรเจน และซิลิคอนไดออกไซด์

การเกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reactivity) ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงและอาจทำให้เกิดการระเบิดได้เมื่อสัมผัสกับน้ำและสารอินทรีย์บางประเภทรวมทั้งสารที่ควรหลีกเลี่ยงตามที่กล่าวมา มีฤทธิ์กัดกร่อนและระคายเคืองเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด

สารอันตรายที่เกิดจากการสลายตัวและการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่น (Hazardous Decomposition and Polymerization Products) จะให้สารที่สลายตัวจากการเกิดอัคคีภัย ได้แก่ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ และออกซิเจนไดฟลูออไรด์

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายต่อสุขภาพ (Health Hazard Data) จะเข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ การสัมผัสและการกิน จะมีอันตรายเฉียบพลัน (Acute Effects) คือ ทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง ผิวหนังไหม้ เนื้อตาย แผลเป็นหากสัมผัสถูกผิวหนัง มีการระคายเคืองตา เกิดแผลไหม้และอาจทำให้ตาบอดได้ หากสัมผัสถูกดวงตา ทางการหายใจจะทำให้มีผลระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ จมูกและลำคอ ปอด ทำให้ปอดบวมน้ำ ปอดอักเสบ มีการไอ น้ำตาไหล เจ็บหน้าอก หายใจหอบ มีการหลั่งของน้ำลายและเสมหะมากขึ้นและอาจถึงแก่ชีวิตได้ และจะมีอันตรายเรื้อรัง (Chronic Effects) คือ ฟลูออรีนจะสะสมในกระดูกและฟันทำให้เกิดโรคกระดูกผุ

ซึ่งจะสังเกตได้จากการเอ็กซ์เรย์กระดูกเพื่อตรวจสอบความหนาแน่นของกระดูก และอาจมีผลถึงทำให้พิการได้ และมีผลเรื้อรังในการทำลายตับและไตมีเลือดออกในจมูกและเป็นไซนัสและอาจมีผลรบกวนการทำงานของระบบย่อยอาหาร เช่น มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน สูญเสียความอยากอาหาร ท้องร่วง ท้องผูก แต่ผลดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้น หากใช้ฟลูออรีนเติมลงในน้ำดื่มเพื่อป้องกันโรคฟันผุ

การปฐมพยาบาล (First Aid) เมื่อถูกผิวหนังให้รีบล้างสารเคมีออกจากผิวหนังโดยใช้น้ำปริมาณมากๆ ล้างอย่างต่อเนื่อง หากมีแผลไหม้ที่ผิวหนัง อาจใช้เจลของแคลเซียมกลูโคเนท (Calcium gluconate gel) หรือกลีเซอรีน (Glycerine) ทาบริเวณแผลไหม้ จากนั้นให้พาผู้ป่วยไปพบแพทย์ และเมื่อเข้าตาผู้ปฏิบัติงานกับฟลูออรีนไม่ควรสวมใส่คอนแทคเลนส์ และหากเคมีเข้าตาหรือเกิดการระคายเคืองตา ให้รีบล้างสารเคมีออกจากตาโดยรินน้ำให้ไหลผ่านตาเอาสารเคมีออก ล้างตาอย่างต่อเนื่องนานอย่างน้อย 30 นาที ระหว่างนั้นเปิดเปลือกตาบน-ล่างเป็นครั้งคราว เพื่อให้สารเคมีออกให้หมด หลังจากนั้นหากยังมีอาการระคายเคืองตาอยู่ให้รีบพาผู้ป่วยไปพบแพทย์ ทางด้านการสัมผัสโดยการหายใจเข้าไป ให้รีบนำผู้ป่วยออกจากบริเวณไปยังที่มีอากาศบริสุทธิ์ ให้ทำการผายปอดช่วยหายใจ หากผู้ป่วยไม่หายใจและให้พักผ่อนในท่าทางที่สบาย แล้วรีบนำไปพบแพทย์เพื่อสังเกตอาการต่ออีก 24 - 48 ชั่วโมง เนื่องจากอาการของปอดบวมน้ำอาจเกิดภายหลังจากการสัมผัส ข้อแนะนำเพิ่มเติมในการรักษาพยาบาล ควรรีบออกจากบริเวณที่มีก๊าซนี้รั่วไหล – รีบล้างบริเวณที่สัมผัสสารนี้ด้วยน้ำสะอาด – การนำส่งผู้สัมผัสสารนั้น ควรบอกชนิดของสารเคมีที่ได้รับนั้นให้แพทย์ทราบด้วย ค่ามาตรฐานความปลอดภัย (Exposure Standard) ต่างๆ จากหลายหน่วยงาน ดังนี้

1. ประกาศกระทรวงมหาดไทย ที่ 0.1 พีพีเอ็ม (0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

2. ACGIH ที่ TLV-TWA = 1 พีพีเอ็ม TLV- STEL = 2 พีพีเอ็ม

3. OSHA ที่ PEL-TWA = 0.1 พีพีเอ็ม (0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

4. NIOSH(1997) : REL-TWA = พีพีเอ็ม (0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร) IDLH = 25 พีพีเอ็ม ค่ามาตรฐานความปลอดภัยทางชีวภาพ (BEI) ของ ACGIH (1996) สำหรับฟลูออไรด์ (Fluorides) ระดับความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในปัสสาวะ

- ตรวจก่อนกะของการทำงาน มีค่า 3 มิลลิกรัม/กรัม creatinine

- ตรวจภายหลังกะของการทำงาน มีค่า 10 มิลลิกรัม/กรัม creatinine

การป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protection) หากระดับของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานสูงกว่าค่าที่อนุญาตให้มีได้ (0.1พีพีเอ็ม) ให้สวมหน้ากากป้องกันอันตรายส่วนบุคคลชนิดที่ครอบเต็มหน้าซึ่งมีท่อส่งอากาศช่วยหายใจ (SAR) หรือถังอากาศแบบพกพา (SCBA) และได้ปรับความดันภายในหน้ากากให้สูงกว่าภายนอก - หากระดับของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานสูงถึงระดับ 25 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นระดับที่มีอันตรายต่อสุขภาพในทันที (IDLH) ให้ใช้หน้ากากแบบครอบเต็มหน้า ซึ่งมีถังอากาศแบบพกพา (SCBA) พร้อมทั้งปรับให้มีถังอากาศไหลอย่างต่อเนื่องหรือให้มีความดันภายในหน้ากากสูงกว่าภายนอกและสวมถุงมือยาง พลาสติก ป้องกันการซึมผ่านของสารเคมี ควรสวมแว่นครอบตาป้องกันสารเคมี เว้นแต่ได้สวมหน้ากากแบบครอบเต็มหน้าไว้แล้ว สวมรองเท้านิรภัย ชุดเสื้อผ้าป้องกันสารเคมี พร้อมจัดให้มีอ่างน้ำล้างตาฉุกเฉินสำหรับล้างหน้า ล้างตา มีที่อาบน้ำ ไว้ใช้ในกรณีฉุกเฉิน

มาตรฐานการเฝ้าระวังทางสุขภาพ (Health Surveillance) ตรวจสุขภาพทั่วไปและตรวจสุขภาพพิเศษ ได้แก่ ตรวจปอด ตรวจหัวใจ ตรวจเลือดและปัสสาวะ ตรวจการทำงานของตับและไต และตรวจระดับความเข้มข้นของเมตาโบไลท์ของสารเคมีในร่างกาย เช่น ตรวจระดับความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในปัสสาวะในช่วงแรกเข้าและตรวจเป็นประจำทุกปี

การควบคุมทางวิศวกรรม (Engineering Control) ควรจัดให้มีระบบระบายอากาศทั้งแบบเฉพาะแห่งและแบบทั่วไปหรือใช้กระบวนการปิด (Enclosure) ในการปฏิบัติงานกับสารเคมี โลหะส่วนใหญ่จะสร้างฟลูออไรด์ฟิล์ม (Fluoride film) ขึ้น เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของฟลูออรีนในระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 204 องศาเซลเซียส แต่หากอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจต้องเลือกใช้ Monel (R) หรือโลหะนิเกิลหรือเทฟลอน (R) เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี

การขนย้ายและการจัดเก็บ (Handing and Storage) ควรจัดเก็บในภาชนะที่มีที่ปิดมิดชิดตั้งไว้ในที่ปลอดภัยต่อแรงกระแทก ห่างจากแหล่งความร้อนและเปลวไฟ น้ำ และไอน้ำ โดยอุณหภูมิในที่จัดเก็บไม่ควรสูงเกิน 52 องศาเซลเซียส หากเป็นหลอดแก้วเก็บก๊าซควรตั้งตรงป้องกันการล้มและจัดเก็บเรียงตามลำดับใช้งานก่อน-หลัง รวมทั้งจัดเก็บแยกจากสารที่ต้อง

หลีกเลี่ยง- การขนย้ายหรือถ่ายเทสารเคมีไปใช้งาน ควรทำในที่มีการระบายอากาศที่ดี ไม่ควรลากหรือกลิ้งท่อบรรจุก๊าซหมั่นตรวจเช็ควาล์วปิด - เปิด อยู่เสมอ และปิดวาล์วให้แน่นหากยังไม่ใช้งาน ไม่ควรใช้วิธีการใดๆ ที่ทำให้เกิดความร้อนสูงแก่ท่อบรรจุก๊าซ การรั่วและการหก (Spill and Leak Procedure) จำกัดบริเวณโดยอนุญาตให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเท่านั่นที่สามารถผ่านเข้า-ออก ในพื้นที่ได้ จนกว่าจะทำการเก็บกวาดเรียบร้อย จัดให้มีการระบายอากาศในบริเวณที่สารเคมีรั่ว/หก เพื่อช่วยกระจายความเข้มข้นของก๊าซ ให้หยุดการรั่วไหลของก๊าซหากทำได้โดยปลอดภัย แต่หากไม่สามารถทำได้อาจต้องนำท่อบรรจุก๊าซที่รั่วนั้นไปยังสถานที่เปิดและปล่อยก๊าซรั่วออกจนหมดถังในสถานที่ซึ่งปลอดภัยเพียงพอ แต่หากเป็นสารเคมีในรูปของเหลวรั่ว/หก เล็กน้อย ให้ปล่อยให้ระเหยจนหมด แต่ถ้ามีบริเวณมากให้ตามหน่วยฉุกเฉิน หรือผู้มีความเชี่ยวชาญมาจัดการ

แบบจำลองการแพร่กระจายของก๊าซ (Source Model For Vapors)

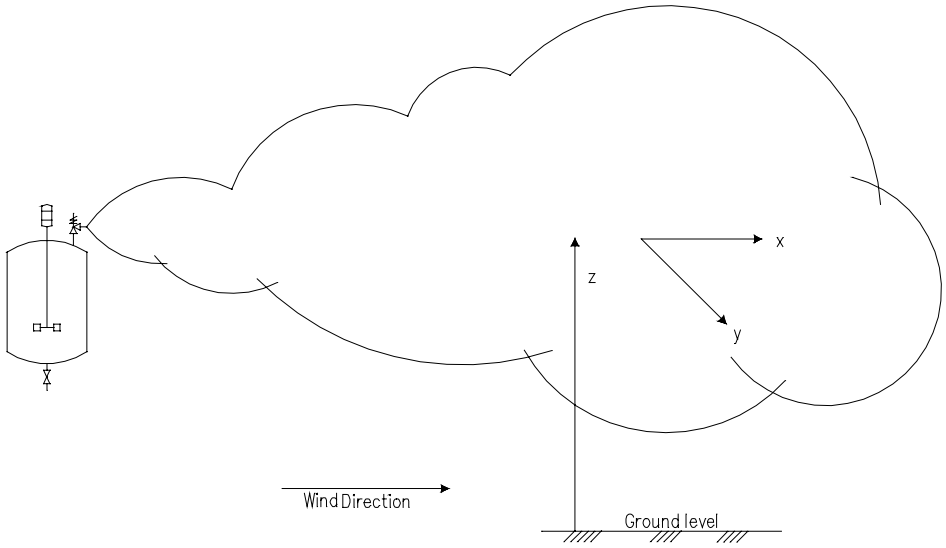
แบ่งได้เป็นสองแบบ คือ

1. Neutrally buoyant gas dispersion model

2. Dense gas dispersion model

1. Neutrally buoyant gas dispersion model

เป็นการแพร่กระจายของก๊าซที่ลอยขึ้นตามธรรมชาติ จะเกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นของก๊าซที่รั่วเท่ากันหรือเบากว่าความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งจะมีลักษณะการแพร่กระจายของก๊าซเป็น 2 แบบ คือ การแพร่แบบต่อเนื่อง (Plume model) และการแพร่กระจายแบบเป็นกลุ่มก้อน (Puff model)



<u>ภาพที่ 1</u> การแพร่กระจายของก๊าซแบบ Plume model

ที่มา: Louvar (1998)

การแพร่กระจายแบบ Plume model ถูกพัฒนาโดย Pasquill และ Gifford ซึ่งมีสมมติฐานพื้นฐานที่แน่นอนดังสมการ

$$C(x,y,z) = \frac{Qm}{2\pi\sigma_y\sigma_z u}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right]+\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\} \quad (1)$$

เมื่อ C (x,y,z) คือระดับความเข้มข้นใน Plume ที่ตำแหน่ง x,y,z มีหน่วยเป็น mass/length ^{2}

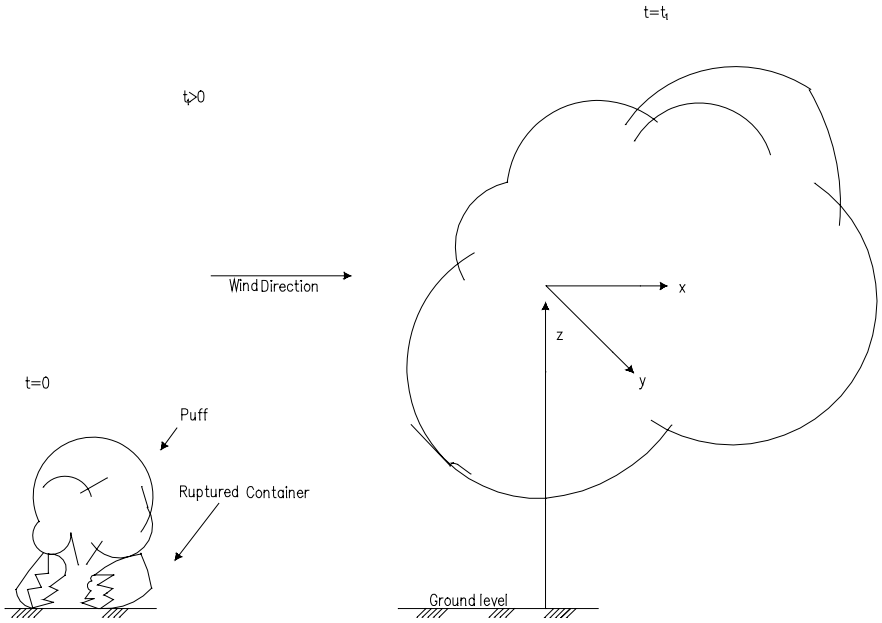
x,y,z เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็น length

Q_m เป็นแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็น mass/time

σ_x, σ_y เป็นการแพร่กระจายของก๊าซที่มีผลมีหน่วยเป็น length

u เป็นความเร็วลมมีหน่วยเป็น length/time

H_r เป็นความสูงของจุดที่รั่วมีหน่วยเป็น length



<u>ภาพที่ 2</u> การแพร่กระจายของก๊าซแบบ Puff model

ที่มา: Louvar (1998)

การแพร่กระจายแบบ Puff model เป็นการแพร่กระจายของก๊าซแบบกลุ่มก้อนทันที ทันใด รวมถึงถังและท่อก๊าซต่างๆ ซึ่งสามารถหาค่าความเข้มข้นของก๊าซที่จุดพื้นได้จากสมการดังนี้

$$C(x,y,z,t) = \frac{Q^{*}m}{(2\pi)\sigma_x\sigma_y\sigma_z}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right]+\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\} \quad (2)$$

เมื่อ $Q^{*}m$ แหล่งกำเนิดของการแพร่กระจายแบบทันทีทันใดมีหน่วยเป็น mass
การแพร่กระจายที่มีผลแบบทันทีทันใดนี้ Pasquill-Gifford กำหนดให้เคลื่อนที่ไปตามลมที่ระดับพื้นและสามารถหาจุดศูนย์กลางของ Puff ได้จากสมการ x = ut เมื่อ

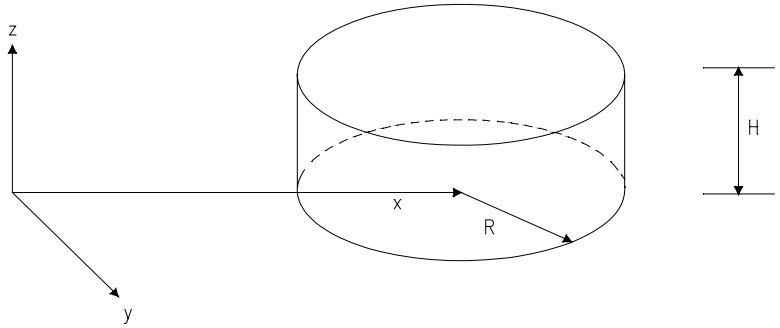
x เป็นจุดศูนย์กลางที่พื้นของ Puff จากแหล่งที่รั่วมีหน่วยเป็น length

u เป็นความเร็วลมมีหน่วยเป็น length/time

t เป็นเวลาหลังจากที่แหล่งกำเนิดได้รั่วออกมาแล้วมีหน่วยเป็น time

2. <u>Dense gas dispersion model</u>

เป็นการแพร่กระจายของก๊าซที่มีมวลโมเลกุลหนักกว่ามวลโมเลกุลของอากาศ ซึ่งจะเป็นผลทำให้ก๊าซตกลงบนพื้นซึ่งสามารถเช็คได้ว่าก๊าซที่รั่วออกมาเป็น Dense Gas หรือไม่โดยใช้สมการ



<u>ภาพที่ 3</u> การเช็ค Slumping

ที่มา: Louvar (1998)

แบบ Pulme model $$\left(\frac{g_0 V'_0}{u^3 D_i}\right)^{1/3} \geq 0.15 \qquad (3)$$

ถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่า 0.15 จะเป็น Dense Gas

แบบ Puff model $$\left(\frac{g_0 V_0}{u D_i}\right)^{1/2} \geq 0.2 \qquad (4)$$

ถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่า 0.2 จะเป็น Dense Gas

ถ้าค่าที่คำนวณได้น้อยกว่า 0.15 และ 0.2 สำหรับ Pulme และ Puff model ตามลำดับจะเป็นลักษณะการแพร่กระจายของก๊าซแบบ Neutrally buoyant ซึ่งสามารถหาคุณสมบัติเฉพาะตัวได้จากสมการ

$$g_0 = \frac{g(\rho_e - \rho_a)}{\rho_a} \tag{5}$$

เมื่อ g_0 เป็นการเริ่มต้นลอยตัวของก๊าซมีหน่วยเป็น m/sec^2

g เป็นอัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงมีหน่วยเป็น 9.8 m/sec^2

ρ_e เป็นความหนาแน่นที่มีผลต่อก๊าซหนักมีหน่วยเป็น $mass/length^3$

ρ_a เป็นความหนาแน่นของอากาศมีหน่วยเป็น $mass/length^3$

ขนาดของการแพร่กระจายแบบต่อเนื่องหาได้จากสมการ

$$D_c = \left(\frac{V'_0}{u}\right)^{1/2} \tag{6}$$

ขนาดของการแพร่กระจายของก๊าซแบบกลุ่มก้อนทันทีทันใดหาได้จากสมการ

$$D_i = (V_0)^{1/3} \tag{7}$$

เมื่อ V'_0 เป็นอัตราของการรั่วแบบต่อเนื่องมีหน่วยเป็น $length^3/time$

U เป็นความเร็วของการรั่วมีหน่วยเป็น length/time

D_i เป็นขนาดของการรั่วแบบกลุ่มก้อนทันทีทันใดมีหน่วยเป็น length

V_0 เป็นอัตราของการรั่วแบบกลุ่มก้อนทันทีทันใดมีหน่วยเป็น $length^3$

วิธีการควบคุมสิ่งปนเปื้อน

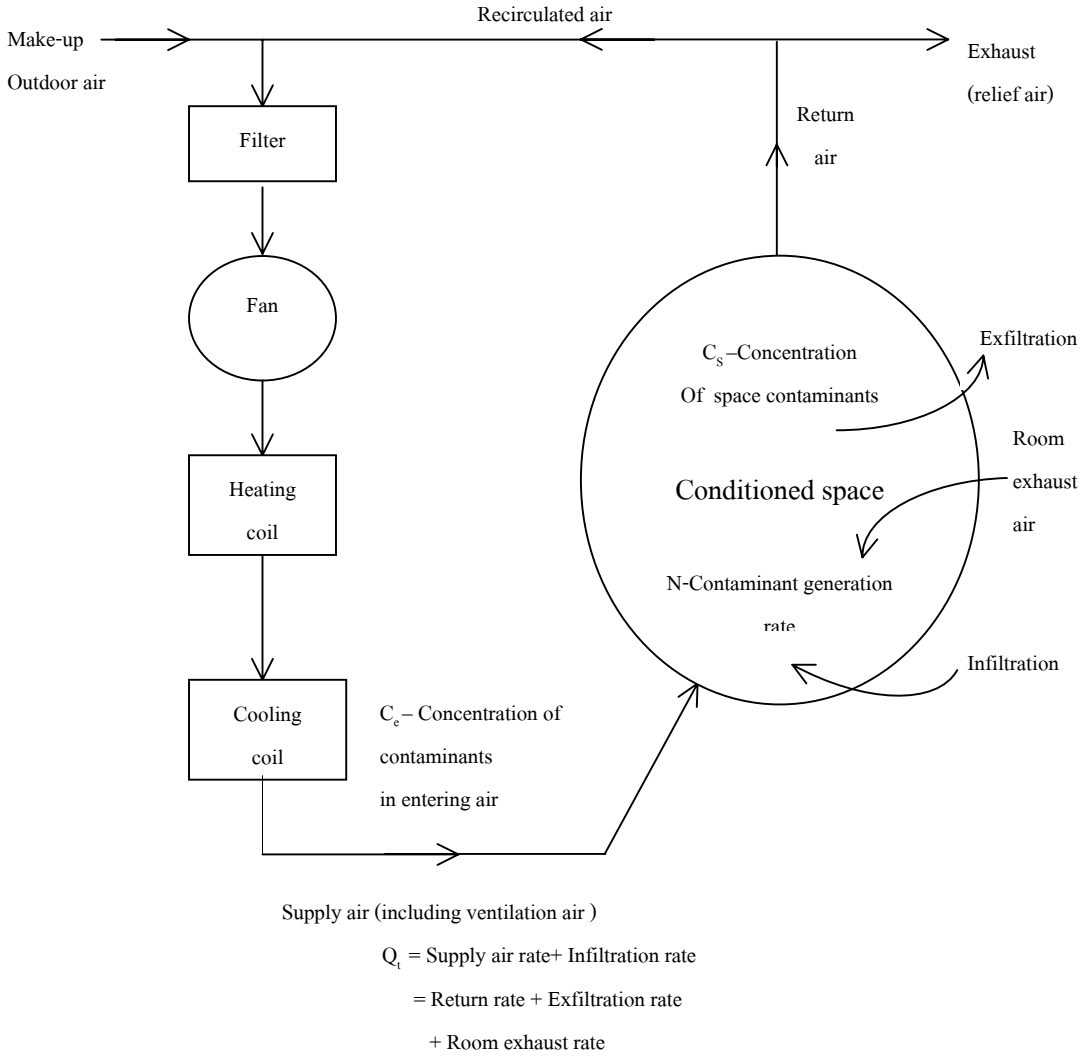
McQuiston et al. (2005) มี 4 วิธีพื้นฐานที่ควบคุมก๊าซหรือสิ่งปนเปื้อนเพื่อที่จะรักษาคุณภาพอากาศ (IAQ) ให้ดีในตึก

1. การดัดแปลงหรือกำจัดแหล่งปนเปื้อน
2. การใช้อากาศภายนอก
3. การกระจายอากาศ
4. การทำความสะอาดอากาศ

1. การดัดแปลงหรือกำจัดแหล่งปนเปื้อน

ใน 4 วิธีพื้นฐานที่กล่าวข้างต้น การดัดแปลงหรือกำจัดแหล่งปนเปื้อนมักจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิผลมากที่สุด สำหรับลดสิ่งปนเปื้อนที่เกิดจากแหล่งโดยตรง การกำจัดควันภายในตึกเป็นวิธีและแนวทางที่ยอมรับต่อการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายใน ทั้งตึกเอกชนและสาธารณะหลายเมืองมีกฎหมายห้ามสูบบุหรี่ภายในอาคาร มีการจัดบริเวณพิเศษสำหรับสูบบุหรี่ ที่ซึ่งควบคุมผลกระทบได้ การเก็บสี, ตัวทำละลาย, ตัวทำความสะอาด, ยาฆ่าแมลง, และสารระเหยภายในตึกหรือใกล้ทางเข้าของอากาศที่จะนำเข้าจากภายนอก สามารถนำความเสียหายต่อคุณภาพอากาศภายในตึก การยับยั้งหรือการกำจัดวัสดุเหล่านี้มีความจำเป็นในบางกรณี เพื่อทำให้สิ่งแวดล้อมภายในเป็นที่ยอมรับได้

2. <u>การใช้อากาศภายนอก</u>



<u>ภาพที่ 4</u> ระบบหมุนเวียนอากาศแบบ HVAC

ที่มา: McQuiston et al. (2005)

ดังภาพระบบ HVAC อากาศภายนอกถูกใช้เพื่อเจือจางสิ่งปนเปื้อนในพื้นที่ เพื่อความเข้าใจในกระบวนการเจือจาง ดังรูปใช้เพื่อกำหนดศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการไหลอากาศของระบบ HVAC การแทนที่อากาศคืออากาศที่ส่งไปพื้นที่ปรับอากาศ และใช้เพื่อการระบายอากาศ, ระบบความร้อน, ระบบความเย็น, ระบบความชื้น หรือระบบขจัดความชื้น การระบายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของการแทนที่อากาศที่อากาศภายนอกกับอากาศที่หมุนเวียนใหม่ ซึ่งถูกกระทำเพื่อวัตถุประสงค์

การรักษาไว้ของคุณภาพอากาศภายในที่ยอมรับได้ พื้นที่ภายในใช้ระยะเวลาในการนำเข้าอากาศภายนอกสำหรับเจือจางเพื่อรักษาคุณภาพอากาศต้องใช้พลังงาน ดังนั้นการประหยัดในการทำงานมักจะใช้ปริมาณอากาศภายนอกจำนวนน้อย เพื่อตรงกับข้อกำหนดคุณภาพอากาศ ด้วยตึกและการประหยัดที่ต้องการระบบความเย็นระหว่างอากาศเย็นหรืออากาศเบา อากาศภายนอกถูกใช้ตรงกับปริมาณความเย็น บางกรณีปริมาณอากาศที่ระบายต้องการรักษาคุณภาพอากาศภายในที่ดีอาจมีน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ส่งไปยังพื้นที่เพื่อรักษาความสบาย ในสถานการณ์อื่นสัดส่วนที่น้อยของการแทนที่อากาศจะถูกกำหนดโดยความต้องการระบายอากาศเพื่อรักษาคุณภาพอากาศภายในที่ยอมรับได้ กรณีเหล่านี้การรักษาคุณภาพอากาศให้ดีเป็นค่าใช้จ่ายเพิ่มจากการรักษาความสบาย อากาศภายนอกเป็นอากาศที่นำจากบรรยากาศภายนอก ดังนั้นไม่มีการหมุนเวียนในระบบอากาศภายนอกอาจเข้ามาในพื้นที่โดยการแทรกซึมผ่านรอยแตกและช่องว่าง, เพดาน, พื้น, ผนังของช่องว่างหรือตึก ทั่วไปในตึกที่มีเครื่องปรับอากาศ อากาศภายนอกส่วนใหญ่ถูกนำเข้าในพื้นที่โดยการแทนที่อากาศ มันถูกสันนิษฐานว่าอากาศภายนอกปราศจากสิ่งปนเปื้อนอาจทำอันตรายหรือความไม่สะดวกต่อคน แต่ไม่เป็นอย่างนั้นเสมอ บางสถานที่ที่แหล่งปนเปื้อนเข้มข้นใกล้ตึก อากาศรอบๆ ตึกอาจมีสิ่งปนเปื้อนที่เกี่ยวข้อง EPA ตีพิมพ์มาตรฐาน National Primary and Secondary Ambient-Air Quality Standards สำหรับอากาศภายนอก ค่าเหล่านี้ถูกแจ้งในมาตรฐาน ASHRAE Standard 62-1999

อากาศที่หมุนเวียนใหม่เป็นอากาศที่ย้ายออกจากพื้นที่ปรับอากาศและตั้งใจ เพื่อใช้ใหม่เป็นการจัดหาอากาศ แตกต่างจากอากาศที่ไหลกลับที่อาจจะใช้หมดหรือลดผ่านเครื่องทำให้ชื้นหรือพัดลมเพิ่มอากาศเป็นอากาศภายนอกที่มีไว้ เพื่อแทนอากาศที่หมดหรือรั่วออก ซึ่งเป็นอากาศที่รั่วออกผ่านรอยแตกและช่องว่างและตลอดเพดาน, พื้น, ผนังของช่องว่างหรือตึก อากาศอาจย้ายจากพื้นที่ไปยังห้องที่มีการระบายอากาศโดยพัดลมระบายอากาศ มีความสมดุลระหว่างปริมาณมวลอากาศที่เข้าและปริมาณพื้นที่ที่เหลือดีเท่าๆ กับ ระหว่างปริมาณมวลอากาศที่เข้าและระบบการแทนที่อากาศทั้งหมดที่เหลือ ถ้าอัตราการแทนที่อากาศเกินกว่าอัตราอากาศเข้า พื้นที่ที่ปรับอากาศจะถูกเพิ่มความกดดันสัมพัทธ์กับสิ่งแวดล้อมและการรั่วจะเกิดความสมดุล และสิ่งปนเปื้อนร้ายแรงเฉพาะเช่นแบคทีเรียที่เป็นอันตรายถึงตายที่มีอยู่ในอากาศ จะไม่สามารถเข้าไปได้ และถ้าอัตราอากาศไหลกลับเกินกว่าอัตราการแทนที่อากาศ ดังนั้นพื้นที่จะอยู่ที่ความดันต่ำกว่าพื้นที่รอบๆ และการแทรกซึมจะเกิดขึ้น ในกรณีห้องสะอาดซึ่งสิ่งอำนวยความสะดวกพิเศษถูกป้องกันจากสิ่งปนเปื้อน เช่น ในการผลิตอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ก็จะเกิดการปนเปื้อนได้

3. <u>การกระจายอากาศ</u>

ขณะที่สิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในสัดส่วนน้อยของพื้นที่ปรับอากาศ มันจะลดขนาดการผสมอากาศภายในโซนที่ทำงาน การระบายอากาศแทนที่อาจได้ผลในบางระดับที่ซึ่งอากาศต่ำกว่าอุณหภูมิเล็กน้อยเทียบกับอุณหภูมิพื้นที่ที่ทำงานจะถูกแทนที่ที่อัตราความเร็วต่ำจากช่องลมใกล้ระดับพื้น หัวลมกลับจะอยู่ในหรือใกล้เพดาน การเคลื่อนย้ายอากาศแนวดิ่งในโซนที่ทำงาน (ต่ำกว่า) เป็นสิ่งจำเป็น แต่การออกแบบระบบที่ดีจะยึดความแตกต่างอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาฟาเรนไฮท์ (3 องศาเซลเซียส) ในบางพื้นที่ที่พิเศษเช่นห้องสะอาด การไหลทิศทางเดียวทั้งหมดเป็นสิ่งที่ต้องการ ในบางกรณีอากาศอาจถูกจ่ายจากในเพดานและดูดออกผ่านพื้นหรือทางกลับกันอากาศจะถูกส่งจากผนังและดูดออกจากผนังฝั่งตรงข้าม การระบายอากาศเฉพาะที่ในบางครั้งเป็นการใช้ประโยชน์เพื่อเตรียมระบบความร้อนหรือระบบความเย็น หรือมีความต้องการเป็นพิเศษในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในระบบปรับอากาศแต่ละตัว อาจได้รับการควบคุมมากกว่าสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ โดยการปรับปริมาตรและทิศทางของการจ่ายอากาศ มีความเป็นอันตรายจากทิศทางการพ่นนี้ คนอาจเป็นสาเหตุการเข้าไปของสิ่งปนเปื้อนจากการพ่นนี้และเป็นผลที่แย่ลงของปัญหาการปนเปื้อน ที่ซึ่งแหล่งปนเปื้อนถูกจำกัดเฉพาะที่ ก๊าซที่รั่วสามารถถูกย้ายจากพื้นที่ปรับอากาศก่อนจะกระจายเข้าในโซนทำงานนี้ จะเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเคลื่อนอากาศเฉพาะที่โดยการสร้างความแตกต่างของความดัน โดยพัดลมระบายอากาศ หรือพื้นที่กระจายตัวข้างใน

4. <u>การทำความสะอาดอากาศ</u>

ในอาคารอาจต้องการอากาศภายนอกเพื่อเติมออกซิเจนเข้าเพื่อการหายใจและเจือจางคาร์บอนไดออกไซด์ และของเสียที่เกิดจากการประกอบอาชีพ ในหลายกรณีต้องทำการทำความสะอาดหรือกรองอากาศภายนอกที่จะเข้ามาจากการรวมกันของสิ่งเหล่านี้ การลดแหล่งจ่ายและการกระจายพื้นที่อากาศ, การทำความสะอาดอากาศ หรือการกรอง จากการหมุนเวียนของอากาศใหม่บ่อยๆ จะเป็นวิธีการควบคุมการปนเปื้อนของอากาศภายในพื้นที่ การออกแบบที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดก๊าซจะเป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งจะทำให้มั่นใจว่าระบบ HVAC จะทำให้สภาพแวดล้อมและสุขภาพที่ดีภายในอาคาร การเอาก๊าซออกมีรายละเอียดของการอภิปรายในการที่จะควบคุมการปนเปื้อนที่เป็นก๊าซสำหรับอากาศที่อยู่ภายใน ซึ่งอาจจะเอาออกได้จากการไหลของอากาศโดยการดูดซับทางรูปร่าง, การดูดซับทางเคมี, การเร่งปฏิกิริยา, หรือการเผาไหม้ ตัวดูดซับใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบช่วยชีวิตของระยะห่างในยานพาหนะและเรือดำน้ำ

ตัวดูดซับทั้งของเหลวและของแข็ง อาจจะใช้เพื่อลดคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอน-น็อกไซด์ ให้เป็นคาร์บอนและคืนออกซิเจนกลับสู่เงื่อนไขระยะห่าง เครื่องฟอกอากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในอาคาร ไม่ใช่การเอาก๊าซที่ปนเปื้อนออกจากการไหลของอากาศโดยตัวดูดซับ แต่สามารถที่จะเอาอนุภาคของสารออกได้ดี ก๊าซที่ปนเปื้อนถูกดูดซับในของเหลวเมื่อความดันบางส่วนของก๊าซที่ปนเปื้อนในการไหลของอากาศมากกว่าแรงดันไอที่มีหรือไม่มีนอกการปนเปื้อนนั้น ถึงแม้ว่าน้ำบางครั้งจะปรับปรุงได้โดยการเพิ่มของสารเคมี ซึ่งเป็นของเหลวทั่วไปสำหรับการล้างและดูดซับ อาจจะใช้ของเหลวอย่างอื่นได้ ของเหลวจะต้องรักษาสภาพความเข้มข้นของการปนเปื้อนให้ต่ำและต้องไม่ส่งกลิ่นที่ไม่พึงปราถนาเข้าสู่อากาศ ของเหลวที่ทำใหม่อย่างต่อเนื่องหรือใหม่จะต้องระวังปัญหานี้ โดยทั่วไปอากาศที่มีปริมาณมากต้องเคลื่อนผ่านน้ำโดยไม่มีการลดลงของความดันของการไหลอากาศมากเกินปกติ การดูดซับด้วยการเกาะติดที่พื้นผิวของโมเลกุลจะถูกกลายเป็นของเหลวหรือปฏิกิริยาของสสาร ตัวดูดซับที่ดีต้องมีพื้นที่ผิวที่ใหญ่ที่เปิดให้ดูดซับก๊าซได้ ดังนั้นจึงมีรูพรุนที่ผิวมาก ถ่านถูกใช้อย่างกว้างขวางในการดูดซับเพราะว่ามีคุณสมบัติดูดซับได้ดีกว่า ถ่านนี้จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในการดูดซับก๊าซที่มีน้ำหนักเบา เช่น แอมโมเนียและเอททีลีน และมีประสิทธิภาพมากที่สุดกับก๊าซที่มีมวลโมเลกุลของสารสูง ถ่านอาจจะอิ่มตัวกับสสารอื่นที่ยินยอมปรับตัวดีกว่าของก๊าซเคมีที่เคลื่อนไหว การดูดซับทางเคมีคล้ายกับการดูดซับทางกายภาพมีความแตกต่างในเรื่องการยึดติดที่พื้นผิวในการดูดซับทางปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นสารประกอบที่สกปรกจะทำปฏิกิริยากับการดูดซับทางเคมีในความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมีจะมีค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น การเร่งปฏิกิริยามีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการดูดซับทางเคมีในเรื่องของการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวของการเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามก๊าซเสียจะไม่ทำปฏิกิริยาด้วยตัวมันเอง วิธีการนี้จะทำให้มีอายุการเอาอนุภาคออกโดยการกรอง แต่ก่อนมีการพรรณาถึงความหลากหลายของอนุภาคที่แขวนลอย ทั้งในสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอก เช่น ความกว้างของขนาดอนุภาค, รูปร่างและความเข้มข้น ทำให้เป็นไปไม่ได้ที่จะออกแบบแบบเดียวสำหรับการทำความสะอาด (กรอง) อนุภาคอากาศควรจะเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ ห้องสะอาดในขบวนการผลิต, ประกอบอิเลคทรอนิคส์จำเป็นต้องมีการเอาความแตกต่างของอนุภาคออกจากระบบมากกว่าสำนักงานหรือโรงพยาบาล อากาศยาวนานกว่าแบบอื่นที่กล่าวมา การเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ของการเผาของก๊าซที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าไม่ได้ช่วยในการเผาไหม้และใช้กันอย่างแพร่หลายในรถยนต์ เพื่อจะลดความสกปรกของอากาศในเมือง ในบางกรณีกลิ่นอาจจะมีผลต่อสุขภาพหรือกลิ่นอาจจะคงอยู่ถาวรเมื่อระดับการปนเปื้อนมีการลดเพื่อให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ระบบระบายอากาศอุตสาหกรรม

การระบายอากาศเป็นวิธีที่ป้องกันไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับอันตรายจากสารมลพิษอากาศ โดยระบายอากาศที่ปนเปื้อนออกจากพื้นที่และนำอากาศเข้ามาทดแทน แบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

1. ระบบทำความเย็น (ปรับอากาศ)
2. ระบบระบายอากาศธรรมดาโดยใช้พัดลม
3. ระบบทำความร้อน

ซึ่งประเทศไทยนิยมใช้เพียงสองแบบ คือ ระบบทำความเย็นและระบบระบายอากาศโดยใช้พัดลม

1. ระบบทำความเย็น (ปรับอากาศ)

ระบบทำความเย็นของห้องสะอาด (Cleanroom) จะมีลักษณะดังนี้

ลักษณะการไหลของอากาศ

สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย (2545) ห้องสะอาด (Cleanroom) หมายถึง ห้องหรือบริเวณปิดที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในห้อง ได้แก่ อนุภาคสิ่งเจือปน อุณหภูมิ ความดันอากาศ ความชื้น รูปแบบการไหลของอากาศ การสั่นสะเทือน แสงสว่างและสิ่งมีชีวิต จำพวกจุลินทรีย์

การทำให้เป็นห้องสะอาดนี้ต้องใช้ระบบการจ่ายลมเข้า(Supply Air) ไปตามท่อแอร์ ที่มีหลากหลายลักษณะที่แตกต่างกันไป ทั้งเป็นท่อเหลี่ยม ท่อกลม และส่งผ่านเข้าตัวกรองฝุ่น ที่เป็น High Efficiency Air Filter (HEPA Filters) เพื่อให้อากาศที่ออกมามีความสะอาดมากที่สุด ระดับความสะอาด จะมีได้ระดับความสะอาดต่างๆดังนี้คือ

- ระดับ M1.5(Class1) จะมีจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนเมตร ขึ้นไปที่นับได้ต้องมีไม่เกิน 35.5 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร(1 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

- ระดับ M2.5(Class10) จะมีจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนเมตร ขึ้นไปที่นับได้ต้องมีไม่เกิน 353 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร(10 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

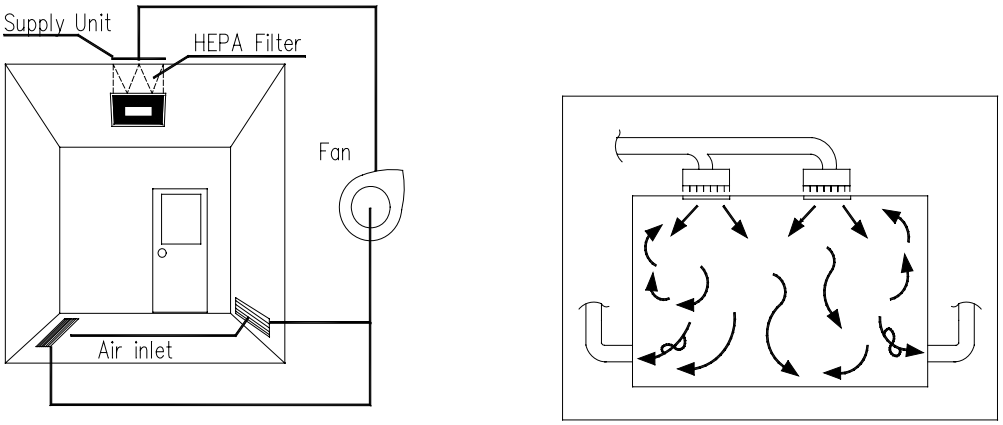
- ระดับ M3.5(Class100) จะมีจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนเมตร ขึ้นไปที่นับได้ต้องมีไม่เกิน 3,530 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร(100 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

- ระดับ M4.5(Class1000) จะมีจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนเมตร ขึ้นไปที่นับได้ต้องมีไม่เกิน 35,300 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร(1,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

- ระดับ M5.5(Class10,000) จะมีจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนเมตร ขึ้นไปที่นับได้ต้องมีไม่เกิน 353,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร(10,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

- ระดับ M6.5(Class100,000) จะมีจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนเมตร ขึ้นไปที่นับได้ต้องมีไม่เกิน 3,530,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร (100,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)
รูปแบบการไหลของอากาศสำหรับห้องสะอาดจะมีลักษณะการไหลของอากาศ (Air Flow Patterns) 2 ลักษณะ คือ

1. การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน(Non unidirectional Flow or Turbulent Mixed Flow) เป็นพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไปดังแสดงในรูป อนุภาคที่เกิดขึ้นภายในห้องจะถูกทำให้เจือจางลงโดยอากาศสะอาดที่ออกมาจากแผ่นกรองอากาศแบบ HEPA ทำให้ความสะอาดของห้องเพิ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากมีการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน ความสะอาดของห้องชนิดนี้จึงมักไม่เกิน M4.5 - M6.5 และมักจะใช้ห้องสะอาดที่มีระดับความสะอาดมากกว่าเพื่อทำความสะอาดเฉพาะจุดในบริเวณอื่นในห้องที่ต้องการความสะอาดมากเป็นพิเศษ โดยทั่วไปจะมีอัตราการถ่ายเทอากาศ 15 - 80 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง มีความเร็วลมที่เข้าสู่ห้อง 1 - 3 เมตรต่อวินาที มีความดันอากาศเป็นบวกมีค่าระหว่าง 0.5 – 2.0 mm.WG

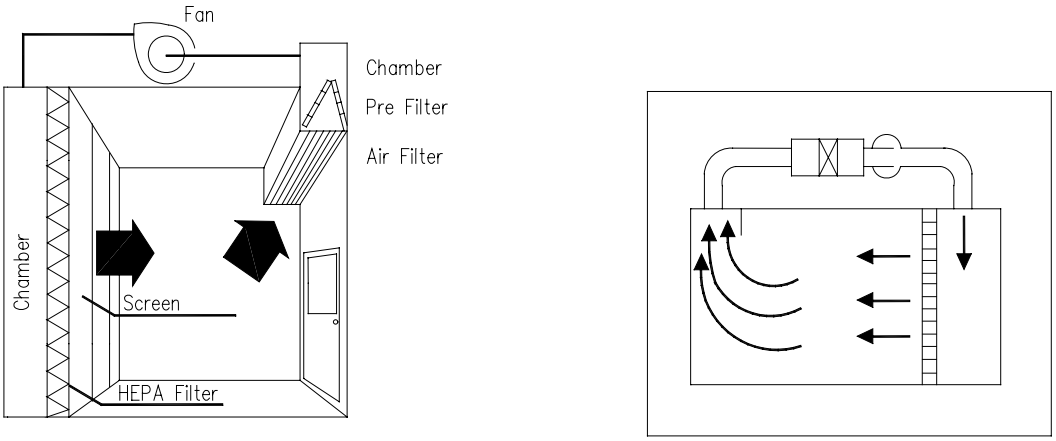


<u>ภาพที่ 5</u> การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย (2545)

2. การไหลของอากาศแบบราบเรียบ (Unidirectional Flow or Laminar Flow) จะมีลักษณะการไหลของอากาศแบบราบเรียบ โดยอากาศที่ผ่านแผ่นกรองจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ขนานกันในแนวระดับหรือแนวดิ่งมุ่งไปยังฝั่งตรงข้ามของห้องและผ่านช่องลมกลับ (Return Panel) เพื่อกลับไปยังระบบควบคุมอากาศหรือชุดส่งลม (Air Handling System) เพื่อหมุนเวียนอากาศผ่านตัวกรองเข้าห้องต่อไป แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวระดับ (Horizontal Laminar or Cross Flow Type) มีลักษณะดังรูป

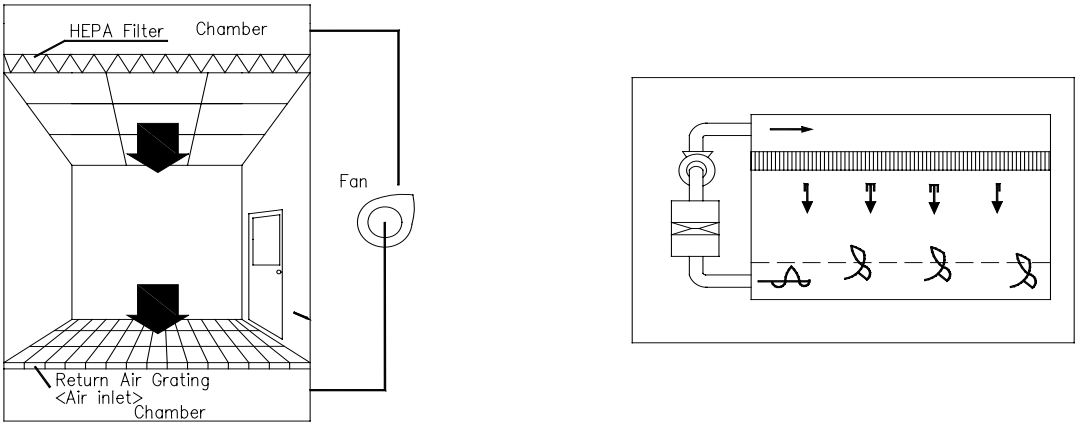


<u>ภาพที่ 6</u> การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวระดับ

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย (2545)

การไหลของอากาศเป็นแบบราบเรียบในบริเวณที่อยู่ใกล้กับแผ่นกรองอากาศแบบ HEPA (ซึ่งติดอยู่ที่ผนังทั่วทั้งห้อง เป็นผนังกรองอากาศ) จะสามารถรักษาความสะอาดได้สูงถึง M3.5 - M5.5 ส่วนบริเวณใกล้กับทางลมกลับความสะอาดจะลดน้อยลงไปเนื่องจากอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการทำงานของคนงานและอุปกรณ์การผลิตมักใช้กับห้องสะอาดทางชีววิทยา (Biological Cleanrooms) ที่ไม่จำเป็นต้องรักษาความสะอาดให้สม่ำเสมอเท่ากันทั้งห้อง เช่น ห้องผ่าตัด ห้องแยกผู้ป่วย ห้องบรรจุหีบห่ออาหารที่ต้องการเก็บไว้เป็นเวลานาน เป็นต้น โดยทั่วไปจะมีอัตราการถ่ายเทอากาศ 100 - 300 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง มีความเร็วลมที่เข้าสู่ห้อง 0.45 - 0.6 เมตรต่อวินาที มีความดันอากาศเป็นบวกมีค่าประมาณ 0.5 mm.WG

- การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวดิ่ง (Vertical Laminar Flow or Down Flow Type) มีลักษณะดังรูป



<u>ภาพที่ 7</u> การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวดิ่ง

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย (2545)

ฝ้าเพดานประกอบด้วยตัวกรองอากาศทั้งหมด ส่วนบริเวณพื้นห้องจะยกสูงขึ้นมาอีกชั้นหนึ่ง และมีลักษณะเป็นตะแกรงให้อากาศไหลกลับ (Return Air) ไหลผ่าน การไหลของอากาศเป็นแบบราบเรียบจากฝ้าลงสู่พื้นในทิศทางเดียวกัน อนุภาคที่เกิดขึ้นจากการทำงานจะถูกอากาศพาลงสู่ใต้พื้นห้อง จึงทำให้สามารถรักษาความสะอาดในห้องได้เท่ากันทุกแห่ง ตัวห้องมักมีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตรขึ้นไป และมีลักษณะโล่ง ไม่มีผนังกั้นภายใน ทำให้การจัดวางเครื่องจักรการผลิตทำได้ง่าย มักใช้ในโรงงานผลิต IC โดยทั่วไปจะมีอัตราการถ่ายเทอากาศ 300 - 500 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง มีความเร็วลมที่เข้าสู่ห้อง 0.25 - 0.5 เมตรต่อวินาที มีความดันอากาศเป็นบวกอยู่ระหว่าง 0.5 - 1.0 mm.WG

ห้องที่มีการใช้ก๊าซฟลูออรีนนี้จะมีการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Turbulent Mixed Flow) ที่มีความสูงของเพดานแบบมาตรฐาน ซึ่งฝ้าเพดานจะมีตัวกรองอากาศเป็นตัวจ่ายลมเย็นลงในพื้นที่และจะมีตะแกรงให้อากาศไหลกลับ (Return Air) โดยมีการควบคุมอนุภาคของฝุ่น 0.5 ไมครอนเมตร ที่นับได้ต้องไม่เกิน 100,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต ทั้งนี้จะต้องมีระบบควบคุมอากาศ (Air Handling System) ที่มีประสิทธิภาพเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกไป ห้องสะอาด

จะประกอบด้วยตัวจ่ายลมเย็นที่วางอยู่บนเพดานและมีช่องลมกลับ เพื่อให้ลมกลับสู่ระบบของ Air Handling Unit เมื่อระบบเป็นรูปแบบการไหลของอากาศแบบนี้จะเกิดการผสมกันของอากาศภายในห้องเกือบสมบูรณ์ ซึ่งสามารถใช้สมการในรูปง่ายๆเพื่อประมาณจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองในห้องได้โดยมีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งการประมาณนี้จะถือว่า

- อากาศภายในห้องนั้นผสมกันอย่างสมบูรณ์ จนทำให้สิ่งปนเปื้อนต่างๆ กระจายทั่วห้องโดยทันที

- ไม่มีการตกตะกอนของอนุภาคเหล่านั้น

- ถือว่าระบบอยู่ในสภาพสมดุล นั่นคือ อัตราการไหลเข้าของอากาศเข้า (Supply Air), ลมกลับ (Return Air) และอัตราการปลดปล่อยอนุภาคของแหล่งกำเนิดภายในห้องคงที่ตลอดเวลา คือ ปริมาณอนุภาคที่เพิ่มขึ้นภายในห้องเท่ากับปริมาณอนุภาคที่ถูกกำจัดออกจากห้องต่อหน่วยเวลาที่ไหลออกไปกับอากาศกลับ อนุภาคต่างๆ นั้นถูกนำพาเข้าในห้องสะอาดได้ 2 ทาง คือ

1) ปนไปกับอากาศเข้า (Supply Air) โดยปริมาณของอนุภาคที่ถูกนำพาเข้าไปต่อหน่วยเวลาคือ

$$C_z V' \qquad (8)$$

(โดย C_z คือความเข้มข้นของอนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศเข้า, V' คืออัตราการไหลของอากาศเข้าต่อวินาที)

2) โดยการปลดปล่อยอนุภาคเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดที่มีอยู่ภายในห้อง ถ้ามแหล่งกำเนิดภายในห้องอยู่ทั้งหมด n แหล่ง แต่ละแหล่งปลดปล่อยอนุภาคในอัตรา C_i' ต่อหน่วยเวลา ดังนั้นจะได้อัตราการปลดปล่อยอนุภาคทั้งหมดเป็น $\sum_{i=1}^{n} C_i'$ ถ้าประตูและช่องเปิดต่างๆ นั้นปิดสนิทและกันการรั่วไหลได้ อนุภาคเหล่านั้นจะถูกกำจัดออกได้ทางเดียวคือ ไหลออกไปพร้อมกับลมกลับซึ่งปริมาณของอนุภาคที่ถูกกำจัดออกจากห้องคือ $C_A V'$ (โดยที่ C_A คือความเข้มข้นของอนุภาคต่อลูกบาศก์เมตรของลมกลับ) ดังนั้นสามารถดุลย์ปริมาณของอนุภาคต่างๆ ได้ดังนี้

Dust brought in + Dust released in the room = Dust extracted

$$C_Z V' + \sum_{i=1}^{n} C_i' = C_A V' \qquad (9)$$

จากสมมติให้อากาศภายในห้องเกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์ จะได้ว่าความเข้มข้นของอนุภาคภายในห้อง C_R นั้นเท่ากับความเข้มข้นของอนุภาคในลมกลับ, C_A ดังนั้นจะได้

$$C_R = C_A = C_z + \sum_{i=1}^{n} C_i' / V' \qquad (10)$$

นั่นคือถ้าเราสามารถทราบปริมาณของอนุภาคที่ปนเข้ามาในห้องและปริมาณอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดภายในห้อง เราก็สามารถคำนวณหาปริมาณของอนุภาคภายในห้องสะอาดได้

2. <u>ระบบระบายอากาศโดยใช้พัดลม</u>

ระบบระบายอากาศโดยใช้พัดลมนั้นจะเน้นการดึงอากาศที่ปนเปื้อนออกจากแหล่งกำเนิดมลพิษเป็นหลัก แม้ว่าบางครั้งอาจใช้วิธีการดึงอากาศบริสุทธิ์ข้างนอกเข้ามาเจือจางก็ได้แต่จะได้ผลดีน้อยกว่าดังตารางที่ 1

<u>ตารางที่ 1</u> การเปรียบเทียบการดึงอากาศบริสุทธิ์เข้ามาเจือจางกับการดึงอากาศเสียออกไปข้างนอก

การดึงอากาศบริสุทธิ์เข้ามาเจือจาง		การดึงอากาศเสียออกไปข้างนอก (เฉพาะที่)	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
- ค่าใช้จ่ายลงทุนเครื่องจักรต่ำ	- ไม่สามารถนำมลพิษในอากาศออกไปได้ทั้งหมด	- สามารถจับมลพิษจากแหล่งกำเนิดและนำออกไปได้เป็นอย่างดี	- ค่าใช้จ่ายลงทุนเครื่องจักรสูง
- การดูแลรักษาทำได้ง่าย	- ใช้ไม่ได้ผลกับกรณีสารมลพิษที่อันตรายมากๆ	- ใช้ได้กับมลพิษที่มีอันตรายมากๆ	- ต้องการการดูแลทำความสะอาดและบำรุงรักษาประจำ
- ใช้ได้ผลในกรณีที่มีสารมลพิษปริมาณน้อย	- ใช้ไม่ได้ผลกับกรณีที่ฝุ่นไอโลหะหรือก๊าซมีปริมาณมาก	- ใช้ได้กับมลพิษทุกชนิดรวมทั้งฝุ่นและไอโลหะ	
- ใช้ได้ผลกับการควบคุมไอระเหยที่ไวไฟ	- ต้องนำอากาศเข้ามาเป็นจำนวนมากอาจสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นหรือทำความร้อนให้อากาศเหล่านั้น (หากอากาศภายในสถานที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างไปจากภายนอก)	- ต้องการอากาศทดแทนไม่มากนักเพราะปริมาณอากาศที่ดูดออกมีน้อยกว่า	
- ใช้ได้ดีกับกรณีที่แหล่งกำเนิดมลพิษอยู่กระจัดกระจายหรือเคลื่อนที่ได้เช่นกรณีที่จอดรถเป็นต้น	- ใช้ไม่ได้ผลในกรณีที่มีการเกิดมลพิษเป็นช่วงๆ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นมากกว่าปกติ	- ใช้พลังงานน้อยเพราะอากาศทดแทนมีน้อยกว่า	

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2547)

<u>การดึงอากาศบริสุทธิ์เข้ามาเจือจาง</u>

วิธีการดึงอากาศจะใช้พัดลมขนาดใหญ่ติดตั้งที่กำแพงหรือหลังคาของสถานที่ เช่น โรงงานหรือห้องที่ทำงาน การที่ใช้พัดลมเพราะว่าหากใช้การเปิดประตูหน้าต่างหรือช่องลมเพียงอย่างเดียว อาจไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศได้ ส่วนการใช้พัดลมชนิดตั้งได้อยู่ในอาคารจะเป็นเพียงการหมุนเวียนอากาศภายในแต่ไม่ได้ดึงอากาศภานนอกเข้ามา ดังนั้นการดึงอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก จึงนิยมใช้การดึงแบบตรงข้ามคือ พัดลมจะดึงอากาศออกจากห้อง ส่วนทางด้านตรงข้ามห้องจะมีช่องเปิดให้อากาศบริสุทธิ์ไหลเข้ามา หากแหล่งกำเนิดมลพิษกระจัดกระจายทั่วไปในอาคารอาจใช้พัดลมระบายอากาศติดไว้ที่สูงหรือหลังคาและช่องเปิดให้อากาศเข้ามาอยู่ด้านล่างก็ได้ หากจะติดตั้งพัดลมอีกชุดก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น

<u>การดึงอากาศเสียเฉพาะที่</u>

การดึงอากาศเสียเฉพาะที่ใช้หลักการว่าอากาศจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีความดันอากาศสูงไปยังจุดที่มีความดันอากาศต่ำ ดังนั้นจึงต้องสร้างระบบที่มีความดันอากาศสูงและต่ำโดยใช้พัดลมดูดอากาศ ซึ่งทำให้บริเวณหน้าพัดลมมีควมดันอากาศสูงกว่าหลังพัดลมและอากาศก็จะถูกดูดออกไปด้วยกำลังแรง (เหมือนเครื่องดูดฝุ่น) ตำแหน่งของท่อดูดควรวางใกล้กับแหล่งกำเนิดมากที่สุด เพื่อดักจับสารมลพิษก่อนที่จะแพร่กระจายไปในอากาศอากาศที่มีมลพิษจะถูกดูดออกไปโดยเรียกว่าความเร็วในการพา (Capture Velocity)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดความเร็วลม DAVIS Model DA4000 จำนวน 1 เครื่อง
2. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ DIGICON Model DA44 จำนวน 1 เครื่อง
3. อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดควัน 1 ชุด
4. คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ 1 เครื่อง
5. โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (Version 4.05)
6. โปรแกรม Smokeview (version 4.05)
7. โปรแกรม Microsoft office 2000
8. โปรแกรม Microsoft Notepad (Version 5.1)
9. วีดีโอบันทึกภาพเคลื่อนไหว

วิธีการ

1. ใช้อุปกรณ์ทำควัน เพื่อทดสอบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องเลเซอร์ พร้อมบันทึกผลการทดสอบด้วยวีดีโอบันทึกภาพเคลื่อนไหว
2. วัดอุณหภูมิที่หัวจ่ายลมเย็นภายในห้องพร้อมบันทึกผล
3. วัดอุณหภูมิทั่วไปภายในห้องทำงานพร้อมบันทึกผล

4. วัดความเร็วลมที่หัวจ่ายลมเย็นและความเร็วลมที่หัวดูดลมกลับพร้อมบันทึกผล

5. เขียนขนาดห้องเลเซอร์, ตำแหน่งตู้เก็บถังก๊าซและช่องดูดอากาศ, ตำแหน่งเครื่องเลเซอร์, ตำแหน่งโต๊ะทำงาน, ตำแหน่งของหัวจ่ายลมเย็น, ตำแหน่งหัวดูดลมกลับด้วยโปรแกรม Microsoft Notepad

6. สมมติเหตุการณ์ร้ายแรงสุดจากการรั่วของก๊าซและคำนวณอัตราการไหลของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออน เพื่อเป็นข้อมูลที่จะเขียนในดาต้าไฟล์เพื่อให้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator ทำการคำนวณและจำลองเหตุการณ์จากโปรแกรม Smokeview

7. คำนวณความเข้มข้นของก๊าซที่รั่วออกมาที่หัวจ่ายลมเย็นที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาระดับอันตราย ดูวิธีคำนวณในภาคผนวก ก และผลจากการคำนวณใน ภาคผนวก ค

8. คำนวณหาความเร็วลมในการดูดก๊าซภายในห้องเลเซอร์ออกเพื่อนำมาออกแบบระบบระบายอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ กัน และจำลองเหตุการณ์จากโปรแกรม Fire Dynamics Simulator และดูผลจากโปรแกรม Smokeview ดูวิธีคำนวณใน ภาคผนวก ก

ผลการดำเนินการ

บันทึกผลข้อมูลของห้องทำงานที่ได้จากเครื่องมือวัด

1. อุณหภูมิที่หัวจ่ายลมเย็นภายในห้องทำงานที่มีเครื่องเลเซอร์เท่ากับ 17 องศาเซลเซียส

2. วัดอุณหภูมิทั่วไปภายในห้องทำงานเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส

3. ความเร็วลมที่หัวจ่ายลมเย็นหัวแรกมีค่าเท่ากับ 268 ฟุตต่อนาที หรือ 0.13 เมตรต่อวินาที

4. ความเร็วลมที่หัวจ่ายลมเย็นหัวที่สองมีค่าเท่ากับ 113 ฟุตต่อนาที หรือ 0.05 เมตรต่อวินาที

5. ความเร็วลมที่หัวดูดลมกลับระบบปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 3.27 เมตรต่อวินาที

เขียนแบบห้องโดยใช้ Microsoft Notepad เป็นข้อมูลเบื้องต้นอีกทั้งยังกำหนดค่าความเร็วลมต่างๆ จากการวัดเข้าในข้อมูลโปรแกรม เพื่อใช้กับโปรแกรม Fire Dynamics Simulator เพื่อทำการประมวลผล ซึ่งใช้การเทียบเคียงจากตัวอย่างของ silly4 ในตัวอย่างที่มีมากับโปรแกรม Fire Dynamics Simulator ซึ่งใช้จำลองการเกิด particles ภายในห้อง โดยใช้ก๊าซที่มีอยู่ในคลังข้อมูลของโปรแกรม ซึ่งมีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกับก๊าซที่จะทำการศึกษาและออกแบบระบบระบายอากาศดัง ภาคผนวก ข

ผลการทดลองเมื่อทดสอบโดยใช้ควัน

การทดสอบโดยใช้ควันจากการเผาไหม้ซึ่งจะมีค่ามวลโมเลกุลที่ 44 กรัม โมลเพื่อดูทิศทางการไหลของอากาศภายในห้อง เพื่อจะทำการเปรียบเทียบกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator และแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Smokeview

ภาพที่ 8 ทิศทางการเคลื่อนที่ของควันภายในห้องที่เวลา 0 – 30 วินาที

ภาพควันที่ใช้ทดสอบแทนการเคลื่อนที่ของก๊าซฟลูออรีน (ไม่สามารถใช้ก๊าซฟลูออรีนจริงได้เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีอันตรายสูง) เริ่มตั้งแต่ 0 – 30 วินาที ที่จุดสมมุติก๊าซรั่วในสภาวะห้องที่พนักงานทำงานในปัจจุบันก่อนการออกแบบระบบระบายก๊าซฉุกเฉินเป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้อง โดยจะเห็นแนวควันลอยขึ้นและเคลื่อนตัวไปทางขวามือของห้อง เพื่อไปที่หัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศโดยเป็นแนวจากซ้ายมือไปขวามือของห้อง ดังนั้นจากการทดสอบโดยใช้ควันแทนก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนนี้ ทำให้ทราบว่าเมื่อเกิดเหตุก๊าซรั่วในห้องที่จุดสมมติ ปริมาณก๊าซโดยส่วนใหญ่จะถูกดูดเข้าระบบปรับอากาศทางหัวดูดลมกลับ (Return Air) ของระบบปรับอากาศ

ภาพที่ 9 การเคลื่อนที่ของควันภายในห้องบริเวณกลางห้อง

ภาพที่ 10 การเคลื่อนที่ของควันภายในห้องบริเวณหัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศ

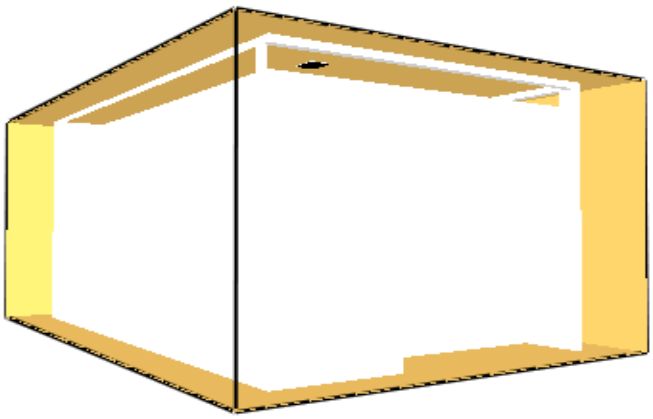
ภาพที่ 11 ตำแหน่งหัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศ

ภาพที่ 12 แสดงหัวจ่ายอากาศบริเวณใกล้เคียงที่มีท่อชุดเดียวกับในห้องที่จำลองการเกิดก๊าซรั่ว

ผลจากการบันทึกด้วยกล้องวีดีโอดังแสดงในภาพที่ 8 - 12 พบว่าแนวการเคลื่อนตัวของควัน ซึ่งใช้จำลองการรั่วของก๊าซฟลูออรีนจะเคลื่อนตัวไปทางหัวดูดลมกลับ (Return Air) ของระบบปรับอากาศโดยส่วนใหญ่ของจำนวนควันที่ลอยอยู่ในห้อง และเกือบจะไม่มีการดูดที่ช่องดูดลมของตู้ที่เก็บถังก๊าซภายในห้อง ซึ่งท่อทางออกของตู้นี้จะต่อเข้ากับระบบบำบัดอากาศก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ ในขณะที่อีกด้านหนึ่งของหัวจ่ายอากาศ ซึ่งไม่ได้อยู่ในห้องที่เกิดก๊าซรั่ว แต่ท่อของหัวจ่ายอากาศ (Supply Air) ต่อไปยังพื้นที่อื่นที่อยู่ใกล้เคียงนั้น ไม่พบแนวควันกระจายจากหัวจ่ายแอร์ในพื้นที่ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการทดสอบนี้เนื่องจากสภาพของควันที่เกิดขึ้นไม่สามารถที่จะส่งต่อไปยังหัวจ่ายอื่นได้ เพราะควันส่วนใหญ่ต้องไหลกลับเข้าไปในห้องของชุดส่งลม (Air Handling System) ทำให้ควันไม่สามารถส่งต่อออกไปยังท่อส่งลมไปยังพื้นที่ของห้องใกล้เคียง มีเพียงกลิ่นของควันไฟที่บริเวณพื้นที่อื่นใกล้เคียง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปริมาณก๊าซทั้งหมดจะถูกดูดเข้าทางท่อลมกลับของระบบปรับอากาศ และมีการผสมกับอากาศที่หัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศก่อนที่จะส่งอากาศกลับเข้ามาในแต่ละห้องทำงานในพื้นที่ที่มีการต่อท่อส่งลมร่วมกัน

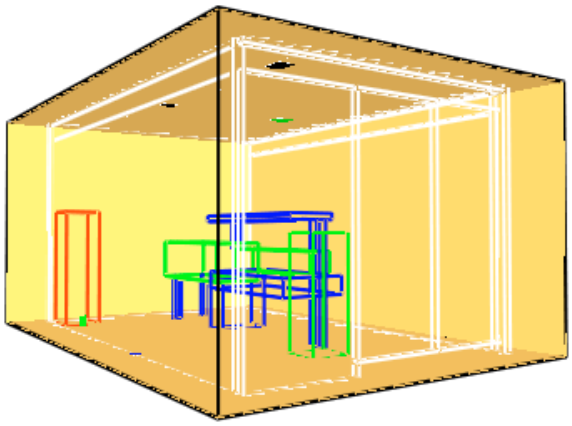
ผลการทดลองด้วยโปรแกรมสร้างภาพเสมือน

เมื่อโปรแกรม Fire Dynamics Simulator ทำงานและแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Smokeview สำหรับสภาพห้องเลเซอร์ในการทำงานปัจจุบันโดยใช้เวลาในการจำลองทั้งหมด 300 วินาที โดยมีการกำหนดค่าของก๊าซที่มีมวลโมเลกุลที่ใกล้เคียงกับก๊าซฟลูออรีนที่มีมวลโมเลกุล 38 กรัมต่อกรัมโมล และมีอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรม Fire Dynamics Simulator ซึ่งในการจำลองนี้ใช้ก๊าซอาร์กอนซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ที่ 40 กรัมต่อกรัมโมล ที่อุณหภูมิในถัง 25 องศาเซลเซียส และใช้ก๊าซไนโตรเจนซึ่งมีมวลโมเลกุล 14.01 กรัมต่อกรัมโมล แทนอากาศเย็นที่จ่ายจากระบบปรับอากาศเข้าสู่ภายในห้องที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส และในการจำลองนี้ใช้ลักษณะของ Particles ที่เกิดภายในห้อง ซึ่งจะรวมถึงก๊าซอาร์กอนและก๊าซไนโตรเจน และประมวลผลในรูปของน้ำหนักของก๊าซ เพื่อจะได้ทราบค่าความเข้มข้นของก๊าซภายในพื้นที่ที่ต้องการคำนวณโดยเอาผลจากน้ำหนักก๊าซที่เหลือ และก๊าซที่รั่วเข้าระบบปรับอากาศมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของก๊าซในรูปของ พีพีเอ็ม ในขั้นตอนต่อไป



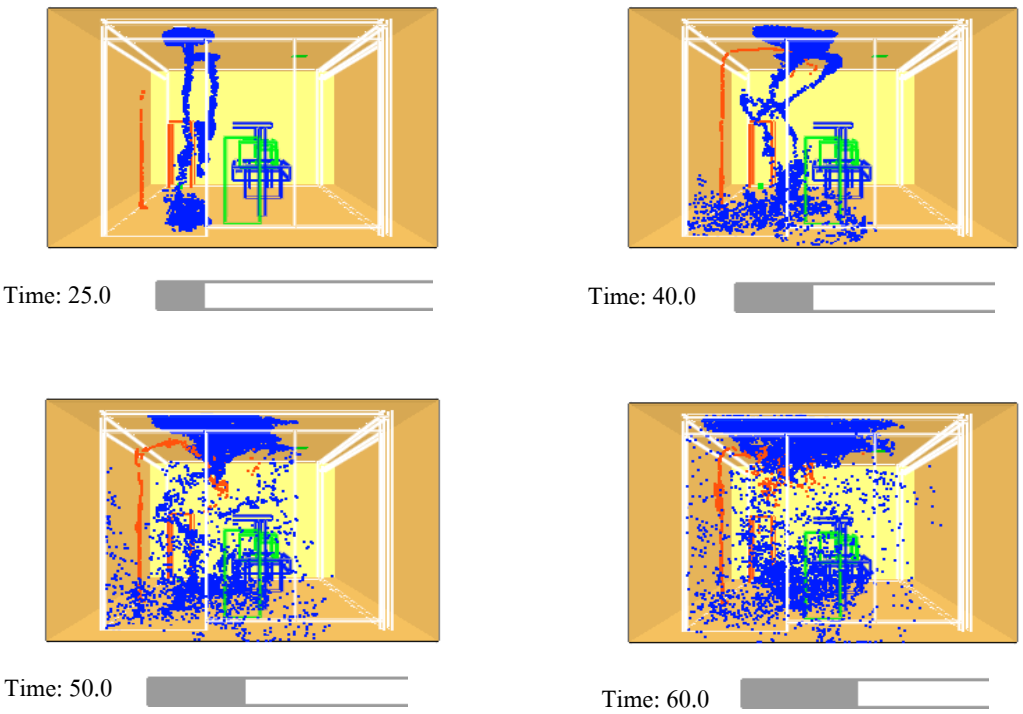
ภาพที่ 13 แสดงห้องที่เขียนและแสดงภาพจากโปรแกรม Smokeview

ภาพเมื่อใช้โปรแกรม Smokeview เรียกดูจากผลที่ได้จาก Fire Dynamics Simulator จะเป็นดังภาพที่ 13 ซึ่งไม่สามารถมองเห็นสภาพภายในห้องได้จำเป็นต้องใช้คำสั่งการดูรายละเอียดของภาพเป็นแบบ Outlines



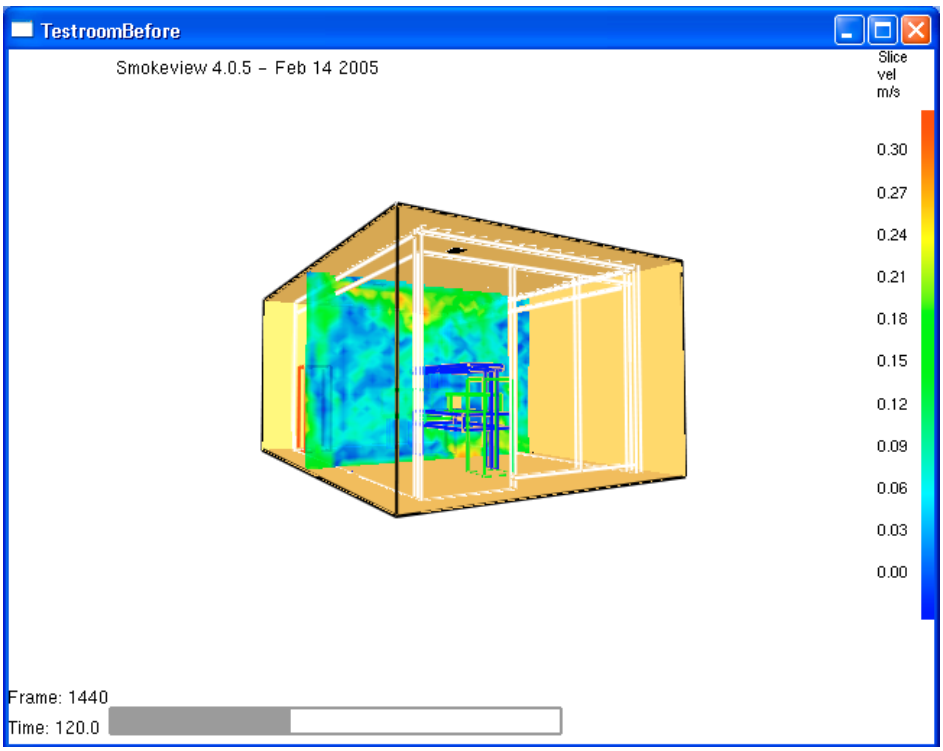
ภาพที่ 14 แสดงรายละเอียดภายในห้องจากคำสั่ง Outlines ของโปรแกรม Smokeview

ภาพตำแหน่งสีน้ำเงินที่พื้นห้องแสดงตำแหน่งที่สมมติเหตุการณ์ก๊าซรั่วเนื่องที่มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุก๊าซรั่วได้ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่จะต้องขนถังก๊าซเข้าไปเปลี่ยนที่ตู้สำหรับเก็บถังก๊าซ ซึ่งมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงขึ้นได้ ตำแหน่งสีดำบนเพดานทั้งสองจุดแสดงตำแหน่งหัวจ่ายแอร์ภายในห้อง, ตำแหน่งสีเขียวบนเพดานเป็นตำแหน่งหัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศ และตำแหน่งสีเขียวที่ตู้เก็บก๊าซเป็นช่องดูดอากาศของตู้เก็บก๊าซ เพื่อส่งต่อไปยังระบบบำบัดอากาศ และตำแหน่งของเครื่องกำเนิดเลเซอร์รวมถึงพื้นที่ทำงานจะอยู่บริเวณกลางห้อง



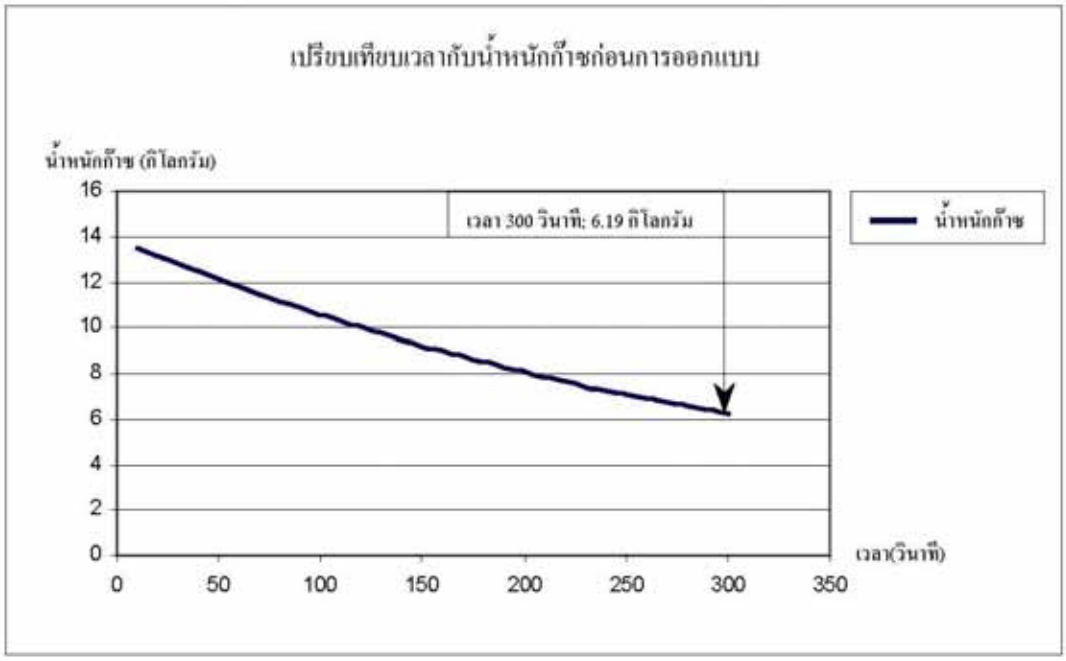
<u>ภาพที่ 15</u> แสดงผลกลุ่ม Particles ของก๊าซที่ช่วงเวลา 0 – 60 วินาที ภายในห้อง

กลุ่มของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนที่รั่วในระยะเวลา 0 - 60 วินาที ถูกแสดงด้วย Particles สีแดง และอากาศภายในห้องถูกแทนด้วย Particles สีน้ำเงิน ซึ่งแนวทางเคลื่อนที่ของ Particles เป็นแนวทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของควัน คือจะเคลื่อนตัวเป็นทิศทางจากจุดที่ก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนรั่วลอยสูงขึ้น และเคลื่อนตัวไปทางหัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศที่อยู่ทางซ้ายมือของห้องโดย Particles ของอากาศที่จ่ายจากหัวจ่ายแอร์ลงมา ซึ่งใช้ Particles ไนโตรเจนแทน ส่วนใหญ่จะถูกดูดเข้าทางหัวดูดลมกลับมากกว่ากลุ่ม Particles ของ Argon ที่แทนก๊าซฟลูออรีนผสมนีออน เนื่องจากค่ามวลโมเลกุลของไนโตรเจนที่น้อยกว่ามวลโมเลกุลของอาร์กอน จึงทำให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซอาร์กอนภายในห้องสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อทำงานจนครบ 300 วินาที

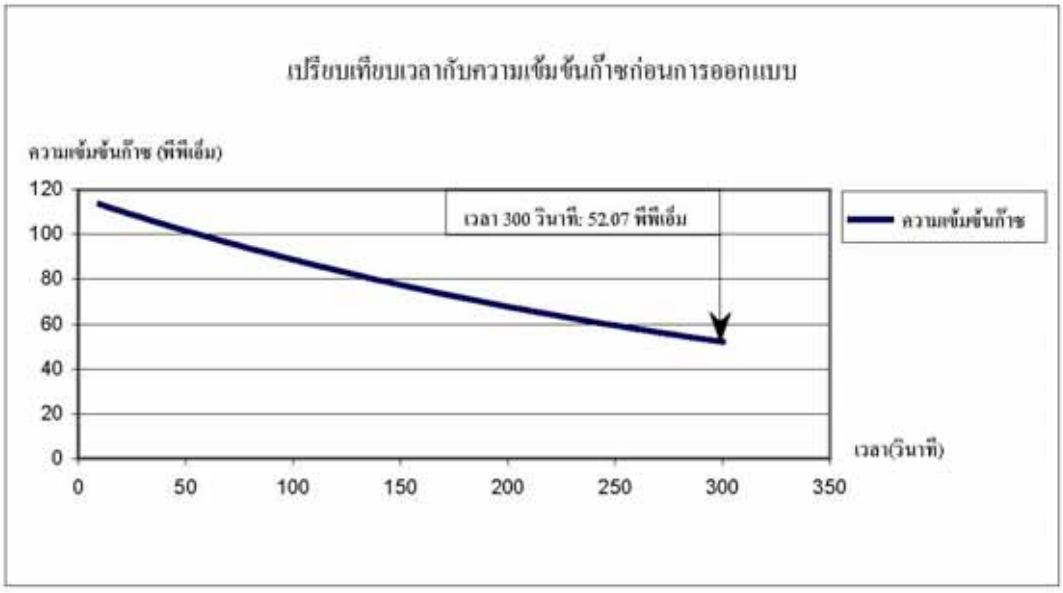


ภาพที่ 16 แสดงความเร็วลมภายในห้องที่เกิดก๊าซรั่วในแนวดิ่งที่ระยะความสูง 1.5 เมตร

ภาพแสดงความเร็วลมภายในห้องที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้อง รวมถึงที่บริเวณตำแหน่งหัวดูดลมกลับจะเห็นว่าแนวความเร็วลมที่ช่วงเวลา 120 วินาที บริเวณหัวดูดลมกลับจะมีความเร็วสูงถึง 0.24-0.3 เมตรต่อวินาที และที่บริเวณจุดเกิดเหตุ 0-0.12 เมตรต่อวินาที ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าโปรแกรม Fire Dynamics Simulator และโปรแกรม Smokeview สามารถที่จะจำลองเหตุการณ์เพื่อคำนวณหาค่าความเข้มข้นของก๊าซ ณ ช่วงเวลาต่างๆ ได้โดยเป็นไปในทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่จากการทดสอบโดยใช้ควันแทนก๊าซที่รั่วออกมา



<u>ภาพที่ 17</u> กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลากับน้ำหนักของก๊าซก่อนการออกแบบ

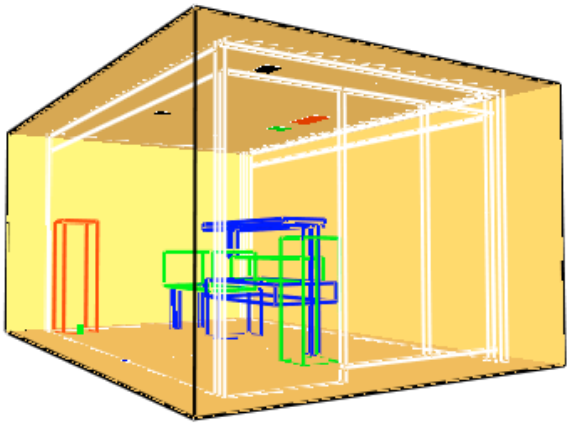


<u>ภาพที่ 18</u> กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซก่อนการออกแบบ

วิเคราะห์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับน้ำหนักของก๊าซ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซ ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ จุดละ 10 วินาที ที่เวลา 300 วินาที และพบว่าหลังจากก๊าซหมดถังและมีการทำงานของระบบปรับอากาศปกติ ณ ช่วงเวลา 300 วินาที มีค่าน้ำหนักของก๊าซ 6.19 กิโลกรัม และเมื่อคำนวณความเข้มข้นของก๊าซภายในพื้นที่จะได้เท่ากับ 52.07 พีพีเอ็ม ซึ่งเกินค่า TLV ของฟลูออรีนที่ 1 พีพีเอ็ม และเป็นระดับที่อันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ ขณะที่ก๊าซรั่วเข้าระบบปรับอากาศปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเมื่อคำนวณจากน้ำหนักที่เหลือในห้องเริ่มตั้งแต่เริ่มรั่วจะทำให้ทราบว่าจะมีความเข้มข้นที่เกิน IDLH ที่เวลา 90 วินาที ที่ 25.17 พีพีเอ็ม ดังนั้นพนักงานในพื้นที่จะต้องอพยพออกจากพื้นที่ภายในระยะเวลาไม่เกิน 85 วินาที ณ ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ 23.92 พีพีเอ็ม (ดูวิธีคำนวณในภาคผนวก ก และผลของน้ำหนักก๊าซจากโปรแกรมในภาคผนวก ค)

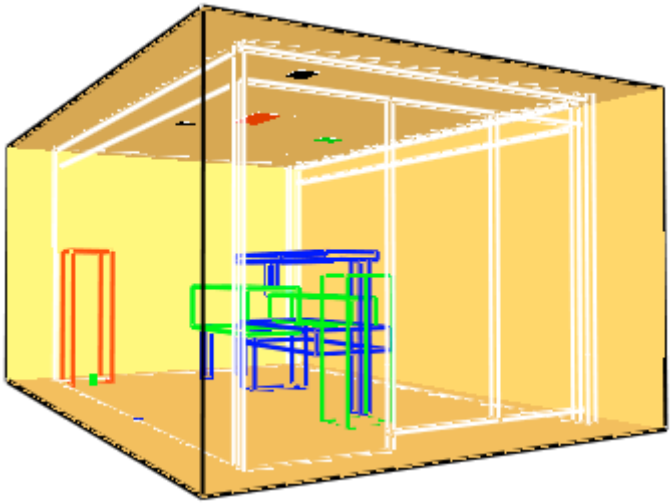
ผลการทดลองการออกแบบระบบระบายอากาศ

แบบที่ 1, 2, 3 อาศัยหลักการออกแบบโดยยึดค่าจากเครื่องเตือนเมื่อก๊าซรั่ว จากการใช้เครื่องเตือนเมื่อก๊าซรั่วที่ตั้งค่าไว้ที่ 0.1 ของค่า TLV และสอดคล้องกับค่ามาตรฐานของ OSHA ที่ PEL – TWA ที่กำหนดไว้ที่ 0.1 พีพีเอ็ม ดังนั้นเมื่อคำนวณปริมาณการดูดอากาศภายในห้องออกจะมีอัตราการดูดที่ 12.02 เมตรต่อวินาที และให้เริ่มทำงานที่ 5 วินาทีหลังจากก๊าซรั่วแบบกดด้วยมือ และให้หยุดการทำงานของระบบปรับอากาศที่ 5 วินาทีหลังจากระบบระบายก๊าซเริ่มทำงาน



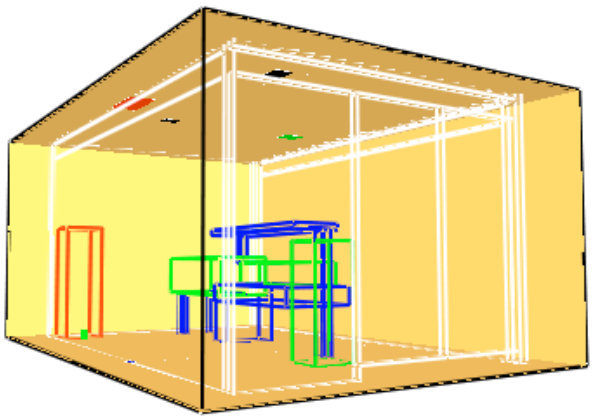
ภาพที่ 19 แสดงตำแหน่งของการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 1

ลักษณะการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 1 นี้หัวระบายอากาศมีขนาด 30 x 60 เซนติเมตร อยู่ในแนวกว้างของห้องที่ตำแหน่ง 3.1-3.4 เมตร แนวยาวของห้องที่ตำแหน่ง 2.5-3.1 เมตร ดังรูปตำแหน่งหัวดูดอากาศจะเป็นสีแดงมีอัตราการดูดอากาศที่ 12.02 เมตรต่อวินาที



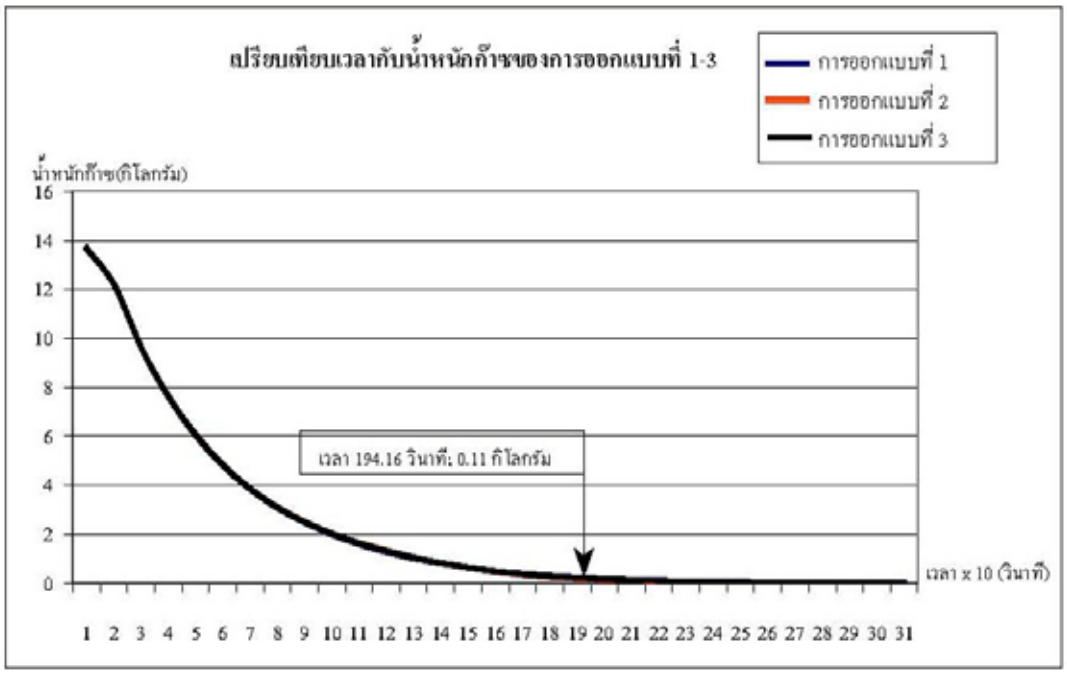
ภาพที่ 20 แสดงตำแหน่งของการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 2

ลักษณะการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 2 นี้หัวระบายอากาศมีขนาด 30 x 60 เซนติเมตร อยู่ในแนวกว้างของห้องที่ตำแหน่ง 1.51-1.81 เมตร แนวยาวของห้องที่ตำแหน่ง 2.5-3.1 เมตรดังรูปตำแหน่งหัวดูดอากาศจะเป็นสีแดงมีอัตราการดูดอากาศที่ 12.02 เมตรต่อวินาที

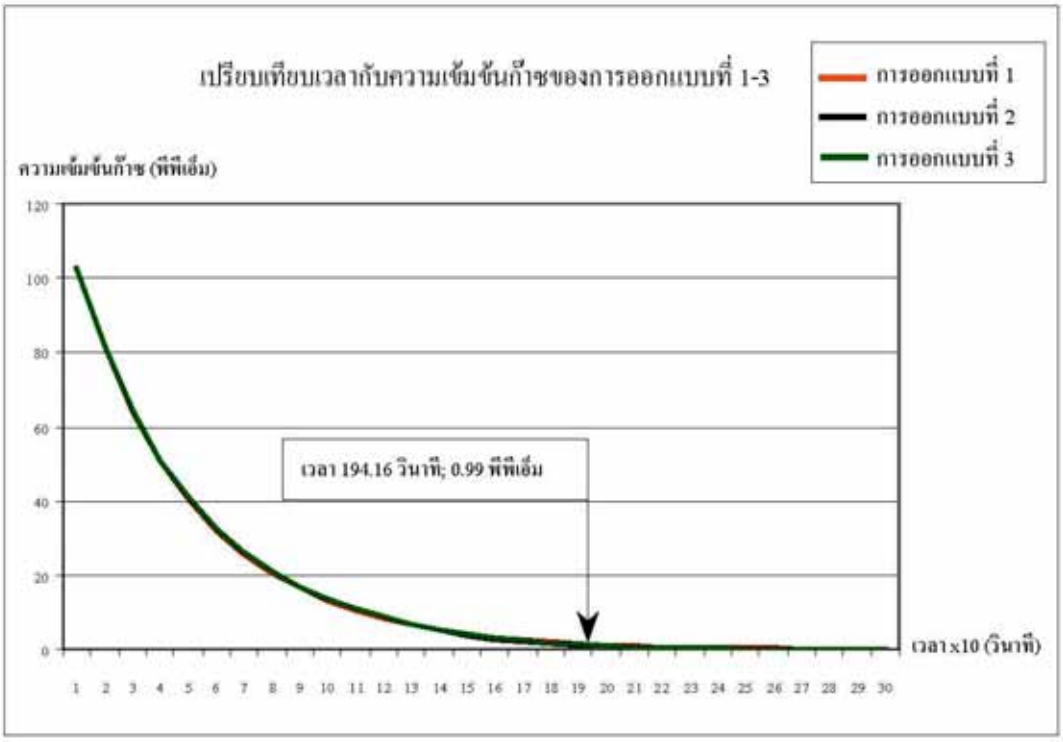


ภาพที่ 21 แสดงตำแหน่งการวางหัวระบายอากาศของแบบที่ 3

ลักษณะการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 3 นี้หัวระบายอากาศมีขนาด 30 x 60 เซนติเมตร อยู่ในแนวกว้างของห้องที่ตำแหน่ง 0.1-0.4 เมตร แนวยาวของห้องที่ตำแหน่ง 2.5-3.1 เมตร ดังรูปตำแหน่งหัวดูดอากาศจะเป็นสีแดงมีอัตราการดูดอากาศที่ 12.02 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 22 การเปรียบเทียบระหว่างเวลากับน้ำหนักของก๊าซของการออกแบบที่ 1-3

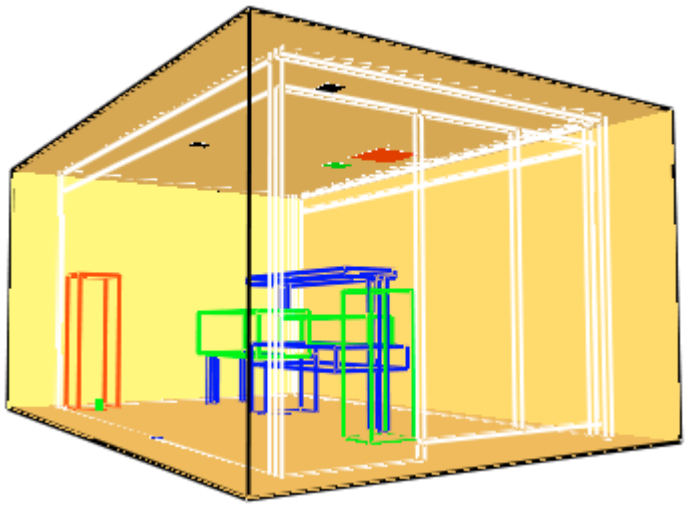


ภาพที่ 23 การเปรียบเทียบระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซของการออกแบบที่ 1-3

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับน้ำหนักของก๊าซ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซ ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ จุดละ 10 วินาที เป็นเวลา 300 วินาที จะพบว่าหลังจากก๊าซรั่วและมีการหยุดของระบบปรับอากาศ ณ ช่วงเวลาหลังจากระบบระบายอากาศออกเริ่มทำงานมีค่าน้ำหนักของก๊าซที่เวลา 300 วินาที โดยแต่ละการออกแบบมีสภาพความแตกต่างกันอยู่ที่ตำแหน่งที่วางของหัวระบายอากาศฉุกเฉินที่วางอยู่ที่เพดานของห้องและเมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator และโปรแกรม Smokeview ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรมจะมีน้ำหนักก๊าซเหลืออยู่ในพื้นที่ 0.019 กิโลกรัมสำหรับการออกแบบที่ 1, 0.004 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 2 และ 0.005 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 3 เมื่อคำนวณความเข้มข้นของก๊าซภายในพื้นที่จะได้เท่ากับ 0.16 พีพีเอ็ม, 0.03 พีพีเอ็ม , 0.04 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า TLV ของฟลูออรีนที่ 1 พีพีเอ็ม แล้วจะเห็นว่าการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 1, 2, 3 สามารถใช้ในการระบายก๊าซออกจากห้องได้ ซึ่งเปรียบเทียบกับค่า TLV ที่ 1 พีพีเอ็ม และเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการระบายก๊าซออกแล้วจะพบว่าการระบายก๊าซของแบบที่ 2 สามารถทำให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซน้อยกว่า 1 พีพีเอ็ม

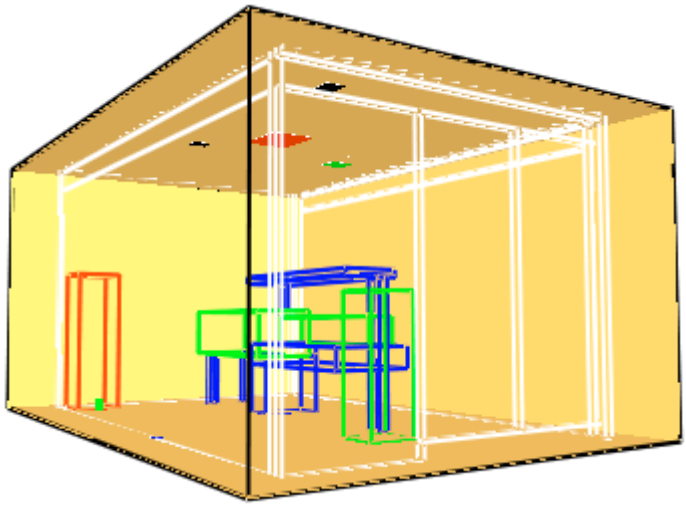
โดยใช้เวลาประมาณ 194.16 วินาที มีความเข้มข้นของก๊าซ 0.99 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นเวลาที่น้อยที่สุด (การคำนวณค่า TLV แสดงในภาคผนวก)

การออบแบบระบบระบายอากาศที่ 4, 5, 6 อาศัยหลักการออกแบบจากค่า TLV ที่ 1 พีพีเอ็ม จากค่า TLV – TWA ของ ACGIH ที่ 1 พีพีเอ็ม ซึ่งหากสามารถใช้การออกแบบที่ 1 พีพีเอ็ม แล้วจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียไปกับการระบายก๊าซนี้รวมถึงค่าใช้จ่ายจากอุปกรณ์ระบายก๊าซออกเช่นมอเตอร์ สายไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ดังนั้นเมื่อคำนวณปริมาณการดูดอากาศภายในห้องออกจะมีอัตราการดูดที่ 1.20 เมตรต่อวินาที และให้เริ่มทำงานที่ 5 วินาทีหลังจากก๊าซรั่วแบบกดด้วยมือและให้หยุดการทำงานของระบบปรับอากาศที่ 5 วินาทีหลังจากระบบระบายอากาศทำงาน



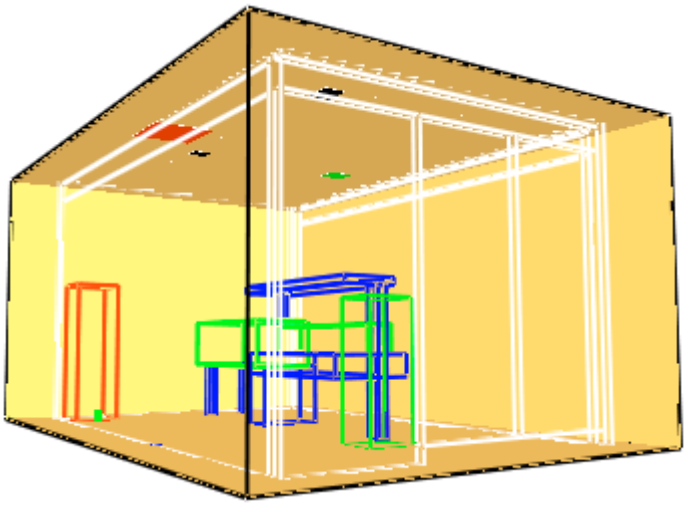
<u>ภาพที่ 24</u> แสดงตำแหน่งการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 4

ลักษณะการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 4 นี้หัวระบายอากาศมีขนาด 60 x 60 เซนติเมตร อยู่ในแนวกว้างของห้องที่ตำแหน่ง 3.1-3.7 เมตร แนวยาวของห้องที่ตำแหน่ง 2.5-3.1 เมตร ดังรูปตำแหน่งหัวดูดอากาศจะเป็นสีแดงมีอัตราการดูดอากาศที่ 1.20 เมตรต่อวินาที



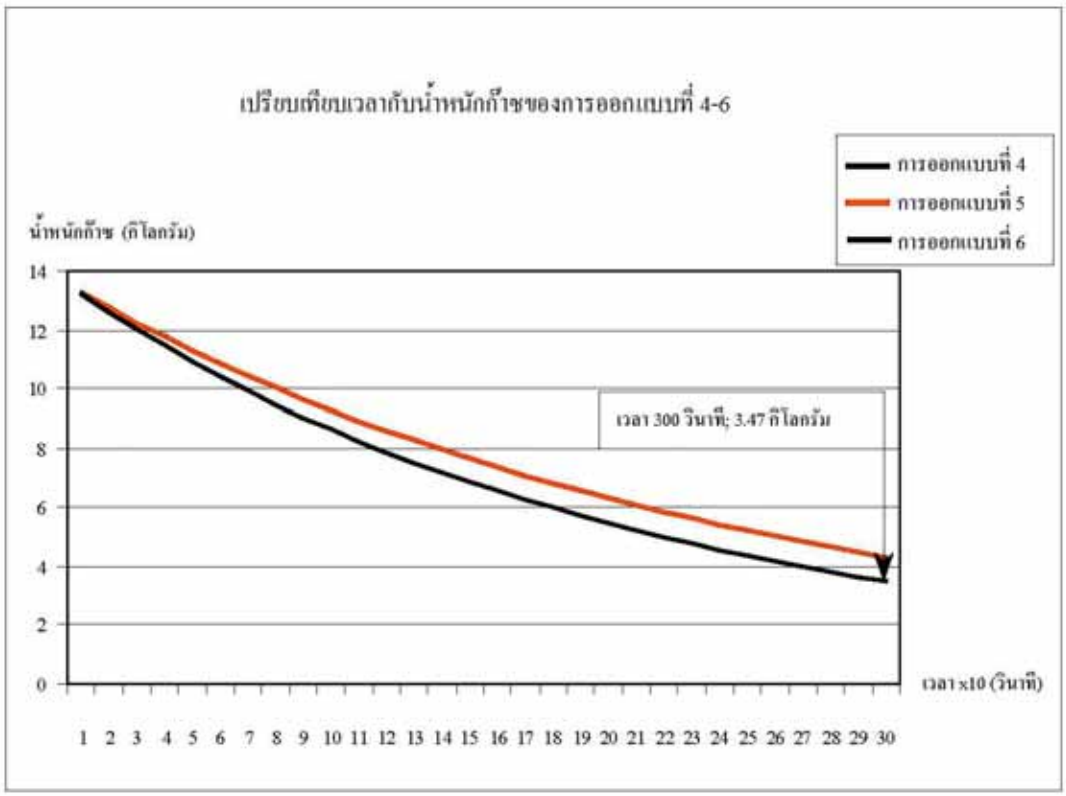
ภาพที่ 25 แสดงตำแหน่งการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 5

ลักษณะการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 5 นี้หัวระบายอากาศมีขนาด 60 x 60 เซนติเมตร อยู่ในแนวกว้างของห้องที่ตำแหน่ง 1.51-2.11 เมตร แนวยาวของห้องที่ตำแหน่ง 2.5-3.1 เมตร ดังรูปตำแหน่งหัวดูดอากาศจะเป็นสีแดงมีอัตราการดูดอากาศที่ 1.20 เมตรต่อวินาที



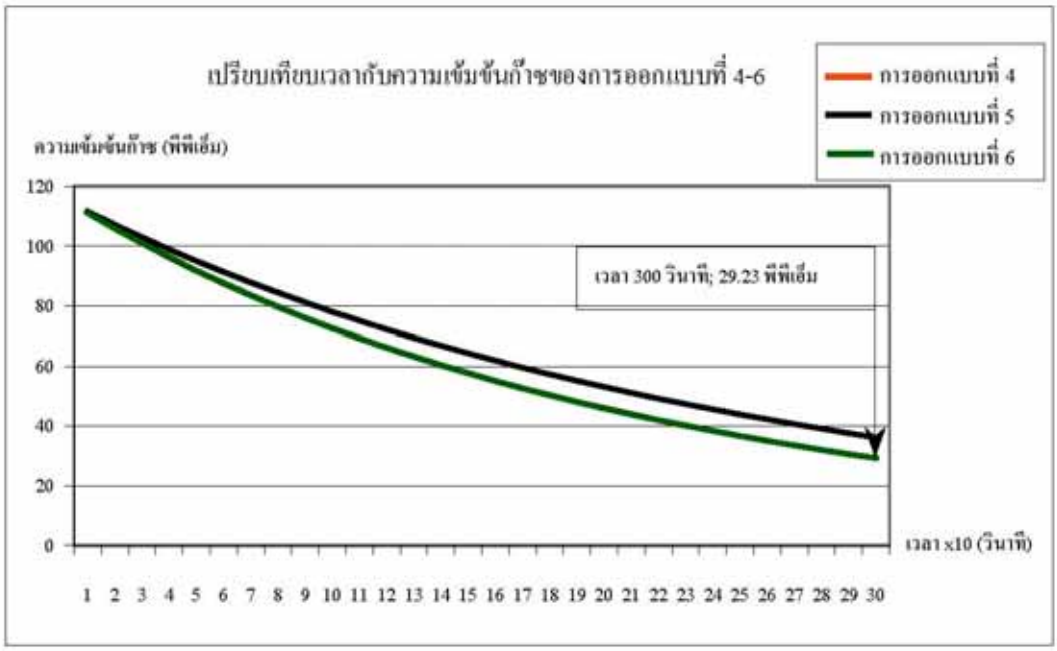
ภาพที่ 26 แสดงตำแหน่งการวางหัวระบายอากาศของการออกแบบที่ 6

ลักษณะการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 6 นี้หัวระบายอากาศมีขนาด 60 x 60 เซนติเมตร อยู่ในแนวกว้างของห้องที่ตำแหน่ง 0.1-0.7 เมตร แนวยาวของห้องที่ตำแหน่ง 2.5-3.1 เมตร ดังรูปตำแหน่งหัวดูดอากาศจะเป็นสีแดงมีอัตราการดูดอากาศที่ 1.20 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบระหว่างเวลากับน้ำหนักของก๊าซของการออกแบบที่ 4-6

ภาพกราฟแสดงการเปรียบเทียบของเลากับน้ำหนักก๊าซที่เหลืออยู่ภายในห้อง จากเวลาที่ก๊าซเริ่มรั่ว และเมื่อปุ่มฉุกเฉินถูกกดทำให้ระบบระบายอากาศทำงานน้ำหนักก๊าซภายในห้องจะค่อยๆ ลดลงเหลืออยู่ในพื้นที่ 3.48 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 4 และ 4.30 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 5 และ 3.47 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 6



<u>ภาพที่ 28</u> การเปรียบเทียบระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซของการออกแบบที่ 4-6

จากการวิเคราะห์กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มข้นของก๊าซ ณ ช่วงเวลาต่างๆ จุดละ 10 วินาที เป็นเวลา 300 วินาที พบว่าหลังจากก๊าซรั่วและมีการหยุดของระบบปรับอากาศ ณ ช่วงเวลาหลังจากระบบระบายก๊าซออกเริ่มทำงานมีค่าน้ำหนักเหลืออยู่ในพื้นที่ 3.48 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 4 และ 4.30 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 5 และ 3.47 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 6 เมื่อทำการคำนวณความเข้มข้นของก๊าซภายในพื้นที่จะได้เท่ากับ 29.26 พีพีเอ็ม สำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 4 และ 36.21 พีพีเอ็ม สำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 5 และ 29.23 พีพีเอ็ม สำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 6 ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า TLV ของฟลูออรีนที่ 1 พีพีเอ็ม จะเห็นว่าการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 4, 5, 6 ไม่สามารถใช้ในการระบายก๊าซออกจากห้องได้เนื่องจากจำนวนน้ำหนักก๊าซที่เหลือยังมีปริมาณมาก ซึ่งยังเป็นอันตรายอยู่และเป็นระดับที่อันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้

วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

วิจารณ์

ผลการทดลองของห้องที่ยังไม่มีการออกแบบระบบระบายอากาศเอาก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนออกเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน โดยอาศัยการจำลองเหตุการณ์และการประยุกต์ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator และแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Smokeview นั้น สามารถที่จะทำนายผลกระทบที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนรั่วในห้องทำงานที่มีระบบปรับอากาศร่วมกันในพื้นที่การผลิตโดยอาศัยน้ำหนักของก๊าซจากการคำนวณของโปรแกรม Fire Dynamics Simulator ที่เหลือภายในช่วงเวลาต่างๆ นั้น สามารถที่จะคำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซได้โดยใช้สูตรคำนวณหา ซึ่งแสดงอยู่ในภาคผนวกซึ่งน้ำหนักของก๊าซเริ่มต้นอยู่ที่ 13.84 กิโลกรัม และเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จะมีน้ำหนักก๊าซถูกหัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศดูดเข้าไปในระบบปรับอากาศรวมถึง 7.64 กิโลกรัม และคงเหลืออยู่ภายในห้องที่เกิดก๊าซรั่วอีก 6.19 กิโลกรัม เมื่อทำการคำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซในแต่ละช่วงเวลาเริ่มตั้งแต่ 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90 วินาที จะได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ถูกดูดเข้าระบบปรับอากาศเป็น 1.33, 2.89, 5.95, 8.94, 11.84, 14.65, 17.4, 20.06, 22.65, 23.92, 25.17 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ทำให้ทราบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าไปในระบบปรับอากาศนั้น จะต้องไม่เกิน 85 วินาที เนื่องจากค่า IDHL ของฟลูออรีน มีค่าเท่ากับ 25 พีพีเอ็ม และก๊าซที่เหลืออยู่ในห้องนั้นเป็นอันตรายต่อพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่ จึงจำเป็นที่จะต้องออกแบบระบบระบายอากาศออกเมื่อเกิดเหตุการณ์ก๊าซรั่วภายในห้องที่ปฏิบัติงานอยู่ โดยใช้หลักการระบายอากาศเพื่อควบคุมปริมาณความเข้มข้นของก๊าซให้อยู่ในค่าที่ปลอดภัยของก๊าซนั้นๆ (TLV) และเพื่อให้ปลอดภัยมากยิ่งขึ้นจึงใช้หลักการออกแบบระบบระบายก๊าซออกที่ระดับเดียวกับเครื่องตรวจจับก๊าซรั่วที่มีอยู่ในห้องทำงานซึ่งมีการตั้งค่าที่ 0.1 พีพีเอ็ม (ตามมาตรฐานของ OSHA PEL-TWA = 0.1 พีพีเอ็ม) ดังนั้นการออกแบบระบบระบายก๊าซในแบบที่ 1-3 จึงใช้ความเร็วลมในการเอาก๊าซออกจากห้องที่เกิดรั่วที่ 12.02 เมตรต่อวินาที และเพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการระบายก๊าซออกจากห้องจึงกำหนดตำแหน่งในการวางหัวระบายก๊าซออก 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 ริมผนังฝั่งใกล้กับหัวดูดลมกลับของระบบปรับอากาศ, ตำแหน่งที่ 2 อยู่ตรงกลางของห้อง และตำแหน่งที่ 3 อยู่เหนือบริเวณจุดที่สมมติเหตุการณ์ก๊าซรั่ว ซึ่งจากการประมวลผลของโปรแกรม F ire Dynamics Simulator ทำให้ทราบว่าตำแหน่งที่สามารถระบายก๊าซออกได้ดีที่สุดอยู่ในตำแหน่งของการออกแบบระบายก๊าซแบบที่ 2 คือ บริเวณกลางห้อง สำหรับการออกแบบระบบแบบที่ 4-6 นั้น เป็นการออกแบบที่ใช้ความเร็วลมในการระบายก๊าซออกจากการคำนวณเพื่อไม่ให้ก๊าซมีค่าความเข้มข้น

เกิน 1 พีพีเอ็ม (ตามมาตรฐานของ ACGIH TLV-TWA = 1 พีพีเอ็ม) ซึ่งจะต้องใช้ความเร็วลมที่ 1.20 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและเพื่อประหยัดในเรื่องของการบำรุงรักษา โดยมีการเพิ่มขนาดของช่องระบายก๊าซเป็น 60x60 เซนติเมตร และกำหนดตำแหน่งการวางหัวระบายก๊าซออกเหมือนกับการออกแบบระบบระบายก๊าซที่ 1-3 จากการประมวลผลของโปรแกรม Fire Dynamics Simulator มีน้ำหนักก๊าซเหลืออยู่ในห้อง 3.48 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบระบบระบายก๊าซแบบที่ 4 , 4.30 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบระบบระบายก๊าซแบบที่ 5 และ 3.47 กิโลกรัม สำหรับการออกแบบที่ 6 เมื่อทำการคำนวณผลจากน้ำหนักของก๊าซมาเป็นค่าความเข้มข้นของก๊าซจะได้ 29.26 พีพีเอ็ม สำหรับการออกแบบระบบระบายก๊าซที่ 4 , 36.21 พีพีเอ็ม สำหรับการออกแบบระบบระบายก๊าซแบบที่ 5 และ 29.23 พีพีเอ็ม สำหรับการออกแบบระบบระบายก๊าซแบบที่ 6 เมื่อพิจารณาดูจากค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เหลืออยู่ภายในห้องแล้ว พบว่าเกินค่า IDLH ของฟลูออรีนที่มีอยู่ที่ 25 พีพีเอ็ม ดังนั้นการออกแบบระบบระบายก๊าซที่ 4, 5 และ 6 จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้กับการระงับเหตุก๊าซรั่วภายในห้องทำงานที่ศึกษานี้ได้ ดังแสดงในตารางสรุปผลการทดลองทั้ง 6 แบบการออกแบบระบบระบายฉุกเฉิน

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบระบบระบายที่ 1

เวลา (วินาที)	น้ำหนักก๊าซในห้อง (กิโลกรัม)	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง (พีพีเอ็ม)
10.0042	12.2112	102.6151261
20.0046	9.64972	81.09008403
30.0049	7.62963	64.11453782
40.0053	6.04587	50.80563025
50.0057	4.80584	40.38521008
60.006	3.83276	32.20806723
70.0064	3.06676	25.77109244
71.4195	2.9723	24.97731092
207.756	0.119062	1.000521008
207.838	0.118799	0.998310924
300.001	0.0188557	0.158451261

ตารางที่ 3 ผลการออกแบบระบบระบายที่ 2

เวลา (วินาที)	น้ำหนักก๊าซในห้อง (กิโลกรัม)	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง (พีพีเอ็ม)
10.0042	12.2115	102.6176471
20.0046	9.64976	81.09042017
30.0049	7.64648	64.25613445
40.0053	6.07406	51.04252101
50.0057	4.83592	40.63798319
60.006	3.86402	32.4707563
70.0064	3.10025	26.05252101
71.9222	2.97378	24.9897479
194.087	0.119193	1.001621849
194.169	0.118892	0.999092437
300.001	0.00402353	0.033811176

ตารางที่ 4 ผลการออกแบบระบบระบายที่ 3

เวลา (วินาที)	น้ำหนักก๊าซในห้อง (กิโลกรัม)	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง (พีพีเอ็ม)
10.0042	12.2118	102.6201681
20.0046	9.65201	81.10932773
30.0049	7.64505	64.24411765
40.0053	6.07001	51.00848739
50.0057	4.83366	40.6189916
60.006	3.86195	32.45336134
70.0064	3.09678	26.02336134
71.9222	2.96996	24.95764706
200.922	0.119168	1.001411765
201.003	0.118902	0.999176471
300.001	0.00587642	0.049381681

ตารางที่ 5 ผลการออกแบบระบบระบายที่ 4

เวลา (วินาที)	น้ำหนักก๊าซในห้อง (กิโลกรัม)	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง (พีพีเอ็ม)
10.0146	13.227	111.1512605
20.052	12.6039	105.9151261
30.019	12.0158	100.9731092
40.0476	11.4564	96.27226891
50.0146	10.9236	91.79495798
60.0431	10.4166	87.53445378
70.0101	9.93556	83.49210084
80.0386	9.47781	79.64546218
90.0057	9.04656	76.02151261
100.034	8.6348	72.56134454
200.045	5.47167	45.98042017
300.016	3.48207	29.26109244

ตารางที่ 6 ผลการออกแบบระบบระบายที่ 5

เวลา (วินาที)	น้ำหนักก๊าซในห้อง (กิโลกรัม)	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง (พีพีเอ็ม)
10.0146	13.2715	111.5252101
20.052	12.7461	107.110084
30.019	12.2468	102.9142857
40.0476	11.7689	98.89831933
50.0146	11.3102	95.04369748
60.0431	10.8706	91.34957983
70.0101	10.449	87.80672269
80.0386	10.0436	84.4
90.0057	9.65739	81.15453782

ตารางที่ 6 (ต่อ)

เวลา (วินาที)	น้ำหนักก๊าซในห้อง (กิโลกรัม)	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง (พีพีเอ็ม)
100.034	9.28489	78.02428571
200.012	6.32023	53.11117647
300.012	4.30999	36.21840336

ตารางที่ 7 ผลการออกแบบระบบระบายที่ 6

เวลา (วินาที)	น้ำหนักก๊าซในห้อง (กิโลกรัม)	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง (พีพีเอ็ม)
10.0146	13.227	111.1512605
20.052	12.6039	105.9151261
30.019	12.0161	100.9756303
40.0476	11.4569	96.27647059
50.0146	10.9244	91.80168067
60.0431	10.4176	87.54285714
70.0101	9.93644	83.4994958
80.0386	9.47801	79.64714286
90.0057	9.0451	76.0092437
100.034	8.63237	72.54092437
200.005	5.46932	45.96067227
300.025	3.47899	29.23521008

ข้อเสนอแนะ

1. ด้านการปรับปรุงระบบระบายก๊าซออกจากห้อง

เมื่อเกิดเหตุก๊าซรั่ว พนักงานที่อยู่ในห้องที่เกิดก๊าซรั่วจะต้องรีบปิดวาวล์หากสามารถทำได้ และหากปิดไม่ได้จะต้องรีบอพยพออกจากห้องพร้อมกับกดปุ่มแจ้งเหตุฉุกเฉิน เพื่อแจ้งเตือนพนักงานในส่วนอื่นได้รับทราบและทำการอพยพตามแผนผังการอพยพในพื้นที่ของบริษัท ขณะเดียวกันการป้องกันอันตรายที่เกิดจากก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนนี้ จำเป็นจะต้องมีระบบตัดการจ่ายลมและลมกลับของระบบปรับอากาศ โดยให้ตัดการทำงานเมื่อสวิทซ์แจ้งเหตุก๊าซรั่วถูกกดจากพนักงาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการต่อสายควบคุมจากจุดแจ้งเหตุไปยังตู้ควบคุมมอเตอร์ของระบบปรับอากาศที่จ่ายภายในห้อง พร้อมกับให้มีระบบระบายก๊าซทำงานทันทีที่มีการกดปุ่มแจ้งเหตุก๊าซรั่ว เพื่อรีบระบายก๊าซออกจากพื้นที่โดยใช้การออกแบบระบบแบบที่ 2 จะพบว่าก๊าซจะมีความเข้มข้นไม่เกิน 1 พีพีเอ็ม (0.99 พีพีเอ็ม) ภายในระยะเวลา 194.16 วินาที และเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จะมีก๊าซเหลือภายในห้องเพียง 0.03 พีพีเอ็ม ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อพนักงาน

2. ด้านการฝึกซ้อมอพยพเมื่อก๊าซรั่ว

ควรจะมีการฝึกซ้อมการแจ้งเหตุฉุกเฉินและการอพยพออกจากพื้นที่กรณีก๊าซรั่วภายในระยะเวลาไม่เกิน 90 วินาที ซึ่งจะต้องมีการเขียนแผนการปฏิบัติการเมื่อก๊าซรั่วโดยกำหนดหน้าที่และการปฏิบัติให้ชัดเจน เพื่อจะได้ปฏิบัติได้ถูกต้องเมื่อเกิดเหตุการณ์จริง รวมถึงการทบทวนแผนการฝึกซ้อมและแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ดียิ่งขึ้นในกรณีที่ยังไม่มีการปรับปรุงระบบระบายอากาศ

3. ด้านการบำรุงรักษาระบบระบายก๊าซฉุกเฉิน

แผนกซ่อมบำรุงจะต้องมีการตรวจสอบระบบระบายก๊าซอยู่เป็นประจำ โดยตรวจสอบหน้าที่การทำงานของระบบให้พร้อมอยู่ตลอดเวลา ทั้งในเรื่องของสายควบคุมจากปุ่มกดแจ้งเหตุไปยังตู้ควบคุมมอเตอร์จ่ายลมของระบบปรับอากาศ เพื่อให้มั่นใจว่าเมื่อเกิดก๊าซรั่วแล้วระบบระบายก๊าซจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัญหาและอุปสรรคของการทำงาน

1. ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของควันจำเป็นจะต้องรอจนกว่าการผลิตจะหยุด เนื่องจากจะเกิดผลกระทบด้านความสะอาดต่อผลิตภัณฑ์ ทำให้งานวิจัยต้องล่าช้า รวมถึงการเขียนแบบจำลองของห้องค่อนข้างยุ่งยาก และควันที่ใช้ไม่สามารถดูการการเคลื่อนที่อีกด้านหนึ่งของท่อจ่ายอากาศที่ส่งไปพื้นที่อื่นบริเวณใกล้เคียง

2. ฐานข้อมูลของก๊าซฟลูออรีนไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรม Fire Dynamics Simulator จึงใช้ฐานข้อมูลของก๊าซที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกับก๊าซฟลูออรีน ซึ่งมีอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรมซึ่งก็คือก๊าซอาร์กอน

3. ในการใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator ต้องใช้ทรัพยากรของเครื่องค่อนข้างสูง และเมื่อโปรแกรมทำงานแล้ว เครื่องมีความร้อนสูงซึ่งเป็นสาเหตุให้เครื่องคอมพิวเตอร์เสียหาย

สรุป

ในการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาความเป็นอันตรายของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออน ซึ่งเป็นองค์ประกอบในการทำงานของเครื่องกำเนิดแสงเลซอร์ The PulseMaster® PM-800 และรั่วภายในห้องเลเซอร์ที่อยู่ในระบบปรับอากาศของอาคารผลิตและพนักงานทำงานอยู่ โดยศึกษาสภาพปัจจุบัน เพื่อหาระดับอันตรายหากมีเหตุการณ์ที่เกิดเหตุก๊าซรั่วชนิดที่เป็นเหตุการณ์ร้ายแรงสุด โดยอาศัยการคำนวณจากน้ำหนักก๊าซจากโปรแกรม Fire Dynamics Simulator และนำมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของก๊าซเมื่อเทียบกับมาตรฐานความปลอดภัยของก๊าซที่คนจะสามารถทำงานได้โดยปลอดภัย ลำดับการทดลองแรกจะใช้ควันเพื่อทำการดูทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องเลเซอร์ และใช้การวัดด้วยเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เครื่องมือวัดความเร็วลม, เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เพื่อนำมาเขียนขนาดห้องและกำหนดค่าจากการวัดลงในโปรแกรม Microsoft Notepad และนำมาใช้กับโปรแกรม Fire Dynamics Simulator และดูภาพเสมือนจากโปรแกรม Smokeview ที่พัฒนาโดยสถาบัน NIST

จะพบว่ามีปริมาณก๊าซที่รั่วเข้าระบบปรับอากาศรวมและปริมาณก๊าซที่เหลืออยู่ภายในห้องในสภาพปัจจุบันก่อนการออกแบบระบบระบายอากาศฉุกเฉิน มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ 52.16 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ค่าความเข้มข้นของก๊าซในบรรยากาศ (TLV) ที่ยินยอมให้มีได้ โดยที่พนักงานส่วนใหญ่ทำงานแล้วไม่เกิดอันตรายตามมาตรฐานของ ACGIH ที่ระบุว่ามีค่า TLV เท่ากับ 1 พีพีเอ็ม ดังนั้นการอพยพเมื่อเกิดเหตุการณ์ก๊าซรั่วจึงจำเป็นอย่างยิ่งในสภาพปัจจุบัน และจะต้องอพยพพนักงานให้ออกจากพื้นที่ภายในระยะเวลา 85 วินาที ค่าความเข้มข้นของก๊าซจะมีค่า 23.92 พีพีเอ็ม และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน จึงจำเป็นจะต้องมีการออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อกำจัดก๊าซที่รั่วออกโดยเร็ว ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การออกแบบระบบทั้งหมด 6 แบบ โดยแบ่งเป็นการออกแบบตามค่ามาตรฐานของ OSHA ที่ PEL-TWA = 0.1 พีพีเอ็ม ในการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 1-3 ผลการออกแบบระบบระบายอากาศที่ 1- 3 ได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เหลืออยู่ 0.15, 0.03 และ 0.04 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และการออกแบบตามมาตรฐานของ ACGIH ที่ TLV-TWA = 1 พีพีเอ็ม ในการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 4-6 ซึ่งจากผลการทดลอง มีค่าความเข้มข้นของก๊าซเหลืออยู่ 29.26, 36.21 และ 29.23 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ซึ่งยังเกินค่า IDLH จากผลการทดลอง การออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 2 เป็นระบบที่เหมาะสมและปลอดภัยจากแนวทางการออกแบบนี้ โดยดูจากปริมาณก๊าซที่เหลืออยู่ภายในห้องทำงาน ทั้งนี้ระบบการระบายอากาศแบบที่ 2 นี้ จะต้องมีการหยุด

ระบบปรับอากาศเมื่อเกิดเหตุในห้องด้วย ซึ่งจะเป็นการป้องกันก๊าซรั่วเข้าในระบบปรับอากาศได้ทันท่วงที ภายในเวลาไม่เกิน 5 วินาที โดยสามารถใช้ตัวกดแจ้งเหตุฉุกเฉินเมื่อก๊าซรั่วร่วมกับการออกแบบการระบายอากาศนี้ด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ.** ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. 2545. **ห้องสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม.** โรงพิมพ์บริษัทออฟเซ็ท ครีเอชั่นจำกัด, กรุงเทพฯ.

Forney, G.P. and K. McGrattan. 2004. **User's Guide for Smoke viewVersion 4.0.5 A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data.** Available Source: http://fire.nist.gov/ smokeview/docs/sv_users_guide_4.pdf, July 5, 2004.

_____. 2005. **Fire Dynamics Simulator Version4.0.5 Technical Reference Guide.** Available Source: http://fire.nist.gov/smokeviewdocs/fds_ tech_guide_4.pdf, July 5, 2004.

Louvar, J.F. and D.A. Crowl. 2001. **Chemical Process Safety Second Edition.** Prentice Hall PTR.

_____. and B.D. Louvar. 1998. **Health and Environmental Risk Analysis.** Prentice Hall PTR.

McQuiston, F.C., J.D. Parker and J.D .Spitler. 2005. **Heating,ventilating, and air conditioning: analysis and design 6th ed.** John Wiley & Sons, Inc.

Occupational Safety & Health Administration (OSHA) U.S. Department of Labor. 1990. **Air Contaminants – 1915.1000 Regulations (Standards – 29 CFR).** Avaliable Source: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10286 , January 23, 2005

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แสดงวิธีการคำนวณ

แสดงวิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหา Instantaneous Mass Flow Rate (Qm)

ถังก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนมีปริมาตร 566 ลิตร และมีความดันถังอยู่ที่ 500 PSI มีอัตราส่วนฟลูออรีน 3 % และนีออน 97 % เก็บอยู่ในห้องเก็บก๊าซที่อุณหภูมิห้อง 77 องศาฟาห์เรนไฮท์ จากสูตร

$$Q_{m_{chocked}} = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{r g_c M}{R_g T_0} \left(\frac{2}{r+1}\right)^{(r+1)/(r-1)}}$$

C_0 = Constant discharge coefficient

A = Area of orifice

P_0 = Absolute pressure leak to out side

r = Heat capacity ratio

g_c = Gravitational constant

M = Molecular weight

R_g = Ideal gas constant

T_0 = Temperature of the source

1. หา $Q_{m_{chocked}}$ ของ ฟลูออรีน

$C_0 = 1$, $r = 1.67$ (for monotonic) , $M_{F2} = 38 \ \frac{lb_m}{lb-mol}$, $g_c = 32.17 \frac{ft}{lb_f}\frac{lb_m}{S^2}$,

$R_g = 1545.3 \ \frac{ft \quad lb_m}{lb- \quad mol \quad R}$

วิธีทำ หา P_0, T_0, A

$P_0 = P + 14.7 \text{ psia} = 500 + 14.7 \ \frac{lb_f}{in^2} = 514.7 \ \frac{lb_f}{in^2} * 144 \ \frac{in^2}{ft^2} = 74116.8 \ \frac{lb_f}{ft^2}$

$T_0 = 77 + 470 = 547 \ ^\circ \text{R}$

$$A = \frac{\pi \quad d^2}{4} = \frac{3.14 * 1 \ \ in^2 * \frac{1 \quad ft^2}{144 \ \ in^2}}{4} = 545.1388 \text{ x } 10^{-5} \ \ ft^2$$

แทนค่าสูตร

$$Q_{m_{chocked}} = 1 * 545.1388 x 10^{-5} \ ft^2 * 74116.8 \frac{lb_f}{ft^2} \sqrt{\frac{1.67 * 32.17 \frac{ft \ \ lb_m}{lb_f \ \ s^2} * 38 \frac{lb_m}{lb - mol}}{1545.3 \ \ \frac{ft \ \ lb_f}{lb - mol^\circ R} * 547^\circ R}} * (0.3162)$$

$$= 404.04 \ lb_f \sqrt{76.3657 x 10^{-5} \ \ \frac{lb_m^{\ 2}}{lb_f^{\ 2} S^2}}$$

$$Q_{m_{chocked}} = 404.04 \ lb_f \ * 0.028 \ \frac{lb_m}{lb_f \ S}$$

$Q_{m_{chocked}}$ ของ ฟลูออรีน = $11.31312 \ \frac{lb_m}{S}$

2. หา $Q_{m_{chocked}}$ ของ นีออน

$C_0 = 1$, $r = 1.67$ (for monotonic) , $M_{Ne} = 20.183 \ \frac{lb_m}{lb - mol}$, $g_c = 32.17 \frac{ft}{lb_f} \frac{lb_m}{S^2}$,

$R_g = 1545.3 \ \frac{ft \quad lb_m}{lb - \quad mol \quad R}$

วิธีทำ หา P_0, T_0, A

$P_0 = P + 14.7$ psia = $500 + 14.7 \ \frac{lb_f}{in^2} = 514.7 \ \frac{lb_f}{in^2} * 144 \ \frac{in^2}{ft^2} = 74116.8 \ \frac{lb_f}{ft^2}$

$T_0 = 77 + 470 = 547 \ ^\circ$ R

$$A = \frac{\pi \quad d^2}{4} = \frac{3.14 * 1 \ \ in^2 * \frac{1 \quad ft^2}{144 \ \ in^2}}{4} = 545.1388 \text{ x } 10^{-5} \ \ ft^2$$

แทนค่าสูตร

$$Q_{m_{chocked}} = 1 * 545.1388x10^{-5}\ ft^2 * 74116.8\frac{lb_f}{ft^2}\ \sqrt{\frac{1.67 * 32.17\frac{ft}{lb_f}\frac{lb_m}{s^2} * 20.183\frac{lb_m}{lb-mol}}{1545.3\ \frac{ft\ \ lb_f}{lb-mol^\circ R} * 547^\circ R}} * (0.3162)$$

$$= 404.04\ lb_f\ \sqrt{40.5615x10^{-5}\ \ \frac{lb_m{}^2}{lb_f{}^2\ S^2}}$$

$$Q_{m_{chocked}} = 404.04\ lb_f\ * 0.020\ \frac{lb_m}{lb_f\ S}$$

$Q_{m_{chocked}}$ ของ นีออน $= 8.0808\ \frac{lb_m}{S}$

จากข้อมูลของถังที่มีความจุก๊าซรวม 566 ลิตร มีฟลูออรีน 3 % และ นีออน 97 % ดังนั้น จะมีปริมาณฟลูออรีนในถังเท่ากับ 16.98 ลิตร และ นีออน 549.02 ลิตร

แปลงหน่วยจาก $\frac{lb_m}{S}$ เป็น $\frac{L}{S}$

$Q_{m_{chocked}}$ ของ ฟลูออรีน $= 11.31312\ \frac{lb_m}{S} * \frac{1\ ft^3}{62.4\ lb_m} * \frac{1L}{3.531x10^{-2}\ ft^3}$

$Q_{m_{chocked}}$ ของฟลูออรีน $= 5.134522798\ \frac{L}{S}\ * 3/100 = 0.154035683\ \frac{L}{S}$

$Q_{m_{chocked}}$ ของ นีออน $= 8.0808\ \frac{lb_m}{S} * \frac{1\ ft^3}{62.4\ lb_m} * \frac{1L}{3.531x10^{-2}\ ft^3}$

$Q_{m_{chocked}}$ ของนีออน $= 3.667516284\ \frac{L}{S}\ * 97/100 = 3.557490795\ \frac{L}{S}$

ดังนั้น $Q_{m_{chocked}}$ รวมระหว่างฟลูออรีนและนีออน $= 0.154035683 + 3.557490795\ \frac{L}{S}$

$Q_{m_{chocked}}$ รวมระหว่างฟลูออรีนและนีออน $= 3.711526478\ \frac{L}{S}$

ดังนั้นก๊าซ 1 ถัง 566 ลิตรจะรั่วหมดถังในเวลา = 566 / 3.711526478

= 152.5 วินาที หรือ 2.542 นาที

2. <u>วิธีการคำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซจากน้ำหนักก๊าซ</u>

สมมติให้น้ำหนักก๊าซ 3.6 กิโลกรัม

ความเข้มข้นก๊าซที่ 1 ppm = 1g/1,000,000 cm^3(ml)

ขนาดของห้องที่คำนวณ = กว้าง x ยาว x สูง

= 5 x 7 x 3.4

= 119 m^3

ตัวอย่างการคำนวณ

= 3.6 x 1000 g/119 x 1,000,000 cm^3/ 1g/1,000,000 cm^3

= 30.25 ppm

3. <u>วิธีการคำนวณหาความเร็วลมในการระบายก๊าซออก</u>

จากสูตร $Qv = \left[\frac{Qm * R * T}{K * Cppm * P * M}\right] x10^6$

เมื่อ Cppm = ค่าความเข้มข้นของก๊าซ หน่วย ppm

Qm = อัตราการไหลของก๊าซฟลูออรีนและนีออน หน่วย lbm/s

R = ค่าคงที่ของก๊าซในอุดมคติ หน่วย (ft3 x atm/lb-m R)

T = ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ หน่วย °R

= 460 + °F

K = ค่าคงที่ของการผสมถ้าผสมสมบูรณ์จะเท่ากับ 1

Qv = อัตราความเร็วลมในการระบายอากาศ หน่วย ft/min

P = ค่าแรงดันสมบูรณ์ หน่วย atm

M = มวลโมเลกุล หน่วย lb/lb-m

จาก $Q_{m_{chocked}}$ รวมระหว่างฟลูออรีนและนีออน = 3.711526478 $\frac{L}{S}$

แปลงหน่วยจาก l/s เป็น lbm/s

จะได้ = $3.711526478\frac{l}{s} * \frac{62.4lbm}{1ft^3} * \frac{3.531x10^{-2}\ ft^3}{1l}$

= $8.177769596\frac{lbm}{s}$

อุณหภูมิห้องทำงานที่วัดได้ด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส หรือเท่ากับ 80.6องศาฟาห์เรนไฮท์

มวลโมเลกุลของก๊าซฟลูออรีน = 38 lb/lb-m

Cppmของก๊าซฟลูออรีน(TLV) = 1 ppm

$Q_{m_{chocked}}$ = $8.177769596\frac{lbm}{s}$

R = $0.7302\frac{ft^3 atm}{lb-m^\circ R}$

P = 1 atm

T = 460 + 80.6 °R

= 540.6 °R

K = 1

แทนค่าสูตร

$$1\text{ ppm} = \frac{8.177769596\frac{lbm}{s} * 0.7302\frac{ft^3 atm}{lb-m^\circ R} * 540.6\ ^\circ R}{1*Qv*1\text{ atm}*38\text{ lb/lb-m}}$$

$$Qv = \frac{8.177769596\frac{lbm}{s} * 0.7302\frac{ft^3 atm}{lb-m^\circ R} * 540.6\ ^\circ R * \frac{60s}{1\min}}{38\text{ lb/lb-m}}$$

Qv = $5097.067608\frac{ft^3}{\min}$

จากสูตร V = $\frac{Qv}{A}\frac{ft}{\min}$

ขนาดช่องระบายอากาศ A = 1 x 2 ft

= $2\,ft^2$

∴ V = $\frac{5097.067608\,ft^3}{2\,ft^2}$

= $2548.533804\frac{ft}{\min}$

= $1.202774\frac{m}{s}$

ภาคผนวก ข

แสดงข้อมูลการเขียนข้อมูลเพื่อใช้รันโปรแกรม Fire Dynamics Simulator

แสดงข้อมูลการเขียนข้อมูลเพื่อใช้รันโปรแกรม Fire Dynamics Simulator

ข้อมูลโปรแกรมก่อนทำการออกแบบระบบระบายอากาศ

&HEAD CHID='TestroomBefore',TITLE='Ventilation' /

เป็นการกำหนดชื่อของการออกแบบทดลองซึ่งชื่อ Ventilation คือชื่อของการทดลองก่อนการออกแบบ และข้อมูลที่จะให้เก็บอยู่ในชื่อ TestroomBefore

&GRID IBAR=45,JBAR=75,KBAR=40 /135000 cells total

เป็นการกำหนดขนาดของกริดที่จะให้โปรแกรมคำนวณ มีด้าน X = 45 , Y = 75 , Z = 40

&PDIM XBAR0=-0.5, XBAR=4.5, YBAR0=-0.5,YBAR=6.5,ZBAR0=0.0,ZBAR=3.4/

เป็นการกำหนดขนาดของห้องที่ต้องการคำนวณ

&TIME TWFIN=300. /

เป็นการกำหนดให้โปรแกรมทำการคำนวณทั้งหมด 300 วินาที

&MISC DATABASE='C:\nist\fds\database4\database4.data'/

เป็นการกำหนดให้ใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม Fire Dynamics Simulator ของเครื่องที่ทำการติดตั้งโปรแกรมนี้อยู่

&MISC NFRAMES=3600,

เป็นการกำหนดให้โปรแกรมแสดงภาพได้สูงสุด 3600 ภาพ

&SPEC ID='ARGON',MASS_FRACTION_0=0.1,MW=40./

เป็นการกำหนดชนิดของก๊าซในที่นี้คืออาร์กอน ที่มีมวลโมเลกุลอยู่ 40 กรัมต่อกรัมโมล

&SURF ID='BLOW' ,VEL=-0.00154035683, TMPWAL=25.0, RGB=0.0,0.0,1.0,
PART_ID='ARGON', /

เป็นการกำหนดให้เมื่อเขียน PART_ID ว่าเป็น ARGON ให้นำค่าจาก SPEC ID มาใช้

VEL=-0.00154035683 means that all vents this SURF line is applied to will push air (as indicated by the negative sign) into the room at a speed of 0.00154035683 m/s.

TMPWAL=25.0 specifies that the temperature of this air is 25 degrees C.

RGB (red, green, blue) specifies the color of objects this SURF line is applied to (in this case blue).

PART_ID specifies which particle line to apply to this SURF group.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซที่มี ID = BLOW มีค่าความเร็วลมเย็นเป่าออกมาที่ 0.003711526 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

&SURF ID='BLOW2',VEL=-0.1264819, TMPWAL=17.0, RGB=0.0,0.0,0.0, PART_ID='cold

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW2' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.1264819 m/s.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซที่มี ID = BLOW2 มีค่าความเร็วลมเย็นเป่าออกมาที่ 0.1264819 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิเท่ากับ 17 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นค่าของหัวจ่ายแอร์หัวที่ 1 นับจากด้านในของห้อง

&SURF ID='BLOW3',VEL=-0.05333006, TMPWAL=17.0, RGB=0.0,0.0,0.0, PART_ID='cold

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW3' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.05333006 m/s.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซที่มี ID = BLOW3 มีค่าความเร็วลมเย็นเป่าออกมาที่ 0.05333006 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิเท่ากับ 17 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นค่าของหัวจ่ายแอร์หัวที่ 2 นับจากด้านในของห้อง

&SURF ID='SUCK' ,VEL= 3.27, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 3.27 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

เป็นการกำหนดให้มีการดูดเอาก๊าซออกที่ความเร็ว 3.27 เมตรต่อวินาที ซึ่งคือตำแหน่งของหัวดูดลมกลับเข้าระบบปรับอากาศ

&SURF ID='SUCK2' ,VEL= 0.55, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 0.55 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

เป็นการกำหนดให้มีการดูดเอาก๊าซออกที่ความเร็ว 0.55 เมตรต่อวินาที ซึ่งคือตำแหน่งของช่องดูดอากาศที่ตู้เก็บก๊าซในห้องเลเซอร์

&PART ID='ARGON', QUANTITY='RED', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit red particles. MASSLESS=.TRUE. specifies that these are massless tracer particles, which are often used to trace air flow. Note that if only massless black tracer particles are desired, no PART line is necessary. Simply add PARTICLES=.TRUE. to the appropriate SURF line.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซอาร์กอนมี Particles เป็นสีแดง

&PART ID='cold air', QUANTITY='BLUE', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit blue tracer particles.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซไนโตรเจนมี Particles เป็นสีเขียว

****

Sample Output Types

&SLCF PBX=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX=0.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY=3.0,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=1.5,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=0.5,QUANTITY='VELOCITY' /

This line instructs FDS to record data so that a slice file may be viewed in Smokeview QUANTITY specifies what value to record, in this case the gas temperature. PBY=0.5 tells FDS to gather data along the plane y=0.5 m. VECTOR=.TRUE. specifies that vectors are to be shown. In this case, a vector's direction indicates the flow speed at that point, while its color indicates the gas temperature at that point.

Slice files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Slice file

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE_FLUX' / Tells FDS to record the convective flux to all solid surfaces Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

&PL3D DTSAM=30.0 / Changes the time interval at which Plot3D quantities are written out to a file from the default (TWFIN/5) to 30 seconds.

เป็นการกำหนดให้โปรแกรมแสดงค่าความเร็วลมและอุณหภูมิที่ตำแหน่งความสูงระดับต่างๆ

Obstructions

&OBST XB= 0.0,0.1, 0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 1 / Left wall

&OBST XB= 0.1,3.9,5.9, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 2 / Back wall

&OBST XB= 3.9,4.0,0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 3 / Right wall

&OBST XB= 0.1,3.9,0.0, 0.1,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 4 / Front wall

&OBST XB= 0.12,0.77,5.421, 5.9,0.0,1.9, RGB=1,0,0, / 5 / Cabinet

&OBST XB= 1.9,2.76, 3.62, 5.36,0.77,1.35, RGB=0,1,0, / 6 / Laser machine

&OBST XB= 2.0,2.86, 3.62, 4.02,0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 7 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.1,2.2, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 8 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.6,2.7, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 9 / Laser machine stand

&OBST XB= 1.88,2.79,1.73,3.56,0.7,0.9 , RGB=0,0,1, / 10 / Work bench

&OBST XB= 2.33,2.58,1.73,3.56,0.9,1.26 , RGB=0,1,0, / 11 / Box on Work bench

&OBST XB= 2.26,2.39,1.57,1.70,0.0,1.7 , RGB=0,0,1, / 12 / column roof

&OBST XB= 2.26,2.39,3.56,3.69,1.26,1.7 , RGB=0,0,1, / 13 / column roof

&OBST XB= 1.87,2.53,1.57,3.69,1.7,1.77 , RGB=0,0,1, / 14 / roof

&OBST XB= 1.7,2.25,1.0,1.49,0.0,1.51 , RGB=0,1,0, / 15 / computer rack

เป็นการกำหนดสิ่งกีดขวางต่างๆที่อยู่ในห้องเลเซอร์

&VENT XB=0.35,0.53,5.42,5.42,0,0.16 SURF_ID='SUCK2',T_ACTIVATE=0.0 / 16 / cabinet exhaust

เป็นการกำหนดตำแหน่งของตู้เก็บก๊าซในห้องเลเซอร์และให้มีการดูดอากาศตลอดเวลา

&VENT XB= 0.1,0.15,2.5,2.55,0,0

SURF_ID='BLOW',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=152.5 / 17 / fluorine blow out

เป็นการกำหนดตำแหน่งที่ให้ก๊าซรั่วออกมาใช้เวลาทั้งหมด 152.5 วินาที

&VENT XB=0.9,1.2,0.6,0.9,3.4,3.4 SURF_ID='BLOW2',T_ACTIVATE=0.0, / 18 / first supply

&VENT XB=0.9,1.2,3.4,3.6,3.4,3.4 SURF_ID='BLOW3',T_ACTIVATE=0.0, / 19 / second supply

เป็นการกำหนดให้หัวจ่ายลมเย็น เริ่มจ่ายลมทันทีที่เริ่มมีการคำนวณของโปรแกรม

&VENT XB=3.1,3.4,3.5,3.8,3.4,3.4 SURF_ID='SUCK',T_ACTIVATE=0.0, / 20 /

return air

เป็นการกำหนดให้หัวดูดลมกลับเริ่มดูดลมทันทีที่เริ่มมีการคำนวณของโปรแกรม

&HOLE XB= 0.0, 0.1, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0, T_CREATE=0.0, / 21

&HOLE XB= 3.9, 4.0, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 22

&HOLE XB= 0.1, 3.9, 0.0, 0.1, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 23

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 24 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 25 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 26 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 27 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 28 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 29 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 30 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 31 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 32 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 33 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

เป็นช่องเจาะต่างๆ ของห้องเลเซอร์ ที่พนักงานทำงานและสมมติให้เกิดก๊าซรั่ว

ข้อมูลโปรแกรมการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 1

&HEAD CHID='Design1',TITLE='Ventilation' /

เป็นการกำหนดชื่อของการออกแบบทดลองซึ่งชื่อ Ventilation คือชื่อของการทดลองของการออกแบบ และข้อมูลที่จะให้เก็บอยู่ในชื่อ Design1

&GRID IBAR=45,JBAR=75,KBAR=40 /135000 cells total

เป็นการกำหนดขนาดของกริดที่จะให้โปรแกรมคำนวณ มีด้าน X = 45 , Y = 75 , Z = 40

&PDIM XBAR0=-0.5, XBAR=4.5, YBAR0=-0.5,YBAR=6.5,ZBAR0=0.0,ZBAR=3.4/

เป็นการกำหนดขนาดของห้องที่ต้องการคำนวณ

&TIME TWFIN=300. /

เป็นการกำหนดให้โปรแกรมทำการคำนวณทั้งหมด 300 วินาที

&MISC DATABASE='C:\nist\fds\database4\database4.data' /

เป็นการกำหนดให้ใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม Fire Dynamics Simulator ของเครื่องที่ทำการติดตั้งโปรแกรมนี้อยู่

&MISC NFRAMES=3600,

เป็นการกำหนดให้โปรแกรมแสดงภาพได้สูงสุด 3600 ภาพ

&SPEC ID='ARGON',MASS_FRACTION_0=0.1,MW=40./

เป็นการกำหนดชนิดของก๊าซในที่นี้คืออาร์กอน ที่มีมวลโมเลกุลอยู่ 40 กรัมต่อกรัมโมล

&SURF ID='BLOW' ,VEL=-0.00154035683, TMPWAL=25.0, RGB=0.0,0.0,1.0,
PART_ID='ARGON', /

เป็นการกำหนดให้เมื่อเขียน PART_ID ว่าเป็น ARGON ให้นำค่าจาก SPEC ID มาใช้

VEL=-0.00154035683 means that all vents this SURF line is applied to will push air (as indicated by the negative sign) into the room at a speed of 0.00154035683 m/s.

TMPWAL=25.0 specifies that the temperature of this air is 25 degrees C.

RGB (red, green, blue) specifies the color of objects this SURF line is applied to (in this case blue).

PART_ID specifies which particle line to apply to this SURF group.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซที่มี ID = BLOW มีค่าความเร็วลมเย็นเป่าออกมาที่ 0.003711526 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

&SURF ID='BLOW2',VEL=-0.1264819, TMPWAL=17.0, RGB=0.0,0.0,0.0,
PART_ID='cold
air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW2' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.1264819 m/s.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซที่มี ID = BLOW2 มีค่าความเร็วลมเย็นเป่าออกมาที่ 0.1264819 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิเท่ากับ 17 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นค่าของหัวจ่ายแอร์หัวที่ 1 นับจากด้านในของห้อง

&SURF ID='BLOW3',VEL=-0.05333006, TMPWAL=17.0, RGB=0.0,0.0,0.0,
PART_ID='cold
air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW3' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.05333006 m/s.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซที่มี ID = BLOW3 มีค่าความเร็วลมเย็นเป่าออกมาที่ 0.05333006 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิเท่ากับ 17 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นค่าของหัวจ่ายแอร์หัวที่ 2 นับจากด้านในของห้อง

&SURF ID='SUCK' ,VEL= 3.27, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 3.27 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

เป็นการกำหนดให้มีการดูดเอาก๊าซออกที่ความเร็ว 3.27 เมตรต่อวินาที ซึ่งคือตำแหน่งของหัวดูดลมกลับเข้าระบบปรับอากาศ

&SURF ID='SUCK2' ,VEL= 0.55, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 0.55 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

เป็นการกำหนดให้มีการดูดเอาก๊าซออกที่ความเร็ว 0.55 เมตรต่อวินาที ซึ่งคือตำแหน่งของช่องดูดอากาศที่ตู้เก็บก๊าซในห้องเลเซอร์

&SURF ID='SUCK3' ,VEL= 12.02774, RGB=1.0,0.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 12.02774 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

เป็นการกำหนดให้มีการดูดเอาก๊าซออกที่ความเร็ว 12.02774 เมตรต่อวินาที ซึ่งคือตำแหน่งของช่องดูดก๊าซฉุกเฉินเมื่อเกิดเหตุก๊าซรั่วในห้องเลเซอร์ในการออกแบบการระบบระบายก๊าซแบบที่ 1

&PART ID='ARGON', QUANTITY='RED', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit red particles. MASSLESS=.TRUE. specifies that these are massless tracer particles, which are often used to trace air flow. Note that if only massless black tracer particles are desired, no PART line is necessary. Simply add PARTICLES=.TRUE. to the appropriate SURF line.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซอาร์กอนมี Particles เป็นสีแดง

&PART ID='cold air', QUANTITY='BLUE', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit blue tracer particles.

เป็นการกำหนดให้ก๊าซไนโตรเจนมี Particles เป็นสีเขียว

****

Sample Output Types

&SLCF PBX=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX=0.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY=3.0,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=1.5,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=0.5,QUANTITY='VELOCITY' /

This line instructs FDS to record data so that a slice file may be viewed in Smokeview QUANTITY specifies what value to record, in this case the gas temperature.

PBY=0.5 tells FDS to gather data along the plane y=0.5 m.

VECTOR=.TRUE. specifies that vectors are to be shown. In this case, a vector's direction indicates the flow speed at that point, while its color indicates the gas temperature at that point.

Slice files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Slice file

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE_FLUX' / Tells FDS to record the convective flux to all solid surfaces

Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

&PL3D DTSAM=30.0 / Changes the time interval at which Plot3D quantities are written out to a file from the default (TWFIN/5) to 30 seconds.

เป็นการกำหนดให้โปรแกรมแสดงค่าความเร็วลมและอุณหภูมิที่ตำแหน่งความสูงระดับต่างๆ

Obstructions

&OBST XB= 0.0,0.1, 0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 1 / Left wall

&OBST XB= 0.1,3.9,5.9, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 2 / Back wall

&OBST XB= 3.9,4.0,0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 3 / Right wall

&OBST XB= 0.1,3.9,0.0, 0.1,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 4 / Front wall

&OBST XB= 0.12,0.77,5.421, 5.9,0.0,1.9, RGB=1,0,0, / 5 / Cabinet

&OBST XB= 1.9,2.76, 3.62, 5.36,0.77,1.35, RGB=0,1,0, / 6 / Laser machine

&OBST XB= 2.0,2.86, 3.62, 4.02,0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 7 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.1,2.2, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 8 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.6,2.7, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 9 / Laser machine stand

&OBST XB= 1.88,2.79,1.73,3.56,0.7,0.9 , RGB=0,0,1, / 10 / Work bench

&OBST XB= 2.33,2.58,1.73,3.56,0.9,1.26 , RGB=0,1,0, / 11 / Box on Work bench

&OBST XB= 2.26,2.39,1.57,1.70,0.0,1.7 , RGB=0,0,1, / 12 / column roof

&OBST XB= 2.26,2.39,3.56,3.69,1.26,1.7 , RGB=0,0,1, / 13 / column roof

&OBST XB= 1.87,2.53,1.57,3.69,1.7,1.77 , RGB=0,0,1, / 14 / roof

&OBST XB= 1.7,2.25,1.0,1.49,0.0,1.51 , RGB=0,1,0, / 15 / computer rack

เป็นการกำหนดสิ่งกีดขวางต่างๆที่อยู่ในห้องเลเซอร์

&VENT XB=0.35,0.53,5.42,5.42,0,0.16 SURF_ID='SUCK2',T_ACTIVATE=0.0 / 16 / cabinet exhaust

เป็นการกำหนดตำแหน่งของตู้เก็บก๊าซในห้องเลเซอร์และให้มีการดูดอากาศตลอดเวลา

&VENT XB= 0.1,0.15,2.5,2.55,0,0

SURF_ID='BLOW',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=152.5 / 17 / fluorine blow out

เป็นการกำหนดตำแหน่งที่ให้ก๊าซรั่วออกมาใช้เวลาทั้งหมด 152.5 วินาที

&VENT XB=0.9,1.2,0.6,0.9,3.4,3.4

SURF_ID='BLOW2',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 18 / first supply

&VENT XB=0.9,1.2,3.4,3.6,3.4,3.4

SURF_ID='BLOW3',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 19 / second supply

&VENT XB=3.1,3.4,3.5,3.8,3.4,3.4

เป็นการกำหนดให้หัวจ่ายลมเย็น เริ่มจ่ายลมทันทีที่มีการคำนวณของโปรแกรมและให้หยุดเมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที

SURF_ID='SUCK',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 20 / return air

เป็นการกำหนดให้หัวดูดลมกลับดูดลมทันทีที่เริ่มมีการคำนวณของโปรแกรมและให้หยุดเมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที

&VENT XB=3.1,3.4,2.5,3.1,3.4,3.4 SURF_ID='SUCK3',T_ACTIVATE=5.0 / 21/ emergency exhaust

เป็นการกำหนดให้ระบบระบายก๊าซฉุกเฉินมเริ่มทำงานเมื่อโปรแกรมเริ่มมีการคำนวณผ่านไปได้ 5 วินาที

&HOLE XB= 0.0, 0.1, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0, T_CREATE=0.0, / 22

&HOLE XB= 3.9, 4.0, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 23

&HOLE XB= 0.1, 3.9, 0.0, 0.1, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 24

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 25 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 26 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 27 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 28 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 29 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 30 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 31 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 32 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 33 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 34 / Creates a hole in the wall at time t=0.0 sec.

เป็นช่องเจาะต่างๆ ของห้องเลเซอร์ ที่พนักงานทำงานและสมมติให้เกิดก๊าซรั่ว

ข้อมูลโปรแกรมการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 2

```
&HEAD CHID='Design2',TITLE='Ventilation'  /
&GRID IBAR=45,JBAR=75,KBAR=40 /135000 cells total
&PDIM XBAR0=-0.5, XBAR=4.5, YBAR0=-0.5,YBAR=6.5,ZBAR0=0.0,ZBAR=3.4/
&TIME TWFIN=300. /
&MISC DATABASE='C:\nist\fds\database4\database4.data'/
&MISC NFRAMES=3600,
&SPEC ID='ARGON',MASS_FRACTION_0=0.1,MW=40./
&SURF ID='BLOW' ,VEL=-0.00154035683, TMPWAL=25.0, RGB=0.0,0.0,1.0,
PART_ID='ARGON', /
```

VEL=-0.00154035683 means that all vents this SURF line is applied to will push air (as indicated by the negative sign) into the room at a speed of 0.00154035683 m/s.

TMPWAL=25.0 specifies that the temperature of this air is 25 degrees C.

RGB (red, green, blue) specifies the color of objects this SURF line is applied to (in this case blue).

PART_ID specifies which particle line to apply to this SURF group.

```
&SURF ID='BLOW2',VEL=-0.1264819, TMPWAL=17.0,   RGB=0.0,0.0,0.0,
PART_ID='cold
```

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW2' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.1264819 m/s.

```
&SURF ID='BLOW3',VEL=-0.05333006, TMPWAL=17.0,   RGB=0.0,0.0,0.0,
PART_ID='cold
```

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW3' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.05333006 m/s.

```
&SURF ID='SUCK' ,VEL= 3.27, RGB=0.0,1.0,0.0 /
```

Pulls air out of the room at 3.27 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK2' ,VEL= 0.55, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 0.55 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK3' ,VEL= 12.02774, RGB=1.0,0.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 12.02774 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&PART ID='ARGON', QUANTITY='RED', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit red particles. MASSLESS=.TRUE. specifies that these are massless tracer particles, which are often used to trace air flow. Note that if only massless black tracer particles are desired, no PART line is necessary. Simply add PARTICLES=.TRUE. to the appropriate SURF line.

&PART ID='cold air', QUANTITY='BLUE', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit blue tracer particles.

****

Sample Output Types

&SLCF PBX=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX=0.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY=3.0,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=1.5,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=0.5,QUANTITY='VELOCITY' /

This line instructs FDS to record data so that a slice file may be viewed in Smokeview

QUANTITY specifies what value to record, in this case the gas temperature.

PBY=0.5 tells FDS to gather data along the plane y=0.5 m.

VECTOR=.TRUE. specifies that vectors are to be shown. In this case, a vector's direction indicates the flow speed at that point, while its color indicates the gas temperature at that point.

Slice files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Slice file

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat

flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE_FLUX' / Tells FDS to record the convective flux to all solid surfaces Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

&PL3D DTSAM=30.0 / Changes the time interval at which Plot3D quantities are written out to a file from the default (TWFIN/5) to 30 seconds.

Obstructions

&OBST XB= 0.0,0.1, 0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 1 / Left wall

&OBST XB= 0.1,3.9,5.9, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 2 / Back wall

&OBST XB= 3.9,4.0,0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 3 / Right wall

&OBST XB= 0.1,3.9,0.0, 0.1,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 4 / Front wall

&OBST XB= 0.12,0.77,5.421, 5.9,0.0,1.9, RGB=1,0,0, / 5 / Cabinet

&OBST XB= 1.9,2.76, 3.62, 5.36,0.77,1.35, RGB=0,1,0, / 6 / Laser machine

&OBST XB= 2.0,2.86, 3.62, 4.02,0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 7 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.1,2.2, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 8 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.6,2.7, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 9 / Laser machine stand

&OBST XB= 1.88,2.79,1.73,3.56,0.7,0.9 , RGB=0,0,1, / 10 / Work bench

&OBST XB= 2.33,2.58,1.73,3.56,0.9,1.26 , RGB=0,1,0, / 11 / Box on Work bench

&OBST XB= 2.26,2.39,1.57,1.70,0.0,1.7 , RGB=0,0,1, / 12 / column roof

&OBST XB= 2.26,2.39,3.56,3.69,1.26,1.7 , RGB=0,0,1, / 13 / column roof

&OBST XB= 1.87,2.53,1.57,3.69,1.7,1.77 , RGB=0,0,1, / 14 / roof

&OBST XB= 1.7,2.25,1.0,1.49,0.0,1.51 , RGB=0,1,0, / 15 / computer rack

&VENT XB=0.35,0.53,5.42,5.42,0,0.16 SURF_ID='SUCK2',T_ACTIVATE=0.0 / 16 / cabinet exhaust

&VENT XB=0.1,0.15,2.5,2.55,0,0

SURF_ID='BLOW',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=152.5 / 17 / fluorine blow out

&VENT XB=0.9,1.2,0.6,0.9,3.4,3.4

SURF_ID='BLOW2',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 18 / first supply

&VENT XB=0.9,1.2,3.4,3.6,3.4,3.4
SURF_ID='BLOW3',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 19 / second supply
&VENT XB=3.1,3.4,3.5,3.8,3.4,3.4
SURF_ID='SUCK',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 20 / return air
&VENT XB=1.51,1.81,2.5,3.1,3.4,3.4 SURF_ID='SUCK3',T_ACTIVATE=5.0 / 21/
emergency exhaust
&HOLE XB= 0.0, 0.1, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0, T_CREATE=0.0, / 22
&HOLE XB= 3.9, 4.0, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 23
&HOLE XB= 0.1, 3.9, 0.0, 0.1, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 24
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 25 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 26 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 27 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 28 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 29 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 30 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 31 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 32 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 33 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 34 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.

ข้อมูลโปรแกรมการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 3

```
&HEAD CHID='Design3',TITLE='Ventilation'  /
&GRID IBAR=45,JBAR=75,KBAR=40 /135000 cells total
&PDIM XBAR0=-0.5, XBAR=4.5, YBAR0=-0.5,YBAR=6.5,ZBAR0=0.0,ZBAR=3.4/
&TIME TWFIN=300. /
&MISC DATABASE='C:\nist\fds\database4\database4.data' /
&MISC NFRAMES=3600,
&SPEC ID='ARGON',MASS_FRACTION_0=0.1,MW=40./
&SURF ID='BLOW' ,VEL=-0.00154035683, TMPWAL=25.0, RGB=0.0,0.0,1.0,
PART_ID='ARGON', /
```

VEL=-0.00154035683 means that all vents this SURF line is applied to will push air (as indicated by the negative sign) into the room at a speed of 0.00154035683 m/s.

TMPWAL=25.0 specifies that the temperature of this air is 25 degrees C.

RGB (red, green, blue) specifies the color of objects this SURF line is applied to (in this case blue).

PART_ID specifies which particle line to apply to this SURF group.

```
&SURF ID='BLOW2',VEL=-0.1264819, TMPWAL=17.0,   RGB=0.0,0.0,0.0,
PART_ID='cold
```

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW2' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.1264819 m/s.

```
&SURF ID='BLOW3',VEL=-0.05333006, TMPWAL=17.0,   RGB=0.0,0.0,0.0,
PART_ID='cold
```

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW3' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.05333006 m/s.

```
&SURF ID='SUCK' ,VEL= 3.27, RGB=0.0,1.0,0.0 /
```

Pulls air out of the room at 3.27 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK2' ,VEL= 0.55, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 0.55 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK3' ,VEL= 12.02774, RGB=1.0,0.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 12.02774 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&PART ID='ARGON', QUANTITY='RED', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit red particles. MASSLESS=.TRUE. specifies that these are massless tracer particles, which are often used to trace air flow. Note that if only massless black tracer particles are desired, no PART line is necessary. Simply add PARTICLES=.TRUE. to the appropriate SURF line.

&PART ID='cold air', QUANTITY='BLUE', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit blue tracer particles.

****

Sample Output Types

&SLCF PBX=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX=0.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY=3.0,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=1.5,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=0.5,QUANTITY='VELOCITY' /

This line instructs FDS to record data so that a slice file may be viewed in Smokeview

QUANTITY specifies what value to record, in this case the gas temperature.

PBY=0.5 tells FDS to gather data along the plane y=0.5 m.

VECTOR=.TRUE. specifies that vectors are to be shown. In this case, a vector's direction indicates the flow speed at that point, while its color indicates the gas temperature at that point.

Slice files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Slice file

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE_FLUX' / Tells FDS to record the convective flux to all solid surfaces Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

&PL3D DTSAM=30.0 / Changes the time interval at which Plot3D quantities are written out to a file from the default (TWFIN/5) to 30 seconds.

Obstructions

&OBST XB= 0.0,0.1, 0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 1 / Left wall

&OBST XB= 0.1,3.9,5.9, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 2 / Back wall

&OBST XB= 3.9,4.0,0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 3 / Right wall

&OBST XB= 0.1,3.9,0.0, 0.1,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 4 / Front wall

&OBST XB= 0.12,0.77,5.421, 5.9,0.0,1.9, RGB=1,0,0, / 5 / Cabinet

&OBST XB= 1.9,2.76, 3.62, 5.36,0.77,1.35, RGB=0,1,0, / 6 / Laser machine

&OBST XB= 2.0,2.86, 3.62, 4.02,0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 7 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.1,2.2, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 8 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.6,2.7, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 9 / Laser machine stand

&OBST XB= 1.88,2.79,1.73,3.56,0.7,0.9 , RGB=0,0,1, / 10 / Work bench

&OBST XB= 2.33,2.58,1.73,3.56,0.9,1.26 , RGB=0,1,0, / 11 / Box on Work bench

&OBST XB= 2.26,2.39,1.57,1.70,0.0,1.7 , RGB=0,0,1, / 12 / column roof

&OBST XB= 2.26,2.39,3.56,3.69,1.26,1.7 , RGB=0,0,1, / 13 / column roof

&OBST XB= 1.87,2.53,1.57,3.69,1.7,1.77 , RGB=0,0,1, / 14 / roof

&OBST XB= 1.7,2.25,1.0,1.49,0.0,1.51 , RGB=0,1,0, / 15 / computer rack

&VENT XB=0.35,0.53,5.42,5.42,0,0.16 SURF_ID='SUCK2',T_ACTIVATE=0.0 / 16 / cabinet exhaust

&VENT XB=0.1,0.15,2.5,2.55,0,0

SURF_ID='BLOW',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=152.5 / 17 / fluorine blow out

&VENT XB=0.9,1.2,0.6,0.9,3.4,3.4

SURF_ID='BLOW2',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 18 / first supply

&VENT XB=0.9,1.2,3.4,3.6,3.4,3.4
SURF_ID='BLOW3',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 19 / second supply
&VENT XB=3.1,3.4,3.5,3.8,3.4,3.4
SURF_ID='SUCK',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 20 / return air
&VENT XB=0.1,0.4,2.5,3.1,3.4,3.4 SURF_ID='SUCK3',T_ACTIVATE=5.0 / 21/
emergency exhaust
&HOLE XB= 0.0, 0.1, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0, T_CREATE=0.0, / 22
&HOLE XB= 3.9, 4.0, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 23
&HOLE XB= 0.1, 3.9, 0.0, 0.1, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 24
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 25 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 26 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 27 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 28 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 29 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 30 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 31 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 32 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 33 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 34 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.

ข้อมูลโปรแกรมการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 4

&HEAD CHID='Design4',TITLE='Ventilation' /

&GRID IBAR=45,JBAR=75,KBAR=40 /135000 cells total

&PDIM XBAR0=-0.5, XBAR=4.5, YBAR0=-0.5,YBAR=6.5,ZBAR0=0.0,ZBAR=3.4/

&TIME TWFIN=300. /

&MISC DATABASE='C:\nist\fds\database4\database4.data' /

&MISC NFRAMES=3600,

&SPEC ID='ARGON',MASS_FRACTION_0=0.1,MW=40./

&SURF ID='BLOW' ,VEL=-0.00154035683, TMPWAL=25.0, RGB=0.0,0.0,1.0,

PART_ID='ARGON', /

VEL=-0.00154035683 means that all vents this SURF line is applied to will push air (as indicated by the negative sign) into the room at a speed of 0.00154035683 m/s.

TMPWAL=25.0 specifies that the temperature of this air is 25 degrees C.

RGB (red, green, blue) specifies the color of objects this SURF line is applied to (in this case blue).

PART_ID specifies which particle line to apply to this SURF group.

&SURF ID='BLOW2',VEL=-0.1264819, TMPWAL=17.0, RGB=0.0,0.0,0.0,

PART_ID='cold

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW2' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.1264819 m/s.

&SURF ID='BLOW3',VEL=-0.05333006, TMPWAL=17.0, RGB=0.0,0.0,0.0,

PART_ID='cold

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW3' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.05333006 m/s.

&SURF ID='SUCK' ,VEL= 3.27, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 3.27 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK2' ,VEL= 0.55, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 0.55 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK3' ,VEL= 1.202774, RGB=1.0,0.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 1.202774 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&PART ID='ARGON', QUANTITY='RED', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit red particles. MASSLESS=.TRUE. specifies that these are massless tracer particles, which are often used to trace air flow. Note that if only massless black tracer particles are desired, no PART line is necessary. Simply add PARTICLES=.TRUE. to the appropriate SURF line.

&PART ID='cold air', QUANTITY='BLUE', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit blue tracer particles.

****

Sample Output Types

&SLCF PBX=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX=0.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY=3.0,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=1.5,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=0.5,QUANTITY='VELOCITY' /

This line instructs FDS to record data so that a slice file may be viewed in Smokeview

QUANTITY specifies what value to record, in this case the gas temperature.

PBY=0.5 tells FDS to gather data along the plane y=0.5 m.

VECTOR=.TRUE. specifies that vectors are to be shown. In this case, a vector's direction indicates the flow speed at that point, while its color indicates the gas temperature at that point.

Slice files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Slice file

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE_FLUX' / Tells FDS to record the convective flux to all solid surfaces Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

&PL3D DTSAM=30.0 / Changes the time interval at which Plot3D quantities are written out to a file from the default (TWFIN/5) to 30 seconds.

Obstructions

&OBST XB= 0.0,0.1, 0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 1 / Left wall

&OBST XB= 0.1,3.9,5.9, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 2 / Back wall

&OBST XB= 3.9,4.0,0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 3 / Right wall

&OBST XB= 0.1,3.9,0.0, 0.1,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 4 / Front wall

&OBST XB= 0.12,0.77,5.421, 5.9,0.0,1.9, RGB=1,0,0, / 5 / Cabinet

&OBST XB= 1.9,2.76, 3.62, 5.36,0.77,1.35, RGB=0,1,0, / 6 / Laser machine

&OBST XB= 2.0,2.86, 3.62, 4.02,0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 7 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.1,2.2, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 8 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.6,2.7, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 9 / Laser machine stand

&OBST XB= 1.88,2.79,1.73,3.56,0.7,0.9 , RGB=0,0,1, / 10 / Work bench

&OBST XB= 2.33,2.58,1.73,3.56,0.9,1.26 , RGB=0,1,0, / 11 / Box on Work bench

&OBST XB= 2.26,2.39,1.57,1.70,0.0,1.7 , RGB=0,0,1, / 12 / column roof

&OBST XB= 2.26,2.39,3.56,3.69,1.26,1.7 , RGB=0,0,1, / 13 / column roof

&OBST XB= 1.87,2.53,1.57,3.69,1.7,1.77 , RGB=0,0,1, / 14 / roof

&OBST XB= 1.7,2.25,1.0,1.49,0.0,1.51 , RGB=0,1,0, / 15 / computer rack

&VENT XB=0.35,0.53,5.42,5.42,0,0.16 SURF_ID='SUCK2',T_ACTIVATE=0.0 / 16 / cabinet exhaust

&VENT XB=0.1,0.15,2.5,2.55,0,0

SURF_ID='BLOW',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=152.5 / 17 / fluorine blow out

&VENT XB=0.9,1.2,0.6,0.9,3.4,3.4

SURF_ID='BLOW2',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 18 / first supply

&VENT XB=0.9,1.2,3.4,3.6,3.4,3.4
SURF_ID='BLOW3',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 19 / second supply
&VENT XB=3.1,3.4,3.5,3.8,3.4,3.4
SURF_ID='SUCK',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 20 / return air
&VENT XB=3.1,3.7,2.5,3.1,3.4,3.4 SURF_ID='SUCK3',T_ACTIVATE=5.0 / 21/
emergency exhaust
&HOLE XB= 0.0, 0.1, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0, T_CREATE=0.0, / 22
&HOLE XB= 3.9, 4.0, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 23
&HOLE XB= 0.1, 3.9, 0.0, 0.1, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 24
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 25 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 26 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 27 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 28 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 29 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 30 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 31 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 32 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 33 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 34 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.

ข้อมูลโปรแกรมการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 5

&HEAD CHID='Design5',TITLE='Ventilation' /

&GRID IBAR=45,JBAR=75,KBAR=40 /135000 cells total

&PDIM XBAR0=-0.5, XBAR=4.5, YBAR0=-0.5,YBAR=6.5,ZBAR0=0.0,ZBAR=3.4/

&TIME TWFIN=300. /

&MISC DATABASE='C:\nist\fds\database4\database4.data'/

&MISC NFRAMES=3600,

&SPEC ID='ARGON',MASS_FRACTION_0=0.1,MW=40./

&SURF ID='BLOW' ,VEL=-0.00154035683, TMPWAL=25.0, RGB=0.0,0.0,1.0,

PART_ID='ARGON', /

VEL=-0.00154035683 means that all vents this SURF line is applied to will push air (as indicated by the negative sign) into the room at a speed of 0.00154035683 m/s.

TMPWAL=25.0 specifies that the temperature of this air is 25 degrees C.

RGB (red, green, blue) specifies the color of objects this SURF line is applied to (in this case blue).

PART_ID specifies which particle line to apply to this SURF group.

&SURF ID='BLOW2',VEL=-0.1264819, TMPWAL=17.0, RGB=0.0,0.0,0.0,

PART_ID='cold air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW2' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.1264819 m/s.

&SURF ID='BLOW3',VEL=-0.05333006, TMPWAL=17.0, RGB=0.0,0.0,0.0,

PART_ID='cold air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW3' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.05333006 m/s.

&SURF ID='SUCK' ,VEL= 3.27, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 3.27 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK2' ,VEL= 0.55, RGB=0.0,1.0,0.0 /.

Pulls air out of the room at 0.55 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the

temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK3' ,VEL= 1.202774, RGB=1.0,0.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 1.202774 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&PART ID='ARGON', QUANTITY='RED', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit red particles. MASSLESS=.TRUE. specifies that these are massless tracer particles, which are often used to trace air flow. Note that if only massless black tracer particles are desired, no PART line is necessary. Simply add PARTICLES=.TRUE. to the appropriate SURF line.

&PART ID='cold air', QUANTITY='BLUE', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit blue tracer particles.

****

Sample Output Types

&SLCF PBX=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX=0.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY=3.0,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=1.5,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=0.5,QUANTITY='VELOCITY' /

This line instructs FDS to record data so that a slice file may be viewed in Smokeview

QUANTITY specifies what value to record, in this case the gas temperature.

PBY=0.5 tells FDS to gather data along the plane y=0.5 m.

VECTOR=.TRUE. specifies that vectors are to be shown. In this case, a vector's direction indicates the flow speed at that point, while its color indicates the gas temperature at that point.

Slice files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Slice file

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all

solid surfaces

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE_FLUX' / Tells FDS to record the convective flux to all solid surfaces Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

&PL3D DTSAM=30.0 / Changes the time interval at which Plot3D quantities are written out to a file from the default (TWFIN/5) to 30 seconds.

Obstructions

&OBST XB= 0.0,0.1, 0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 1 / Left wall

&OBST XB= 0.1,3.9,5.9, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 2 / Back wall

&OBST XB= 3.9,4.0,0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 3 / Right wall

&OBST XB= 0.1,3.9,0.0, 0.1,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 4 / Front wall

&OBST XB= 0.12,0.77,5.421, 5.9,0.0,1.9, RGB=1,0,0, / 5 / Cabinet

&OBST XB= 1.9,2.76, 3.62, 5.36,0.77,1.35, RGB=0,1,0, / 6 / Laser machine

&OBST XB= 2.0,2.86, 3.62, 4.02,0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 7 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.1,2.2, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 8 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.6,2.7, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 9 / Laser machine stand

&OBST XB= 1.88,2.79,1.73,3.56,0.7,0.9 , RGB=0,0,1, / 10 / Work bench

&OBST XB= 2.33,2.58,1.73,3.56,0.9,1.26 , RGB=0,1,0, / 11 / Box on Work bench

&OBST XB= 2.26,2.39,1.57,1.70,0.0,1.7 , RGB=0,0,1, / 12 / column roof

&OBST XB= 2.26,2.39,3.56,3.69,1.26,1.7 , RGB=0,0,1, / 13 / column roof

&OBST XB= 1.87,2.53,1.57,3.69,1.7,1.77 , RGB=0,0,1, / 14 / roof

&OBST XB= 1.7,2.25,1.0,1.49,0.0,1.51 , RGB=0,1,0, / 15 / computer rack

&VENT XB=0.35,0.53,5.42,5.42,0,0.16 SURF_ID='SUCK2',T_ACTIVATE=0.0 / 16 / cabinet exhaust

&VENT XB=0.1,0.15,2.5,2.55,0,0

SURF_ID='BLOW',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=152.5 / 17 / fluorine blow out

&VENT XB=0.9,1.2,0.6,0.9,3.4,3.4

SURF_ID='BLOW2',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 18 / first supply

&VENT XB=0.9,1.2,3.4,3.6,3.4,3.4

SURF_ID='BLOW3',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 19 / second supply

&VENT XB=3.1,3.4,3.5,3.8,3.4,3.4
SURF_ID='SUCK',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 20 / return air
&VENT XB=1.51,2.11,2.5,3.1,3.4,3.4 SURF_ID='SUCK3',T_ACTIVATE=5.0 / 21/
emergency exhaust
&HOLE XB= 0.0, 0.1, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0, T_CREATE=0.0, / 22
&HOLE XB= 3.9, 4.0, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 23
&HOLE XB= 0.1, 3.9, 0.0, 0.1, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 24
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 25 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 26 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 27 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 28 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 29 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 30 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 31 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 32 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 33 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 34 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.

ข้อมูลโปรแกรมการออกแบบระบบระบายอากาศแบบที่ 6

```
&HEAD CHID='Design6',TITLE='Ventilation'  /
&GRID IBAR=45,JBAR=75,KBAR=40 /135000 cells total
&PDIM XBAR0=-0.5, XBAR=4.5, YBAR0=-0.5,YBAR=6.5,ZBAR0=0.0,ZBAR=3.4/
&TIME TWFIN=300. /
&MISC DATABASE='C:\nist\fds\database4\database4.data' /
&MISC NFRAMES=3600,
&SPEC ID='ARGON',MASS_FRACTION_0=0.1,MW=40./
&SURF ID='BLOW' ,VEL=-0.00154035683, TMPWAL=25.0, RGB=0.0,0.0,1.0,
PART_ID='ARGON', /
```

VEL=-0.00154035683 means that all vents this SURF line is applied to will push air (as indicated by the negative sign) into the room at a speed of 0.00154035683 m/s.

TMPWAL=25.0 specifies that the temperature of this air is 25 degrees C.

RGB (red, green, blue) specifies the color of objects this SURF line is applied to (in this case blue).

PART_ID specifies which particle line to apply to this SURF group.

```
&SURF ID='BLOW2',VEL=-0.1264819, TMPWAL=17.0,   RGB=0.0,0.0,0.0,
PART_ID='cold
```

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW2' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.1264819 m/s.

```
&SURF ID='BLOW3',VEL=-0.05333006, TMPWAL=17.0,   RGB=0.0,0.0,0.0,
PART_ID='cold
```

air',/

Similar to 'BLOW' above, 'BLOW3' specifies that 17.0 deg. C. air be pushed into the room at 0.05333006 m/s.

```
&SURF ID='SUCK' ,VEL= 3.27, RGB=0.0,1.0,0.0 /
```

Pulls air out of the room at 3.27 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK2' ,VEL= 0.55, RGB=0.0,1.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 0.55 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&SURF ID='SUCK3' ,VEL= 1.202774, RGB=1.0,0.0,0.0 /

Pulls air out of the room at 1.202774 m/s. It is not necessary to specify TMPWAL, the temperature is calculated by FDS based on air temperatures in the room.

&PART ID='ARGON', QUANTITY='RED', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit red particles. MASSLESS=.TRUE. specifies that these are massless tracer particles, which are often used to trace air flow. Note that if only massless black tracer particles are desired, no PART line is necessary. Simply add PARTICLES=.TRUE. to the appropriate SURF line.

&PART ID='cold air', QUANTITY='BLUE', MASSLESS=.TRUE.,/

An object this PART line is applied to will emit blue tracer particles.

****

Sample Output Types

&SLCF PBX=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX=0.5,QUANTITY='TEMPERATURE',VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY=3.0,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=1.5,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=0.5,QUANTITY='VELOCITY' /

This line instructs FDS to record data so that a slice file may be viewed in Smokeview

QUANTITY specifies what value to record, in this case the gas temperature.

PBY=0.5 tells FDS to gather data along the plane y=0.5 m.

VECTOR=.TRUE. specifies that vectors are to be shown. In this case, a vector's direction indicates the flow speed at that point, while its color indicates the gas temperature at that point.

Slice files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Slice file

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE_FLUX' / Tells FDS to record the convective flux to all solid surfaces Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

&PL3D DTSAM=30.0 / Changes the time interval at which Plot3D quantities are written out to a file from the default (TWFIN/5) to 30 seconds.

Obstructions

&OBST XB= 0.0,0.1, 0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 1 / Left wall

&OBST XB= 0.1,3.9,5.9, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 2 / Back wall

&OBST XB= 3.9,4.0,0.0, 6.0,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 3 / Right wall

&OBST XB= 0.1,3.9,0.0, 0.1,0.0,3.4, RGB=1,1,1, / 4 / Front wall

&OBST XB= 0.12,0.77,5.421, 5.9,0.0,1.9, RGB=1,0,0, / 5 / Cabinet

&OBST XB= 1.9,2.76, 3.62, 5.36,0.77,1.35, RGB=0,1,0, / 6 / Laser machine

&OBST XB= 2.0,2.86, 3.62, 4.02,0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 7 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.1,2.2, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 8 / Laser machine stand

&OBST XB= 2.6,2.7, 5.2, 5.3, 0.0,0.77, RGB=0,0,1, / 9 / Laser machine stand

&OBST XB= 1.88,2.79,1.73,3.56,0.7,0.9 , RGB=0,0,1, / 10 / Work bench

&OBST XB= 2.33,2.58,1.73,3.56,0.9,1.26 , RGB=0,1,0, / 11 / Box on Work bench

&OBST XB= 2.26,2.39,1.57,1.70,0.0,1.7 , RGB=0,0,1, / 12 / column roof

&OBST XB= 2.26,2.39,3.56,3.69,1.26,1.7 , RGB=0,0,1, / 13 / column roof

&OBST XB= 1.87,2.53,1.57,3.69,1.7,1.77 , RGB=0,0,1, / 14 / roof

&OBST XB= 1.7,2.25,1.0,1.49,0.0,1.51 , RGB=0,1,0, / 15 / computer rack

&VENT XB=0.35,0.53,5.42,5.42,0,0.16 SURF_ID='SUCK2',T_ACTIVATE=0.0 / 16 / cabinet exhaust

&VENT XB=0.1,0.15,2.5,2.55,0,0

SURF_ID='BLOW',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=152.5 / 17 / fluorine blow out

&VENT XB=0.9,1.2,0.6,0.9,3.4,3.4

SURF_ID='BLOW2',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 18 / first supply

&VENT XB=0.9,1.2,3.4,3.6,3.4,3.4
SURF_ID='BLOW3',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 19 / second supply
&VENT XB=3.1,3.4,3.5,3.8,3.4,3.4
SURF_ID='SUCK',T_ACTIVATE=0.0,T_DEACTIVATE=10.0 / 20 / return air
&VENT XB=0.1,0.7,2.5,3.1,3.4,3.4 SURF_ID='SUCK3',T_ACTIVATE=5.0 / 21/
emergency exhaust
&HOLE XB= 0.0, 0.1, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0, T_CREATE=0.0, / 22
&HOLE XB= 3.9, 4.0, 0.2, 5.8, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 23
&HOLE XB= 0.1, 3.9, 0.0, 0.1, 3.04, 3.3, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 24
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 25 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 26 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 27 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 28 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 1.51, 2.68, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 29 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.02, 0.07, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 30 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.09, 0.14, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 31 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.16, 0.21, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 32 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.23, 0.28, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 33 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.
&HOLE XB= 2.73, 3.9, 0.0, 0.1, 0.30, 0.35, RGB=1,0,0,T_CREATE=0.0, / 34 / Creates
a hole in the wall at time t=0.0 sec.

ภาคผนวก ค

แสดงข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรม

แสดงข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรม

ข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรมก่อนทำการออกแบบระบบระบายฉุกเฉิน

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
0	13.8407	116.2293719	
1.00749	13.826	116.1848739	0.123529412
2.01527	13.7931	115.9084034	0.4
3.01705	13.7564	115.6	0.708403361
4.01331	13.7191	115.2865546	1.021848739
5.00957	13.6813	114.9689076	1.339495798
6.00583	13.6441	114.6563025	1.65210084
7.00209	13.607	114.3445378	1.963865546
8.02207	13.5695	114.0294118	2.278991597
9.01833	13.5325	113.7184874	2.589915966
10.0146	13.4957	113.4092437	2.899159664
15.0196	13.3121	111.8663866	4.442016807
20.0009	13.1315	110.3487395	5.959663866
25.0059	12.9528	108.8470588	7.461344538
30.0109	12.7765	107.3655462	8.942857143
35.0159	12.603	105.907563	10.40084034
40.021	12.4316	104.4672269	11.84117647
45.0022	12.2629	103.0495798	13.25882353
50.0073	12.0962	101.6487395	14.65966387
55.0123	11.9322	100.2705882	16.03781513
60.0173	11.77	98.90756303	17.40084034
65.0223	11.6101	97.56386555	18.74453782

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
70.0036	11.4529	96.24285714	20.06554622
75.0086	11.2974	94.93613445	21.37226891
80.0136	11.1446	93.65210084	22.65630252
85.0186	10.9936	92.38319328	23.92521008
90.0237	10.8447	91.13193277	25.17647059
95.005	10.6982	89.90084034	26.40756303
100.01	10.5535	88.68487395	27.62352941
105.015	10.4112	87.48907563	28.81932773
110.02	10.2705	86.30672269	30.00168067
115.001	10.1322	85.14453782	31.16386555
120.006	9.99539	83.99487395	32.31352941
125.011	9.86066	82.86268908	33.44571429
130.016	9.7282	81.74957983	34.55882353
135.021	9.59736	80.65008403	35.65831933
140.003	9.4687	79.56890756	36.7394958
145.008	9.34152	78.50016807	37.80823529
150.013	9.21661	77.4505042	38.85789916
155.018	9.09316	76.41310924	39.89529412
160.023	8.97165	75.39201681	40.91638655
165.004	8.85208	74.38722689	41.92117647
170.009	8.73407	73.39554622	42.91285714
175.014	8.61801	72.4202521	43.88815126
180.019	8.50346	71.45764706	44.8507563
185	8.39072	70.5102521	45.79815126
190.005	8.27935	69.57436975	46.73403361
195.01	8.16957	68.65184874	47.65655462

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
200.015	8.06147	67.74344538	48.56495798
205.02	7.95484	66.84739496	49.4610084
210.002	7.84998	65.96621849	50.34218487
215.007	7.7464	65.09579832	51.21260504
220.012	7.64438	64.23848739	52.06991597
225.017	7.54359	63.39151261	52.91689076
230.022	7.44422	62.55647059	53.75193277
235.003	7.3466	61.73613445	54.57226891
240.008	7.25058	60.9292437	55.37915966
245.013	7.15568	60.13176471	56.17663866
250.018	7.06199	59.34445378	56.96394958
255.023	6.96968	58.5687395	57.73966387
260.004	6.8789	57.80588235	58.50252101
265.009	6.78923	57.05235294	59.25605042
270.014	6.70118	56.31243697	59.99596639
275.019	6.61413	55.58092437	60.72747899
280.001	6.52833	54.85991597	61.44848739
285.006	6.44381	54.14966387	62.1587395
290.011	6.36046	53.4492437	62.85915966
295.016	6.27837	52.75941176	63.5489916
300.021	6.19734	52.07848739	64.22991597

ข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรมเมื่อทำการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินแบบที่ 1

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
0	13.8407	116.2293719	
1.00749	13.826	116.1848739	0.123529412
2.01527	13.7931	115.9084034	0.4
3.01705	13.7564	115.6	0.708403361
4.01331	13.7191	115.2865546	1.021848739
5.00957	13.6813	114.9689076	1.339495798
6.00551	13.5144	113.5663866	-
7.00136	13.2036	110.9546218	-
8.00003	12.8681	108.1352941	-
9.00551	12.5356	105.3411765	-
10.0042	12.2112	102.6151261	-
15.0044	10.8547	91.21596639	-
20.0046	9.64972	81.09008403	-
25.0047	8.57925	72.09453782	-
30.0049	7.62963	64.11453782	-
35.0051	6.78943	57.05403361	-
40.0053	6.04587	50.80563025	-
45.0055	5.38793	45.27672269	-
50.0057	4.80584	40.38521008	-
55.0059	4.29004	36.0507563	-
60.006	3.83276	32.20806723	-
65.0062	3.42641	28.79336134	-
70.0064	3.06676	25.77109244	-
71.4195	2.9723	24.97731092	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
75.0066	2.7467	23.08151261	-
80.0068	2.46113	20.68176471	-
85.0002	2.20595	18.53739496	-
90.0004	1.9772	16.61512605	-
95.0005	1.77156	14.88705882	-
100.001	1.58662	13.33294118	-
105.001	1.41942	11.92789916	-
110.001	1.26701	10.64714286	-
115.001	1.13017	9.497226891	-
120.001	1.00796	8.470252101	-
125.002	0.898111	7.547151261	-
130.002	0.79938	6.717478992	-
135.002	0.710972	5.974554622	-
140.002	0.631711	5.308495798	-
145.002	0.56107	4.71487395	-
150.003	0.498258	4.187042017	-
155.003	0.441966	3.714	-
160.003	0.391861	3.29294958	-
165.003	0.347133	2.917084034	-
170.003	0.307537	2.584344538	-
175.004	0.272129	2.286798319	-
180.004	0.240624	2.02205042	-
185.004	0.212398	1.784857143	-
190.004	0.187383	1.574647059	-
195.004	0.165196	1.388201681	-
200.004	0.145534	1.22297479	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
205.005	0.127883	1.074647059	-
207.756	0.119062	1.000521008	-
207.838	0.118799	0.998310924	-
210.005	0.112269	0.943436975	-
215.005	0.0986522	0.829010084	-
220.005	0.0868306	0.729668908	-
225.005	0.0770576	0.647542857	-
230.006	0.0689222	0.579178151	-
235.006	0.0624258	0.524586555	-
240.006	0.0568043	0.477347059	-
245.006	0.051243	0.430613445	-
250.006	0.0459102	0.3858	-
255.006	0.0413398	0.347393277	-
260.007	0.0374344	0.31457479	-
265	0.0335614	0.282028571	-
270	0.0305836	0.257005042	-
275	0.0281844	0.236843697	-
280.001	0.0259202	0.217816807	-
285.001	0.0236248	0.198527731	-
290.001	0.0217741	0.18297563	-
295.001	0.0202743	0.170372269	-
300.001	0.0188557	0.158451261	-

ข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรมเมื่อทำการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินแบบที่ 2

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
0	13.8407	116.2293719	
1.00749	13.826	116.1848739	0.123529412
2.01527	13.7931	115.9084034	0.4
3.01705	13.7566	115.6016807	0.706722689
4.01331	13.7193	115.2882353	1.020168067
5.00957	13.6815	114.9705882	1.337815126
6.00551	13.5147	113.5689076	-
7.00136	13.2039	110.9571429	-
8.00003	12.8684	108.1378151	-
9.00551	12.5359	105.3436975	-
10.0042	12.2115	102.6176471	-
15.0044	10.854	91.21008403	-
20.0046	9.64976	81.09042017	-
25.0047	8.58817	72.1694958	-
30.0049	7.64648	64.25613445	-
35.0051	6.81287	57.2510084	-
40.0053	6.07406	51.04252101	-
45.0055	5.41801	45.5294958	-
50.0057	4.83592	40.63798319	-
55.0059	4.32013	36.30361345	-
60.006	3.86402	32.4707563	-
65.0062	3.45944	29.07092437	-
70.0064	3.10025	26.05252101	-
71.9222	2.97378	24.9897479	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
75.0066	2.78168	23.37546218	-
80.0068	2.49826	20.99378151	-
85.0002	2.24622	18.87579832	-
90.0004	2.02183	16.99016807	-
95.0005	1.82153	15.30697479	-
100.001	1.64089	13.7889916	-
105.001	1.47762	12.41697479	-
110.001	1.3292	11.1697479	-
115.001	1.18715	9.97605042	-
120.001	1.05286	8.847563025	-
125.002	0.928132	7.799428571	-
130.002	0.815482	6.852789916	-
135.002	0.712699	5.989067227	-
140.002	0.620118	5.21107563	-
145.002	0.537864	4.519865546	-
150.003	0.463496	3.89492437	-
155.003	0.397653	3.341621849	-
160.003	0.341444	2.869277311	-
165.003	0.294618	2.475781513	-
170.003	0.253167	2.127453782	-
175.004	0.216963	1.823218487	-
180.004	0.184579	1.551084034	-
185.004	0.157157	1.320647059	-
190.004	0.135098	1.135277311	-
194.087	0.119193	1.001621849	-
194.169	0.118892	0.999092437	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
195.004	0.115807	0.973168067	-
200.004	0.0989625	0.831617647	-
205.005	0.08446	0.709747899	-
210.005	0.0718152	0.603489076	-
215.005	0.0616022	0.517665546	-
220.005	0.0526058	0.442065546	-
225.005	0.0448146	0.376593277	-
230.006	0.0383538	0.32230084	-
235.006	0.0324993	0.273103361	-
240.006	0.0274695	0.230836134	-
245.006	0.0231745	0.194743697	-
250.006	0.0195658	0.164418487	-
255.006	0.0165225	0.138844538	-
260.007	0.0140773	0.118296639	-
265	0.0120778	0.101494118	-
270	0.0103873	0.087288235	-
275	0.00901932	0.075792605	-
280.001	0.00775003	0.065126303	-
285.001	0.00660404	0.055496134	-
290.001	0.00561386	0.047175294	-
295.001	0.00475838	0.039986387	-
300.001	0.00402353	0.033811176	-

ข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรมเมื่อทำการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินแบบที่ 3

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
0	13.8407	116.2293719	
1.00749	13.826	116.1848739	0.123529412
2.01527	13.7931	115.9084034	0.4
3.01705	13.7566	115.6016807	0.706722689
4.01331	13.7193	115.2882353	1.020168067
5.00957	13.6815	114.9705882	1.337815126
6.00551	13.5147	113.5689076	-
7.00136	13.2039	110.9571429	-
8.00003	12.8684	108.1378151	-
9.00551	12.5361	105.3453782	-
10.0042	12.2118	102.6201681	-
15.0044	10.8556	91.22352941	-
20.0046	9.65201	81.10932773	-
25.0047	8.58777	72.16613445	-
30.0049	7.64505	64.24411765	-
35.0051	6.80999	57.22680672	-
40.0053	6.07001	51.00848739	-
45.0055	5.41456	45.5005042	-
50.0057	4.83366	40.6189916	-
55.0059	4.3189	36.29327731	-
60.006	3.86195	32.45336134	-
65.0062	3.45667	29.04764706	-
70.0064	3.09678	26.02336134	-
71.9222	2.96996	24.95764706	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
75.0066	2.77736	23.33915966	-
80.0068	2.49334	20.95243697	-
85.0002	2.24104	18.83226891	-
90.0004	2.01567	16.93840336	-
95.0005	1.81306	15.23579832	-
100.001	1.63094	13.70537815	-
105.001	1.46653	12.32378151	-
110.001	1.31593	11.05823529	-
115.001	1.17656	9.887058824	-
120.001	1.04663	8.795210084	-
125.002	0.928298	7.800823529	-
130.002	0.820687	6.896529412	-
135.002	0.721304	6.061378151	-
140.002	0.63338	5.322521008	-
145.002	0.555689	4.669655462	-
150.003	0.48518	4.077142857	-
155.003	0.423958	3.562672269	-
160.003	0.3701	3.110084034	-
165.003	0.323107	2.715184874	-
170.003	0.282099	2.370579832	-
175.004	0.24442	2.05394958	-
180.004	0.211767	1.779554622	-
185.004	0.184196	1.547865546	-
190.004	0.161154	1.354235294	-
195.004	0.140309	1.179067227	-
200.004	0.122197	1.026865546	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
200.922	0.119168	1.001411765	-
201.003	0.118902	0.999176471	-
205.005	0.106197	0.892411765	-
210.005	0.0916723	0.770355462	-
215.005	0.0784802	0.659497479	-
220.005	0.0670925	0.563802521	-
225.005	0.0576402	0.484371429	-
230.006	0.0496783	0.417464706	-
235.006	0.0423065	0.355516807	-
240.006	0.0358505	0.301264706	-
245.006	0.0303615	0.255138655	-
250.006	0.0260378	0.218805042	-
255.006	0.0224699	0.188822689	-
260.007	0.019468	0.163596639	-
265	0.0168561	0.141647899	-
270	0.0145757	0.122484874	-
275	0.0126833	0.106582353	-
280.001	0.0109799	0.092268067	-
285.001	0.00944882	0.079401849	-
290.001	0.00813007	0.068319916	-
295.001	0.00695288	0.058427563	-
300.001	0.00587642	0.049381681	-

ข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรมเมื่อทำการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินแบบที่ 4

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
0	13.8407	116.2293719	
1.00749	13.826	116.1848739	0.123529412
2.01527	13.7931	115.9084034	0.4
3.01705	13.7566	115.6016807	0.706722689
4.01331	13.7193	115.2882353	1.020168067
5.00957	13.6816	114.9714286	1.33697479
6.00583	13.6169	114.4277311	-
7.00209	13.5235	113.6428571	-
8.02207	13.4237	112.8042017	-
9.01833	13.325	111.9747899	-
10.0146	13.227	111.1512605	-
15.007	12.9097	108.4848739	-
20.052	12.6039	105.9151261	-
25.0355	12.3054	103.4067227	-
30.019	12.0158	100.9731092	-
35.0025	11.7335	98.60084034	-
40.0476	11.4564	96.27226891	-
45.0311	11.1859	93.99915966	-
50.0146	10.9236	91.79495798	-
55.0596	10.6661	89.63109244	-
60.0431	10.4166	87.53445378	-
65.0266	10.1722	85.48067227	-
70.0101	9.93556	83.49210084	-
75.0551	9.70367	81.54344538	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
80.0386	9.47781	79.64546218	-
85.0222	9.25929	77.80915966	-
90.0057	9.04656	76.02151261	-
95.0507	8.83811	74.26983193	-
100.034	8.6348	72.56134454	-
105.018	8.43792	70.90689076	-
110.001	8.24587	69.29302521	-
115.046	8.05758	67.7107563	-
120.03	7.87403	66.16831933	-
125.013	7.6961	64.67310924	-
130.058	7.52122	63.20352941	-
135.042	7.3517	61.7789916	-
140.025	7.18519	60.3797479	-
145.009	7.02355	59.02142857	-
150.054	6.86487	57.68798319	-
155.037	6.71001	56.38663866	-
160.021	6.55951	55.12193277	-
165.004	6.4125	53.88655462	-
170.049	6.26798	52.67210084	-
175.033	6.12684	51.48605042	-
180.016	5.98986	50.33495798	-
185.027	5.85624	49.21210084	-
190.033	5.72508	48.10991597	-
195.039	5.59691	47.03285714	-
200.045	5.47167	45.98042017	-
205.051	5.34927	44.95184874	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
210.002	5.23032	43.95226891	-
215.048	5.11315	42.96764706	-
220.024	4.99965	42.01386555	-
225	4.88809	41.07638655	-
230.026	4.77909	40.16042017	-
235.002	4.67258	39.26537815	-
240.027	4.56841	38.39	-
245.004	4.4666	37.53445378	-
250.029	4.36697	36.69722689	-
255.005	4.26948	35.87798319	-
260.031	4.17413	35.07672269	-
265.034	4.08095	34.29369748	-
270.012	3.99018	33.53092437	-
275.035	3.90056	32.77781513	-
280.014	3.81361	32.04714286	-
285.036	3.72772	31.32537815	-
290.015	3.64437	30.62495798	-
295.037	3.56202	29.93294118	-
300.016	3.48207	29.26109244	-

ข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรมเมื่อทำการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินแบบที่ 5

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
0	13.8407	116.2293719	
1.00749	13.826	116.1848739	0.123529412
2.01527	13.7931	115.9084034	0.4
3.01705	13.7566	115.6016807	0.706722689
4.01331	13.7193	115.2882353	1.020168067
5.00957	13.6816	114.9714286	1.33697479
6.00583	13.6214	114.4655462	-
7.00209	13.5374	113.7596639	-
8.02207	13.448	113.0084034	-
9.01833	13.3595	112.2647059	-
10.0146	13.2715	111.5252101	-
15.007	13.0044	109.2806723	-
20.052	12.7461	107.110084	-
25.0355	12.493	104.9831933	-
30.019	12.2468	102.9142857	-
35.0025	12.0061	100.8915966	-
40.0476	11.7689	98.89831933	-
45.0311	11.5365	96.94537815	-
50.0146	11.3102	95.04369748	-
55.0596	11.0874	93.17142857	-
60.0431	10.8706	91.34957983	-
65.0266	10.657	89.55462185	-
70.0101	10.449	87.80672269	-
75.0551	10.2442	86.08571429	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
80.0386	10.0436	84.4	-
85.0222	9.8485	82.7605042	-
90.0057	9.65739	81.15453782	-
95.0507	9.46911	79.57235294	-
100.034	9.28489	78.02428571	-
105.018	9.10565	76.51806723	-
110.001	8.93033	75.04478992	-
115.046	8.75789	73.59571429	-
120.03	8.58932	72.17915966	-
125.013	8.42536	70.80134454	-
130.058	8.26403	69.44563025	-
135.042	8.10683	68.12462185	-
140.025	7.95195	66.82310924	-
145.009	7.80109	65.55537815	-
150.054	7.65238	64.30571429	-
155.037	7.50664	63.0810084	-
160.021	7.36458	61.88722689	-
165.004	7.22529	60.71672269	-
170.049	7.08781	59.56142857	-
175.033	6.9531	58.42941176	-
180.016	6.82187	57.32663866	-
185.061	6.69237	56.23840336	-
190.045	6.56613	55.17756303	-
195.028	6.44163	54.13134454	-
200.012	6.32023	53.11117647	-
205.057	6.20031	52.10344538	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
210.04	6.08343	51.1212605	-
215.024	5.96813	50.15235294	-
220.019	5.85564	49.20705882	-
225.037	5.74521	48.27907563	-
230.054	5.63627	47.36361345	-
235.017	5.52988	46.46957983	-
240.034	5.4255	45.59243697	-
245.052	5.32252	44.72705882	-
250.002	5.22228	43.88470588	-
255.014	5.12318	43.05193277	-
260.025	5.02638	42.23848739	-
265.037	4.93085	41.43571429	-
270.031	4.83744	40.6507563	-
275.008	4.74543	39.87756303	-
280.02	4.65497	39.11739496	-
285.031	4.56661	38.37487395	-
290.042	4.47938	37.64184874	-
295	4.39414	36.92554622	-
300.012	4.30999	36.21840336	-

ข้อมูลผลการคำนวณน้ำหนักก๊าซของโปรแกรมเมื่อทำการออกแบบระบบระบายฉุกเฉินแบบที่ 6

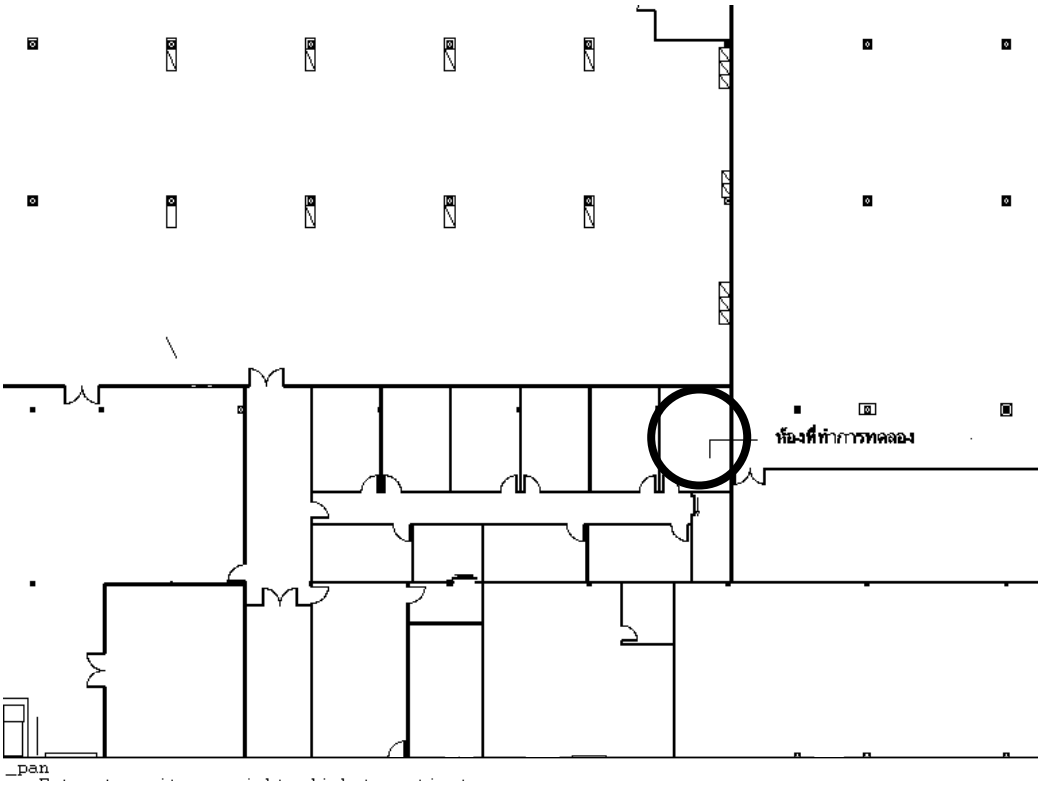
เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
0	13.8407		
1.00749	13.826	116.1848739	0.123529412
2.01527	13.7931	115.9084034	0.4
3.01705	13.7566	115.6016807	0.706722689
4.01331	13.7193	115.2882353	1.020168067
5.00957	13.6816	114.9714286	1.33697479
6.00583	13.6169	114.4277311	-
7.00209	13.5235	113.6428571	-
8.02207	13.4238	112.805042	-
9.01833	13.325	111.9747899	-
10.0146	13.227	111.1512605	-
15.007	12.9096	108.4840336	-
20.052	12.6039	105.9151261	-
25.0355	12.3056	103.4084034	-
30.019	12.0161	100.9756303	-
35.0025	11.7339	98.60420168	-
40.0476	11.4569	96.27647059	-
45.0311	11.1866	94.00504202	-
50.0146	10.9244	91.80168067	-
55.0596	10.6671	89.6394958	-
60.0431	10.4176	87.54285714	-
65.0266	10.1731	85.48823529	-
70.0101	9.93644	83.4994958	-
75.0551	9.70408	81.54689076	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
80.0386	9.47801	79.64714286	-
85.0222	9.25868	77.80403361	-
90.0057	9.0451	76.0092437	-
95.0507	8.83575	74.25	-
100.034	8.63237	72.54092437	-
105.018	8.43572	70.88840336	-
110.001	8.24397	69.27705882	-
115.046	8.05564	67.69445378	-
120.03	7.87202	66.15142857	-
125.013	7.69392	64.65478992	-
130.058	7.51906	63.18537815	-
135.042	7.34935	61.7592437	-
140.025	7.18278	60.3594958	-
145.009	7.02107	59.00058824	-
150.054	6.86212	57.66487395	-
155.037	6.70706	56.36184874	-
160.021	6.55672	55.09848739	-
165.004	6.40974	53.86336134	-
170.049	6.26522	52.64890756	-
175.033	6.12421	51.46394958	-
180.016	5.98731	50.31352941	-
185.026	5.853	49.18487395	-
190.001	5.72252	48.08840336	-
195.03	5.5944	47.01176471	-
200.005	5.46932	45.96067227	-
205.035	5.34701	44.93285714	-

เวลา วินาที	อาร์กอน กิโลกรัม	ความเข้มข้นก๊าซในห้อง พีพีเอ็ม	ความเข้มข้นก๊าซที่เข้าระบบปรับอากาศ พีพีเอ็ม
210.009	5.22748	43.92840336	-
215.039	5.11071	42.94714286	-
220.013	4.99654	41.98773109	-
225.008	4.88523	41.05235294	-
230.01	4.77628	40.13680672	-
235.012	4.66969	39.24109244	-
240.014	4.56539	38.36462185	-
245.017	4.46394	37.51210084	-
250.019	4.3643	36.67478992	-
255.021	4.26684	35.85579832	-
260.023	4.17147	35.05436975	-
265.025	4.0782	34.27058824	-
270.027	3.98701	33.50428571	-
275.03	3.89772	32.75394958	-
280.041	3.81026	32.0189916	-
285.017	3.72521	31.30428571	-
290.036	3.64115	30.59789916	-
295.012	3.55953	29.91201681	-
300.025	3.47899	29.23521008	-

ภาคผนวก ง

แสดงแผนผังห้องที่ทำการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

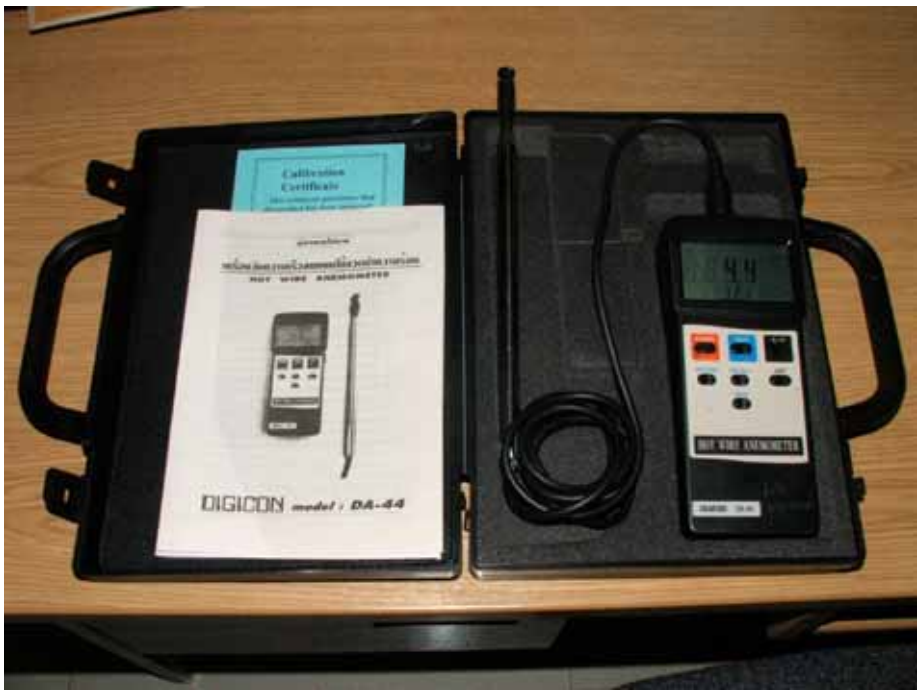


<u>ภาพผนวกที่ ง1</u> แสดงตำแหน่งห้องที่ทำการทดลอง

ภาพแผนผังแสดงสถานที่ทำการศึกษาอันตรายจากการรั่วของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออน ภายในห้องที่มีเครื่องกำเนิดเลเซอร์ ที่มีระบบปรับอากาศของอาคารผลิต ที่พนักงานส่วนอื่นยังทำงานอยู่

<u>ภาพผนวกที่ ง2</u> แสดงเครื่องมือตรวจจับก๊าซฟลูออรีนรั่วที่ใช้ในปัจจุบัน

ภาพเครื่องมือตรวจวัดก๊าซฟลูออรีนในห้องที่มีก๊าซฟลูออรีนอยู่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรวจจับ ที่มีการตั้งค่าในตัวเครื่องเป็น 0.1 พีพีเอ็ม มาจากโรงงานผู้ผลิต และทุกครั้งที่มีการเปิดเครื่อง เครื่องตรวจจับก๊าซฟลูออรีนนี้จะทำการสอบเทียบด้วยตัวเอง และมีอายุงายของหัวจับก๊าซฟลูออรีนที่ระยะเวลา 2 ปี

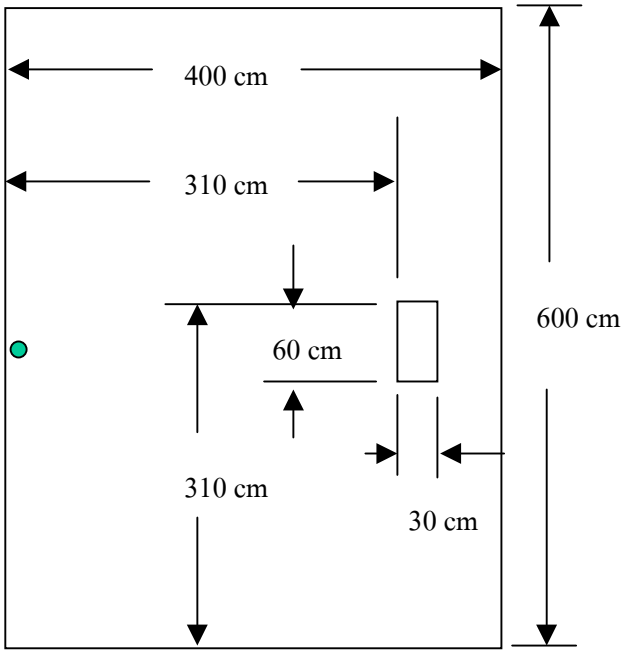


<u>ภาพผนวกที่ ง3</u> แสดงเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ DIGICON Model DA44

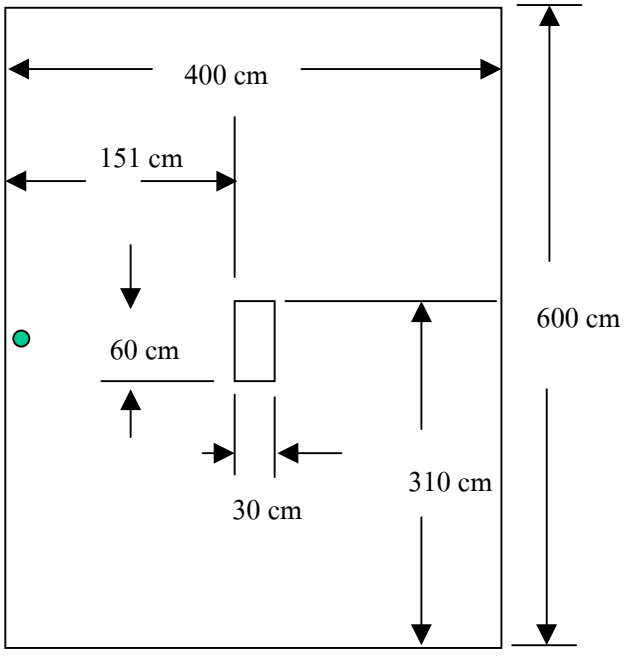
ภาพเครื่องมือที่ใช้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถแสดงค่าเป็นหน่วยองศาเซลเซียส และองศาฟาห์เรนไฮท์

<u>ภาพผนวกที่ ง4</u> แสดงเครื่องมือตรวจวัดความเร็วลมระบบใบพัด DAVIS Model DA4000

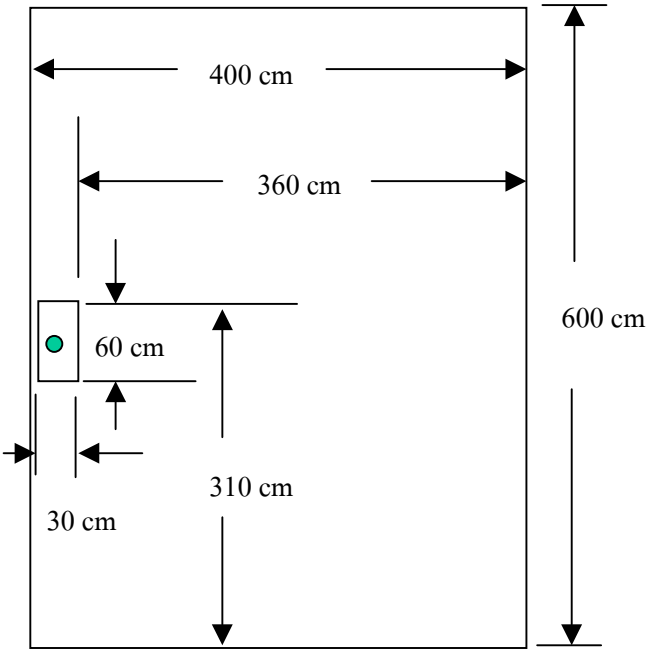
ภาพแสดงเครื่องมือตรวจวัดความเร็วลมชนิดใบพัด ซึ่งสามารถที่จะวัดได้ 2 หน่วย คือ หน่วยที่แสดงเป็น ฟุตต่อนาที (FPM) และหน่วยที่แสดงเป็น เมตรต่อวินาที (M/S)



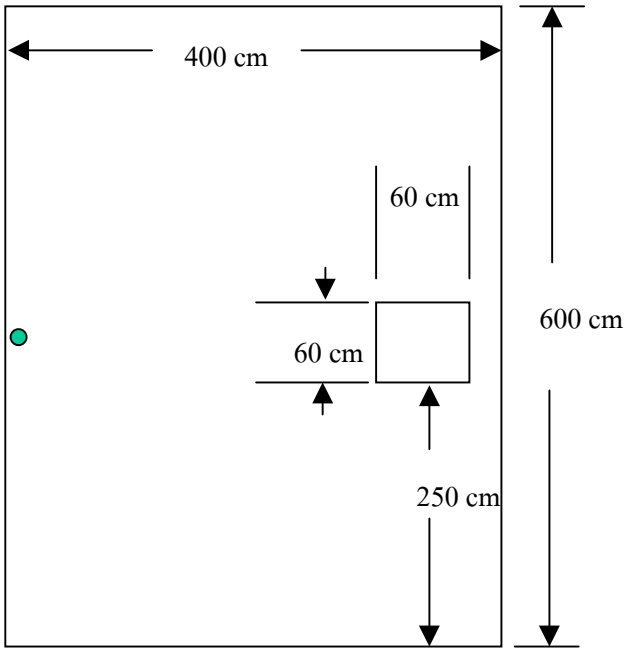
ภาพผนวกที่ ง5 แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 1



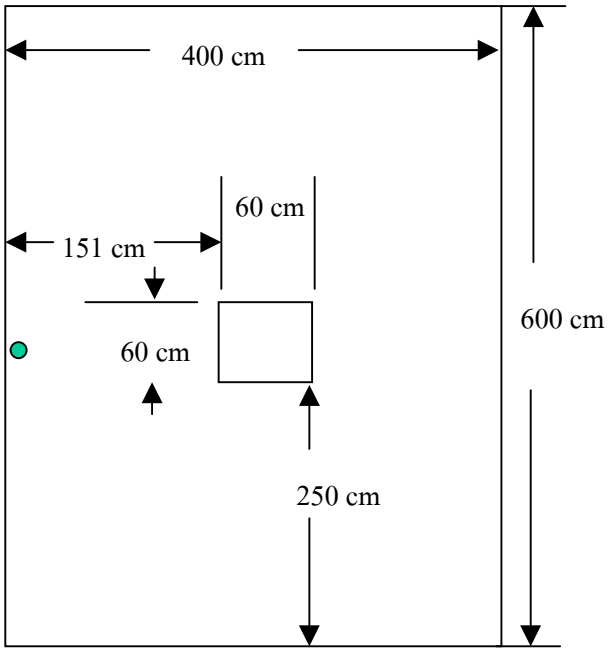
ภาพผนวกที่ ง6 แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 2



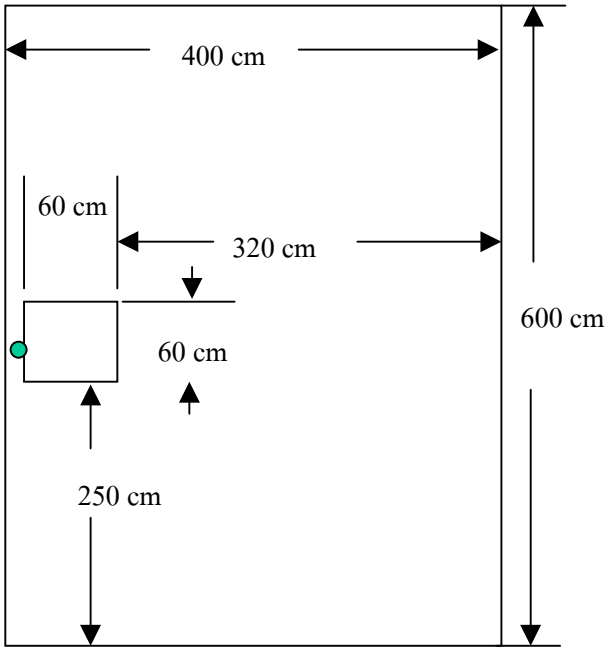
ภาพผนวกที่ ง7 แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 3



ภาพผนวกที่ ง8 แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 4



ภาพผนวกที่ ง9 แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 5



ภาพผนวกที่ ง10 แสดงการวางตำแหน่งหัวระบายก๊าซของการออกแบบที่ 6