วิทยานิพนธ์

การจำลองรูปแบบระบบระบายอากาศในการขจัดไอระเหย ของสาร IPA จากกระบวนการผสมยา

SIMULATION OF VENTILATION SYSTEM TREATING IPA VAPOUR INDUCED FROM DRUG MIXING PROCESS

นางพิศมัย จันทรมัย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย | โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การจำลองรูปแบบระบบระบายอากาศในการขจัดไอระเหยของสาร IPA จากกระบวนการผสมยา

Simulation of Ventilation System Treating IPA Vapour Induced from Drug Mixing Process

นามผู้วิจัย นางพิศมัย จันทรมัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัญ ฉัตรมานพ, วศ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์ธงไชย ศรีนพคุณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจำลองรูปแบบระบบระบายอากาศในการขจัดไอระเหยของสาร IPA จากกระบวนการผสมยา

Simulation of Ventilation System Treating IPA Vapour Induced from Drug Mixing Process

โดย

นางพิศมัย จันทรมัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2550

พิศมัย จันทรมัย 2550: การจำลองรูปแบบระบบระบายอากาศในการขจัดไอระเหยของสาร IPA จากกระบวนการผสมยา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัญ ฉัตรมานพ, วศ.ด. 105 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเพื่อหาความเร็วลมที่เหมาะสมในการดูดไอสาร Isopropyl Alcohol; IPA ออกจากห้องผสมยา เพื่อให้มีความปลอดภัยต่อสุขภาพของพนักงานที่ปฏิบัติงานภายในห้อง จากการตรวจวัดที่สภาพงานจริงพบว่ามีความเข้มข้นของไอสาร IPA ถึง 5,515.333 พีพีเอ็ม ทำให้พนักงานที่ปฏิบัติงานในห้องผสมยามีอาการเวียนศีรษะ แสบตาและลำคอแม้ว่าจะทำการสวมหน้ากากป้องกันไอสารเคมีและแว่นตานิรภัย ดังนั้นการประยุกต์ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator เพื่อจำลองการดูดไอสาร IPA และใช้ประกอบการออกแบบระบบระบายอากาศ จะช่วยลดปริมาณไอสาร IPA ลงสู่ระดับมาตรฐานได้

ผลที่ได้จากการศึกษาในข้างต้นทำให้ทราบว่าสภาพห้องผสมเดิมที่ไม่มีระบบดูดอากาศเฉพาะที่นั้น จะมีไอสารของ IPA บางส่วนถูกดูดออกไปโดยปล่องดูดอากาศกลับทำให้ไอสาร IPA เกิดการฟุ้งกระจายไปทั่วทั้งชั้นของอาคารที่ห้องผสมอยู่ และไอสารของ IPA ส่วนใหญ่จะตกลงสู่พื้นห้องและเกิดการสะสมเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น จากนั้นได้ทำการจำลองการดูดไอสาร IPA โดยใช้อัตราความเร็วลมในการดูดต่างกัน และใช้หลักการ Capture Velocity ผลที่ได้พบว่า อัตราความเร็วลมที่เหมาะสมในการดูดไอสาร IPA คือ 6 เมตรต่อวินาที และติดตั้งปล่องดูดที่ตำแหน่งชิดกับจุดกำเนิด ค่าความเร็วดังกล่าวนำมาจำลองภาพเสมือนโดยโปรแกรม Smokeview พบว่าการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA ออกมาจากจุดกำเนิด สามารถดักจับ Particles ได้หมดโดยระบบการดูดเฉพาะที่ที่ออกแบบขึ้น

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Pitsamai Chantaramai 2007: Simulation of Ventilation System Treating IPA Vapour Induced from Drug Mixing Process. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Jarun Chutmanop, D.Eng. 105 pages.

This thesis is study the flow rate that is suitable for exhausting the Isopropyl Alcohol; (IPA) from the mixing drug room to reserve the employees healthy in that room. From the measure of the real state found that there is 5,515.333 ppm. IPA gas. For this cause we found that the employees in the mixing drug room are dizzy, pained eyes and sore throat even though they wear mask and safety glasses. So applied Fire Dynamic Simulator and redesign new air flow system to test the IPA gas evacuation rate in order to keep this gas concentration to be standard.

The result of the study above shows that if there is no gas evacuation system in the room, some IPA gas is released by the duct, but some IPA gas is diffuse over the floor of the mixing room. More over, most of IPA gas falls onto the floor and when the time pass it will be more accumulated. We have set the IPA gas evacuation by different flow rate and by Capture Velocity. The rate that is suitable for the evacuation of IPA gas is the flow rate at 6 m. /sec by sucker close up source. We used this rate to set the experiment by Smokeview program and found that the diffusion of IPA gas from the origin can filter all Particles by the gas evacuation system we have designed.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัญ ฉัตรมานพ ประธานกรรมการ และรองศาสตรจารย์ ดร.ธงไชย ศรีนพคุณ กรรมการวิชาร่วม ที่ช่วยให้คำปรึกษาสนับสนุน และชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขในข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ธัญญะ เกียรติวัฒน์ ซึ่งเป็นผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และรองศาสตราจารย์วิทยา อยู่สุข ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความกรุณาของคณาจารย์ทุก ๆ ท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณวินัย วีระภุชงค์ กรรมการผู้จัดการบริษัท ไทยนครพัฒนา จำกัด ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนเวลาและทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณมารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ประโยชน์ใดอันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ มารดา ครอบครัว คณาจารย์ และผู้ให้การสนับสนุนทุกท่าน ที่เมตตาอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และช่วยเหลือสนับสนุนในการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด

พิศมัย จันทรมัย

มีนาคม 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (2)

สารบัญภาพ (3)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (7)

คำนำ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

การตรวจเอกสาร 6

อุปกรณ์และวิธีการ 42

- อุปกรณ์ 42
- วิธีการ 42

ผลและวิจารณ์ 44

สรุปและข้อเสนอแนะ 60

- สรุป 60
- ข้อเสนอแนะ 61

เอกสารและสิ่งอ้างอิง 62

ภาคผนวก 64

- ภาคผนวก ก แสดงวิธีการคำนวณ 65
- ภาคผนวก ข แสดงผังห้องที่ทำการศึกษา 68
- ภาคผนวก ค การติดตั้งโปรแกรมและการใช้งาน 70
- ภาคผนวก ง ข้อมูลความปลอดภัยของ IPA 90
- ภาคผนวก จ แสดงวิธีการเลือกขนาด Air Blower 103

ประวัติการศึกษา และการทำงาน 105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เทคนิคการควบคุมความเข้มข้นของสารเคมีในโรงงาน	8
2	ช่วงของอัตราความเร็วลมในการดูดจับสิ่งปนเปื้อน	33

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงตำแหน่งปล่องจ่ายอากาศกับปล่องดูดลมกลับภายในห้องผสม	3
2	แสดงจุดกำเนิดการฟุ้งกระจายของสารเคมีภายในห้องผสม	4
3	การแพร่กระจายของก๊าซแบบ Plume Model	11
4	การแพร่กระจายของก๊าซแบบ Puff Model	12
5	การเช็ค Slumping	13
6	ระบบหมุนเวียนอากาศแบบ HVAC	16
7	แสดงระบบระบายอากาศแบบ Negative Pressure Ventilation	18
8	แสดงระบบระบายอากาศแบบ Positive Pressure Ventilation	18
9	แสดง Hood ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและแสดงรูปแบบการไหลของอากาศที่ขึ้นอยู่กับความสูงของกรอบหน้าต่าง	20
10	แสดง bypass hood ที่ใช้ในห้อง Lab. Bypass air จะถูกควบคุมปริมาณโดยการเปิดหน้าต่าง hood	20
11	แสดงความแตกต่างระหว่าง SP และ VP	25
12	แสดงลักษณะของ Local Exhaust Hood และอธิบายคำศัพท์เฉพาะ	27
13	แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Local Exhaust Hood	28
14	แสดงการเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “boundary layer separation”	29
15	แสดง Hood ชนิด Enclosing Hood	30
16	แสดง Hood ชนิด Exterior Hood	31
17	แสดงจุดดูดที่บริเวณพื้นที่ผิวทรงกลม	34
18	เมื่อระยะห่างระหว่าง Hood กับแหล่งกำเนิดมากขึ้นยิ่งต้องการปริมาตรอากาศมากขึ้นหรือความเร็วลมจะลดลงแปรผกผันเป็น 2 เท่าของระยะ X	35
19	แสดง Hood กรณีที่ไม่มีครีบและแผ่นกั้นทำให้กระแสลมถูกดูดเข้า Hood ในทุกทิศทาง	36
20	แสดง Hood ที่มีครีบและแผ่นกั้นทำให้สามารถกันลมที่ไม่ต้องการไม่ให้ถูกดูดเข้าไปใน Hood	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	แสดงการติดตั้ง Slot เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของอากาศก่อนเข้าไปใน Hood	37
22	แสดงตำแหน่งการยืนของพนักงานที่มีผลต่อการได้รับอันตรายจากสารมีพิษ	38
23	แสดงห้องที่เขียนและตำแหน่งเครื่องจักร, ปล่องจ่ายอากาศ และปล่องดูดลมกลับ เพื่อใช้ จำลองการฟุ้งกระจายของ IPA ก่อนการปรับปรุงระบบการดูดอากาศ	44
24	แสดงห้องที่เขียนและตำแหน่งเครื่องจักร, ปล่องจ่ายอากาศ, ปล่องดูดลมกลับ และท่อดูดไอสาร IPA เพื่อใช้ จำลองความเร็วลมที่เหมาะสมในการดูดไอสาร IPA	45
25	แสดงผลกลุ่ม Particles ของไอสาร IPA ในห้องผสม	46
26	แสดงตำแหน่งปล่องดูดไอสาร IPA ที่อยู่ในระดับพื้น	50
27	แสดงหน้าต่างในการตั้งค่าความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA ที่ปล่องดูด	51
28	แสดงผลกลุ่ม Particles ของไอสาร IPA ในห้องผสม เมื่อกำหนดความเร็วลมในการดูดออก 3 เมตรต่อวินาที	52
29	แสดงผลกลุ่ม Particles ของไอสาร IPA ในห้องผสม เมื่อกำหนดความเร็วลมในการดูด ออก 6 เมตรต่อวินาที	54
30	แสดงผลกลุ่ม Particles ของไอสาร IPA ในห้องผสม เมื่อกำหนดความเร็วลมในการดูด ออก 9 เมตรต่อวินาที	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค1	แสดงหน้าเวบไซท์ของ www.thunderheadeng.com	71
ค2	แสดงหน้าเวบไซด์ของการ Download โปรแกรม PyroSim	71
ค3	แสดงหน้าเวบไซท์ของการลงทะเบียนเพื่อขอ Download โปรแกรม PyroSim	72
ค4	หน้าต่างสำหรับการเริ่มติดตั้งโปรแกรม PyroSim	73
ค5	การติดตั้งครั้งแรกให้เลือกแบบ Modify	74
ค6	แสดงขั้นตอนการเลือกที่อยู่สำหรับการติดตั้งโปรแกรม	74
ค7	แสดงขั้นตอนในการเลือกเพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม	75
ค8	แสดงขั้นตอนในการเปิดโปรแกรมใช้	75
ค9	หน้าต่างเริ่มต้นสำหรับการใช้งานโปรแกรม PyroSim	76
ค10	แสดงคู่มือการใช้โปรแกรม PyroSim	76
ค11	แสดงแถบคำสั่ง (ด้านบน) และแถบเครื่องมือ (ด้านล่าง)	78
ค12	แสดงการตั้งชื่อ Grid ที่ต้องการ	79
ค13	แสดงการใส่ค่าตัวเลขขนาดของห้องผสม	79
ค14	แสดงขอบเขตของห้องผสม	80
ค15	แสดงผลของการสร้างผนังห้องของห้องผสม	81
ค16	แสดงการสร้างประตูห้องของห้องผสม	81
ค17	แสดงผลของการสร้างประตูห้องของห้องผสม	82
ค18	แสดงผลของการสร้างเครื่องจักรภายในห้องผสม	83
ค19	แสดงการกำหนดคุณสมบัติของ Surface ในแถบของ Properties	84
ค20	แสดงการกำหนดคุณสมบัติของ Surface ในแถบของ Airflow	84
ค21	แสดงตัวอย่างการกำหนดคุณสมบัติของ Particles	85
ค22	แสดงตัวอย่างการกำหนดคุณสมบัติของการใช้คำสั่ง New Vent เพื่อสร้างปล่องระบายอากาศ	85
ค23	แสดงหน้าต่างการกำหนดคุณสมบัติของ Reaction IPA	86
ค24	แสดงหน้าต่างการกำหนดคุณสมบัติของ Animated Planar Slice	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค25	แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าในการแสดงผล	87
ค26	แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าในการประมวลผล	88
ค27	แสดงการประมวลผลของโปรแกรม FDS	88
ค28	แสดงการใช้คำสั่งเพื่อดูภาพจำลอง	89
ค29	แสดงภาพจำลอง	89
จ1	แสดงวิธีการเลือกขนาด Air Blower	104

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

IPA	=	Isopropyl Alcohol
ppm	=	Part per million
TLV-TWA	=	Threshold Limit Value Time Weighted Average
NIOSH	=	The U.S.National Institute of Occupational amd Health
TLV	=	Threshold Limit Value
TLV-STEL	=	Threshold Limit Value Short-term Exposure Limit
TLV-C	=	Threshold Limit Value Ceiling Limit
Cppm	=	ความเข้มข้นของสารเคมี,ppm
FDS	=	Fire Dynamics Simulator
T	=	อุณหภูมิ
P	=	ความดันสัมบูรณ์
M	=	มวลโมเลกุล
psi	=	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
Q	=	Volumetric flow rate
V	=	average velocity
A	=	cross-sectional area
SP	=	Static Pressure
VP	=	Velocity Pressure

การจำลองรูปแบบระบบระบายอากาศในการขจัดไอระเหยของสาร IPA จากกระบวนการผสมยา

Simulation of Ventilation System Treating IPA Vapour Induced from Drug Mixing Process

คำนำ

ห้องผสมยา (Mixing Room) เป็นห้องที่ใช้ในการผสมยา ชนิด เม็ด แต่มียาบางชนิดที่ใช้สารเคมีไวไฟเป็นตัวช่วยยึดผงยาให้เป็นเม็ดหยาบเล็ก ๆ คือ Isopropyl Alcohol; IPA และ Ethyl Alcohol ซึ่งในการผลิตยาชนิดนี้เคยเกิดการระเบิดขึ้นมาแล้ว นอกจากนี้ในขณะที่กำลังปฏิบัติงานจะมีกลิ่นฉุนเป็นอย่างมากส่งผลให้พนักงานมีความรู้สึกไม่ปลอดภัยทั้งด้านการระเบิด และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดย IPA มีคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้

รูปแบบ		เป็นของเหลว
สี		ใสไม่มีสี
กลิ่น		มีลักษณะเฉพาะตัว
ความหนืดที่ 20 °C		2.27 Pas
จุดหลอมเหลว		- 89.5 °C
ช่วงจุดเดือด		81 - 83 °C
อุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง		399 °C
จุดวาบไฟ		12 °C
ขีดจำกัดการระเบิด	ขอบล่าง	2.5 vol. %
	ขอบบน	12 vol.%
ความดันไอที่ 20 °C		33 mmHg
ค่าความถ่วงจำเพาะที่ 20 °C		0.785 g/cm^3
ความสามารถในการละลายน้ำที่ 20 °C		ละลายน้ำได้
ความหนาแน่นของไอ		2.1 g/l

อันตรายจากการสัมผัสสารเคมีเกินมาตรฐานจะมีอาการดังต่อไปนี้

1. หลังจากสูดดม: เกิดอาการระคายเคืองหลอดลม

2. หลังจากสัมผัสผิวหนัง: ไปละลายไขมันใต้ผิวหนัง, และอาจมีอาการบวมแดงอักเสบตามมา

3. หลังจากสัมผัสที่ดวงตา: เกิดการระคายเคืองที่เยื่อตา

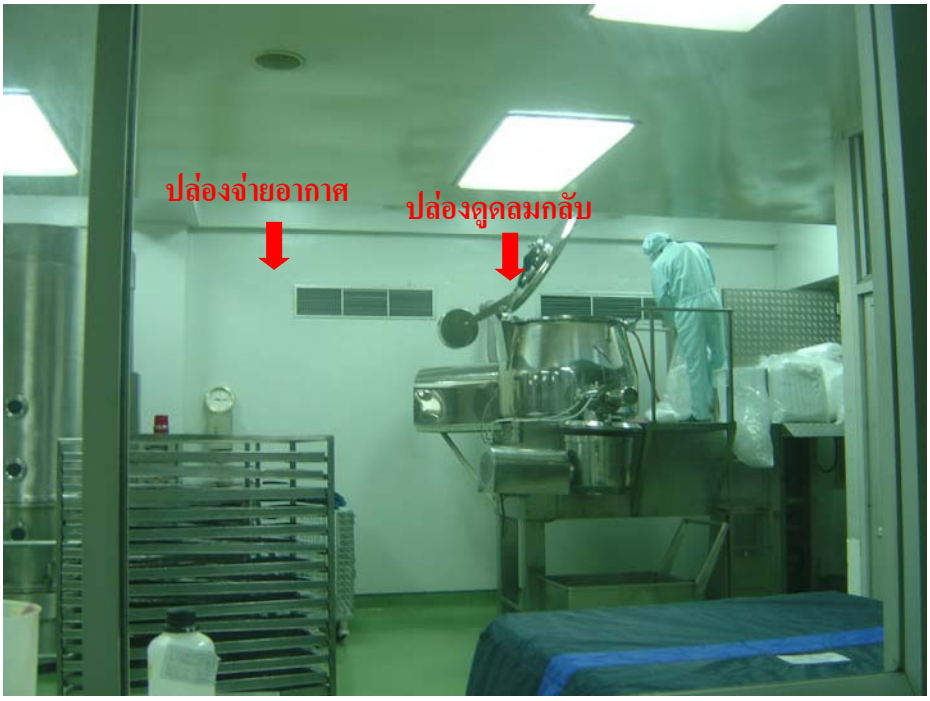
4. หลังจากดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย: มีอาการปวดศีรษะ, หน้ามืด ตาลาย เวียนศีรษะ, มีอาการคล้ายคนเมา, หมดสติ, อาจก่อให้เกิดการเสพติดได้

5. หลังจากได้รับในปริมาณมาก: ระบบหายใจล้มเหลว, coma

Material Safety Data Sheet. SIGMA-ALDRICH. (2004)

ข้อมูลคุณลักษณะทางด้านกายภาพและทางเคมีจะพบว่า IPA มีคุณสมบัติเป็นสารไวไฟมาก คือ มีจุดวาบไฟอยู่ที่ 12 °C และสามารถระเบิดได้เมื่อผสมในอากาศจนอยู่ในสัดส่วนที่พอเหมาะ

การประเมินระบบระบายอากาศที่มีอยู่เดิมก็ไม่เหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 1 ในห้องผสมยาจะเห็นว่าปล่องดูดอากาศกลับ (Return Air) จะอยู่ด้านบนของห้อง แต่เนื่องจากสารเคมีชนิดนี้มีคุณสมบัติหนักกว่าอากาศ เพราะฉะนั้นเมื่อเกิดการระเหยออกสู่บรรยากาศก็จะลอยต่ำและเกิดการสะสมในห้องผสม จนอาจถึงขีดจำกัดของการระเบิดได้ ซึ่งขีดจำกัดการระเบิดอยู่ในช่วง 2 – 12 % เท่านั้นเอง



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งปล่องจ่ายอากาศกับปล่องดูดลมกลับภายในห้องผสม

ที่มา: บริษัท ไทยนครพัฒนา จำกัด (2550)

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในห้องผสมพบว่า มีความเข้มข้นของ IPA อยู่ที่ 5,515.333 ppm. จากการสอบถามพนักงานที่ทำงานอยู่ในห้องผสมพบว่า มีอาการระคายเคืองบริเวณลำคอ ปวดศีรษะ รู้สึกควบคุมการทรงตัวได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งจากการตรวจสอบในเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของ IPA (Material Safety Data Sheet) พบว่าเป็นผลจากการที่พนักงานได้รับ IPA เข้าไปในร่างกาย แม้ว่าจะมีการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลแล้วก็ตาม และจุดที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของ IPA คือช่วงที่มีการแร่งยาให้เป็นเม็ดหยาบเล็ก ๆ เพื่อให้สะดวกในการนำไปตอกเป็นเม็ดยาในกระบวนการผลิตยาชนิดเม็ด ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 แสดงจุดกำเนิดการฟุ้งกระจายของสารเคมีภายในห้องผสม

ที่มา: บริษัท ไทยนครพัฒนา จำกัด (2550)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งจะเป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) เพื่อทำการปรับปรุงระบบระบายอากาศภายในห้องให้เหมาะสมกับห้องผสมยา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเร็วลมที่เหมาะสมในการดูด IPA ออกจากส่วนผสมยาให้เหลือต่ำกว่าค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (Threshold Limit Value Time Weighted Average; TLV-TWA)

2. เพื่อจำลองผลการทำงานของระบบดูดอากาศแบบเฉพาะที่ (Local Exhaust Hood) สำหรับการนำไอสาร IPA ออกจากห้องผสมยา

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการแยก IPA ออกจากส่วนผสมยาให้มีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (Threshold Limit Value Time Weighted Average; TLV-TWA)

2. มาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในการออกแบบ คือมาตรฐานของ The U.S. National Institute of Occupational and Health (NIOSH)

3. ใช้โปรแกรม PyroSimโดยการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม PyroSim (Version Trial Free 30 Days) ทำการประมวลผลโดยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator (Version 4.07) ดูภาพจำลองจากการประมวลผลโดยโปรแกรม Smokeview (Version 4.07) จำลองสภาพการฟุ้งกระจายของ IPA และจำลอง ความเร็วลมที่ใช้ในการดูดแบบเฉพาะที่ (Local Exhaust Hood)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นกรณีศึกษาของการออกแบบระบบระบายอากาศ ให้เหมาะสมในห้องผสมยาเพื่อป้องกันอันตรายต่อสุขภาพพนักงานที่สัมผัสกับ IPA

2. สามารถลดเวลาในการผลิตต่อครั้งเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานแบบเดิม

3. สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยเป็นไปใช้กับการทำงานในพื้นที่จริงได้อย่างเหมาะสม

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุธีระ (2549) ได้ทำการศึกษาอันตรายของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนรั่วในห้องเลเซอร์, การออกแบบระบบระบายอากาศฉุกเฉินและหาเวลาที่ปลอดภัยในการอพยพพนักงานออกจากอาคารผลิตโดยใช้ควันทดสอบการเคลื่อนที่ของอากาศ ร่วมกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator และ Smokeview เพื่อหาผลที่เกิดขึ้นจากการรั่วของก๊าซตั้งแต่เริ่มต้นจนหมดถัง ทำให้ทราบถึงความเข้มข้นของก๊าซที่ระดับเวลาต่าง ๆ ผลที่ได้ในเวลา 5 นาที มีค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เหลืออยู่ในห้อง 52.07 ส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม) ซึ่งเป็นอันตรายถึงชีวิตต่อผู้ปฏิบัติงานในห้อง เมื่อคำนวณการที่ก๊าซเริ่มรั่วเข้าสู่ระบบปรับอากาศในสภาพห้องปัจจุบันจะพบว่าที่เวลา 85 วินาที ค่าความเข้มข้นของก๊าซจะมีค่า 23.92 พีพีเอ็ม ซึ่งไม่เกินค่า IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) และเป็นเวลาที่ปลอดภัยในการอพยพพนักงานออกจากพื้นที่ เมื่อเกิดเหตุก๊าซรั่วไหล ผลที่ได้จากการศึกษาในข้างต้นนำมาออกแบบระบบระบายอากาศฉุกเฉินเป็น 6 แบบ โดยการออกแบบที่ 1 – 3 ใช้ความเร็วลมในการระบายอากาศออก 12.02 เมตรต่อวินาที และหัวระบายอากาศขนาด 30 x 60 เซนติเมตร อยู่ในตำแหน่งริมห้อง, กลางห้อง, และเหนือจุดก๊าซรั่วตามลำดับ การออกแบบที่ 4 – 6 ใช้ความเร็วลมในการระบายอากาศออก 1.20 เมตรต่อวินาที และหัวระบายอากาศขนาด 60 x 60 เซนติเมตร อยู่ในตำแหน่งเช่นเดียวกันกับแบบที่ 1 – 3 ผลการออกแบบที่ดีที่สุด คือ แบบที่ 2 มีค่าความเข้มข้นของก๊าซที่เหลือในห้องเพียง 0.99 พีพีเอ็ม ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่อื่นที่ใช้ระบบปรับอากาศร่วมกันกับห้องที่ก๊าซรั่วไหล

วรรณรัตน์ (2549) ได้ศึกษาการจำลองรูปแบบการกระจายตัวของสารเอ็นบูทิล อะซิเตท ขณะทำการผสมสีในห้องผสมสีของโรงงานผลิตหลอดไฟ และทำการออกแบบปรับปรุงระบบระบายอากาศให้เหมาะสมกับการระบายไอระเหยของสารเอ็นบูทิล อะซิเตทออกจากห้องผสมสี โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมสร้างภาพเสมือนจริงด้านพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator; FDS) ซึ่งเป็นหลักการด้านพลศาสตร์เชิงคำนวณของของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD) มาใช่ในการวิเคราะห์และทำนายหารูปแบบการกระจายตัวไอระเหยของสารเอ็นบูทิล อะซิเตท ผลการจำลองรูปแบบการกระจายตัวขิงสารเอ็นบูทิล อะซิเตทพบว่าจะเคลื่อนที่เข้าหาช่องดูดอากาศที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งเมื่อเคลื่อนเข้าไปใกล้เรื่อย ๆ บางส่วนของสารจะถูกช่องดูดอากาศออกไป ในขณะที่บางส่วนจะถูกลมที่จ่ายเข้าห้องตรงบริเวณผนังด้านล่างซ้ายขึ้นไปด้านบนและจะถูกลมจากช่องจ่ายอากาศด้านบนทั้งสองช่องม้วนกลับเข้าไปกลางห้อง แล้วจึง

ค่อย ๆ เริ่มกระจายไปทั่วห้อง ซึ่งเมื่อเวลา 1,200 วินาที ช่องดูดอากาศสามารถดูดสารเอ็นบูทิล อะซิเตทได้ 78.11 พีพีเอ็ม ทำให้ในห้องยังมีความเข้มข้นของสารอยู่ถึง 185.46 พีพีเอ็ม ซึ่งสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดคือไม่เกิน 150 พีพีเอ็ม และด้วยสภาพการทำงานจริงที่ผ่านมาของพนักงานระดับความเข้มข้นของสารเอ็นบูทิล อะซิเตทเฉลี่ยประมาณ 60 พีพีเอ็ม จะเป็นระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย ซึ่งหากมีระดับความเข้มข้นของสารสูงกว่านี้จะทำให้พื้นที่การทำงานมีกลิ่นฉุน ทำให้รู้สึกเวียนศีรษะ แสบตา แสบจมูก จนพนักงานไม่สามารถปฏิบัติงานได้หากไม่สวมใส่หน้ากากป้องกันสารเคมีและแว่นตา ผู้วิจัยจึงกำหนดค่าที่ยอมให้มีได้ในห้องผสมสีได้ไม่เกิน 60 พีพีเอ็ม โดยทำการออกแบบตำแหน่งที่เหมาะสมของช่องดูดอากาศจำนวน 3 แบบ เพื่อให้สามารถดูดอากาศได้ทันและทำให้ระดับความเข้มข้นของสารละลายเอ็นบูทิล อะซิเตทไม่ถึง 60 พีพีเอ็มภายในเวลา 5 นาทีหลังจากเริ่มกระบวนการผสมสี และพบว่าแบบที่ควรเลือกนำมาจัดทำมากที่สุด คือแบบที่ 3 เพราะช่องดูดอากาศสามารถดูดอากาศได้ถึง 217.90 พีพีเอ็ม เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ทำให้มีความเข้มข้นของสารเอ็นบูทิล อะซิเตทเหลืออยู่ในห้อง 45.67 พีพีเอ็ม ซึ่งอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

Crowl and Louvar (2002) ค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (Threshold Limit Value; TLV) เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ร่างกายได้รับแล้วสามารถกำจัดออกได้โดยไม่เกิดผลกระทบใด ๆ ต่อร่างกาย ทั้งนี้ค่า TLV ยังจำแนกประเภทได้ดังนี้

1. ค่าขีดจำกัดเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน (Threshold Limit Value Time Weighted Average; TLV-TWA) เป็นค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานเฉลี่ยที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ที่พนักงานสัมผัสทุก ๆ วัน โดยไม่มีผลกระทบต่อร่างกาย

2. ค่าขีดจำกัดสำหรับการสัมผัสในระยะเวลาสั้น ๆ (Threshold Limit Value Short-term exposure limit; TLV-STEL) เป็นค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานสูงสุดที่พนักงานสัมผัสได้ในระยะสั้น ๆ ประมาณ 15 นาทีโดยไม่มีผลกระทบต่อร่างกาย

3. ค่าขีดจำกัดสูงสุด (Threshold Limit Value Ceiling Limit; TLV-C) ในตลอดช่วงระยะเวลาการทำงานจะต้องไม่เกิดความเข้มข้นของสารเคมีที่กำหนดในบรรยากาศการทำงาน

ค่า TLVs จะใช้หน่วยเป็น ppm (parts per million by volume), mg/m^3 (mg of vapor per cubic meter of air) สำหรับไอสารเคมีสามารถแปลงหน่วยจาก mg/m^3 เป็น ppm โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$C_{ppm} = \frac{22.4}{M}\left(\frac{T}{273}\right)\left(\frac{1}{P}\right)\left(mg/m^3\right)$$

$$= 0.08205\left(\frac{T}{PM}\right)\left(mg/m^3\right) \qquad (1)$$

โดยที่ C_{ppm} คือ ความเข้มข้นของสารเคมี, *ppm*

T คือ อุณหภูมิ, เคลวิน

P คือ ความดันสัมบูรณ์, *atm*

M คือ มวลโมเลกุล, *gm/gm-mole*.

การควบคุมให้ความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานไม่เกินมาตรฐาน จะต้องใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม และต้องมั่นใจว่าเทคนิคที่เลือกใช้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายอย่างอื่นขึ้นมาแทนหรือเป็นอันตรายมากกว่าปัญหาเดิม

ตารางที่ 1 เทคนิคการควบคุมความเข้มข้นของสารเคมีในโรงงาน

วิธีการและคำอธิบาย	ตัวอย่าง
<u>Substitution</u> ใช้สารเคมีหรืออุปกรณ์อื่นที่มีอันตรายน้อยกว่าแทน	- ใช้ mechanical pump seals vs packing - ใช้ welded pipe vs flanged sections - ใช้ตัวทำละลายที่มีพิษน้อยกว่า - ใช้สารเคมีที่มีจุดวาบไฟ จุดเดือดที่สูงกว่าและอันตรายน้อยกว่า - ใช้น้ำนำความร้อนแทนการใช้ hot oil

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วิธีการและคำอธิบาย	ตัวอย่าง
<u>Attenuation</u> ใช้สารเคมีที่ภายใต้สภาวะที่จะทำให้เกิดอันตรายน้อยกว่า	- ใช้สูญญากาศลดจุดเดือด - ลดอุณหภูมิและความดันในกระบวนการ - แช่เย็นท่อเก็บ - เจือจางความเป็นอันตรายของสารเคมีด้วยตัวทำละลายที่ปลอดภัย - ปฏิบัติงานภายใต้สภาวะที่ปฏิกิริยา run-away เกิดขึ้นไม่ได้
<u>Isolation</u> แยกอุปกรณ์หรือแหล่งกำเนิดอันตราย	- จัดตำแหน่งห้องควบคุมแยกจากห้องปฏิบัติงาน - แยกห้องปั๊มจากห้องอื่น - หุ้ม Insulate อุปกรณ์หรือ line ที่มีเสียงดัง - กั้นแยกห้องควบคุมกับถังเก็บ
<u>Intensification</u> ลดปริมาณของสารเคมีที่ใช้	- เปลี่ยนถังปฏิกิริยาจากถังใหญ่เป็นถังเล็กแบบต่อเนื่อง - ลดปริมาณการจัดเก็บ - ลดการจัดเก็บในกระบวนการผลิต
<u>Local Ventilation</u> จำกัดพื้นที่และมีปล่องระบายของสารเคมี	- ใช้ Hood - ใช้หลักการระบายอากาศ ณ จุดที่มีการใช้สารเคมี
<u>Dilution Ventilation</u> ควบคุมระดับความเป็นพิษให้ต่ำด้วยการออกแบบระบบระบายอากาศ	- ออกแบบห้อง locker ให้มีการระบายอากาศที่ดี มีพื้นที่พิเศษหรือปิดกั้นสำหรับเสื้อผ้าที่ปนเปื้อนสารเคมี - ออกแบบระบบระบายอากาศแยกสำหรับห้องปฏิบัติงานกับสำนักงาน - ออกแบบห้อง filter press ด้วยระบบระบายอากาศโดยตรง

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วิธีการและคำอธิบาย	ตัวอย่าง
<u>Wet Methods</u> ใช้ Wet Methods สำหรับป้องกันการปนเปื้อนจากฝุ่นขนาดเล็ก	- ใช้ water spray ในการทำความสะอาด - ทำความสะอาดในพื้นที่บ่อย ๆ - ใช้ water spray ในการป้องกัน
<u>Personal Protection</u> เป็นสิ่งสุดท้ายที่ใช้ในการป้องกัน	- ใช้ แว่นตานิรภัยและกระบังหน้า - สวมอุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจอย่างเหมาะสม หรือต้องมีถังอากาศเมื่ออากาศในพื้นที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 19.5%

ที่มา: Crowl and Louvar (2002)

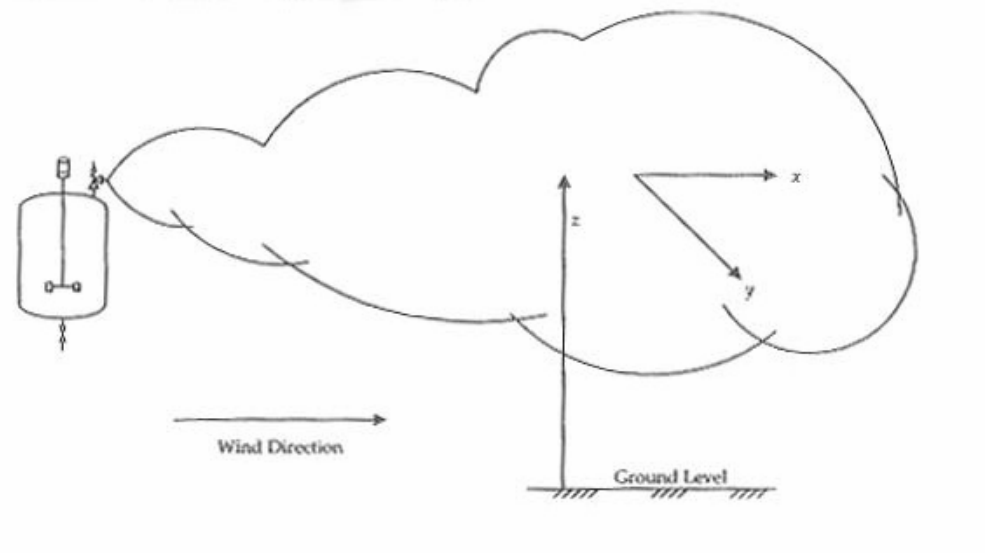
แบบจำลองการแพร่กระจายของก๊าซ (Source Model For Vapors)

แบ่งได้เป็นสองแบบคือ

1. Neutrally buoyant gas dispersion model
2. Dense gas dispersion model

1. Neutrally buoyant gas dispersion model

เป็นการแพร่กระจายของก๊าซที่ลอยขึ้นตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นของก๊าซที่รั่วเท่ากันหรือเบากว่าความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งจะมีลักษณะการแพร่กระจายของก๊าซเป็น 2 แบบคือการแพร่แบบต่อเนื่อง (Plume model) และการแพร่กระจายแบบเป็นกลุ่มก้อน (Puff model)



ภาพที่ 3 การแพร่กระจายของก๊าซแบบ Plume model

ที่มา: Louvar (1998)

การแพร่กระจายแบบ Plume model ถูกพัฒนาโดย Pasquill และ Gifford ซึ่งมีสมมติฐานพื้นฐานที่แน่นอนดังสมการ

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

เมื่อ

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

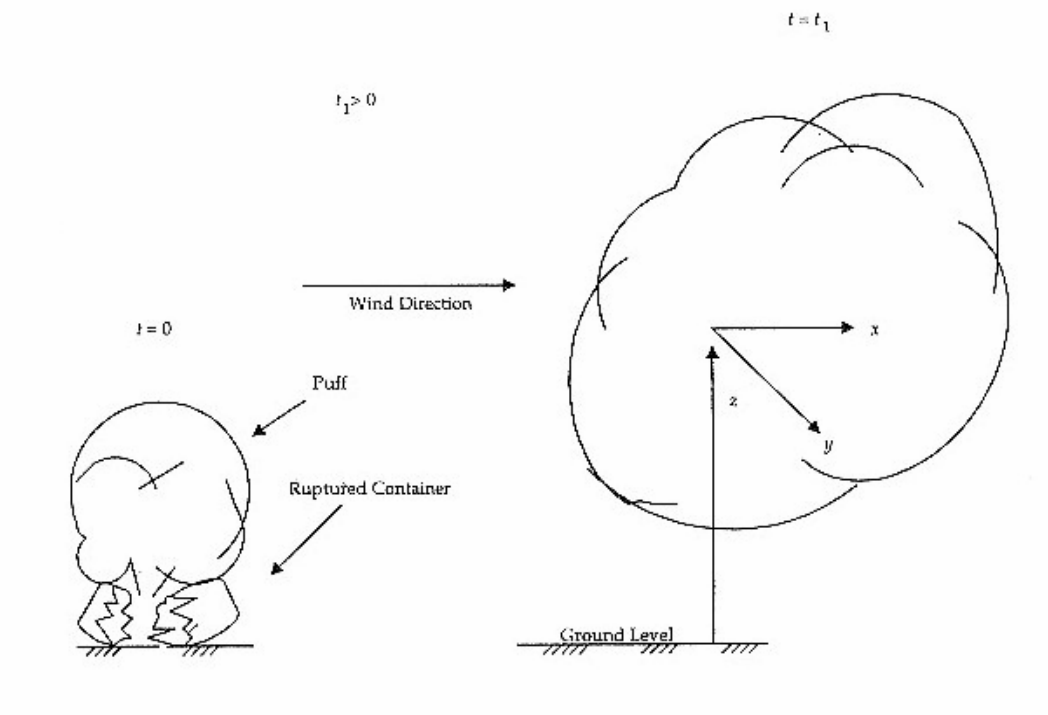
x,y,z เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็น lengh

Q_m เป็นแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็น mass/time

σ_x, σ_y เป็นการแพร่กระจายของก๊าซที่มีผลมีหน่วยเป็น length

u เป็นความเร็วลมมีหน่วยเป็น length/time

H_r เป็นความสูงของจุดที่รั่วมีหน่วยเป็น length



ภาพที่ 4 การแพร่กระจายของก๊าซแบบ Puff model

ที่มา: Louvar (1998)

การแพร่กระจายแบบ Puff model เป็นการแพร่กระจายของก๊าซแบบกลุ่มก้อนทันทีทันใด รวมถึงถังและท่อก๊าซต่าง ๆ ซึ่งสามารถหาค่าความเข้มข้นของก๊าซที่จุดพื้นได้จากสมการดังนี้

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q^* m}{(2\pi)\sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\left\{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\} \quad (3)$$

เมื่อ

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

เมื่อ

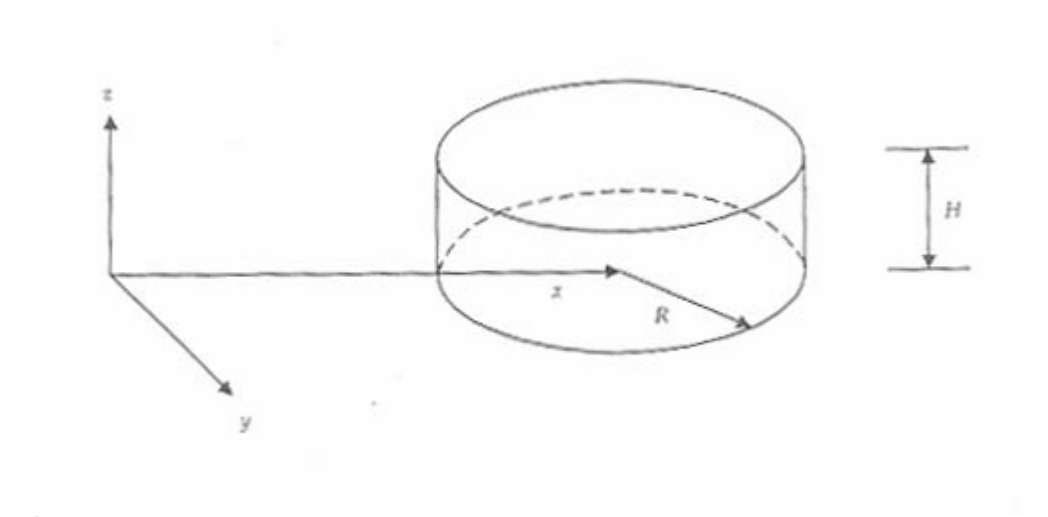
x เป็นจุดศูนย์กลางที่พื้นของ Puff จากแหล่งที่รั่วมีหน่วยเป็น length

u เป็นความเร็วลมมีหน่วยเป็น length/time

t เป็นเวลาหลังจากที่แหล่งกำเนิดได้รั่วออกมาแล้วมีหน่วยเป็น time

2. Dense gas dispersion model

เป็นการแพร่กระจายของก๊าซที่มีมวลโมเลกุลหนักกว่ามวลโมเลกุลของอากาศซึ่งจะเป็นผลทำให้ก๊าซตกลงบนพื้นซึ่งสามารถเช็คได้ว่าก๊าซที่รั่วออกมาเป็น Dense Gas หรือไม่โดยใช้สมการ



ภาพที่ 5 การเช็ค Slumping

ที่มา: Louvar (1998)

แบบ Pulme model $$\left(\frac{g_0 V'_0}{u^3 D_i}\right)^{1/3} \geq 0.15 \quad (4)$$

ถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่า 0.15 จะเป็น Dense Gas

แบบ Puff model $$\left(\frac{g_0 V_0}{u D_i}\right)^{1/2} \geq 0.2 \quad (5)$$

ถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่า 0.2 จะเป็น Dense Gas

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

$$g_0 = \frac{g(\rho_e - \rho_a)}{\rho_a} \quad (6)$$

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

$$D_c = \left(\frac{V'_0}{u}\right)^{1/2} \quad (7)$$

ขนาดของการแพร่กระจายของก๊าซแบบกลุ่มก้อนทันทีทันใดหาได้จากสมการ

$$D_i = (V_0)^{1/3} \quad (8)$$

เมื่อ

V'_0 เป็นอัตราของการรั่วแบบต่อเนื่องมีหน่วยเป็น length^3/time

u เป็นความเร็วของการรั่วมีหน่วยเป็น length/time

D_i เป็นขนาดของการรั่วแบบกลุ่มก้อนทันทีทันใดมีหน่วยเป็น length

V_0 เป็นอัตราของการรั่วแบบกลุ่มก้อนทันทีทันใดมีหน่วยเป็น length^3

วิธีการควบคุมสิ่งปนเปื้อน

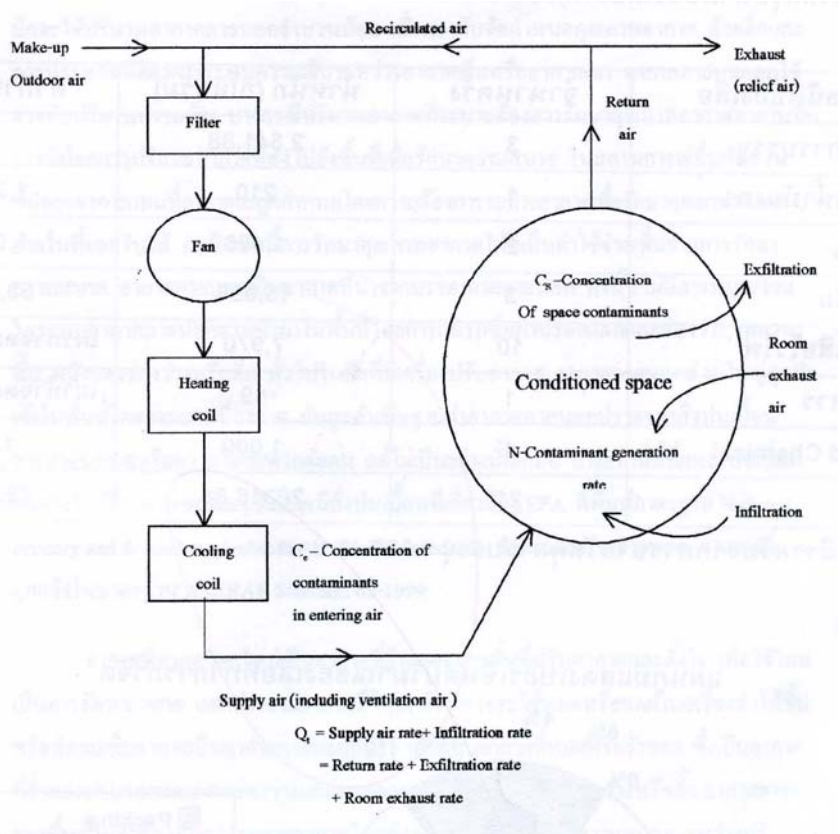
McQuiston et al. มี 4 วิธีพื้นฐานที่ควบคุมก๊าซหรือสิ่งปนเปื้อนเพื่อที่จะรักษาคุณภาพอากาศ (IQA) ให้ดีในตึก

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

1. การดัดแปลงหรือกำจัดแหล่งปนเปื้อน

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

2. การใช้อากาศภายนอก



ภาพที่ 6 ระบบหมุนเวียนอากาศแบบ HVAC

ที่มา: McQuiston et al. (2005)

ดังภาพระบบ HAVC อากาศภายนอกถูกใช้เพื่อเจือจางสิ่งปนเปื้อนในพื้นที่ เพื่อความเข้าใจในกระบวนการเจือจาง ดังรูปใช้เพื่อกำหนดศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการไหลอากาศของระบบ HVAC การแทนที่อากาศคืออากาศที่ส่งไปพื้นที่ปรับอากาศ และใช้เพื่อการระบายอากาศ, ระบายความร้อน, ระบบความเย็น, ระบบความชื้น หรือระบบขจัดความชื้น การระบายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของการแทนที่อากาศที่อากาศภายนอกกับอากาศที่หมุนเวียนใหม่ ซึ่งถูกกระทำเพื่อวัตถุประสงค์การรักษาไว้ของคุณภาพอากาศภายในที่ยอมรับได้

อากาศที่หมุนเวียนใหม่เป็นอากาศที่ดูดออกจากพื้นที่ปรับอากาศไปผ่านการบำบัดและส่งกลับเข้าพื้นที่ใหม่พร้อมอากาศที่ดูดเข้าจากระบบจากภายนอกอาคาร เพื่อทดแทนอากาศที่ดูดออกและรั่วไปตามรอยแตกต่าง ๆ ในอาคาร เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างปริมาณมวลอากาศเข้าและมวลอากาศออก ถ้าอัตราการแทนที่ของอากาศเกินกว่าอัตราอากาศออกจะทำให้เกิดความดันในอาคารสูงกว่าภายนอก เชื้อโรคต่าง ๆ หรือฝุ่นที่อยู่ภายนอกจะไม่สามารถเข้าไปในอาคารได้ ดังกรณีห้องสะอาดที่ใช้ในการผลิตยา อาหาร หรืออุปกรณ์อิเล็คทรอนิค

3. การกระจายอากาศ

ในพื้นที่ที่พิเศษ เช่น ห้องสะอาด การไหลของอากาศในทิศทางเดียวกันเป็นสิ่งที่จำเป็น ในบางกรณีอากาศอาจถูกจ่ายจากเพดานและดูดออกทางพื้นด้านล่าง หรืออากาศถูกจ่ายเข้าทางผนังอีกด้านหนึ่งและถูกดูดออกทางผนังอีกด้านหนึ่ง การระบายอากาศเฉพาะที่ในบางครั้งใช้เป็นประโยชน์ในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในอากาศ เช่น สารเคมีและฝุ่น จะสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนได้ดีกว่า

4. การทำความสะอาดอากาศ

ในหลายกรณีที่จะต้องทำความสะอาดอากาศหรือกรองอากาศภายนอกก่อนที่จะหมุนเวียนมาใช้ในอาคาร ซึ่งอาจจะทำได้โดยการดูดซับทางกายภาพ, การดูดซับทางเคมี, การเร่งปฏิกิริยาหรือการเผาไหม้ เครื่องฟอกอากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคาร ตัวดูดซับที่ดีต้องมีพื้นที่ผิวที่ใหญ่ ดังนั้นจึงมีรูพรุนที่ผิวมากถ่านถูกใช้เป็นตัวดูดซับกันอย่างกว้างขวาง แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในการดูดซับก๊าซที่มีน้ำหนักเบาและมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อใช้ดูดซับสารที่มรมวลโมเลกุลสูง ถ่านอาจจะอิ่มตัวสสารอื่นที่ยินยอมปรับตัวดีกว่า

ของก๊าซที่มีการเคลื่อนไหว การดูดซับทางเคมีคล้ายกับการดูดซับทางกายภาพแต่มีความแตกต่างกันในเรื่องการยึดติดที่พื้นที่ผิวในการดูดซับทางปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นสารประกอบที่สกปรกจะทำปฏิกิริยากับการดูดซับทางเคมีในความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมีจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น การเร่งปฏิกิริยามีความสัมพันธ์โดยตรงกับการดูดซับทางเคมี

การระบายอากาศ

การควบคุมการฟุ้งกระจายของสารเคมีสู่สภาพแวดล้อมในการทำงาน ส่วนใหญ่มักจะเลือกวิธีการระบายอากาศ เนื่องจาก

1. การระบายอากาศสามารถลดความเข้มข้นของสารไวไฟหรืออันตรายของสารเคมีได้เร็ว

2. การระบายอากาศสามารถจำกัดพื้นที่ในการระบายอากาศได้ ช่วยลดปริมาณอากาศที่ถูกกำจัดออกไป รวมทั้งลดขนาดของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบระบายอากาศ

3. อุปกรณ์ในระบบระบายอากาศสรรหาได้ง่ายและติดตั้งง่าย

4. อุปกรณ์ในระบบระบายอากาศสามารถติดตั้งภายนอกอาคารได้

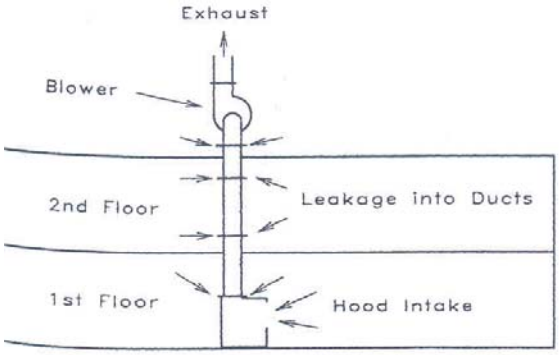
ข้อเสียที่สำคัญของระบบระบายอากาศ คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลม ค่าใช้จ่ายในการทำอากาศให้อุ่นหรือเย็น

หลักการระบายอากาศจะอยู่บนพื้นฐาน 2 ประการหลัก ๆ ดังนี้

1. เจือจางสิ่งปนเปื้อนให้มีความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด
2. กำจัดสิ่งปนเปื้อนออกไปก่อนที่พนักงานจะสัมผัสกับสิ่งปนเปื้อนนั้น

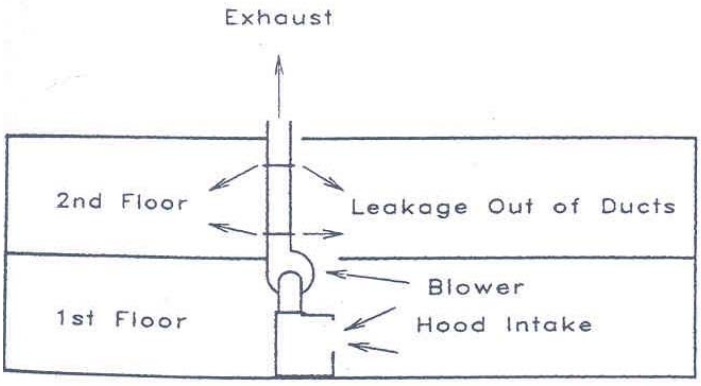
ระบบระบายอากาศประกอบด้วยพัดลมและท่อ พัดลมจะทำหน้าที่ในการลดความดัน (น้อยกว่า 0.1 psi) เพื่อขับเคลื่อนให้เกิดการไหลของอากาศ ระบบระบายอากาศที่ดีที่สุดจะต้องเป็นแบบ Negative Pressure Ventilation ด้วยพัดลมที่ติดตั้ง ณ ปล่องระบายออกที่จุดปลายสุดของ

ระบบที่จะดูดอากาศออกไปข้างนอกดังแสดงในภาพที่ 7 การทำงานของระบบจะต้องมั่นใจได้ว่าจะไม่มีส่วนของท่อส่วนหนึ่งใดที่จะทำให้สิ่งปนเปื้อนหรือสารเคมีรั่วออกสู่พื้นที่ทำงานที่เป็นทางผ่านของท่อดูดอากาศนั้น ดังแสดงในภาพที่ 8 ที่ระบบระบายอากาศเป็นแบบ Positive Pressure Ventilation



ภาพที่ 7 แสดงระบบระบายอากาศแบบ Negative Pressure Ventilation

ที่มา: Crowl and Louvar (2002)



ภาพที่ 8 แสดงระบบระบายอากาศแบบ Positive Pressure Ventilation

ที่มา: Crowl and Louvar (2002)

จากภาพที่แสดง จะเห็นว่าระบบระบายอากาศแบบ Negative Pressure Ventilation จะทำงานโดยการติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ปลายปล่องปล่อยออก ทำให้ความดันในท่อต่ำกว่าความดันนอกท่อ เมื่อแนวท่อมีรอยรั่วหรือแตกร้าวอากาศที่อยู่บริเวณนั้นก็จะถูกดูดเข้าตามแนวท่อ ซึ่งดีกว่าแบบ Positive Pressure Ventilation ที่พัดลมจะถูกติดตั้งที่ชั้น 1 แล้วดูดอากาศเป่าเข้าไปในท่อทำให้แรงดันในท่อมีค่ามากกว่านอกท่อ ดังนั้นเมื่อแนวท่อมีรอยรั่วหรือแตกร้าวอากาศที่ปนเปื้อนสารเคมีจะถูกเป่าออกตามรอยรั่วหรือรอยแตกนั้น

เทคนิคการออกแบบระบบระบายอากาศมี 2 ชนิด คือ แบบเฉพาะที่ (Local Exhaust System) และแบบเจือจาง (Dilution Ventilation System) แบบเฉพาะที่ที่เห็นได้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ hood ซึ่งสามารถกำจัดสารปนเปื้อนได้จากแหล่งกำเนิดได้อย่างสมบูรณ์แบบ hood มีหลากหลายชนิด ดังนี้

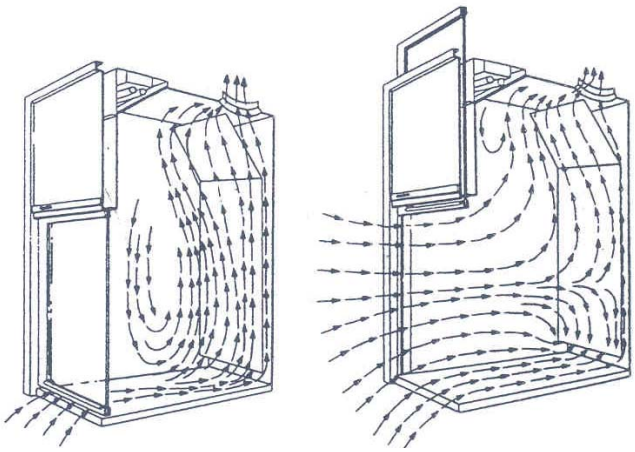
1. The enclosed hood จำกัดการฟุ้งกระจายของสารปนเปื้อนที่แหล่งกำเนิดได้อย่างสมบูรณ์

2. The exterior hood ดูดสารปนเปื้อนออกไปที่ปล่องระบายอย่างต่อเนื่อง

3. The receiving hood เป็น hood ที่ติดตั้งอยู่ภายนอก ซึ่งใช้ในการดักเก็บสารปนเปื้อน

4. The push-pull hood ใช้หลักการไหลของอากาศในการผลักดันสารปนเปื้อนออกไปที่ปล่องระบาย

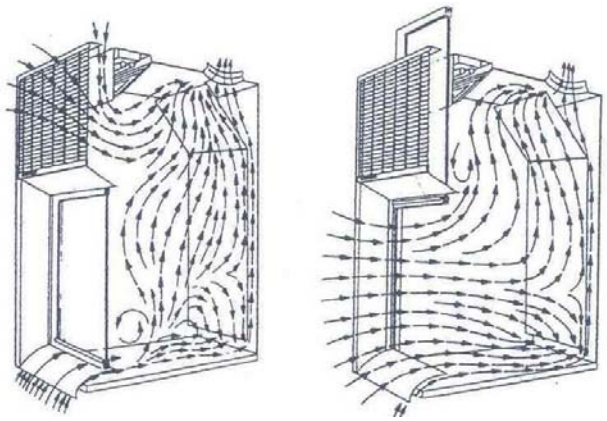
ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จะเป็นแบบ enclosed hood ดังแสดงในภาพที่ 9 อากาศจะไหลเข้าบริเวณหน้าต่างของ hood และถูกกำจัดออกทางท่อด้านบน อากาศบริสุทธิ์จะไหลเข้ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกรอบหน้าต่างเป็นสิ่งสำคัญ การเปิดกรอบหน้าต่างของ Hood ควรเปิดขึ้นเพียงไม่กี่นิ้วเพื่อให้ได้ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่เหมาะสม ไม่ควรเปิดหน้าต่างเต็มที่จนกว่าสารปนเปื้อนจะถูกกำจัดออกไปหมดทางท่อด้านบน ใน hood จะมีแผงกั้นด้านหลังเพื่อควบคุมการไหลของอากาศจะต้องมั่นใจว่าสารปนเปื้อนถูกกำจัดออกจากพื้นที่ผิวและมุมหลังด้านล่างจริง ๆ



ภาพที่ 9 แสดง Hood ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและแสดงรูปแบบการไหลของอากาศที่ขึ้นอยู่กับความสูงของกรอบหน้าต่าง

ที่มา: Crowl and Louvar (2002)

Hood อีกรูปแบบที่มีการใช้ที่ห้องปฏิบัติการเป็นแบบ bypass hood ดังแสดงในภาพที่ 10 การออกแบบจะให้อากาศไหลผ่านตะแกรงด้านบนออกไปสู่ด้านบนของ hood ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้มั่นใจได้ว่าอากาศบริสุทธิ์ได้พัดพาสารปนเปื้อนออกไปนอก hood อากาศที่ไหลผ่านตะแกรงจะมีปริมาณลดลงเมื่อหน้าต่างของ hood ถูกเปิดขึ้น



ภาพที่ 10 แสดง bypass hood ที่ใช้ในห้อง Lab. Bypass air จะถูกควบคุมปริมาณโดยการเปิดหน้าต่าง hood

ที่มา: Crowl and Louvar. (2002)

ข้อดีของ enclosed hoods คือ

1. กำจัดสารปนเปื้อนได้อย่างสมบูรณ์แบบ
2. ต้องการอากาศบริสุทธิ์น้อยที่สุดในการกำจัดสารปนเปื้อน
3. จำกัดสารปนเปื้อนไม่ให้เกิดการติดไฟหรือการระเบิดได้
4. ประตูบานเลื่อนของ hood ทำหน้าที่เสมือนกำบังให้กับพนักงาน

ข้อเสียของ enclosed hoods คือ

1. พื้นที่ทำงานจำกัด
2. สามารถใช้ได้ในงานที่ใช้พื้นที่เล็กๆ เช่น ห้องทดลอง

Supply System

ถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ

1. เพื่อสร้างความสบายในสภาพแวดล้อมการทำงานในโรงงาน (HVAC system)
2. เพื่อเติมอากาศเข้าไปแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกไป (The Replacement system)

การออกแบบ Supply System ที่ดี จะต้องประกอบไปด้วยส่วนของอากาศเข้าตัวกรอง อุปกรณ์ในการ Heating และ/หรือ Cooling พัดลม ท่อ ตะแกรงที่ใช้ในการกระจายอากาศให้ทั่วถึงในพื้นที่ทำงานบ่อยครั้งที่อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกประกอบรวมเข้าด้วยกันเรียกว่า airhouse หรือ air supply unit ถ้าในส่วนของ supply system ใช้ในการ recirculated ส่วนของ return system จะถูกใช้ในการดูดอากาศกลับเข้ามาใน airhouse

Exhaust Systems

เป็นระบบระบายอากาศแบบดูดออก สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ระบบการดูดอากาศออกแบบทั่วไป (The general exhaust system) ใช้ในการควบคุมสภาวะที่มีความร้อนในสถานที่ทำงาน โดยการทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงและนำกลับมาใช้ใหม่ หรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่กำเนิดขึ้นจากพื้นที่หนึ่งด้วยอากาศปริมาณค่อนข้างมาก หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ระบบการระบายอากาศแบบเจือจาง (Dilution Ventilation System) การกำจัดสิ่งปนเปื้อนนี้ต้องมั่นใจว่าอากาศข้างนอกมีเพียงพอในการเจือจางความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนได้จนถึงระดับความปลอดภัยก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ ระบบการจ่ายอากาศเข้าจะถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบการดูดอากาศออกแบบทั่วไปเพื่อนำอากาศเข้าแทนที่อากาศที่ถูกดูดออกไป

2. ระบบการดูดอากาศแบบเฉพาะที่ (The local exhaust system) จะทำงานโดยหลักการดักจับสิ่งปนเปื้อนที่ตำแหน่งใกล้กับหรือที่แหล่งกำเนิด วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าระบบการดูดอากาศออกแบบทั่วไปเพราะดูดอากาศออกเพียงเล็กน้อย การทำงานของระบบการดูดอากาศแบบเฉพาะที่จะประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

- Hood ใช้เพื่อกักรวบรวมสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นภายใน

- ระบบท่อ (รวมทั้งระบบท่อดูดอากาศออกและท่อหมุนเวียนอากาศ) เพื่อนำอากาศที่ปนเปื้อนไปสู่ส่วนการทำให้อากาศสะอาดบริสุทธิ์ หรือนำไปที่พัดลม

- ส่วนของอุปกรณ์การทำให้อากาศสะอาดบริสุทธิ์ เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากอากาศ

- พัดลม ต้องมีกำลังเพียงพอเหนือแรงต้านเพื่อดึงอากาศผ่านท่อปล่อยออกสู่บรรยากาศและดูดอากาศเข้าแทนที่อากาศที่ดูดออกไป

คำนิยามพื้นฐาน

ความหนาแน่น (The Density; ρ) ของอากาศอธิบายในรูปของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยทั่วไปจะใช้หน่วยเป็นปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (lbm/ft^3) ที่ความดันบรรยากาศมาตรฐาน (14.7 psia.) อุณหภูมิห้อง (70 F) จะมีความหนาแน่น 0.075 lbm/ft^3 คำนวณจากสูตรความดันแก๊สสัมบูรณ์

$$p = \rho RT \tag{9}$$

เมื่อ

p = ความดันสัมบูรณ์, *psfa*

ρ = ความหนาแน่น, *lbm/ft^3)*

R = The gas instant for air มีค่าเท่ากับ 53.35 ftlb/lbm-degrees Rankine

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ, degrees Rankine

หมายเหตุ degrees Rankine = degrees Fahrenheit + 459.7

จากสูตรคำนวณดังกล่าว ความหนาแน่นแปรผกผันกับอุณหภูมิเมื่อความดันคงที่ สำหรับอากาศแห้งที่ความดันคงที่

$$\rho T = (\rho T)_{std}$$

หรือ

$$\rho = \rho_{std} \frac{T_{std}}{T} = 0.075 \frac{530}{T} \tag{10}$$

ในกรณีที่ไม่อยู่ในสภาพมาตรฐานหลายปัจจัยสามารถแทนค่าสูตรด้วย density factor, Df

$$Df = (df_e)(df_p)(df_r)(df_m) \tag{11}$$

เมื่อ

df_e = elevation density factor = [1 – (6.73*10-6)(z)]5.258

โดย z = elevation, *ft*

df_p = duct pressure density factor = (407 + SP)/(407)

โดย SP = "wg

df_r = temperature density factor = (530)/(T + 460)

โดย T = Fahrenheit

df_m = moisture density factor = $(1 + \omega)/(1 + 1.607\ \omega)$

โดย ω = pounds H_2O / pounds dry air

ปริมาตรอัตราการไหลของอากาศ จะอ้างอิงถึง ปริมาตร หรือปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านที่ตำแหน่งหนึ่งต่อหน่วยเวลา ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราความเร็วและไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดโดยสูตรคำนวณนี้

$$Q = VA \qquad (12)$$

เมื่อ

Q = Volumetric flow rate, *fpm*

V = average velocity, *fpm*

A = cross-sectional area, ft^2

อากาศหรือของเหลวจะไหลจากส่วนที่มีความดันสูงไปยังที่มีความดันต่ำเสมอในสภาพการทำงานที่ไม่มีพัดลม ความดันที่มีความสัมพันธ์กันในการขับเคลื่อนกระแสลม คือ

Static Pressure (SP) เป็นความดันที่เกิดขึ้นในท่อที่มีแนวโน้มทำให้เกิดการแตกหรือยุบตัวของท่อ และมีหน่วยเป็น inches of water gauge ("wg) SP จะทำให้เกิดการไหลของอากาศไม่ดี

Velocity pressure (VP) เป็นความดันที่ต้องการในการขับเคลื่อนกระแสอากาศให้มีอัตราความเร็วจากศูนย์ไปสู่อัตราความเร็วหนึ่ง (V) ความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ VP แสดงในสูตรคำนวณดังนี้

$$V = 4005\sqrt{\frac{VP}{df}}$$

หรือ

$$VP = df\left(\frac{V}{4005}\right)^2 \qquad (13)$$

เมื่อ

V = velocity, *fpm*

VP = velocity pressure, *"wg*

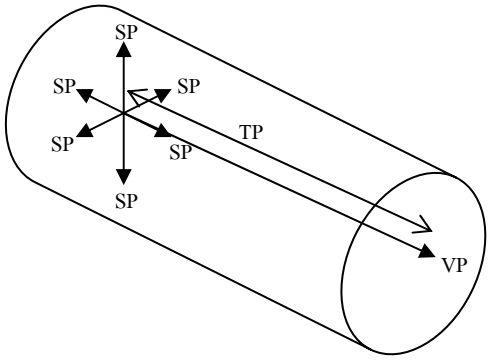
df = density factor

ถ้าเป็น standard air สมมุติว่าอยู่ในท่อด้วยความหนาแน่น 0.075lbm/ft3 สามารถใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$V = 4005\sqrt{VP}$$

หรือ

$$VP = \left(\frac{V}{4005}\right)^2 \qquad (14)$$



ภาพที่ 11 แสดงความแตกต่างระหว่าง SP และ VP

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

VP ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนอากาศไปในทิศทางที่ต้องการและจะมีค่าเป็นบวกเสมอ Total pressure (*TP*) เป็นผลรวมของ static และ velocity pressure

$$TP = SP + VP \tag{15}$$

Total pressure จะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศและค่าพลังงานที่วัดได้จากกระแสลมของเครื่องมือวัดความกดดันของของเหลว *TP* มักจะมีค่าลดลงเสมอเมื่อไหลผ่านท่อแต่สามารถทำให้มีค่ามากขึ้นได้ด้วยการใช้พัดลม

หลักการไหลของอากาศ

มีหลักการพื้นฐานอยู่ 2 ประการในการควบคุมเชิงกลในการไหลของอากาศในการระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม คือ หลักการอนุรักษ์ปริมาณอากาศและการอนุรักษ์พลังงาน นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นในการพิจารณากฎหมายข้อบังคับต่าง ๆ ด้วย อย่างไรก็ตามเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องรู้ข้อสันนิษฐานง่าย ๆ ประกอบด้วยดังต่อไปนี้

1. ความไม่ใส่ใจต่อผลกระทบการถ่ายเทความร้อน ถ้าอุณหภูมิภายในท่อมีความแตกต่างกับอุณหภูมิโดยรอบท่อมีความแตกต่างกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นซึ่งจะนำสู่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในท่อและปริมาตรอัตราการไหลลดน้อยลง

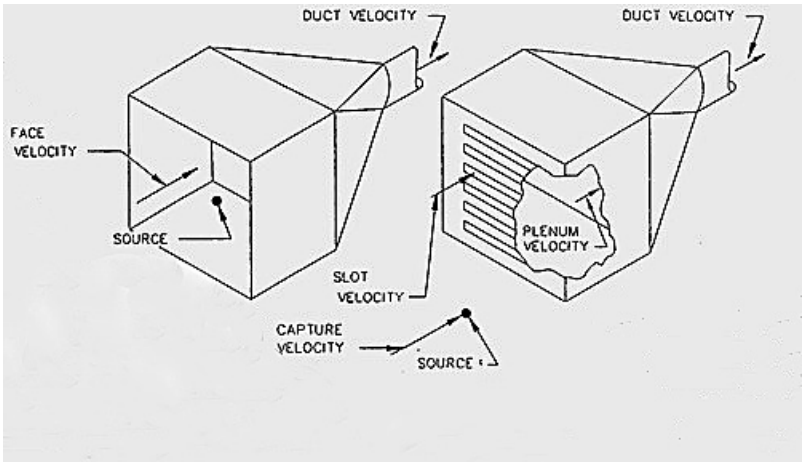
2. ความไม่ใส่ใจต่อผลกระทบความสามารถในการอัดอากาศ ถ้าความดันทั้งหมดลดลงมากกว่า 20 “wg แล้วความหนาแน่นเปลี่ยนไปประมาณ 5% และปริมาตรอัตราการไหลก็จะเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน

3. สมมุติว่าอากาศแห้ง ไอน้ำในกระแสลมจะต่ำกว่าความหนาแน่นของอากาศ

4. น้ำหนักและปริมาณของสิ่งปนเปื้อนในกระแสลมถูกเพิกเฉย ถ้ามีการปนเปื้อนของของแข็งสูงแสดงว่ามีแก๊สอื่นมากกว่าอากาศ

Local Exhaust Hood

Local Exhaust Hood ถูกออกแบบเพื่อทำหน้าที่ในการจับและกำจัดสิ่งปนเปื้อนก่อนที่จะแพร่กระจายออกสู่สถานที่ทำงาน ดังอธิบายในภาพประกอบ



ภาพที่ 12 แสดงลักษณะของ Local Exhaust Hood และอธิบายคำศัพท์เฉพาะ

ที่มา: Committee on Industrial Ventilation (2001)

Capture Velocity หมายถึง อัตราความเร็วลม ณ จุดใด ๆ ที่หน้า Hood หรือ ที่ช่องเปิดของ Hood ซึ่งมีความสำคัญในการเอาชนะแรงต้านกระแสลม และยังทำหน้าที่ในการดักจับอากาศปนเปื้อนให้ไหลเข้าไปใน Hood

Face Velocity หมายถึง อัตราความเร็วลม ณ ช่องเปิดของ Hood

Slot Velocity หมายถึง อัตราความเร็วลมที่ไหลผ่านช่องเปิดเข้าไปใน Hood ชนิดที่มีช่อง โดยช่องนี้ถูกใช้เพื่อกระจายลมที่เป็นกลุ่มให้แตกตัวก่อนที่จะไหลเข้าไปในส่วนหน้าของ Hood

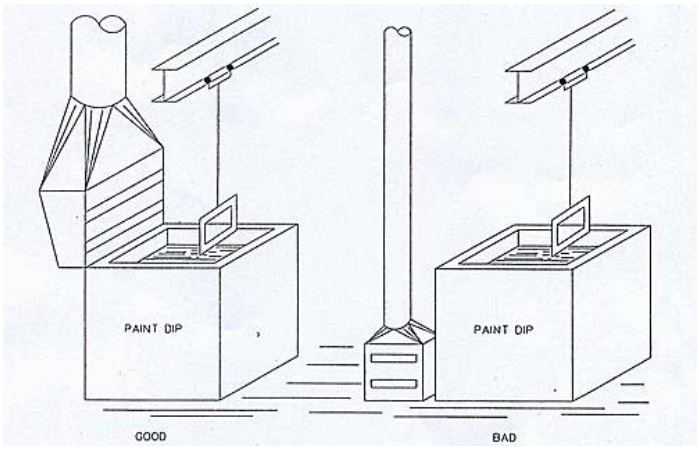
Plenum Velocity หมายถึง อัตราความเร็วลมในช่องที่มีอากาศอยู่ Plenum Velocity สูงสุดควรมีค่า ½ ของ Slot Velocity หรือน้อยกว่า

Duct Velocity หมายถึง อัตราความเร็วลมที่ไหลผ่านส่วนของท่อ ในกรณีที่สิ่งปนเปื้อนเป็นของแข็ง Duct Velocity ต้องเท่ากับ หรือมากกว่าค่าอัตราความเร็วลมต่ำสุดที่ต้องการในการเคลื่อนย้ายอนุภาคในกระแสลม

ลักษณะเฉพาะของสิ่งปนเปื้อน

1. สภาวะเฉื่อย (Inertial Effects) เช่น แก๊ส ไอสาร และฟูม สารเหล่านี้จะสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยอากาศพัดพาไป ในกรณีนี้ Hood ต้องการที่จะให้มีรูปแบบการไหลของอากาศและ capture velocity ที่พอเพียงในการควบคุมการเคลื่อนไหวของอากาศที่มีสารปนเปื้อนทั้งนี้จะเกิดขึ้นได้ต้องมีกระแสลมทำหน้าที่ในการดูดและเป็นเครื่องมือในการลำเลียง

2. สภาวะที่มีความถ่วงจำเพาะ (Effective Specific Gravity) บ่อยครั้งที่ตำแหน่งของปล่องระบายอากาศติดตั้งผิดพลาดบนพื้นฐานการคาดเดาว่าสิ่งปนเปื้อนนั้นหนักกว่าอากาศหรือเบากว่าอากาศ อนุภาคฝุ่นละเอียดที่มีอันตราย ฟูม ไอสาร และแก๊สล้วนลอยมากับอากาศได้ และการที่จะบอกได้ว่าสารนั้นจะเคลื่อนที่ลงหรือขึ้นดูได้จากค่าความหนาแน่น ปกติการเคลื่อนที่ของอากาศค่อนข้างจะแน่นอนแม้ว่าจะมีการปนเปื้อนของสิ่งต่าง ๆ ยกเว้นว่าสถานที่ทำงานนั้นมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก ๆ หรือสิ่งปนเปื้อนนั้นได้เกิดขึ้นในระดับสูง การควบคุมจะประสบความสำเร็จเมื่อสิ่งปนเปื้อนนั้นจะถูกเจือจางไป



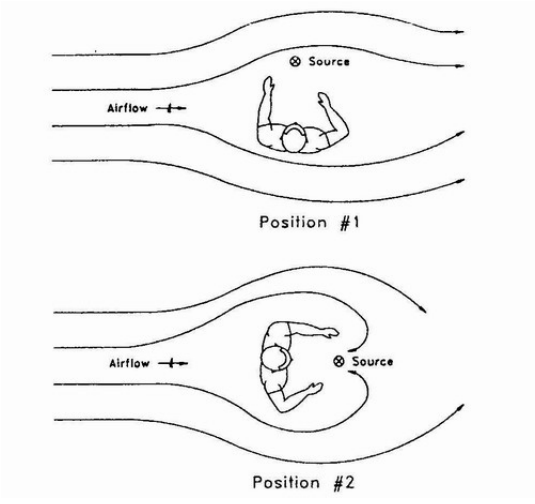
ภาพที่ 13 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Local Exhaust Hood

ที่มา: Committee on Industrial Ventilation (2001)

จากภาพที่ 13 ไอของตัวทำละลายในส่วนค่าของความเข้มข้นที่ทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพไม่สามารถที่จะบอกได้ว่าสารนั้นหนักกว่าอากาศ เพราะฉะนั้นปล่องระบายจากพื้นโดยทั่วไปจะใช้เพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัยเท่านั้น

ตัวอย่าง	
ความหนาแน่นของอากาศ	1.0
ความหนาแน่นไอของ amyl acetate 100%	4.49
ความหนาแน่นส่วนผสมที่ระเบิดได้ต่ำสุด	1.038
ความหนาแน่นของ ส่วนผสม TLV	1.0003

3. สภาวะที่มีความปั่นป่วน (Wake Effects) เมื่ออากาศไหลผ่านวัตถุจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “boundary layer separation” ลักษณะการเกิดคล้าย ๆ กับเรือที่เคลื่อนที่ผ่านน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 14 Position #1 ความปั่นป่วนนี้จะทำให้เกิดการผสมกันอย่างดีและเกิดการหมุนเวียน ถ้าวัตถุนั้นเป็นคนที่ทำงานอยู่ด้วย หรืออยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดการปนเปื้อน เป็นไปได้ที่อากาศที่หมุนเวียนนั้นก็จะเข้าสู่บริเวณหายใจของผู้ปฏิบัติงาน ดังแสดงในภาพที่ 14 Position #2 ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาในการออกแบบควบคุมสิ่งปนเปื้อนให้เกิดความปั่นป่วนน้อยที่สุดในบริเวณรอบ ๆ ตัวคน และถ้าเป็นไปได้จำกัดขอบเขต หรือนำแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนออกจากพื้นที่ที่มีการไหลเวียนของอากาศ



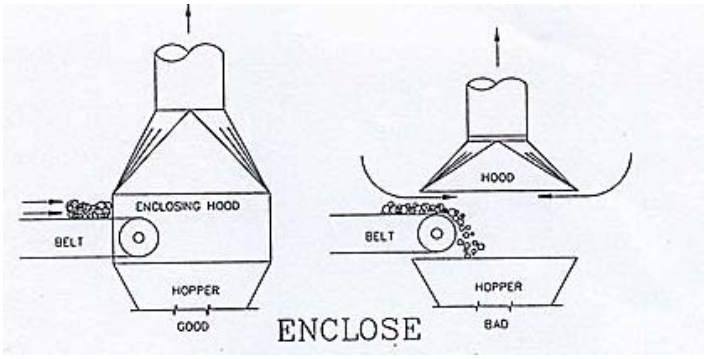
ภาพที่ 14 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “boundary layer separation”

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

ชนิดของ Hood

Hood มีหลากหลายรูปแบบ แต่ทั้งนี้สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ enclosing และ exterior การเลือกใช้ในแต่ละแบบขึ้นอยู่กับรูปร่างของอุปกรณ์ในกระบวนการที่นำไปใช้ด้วย รวมทั้งกลไกของการเกิดการปนเปื้อน และความสัมพันธ์ระหว่างผู้ปฏิบัติงาน /อุปกรณ์

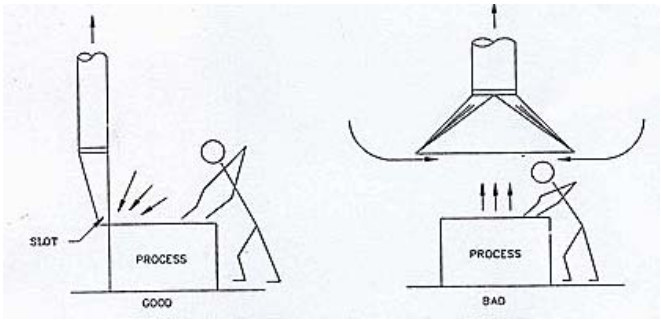
1. Enclosing Hood เป็น Hood ชนิดที่มีการปิดล้อมกระบวนการหรือจุดกำเนิดสิ่งปนเปื้อนอย่างสมบูรณ์แบบหรือบางส่วนดังแสดงในภาพที่ 15 โดยลมที่ปนเปื้อนจะถูกดูดเข้าไปภายใน Hood และป้องกันไม่ให้เล็ดลอดออกสู่สภาพแวดล้อมในการทำงาน



ภาพที่ 15 แสดง Hood ชนิด Enclosing Hood

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

2. Exterior Hood จะวางใกล้ ๆ กับแหล่งแพร่กระจายของสิ่งปนเปื้อนดังแสดงในภาพที่ 16 เมื่อสิ่งปนเปื้อนเป็นพวกแก๊ส ไอสาร หรือเป็นฝุ่นอนุภาคละเอียด และไม่ฟุ้งกระจายออกมาด้วยอัตราความเร็วใด ๆ



ภาพที่ 16 แสดง Hood ชนิด Exterior Hood

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

ถ้าในกระบวนการปล่อยอากาศร้อนออกมา ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิโดยรอบสูงไปด้วย ในกรณีนี้ควรจะใช้ side draft exterior hood (ติดตั้งเป็นแนวขนานกับกระบวนการที่ปล่อยความร้อนออกมา) ไม่ควรใช้หลักการเพิ่มอัตราการไหลของลม ยกตัวอย่างเช่น เตาหลอมที่มีอุณหภูมิสูง ๆ ควรติดตั้ง hood ครอบเหนือกระบวนการเลย

ปัจจัยในการออกแบบ Hood

กระแสลมที่พัดพาสิ่งปนเปื้อนเข้าไปใน Hood มักถูกก่อกวนโดยกระแสลมนอก Hood ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องออกแบบให้กระแสลมที่ดูดเข้าสู่ Hood สูงกว่ากระแสลมนอก Hood การกำจัดแหล่งกำเนิดของการเคลื่อนที่กระแสลมภายนอกเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะประสบผลสำเร็จในการควบคุมโดยปราศจากความต้องการกระแสลมมากเกินไปและต้นทุน สิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ คือ

- อุณหภูมิของกระแสลม โดยเฉพาะจากกระบวนการที่ใช้ความร้อน

- การเคลื่อนไหวของเครื่องจักร เช่น ล้อบด สายพาน

- การเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น การขนถ่าย การบรรจุ

- การเคลื่อนที่ของผู้ปฏิบัติงาน

- กระแสลมที่เคลื่อนที่ในห้อง (ซึ่งปกติมีความเร็วลมต่ำสุดอยู่ที่ 50 fpm และบางครั้งอาจจะสูงกว่านี้

- การเคลื่อนที่ของอากาศอย่างรวดเร็วจากอุปกรณ์ cooling และ heating

นอกจากนี้ รูปร่าง ขนาด จุดติดตั้งของ Hood อัตราการไหลของอากาศเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาเมื่อทำการออกแบบ

1. อัตราความเร็วลมในการดูดจับ (Capture Velocity) เป็นความเร็วต่ำสุดที่ Hood ใช้ในการดูดจับและลำเลียงสิ่งปนเปื้อนเข้าไปใน Hood อัตราความเร็วลมนี้จะเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของอากาศและรูปร่างของ Hood ยกเว้น Hood ที่มีอัตราการไหลของอากาศสูง เช่น Hood ขนาดใหญ่อาจจะต้องการการไหลของอากาศน้อยกว่า ทั้งนี้ดูได้จากค่าอัตราความเร็วในการดูดจับ (Capture Velocity) ที่ถูกแนะนำให้ใช้กับ Hood ขนาดเล็ก นี่คือข้อเท็จจริงที่อธิบายไว้ดังนี้

- แสดงโดยปริมาตรอากาศจำนวนมากที่ไหลเข้าสู่ Hood

- เวลาที่ใช้ในการดูดสิ่งปนเปื้อนเข้าไปใน Hood มากกว่า

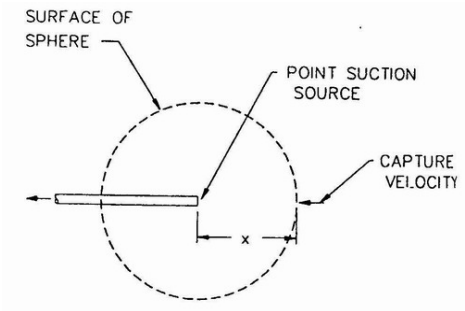
- แสดงโดยปริมาตรอากาศจำนวนมากที่ใช้ในการเจือจาง

ตารางที่ 2 ช่วงของอัตราความเร็วลมในการดูดจับสิ่งปนเปื้อน

ลักษณะของการแพร่กระจายของสิ่งปนเปื้อน	ตัวอย่าง	Capture Velocity ,fpm
ฟุ้งกระจายในสภาพการทำงานปกติ ไม่มีความเร็วลมออกสู่สภาพอากาศนิ่ง	การระเหยจากถังบรรจุ ,การสกัดไขมันออกโดยใช้สารเคมี	100-50
ฟุ้งกระจายในสภาพที่มีความเร็วลมต่ำออกสู่สภาพอากาศนิ่งพอสมควร	Spray Booth, เครื่องบรรจุสายพานลำเลียงความเร็วต่ำ งานเชื่อม งานชุบ	200-100
ฟุ้งกระจายอย่างรวดเร็วออกสู่สภาพอากาศที่มีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว	งานพ่นสี งานบรรจุ สายพานลำเลียง เครื่องโม่	500-200
ฟุ้งกระจายด้วยอัตราความเร็วสูงออกสู่สภาพอากาศที่มีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วสูง	งานบดโม่ งานสกัดโดยระเบิด	2,000-500
นอกเหนือจากตารางข้างบน ช่วงของอัตราความเร็วลมในการดูดจับที่แสดงไว้ การเลือกใช้อย่างเหมาะสมจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย		
ขอบล่างของช่วง	ขอบบนของช่วง	
1. กระแสลมในห้องต่ำที่สุด 2. สิ่งปนเปื้อนมีความเป็นพิษต่ำ 3. การผลิตที่มีการเดินๆหยุดๆ 4. Hood ขนาดใหญ่,ปริมาตรอากาศจำนวนมากในการเคลื่อนที่	1. มีกระแสลมก่อกวน 2. สิ่งปนเปื้อนมีความเป็นพิษสูง 3. ปริมาณการผลิตสูง ใช้ในประมาณมาก 4. Hood ขนาดเล็กและเป็นแบบเฉพาะที่เท่านั้น	

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

2. การกำหนดอัตราการไหลของ Hood (Hood Flow Rate Determination) ภายใน Hood อากาศจะไหลเข้าทางช่องเปิดภายใต้แรงดูดจากทุกทิศทาง สำหรับสภาวะปิดล้อม อัตราความเร็วในการดูดจับที่ช่องเปิดจะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลที่ปล่อยออกโดยพื้นที่เปิด อัตราความเร็วในการดูดจับที่ด้านหน้าภายนอก Hood จะถูกกำหนดโดยอัตราการไหลของอากาศผ่านพื้นที่ภายใน Hood



ภาพที่ 17 แสดงจุดดูดที่บริเวณพื้นที่ผิวทรงกลม

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

พื้นที่ผิวของรูปทรงกลมคือ $4\pi X^2$ ใช้สูตร $V = Q / A$ อัตราความเร็วลม ณ จุด X บนพื้นที่ผิวทรงกลมคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$Q = V(\pi X^2) = 12.57VX^2 \qquad (16)$$

เมื่อ

$Q =$ อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่จุดดูด, *cfm*

$V =$ อัตราความเร็ว ณ ระยะ X , *fpm*

$A = 4\pi X^2 =$ พื้นที่ผิวของทรงกลม, ft^2

$X =$ รัศมีของทรงกลม, *ft*

กรณีที่เป็นรูปทรงกระบอกจะคำนวณหาอัตราการไหลได้ ดังนี้

$$Q = V(2\pi X^2) = 6.28VXL \qquad (17)$$

เมื่อ

$L =$ Length of line source, *ft*

สมการข้างต้นอยู่บนพื้นฐานทฤษฎี เป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการไหล และอัตราความเร็วในการดูดจับ และสามารถใช้ในการประเมินภาพรวมอย่างหยาบตามความเป็นจริงจุดแรงดูดจะไม่อยู่เป็นจุดหรือเป็นเส้น การไหลสำหรับ Hood รูปทรงกลมหรือสี่เหลี่ยมสามารถใช้สูตรดังต่อไปนี้ในการคำนวณ

$$Q = V(10X^2 + A) \qquad (18)$$

เมื่อ

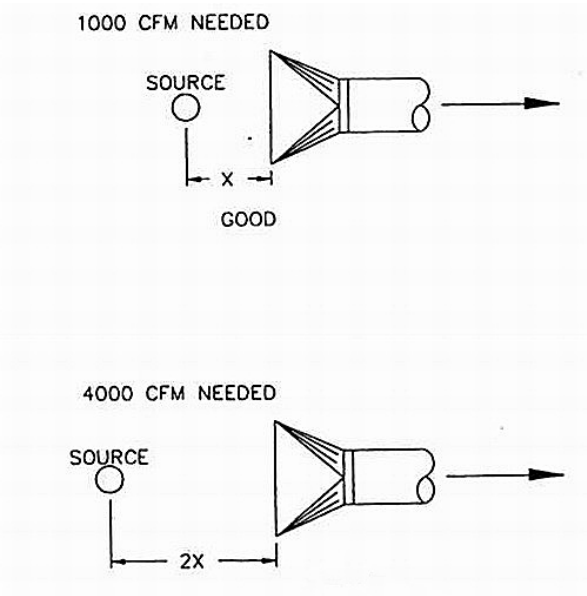
Q = อัตราการไหล, *cfm*

V = centerline velocity ที่ระยะ X จาก Hood, *fpm*

A = พื้นที่ช่องเปิดของ Hood, ft^2

X = ระยะห่างจากแกน (โดยที่ X ต้องไม่เกิน 1.5D)

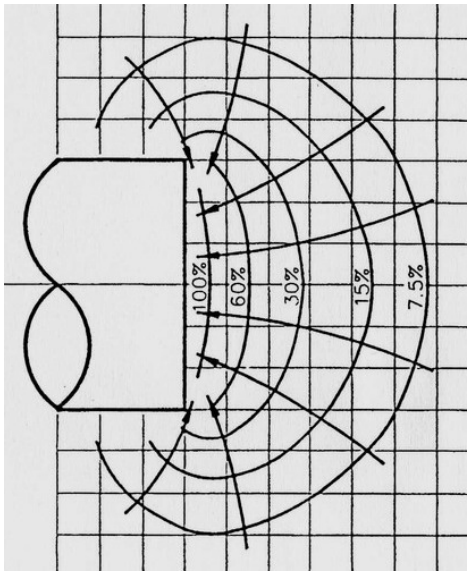
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hood ทรงกลม หรือ ความยาวด้านที่สำคัญของ Hood รูปเหลี่ยม



ภาพที่ 18 เมื่อระยะห่างระหว่าง Hood กับแหล่งกำเนิดมากขึ้นยิ่งต้องการปริมาตรอากาศมากขึ้นหรือความเร็วลมจะลดลงแปรผกผันเป็น 2 เท่าของระยะ X

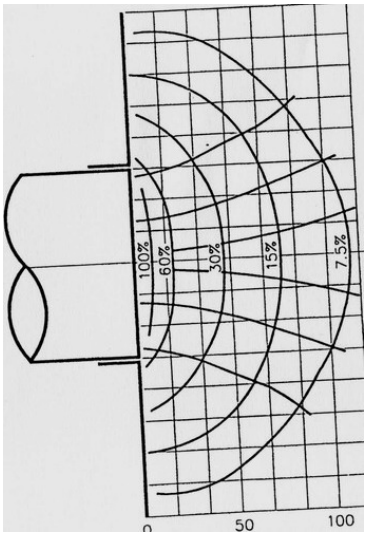
ที่มา: Committe on Industrial Ventilation. (2001)

3. ผลกระทบจากครีบและแผ่นกั้น (Effects of Flanges and Baffles) ครีบ (Flange) คือ แผ่นกั้นที่ขนานกับด้านหน้าของ Hood เพื่อป้องกันไม่ให้ลมจากด้านหลังของ Hood ถูกดูดเข้าไปใน Hood แผ่นกั้น (Baffle) คือ แผ่นที่ติดตั้งไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ลมที่ต้องการถูกดูดเข้า Hood จากทางด้านข้างและด้านหน้า



ภาพที่ 19 แสดง Hood กรณีที่ไม่มีครีบและแผ่นกั้นทำให้กระแสลมถูกดูดเข้า Hood ในทุกทิศทาง

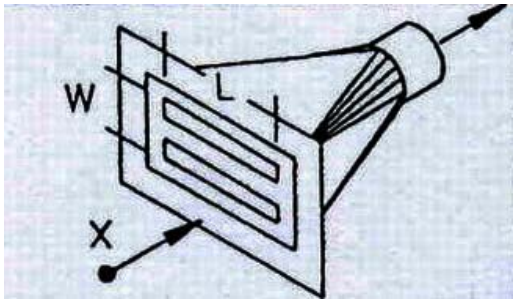
ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)



ภาพที่ 20 แสดง Hood ที่มีครีบและแผ่นกั้นทำให้สามารถกันลมที่ไม่ต้องการไม่ให้ถูกดูดเข้าไปใน Hood

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

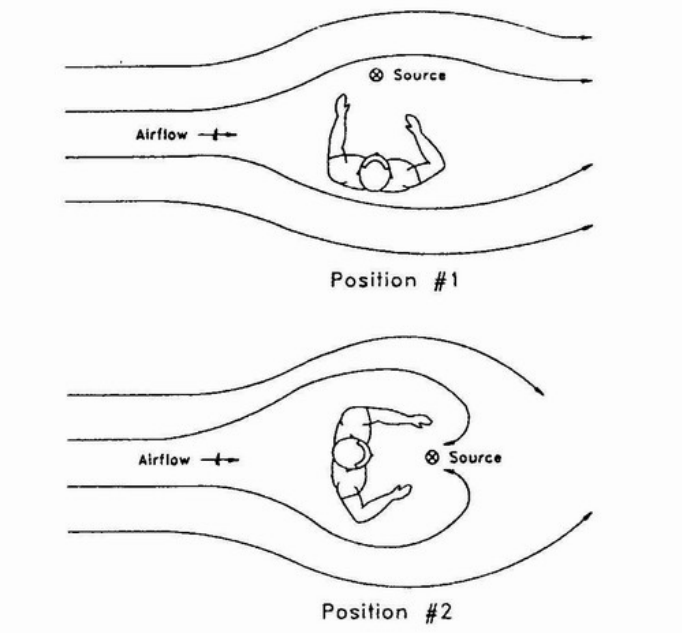
4. การกระจายตัวของอากาศ (Air Distribution) การควบคุมให้อากาศที่ถูกดูดเข้ามาใน Hood กระจายตัวโดยการเพิ่มช่อง (Slot) เข้าไปที่ด้านหน้าของ Hood โดยที่ ช่องะต้องมีอัตราความกว้างต่อความยาว (W/L) = 0.2 หรือน้อยกว่า



ภาพที่ 21 แสดงการติดตั้ง Slot เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของอากาศก่อนเข้าไปใน Hood

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

5. ผลกระทบจากตำแหน่งที่พนักงานอยู่ (Worker Position Effect) วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบระบายอากาศก็เพื่อลดการสัมผัสสารพิษของพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 22 position#2 เป็นตำแหน่งการยืนของพนักงานที่ผิดเนื่องจากความปั่นป่วนของกระแสลมจะทำให้พนักงานได้รับอันตรายจากสารพิษได้ พนักงานที่ยืนอยู่ที่ตำแหน่ง position#1 เป็นตำแหน่งการยืนที่ถูกต้องเพราะโอกาสที่พนักงานจะได้รับอันตรายจากสารมีพิษน้อยกว่า



ภาพที่ 22 แสดงตำแหน่งการยืนของพนักงานที่มีผลต่อการได้รับอันตรายจากสารมีพิษ

ที่มา: Committe on Industrial Ventilation (2001)

King and Hirst (1998) ได้กล่าวไว้ว่าในการประกอบอาชีพที่มีหลากหลาย มีอาชีพที่สัมผัสกับอันตรายของสารเคมีมากที่สุดคือ ผู้ที่ทำงานในกลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและนักวิจัย ซึ่งผลกระทบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการป้องกันและการเลือกใช้สารเคมีที่มีพิษน้อยกว่าสารเคมีทำอันตรายและเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ ดังนี้

1. การสัมผัสทางผิวหนังภายนอก (External attack)

สารเคมีอันตรายทั้งของแข็งและของเหลว ทั้งที่เป็นกรดและเป็นเบส เมื่อสัมผัสโดนผิวหนังจะทำอันตรายต่อเซลล์ผิวหนัง ผิวหนังเป็นส่วนที่รับการสัมผัสได้ดีและไม่เพียงแต่จะทำให้รับรู้ทางภายนอกเท่านั้น แต่ภายในก็สามารถจะรับรู้ได้ โดยมีอาการแสดงออกมา เช่น ซีด ขาว

ตาเป็นอวัยวะส่วนหนึ่งที่จะได้รับอันตรายจากสารเคมีในลักษณะผ่านทางผิวหนังด้วยเช่นกัน

การป้องกัน

ควรจัดหาอุปกรณ์ป้องกันดวงตา ได้แก่ แว่นตา ถุงมือ และเสื้อผ้าที่มีคุณสมบัติในการป้องกันอันตรายของสารเคมีที่จะมาทำอันตรายต่อผิวหนัง

2. ทางเดินอาหาร โดยการกลืน (Ingestion, Swallowing)

จากวิธีการเข้าสู่ร่างกายของสารเคมีทั้งหมดพบว่า การกินเป็นวิธีที่ควบคุมได้ง่ายที่สุด ตั้งแต่การการไม่อนุญาตให้มีการกินอาหารและดื่มน้ำในสถานที่ที่มีการปฏิบัติงานเกี่ยวกับสารเคมี และอันตรายที่เกิดขึ้นจากการรับสัมผัสของสารเคมีที่เกิดขึ้นจากการกินก็เป็นอันตรายน้อยกว่าอันตรายที่เกิดขึ้นจากทางเข้าสู่ร่างกายวิธีอื่น

3. การซึมผ่านผิวหนัง (The dermal route)

สารเคมีบางชนิด สามารถซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่กระแสโลหิตได้ เช่น พวก tetraethyl lead, Carbon disulphide ดังนั้นจึงควรป้องกันอันตรายให้กับผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากเป็นทางเข้าที่ง่ายมาก

การป้องกันอันตราย

- จัดเตรียมชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี ซึ่งส่วนใหญ่ทำจาก PVC
- จัดทำป้ายเตือนอันตรายแจ้งให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ
- จัดที่ล้างตา ล้างตัวฉุกเฉิน สำหรับให้ผู้ปฏิบัติงานล้างเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

4. ผ่านการหายใจ (Inhalation)

สารเคมีสามารถทำอันตรายได้ทั้ง ระบบทางเดินหายใจส่วนบน นับแต่จมูกมาถึงหลอดลม และทางเดินหายใจส่วนล่าง ตั้งแต่หลอดลมถึง ถุงลมในปอด

ผลกระทบของสารเคมีที่มีผลต่ออวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย มีดังนี้

1. ระบบทางเดินหายใจ

ในธรรมชาติ จะสร้างระบบป้องกันให้กับร่างกาย โดยสร้างขนจมูก เมือกในจมูกต่าง ๆ เพื่อให้สารเคมีไม่เข้าสู่ร่างกาย เพราะจะติดอยู่บริเวณขนจมูก และจะมีการระคายเคือง จนทำให้จามออกมา ผลกระทบที่เกิดกับระบบทางเดินหายใจเมื่อได้รับสารเคมีแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

1.1 การทำปฏิกิริยาของแก๊ส จำพวก ammonia, chlorine และ sulphur dioxide จะทำให้เกิดการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจส่วนบน

1.2 สารพวก Isocyanate, chromates และฝุ่นไม้เป็นสาเหตุให้หลอดลมตีบ (แคบลง) จะทำให้เกิดเป็นโรคภูมิแพ้ขึ้นมาได้

1.3 ฝุ่นแร่ พวก iron oxide จะทำให้ความจุปอดลดลง silica และ asbestos จะเป็นสาเหตุให้การทำงานของปอดเปลี่ยนไป

1.4 สารปนเปื้อนพวก blue asbestos chromium และสารประกอบ aesenic จะทำให้เกิดเนื้องอกในระบบทางเดินหายใจ

1.5 Asphyxiant gas พวก carbon dioxide และ Nitrogen จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในอากาศลดลง

2. เลือดและไขกระดูก

เลือดและไขกระดูกทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนและเม็ดเลือดภายในร่างกาย เมื่อได้รับสารเคมีพวก carbon monoxide, lead, benzene และ TNT จะไปขัดขวางการทำงานของเลือดและไขกระดูก

3. ตับ

ตับปีนอวัยวะที่มีหน้าที่หลักในการกำจัดสารพิษออกจากร่างกาย การที่ร่างกายได้รับอันตรายประเภท DDT และ Chlorinated hydrocarbons จะไปทำอันตรายต่อตับ และสาร Vinyl chloride monomer เป็นต้นเหตุของการเกิดเนื้องอกชนิดร้ายภายในตับ

4. ไต

ไตทำหน้าที่รักษาสมดุลต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น น้ำ pH แร่ธาตุ ฯ ลฯ ซึ่งเป็นอวัยวะเป้าหมายของสารพวก mercury cadmium และตะกั่ว รวมทั้งสารประกอบ carbon tetrachloride

5. สมองและระบบประสาทส่วนกลาง

สมองและระบบประสาทส่วนกลาง จะถูกทำลายได้ง่ายจากสารประเภท Organic compoundsรวมทั้ง ethanol, nicotine และสาร alkaloid อื่นๆ, diethyl ether ซึ่งเมื่อรับสัมผัสสารเหล่านี้เข้าไปจะทำให้เกิดอาการทางจิต เช่น อาการกระวนกระวาย ความตึงเครียด อาการเพ้อฝัน ซึ่งเป็นอาการของอาการทางจิตประสาท

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ 1 เครื่อง

2. เครื่องพิมพ์

3. โปรแกรม PyroSim (Version Trial Free 30 Days)

4. โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (Version 4.07)

5. โปรแกรม Smokeview (Version 4.07)

6. โปรแกรม Microsoft office 2003

7. กล้องถ่ายรูป

8. วีดีโอบันทึกภาพเคลื่อนไหว

วิธีการ

1. ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ IPA ที่ฟุ้งกระจายในห้องผสมยา

2. คำนวณหาอัตราการระเหยของ IPA ใช้เป็นข้อมูลในการเขียนในดาต้าไฟล์เพื่อให้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator ทำการคำนวณและจำลองเหตุการณ์จากโปรแกรม Smokeview เพื่อใช้ประเมินสภาพการฟุ้งกระจายของ IPA ก่อนการออกแบบปรับปรุง

3. ศึกษาวิเคราะห์ปัญหาการฟุ้งกระจายของ IPA และระบบระบายอากาศของห้องผสมยาที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม PyroSim (Version Trial Free 30 Days)

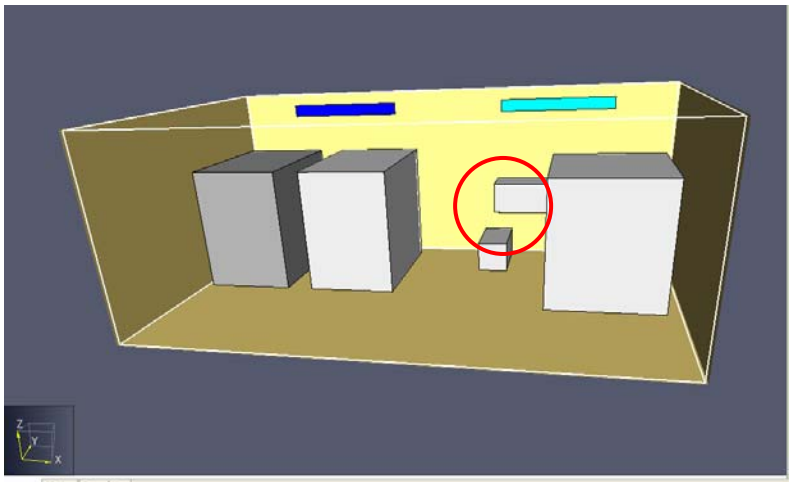
ทำการประมวลผลโดยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator (Version 4.07) ดูภาพจำลองจากการประมวลผลโดยโปรแกรม Smokeview (Version 4.07) และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้

4. คำนวณหาความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA ออกจากห้องผสมยา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเขียนในดาต้าไฟล์เพื่อให้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (Version 4.07) ทำการคำนวณและจำลองเหตุการณ์จากโปรแกรม Smokeview (Version 4.07) เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพการดูด IPA ออกจากห้องผสม

5. ทดลองหาตำแหน่งการดูดไอสาร IPA ที่เหมาะสมที่ระดับความเร็วลมในการดูดต่าง ๆ กัน

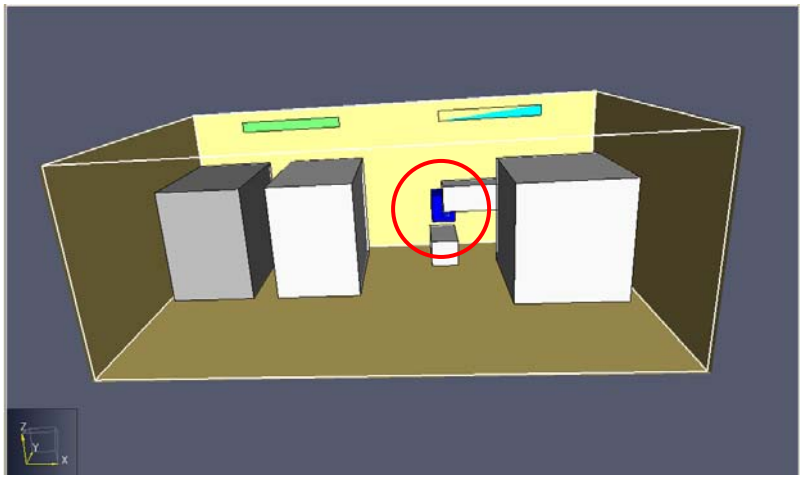
ผลและวิจารณ์

การทดลองด้วยโปรแกรมสร้างภาพเสมือนจะต้องเขียนแบบจำลองทุกอย่างที่มีอยู่ในห้อง ดังนี้ เครื่องอบแห้งจำนวน 2 เครื่อง, เครื่องผสมจำนวน 1 เครื่อง, ปล่องจ่ายอากาศที่ความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที, ปล่องดูดลมกลับที่ 1.5 เมตรต่อวินาที, ปล่องดูดไอสาร IPA



ภาพที่ 23 แสดงห้องที่เขียนและตำแหน่งเครื่องจักร, ปล่องจ่ายอากาศ และปล่องดูดลมกลับ เพื่อใช้จำลองการฟุ้งกระจายของ IPA ก่อนการปรับปรุงระบบการดูดอากาศ

จากภาพที่ 23 ปล่องสีน้ำเงินด้านซ้ายมือมุมบนของห้องใช้แทนปล่องจ่ายอากาศ ปล่องสีฟ้าด้านขวามือมุมบนของห้องใช้แทนปล่องดูดอากาศกลับ ตำแหน่งที่มีวงกลมสีแดงล้อมรอบแสดงจุดที่มีการฟุ้งกระจายของ IPA และได้กำหนดให้ Particles สีน้ำเงินแทนอากาศที่จ่ายเข้าไปในห้องผสม Particles สีแดงแทนไอสาร IPA ที่ฟุ้งกระจายออกมาในห้องผสม

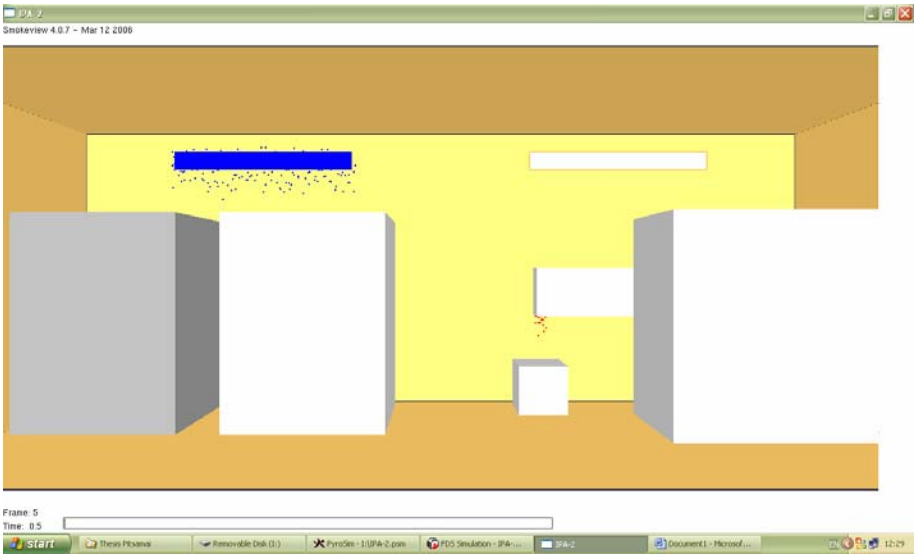


ภาพที่ 24 แสดงห้องที่เขียนและตำแหน่งเครื่องจักร, ปล่องจ่ายอากาศ, ปล่องดูดลมกลับ และท่อดูดไอสาร IPA เพื่อใช้ จำลองความเร็วลมที่เหมาะสมในการดูดไอสาร IPA

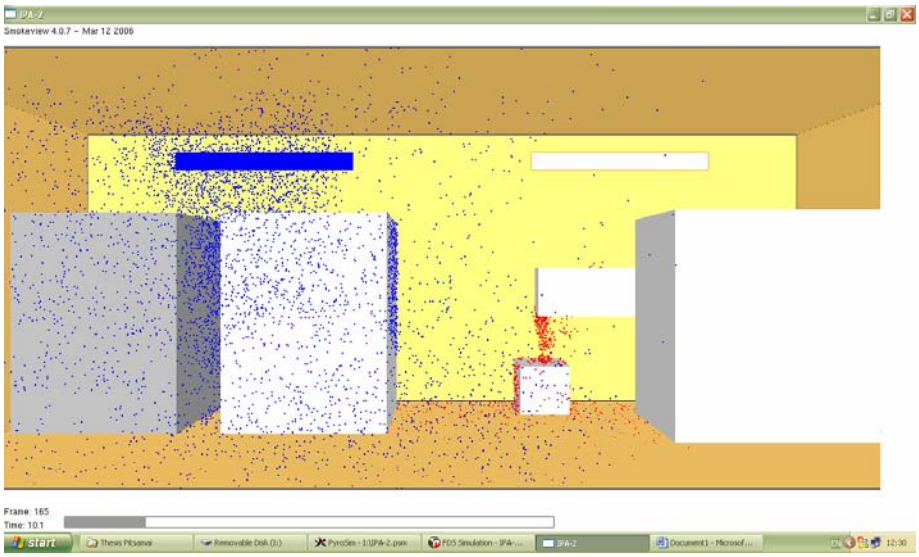
จากภาพที่ 24 ได้เขียนแบบเพิ่มในส่วนของท่อดูดไอสาร IPA ซึ่งแสดงโดยปล่องสีน้ำเงินในวงกลมสีแดงล้อมรอบ และได้กำหนดให้ Particles สีน้ำเงินแทนอากาศที่จ่ายเข้าไปในห้องผสม Particles สีแดงแทนไอสาร IPA ที่ฟุ้งกระจายออกมาในห้องผสม

ผลการทดลองด้วยโปรแกรมสร้างภาพเสมือน

ก่อนที่จะทำการปรับปรุงระบบระบายอากาศภายในห้องผสมต้องดูลักษณะการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA ก่อน ทั้งนี้ได้ทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator และ Smokeview ใช้เวลาในการจำลองทั้งหมด 60 วินาที และกำหนดให้ความเร็วลมในการจ่ายอากาศคือ 3 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมในการดูดอากาศกลับที่ 1.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งได้ผลดังแสดงในภาพที่ 25

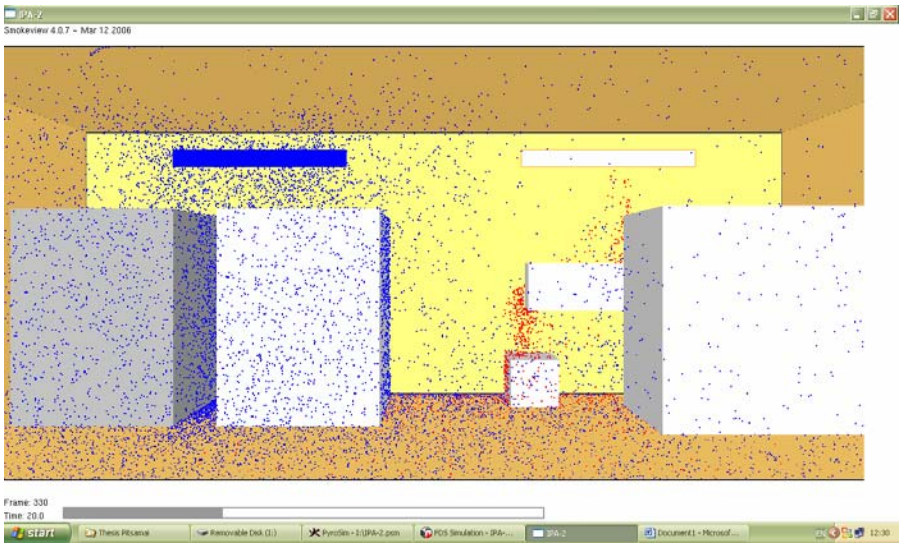


ที่เวลา 0.5 วินาที อากาศเริ่มถูกจ่ายเข้ามาในห้องผสมในแนวราบ ไอสาร IPA เริ่มฟุ้งออกจากหัวแร่งในแนวดิ่ง

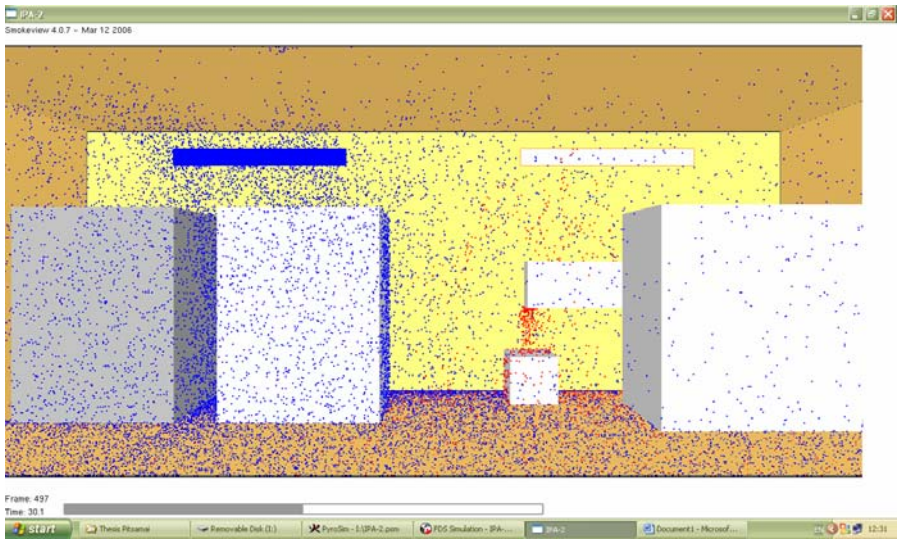


ที่เวลา 10 วินาที อากาศกระจายออกประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่ห้อง ส่วนไอสาร IPA จะตกลงที่พื้นของห้องและกระจายออกด้านข้างของจุดกำเนิด

ภาพที่ 25 แสดงผลกลุ่ม Particles ของไอสาร IPA ในห้องผสม

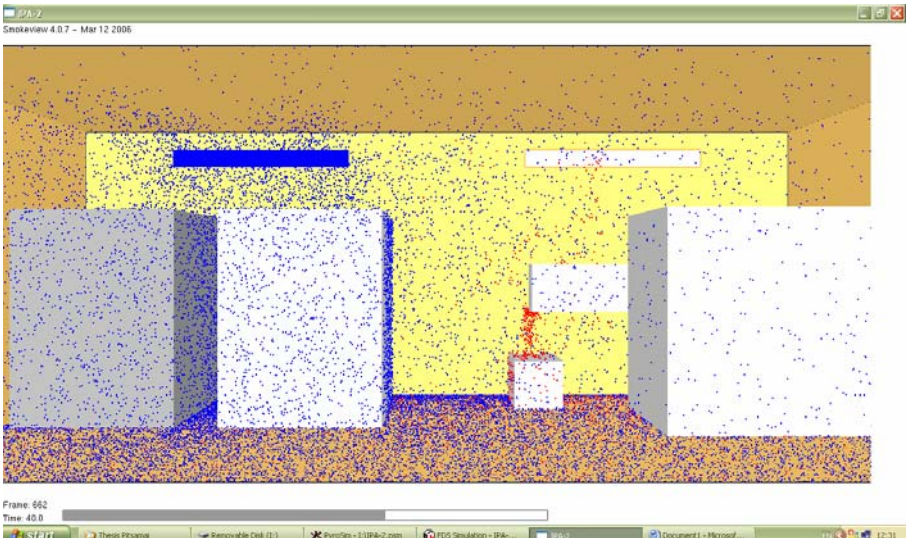


ที่เวลา 20 วินาที อากาศเริ่มกระจายเกือบทั่วทั้งห้อง ส่วนไอสาร IPA มีการฟุ้งกระจายออกเพียงเล็กน้อย และจะตกอยู่ที่พื้นเป็นส่วนใหญ่ และจะสังเกตเห็นว่ามีไอสาร IPA บางส่วนที่ฟุ้งกระจายออกมาที่อยู่ใกล้กับปล่องดูดลมกลับจะถูกดูดไปที่ปล่องดูดลมกลับ

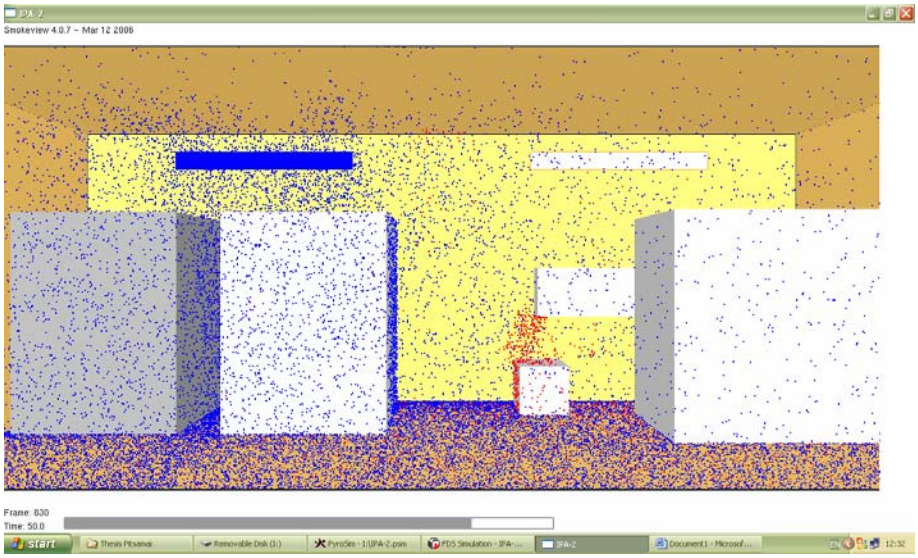


ที่เวลา 30 วินาที ไอสาร IPA เริ่มฟุ้งกระจายออกไปมากขึ้นเกือบทั่วทั้งห้อง และตกลงที่พื้นพร้อมทั้งยังมีบางส่วนที่ถูกดูดออกไปกับปล่องดูดลมกลับ

ภาพที่ 25 (ต่อ)

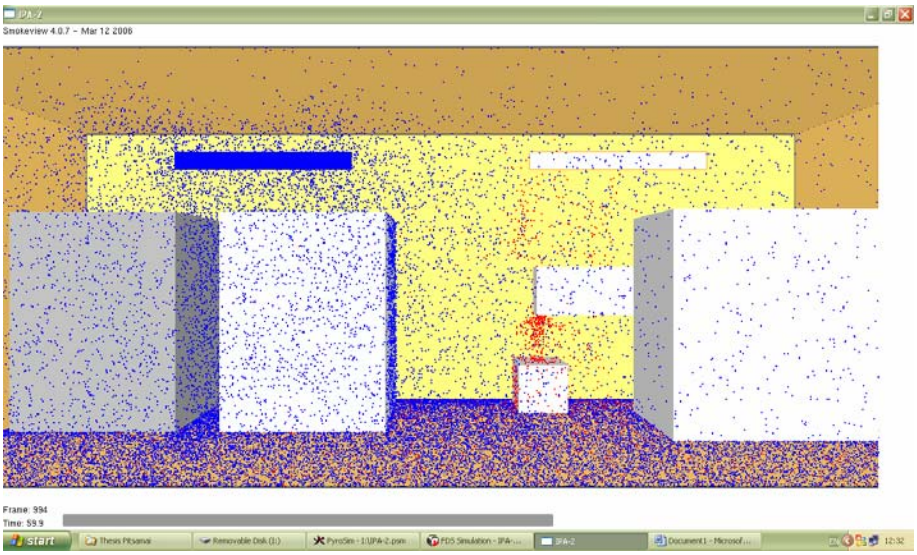


ที่เวลา 40 วินาที ไอสาร IPA กระจายทั่วทั้งพื้นที่ในห้องและสะสมอยู่ที่พื้นห้อง นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่ามีบางส่วนที่โดนกระแสอากาศที่จ่ายจากปล่องจ่ายอากาศพัดพาลอยฟุ้งอยู่ส่วนบนของห้อง และยังคงมีบางส่วนที่ถูกดูดออกทางปล่องดูดอากาศ



ที่เวลา 50 วินาที สภาพภายในห้องผสมยังคงเหมือนที่เวลา 40 วินาที แตกต่างกันที่ไอสาร IPA เริ่มมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น และยังคงสะสมอยู่ที่พื้นห้อง

ภาพที่ 25 (ต่อ)



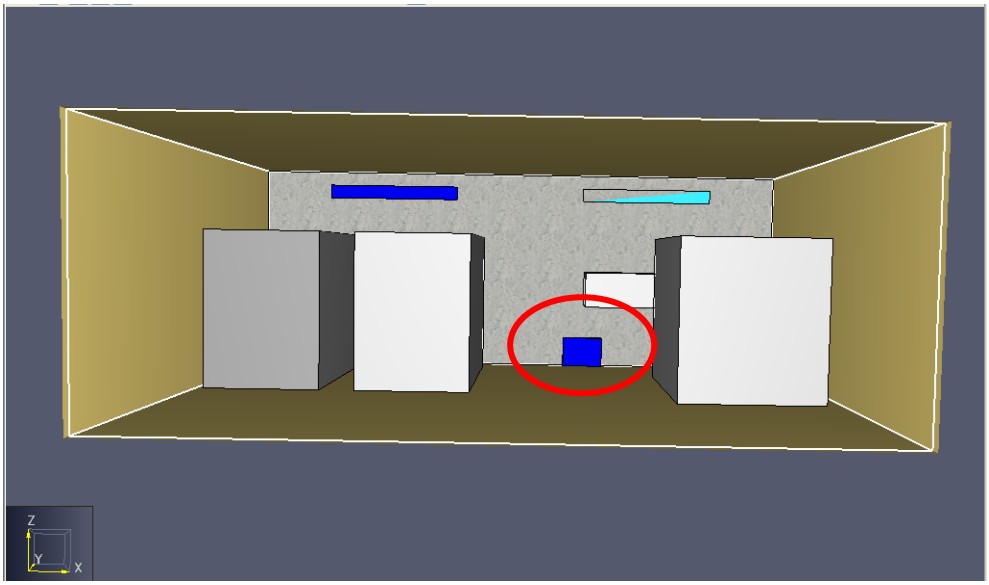
ที่เวลา 59.5 วินาที ยังคงมีสภาพเช่นเดียวกับวินาทีที่ 50 แตกต่างกันที่ความหนาแน่นของไอสาร IPA ที่มีเพิ่มมากขึ้น

ภาพที่ 25 (ต่อ)

กลุ่มของไอสาร IPA ที่ฟุ้งกระจายภายในระยะเวลา 60 วินาที ถูกแสดงด้วย Particles สีแดง ซึ่งแนวทางการเคลื่อนตัวจะลอยต่ำลงพื้นสอดคล้องกับคุณลักษณะของ IPA ที่มีความหนาแน่นของไอมากกว่าอากาศ 2.1 เท่า เมื่อเกิดการฟุ้งกระจายออกจากแหล่งกำเนิดจึงทำให้เกิดการลอยต่ำเหมือนภาพจำลองที่ได้ และจะมี Particles สีแดงส่วนหนึ่งที่อยู่ใกล้กับปล่องดูดลมกลับจะถูกดูดออกไปกับอากาศในห้องผสมเนื่องจากแรงลมในการดูดกลับ และเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นกลุ่ม Particles สีแดงจะมีหนาแน่นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้กระแสอากาศที่จ่ายเข้ามาภายในห้องผสมยงทำให้ไอสาร IPA บางส่วนถูกทำให้ฟุ้งกระจายขึ้นด้านบนของห้อง

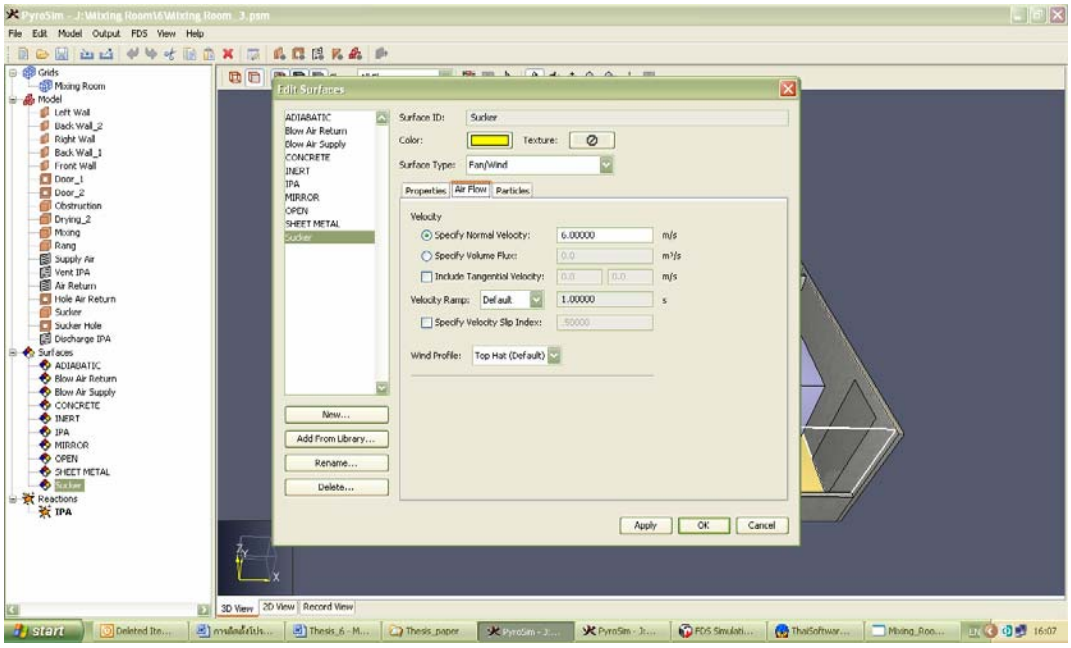
ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม FDS จำลองระบบระบายอากาศภายในห้องผสมยา

เมื่อทราบลักษณะการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA แล้ว จึงได้สร้างปล่องดูดไอสาร IPA ขึ้น โดยใช้หลักการ Capture Velocity ด้วยการให้ปากปล่องดูดอยู่ห่างจากจุดกำเนิดในระยะที่ดูดไอสาร IPA ได้ 100 % คือห่างไม่เกิน 8 % ของเส้นผ่านศูนย์กลางปล่องดูด ซึ่งในแบบจำลองกำหนดให้ปล่องดูดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว นั่นหมายถึงปากปล่องดูดจะอยู่ห่างจากจุดกำเนิด 0.48 นิ้ว หรือ 1.2 เซ็นติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 24 และกำหนดให้แบบที่ 1 ใช้ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA เท่ากับ 3 เมตร/วินาที แบบที่ 2 ใช้ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA เท่ากับ 6 เมตร/วินาที แบบที่ 3 ใช้ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA เท่ากับ 9 เมตร/วินาที เนื่องจากผลการจำลองลักษณะการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA ที่สะสมอยู่บริเวณพื้นห้องจึงได้เขียนแบบจำลองโดยกำหนดปล่องดูดอยู่ในระดับพื้นห้องและปากปล่องดูดอยู่ในแนวเดียวกันกับผนังห้องดังแสดงในภาพที่ 26 และกำหนดการจำลองเป็นแบบที่ 4 ใช้ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA เท่ากับ 3 เมตร/วินาที แบบที่ 5 ใช้ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA เท่ากับ 6 เมตร/วินาที แบบที่ 6 ใช้ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA เท่ากับ 9 เมตร/วินาที

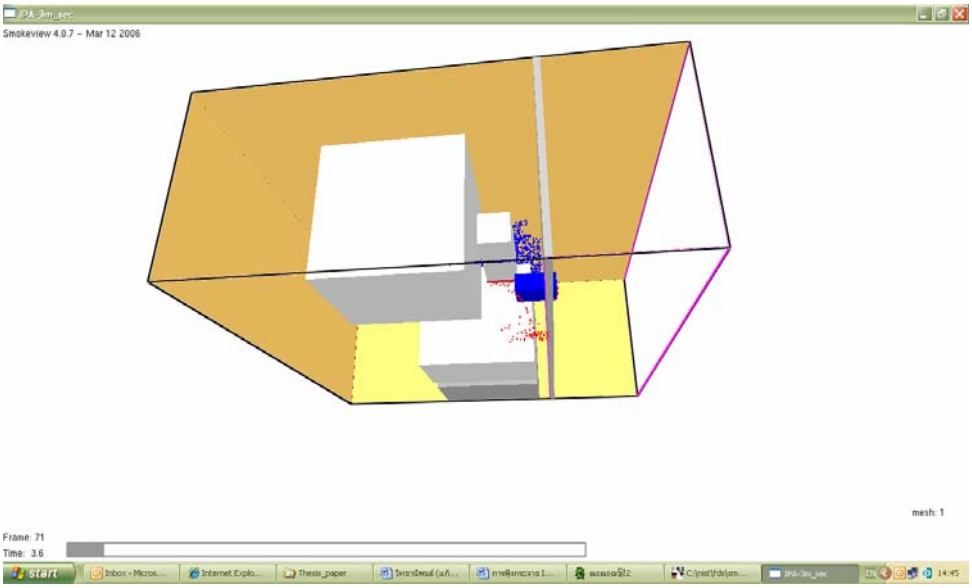


ภาพที่ 26 แสดงตำแหน่งปล่องดูดไอสาร IPA ที่อยู่ในระดับพื้น

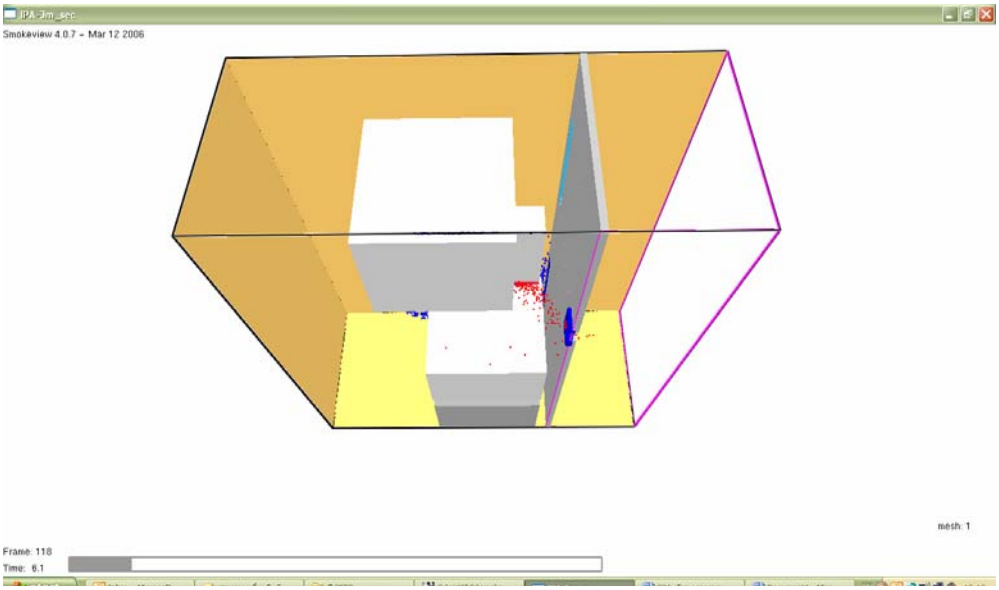
จากนั้นไปกำหนดค่าความเร็วลมในการดูด โดย Double Click ที่ sucker ในกลุ่มของ Surfaces ในแผนภูมิต้นไม้ที่หน้าจอด้านซ้ายมือจะปรากฏหน้าต่าง Edit Surfaces ขึ้นมา คลิกที่แถบ Airflow ใส่ค่าความเร็วลมในการดูดที่ช่อง Specify Normal Velocity เป็น 3 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในภาพที่ 27 จากนั้นใช้คำสั่งในกลุ่ม FDS ในการประมวลผล โดยกำหนดระยะเวลาที่ 60 วินาที เพื่อดูผลว่าสามารถดูดไอสาร IPA ได้ 100 % หรือไม่



ภาพที่ 27 แสดงหน้าต่างในการตั้งค่าความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA ที่ปล่องดูด

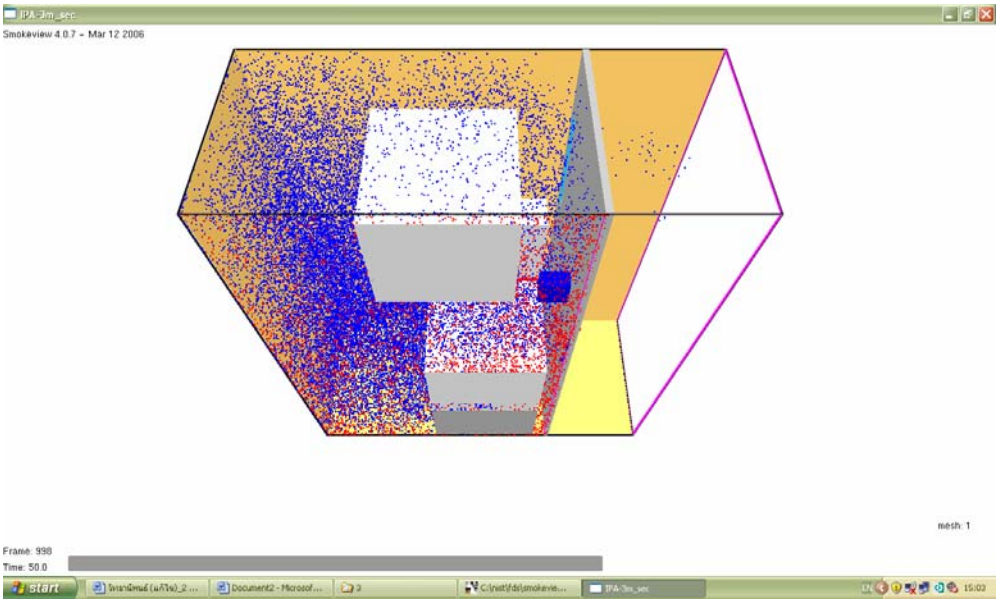


ผลการจำลองเหตุการณ์ของแบบที่ 1 ไอสาร IPA เริ่มฟุ้งกระจายภายในห้องเมื่อเวลา 3.6 วินาที

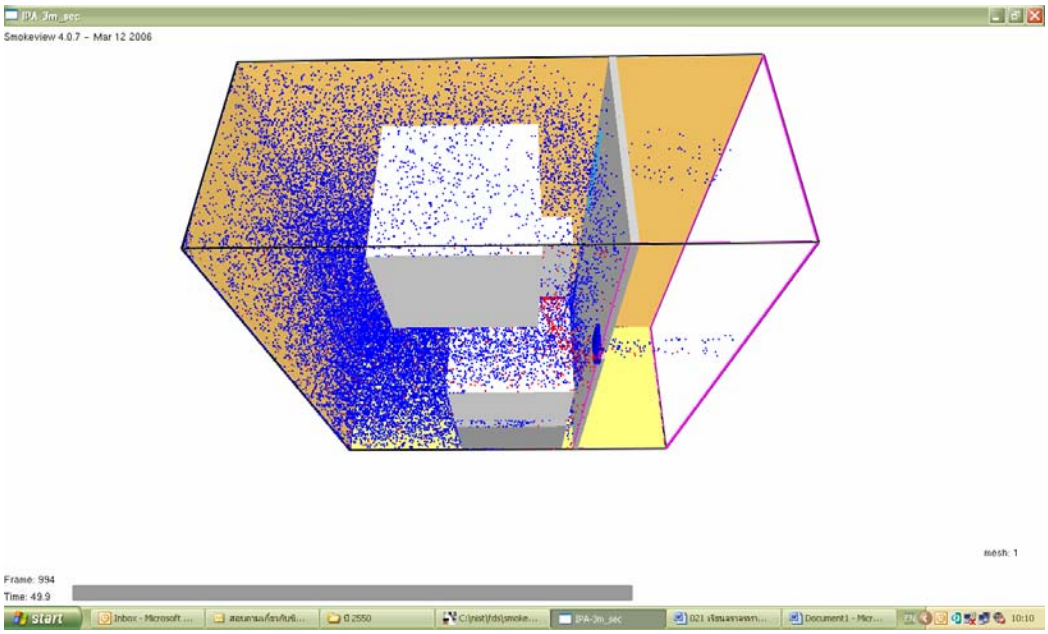


ผลการจำลองเหตุการณ์ของแบบที่ 4 ไอสาร IPA เริ่มฟุ้งกระจายภายในห้องเมื่อเวลา 6.1 วินาที

ภาพที่ 28 แสดงผลกลุ่ม Particles ของไอสาร IPA ในห้องผสม เมื่อกำหนดความเร็วลมในการดูดออก 3 เมตรต่อวินาที



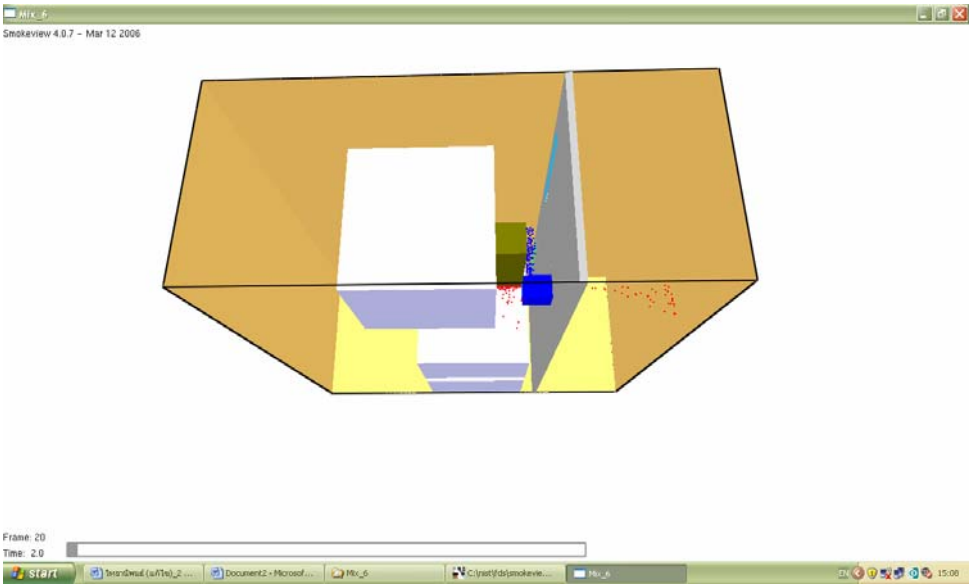
ภาพแสดงการสะสมของไอสาร IPA ที่เวลา 50 วินาที ของการทดลองแบบที่ 1



ภาพแสดงการสะสมของไอสาร IPA ที่เวลา 50 วินาที ของการทดลองแบบที่ 4

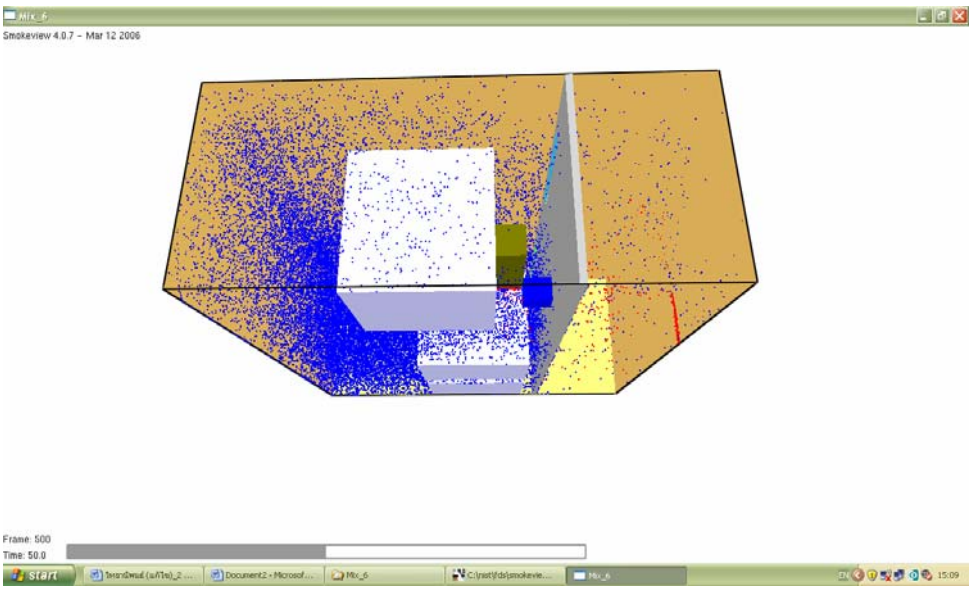
ภาพที่ 28 (ต่อ)

จากผลการจำลองเหตุการณ์การดูดไอสาร IPA ดังแสดงในภาพที่ 28 จะเห็นว่า ที่ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA 3 เมตรต่อวินาที โดยแบบที่ 1 ปล่องดูดจะอยู่ชิดกับจุดกำเนิดการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA แบบที่ 4 ปล่องดูดจะอยู่ที่ตำแหน่งระดับพื้น หลังจากที่โปรแกรม FDS ได้ทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้ว พบว่า ในแบบที่ 1 ที่เวลา 50 วินาที จะเห็นว่ามีการสะสมของกลุ่ม Particles สีแดงสะสมอยู่อย่างหนาแน่นที่บริเวณพื้นห้อง ส่วนแบบที่ 4 จะมีการสะสมของกลุ่ม Particles สีแดงอย่างเบาบางที่บริเวณพื้นห้อง นั่นแสดงว่า ประสิทธิภาพในการดูดไอสาร IPA ออกจากห้องผสมยาของแบบที่ 4 จะดีกว่าแบบที่ 1

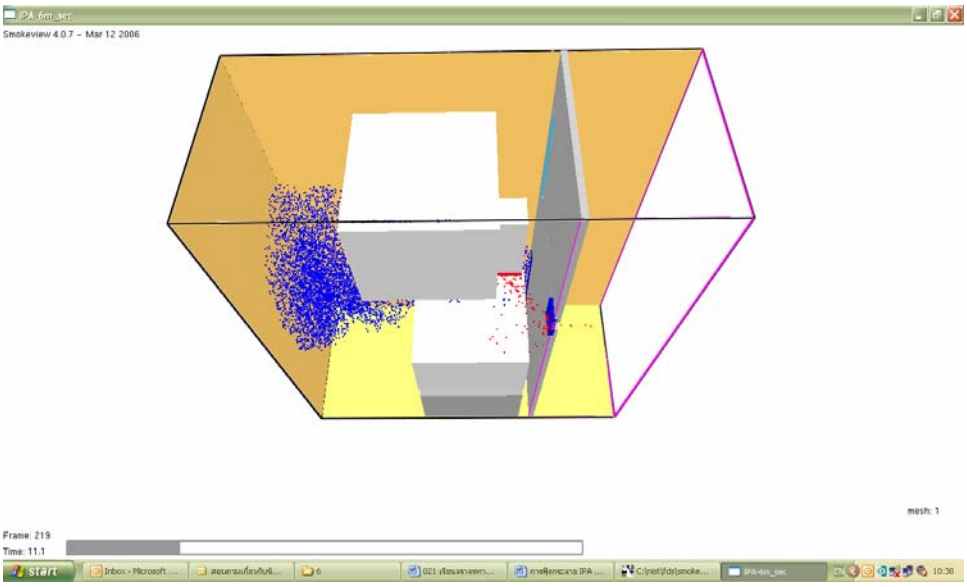


แสดงการดูดไอสาร IPA ออกที่เวลา 2 วินาทีของแบบที่ 2

ภาพที่ 29 แสดงผลกลุ่ม Particles ของไอสาร IPA ในห้องผสม เมื่อกำหนดความเร็วลมในการดูดออก 6 เมตรต่อวินาที

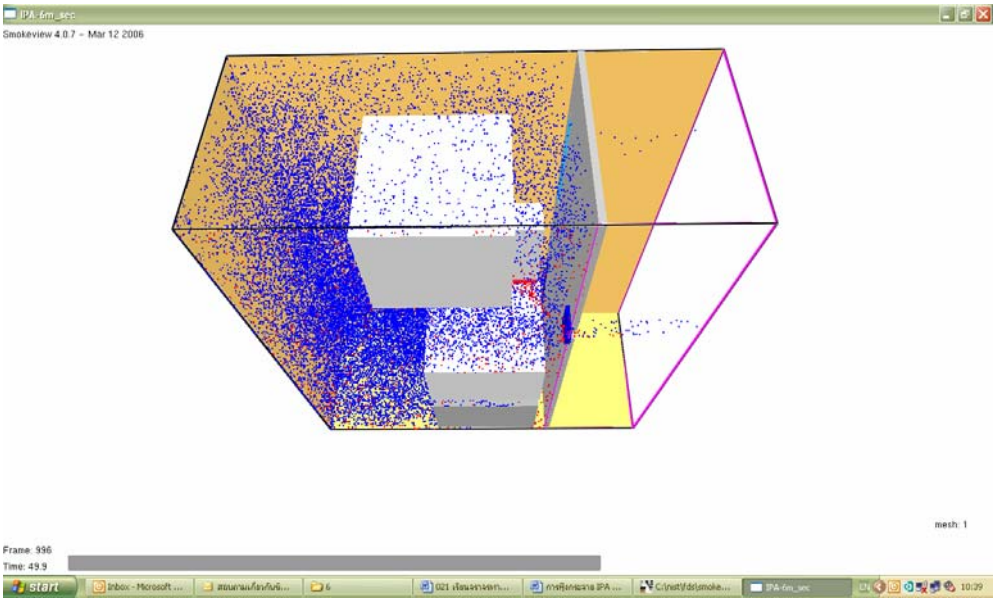


แสดงการสะสมไอสาร IPA ที่เวลา 50 วินาทีของแบบที่ 2



แสดงการเริ่มมีการสะสมของไอสาร IPA ในห้องผสมที่เวลา 11.1 วินาทีของแบบที่ 5

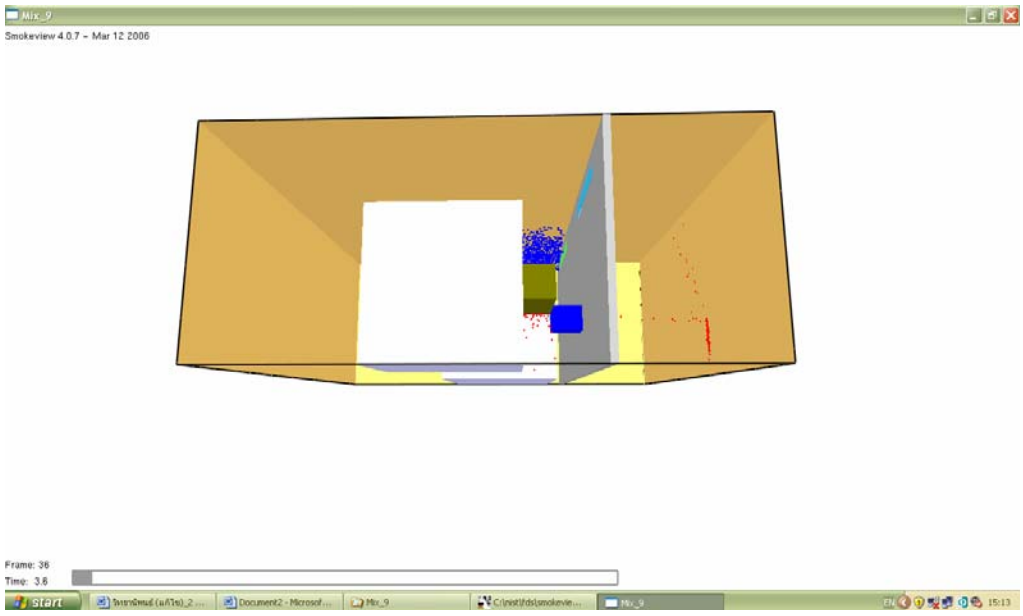
ภาพที่ 29 (ต่อ)



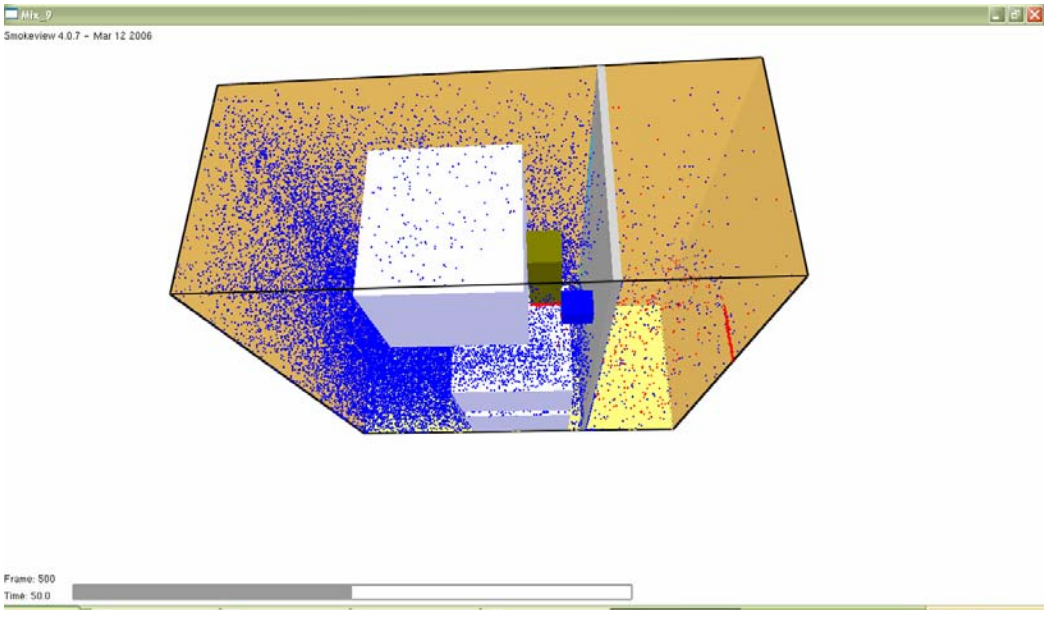
แสดงการสะสมไอสาร IPA ที่เวลา 50 วินาทีของแบบที่ 5

ภาพที่ 29 (ต่อ)

ผลการจำลองภาพเสมือนเมื่อกำหนดให้ความเร็วลมในการดูดออกอยู่ที่ 6 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในภาพที่ 29 จะเห็นว่า แบบที่ 2 ที่ปล่องดูดอยู่ชิดกับจุดกำเนิดการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA และแบบที่ 5 ปล่องดูดอยู่ที่ตำแหน่งระดับพื้น หลังจากที่โปรแกรม FDS ได้ทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้ว พบว่าแบบที่ 2 กลุ่ม Particles สีแดงจะถูกดูดเข้าไปในปล่องดูดจนหมด และที่เวลา 50 วินาทีไม่มีการสะสมของ Particles สีแดงในห้องผสมยาเลย นอกจากนี้ ความเร็วลมของปล่องดูดลมกลับไม่มีผลกระทบต่อกลุ่ม Particles สีแดง แสดงว่า ไอสาร IPA ถูกดูดออกไปหมดที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาทีและไม่มีไอสาร IPA ถูกดูดออกไปพร้อมกับอากาศที่ปล่องดูดลมกลับ ส่วนแบบที่ 5 พบว่าที่เวลา 11.1 วินาที กลุ่ม Particles สีแดงเริ่มมีการสะสมในห้องผสมยา และที่ 50 วินาทีมีการสะสมของ Particles สีแดงในห้องผสมยา แสดงปล่องดูดไอสาร IPA ในแบบที่ 5 ไม่มีประสิทธิภาพในการขจัดไอสาร IPA ออกจากห้องผสม

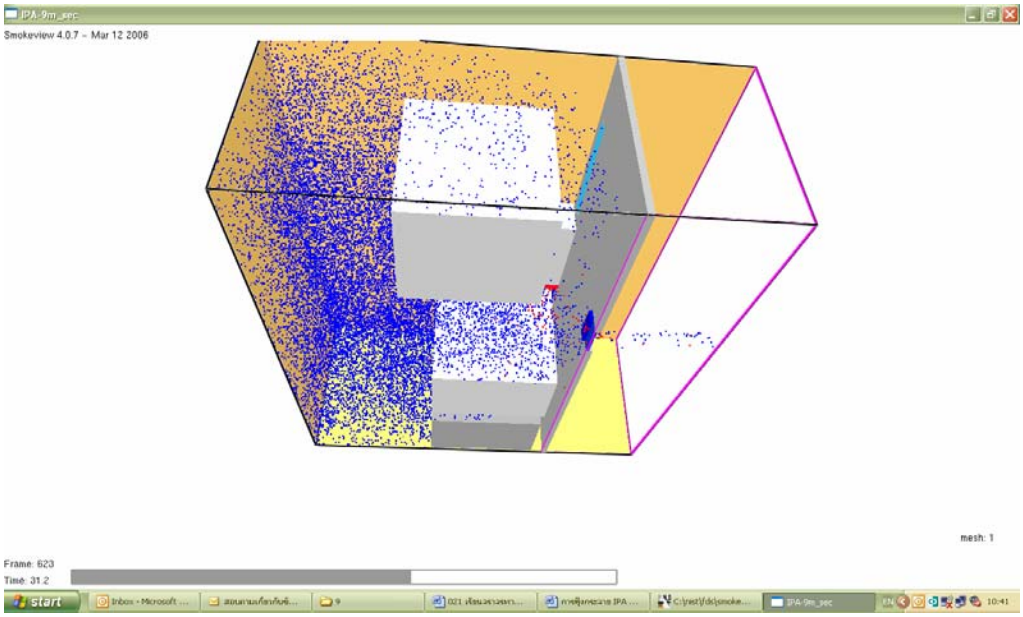


แสดงการดูดไอสาร IPA ออกที่เวลา 3.6 วินาทีของแบบที่ 3

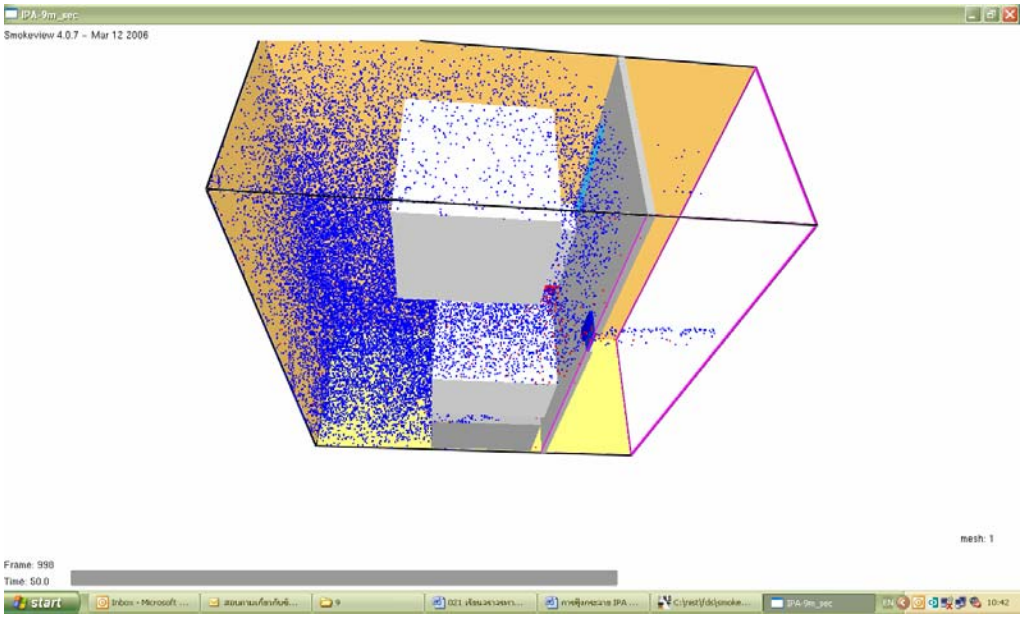


แสดงการสะสมไอสาร IPA ที่เวลา 50 วินาทีของแบบที่ 3

ภาพที่ 30 แสดงผลกลุ่ม Particles ของไอสาร IPA ในห้องผสม เมื่อกำหนดความเร็วลมในการดูดออก 9 เมตรต่อวินาที



แสดงการเริ่มมีการสะสมของไอสาร IPA ในห้องผสมที่เวลา 31.2 วินาทีของแบบที่ 6



แสดงการสะสมไอสาร IPA ที่เวลา 50 วินาทีของแบบที่ 6

ภาพที่ 30 (ต่อ)

ผลการจำลองภาพเสมือนเมื่อกำหนดให้ความเร็วลมในการดูดออกอยู่ที่ 9 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในภาพที่ 30 โดยแบบที่ 3 ที่ปล่องดูดอยู่ชิดกับจุดกำเนิดการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA และแบบที่ 6 ปล่องดูดอยู่ที่ตำแหน่งระดับพื้น หลังจากที่โปรแกรม FDS ได้ทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้ว พบว่าแบบที่ 3 กลุ่ม Particles สีแดงจะถูกดูดเข้าไปในปล่องดูดไอสาร IPA ที่ออกแบบเพิ่มเข้าไปในห้องผสมในแบบจำลองจนหมด ความเร็วลมของปล่องดูดลมกลับไม่มีผลกระทบต่อกลุ่ม Particles สีแดง ส่วนในแบบที่ 6 จะเห็นกลุ่ม Particles สีแดงเริ่มมีการสะสมในห้องผสมยาที่เวลา 31.2 วินาที และที่เวลา 50 วินาทีพบว่ามีการสะสมของ Particles สีแดงที่พื้นห้องผสมยา แสดงว่า ความเร็วลมในการดูดที่ 9 เมตรต่อวินาที ไม่ใช่ความเร็วลมที่เหมาะสม แม้ว่าจะมีความสามารถในการดูดไอสาร IPA ออกได้หมดในการจำลองของแบบที่ 3 ก็ตาม เนื่องจากจะมีการใช้ขนาดของมอเตอร์พัดลมดูดอากาศใหญ่กว่า แบบที่ 2 ที่ใช้ความเร็วลมในการดูดอากาศออกที่ 6 เมตรต่อวินาที

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาความเร็วลมที่เหมาะสมในการดูดไอสาร IPA ออกจากห้องผสมยา โดยอาศัยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator ในการจำลองสถานการณ์ และดูภาพเสมือนจากโปรแกรม Smokeview ที่พัฒนาโดยสถาบัน NIST ความเร็วลมในการดูดจากผลการคำนวณตามสูตรที่แสดงในภาคผนวก ก ไม่สามารถใช้สั่งประมวลผลได้ จึงได้กำหนดความเร็วลมในการดูดโดยอ้างอิงจากความสามารถในการดูดไอสาร IPA ของปล่องดูดอากาศกลับในการจำลองดังแสดงในภาพที่ 21 ในการทดลองจึงได้กำหนดความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA ที่ 3 ระดับ คือ 3 เมตรต่อวินาที, 6 เมตรต่อวินาที, 9 เมตรต่อวินาที โดยในแต่ละระดับความเร็วลมได้กำหนดตำแหน่งของปล่องดูดไอสาร IPA ต่างกัน ดังนี้ ที่ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA 3 เมตรต่อวินาที แบบที่ 1 ปล่องดูดอยู่ชิดกับจุดกำเนิดการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA แบบที่ 2 ปล่องดูดอยู่ที่ตำแหน่งระดับพื้น ที่ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA 6 เมตรต่อวินาที แบบที่ 2 ปล่องดูดอยู่ชิดกับจุดกำเนิดการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA แบบที่ 4 ปล่องดูดอยู่ที่ตำแหน่งระดับพื้น ที่ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA 9 เมตรต่อวินาที แบบที่ 3 ปล่องดูดอยู่ชิดกับจุดกำเนิดการฟุ้งกระจายของไอสาร IPA แบบที่ 6 ปล่องดูดอยู่ที่ตำแหน่งระดับพื้น ซึ่งผลการทดลองพบว่า ความเร็วลมในการดูดออกที่ 3 เมตรต่อวินาที ไอสาร IPA ยังคงมีการสะสมอยู่ในห้องผสมยา และมีความหนาแน่นมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งในแบบที่ 1 และแบบที่ 4 นอกจากนี้ในแบบที่ 1 ไอสาร IPA บางส่วนยังถูกดูดออกทางปล่องดูดลมกลับ ส่วนแบบที่ 4 ไม่พบว่าไอสาร IPA ถูกดูดออกไปที่ปล่องดูดลมกลับ นั่นหมายถึง ณ ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA ที่ 3 เมตรต่อวินาที ยังไม่มีประสิทธิผลเพียงพอต่อการกำจัดไอสาร IPA ออกจากห้องผสมยา ส่วนความเร็วลมในการดูดออกที่ 6 เมตรต่อวินาที ในแบบที่ 2 ไอสาร IPA จะถูกดูดเข้าไปในปล่องดูดระบายอากาศที่ออกแบบเพิ่มเข้าไปในห้องผสมในแบบจำลองจนหมด ส่วนในแบบที่ 5 ยังคงมีการสะสมของไอสาร IPA อยู่ในห้องผสมยา และความเร็วลมของปล่องดูดลมกลับไม่สามารถดูดไอสาร IPA ออกไปได้ทั้งในแบบที่ 2 และแบบที่ 5 ทำให้ไม่เกิดการฟุ้งกระจายไปที่ห้องปฏิบัติงานอื่นภายในชั้นเดียวกันของอาคาร และที่ความเร็วลมในการดูดออก 6 เมตรต่อวินาที จะดูดเอาอากาศที่จ่ายเข้ามาในห้องผสมออกไปด้วย ส่วนความเร็วลมในการดูดออกที่ 9 เมตรต่อวินาที จะเห็นว่าในแบบที่ 3 ไอสาร IPA จะถูกดูดเข้าไปในปล่องดูดระบายอากาศที่ออกแบบเพิ่มเข้าไปในห้องผสมในแบบจำลองจนหมด ส่วนแบบที่ 6 ยังคงมีการสะสมของไอสาร IPA ภายในห้องผสมยา และความเร็วลมของปล่องดูดลมกลับไม่สามารถดูดไอสาร IPA

ออกไปได้ทั้งในแบบที่ 3 และแบบที่ 6 เช่นเดียวกันกับความเร็วในการดูดอากาศออกที่ 6 เมตรต่อวินาที และที่ความเร็วลมในการดูดออก 9 เมตรต่อวินาที จะดูดเอาอากาศที่จ่ายเข้ามาในห้องผสมออกไปด้วย

ดังนั้นค่าความเร็วในการดูดอากาศออกที่ 6 เมตรต่อวินาที เป็นค่าความเร็วลมที่เหมาะสมที่จะใช้ในการออกแบบดูดไอสาร IPA ออกจากห้องผสม เนื่องจากสามารถดูดออกได้หมด และสามารถป้องกันไม่ให้ไอสาร IPA ถูกดูดออกไปพร้อมกับปล่องดูดอากาศกลับได้ และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า ค่าความเร็วในการดูดอากาศออกที่ 9 เมตรต่อวินาที

ข้อเสนอแนะ

1. การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากผลการทดลองพบว่า ไอสาร IPA มีการสะสมอยู่ที่พื้นห้อง ดังนั้นจึงไม่ควรติดตั้งปลั๊กไฟในระดับใกล้เคียงกับพื้นห้อง เนื่องจาก IPA เมื่อผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่พอเหมาะสามารถทำให้เกิดการระเบิดได้ เพราะอาจก่อให้เกิดประกายไฟได้เมื่อมีการถอดหรือเสียบปลั๊กไฟ

2. การติดตั้งระบบตรวจจับแก๊ส

เพื่อควบคุมความเข้มข้นของ IPA ไม่ให้เกินมาตรฐานที่ NIOSH กำหนด คือ 400 ppm. โดยติดตั้ง ณ จุดกำเนิดเพราะเป็นจุดที่พนักงานปฏิบัติงานอยู่ซึ่งจะเห็นผลจากการจำลองภาพเสมือนว่าไอสาร IPA จะมีความเข้มข้นมากที่สุดคือที่จุดกำเนิด นอกจากนี้อาจจะออกแบบให้ระบบตรวจจับแก๊สสามารถสั่งตัดกระแสไฟฟ้าไม่ให้จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดที่อยู่ในห้องผสมเมื่อมีความเข้มข้นของ IPA ถึงขีดจำกัดการระเบิด (Explosion Limit) โดยติดตั้งใกล้พื้นห้องที่มีการสะสมของไอสาร IPA

3. การป้องกันการสูญเสียผลิตภัณฑ์

ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมว่าที่ความเร็วลมในการดูดไอสาร IPA 6 เมตรต่อวินาที มีความสามารถในการดูดผงยาออกไปด้วยหรือไม่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยม, กรุงเทพฯ

สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. 2545. **ห้องสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม**. โรงพิมพ์บริษัทออฟเซ็ท ครีเอชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ

สุธีระ วุฒิศักดิ์ไพศาล. 2549. **การศึกษาการรั่วไหลของก๊าซฟลูออรีนผสมนีออนเพื่อการออกแบบระบบระบายอากาศฉุกเฉินของห้องเลเซอร์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณรัตน์ ข้าวขาวแขก. 2549. **การจำลองรูปแบบการกระจายตัวของสารเอ็นบูทิล อะซิเตทของโรงงานผลิตหลอดไฟ เพื่อออกแบบระบบระบายอากาศ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

King, R. and R. Hirst. 1998. **Safety in the Process Industries.** 2 ed. Arnold, London.

Committe on Industrial Ventilation. 2001. **Industrial Ventilation.** 24 ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, United States of America.

Crowl, D.A. and J.F. Louvar. 2002. **Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications.** 2 ed. Prentice-Hall,Inc. New Jersey United States of America.

SIGMA-ALDRICH. 2004. **Material Safety Data Sheet.** (Document). Available Source: www.sigma-aldrich.com.

McGrattan,K. 2006. **Fire Dynamics Simulator Version4 Technical Reference Guide.** Available Source: http://fire.nist.gov/smokeviewdocs/fds_tech_guide_4.pdf, July 5, 2007.

K.McGrattan. 2006. **Fire Dynamics Simulator (Version4) User's Guide.** Available Source: http://fire.nist.gov/fds, March, 2007.

2006. **PyroSim Example Guide.** www.thunderheadeng.com. 2007.

K. McGrattan. 2006. **User's Guide for Smokeview (Version4) - A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data.** Available Source: http://fire.nist.gov/smokeview, 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แสดงวิธีการคำนวณ

แสดงวิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหา Evaporation Rate of IPA ; Q_m

ใช้ Isopropyl Alcohol; IPA จำนวน 5.78 แกลลอน ผสมในผงยาจากนั้นผ่านกระบวนการทำให้เป็นแกรนูลซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของ IPA เป็นเวลา 15 นาที โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของ IPA = 0.8044

จากสูตร

$$Q_m = \left(\frac{5.78 gallon}{900 \sec.}\right)\left(\frac{0.1337\ ft^3}{1 gallon}\right)\left(\frac{62.4 lb_m}{1\ ft^3}\right)0.8044$$

$$= 0.043 \quad lb_m / \sec.$$

2. การคำนวณหาอัตราความเร็วในการฟุ้งกระจายของ IPA

จากสูตร $V_m = \frac{Q_m}{A}$

$$A = \frac{3.14 \times 225 in^2 \times \frac{1\ ft^2}{144\ in^2}}{4}$$

$$= 1.23\ ft^2$$

แทนค่าลงในสูตร

$$V_m = \frac{Q_m}{A}$$

$$= \frac{0.043 \frac{lb_m}{\sec.} \times \frac{1\ ft^3}{62.4\ lb_m}}{1.23\ ft^2}$$

$$= 5.6 \times 10^{-4} \quad ft / \sec.$$

$$= 1.47 \times 10^{-4} \quad m/\sec.$$

3. การคำนวณหาความเร็วลมในการดักจับ IPA ออก

จากสูตร $$Q_v = \frac{Q_m R_g T}{kC_{ppm} PM} \; x\, 10^6$$

โดยที่ $$R_g = 0.7302 \; ft^3 \, atm./lb-mole \; ^\circ R$$

$$P = 1 \; atm.$$

$$M = 60 \; lb_m / lb-mole$$

$$T = 536.67 \; ^\circ R$$

$$k = 1/5$$

$$Q_v = \frac{(0.043 lb_m/\sec.)(0.7302 \; ft^3 atm./lb-mole \; ^\circ R)(536.67 \; ^\circ R)}{(0.2)(400 \; ppm)(1 atm)(60.1 lb_m/lb-mole)} \; x\, 10^6$$

$$= \frac{16.85}{4808} \; x\, 10^6$$

$$= 3500 \quad ft^3/\sec. \quad required \; dilution \; air$$

4. การคำนวณหาความเร็วลมในการดักจับ IPA ออก

จากสูตร

$$V_v = \frac{Q_v}{A}$$

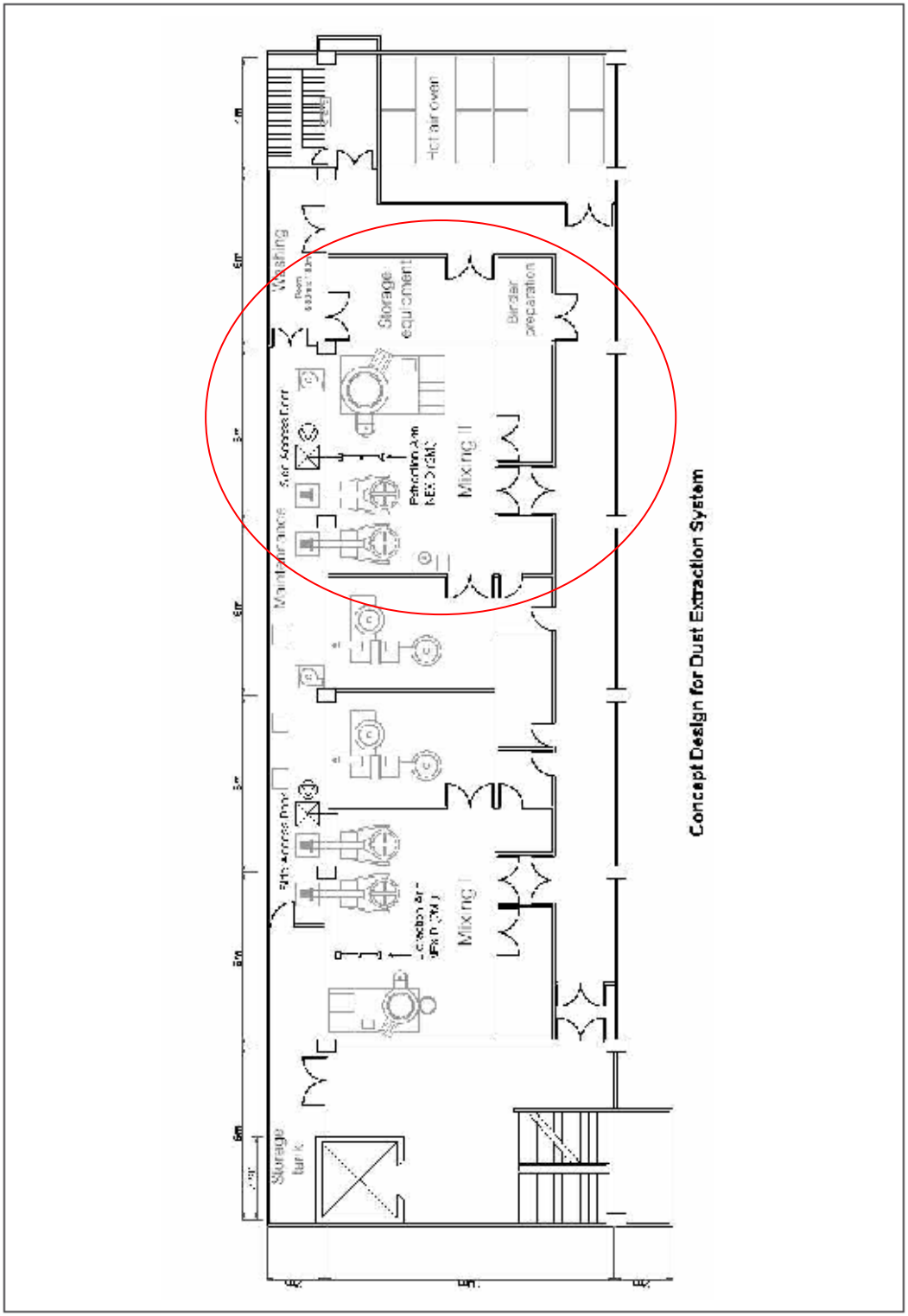
$$= \frac{3500 \; ft^3/\sec.}{0.196 \; ft^2}$$

$$= 17{,}857 \; ft/\sec.$$

$$= 4{,}689 \; m/\sec.$$

ภาคผนวก ข

แสดงผังห้องที่ทำการศึกษา



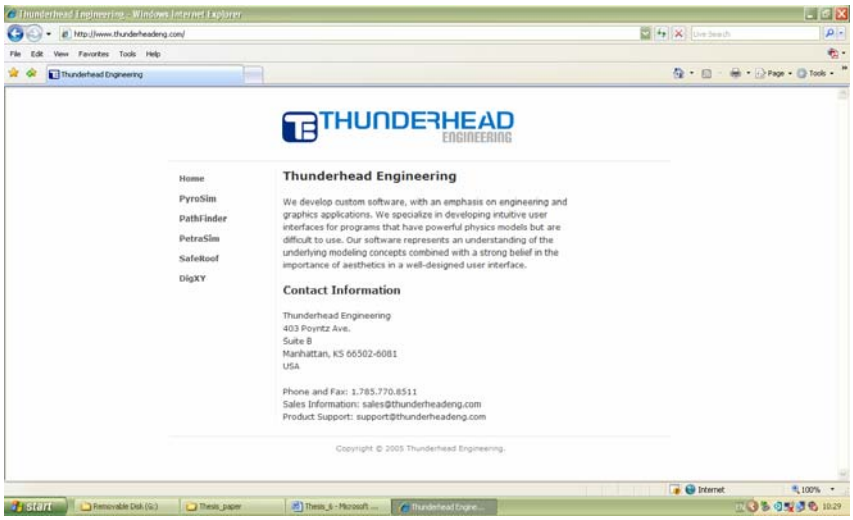
Concept Design for Dust Extraction System

ภาคผนวก ค

การติดตั้งโปรแกรมและการใช้งาน

การติดตั้งโปรแกรมและการใช้งาน

1. Download โปรแกรม Pyrosim โดยเข้าไปที่เวบไซท์ www.thunderheadeng.com จากนั้น คลิกที่ Pyrosim ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค1

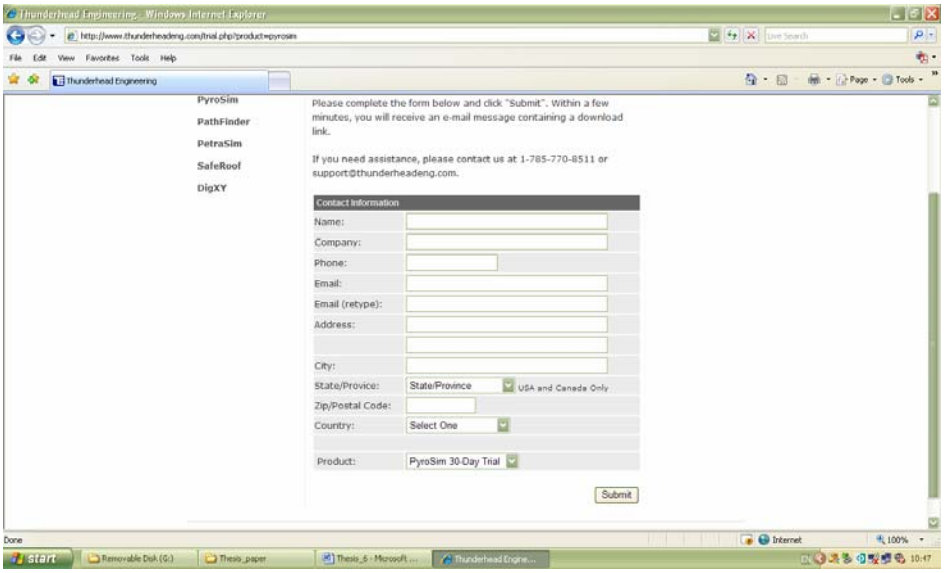


ภาพผนวกที่ ค1 แสดงหน้าเวบไซท์ของ www.thunderheadeng.com

2. ที่หน้าจอจะเห็นคำว่า “Free 30 Day Trial” ให้คลิกที่ “Download Free 30 Day Trial” ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค2

ภาพผนวกที่ ค2 แสดงหน้าเวบไซท์ของการ Download โปรแกรม PyroSim

3. ที่หน้าจอจะให้ทำการลงทะเบียน จากนั้นดำเนินการกรอกข้อมูลตามรายละเอียดในหน้าจอ เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จแล้ว คลิกที่ปุ่ม “Submit” ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค3



ภาพผนวกที่ ค3 แสดงหน้าเวบไซท์ของการลงทะเบียนเพื่อขอ Download โปรแกรม PyroSim

4. จากนั้นประมาณ 5 นาที เจ้าหน้าที่ของ Thunderheadeng จะส่งวิธีการ Download มาให้ที่ email_address ที่ได้กรอกข้อมูลไว้ ดังข้อความด้านล่าง ดังนี้

Thank you for your interest in PrroSim.

You may download the current trial release at this address:

http://www.thunderheadeng.com/download.php?product_code=413804

The PyroSim trial version can be used for 30 days, free of charge.

The PyroSim manual is available at:

http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/manual/html/index.html

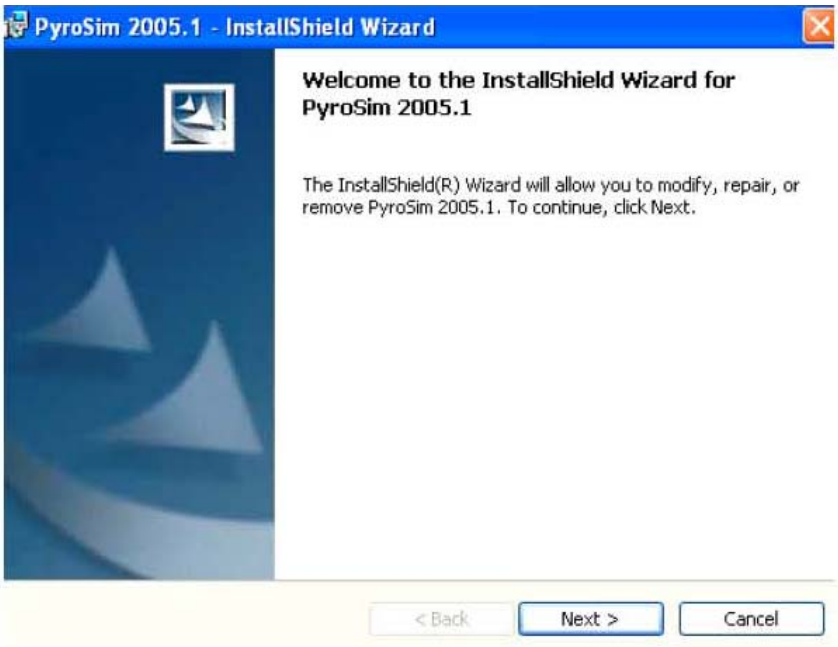
If you have any questions or comments, please contact us at sales@thunderheadeng.com or

1-785-770-8511. We will do our best to reply promptly.

ทำการติดตั้งโปรแกรม

หลังจากที่ทำการ Download โปรแกรมเรียบร้อยแล้วต้องทำการติดตั้งโปรแกรมก่อนจึงสามารถใช้งานได้ ซึ่งความต้องการของระบบปฏิบัติการคือ Windows NT,2000 หรือ XP ส่วนความต้องการทางด้าน Hardware คือ Processor 1 GHz Pentium III, RAM ไม่น้อยกว่า 512 MB และต้องมีความละเอียดหน้าจอเท่ากับ 64 MB และมีขั้นตอนการติดตั้งดังนี้

1. เมื่อ Double Click เข้าไปจะมีหน้าต่าง InstallShield Wizard ขึ้นมาให้เลือกที่ Next ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค4



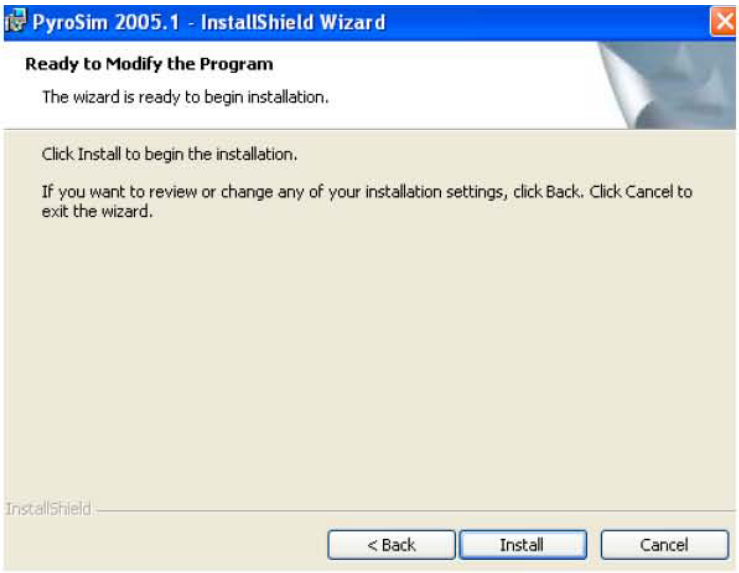
ภาพผนวกที่ ค4 หน้าต่างสำหรับการเริ่มติดตั้งโปรแกรม PyroSim

2. ส่วนถัดไปจะเป็นหน้าต่างเกี่ยวกับวิธีการติดตั้ง ซึ่งหากเป็นการติดตั้งโปรแกรมครั้งแรกให้เลือกที่ Modify ดังภาพผนวกที่ ค5

ภาพผนวกที่ ค5 การติดตั้งครั้งแรกให้เลือกแบบ Modify

3. ขั้นตอนต่อไปให้เลือก Next และเลือก Install จนโปรแกรมติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ดังภาพผนวกที่ ค6 และ ค7

ภาพผนวกที่ ค6 แสดงขั้นตอนการเลือกที่อยู่สำหรับการติดตั้งโปรแกรม

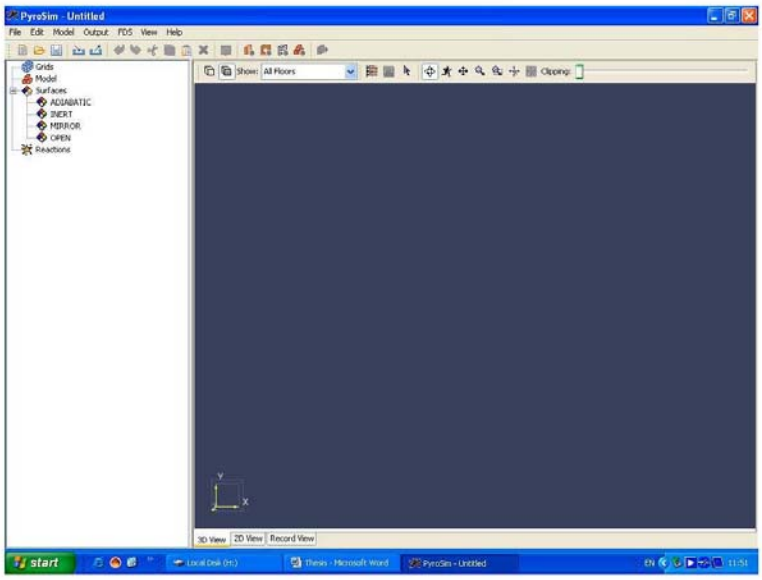


ภาพผนวกที่ ค7 แสดงขั้นตอนในการเลือกเพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม

การเริ่มใช้งานโปรแกรม

หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้วไปคลิกซ้ายที่ ปุ่ม Start Menu จากนั้นคลิกที่ไอคอนโปรแกรม ซึ่งหลังเปิดเข้าไปแล้วจะมีหน้าต่างเริ่มขึ้น (Interface) เป็นพื้นที่สำหรับเริ่มการใช้งานตามภาพผนวกที่ ค8 และ ค9

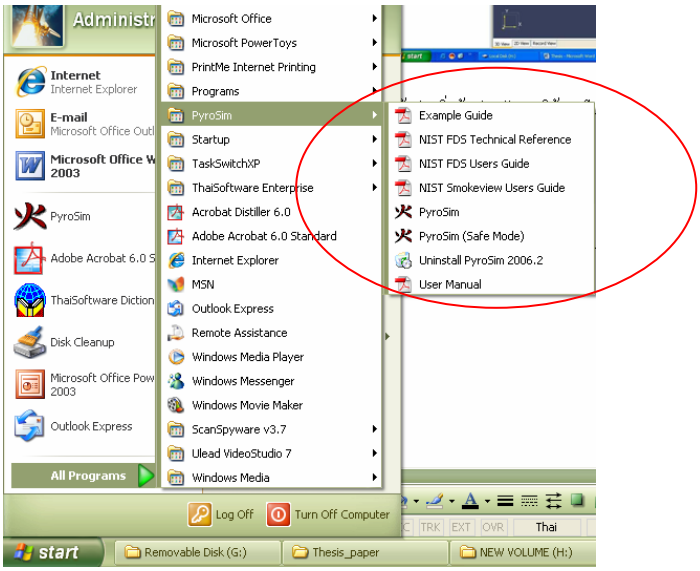
ภาพผนวกที่ ค8 แสดงขั้นตอนในการเปิดใช้โปรแกรม



ภาพผนวกที่ ค9 หน้าต่างเริ่มต้นสำหรับการใช้งานโปรแกรม PyroSim

แถบคำสั่งในโปรแกรม

สำหรับการใช้งานพื้นฐานมักจะเป็นคำสั่งโดยเฉพาะ ซึ่งเมื่อทำการติดตั้งแล้วจะมีคู่มือในการใช้งานแนบให้ทันที ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค10 ซึ่งเมนูเกี่ยวกับการใช้งานสร้างภาพเสมือนประกอบไปด้วยเมนูคำสั่งหลัก ๆ ดังนี้



ภาพผนวกที่ ค10 แสดงคู่มือการใช้โปรแกรม PyroSim

1. แถบคำสั่ง (Menu Bar) เป็นแถบที่รวมคำสั่งหลักของการใช้งานโปรแกรม PyroSim ตั้งแต่การเปิด-ปิดไฟล์ การบันทึกไฟล์ ดังภาพผนวกที่ ค 11 รวมถึงการปรับแต่งคำสั่งต่าง ๆ ประกอบด้วย

1.1 File เป็นกลุ่มคำสั่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการไฟล์ เช่น การเปิด-ปิดไฟล์ การบันทึก และการนำเข้าไปยังโปรแกรม PyroSim และส่งออกไฟล์ไปยังโปรแกรม FDS

1.2 Edit เป็นกลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการปรับแต่งต่าง ๆ เช่น การคัดลอกพื้นผิวที่มีลักษณะเดียวกัน

1.3 Model เป็นกลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการแสดงแบบจำลองในลักษณะที่เป็นการสร้างแบบจำลอง การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุพื้นผิว การกำหนดคุณสมบัติของ Particle การสร้างรูเปิด การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ตรวจจับควัน เป็นต้น

1.4 Output เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับการกำหนดค่า Output ที่ต้องการจะแสดงออกมาให้เห็นเมื่อทำการประมวลผลจาก FDS ไฟล์ เช่น การแสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Particles

1.5 FDS เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับการแสดงผลออกมาในรูปแบบโปรแกรม FDS ไฟล์ เช่น การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการจำลองเหตุการณ์ การพิจารณาแบบจำลองที่สร้างขึ้นว่าถูกต้องกับที่กำหนดและสามารถประมวลผลบนโปรแกรม FDS ได้หรือไม่

1.6 View เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้สำหรับค่า Default ต่างที่จะใช้แสดงผลออกมาทางหน้าต่างของโปรแกรม PyroSim เช่น การกำหนดมุมมองเป็น 3D, 2D หรือดูตำแหน่งติดตั้ง Smoke Detector เป็นต้น

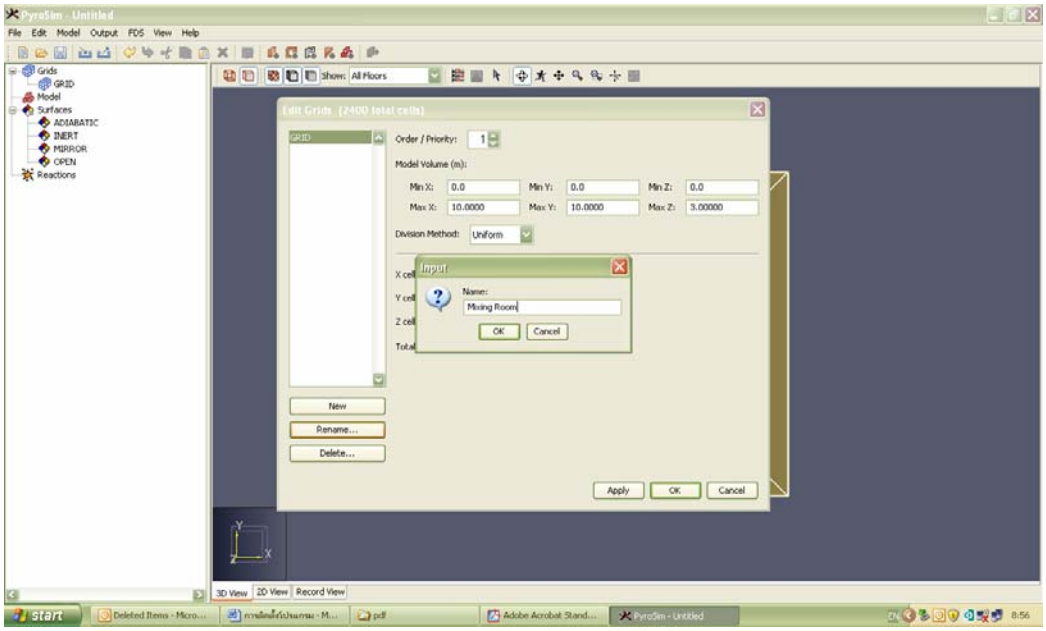
1.7 Help เป็นกลุ่มคำสั่งที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการใช้งานโปรแกรม รวมทั้งสำหรับการแจ้งกำหนดเวลาที่เหลืออยู่สำหรับการใช้งาน

2. แถบเครื่องมือ (Tool Box) เป็นกล่องที่เก็บเครื่องมือที่เป็นเครื่องมือหลัก และต้องใช้งานบ่อย ๆ จากแถบคำสั่ง (Menu Bar) ดังภาพผนวกที่ ค11 เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น โดยจะอยู่ในลักษณะไอคอนคำสั่งที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ง่าย

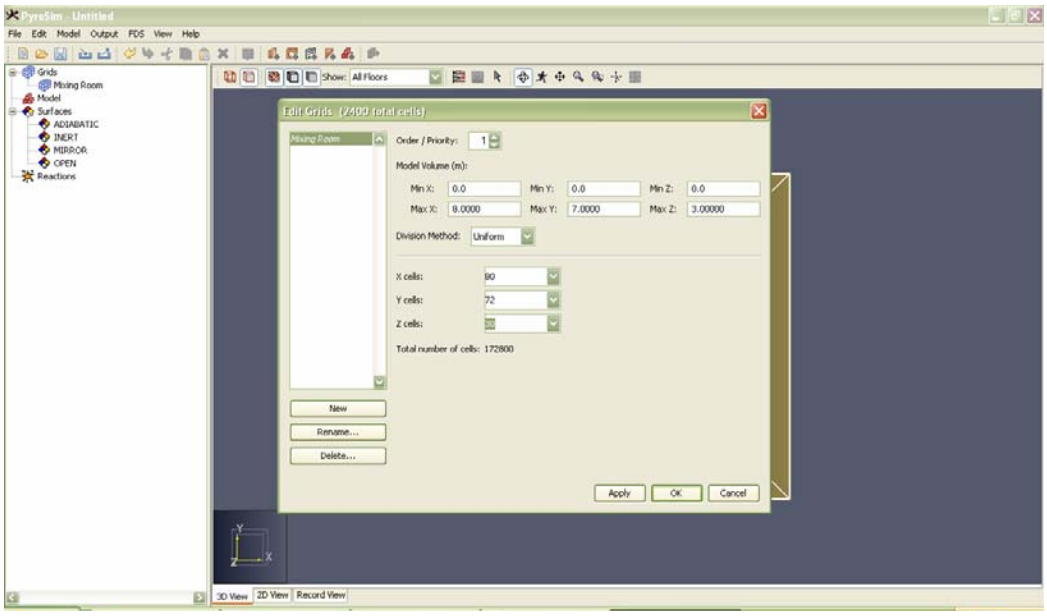
ภาพผนวกที่ ค11 แสดงแถบคำสั่ง (ด้านบน) และแถบเครื่องมือ (ด้านล่าง)

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

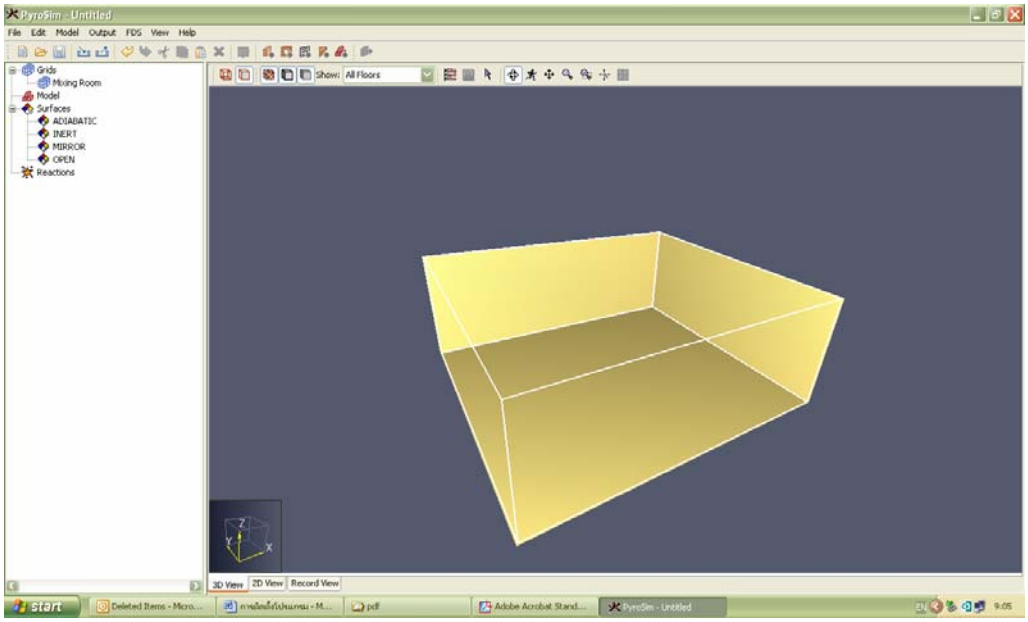
1. กำหนดเซลล์ Grid เป็นการกำหนดค่าความสัมพันธ์ (Coordinate) ต่าง ๆ ระหว่างแกน X, Y และ Z ที่โปรแกรม FDS จะใช้คำนวณในการสร้างแบบจำลองที่ต้องการ โดยให้เลือกไปที่คำสั่ง Model และไปที่ Edit Grid และเลือก New จะมีหน้าต่างเล็ก ๆ เหมือนภาพผนวกที่ ค12 ขึ้นมาให้ใส่ชื่อ Mixing Room และเมื่อตั้งชื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วให้เลือก OK จะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมา ให้กำหนดค่าขนาดของห้องหรือพื้นที่ที่ต้องการ โดย Min X=0, Max X=5, Min Y=0, Max Y=7, Min Z=0 และ Max Z=3 โดยมีหน่วยเป็นเมตร ดังภาพผนวกที่ ค13 รวมทั้งต้องทำการเลือกความละเอียดของ Grid ที่ X cell = 50, Y cell=70, Z cell=30 และจะแสดงผลของขอบเขตออกมาบนหน้าต่างเริ่มต้น ดังภาพผนวกที่ ค14



ภาพผนวกที่ ค12 แสดงการตั้งชื่อ Grid ที่ต้องการ

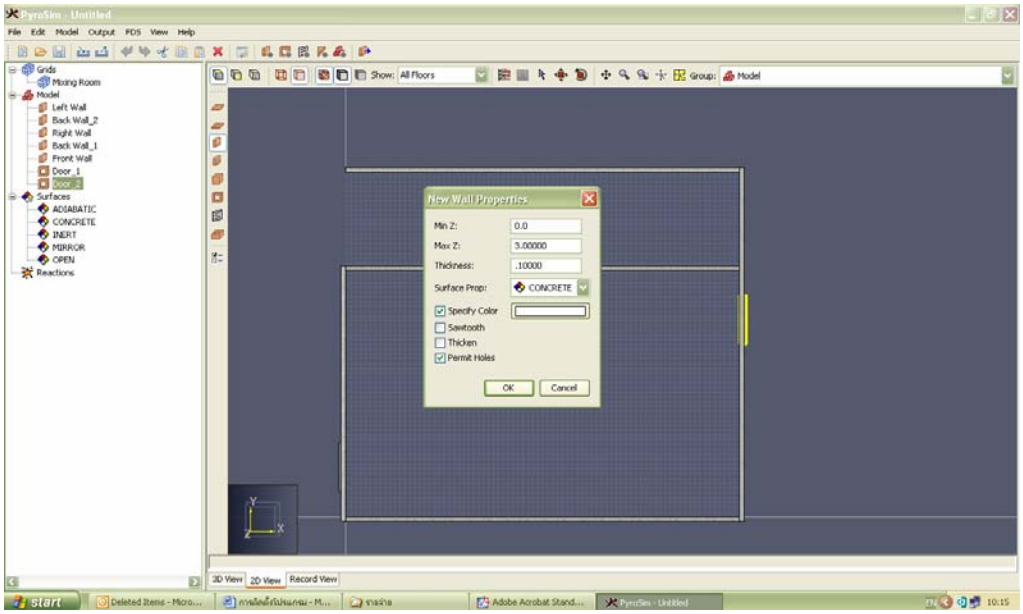


ภาพผนวกที่ ค13 แสดงการใส่ค่าตัวเลขขนาดของห้องผสม

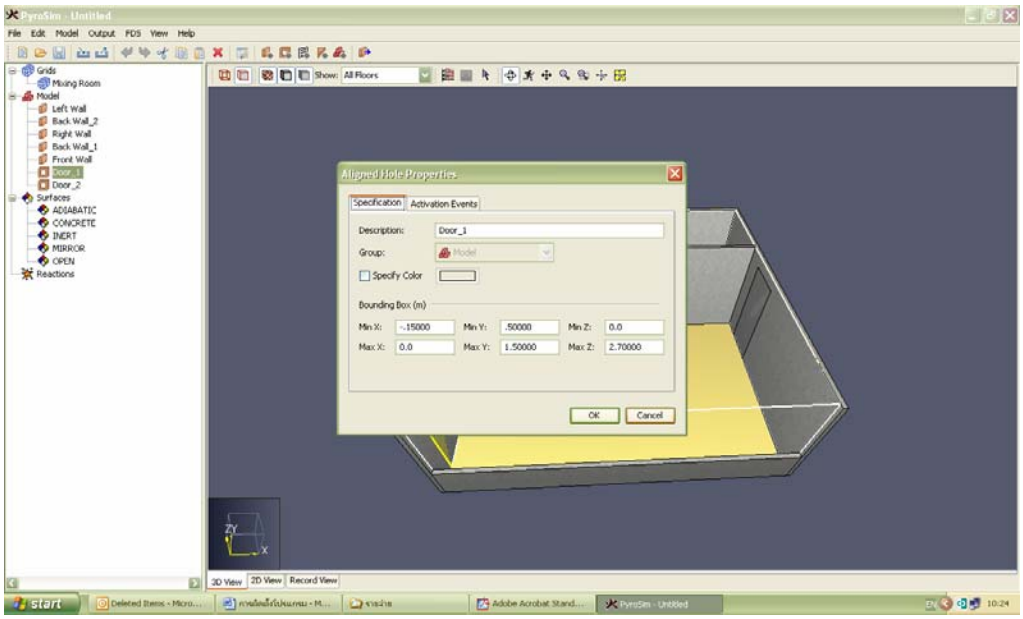


ภาพผนวกที่ ค14 แสดงขอบเขตของห้องผสม

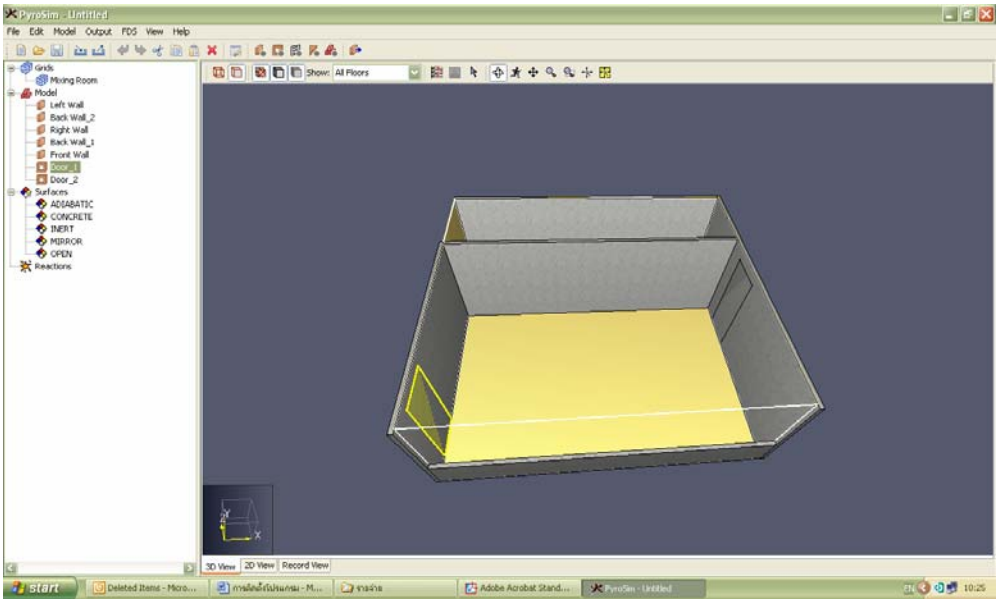
2. ทำการสร้างผนังของห้อง กำหนดให้ผนังของห้องหนา 10 ซม. โดยไปที่คำสั่ง Model คลิกที่ Edit Surface Library ใน Liberly Surface ให้คลิกเลือก Concrete จากนั้นคลิกที่แถบ 2D ที่มุมด้านล่างซ้ายของจอภาพ เลือกคำสั่ง Draw a wall จากนั้นไปคลิกที่ Tool Properties จะมีหน้าต่าง New Wall Properties ให้ใส่ตัวเลข Min Z=0, Max Z=3 และ Thickness = 0.1 แล้วเลือก Surface Prop. เป็น Concrete คลิก OK ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค15 แล้วใช้เมาส์ลากเส้นวาดผนังของห้อง จากนั้นทำการสร้างประตูของห้องโดยใช้คำสั่ง Model เลือกคำสั่ง New Hole ตั้งชื่อ Door_1 กำหนดค่า Min X= -0.15, Max X=0, Min Y=0.5, Max Y = 1.5, Min Z=0 และ Max Z=2.7 สร้าง Door_2 โดยกำหนดค่า Min X= 8, Max X=8.15, Min Y=3.5, Max Y = 4.5, Min Z=0 และ Max Z=2.7 ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค16 จะได้ภาพตามที่ปรากฏในภาพผนวกที่ ค17



ภาพผนวกที่ ค15 แสดงผลของการสร้างผนังห้องของห้องผสม

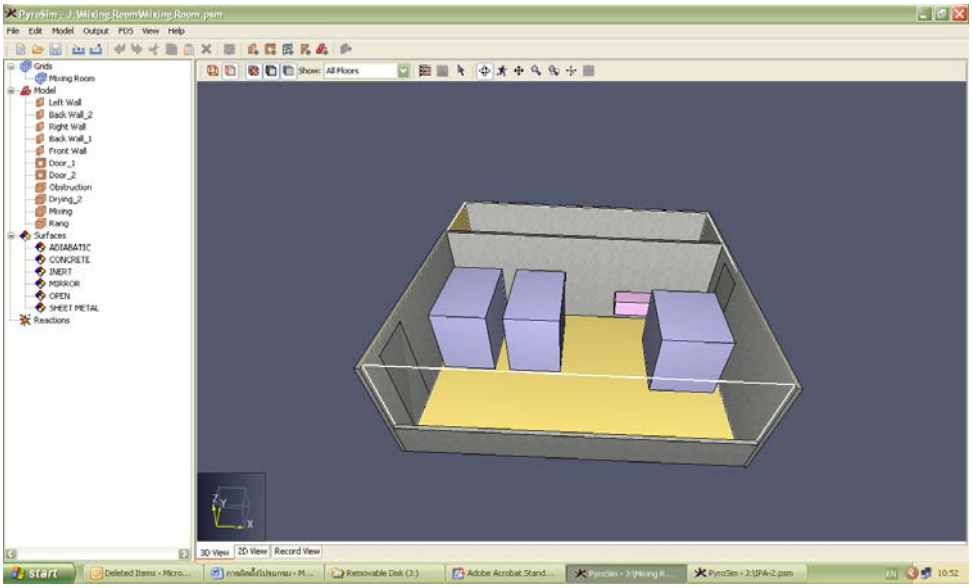


ภาพผนวกที่ ค16 แสดงการสร้างประตูห้องของห้องผสม



ภาพผนวกที่ ค17 แสดงผลของการสร้างประตูห้องของห้องผสม

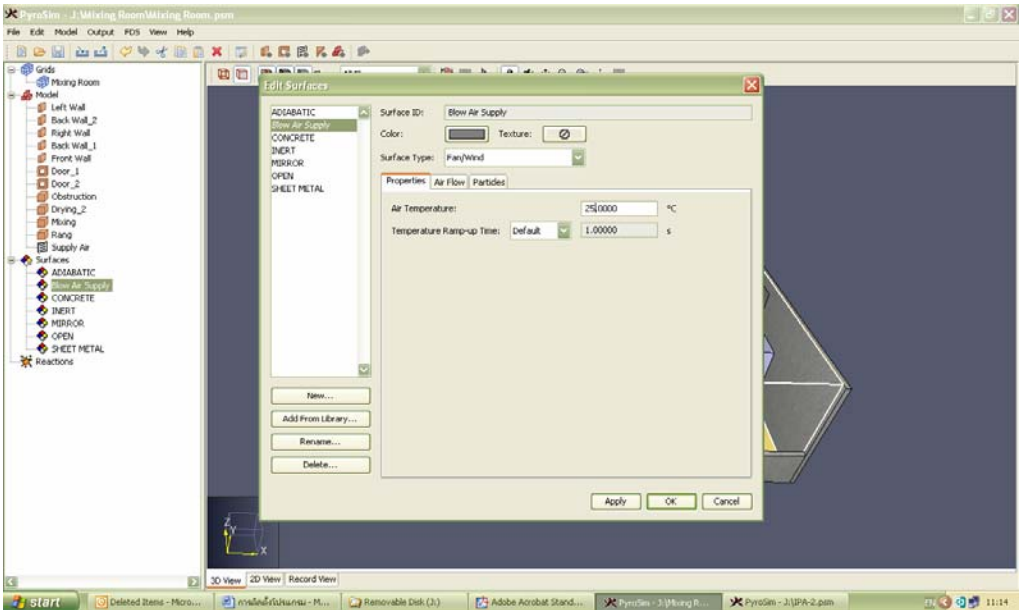
3. ทำการสร้างภาพเสมือนของเครื่องจักรภายในห้องผสม โดยใช้กลุ่มคำสั่ง Model เลือก New Obstruction สร้างเครื่อง อบแห้งที่ 1 โดยตั้งชื่อเป็น Drying_1 กำหนด Min X= 0.1, Max X= 1.56, Min Y= 2.5, Max Y= 4.7, Min Z = 0 และ Max Z = 2 สร้างเครื่อง อบแห้งที่ 2 โดยตั้งชื่อเป็น Drying_2 กำหนด Min X= 2, Max X= 3.45, Min Y= 2.5, Max Y= 4.7, Min Z = 0 และ Max Z = 2 สร้างเครื่องผสม โดยตั้งชื่อเป็น Mixing กำหนด Min X= 6, Max X= 7.8, Min Y= 2, Max Y= 4, Min Z = 0 และ Max Z = 2 สร้างหัวแร่งที่เครื่องผสม โดยตั้งชื่อเป็น Rang กำหนด Min X= 5, Max X= 6.5, Min Y= 4, Max Y= 4.5, Min Z = 1 และ Max Z = 1.5 ซึ่งจะได้ผลตามภาพผนวกที่ ค18



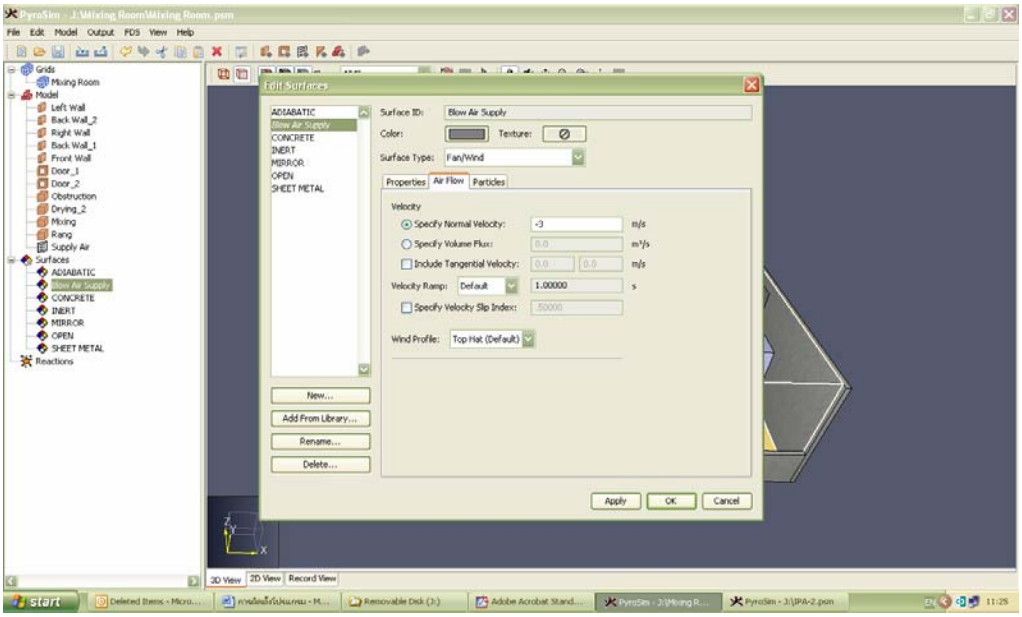
ภาพผนวกที่ ค18 แสดงผลของการสร้างเครื่องจักรภายในห้องผสม

4. ทำการสร้างปล่องจ่ายอากาศ, ปล่องดูดลมกลับ และจุดที่มีการฟุ้งกระจายของ IPA พร้อมกำหนดคุณสมบัติของชนิดก่อนโดยการใช้กลุ่มคำสั่ง Model ไปที่ Edit Surface Properties จะปรากฏหน้าต่าง Edit Surface ขึ้นมา คลิกที่ New ตั้งชื่อ Surface ปล่องจ่ายอากาศ เป็น Blow Air Supply คลิก OK เลือก Surface Type เป็น Fan/wind จะปรากฏแถบคำสั่งด้านล่าง 3 แถบ แถบแรกให้กำหนด Properties ใส่ค่าอุณหภูมิเป็น 25 ˚C ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค19 แถบที่ 2 ให้กำหนดค่า Air Flow ใส่ค่า Specify Normal Velocity เป็น -3 เมตร/วินาที ที่ต้องใส่ค่าลบเนื่องจากเป็นการเป่าลมเข้าไปภายในห้อง ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค20 แถบที่ 3 ให้กำหนดค่า Particles คลิกเลือก Emit Particles จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Edit Particles จะปรากฏหน้าต่าง Edit Particles ขึ้นมาให้คลิกเลือกที่ New ตั้งชื่อว่า Air Supply จากนั้นใส่ค่าตัวเลขตามรายละเอียดในตาราง ดังแสดงตัวอย่างในภาพผนวกที่ ค21

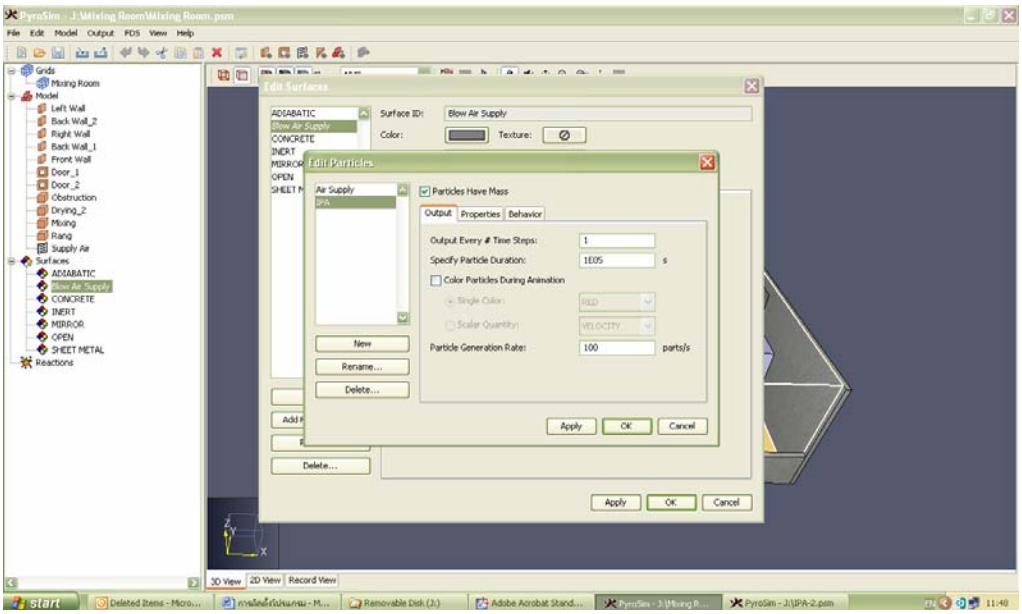
ทำการสร้างปล่องระบายอากาศโดยใช้กลุ่มคำสั่ง Model เลือก New Vent พร้อมกำหนดค่าดังนี้ สร้างปล่องจ่ายอากาศ โดยตั้งชื่อเป็น Supply Air กำหนด Lies in the plane Y = 5, Min X= 1, Max X= 3, Min Z = 2.6 และ Max Z = 2.8 สร้างปล่องดูดลมกลับ โดยตั้งชื่อเป็น Air Return กำหนด Lies in the plane Y = 5, Min X= 5, Max X= 7, Min Z = 2.6 และ Max Z = 2.8 พร้อมทั้งกำหนดความเร็วลมในการดูดกลับเท่า 1.5 เมตร/วินาที สร้างจุดที่มีการฟุ้งกระจายของ IPA โดยตั้งชื่อเป็น Vent IPA กำหนด Lies in the plane Z = 1, Min X= 5, Max X= 5.1, Min Y = 4 และ Max Y = 4.5 ซึ่งจะได้ผลตามภาพผนวกที่ ค22



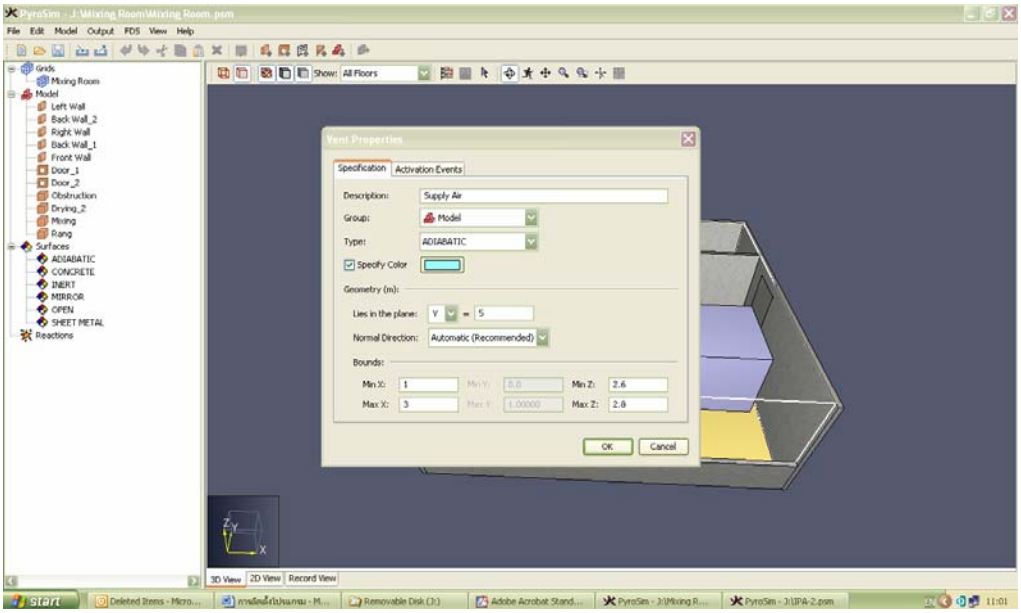
ภาพผนวกที่ ค19 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของ Surface ในแถบของ Properties



ภาพผนวกที่ ค20 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของ Surface ในแถบของ Air Flow

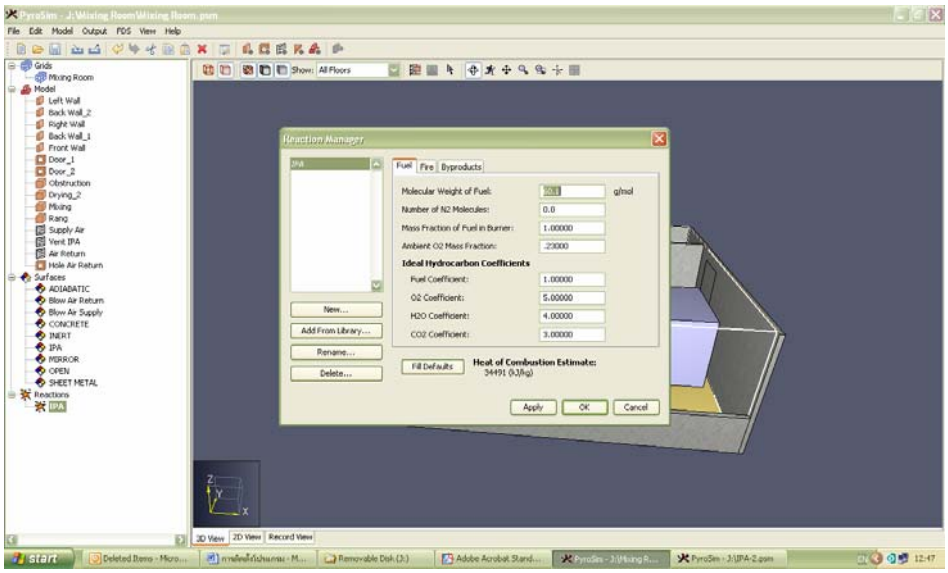


ภาพผนวกที่ ค21 แสดงตัวอย่างการกำหนดคุณสมบัติของ Particles



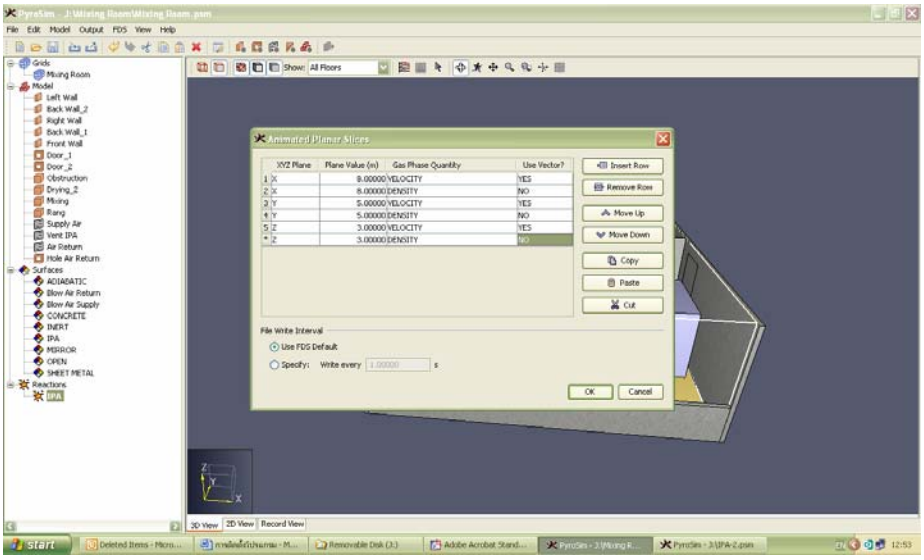
ภาพผนวกที่ ค22 แสดงตัวอย่างการกำหนดคุณสมบัติของการใช้คำสั่ง New Vent เพื่อสร้างปล่องระบายอากาศ

5. ทำการสร้าง Reaction ตั้งชื่อเป็น IPA ใส่ค่ามวลโมเลกุลของ IPA = 60.1 ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค23

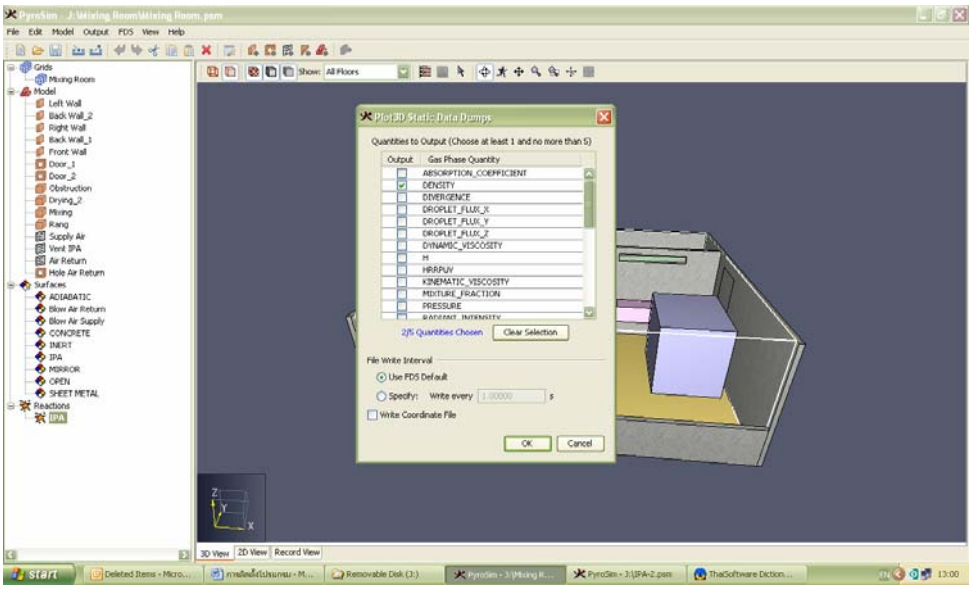


ภาพผนวกที่ ค23 แสดงหน้าต่างการกำหนดคุณสมบัติของ Reaction IPA

6. กำหนดค่าการแสดงผลไปที่กลุ่มคำสั่ง Output เลือก Slice กำหนดค่าดังแสดงในภาพผนวกที่ ค24 จากนั้นไปเลือกคำสั่ง Plot 3D Data เลือกคำสั่งที่เราสนใจคือ Density กับ Velocity ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค25

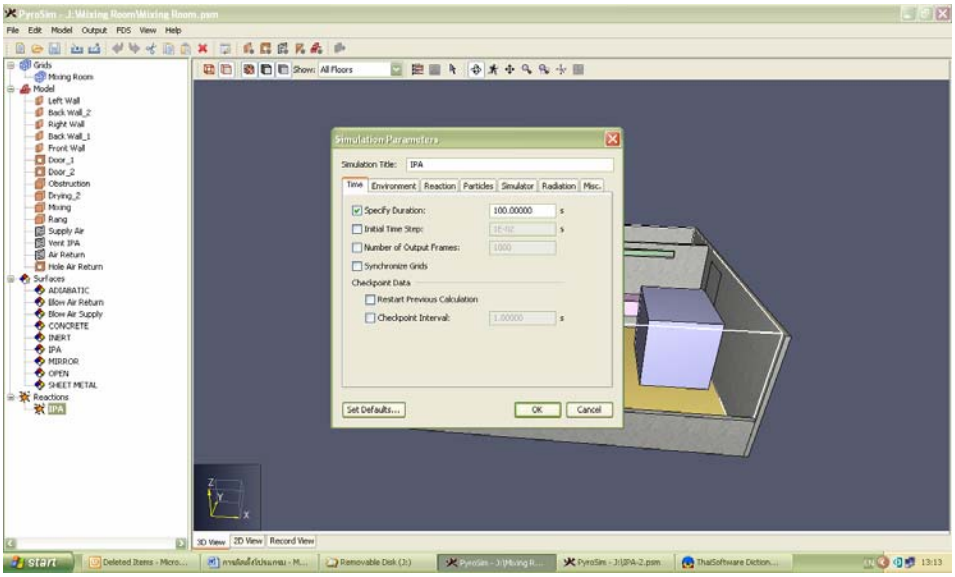


ภาพผนวกที่ ค24 แสดงหน้าต่างการกำหนดคุณสมบัติของ Animated Planar Slices

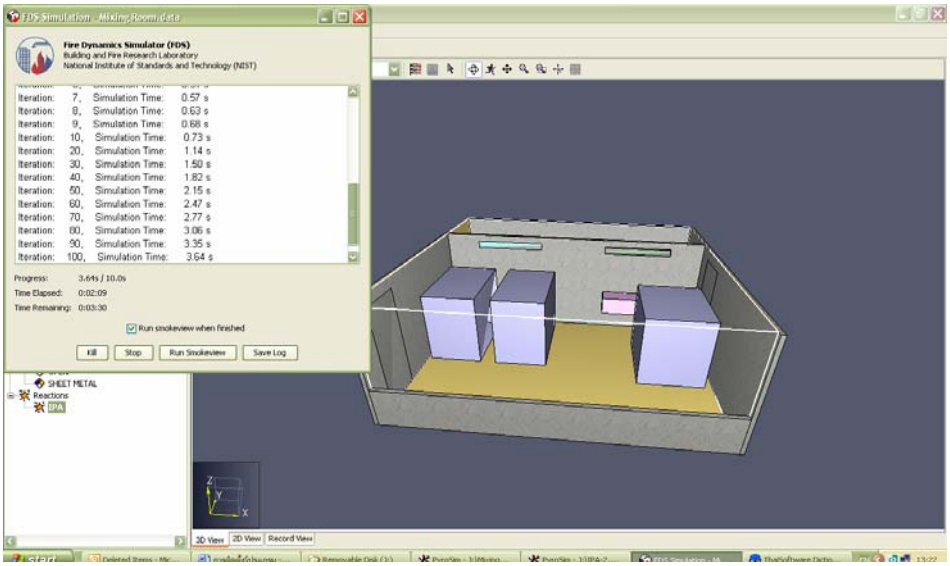


ภาพผนวกที่ ค25 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าในการแสดงผล

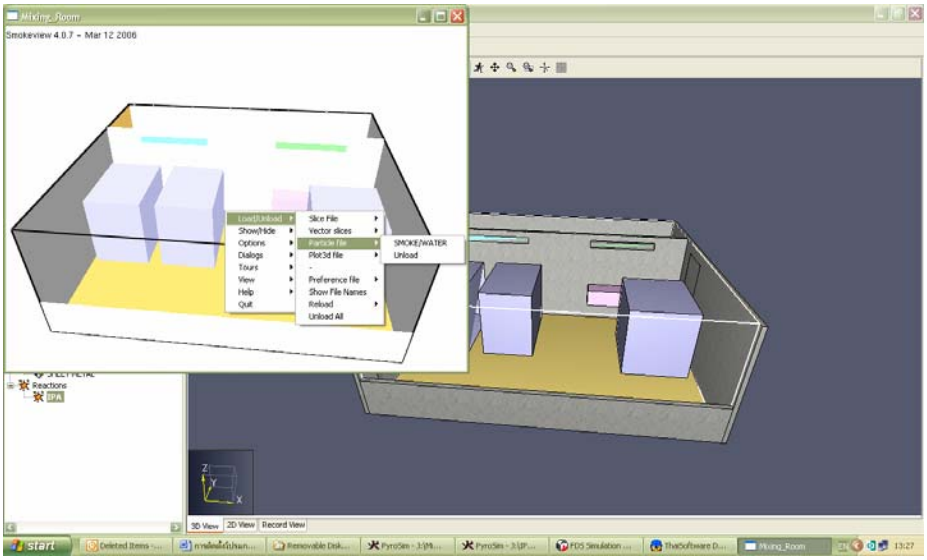
7. กำหนดค่าให้กับโปรแกรม FDS ในการประมวลผล โดยไปที่กลุ่มคำสั่ง FDS เลือก Simulation Parameter แถบคำสั่ง Time ใส่เวลา 100 วินาที แถบ Environment ใส่ค่า Ambient Temperature 25 Ċ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค26 จากนั้นไปที่คำสั่ง Run FDS โปรแกรมจะให้บันทึกข้อมูล ทำการบันทึกข้อมูล เสร็จแล้วโปรแกรมจะทำการประมวลผล ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค27 เมื่อโปรแกรมทำการประมวลผลเสร็จแล้วจะ Run Smokeview ให้อัตโนมัติ คลิกขวาไปที่คำสั่ง Load/Unload ไปที่ Particles File เลือก Smoke/Water ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค28 และจะได้ภาพจำลองดังแสดงในภาพผนวกที่ ค29



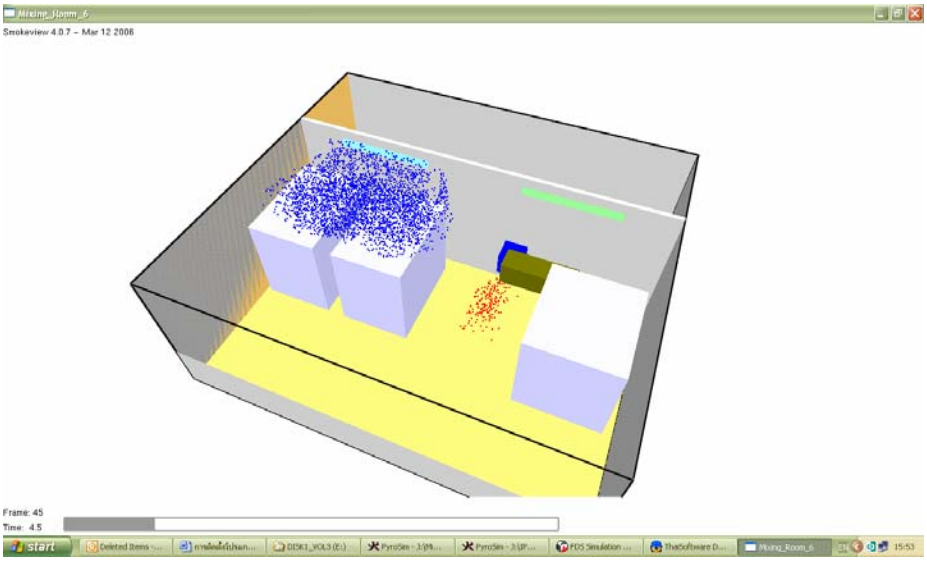
ภาพผนวกที่ ค26 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าในการประมวลผล



ภาพผนวกที่ ค27 แสดงการประมวลผลของโปรแกรม FDS



ภาพผนวกที่ ค28 แสดงการใช้คำสั่งเพื่อดูภาพจำลอง



ภาพผนวกที่ ค29 แสดงภาพจำลอง

ภาคผนวก ง

ข้อมูลความปลอดภัยของ IPA

Shell Chemicals

Data Sheet	Issued: 07-Dec-2005

Product Name **Isopropyl alcohol**

Product Code **S1111** **Asia Pacific**

Product Category Alcohols

CAS Registry Number 67-63-0

Description

Isopropyl alcohol (IPA) is a solvent for epoxy and acrylic resins, ethyl cellulose, polyvinyl butyral, alkaloids, gums, shellac, natural resins, and many essential oils. It functions as a latent solvent in solvent systems for nitrocellulose. It is a medium evaporating solvent and is completely miscible with most solvents.

Typical Properties

Property	Unit	Method	Value
Density @20°C	kg/L	ASTM D4052	0.785
Cubic Expansion Coefficient @20°C	(10^-4)/°C	-	11
Refractive Index @20°C	-	ASTM D1218	1.378
Distillation, IBP	°C	ASTM D1078	81.8
Distillation, DP	°C	ASTM D1078	82.8
Relative Evaporation Rate (nBuAc=1)	-	ASTM D3539	1.5
Antoine Constant A #	kPa, °C	-	6.86618
Antoine Constant B #	kPa, °C	-	1360.13
Antoine Constant C #	kPa, °C	-	197.592
Antoine Constants: Temperature range	°C	-	-10 to +90
Vapor Pressure @20°C	kPa	Calculated	4.1
Vapor Pressure @50°C	kPa	Calculated	24
Saturated Vapor Concentration @20°C	g/m³	Calculated	101
Flash Point	°C	IP 170	12
Auto Ignition Temperature	°C	ASTM E659	425
Explosion Limit: Lower	%v/v	-	2
Explosion Limit: Upper	%v/v	-	12
Hildebrand Solubility Parameter	(cal/cm³)^½	-	11.5
Hydrogen Bonding Index	-	-	-16.7

	Fractional Polarity	-	-	0.178
	Freezing Point	°C	-	-88
	Surface Tension @20°C	mN/m	ASTM D971	22.8
	Viscosity @20°C	mPa.s	ASTM D445	2.43
	Dielectric Constant @20°C	-	-	18.6
	Electrical Conductivity @20°C	pS/m	ASTM D4308	6*10^6
	Heat of Combustion (Net) @25°C	kJ/kg	-	31000
	Heat of Vaporization @Tboil	kJ/kg	-	664
	Specific Heat @20°C	kJ/kg/°C	-	2.56
	Thermal Conductivity @20°C	W/m/°C	-	0.14
	Azeotrope with Water: Boiling Point	°C	-	80.3
	Azeotrope with Water: Solvent Content	% m/m	-	87.4
	Miscibility @20°C: Solvent in Water	% m/m	-	Complete
	Miscibility @20°C: Water in Solvent	% m/m	-	Complete
	Molecular Weight	g/mol	-	60

(#) In the Antoine temperature range, the vapor pressure P (kPa) at temperature T (°C) can be calculated by means of the Antoine equation: log P = A - B/(T+C)

Test Methods

Copies of copyrighted test methods can be obtained from the issuing organisations:

American Society for Testing and Materials (ASTM) : www.astm.org
Energy Institute (IP) : www.energyinst.org.uk
Deutsches Institut für Normung (DIN) : www.din.de

Shell Method Series (SMS) methods are issued by Shell International Chemicals B.V., Shell Research and Technology Centre, Amsterdam, The Netherlands. Copies of SMS can be obtained through your local Shell Chemicals company.

For routine quality control analyses, local test methods may be applied that are different from those mentioned in this datasheet. Such methods have been validated and can be obtained through your local Shell Chemicals company.

Quality

Isopropyl alcohol does not contain detectable quantities of polycyclic aromatics, heavy metals or chlorinated compounds.

Storage and Handling

Provided proper storage and handling precautions are taken we would expect Isopropyl alcohol to be technically stable for at least 12 months. For detailed advice on Storage and Handling please refer to the Material Safety Data Sheet on www.shell.com/chemicals.

Hazard Information

For detailed Hazard Information please refer to the Material Safety Data Sheet on www.shell.com/chemicals.

Warranty

All products purchased or supplied by Shell are subject to terms and conditions set out in the contract, order acknowledgment and/or bill of lading. Shell warrants that its product will meet those specifications designated as such herein or in other publications. All other information including that herein, supplied by Shell is considered accurate but is furnished upon the express condition that the customer shall make its own assessment to determine the products suitability for a particular purpose. Shell makes no other warranty either expressed or implied, regarding such other information, the data upon which the same is based, or the results to be obtained from use thereof; that any products shall be merchantable or fit for any purpose; or that the use of such other information or product will not infringe any patent.

The expression 'Shell Chemicals' refers to the companies of the Royal Dutch/Shell Group which are engaged in chemical businesses. Each of the companies which make up the Royal Dutch/Shell Group of companies is an independent entity and has its own separate identity.

SIGMA-ALDRICH

Material Safety Data Sheet

Date Printed: 16/DEC/2004
Date Updated: 07/APR/2004
Version 2.0
According to 91/155/EEC

1 - Product and Company Information

Product Name	2-PROPANOL, 99.9%, PRA GRADE
Product Number	324086
Company	Sigma-Aldrich Pte Ltd #08-01 Citilink Warehouse Singapore 118529 Singapore
Technical Phone #	65 271 1089
Fax	65 271 1571

2 - Composition/Information on Ingredients

Product Name	CAS #	EC no	Annex I Index Number
2-PROPANOL	67-63-0	200-661-7	603-117-00-0

Formula	C3H8O
Molecular Weight	60.1 AMU
Synonyms	Alcool isopropilico (Italian) * Alcool isopropylique (French) * Alcojel * Alcosolve * Avantin * Avantine * Combi-schutz * Dimethylcarbinol * Hartosol * 2-Hydroxypropane * Imsol A * Isohol * Isopropanol * Isopropyl alcohol (ACGIH:OSHA) * Iso-propylalkohol (German) * IPS 1 (alcohol) * Lutosol * 1-Methylethanol * 1-Methylethyl alcohol * Petrohol * PRO * 2-Propanol * i-Propanol (German) * n-Propan-2-ol * sec-Propyl alcohol * 2-Propyl alcohol * i-Propylalkohol (German) * Spectrar * Sterisol hand disinfectant * Takineocol * Virahol * isopropanol

3 - Hazards Identification

SPECIAL INDICATION OF HAZARDS TO HUMANS AND THE ENVIRONMENT
Highly flammable. Irritating to eyes. Vapors may cause drowsiness and dizziness.

4 - First Aid Measures

AFTER INHALATION
If inhaled, remove to fresh air. If not breathing give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen.

AFTER SKIN CONTACT
In case of contact, immediately wash skin with soap and copious amounts of water.

AFTER EYE CONTACT
In case of contact, immediately flush eyes with copious amounts

of water for at least 15 minutes.

AFTER INGESTION
If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

5 - Fire Fighting Measures

EXTINGUISHING MEDIA
Suitable: Water spray. Carbon dioxide, dry chemical powder, or appropriate foam.

SPECIAL RISKS
Specific Hazard(s): Flammable liquid. Emits toxic fumes under fire conditions.
Explosion Hazards: Vapor may travel considerable distance to source of ignition and flash back. Container explosion may occur under fire conditions.

SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR FIREFIGHTERS
Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

SPECIFIC METHOD(S) OF FIRE FIGHTING
Use water spray to cool fire-exposed containers.

6 - Accidental Release Measures

PERSONAL PRECAUTION PROCEDURES TO BE FOLLOWED IN CASE OF LEAK OR SPILL
Evacuate area. Shut off all sources of ignition. Use nonsparking tools.

PROCEDURE(S) OF PERSONAL PRECAUTION(S)
Wear self-contained breathing apparatus, rubber boots, and heavy rubber gloves.

METHODS FOR CLEANING UP
Cover with dry-lime, sand, or soda ash. Place in covered containers using non-sparking tools and transport outdoors. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7 - Handling and Storage

HANDLING
Directions for Safe Handling: Do not breathe vapor. Do not get in eyes, on skin, on clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.

STORAGE
Conditions of Storage: Keep tightly closed. Keep away from heat, sparks, and open flame. Store in a cool dry place. Handle and store under nitrogen.

SPECIAL REQUIREMENTS: Handle and store under inert gas.
Hygroscopic.

8 - Exposure Controls / Personal Protection

ENGINEERING CONTROLS
Safety shower and eye bath. Use nonsparking tools. Mechanical exhaust required.

GENERAL HYGIENE MEASURES
Remove and wash contaminated clothing promptly. Wash thoroughly after handling.

EXPOSURE LIMITS

Country	Source	Type	Value
Poland		NDS	900 MG/M3
Poland		NDSCh	1200 MG/M3
Poland		NDSP	-

EXPOSURE LIMITS - DENMARK

	Source	Type	Value
	OEL	TWA	490 mg/m3
			200 ppm

Remarks: H

EXPOSURE LIMITS - GERMANY

	Source	Type	Value
	TRGS 900	OEL	500 mg/m3

Remarks: 4
Remarks: Y

EXPOSURE LIMITS - NORWAY

	Source	Type	Value
		OEL	245 mg/m3
			100 ppm

EXPOSURE LIMITS - SWEDEN

	Source	Type	Value
		LLV (Level	350 mg/m3
			150 ppm

EXPOSURE LIMITS - SWITZERLAND

	Source	Type	Value
	OEL	OEL	490 mg/m3
			200 ppm

Remarks: C M

EXPOSURE LIMITS - UNITED KINGDOM

	Source	Type	Value
	OEL	OEL	999 mg/m3
			40 ppm
	OEL	STEL	1,250 mg/m3
			500 ppm

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT
Respiratory Protection: Government approved respirator.
Hand Protection: Compatible chemical-resistant gloves.
Eye Protection: Chemical safety goggles.

9 - Physical and Chemical Properties

Appearance	Physical State: Liquid Color: Colorless

Property	Value	At Temperature or Pressure
pH	N/A	
BP/BP Range	81 - 83 °C	
MP/MP Range	-89.5 °C	
Flash Point	12 °C	Method: closed cup

Flammability	N/A	
Autoignition Temp	399 °C	
Oxidizing Properties	N/A	
Explosive Properties	N/A	
Explosion Limits	Lower: 2.5 % Upper: 12 %	
Vapor Pressure	33 mmHg	20 °C
SG/Density	0.785 g/cm3	
Partition Coefficient	Log Kow: 0.05	
Viscosity	2.27 Pas	20 °C
Vapor Density	2.1 g/l	
Saturated Vapor Conc.	N/A	
Evaporation Rate	3	
Bulk Density	N/A	
Decomposition Temp.	N/A	
Solvent Content	N/A	
Water Content	0.003 %	
Surface Tension	20,800 mN/m	25 °C
Conductivity	N/A	
Miscellaneous Data	N/A	
Solubility	Solubility in Water:Complete	

10 - Stability and Reactivity

STABILITY
Stable: Stable.
Conditions of Instability: May form peroxides of unknown stability.
Materials to Avoid: Oxidizing agents, Acids, Acid anhydrides, Halogens, Aluminum.

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS
Hazardous Decomposition Products: Carbon monoxide, Carbon dioxide.

HAZARDOUS POLYMERIZATION
Hazardous Polymerization: Will not occur

11 - Toxicological Information

RTECS NUMBER: NT8050000

ACUTE TOXICITY

LDLO
Oral
Man
5272 mg/kg
Remarks: Behavioral:Coma. Vascular:BP lowering not charactertized in autonomic section. Lungs, Thorax, or Respiration:Chronic pulmonary edema.

LDLO
Oral
Human
3570 mg/kg
Remarks: Behavioral:Coma. Lungs, Thorax, or Respiration:Respiratory depression. Gastrointestinal:Nausea or vomiting.

LD50
Oral
Rat
5045 mg/kg

Remarks: Behavioral:Altered sleep time (including change in righting reflex). Behavioral:Somnolence (general depressed activity).

LC50
Inhalation
Rat
16,000 ppm
8H

LD50
Intraperitoneal
Rat
2735 MG/KG

LD50
Intravenous
Rat
1088 MG/KG

LD50
Oral
Mouse
3600 mg/kg
Remarks: Behavioral:Altered sleep time (including change in righting reflex). Behavioral:Somnolence (general depressed activity).

LD50
Intraperitoneal
Mouse
4477 MG/KG

LD50
Intravenous
Mouse
1509 MG/KG

LD50
Oral
Rabbit
6410 mg/kg

LD50
Skin
Rabbit
12800 mg/kg

LD50
Intraperitoneal
Rabbit
667 MG/KG

LD50
Intravenous
Rabbit
1184 MG/KG

LD50
Intraperitoneal
Guinea pig
2560 MG/KG

LD50
Intraperitoneal
Hamster
3444 MG/KG

IRRITATION DATA

Skin
Rabbit
500 mg
Remarks: Mild irritation effect

Eyes
Rabbit
100 mg
Remarks: Severe irritation effect

Eyes
Rabbit
10 mg
Remarks: Moderate irritation effect

Eyes
Rabbit
100 mg
24H
Remarks: Moderate irritation effect

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE
Can cause CNS depression. Prolonged exposure can cause: Nausea, headache, and vomiting. Narcotic effect. Drowsiness. To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

ROUTE OF EXPOSURE
Skin Contact: Causes skin irritation.
Skin Absorption: May be harmful if absorbed through the skin.
Eye Contact: Causes eye irritation.
Inhalation: May be harmful if inhaled. Material may be irritating to mucous membranes and upper respiratory tract.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

TARGET ORGAN INFORMATION
Nerves. Kidneys. Cardiovascular system. G.I. System.
Overexposure may cause mild, reversible liver effects.

CHRONIC EXPOSURE - CARCINOGEN
Result: This product is or contains a component that is not classifiable as to its carcinogenicity based on its IARC, ACGIH, NTP, or EPA classification.

IARC CARCINOGEN LIST

Rating: Group 3

CHRONIC EXPOSURE - MUTAGEN

Rat
1030 UG/M3/16W-I
Inhalation
Cytogenetic analysis

CHRONIC EXPOSURE - TERATOGEN

Species: Rat
Dose: 8 GM/KG
Route of Application: Oral
Exposure Time: (6-15D PREG)
Result: Effects on Embryo or Fetus: Fetotoxicity (except death, e.g., stunted fetus).

Species: Rat
Dose: 32400 UG/KG
Route of Application: Oral
Exposure Time: (26W PRE)
Result: Effects on Embryo or Fetus: Fetal death.

Species: Rat
Dose: 3500 PPM/7H
Route of Application: Inhalation
Exposure Time: (1-19D PREG)
Result: Effects on Embryo or Fetus: Fetotoxicity (except death, e.g., stunted fetus).

Species: Rat
Dose: 7000 PPM/7H
Route of Application: Inhalation
Exposure Time: (1-19D PREG)
Result: Specific Developmental Abnormalities: Musculoskeletal system.

CHRONIC EXPOSURE - REPRODUCTIVE HAZARD

Species: Rat
Dose: 11340 MG/KG
Route of Application: Oral
Exposure Time: (45D PRE)
Result: Maternal Effects: Menstrual cycle changes or disorders.

Species: Rat
Dose: 5040 MG/KG
Route of Application: Oral
Exposure Time: (1-20D PREG)
Result: Effects on Fertility: Litter size (e.g.; # fetuses per litter; measured before birth).

Species: Rat
Dose: 3500 GM/KG
Route of Application: Oral
Exposure Time: (MULTIGENERATION)
Result: Effects on Fertility: Mating performance (e.g., # sperm positive females per # females mated; # copulations per # estrus cycles).

Species: Rat
Dose: 10000 PPM/7H
Route of Application: Inhalation
Exposure Time: (1-19D PREG)
Result: Effects on Fertility: Pre-implantation mortality (e.g., reduction in number of implants per female; total number of implants per corpora lutea). Effects on Fertility: Post-implantation mortality (e.g., dead and/or resorbed implants per total number of implants). Effects on Embryo or Fetus: Fetal

death.

Species: Rabbit
Dose: 6240 MG/KG
Route of Application: Oral
Exposure Time: (6-18D PREG)
Result: Maternal Effects: Other effects.

12 - Ecological Information

ECOTOXICOLOGICAL EFFECTS

Test Type: LC50 Fish
Species: Pimephales promelas (Fathead minnow)
Time: 96 h
Value: 9,640 mg/l

Test Type: EC50 Daphnia
Species: Daphnia magna
Time: 24 h
Value: 5,102 mg/l

Test Type: EC50 Algae
Species: Scenedesmus subspicatus
Time: 72 h
Value: > 2,000 mg/l

Test Type: EC50 Algae
Time: 24 h
Value: > 1,000 mg/l

13 - Disposal Considerations

SUBSTANCE DISPOSAL
Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. Burn in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber but exert extra care in igniting as this material is highly flammable. Observe all federal, state, and local environmental regulations.

14 - Transport Information

RID/ADR
UN#: 1219
Class: 3
PG: II
Proper Shipping Name: Isopropanol

IMDG
UN#: 1219
Class: 3
PG: II
Proper Shipping Name: Isopropanol
Marine Pollutant: No
Severe Marine Pollutant: No

IATA
UN#: 1219
Class: 3
PG: II
Proper Shipping Name: Isopropanol
Inhalation Packing Group I: No

15 - Regulatory Information

CLASSIFICATION AND LABELING ACCORDING TO EU DIRECTIVES
ANNEX I INDEX NUMBER: 603-117-00-0
NOTA: C
INDICATION OF DANGER: F Xi
Highly Flammable. Irritant.
R-PHRASES: 11 36 67
Highly flammable. Irritating to eyes. Vapors may cause drowsiness and dizziness.
S-PHRASES: 7 16 24/25 26
Keep container tightly closed. Keep away from sources of ignition - no smoking. Avoid contact with skin and eyes. In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice.

COUNTRY SPECIFIC INFORMATION

Germany
WGK: 1

SWITZERLAND
SWISS POISON CLASS: FREI

NORWAY

Labelling for organic solvents where the package is 1liter or more.
YL-tall m3/l: 4514
YL-group: 5
Risk phrases: 20
Harmful by inhalation.
Safety phrases: 38 42 210
In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment. During fumigation/spraying wear suitable respiratory equipment. Use compressed air- or fresh air line breathing apparatus in confined spaces.

16 - Other Information

WARRANTY
The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Inc., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.
Copyright 2004 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

DISCLAIMER
For R&D use only. Not for drug, household or other uses.

ภาคผนวก จ

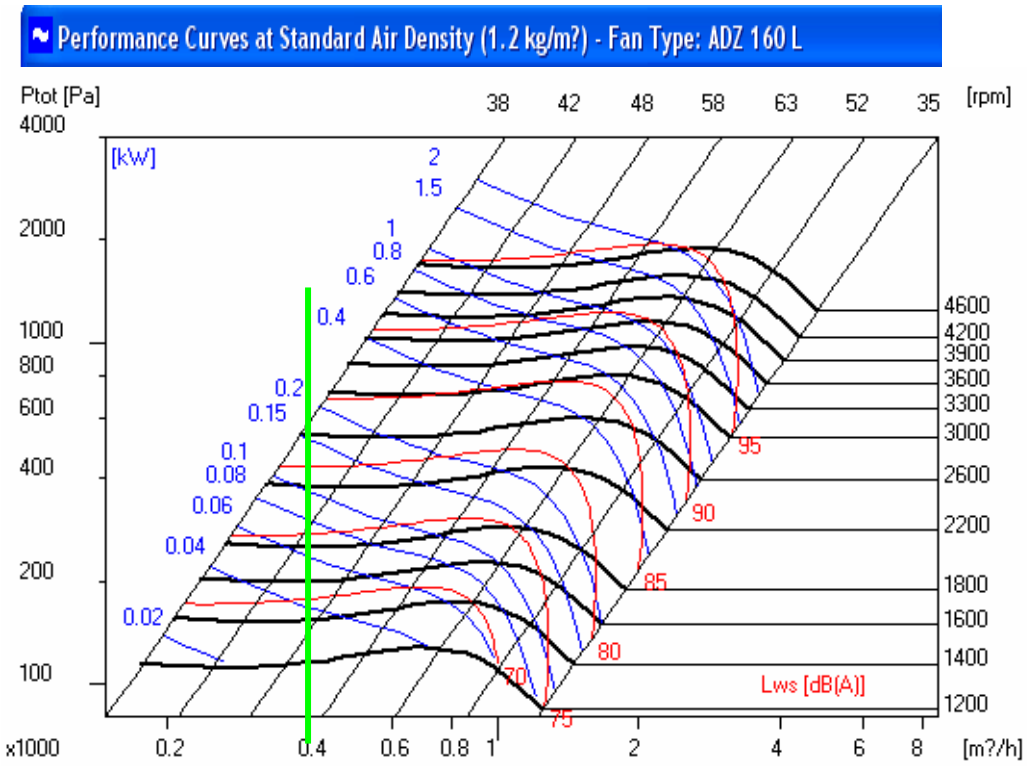
แสดงวิธีการเลือกขนาด Air Blower

แสดงวิธีการเลือกขนาด Air Blower

จากความเร็วลมที่เหมาะสม 6 เมตรต่อวินาที ให้หาปริมาตรอากาศเพื่อหาขนาด Air Blower ดังนี้

$$
\begin{aligned}
Q &= VA \\
&= 6\ m/\sec. \times 0.0182\ m^2 \\
&= 0.1\ m^3/\sec \\
&= 360\ m^3/hr.
\end{aligned}
$$

เมื่อได้ค่า Q แล้วไปดูที่กราฟแสดงสมรรถนะของ Air Blower ดูที่แกน X จะมีหน่วยเป็น $m^3/hr.$ ให้ลากเส้นตรงสีเขียวจาก 0.4 ขึ้นไปตัดกับเส้นต่าง ๆ ในกราฟ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ง1 จะเห็นเส้นตรงสีเขียวตัดกับเส้นสีดำที่ 1,400 rpm ตัดกับเส้นสีน้ำเงินที่ 0.04 kW ตัดกับเส้นสีแดงที่ 70 dBA ก็จะได้ขนาด Air Blower คือ ให้ปริมาตรอากาศ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบ 1,400 rpm มีกำลังขับที่ 0.04 kW มีระดับความดังของเสียงที่ 70 dBA



ภาพผนวกที่ จ1 แสดงการเลือกขนาด Air Blower

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางพิศมัย จันทรมัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 10 มกราคม 2517
สถานที่เกิด	อุบลราชธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์สุขาภิบาล) มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พ.ศ.2539)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	รักษาการผู้จัดการฝ่ายความปลอดภัยและอาชีวอนามัย