



การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เพื่อลดปริมาณยาดมสลบ  
ในห้องผ่าตัด

**A pilot model design of a local exhaust ventilation system to decrease the levels  
of anesthesia agents in an operation room**

นงลักษณ์ พิพิธสุนทรสานต์

**Nonglak Pipithsuntornsan**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาชีวเวชศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Occupational Medicine**

**Prince of Songkla University**

**2560**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เพื่อลดปริมาณยาดมสลบ  
ในห้องผ่าตัด

**A pilot model design of a local exhaust ventilation system to decrease the levels  
of anesthesia agents in an operation room**

นางลักษณ์ พิพิธสุนทรสานต์

**Nonglak Pipithsuntornsan**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาชีวเวชศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Occupational Medicine**

**Prince of Songkla University**

**2560**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์                      การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เพื่อลดปริมาณ  
 ยادمสลบในห้องผ่าตัด

ผู้เขียน                                      นางสาวนงลักษณ์ พิพิธสุนทรสานต์

สาขาวิชา                                    อาชีวเวชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติวร ชูสง)	.....ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.แพทย์หญิงพิชญา พรรคทองสุข)
.....	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำนงค์ ธนะภพ)
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล)	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติวร ชูสง)
.....	.....กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาชีวเวชศาสตร์

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี  
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติวร ชูสง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวนงลักษณ์ พิพิธสุนทรสานต์)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวนงลักษณ์ พิพิธสุนทรสานต์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ เพื่อลดปริมาณยาผสมในห้องพักตัด
ผู้เขียน	นางสาวนงลักษณ์ พิพิธสุนทรสานต์
สาขาวิชา	อาชีวเวชศาสตร์
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

บุคลากรทางการแพทย์ โดยเฉพาะวิสัญญีแพทย์และวิสัญญีพยาบาลที่ทำงานในห้องผ่าตัด อาจได้รับสัมผัส Nitrous oxide และ Sevoflurane ปริมาณสูงในขณะที่ดมยาสลบผู้ป่วยเด็กโดยการครอบหน้ากากไม่แนบสนิทและมีการรั่วไหลของยาสลบบริเวณวาล์วและข้อต่อต่างๆของเครื่องให้ยาสลบ รวมทั้งการไม่สามารถปฏิบัติตามมาตรฐานการทำงาน ทำให้ยังคงพบว่ามีกรได้รับสัมผัสยาสลบส่วนเกินสูงกว่าค่าขีดจำกัดการสัมผัสทางอาชีวอนามัย 5 เท่าในระหว่างการดมยาสลบ แม้ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงระบบต่างๆให้ดีขึ้น ดังนั้นอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation, LEV) จึงได้พัฒนาขึ้นเพื่อลดการได้รับสัมผัสยาสลบส่วนเกินในระหว่างการปฏิบัติงาน

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของยาสลบในห้องผ่าตัดและห้องพักฟื้นของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์และพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) เพื่อช่วยลดระดับความเข้มข้นของยาสลบ โดยดำเนินการตรวจวัดความเข้มข้นของยาสลบในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ 5 ห้อง และห้องพักฟื้น 1 ห้อง ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันที (Gasmeter รุ่น DX-4303) ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง และพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) ประกอบด้วย ฮูด ท่อ และพัดลมดูดอากาศ โดยมีค่าความเร็วจับเป็นไปตามคำแนะนำของ ACGIH คือ 1 เมตรต่อวินาที จากนั้นดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการและห้องผ่าตัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม (Velocical, TSI, Germany) ระหว่างกรกฎาคม 2557 ถึงตุลาคม 2559

จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของยาเสพติด พบว่าค่าเฉลี่ยยาเสพติดตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานมีค่าไม่เกินมาตรฐาน (8 hr-TWA) ทุกห้องยกเว้นห้องผ่าตัดศัลยกรรมประสาท พบว่าระดับซีโรฟลูออเรสเซนต์สูงกว่า 5 เท่า TWA ในระหว่างการผ่าตัดเนื่องจากการปรับท่านอนของผู้ป่วยให้สอดคล้องกับการผ่าตัด

จากการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) เป็นการออกแบบขึ้นมาครั้งแรก มีอุปกรณ์ต้นกำลัง 2 ชนิดคือเครื่องดูดฝุ่นและระบบสูญญากาศ โดยการคำนวณเบื้องต้นพบว่าค่าของความเร็วจับและความเร็วลมหน้าดูดสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) ที่ใช้ระบบสูญญากาศเท่ากับ 0.010 และ 0.211 เมตรต่อวินาทีตามลำดับและค่าของความเร็วจับและความเร็วลมหน้าดูดสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) ที่ใช้เครื่องดูดฝุ่นเท่ากับ 1 และ 18.50 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ

อย่างไรก็ตามการทดสอบประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการและห้องผ่าตัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม (Velocical, TSI, Germany) ค่าความเร็วจับที่ระยะ 25 เซนติเมตรห่างจากอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) มีค่าเท่ากับ  $0.15 \pm 0.03$  เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วลมหน้าดูดของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) ที่มีกำลัง 0.004 แรงม้า (โมเดล 1) มีค่าเท่ากับ  $0.19 \pm 0.04$  เมตรต่อวินาทีและค่าความเร็วลมหน้าดูดของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) ที่มีกำลัง 1.408 แรงม้า (โมเดล 2) มีค่าเท่ากับ  $4.42 \pm 0.38$  เมตรต่อวินาที ซึ่งผลการทดสอบค่าความเร็วลมหน้าดูดมีค่าน้อยกว่าค่าความเร็วลมที่ได้จากการคำนวณ ระดับความดังของเสียงสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) โมเดล 1 เท่ากับ 85.73 เดซิเบล และระดับความดังของเสียงสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (LEV) โมเดล 2 เท่ากับ 94.62 เดซิเบล

อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สามารถใช้งานได้แต่ต้องระมัดระวังเรื่องเสียงดัง

<b>Thesis Title</b>	A pilot model design of a local exhaust ventilation system to decrease the levels of anesthesia agents in an operation room
<b>Author</b>	Miss Nonglak Pipithsuntornsan
<b>Major Program</b>	Occupational Medicine
<b>Academic Year</b>	2016

### **ABSTRACT**

The anesthetist personnel in pediatric surgical room are exposed the high levels of both Nitrous oxide and Sevoflurane even the scavenging system was functioning, the standardized work instructions, appropriated anesthesia circuit, air circulation and ventilation system was improved. The waste anesthesia agents (WAGs) were not exceed the standard in surgical room were higher than 5 times the occupational exposure limits (OELs). Therefore, a pilot model of the local exhaust ventilation (LEV) system in operation room was developed.

This study aimed to describe the WAGs concentrations in the operation room and recovery room. The LEV system for decrease the levels of WAGs were developed and theirs performance were test. The WAGs in the 5 operation rooms and 1 recovery room were measured by the gas direct reader (Gasmeter DX-4303) along the working hours. The 8hr-time weight average were calculated and presented in this study. The LEV system including hood, piping, and suction fan. The capture velocity was met the ACGIH criteria 1 meter/second (m/s) and measured by anemometer air velocity (Velocical, TSI, Germany) during July 2014 – October 2016.

The WAGs measured in 8hr-time weight average were not exceed the standard but in the neurological surgical room were higher than 5 times the OELs because patients' position.

The first design there were 2 types of LEVs included canister vacuum fan and vacuum system were designed as the main power of LEVs system. The capture and face velocity of LEV



model 1 were calculated and set 0.010 and 0.211 meter/second (m/s), respectively and the capture and face velocity of LEV model 2 were calculated and set at 1 and 18.5 meter/second (m/s), respectively

However, the measured by anemometer air velocity the capture velocities at 25 centimeters (cm.) away from LEVs were  $0.15 \pm 0.03$  meter/second (m/s) while the face velocities of LEV model 1 was  $0.19 \pm 0.04$  meter/second (m/s) and the face velocities of LEV model 2 was  $4.42 \pm 0.38$  meter/second (m/s). The measured of face velocities less than the face velocities from calculated. The noise level of the LEV model 1 was 85.73 dBA and the noise level of the LEV model 2 was 94.62 dBA

A pilot model of LEV system was practical and useful but it was too noisy.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติวร ชูสงและรองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิฆมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ แก้ไขข้อบกพร่องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.แพทย์หญิงพิชญา พรรถทองสุขและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จ่านงค์ ธนะภพ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะแนวคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และแก้ไข ข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์ เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยอาชีวอนามัยสำหรับการให้ยืมเครื่องตรวจวัดเครื่องมือเก็บตัวอย่าง อากาศ เครื่องตรวจวัดเสียงและเครื่องวัดความเร็วลม ขอขอบคุณวิศวกรผู้เชี่ยวชาญในการตรวจรายการ คำนวณ ร่างแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ รวมทั้งทีมช่างผู้ชำนาญการในการตัด ประกอบชิ้นงาน ขอขอบคุณทีมงานเก็บตัวอย่างอากาศและทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์ต้นแบบระบบ ระบายอากาศเฉพาะที่และขอขอบคุณบุคลากรทางการแพทย์ห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ในการ สนับสนุนทุนอุดหนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว รวมถึงพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความ ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการต่อสู้ปัญหาอุปสรรคต่างๆ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

นางลัทธณ์ พิพิธสุนทรสานต์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	
1    บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
คำถามการวิจัย	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
คำจำกัดความของการวิจัย	3
กรอบแนวคิดวิจัย	4
2    การทบทวนวรรณกรรม	5
ลักษณะทั่วไปของห้องผ่าตัด	5
การใช้ยาสลบและผลกระทบต่อสุขภาพ	8
แนวทางการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่	20
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
3    วิธีการดำเนินการวิจัย	43
รูปแบบการวิจัย	43
เครื่องมือในการวิจัย	43
การควบคุมคุณภาพข้อมูลวิจัย	43
ขั้นตอนในการดำเนินการ	44
การวิเคราะห์ข้อมูล	54

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการศึกษา	55
การตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบ	55
อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่	58
การสำรวจความพึงพอใจของการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่	75
5 สรุปวิจารณ์และข้อเสนอแนะ	77
อภิปรายผลการวิจัย	78
วิจารณ์ระเบียบวิธีวิจัย	80
ข้อเสนอแนะ	81
บรรณานุกรม	82
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก สัญลักษณ์คำย่อของงานวิจัย	86
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบของ โรงพยาบาลสงขลานครินทร์	91
ภาคผนวก ค กราฟแสดงผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบ โรงพยาบาลสงขลานครินทร์	92
ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่	96
ภาคผนวก จ ตารางแบบฟอร์มรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศ เฉพาะที่	106
ภาคผนวก ฉ การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องผ่าตัด	110
ภาคผนวก ช การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1	111
ภาคผนวก ซ การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2	112
ภาคผนวก ฌ แบบสอบถามความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศ เฉพาะที่	113
ประวัติผู้เขียน	114

**รายการตาราง**

<b>ตาราง</b>	<b>หน้า</b>
2.1 ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงานของ Nitrous oxide และ Sevoflurane (ส่วนในล้านส่วน)	7
2.2 ค่าความหยาบสัมบูรณ์ของผิววัสดุที่ใช้ทำท่อในระบบระบายอากาศ	23
2.3 ค่าคงที่สำหรับสมการซึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุท่อ	23
2.4 พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนอากาศผ่านอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ	24
2.5 ความเร็วที่เหมาะสมในการจับสารมลพิษสำหรับท่อดูดอากาศแบบต่างๆ	29
2.6 แสดงขนาดของใบหน้าสำหรับใช้ในการคำนวณตามมาตรฐานMIL-STD-1472D ใช้หน่วยเซนติเมตร	31
4.1 ผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบโรงพยาบาลสงขลานครินทร์	55
4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1	59
4.3 ผลการทดสอบความเร็วลมของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1	68
4.4 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2	70
4.5 ผลการทดสอบความเร็วลมของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 ณ ห้องปฏิบัติการหน่วยอาชีวอนามัย (n=6)	73
4.6 ผลการตรวจวัด Ethanol ณ ห้องปฏิบัติการหน่วยอาชีวอนามัย (n=4)	74
4.7 แสดงจำนวนและร้อยละของเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม (n=38)	75
4.8 แสดงจำนวนและร้อยละของระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม (n=38)	76
4.9 แสดงค่าเฉลี่ย และระดับความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามรายชื่อ (n=38)	76

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1	4
2.1	30
3.1	44
3.2	46
3.3	48
3.4	49
3.5	49
3.6	50
3.7	50
3.8	51
3.9	51
3.10	52
4.1	57
4.2	57
4.3	58
4.4	69
4.5	75

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การดมยาสลบเป็นการทำให้ผู้ป่วยไม่มีความรู้สึกใดๆในระหว่างที่ได้รับการรักษาด้วยวิธีการผ่าตัด ทำให้ไม่รู้สึกเจ็บ ไม่รู้ตัว ทำให้ผู้ป่วยไม่ต้องวิตกกังวลและสามารถผ่าตัดได้ในระยะเวลาต่างๆ ปัจจุบันยาสลบที่ใช้ในประเทศไทยได้แก่ Nitrous oxide, Isoflurane, Desflurane และ Sevoflurane สถาบันความปลอดภัยและอาชีวอนามัย (National Institute of Occupational Safety and Health, USA) และสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัย ประเทศสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration, USA) ได้กำหนดให้ในระหว่างการทำงานตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงาน สามารถได้รับสัมผัส Nitrous oxide ได้ไม่เกิน 25 ppm และยาสลบกลุ่ม Isoflurane, Desflurane และ Sevoflurane ได้ไม่เกิน 2 ppm ขณะให้ยาสลบจะมีก๊าซและไอระเหยของยาสลบบางส่วนลอยปะปนอยู่ในบรรยากาศของห้องผ่าตัด ซึ่งการรั่วไหลของยาสลบสามารถเกิดขึ้นได้ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการเติมยาสลบ ระบบท่อส่งยาสลบ ลมหายใจออกของผู้ป่วยที่มียาสลบผสมหรือข้อต่อหรือสายยางที่หักงอ<sup>1</sup>

จากการศึกษาของกองอาชีวอนามัยกรมอนามัย (2544) ดำเนินการตรวจวัดปริมาณก๊าซและไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้ในโรงพยาบาลโรงพยาบาลส่วนใหญ่ใช้ Nitrous oxide และ Halothane และเมื่อรั่วไหลออกจากระบบและปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศภายในโรงพยาบาลจัดเป็นยาสลบส่วนเกิน (Waste Anesthetic Agent) ผลการสำรวจพบว่าเฉพาะห้องผ่าตัดที่มีระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินมีระดับค่ายาสลบอยู่ในระดับที่ปลอดภัย<sup>2</sup> จากการศึกษาของรัฐนูด วชิรภพ (2550) เป็นการศึกษาถึงความเข้มข้นของก๊าซดมยาที่ปนเปื้อนในห้องผ่าตัด ซึ่งห้องผ่าตัดมีความแตกต่างกันของระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินจำนวน 20 ห้อง แบ่งเป็นระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินแบบใช้เครื่องดูดอากาศจำนวน 16 ห้อง และระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินแบบประดิษฐ์เองจำนวน 4 ห้อง ผลการทดลองพบว่าระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินแบบประดิษฐ์เองของเจ้าหน้าที่โรงพยาบาล จำนวน 4 ห้องและห้องที่มีระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินแบบสมบูรณ์จำนวน 6 ห้องมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน<sup>3</sup> การศึกษาของ Pual และคณะ (1986) ได้ศึกษาการสัมผัส Nitrous oxide ของห้องทันตกรรมเกิดจากการที่ห้องทันตกรรมไม่มีระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินและระบบระบายอากาศแบบเฉพาะที่ในห้องผ่าตัด<sup>4</sup> David และคณะ (1986) ศึกษาการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องทันตกรรม

3 แห่งที่มี Nitrous oxide พบว่าตำแหน่งของการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่และอัตราการไหลของอากาศมีส่วนสำคัญในการควบคุม Nitrous oxide หลังจากที่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ การสัมผัส Nitrous oxide ที่มีค่ามากกว่า 600 ppm ลดลงจนมีค่าน้อยกว่า 70 ppm<sup>5</sup> การศึกษาของ Bodin และคณะ (1999) ทำการศึกษาในเจ้าหน้าที่ผู้ทำคลอด 3,985 รายที่สัมผัส Nitrous oxide โดยส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ได้รับการตอบข้อมูลร้อยละ 84 พบว่าบุตรของเจ้าหน้าที่มีน้ำหนักแรกคลอดต่ำและเพิ่มความเสี่ยงที่ทารกตัวเล็กเมื่อเทียบกับอายุครรภ์<sup>6</sup> และเมื่อใช้แบบประเมินการสัมผัสสารเคมีบุคลากรทางการแพทย์ในห้องผ่าตัดจากการสัมผัส Nitrous oxide และ Sevoflurane พบว่าวิสัญญีแพทย์และพยาบาล มีอาการอ่อนเพลีย อาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ ซีด อาการมีน้ิรยะ ตาลายตามัว อาเจียน ซีด และอื่น ๆ<sup>7</sup>

โรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีห้องผ่าตัดทั้งหมด 21 ห้อง เป็นห้องผ่าตัดที่มีการใช้ยาสลบทั้งหมด 17 ห้อง และไม่มีการใช้ยาสลบจำนวน 4 ห้อง ห้องผ่าตัดทุกห้องมีการติดตั้งระบบแลกเปลี่ยนอากาศ (air change) เพื่อควบคุมอัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่าตัดและระบบกำจัดก๊าซส่วนเกิน (scavenging system) ถึงแม้จะมีการติดตั้งทั้งสองระบบในห้องผ่าตัดระดับของยาสลบในบรรยากาศการทำงานมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับห้องผ่าตัด พบว่าปริมาณ Nitrous oxide และ Sevoflurane แต่ละห้องผ่าตัดมีค่าเฉลี่ยตลอด 8 ชั่วโมงการทำงานตั้งแต่ 0 ถึง 26.69 และ 0 ถึง 6.04 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ<sup>8</sup> แม้จะมีการบริหารจัดการเพื่อป้องกันอันตรายจากยาสลบ เช่น การควบคุมทางด้าน วิศวกรรม การบำรุงรักษาอุปกรณ์ การเฝ้าระวังทางสิ่งแวดล้อม การเฝ้าระวังทางการแพทย์โดยการตรวจสุขภาพพนักงาน การฝึกอบรมพนักงานก่อนปฏิบัติงาน รวมทั้งการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล<sup>1</sup> ยังไม่เพียงพอต่อการลดการสัมผัสของพนักงานที่สัมผัสกับยาสลบในห้องผ่าตัด

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบายอากาศเฉพาะที่ เพื่อเป็นแนวทางในการลดการสัมผัสสารเคมีในระหว่างการใช้ยาสลบของบุคลากรทางการแพทย์ ทำให้บุคลากรทางการแพทย์สัมผัสสารเคมีในระหว่างการใช้ยาสลบน้อยลงหรือไม่สัมผัสเลยในขณะที่ปฏิบัติงาน เพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์ที่ปฏิบัติงานในห้องผ่าตัดมีความปลอดภัยในการทำงานเพิ่มมากขึ้นและเพื่อเป็นการส่งเสริมให้บุคลากรทางการแพทย์มีสุขภาพที่ดีในระหว่างปฏิบัติงานดมยาสลบในห้องผ่าตัด



### คำถามการวิจัย

1. อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ สามารถลดการสัมผัสสารเคมีระหว่างการใช้ยาสลบในห้องผ่าตัดได้หรือไม่

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ สำหรับใช้ในห้องผ่าตัดระหว่างการดมยาสลบ

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

### ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนสำหรับการคำนวณให้เป็นไปตามข้อตกลงของ ACGIH

1. ตรวจวัดปริมาณยาดมสลบในห้องผ่าตัด ซึ่งยาดมสลบที่ทำการตรวจวัดคือ Nitrous oxide, Isoflurane, Desflurane และ Sevoflurane
2. การคำนวณเพื่อออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ สำหรับใช้ในห้องผ่าตัดระหว่างใช้ยาสลบ โดยการคำนวณเลือกใช้ Slot hood ในการคำนวณ
3. การสร้างอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ตามรายการแบบคำนวณ
4. การทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ โดยการวัดความเร็วลมหน้าฮูดในห้องปฏิบัติการและห้องผ่าตัด

### คำจำกัดความ/นิยามคำศัพท์ในการศึกษา

1. ยาสลบ (Anesthetic) หมายถึง สารเคมีที่ใช้ในการแพทย์เพื่อทำให้สลบ

2. อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local exhaust ventilation) หมายถึง อุปกรณ์ที่มีการนำสารปนเปื้อนที่กำลังเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดสู่สิ่งแวดล้อมการทำงานไปกำจัดก่อนปล่อยอากาศสะอาดออกสู่บรรยากาศภายนอก

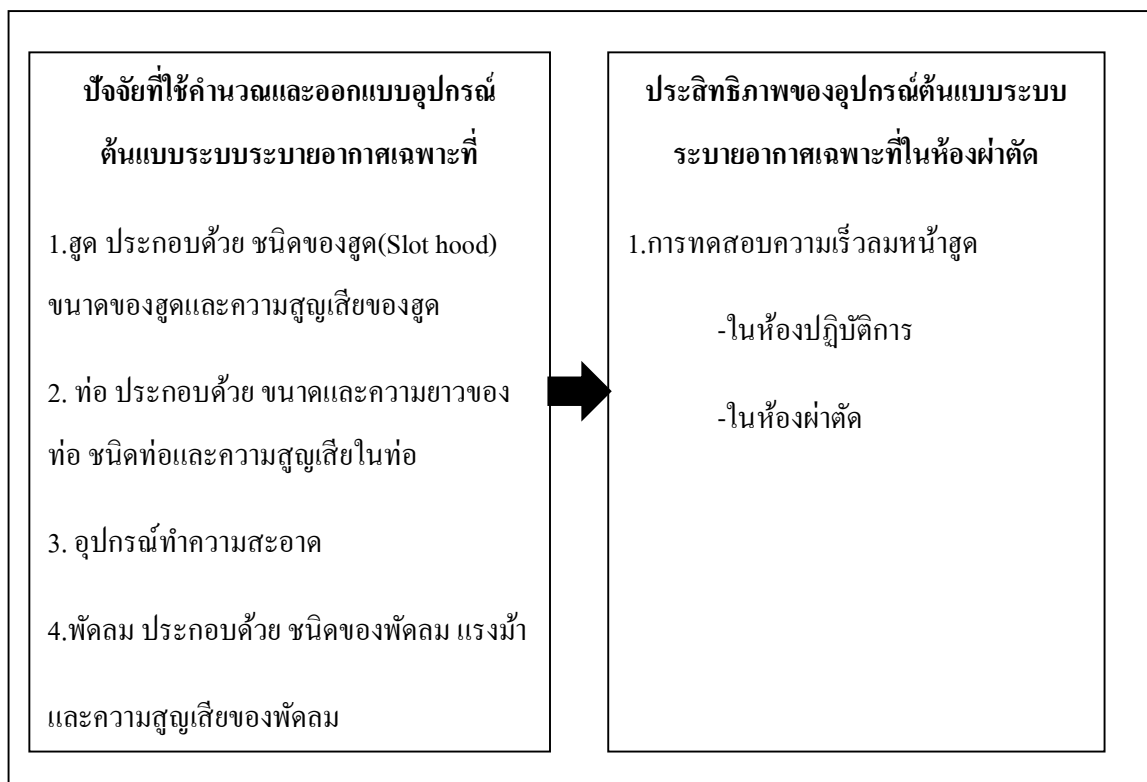
3.ความเร็วจับ (Capture Velocity) หมายถึง ความเร็วของอากาศที่จุดใด ๆ ที่อยู่ด้านหน้าท่อดูดอากาศ ซึ่งสามารถต้านกระแสอากาศและสิ่งรบกวนจากภายนอก สามารถจับและพามลพิษเข้าท่อดูดอากาศได้

4.ความเร็วหน้าท่อดูดอากาศ (Face Velocity) หมายถึง ความเร็วของอากาศหน้าช่องเปิดของท่อดูดอากาศ

5.ความเร็วลมสล็อต (Slot Velocity) หมายถึง ความเร็วของอากาศที่ผ่านเข้าไปที่ช่องเปิดของท่อดูดอากาศเท่ากันตลอด

6.ประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง ความสามารถในการดูดอากาศเข้าระบบของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

#### กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1.1 แผนผังกรอบแนวคิด

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรม

ในบทนี้ทำการรวบรวมข้อมูลตลอดจนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นกรอบแนวคิดของการศึกษาโดยได้จำแนกหัวข้อการทบทวนวรรณกรรมเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้คือ

1. ลักษณะทั่วไปของห้องผ่าตัด
2. การใช้ยาสลบและผลกระทบต่อสุขภาพ
3. แนวทางการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ลักษณะทั่วไปของห้องผ่าตัด

เป็นสถานที่ให้บริการรักษาพยาบาลผู้ป่วยที่ต้องรักษาด้วยวิธีผ่าตัด โดยสามารถแบ่งเขตของห้องผ่าตัดออกเป็นเขตดังนี้

เขตทั่วไป (Unrestricted Area) คือ บริเวณที่บุคคลภายนอกที่สวมใส่ชุดทำงานทั่วไปสามารถผ่านไปมาได้ เป็นบริเวณที่อนุญาตให้บุคคลภายนอกสามารถพบปะกับบุคลากรภายในตึกผ่าตัดได้ แต่ต้องมีทางเดินหรือเส้นแบ่งเขตระหว่างภายนอกกับภายในตึกผ่าตัดอย่างชัดเจน และห้ามบุคคลภายนอกที่ยังไม่ได้เปลี่ยนเสื้อผ้าและรองเท้าเป็นชุดของตึกผ่าตัด ผ่านเข้าไปภายในตึกผ่าตัด การสัญจรในบริเวณนี้ยังไม่มีกรจำกัด แต่ต้องได้รับการตรวจสอบเพื่อระวังจากเจ้าหน้าที่เพื่อป้องกันบุคคลภายนอกที่ยังไม่ได้เปลี่ยนเสื้อผ้าผ่านเข้าไปภายในตึกผ่าตัด บริเวณที่เป็นเขตทั่วไป ได้แก่ บริเวณพักคอยเข้าตึกผ่าตัด

เขตรอยต่อ (Transitional Area) คือ บริเวณที่บุคคลภายนอก หรือ บุคลากรของตึกผ่าตัดเตรียมที่จะผ่านเข้ามาภายในตึกผ่าตัด ซึ่งเป็นบริเวณเขตกึ่งควบคุม (Semirestricted Area) และบริเวณเขตควบคุม (Restricted Area) โดยบุคลากรภายนอกที่จะผ่านเข้ามาในบริเวณทั้ง 2 เขตดังกล่าวได้ ต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ตึกผ่าตัดก่อน บริเวณที่เป็นเขตรอยต่อได้แก่ ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า บริเวณเปลี่ยนรถนอนหรือรถนั่งของผู้ป่วย เป็นต้น

เขตกึ่งควบคุม (Semirestricted Area) คือ บริเวณที่บุคลากรที่ปฏิบัติงานภายในตึกผ่าตัดผ่านเข้าไปได้ โดยต้องเปลี่ยนเสื้อผ้าและรองเท้าเป็นชุดของตึกผ่าตัด และสวมหมวกคลุมผมให้มิดชิด เขตนี้ ได้แก่ ห้องพักรอดูอาการก่อนผ่าตัด ห้องให้ยาระงับความรู้สึก บริเวณทางเดินหน้าห้อง

ผ่าตัด ห้องพักฟื้น การสัญจรในเขตนี้จำกัดเฉพาะเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในตึกผ่าตัดเท่านั้น ผู้ป่วยที่เปลี่ยนเสื้อผ้า และรองเท้าเป็นชุดผู้ป่วยของตึกผ่าตัดและสวมหมวกคลุมผมแล้ว ถูกเคลื่อนย้ายเข้ามาในเขตนี้ได้โดยบุคลากรของตึกผ่าตัด

เขตควบคุม (Restricted Area) คือ ห้องผ่าตัด หรือห้องที่ผู้ป่วยได้รับการผ่าตัด เป็นบริเวณที่จำกัดให้เฉพาะบุคลากรที่เปลี่ยนเสื้อผ้าและรองเท้า เป็นชุดของตึกผ่าตัด สวมหมวกคลุมผมมิดชิด และต้องผูกผ้าปิดปากและจมูกเรียบร้อย หรือบุคลากรที่สวมชุดกาวน์ผ่าตัดเรียบร้อยและพร้อมจะเข้าสู่การผ่าตัดเท่านั้นที่จะเข้ามาในบริเวณนี้ได้ โดยห้องผ่าตัดจะมีประตูที่ได้รับการควบคุมให้ปิดอยู่ตลอดเวลา และความดันอากาศภายในห้องนี้จะต้องสูงกว่าความดันอากาศภายนอกห้องเสมอ

เขตปนเปื้อน (Contaminated Area) หมายถึง ห้องหรือบริเวณที่จัดไว้สำหรับล้างทำความสะอาดเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผ่าตัดที่สกปรกหรือมีการปนเปื้อนแล้ว

อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่อาคารในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลตามมาตรฐาน ASHRAE Standard เท่ากับ 30 ลูกบาศก์ฟุต/นาที/คน<sup>2</sup> อัตราการนำเข้าอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อ 1 ชั่วโมงเท่ากับ 25 อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องและความดันสัมพันธ์กับพื้นที่ข้างเคียงต้องสูงกว่า ตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์<sup>10</sup> อุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ (Temperature and Humidity) อุณหภูมิในห้องผ่าตัดควรควบคุมให้อยู่ระหว่าง 20 – 24 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ดี แต่ในห้องผ่าตัดผู้ป่วยเด็ก อาจมีการปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าปกติเพื่อมิให้เด็กเกิดภาวะแทรกซ้อนจากภาวะอุณหภูมิกายต่ำ (hypothermia) ความชื้นสัมพันธ์ในห้องผ่าตัดควรปรับให้อยู่ระหว่าง 50 – 55% ซึ่งจะช่วยลดการเกิดไฟฟ้าสถิตที่ทำให้เกิดไฟลุกไหม้ได้<sup>8</sup>

ห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ จะใช้ห้องผ่าตัดใหญ่ในการรักษาผู้ป่วย ซึ่งมีห้องผ่าตัดทั้งหมด 21 ห้องคือห้องผ่าตัดที่ 1 จักษุวิทยา, ห้องผ่าตัดที่ 2 จักษุวิทยาและศัลยศาสตร์หลอดเลือด, ห้องผ่าตัดที่ 3 สูติรีเวช, ห้องผ่าตัดที่ 4 สูติรีเวช, ห้องผ่าตัดที่ 5 หน่วยศัลยศาสตร์ตกแต่ง, ห้องผ่าตัดที่ 6 ศัลยกรรมประสาท, ห้องผ่าตัดที่ 7 โสตศอนาสิกวิทยา, ห้องผ่าตัดที่ 8 ศัลยศาสตร์ทั่วไป, ห้องผ่าตัดที่ 9 ศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์, ห้องผ่าตัดที่ 10 กุมารศัลยศาสตร์และศัลยศาสตร์ทั่วไป, ห้องผ่าตัดที่ 11 ศัลยศาสตร์ทางเดินปัสสาวะและศัลยศาสตร์ทั่วไป, ห้องผ่าตัดที่ 12 โสตศอนาสิกวิทยาและศัลยศาสตร์หลอดเลือด, ห้องผ่าตัดที่ 13 ปัจจุบันไม่มีการผ่าตัด,

ห้องผ่าตัดที่ 14 ปัจจุบันไม่มีการผ่าตัด, ห้องผ่าตัดที่ 15 ศัลยศาสตร์หัวใจหลอดเลือดและทรวงอก, ห้องผ่าตัดที่ 16 ศัลยศาสตร์ทั่วไป, ห้องผ่าตัดที่ 17 กุมารศัลยศาสตร์, ห้องผ่าตัดที่ 18 จักษุวิทยา, ห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 1 ไม่ระบุหน่วยงาน, ห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 2 ไม่ระบุหน่วยงาน, ห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 3 ไม่ระบุหน่วยงาน

ห้องผ่าตัดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์แต่ละห้องมีระบบการแลกเปลี่ยนอากาศ (air change) เพื่อควบคุมการหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่าตัด และระบายก๊าซยาเสพติดที่ตกค้างออกจากห้องผ่าตัด<sup>7</sup> การประเมินการสัมผัสยาเสพติดส่วนเกินของวิสัญญีพยาบาลในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งพบว่าห้องที่ค่าความเข้มข้นสูงสุดสูงกว่าค่าขีดจำกัดการสัมผัสทางอาชีพ<sup>8</sup> ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงานของ Nitrous oxide และ Sevoflurane (ส่วนในล้านส่วน)<sup>8</sup>

ห้องผ่าตัดที่	ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงในการทำงาน(ส่วนในล้านส่วน)	
	ไนตรัสออกไซด์ (ค่าสูงสุด)	ซีโวฟลูเรน (ค่าสูงสุด)
1	-	2.30
2	0.32	0.63
3	19.11	0.42
4	<0.01 (52.9)	2.23 (17.8)
5	20.19	0.06
6	<0.01 (5.7)	<0.01 (1.6)
7	26.69 (114.9)	1.88 (27.8)
8	14.28	2.40
9	7.38	<0.01
10	20.65 (127.5)	6.04 (125.5)
11	8.14	2.40
12	1.42	1.41

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงในการทำงานของ Nitrous oxide และ Sevoflurane (ส่วนในล้านส่วน)<sup>8</sup> (ต่อ)

ห้องผ่าตัดที่	ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงในการทำงาน(ส่วนในล้านส่วน)	
	ไนตรัสออกไซด์ (ค่าสูงสุด)	ซีโวฟลูเรน (ค่าสูงสุด)
13	-	0.34
14	8.70	-
ห้องพักฟื้น	<0.01	<0.01

ข้อมูลความรู้สึกของบุคลากรทางการแพทย์ในห้องผ่าตัดจากการสัมผัส Nitrous oxide และ Sevoflurane พบว่าวิสัญญีแพทย์และพยาบาล มีอาการอ่อนเพลีย อาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ ซีด อาการมีศีรษะ ตาลายตามัว อาเจียน ซีด และอื่น ๆ<sup>7</sup>

## 2. การใช้ยาสลบและผลกระทบต่อสุขภาพ<sup>11</sup>

ยาสลบไอระเหย เป็นที่นิยมใช้ความรู้สึกเพราะมีการบริหารง่ายไม่ซับซ้อน ยาถูกขับออกได้ง่ายทางลมหายใจ และสามารถคาดเดาผลของยาที่เกิดขึ้นได้จากอาการทางคลินิกและความเข้มข้นของยาในลมหายใจออก ยาผสมสลบจะออกฤทธิ์แรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความสามารถของยาที่ละลายในไขมัน และ minimum alveolar concentration (MAC หมายถึง ระดับความเข้มข้นของยาสลบในถุงลมปอดที่น้อยที่สุดที่ทำให้ร้อยละ 50 ของผู้ที่ได้รับยาสลบหลับและไม่ขยับเมื่อกระตุ้นด้วยความเจ็บปวดจากการลงมีดกรีดผิวหนัง) คุณสมบัติของยาสลบที่ดี ควรมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ดังต่อไปนี้

1. มีกลิ่นหอม ไม่ระคายเคืองเยื่อหูหายใจ
2. ไม่ติดไฟ หรือไม่ทำให้ติดไฟ ไม่ระบิได้ง่ายสามารถใช้ร่วมกับออกซิเจนและอากาศได้
3. ไม่ทำปฏิกิริยากับยางหรือวัสดุอื่นที่นิยมนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการให้ยาสลบ
4. มีสถานะคงตัว ไม่สลายง่ายเมื่อถูกความร้อนหรือแสงและไม่ต้องใช้เทคนิคหรืออุปกรณ์พิเศษในการเก็บรักษา

5. ยาสลบชนิดก๊าซควรเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ง่าย โดยใช้ความดันปานกลางเพื่อให้ความจุในถังก๊าซได้อย่างปลอดภัย ซึ่งจะได้ปริมาณมากกว่าการบรรจุอยู่ในสถานะก๊าซ
6. ยาสลบชนิดของเหลว ควรมีจุดเดือดสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เพื่อมิให้ยาระเหยออกมากเกินไปจนจำเป็น และจุดเดือดนี้ไม่ควรสูงเกิน 60 องศาเซลเซียส เพราะจะระเหยกลายเป็นไอได้น้อย ทำให้ผู้ป่วยหลับช้า
7. ค่า blood/gas solubility coefficient ควรอยู่ในเกณฑ์ต่ำ แสดงถึงความสามารถในการละลายของยาในเลือดได้น้อย ทำให้ผู้ป่วยหลับเร็วเนื่องจากความเข้มข้นของยาในเลือดเท่ากับความเข้มข้นของยาในถุงลมปอดได้เร็ว
8. ควรมีค่า oil/gas solubility coefficient สูงเป็นสิ่งบอกถึงความแรงในการออกฤทธิ์ของยา ถ้ายาละลายในไขมันได้ดีแสดงว่ามีฤทธิ์แรง
9. สามารถเตรียมหรือสังเคราะห์ได้ง่าย และไม่ควรมีสารพิษเกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้เตรียมยา

## 2.1 ชนิดของยาสลบ<sup>11</sup>

ยาสลบที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน คือ Nitrous oxide, Isoflurane, Sevoflurane, และ Desflurane

### 2.1.1 Nitrous oxide (ไนตรัสออกไซด์)

Nitrous oxide มีชื่อว่า แก๊สหัวเราะ เพราะเมื่อสูดดมก๊าซนี้ผู้ป่วยจะมีอาการหัวเราะ ในปี ค.ศ. 1800 Sir Humphry Davy พบว่า Nitrous oxide มีคุณสมบัติทำให้สลบได้ และใช้สำหรับการถอนฟันเด็กเป็นครั้งแรก

ผลต่อการสลบ Nitrous oxide มีค่า blood/gas partition coefficient มาก จึงสามารถนำสลบได้เร็ว และทำให้ผู้ป่วยตื่นเร็วด้วย ยาดมสลบนี้มีค่า MAC สูงเท่ากับ 105 และมีค่า oil/gas coefficient จึงเป็นยาสลบที่มีฤทธิ์อ่อนมากไม่สามารถบริหารจนถึงระดับสลบลึกมากพอสำหรับการผ่าตัดได้ จะต้องบริหารร่วมกับยาสลบชนิดอื่นเสมอ

ผลต่อระบบอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย มีดังต่อไปนี้

ระบบประสาท Nitrous oxide เพิ่มเลือดไปเลี้ยงสมอง (cerebral blood flow, CBF) เพิ่มความดันในกะโหลกศีรษะ (intracranial pressure, ICP) เล็กน้อย และเพิ่มการใช้ออกซิเจนของเซลล์สมอง (CMRO<sub>2</sub>) เมื่อให้สูดดมก๊าซนี้ในขนาดต่ำกว่า MAC คือ เพียงความเข้มข้น 40% ก็สามารถ

ระงับปวดได้ดี คล้ายบริหาร morphine เข้าหลอดเลือดดำสำหรับการถอนพิษและการทำหัตถการขนาดเล็กๆ

ระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ จากการทดลองนอกห้องกายพบว่า Nitrous oxide กดกล้ามเนื้อหัวใจโดยตรง แต่ในคนที่ให้สูดดมก๊าซนี้พบว่า ความดันเลือด อัตราเร็วของหัวใจเต้น และ cardiac output ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจาก Nitrous oxide กระตุ้นประสาท sympathetic มีการเพิ่มระดับ catecholamines ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาของหัวใจเต้นผิดจังหวะได้ในกรณีของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ หรือมีภาวะพร่องเลือด/พร่องน้ำรุนแรง พบว่าการสูดดม Nitrous oxide จะทำให้ความดันเลือดลดต่ำมาก เกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดความดัน end-diastolic ของ ventricle ช้ำสูง

ระบบหายใจ มีผลค่อนข้างน้อย อาจพบผู้ป่วยหายใจเร็ว และมี tidal volume ลดลง ซึ่งคงเป็นผลจาก Nitrous oxide กระตุ้นระบบประสาทกลางและกระตุ้น pulmonary stretch receptor ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของ minute ventilation และมีระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สิ่งสำคัญโดยเฉพาะในระยะสั้นจากการสลบ คือ การเกิดภาวะเนื้อเยื่อขาดออกซิเจน (hypoxia) จาก Nitrous oxide แม้เพียงขนาดเล็กน้อยก็สามารถกด hypoxic drive ซึ่ง mediate ผ่านทาง peripheral chemoreceptors ที่ carotid bodies

Neuromuscular ยาสลบชนิดนี้ไม่ทำให้กล้ามเนื้อหย่อนตัว จัดอยู่ในกลุ่มของยาที่ไม่ trigger ให้เกิด malignant hyperthermia แม้ว่าการสูดดม Nitrous oxide ความเข้มข้นสูงใน hyperbaric chamber จะทำให้เกิด rigidity ของกล้ามเนื้อลาย

ตับและไต เลือดที่ไปเลี้ยงตับและไตจะลดลงขณะสูดดม Nitrous oxide แต่พบได้ในปริมาณที่น้อยกว่ายาสลบชนิดอื่น

ระบบทางเดินอาหาร Nitrous oxide อาจกระตุ้น chemoreceptors trigger zone และศูนย์ vomiting ใน medulla ทำให้มีอาการคลื่นไส้และอาเจียนหลังการผ่าตัด

โลหิตวิทยา พบ pancytopenia ในผู้ป่วยบาดเจ็บที่ที่ได้รับการรักษาด้วย Nitrous oxide สูดดมเป็นเวลานานหลายวันเข้าใจว่า Nitrous oxide กดการสร้างเม็ดเลือด Amess และตรวจพบภาวะ megaloblastic anemia ในผู้ป่วยที่ได้รับ 50% Nitrous oxide นาน 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถรักษาได้ด้วยวิตามินบี 12 และหายได้เมื่อหยุดให้ Nitrous oxide ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ Nitrous oxide ยับยั้งเอนไซม์ methionine synthetase และ thymidylate synthetase ซึ่งมีวิตามินบี 12 เป็นเอนไซม์ร่วมทำให้เกิดการบกพร่องในการสังเคราะห์ methionine และลดการสร้าง thymidine ซึ่งจำเป็นสำหรับการสร้าง myelin และ DNA ตามลำดับ



ระบบสืบพันธุ์และทารกในครรภ์ Nitrous oxide ไม่มีผลต่อมดลูก สามารถผ่านรกเข้าสู่ทารกได้แต่ไม่มีผลต่อเด็ก ดังนั้นสามารถใช้ในการบรรเทาอาการเจ็บระหว่างการคลอดได้ สำหรับบุคลากรที่ทำงานในห้องผ่าตัดอาจได้รับ Nitrous oxide ที่ปะปนอยู่ในบรรยากาศเป็นเวลานาน พบว่ามีอุบัติการณ์ของการแท้งและความพิการของทารกในครรภ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นในระยะแรกของการตั้งครรภ์ควรหลีกเลี่ยงการทำงานในสถานที่ที่มีการปนเปื้อนของ Nitrous oxide ในบรรยากาศ

การทำลายระบบขับถ่าย เมื่อหยุดให้ยาสลบระหว่างการฟื้นจากการสลบ Nitrous oxide เกือบทั้งหมดจะถูกขับออกทางลมหายใจออก มีเพียงส่วนน้อยนิดที่ถูกขับออกทางผิวหนังมีเพียงร้อยละ 0.01 โดยขบวนการ reductive metabolism ในระบบทางเดินอาหารโดยแบคทีเรียชนิด anaerobic

พิษวิทยา Nitrous oxide ขับยั้งเอนไซม์ซึ่งมีวิตามินบี 12-dependent ซึ่งได้แก่ methionine synthetase เป็นเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการสร้าง myelin และ thymidylate synthetase ซึ่งจำเป็นสำหรับการสร้าง DNA ถ้ามีการให้สูดดม Nitrous oxide ความเข้มข้นที่ใช้สำหรับการสลบติดต่อกันนาน 24 ชั่วโมง จะมีการกดไขกระดูก (bone marrow) ส่งผลให้เกิด megaloblastic anemia และอาจเกิดความผิดปกติของระบบประสาท เช่น peripheral neuropathy และ pernicious anemia อาจพบพยาธิสภาพแบบ demyelination ที่ posterior column ของ lateral spinothalamic tract และ spinocerebellar tract ในไขสันหลัง ซึ่งคล้ายคลึงกับอาการขาดวิตามินบี 12 อย่างไรก็ตามการใช้ Nitrous oxide ในการดมยาสลบสำหรับเก็บไขกระดูก (bone marrow harvest) ไม่พบผลกระทบต่อ viability ของเซลล์ mononuclear ของไขกระดูก ในตรัสออกไซค์อาจรบกวนการตอบสนองทาง immunologic ต่อการติดเชื้อ โดยมีผลต่อ chemotaxis และการเคลื่อนไหวของเซลล์เม็ดเลือดขาว

ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน<sup>12</sup> National Institute for Occupational Safety and Health Recommend Exposure Limit (NIOSH REL) : TWA = 25 ppm

### 2.1.2 Isoflurane (ไอโซฟลูเรน)

Isoflurane เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย ไม่ชวนดม ไม่ติดไฟ ไม่สลายตัวเมื่อถูกความร้อนและแสงสว่าง

ผลต่อการสลบ ใช้นำสลบได้เร็วและตื่นเร็วกว่า enflurane และ halothane เนื่องจากมี blood/gas partition coefficient ต่ำกว่ายา 2 ชนิดนั้น แต่เนื่องจาก Isoflurane มีกลิ่นแรงกว่าจึงอาจทำให้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้สำหรับนำสลบ

ผลต่ออวัยวะต่างๆของร่างกาย มีดังต่อไปนี้

ระบบประสาท ยาเพิ่มเลือดไปเลี้ยงสมองและเพิ่มความดันในกะโหลกศีรษะน้อยกว่า enflurane และ halothane โดยเฉพาะเมื่อใช้ความเข้มข้นไม่เกิน 0.6-1 MAC จะไม่พบการ

เปลี่ยนแปลงของปริมาณเลือดไปเลี้ยงสมองและความดันในกะโหลกศีรษะ เมื่อใช้ Isoflurane มากกว่า 1 MAC จะเพิ่มทั้งเลือดไปเลี้ยงสมองและความดันในกะโหลกศีรษะ แต่สามารถลดลงได้ด้วยการทำ hyperventilation เพื่อลด PaCO<sub>2</sub> นอกจากนี้ Isoflurane สามารถลดการใช้ออกซิเจนของสมองลงได้ และเมื่อใช้ยา 2 MAC จะทำให้มี silent electroencephalogram (EEG) ดังนั้นจึงน่าจะมีประโยชน์ สำหรับการปกป้องสมองระหว่างที่มีภาวะสมองขาดเลือดเกิดขึ้น

ระบบการไหลเวียนเลือดและหัวใจ ยามีผลต่อกล้ามเนื้อหัวใจและหลอดเลือดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ halothane สามารถคงไว้ซึ่ง cardiac output ได้โดยการเพิ่มอัตราเร็วของหัวใจเต้น ยาจะไม่กระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจให้ไวต่อ catecholamines สามารถใช้ epinephrine ได้อย่างปลอดภัยจากหัวใจเต้นไม่เป็นจังหวะโดยใช้ขนาดสูงได้ถึง 4.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม เนื่องจาก Isoflurane ออกฤทธิ์กระตุ้น beta-adrenergic อ่อนๆจึงส่งผลให้มีการเพิ่มเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลาย ลด SVR และลดความดันเลือด การเพิ่มความเข้มข้น Isoflurane อย่างรวดเร็ว จะส่งผลให้มีหัวใจเต้นเร็ว ความดันเลือดสูง และมีระดับพลาสมา norepinephrine เพิ่มขึ้นชั่วขณะหนึ่ง ยายังออกฤทธิ์ขยายหลอดเลือดโคโรนารีได้คล้ายคลึงกับ nitroglycerin แต่ก็ต้องระวังการเกิด coronary steal syndrome จากขยายหลอดเลือดโคโรนารีปกติจึงทำให้มีการขโมยเลือดไปจากหลอดเลือดโคโรนารีที่ตีบอยู่อย่างไรก็ตามไม่พบปัญหานี้ทางคลินิก

ระบบหายใจ ยาจะออกฤทธิ์กดการหายใจเช่นเดียวกับยาสลบชนิดอื่น และจะเพิ่มความรุนแรงขึ้นตามความเข้มข้นของ Isoflurane ที่ใช้ ขนาดน้อยเพียง 0.1 MAC ก็สามารถลดการตอบสนองของ ventilation ต่อภาวะเนื้อเยื่อขาดเลือด และภาวะคาร์บอนไดออกไซด์กั่ง Isoflurane ออกฤทธิ์ขยายหลอดลมได้ดี แต่น้อยกว่า halothane จึงใช้ได้ดีในผู้ป่วยที่มีโรคหืด

Neuromuscular ยานี้ออกฤทธิ์หย่อนกล้ามเนื้อลายดีมาก สามารถใช้เป็นยาสลบสำหรับผู้ป่วย myasthenia gravis ได้โดยไม่ต้องใช้ยาหย่อนกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ Isoflurane จะเสริมฤทธิ์หย่อนกล้ามเนื้อของยาหย่อนกล้ามเนื้อทั้งชนิด depolarizing และ nondepolarizing

มดลูก ยาออกฤทธิ์หย่อนกล้ามเนื้อของมดลูกได้ดีเช่นเดียวกับ enflurane และ halothane แต่การใช้ขนาดน้อยกว่า 0.75% จะไม่ทำให้ตกเลือดหลังคลอด

ตับและไต เลือดไปเลี้ยงตับและไตลดลงเล็กน้อย ขณะใช้ Isoflurane เป็นยาสลบ อาจพบว่า GFR และปริมาณปัสสาวะลดลง แต่หน้าที่ของไตและหน้าที่ของตับถูกรบกวนเพียงเล็กน้อย

พิษวิทยา ไม่เป็นพิษต่อตับหรือไต แม้ว่าจะมีการทำลาย Isoflurane แล้วได้ fluoride แต่มีปริมาณน้อยมาก การดมยา Isoflurane 0.1-0.6% นานมากกว่า 24 ชั่วโมง พบว่ามีระดับพลาสมา fluoride 15-50 ไมโครกรัม/ลิตร โดยไม่พบอุบัติการณ์ของไตบกพร่องในหน้าที่

ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน<sup>13</sup> NIOSH REL: Ceiling 2 ppm

### 2.1.3 Sevoflurane (ซีโวฟลูเรน)

Sevoflurane เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นอ่อน ไม่ฉุน มีความคงตัวดี ไม่ระคายเคืองทางหายใจ มี blood/gas solubility ค่อนข้างต่ำ

ผลต่อการสลบ สามารถใช้ Sevoflurane นำสลบได้รวดเร็วและราบเรียบ ทั้งเด็กและผู้ใหญ่ เนื่องจากยามีกลิ่นอ่อนและมี blood/gas solubility ต่ำ จะมีความเข้มข้นของยาในถุงลมปอดเพิ่มขึ้นได้รวดเร็ว

ผลต่ออวัยวะต่างๆ ของร่างกาย มีดังต่อไปนี้

ระบบประสาท เช่นเดียวกับยาผสมสลบ Isoflurane และ Desflurane ยาสลบ Sevoflurane ทำให้เพิ่มเลือดไปเลี้ยงสมอง และเพิ่มความดันในกะโหลกศีรษะเพียงเล็กน้อย ขณะที่  $\text{PaPO}_2$  อยู่ในระดับปกติ ความเข้มข้นของยามากกว่า 1.5 MAC อาจทำให้สูญเสียหน้าที่ของ autoregulation ของเลือดไปเลี้ยงสมอง แต่ก็ยังมีผลน้อยกว่า Isoflurane ยานี้จะลดการใช้ออกซิเจนของสมอง และไม่พบคลื่นไฟฟ้าของสมองเป็นแบบผู้ป่วยโรคลมชัก

ระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ Sevoflurane กดการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจไม่รุนแรง ลดความดันเลือดและลด SVR น้อยกว่า Isoflurane และ Desflurane ไม่พบปัญหาการเกิด coronary syndrome และยาไม่กระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจให้ไวต่อ catecholamine แต่พบปัญหาของตัวค่า QT interval ยาวได้เมื่อผสมยาสลบด้วย Sevoflurane

ระบบหายใจ ยากดการหายใจระดับเดียวกับ Isoflurane และมีฤทธิ์ขยายหลอดลม

Neuromuscular ภายหลังใช้ Sevoflurane นำสลบผู้ป่วยเด็กแล้ว ก็สามารถใส่ท่อหายใจโดยไม่ต้องใช้ยาหย่อนกล้ามเนื้อ ยาจะเสริมฤทธิ์ของยาหย่อนกล้ามเนื้อเล็กน้อยตามขนาดยาที่ใช้ผสมสลบ

ตับและไต ลดปริมาณเลือดของ portal vein และเลือดไปเลี้ยงไตเพียงเล็กน้อย Sevoflurane จะเพิ่มปริมาณเลือดของหลอดเลือดแดง hepatic ทำให้คงไว้ซึ่งเลือดไปเลี้ยงตับ และการส่งออกซิเจนให้ตับได้ สารที่ได้จากเมตาบอลิซึมของ Sevoflurane ได้ fluoride อิสระ ซึ่งมีผลน้อยมากต่อไต และ vinyl halide ซึ่งอาจทำให้เกิดพิษต่อไตและตับได้ มีรายงานไว้ในหนู

พิษวิทยา สำหรับผู้ป่วยที่ได้รับยาสลบ Sevoflurane 1.25 MAC เป็นระยะเวลา 4 เดือนหรือ 8 ชั่วโมงจะพบอุบัติการณ์ของการบาดเจ็บต่อ glomeruli (ตรวจพบอัลบูมินในปัสสาวะ) proximal

tubule ของไต (ปัสสาวะออกมาก, มีการขับ glutathione-S-transferase ออกทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น) และบาดเจ็บต่อ distal tube ของไตด้วยจะมี compound A สะสมเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ก๊าซหายใจมี อุณหภูมิสูง ใช้เทคนิคดมยาสลบแบบ low flow สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ชนิด barium hydroxide (baralyme) แห่ง ใช้ Sevoflurane ความเข้มข้นสูง และการดมยาสลบนานๆ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานของการเกิดพิษต่อไตในคนจากการใช้ Sevoflurane

ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน<sup>14</sup> NIOSH REL: Ceiling 2 ppm

#### 2.1.4 Desflurane (เดสฟลูเรน)

Desflurane เป็นของเหลวใส มีกลิ่นฉุน ยามีฤทธิ์แรงเป็น  $\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$  เท่าของยาดมสลบชนิดอื่น หรือมีฤทธิ์แรงกว่าไนตรัสออกไซด์ 17 เท่า เนื่องจากโมเลกุลของยานี้เป็น fluorination ของ methyl ether ดังนั้นจึงมีความดัน vapor สูงมากถึง 669 ร่วมกับมีจุดเดือดค่อนข้างต่ำ คือ 24 องศาเซลเซียส จึงต้องมีการสร้าง vaporizer เฉพาะเป็นแบบ heated, pressurized และต้องใช้ไฟฟ้าเพื่อควบคุมการ ปลดปล่อยก๊าซออกมาอย่างสม่ำเสมอให้ความเข้มข้นคงที่

ผลต่อการสลบ สืบเนื่องจาก Desflurane มี solubility ต่ำในเลือดและเนื้อเยื่อ จึงทำให้มีการ wash-in และ wash-out ของยาเร็วมาก ดังนั้นความเข้มข้นของยาในถุงลมปอดมีแนวโน้มเท่ากับ ความเข้มข้นของยาในลมหายใจเข้าได้เร็วกว่ายาสลบชนิดอื่น ผู้ป่วยจะหลับได้เร็วและตื่นเร็ว เวลาตื่นจะเร็ว โดยทั่วไปไม่นิยมนำสลบด้วย Desflurane เพราะมีกลิ่นฉุนมากที่สุดท้ายคือ เนื่องจาก ยานี้ไม่มีการสะสมในเนื้อเยื่อ จึงเหมาะสำหรับใช้ในการผ่าตัดระยะเวลาสั้นผู้ป่วยจะฟื้นจากสลบ ได้เร็ว

ผลต่ออวัยวะต่างๆ ของร่างกาย มีดังต่อไปนี้

ระบบประสาท เหมือนกับยาสลบชนิดอื่น Desflurane ขยายหลอดเลือดสมองโดยตรงเพิ่ม เลือดไปเลี้ยงสมองและเพิ่มความดันในกะโหลกศีรษะ ขณะที่ความดันเลือดอยู่ในเกณฑ์ปกติ และระดับคาร์บอนไดออกไซด์ปกติระบบไหลเวียนเลือดในสมองยังคงสนองต่อการ เปลี่ยนแปลงของ PaPO<sub>2</sub> ดังนั้นการทำ hyperventilation จะช่วยลดความดันในกะโหลกศีรษะได้ ยานี้ลดการใช้ออกซิเจนของเซลล์สมองและมีผลต่อ EEG คล้ายคลึงกับ Isoflurane

ระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ เช่นเดียวกับ Isoflurane ยาจะลดความดันเลือดและ SVR โดยที่ cardiac output ไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก 1-2 MAC ของ Desflurane ยานี้ไม่ เพิ่มเลือดไปยังหลอดเลือดโคโรนารี การเพิ่มความเข้มข้นของ Desflurane เร็วๆ จะมีผลให้ชีพจร เร็วขึ้นความดันเลือดสูง และเพิ่มระดับของ catecholamine อยู่เพียงชั่วระยะเวลาหนึ่งในระดับที่

มากกว่า Isoflurane สามารถใช้ epinephrine ได้อย่างปลอดภัยขณะดมยาสลบด้วย Desflurane ไม่เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ขนาดของ epinephrine คือ 4.5 ไมโครกรัม/กิโลกรัม

ระบบหายใจ เนื่องจากยามีกลิ้นจุน ดังนั้นถ้าให้สูดดม Desflurane ทางหน้ากาก จะทำให้ผู้ป่วยไอ มีน้ำลายมาก กลืนหายใจ และเกิด laryngospasm ได้ จึงไม่เหมาะสำหรับการสลบในเด็ก ยานี้ลด tidal volume และเพิ่มอัตราเร็วของการหายใจ ผลรวมจะมี alveolar ventilation ลดลง มี PaPO<sub>2</sub> สูง นอกจากนี้ Desflurane จะก่การตอบสนองของ ventilation ต่อการกั้งของคาร์บอนไดออกไซด์

Neuromuscular ยานี้จะลดการตอบสนองของกล้ามเนื้อต่อการกระตุ้นด้วย train-of-four และ titanic โดยขึ้นอยู่กับขนาดของยาที่ใช้ ยาจะเสริมฤทธิ์ยาหย่อนกล้ามเนื้อ nondepolarizing

ดับและไต ไม่มีข้อมูลบ่งบอกว่า Desflurane ทำให้เกิดผลเสียต่อหน้าที่ของตับและไต

พิษวิทยา Desflurane ไม่เหมือนยาดมสลบชนิดอื่นๆ Desflurane จะถูกทำลายโดยสารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แห้ง โดยเฉพาะ lime ชนิดแบเรียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมและโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะทำให้มีโอกาสสูงมากในการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ จากการทำปฏิกิริยาของ Desflurane กับ lime ชนิดดังกล่าว ถ้าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากก็จะทำให้ผู้ป่วยเกิดพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ มีข้อควรระวังการใช้ Desflurane ในผู้ป่วยที่มีภาวะพร่องน้ำ/พร่องเลือดรุนแรง ความดันในกะโหลกศีรษะสูง และ malignant hyperthermia

ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน<sup>15</sup> NIOSH REL: Ceiling 2 ppm

## 2.2 เครื่องให้ยาสลบ<sup>16</sup>

หน้าที่หลักของเครื่องให้ยาสลบมีดังนี้คือ รับก๊าซทางการแพทย์จากแหล่งจ่าย ควบคุมการไหลของก๊าซที่ได้ลดความดันลงสู่ระดับที่ปลอดภัย ระเหยยาระงับความรู้สึกชนิดไอระเหยก่อนเข้าสู่ส่วนผสมของก๊าซสุดท้าย ให้ก๊าซสู่งจรยาสลบซึ่งเชื่อมต่อกับทางเดินหายใจของผู้ป่วย ส่วนประกอบของเครื่องให้ยาสลบ มีดังต่อไปนี้

### 2.2.1 แหล่งจ่ายก๊าซ

เครื่องให้ยาสลบส่วนใหญ่จะมีทางเข้าของออกซิเจน ไนตรัสออกไซด์และอากาศ ซึ่งก๊าซทุกชนิดที่เข้าสู่เครื่องให้ยาสลบจะถูกจ่ายจากแหล่งก๊าซสองระบบ ได้แก่ ระบบท่อนำก๊าซ(pipe line) และระบบท่อก๊าซ (cylinder) ทั้งสองระบบเมื่อเข้าสู่เครื่องให้ยาดมสลบจะมีเกจวัดความดันแยกจากกันเพื่อให้ทราบว่าแต่ละระบบมีความดันเท่าไร

ระบบท่อนำก๊าซ (pipe line) ของทั้งออกซิเจน ไนตรัสออกไซด์และอากาศ จะถูกส่งผ่านท่อจากแหล่งจ่ายกลางไปสู่ห้องผ่าตัด เพื่อป้องกันการต่อก๊าซผิดชนิด โดยส่วนใหญ่จะใช้ระบบการ

แยกสีและระบบ DISS (diameter index safety system) คือท่อนำก๊าซแต่ละชนิดจะสามารถต่อกับท่อนำก๊าซชนิดเดียวเท่านั้นก่อนเข้าสู่เครื่องให้ยาผสม นอกจากนี้จะมีตัวกรองที่ช่วยดักจับฝุ่นละอองและมีเส้นทางเดียวเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของก๊าซสู่แหล่งจ่ายก๊าซต้นทาง

ระบบถังก๊าซ (cylinder inlet) ถังก๊าซจะยึดติดกับเครื่องให้ยาผสมด้วย hanger yolk และใช้ pin index safety system (PISS) เพื่อป้องกันการแขวนถังก๊าซผิดชนิด ระบบถังก๊าซควรเป็นระบบสำรองในกรณีระบบนำก๊าซล้มเหลว เนื่องจากถังก๊าซมีความดันสูง ดังนั้นก๊าซต้องผ่านอุปกรณ์ลดความดันที่เรียก press regulator ก่อนนำไปใช้งาน

### 2.2.2 วงจรควบคุมการไหล (flow control circuit)

วงจรควบคุมการไหล ประกอบด้วยอุปกรณ์ลดความดัน อุปกรณ์ป้องกันเมื่อจ่ายก๊าซออกซิเจนล้มเหลว (oxygen supply failure protection devices) ลิ้นการไหลและมิเตอร์วัด (flow valve & meter)

อุปกรณ์ลดความดัน อุปกรณ์นี้มีความสำคัญในกรณีที่ใช้ท่อก๊าซเพราะจะช่วยปรับความดันลดลงจนถึง 45-47 PSIG ก่อนเข้าสู่เครื่องให้ยาผสมและลิ้นการไหลต่อไปความดันที่ได้หลังการปรับจะน้อยกว่าความดันในระบบท่อนำก๊าซเล็กน้อย ดังนั้นโดยส่วนใหญ่เครื่องให้ยาผสมจะใช้แหล่งก๊าซจากระบบท่อนำก๊าซ ยกเว้นกรณีความดันในท่อนำก๊าซ ยกเว้นกรณีความดันในท่อนำก๊าซต่ำกว่า 45 PSIG หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดความดันและ check valve ระบบท่อนำก๊าซจะใช้ทางร่วมกันกับถังก๊าซนอกจากนี้ยังมีระบบลิ้นระบายอากาศในกรณีที่มีความดันสูง ซึ่งถูกตั้งไว้เมื่อความดันเกิน (95-110 PSIG)

อุปกรณ์ป้องกันเมื่อแหล่งจ่ายก๊าซล้มเหลว (oxygen supply failure protection devices, OFPD) กลไกสำคัญนี้มีไว้เพื่อป้องกันการไหลของก๊าซอื่นๆไม่ให้เข้าสู่ระบบเมื่อเกิดการล้มเหลวของการจ่ายก๊าซออกซิเจน โดยหลักการคือ ออกซิเจนสามารถผ่านโดยตรงเข้าสู่ปุมปรับอัตราการไหล (flow control valve) ในขณะที่ไนตรัสออกไซด์ อากาศและก๊าซอื่นๆต้องผ่านอุปกรณ์นิรภัยอันนี้ก่อนที่จะเข้าสู่ปุมปรับอัตราการไหล

เครื่องให้ยาผสมทุกรุ่นจะมีตัวรับทราบความดันออกซิเจนที่ลดลง (oxygen supply low pressure sensor) ซึ่งกระตุ้นให้มีเสียงเตือน เมื่อความดันของออกซิเจนตกลงต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ (โดยปกติตั้งไว้ที่ 20-35 PSIG) อุปกรณ์ดังกล่าวมิได้มีไว้เพื่อป้องกันสาเหตุของการเกิดภาวะออกซิเจนต่ำ ลิ้นการไหลและมิเตอร์วัด (flow valve & meter) เมื่อก๊าซทุกชนิดถูกลดความดันลงสู่

ระดับที่ปลอดภัยแล้ว จะไหลผ่านอุปกรณ์ควบคุมการไหลและวัดการไหลด้วยมิเตอร์วัดก่อนผสมกับก๊าซชนิดอื่นเพื่อเข้าสู่เครื่องระเหยยาผสมและออกผ่านทางออกร่วมจากเครื่องให้ยาผสม (common gas outlet) การแบ่งขอบเขตระหว่างความดันสูงกับระบบความดันต่ำในเครื่องให้ยาผสมจะอยู่ที่อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล มิเตอร์วัดอัตราการไหลของเครื่องให้ยาผสมถูกแบ่งออกเป็นสองประเภทได้แก่ชนิด constant-pressure variable orifice และ electronic flow meter การทำงานที่ผิดปกติของมิเตอร์วัดอัตราการไหลอาจเกิดจากสิ่งสกปรกในท่อ วางท่อไม่ตรงกับแนวตั้ง (vertical tube misalignment) และการที่ flow ติดอยู่ที่ขอบบนภายในท่อการรั่วที่เกิดขึ้นภายในท่อหรือปลายทางของการไหลในมิเตอร์วัดการไหลของออกซิเจน อาจทำให้มีส่วนผสมของก๊าซที่มีออกซิเจนน้อย (hypoxic gas mixture) เข้าสู่ผู้ป่วยได้ ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงมิเตอร์วัดการไหลของออกซิเจนจะถูกติดตั้งให้อยู่ปลายทางต่อมิเตอร์วัดอัตราการไหลของก๊าซชนิดอื่นๆ

ระบบความปลอดภัยของลิ้นควบคุมการไหลมีสองแบบคือ ระบบการไหลของออกซิเจนที่ต่ำที่สุด (minimum oxygen flow) ลิ้นควบคุมการไหลของออกซิเจน โดยส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้ส่งผ่านก๊าซในการไหลที่ต่ำที่สุดที่ 150 มล.ต่อนาทีเมื่อเปิดเครื่องให้ยาผสมและ Oxygen Nitrous oxide ratio controller เป็นระบบที่ถูกออกแบบให้เชื่อมโยงการไหลของ Nitrous oxide และการไหลของ Oxygen เข้าด้วยกัน

### 2.2.3 เครื่องระเหยยาผสม (vaporizers)

เครื่องระเหยยาผสม คืออุปกรณ์ส่วนประกอบในเครื่องให้ยาผสมที่ทำหน้าที่โดยทำให้ยาระงับความรู้สึกชนิดไอระเหย ระเหยเป็นไอและอิมิตัวก่อนที่จะเข้าสู่ทางออกร่วมของยาผสม เครื่องระเหยยาผสมจะอยู่ระหว่างมิเตอร์วัดอัตราการไหลและทางออกร่วมของก๊าซ มีอุปกรณ์หมุนปรับเพื่อกำหนดความเข้มข้นและเครื่องป้องกันการเปิดใช้ยาระงับความรู้สึกชนิดไอระเหยมากกว่า 1 ชนิดในเวลาเดียวกัน (interlocking or exclusion device)

เครื่องระเหยยาผสมสมัยใหม่ (modern conventional vaporizer) เครื่องระเหยยาผสมสมัยใหม่จะออกแบบสำหรับยาระงับความรู้สึกชนิดไอระเหยแต่ละชนิด (agent specific) สามารถให้ความเข้มข้นที่ถึงแม้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรืออัตราการไหลของก๊าซผ่านเครื่องระบบความปลอดภัยของเครื่องระเหยยาผสมสมัยใหม่ ได้แก่ ออกแบบสำหรับยาระงับความรู้สึกชนิดไอระเหยเฉพาะแต่ละชนิด ระบบป้องกันเมื่อมีการเคลื่อนย้ายการป้องกัน pumping effect ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความดันในขณะที่ช่วยหายใจด้วยแรงดันบวก

เครื่องระเหยยาสลบสำหรับ Desflurane เนื่องจากความดันไอของ Desflurane สูงมากที่ระดับน้ำทะเลและเป็นไอที่อุณหภูมิห้อง Desflurane จึงถูกออกแบบให้ใช้เครื่องระเหยยาสลบเฉพาะที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ Desflurane sump ทำงานด้วยไฟฟ้าให้ความร้อนที่ 39 องศาเซลเซียสความดันไอที่ 2 บรรยากาศ ลักษณะการทำงานจะไม่เหมือนกัน variable bypass vaporizer คือไม่มีการไหลผ่านของอากาศผ่าน Desflurane sump ไอของ Desflurane จะผสมกับส่วนผสมของ fresh gas ก่อนออกจากเครื่องระเหยยาสลบ

#### 2.2.4 ทางออกร่วมของก๊าซ

เครื่องให้ก๊าซยาสลบมีทางออกร่วมของก๊าซทางเดียวก่อนให้ก๊าซเข้าสู่ผู้ป่วย บางครั้งเรียก fresh gas outlet เครื่องให้ยาสลบสมัยใหม่จะวัดและรายงานการไหลของก๊าซผ่านทางออกร่วม (Datex – Ohmeda S/5ADU, Narkomed 6400) มีระบบป้องกันการหลุดอย่างไม่ตั้งใจที่เรียกว่า antidisconnect device ทางออกร่วมของก๊าซยังเป็นทางออกของการไหลของออกซิเจนในอัตราสูงเมื่อผู้ใช้กดปุ่ม oxygen fresh valve โดยจะมีการไหลของออกซิเจน 35-55 ลิตรต่อนาทีโดยตรงโดยไม่ผ่านมิเตอร์วัดอัตราการไหลและเครื่องระเหยยาสลบ การใช้ปุ่มนี้ควรใช้ด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะเมื่อต้องจรรยาให้ยาสลบกับผู้ป่วยเพราะอาจทำให้เกิด barotrauma

#### 2.2.5 วงจรให้ยาสลบ (breathing circuit)

เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาการหายใจเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับเข้าไปซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียยาสลบ ทำให้เกิดมลภาวะส่วนเกินของห้องผ่าตัดและสูญเสียความร้อนและความชื้นของผู้ป่วย จึงได้พัฒนาวงจรให้ยาสลบชนิด circle system โดยองค์ประกอบของ circle system มีดังนี้

2.2.5.1 สารดูดคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide absorbent) เป็นสารเคมีสำคัญใช้สำหรับดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่หายใจออกมาเพื่อป้องกันภาวะ hypercapnia โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่หายใจออกจะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรด carbonic แล้วสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์ (sodalime หรือ barium hydroxide lime) ซึ่งมีเกลือ hydroxide จะทำให้กรด carbonic เป็นกลาง

2.2.5.2 ภาชนะบรรจุสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide absorber) เครื่องให้ดมยาสลบปัจจุบันอาจมีภาชนะบรรจุสารดูดคาร์บอนไดออกไซด์ 1-2 ชั้น แต่พบว่าความสามารถใน



การดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่า ความถี่ในการเปลี่ยนน้อยกว่าและมีความต้านทานในการไหลของก๊าซน้อยกว่า

2.2.5.3 ลิ้นเปิดปิดทางเดียว (unidirectional valve) ทำหน้าที่เป็นเส้นทางเดียวซึ่งมีแผ่นบางวางอยู่ (disk) วางอยู่ที่วงลิ้นบนวงกลม (annular valve seat) การไหลของก๊าซไปข้างหน้าจะดันแผ่นบางให้ยกขึ้นทำให้ก๊าซไหลผ่านไปได้ในขณะที่การไหลกลับของก๊าซย้อนกลับจะผลักให้แผ่นบางติดกับที่วงลิ้นจึงป้องกันการไหลย้อนกลับ

### 2.2.6. ระบบกำจัดก๊าซส่วนเกิน (scavenging system)

การให้ยาระงับความรู้สึกด้วยก๊าซและยาระงับความรู้สึกชนิดไอระเหย จะทำให้เกิดมลภาวะในห้องผ่าตัด ระบบกำจัดก๊าซส่วนเกินจะทำให้บุคคลากรที่ปฏิบัติงานในห้องผ่าตัดปลอดภัยจากการสูดดมก๊าซส่วนเกิน ก๊าซส่วนเกินจะถูกระบายออกจากวงจรให้ยาสลบผ่านทางลิ้น 2 ลิ้น ได้แก่ APL valve และ spill valve ของเครื่องช่วยหายใจทั้งสองลิ้นควรต่อกับท่อส่งก๊าซเพื่อเชื่อมระบบระบายก๊าซส่วนเกิน ซึ่งอาจถูกออกแบบให้อยู่ภายในเครื่องให้ยาสลบหรือต่อภายนอก ระบบกำจัดก๊าซส่วนเกินมี 2 ระบบ ได้แก่ ระบบเปิดและระบบปิด ระบบเปิดจะเปิดสู่อากาศภายนอกและมักไม่ต้องมีลิ้นระบายอากาศ ระบบปิดจะปิดไม่ให้ออกสู่บรรยากาศภายนอกและต้องการลิ้นระบายอากาศทั้งที่มีความดันบวกและความดันลบ เพื่อป้องกันผู้ป่วยจากความดันที่ลบมากเกินไปของระบบสุญญากาศและความดันบวกที่มากเกินไปจากการอุดตันในระบบท่อส่งทางออกของระบบกำจัดก๊าซส่วนเกินอาจจะต่อท่อตรงสู่ภายนอกผ่านท่อระบายอากาศหรือต่อกับระบบสุญญากาศของโรงพยาบาล การตั้งลิ้นควบคุมสุญญากาศ ควรปรับให้มีการดูดอากาศ 10-15 ลิตรต่อนาที เพื่อลดความเสี่ยงต่อการมีความดันลบที่มากเกินไปที่อาจมีผลกับวงจรให้ยาสลบ

## 2.3 ตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหลของยาสลบ<sup>1</sup>

ยาสลบสามารถรั่วไหลออกสู่บรรยากาศการทำงาน ได้แก่ การเติมยาสลบ ระบบท่อส่งยาสลบ ลมหายใจออกของผู้ป่วยที่มียาสลบผสม นอกจากนั้นก็จะมีในส่วนของข้อต่อที่มีจำนวนมากและสายยางที่ยาวอาจทำให้เกิดการอุดตันหรือหักงอจนทำให้วงจรของเครื่องช่วยหายใจ (breathing circuits) เกิดแรงดันเพิ่มขึ้น ทำให้ยาสลบออกมาในบรรยากาศของห้องหรือกรณีที่แรงดันสูงมากอาจเกิด barotrauma ในผู้ป่วยได้

สำหรับระบบความดันสูง (high - pressure system) ซึ่งเป็นระบบที่ส่งยาสลบมาทางผนังหรือท่อก๊าซผ่านวาล์วควบคุมการไหล การรั่วไหลสามารถเกิดได้ตั้งแต่ท่อปล่อยก๊าซที่ผนังท่อก๊าซ

ที่เชื่อมต่อทางเข้ากับเครื่องมือวาล์วท่อก๊าซ จุดเชื่อมต่อที่ไม่ใช้วงแหวนอัดลูกสูบ ดังนั้นอุปกรณ์คัมยาสลบจึงต้องถูกออกแบบให้ทำงานกับระบบความดันสูงอย่างปลอดภัย และการติดตั้งจุดเชื่อมต่อต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM F 1161 -88 เพื่อให้สามารถทนแรงเค้นในการปิด-เปิดได้อย่างดี

สำหรับระบบความดันต่ำ (low - pressure system) เป็นระบบที่ทำงานเหนือความดันบรรยากาศเพียงเล็กน้อย มีส่วนประกอบอุปกรณ์ได้แก่ มาตรวัดการไหล อุปกรณ์ทำให้กลายเป็นไอทางออก/ทางระบายก๊าซ ซึ่งการรั่วไหลของยาผสมสลบสามารถเกิดได้ตลอดระบบ

## 2.4 ผู้ที่มีโอกาสสัมผัสกับยาสลบ<sup>(1)</sup>

บุคลากรทางการแพทย์ที่มีโอกาสสัมผัสยาสลบ ได้แก่ วิศวณิแพทย์ วิศวณิพยาบาล ศัลยแพทย์ พยาบาลห้องคลอด พยาบาลส่งเครื่องมือแพทย์ พยาบาลประจำห้องฟักฟืน ผู้ช่วยพยาบาล เจ้าหน้าที่กลุ่มอื่นๆ ในห้องผ่าตัด ทันตแพทย์ ผู้ช่วยทันตแพทย์ สัตวแพทย์ ผู้ช่วยสัตวแพทย์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค เจ้าหน้าที่ห้องฉุกเฉิน เจ้าหน้าที่รังสี

## 3. แนวทางการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่<sup>17</sup>

### 3.1 คำนิยามพื้นฐาน<sup>17</sup>

การไหลของอากาศ ของไหลจะเคลื่อนที่จากที่ซึ่งมีความดันสูงไปยังที่ซึ่งมีความดันต่ำกว่าเสมอ ชนิดของความดันในระบบระบายอากาศมี 3 ชนิด คือ

1. ความดันสถิต (Static pressure, SP) คือความดันภายในท่อที่ทำให้ท่อคงรูปอยู่ได้และอาจทำให้ท่อระเบิดออกหากความดันภายในสูงเกินความต้านทานของท่อ หรืออาจทำให้ท่อยุบตัวได้หากความดันภายนอกสูงกว่าความดันภายในหรือความต้านทานของท่อ ความดันสถิตเป็นได้ทั้งบวกหรือลบ

2. ความดันเคลื่อนที่ (Velocity pressure, VP) คือ พลังงานที่เร่งอากาศซึ่งหยุดนิ่งให้มีความเร็วระดับหนึ่ง

3. ความดันรวม (Total pressure, TP) เป็นผลรวมของความดันสถิตและความดันเคลื่อนที่ การวัดความดันโดยทั่วไปจะใช้มาโนมิเตอร์น้ำ ในการวัดความดันรวมจะต้องวัดหลายจุดแล้วจึงหาค่าเฉลี่ย อัตราการไหลของอากาศโดยปริมาตร (Volumetric Flow rate) อัตราการไหลของอากาศ หมายถึง ปริมาตรของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา อัตราการไหลของอากาศสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของอากาศและพื้นที่หน้าตัดของจุดที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน

### 3.2 หลักการระบายอากาศเฉพาะที่<sup>17</sup>

การระบายอากาศแบบเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation) เป็นการนำสารปนเปื้อนที่กำลังเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปยังสิ่งแวดล้อมการทำงานไปกำจัดก่อนปล่อยอากาศสะอาดออกสู่บรรยากาศภายนอก

#### 3.2.1 องค์ประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ระบบระบายอากาศแบบเฉพาะที่ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ฮูด ระบบท่อ เครื่องทำความสะอาดอากาศและพัดลม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ฮูด (hood) ทำหน้าที่รวบรวมสารปนเปื้อนที่แหล่ง ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตหรือบริเวณจัดเก็บเข้าสู่ระบบ
2. ระบบท่อ (duct system) ทำหน้าที่ขนส่งอากาศผ่านส่วนต่างๆ ของระบบ นั่นคือ นำอากาศที่มีสารปนเปื้อนเข้าสู่เครื่องทำความสะอาดอากาศและนำอากาศสะอาดผ่าน ไปยังพัดลมและปล่องซึ่งเป็นท่อที่อยู่ต่อจากพัดลมเป็นส่วนที่นำอากาศออกไปสู่บรรยากาศในทิศทางที่อากาศนั้นจะไม่สามารถกลับเข้ามาในระบบได้อีก
3. เครื่องทำความสะอาดอากาศ (air cleaner) ทำหน้าที่ขจัดหรือแยกสารปนเปื้อนออกจากอากาศ
4. พัดลม ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ระบบ ฉะนั้นพัดลมจะต้องทำให้เกิดพลังงานมากพอที่จะเอาชนะแรงเสียดทานและความสูญเสียต่างๆ ในระบบ

#### 3.2.2 หลักการทำงานของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

การคำนวณเพื่อออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ต้องเข้าใจหลักการการไหลของอากาศคือ มวลไม่สูญหาย (conservation of mass) และพลังงานไม่สูญหาย (conservation of energy) หมายความว่า มวลและพลังงานทั้งหมดในระบบต้องถูกนำมาคำนวณจะสูญหายไปไม่ได้ นอกจากนี้หลักการต่อไปนี้จึงถูกนำมาใช้ในการออกแบบระบบระบายอากาศด้วย ดังนี้

1. ไม่คำนึงถึงผลกระทบของการถ่ายเทความร้อน ถ้าอุณหภูมิภายในท่อแตกต่างจากรอบๆ ท่ออย่างมีนัยสำคัญจะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในท่อเปลี่ยนไป มีผลทำให้อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศเปลี่ยนไปแต่ผลกระทบนี้จะถูกนำมาคำนวณเมื่ออุณหภูมิอากาศในท่อต่างจากอากาศภายนอก 40 องศาเซลเซียสขึ้นไปเท่านั้น
2. ไม่คำนึงถึงผลกระทบที่อากาศถูกอัดแต่ถ้าความดันลดทั้งหมดจากจุดเริ่มต้นของระบบจนถึงพัดลมสูงกว่า 5 กิโลพาสคาลส์แล้วความหนาแน่นของอากาศจะเปลี่ยนไปประมาณ 5% ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนไปจึงต้องนำผลกระทบนี้มาคำนวณด้วย

3. สมมติให้อากาศแห้งไม่มีไอน้ำไอน้ำในอากาศทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลง ฉะนั้นหากมีไอน้ำในอากาศต้องปรับแก้อัตราการไหลของอากาศสำหรับผลกระทบนี้ด้วย

4. ไม่คำนึงถึงน้ำหนักและปริมาตรของสารปนเปื้อนในกระแสอากาศทั้งนี้เนื่องจากในระบบระบายอากาศอุตสาหกรรมทั่วไปมีปริมาณของสารปนเปื้อนไม่สูง จึงไม่ต้องปรับแก้ความหนาแน่นของอากาศซึ่งมีผลต่ออัตราการไหลของอากาศเนื่องจากปัจจัยนี้ถ้าหากมีอนุภาคหรือก๊าซ/ไอรระเหยมาก จะต้องทำการปรับแก้ความหนาแน่นของอากาศด้วย

3.2.3. ความสูญเสียหรือพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศเคลื่อนที่ในระบบ

1. ความสูญเสียจากการทำให้อากาศเคลื่อนเข้าสู่ท่อ ประกอบด้วยพลังงาน 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้ในการเร่งอากาศที่หน้าสุดซึ่งหยุดนิ่ง (ความเร็วเท่ากับศูนย์) ให้มีความเร็วเท่ากับความเร็วลมภายในท่อ เรียกว่า acceleration loss และพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศเคลื่อนเข้าสู่ท่อเรียกว่า hood entry loss ซึ่งมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับรูปร่างของท่อ ถึงแม้จะไม่มี การสูญเสียแต่ความดันสถิตต้องลดลง เนื่องจากการเร่งอากาศให้มีความเร็วจากศูนย์ในบรรยากาศให้มีความเร็วเท่ากับความเร็วในท่อ

2. ความสูญเสียในท่อ (duct losses) เมื่ออากาศเคลื่อนที่จากท่อเข้าสู่ท่อ พลังงานหรือความสูญเสียจากการทำให้อากาศเคลื่อนที่ซึ่งเกิดจากการเสียดทานที่ผิวท่อ (friction loss) และการผันผวนของอากาศ (turbulence loss) เกิดขึ้นในบริเวณที่มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ เช่น ท่อโค้ง และบริเวณข้อต่อ เช่น ท่อสาขาเข้าสู่ท่อหลัก ซึ่งบริเวณดังกล่าวต้องมีการต่อเชื่อมท่อด้วยอุปกรณ์รูปร่างต่างๆ (จึงเรียกความสูญเสียชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า Fitting losses) ซึ่งสามารถวัดได้ในรูปของความดันลด ฉะนั้น เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างเหมาะสม พัดลมต้องสร้างความดันในด้านดูดเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยความสูญเสีย

2.1 ความสูญเสียจากการเสียดทานที่ผิวท่อ (friction loss) เมื่ออากาศเคลื่อนที่ในท่อย่อมเกิดแรงเสียดทานระหว่างอากาศและผิวท่อ ความสูญเสียนี้มีปัจจัยร่วมหลายประการคือ ขนาดท่อ ความหนาแน่นและความหนืดของอากาศ ความหยาบของผิวท่อ และความเร็วลมในท่อ

ความหยาบของผิวท่อ แสดงเป็นค่าความหยาบสัมพัทธ์ (Relative roughness,  $k$ ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความหนาของผิวหยาบของวัสดุแต่ละชนิดและเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าความหยาบสัมบูรณ์ของผิววัสดุที่ใช้ทำท่อในระบบระบายอากาศ<sup>17</sup>

วัสดุท่อ	ความหยาบของผิววัสดุ (k), มม.
Galvanized metal	0.15
Black iron	0.05
Aluminium	0.05
Stainless steel	0.05
Flexible duct (wire exposed)	3
Flexible duct (wire covered)	0.9

หมายเหตุ : ค่า k อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตท่อเหล่านั้น

เมื่อทราบ  $R_e$  และความหยาบสัมพัทธ์ (k) สามารถคำนวณค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (friction factor, f) ได้ซึ่งค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานจะนำไปใช้ในสมการ Darcy Weisbach friction เพื่อคำนวณหาความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานทั้งหมดค่า a, b, c เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุท่อ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่สำหรับสมการซึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุท่อ<sup>17</sup>

วัสดุท่อ	k, มม.	a	b	c
Aluminium, Black iron, Stainless steel	0.05	0.0162	0.465	0.602
Galvanized sheet duct	0.15	0.0155	0.533	0.612
Flexible duct, fabric wire covered	0.9	0.0186	0.604	0.639

2.2 ความสูญเสียจากการผันผวนของอากาศบริเวณข้อต่อ (turbulence loss หรือ fitting loss) ท่อในระบบระบายอากาศอาจต้องโค้งงอในองศาต่างๆ หรือต่อเชื่อมกันด้วยวัสดุต่อเชื่อมท่อ (transitions) เพื่อเปลี่ยนทิศทางหรือเปลี่ยนขนาดตามโครงสร้างอาคารหรือกระบวนการผลิต ในบริเวณดังกล่าวจึงเกิดการผันผวนของอากาศ เนื่องจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นนี้สามารถลดได้ด้วยการออกแบบที่ดี การคำนวณความสูญเสียนี้มี 2 วิธี คือ 1) วิธีความดันเคลื่อนที่ (velocity pressure method) และ 2) วิธีความยาวเทียบเท่า (equivalent length method)

2.3 ความสูญเสียที่อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศทำหน้าที่กรองหรือขจัดสารปนเปื้อนในอากาศซึ่งหลุดออกจากแหล่งเพื่อให้อากาศมีคุณภาพในระดับที่ยอมรับได้ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ระบบต้องใช้พลังงานผลักดันให้อากาศเคลื่อนที่

ผ่านอุปกรณ์ดังกล่าวด้วย ซึ่งพลังงานที่ต้องการนี้ขึ้นกับชนิดของอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนอากาศผ่านอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ<sup>17</sup>

อุปกรณ์	พาสคาลส์
Bag Filter	700 – 2000
Cyclone	250 – 1500
Electrostatic Precipitator	125 – 250
Scrubber	
- Packed tower	250 – 750
- Wet centrifugal or venture collector	500 – 1500
Carbon adsorbed	250 – 2500

### 3.3 ชนิดของฮูด<sup>17</sup>

ฮูดอาจมีรูปร่างแตกต่างกันมากมาย แต่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ enclosing hood และ exterior hood ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. enclosing hood หมายถึง ฮูดที่ครอบปิดแหล่งกำเนิดของสารปนเปื้อนหรือกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดสารปนเปื้อนไว้ทั้งหมดหรือบางส่วน ลักษณะของฮูดซึ่งครอบแหล่งสารปนเปื้อนไว้เช่นนี้ทำให้สารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นอยู่ภายในฮูด และง่ายต่อการนำเข้าสู่ระบบเนื่องจากไม่ถูกรบกวนด้วยกระแสลมหน้าฮูด ฉะนั้นหากไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับกระบวนการผลิต หรือไม่ขัดขวางการทำงาน ควรพิจารณาเลือกใช้ฮูดชนิดนี้ก่อน เนื่องจากเป็นฮูดที่มีประสิทธิภาพสูงและหากไม่สามารถใช้แบบที่ปิดคลุมทั้งหมดได้ควรใช้แบบที่ปิดคลุมบางส่วน

2. exterior hoods หมายถึงฮูดที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งของสารปนเปื้อนโดยไม่ปิดคลุมแหล่ง แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

2.1 canopy หรือ receiving hood ฮูดชนิดนี้มีลักษณะตามชื่อนั้นคือ รอรับสารปนเปื้อนที่เคลื่อนที่เข้าใกล้ในระยะที่แรงดูดของพัดลมซึ่งส่งผ่านฮูดสามารถดูดอากาศและสารปนเปื้อนเข้าไปได้ ฮูดชนิดนี้นิยมใช้ในกระบวนการผลิตที่สารปนเปื้อนได้รับความร้อนและลอยขึ้นสู่ระยะที่ฮูดสามารถดูดได้โดยไม่ต้องใช้พลังงาน canopy หรือ receiving hood มี 2 ชนิด คือ

- high canopy กระบวนการที่ใช้สูดชนิดนี้ เช่น เตาเผาขนาดใหญ่ ซึ่งใช้รถคักขนาดใหญ่ในการป้อนขยะเข้าเตาเผา ดังนั้นสูดจึงต้องอยู่ในระดับสูงเพื่อไม่ให้กีดขวางการทำงานของรถคัก เป็นต้น

- low canopy หมายถึง สูดที่มีระยะห่างระหว่างแหล่งสารปนเปื้อนกับสูดน้อยกว่าความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของแหล่งสารปนเปื้อนหรือน้อยกว่า 3 ฟุต ทั้งนี้ให้พิจารณาจากค่าที่น้อยกว่า

2.2 capturing hood สูดชนิดนี้ต้องส่งแรงดูดออกไปเพื่อนำสารปนเปื้อนและอากาศเข้าสู่สูด ซึ่งมีหลายรูปแบบได้แก่

- side draft เป็นสูดที่ติดตั้งอยู่ด้านข้างของแหล่งสารปนเปื้อน โดยทั่วไปใช้ในกระบวนการผลิตที่สารปนเปื้อนเป็นก๊าซหรือไอระเหยซึ่งลอยขึ้นจากแหล่งอย่างช้าๆ และถูกดูดเข้าสู่ระบบก่อนที่จะลอยขึ้นสู่บรรยากาศรอบๆ หรือระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน

- slot hood คือ สูดที่สัดส่วนของด้านกว้าง (W) ต่อด้านยาว (L) น้อยกว่า 0.2

- downward hood เป็นสูดที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างของแหล่งสารปนเปื้อนเพื่อรองรับและดูดสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบ โดยทั่วไปใช้กับสารปนเปื้อนที่เป็นอนุภาคและมีแนวโน้มที่จะตกลงสู่ด้านล่าง

- high velocity, Low volume hood เป็นสูดที่ดูดอากาศเข้าไปในปริมาณที่น้อยแต่ด้วยความเร็วสูง เพื่อดูดสารปนเปื้อนที่เกิดจากแหล่งขนาดเล็กและเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว

2.3 ระบบผลัก-ดึง (push-pull system) เป็น exterior hood เป็นสูดที่อาศัยหลักการเป่าและการดูดของพัดลม อากาศจากด้านตรงข้ามกับสูดจะถูกเป่าออกมาเพื่อส่งสารปนเปื้อนให้เคลื่อนที่เข้าใกล้สูด ในขณะที่สูดสามารถดูดสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้พลังงานน้อย ข้อดีของการเป่าอากาศส่งสารให้เข้าใกล้สูดคือ ด้วยพลังงานเท่ากันสามารถควบคุมทิศทางของลำอากาศที่เป่าออกไปได้ในระยะทางที่ไกลกว่าการดูด ดังนั้นทั้งระบบคือ ด้านดูดและด้านเป่าใช้พลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับการดูดเพียงอย่างเดียว แต่มีประสิทธิภาพในการนำสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบได้ดีกว่า

### 3.4 ลักษณะของสารปนเปื้อนและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทางเลือกและติดตั้งสูด<sup>17</sup>

1. แรงเฉื่อยจากการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน อนุภาคที่มีน้ำหนักมากจะได้รับผลกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อยเมื่อเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการดูดอากาศและสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบ แรงเฉื่อยไม่มีผลต่อก๊าซ ไอระเหยและฟุ้ง รวมทั้งอนุภาคที่มีขนาดเล็ก

กว่า 20 ไมโครเมตร หรืออนุภาคขนาดเล็กที่เคลื่อนที่ออกจากแหล่ง โดยไม่มีความเร็วหรือความเร็วต่ำ สารปนเปื้อนสามารถผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกับอากาศได้จึงเคลื่อนที่ไปตามอากาศได้ง่าย จุดที่ติดตั้งชุดจึงอาจไม่ใช่ประเด็นสำคัญ

2. น้ำหนักของสารปนเปื้อน สารที่มีน้ำหนักมากมีแนวโน้มที่จะไหลลงสู่ที่ต่ำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก อย่างไรก็ตามในการออกแบบระบบนั้นหากคำนึงถึงเฉพาะน้ำหนักของสารปนเปื้อนเทียบกับอากาศเพียงอย่างเดียว อาจทำให้กำหนดจุดติดตั้งชุดไม่เหมาะสมได้ เพราะผลกระทบของแรงโน้มถ่วงต่อสาร โดยเฉพาะก๊าซ ไอร์อะเฮย พุ่ม และอนุภาคที่มีขนาดเล็กไม่มีความสำคัญเนื่องจากสารจะเคลื่อนที่ตามกระแสอากาศเสมอ ทำให้สารปนเปื้อนผสมผสานกับอากาศจนกลายเป็นสารผสมที่มีความเข้มข้นสม่ำเสมอ

3. ผลกระทบจากความผันผวนของอากาศ เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านวัตถุใดๆที่ขวางทางอยู่หากวัตถุนั้นมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของลำอากาศ อากาศจะเคลื่อนที่ต่อไปในทิศทางเดิมโดยอ้อมวัตถุนั้นไป ทำให้เกิดการแยกตัวของลำอากาศ ซึ่งเรียกว่า “boundary layer separation” และเมื่ออากาศกลับมารวมกันอีก ทำให้เกิดการผันผวนไหลวนขึ้นที่ด้านหลังของวัตถุ ถ้าคนงานที่ยืนทำงานอยู่กับหรือใกล้กับแหล่งสารปนเปื้อน เมื่ออากาศเคลื่อนที่มาจากด้านหลังของคนงานผ่านด้านข้างและมารวมที่ด้านหน้าอาจเกิดการผันผวนไหลวนของอากาศ ทำให้สารปนเปื้อนลอยขึ้นสู่ระดับหายใจของคนงานได้

4. อุณหภูมิของสารปนเปื้อน สารปนเปื้อนที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวขึ้นในแนวตั้ง เนื่องจากอากาศร้อนขยายตัวลอยขึ้นและนำเอาสารปนเปื้อนไปด้วย การติดตั้งชุดที่ด้านข้าง เช่น side draft hood ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศและสารปนเปื้อนตั้งฉากกับช่องเปิดของชุด ทำให้ชุดไม่มีประสิทธิภาพและต้องใช้พลังงานมากในการดูดสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบ

### 3.5 ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบชุด<sup>17</sup>

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ทำงานโดยพัดลมซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของระบบทำให้เกิดความดันต่ำขึ้นในท่ออากาศบริเวณรอบๆชุดซึ่งมีความดันสูงกว่าจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องเปิดของชุด พลังงานที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่นี้ต้องมากพอที่จะควบคุมให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ไปถึงชุด การเคลื่อนที่ของอากาศในบริเวณใกล้เคียงอาจรบกวนการไหลของอากาศเข้าสู่ชุด ซึ่งอาจทำให้ต้องเพิ่มแรงดูดของระบบเพื่อเอาชนะการรบกวน ฉะนั้นการกำจัดแหล่งที่ทำให้อากาศในบริเวณหน้าชุดผันผวนจึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะทำให้สารปนเปื้อนเคลื่อนเข้าสู่ชุดได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่สิ้นเปลืองพลังงานแหล่งที่ทำให้อากาศเคลื่อนไหวหรือผันผวนได้แก่



- กระแสอากาศร้อน โดยเฉพาะจากกระบวนการผลิต หรือจากการผลิตความร้อน
- การเคลื่อนที่ของเครื่องจักร เช่น สายพาน งานเจียร
- การเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น จากการเทสารหรือสิ่งของลงในภาชนะ
- การเคลื่อนที่ของคนงาน
- กระแสอากาศในห้อง (โดยทั่วไปประมาณ  $>0.25$  เมตรต่อวินาที)
- การเคลื่อนที่ของอากาศอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการทำให้เครื่องจักรร้อนหรือเย็นเป็นจุดๆ

ในการออกแบบชุดต้องคำนึงถึงรูปร่าง ขนาด จุดที่ติดตั้งชุดและอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุด ปัจจัยที่ต้องพิจารณาได้แก่

1. capture velocity คือความเร็วต่ำสุดที่อากาศ ณ จุดกำเนิดสารปนเปื้อนซึ่งอยู่ห่างไกลที่สุด ถูกดูดเข้าสู่ระบบความเร็วนี้ขึ้นกับอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดและรูปร่างของชุด
2. อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดสำหรับ exterior hood อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดจากทุกทิศทางภายในขอบเขตจำกัด อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดคำนวณได้จากรูปร่างทรงเรขาคณิตของอากาศ โดยมีจุดกำเนิดของสารปนเปื้อน (X) อยู่บนพื้นผิวของรูปทรงเรขาคณิตและสำหรับ enclosure hood ความเร็วลมที่พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิด คือ capture velocity
3. ปีกและแผ่นกั้น (flanges and baffles) ปีก คือ แผ่นวัสดุที่ติดอยู่ที่ขอบด้านหน้าชุด ทำหน้าที่กั้นไม่ให้อากาศจากด้านหลังชุดซึ่งไม่ถูกปนเปื้อนเคลื่อนเข้าสู่ชุดส่วนแผ่นกั้นคือ แผ่นวัสดุที่ทำหน้าที่กั้นไม่ให้อากาศทางด้านหน้าหรือด้านข้างชุดที่ไม่ปนเปื้อนเคลื่อนเข้าสู่ชุด หากชุดตั้งอยู่บนพื้นระนาบ ขอบเขตอากาศรอบชุดที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดลดลงครึ่งหนึ่ง ทั้งในกรณีที่มีปีกและแผ่นกั้น จึงสามารถลดอัตราการไหลของอากาศลงครึ่งหนึ่งในขณะที่ยังคงสามารถดูดสารปนเปื้อนเข้าสู่ชุดได้เท่าเดิมเนื่องจาก capture velocity เท่าเดิมตามที่ต้องการ ปีกสามารถลดอัตราการไหลของอากาศลงประมาณ 25% เพื่อให้ได้ Capture velocity เท่าเดิมและเพื่อความเหมาะสมจึงเสนอแนะให้ความกว้างของปีกเท่ากับ A เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของชุด
4. การกระจายตัวของอากาศ ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าสู่ชุดเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้สูญเสียพลังงานมากน้อยต่างกันได้ หากอากาศมีการกระจายตัวดีและเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดอย่างเป็น

ระเบียบ จะทำให้สูญเสียพลังงานน้อยกว่าอากาศที่ผันผวน การออกแบบระบบจึงต้องคำนึงถึงการกระจายตัวของอากาศที่จะเข้าสู่ชุดเสมอการกระจายตัวของอากาศในชุด 2 ชนิด คือ

1. สล๊อตชุด คุณลักษณะของชุดชนิดนี้คือ มีอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของช่องเปิด (W/L) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 โดยทั่วไปหน้าที่หลักของสล๊อตชุดคือ ทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าและกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ ค่า capture velocity ของชุดต้องเพียงพอสำหรับดูดอากาศที่อยู่ห่างจากชุดเท่ากับความกว้างของแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน

2. ชุดกลมและชุดสี่เหลี่ยม การกระจายตัวของอากาศสำหรับชุดกลมและชุดสี่เหลี่ยมเกิดจากการไหลของอากาศภายในชุดมากกว่าที่จะเกิดจากความดันลด กรณีของสล๊อตชุดเทคนิคที่นำมาใช้ในการทำให้อากาศกระจายตัวสม่ำเสมอก่อนเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อเพื่อลดความสูญเสียคือการใช้แทปเปอร์ (taper) หรือมีช่องให้อากาศเคลื่อนที่เข้าหลายช่อง (multiple take-offs)

5. ตำแหน่งที่คนงานยืนทำงาน ระบบระบายอากาศจึงถูกออกแบบมาเพื่อติดตั้งในจุดที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดของสารปนเปื้อนมากที่สุด และเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดบ่อยครั้งที่การออกแบบไม่ได้คำนึงถึงจุดที่คนงานต้องยืนทำงานอย่างปลอดภัย

6. การเลือกชนิดของชุด ในการออกแบบควรพิจารณาชุดที่ปิดทุกด้าน (6 ด้าน enclosure hood) ซึ่งเป็นชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดก่อน หากมีข้อจำกัดไม่สามารถเลือกได้ จึงเลือกโดยการเปิดทีละด้านเพื่อให้ด้านเปิดของชุดมีน้อยที่สุด เนื่องจากหากมีช่องเปิดมากต้องมีอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดสูงตามไปด้วย เพื่อคงค่า capture velocity ไว้ตามต้องการซึ่งหมายถึงพลังงานที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นควรเลือกชุดโดยเริ่มที่ชุด 6 ด้าน 5 ด้าน 4 ด้าน 3 ด้าน 2 ด้านและด้านเดียวตามลำดับ

### 3.6 พลังงานที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ชุด<sup>17</sup>

การทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดต้องใช้พลังงาน พลังงานที่สูญเสียหรือใช้ไปประกอบด้วย 2 ส่วน คือ acceleration loss และ hood entry loss acceleration loss มีค่าเท่ากับ ความดันเคลื่อนที่ในท่อ (VP) และความสูญเสียในส่วนที่ 2 เกิดขึ้นขณะที่อากาศผ่านเข้าสู่ท่อ บริเวณทางเข้าเกิดการผันผวนของอากาศ ซึ่งเรียกว่า “วีน่าคอนแทร็กต้า” (vena contracta) ทำให้สูญเสียพลังงาน ไปเล็กน้อยในขั้นแรก เพื่อเปลี่ยนความดันสถิตให้เป็นความดันเคลื่อนที่ และเมื่ออากาศเคลื่อนผ่านช่วงที่เกิด (vena contracta) ไปแล้วอากาศจะไหลเต็มท่อ ความดันเคลื่อนที่เปลี่ยนไปเป็นความดันสถิต ณ จุดนี้ ความเร็วลมลดลงโดยไม่สามารถควบคุมได้ จึงเกิดการสูญเสีย

พลังงานอีกครั้งหนึ่งซึ่งเป็นการสูญเสียส่วนใหญ่ในขณะอากาศเคลื่อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า hood entry loss ( $h_e$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับความดันเคลื่อนที่ในท่อคูณ  $F$  แสดงค่า  $F_h$  ของชุดชนิดต่างๆ ถ้าเกิด (vena contracta) มากยิ่งทำให้สูญเสียพลังงานมาก นั่นคือ ค่าความดันสถิตที่สูง (hood static pressure,  $SP_h$ ) มีค่ามากขึ้น

การสูญเสียพลังงานที่สูง โดยแบ่งชุดเป็น 2 ประเภท คือ ชุดธรรมดา (simple hood) และชุดที่ซับซ้อน (compound hood)

1. ชุดแบบธรรมดา หมายถึงชุดที่มีการสูญเสียพลังงานก่อนเข้าสู่ท่อเพียงจุดเดียว ความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่สูงมีค่าเท่ากับความดันสถิตที่สูงซึ่งมีค่าเท่ากับ acceleration loss บวกกับ hood entry loss ( $h_e$ )

2. ชุดแบบซับซ้อน (compound hoods) หมายถึง ชุดซึ่งมีการสูญเสียพลังงานก่อนเข้าสู่ท่อมากกว่าหนึ่งจุด (คือที่ชุดและที่ท่อ) และต้องพิจารณาความสูญเสียที่แต่ละจุดแยกกันแล้วจึงนำค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดมารวมกันเป็นพลังงานที่สูญเสียทั้งหมดของชุด ชุดที่มีการสูญเสียพลังงาน 2 ครั้ง คือ สล๊อตชุด

ตารางที่ 2.5 ความเร็วที่เหมาะสมในการจับสารมลพิษสำหรับท่อดูดอากาศแบบต่างๆ<sup>18</sup>

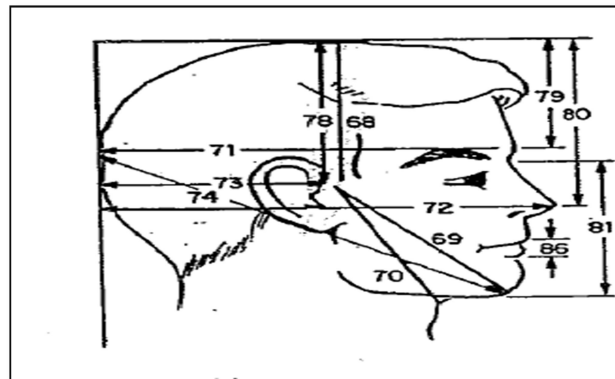
ช่วงความเร็ว (ฟุต/นาทึ)	ชนิดของความเร็ว	กระบวนการหรือชนิดของท่อดูดอากาศ	การปล่อยสารมลพิษและสถานะของสิ่งแวดล้อม
50-100	ความเร็วจับ	การล้างกรีต	สารมลพิษไม่มีความเร็วด้านอากาศในห้องสงบ
75-125	ความเร็วหน้าตู้	ตู้ดูดควัน, ตู้อบแห้ง	แหล่งกำเนิดสารมลพิษอยู่ในท่อดูดอากาศ
	ความเร็วจับ	การบัดกรี	แหล่งกำเนิดมลพิษอยู่ในห้องที่สงบ
	ความเร็วควบคุม	ถังเปิด	การระเหยของสารเคมีจากถัง
125-150	ความเร็วหน้าตู้	ตู้ดูดควันสำหรับสารมีพิษสูง	-

ตารางที่ 2.5 ความเร็วที่เหมาะสมในการจับสารมลพิษสำหรับท่อดูดอากาศแบบต่างๆ (ต่อ)<sup>18</sup>

ช่วงความเร็ว (ฟุต/นาทึ)	ชนิดของ ความเร็ว	กระบวนการหรือชนิดของ ท่อดูดอากาศ	การปล่อยสารมลพิษและ สถานะของสิ่งแวดล้อม
100-200	ความเร็วจับ	บุทฟ่งลี การเชื่อม การบรรจุ สารลงถัง ถังสารเคมีการขน ถ่ายด้วยสายพานความเร็วต่ำ	สารมลพิษมีความเร็วต่ำ อากาศ ในห้องเคลื่อนไหวด้วย ความเร็วต่ำ
	ความเร็ว ควบคุม	ถังเปิด	ออกแบบท่อดูดตามแบบANSI สำหรับถังเปิด
200-500	ความเร็วจับ	การبردด้วยวัสดุ การขนถ่าย ด้วยสายพาน บันไดขั้นๆ	สารมลพิษมีความเร็วต้นปาน กลางอากาศในห้องเคลื่อนไหว ปานกลาง
	ความเร็ว ควบคุม	ท่อดูดอากาศแบบคาโนปี	ใช้ท่อดูดอากาศแบบคาโนปี ตามANSI ใช้ความเร็วลมใน เกณฑ์ขั้นต่ำ

### 3.7 ขนาดของใบหน้าที่ใช้สำหรับการคำนวณตามมาตรฐาน MIL-STD-1472D<sup>19</sup>

ขนาดของใบหน้ามีความสำคัญในการคำนวณของสล้อตชุด เพราะต้องนำขนาดของ  
ใบหน้ามาคำนวณหา ค่า L (ความยาวของชุดหรือสล้อต) และ ค่า X (ระยะห่างที่สุดจากชุดถึงแหล่ง  
สารปนเปื้อน โดยวัดที่แนวกึ่งกลางของชุด) จากสมการ  $Q = 3.7 LVX$



ภาพที่ 2.1 ขนาดของใบหน้าสำหรับการคำนวณ

ตารางที่ 2.6 แสดงขนาดของใบหน้าสำหรับใช้ในการคำนวณตามมาตรฐานMIL-STD-1472D ใช้หน่วยเซนติเมตร<sup>19</sup>

	Head abnd face dimensions	5th percentile			95th percentile		
		Ground troops	Aviator	Women	Ground troops	Aviator	Women
Percentile values							
67	Head circumference	20.94	21.18	20.57	23.16	23.59	22.73
68	Bitracion-coronal curvature	12.56	13.14	12.31	14.21	14.90	14.29
69	Bitracion-menton curvature	11.42	11.86	10.74	13.03	13.66	12.45
70	Bitracion-submandibular curvature	10.51	11.18	9.63	12.09	13.23	11.37
71	Head length	7.19	7.32	6.80	8.14	8.27	7.80
72	Pronasale to wall	8.18	8.42	7.88	9.27	9.50	9.15
73	Tracion to wall	3.33	3.62	3.47	4.95	4.77	4.64
74	Head diagonal (menton-occiput)	9.60			10.59		
75	Head breadth	5.59	5.67	5.33	6.40	6.50	6.12
76	Bitracion breadth	4.92	5.17	4.76	5.71	5.98	5.45
77	Biaurcular breadth	6.50	6.89	5.61	7.64	7.95	6.84
Head height (trag-top of							
78	head)	4.69	4.74	4.55	5.72	5.69	5.62
79	Glabella to top of head	2.56	2.81	2.79	3.70	4.30	3.88
80	Pronasale to top of head	4.57	5.12	4.70	5.94	6.54	6.61
Face length (menton-							
81	sellion)	4.14	4.04	3.79	5.17	5.13	4.63
82	Face(bizygomatic breadth)	5.04	4.87	4.69	5.88	5.94	5.53
83	Biocular breadth	3.66	3.31	3.47	4.29	3.99	4.14
84	Interpupillary breadth	2.01	2.10	2.00	2.67	2.75	2.57
85	Interocular breadth	1.08		1.05	1.50		1.45
86	Lip-to-lip length	1.08			0.92		

ตารางที่ 2.6 แสดงขนาดของใบหน้าสำหรับใช้ในการคำนวณตามมาตรฐานMIL-STD-1472D ใช้หน่วยเซนติเมตร<sup>19</sup> (ต่อ)

Head abnd face dimensions	5th percentile			95th percentile		
	Ground troops	Aviator	Women	Ground troops	Aviator	Women
	Percentile values					
87 Lip length(mouth breadth)		1.08	1.46	2.30	2.01	
88 Ear length	2.17	1.08	1.77	2.72	2.88	2.34
89 Ear length above tragion		1.08		1.36		
90 Ear breadth	1.50	1.08	0.95	1.97	1.70	1.38
91 Ear protrusion		1.08		1.09		

### 3.8 การเลือกชนิดชนิดของชุดในการออกแบบและคำนวณ<sup>17</sup>

ชนิดของชุดที่ใช้ในการออกแบบและคำนวณ เลือกใช้ Slot hood เนื่องจากลักษณะของห้องยาสลบที่ระเหยออกมาจากหน้ากากผู้ปวยมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ อากาศในห้องเคลื่อนไหวด้วยความเร็วต่ำ ทำให้ต้องส่งแรงดูดออกไปเพื่อนำสารปนเปื้อนและอากาศเข้าสู่ชุดและ Slot hood สามารถนำไปแขวนได้อย่างอิสระบริเวณหัวเตียงของผู้ปวย ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่แคบในการทำงานและหลังจากใช้งานเสร็จก็สามารถจัดเก็บได้ไม่เกะกะพื้นที่ทำงานของบุคลากรทางการแพทย์

### 3.9 อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ<sup>17</sup>

อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ ทำหน้าที่กรองหรือดักสารปนเปื้อนในอากาศจากระบบก่อนปล่อยสู่อากาศภายนอก อุปกรณ์ดักสารปนเปื้อนในสถานะก๊าซ สารในสถานะก๊าซหมายความว่ารวมถึงก๊าซและไอระเหย เทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อควบคุมสารปนเปื้อน คือ การดูดซับ (adsorption)

การดูดซับ (adsorption) เป็นกระบวนการซึ่งก๊าซหรือไอระเหยยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งและมีรูพรุนจำนวนมาก แรงยึดระหว่างโมเลกุลของสารและวัสดุดูดซับไม่แข็งแรงนัก คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ในขณะที่การดูดซับด้วยแรงที่แข็งแรงกว่าคือ แรงวาเลนซ์ ซึ่งอาจเรียกว่า active adsorption หรือ Chemisorption การดูดซับเป็นกระบวนการทางกายภาพ ไม่มี

ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น โดยทั่วไปจึงเป็นกระบวนการที่สามารถย้อนกลับได้ สารที่นิยมใช้ในการดูดซับได้แก่ activated carbon, activated alumina, silica gel, fuller's earth และ molecular

### 3.10 พัดลม<sup>17</sup>

พัดลมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ พัดลมทำให้เกิดความดันสถิตเป็นลบในท่อด้านเหนือของพัดลมและเป็นบวกด้านใต้ของพัดลม อากาศและสารปนเปื้อนที่อยู่บริเวณรอบๆ ฮูดซึ่งมีความดันบรรยากาศสูงกว่าจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ฮูดไปตามท่อและออกสู่ภายนอกได้ หากพัดลมที่ติดตั้งในระบบระบายอากาศมีขนาดเล็กเกินไปจะไม่สามารถดึงอากาศที่มีสารปนเปื้อนทั้งหมดเข้าสู่ระบบได้ เป็นเหตุให้สารปนเปื้อนฟุ้งกระจายในสิ่งแวดล้อมการทำงาน หากใช้พัดลมที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นจะทำให้สิ้นเปลืองทั้งค่าพัดลมและค่าพลังงานในการทำงานของพัดลม โดยเปล่าประโยชน์

โดยทั่วไปพัดลมที่ถูกผลิตขึ้นสามารถปรับความเร็วรอบเพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมได้ เพื่อความสะดวกเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบเนื่องจากความเร็วรอบของพัดลมสัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศที่ พัดลมดูดเข้าสู่ระบบและสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบและพลังงานที่ใช้จะเพิ่มตามไปด้วยลม พัดลมที่นำมาใช้ในระบบระบายอากาศต้องมีขนาดที่เหมาะสมสามารถทำให้อากาศไหลเข้าสู่ระบบได้ด้วยอัตราการไหลที่คงที่ตามต้องการหรือตามที่ออกแบบไว้ ข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะและการทำงานของพัดลมจึงสำคัญและมีประโยชน์อย่างยิ่งในการเลือกพัดลม โดยทั่วไปคุณลักษณะของพัดลมบ่งชี้อัตราการไหลของอากาศที่พัดลมนั้นสามารถสร้างขึ้น ความดันสถิต (FSP) ความดันเคลื่อนที่ (FVP) และความดันทั้งหมดของพัดลม (FTP) รวมทั้งกำลังของพัดลมหรือพลังงานที่ต้องการในการทำงานของพัดลม เสียงดังที่เกิดจากการทำงานของพัดลม และประสิทธิภาพของพัดลม

1. ความดันของพัดลม ความสัมพันธ์ระหว่างความดันทั้ง 3 ชนิดของพัดลมมีลักษณะเช่นเดียวกับความดันในระบบระบายอากาศ นั่นคือ ความดันทั้งหมด = ความดันสถิต + ความดันเคลื่อนที่

1.1 ความดันทั้งหมดของพัดลม (Fan Total Pressure, FTP) คือพลังงานทั้งหมดที่ต้องการเพื่อเคลื่อนอากาศผ่านระบบ มีค่าเท่ากับผลลัพธ์ของความดันทั้งหมดที่ทางออกของพัดลมลบด้วยความดันทั้งหมดที่ทางเข้าของพัดลม

1.2 ความดันสถิตของพัดลม (Fan Static Pressure, FSP) The air movement and control association test code ได้ให้นิยามความดันสถิตของพัดลมไว้ว่า ความดันสถิตของพัดลมคือ ความดันทั้งหมดของพัดลม (พลังงานทั้งหมดที่ระบบต้องการในการดึงอากาศผ่านระบบ) ลบด้วยความดันเคลื่อนที่ของพัดลม (คือพลังงานจลน์ที่มีอยู่ในระบบ) และความดันเคลื่อนที่ของพัดลมทำให้เกิดความเร็วลมที่ทางออกพัดลม

2. กำลัง (power) งานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนอากาศผ่านแรงดันที่คงที่ในท่ออาจเปรียบเทียบกับ การออกแรงดันบีบแบบลูกสูบ ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A เพื่อทำให้อากาศเคลื่อนที่ไประยะทาง L ผ่านแรงดัน (p) ในเวลา t งานที่เกิดขึ้น = pAL และกำลังที่ใช้ไป =  $\frac{pAL}{t}$  แต่  $\frac{AL}{t}$  คือปริมาตรอากาศที่เคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลา ซึ่งได้แก่ อัตราการไหลของอากาศ (Q) ดังนั้น กำลัง (Air Power, AP) ต่ำสุดที่ต้องใช้ในการทำให้อากาศปริมาณหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านแรงดันเข้าสู่ระบบ = pQ ในหน่วยที่เหมาะสม นั่นคือถ้าความดันมีหน่วยเป็นพาสคาลส์ (นิวตันต่อตารางเมตร) และ Q มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที  $AHP = pQ$  วัตต์ AP เป็นกำลังที่ขับเคลื่อนพัดลมตามทฤษฎี

Brake power (BP) คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปจริงในการหมุนเวียนใบพัดของพัดลม โดยคำนึงถึงความสูญเสียที่เกิดจากความไม่มีประสิทธิภาพของพัดลม การหมุนของใบพัดและความสูญเสียที่ลูกปืนแต่ไม่คำนึงถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างพัดลมและมอเตอร์ BP ขึ้นกับปริมาณอากาศที่พัดลมดึงเข้าสู่ระบบและแรงดันของระบบ ซึ่งพัดลมแต่ละตัวในแต่ละระบบจะแตกต่างกัน กราฟ BP ได้จากการพลอตปริมาณกำลังกับอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบ ค่า BP เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบตามวิธีมาตรฐานของผู้ผลิต พลังงานที่ใช้ไปจริงจะมากกว่า BP เนื่องจากความสูญเสียระหว่างพัดลมและมอเตอร์

3. ประสิทธิภาพเชิงกล (mechanical efficiency) วัดปริมาณกำลังที่พัดลมใช้ไปที่ความดันสถิตต่างๆ วัตถุประสงค์คือ เพื่อเลือกพัดลมที่ทำงาน ณ จุดที่มีประสิทธิภาพใกล้จุดสูงสุดของมัน นั่นคือเลือกขนาดของพัดลมให้ถูกต้องเพื่อให้ประสิทธิภาพสูงสุดสอดคล้องกับอัตราการไหลของอากาศ (Q) และ SP ของระบบที่ออกแบบไว้ ค่าประสิทธิภาพเชิงกลเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เนื่องจากเป็นค่าวัดเปรียบเทียบ (relative measurement)

### 3.11 กฎของพัดลม<sup>17</sup>

การทำงานของพัดลมอธิบายได้ด้วยกฎของพัดลม (fan law) ซึ่งใช้ในการทำตารางพัดลม (fan rating table) และเส้นกราฟคุณลักษณะของพัดลม (fan curve) รวมทั้งใช้ในการปรับเปลี่ยนการทำงาน of พัดลม เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างเหมาะสม โดยที่ผู้ผลิตจะผลิตพัดลมหลายขนาดใน



แต่ละรุ่น เรียกว่า homologous series ซึ่งหมายถึงพัลลมที่มีส่วนประกอบเหมือนกันทุกประการ แต่ขนาดแตกต่างกันอย่างเห็นเป็นสัดส่วนต่อกัน ดังนั้นตัวแปรที่เป็นสัดส่วนกันของพัลลมในชุดเดียวกัน คือ ขนาด (size) ความเร็วรอบ (RPM) อัตราการไหลของอากาศ (Q) ความดัน (P ซึ่งอาจเป็น SP, TP, VP, FSP หรือ FTP) กำลัง (PWR) ความหนาแน่นของอากาศ ( $\rho$ ) และประสิทธิภาพ ( $\eta$ ) พัลลมในชุดเดียวกันถ้ามีจุดทำงานเป็นจุดเดียวกันจะมีประสิทธิภาพในการทำงานเท่ากัน กฎของพัลลมเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถทำนายผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าใดค่าหนึ่ง เช่น อัตราการไหลของอากาศ ความดันสถิตของพัลลม กำลัง และความเร็วนของพัลลม

1. อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) แปรผันตรงกับความเร็วรอบของพัลลม ถ้าเพิ่มความเร็วนเป็น 2 เท่าจะเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเป็น 2 เท่าเช่นกันและแปรผันกับขนาดของพัลลมยกกำลังสาม
2. ความดัน (P) เช่น ความดันสถิตของพัลลมแปรผันตรงกับความเร็วรอบยกกำลังสองกล่าวคือถ้าเพิ่มความเร็วนขึ้นเท่าตัว ความดันสถิตที่พัลลมทำให้เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า แปรผันตรงกับขนาดยกกำลังสองและแปรผันตรงกันกับความหนาแน่นของอากาศ
3. กำลังของพัลลมแปรผันตรงกับความเร็วรอบยกกำลังสาม (เพิ่มความเร็วนขึ้นเท่าตัวทำให้กำลังเพิ่มขึ้นถึง 8 เท่า) แปรผันตรงกับขนาดยกกำลังห้าและแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอากาศ เนื่องจากกฎของพัลลมเป็นสัดส่วนของตัวแปรต่างๆ ดังนั้นหน่วยของตัวแปรเหล่านี้จะต้องเป็นหน่วยเดียวกันเสมอ สำหรับขนาดของพัลมนั้นอาจเป็นขนาดของส่วนใดส่วนหนึ่งของพัลลม ทั้งนี้เพราะขนาดของพัลลในชุดเดียวกันย่อมมีขนาดของส่วนต่างๆ เป็นสัดส่วนต่อกัน อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปนิยมใช้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเนื่องจากปัจจัยเหล่านี้สัมพันธ์กัน ดังนั้นการปรับเปลี่ยนปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งย่อมส่งผลต่อปัจจัยอื่นได้ เช่น การปรับความเร็วรอบของพัลลมให้สูงขึ้น เพื่อปรับอัตราการไหลของอากาศให้เพิ่มยอมทำให้ FSP และ PWR เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรพิจารณาเป็นพิเศษถ้าพัลลมมีขนาดเล็กเกินไปสำหรับงานนั้นๆ การเปลี่ยนมาใช้พัลลมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นอาจเป็นการประหยัดมากกว่าในระยะยาว หากความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลของอากาศ แต่ความดันและกำลังแปรผันตรงกับความหนาแน่นอากาศ

### 3.12 ชนิดของพัดลม<sup>17</sup>

พัดลมที่ใช้ในระบบระบายอากาศในอุตสาหกรรมมี 2 ประเภท คือ centrifugal fan และ axial fan ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. centrifugal fans ประกอบด้วยใบพัดของพัดลมหมุนอยู่ในส่วนที่ติดตั้งใบพัด (casing) อากาศเคลื่อนเข้าสู่พัดลมตามแนวแกนของพัดลมและถูกเหวี่ยงออกตามแนวรัศมีของใบพัด การหมุนของใบพัดมีทิศทางไปยังทางออกของอากาศ พัดลมประเภทนี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามรูปร่างและลักษณะของใบพัดคือ radial blade, forward curve, และ backward inclined แม้ว่าการนำมาใช้งานและข้อดี/ข้อเสียของพัดลมทั้ง 3 ชนิดจะคาบเกี่ยวกันแต่มีความแตกต่างกันคือ

1.1 radial blade fans ใช้สำหรับระบบที่มีฝุ่นหรืออนุภาค เนื่องจากลักษณะของใบพัดที่แบนและแต่ละใบพัดมีระยะห่างกัน ทำให้สามารถสลัดฝุ่นออกได้เองง่ายกว่าและหากทำด้วยวัสดุที่แข็งแรงสามารถทนการกัดกร่อนหรือแรงกระแทกของอนุภาคได้ด้วย ข้อเสียของพัดลมชนิดนี้คือ มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดสำหรับระบบระบายอากาศ และด้วยโครงสร้างที่หนักและใหญ่ทำให้มีราคาแพง ลักษณะเส้นกราฟความดันสถิตของพัดลมบ่งชี้จุดทำงานของพัดลม (Operation Point) ที่ควรเลือกคือ บริเวณด้านขวามือของจุดสูงสุดของกราฟ เพื่อหลีกเลี่ยงการแปรเปลี่ยนของอัตราการไหลของอากาศ กล่าวคือ หากค่า FSP เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q) จะลดลงค่อนข้างมาก ในขณะที่กราฟกำลังเพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรงตลอดช่วงการทำงาน of พัดลมซึ่งบ่งชี้ถึงพลังงานที่ต้องการใช้เพิ่มขึ้นนั่นเอง

1.2 forward curve blade fans ใช้ได้ดีเมื่อต้องการดูดอากาศปริมาณมากที่ความดันสถิตของระบบขนาดปานกลาง (0 - 1.2 กิโลพาสคาลต์) และมีเสียงดังไม่มาก พัดลมชนิดนี้มีใบพัดหลายรูปแบบ สามารถเร่งให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านพัดลมไปด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็วของใบพัดซึ่งเป็นข้อดีของพัดลมชนิดนี้คือ สามารถดูดอากาศด้วยความเร็วสูงที่ความเร็วรอบต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมชนิดอื่นๆ และเนื่องจากเสียงดังสัมพันธ์กับความเร็วรอบของพัดลม ฉะนั้นความเร็วรอบต่ำของพัดลมชนิดนี้จึงทำให้เกิดเสียงดังขณะทำงานน้อยกว่าสำหรับระบบที่ความดันต่ำถึงปานกลางและด้วยเหตุที่อากาศเคลื่อนที่ผ่านใบพัดของพัดลมด้วยความเร็วสูงจึงจำกัดการใช้งานเมื่ออากาศมีวัสดุที่กัดกร่อนเจือปนอยู่ด้วย

1.3 backward inclined blade fans พัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพมากกว่า forward curved blade fans จึงถูกนำมาใช้เมื่อต้องการดูดอากาศในปริมาณสูงๆ ซึ่งมีฝุ่นเจือปนอยู่ด้วยเล็กน้อย พัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าเนื่องจากใบพัดทำให้ความดันเพิ่มขึ้นโดยตรงเมื่อใบพัดหมุน

อากาศที่ผ่านใบพัดมีความเร็วค่อนข้างต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นจุดอ่อนหรือข้อเสียของพัดลมนี้ หากต้องการพัดลมที่ดูดอากาศด้วยความเร็วสูงๆ และหากต้องการได้ความเร็วลมสูงจะต้องเพิ่มความเร็วรอบของพัดลมซึ่งหากเป็นเช่นนั้นใบพัดของพัดลมจะต้องทำด้วยวัสดุที่แข็งแรง รวมทั้งลูกปืนที่ใช้ในพัดลมด้วยนั้นหมายถึงราคาที่จะแพงขึ้นด้วย

2. axial fan หมายถึงพัดลมที่ทิศทางการไหลของอากาศซึ่งเกิดจากการทำงานของพัดลมขนานกับทิศทางของแกนพัดลม แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ propeller fan, tube axial fan และ vane axial fan

2.1 propeller fan ใช้เมื่อต้องการให้อากาศเคลื่อนที่ต้านกับความดันสถิตที่ต่ำๆ (250 พาสคาลส์) โดยทั่วไปใช้สำหรับการระบายอากาศแบบทั่วไป มีความไวต่อแรงดันมาก กล่าวคือ หากเพิ่มแรงดันเพียงเล็กน้อยอัตราการไหลของอากาศจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

2.2 tube axial fan (duct fan) เป็นพัดลมที่พัฒนามาจากพัดลมชนิดแรกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการบรรจุ propeller fan ลงในท่อสั้นๆ ทำให้อากาศที่ทางเข้าและออกของพัดลมเกิดการผันผวนน้อยลง พัดลมชนิดนี้สามารถทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านระบบที่มีความดันปานกลาง (500 พาสคาลส์)

2.3 vane axial fan มีรูปร่างเช่นเดียวกับ propeller fan ซึ่งได้ออกแบบให้ใบพัดมีรูปร่างเหมือนใบพัดของเครื่องบิน บรรจุอยู่ในท่อสั้นๆ และมีแผงทางด้านหลังซึ่งช่วยให้อากาศเคลื่อนออกจากพัดลมเป็นแนวตรงมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมในประเภทเดียวกัน พัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือสามารถทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านความดันสถิตได้สูงถึง 2 กิโลพาสคาลส์ โดยทั่วไปนิยมใช้กับระบบระบายอากาศที่สะอาด เช่น ในอาคารที่พักอาศัยหรือสำนักงาน เป็นต้น

### 3.13 การเลือกพัดลม<sup>17</sup>

ในการเลือกพัดลมที่เหมาะสมสำหรับระบบนอกจากทราบข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถของพัดลมซึ่งหมายถึงปริมาตรอากาศที่พัดลมสามารถดูดเข้าสู่ระบบ และความดันของพัดลม ซึ่งโดยทั่วไปแสดงในรูปของความดันสถิตของพัดลม (FSP) หรือความดันทั้งหมดของพัดลม (FTP) ข้อมูลที่สำคัญอื่นๆ ที่ต้องพิจารณาดูด้วย ได้แก่

1. ชนิดลักษณะและความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ปัจจัยเหล่านี้ต่างมีผลต่อชนิดของพัดลมและวัสดุที่ทำพัดลม เช่น สารปนเปื้อนที่เป็นอนุภาค ไอระเหย สารกัดกร่อนและอุณหภูมิสูง อาจทำความเสียหายให้กับพัดลมได้ ถ้าความเข้มข้นของอนุภาคสูงอาจเกาะบนใบพัดหรือทำให้ใบพัดสึกหรอได้

ดังนั้นควรเลือกใช้พัดลมที่ใบพัดสามารถสลัดฝุ่นออกได้ดี ทำด้วยวัสดุที่ทนและหากสารปนเปื้อนนั่นเป็นสารไวไฟหรือสารระเบิดหรือสารกัดกร่อน วัสดุที่ใช้ในการผลิตพัดลมควรเป็นวัสดุที่ไม่ทำให้เกิดประกายไฟหรือทนทานต่อสารกัดกร่อน

2. เสียงดัง เนื่องจากการผันผวนของอากาศภายในส่วนที่ติดตั้งพัดลมทำให้เกิดเสียงดัง ซึ่งเสียงดังที่เกิดขึ้นนี้สัมพันธ์กับชนิดของพัดลม อัตราการไหลของอากาศ ความดันในระบบและประสิทธิภาพของพัดลม พัดลมส่วนมากทำให้เกิดเสียงดังซึ่งมีแอมป์จูดแปรเปลี่ยนแตกต่างกันตลอดช่วงความถี่ต่างๆ (white noise) และพัดลมชนิด radial blade ทำให้เกิดเสียงดังที่ความถี่เดียว (pure tone) ด้วย โดยความถี่ของเสียงสัมพันธ์กับความถี่ในการหมุนของใบพัดซึ่งความถี่ในการหมุนของใบพัด (Blade Passage Frequency, BPF)

3. ข้อจำกัดทางกายภาพ เช่น ขนาดของพัดลม ขนาดช่องทางเข้าของพัดลม น้ำหนักซึ่งอาจถูกจำกัดเนื่องจากสถานที่ติดตั้งและการบำรุงรักษา

4. วิธีการขับเคลื่อน โดยทั่วไปแหล่งพลังงานของพัดลมคือ ไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนใบพัดและการขับเคลื่อนมี 2 ลักษณะ คือ การขับเคลื่อนตรงซึ่งหมายถึงมอเตอร์ติดตั้งกับพัดลมโดยตรง ข้อดีของการขับเคลื่อนแบบนี้คือทำให้พัดลมมีขนาดกะทัดรัด แต่ความเร็วรอบถูกจำกัดด้วยความเร็วของมอเตอร์ไม่สามารถปรับได้นอกจากจะจะมีอุปกรณ์ควบคุมความถี่ของมอเตอร์และการขับเคลื่อนแบบที่ 2 คือ มีสายพานขับเคลื่อน จึงสามารถปรับความเร็วรอบของพัดลมได้ตามต้องการ โดยการเปลี่ยนอัตราความเร็วรอบคุณสมบัติดังกล่าวนี้จำเป็นสำหรับระบบที่อาจมีการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต ชนิดของอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ รูปแบบของชุด ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ฯลฯ

#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 2.4.1 งานวิจัยภายในประเทศไทย

กองอาชีวอนามัยกรมอนามัย (2544) (เปลี่ยนเป็นสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ปี 2546) ดำเนินการตรวจวัดปริมาณก๊าซและไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้ในโรงพยาบาล ได้แก่ ก๊าซที่ใช้ในการดมยาสลบ โรงพยาบาลส่วนใหญ่ใช้ Nitrous oxide และ Halothane และเมื่อรั่วไหลออกจากระบบและปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศภายในโรงพยาบาล จัดเป็นยาสลบส่วนเกิน (Waste Anesthetic Agent) รวมถึงสารเคมีอื่นๆที่ใช้ในการทำความสะดวกและฆ่าเชื้อโรคอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์ เช่น Formaldehyde, Glutaraldehyde เพื่อประเมินความเสี่ยง

ด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานในโรงพยาบาล ผลการสำรวจพบว่าเฉพาะห้องผ่าตัดที่มีระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินมีระดับค่ายาสลบอยู่ในระดับที่ปลอดภัย ทั้งนี้สถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (NIOSH) กำหนดค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงานกับก๊าซ Nitrous oxide ไว้ว่าไม่ควรเกิน 25 ppm และ Halothane ไม่ควรเกิน 2 ppm ซึ่งในปีต่อมาของอาชีวอนามัยได้ดำเนินการตรวจประเมินในโรงพยาบาล 9 แห่งและโรงพยาบาล 4 ใน 9 แห่งนี้ได้ดำเนินการปรับสภาพการทำงานโดยการติดตั้งระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินไปเรียบร้อยแล้ว<sup>2</sup>

จากการศึกษาของรัฐนุคูล วชิรภพ (2550) เป็นการศึกษาถึงความเข้มข้นของก๊าซดมยาที่ปนเปื้อนในห้องผ่าตัด โดยศึกษาถึงความเข้มข้นของก๊าซดมยาในบุคลากรทางการแพทย์ที่ได้รับสัมผัสในขณะที่ปฏิบัติงานในห้องผ่าตัด ซึ่งห้องผ่าตัดมีความแตกต่างกันของระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินจำนวน 20 ห้อง แบ่งเป็นระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินแบบใช้เครื่องดูดอากาศจำนวน 16 ห้องและแบบประดิษฐ์เองของเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลจำนวน 4 ห้อง ผลการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของ Nitrous oxide ในห้องผ่าตัดอยู่ในช่วง 0 – 510.7 ppm และพบว่าห้องผ่าตัด 4 ห้องมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน โดยเป็นระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินแบบประดิษฐ์เองของเจ้าหน้าที่โรงพยาบาล ค่าความเข้มข้นของ Isoflurane ในห้องผ่าตัดมีค่าระหว่าง 0.22-18.6 ppm ซึ่งระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินแบบประดิษฐ์เองของเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลจำนวน 4 ห้องและห้องที่มีระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินแบบสมบูรณ์จำนวน 6 ห้องที่มีค่าไม่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐาน<sup>3</sup>

จากการศึกษาของศิริรัตนา วาณิชอดิศักดิ์และคณะ (2552) โดยทำการศึกษาห้อง PL-Z เป็นห้องที่ใช้สำหรับบดผสมสารเคมี เพื่อใช้เป็นสารในการชุปป้องกันสนิมโลหะ และชิ้นส่วนรถยนต์ของโรงงานผลิตเคมีแห่งหนึ่ง เนื่องจากภายในห้องนี้มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิตทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานที่ปฏิบัติงานในห้องนี้ ดังนั้นเพื่อศึกษาและออกแบบปรับปรุงระบบระบายอากาศในโรงงานผลิตสารเคมี ในส่วนของกระบวนการผลิตที่ชื่อ PL-Z เพื่อลดปริมาณฝุ่นและปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างให้ถูกต้องตามหลักการระบายอากาศผลจากการวิเคราะห์พบว่าความเร็วลมในการจับอนุภาคฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่บริเวณหน้าช่องทางนำอากาศและความเร็วในช่องทางอากาศมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) มาก ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะเปลี่ยนขนาดพัดลมแต่ใช้แนวเส้นท่อและโครงสร้างเดิม เนื่องจากแนวเส้นท่อและโครงสร้างเดิมส่งผลให้เกิดความสูญเสียพลังงานในระบบมากทำให้ต้องใช้นิวเคลียสขนาดใหญ่ขึ้นจึงได้มีการออกแบบแนวเส้นท่อและระบบใหม่โดยระบบที่ออกแบบใหม่นี้จะช่วยลดแรงเสียดทานและการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบท่อ รวมถึงค่า

ความเร็วลมบริเวณหน้าช่องนำอากาศและค่าความเร็วในเส้นท่อที่ได้ตามค่ามาตรฐานด้วย จากผลการวิเคราะห์และคำนวณ พบว่าระบบระบายอากาศที่ออกแบบใหม่ต้องใช้พัดลมดูดอากาศขนาดกำลัง 4 แรงม้า ความดันสถิต 7.086 นิ้วน้ำ อัตราการไหล 1,353 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที เมื่อเทียบกับพัดลมดูดอากาศที่ใช้อยู่เดิมซึ่งมีค่า 7.37 แรงม้า ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ และยังคงทำให้ความเร็วหน้าสุดและความเร็วในเส้นท่อเป็นไปตามค่ามาตรฐาน ACGIH ซึ่งจะส่งผลให้การระบายอากาศภายในห้อง PL-Z มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น<sup>20</sup>

จากการศึกษาของทัศน เรื่องสุวรรณ (2555) ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงทดลองโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์ในระบบระบายอากาศเฉพาะที่ซึ่งประกอบด้วยดูดอากาศ ระบบท่อ พัดลมดูดอากาศ อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจะได้รับการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมควันที่อัตราการไหลของอากาศ 0.326 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จากนั้นทำการตรวจวัดความเข้มข้นของควันที่ตัวผู้ปฏิบัติงานรวมถึงพื้นที่ทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์ดักจับมลพิษโดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างในท่อแล้วนำข้อมูลผลการตรวจวัด มาคำนวณหาประสิทธิภาพในการควบคุมควันจากเตาหลอม จากการศึกษาพบว่าระบบระบายอากาศแบบเฉพาะที่ที่สร้างขึ้นสามารถลดการสัมผัสควันของผู้ปฏิบัติงานจากเดิมที่ระดับความเข้มข้น 21.7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลดลงเหลือ 15.9 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็นประสิทธิภาพ 26.9% นอกจากนี้ระบบบำบัดควันโดยใช้เวทสกรีนเบอร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดควันก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมคิดเป็น 40.5% โดยที่ระดับความเข้มข้นบริเวณของปล่องระบายอากาศมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าสามารถใช้การบำบัดควันได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมควันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่างไส้แบบจากเตาหลอมได้เป็นอย่างดี<sup>21</sup>

#### 2.4.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

จากการศึกษาของ Pual และคณะ (1986) ได้ศึกษาการสัมผัส Nitrous oxide ของห้องทันตกรรม โดยสถาบันความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ (NIOSH) แนะนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศของ Nitrous oxide ไว้ที่ 25 ppm และไม่ควรเกินตามที่ระบุไว้ การประเมินความเสี่ยงต้องตรวจสอบค่าการสัมผัสที่เหมาะสมตามที่กำหนดไว้ หลายสถานประกอบการไม่มีระบบกำจัดยาเสพติดส่วนเกินและไม่มีการติดตั้งระบบกำจัดยาเสพติดส่วนเกิน รวมถึงระบบระบายอากาศเฉพาะที่เพื่อใช้ในการควบคุมการสัมผัส Nitrous oxide การรั่วไหลของ Nitrous oxide เกิดจากระบบซึ่งถือเป็นเรื่องธรรมดา การวิจัยต้องการพัฒนาเพื่อปรับปรุงระบบกำจัดยาเสพติดส่วนเกินและการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องทันตกรรม<sup>4</sup>

จากการศึกษาของ David และคณะ (1986) เป็นการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในพื้นที่ในห้องทันตกรรม 3 แห่งที่มี Nitrous oxide มาตรฐานการออกแบบระบบเป็นไปตามอุตสาหกรรมในการควบคุมสารพิษในอากาศในห้องทันตกรรม ความเข้มข้นของ Nitrous oxide ถูกวัดที่ระดับการหายใจก่อนและหลังติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ตำแหน่งของการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่และอัตราการไหลของอากาศมีส่วนสำคัญในการควบคุมสารเคมี หลังจากที่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ การสัมผัส Nitrous oxide ที่มีค่ามากกว่า 600 ppm ลดลงจนมีค่าน้อยกว่า 70 ppm สถาบันความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ(NIOSH) แนะนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศของ Nitrous oxide อยู่ที่ระดับ 25 ppm การติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่หลังจากที่มีการศึกษาแบบทดลองควรมีการติดตั้งแบบชนิดที่อยู่กับที่ในห้องทันตกรรมและไม่แกะกะตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการสัมผัส Nitrous oxide ลดลงอย่างมากในห้องทันตกรรมที่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่<sup>5</sup>

จากการศึกษาของ Klas และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษารถพยาบาลและคนขับรถซึ่งจะได้รับการสัมผัส Nitrous oxide ในการขนส่งผู้ป่วย ความเข้มข้นของ Nitrous oxide ส่งผลให้เกิดพิษเฉียบพลัน การจัดการเพื่อป้องกันการสัมผัส Nitrous oxide คือการจำกัดความเร็วในการเดินทางของรถ การติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่และการใช้ระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินออกจากหน้ากากออกไปข้างนอกรถ ผลของความเร็วในการเดินทางและการใช้ระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินออกทางหน้ากากออกไปข้างนอกรถมีความแตกต่างกันอย่างมากกับสภาพการทดลอง การถ่ายโอนยาสลบช่วยลดระดับของ Nitrous oxide ในอากาศร้อยละ 86-97 ภายในรถพยาบาลที่สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน การรวมกันของท่อระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินและระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ส่งผลให้ลดการสัมผัสระดับ Nitrous oxide ประมาณร้อยละ 98 เมื่อรถพยาบาลหยุดนิ่งและร้อยละ 99 เมื่อได้มีการเคลื่อนที่<sup>22</sup>

จากการศึกษาของ Rowland และคณะ (1992) ได้ทำการศึกษาอัตราการเกิดบุตรที่ลดลงของผู้ช่วยทันตแพทย์ที่ได้รับสัมผัส Nitrous oxide ในระดับสูง โดยได้ส่งแบบสอบถามทางจดหมายไปยังผู้ช่วยทันตแพทย์จำนวน 7,000 คนซึ่งได้ลงทะเบียนกับ California Department of Consumer Affairs และได้ตอบกลับมาร้อยละ 69 ผลการศึกษาพบว่า ผู้ช่วยทันตแพทย์ที่สัมผัส Nitrous oxide โดยไม่มีระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินเป็นเวลา 5 ชั่วโมงหรือมากกว่าต่อหนึ่งสัปดาห์มีความเสี่ยงต่ออัตราการเกิดและการตั้งครรภ์ที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ช่วยทันตแพทย์ที่ไม่ได้สัมผัส Nitrous oxide การสัมผัส Nitrous oxide ในระดับสูงในสถานที่ที่ไม่มีระบบกำจัดยาสลบส่วนเกินมีผลเสียต่ออัตราการเกิดและการตั้งครรภ์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบกำจัดก๊าซที่มีส่วนสำคัญในการ

ป้องกันการสับสนของผู้หญิงที่ทำงานสัมผัสกับ Nitrous oxide<sup>23</sup>

การศึกษาของ Bodin และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาในเจ้าหน้าที่ผู้ทำคลอด 3,985 รายที่สัมผัส Nitrous oxide โดยส่งแบบสอบถามทางไปรษณีย์ ได้รับการตอบข้อมูลร้อยละ 84 พบว่าบุตรของเจ้าหน้าที่มีน้ำหนักแรกคลอดต่ำและเพิ่มความเสี่ยงที่ทารกตัวเล็กเมื่อเทียบกับอายุครรภ์<sup>6</sup>

จากการศึกษาของ Marshall และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการสัมผัส Nitrous oxide ในอากาศ Nitrous oxide /Oxygen สามารถทำให้เกิดผลข้างเคียงที่เป็นอันตรายให้กับทันตแพทย์และผู้ช่วยทันตแพทย์ จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างผู้ป่วยนอกคลินิกทันตกรรมในโรงพยาบาลเด็กเพื่อตรวจสอบความเข้มข้นของ Nitrous oxide ในอากาศกับค่ามาตรฐาน โดยศึกษาประสิทธิภาพของหน้ากาก 2 ระบบคือ หน้ากากชนิดเดี่ยวและหน้ากากชนิดคู่ การลดการปนเปื้อนในอากาศของสภาพแวดล้อมในคลินิกในระหว่างการรักษาของผู้ป่วยทันตกรรมเด็กได้รับการเปรียบเทียบในการศึกษานำร่อง ผลการศึกษาพบว่าระบบหน้ากากคู่มีประสิทธิภาพในการลดการสัมผัสของ Nitrous oxide ของผู้ป่วยที่มีความหลากหลายในคลินิกทันตกรรม<sup>24</sup>



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Study) เพื่อออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่และศึกษาสมรรถนะของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

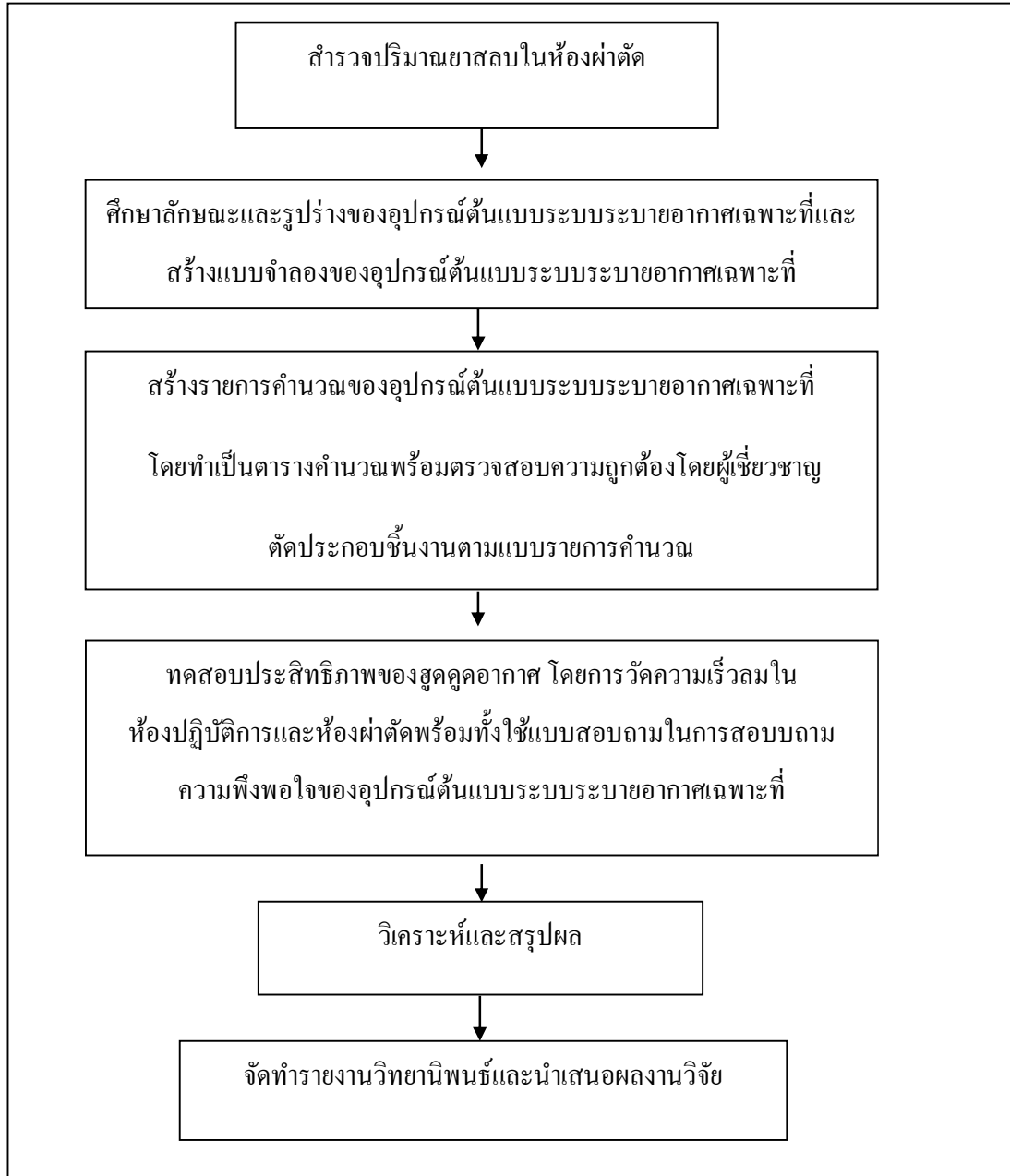
##### เครื่องมือในการวิจัย

1. เครื่องตรวจวัดความเร็วลม โดยใช้เครื่อง VELOCICALC Air Velocity Meter Model 9555 (TSI, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
2. อุปกรณ์วัดเสียงปริมาณเสียงสะสม โดยใช้เครื่อง Noise Dosimeter Model 706 RC (Noise Dosimeter, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
3. อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันที โดยใช้เครื่อง Gasmeter DX-4303 (Gasmeter, ประเทศฟินแลนด์)
4. แบบสอบถามความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

##### การควบคุมคุณภาพข้อมูลวิจัย

1. การควบคุมคุณภาพของรายการคำนวณทั้งหมด ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมจะตรวจสอบความถูกต้องและรับรองด้วยลายมือชื่อก่อนที่จะทำการตัดประกอบชิ้นงาน
2. การควบคุมคุณภาพของเครื่องมือตรวจวัด ก่อนการใช้งานทำการปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration) ของเครื่องมือตามหลักการปรับเทียบ

### ขั้นตอนการดำเนินการ



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่  
และทดสอบประสิทธิภาพ

## 2.1 ตำราจปริมาณยาสลบในห้องผ่าตัดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสำรวจห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ลักษณะทั่วไปของห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ห้องผ่าตัดทั้งหมด 21 ห้อง คือห้องผ่าตัดที่ 1 จักษุวิทยา, ห้องผ่าตัดที่ 2 จักษุวิทยาและศัลยศาสตร์หลอดเลือด, ห้องผ่าตัดที่ 3 สูตินรีเวช, ห้องผ่าตัดที่ 4 สูตินรีเวช, ห้องผ่าตัดที่ 5 หน่วยศัลยศาสตร์ตกแต่ง, ห้องผ่าตัดที่ 6 ศัลยกรรมประสาท, ห้องผ่าตัดที่ 7 โสตศอนาสิกวิทยา, ห้องผ่าตัดที่ 8 ศัลยศาสตร์ทั่วไป, ห้องผ่าตัดที่ 9 ศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์, ห้องผ่าตัดที่ 10 กุมารศัลยศาสตร์ และศัลยศาสตร์ทั่วไป, ห้องผ่าตัดที่ 11 ศัลยศาสตร์ทางเดินปัสสาวะและศัลยศาสตร์ทั่วไป, ห้องผ่าตัดที่ 12 โสตศอนาสิกวิทยาและศัลยศาสตร์หลอดเลือด, ห้องผ่าตัดที่ 13 ปัจจุบันไม่มีการผ่าตัด, ห้องผ่าตัดที่ 14 ปัจจุบันไม่มีการผ่าตัด, ห้องผ่าตัดที่ 15 ศัลยศาสตร์หัวใจหลอดเลือดและทรวงอก, ห้องผ่าตัดที่ 16 ศัลยศาสตร์ทั่วไป, ห้องผ่าตัดที่ 17 กุมารศัลยศาสตร์, ห้องผ่าตัดที่ 18 จักษุวิทยา, ห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 1 ไม่ระบุหน่วยงาน, ห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 2 ไม่ระบุหน่วยงาน, ห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 3 ไม่ระบุหน่วยงาน แบ่งเป็นห้องผ่าตัดที่ใช้ยาสลบ 17 ห้อง และห้องผ่าตัดที่ไม่มีการใช้ยาสลบ 4 ห้อง ระบบปรับอากาศในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลเป็นแบบ Air Condition System และห้องผ่าตัดทุกห้องมีระบบกำจัดก๊าซส่วนเกิน' การเลือกสูตรตัวอย่างของห้องผ่าตัดในการเก็บตัวอย่างยาสลบซึ่งเป็นการสำรวจเบื้องต้นเพื่อศึกษาปริมาณยาสลบชนิด Nitrous oxide, Isoflurane, Desflurane และ Sevoflurane มีค่าเกินค่ามาตรฐานหรือไม่ โดยการเลือกห้องผ่าตัดเป็นการเลือกสูตรแบบเฉพาะเจาะจงห้องที่มีการใช้ยาสลบมากที่สุดในการทำงาน โดยห้องผ่าตัดที่เลือกมีดังนี้คือ

- ห้องศัลยกรรม จำนวน 2 ห้อง คือ ห้องผ่าตัดที่ 6 ศัลยกรรมประสาท และห้องผ่าตัดที่ 10 กุมารศัลยศาสตร์และศัลยศาสตร์ทั่วไป
- ห้องหู คอ จมูก จำนวน 1 ห้อง คือ ห้องผ่าตัดที่ 7 โสตศอนาสิกวิทยา
- ห้องสูติกรรม จำนวน 1 ห้อง คือ ห้องผ่าตัดที่ 3 สูตินรีเวช
- ห้องจักษุวิทยา จำนวน 1 ห้อง คือ ห้องผ่าตัดที่ 1 จักษุวิทยา

หลังจากที่ได้ทำการเลือกห้องผ่าตัดแล้วดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันที (Gasmeter รุ่น DX-4303) ในการหาปริมาณความเข้มข้นของ Nitrous oxide, Sevoflurane, Desflurane และ Isoflurane ในห้องผ่าตัด โดยวางอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแก๊สไว้บนรถเข็นและถือโพรบนำแก๊สใกล้กับระบบทางเดินหายใจ (Breathing Zone) ของผู้ป่วยซึ่งห่างจากพื้นประมาณ 90 เซนติเมตรและห่างจากบุคลากรทางการแพทย์ประมาณ 50 เซนติเมตร นำปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่เก็บได้มาคำนวณปริมาณการรับสัมผัส 8 ชั่วโมงการทำงาน (Time-Weighted Average (TWA)) ตามสูตรดังนี้

$$\text{สาร A: TWA} = \frac{C_1T_1+C_2T_2+\dots+C_nT_n}{8} = E_A$$

$$\text{สาร B: TWA} = \frac{C_1T_1+C_2T_2+\dots+C_nT_n}{8} = E_B$$

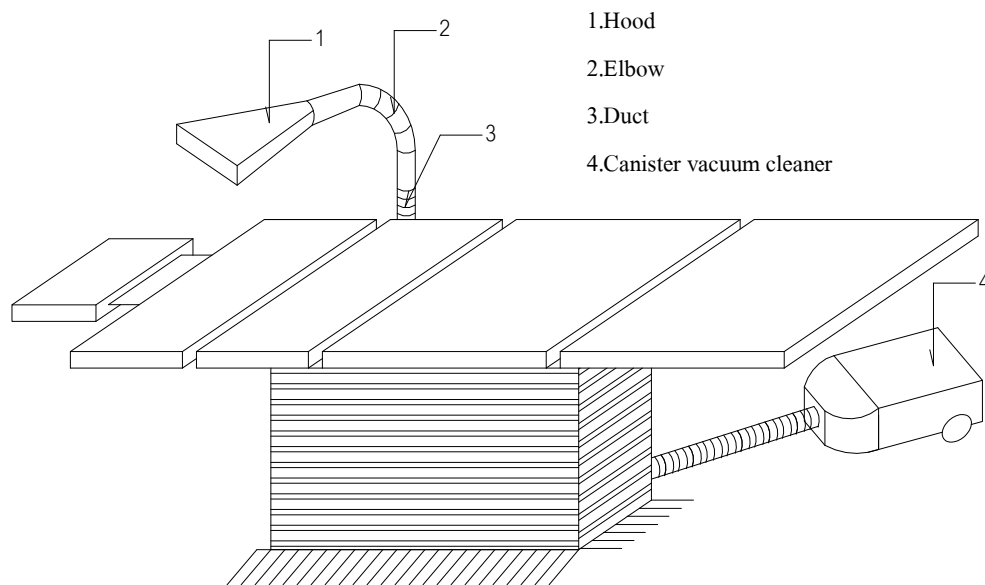
อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันที (Gaset รุ่น DX-4303) ทำการปรับเทียบความถูกต้อง (calibration) ของเครื่องมือตามหลักการปรับเทียบ ดังนี้

1 เปิดเครื่อง DX – 4030 จากนั้นทำการ warm up ประมาณ 10 นาที ก่อนทำการปรับเทียบมาตรฐาน ต้องตรวจสอบปริมาณอากาศที่อยู่ภายในว่าปิดอยู่ซึ่งสามารถบอกได้ว่า background มีการวัดอย่างเหมาะสม โดยไม่ควรตรวจสอบการทำงานของปั๊มดูดอากาศในขณะที่ทำการวัด

2 ตั้งค่าเวลาในการวัด โดยในการวัดสารตัวอย่างควรจะเป็น 1 หรือ 5 วินาที ตรวจสอบว่าโหมดการวิเคราะห์ที่ได้เปิดอยู่

3 ทำการล้างเซลล์สารตัวอย่างด้วยท่อ Teflon ขนาด 6 มิลลิเมตรต่อเข้าช่อง Span/N2 โดยใช้ Nitrogen 99.999 % รอประมาณ 3 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าเซลล์สารตัวอย่างถูกไล่ออกจนหมด ทำการปรับเทียบมาตรฐานค่าศูนย์โดยคลิกที่ Measure ->Zero Calibration

## 2.2 ออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่



ภาพที่ 3.2 แบบจำลองอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องผ่าตัด

### 2.3 การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ประกอบด้วย

1. ปากทางดูดอากาศ (hood) เป็นปากทางดูดแบบสลีตสุดตามแนวทางการออกแบบตาม ACGIH<sup>25</sup> โดยสามารถเริ่มคำนวณได้ดังนี้

$Q = 3.7 \text{ LVX}$  เนื่องจากทราบค่า  $Q$  จากเครื่องระบบสูญญากาศ Vacuum สามารถหาค่าความเร็วลม Capture velocity ได้จากสมการ

$$V = \frac{Q}{3.7 \text{ LVX}}$$

ดังนั้นจะได้ค่าความเร็วลม Capture velocity เท่ากับ  $0.010 \text{ m/s}$

2. ท่อ (duct) ใช้วัสดุชนิดท่อเหล็ก ท่อจะมีการปรับลดขนาดของท่อเพื่อให้ต่อกับ Vacuum การคำนวณหาความเร็วลมในท่อจากเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเท่ากับ  $0.0254$  เมตร ซึ่งกำหนดเป็นท่อ A-B จากนั้นลดขนาดท่อเป็น B-C และลดขนาดเป็น C-D เพื่อต่อเข้ากับ Vacuum โดยสามารถเริ่มคำนวณได้จากสมการ

$$V_{d(A-B)} = \frac{Q}{A_{d(A-B)}} \text{ โดยมาจากสมการอัตราการไหลของอากาศ } Q = AV$$

ดังนั้นจะได้ความเร็วลมในท่อจากจุด A ถึงจุด B เท่ากับ  $2.625 \text{ m/s}$

3. พัดลมระบายอากาศ (fan) ใช้อุปกรณ์ต้นแบบกำลังจาก Vacuum ที่มีอยู่ในห้องผ่าตัด

การคำนวณความดันทั้งหมดของพัดลมสามารถเริ่มคำนวณได้จากสมการ

$$FTP = (SP_{\text{outlet}} + VP_{\text{outlet}}) - (SP_{\text{inlet}} + VP_{\text{inlet}})$$

ดังนั้นจะได้ความดันทั้งหมดของพัดลมเท่ากับ  $1,858.308 \text{ Pa}$

การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 ประกอบด้วย

1. ปากทางดูดอากาศ (hood) เป็นปากทางดูดแบบสลีตสุดตามแนวทางการออกแบบตาม ACGIH<sup>25</sup> โดยสามารถเริ่มคำนวณได้ดังนี้

การคำนวณอัตราการไหลของอากาศในสลีตสามารถคำนวณจากสมการ

$$Q = 3.7 \text{ LVX}$$

ดังนั้นจะได้อัตราการไหลของอากาศเมื่อเข้าสู่สลีตเท่ากับ  $0.231 \text{ m}^3/\text{s}$

2. ท่อ (duct) ใช้วัสดุชนิดท่อเหล็ก การคำนวณหาความเร็วลมในท่อจากเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเท่ากับ  $0.064$  เมตร สามารถเริ่มคำนวณได้จากสมการ

$$V_{d(new)} = \frac{Q}{A_{d(new)}} \text{ โดยมาจากสมการอัตราการไหลของอากาศ } Q = AV$$

ดังนั้นจะได้ความเร็วลมในท่อใหม่เท่ากับ 71.886 m/s

3.พัดลมระบายอากาศ (fan) ใช้อุปกรณ์ต้นกำลังจากเครื่องดูดฝุ่น

การคำนวณความดันทั้งหมดของพัดลมสามารถเริ่มคำนวณได้จากสมการ

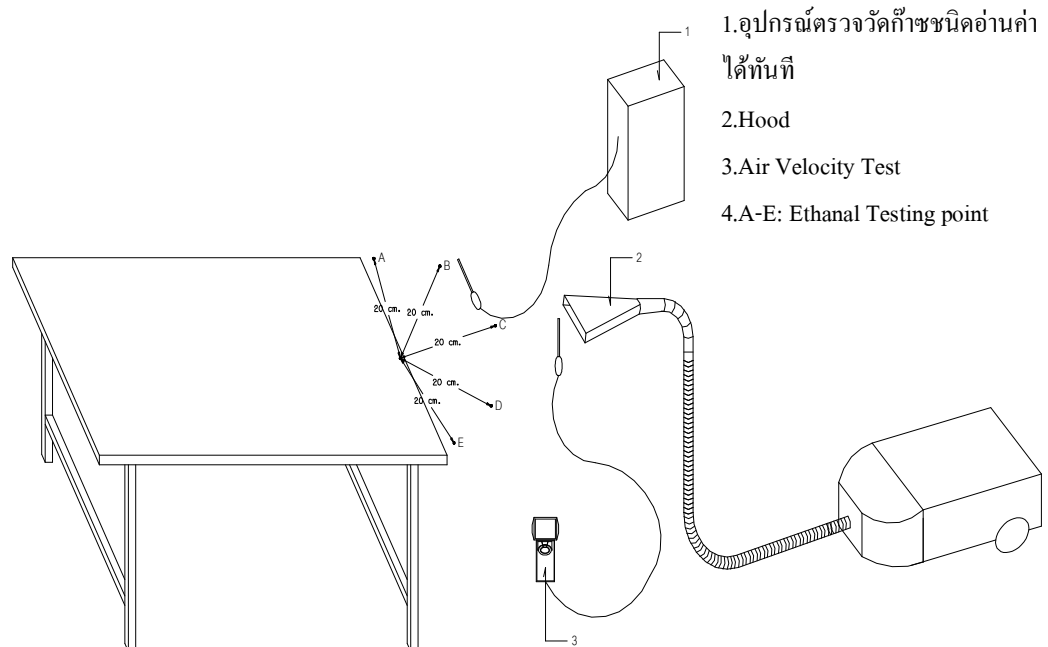
$$FTP = (SP_{outlet} + VP_{outlet}) - (SP_{inlet} + VP_{inlet})$$

ดังนั้นจะได้ความดันทั้งหมดของพัดลมเท่ากับ 3,881.683 Pa

## 2.4 การทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการและห้องผ่าตัด ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

### 2.4.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

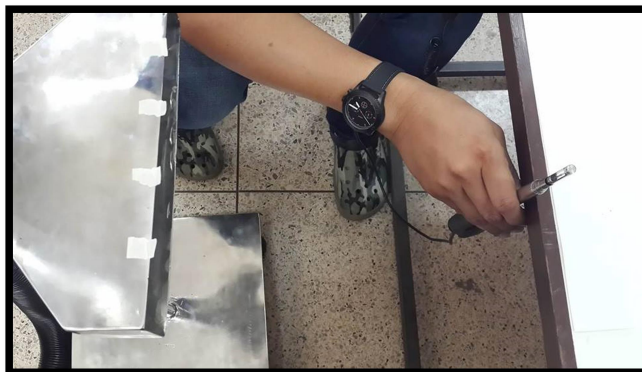


ภาพที่ 3.3 การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องปฏิบัติการ

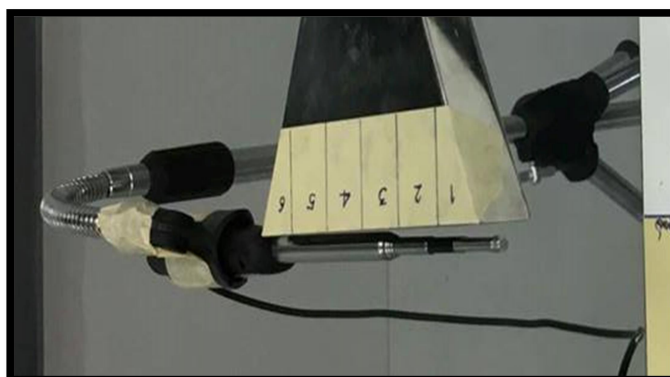
### ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1. ทำการการปล่อยสารเคมี Ethanol ที่จุดกึ่งกลางโต๊ะแล้วทำการตรวจวัด Ethanol ที่จุด A-E โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันที (Gasmet รุ่น DX-4303) ที่ระยะ 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ขณะทำการทดสอบปล่อยสารเคมี Ethanol มีการเปิด – ปิดอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่แล้วทำการบันทึกผล

2. ทำการตรวจวัดความเร็วลมบริเวณปากสูด (Face Velocity) และทำการตรวจวัดความเร็วจับ (Capture Velocity) ที่ระยะ 5, 10, 15, 20 และ 25 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม VELOCICALC Air Velocity Meter โดยแบ่งปากสูดออกเป็น 6 จุดแต่ละจุดทำการตรวจวัด 3 ครั้งๆละ 1 นาที จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยของการตรวจวัดความเร็วลมแล้วทำการบันทึกผล



ภาพที่ 3.4 การตรวจวัดความเร็วลม (Capture Velocity) ในห้องปฏิบัติการ

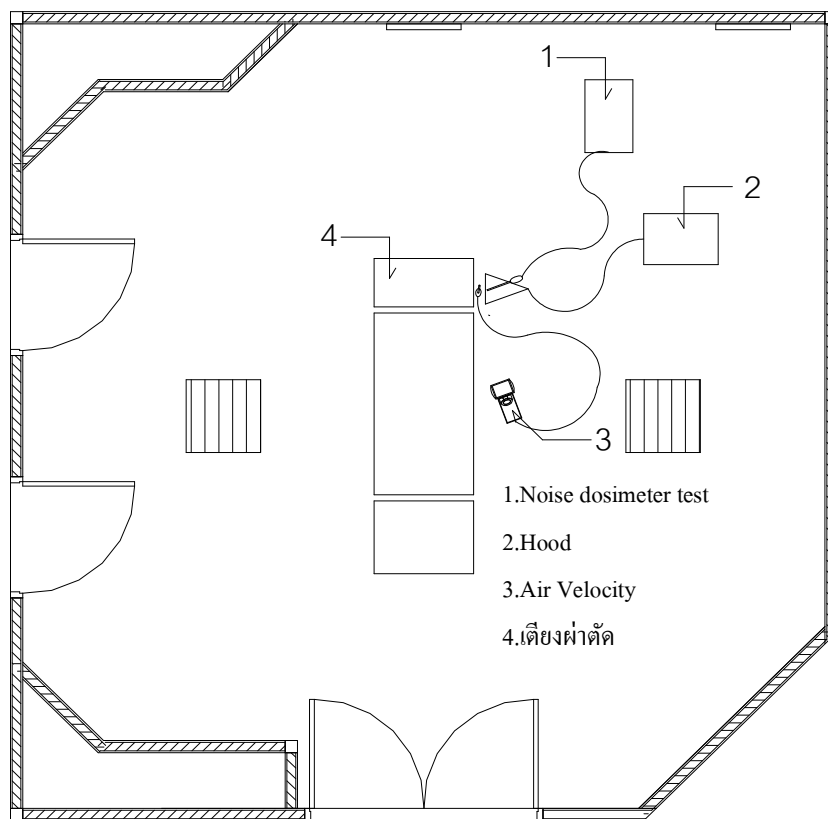


ภาพที่ 3.5 การตรวจวัดความเร็วลม (Face Velocity) ในห้องปฏิบัติการ



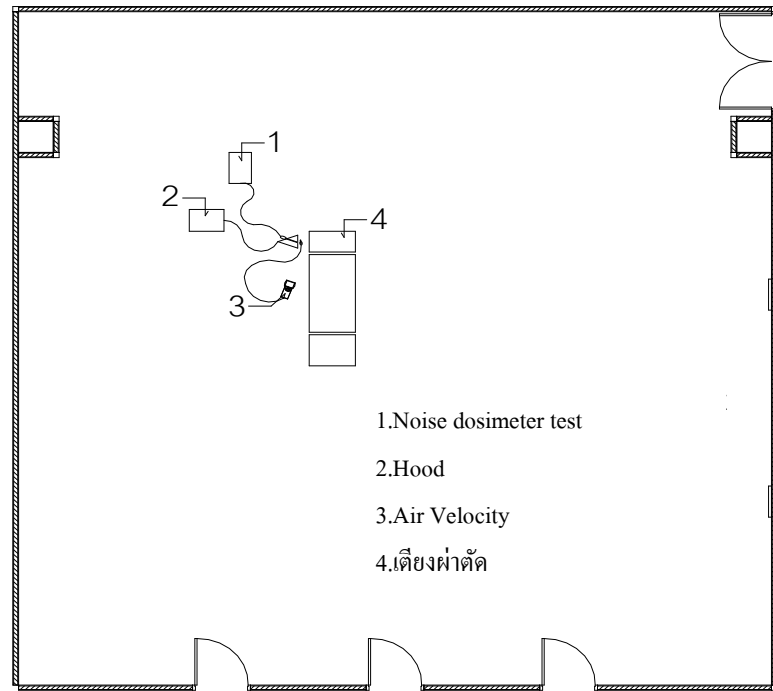
ภาพที่ 3.6 การตรวจวัดสารเคมี Ethanol โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันที

#### 2.4.2 การทดสอบในห้องผ่าตัด

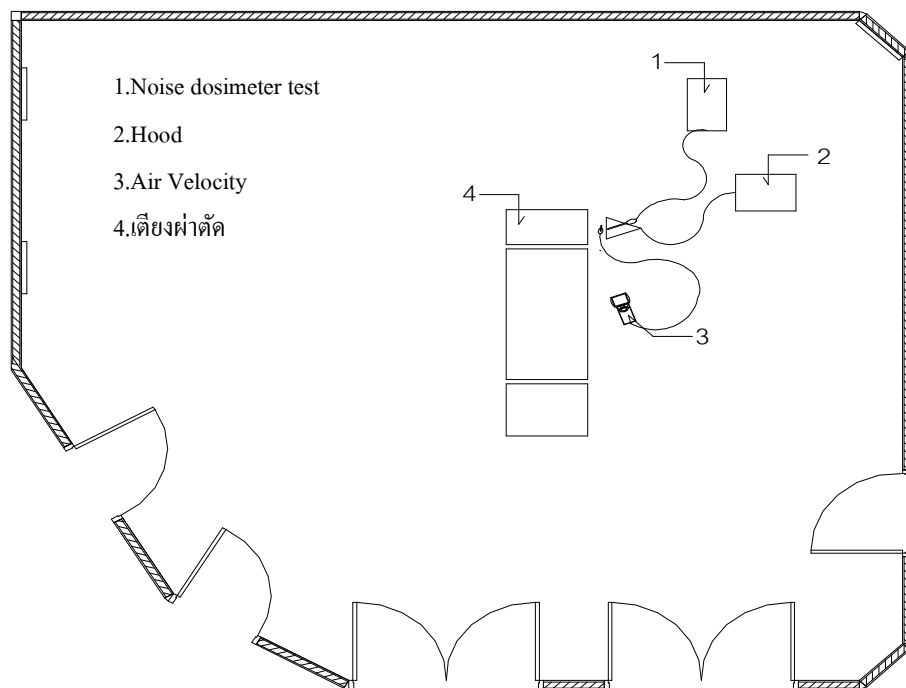


ภาพที่ 3.7 การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 1





ภาพที่ 3.8 การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 2

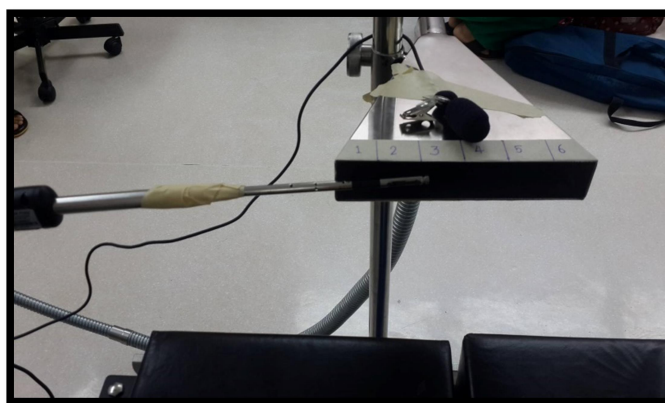


ภาพที่ 3.9 การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องผ่าตัดจักษุวิทยา

ขั้นตอนการทดสอบในห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 1, 2 และห้องผ่าตัดจักษุวิทยา

1. ทำการตรวจวัดความเร็วลมบริเวณปากสูด (Face Velocity) โดยใช้อุปกรณ์เครื่องวัดความเร็วลม (VELOCICALC Air Velocity Meter) โดยแบ่งปากสูดออกเป็น 6 จุดแต่ละจุดทำการตรวจวัด 5 ครั้งๆละ 1 นาที ซึ่งในการทดสอบจะมีทั้งมีการเปิด - ปิด เครื่องปรับอากาศ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยของการตรวจวัดค่าความเร็วลมแล้วทำการบันทึกผล

2. ทำการตรวจวัดเสียง โดยใช้อุปกรณ์วัดเสียงปริมาณเสียงสะสม (Noise Dosimeter) โดยทำการติดตั้งบนปากทางดูดและให้อุปกรณ์ทำงานตลอดเวลาที่ทำการทดสอบซึ่งจะแบ่งเป็นช่วงที่ให้อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศอากาศเฉพาะที่ Model 1 ต่อเข้ากับอุปกรณ์ต้นกำลัง 0.004 แรงม้าและการให้อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศอากาศเฉพาะที่ Model 1 ต่อเข้ากับเข้ากับอุปกรณ์ต้นกำลัง 2.413 แรงม้า



ก) การทดสอบห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 1



ข) การทดสอบห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 2

ภาพที่ 3.10 การตรวจวัดความเร็วลม (Face Velocity) และการตรวจวัดปริมาณเสียงสะสมในห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 1, 2 และห้องผ่าตัดจักษุวิทยา



ข) การทดสอบห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 2 (ต่อ)



ค) การทดสอบห้องผ่าตัดจักษุวิทยา

ภาพที่ 3.10 การตรวจวัดความเร็วลม (Face Velocity) และการตรวจวัดปริมาณเสียงสะสม  
ในห้องผ่าตัดฉุกเฉิน 1, 2 และห้องผ่าตัดจักษุวิทยา (ต่อ)

## 2.5 แบบสอบถามความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

การคิดคะแนนของแบบสอบถามระดับความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบาย  
อากาศเฉพาะที่

น้อยที่สุด      เท่ากับ 1 คะแนน

น้อย              เท่ากับ 2 คะแนน

ปานกลาง        เท่ากับ 3 คะแนน

มาก                เท่ากับ 4 คะแนน

มากที่สุด เท่ากับ 5 คะแนน

ระดับความคิดเห็นของแบบสอบถามระดับความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบ  
ระบายอากาศ

ช่วงคะแนน	ระดับความคิดเห็น
1.00 - 1.99	น้อยที่สุด
2.00 - 2.99	น้อย
3.00 - 3.99	ปานกลาง
4.00 - 4.99	มาก
5.00 - 5.00	มากที่สุด

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ สถิติเชิงพรรณนาโดยหาค่าร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ (%)

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เพื่อลดปริมาณยาสลบในห้องผ่าตัด มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับใช้ในห้องผ่าตัดระหว่างการดมยาสลบและศึกษาสมรรถนะของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เก็บข้อมูลโดยการตรวจวัดสารเคมีที่องค์ประกอบของยาสลบ การออกแบบและนำอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานในห้องผ่าตัด รวมทั้งการใช้แบบสอบถามสำรวจความพึงใจในอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อดังนี้

#### 4.1 การตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบ

การตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบเป็นการสำรวจเบื้องต้นเพื่อศึกษาปริมาณยาสลบชนิด Nitrous oxide, Sevoflurane และ Desflurane โดยการเลือกแบบสุ่มแบบเฉพาะเจาะจงห้องของที่มีการใช้ยาสลบมากที่สุดในการทำงาน ซึ่งทำการตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันที (Gasmeter รุ่น DX-4303) ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ค่าสูงสุดการตรวจวัดของ Nitrous oxide และ Sevoflurane มีค่าเกินมาตรฐาน (8 hr-TWA) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

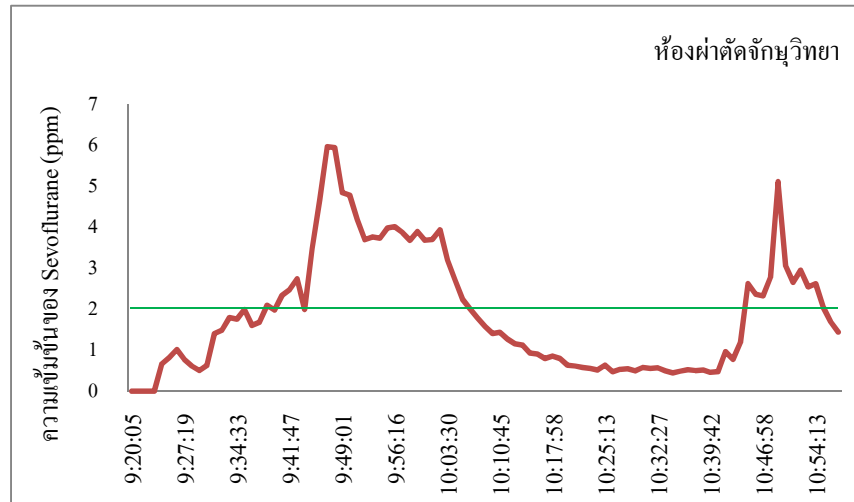
ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

สถานที่/สารเคมีที่ตรวจวัด	จำนวนตัวอย่าง	ผลการตรวจวัด (ppm)		
		min.	max.	TWA
<b>ห้องผ่าตัดจักษุวิทยา</b>				
Nitrous oxide	1	2.47	23.76	6.97
Sevoflurane	1	0	5.97	1.89
<b>ห้องผ่าตัดสูติรีเวช</b>				
Nitrous oxide	1	0.92	6.54	1.93
Sevoflurane	1	0.03	2.27	0.33

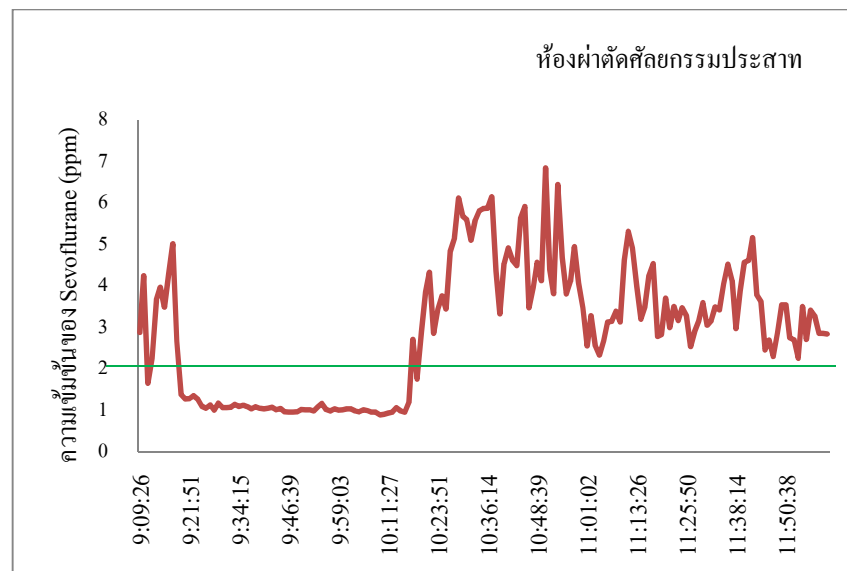
ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (ต่อ)

สถานที่/สารเคมีที่ตรวจวัด	จำนวนตัวอย่าง	ผลการตรวจวัด (ppm)		
		min.	max.	TWA
<b>ห้องผ่าตัดศัลยกรรมประสาท</b>				
Nitrous oxide	1	0.43	7.13	1.23
Sevoflurane	1	0.89	6.84	2.89
<b>ห้องผ่าตัดโสตศอนาสิกวิทยา</b>				
Nitrous oxide	1	2.71	11.6	4.55
Desflurane	1	0.01	2.35	0.22
<b>ห้องผ่าตัดกุมารศัลยศาสตร์และศัลยศาสตร์ทั่วไป</b>				
Nitrous oxide	1	5.53	37.92	12.81
Sevoflurane	1	0	1.08	0.29
<b>ห้องพักรฟื้น โชน A</b>				
Nitrous oxide	1	2.60	7.18	3.77
Sevoflurane		0	1	0.58
<b>ห้องพักรฟื้น โชน B</b>				
Nitrous oxide	1	2.63	4.75	4.16
Sevoflurane	1	0.05	0.72	0.41

ผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ พบว่าค่าเฉลี่ยยาสลบตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานมีค่าไม่เกินมาตรฐาน(8 hr-TWA) ทุกห้อง แต่จะพบว่าค่าสูงสุดของ Sevoflurane ในห้องผ่าตัดจักษุวิทยา (ภาพที่ 4.1) ห้องสูตินรีเวช ห้องผ่าตัดศัลยกรรมประสาท (ภาพที่ 4.2) และห้องผ่าตัดโสตศอนาสิกวิทยาเกินค่ามาตรฐาน (2 ppm) และพบว่าค่าสูงสุดของ Nitrous oxide ห้องผ่าตัดกุมารศัลยศาสตร์และศัลยศาสตร์ทั่วไปเกินค่ามาตรฐาน (25 ppm)



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความเข้มข้นของ Sevoflurane (ppm) ห้องผ่าตัดจักษุวิทยาเทียบกับค่ามาตรฐาน

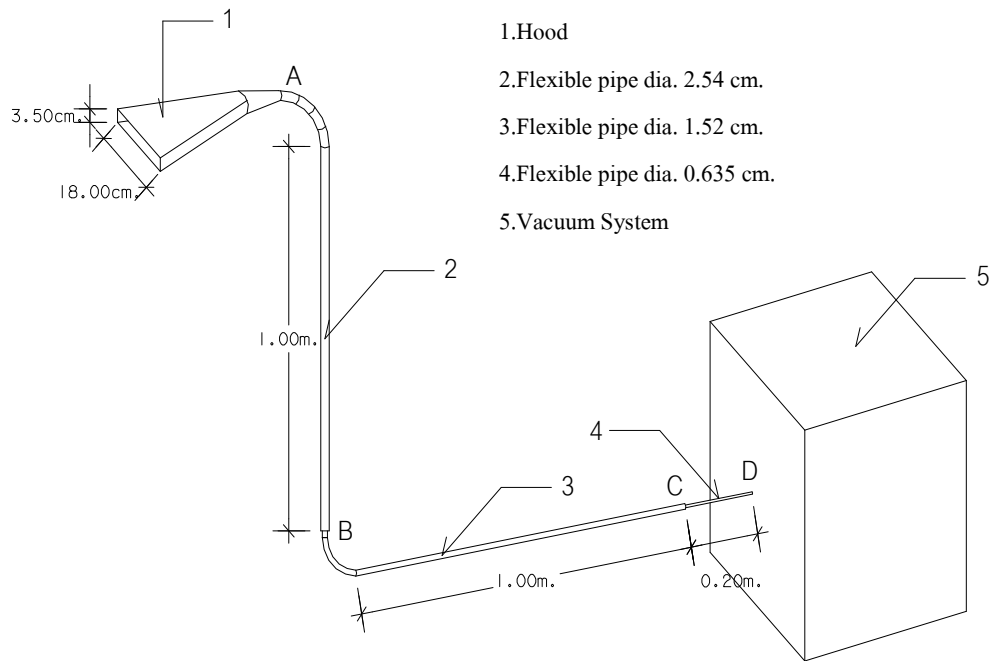


ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความเข้มข้นของ Sevoflurane (ppm) ห้องผ่าตัดศัลยกรรมประสาทเทียบกับค่ามาตรฐาน

## 4.2 อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

### 4.2.1 การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1

การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แบบจำลองอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1

### 4.2.2 การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1

การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ประกอบด้วย

1. ปากทางดูดอากาศ (hood)
2. ท่อ (duct) ใช้วัสดุชนิดท่อพีอีทีกซ์
3. พัดลมระบายอากาศ (fan) ใช้พัดลมของ Vacuum

สำหรับรายละเอียดของรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ A-B

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
1	หมายเลขช่วงท่อและจุด		A - B				
2	อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ	$Q = 3.7 \text{ LVX}$	$L = 0.18 \text{ m}$	$V = 0.010 \text{ m/s}$	$X = 0.20 \text{ m}$	0.001	$\text{m}^3/\text{s}$
3	ความเร็วต่ำสุด	-	-	-	-	10	$\text{m/s}$
3	ขนาดท่อใหญ่สุด	$A_d = Q/V_d$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$V = 10 \text{ m/s}$	$A_d = \pi D^2/4 = \pi(10)^2/4$	0.013	$\text{m}^2$
5	ขนาดท่อที่เลือกใช้	-	-	-	-	0.0254	$\text{m}$
6	พื้นที่หน้าตัดของท่อ	$A_{d(A-B)} = \pi(D^2)/4$	$A_{d(A-B)} = \pi(0.0254)^2/4$	-	-	0.001	$\text{m}^2$
7	ความเร็วลมในท่อ	$V_{d(A-B)} = Q/A_{d(A-B)}$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_{d(A-B)} = 0.001 \text{ m}^2$	-	2.625	$\text{m/s}$
8	ความดันเคลื่อนที่ในท่อ	$VP_{d(A-B)} = (V_{d(A-B)}/1.29)^2$	$V_{d(A-B)} = 2.625 \text{ m/s}$	-	-	4.140	$\text{Pa}$
9	พื้นที่สูงสุดของสล๊อต	$W/L \leq 0.2$	-	-	-	0.2	$\text{m}^2$
10	ขนาดพื้นที่ของสล๊อตที่เลือกใช้	$A_s = LW$	$L = 0.18 \text{ m}$	$W = 0.035 \text{ m}$	-	0.006	$\text{m}^2$
11	ความเร็วลมในสล๊อต	$V_s = Q/A_s$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_s = 0.006 \text{ m}^2$	-	0.211	$\text{m/s}$

ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ A-B (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
12	ความดันเคลื่อนที่ในสล๊อต	$VP_s = (V_s/1.29)^2$	$V_s = 0.211 \text{ m/s}$	-	-	0.027	Pa
13	สัมประสิทธิ์ที่สูญเสียที่สล๊อต	$F_s$	-	-	-	1.78	-
14	แฟคเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว	-	-	-	-	0	-
15	ความสูญเสียที่สล๊อต	-	-	-	-	1.78	-
16	ความสูญเสียที่สล๊อต/VP	$h_s = F_s VP_s$	$F_s = 1.78$	$VP_s = 0.027 \text{ Pa}$	-	0.048	Pa
17	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ชุด	$F_h$	-	-	-	0.25	-
18	แฟคเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว	-	-	-	-	0	-
19	ความสูญเสียที่ชุด	-	-	-	-	0.25	-
20	ความสูญเสียที่ชุด/VP	$h_h = F_h VP_{d(A-B)}$	$F_h = 0.25$	$VP_{d(A-B)} = 4.140 \text{ Pa}$	-	1.035	Pa
21	ความดันสถิตที่ชุด	$SP_h = h_c + VP_{d(A-B)}$	$h_c = h_s + h_h = 1.083 \text{ Pa}$	$VP_{d(A-B)} = 4.140 \text{ Pa}$	-	5.223	Pa
22	ความยาวท่อตรง	L	-	-	-	1.00	m

ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ A-B (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร	ผลการคำนวณ	หน่วย		
23	แฟกเตอร์ความเสียดทาน	$F_d = a(V_{d(A-B)}^b/Q^c)$	$a = 0.0186$	$V_{d(A-B)}^b = (306.395)^{0.604}$	$Q^c = (0.231)^{0.639}$	2.294	-
24	ความสูญเสียจากการเสียดทาน/ VP	$h_d = F_d L$	$F_d = 2.294$	$L = 1.0 \text{ m}$	-	2.294	Pa
25	จำนวนท่อโค้ง 90 องศา	-	-	-	-	1	-
26	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง	$F_{cl}$	-	-	-	0.19	-
27	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง/VP	$h_{cl} = F_{cl}$	$F_{cl} = 0.19$	-	-	0.19	-
28	จำนวนท่อสาขา(0 หรือ 1)	-	-	-	-	0	-
29	ความสูญเสียที่ท่อ/VP	Duct loss = $h_d + h_{cl}$	$h_d = 2.294$	$h_{cl} = 0.19$	-	2.484	Pa
30	ความสูญเสียในท่อ	Duct loss = $(h_d + h_{cl})VP_{d(A-B)}$	$h_d = 2.294$	$h_{cl} = 0.19$	$VP_{d(A-B)} = 4.140 \text{ Pa}$	10.283	Pa
31	ความดันสถิตในช่วงท่อ	$SP_2 = -(VP_{d(A-B)} + F_h (VP_{d(A-B)}))$	$F_h = 0.25$	$SP_h = 5.223 \text{ Pa}$	$VP_{d(A-B)} = 4.140 \text{ Pa}$	-5.175	Pa

ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ B - C

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
1	หมายเลขช่วงท่อและจุด		<b>B - C</b>				
2	อัตราการไหลของอากาศที่ ต้องการ	$Q = 3.7 \text{ LVX}$	$L = 0.18 \text{ m}$	$V = 0.010 \text{ m/s}$	$X = 0.20 \text{ m}$	0.001	$\text{m}^3/\text{s}$
3	ความเร็วต่ำสุด	-	-	-	-	10	$\text{m/s}$
3	ขนาดท่อใหญ่สุด	$A_d = Q/V_d$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$V = 10 \text{ m/s}$	$A_d = \pi D^2/4 = \pi(10)^2/4$	0.013	$\text{m}^2$
5	ขนาดท่อที่เลือกใช้	-	-	-	-	0.0152	$\text{m}$
6	พื้นที่หน้าตัดของท่อ	$A_{d(B-C)} = \pi(D^2)/4$	$A_{d(B-C)} = \pi(0.0152)^2/4$	-	-	0.0002	$\text{m}^2$
7	ความเร็วลมในท่อ	$V_{d(B-C)} = Q/A_{d(B-C)}$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_{d(B-C)} = 0.001 \text{ m}^2$	-	7.330	$\text{m/s}$
8	ความดันเคลื่อนที่ในท่อ	$VP_{d(B-C)} = (V_{d(B-C)}/1.29)^2$	$V_{d(B-C)} = 7.330 \text{ m/s}$	-	-	32.285	$\text{Pa}$
9	พื้นที่สูงสุดของสล็อต	$W/L \leq 0.2$	-	-	-	0.2	$\text{m}^2$
10	ขนาดพื้นที่ของสล็อตที่ เลือกใช้	$A_s = LW$	$L = 0.18 \text{ m}$	$W = 0.035 \text{ m}$	-	0.006	$\text{m}^2$
11	ความเร็วลมในสล็อต	$V_s = Q/A_s$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_s = 0.006 \text{ m}^2$	-	0.211	$\text{m/s}$

ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ B - C (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
12	ความดันเคลื่อนที่ในสล็อต	$VP_s = (V_s/1.29)^2$	$V_s = 0.211 \text{ m/s}$	-	-	0.027	Pa
13	สัมประสิทธิ์ที่สูญเสียที่สล็อต	$F_s$	-	-	-	1.78	-
14	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว	-	-	-	-	0	-
15	ความสูญเสียที่สล็อต	-	-	-	-	1.78	-
16	ความสูญเสียที่สล็อต/VP	$h_s = F_s VP_s$	$F_s = 1.78$	$VP_s = 0.027 \text{ Pa}$	-	0.048	Pa
17	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ชุด	$F_h$	-	-	-	0.25	-
18	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว	-	-	-	-	0	-
19	ความสูญเสียที่ชุด	-	-	-	-	0.25	-
20	ความสูญเสียที่ชุด/VP	$h_h = F_h VP_{d(B-C)}$	$F_h = 0.25$	$VP_{d(B-C)} = 32.285 \text{ Pa}$	-	8.071	Pa
21	ความดันสถิตที่ชุด	$SP_h = h_c + VP_{d(B-C)}$	$h_c = h_s + h_h = 8.119 \text{ Pa}$	$VP_{d(B-C)} = 32.285 \text{ Pa}$	-	40.403	Pa
22	ความยาวท่อตรง	L	-	-	-	1.00	m

ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ B - C (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
23	แฟกเตอร์ความเสียหาย	$F_d = a(V_{d(B-C)}^b/Q^c)$	$a = 0.0186$	$V_{d(B-C)}^b = (306.395)^{0.604}$	$Q^c = (0.231)^{0.639}$	4.265	-
24	ความสูญเสียจากการเสียหาย/ VP	$h_d = F_d L$	$F_d = 4.265$	$L = 1.0 \text{ m}$	-	4.265	Pa
25	จำนวนท่อโค้ง 90 องศา	-	-	-	-	1	-
26	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง	$F_{el}$	-	-	-	0.19	-
27	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง/VP	$h_{el} = F_{el}$	$F_{el} = 0.19$	-	-	0.19	-
28	จำนวนท่อสาขา(0 หรือ 1)	-	-	-	-	0	-
29	ความสูญเสียที่ท่อ/VP	Duct loss = $h_d + h_{el}$	$h_d = 4.265$	$h_{el} = 0.19$	-	4.455	Pa
30	ความสูญเสียในท่อ	Duct loss = $(h_d + h_{el})VP_{d(B-C)}$	$h_d = 4.265$	$h_{el} = 0.19$	$VP_{d(B-C)} = 32.285 \text{ Pa}$	143.817	Pa
31	ความดันสถิตในช่วงท่อ	$SP_2 = -(VP_{d(B-C)} + F_h (VP_{d(B-C)}))$	$F_h = 0.25$	$SP_h = 82.854 \text{ Pa}$	$VP_{d(B-C)} = 32.285 \text{ Pa}$	-40.356	Pa

ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ C - D

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
1	หมายเลขช่วงท่อและจุด		C - D				
2	อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ	$Q = 3.7 \text{ LVX}$	$L = 0.18 \text{ m}$	$V = 0.010 \text{ m/s}$	$X = 0.20 \text{ m}$	0.001	$\text{m}^3/\text{s}$
3	ความเร็วต่ำสุด	-	-	-	-	10	$\text{m/s}$
3	ขนาดท่อใหญ่สุด	$A_d = Q/V_d$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$V = 10 \text{ m/s}$	$A_d = \pi D^2/4 = \pi(10)^2/4$	0.013	$\text{m}^2$
5	ขนาดท่อที่เลือกใช้	-	-	-	-	0.00635	$\text{m}$
6	พื้นที่หน้าตัดของท่อ	$A_{d(C-D)} = \pi(D^2)/4$	$A_{d(C-D)} = \pi(0.00635)^2/4$	-	-	0.00003	$\text{m}^2$
7	ความเร็วลมในท่อ	$V_{d(C-D)} = Q/A_{d(C-D)}$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_{d(C-D)} = 0.00003 \text{ m}^2$	-	41.998	$\text{m/s}$
8	ความดันเคลื่อนที่ในท่อ	$VP_{d(C-D)} = (V_{d(C-D)}/1.29)^2$	$V_{d(C-D)} = 41.998 \text{ m/s}$	-	-	1059.924	$\text{Pa}$
9	พื้นที่สูงสุดของสล็อต	$W/L \leq 0.2$	-	-	-	0.2	$\text{m}^2$
10	ขนาดพื้นที่ของสล็อตที่เลือกใช้	$A_s = LW$	$L = 0.18 \text{ m}$	$W = 0.035 \text{ m}$	-	0.006	$\text{m}^2$
11	ความเร็วลมในสล็อต	$V_s = Q/A_s$	$Q = 0.00133 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_s = 0.006 \text{ m}^2$	-	0.211	$\text{m/s}$

ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ C - D (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร	ผลการคำนวณ	หน่วย
12	ความดันเคลื่อนที่ในสล็อต	$VP_s = (V_s/1.29)^2$	$V_s = 0.211 \text{ m/s}$	-	0.027 Pa
13	สัมประสิทธิ์ที่สูญเสียที่สล็อต	$F_s$	-	-	1.78
14	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว	-	-	-	0
15	ความสูญเสียที่สล็อต	-	-	-	1.78
16	ความสูญเสียที่สล็อต/VP	$h_s = F_s VP_s$	$F_s = 1.78$	$VP_s = 0.027 \text{ Pa}$	0.048 Pa
17	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ชุด	$F_h$	-	-	0.25
18	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว	-	-	-	0
19	ความสูญเสียที่สุด	-	-	-	0.25
20	ความสูญเสียที่สุด/VP	$h_h = F_h VP_{d(C-D)}$	$F_h = 0.25$	$VP_{d(C-D)} = 1,059.924 \text{ Pa}$	264.981 Pa
21	ความดันสถิตที่สุด	$SP_h = h_c + VP_{d(C-D)}$	$h_c = h_s + h_h = 265.029 \text{ Pa}$	$VP_{d(C-D)} = 1,059.924 \text{ Pa}$	1324.953 Pa
22	ความยาวท่อตรง	L	-	-	0.20 m



ตารางที่ 4.2 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ช่วงท่อ C - D (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
23	แฟกเตอร์ความเสียหาย	$F_d = a(V_{d(C-D)}^b/Q^c)$	$a = 0.0186$	$V_{d(C-D)}^b = (306.395)^{0.604}$	$Q^c = (0.00133)^{0.639}$	12.241	-
24	ความสูญเสียจากการเสียหาย/ VP	$h_d = F_d L$	$F_d = 5.299$	$L = 0.20 \text{ m}$	-	2.448	Pa
25	จำนวนท่อโค้ง 90 องศา	-	-	-	-	0	-
26	จำนวนท่อสาขา(0 หรือ 1)	-	-	-	-	0	-
27	ความสูญเสียที่ท่อ/VP	Duct loss = $h_d + h_{el}$	$h_d = 2.448$	-	-	2.448	Pa
28	ความสูญเสียในท่อ	Duct loss = $(h_d + h_{el})VP_{d(C-D)}$	$h_d = 2.448$	-	$VP_{d(C-D)} = 66.245 \text{ Pa}$	2,594.811	Pa
29	ความดันสถิตในช่วงท่อ	$SP_2 = -(VP_{d(C-D)} + F_h$ $(VP_{d(C-D)})$	$F_h = 0.25$	$SP_h = 1324.953 \text{ Pa}$	$VP_{d(C-D)} = 66.245 \text{ Pa}$	-1324.905	Pa

#### 4.2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1

การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ได้ทำการทดสอบหลังจากได้มีการตัดแบบชิ้นงานอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ซึ่งได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการและห้องผ่าตัดที่มีลักษณะแตกต่างกันจำนวน 3 ห้อง มีอุปกรณ์ต้นกำลัง 2 ชนิดคือ 0.004 แรงม้า และ 2.413 แรงม้า ในการทดสอบจะมีการเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศ โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพความเร็วลมของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ พบว่ามีค่าความเร็วลมหน้าสุดมากกว่าที่ออกแบบจากการคำนวณทั้งการเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้ยังพบระดับเสียงดังไม่ว่าจะเป็นระบบที่ใช้ 0.004 และ 2.413 แรงม้า ดังแสดงในตารางที่ 4.3

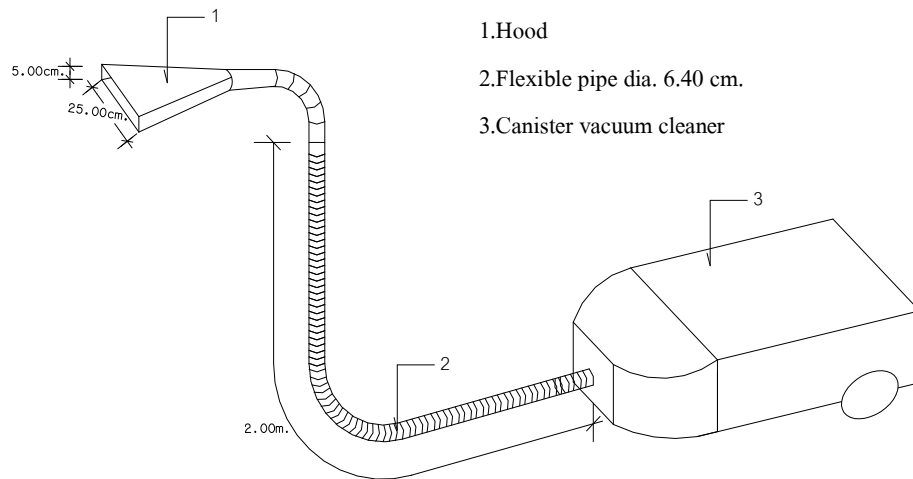
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความเร็วลมของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1

อุปกรณ์ต้นกำลัง (HP)	เครื่องปรับอากาศ	ระยะทดสอบ	การทดสอบอุปกรณ์		ความเร็วลมจากการคำนวณ (m/s)
			ความเร็วลม (m/s) (Mean ± SD)	ระดับเสียง (dB)	
0.004 (n=4)	เปิด	ปากสูด	0.16 ± 0.05	85.97	0.211
	ปิด	ปากสูด	0.18 ± 0.09	85.62	
2.413 (n=4)	เปิด	ปากสูด	4.53 ± 0.54	98.62	
	ปิด	ปากสูด	4.35 ± 0.26	91.62	

จากการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่โดยใช้ อุปกรณ์ต้นกำลัง 2.413 แรงม้า จะมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากกว่าระบบที่ใช้ 0.004 แรงม้า จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 โดยใช้ อุปกรณ์ต้นกำลังเป็น 1.408 แรงม้า

#### 4.2.4 การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2

การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แบบจำลองอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2

#### 4.2.5 การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2

การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 ประกอบด้วย

1. ปากทางดูดอากาศ (hood)
2. ท่อ (duct) ใช้วัสดุชนิดท่อพีอีทีกซ์
3. พัดลมระบายอากาศ (fan) ใช้พัดลมของเครื่องดูดฝุ่น

สำหรับรายละเอียดของรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
1	หมายเลขช่วงท่อและจุด		<b>A-B</b>				
2	อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ	$Q = 3.7 \text{ LVX}$	$L = 0.25 \text{ m}$	$V = 1 \text{ m/s}$	$X = 0.25 \text{ m}$	0.231	$\text{m}^3/\text{s}$
3	ความเร็วต่ำสุด	-	-	-	-	10.00	$\text{m/s}$
4	ขนาดท่อใหญ่สุด	$A_d = Q/V_d$	$Q = 0.231 \text{ m}^3/\text{s}$	$V = 10 \text{ m/s}$	$A_d = \pi D^2/4 = \pi(10)^2/4$	0.172	$\text{m}$
5	ขนาดท่อที่เลือกใช้	-	-	-	-	0.064	$\text{m}$
6	พื้นที่หน้าตัดของท่อ	$A_{d(\text{new})} = \pi(D^2)/4$	$A_{d(\text{new})} = \pi(0.064)^2/4$	-	-	0.003	$\text{m}^2$
7	ความเร็วลมในท่อ	$V_{d(\text{new})} = Q/A_{d(\text{new})}$	$Q = 0.231 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_{d(\text{new})} = 0.003 \text{ m}^2$	-	71.886	$\text{m/s}$
8	ความดันเคลื่อนที่ในท่อ	$VP_{d(\text{new})} = (V_{d(\text{new})}/1.29)^2$	$V_{d(\text{new})} = 71.886 \text{ m/s}$	-	-	3,105.346	$\text{Pa}$
9	พื้นที่สูงสุดของสล๊อต	$W/L \leq 2$	-	-	-	0.2	$\text{m}^2$
10	ขนาดพื้นที่ของสล๊อตที่เลือกใช้	$A_s = LW$	$L = 0.25 \text{ m}$	$W = 0.05 \text{ m}$	-	0.013	$\text{m}^2$
11	ความเร็วลมในสล๊อต	$V_s = Q/A_s$	$Q = 0.231 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_s = 0.013 \text{ m}^2$	-	18.500	$\text{m/s}$

ตารางที่ 4.4 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร	ผลการคำนวณ	หน่วย		
12	ความดันเคลื่อนที่ในสล๊อต	$VP_s = (V_s/1.29)^2$	$V_s = 18.50 \text{ m/s}$	-	-	205.667	Pa
13	สัมประสิทธิ์ที่สูญเสียที่สล๊อต	$F_s$	-	-	-	1.78	-
14	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว	-	-	-	-	0	-
15	ความสูญเสียที่สล๊อต	-	-	-	-	1.78	-
16	ความสูญเสียที่สล๊อต/VP	$h_s = F_s VP_s$	$F_s = 1.78$	$VP_s = 205.667 \text{ Pa}$	-	366.087	Pa
17	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ชุด	$F_h$	-	-	-	0.25	-
18	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว	-	-	-	-	0	-
19	ความสูญเสียที่สุด	-	-	-	-	0.25	-
20	ความสูญเสียที่สุด/VP	$h_h = F_h VP_{d(new)}$	$F_h = 0.25$	$VP_{d(new)} = 3,105.336 \text{ Pa}$	-	776.337	Pa
21	ความดันสถิตที่สุด	$SP_h = h_c + VP_{d(new)}$	$h_c = h_s + h_h = 1,142.423$	$VP_{d(new)} = 3,105.336 \text{ Pa}$	-	4,247.769	Pa

ตารางที่ 4.4 แสดงรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
22	ความยาวท่อตรง	L	-	-	-	2	m
23	แฟกเตอร์ความเสียดทาน	$F_d = a(V_{d(new)}^b/Q^c)$	$a = 0.0186$	$V_{d(new)}^b = (71.886)^{0.604}$	$Q^c = (0.231)^{0.639}$	0.627	-
24	ความสูญเสียจากการเสียดทาน /VP	$h_d = F_d L$	$F_d = 0.627$	$L = 2 \text{ m}$	-	1.254	Pa
25	จำนวนท่อโค้ง 90 องศา	-	-	-	-	2	-
26	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง	$F_{cl}$	-	-	-	0.19	-
27	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง/VP	$h_{cl} = F_{cl}(2)$	$F_{cl} = 0.19$	-	-	0.38	-
28	จำนวนท่อสาขา(0 หรือ 1)	-	-	-	-	0	-
29	ความสูญเสียที่ท่อ/VP	Duct loss = $h_d + h_{cl}$	$h_d = 1.254$	$h_{cl} = 0.38$	-	1.634	Pa
30	ความสูญเสียในท่อ	Duct loss = $(h_d + h_{cl})VP_{d(new)}$	$h_d = 1.254$	$h_{cl} = 0.38$	$VP_{d(new)} = 3,105.336 \text{ Pa}$	5074.231	Pa
31	ความดันสถิตในช่วงท่อ	$SP_2 = -(VP_{d(new)} + F_h(VP_{d(new)}))$	$F_h = 0.25$	$SP_h = 3491.02$	$VP_{d(new)} = 3,105.336 \text{ Pa}$	-3881.683	Pa

#### 4.2.6 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2

การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ได้ทำการทดสอบหลังจากได้มีการตัดแบบชิ้นงานอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ จากการคำนวณค่าของความเร็วจับเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาทีและความเร็วลมที่ปากสูดเท่ากับ 18.50 เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วลมสูงสุดในการทดสอบอยู่ที่ตำแหน่งปากสูดตรวจวัดได้เท่ากับ  $3.99 \pm 0.43$  เมตรต่อวินาที รองลงมาคือที่ระยะ 5 เซนติเมตร ตรวจวัดได้เท่ากับ  $0.76 \pm 0.26$  เมตรต่อวินาที และที่ระยะ 10 เซนติเมตร ตรวจวัดได้เท่ากับ  $0.52 \pm 0.08$  เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความเร็วลมของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 ณ ห้องปฏิบัติการหน่วยอาชีวอนามัย (n=6)

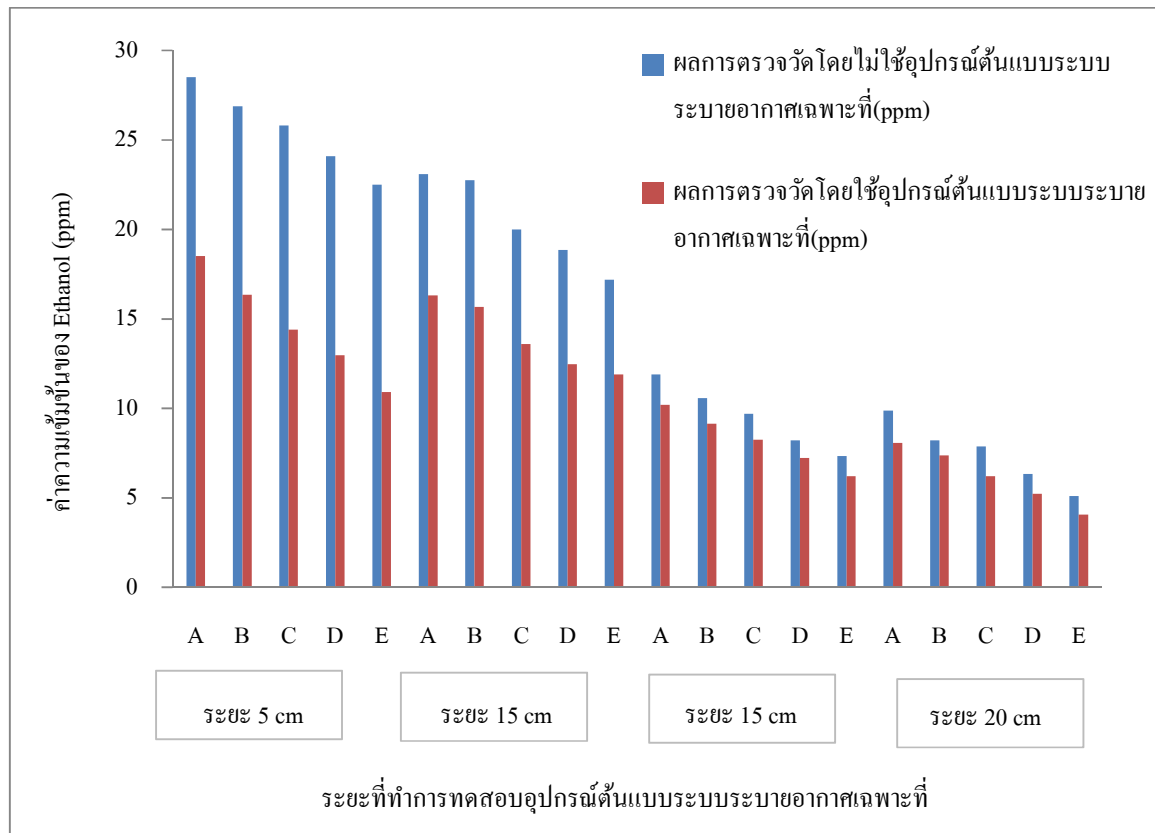
ระยะของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่กับเครื่องวัด	ความเร็วลม (m/s)			พลังงานที่ใช้ในการจับเคลื่อนของพัดลม (HP)	ความเร็วลมจากการคำนวณ (m/s)	หมายเหตุ
	min.	max.	Mean $\pm$ SD			
ปากสูด	3.43	4.48	$3.99 \pm 0.43$	1.408	18.5	Face Velocity
5	0.39	0.99	$0.76 \pm 0.26$			
10	0.42	0.60	$0.52 \pm 0.08$			
15	0.28	0.36	$0.31 \pm 0.03$			
20	0.16	0.22	$0.19 \pm 0.02$			
25	0.12	0.18	$0.15 \pm 0.02$			

การจำลองสถานการณ์เหมือนห้องผ่าตัดโดยปล่อยสารเคมี (Ethanol) แล้วตรวจวัดปริมาณ Ethanol โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันที (Gasmeter รุ่น DX-4303) พบว่าการปล่อยสารเคมี Ethanol ทุกระยะการทดสอบค่า Ethanol โดยใช้อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่จะมีค่าความเข้มข้นของ Ethanol น้อยกว่าไม่ใช้อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ดังแสดงในตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการตรวจวัด Ethanol ณ ห้องปฏิบัติการหน่วยอาชีวอนามัย (n=4)

จุด ทดสอบ	ระยะ ทดสอบ (cm.)	ผลการตรวจวัด		min. (ppm)	max. (ppm)	TWA (ppm)
		โดยไม่ใช้อุปกรณ์ ต้นแบบระบบ ระบายอากาศ เฉพาะที่ (ppm)	โดยใช้อุปกรณ์ ต้นแบบระบบ ระบายอากาศ เฉพาะที่ (ppm)			
A		28.50	18.50			
B		26.87	16.36			
C	5	25.80	14.40	10.92	28.50	20.03
D		24.09	12.98			
E		22.50	10.92			
A		23.10	16.30			
B		22.76	15.67			
C	10	20.00	13.60	11.90	23.10	17.24
D		18.86	12.48			
E		17.20	11.90			
A		11.90	10.20			
B		10.57	9.15			
C	15	9.70	8.25	6.20	11.90	8.90
D		8.23	7.24			
E		7.33	6.20			
A		9.87	8.07			
B		8.22	7.39			
C	20	7.87	6.20	4.07	9.87	6.86
D		6.34	5.24			
E		5.10	4.07			





ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความเข้มข้นของ Ethanol (ppm) เปรียบเทียบระหว่างไม่ใช้กับใช้ อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

#### 4.3 การสำรวจความพึงพอใจของการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

การเก็บข้อมูลแบบสอบถามความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สามารถเก็บแบบสอบถามได้ทั้งหมด 38 ฉบับ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 94.74 รองลงมาเป็นเพศชายจำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 5.26 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงจำนวนและร้อยละของเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม (n=38)

เพศ	จำนวน (ร้อยละ)
ชาย	2 (5.26)
หญิง	36 (94.74)
รวม	38 (100)

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาปริญญาตรีจำนวน 31 คนคิดเป็นร้อยละ 81.58 รองลงมา มีระดับการศึกษาปริญญาโทจำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 18.42 ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงจำนวนและร้อยละของระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม (n=38)

ระดับการศึกษา	จำนวน (ร้อยละ)
ปริญญาตรี	31 (81.58)
ปริญญาโท	7 (8.42)
รวม	38 (100)

ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในการออกแบบของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่มีความสวยงามเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน ขนาดของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สามารถลดการสัมผัสยาสูบในห้องผ่าตัดได้ จะนำอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ไปใช้งานในห้องผ่าตัดและโดยภาพรวมแล้วมีความพึงพอใจกับอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.15, 3.02, 3.50, 3.13 และ 3.34 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ย และระดับความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามรายชื่อ (n=38)

ที่	รายละเอียดการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ระดับ	ระดับความ คิดเห็น
1	การออกแบบของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่มีความสวยงามเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน	3.15	ปานกลาง
2	ขนาดของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน	3.02	ปานกลาง
3	อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สามารถลดการสัมผัสยาสูบในห้องผ่าตัดได้	3.50	ปานกลาง
4	จะนำอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ไปใช้งานในห้องผ่าตัด	3.13	ปานกลาง
5	โดยภาพรวมแล้วมีความพึงพอใจกับอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่	3.34	ปานกลาง

## บทที่ 5

### สรุปวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Study) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่และศึกษาสมรรถนะของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ดำเนินการศึกษาระหว่างปีพ.ศ. 2557 – 2560 การดำเนินการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกสำรวจปริมาณยาสลบในห้องผ่าตัด ส่วนที่ 2 ออกแบบแบบจำลองอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ตัดประกอบชิ้นงาน ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ รวมทั้งประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ผลการศึกษาสรุปตามวัตถุประสงค์การศึกษาดังนี้

ส่วนแรกการสำรวจปริมาณยาสลบในห้องผ่าตัด โดยการเลือกสุ่มตัวอย่างของห้องผ่าตัดในการเก็บตัวอย่างยาสลบทั้งหมด 5 ห้องและห้องพักฟื้นจำนวน 1 ห้อง พบว่าค่าเฉลี่ยยาสลบตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานมีค่าไม่เกินมาตรฐาน(8 hr-TWA) ทุกห้อง แต่จะพบว่าค่าสูงสุดของ Sevoflurane ในห้องผ่าตัดจักษุวิทยา ห้องสูตินรีเวช ห้องผ่าตัดศัลยกรรมประสาทและห้องผ่าตัดโสตศอนาสิกวิทยาเกินค่ามาตรฐาน (2 ppm) และพบว่าค่าสูงสุดของ Nitrous oxide ห้องผ่าตัดกุมาร ศัลยศาสตร์และศัลยศาสตร์ทั่วไปเกินค่ามาตรฐาน (25 ppm)

ส่วนที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่และการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบของ ACGIH โดยการเลือกใช้สล็อตดูด อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ได้จัดทำขึ้น 2 Model โดย Model ที่ 1 ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบของ ACGIH จากการคำนวณพบว่าค่าความเร็วจับ (Capture Velocity) เท่ากับ 0.010 เมตรต่อวินาทีและค่าความเร็วลมที่ปากดูดเท่ากับ 0.211 เมตรต่อวินาที เมื่อตัดประกอบชิ้นงานตามรายการคำนวณแล้วนำมาทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ต้นกำลัง 2 ชนิด ชนิดแรกใช้อุปกรณ์ต้นกำลัง 0.004 แรงม้าในการทดสอบ พบว่าการทดสอบขณะเปิดเครื่องปรับอากาศความเร็วลมที่ปากดูดเท่ากับ  $0.16 \pm 0.05$  เมตรต่อวินาที และเมื่อทดสอบขณะปิดเครื่องปรับอากาศความเร็วลมที่ปากดูดเท่ากับ  $0.18 \pm 0.09$  เมตรต่อวินาที การทดสอบทั้งเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศค่าความเร็วลมที่ปากดูดมีค่าน้อยกว่ารายการคำนวณ ชนิดที่ 2 ใช้อุปกรณ์ต้นกำลัง 2.413 แรงม้า พบว่าขณะเปิดเครื่องปรับอากาศความเร็วลมที่ปากดูดเท่ากับ  $4.53 \pm 0.54$  เมตรต่อวินาที และเมื่อทดสอบขณะปิดเครื่องปรับอากาศความเร็วลมที่ปากดูดเท่ากับ  $4.35 \pm 0.26$  เมตรต่อวินาที ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพพบว่าการใช้อุปกรณ์ต้นกำลังชนิดที่ 2 จะมีสมรรถนะการใช้งาน

มากกว่าชนิดแรก จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 โดยออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบของ ACGIH ค่าความเร็วจับ (Capture Velocity) เท่ากับ 1 เมตรต่อวินาทีและค่าความเร็วลมที่ปากสูดเท่ากับ 18.50 เมตรต่อวินาที และใช้อุปกรณ์ต้นกำลัง 1.408 แรงม้าในการดูดอากาศเข้าสู่ระบบ เมื่อตัดประกอบชิ้นงานตามรายการคำนวณแล้วนำมาทดสอบพบว่าค่าความเร็วจับ (Capture Velocity) เท่ากับ  $0.15 \pm 0.02$  เมตรต่อวินาทีและค่าความเร็วลมที่ปากสูดเท่ากับ  $3.99 \pm 0.43$  เมตรต่อวินาที ซึ่งพบว่าค่าความเร็วจับ (Capture Velocity) และค่าความเร็วลมที่ปากสูดมีค่าน้อยกว่ารายการคำนวณและมีระดับเสียงดังในการทดสอบ

การใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่อยู่ในระดับปานกลาง

### อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยค่าความเข้มข้นของยาเสพติดในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีระบบกำจัดยาเสพติดส่วนเกินทุกห้อง ค่าเฉลี่ยยาเสพติดตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานมีค่าไม่เกินมาตรฐาน(8 hr-TWA) ทุกห้อง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของกองอาชีวอนามัยกรมอนามัย (2544) (เปลี่ยนเป็นสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ปี 2546) ) ดำเนินการตรวจวัดปริมาณก๊าซและไอระเหยของสารเคมีที่ใช้ในโรงพยาบาลเพื่อประเมินความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานในโรงพยาบาล ผลการสำรวจพบว่าเฉพาะห้องผ่าตัดที่มีระบบกำจัดยาเสพติดส่วนเกินมีระดับค่ายาเสพติดอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

การออกแบบและรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบของ ACGIH และเลือกใช้วัสดุท่อในการออกแบบเนื่องจากลักษณะการระเหยของยาเสพติดที่ออกมาจากหน้ากากลผู้ป่วยจากขั้นตอนการปฏิบัติงานที่แตกต่างกันของบุคลากรทางการแพทย์มีความเร็วต่ำและลักษณะอากาศของห้องผ่าตัดเคลื่อนไหวด้วยความเร็วต่ำทำให้ต้องส่งแรงดูดออกไปเพื่อนำสารปนเปื้อนและอากาศเข้าสู่สูด อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ใช้อุปกรณ์ต้นกำลัง 2 ชนิด ชนิดแรกใช้อุปกรณ์ต้นกำลัง 0.004 แรงม้าจาก Vacuum ที่มีอยู่แล้วในห้องผ่าตัดมาเป็นจุดตั้งต้นในการคำนวณ ค่าความเร็วจับ (Capture Velocity) เท่ากับ 0.010 เมตรต่อวินาทีและค่าความเร็วลมที่ปากสูดเท่ากับ 0.211 เมตรต่อวินาที ชนิดที่ 2 ใช้อุปกรณ์ต้นกำลัง 2.413 แรงม้า เมื่อนำอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้อุปกรณ์ต้นกำลังทั้ง 2 ชนิดจะพบว่า การทดสอบทั้งเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศค่าความเร็วลมที่ปากสูดโดยใช้อุปกรณ์ต้นกำลังชนิดแรกมีค่าน้อยกว่า

รายการคำนวณและพบว่า การทดสอบทั้งเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศโดยใช้อุปกรณ์ต้นกำลังชนิดที่ 2 ค่าความเร็วลมที่ปากสูดมีค่ามากกว่ารายการคำนวณแสดงถึงสมรรถนะของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ การใช้อุปกรณ์ต้นกำลังชนิดแรกจาก Vacuum ที่มีอยู่แล้วในห้องผ่าตัดมีข้อดีคือระบบไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ไม่เกิดอันตรายจากไฟฟ้า และลดการกีดขวางการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์เนื่องจากท่อสามารถต่อได้โดยตรงกับระบบสูญญากาศที่มีอยู่แล้วจึงลดการสะดุดหลัดล้มในระหว่างการเคลื่อนที่ของการปฏิบัติงาน แต่เนื่องจากการทดสอบประสิทธิภาพการใช้อุปกรณ์ต้นกำลังชนิดที่ 2 จากเครื่องดูดฝุ่นอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่จะมีสมรรถนะในการใช้งานมากกว่าชนิดแรก จึงได้ทำการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบของ ACGIH ค่าความเร็วจับ (Capture Velocity) เท่ากับ 1 เมตรต่อวินาทีและค่าความเร็วลมที่ปากสูดเท่ากับ 18.50 เมตรต่อวินาทีพบว่าค่าความเร็วจับ (Capture Velocity) และค่าความเร็วลมที่ปากสูดมีค่าน้อยกว่ารายการคำนวณเกิดจากการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence flow) โดยทิศทางการไหลและความเร็วของอากาศในท่อไม่แน่นอนและมีการผสมกันระหว่างชั้นของการไหลของอากาศในขณะที่เคลื่อนที่ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความดัน ความเร็วที่ไหลภายในท่อและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ การทดสอบพบว่า มีระดับเสียงดัง แต่มีสมรรถนะในการใช้งานจึงควรมีการปรับปรุงพัฒนาต่อไปด้านกำลังของพัดลมซึ่งต้องเลือกพัดลมที่มีกำลังสูงขึ้นแต่ต้องเป็นพัดลมแบบชนิดเก็บเสียงดังและอาจต้องวางพัดลมไว้ด้านนอกอาคารและต่อท่อเข้ามาภายในห้อง รวมทั้งการติดตั้งระบบไฟฟ้าต้องไม่กีดขวางการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบโดยการปล่อยสารเคมี Ethanol ทดสอบผลการตรวจวัดค่า Ethanol โดยใช้อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่จะมีค่าความเข้มข้นของ Ethanol น้อยกว่าแบบไม่ใช้อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ซึ่งความสอดคล้องกับการศึกษาของ David และคณะ (1986) เป็นการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในพื้นที่ในห้องทันตกรรม 3 แห่งที่มีก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่มีมาตรฐานการออกแบบระบบเป็นไปตามอุตสาหกรรมในการควบคุมสารพิษในอากาศในห้องทันตกรรม พบว่าความเข้มข้นของ Nitrous oxide ที่วัดก่อนและหลังติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ลดลงจาก 600 ppm เป็นน้อยกว่า 70 ppm<sup>5</sup> แต่จะมีความแตกต่างกันในการออกแบบ โดยงานวิจัยนี้การออกแบบสุดเลือกใช้สล๊อตสูดในการออกแบบเพื่อให้เหมาะกับลักษณะของอากาศภายในห้องของ David และคณะเลือกใช้สุดทรงกลมทั้งแบบมีปีกและไม่มียีกที่เหมาะสมลักษณะของอากาศภายในห้อง การออกแบบห้องงานวิจัยนี้ใช้ท่อที่มีขนาดเล็กเพื่อต้องการจะลดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence flow) แต่ก็ยังพบปัญหาการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence flow) ซึ่งงานวิจัยของ David และคณะใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่และ

ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งปัญหาของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence flow) เหมือนกับงานวิจัยนี้ สำหรับการเลือกพัดลมงานวิจัยนี้เลือกพัดลมจากเครื่องดูดฝุ่นซึ่งเป็นพัดลมแบบ axial fan การทำงานของพัดลมขนานกับทิศทางของแกนพัดลมแต่ก็มีปัญหาเรื่องเสียงดัง ในระหว่างที่เครื่องที่ดูดฝุ่นทำงาน ซึ่งงานวิจัยของ David และคณะใช้พัดลม centrifugal fan และเลือกใช้ลักษณะของใบพัดแบบ forward curved blades ซึ่งเป็นพัดลมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทำให้เกิดปัญหาเรื่องเสียงดังเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Klas และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษารถพยาบาลและคนขับรถ ซึ่งจะได้รับสัมผัส Nitrous oxide ในการขนส่งผู้ป่วย เพื่อป้องกันการสัมผัส Nitrous oxide จึงได้ทำการจำกัดความเร็วในการเดินทางของรถ การติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่และการใช้ระบบกำจัดก๊าซส่วนเกินออกจากหน้ากากไปข้างนอก ผลของความเร็วในการเดินทางและการใช้ระบบกำจัดก๊าซส่วนเกินออกจากหน้ากากไปข้างนอกช่วยลดระดับของ Nitrous oxide ในอากาศร้อยละ 86-97 ภายในรถพยาบาลที่สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน<sup>22</sup> แต่ในการศึกษาไม่ได้ระบุการออกแบบอุปกรณ์ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ แสดงแต่รายละเอียดของอัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศระหว่างที่รถมีการหยุดนิ่งและเคลื่อนที่เปรียบเทียบกับเปิด-ปิด การใช้งานของอุปกรณ์ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ได้

### วิจารณ์ระเบียบวิธีวิจัย

การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ได้ทำการออกแบบ 2 ครั้ง ซึ่งทำให้เห็นประสิทธิภาพของของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่แตกต่างกัน

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา (Information bias) ในการศึกษานี้ผู้วิจัยและทีมงานเป็นทีมเดียวที่ได้ทำการเก็บข้อมูลตรวจวัดสภาพแวดล้อม และตรวจวัดความเร็วลม จึงไม่มีความแตกต่างของทักษะหรือการดำเนินการต่างๆ ในการได้มาของข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยและทีมงานได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่จริงจำนวน 5 ห้องผ่าตัด และ 1 ห้องพักฟื้น จึงไม่น่าจะมีความลำเอียงอันเนื่องมาจากผู้ดำเนินการทดลอง (performance bias)

เมื่อพิจารณาความถูกต้องในการตรวจวัดสภาพแวดล้อม และตรวจวัดความเร็วลมของงานวิจัยนี้พบว่าการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือตรวจวัด ก่อนการใช้งานทำการปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration) ของเครื่องมือตามหลักการปรับเทียบ การเก็บตัวอย่างความเข้มข้นของยาเสพติดใช้อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซชนิดอ่านค่าได้ทันทีโดยใช้เครื่อง Gasmeter รุ่น DX-4303 ซึ่งใช้วิธีการแบบ Direct reading ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำมาแยกระยะเวลาการสัมผัสและการตรวจวัดความเร็วลมโดยใช้เครื่อง VELOCICALC Air Velocity Meter รุ่น 9555 ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำมาอ่านค่าได้โดยตรง

เมื่อพิจารณาความถูกต้องของรายการคำนวณของการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมจะตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปติดตั้งงาน

#### **ข้อเสนอแนะ**

##### **1. ข้อเสนอแนะต่อการวิจัยครั้งต่อไป**

1.1 การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในครั้งต่อไปต้องพัฒนากำลังของพัดลมและประสิทธิภาพของพัดลมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสอดคล้องกับอัตราการไหลของอากาศ

1.2 การออกแบบอุปกรณ์ต้นกำลังของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในครั้งต่อไปต้องมีการปรับปรุงเรื่องระดับของเสียงไม่ให้มีเสียงดังเกิดขึ้นในระบบ

##### **2. ข้อเสนอแนะด้านอาชีพอนามัย**

2.1 ควรมีการตรวจติดตามสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปีของห้องผ่าตัด เพื่อติดตามค่าความเข้มข้นของยาสลบให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

### บรรณานุกรม

1. จูติวิตร ชูสง. ความปลอดภัยจากยาเคมีผสมในห้องผ่าตัด ใน : พิษญา พรรคทองสุข, บรรณาธิการ. ตำราอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในงานโรงพยาบาล พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ยูเนี่ยนครีเอชั่น; 2555.
2. จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. คุณภาพอากาศภายในอาคาร. [อินเทอร์เน็ต]. 2552 [เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2556]; เข้าถึงจาก : [http://www.safety-stou.com/user\\_files/file/54113.unit15.doc](http://www.safety-stou.com/user_files/file/54113.unit15.doc).
3. รัฐนุกูล วชิรณพ. การสัมผัสก๊าซซมยาที่ปนเปื้อนในบรรยากาศของบุคลากรทางการแพทย์ภายในห้องผ่าตัด [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2550.
4. Pual J. Middendorf MS, David E. Jacobs,B.S., Kenneth A. Smith, M.P.H., "et al" Occupational exposure to nitrous oxide in dental operatories. Environmental health and safety 1986:91-7.
5. David E. Jacobs BS, Pual J. Middendorf, M.S., . Control of nitrous oxide exposures in dental operatories using local exhaust ventilation : A pilot study. Environmental health and safety 1986:235-41.
6. Lennart Bodin GA, Gunnar Jr. Ahlborg, . The association of shhif work and nitrous oxide exposure in prenanacy with birth weight and gastational age. Epididemiology 1999:429-36.
7. กนิษฐา สกลประกายกิจ, ธีรายุ ประเสริฐธูโธ, ธัญญลักษณ์ อมรพจน์นิมมาน, ปัญญาชลิ แก่นเมือง, วิศรุต จิรพงศกร, วีรวิทย์ วิสุทธี. การประเมินการสัมผัสก๊าซยาเคมีผสมของวิสัญญีแพทย์และพยาบาลโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ [รายงานวิจัยประจำปี 2554]. สงขลา : มหาวิทยาลัย; 2554
8. จูติวิตร ชูสง, จตุพร ภัทภิรมย์, กนิษฐา สกลประกายกิจ, ชุติมา พันละม้าย, อาทิตยา จิตจำนงค์. การประเมินการสัมผัสก๊าซยาเคมีผสมของวิสัญญีพยาบาลในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง สงขลานครินทร์เวชสาร 2558; 3:139 -13.
- 9.สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. แนวทางพัฒนางานห้องผ่าตัด กรุงเทพมหานคร. [อินเทอร์เน็ต]. 2549 [เข้าถึงเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2556]; เข้าถึงจาก : [http://203.157.7.27/km2/tikidownload\\_file.php file](http://203.157.7.27/km2/tikidownload_file.php file).
10. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ.พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โกลบอลกราฟฟิค; 2552.
11. อังกาบ ปราการรัตน์, วรภา สุวรรณจินดา. บรรณาธิการ. ตำราวิสัญญีวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: กรุงเทพเวชสาร; 2548.



### บรรณานุกรม

12. มูลนิธิสัมมาอาชีพะ. Nitrogen Dioxide. [อินเทอร์เน็ต]. 2554 [เข้าถึงเมื่อ 12 ตุลาคม 2556]; เข้าถึงจาก : <http://www.summacheeva.org/index/thaitox/nitrous/oxide.htm>.
13. Baxter. Isoflurane MSDS. [อินเทอร์เน็ต]. 2004 [เข้าถึงเมื่อ 12 ตุลาคม 2556]; เข้าถึงจาก : <http://www.safety.vanderbilt.edu/msds/products/isoflurane.pdf>.
14. Piralal critical care. Sevoflurane MSDS. [อินเทอร์เน็ต]. 2011 [เข้าถึงเมื่อ 12 ตุลาคม 2556]; เข้าถึงจาก : <http://www.piralalcriticalcare.com/us/pdf/sevoflurane-msds.pdf>.
15. Baxter. Suprane (desflurane, USP). [อินเทอร์เน็ต]. 2009 [เข้าถึงเมื่อ 12 ตุลาคม 2556]; เข้าถึงจาก : [http://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda\\_docs/label/2009/020118s0161bl.pdf](http://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda_docs/label/2009/020118s0161bl.pdf).
16. ชวัช ชาญชยานนท์. เครื่องให้ยาดมสลบ ใน : ธิดา เอื้อกฤดาธิการ, ศศิการต์ นิมมานรัชต์, ชวัช ชาญชยานนท์, วิรัตน์ วศินวงศ์ editors. ตำราวิสัญญีพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สงขลา : ขานเมืองการพิมพ์; 2550.
17. วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์. การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ธรรมสาร; 2552.
18. พรพิมล กองทิพย์. ตำราสุขศาสตร์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: นำอักษรการพิมพ์; 2543.
19. Military Standard. Human engineering design criteria for military system equipment and facilities. [อินเทอร์เน็ต]. 1989 [เข้าถึงเมื่อ 5 พฤษภาคม 2557]; เข้าถึงจาก : [http://www.barringer1.com/mil\\_files/MIL-STD-1472D.pdf](http://www.barringer1.com/mil_files/MIL-STD-1472D.pdf)
20. ศรีรัตน์ วานิชอดิศักดิ์, ชวลิตร์ กิตติชัยการ. การออกแบบระบบระบายอากาศในโรงงานผลิตเคมี กรณีศึกษา การระบายอากาศในห้อง PL-Z. วิศวกรรมสาร มก 2552; 22:70 - 9.
21. ทศนุ เรื่องสุวรรณ. การสร้างและการทดสอบประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศแบบเฉพาะที่ในการควบคุมควันจากการย่างไส้แบบในงานหลอม. ใน : ทศนุ เรื่องสุวรรณ, บรรณาธิการ. การประชุมวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ประจำปี 2555 หัวข้อ “ชุมชนท้องถิ่น ฐานรากการพัฒนาประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน; วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2555; ณ ห้องมงกุฎเพชร โรงแรมโมยะ จังหวัดขอนแก่น 2555.
22. Klas Ancker C-JG, Matts Halldin. local exhaust ventilation and exposure to nitrous oxide in ambulances. Occupational environmental health 1990:27-9.

### บรรณานุกรม

23. Andrew S. Roland CRW, David I. Shore, Carl M. Shy, Allen J. Wilcon. Reduced fertility among women employed as dental asstants exposed to high level of nitrous oxide. England Journal of Medicine 1992:993-7.
24. Marshall M. Freilich LA, George K.B. Sandor, Peter Judd. Effectiveness of 2 scavenger mask systems for reducing exposure to nitrous oxide in a hospital based pediatric dental clinic: A pilot study. JDCA 2007:615-d.
25. Industrial Ventilation. A manual of Recommended Practice for Design 23<sup>rd</sup> Edition : USA; 1998.

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก สัญลักษณ์คำย่อของงานวิจัย

A	พื้นที่หน้าตัด
AC/hr,N	อัตราการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง
AHP	Air Horse Power
AHS	Air Handling System
ASHREA	The American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
atm	Atmosphere (บรรยากาศ)
BHP	Brake Horse Power
BPF	Blade Passage Frequency (ความถี่ในการหมุนของพัดลม)
BTU	British Thermal Unit
C	ความเข้มข้นของสาร
$C_A$	ความเข้มข้นในระดับที่ยอมรับได้
$C_c$	สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เข้าสู่
$c_L$	ความร้อนแฝงในการระเหยกลายเป็นไอ
$c_p$	ความร้อนจำเพาะของอากาศ
$CF_c$	แฟกเตอร์ปรับค่าเมื่อความสูงเกิน $\pm 300$ เมตรจากระดับน้ำทะเล
$CF_p$	แฟกเตอร์ปรับค่าความดันเท่ากับหรือมากกว่า $\pm 5,000$ Pa
$CF_t$	แฟกเตอร์ปรับค่าเมื่ออุณหภูมิไม่อยู่ในช่วง $5-35$ °C
d,D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
df	Density Factor (แฟกเตอร์ความหนาแน่น)
DPT	Dew point temperature (อุณหภูมิจุดน้ำค้าง)
E	ประสิทธิภาพของมอเตอร์
EA	Exhaust Air (อากาศที่ระบายออกนอกอาคาร)
ER	Evaporation rate of liquid (อัตราการระเหยกลายเป็นไอ-ลิตร/ชม.)
f	แฟกเตอร์ความสูญเสียในท่อจากความเสียดทานของ Moody

ภาคผนวก ก สัญลักษณ์คำย่อของงานวิจัย (ต่อ)

F	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากการผันผวนของอากาศ
$F_h$	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเคลื่อนที่เข้าสู่
FSP	Fan Static Pressure (ความดันสถิตของพัดลม)
FTP	Fan Total Pressure (ความดันทั้งหมดของพัดลม)
FVP	Fan Velocity Pressure (ความดันเคลื่อนที่ของพัดลม)
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
G	Generation rate (อัตราการระเหยขึ้นสู่อากาศ-ลบ.ม./ชม.)
H	ความร้อน
H	Head (ความสูงของอากาศ)
$h_c$	ความสูญเสียจากการเคลื่อนที่เข้าสู่
$h_r$	ความสูญเสียในท่อเนื่องจากความเสียดทาน
$H_r$	แฟกเตอร์ความสูญเสียในท่อจากความเสียดทานของ Loeffler
$h_L$	ความสูญเสียจากการเคลื่อนที่ของอากาศ
HV	humid volume (ปริมาตรอากาศชื้น)
HAAC	Heat, Ventilating, and Air Conditioning System (ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ)
IAQ	Indoor Air Quality (คุณภาพอากาศภายในอาคาร)
ISU	International System of Unit
k	ความหยาบสัมพัทธ์
K,k	ค่าคงที่
$K_{eff}$	ค่าคงที่บ่งชี้การผสมผสานของอากาศในห้องและอากาศจากภายนอก
kPa	Kilopascals (กิโลพาสคาลส์)
L	ความยาวท่อ
LEL	Lower Explosion Limit (ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิด/ติดไฟได้)

ภาคผนวก ก สัญลักษณ์คำย่อของงานวิจัย (ต่อ)

m <sup>2</sup>	ตารางเมตร
m/s	Meter Per Second (เมตรต่อวินาที)
M	อัตราการระเหยกลายเป็นไอของสาร (โดยมวล) (กก./วินาที)
ME	Mechanical efficiency (ประสิทธิภาพเชิงกล)
M.W.	Molecular weight (น้ำหนักโมเลกุล)
n	จำนวน โมล
N	จำนวนใบพัด
N	นิวตัน
NTP	Natural Temperature and pressure (สภาวะธรรมชาติ)
OA	Outdoor Air (อากาศจากภายนอก)
P,p	ความดัน
Pa	Pascals (พาสคาลส์)
PF	Power Factor
ppm	parts per million
PWR	กำลังของพัดลม (วัตต์)
q	อัตราการระเหยของสาร (ลบ.ม./วินาที)
Q	อัตราการไหลของอากาศ
R	Gas constant (ค่าคงที่สำหรับอากาศ)
RA	Return Air (อากาศไหลกลับ AHU)
RD	Return Air dust (ท่อนำอากาศกลับ AHU)
RF	Return Fan (พัดลมดูดอากาศกลับ AHU)
RPM	Round Per Minute (หน่วยความเร็วรอบ)
SA	Supply Air (อากาศที่ส่งเข้าห้อง)
SD	Supply Duct (ท่อนำอากาศไปยังห้อง)

ภาคผนวก ก สัญลักษณ์คำย่อของงานวิจัย (ต่อ)

SF	Supply Fan (พัดลมส่งอากาศไปยังห้อง)
SP	Static Pressure (ความดันสถิต)
SP <sub>h</sub>	ความดันสถิตที่สูง
Sp.gr.	Specific gravity
STP	Standard Temperature and Pressure (สภาวะมาตรฐาน)
t	เวลา
T	Temperature (อุณหภูมิ)
T <sub>a</sub>	Air temperature (อุณหภูมิกระเปาะแห้ง)
T <sub>nwb</sub>	Natural Wet Bulb temperature (อุณหภูมิกระเปาะเปียกธรรมชาติ)
T <sub>w</sub>	Wet Bulb temperature (อุณหภูมิกระเปาะเปียก)
T <sub>wb</sub>	Psychometric wet bulb temperature (อุณหภูมิกระเปาะเปียกในไซโครเมตริก)
TLV	Threshold Limit Value
TP	Total Pressure (ความดันทั้งหมด)
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
UEL	Upper Explosion Limit (ความเข้มข้นสูงสุดที่ระเบิด/ติดไฟได้)
V	Velocity (ปริมาตร)
V	Velocity (ความเร็วลม)
VP	Velocity Pressure (ความดันเคลื่อนที่)
W	ปริมาณไอน้ำในอากาศ
°K	องศาเคลวิน
°C	องศาเซลเซียส
°R	องศาแรนกิน
°F	องศาฟาเรนไฮท์
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ

**ภาคผนวก ก สัญลักษณ์คำย่อของงานวิจัย (ต่อ)**

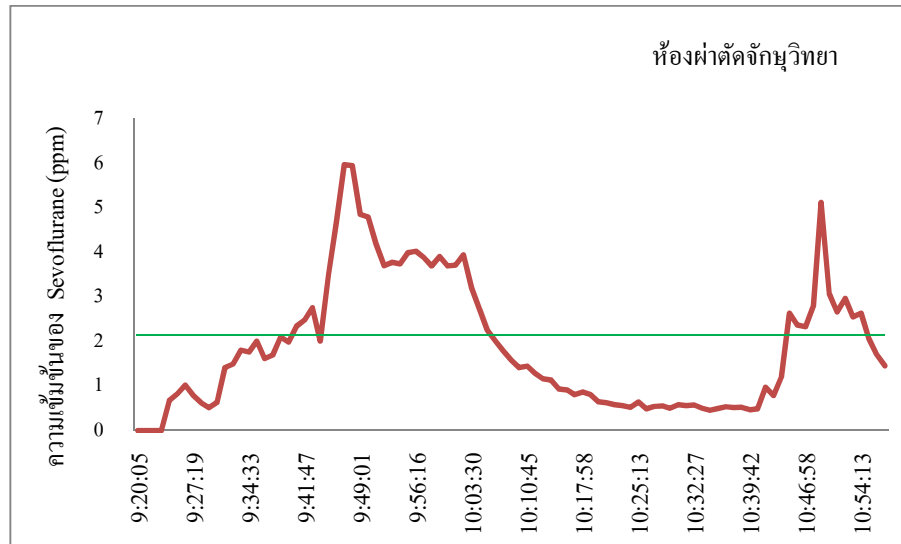
μ	ความชื้นของอากาศ
η	ประสิทธิภาพเชิงกล



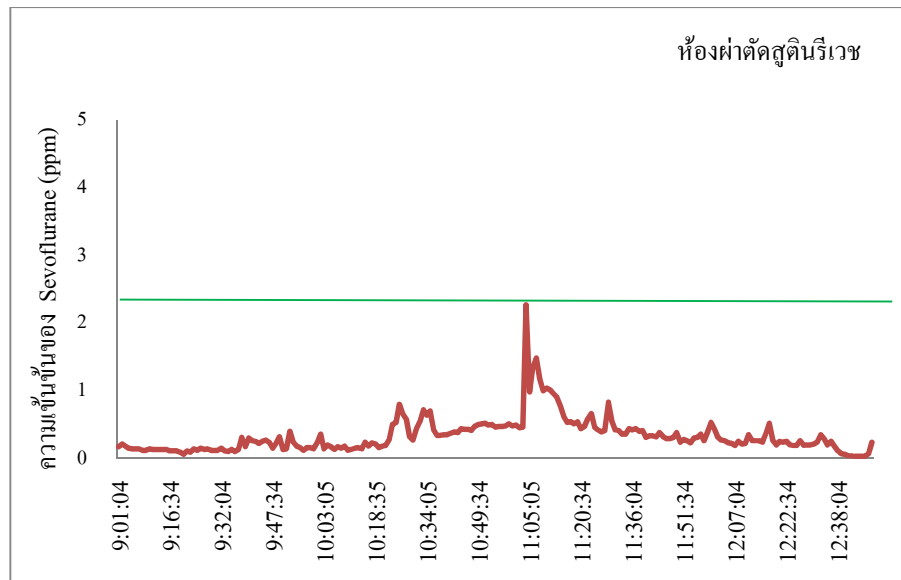


ภาคผนวก ค กราฟแสดงผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบ  
โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

1.กราฟการตรวจวัดความเข้มข้นของยาสลบเทียบกับค่ามาตรฐานห้องผ่าตัด 1 จักรูวิทยา



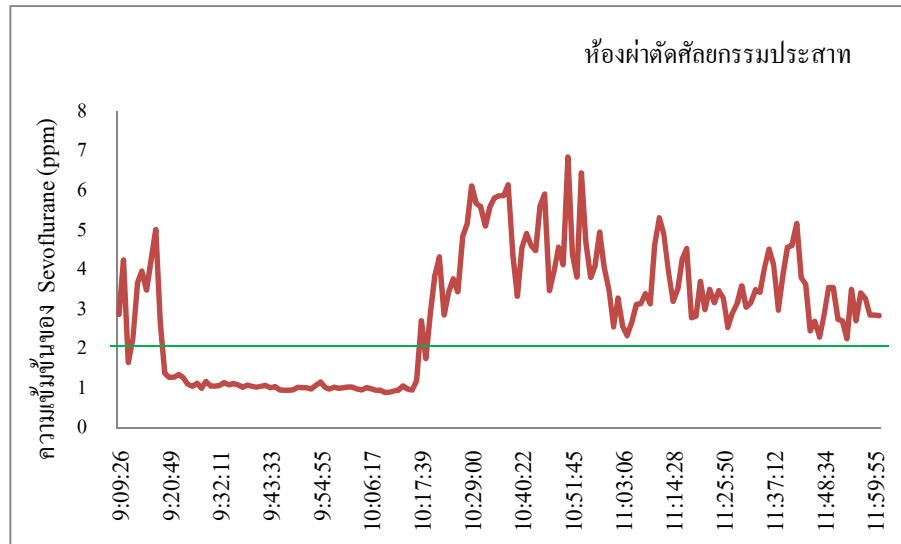
2.กราฟการตรวจวัดความเข้มข้นของยาสลบเทียบกับค่ามาตรฐานห้องผ่าตัด 3 สูดินรีเวช



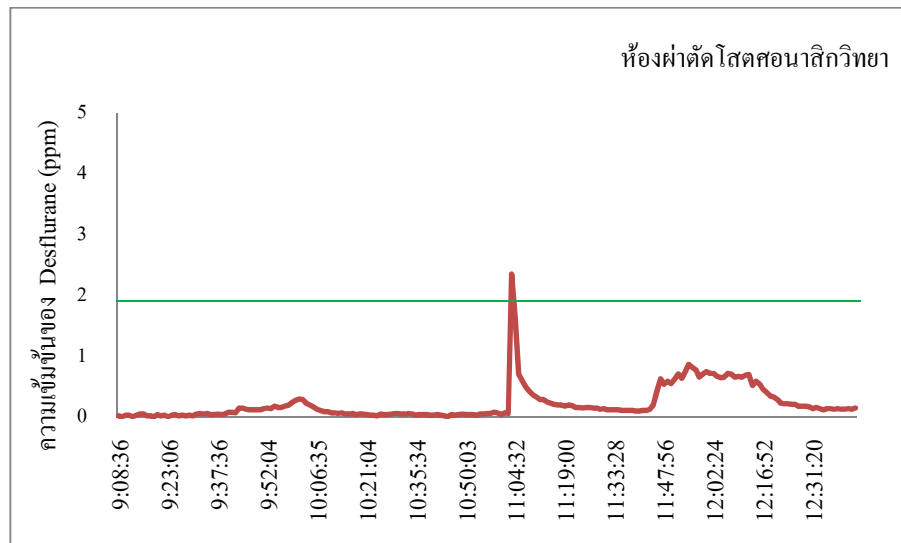
ภาคผนวก ค กราฟแสดงผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบ

โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (ต่อ)

3.กราฟการตรวจวัดความเข้มข้นของยาสลบเทียบกับค่ามาตรฐานห้องผ่าตัด 6 ศัลยกรรมประสาท



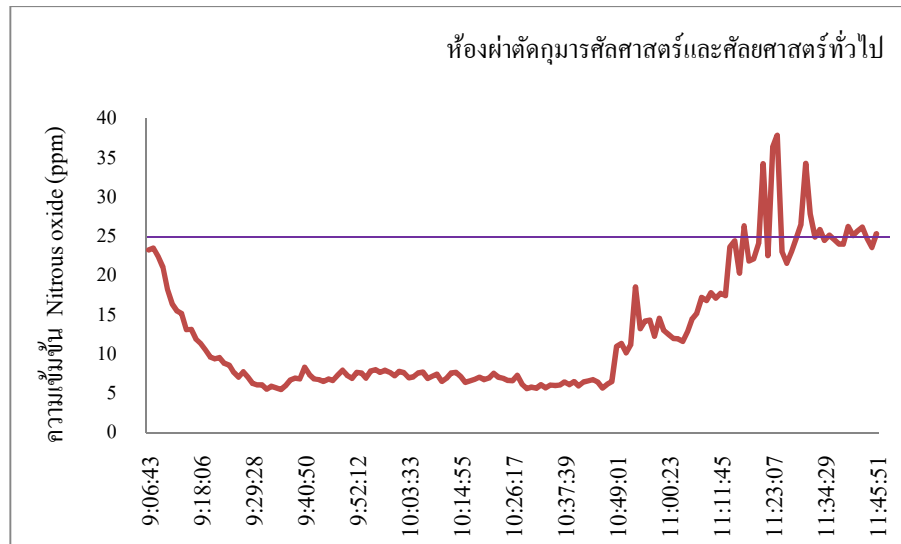
4.กราฟการตรวจวัดความเข้มข้นของยาสลบเทียบกับค่ามาตรฐานห้องผ่าตัด 7 โสตศอนาสิกวิทยา



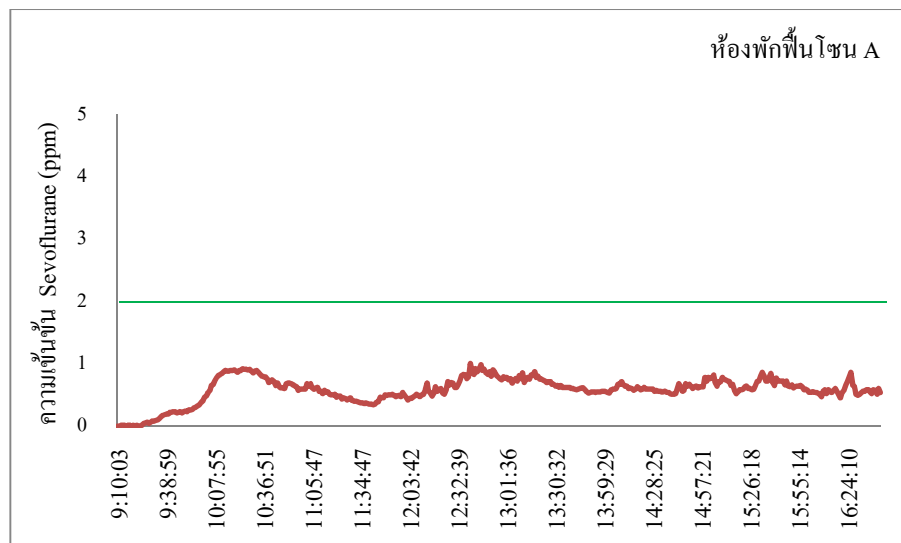
ภาคผนวก ค กราฟแสดงผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบ

โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (ต่อ)

5.กราฟการตรวจวัดความเข้มข้นของยาสลบเทียบกับค่ามาตรฐานห้องผ่าตัด 10 กุมารศัลยศาสตร์ และศัลยศาสตร์ทั่วไป



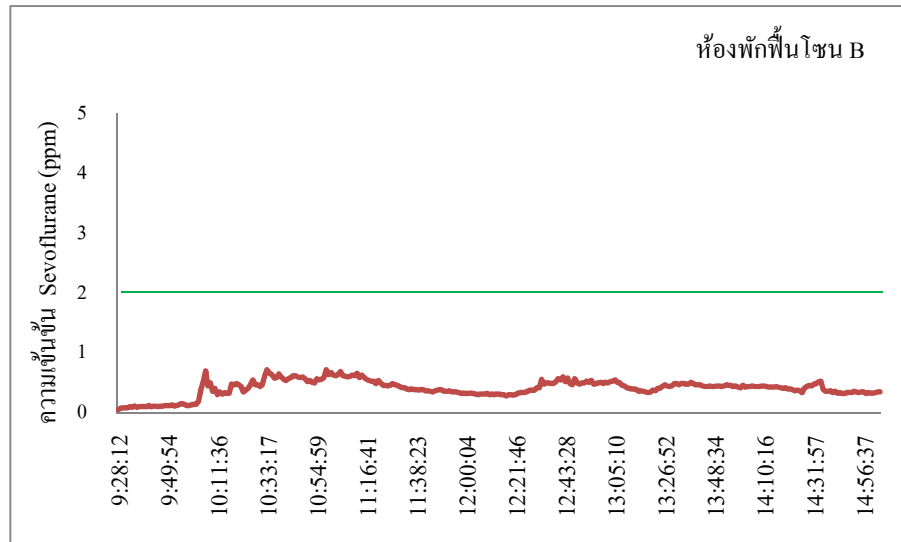
6.กราฟการตรวจวัดความเข้มข้นของยาสลบเทียบกับค่ามาตรฐานห้องพักฟื้น โซน A



ภาคผนวก ค กราฟแสดงผลการตรวจวัดสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของยาสลบ

โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (ต่อ)

7.กราฟการตรวจวัดความเข้มข้นของยาสลบเทียบกับค่ามาตรฐานห้องพักฟื้น โชน B



### ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1 ประกอบด้วย

1. ปากทางดูดอากาศ (hood) เป็นปากดูดแบบสลีตดูดเป็นแนวทางการออกแบบตาม ACGIH โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$Q = 3.7 \text{ LVX}$  เนื่องจากทราบค่า  $Q$  จากเครื่องระบบสูญญากาศ Vacuum สามารถหาค่าความเร็วลม Capture velocity ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{3.7 \text{ LVX}} \\ &= 0.010 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ค่าความเร็วลม Capture velocity เท่ากับ 0.010 m/s

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของสลีตสามารถคำนวณจากสมการ

$$\begin{aligned} A_s &= LW \\ &= 0.006 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้พื้นที่หน้าตัดของสลีตเท่ากับ 0.006 m<sup>2</sup>

การคำนวณหาความเร็วลมที่ตำแหน่งปากสลีตสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{Q}{A_s} \text{ โดยมาจากสมการอัตราการไหลของอากาศ } Q = AV \\ &= 0.211 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความเร็วลมที่ตำแหน่งปากสลีตเท่ากับ 0.211 m/s

2. ท่อ (duct) ใช้วัสดุชนิดท่อเหล็ก ท่อจะมีการปรับลดขนาดของท่อเพื่อให้ต่อกับ Vacuum การคำนวณหาความเร็วลมในท่อจากเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.0254 เมตร ซึ่งกำหนดเป็นท่อ A-B สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_{d(A-B)} &= \frac{Q}{A_{d(A-B)}} \text{ โดยมาจากสมการอัตราการไหลของอากาศ } Q = AV \\ &= 2.625 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

ดังนั้นจะได้ความเร็วลมในท่อจากจุด A ถึงจุด B เท่ากับ 2.625 m/s  
การคำนวณหาความดันเคลื่อนที่ของท่อใหม่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}VP_{d(A-B)} &= \left(\frac{V_{d(A-B)}}{1.29}\right)^2 \\ &= 4.140 \text{ Pa}\end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันเคลื่อนที่ในท่อจากจุด A ถึงจุด B เท่ากับ 4.140 Pa

การคำนวณหาความสูญเสียจากการเสียดทานของท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}h_d &= F_d LVP_{d(A-B)}, \text{ เมื่อ } F_d = a \left(\frac{V_{d(A-B)}^b}{Q^c}\right) \\ h_d &= a \left(\frac{V_{d(A-B)}^b}{Q^c}\right) LVP_{d(A-B)} \\ &= 9.496 \text{ Pa}\end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียจากการเสียดทานของท่อเท่ากับ 9.496 Pa

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง 90 องศา หาได้จาก  $\frac{R}{D} = 2$  โดย  
สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90 องศา สำหรับท่อกลมค่าของ  $\frac{R}{D} = 2$  เท่ากับ 0.19

$$F_{el} = 0.19$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความสูญเสียของท่อโค้งมีค่าเท่ากับ 0.19

การคำนวณหาความสูญเสียของท่อโค้งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}h_{el} &= F_{el}VP_{d(A-B)} \\ &= 0.787 \text{ Pa}\end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียของท่อโค้งเท่ากับ 0.787 Pa

การคำนวณหาความสูญเสียในท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\text{Duct loss} &= h_d + h_{el} \\ \text{Duct loss} &= h_d + h_{el}\end{aligned}$$

ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

$$= 10.283 \text{ Pa}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียในท่อจากจุด A-B เท่ากับ 10.283 Pa

การคำนวณหาความดันสถิตในช่วงท่อหาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SP_1 = 0$$

$$SP_2 = -(VP_2 + h_h)$$

$$\begin{aligned} SP_2 &= -(VP_{d(A-B)} + F_h(VP_{d(A-B)})) \\ &= -3.105 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันสถิตในช่วงท่อเท่ากับ  $-3.105 \text{ Pa}$

การคำนวณหาความเร็วลมในท่อใหม่จากเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.0152 เมตร ซึ่งกำหนดเป็นท่อ B-C สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_{d(B-C)} &= \frac{Q}{A_{d(B-C)}} \text{ โดยมาจากสมการอัตราการไหลของอากาศ } Q = AV \\ &= 7.330 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความเร็วลมในท่อจากจุด B ถึงจุด C เท่ากับ 7.330 m/s

การคำนวณหาความดันเคลื่อนที่ของท่อใหม่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} VP_{d(B-C)} &= \left( \frac{V_{d(B-C)}}{1.29} \right)^2 \\ &= 32.285 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันเคลื่อนที่ในท่อจากจุด B ถึงจุด C เท่ากับ 32.285 Pa

การคำนวณหาความสูญเสียจากการเสียดทานของท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} h_d &= F_d L VP_{d(B-C)}, \text{ เมื่อ } F_d = a \left( \frac{V_{d(B-C)}^b}{Q^c} \right) \\ h_d &= a \left( \frac{V_{d(B-C)}^b}{Q^c} \right) L VP_{d(B-C)} \\ &= 137.683 \text{ Pa} \end{aligned}$$



ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียจากการเสียดทานของท่อจากจุด B ถึงจุด C เท่ากับ  
137.683 Pa

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง 90 องศา หาได้จาก  $\frac{R}{D} = 2$  โดย  
สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90 องศา สำหรับท่อกลมค่าของ  $\frac{R}{D} = 2$  เท่ากับ 0.19

$$F_{el} = 0.19$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความสูญเสียของท่อโค้งมีค่าเท่ากับ 0.19

การคำนวณหาความสูญเสียของท่อโค้งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} h_{el} &= F_{el} V P_{d(B-C)} \\ &= 6.134 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียของท่อโค้งเท่ากับ 6.134 Pa

การคำนวณหาความสูญเสียในท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Duct loss} &= h_d + h_{el} \\ &= 143.817 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียในท่อเท่ากับ 143.817 Pa

การคำนวณหาความดันสถิตในช่วงท่อหาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} SP_1 &= 0 \\ SP_2 &= -(VP_2 + h_h) \\ SP_2 &= -(VP_{d(B-C)} + F_h(VP_{d(B-C)})) \\ &= -40.356 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันสถิตในช่วงท่อเท่ากับ -40.356 Pa

การคำนวณหาความเร็วลมในท่อใหม่จากเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.00635 เมตร ซึ่ง  
กำหนดเป็นท่อ C - D สามารถคำนวณได้จากสมการ

ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

$$V_{d(C-D)} = \frac{Q}{A_{d(C-D)}} \text{ โดยมาจากสมการอัตราการไหลของอากาศ } Q = AV$$

$$= 41.998 \text{ m/s}$$

ดังนั้นจะได้ความเร็วลมในท่อจากจุด C ถึงจุด D เท่ากับ 41.998 m/s  
การคำนวณหาความดันเคลื่อนที่ของท่อใหม่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$VP_{d(C-D)} = \left( \frac{V_{d(C-D)}}{1.29} \right)^2$$

$$= 1,059.924 \text{ Pa}$$

ดังนั้นจะได้ความดันเคลื่อนที่ในท่อจากจุด C ถึงจุด D เท่ากับ 1,059.924 Pa

การคำนวณหาความสูญเสียจากการเสียดทานของท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h_d = F_d L V P_{d(C-D)}, \text{ เมื่อ } F_d = a \left( \frac{V_{d(C-D)}^b}{Q^c} \right)$$

$$h_d = a \left( \frac{V_{d(C-D)}^b}{Q^c} \right) L V P_{d(C-D)}$$

$$= 2,594.811 \text{ Pa}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียจากการเสียดทานของท่อเท่ากับ 2,594.811 Pa

การคำนวณหาความสูญเสียในท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Duct loss} = h_d$$

$$\text{Duct loss} = h_d$$

$$= 2,594.810 \text{ Pa}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียในท่อจากจุด C ถึงจุด D เท่ากับ 2,594.810 Pa

การคำนวณหาความดันสถิตในช่วงท่อหาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SP_1 = 0$$

$$SP_2 = -(VP_2 + h_h)$$

$$SP_2 = -(VP_{d(C-D)} + F_h(VP_{d(C-D)}))$$

ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

$$= -1,324.905 \text{ Pa}$$

ดังนั้นจะได้ความดันสถิตในช่วงท่อเท่ากับ  $-1,324.905 \text{ Pa}$

การคำนวณความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นจากการลดขนาดท่อ ซึ่งเป็นการลดขนาดท่อโดยทันที 2 จุด ดังนี้

จุดที่ 1 ช่วงท่อจาก A-B ต่อกับ B - C

$$\begin{aligned} SP_2 &= SP_1 - (VP_2 - VP_1 - KVP_2) \\ &= -13.329 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นจากการลดขนาดท่อช่วง A-B ต่อกับ B - C เท่ากับ  $-13.294 \text{ Pa}$

จุดที่ 2 ช่วงท่อจาก B-C ต่อกับ C - D

$$\begin{aligned} SP_2 &= SP_1 - (VP_2 - VP_1 - KVP_2) \\ &= -540.074 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นจากการลดขนาดท่อช่วง B-C ต่อกับ C-D เท่ากับ  $-540.074 \text{ Pa}$

### 3. พัดลมระบายอากาศ (Vacuum)

การคำนวณความดันทั้งหมดของพัดลมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} FTP &= (SP_{\text{outlet}} + VP_{\text{outlet}}) - (SP_{\text{inlet}} + VP_{\text{inlet}}) \\ &= 1,858.308 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันทั้งหมดของพัดลมเท่ากับ  $1,858.308 \text{ Pa}$

การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของพัดลมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} PWR &= \frac{FTP \times Q}{\eta} \\ &= 3.295 \text{ Watt} \\ &= \frac{3.295 \text{ Watt}}{746 \text{ watt}}, \text{ เมื่อ } 1 \text{ HP เท่ากับ } 746 \text{ Watt} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

$$= 0.004 \text{ HP}$$

ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของพัดลมเท่ากับ 0.004 HP

การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2

การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2 ประกอบด้วย

1. ปากทางดูดอากาศ (hood) เป็นปากดูดแบบสลีตดูดเป็นแนวทางการออกแบบตาม ACGIH โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

การคำนวณอัตราการไหลของอากาศในสลีตสามารถคำนวณจากสมการ

$$\begin{aligned} Q &= 3.7 \text{ LVX} \\ &= 0.231 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้อัตราการไหลของอากาศเมื่อเข้าสู่สลีตเท่ากับ  $0.231 \text{ m}^3/\text{s}$

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของสลีตสามารถคำนวณจากสมการ

$$\begin{aligned} A_s &= LW \\ &= 0.013 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้พื้นที่หน้าตัดของสลีตเท่ากับ  $0.013 \text{ m}^2$

การคำนวณหาความเร็วลมที่ตำแหน่งปากสลีตสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{Q}{A_s} \text{ โดยมาจากสมการอัตราการไหลของอากาศ } Q = AV \\ &= 18.50 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความเร็วลมที่ตำแหน่งปากสลีตเท่ากับ  $18.50 \text{ m/s}$

2. ท่อ (duct) ใช้วัสดุชนิดท่อเหล็ก การคำนวณหาความเร็วลมในท่อจากเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.064 เมตร สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_{d(\text{new})} &= \frac{Q}{A_{d(\text{new})}} \text{ โดยมาจากสมการอัตราการไหลของอากาศ } Q = AV \\ &= 71.886 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

ดังนั้นจะได้ความเร็วลมในท่อใหม่เท่ากับ 71.886 m/s

การคำนวณหาความดันเคลื่อนที่ของท่อใหม่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} VP_{d(\text{new})} &= \left( \frac{V_{d(\text{new})}}{1.29} \right)^2 \\ &= 3,105.346 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันเคลื่อนที่ในท่อเท่ากับ 3,105.346 Pa

การคำนวณหาความดันสถิตที่สูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SP_h = h_e + VP_d$$

$$SP_h = h_s + h_h + VP_d$$

$$\begin{aligned} SP_h &= F_s(VP_s) + F_h(VP_{d(\text{new})}) + VP_{d(\text{new})} \\ &= 4,247.769 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันสถิตที่สูงสุดเท่ากับ 4,247.769 Pa

การคำนวณหาความสูญเสียจากการเสียดทานของท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h_d = F_d L VP_{d(\text{new})}, \text{ เมื่อ } F_d = a \left( \frac{V_{d(\text{new})}^b}{Q^c} \right)$$

$$\begin{aligned} h_d &= a \left( \frac{V_{d(\text{new})}^b}{Q^c} \right) L VP_{d(\text{new})} \\ &= 3,894.199 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียจากการเสียดทานของท่อเท่ากับ 3,894.199 Pa

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง 90 องศา หาได้จาก  $\frac{R}{D} = 2$  โดยสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90 องศา สำหรับท่อกลมค่าของ  $\frac{R}{D} = 2$  เท่ากับ 0.19

$$F_{el} = 0.19$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความสูญเสียของท่อโค้งมีค่าเท่ากับ 0.19

ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

การคำนวณหาความสูญเสียของท่อโค้งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} h_{el} &= F_{el}VP_{d(new)} \\ &= 590.016 \text{ Pa} \quad \text{ซึ่งท่อโค้งของระบบระบายอากาศมี 2 จุด} \\ &= 1,180.032 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียของท่อโค้งเท่ากับ 1,180.032 Pa

การคำนวณหาความสูญเสียในท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Duct loss} &= h_d + h_{el} \\ &= 5,074.231 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความสูญเสียในท่อเท่ากับ 5,074.231 Pa

การคำนวณหาความดันสถิตในช่วงท่อหาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} SP_1 &= 0 \\ SP_2 &= -(VP_2 + h_h) \\ SP_2 &= -(VP_{d(new)} + F_h(VP_{d(new)})) \\ &= -3,881.683 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันสถิตในช่วงท่อเท่ากับ -3,881.683 Pa

3. พัดลมระบายอากาศ (fan) ใช้วัสดุของพัดลมเครื่องดูดฝุ่น

การคำนวณความดันทั้งหมดของพัดลมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{FTP} &= (SP_{outlet} + VP_{outlet}) - (SP_{inlet} + VP_{inlet}) \\ &= 3,881.683 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความดันทั้งหมดของพัดลมเท่ากับ 3,881.683 Pa

ภาคผนวก ง การคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

การคำนวณหาความสูญเสียของท่อโค้งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} h_{el} &= F_{el} V P_{d(new)} \\ &= 590.016 \text{ Pa} \text{ ซึ่งท่อโค้งของระบบระบายอากาศมี 2 จุด} \end{aligned}$$

การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของพัดลมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} PWR &= \frac{FTP \times Q}{\eta} \\ &= 1,050.115 \text{ Watt} \\ &= \frac{1,050.115 \text{ Watt}}{746 \text{ watt}}, \text{ เมื่อ 1 HP เท่ากับ 746 Watt} \\ &= 1.408 \text{ HP} \end{aligned}$$

ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของพัดลมเท่ากับ 1.408 HP

## ภาคผนวก จ ตารางแบบฟอร์มรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
1	หมายเลขช่วงท่อและชุด						
2	อัตราการไหลของอากาศที่ ต้องการ						
3	ความเร็วต่ำสุด						
4	ขนาดท่อใหญ่สุด						
5	ขนาดท่อที่เลือกใช้						
6	พื้นที่หน้าตัดของท่อ						
7	ความเร็วลมในท่อ						
8	ความดันเคลื่อนที่ในท่อ						
9	พื้นที่สูงสุดของสล๊อต						
10	ขนาดพื้นที่ของสล๊อตที่ เลือกใช้						
11	ความเร็วลมในสล๊อต						



## ภาคผนวก จ ตารางแบบฟอร์มรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
12	ความดันเคลื่อนที่ในสล๊อต						
13	สัมประสิทธิ์ที่สูญเสียที่สล๊อต						
14	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว						
15	ความสูญเสียที่สล๊อต						
16	ความสูญเสียที่สล๊อต/VP						
17	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ชุด						
18	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากการเร่งความเร็ว						
19	ความสูญเสียที่ชุด						
20	ความสูญเสียที่ชุด/VP						
21	ความสูญเสียอื่นๆ						
22	ความดันสถิตที่ชุด						

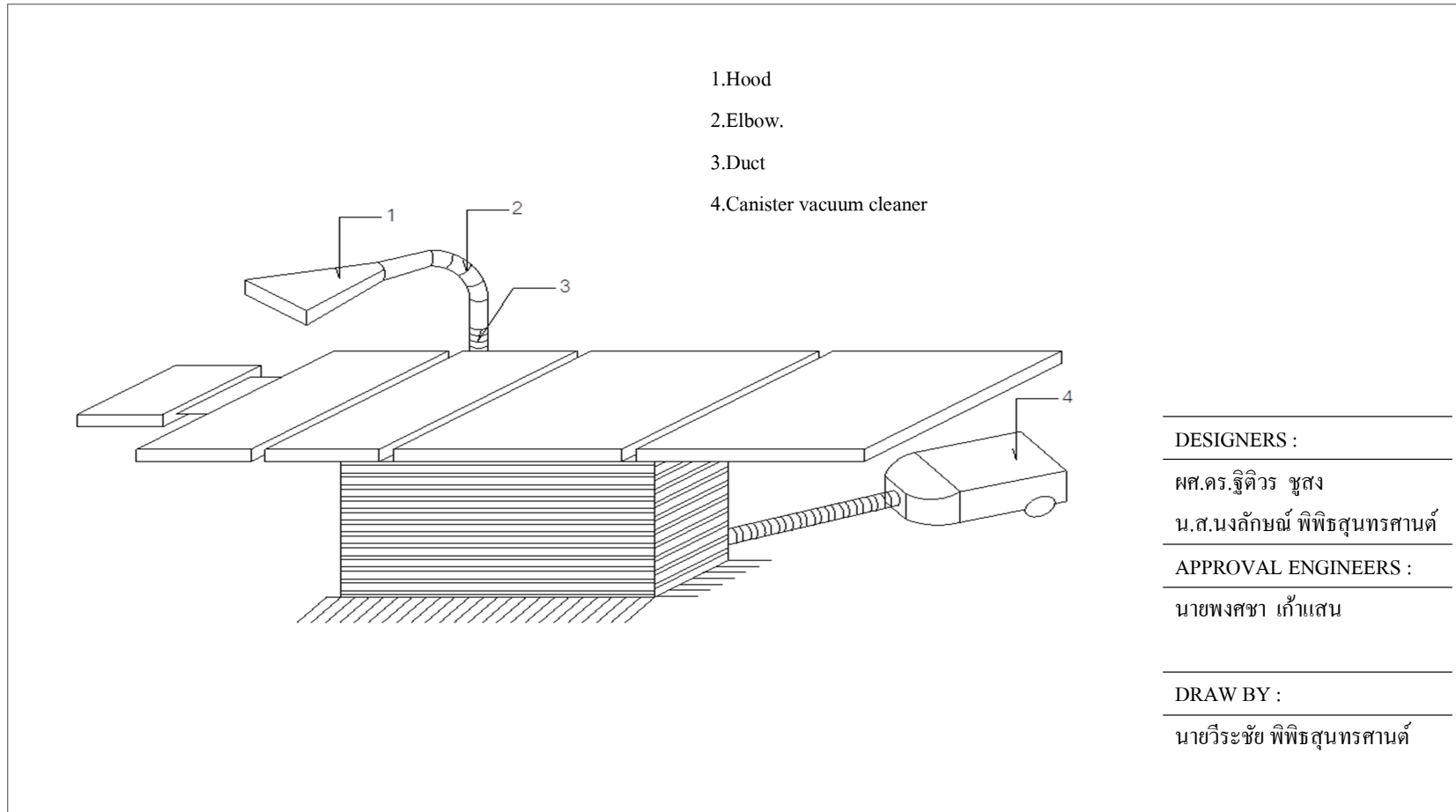
## ภาคผนวก จ ตารางแบบฟอร์มรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
23	ความยาวท่อตรง						
24	แฟกเตอร์ความเสียดทาน						
25	ความสูญเสียจากการเสียดทาน/ VP						
26	จำนวนท่อโค้ง 90 องศา						
27	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อโค้ง						
28	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง/VP						
29	จำนวนท่อสาขา(0 หรือ 1)						
30	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อสาขา						
31	ความสูญเสียที่ท่อสาขา						
32	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ลักษณะท่อพิเศษ						

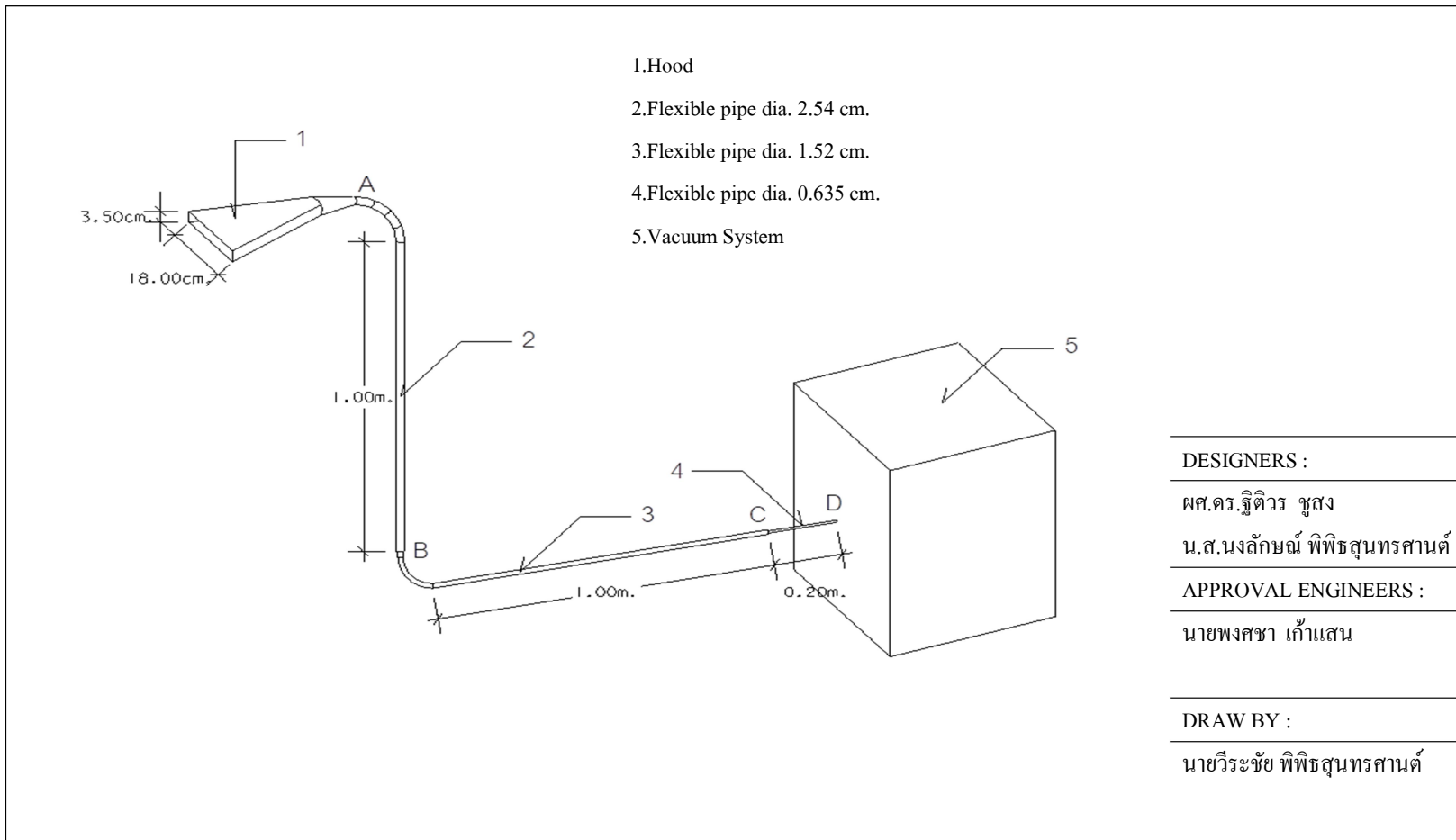
## ภาคผนวก จ ตารางแบบฟอร์มรายการคำนวณอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (ต่อ)

ที่	รายการ	สูตรคำนวณที่ใช้	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและการแทนค่าตัวแปร			ผลการคำนวณ	หน่วย
33	ความสูญเสียที่ท่อ/VP						
34	ความสูญเสียในท่อ						
35	ความดันสถิตในช่วงท่อ						
36	ความสูญเสียอื่นๆ						
37	ความดันสถิตย์สะสม						
38	ความดันสถิตย์ที่มีค่าสูงเมื่อท่อมาพบกัน						
39	อัตราการไหลของอากาศที่ปรับแล้ว						
40	ค่าความเร็วลมที่ปรับแล้ว						
41	ความดันเคลื่อนที่ที่ปรับแล้ว						
42	ความดันเคลื่อนที่ที่เกิดจากท่อ 1 และท่อ 2 มาพบกัน						

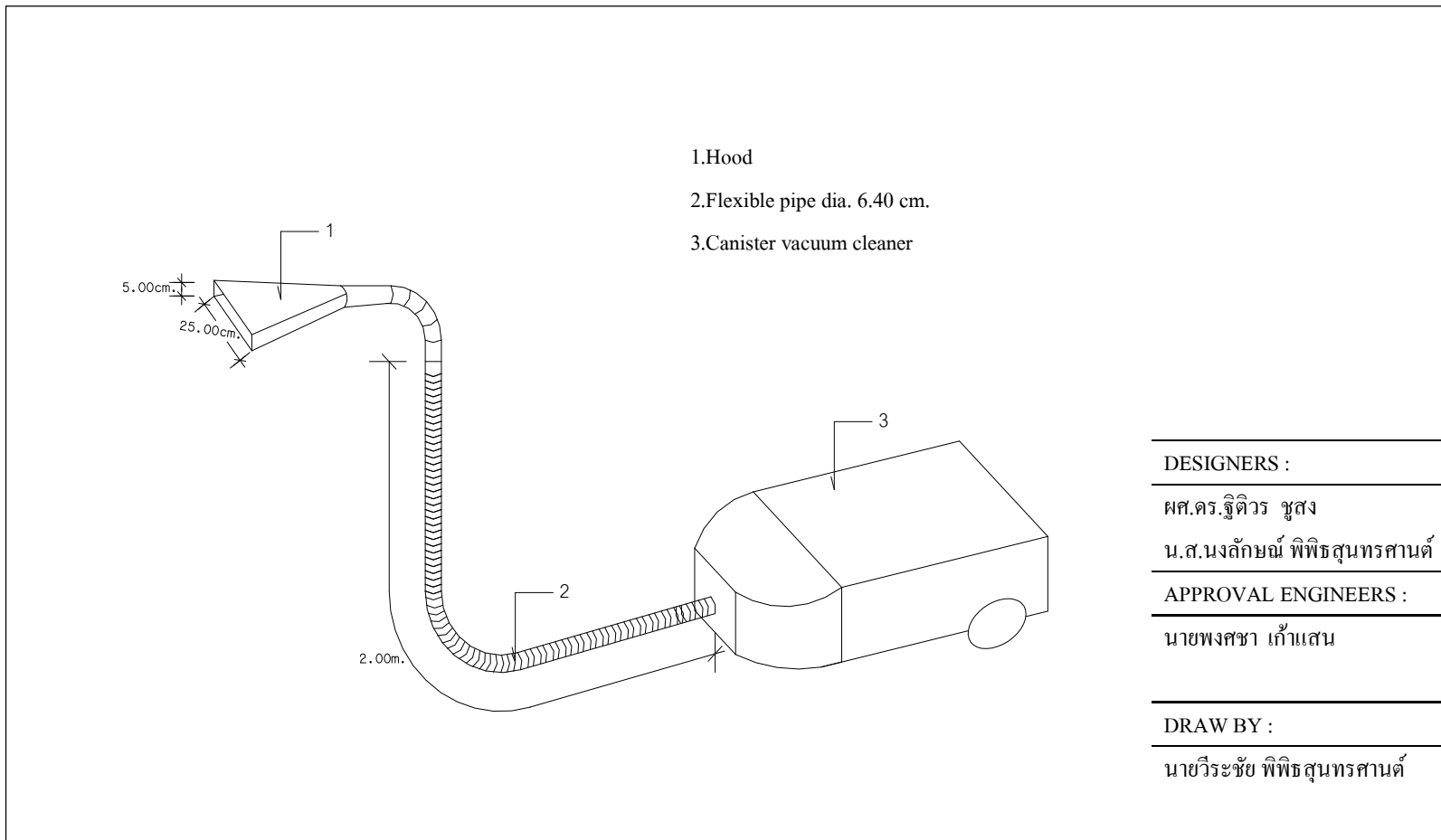
ภาคผนวก ฉ การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องผ่าตัด



ภาคผนวก ข การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 1



ภาคผนวก ข การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ Model 2



ภาคผนวก ฅ แบบสอบถามความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศ  
เฉพาะที่

**ตอนที่ 1** แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของแบบสอบถาม

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมายถูก (/) ที่ตรงกับความเป็นจริง

1. เพศ  1. ชาย  2. หญิง

2. ระดับการศึกษา

1.ต่ำกว่าปริญญาตรี  2.ปริญญาตรี  3.ปริญญาโท  4.ปริญญาเอก  4.อื่น ๆ ระบุ.....

**ตอนที่ 2** แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศ  
เฉพาะที่

คำชี้แจง: ท่านมีเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่อย่างไร  
โปรดทำเครื่องหมายถูก (/) ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ที่	รายละเอียดการประเมิน	น้อย ที่สุด	น้อย	ปาน กลาง	มาก	มาก ที่สุด
1	การออกแบบของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศ เฉพาะที่ มีความสวยงามเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน					
2	ขนาดของอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน					
3	อุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สามารถลด การสัมผัสยาคมสลบในห้องผ่าตัดได้					
4	จะนำอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ไปใช้ งานในห้องผ่าตัด					
5	โดยภาพรวมแล้วมีความพึงพอใจกับอุปกรณ์ต้นแบบ ระบบระบายอากาศเฉพาะที่					

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนงลักษณ์ พิพิธสุนทรสานต์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510320025

## วุฒิการศึกษา

วุฒิ	สถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (อาชีวอนามัยและ ความปลอดภัย)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2551

## ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ บริษัทอติสรสงขลา จำกัด

## ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัยและคณะแพทยศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์