

แนวทางการในการบริหารจัดการระบบระบายอากาศในกระบวนการเคลือบขาว

Guideline for Exhaust Ventilation Management of Coating Process

กนกวรรณ กองสำลี¹

ประมุข โอศิริ²

สมพร กันทรคุชฎี เตรียมชัยศรี²

จันทราทิพย์ คารวะ³

วิรัชวิวัฒน์ รัชญูทรัพย์³

¹นักศึกษาปริญญาโท คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

²รองศาสตราจารย์ ดร. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

³อาจารย์ประจำ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

E-mail: wirajirawat.raw@siam.edu

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการบริหารจัดการระบบระบายอากาศในกระบวนการเคลือบขาวของโรงงานผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ให้เป็นไปตามคำแนะนำของ ACGIH จากผลการศึกษาพบว่า อัตราการไหลเข้าและออกของอากาศในระบบระบายอากาศทั่วไป มีค่าเท่ากับ 26.43 และ 30.93 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ อัตราการระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณเครื่องเคลือบขาว CT-3 CT-4 และ CT-5 เท่ากับ 3.82 3.65 และ 3.74 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ดังนั้นอัตราการไหลออกของระบบระบายอากาศทั่วไปร่วมกับเฉพาะที่มีค่าเท่ากับ 42.14 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งระบบระบายอากาศออกมีอัตราการระบายสูงกว่าการระบายอากาศเข้าระบบอยู่ 15.71 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ การตรวจวัดค่าความเร็วในการจับมลสารของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของเครื่องเคลือบขาว CT-3 CT-4 และ CT-5 มีค่าเท่ากับ 0.24 0.31 และ 0.11 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ค่าความเร็วในการจับมลสารเหล่านี้ต่ำกว่าคำแนะนำของ ACGIH ที่กำหนดให้ความเร็วในการจับมลสารมากกว่า 1 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมในท่อที่แต่ละจุดวัด (จุด B ถึง K) พบว่าความเร็วลมในแต่ละจุดวัดเป็นไปตามคำแนะนำของ ACGIH ยกเว้นที่จุด K ที่ต่ำกว่าคำแนะนำของ ACGIH ที่กำหนดให้มีความเร็วลมในท่อไม่ต่ำกว่า 5 เมตรต่อวินาที ด้านการวิเคราะห์อันตรายของสารเคมีแบบเสริมฤทธิ์ พบว่ามีค่ามากกว่าที่ ACGIH แนะนำ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศในกระบวนการเคลือบขาว ยังไม่เพียงพอต่อการปกป้องสุขภาพคนงาน

คำสำคัญ: การบริหารจัดการ ระบบระบายอากาศ กระบวนการเคลือบขาว

ABSTRACT

Objective of this study was to develop guidelines for exhaust ventilation management of coating process in a medical plaster manufacturer. The results showed supply and exhaust air flow rate of general ventilation system in medicated manufacturing were 26.43 and 30.93 m³/s, respectively. Exhaust air flow rate of local ventilation at the coating machine CT-3, CT-4, and CT-5 were 3.82, 3.65 and 3.74 m³/s, respectively. So, exhaust air flow rate of general ventilation system combined with local ventilation system was 42.14 m³/s that exhaust air flow rate of ventilation system was higher than supply air flow rate of ventilation system about 15.71 m³/s. In addition to, the measurement of capture velocities of local exhaust ventilation at the coating machine CT-3, CT-

4, and CT-5 were 0.24, 0.31 and 0.11 m/s, respectively. These velocities were lower than the recommendations of the American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) that requires a capture velocity of more than 1 m/s. Air duct velocities at each measurement point (point B to K) was found that complied to the recommendations of the ACGIH. Except Air duct velocity of point K was lower than the recommendations of the ACGIH that requires a duct velocity of not less than 5 m/s. Additive effect of chemical level was higher than the recommendations of the American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) that was shown the efficiency of local exhaust ventilation system of coating process was lacked for protect healthy worker.

KEYWORDS: Exhaust Ventilation Management, Coating Process

บทนำ

ในการผลิตพลาสติกชนิดปิดแผล ประกอบด้วย ขั้นตอนต่างๆ คือ การผสมสารเคมี การเคลือบแก้ว การตัดมันผ้า การติดแผ่นซีมซับ การชอยผ้า การบรรจุ และ กระบวนการฆ่าเชื้อโรค ซึ่งการเคลือบแก้ว เป็นขั้นตอนที่มีการร้องเรียนจากพนักงานว่า มีอาการชาบริเวณปลายมือ ปลายเท้า มีอาการปวดศีรษะ มึนงง อาเจียน และระคายเคืองต่อดวงตา ซึ่งเป็นอาการของระบบประสาทส่วนกลาง สอดคล้องกับการศึกษาทางระบาดวิทยาในช่วงซ่อมรองเท้าซึ่งสัมผัสกับกาที่มี methylcyclohexane และ cyclohexane เป็นตัวทำละลาย โดยพบอาการทางระบบประสาทส่วนกลาง คือ มีอาการปวดศีรษะ มึนงง จนถึง อาเจียน ถึงแม้ว่าผู้สัมผัสจะย้ายงานก็ยังคงเกิดอาการเหล่านี้บ่อยหลายเดือน (Casarett & Doull, 1975) ด้วยเหตุนี้ การทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการสัมผัสกับสารเคลือบแก้วเป็นเวลานานจึงเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจและจำเป็นต้องป้องกันการเกิดปัญหาต่อสุขภาพของพนักงาน

ทางโรงงานได้ติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ร่วมกับการระบายอากาศแบบทั่วไปในขั้นตอนการเคลือบแก้ว เพื่อแก้ไขปัญหากลุ่มอาการสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศการทำงานของพนักงาน ในขั้นตอนนี้มีพนักงานจำนวน 17 คน มีเครื่องเคลือบแก้วจำนวน 3 เครื่อง คือ เครื่องเคลือบแก้ว CT-3 CT-4 และ CT-5 ตามลำดับ อยู่ในห้องมีลักษณะปิด สารเคมีหลักที่ใช้ในการเคลือบแก้ว คือ สารละลายไฮโดรคาร์บอนประเภทไม่มีกลุ่มอะโรมาติก (Dearomatised hydrocarbons) ใช้เป็นตัวทำละลายในการผสมกาที่ใช้เคลือบบนผ้า ประกอบด้วย cyclohexane heptane

methylcyclohexane และ n-hexane จากงานวิจัยของ ExxonMobil Chemical (2014) แสดงให้เห็นว่า สารละลายเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นของเหลวไวไฟ หากมีการระเหยและผสมกับอากาศจะเกิดเป็นส่วนผสมที่ระเบิดและติดไฟได้

จากการศึกษาข้อมูลของขั้นตอนการเคลือบแก้วนี้ พบว่ามีการออกแบบระบบเตือนภัยที่ตั้งค่าให้ระบบเคลือบแก้วหยุดทำงานหากไอของสารเคมีมากกว่า ร้อยละ 10 ของค่าต่ำสุดของการระเบิด (Lower Explosive Limit (LEL) แต่พบว่าพนักงานปิดระบบเตือนภัย เพื่อให้เครื่องเคลือบแก้วสามารถดำเนินงานได้ โดยไม่ได้คำนึงถึง %LEL ที่จะสูงขึ้น แม้ว่าปริมาณความเข้มข้นของ cyclohexane methylcyclohexane n-hexane และ heptane ในบรรยากาศห้องเคลือบแก้วย้อนหลัง 3 ปี (ค.ศ. 2012 - 2014) จะไม่เกินค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศ (TLV-TWA) โดยที่สารแต่ละตัวมีค่า TLV-TWA ดังนี้ ethylcyclohexane และ heptane เท่ากับ 400 ppm ในขณะที่ cyclohexane เท่ากับ 100 ppm และ n-hexane 50 ppm แต่เมื่อพิจารณาความเป็นพิษต่ออวัยวะในร่างกาย พบว่าสารทั้งสี่ชนิดมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางเหมือนกัน จึงนำข้อมูลมาคำนวณหาระดับความเข้มข้นของสารเคมีแบบเสริมฤทธิ์ (Additive effect) โดยใช้สูตรดังนี้

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

โดยที่

C = ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศ (ppm)

T = ค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมี

อันตราย Threshold Limit Value

พบว่าระดับความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศมีค่าอยู่ในช่วง 0.9-1.28 ppm ซึ่งหากมีค่ามากกว่า 1 แสดงถึง พนักงานมีโอกาสได้รับสัมผัสสารเคมีแบบเสริมฤทธิ์

จากผลการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารเคมีแบบเสริมฤทธิ์ (Additive effect) ทำให้ทราบว่า พนักงานที่ทำงานในแผนกดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อโรคเกี่ยวกับระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งสอดคล้องกับเรื่องร้องเรียนทางสุขภาพของพนักงานในกระบวนการเคลื่อนย้าย ถึงแม้ว่าทางโรงงานจะมีการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ร่วมกับการระบายอากาศแบบทั่วไปในกระบวนการเคลื่อนย้าย เพื่อแก้ไขปัญหาการสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศการทำงานของพนักงานแล้ว แต่ปริมาณสารเคมีในบรรยากาศยังคงเป็นอันตรายต่อพนักงาน ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจในการศึกษาคุณภาพอากาศ ปัญหาและประสิทธิภาพของการระบายอากาศเฉพาะที่ในกระบวนการเคลื่อนย้าย เพื่อเสนอแนะแนวทางในการบริหารจัดการระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในกระบวนการเคลื่อนย้าย ซึ่งช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพ และลดโอกาสการเกิดไฟไหม้และระเบิดได้

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาแนวทางในการบริหารจัดการระบบระบายอากาศในกระบวนการเคลื่อนย้าย ให้เป็นไปตามคำแนะนำของ ACGIH

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเปรียบเทียบกับข้อกำหนดในการระบายอากาศ เพื่อนำไปสู่การจัดทำข้อเสนอแนะ การบริหารจัดการระบบระบายอากาศได้อย่างเหมาะสม

ประโยชน์ที่ได้รับ

แนวทางการบริหารจัดการระบบระบายอากาศในกระบวนการเคลื่อนย้าย สามารถนำมาใช้เป็นมาตรการควบคุมหรือลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งรูปแบบการวิจัยเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study)

และการวิจัยเอกสาร (Document research) โดยการศึกษาแบบภาคตัดขวาง จะศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบระบายอากาศทั่วไป และระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณเครื่องเคลือบแก้วที่ใช้ในปัจจุบันจำนวน 3 เครื่อง คือ CT-3 CT-4 และ CT-5 โดยวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของ

1. ความเร็วในการจับมลสารของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ โดยทำการแบ่งปากท่อระบบระบายอากาศเป็นช่องสี่เหลี่ยมเท่าๆ กัน แล้วใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมเพื่อเก็บข้อมูลทุกช่อง ซึ่งการเก็บข้อมูลใช้วิธีการตาม ANSI/AIHA Z9.5 Subcommittee (2003)

2. ความเร็วลมในท่อของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ โดยใช้เครื่องมือ anemometer ในการวัดตามจุดต่างๆ ของระบบระบายอากาศ (ANSI/AIHA Z9.5 Subcommittee, 2003)

3. อัตราการระบายอากาศของกระบวนการเคลื่อนย้าย โดยเก็บค่าอัตราการระบายอากาศตามจุดต่างๆ ในท่อระบายอากาศแล้วหาเป็นค่าเฉลี่ย (ASHRAE Standard 111-1988, 1988)

ซึ่งการเก็บข้อมูลใช้วิธีการตามการวิจัยเอกสาร เป็นการทบทวนข้อกำหนดกฎหมาย มาตรฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการจัดทำแนวทางการบริหารจัดการระบบระบายอากาศในกระบวนการเคลื่อนย้าย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. เครื่องมือวัดความดัน FLUKE[®] Airflow Meter

2. เครื่องมือวัดความเร็วลม Kanomax Anemometer Standard Model 6035 Multi-function Thermal Anemometer

ผลการวิจัย

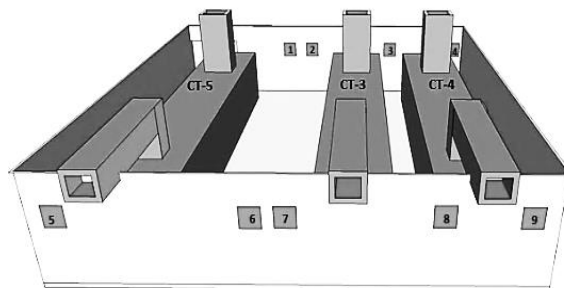
จากผลการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารเคมีแบบเสริมฤทธิ์ (Additive effect) ทำให้ทราบว่า พนักงานที่ทำงานในแผนกดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อโรคเกี่ยวกับระบบประสาทส่วนกลาง แนวทางในการควบคุมปริมาณสารเคมีให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าขีดจำกัดความเข้มข้นสารผสมแบบเสริมฤทธิ์กันตามคำแนะนำของ ACGIH สามารถทำได้

โดยการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ เพื่อเจือจางสารปนเปื้อนเหล่านั้นให้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (Threshold Limit Value, TLV) ดังนั้นจึงทำการศึกษาระบบระบายอากาศในกระบวนการเคลือบขาว (Coating process) ของโรงงาน พบว่าโรงงานมีการติดตั้งระบบอากาศไว้ 2 ประเภท ประกอบด้วย

1. ระบบระบายอากาศทั่วไป (General Exhaust Ventilation)

ทางโรงงานใช้พัดลมในการระบายอากาศทั้งหมด 9 ตัว มีขนาดกว้าง 0.9 เมตร ยาว 0.9 เมตร โดยเป็นพัดลมดูดอากาศเข้า 4 ตัว (No.1 – 4) และพัดลมระบายอากาศออก 5 ตัว (No.5 – 9) ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อทำการวัดความเร็วลมและอัตราการไหลของอากาศสำหรับพัดลมดูดอากาศ พบว่าอัตราการไหลของอากาศเข้าของพัดลม

ดูดอากาศ (Supply air flow rate) เท่ากับ 26.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังตารางที่ 1 และอัตราการไหลของอากาศระบายออกของพัดลมดูดอากาศ (Exhaust air flow rate) เท่ากับ 30.93 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที รายละเอียดดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งของพัดลมระบายอากาศหมายเลข 1 ถึง 9

ตารางที่ 1 ความเร็วลมเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศของพัดลมดูดอากาศเข้า

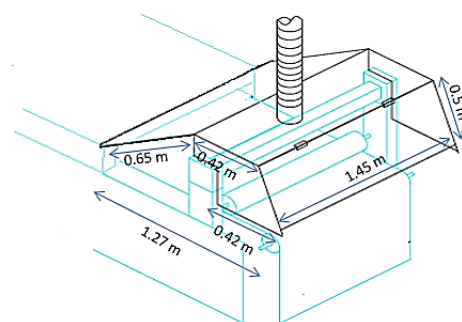
| ชนิดของพัดลม | เครื่องที่ | อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./วินาที) |
|-------------------|------------|------------------------------------|
| พัดลมดูดอากาศเข้า | 1 | 6.58 |
| | 2 | 6.70 |
| | 3 | 6.97 |
| | 4 | 6.19 |
| รวม | | 26.43 |

ตารางที่ 2 ความเร็วลมเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศของพัดลมดูดอากาศออก

| ชนิดของพัดลม | เครื่องที่ | อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./วินาที) |
|--------------------|------------|------------------------------------|
| พัดลมระบายอากาศออก | 5 | 5.95 |
| | 6 | 6.21 |
| | 7 | 6.36 |
| | 8 | 6.11 |
| | 9 | 6.30 |
| รวม | | 30.93 |

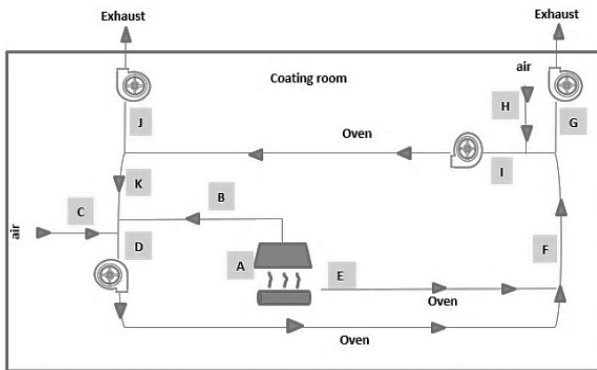
2. ระบบระบายอากาศเฉพาะที่

โรงงานได้ติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณเครื่องเคลือบขาว CT-3 CT-4 และ CT-5 โดยติดตั้ง canopy hood ครอบบริเวณหัวเคลือบขาว และเชื่อมต่อกับท่อกลมขนาด 0.15 เมตร ไปยังระบบหมุนเวียนอากาศที่มีอยู่เดิมของเครื่องเคลือบขาว ลักษณะของ canopy hood ที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะและขนาดของชุดบริเวณหัวเคลือบขาว

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของเครื่องเคลือบ ภาวทุกเครื่องมีทิศทางไหลเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยไอระเหยของสารเคมีจะถูกดูดเข้าสู่ระบบ ระบายอากาศผ่านทางชุด (A) ไหลผ่านท่อขนาด 0.15 เมตร (B) ไปรวมกับอากาศที่ดูดมาจากภายในห้องเพื่อ เจือจางสารเคมี (C) จากนั้นอากาศจะถูกดูดเข้า blower ขนาด 7.5 HP (D) และไปรวมกับไอระเหยที่ดูดมาจาก ตู้อบ (E) อากาศที่รวมกันนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกระบายออกทางปล่องด้วย blower ขนาด 5.5 HP (G) และส่วนที่สองดึงกลับมาใช้ในระบบโดยไหลไป รวมกับอากาศที่ดูดมาจากในห้อง (I) เพื่อเจือจางก่อนดึง กลับมาใช้ ในส่วนนี้จะมีอากาศส่วนเกินเหลืออยู่ ซึ่งจะ ถูกระบายออกทาง blower ขนาด 7.5 HP (J)



รูปที่ 3 แผนผังแสดงทิศทางไหลของอากาศและจุด ตรวจวัดค่าความเร็วลมและความดันสถิตของเครื่อง เคลือบภาว

จากกฎการอนุรักษ์มวล อัตราการไหลเชิง ปริมาตรของอากาศในท่อจะต้องมีค่าเท่ากันทุกจุด คือ $D = B+C+K$, $F = D+E$, $I = F+H-G$ และ $K = I-J$ ดังนั้น จึงทำการวัดขนาดของท่อ ความเร็วลม และความดัน สถิตของเครื่องเคลือบภาว ณ จุดต่างๆ คือ จุด A B C D E F G H I J และ K ดังแสดงในรูปที่ 3 ของเครื่อง เคลือบภาว CT - 3 CT - 4 และ CT - 5

2.1 ผลการศึกษาระบบระบายอากาศ เฉพาะที่ของเครื่องเคลือบภาว CT-3

เมื่อทำการตรวจวัดความเร็วลมในท่อของ เครื่องเคลือบภาว CT-3 ตามจุดต่างๆ ที่กำหนดในรูปที่ 3 จุดละ 6 ซ้ำ สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการไหล ดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าจากการ คำนวณตามหลักการอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ อากาศในท่อ พบว่าค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง D เท่ากับ 2.68 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าใกล้เคียงกับค่าจาก การคำนวณ ($D = B + C + K = 2.67$ ลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที) ค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง F เท่ากับ 4.63 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ ($F = D + E = 5.82$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ค่าที่วัดได้ จริงที่ตำแหน่ง I เท่ากับ 3.49 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีมี ค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ ($I = F + H - G = 4.19$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) และค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง K เท่ากับ 1.31 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่าค่า จากการคำนวณ ($K = I - J = 1.54$ ลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที)

นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าความดันสถิตทุกจุดมีค่า ติดลบ และอัตราการระบายอากาศออกจากปล่องเท่ากับ 3.82 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ($G + J = 1.87+1.95$) เมื่อ เปรียบเทียบค่าความเร็วในการจับมลสารของเครื่อง เคลือบภาว CT-3 (0.24 เมตรต่อวินาที) กับค่าที่แนะนำ ของ ACGIH แล้วมีค่าต่ำกว่าซึ่งกำหนดให้มีความเร็วใน การจับมลสารไม่น้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที และค่า ความเร็วลมในท่อที่จุด K (2.87 เมตรต่อวินาที) มีค่าต่ำ กว่าค่าแนะนำของ ACGIH ที่กำหนดให้มีความเร็วในท่อ ไม่น้อยกว่า 5 เมตรต่อวินาที (ACGIH, 2013) รายละเอียด ดังตารางที่ 3

2.2 ผลการศึกษาระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ของเครื่องเคลือบภาว CT-4

เมื่อทำการตรวจวัดความเร็วลมในท่อของ เครื่องเคลือบภาว CT-4 ตามจุดต่างๆ ที่กำหนดในรูปที่ 3 จุดละ 6 ซ้ำ สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการไหลดัง แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดความเร็วลม อัตราการไหล และความดันสถิตของเครื่องเคลื่อนอากาศ CT-3

| ตำแหน่ง | ชนิดท่อ | ขนาดท่อ (ม.) | ความเร็วเฉลี่ย (ม./วินาที) | อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที) | ความดัน (ปาสกาล) |
|---------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| A | Capture Velocity | 1.45x1.27 | 0.24 | - | - |
| B | Duct | 0.15 | 8.71 | 0.15 | -129 |
| C | Duct | 0.45x0.45 | 5.99 | 1.21 | -59 |
| D | Duct | 1.3x0.35 | 5.89 | 2.68 | -165 |
| E | Duct | 1.3x0.35 | 6.89 | 3.14 | -51 |
| F | Duct | 1.3x0.35 | 10.17 | 4.63 | -142 |
| G | Duct | 0.6x0.6 | 5.20 | 1.87 | -79 |
| H | Duct | 0.45x0.45 | 7.06 | 1.43 | -87 |
| I | Duct | 1.3x0.35 | 7.67 | 3.49 | -127 |
| J | Duct | 0.6x0.6 | 5.42 | 1.95 | -131 |
| K | Duct | 1.3x0.35 | 2.87 | 1.31 | -106 |

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดความเร็วลม อัตราการไหล และความดันสถิตของเครื่องเคลื่อนอากาศ CT-4

| จุด | ชนิดของความเร็ว | ขนาดท่อ (เมตร) | ความเร็วเฉลี่ย (ม./วินาที) | อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที) | ความดันสถิต (ปาสกาล) |
|-----|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| A | Capture Velocity | 1.45x1.27 | 0.31 | - | - |
| B | Duct | 0.15 | 11.35 | 0.20 | -153 |
| C | Duct | 0.45x0.45 | 7.26 | 1.47 | -49 |
| D | Duct | 1.3x0.35 | 7.11 | 3.05 | -190 |
| E | Duct | 1.3x0.35 | 6.45 | 2.94 | -61 |
| F | Duct | 1.3x0.35 | 11.26 | 5.12 | -173 |
| G | Duct | 0.6x0.6 | 5.13 | 1.85 | -67 |
| H | Duct | 0.45x0.45 | 7.16 | 1.45 | -79 |
| I | Duct | 1.3x0.35 | 8.69 | 3.95 | -121 |
| J | Duct | 0.6x0.6 | 5.00 | 1.80 | -152 |
| K | Duct | 1.3x0.35 | 3.13 | 1.42 | -115 |

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าจากการคำนวณตามหลักการอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศในท่อ พบว่าค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง D เท่ากับ 3.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณ ($D = B + C + K = 3.09$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง F เท่ากับ 5.12 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ ($F = D + E = 5.99$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง I เท่ากับ 3.98 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ ($I = F + H - G = 4.72$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) และค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง K เท่ากับ 1.42

ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ ($K = I - J = 2.15$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าความดันสถิตทุกจุดมีค่าติดลบอยู่ระหว่าง -49 ถึง -190 ปาสกาล และอัตราการระบายอากาศออกจากปล่องเท่ากับ 3.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ($G + J = 1.85 + 1.80$) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วในการจับมลสารของเครื่องเคลื่อนอากาศ CT-4 (0.31 เมตรต่อวินาที) กับค่าตามคำแนะนำของ ACGIH แล้วมีค่าต่ำกว่าคำแนะนำ ซึ่งกำหนดให้มีความเร็วในการจับมลสารไม่น้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที และค่าความเร็วลมในท่อที่จุด K (3.13 เมตรต่อวินาที) มีค่าต่ำกว่า

คำแนะนำของ ACGIH ที่กำหนดให้มีความเร็วในท่อไม่น้อยกว่า 5 เมตรต่อวินาที (ACGIH, 2013)

2.3 ผลการศึกษาระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของเครื่องเคลือบแก้ว CT - 5

เมื่อทำการตรวจวัดความเร็วลมในท่อของเครื่องเคลือบแก้ว CT - 5 ตามจุดต่างๆ ที่กำหนดในรูปแบบที่ 3 จุดละ 6 ซ้ำ สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการไหลเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงกับค่าจากการคำนวณตามหลักการอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศในท่อพบว่า ค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง D เท่ากับ 2.93 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณ ($D = B + C + K = 2.84$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง F เท่ากับ 4.96 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ ($F = D + E = 5.96$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง I เท่ากับ 3.31 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ ($I = F + H - G = 4.42$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) และค่าที่วัดได้จริงที่ตำแหน่ง K เท่ากับ 1.37 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ ($K = I - J = 1.45$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

จากการตรวจวัดพบว่าค่าความดันสถิตทุกจุดมีค่าติดลบอยู่ระหว่าง -48 ถึง -184 ปาสกาล และอัตรา

การระบายอากาศออกจากปล่องเท่ากับ 3.74 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ($G + J = 1.88 + 1.86$) เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วในการจับมลสารของเครื่องเคลือบแก้ว CT-5 (0.11 เมตรต่อวินาที) กับคำแนะนำของ ACGIH แล้วมีค่าต่ำกว่าคำแนะนำของ ACGIH ซึ่งกำหนดให้มีความเร็วในการจับมลสารไม่น้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที และค่าความเร็วลมในท่อที่จุด K (3.02 เมตรต่อวินาที) มีค่าต่ำกว่าคำแนะนำของ ACGIH ที่กำหนดให้มีความเร็วในท่อน้อยกว่า 5 เมตรต่อวินาที (ACGIH, 2013)

จากการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศที่ดูดจากภายนอกห้องปฏิบัติงานเข้าสู่กระบวนการเคลือบแก้วมีค่าเท่ากับ 26.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนอัตราการระบายอากาศทั่วไปที่ระบายอากาศออกจากกระบวนการเคลือบแก้ว ซึ่งเป็นผลรวมของการระบายอากาศของพัดลมดูดผนังในกระบวนการเคลือบแก้วมีค่า 30.93 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณเครื่องเคลือบแก้ว CT-3 CT-4 และ CT-5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.82 3.65 และ 3.74 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ จะได้อัตราการระบายอากาศออกจากกระบวนการเคลือบแก้วเท่ากับ 42.14 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จากผลการตรวจวัดจะพบว่าอัตราการระบายอากาศออกมากกว่าอัตราการดูดเข้าระบบเท่ากับ 15.71 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดความเร็วลม อัตราการไหล และความดันสถิตของเครื่องเคลือบแก้ว CT-5

| จุด | ชนิดของความเร็ว | ขนาดท่อ (เมตร) | ความเร็วเฉลี่ย (ม./วินาที) | อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที) | ความดันสถิต (ปาสกาล) |
|-----|------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| A | Capture Velocity | 1.45x1.27 | 0.16 | - | - |
| B | Duct | 0.15 | 9.30 | 0.16 | -184 |
| C | Duct | 0.45x0.45 | 6.45 | 1.31 | -48 |
| D | Duct | 1.3x0.35 | 6.45 | 2.93 | -127 |
| E | Duct | 1.3x0.35 | 6.66 | 3.03 | -79 |
| F | Duct | 1.3x0.35 | 10.91 | 4.96 | -157 |
| G | Duct | 0.6x0.6 | 5.21 | 1.88 | -115 |
| H | Duct | 0.45x0.45 | 6.46 | 1.31 | -69 |
| I | Duct | 1.3x0.35 | 7.27 | 3.31 | -128 |
| J | Duct | 0.6x0.6 | 5.17 | 1.86 | -134 |
| K | Duct | 1.3x0.35 | 3.02 | 1.37 | -98 |

3. ผลการศึกษาอัตราการระบระบายอากาศที่ ต้องการของกระบวนการเคลือบขาว

ในกระบวนการเคลือบขาวทั้งหมดใช้สารละลายไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่มีกลุ่มอะโรมาติก (Dearomatised hydrocarbons) 315 ลิตร/ชั่วโมง จะประกอบไปด้วย cyclohexane heptane methylcyclohexane และ n-hexane ซึ่งมีคุณสมบัติ และค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (TLV-TWA) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของสารละลายไฮโดรคาร์บอน

| สารเคมี | ร้อยละความเข้มข้น | น้ำหนักโมเลกุล | ความถ่วงจำเพาะ | TLV-TWA (ppm) |
|-------------------|-------------------|----------------|----------------|---------------|
| Cyclohexane | 35 | 84.16 | 0.779 | 100 |
| Heptane | 40 | 100.2 | 0.681 | 400 |
| Methylcyclohexane | 15 | 98.18 | 0.769 | 400 |
| n-Hexane | 10 | 86.17 | 0.659 | 50 |

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่ต้องการเพื่อเจือจางสารเคมีในกระบวนการเคลือบขาวได้จากสมการ

$$Q' = \frac{(24 \times 10^6 \times SG \times ER)}{MW \times C}$$

เมื่อ Q' = อัตราการระบายอากาศที่ต้องการในการทำให้มลพิษเจือจาง (Effective volumetric flow rate, m^3/s)

SG = ความถ่วงจำเพาะของสารเคมีในรูปแบบของเหลวระเหยได้ (Specific gravity of volatile liquid)

ER = อัตราการระเหยกลายเป็นไอของของเหลว (evaporation rate of liquid)

MW = น้ำหนักโมเลกุลของของเหลว (molecular weight of liquid)

C = มาตรฐานคุณภาพอากาศเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน (TLV)

จากการคำนวณ พบว่าอัตราการระบายอากาศที่ต้องการในการทำให้ cyclohexane heptane methylcyclohexane n-hexane เจือจางเท่ากับ 3.70 0.68 0.78 และ 6.12 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และ

อัตราการระบายอากาศของสารเคมีผสมเท่ากับ 11.28 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อัตราการระบายอากาศที่ต้องการในการทำให้สารละลายไฮโดรคาร์บอนเจือจาง

| ชื่อสารเคมี | อัตราการระบาย (ลบ.ม./วินาที) |
|--------------------------|------------------------------|
| Cyclohexane | 3.70 |
| Heptane | 0.68 |
| Methylcyclohexane | 0.78 |
| n-Hexane | 6.12 |
| Chemical mixtures | 11.28 |

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการระบายอากาศของห้องเคลือบขาวในปัจจุบัน 15.71 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าอัตราการระบายอากาศของห้องเคลือบขาวในปัจจุบันมีค่าสูงกว่าค่าอัตราการระบายอากาศที่ต้องการที่เป็นไปตามผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละชนิดมีค่าไม่เกินมาตรฐาน แต่เมื่อคิดเป็นค่ามาตรฐานรวมของสารเคมีผสมที่มีการเสริมฤทธิ์กันเป็นผลให้ค่าการระบายอากาศขณะนี้ยังไม่เพียงพอเพราะมีค่าเกินมาตรฐานค่าสารเคมีผสมที่เสริมฤทธิ์

สาเหตุที่มีค่าเกินมาตรฐานของสารผสมเสริมฤทธิ์ มีปัจจัยที่เป็นไปได้คือตำแหน่งการตรวจวัดสารเคมีอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมาก หากมีการตรวจวัดเพิ่มขึ้นในตำแหน่งอื่นๆ อาจมีผลค่าตรวจวัดต่ำกว่านี้ และลักษณะทางกายภาพของห้องที่มีเครื่องจักร ทำให้การเจือจางของอากาศไม่สมบูรณ์ จึงต้องมีค่าความปลอดภัย (Safety factor) เพิ่มขึ้นอีก 2-10 เท่า (ประมุข, 2557)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษากระบวนการระบายอากาศภายในห้องเคลือบขาวของโรงงานผลิตอุปกรณ์การแพทย์ จะเห็นว่าอัตราการระบายอากาศทั้งหมดของห้องเคลือบขาวในปัจจุบัน เท่ากับ 15.71 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราการระบายอากาศที่ใช้ในการเจือจางสารเคมีในกระบวนการเคลือบขาวหลังเดินระบบ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 11.28 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งถือว่าโรงงานมีระบบการระบายอากาศที่เพียงพอ เมื่อดำเนินการ

ได้เต็มที่ แต่จากการศึกษาข้อมูลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีในโรงงานย้อนหลัง 3 ปี (ค.ศ. 2012 – 2014) พบว่าปริมาณความเข้มข้นของ cyclohexane ในบรรยากาศมีค่าอยู่ในช่วง 12.59 - 39.42 ppm heptane มีค่าอยู่ในช่วง 37.12 - 118.05 ppm methylcyclohexane มีค่าอยู่ในช่วง 15.78 - 58.67 ppm และ n-hexane มีค่าอยู่ในช่วง 19.86 - 33.26 ppm ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าจากการคำนวณตามทฤษฎีมาก คือ cyclohexane เท่ากับ 6.12×10^{-9} heptane เท่ากับ 5.14×10^{-9} methylcyclohexane เท่ากับ 2.22×10^{-9} และ n-hexane เท่ากับ 1.45×10^{-9} แม้จะไม่เกินค่า TLV – TWA ที่ ACGIH แนะนำ แต่เมื่อนำมาคำนวณระดับความเข้มข้นของสารเคมีแบบเสริมฤทธิ์กัน (Additive effect) ของสารเคมีทั้ง 4 ชนิดในกระบวนการเคลื่อนย้าย พบว่าระดับความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศมีค่าอยู่ในช่วง 0.9-1.28 ppm ซึ่งนับว่ามีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าแนะนำของ ACGIH ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 1 (ACGIH, 2013) เพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบประสาทส่วนกลาง

เมื่อทำการตรวจระบบระบายอากาศของโรงงานอย่างละเอียด พบว่าความเร็วในการจับมลสารบริเวณ canopy hood ของเครื่องเคลื่อนย้าย CT – 3 CT – 4 และ CT – 5 มีค่าต่ำกว่าค่าแนะนำของ ACGIH ที่กำหนดให้มีความเร็วในการจับมลสารไม่น้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที และยังพบว่าความเร็วลมในท่อบางจุดของเครื่องเคลื่อนย้ายทั้งสามเครื่องมีค่าต่ำกว่าค่าแนะนำของ ACGIH ที่กำหนดให้มีความเร็วในท่อน้อยกว่า 5 เมตรต่อวินาที (ACGIH, 2013) ซึ่งอาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของสารเคมีออกสู่บรรยากาศในห้องปฏิบัติงาน สอดคล้องกับการศึกษาของ เสาวภา (2550) พบว่าระบบระบายอากาศที่มีความเร็วจับมลสารน้อยกว่าค่าแนะนำของ ACGIH ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นบริเวณที่ทำงาน รวมทั้งการศึกษาของ ศรีรัตน (2551) แสดงให้เห็นว่า ความเร็วลมในการจับอนุภาคฝุ่นต่ำกว่าค่าแนะนำของ ACGIH ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานที่ปฏิบัติงาน

นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศในท่อนมีค่าไม่เท่ากันทุกจุดตามกฎการอนุรักษ์มวล กล่าวคือ ผลรวมอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศในท่อนมีค่าสูงกว่าอัตราการไหลของท่อหลัก

บริเวณที่อาจมีการชำระหรือเชื่อมต่อไม่สนิท ทำให้มีอากาศไหลออกมาสู่บรรยากาศภายนอกท่อด้วย เป็นสาเหตุให้สารเคมีในท่อรั่วไหลออกสู่บรรยากาศภายในห้องเคลื่อนย้าย ทำให้ตรวจพบความเข้มข้นของสารเคมีเกินกว่าค่าที่ควรจะเป็นตามทฤษฎี

จากปัญหาการระบายอากาศที่ไม่สามารถระบายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ระดับความเข้มข้นของสารเคมีแบบเสริมฤทธิ์มากกว่า 1 อีกทั้งพบว่าองค์กรยังไม่มีแนวทางบริหารจัดการระบบระบายอากาศเฉพาะที่อย่างเป็นรูปธรรม จึงนำผลการตรวจวิเคราะห์มาพิจารณาเป็นแนวทางในการบริหารจัดการระบบระบายอากาศ เพื่อไม่ให้มลสารเกินค่ามาตรฐาน TLV-TWA และมีค่าต่ำกว่า ร้อยละ 10 ของ Lower Explosive Limit (LEL) โดยงานวิจัยของณัฐวัตร (2533) ได้แนะนำวิธีการบูรณาการให้เข้ากับการบริหารจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ซึ่งเป็นการปฏิบัติงานด้วยความปลอดภัยเป็นระบบอย่างต่อเนื่อง โดยเสริมสร้างความปลอดภัยเข้าไปสู่กระบวนการผลิต มีการจูงใจให้พนักงานมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมด้วยความปลอดภัย และมีการปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยตามข้อกำหนดกฎหมาย

โดยแนะนำแนวทางให้องค์กรดำเนินการ ต่อไปนี้

1. กำหนดมาตรฐานในกระบวนการให้ชัดเจน
 - 1.1 กำหนดค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน 8 ชั่วโมง
 - 1.2 กำหนดค่า Lower Explosive Limit (LEL)
 - 1.3 กำหนดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน 8 ชั่วโมง แบบเสริมฤทธิ์กันต้องไม่เกิน 1
 - 1.4 กำหนดมาตรฐานการฝึกอบรม
 - 1.5 กำหนดค่า capture velocity และ duct velocity สำหรับระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในกระบวนการเคลื่อนย้าย
 - 1.6 กำหนดการตรวจสุขภาพสำหรับพนักงานห้องเคลื่อนย้าย
2. กำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบให้สอดคล้องกับระบบการบริหารจัดการความปลอดภัยและอาชีวอนามัย

3. กำหนดแผนงาน ที่แนะนำให้จัดทำเพิ่ม ดังนี้

3.1 แผนการฝึกอบรม

3.2 แผนตรวจตรา

3.3 แผนการซ่อมบำรุง

ผลการวิจัยของ Hasan et al. (2012) แสดงให้เห็นว่าการตรวจติดตามและการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง สามารถป้องกันการรับสัมผัสของพนักงานได้

4. จัดทำและทบทวนระบบการจัดการความปลอดภัยและอาชีวอนามัยโดยผู้บริหาร เพื่อเป็นการแสดงเจตนาและชี้ให้เห็นถึงการให้ความสำคัญในด้านความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

ข้อเสนอแนะ

มีการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีในบรรยากาศหลังการดำเนินการตามแนวทางการปฏิบัติตามที่แนะนำ

เอกสารอ้างอิง

ณัฐวัตร มนต์เทวีญ. 2533. การบริหารงานความปลอดภัย.

นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ประมุข โอศิริ. 2557. การระบายอากาศการระบายอากาศและการควบคุมฝุ่นในสถานประกอบการ.

กรุงเทพฯ: เบสท์ กราฟฟิค เพรส.

ศรียรัตน์ วาณิชอดิศักดิ์. 2551. การออกแบบระบบระบายอากาศในโรงงานผลิตเคมี กรณีศึกษา: การระบายอากาศในห้อง PL-Z. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสาวภา เพชรสังฆาต. 2550. การออกแบบระบบระบายอากาศ สำหรับงานเชื่อมโลหะในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH). 2013. **Industrial ventilation, a manual of recommended practice.** (2 8th ed.). Ohio: American

Conference of Governmental Industrial Hygienists.

American National Standards Institute (ANSI). 2003. **American national standard - laboratory ventilation. ANSI/AIHA Z9.5-2003.** Virginia: American Industrial Hygiene Association.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 1988. **Practice for measurement, testing, adjusting, and balancing of building heating, ventilation, air-conditioning and refrigeration systems. ASHRAE Standard 111-1988.** Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Casarett, L.J. and Doull, J. 1975. **Toxicology: the basic science of poisons.** New York: Macmillan publishing Co.

ExxonMobil Chemical. 2014. **EXXOSOL DSP80/100FLUID. Product Safety Summary.** Retrieved November 23, 2014 from <https://www.exxonmobilchemical.com/C hem-English/Files/Resources/exxsol-dsp-80-100-product-safety-summary.pdf>.

Hasan, N.H., Said, M.R. and Leman, A.M. 2012. Local exhaust ventilation and application: a review. **International Journal of Engineering and Technology.** 12(4): 39-43.