



วิทยานิพนธ์

การศึกษาเชิงวิเคราะห์ระบบระบายอากาศเฉพาะที่
สำหรับเครื่องกลึงแบบ 6 เพลา

AN ANALYTICAL STUDY OF LOCAL EXHAUST
VENTILATION FOR SIX-SPINDLES TURNING MACHINE

นายพิทยา หงสะมัต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเชิงวิเคราะห์ระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับเครื่องกลึงแบบ 6 เพลา

An Analytical Study of Local Exhaust Ventilation for Six-Spindles Turning Machine

نامผู้วิจัย นายพิทยา หงสะมัต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเชิงวิเคราะห์ระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับเครื่องกลึงแบบ 6 เพลา

An Analytical Study of Local Exhaust Ventilation for Six-Spindles Turning Machine

โดย

นายพิทยา หงสะมัต

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2550

พิทยา หงสะมัด 2550: การศึกษาเชิงวิเคราะห์ระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับ
เครื่องกลึงแบบ 6 เพลา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D. 75 หน้า

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ
ของเพลากับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์
ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ โดยดำเนินการศึกษาด้วยการตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมัน
ที่เกิดจากเครื่องจักรด้วยวิธี Filter and Gravimetric ในเครื่องจักรที่มาจาก 3 ผู้ผลิต ได้แก่ ACME,
MITSUBISHI และ TORNOS ในความเร็วรอบที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่า ความเร็วรอบของเพลามีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5% หรือความเชื่อมั่น 95% และชนิดของเครื่องจักร
ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลากับ
ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน โดยการหาสมการถดถอย พบว่า ความเร็วรอบของเพลาระหว่าง
1000 ถึง 2000 รอบต่อนาที ของเครื่องจักร ACME สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น
ของละอองน้ำมันได้ 53.4%, ความเร็วรอบของเพลาระหว่าง 1500 ถึง 2400 รอบต่อนาทีของ
เครื่องจักร MITSUBISHI สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของละอองน้ำมันได้
55.7% และความเร็วรอบของเพลาระหว่าง 2400 ถึง 4700 รอบต่อนาที ของเครื่องจักร TORNOS
สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของละอองน้ำมันได้ 85.4%

จากการตรวจสอบระบบระบายอากาศที่ใช้งานในปัจจุบัน พบว่า ความเร็วรอบที่ทอด
อากาศไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถดูดละอองน้ำมันออกไปให้อยู่ต่ำกว่าค่าที่ต้องการควบคุมได้
และจากการนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมพลศาสตร์อวกาศ ที่ทำงานบนโปรแกรม
Pyrosim พบว่า มีลักษณะสอดคล้องกับผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์

Pittaya Hongsamat 2007: An Analytical Study of Local Exhaust Ventilation for Six-Spindles Turning Machine. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Chawalit Kittichaikarn, Ph.D. 75 pages.

The purpose of this research was to analyze the local exhaust ventilation of six-spindles turning machine. The study focused on correlation between the spindle speed and the oil mist concentration. The filter and gravimetric method was used to measure the oil mist concentration that were generated from the 3 maker's turning machine named ACME, MITSUBISHI and TORNOS.

Research result revealed that the spindle speed had an effect on oil mist concentration. This correlation was statistically significant, at 5% significance level or at 95% confidence intervals. The type of machine had no influence on oil mist concentration. In this research, the equation was drawn from statistical theories to conclude that the oil mist concentration increases as the spindle speed increases. For ACME's machine, the spindle speed range was 1000 to 2000 RPM., the coefficient of determination (R^2) were found to be 53.4%. For MITSUBISHI's machine, the spindle speed range was 1500 to 2400 RPM., the coefficient of determination (R^2) were found to be 55.7%. For TORNOS's machine, the spindle speed range was 2400 to 4700 RPM., the coefficient of determination (R^2) were found to be 85.4%.

Finally, it was found that the face velocity of local exhaust ventilation was insufficient. The results simulated by using fire dynamic simulation and program Pyrosim gave the same agreement.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ชวลิต กิตติชัยการ และ ผศ.ดร.ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณวุฒิชัย อุดมกาญจนนันท์ กรรมการ และผู้อำนวยการฝ่ายทรัพยากรบุคคลและบริหาร กลุ่มบริษัทมินิแบ (ประเทศไทย) ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา และขอกราบขอบพระคุณ คุณกรรชิต สันติวัฒนกุล กรรมการ และผู้อำนวยการฝ่ายผลิต บริษัท เอ็นเอ็มบี ไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในการเก็บข้อมูลในพื้นที่การผลิต

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณแม่ ที่ได้อบรม และให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

พิทยา หงสะมัด

มีนาคม 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
การตรวจเอกสาร	4
ระบบระบายอากาศเฉพาะที่	4
ข้อมูลเครื่องจักร	18
ทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง	21
โปรแกรมจำลองการไหลของอากาศ Pyrosim	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	34
ผล	34
วิจารณ์	59
สรุปและข้อเสนอแนะ	62
สรุป	62
ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ภาคผนวก	67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าของตัวประกอบความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อคู่อากาศ	8
2	ความเร็วต่ำสุดในท่อที่แนะนำให้ใช้สำหรับระบบระบายอากาศที่ใช้ ควบคุมมลพิษชนิดต่างๆ	9
3	สัมประสิทธิ์ของการไหลเข้าสู่ท่อคู่อากาศที่มีรูปร่างต่างๆ กัน	11
4	ความเร็วหน้าท่อคู่อากาศที่แนะนำให้ใช้ในกรณีต่างๆ	13
5	ความเร็วจับที่แนะนำให้ใช้เพื่อควบคุมมลพิษจากกิจกรรมประเภทต่างๆ	15
6	แสดงสมการเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณลมที่ต้องไหลผ่านเข้าสู่ระบบ ระบายอากาศ	16
7	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีจำแนกทางเดียว	22
8	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม	23
9	แสดงข้อมูลความเร็วรอบของเพลาลูกในเครื่องจักรแต่ละชนิด	34
10	แสดงผลการตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านในเครื่องจักร	35
11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลาลูกเครื่องจักร ACME กับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน	36
12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลาลูกของเครื่องจักร MITSUBISHI กับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน	37
13	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลาลูกของเครื่องจักร TORNOS กับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน	37
14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลาลูก และชนิด เครื่องจักรกับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน	38
15	ผลการทดสอบสมการถดถอยของความเข้มข้นของละอองน้ำมัน กับ ความเร็วรอบของเครื่องจักร ACME	39
16	ผลการทดสอบสมการถดถอยของความเข้มข้นของละอองน้ำมัน กับ ความเร็วรอบของเครื่องจักร MITSUBISHI	40
17	ผลการทดสอบสมการถดถอยของความเข้มข้นของละอองน้ำมัน กับ ความเร็วรอบของเครื่องจักร TORNOS	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ตารางแสดงข้อมูลความเข้มข้นของละอองน้ำมันที่วัดด้านนอกเครื่องจักร	44
19	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของละอองน้ำมันของเครื่องกลึง	45
20	ปริมาณละอองน้ำมันภายในและภายนอกเครื่องจักร	46
21	ปริมาณละอองน้ำมันที่ระบบระบายอากาศต้องดูดเพิ่มเพื่อควบคุมให้อยู่ในค่าที่ควบคุม	47
22	ข้อมูลระบบระบายอากาศของเครื่องจักรตามการออกแบบที่ใช้งานในปัจจุบัน	47
23	ตารางเปรียบเทียบปริมาณลม และความเร็วจับตามทฤษฎีกับสภาพการใช้งานปัจจุบัน	48
24	ความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร	50

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่	4
2	แสดงท่อดูดอากาศชนิดปิดคลุม	12
3	แสดงท่อดูดอากาศชนิดแคปเจอร์	14
4	แสดงท่อดูดอากาศแบบรีซีฟวิ่ง	17
5	แสดงส่วนประกอบของเครื่องกลึงแบบ 6 เพลลา	18
6	แสดงการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมันที่จุดตัดเจาะชิ้นงาน	18
7	ภาพเครื่องจักร TORNOS	19
8	ภาพเครื่องจักร MITSUBISHI	20
9	ภาพเครื่องจักร ACME	21
10	แสดงเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ SKC: PCXR8	26
11	แสดงเครื่องตรวจสอบและสอบเทียบอัตราการไหล DRY CAL DC LITE	27
12	แผ่นกรอง Polyvinyl Chloride(PVC.)	27
13	แสดงการซั่งกระดาศกรองด้วยเครื่อง Desicator	28
14	แสดงภาพตลับที่บรรจุแผ่นกรองแล้ว	29
15	การต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศกับเครื่อง Drycal	30
16	แสดงค่าที่ได้จากการตั้งอัตราการไหล	31
17	แสดงการตั้งเครื่องวัดปริมาณละอองน้ำมันที่เครื่องจักร	31
18	ตำแหน่งการตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านในเครื่องจักร	34
19	รูปแบบการฟุ้งกระจายของมลพิษทางอากาศจากเครื่องจักร	43
20	ตำแหน่งการตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านนอกเครื่องจักร	44
21	แสดงการตรวจวัดความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงาน ของเครื่องจักร	49
22	ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง ACME และ MITSUBISHI ที่มีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.02 เมตร ต่อวินาที และไม่มีระบบระบายอากาศ	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง ACME และ MITSUBISHI ที่มีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตร ต่อวินาที และไม่มีระบบระบายอากาศ	52
24	ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง ACME และ MITSUBISHI ที่มีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.02 เมตร ต่อวินาที และความเร็วจับ 1.7 เมตรต่อวินาที	53
25	ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง ACME และ MITSUBISHI ที่มีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตร ต่อวินาที และความเร็วจับ 1.7 เมตรต่อวินาที	54
26	ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่องTORNOS ที่มีความเร็วลม ที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที และไม่มีระบบระบายอากาศ	55
27	ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่องTORNOS ที่มีความเร็วลม ที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.05 เมตรต่อวินาที และไม่มีระบบระบายอากาศ	56
28	ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่องTORNOS ที่มีความเร็วลม ที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที ความเร็วจับ 1.2 เมตรต่อวินาที	57
29	ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่องTORNOS ที่มีความเร็วลม ที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.05 เมตรต่อวินาที ความเร็วจับ 1.2 เมตรต่อวินาที	58
30	ภาพแสดงลักษณะการเกิดละอองน้ำมันของเครื่องกลึง	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียวของเครื่องจักร ACME กับความเข้มข้นของตะอองน้ำมัน	68
2	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียวของเครื่องจักร MITSUBISHI กับความเข้มข้นของตะอองน้ำมัน	69
3	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียวของเครื่องจักร TORNOS กับ ความเข้มข้นของตะอองน้ำมัน	70
4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็รรอบเพลลา และชนิดเครื่องจักร กับความเข้มข้นของตะอองน้ำมัน	71
5	ผลการทดสอบสมการถดถอยของปริมาณตะอองน้ำมันกับความเร็รรอบของ เครื่องจักร ACME ที่ช่วงความเร็รรอบ 1000 ถึง 2000 รอบต่อนาที	71
6	ผลการทดสอบสมการถดถอยของปริมาณตะอองน้ำมันกับความเร็รรอบของ เครื่องจักร MITSUBISHI ที่ช่วงความเร็รรอบ 1500 ถึง 2400 รอบต่อนาที	72
7	ผลการทดสอบสมการถดถอยของปริมาณตะอองน้ำมันกับความเร็รรอบของ เครื่องจักร TORNOS ที่ช่วงความเร็รรอบ 2400 ถึง 4700 รอบต่อนาที	73
8	ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วลมรุ่น Testo 405	74
9	ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องตรวจสอบและสอบเทียบอัตราการไหล DRYCAL DCLITE	75

การศึกษาเชิงวิเคราะห์ระบบระบายอากาศแบบเฉพาะที่ สำหรับเครื่องกลึงแบบ 6 เพลา

An Analytical Study of Local Exhaust Ventilation for Six-Spindles Turning Machine

คำนำ

เครื่องจักรที่ใช้ในการตัดเจาะโลหะในโรงงานผลิตตลับลูกปืนนั้น จะใช้สว่านเป็นตัวเจาะ วัสดุที่เป็นเหล็กเส้น เพื่อให้เกิดรู จากนั้นใช้ใบมีดในการตัดวัสดุที่ออกมา ให้เป็นวงแหวนตามขนาดที่ต้องการ โดยในระหว่างการตัดเจาะจะเกิดการเสียดสีและมีความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีการฉีดน้ำมันไปในพื้นที่ตัดเจาะชิ้นงาน เพื่อลดความร้อน และลดการสูดดมของเครื่องจักร ซึ่งเมื่อน้ำมันถูกฉีดไปในจุดที่มีการตัดเจาะ โดย Spindle ที่มีความเร็วรอบสูงได้ก่อให้เกิดละอองน้ำมันฟุ้งกระจายออกมา และละอองน้ำมันนี้มีอันตรายต่อสุขภาพของพนักงาน The National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH] (1998) ระบุไว้ในเอกสาร What you need to know about occupational exposure to metalworking fluids ว่าละอองน้ำมันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดเจาะโลหะนี้ (Metalworking Fluids: MWFs) อาจเป็นสารก่อมะเร็ง โดยได้จัดแบ่งประเภทของกลุ่มน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการตัดเจาะโลหะนี้ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1. Straight oil (neat oil) Metalworking Fluids
2. Soluble oil (emulsifiable oil) Metalworking Fluids
3. Semi synthetic Metalworking Fluids
4. Synthetic Metalworking Fluids

ผลกระทบต่อสุขภาพสำหรับพนักงานที่ปฏิบัติงานในกระบวนการตัดเจาะโลหะ อันเนื่องมาจากละอองน้ำมัน มีการระบุไว้ในเอกสาร What you need to know about occupational exposure to metalworking fluids (NIOSH, 1998) มีดังนี้

1. ความผิดปกติของผิวหนัง อาการแสดงของความผิดปกติที่เกิดจากการสัมผัสน้ำมัน ในกระบวนการตัดเจาะโลหะ มี 2 ลักษณะ คือ ผิวหนังอักเสบ และการเกิดสิว

2. ความผิดปกติในระบบทางเดินหายใจ การสูดดมละอองของน้ำมันนี้จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อจมูก, ลำคอ และปอด

3. การก่อมะเร็ง ละอองน้ำมันอาจก่อให้เกิดมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ เช่น rectum, pancreas, larynx, skin, scrotum และ bladder เป็นต้น โดยการศึกษายังพบความสัมพันธ์ระหว่างอายุงานกับการเกิดมะเร็งด้วย

งานวิจัยในครั้งนี้จะศึกษารูปแบบของการเกิดละอองน้ำมัน เพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับเครื่องจักรในกระบวนการตัดเจาะโลหะของโรงงานผลิตตลับลูกปืน เพื่อควบคุมปริมาณละอองน้ำมันที่หลุดออกสู่บรรยากาศการทำงานให้อยู่ในค่าที่ต้องการควบคุม โดยใช้ค่ามาตรฐานของ ACGIH เป็นค่าอ้างอิง ซึ่ง ACGIH กำหนดไว้ว่าความเข้มข้นของละอองน้ำมันต้องไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ACGIH, 2003)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพล่า ที่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของละอองน้ำมัน
2. เพื่อวิเคราะห์การออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับเครื่องตัดเจาะโลหะได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ
3. เพื่อศึกษาลักษณะการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมันออกสู่สถานะแวดล้อมการทำงานโดยรอบเครื่องจักร โดยใช้โปรแกรม Pyrosim

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาระบบระบายอากาศเฉพาะที่ สำหรับเครื่องตัดเจาะโลหะ ในโรงงานผลิตตลับลูกปืน โดยมีเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. TORNOS, six spindles
2. ACME, six spindles
3. MITSUBISHI, six spindles

เครื่องจักรทั้งสามนี้แตกต่างกันที่ความเร็วรอบ โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเกิดละอองน้ำมัน และการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ เพื่อดูดละอองน้ำมันออกจากพื้นที่การทำงานโดยไม่รวมถึงระบบการกำจัดหรือดักละอองน้ำมัน การศึกษาจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองเพื่อสะท้อนภาพการใช้งานจริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบและปรับปรุงระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ที่เหมาะสมกับเครื่องกลึงแบบ 6 เหล่า
2. ลดปริมาณละอองน้ำมันในพื้นที่ปฏิบัติงานให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
3. ลดผลกระทบด้านสุขภาพจากอันตรายของละอองน้ำมัน
4. ทำให้คุณภาพอากาศภายในพื้นที่ส่วนงาน Turning ดีขึ้น และช่วยให้ขวัญและกำลังใจของพนักงานดีขึ้น

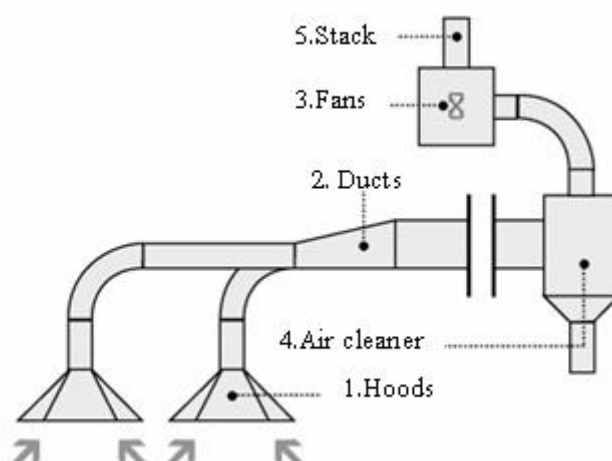
การตรวจเอกสาร

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์ในระบบระบายอากาศเฉพาะที่ สำหรับเครื่องกลึงแบบ 6 เพลา ในกระบวนการผลิตวงแหวนตลับลูกปืน โดยผู้วิจัยได้อาศัยแนวคิดหลักทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางและกรอบในการศึกษาและวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation)
2. ทฤษฎี และสถิติที่เกี่ยวข้อง
3. ข้อมูลเครื่องจักร
4. โปรแกรมจำลองการไหลของอากาศ PYROSIM
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่

โดยทั่วไป ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 5 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ภาพที่ 1 (ต่อ)

- หมายเหตุ 1. ท่อดูดอากาศ (Hoods)
2. ท่อลม (Ducts)
 3. พัดลม (Fans)
 4. อุปกรณ์ควบคุมมลพิษ (Air cleaner)
 5. ปล่องระบายอากาศ (Stack)

ที่มา: Canadian centre for occupational health and safety (2001)

1. หลักการไหลของอากาศ

การไหลของอากาศเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความดัน โดยจะไหลจากที่มีความดันสูงไปยังที่มีความดันต่ำกว่าปริมาณ และความเร็วของการไหล แสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

$$Q = AV \quad (1)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

V คือ ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อดูดอากาศ (ตารางเมตร)

2. ความดันของการไหล

ความดัน คือ แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช, 2533) โดยสามารถแบ่งชนิดของความดันออกได้ ดังนี้

2.1 ความดันสถิต (Static pressure, Ps) เป็นแรงที่อัดหรือกระจายอากาศเป็นความดันที่ใช้เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานภายในท่อลม ความดันสถิตสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ความดันสถิต} = \text{ความดันรวม} - \text{ความดันเนื่องจากความเร็วลม} \quad (2)$$

2.2 ความดันเนื่องจากความเร็วลม (Velocity pressure, P_v) เป็นความดันเนื่องจากความเร็วลม เป็นความดันที่ใช้ในการเร่งอากาศจากสภาพหยุดนิ่งให้เกิดการเคลื่อนไหว ดังนั้นความดันนี้จะมีเฉพาะในสถานะที่อากาศมีการเคลื่อนไหวนั่น และมักจะมีทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศ ความดันนี้วัดในหน่วยของปาสคาล (Pa) หาได้จากสมการ

$$P_v = 0.6xV^2 \quad (3)$$

เมื่อ

P_v คือ ความดันเนื่องจากความเร็วลม (ปาสคาล)

V คือ ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

2.3 ความดันรวม (Total pressure) เป็นผลรวมของความดันสถิต และความดันเนื่องจากความเร็วลม ซึ่งเป็นค่าความดันที่ใช้ในการเริ่มต้นและรักษาระดับการไหลของอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$TP = P_s + P_v \quad (4)$$

ดังนั้น ความดันของการไหล สามารถสรุปเป็นประเด็นได้ดังนี้

- ความแตกต่างกันของความดันทำให้อากาศไหลผ่าน (เข้า-ออก) ระบบระบายอากาศ
- ความดันรวมในระบบระบายอากาศมีองค์ประกอบสองประการ คือ (1) ความดันเนื่องจากความเร็วซึ่งเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศและเกิดในทิศทางของการไหล และ (2) ความดันสถิตหรือแรงดูดซึ่งทำให้อากาศเริ่มเคลื่อนที่ และดำรงสภาพการเคลื่อนที่นั้นไว้
- จากกฎของความดันสถิตสามารถเปลี่ยนไปเป็นความดันเนื่องจากความเร็วได้ และในทำนองเดียวกันความดันเนื่องจากความเร็วก็สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นความดันสถิตได้เช่นกัน

- ขนาดของความต้านทานการไหลของอากาศเนื่องจากแรงเสียดทาน และการไหลวนของลมในท่อขึ้นอยู่กับกำลังสองของความเร็วลมในท่อ ดังนั้นความต้านทานการไหลดังกล่าวนี้จึงสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของความดันเนื่องจากความเร็วในท่อนั้นได้ ซึ่งนิยมเรียกกันว่า “ความดันสูญเสีย” หรือ “ความดันตก” (pressure drop)

- ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นตลอดทั้งระบบนั้นจะเท่ากับพลังงานซึ่งจะต้องใส่เข้าไปในระบบโดยการทำงานของพัดลม เพื่อให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านระบบระบายอากาศได้ตามความประสงค์

- ขนาดของพัดลมที่ต้องการเพื่อให้ระบบทำงานได้ตามวัตถุประสงค์นั้นสามารถคำนวณได้จาก (1) ปริมาณลมที่กำหนดให้ไหลผ่านระบบระบายอากาศ และ (2) ความดันสูญเสียซึ่งเกิดขึ้นในระบบระบายอากาศ

3 ความดันสูญเสียเมื่ออากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ระบบ

3.1 ความดันสูญเสียเนื่องจากความเร่ง (acceleration loss)

อากาศจะต้องถูกเร่งจากสภาพที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำไว้ทิศทางที่แน่นอน ซึ่งเป็นสภาพที่เป็นอยู่โดยทั่วไปภายในสถานประกอบการให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความเร็วลมในท่อที่กำหนดไว้ ถ้าหากว่าอากาศในห้องไม่มีการเคลื่อนไหวเลยขณะนั้น ความดันเนื่องจากความเร็วหรือพลังงานจลน์ของอากาศนั้นจะเป็นศูนย์ และเมื่อใดที่อากาศดังกล่าวเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระบบระบายอากาศมันจะมีความดันเนื่องจากความเร็ว ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วลมในท่อ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทำให้อากาศเกิดความเร่งดังกล่าวข้างต้นจะต้องใช้พลังงานไปเท่ากับหนึ่งความดันเนื่องจากความเร็ว โดยความดันเนื่องจากความเร็ว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

3.2 ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศ

ในขณะที่อากาศถูกเร่งให้มีความเร็วและไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศของระบบระบายอากาศนั้น รูปลักษณะของท่อดูดอากาศจะทำให้เกิดการไหลวนของอากาศ ซึ่งการไหลวนของอากาศนี้จะเปลี่ยนความดันเนื่องจากความเร็วให้กลายเป็นความร้อน และด้วยเหตุนี้พลังงานที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของอากาศส่วนหนึ่งจะสูญหายไปจากระบบระบายอากาศ

การสูญเสียความดันจากการที่อากาศไหลเข้าสู่อุปกรณ์ สามารถอธิบายได้จากการเกิดและการสลายของ “วีนา-คอนแทรกตา” (vena contracta) ซึ่งหมายถึงการบีบตัวของกระแสอากาศให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง ขณะที่อากาศจากภายนอกถูกดูดให้ผ่านเข้าสู่ช่วงเปิดปลายท่อ กระแสอากาศนั้นจะบีบตัวเล็กลงกว่าขนาดของท่อ ดังนั้นการไหลของอากาศผ่านท่อในช่วงนี้จะไม่เต็มท่อ จุดหรือบริเวณที่เส้นผ่านศูนย์กลางของกระแสอากาศมีขนาดเล็กที่สุด เรียกว่า วีนา-คอนแทรกตา ความเร็วลม ณ จุดนี้จะสูงกว่าในส่วนอื่น ๆ ของท่อด้วย

เมื่ออากาศไหลผ่านวีนา – คอนแทรกตาไปแล้ว ความเร็วจะลดลง ทั้งนี้เพราะว่าอากาศจะกลับมาไหลเต็มท่อ ซึ่งการลดความเร็วลงนี้จะทำให้เกิดการไหลวนของกระแสอากาศอีกด้วย ดังนั้นที่บริเวณดังกล่าวก็จะเกิดการสูญเสียพลังงานไปอีกบ้างในลักษณะเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น การสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้รวมเรียกว่า ความดันสูญเสียเนื่องจากการที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศ

3.3 ตัวประกอบความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ

ความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศสามารถคำนวณได้จากตัวประกอบความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ และความเร็วลมในท่อค่าของตัวประกอบความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (Hood entry loss factor) นั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างของท่อดูดอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าของตัวประกอบความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ

Exhaust Shape	Hood entry loss factor
Plain duct end	0.93
Flanged duct end	0.49
Bellmouth entry	0.04
Tapered hood, 15°	Round:0.15; rectangular:0.25
Tapered hood, 30°	Round:0.08; rectangular:0.16
Tapered hood, 60°	Round:0.08; rectangular:0.17
Tapered hood, 90°	Round:0.15; rectangular:0.25
Tapered hood, 120°	Round:0.26; rectangular:0.35

ที่มา: Howard Goodfellow (2001)

ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (Hood entry loss, h_d)
คำนวณได้จากสมการ

$$h_d = (F_d)(P_v) \quad (5)$$

เมื่อ

F_d คือ ตัวประกอบความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ
(ไม่มีหน่วย)

P_v คือ ความดันเนื่องจากความเร็วภายในท่อลม (นิ้วน้ำ)

3.4 ความเร็วลมในท่อ

ความเร็วลมในท่อที่แนะนำให้ใช้สำหรับการระบายอากาศซึ่งมีมลพิษประเภทต่าง ๆ
ปะปนอยู่นั้นแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วต่ำสุดในท่อที่แนะนำให้ใช้สำหรับระบบระบายอากาศที่ใช้ควบคุมมลพิษ
ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของมลพิษทางอากาศในท่อลม	ความเร็วลมต่ำสุดในท่อ(เมตรต่อวินาที)
ก๊าซและไอ	5.08 – 6.096
ฝุ่น (เช่น Zn , Al)	7.112 – 10.16
ฝุ่นละเอียดมาก	10.16 – 12.7
ฝุ่นแห้ง , แป้ง และผง	12.7 – 17.78
ฝุ่นโดยทั่วไปในงานอุตสาหกรรม	17.78 – 20.32
ฝุ่นหนัก	20.32 – 22.86
ฝุ่นหนักและมีความชื้น	มากกว่า 22.86

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

3.5 ความดันสถิตที่hoodอากาศ

เพื่อให้ที่hoodอากาศสามารถทำงานได้สมบูรณ์ตามที่กำหนดไว้ นั้น พัดลมที่ใช้งานจะต้องสามารถสร้างแรงดูดหรือความดันสถิตขึ้นในที่ ตรงส่วนที่ใกล้กับที่hoodอากาศให้มากพอที่จะเอาชนะความดันสูญเสียเนื่องจากความเร่ง และความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ที่hoodอากาศได้ และในขณะเดียวกันยังสามารถทำให้อากาศในปริมาณที่กำหนดเคลื่อนที่เข้าสู่ที่hoodอากาศนั้นได้ด้วย ความดันสถิตทั้งหมดที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้ เรียกว่า “ความดันสถิตที่hoodอากาศ” (hood static pressure) ความดันนี้สามารถวัดได้โดยตรงด้วยการใช้manoมิเตอร์น้ำ สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณความดันสถิตที่hoodอากาศมีดังนี้ คือ

$$SPh = -P_v - (F_d)(P_v) \quad \text{หรือ} \quad SPh = (1 + F_d)P_v \quad (6)$$

เมื่อ

SPh = ความดันสถิตที่hoodอากาศ (ปาสคาล)

F_d = ตัวประกอบความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ที่hoodอากาศ
(ไม่มีหน่วย)

P_v = ความดันเนื่องจากความเร็วภายในที่ลม (ปาสคาล)

3.6 สัมประสิทธิ์ของการไหลเข้าสู่ที่hoodอากาศ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลเข้าสู่ที่hoodอากาศ เป็น ค่าสัดส่วนของปริมาณลมที่ไหลเข้าสู่ที่hoodอากาศจริงในทางปฏิบัติ กับปริมาณลมที่ควรจะมีไหลเข้าสู่ที่hoodอากาศตามทฤษฎีหากว่าไม่มีการสูญเสียความดันเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ที่hoodอากาศเลย (คือ เมื่อ F_d มีค่าเท่ากับ 0) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลเข้าสู่ที่hoodอากาศรูปร่างต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์ของการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศที่มีรูปร่างต่างๆ กัน

ชนิดของท่อดูดอากาศ	สัมประสิทธิ์ของการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (C _e)
ท่อดูดอากาศไม่มีหน้าแปลน (Un-flanged hoods)	0.72
ท่อดูดอากาศที่มีหน้าแปลน (Flanged hoods)	0.82
ท่อดูดอากาศที่มีลักษณะเป็นปากกระฉัง (Rounded entry hoods)	0.98
ท่อดูดอากาศแบบ 45 เทปเปอร์ (45 taper hoods)	0.92
ท่อดูดอากาศแบบสล็อต (Slot hoods)	0.60

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

สมการในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ คือ

$$C_e = \left[\frac{Q_{actual}}{Q_{theory}} \right] \quad (7)$$

เมื่อ

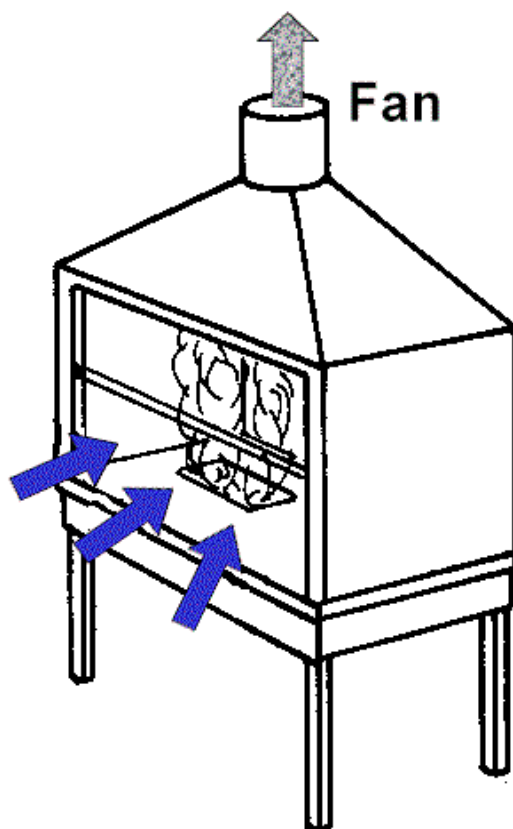
- C_e คือ สัมประสิทธิ์ของการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (ไม่มีหน่วย)
- Q_{actual} คือ ปริมาณลมจริงที่ไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
- Q_{theory} คือ ปริมาณลมสูงสุดตามทฤษฎีที่จะไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

4. ท่อดูดอากาศ (Hoods)

ท่อดูดอากาศ ทำหน้าที่ในการจับ ควบคุม หรือรับเอาสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิด โดยสามารถจำแนกออกได้เป็น

4.1 แบบปิดคลุม (Enclosure)

เป็นท่อดูดอากาศที่งานหรือขั้นตอนของงานซึ่งปล่อยมลพิษออกมานั้นถูกจัดให้อยู่ภายในตัวท่อดูดอากาศ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าท่อดูดอากาศชนิดนี้ครอบคลุมงานหรือขั้นตอนของงาน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ ยกตัวอย่างเช่น ตู้ควันในห้องปฏิบัติการเคมี เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 แสดงท่อดูดอากาศชนิดปิดคลุม

ที่มา: Washington State Department of Labor and Industries (2001)

ท่อดูดอากาศประเภทนี้ สิ่งที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งในการพิจารณาออกแบบ คือ ความเร็วลมที่ผ่านช่องเปิดของท่อดูดอากาศเข้าสู่ตัวท่อดูดอากาศซึ่งเรียกว่า “ความเร็วหน้าท่อดูดอากาศ” หรือ Face Velocity ตัวอย่างของความเร็วหน้าท่อดูดอากาศที่แนะนำให้ใช้สำหรับการควบคุมมลพิษจากท่อดูดอากาศซึ่งใช้กับกิจกรรมประเภทต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเร็วหน้าท่อดูดอากาศที่แนะนำให้ใช้ในกรณีต่าง ๆ

ท่อดูดอากาศที่ใช้กับกิจกรรมต่าง ๆ	ความเร็วหน้าท่อดูดอากาศ (เมตรต่อวินาที)
บูธงานเชื่อมโลหะ (welding booth)	0.762
บูธงานพ่นสี (paint spray booth)	0.508 – 1.016
ตู้ควันห้องปฏิบัติการ (laboratory hood)	0.508 – 0.762
ห้องพ่นทรายทำความสะอาดโลหะ (abrasive blasting room)	2.54
เอนโคลสเชอร์ครอบสายพาน (belt conveyor enclosure)	0.762 – 1.016
เอนโคลสเชอร์สำหรับถังเก็บวัสดุ (bin or hopper enclosure)	0.762 – 1.016

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

เมื่อกำหนดค่าความเร็วหน้าท่อดูดได้แล้ว สามารถคำนวณปริมาณลมที่จะต้องไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศและผ่านไปนท่อดูดของระบบระบายอากาศได้ จากสมการ

$$Q = V_a \times A_o \times F_s \quad (8)$$

เมื่อ

Q คือ ปริมาณลมที่ไหลผ่านระบบระบายอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

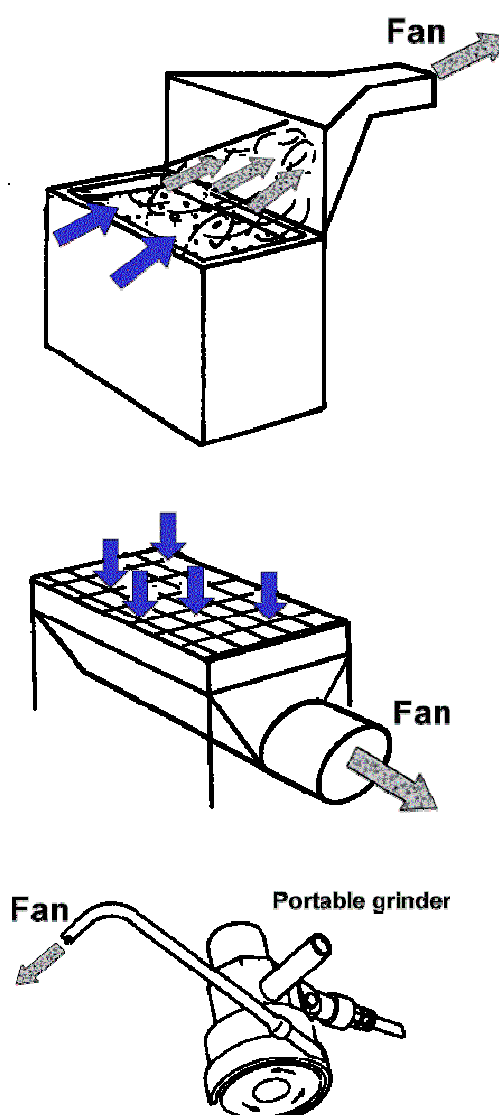
V_a คือ ความเร็วหน้าท่อดูดอากาศโดยเฉลี่ย (เมตร/วินาที)

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดของท่อดูดอากาศ (ตารางเมตร)

F_s คือ ตัวประกอบความปลอดภัย โดยทั่วไปมีค่า 1.0 – 1.5 (ไม่มีหน่วย)

4.2 แบบแคปเจอร์ริง (Capturing hoods)

เป็นท่อดูดอากาศที่งานหรือขั้นตอนของงานซึ่งปล่อยมลพิษออกสู่อากาศนั้นอยู่ห่างออกไปนอกตัวท่อดูดอากาศ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในการควบคุมมลพิษ ท่อดูดอากาศดังกล่าวจะต้องมีแรงดูด ซึ่งมากพอที่จะทำให้อากาศและมลพิษตรงบริเวณที่ต้องการควบคุมเกิดความเร็วขึ้นจนกระทั่งได้เป็นความเร็วที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงท่อดูดอากาศชนิดแคปเจอร์ริง

ที่มา: Washington State Department of Labor and Industries (2001)

ความเร็ว (ของอากาศและมลพิษซึ่งเคลื่อนที่เข้าสู่ห้องดูดอากาศ) ณ จุดควบคุมซึ่งอยู่ไกลจากห้องดูดอากาศมากที่สุดนี้ เรียกว่า “ความเร็วจับ” หรือ capture velocity ตัวอย่างความเร็วจับที่แนะนำให้ใช้เพื่อควบคุมมลพิษจากกรรมวิธีต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรม แสดงในตารางที่ 5

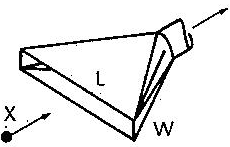
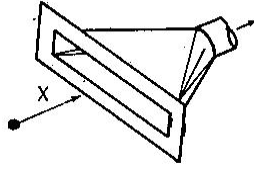
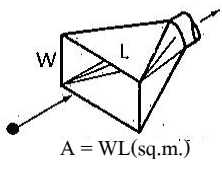
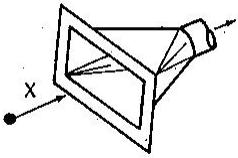
ตารางที่ 5 ความเร็วจับที่แนะนำให้ใช้เพื่อควบคุมมลพิษจากกิจกรรมประเภทต่าง ๆ

ภาวะการเกิดมลพิษและการเคลื่อนที่ของอากาศในห้อง	ตัวอย่าง	ความเร็วจับ (เมตรต่อวินาที)
1. มลพิษเกิดโดยไม่มีความเร็วดันอากาศในห้องสงบ	การระเหยของสารเคมีจากถัง	0.254 – 0.508
2. มลพิษเกิดด้วยความเร็วดันต่ำ อากาศในห้องเคลื่อนไหวบ้างปานกลาง	การพ่นสี การบรรจุสารลงภาชนะ การขนถ่ายด้วย สายพาน การทำความสะอาดผิวโลหะในถังสารเคมี	0.508 – 1.016
3. มลพิษเกิดโดยมีความเร็วดันสูง อากาศในห้องเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูง	การพ่นสีในบูธขึ้น ๆ การบรรจุสารลงถัง การขนถ่ายวัสดุด้วยสายพานความเร็วสูง การบดวัสดุ	1.016 – 2.54
4. มลพิษเกิดด้วยความเร็วดันสูงมาก อากาศในห้องมีความเร็วสูงมากด้วย	การเจียร การพ่นทรายทำ ความสะอาดผิวโลหะ	2.54 – 10.16

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

นอกจากนี้เมื่อทราบความเร็วจับที่ต้องการแล้ว จะส่งผลให้สามารถคำนวณปริมาณลมที่ต้องไหลผ่านเข้าสู่ระบบระบายอากาศได้ ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งปริมาณลมที่ทำให้เกิดความเร็วจับที่ต้องการ ณ จุดที่กำหนดสำหรับห้องดูดอากาศแต่ละแบบจะไม่เหมือนกัน

ตารางที่ 6 แสดงสมการเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณลมที่ต้องไหลผ่านเข้าสู่ระบบระบายอากาศ

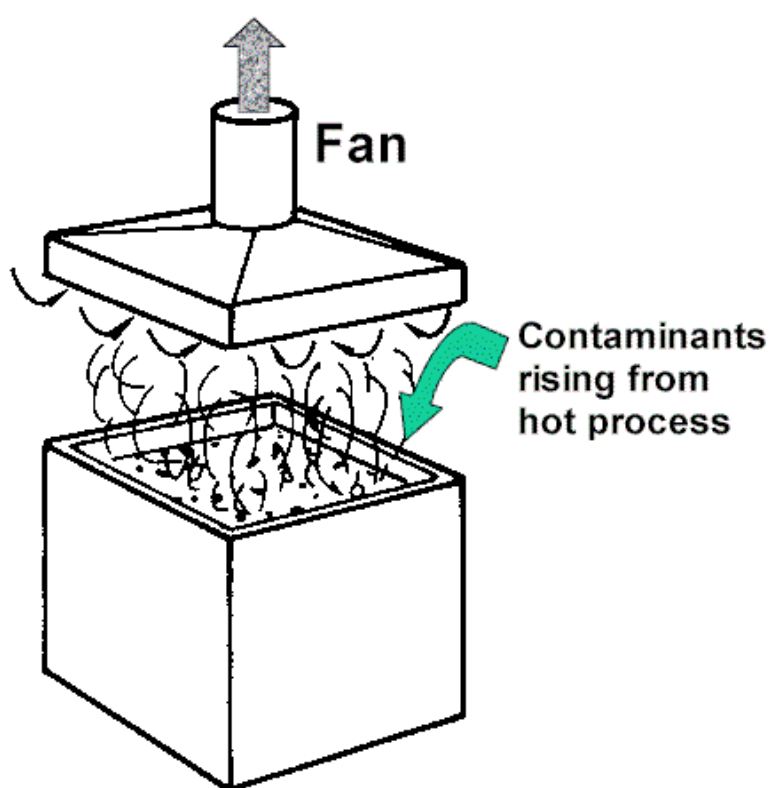
แบบของท่อดูดอากาศ	ชื่อเรียก	สัดส่วน W/L	สมการหาปริมาณลม
	Slot	0.2 หรือมากกว่า	$Q = 3.7 LVX$
	Flanged slot	0.2 หรือน้อยกว่า	$Q = 2.8 LVX$
	Plain opening	0.2 หรือมากกว่า หรือเป็นท่อกลม	$Q = V(10X^2 + A)$
	Flanged opening	0.2 หรือมากกว่า หรือเป็นท่อดูด อากาศกลม	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$

หมายเหตุ เมื่อจุดควบคุมอยู่ห่างจากท่อดูดอากาศเท่ากับ X (ฟุต) ความเร็วจับที่ต้องการเท่ากับ V (ฟุต/นาทีก) สำหรับท่อดูดอากาศประเภทแคปเจอร์รูปแบบต่าง ๆ

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

4.3 ท่อดูดอากาศแบบรีซีฟวิ่ง (Receiving hoods)

เป็นท่อดูดอากาศที่งานหรือขั้นตอนของงานซึ่งปล่อยมลพิษออกสู่อากาศอยู่ภายนอก ท่อดูดอากาศเช่นกันต่างกันตรงที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในกรณีที่มีมลพิษถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด โดยมีความเร็วเคลื่อนสูงไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ท่อดูดอากาศชนิดนี้จะถูกติดตั้งไว้ในทิศทาง การเคลื่อนที่ของมลพิษจากแหล่งกำเนิดนั้น โดยหันปากท่อดูดอากาศให้เปิดรับการไหลของมลพิษ เข้าสู่ท่อดูดอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 4

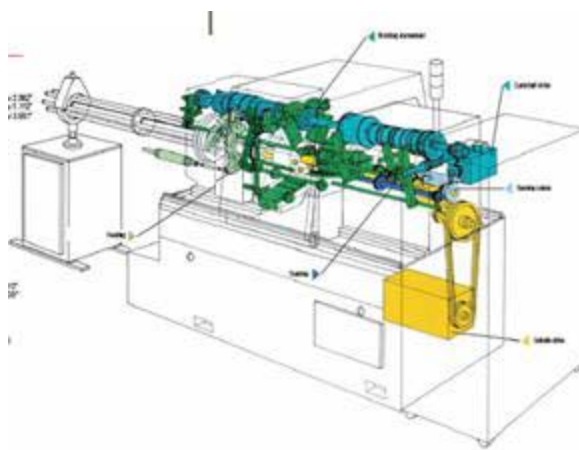


ภาพที่ 4 แสดงท่อดูดอากาศแบบรีซีฟวิ่ง

ที่มา: Washington State Department of Labor and Industries (2001)

ข้อมูลเครื่องจักร

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาการเกิดละอองน้ำมัน และการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของเครื่องจักรที่ใช้ในการตัดเจาะโลหะแบบ 6 Spindle 3 ชนิด ซึ่งในการใช้งานมีความแตกต่างกันในด้านความเร็วรอบของเพลลา ส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องจักรนี้แสดงไว้ในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงส่วนประกอบของเครื่องกลึงแบบ 6 เพลลา

เครื่องตัดเจาะโลหะนี้จะก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมันในจุดที่มีการตัดเจาะชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมันที่จุดตัดเจาะชิ้นงาน

1. เครื่อง TORNOS

เป็นเครื่องจักรที่ผลิตโดย TORNOS BECHLER มีความเร็วรอบใช้งานที่ 2,000 ถึง 4,700 รอบต่อนาที ภาพเครื่องจักร แสดงไว้ในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ภาพเครื่องจักร TORNOS

2. เครื่อง MITSUBISHI - HP16

เป็นเครื่องจักรที่ผลิตโดย MITSUBISHI มีความเร็วรอบใช้งานที่ 1,500 ถึง 2,400 รอบต่อนาที ภาพเครื่องจักร แสดงไว้ในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ภาพเครื่องจักร MITSUBISHI

3. เครื่องจักร ACME

เป็นเครื่องจักรที่ผลิตโดย ACME มีความเร็วรอบใช้งานที่ 1,000 ถึง 2,000 รอบต่อนาที ภาพเครื่องจักร แสดงไว้ในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ภาพเครื่องจักร ACME

ทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) จัดเป็นวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง (Response; y) หรือลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristics) ที่สนใจศึกษาหรือปรับปรุงของผลิตภัณฑ์จากระบบหรือกระบวนการ

1.1 การทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียว

การทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียว (Complete Randomized Design: CRD หรือ One-way ANOVA) เป็นการสนใจศึกษาปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว ซึ่งจำนวนระดับที่สนใจศึกษาของปัจจัยนี้เท่ากับ k ระดับ เพื่อดูว่าระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยนั้นจะมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่อย่างไร

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ CRD นี้ จะทำการวิเคราะห์ส่วนของความแปรปรวนจากสมการต้นแบบโดยเขียนตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว ได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีจำแนกทางเดียว

แหล่งที่มา	องศาเสรี	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยของ ผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F
วิธีปฏิบัติ	$k-1$	SSA	$MSA = \frac{SSA}{k-1}$	$F = \frac{MSA}{MSE}$
ความผิดพลาด	$N-k$	$SSE = SST - SSA$	$MSE = \frac{SSE}{N-k}$	
ทั้งหมด	$N-1$	SST		

ที่มา: ประไพศรี (2547)

1.2 การออกแบบแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม หรือการจำแนกสองทาง

การออกแบบแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม หรือการจำแนกสองทาง (Randomized Block Design: RBD หรือ Two-way ANOVA) เป็นการสนใจศึกษาผลกระทบของปัจจัยสองปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่างกัน โดยเรียกปัจจัยหนึ่งว่าวิธีปฏิบัติ ปัจจัยที่สองคือ ปัจจัยกลุ่ม (ลักษณะของข้อมูลที่สำคัญคือ ภายในกลุ่มเดียวกันต้องมีความคล้ายกันมากที่สุด และต่างกลุ่มกันมีความแตกต่างกันมากที่สุด) โดยการวิเคราะห์เขียนตารางได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม

แหล่งที่มา	องศาเสรี	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวก กำลังสอง	ค่าสถิติ F
วิธีปฏิบัติ	a-1	SSA	MSA	$F_A = \frac{MSA}{MSE}$
กลุ่ม	b-1	SSB	MSB	$F_B = \frac{MSB}{MSE}$
ความคลาด เคลื่อน	N-a-b+1	SSE	MSE	
ทั้งหมด	N-1	SST		

ที่มา: ประไพศรี (2547)

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรปัจจัยหรือตัวแปรอิสระกับค่าตอบสนองหรือตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันในลักษณะใด เพื่อประโยชน์ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม ทั้งนี้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ 1 ตัว กับตัวแปรตาม 1 ตัว โดยกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ตัวแบบจากกราฟแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot)

โปรแกรมจำลองการไหมของอากาศ Pyrosim

โปรแกรม Pyrosim เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้ช่วยในการจำลองสภาพการใช้งานจริงของระบบระบายอากาศในการวิจัยนี้ โดยทำงานร่วมกับโปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulation: FDS)

โปรแกรม Pyrosim เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการจำลองสภาพพื้นที่และอุปกรณ์ และใช้โปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัยในการจำลองรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ หรืออนุภาคต่าง ๆ เช่น ก้อน, ไอสารเคมี เป็นต้น โดยสามารถแสดงผลการจำลองได้ในรูปแบบ 3 มิติ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าม้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ธงชัย (2548) ได้ศึกษาเชิงวิเคราะห์ ในระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Ventilation System) จากพัดลมระบายอากาศ (Ventilation Fan) โดยอาศัยหลักการและทฤษฎีด้านกลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics Theory) กับการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Theory) โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นถึงค่าความเร็วของอากาศที่ต้องการนำไปใช้เพื่อทำการถ่ายเทความร้อนออกจากอุโมงค์ตามที่คำนวณได้กับค่าอุณหภูมิที่รักษาไว้ได้ในสภาวะปกติมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้ใช้ทำการออกแบบ แต่ในสภาวะใช้งานเต็มที่มีอุณหภูมิจะสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้

รุ่งทิพย์ (2539) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ สำหรับงานเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า โดยทำการศึกษาความเร็วลมหน้าท่อดูด (Face velocity) 3 ระดับ 50 , 150 และ 200 ฟุตต่อนาที ท่อดูด (Hood) ออกแบบสร้างและทดลอง 4 ชนิด ได้แก่ ท่อดูดไม่ติดปีก, ท่อดูดติดปีก 90 องศา, ท่อดูดติดปีก 60 องศา, ท่อดูดติดปีก 45 องศา โดยเก็บข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดเก็บปริมาณฟุ้งโลหะ ที่ระดับหายใจในสภาวะต่าง ๆ ผลการทดสอบพบว่า ความเร็วลมหน้าท่อดูด 200 ฟุตต่อนาที มีปริมาณฟุ้งโลหะที่ระดับหายใจต่ำที่สุด และที่ความเร็วหน้าท่อดูด 50 ฟุตต่อนาที มีปริมาณฟุ้งโลหะสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) และจากการเปรียบเทียบตามชนิดของท่อดูด พบว่าท่อดูดที่ติดปีก 90 องศา จะมีปริมาณฟุ้งโลหะที่ระดับหายใจต่ำที่สุด ส่วนท่อดูดที่ไม่ติดปีก จะมีปริมาณฟุ้งโลหะสูงสุด ที่ความเร็วลมหน้าท่อดูด 50 ฟุตต่อนาที แต่เมื่อมีการเพิ่มความเร็วหน้าท่อดูดเป็น 150 และ 200 ฟุตต่อนาที ท่อดูดที่ติดปีก 60 องศา หรือ 45 องศา จะมีปริมาณฟุ้งโลหะต่ำสุด ส่วนท่อดูดที่ไม่ติดปีก จะมีปริมาณฟุ้งโลหะสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$)

Khan et al. (2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการก่อให้เกิดละอองน้ำมัน ระหว่างกระบวนการ Milling และ Turning โดยศึกษาถึงชนิดของน้ำมัน และความเร็วรอบของ Spindle ที่มีผลต่ออัตราการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมัน โดยผลการศึกษาพบว่าที่ระดับความเร็วรอบสูงของกระบวนการ Milling และ Turning จะมีอัตราการเกิดปริมาณละอองน้ำมันสูงกว่า ที่ระดับความเร็วรอบต่ำ ส่วนการเปรียบเทียบชนิดของน้ำมันต่ออัตราการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมันในระดับความเร็ว

รอบของ Spindle สูงและต่ำ พบว่าชนิดของน้ำมันมีผลทำให้อัตราการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมัน
ที่ระดับความเร็วรอบของ Spindle สูงและต่ำแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. เครื่องวัดความเร็วลม TESTO 405
3. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ (Universal Sample Pump) SKC: PCXR8 ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ SKC: PCXR8

4. เครื่องตรวจสอบและสอบเทียบอัตราการไหล DRYCAL DCLITE ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงเครื่องตรวจสอบและสอบเทียบอัตราการไหล DRY CAL DC LITE

5. แผ่นกรอง Polyvinyl Chloride (PVC) ดังแสดงในภาพที่ 12



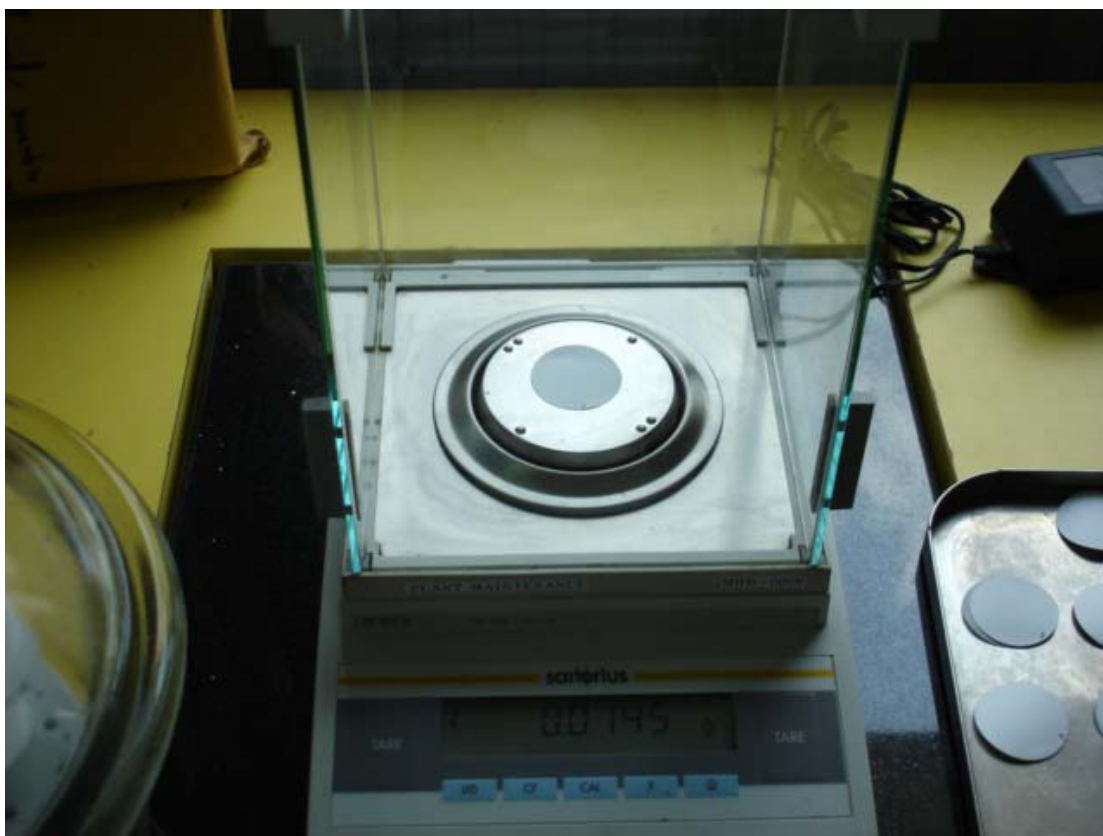
ภาพที่ 12 แผ่นกรอง Polyvinyl Chloride (PVC)

วิธีการ

1. ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ

2. เก็บข้อมูลของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน โดยการวัดค่าละอองน้ำมัน ใช้วิธีการ Filter and Gravimetric ซึ่งมีวิธีการวัด ดังนี้

2.1 นำกระดาษกรอง 2 แผ่น เข้าเครื่อง Desicator เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากกระดาษกรอง ดังแสดงในภาพที่ 13 การเคลื่อนย้ายแผ่นกรองให้ใช้อุปกรณ์ช่วย และห้ามใช้มือสัมผัสแผ่นกรอง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน



ภาพที่ 13 แสดงการซั่งกระดาษกรองด้วยเครื่อง Desicator

2.2 นำกระดาศกรองที่ผ่านการไล่ความชื้นแล้วมาชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกน้ำหนัก (หน่วยเป็นมิลลิกรัม)

2.3 นำกระดาศกรองที่ผ่านการอบแล้ว 1 แผ่น มาต่อเข้ากับเครื่องเก็บอากาศ พร้อมแผ่นรอง ดังแสดงในภาพที่ 14 และให้นำกระดาศกรอง 1 แผ่น ตั้งไว้ในห้องที่ไม่มีละออง น้ำมัน



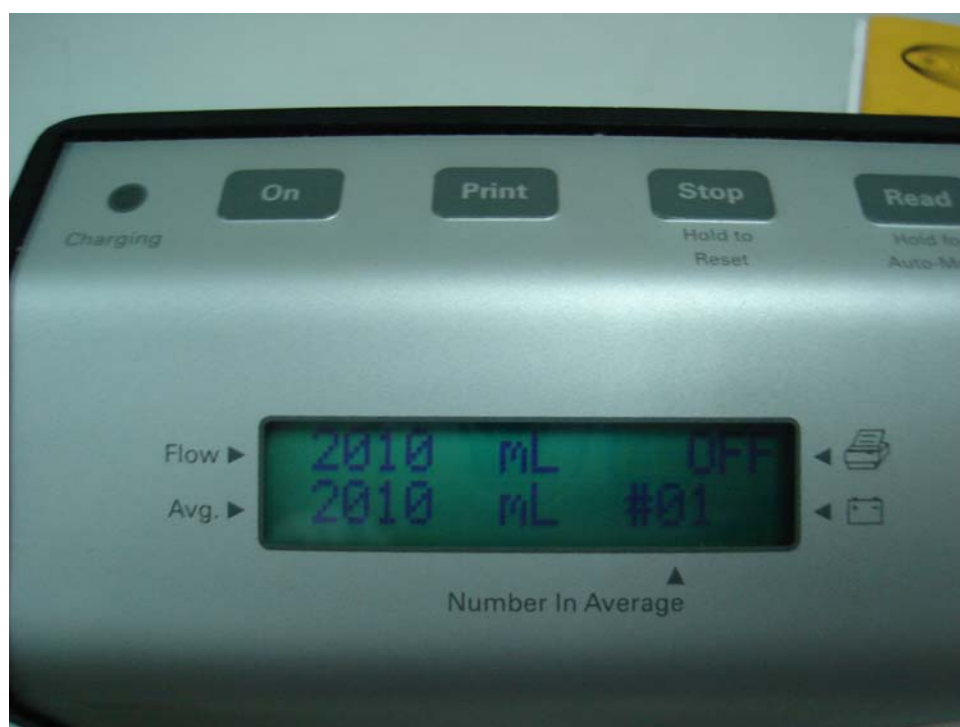
ภาพที่ 14 แสดงภาพกลับที่บรรจุแผ่นกรองแล้ว

2.4 ปรับอัตราการไหลเป็นแบบ High Flow

2.5 ต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเข้ากับเครื่อง Drycal ดังภาพที่ 15 จากนั้นตั้งอัตราการไหลให้ได้เท่ากับ 2000 มิลลิลิตรต่อนาที ดังภาพที่ 16 โดยยอมให้มีค่าคลาดเคลื่อนได้ร้อยละ 5



ภาพที่ 15 การต่อเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศกับเครื่อง Drycal



ภาพที่ 16 แสดงค่าที่ได้จากการตั้งอัตราการไหล

2.6 นำเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศไปตั้งไว้บริเวณเครื่องที่ต้องการตรวจวัดเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงการตั้งเครื่องวัดปริมาณละอองน้ำมันที่เครื่องจักร

2.7 นำกระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างอากาศแล้วเข้าเครื่อง Desicator เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.8 นำกระดาษกรองไปชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกน้ำหนัก

2.9 คำนวณหาความเข้มข้นของละอองน้ำมันจากสมการ

$$OM = \frac{((M_2 - M_1) - (B_2 - B_1)) \times 1000}{F \times T} \quad (9)$$

เมื่อ

OM = ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน (mg/m^3)

M_1 = น้ำหนักของกระดาศกรองก่อนการตรวจวัด (mg)

M_2 = น้ำหนักของกระดาศกรองหลังการตรวจวัด (mg)

B_1 = น้ำหนักของกระดาศกรองเปล่าก่อนการตรวจวัด (mg)

B_2 = น้ำหนักของกระดาศกรองเปล่าหลังการตรวจวัด (mg)

F = อัตราการไหล (litre/min)

T = เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ (min)

3. วิเคราะห์ข้อมูล ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB Version 14 โดยใช้ค่าสถิติ ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลากับปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และการประมาณแบบช่วงของผลต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's LSD

3.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบชนิดของเครื่องจักรกับปริมาณละอองน้ำมัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบสองทาง (Two-way ANOVA)

3.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับปริมาณละอองน้ำมันในเครื่องจักรแต่ละประเภทเพื่อหาสมการทำนายปริมาณละอองน้ำมัน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

4. จำลองรูปแบบการเกิดละอองน้ำมัน และการฟุ้งกระจาย โดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์ อคติกันบนโปรแกรม PYROSIM ตามขั้นตอน ดังนี้

4.1 สร้างแบบจำลองเครื่องจักร 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เครื่อง ACME และ MITSUBISHI (เครื่องจักรทั้ง 2 เครื่องนี้ มีขนาดห้องเครื่องเท่ากัน) และแบบที่ 2 เครื่อง TORNOS

4.2 กำหนดคุณสมบัติของละอองน้ำมัน ซึ่งน้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมัน ILOCUT 103T ละอองน้ำมันที่เกิดขึ้นให้ป้อนค่าเป็นอนุภาคที่ไม่มีน้ำหนัก

4.3 กำหนดค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร

4.4 จำลองรูปแบบการฟุ้งกระจายในกรณีที่ไม่มีระบบระบายอากาศ โดยใช้โปรแกรม พลศาสตร์อวกาศ

4.5 จำลองรูปแบบการฟุ้งกระจายในกรณีที่มีระบบระบายอากาศ โดยป้อนค่าความเร็ว จับที่ท่อดูดอากาศตามค่าที่วัดได้ในสภาพการใช้งานจริง

5. ทำรายงานฉบับสมบูรณ์

ผลและวิจารณ์

ผล

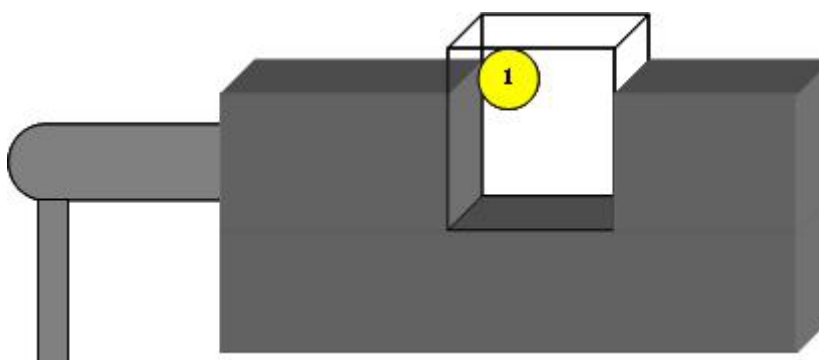
1. การตรวจวัดปริมาณละอองน้ำมัน

งานวิจัยนี้จะศึกษาปริมาณการเกิดละอองน้ำมันจากเครื่องจักรที่มาจาก 3 ผู้ผลิต ในช่วงความเร็วรอบ 3 ระดับ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 9 ซึ่งในเครื่องจักรใช้น้ำมัน ILOCUT 103T ซึ่งเป็นน้ำมันประเภท Neat oil ในการหล่อเย็น

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลความเร็วรอบของเพลานในเครื่องจักรที่ทำการวิจัย

เครื่องจักร	ความเร็วรอบที่ 1	ความเร็วรอบที่ 2	ความเร็วรอบที่ 3
ACME	1000	1500	2000
MITSUBISHI	1500	2000	2400
TORNOS	2400	3500	4700

ดำเนินการตรวจวัดที่ด้านในช่องเปิดของเครื่องจักร ดังตำแหน่งที่ 1 ในภาพที่ 18 โดยทำการวัดซ้ำแบบสุ่มในความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องจักร 3 ชนิด เป็นจำนวน 5 ครั้ง ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 10



ภาพที่ 18 ตำแหน่งการตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านในเครื่องจักร

ตารางที่ 10 แสดงผลการตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านในเครื่องจักร

เครื่องจักร	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเข้มข้นของละอองน้ำมันใน 1 ชั่วโมง (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				
		1	2	3	4	5
ACME	1000	0.833	0.833	0.417	0.833	0.583
	1500	1.250	1.000	0.833	0.833	0.833
	2000	1.250	1.000	1.667	1.000	1.583
MITSUBISHI	1500	1.250	0.833	1.333	0.583	1.083
	2000	1.250	1.417	1.333	1.500	1.333
	2400	1.333	1.667	1.417	1.833	1.833
TORNOS	2400	1.667	1.833	1.833	1.417	1.500
	3500	2.500	2.917	2.667	3.000	2.500
	4700	3.750	5.833	5.000	5.833	4.583

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลากับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

วิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 8 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลากับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน โดยแยกการวิเคราะห์ตามชนิดของเครื่องจักร

2.1 เครื่องจักร ACME

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ซึ่งพบว่าความเร็วรอบของเครื่องจักร ACME มีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} < 0.05$) ดังตารางที่ 11 และจากช่วงของผลต่างค่าเฉลี่ยที่สร้างด้วยวิธี Fisher's LSD ดังภาพผนวกที่ 1 สรุปได้ดังนี้

- เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาทีกับความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของละอองน้ำมันแตกต่างกัน โดยที่ระดับความความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาทีมีความเข้มข้นของละอองน้ำมันมากกว่าที่ 1000 รอบต่อนาที

- เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาทีกับความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของละอองน้ำมันไม่แตกต่างกัน

- เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที กับความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของละอองน้ำมันแตกต่างกัน โดยที่ระดับความความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที มีความเข้มข้นของละอองน้ำมันมากกว่าที่ 1500 รอบต่อนาที

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลารองจักร ACME กับ ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

แหล่งที่มา	องศาเสรี	ผลบวกกำลัง สอง	ค่าเฉลี่ยผลบวก กำลังสอง	ค่าสถิติ F	p-value
ความเร็วรอบ	2	0.9090	0.4545	8.05	0.006
ความผิดพลาด	12	0.6777	0.0565		
ทั้งหมด	14	1.5867			

2.2 เครื่องจักร MITSUBISHI

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ซึ่งพบว่าความเร็วรอบของเครื่องจักร MITSUBISHI มีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} < 0.05$) ดังตารางที่ 12 และจากช่วงของผลต่างค่าเฉลี่ยที่สร้างด้วยวิธี Fisher's LSD ดังภาพผนวกที่ 2 สรุปได้ดังนี้

- เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาทีกับความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของละอองน้ำมันแตกต่างกัน โดยที่ระดับความความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที มีความเข้มข้นของละอองน้ำมันมากกว่าที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที

- เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาทีกับความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของละอองน้ำมันแตกต่างกัน โดยที่ระดับความความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที มีความเข้มข้นของละอองน้ำมันมากกว่าที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที

- เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที กับความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที พบว่ามีความเข้มข้นของละอองน้ำมันไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลลาของเครื่องจักร MITSUBISHI กับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

แหล่งที่มา	องศาเสรี	ผลบวกกำลัง สอง	ค่าเฉลี่ยผลบวก กำลังสอง	ค่าสถิติ F	p-value
ความเร็วรอบ	2	0.9090	0.4545	8.61	0.005
ความผิดพลาด	12	0.6334	0.0528		
ทั้งหมด	14	1.5423			

2.3 เครื่องจักร TORNOS

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ซึ่งพบว่าความเร็วรอบของเครื่องจักร TORNOS มีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} < 0.05$) ดังตารางที่ 13 และจากช่วงของผลต่างค่าเฉลี่ยที่สร้างด้วยวิธี Fisher's LSD ดังภาพผนวกที่ 3 สรุปได้ว่าที่ทุกความเร็วรอบ มีความเข้มข้นของละอองน้ำมันแตกต่างกัน

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลลาของเครื่องจักร TORNOS กับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

แหล่งที่มา	องศาเสรี	ผลบวก กำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวก กำลังสอง	ค่าสถิติ F	p-value
ความเร็วรอบ	2	29.286	14.643	50.42	0.000
ความผิดพลาด	12	3.485	0.290		
ทั้งหมด	14	32.771			

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ ชนิดของเครื่องจักร กับปริมาณละอองน้ำมัน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลลา และ ชนิดของเครื่องจักรที่มีต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน โดยใช้ General Linear Model ในโปรแกรม MINITAB พบว่าความเร็วรอบมีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} < 0.05$) และชนิดของเครื่องจักร ไม่มีผลต่อปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน ($P\text{-Value} > 0.05$) ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลลา และชนิดเครื่องจักรกับความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

แหล่งที่มา	องศาเสรี	Seq SS	Adj SS	Adj MS	ค่าสถิติ F	p-value
ความเร็วรอบ	5	70.570	31.103	6.221	47.99	0.000
เครื่องจักร	2	0.025	0.025	0.012	0.10	0.908
ความผิดพลาด	37	4.796	4.796	0.130		
ทั้งหมด	44	75.391				

4. การหาสมการทำนายความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

นำข้อมูลจากตารางที่ 8 มาวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ด้วยโปรแกรม MINITAB เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน ได้ผลดังนี้

จากการใช้โปรแกรม MINITAB Version 14 เพื่อหาสมการทำนายปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน (Y) โดยมีตัวแปรอิสระคือ ความเร็วรอบของเพลลา โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 10 โดยแบ่งการหาสมการทำนายปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.1 เครื่องจักร ACME

ผลการหาสมการทำนายพบว่าสามารถสร้างสมการได้ เนื่องจากค่า $P\text{-Value} > 0.05$ โดยได้สมการถดถอยคือ

$$M_i = 0.083 + 0.000600 S \quad (10)$$

เมื่อ

M_i = ความเข้มข้นของตะกอนน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

S = ความเร็วรอบของเพลลา (รอบต่อนาที)

ผลการทดสอบความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit) พบว่าสมการมีความเหมาะสม (P-Value > 0.05) ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบสมการถดถอยของความเข้มข้นของตะกอนน้ำมันกับความเร็วรอบของเครื่องจักร ACME

แหล่งที่มา	องศาเสรี	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	P-value
สมการถดถอย	1	0.90060	0.90060	17.07	0.001
ความผิดพลาด	13	0.68606	0.05277		
Lack of Fit	1	0.00837	0.00837	0.15	0.707
Pure Error	12	0.67769	0.05647		
ทั้งหมด	14	1.58666			

The regression equation is

$$M_i = 0.083 + 0.000600 S$$

ตัวทำนาย	สัมประสิทธิ์	ค่าผิดพลาดมาตรฐาน	ค่าสถิติ T	P-Value
ค่าคงที่	0.0829	0.2259	0.37	0.719
ความเร็วรอบ	0.0006002	0.0001453	4.13	0.001

$$S = 0.229725 \quad R\text{-sq} = 56.8\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 53.4\%$$

จากการหาสมการทำนายพบว่า สมการถดถอยมีความเหมาะสม และจากผลลัพธ์ ค่า R-Sq (adj) = 53.4 % หมายถึงว่าความเร็วรอบของเพลลา (ตัวแปรอิสระ) ของเครื่องจักร ACME ที่ช่วงความเร็วรอบ 1000 ถึง 2000 รอบต่อนาที สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน) ได้ 53.4%

4.2 เครื่องจักร MITSUBISHI

ผลการหาสมการทำนายพบว่า สามารถสร้างสมการได้ เนื่องจากค่า P-Value > 0.05 โดยได้สมการถดถอยคือ

$$M_i = 0.019 + 0.000668 S \quad (11)$$

เมื่อ

M_i = ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

S = ความเร็วรอบของเพลลา (รอบต่อนาที)

ผลการทดสอบความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit) พบว่าสมการมีความเหมาะสม (P-Value > 0.05) ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบสมการถดถอยของความเข้มข้นของละอองน้ำมันกับความเร็วรอบของเครื่องจักร MITSUBISHI

แหล่งที่มา	องศาเสรี	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	P-value
สมการถดถอย	1	0.90803	0.90803	18.61	0.001
ความผิดพลาด	13	0.63430	0.04879		
Lack of Fit	1	0.00093	0.00093	0.02	0.896
Pure Error	12	0.63337	0.05278		
ทั้งหมด	14	1.54233			

The regression equation is

$$M_i = 0.019 + 0.000668 S$$

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ตัวทำนาย	สัมประสิทธิ์	ค่าผิดพลาด มาตรฐาน	ค่าสถิติ T	P-Value
ค่าคงที่	0.0829	0.2259	0.37	0.719
ความเร็วรอบ	0.0006002	0.0001453	4.13	0.001

S = 0.220890 R-sq = 58.9% R-sq(adj) = 55.7%

จากการหาสมการทำนายพบว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสม และจากผลลัพธ์ ค่า R-Sq (adj) = 55.7 % หมายถึงว่าความเร็วรอบของเพลลา (ตัวแปรอิสระ) ของเครื่องจักร MITSUBISHI ที่ช่วงความเร็วรอบ 1500 ถึง 2400 รอบต่อนาที สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน) ได้ 55.7%

4.3 เครื่องจักร TORNOS

ผลการหาสมการทำนายพบว่าสามารถสร้างสมการได้ เนื่องจากค่า P-Value > 0.05 โดยได้สมการถดถอยคือ

$$M_i = -2.05 + 0.00146 S \quad (12)$$

เมื่อ

M_i = ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

S = ความเร็วรอบของเพลลา (รอบต่อนาที)

ผลการทดสอบความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit) พบว่าสมการมีความเหมาะสม (P-Value > 0.05) ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบสมการถดถอยของความเข้มข้นของละอองน้ำมันกับความเร็วยรอบของเครื่องจักร TORNOS

แหล่งที่มา	องศาเสรี	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ F	P-value
สมการถดถอย	1	28.331	28.331	82.96	0.000
ความผิดพลาด	13	4.439	0.341		
Lack of Fit	1	0.954	0.954	3.29	0.095
Pure Error	12	3.485	0.290		
ทั้งหมด	14	32.771			

The regression equation is

$$M = -2.05 + 0.00146 S$$

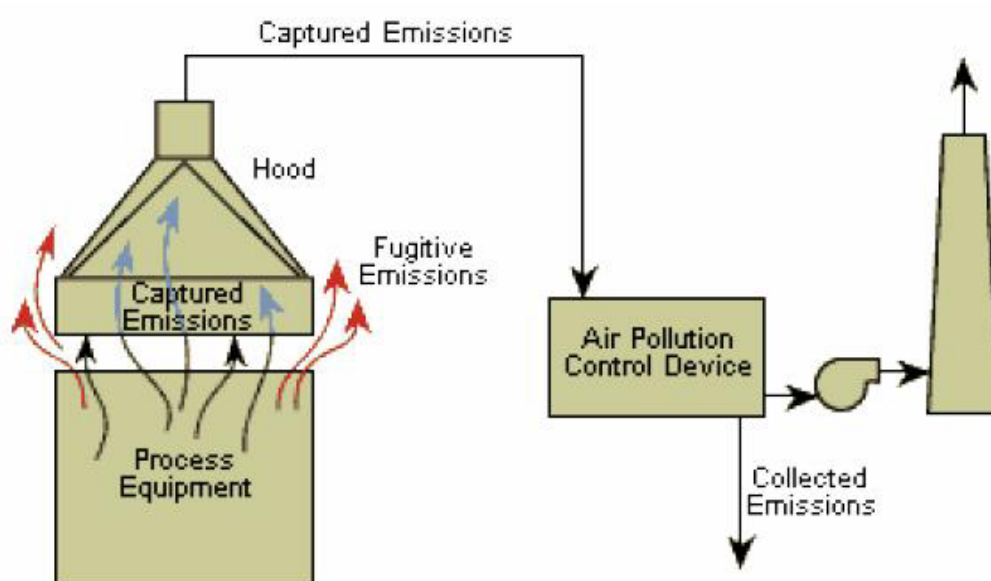
ตัวทำนาย	สัมประสิทธิ์	ค่าผิดพลาดมาตรฐาน	ค่าสถิติ T	P-Value
ค่าคงที่	-2.0477	0.5873	-3.49	0.004
ความเร็วรอบ	0.0014632	0.0001606	9.11	0.000

$$S = 0.584378 \quad R\text{-sq} = 86.5\% \quad R\text{-sq(adj)} = 85.4\%$$

จากการหาสมการทำนายพบว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสม และจากผลลัพธ์ค่า $R\text{-Sq (adj)} = 85.4\%$ หมายถึงว่าความเร็วยรอบของเพลลา (ตัวแปรอิสระ) ของเครื่องจักร TORNOS ที่ช่วงความเร็วยรอบ 2400 ถึง 4700 รอบต่อนาที สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน) ได้ 85.4%

5. การวิเคราะห์ระบบระบายอากาศ

การวิเคราะห์ระบบระบายอากาศ เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของระบบระบายอากาศ ปัจจุบันที่ใช้งานอยู่นั้น จะใช้ลักษณะการฟุ้งกระจายของมลพิษที่ออกสู่บรรยากาศการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 19 เป็นต้นแบบ



ภาพที่ 19 รูปแบบการฟุ้งกระจายของมลพิษทางอากาศจากเครื่องจักร

ที่มา: Environmental Protection Agency (2006)

ปริมาณละอองน้ำมันที่เกิดขึ้น (Total Emissions) จะฟุ้งกระจายออกจากเครื่องจักร หรือ Process Equipment โดยจะมีละอองน้ำมันส่วนหนึ่งถูกดูดเข้าสู่ระบบระบายอากาศ (Captured Emissions) และมีละอองน้ำมันอีกส่วนหนึ่งหลุดออกสู่บรรยากาศการทำงาน (Fugitive Emissions) โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 13

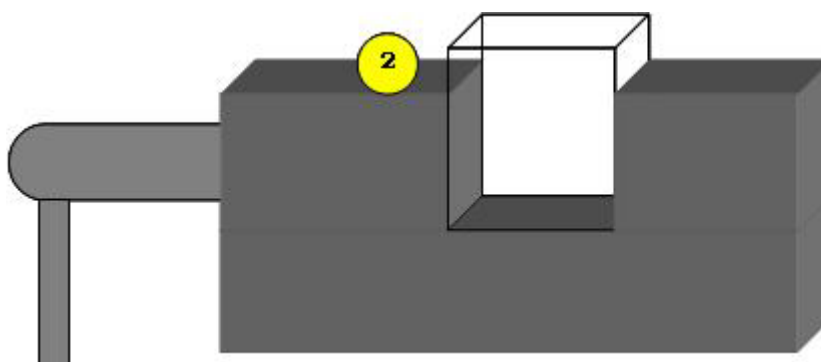
$$F_g = E_t - E_c \quad (13)$$

เมื่อ F_g = ปริมาณละอองน้ำมันที่หลุดออกสู่บรรยากาศการทำงาน หรือ Fugitive Emissions (มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)

E_t = ปริมาณละอองน้ำมันทั้งหมดที่ฟุ้งกระจายออกจากเครื่องจักร หรือ Total Emissions (มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)

E_c = ปริมาณละอองน้ำมันที่ระบบระบายอากาศสามารถดูดได้ หรือ Captured Emissions (มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)

การหาปริมาณละอองน้ำมันที่หลุดออกสู่บรรยากาศการทำงาน (Fugitive emissions) จะต้องทราบความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านนอกเครื่องจักรก่อน โดยการตรวจวัดจะตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศในตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 20 จะได้ข้อมูลความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านนอกเครื่องจักร ดังแสดงในตารางที่ 18



ภาพที่ 20 ตำแหน่งการตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านนอกเครื่องจักร

ตารางที่ 18 ตารางแสดงข้อมูลความเข้มข้นของละอองน้ำมันที่วัดด้านนอกเครื่องจักร

เครื่องจักร	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเข้มข้นของละอองน้ำมันใน 1 ชั่วโมง (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)				
		1	2	3	4	5
ACME	1000	0.417	0.500	0.167	0.417	0.250
	2000	0.583	0.500	0.667	0.417	0.667
MITSUBISHI	1500	0.583	0.500	0.667	0.333	0.500
	2400	0.667	0.833	0.667	0.833	0.833
TORNOS	2400	0.833	0.833	0.750	0.750	0.833
	4700	1.333	2.500	2.500	3.333	2.083

การตรวจวัดเพื่อหาความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้านนอกเครื่องจักรนี้จะตรวจวัดที่ระดับความเร็วรอบที่ 1 และความเร็วรอบที่ 3 เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลลาของเครื่องจักรกับปริมาณการเกิดละอองน้ำมันนั้นพบว่าที่ความเร็วรอบที่ 1 และที่ความเร็วรอบที่ 2 มีความเข้มข้นของละอองน้ำมันไม่แตกต่างกัน

จากนั้นนำข้อมูลจากตารางที่ 10 มาหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของละอองน้ำมันจากการวัดด้านในช่องเปิดของเครื่องจักร และนำข้อมูลจากตารางที่ 18 มาหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของละอองน้ำมันที่หลุดออกสู่บรรยากาศการทำงานจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของละอองน้ำมันของเครื่องกลึง

เครื่องจักร	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเข้มข้นของละอองน้ำมันใน 1 ชั่วโมง (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	
		ค่าเฉลี่ยของละอองน้ำมัน ที่ฟุ้งกระจายทั้งหมด	ค่าเฉลี่ยของละอองน้ำมันที่หลุด ออกสู่บรรยากาศการทำงาน
ACME	1000	0.6998	0.3500
	2000	1.3	0.5667
MITSUBISHI	1500	1.0164	0.5167
	2400	1.6166	0.7667
TORNOS	2400	1.6500	0.8000
	4700	4.9998	2.3500

เมื่อได้ความเข้มข้นของละอองน้ำมันทั้งภายใน และภายนอกเครื่องจักรแล้ว สามารถนำมาหาปริมาณละอองน้ำมัน Total emissions และ Fugitive emissions ได้ โดยการนำข้อมูลในตารางที่ 19 ไปแทนค่าความเข้มข้นของละอองน้ำมันในสมการที่ 9 จะได้ ปริมาณละอองน้ำมัน (มิลลิกรัม) ต่อชั่วโมง ดังข้อมูลในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ปริมาณละอองน้ำมันภายใน และภายนอกเครื่องจักร

เครื่องจักร	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณละอองน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)	
		ด้านในเครื่องจักร (Total Emissions)	ด้านนอกเครื่องจักร (Fugitive Emissions)
ACME	1000	0.0840	0.0420
	2000	0.1560	0.0680
MITSUBISHI	1500	0.1220	0.0620
	2400	0.1940	0.0920
TORNOS	2400	0.1980	0.0960
	4700	0.6000	0.2820

ผู้วิจัยใช้ค่ามาตรฐานของ ACGIH เป็นค่าอ้างอิงเพื่อกำหนดค่าที่ต้องการควบคุม ซึ่ง ACGIH ระบุว่าความเข้มข้นของละอองน้ำมันตลอดเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ACGIH, 2003) เมื่อนำค่ามาตรฐานนี้ไปแทนค่าในความเข้มข้นของละอองน้ำมันตามสมการที่ 9 จะพบว่าถ้าต้องการควบคุมปริมาณละอองน้ำมันไม่ให้เกินค่าที่ต้องการควบคุมนั้น จะต้องควบคุมไม่ให้ละอองน้ำมันฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศการทำงาน (Fugitive emissions) เกินกว่า 0.024 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ด้านนอกเครื่องจักรในตารางที่ 20 จะพบว่าปริมาณละอองน้ำมันที่ตรวจวัดได้มีค่าเกินค่าที่ต้องการควบคุม

นำข้อมูลปริมาณละอองน้ำมันด้านนอกเครื่องจักร (Fugitive emissions) ในตารางที่ 20 มาคำนวณหาปริมาณละอองน้ำมันที่ระบบระบายอากาศต้องดูดเพิ่ม จากสมการที่ 14 จะทำให้ทราบถึงปริมาณละอองน้ำมันที่ระบบระบายอากาศต้องดูดออกเพิ่ม เพื่อควบคุมไม่ให้เกินค่าที่ต้องการควบคุม ดังข้อมูลในตารางที่ 21

$$\text{ปริมาณละอองน้ำมันที่ต้องดูดเพิ่ม (มิลลิกรัม/ชั่วโมง)} = F_g - 0.024 \quad (14)$$

ตารางที่ 21 ปริมาณละอองน้ำมันที่ระบบระบายอากาศต้องดูดเพิ่มเพื่อควบคุมให้อยู่ในค่าที่ควบคุม

เครื่องจักร	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณละอองน้ำมันที่ต้องดูดเพิ่ม (มิลลิกรัม/ชั่วโมง)
ACME	1000	0.042
	2000	0.068
MITSUBISHI	1500	0.062
	2400	0.092
TORNOS	2400	0.096
	4700	0.282

ระบบระบายอากาศที่ใช้งานในปัจจุบันออกแบบโดยใช้สมการและข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 22 โดยการเลือกค่าความเร็วจับที่ได้แนะนำไว้ในตารางที่ 5 สำหรับมลพิษที่เกิดด้วยความเร็วต่ำที่ระดับ 1.02 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 22 ข้อมูลระบบระบายอากาศของเครื่องจักรตามการออกแบบที่ใช้งานในปัจจุบัน

เครื่องจักร	ข้อมูลท่อดูดอากาศ			
	ชนิด	สมการที่ใช้	ข้อมูลที่ใช้ในสมการ	ปริมาณลม
ACME	Plain opening	$Q = V(10X^2 + A)$	$V = 1.02 \text{ m/s}$ $X = 0.1 \text{ m.}$ $A = 2.5 \text{ m}^2$	$2.65 \text{ m}^3/\text{s}$
MITSUBISHI	Plain opening	$Q = V(10X^2 + A)$	$V = 1.02 \text{ m/s}$ $X = 0.1 \text{ m.}$ $A = 2.5 \text{ m}^2$	$2.65 \text{ m}^3/\text{s}$
TORNOS	Slot	$Q = 3.7LVX$	$V = 1.02 \text{ m/s}$ $L = 0.25 \text{ m.}$ $X = 0.05 \text{ m.}$	$0.047 \text{ m}^3/\text{s}$

จากการตรวจวัดความเร็วจับของเครื่องจักร แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบปริมาณลม และความเร็วจับตามแบบ กับปริมาณลม และความเร็วจับที่วัดได้ในปัจจุบัน จะได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ตารางเปรียบเทียบปริมาณลม และความเร็วจับตามทฤษฎีกับสภาพการใช้งานปัจจุบัน

เครื่องจักร	ความเร็ว	ปริมาณละออง		ปริมาณลม		ความเร็วจับ	
	รอบ	(มิลลิกรัม/ชั่วโมง)		(ลบ.ม./วินาที)		(เมตร/วินาที)	
	(รอบต่อวินาที)	ที่ดูดเข้าท่อ	ที่ต้องดูดเพิ่ม	ตามแบบ	ปัจจุบัน	ตามแบบ	ปัจจุบัน
ACME	1000	0.042	0.042	2.65	4.42	1.02	1.7
	2000	0.088	0.068	2.65	4.42	1.02	1.7
MITSUBISHI	1500	0.060	0.062	2.65	4.42	1.02	1.7
	2400	0.102	0.092	2.65	4.42	1.02	1.7
TORNOS	2400	0.102	0.096	0.047	0.055	1.02	1.2
	4700	0.318	0.282	0.047	0.055	1.02	1.2

จากข้อมูลในตารางที่ 23 พบว่าความเร็วจับในปัจจุบันมีค่ามากกว่าค่าที่ได้ตามการออกแบบ ซึ่งพบว่ายังไม่สามารถดูดละอองน้ำมันออกให้อยู่ในค่าที่ต้องการควบคุมได้ แสดงให้เห็นว่าความเร็วจับที่เลือกในการออกแบบระบบนั้นไม่เหมาะสม ดังนั้นการพิจารณาเลือกความเร็วจับนั้นควรพิจารณาถึงความเร็วรอบของเพลลาของเครื่องจักรด้วย หากเครื่องจักรมีความเร็วรอบสูงจะทำให้มลพิษที่เกิดขึ้นมีความเร็วต้นสูงด้วย จึงควรที่จะเลือกความเร็วจับให้มากขึ้น ซึ่งอาจใช้ค่าที่แนะนำไว้ในตารางที่ 5 โดยเพิ่มความเร็วจับเป็น 2.5 เมตรต่อวินาที จะทำให้สามารถดูดละอองน้ำมันออกได้มากขึ้น

5. จำลองรูปแบบการเกิดละอองน้ำมันโดยโปรแกรมPYROSIM

จากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าความเร็วรอบของเพลาคือปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน ผู้วิจัยจำลองรูปแบบการเกิดละอองน้ำมันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PYROSIM โดยทำการจำลองสภาพเครื่องจักร และกำหนดค่าการเกิดละอองน้ำมันตามความเร็วลมที่วัดได้ในเครื่องจักรแต่ละประเภท โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลม Testo 405 วัดความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร ในตำแหน่งด้านบนเครื่องจักร ตามภาพที่ 21 โดยข้อมูลความเร็วลมแสดงไว้ในตารางที่ 24



ภาพที่ 21 แสดงการตรวจวัดความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร

ตารางที่ 24 ความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร

เครื่องจักร	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
ACME	1000	0.02
	2000	0.02
MITSUBISHI	1500	0.02
	2400	0.04
TORNOS	2400	0.04
	4700	0.05

จากการตรวจวัดความเร็วลมพบว่าเครื่องจักรที่มีระดับความเร็วรอบสูง จะมีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักรสูงกว่าที่ระดับความเร็วรอบที่ต่ำกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นนี้สัมพันธ์กับความเร็วรอบของเพลลา

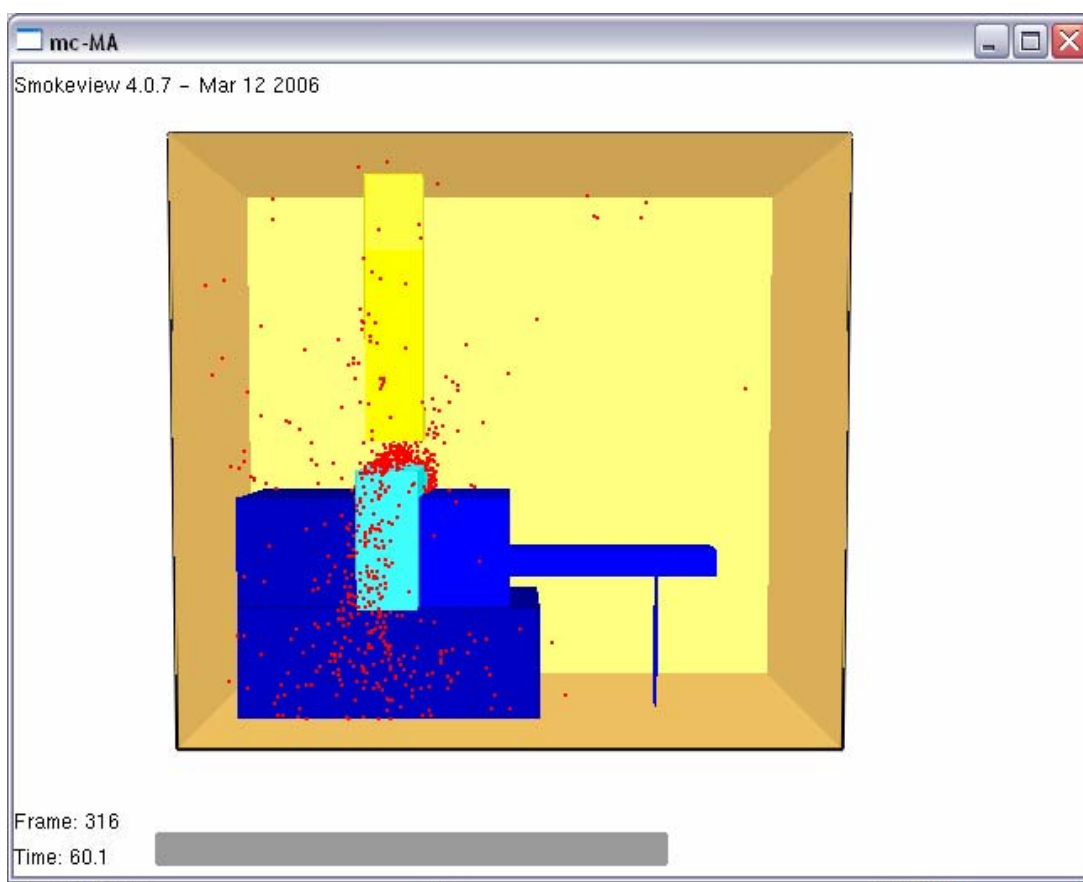
จากนั้นนำความเร็วลมที่ได้จากการตรวจวัดไปป้อนค่าในโปรแกรม Pyrosim เพื่อจำลองการเกิดละอองน้ำมัน โดยกำหนดคุณสมบัติของอนุภาคเป็นชนิดไม่มีน้ำหนักและป้อนค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร และความเร็วจับที่ท่อดูดอากาศ ดังนี้

5.1 เครื่องจักร ACME และ MITSUBISHI

เนื่องจากเครื่องจักรทั้ง 2 ชนิดนี้ ใช้ระบบดูดอากาศเหมือนกัน จึงสามารถจำลองการเกิดละอองน้ำมันร่วมกันได้ โดยกำหนดค่าในโปรแกรม Pyrosim ดังนี้

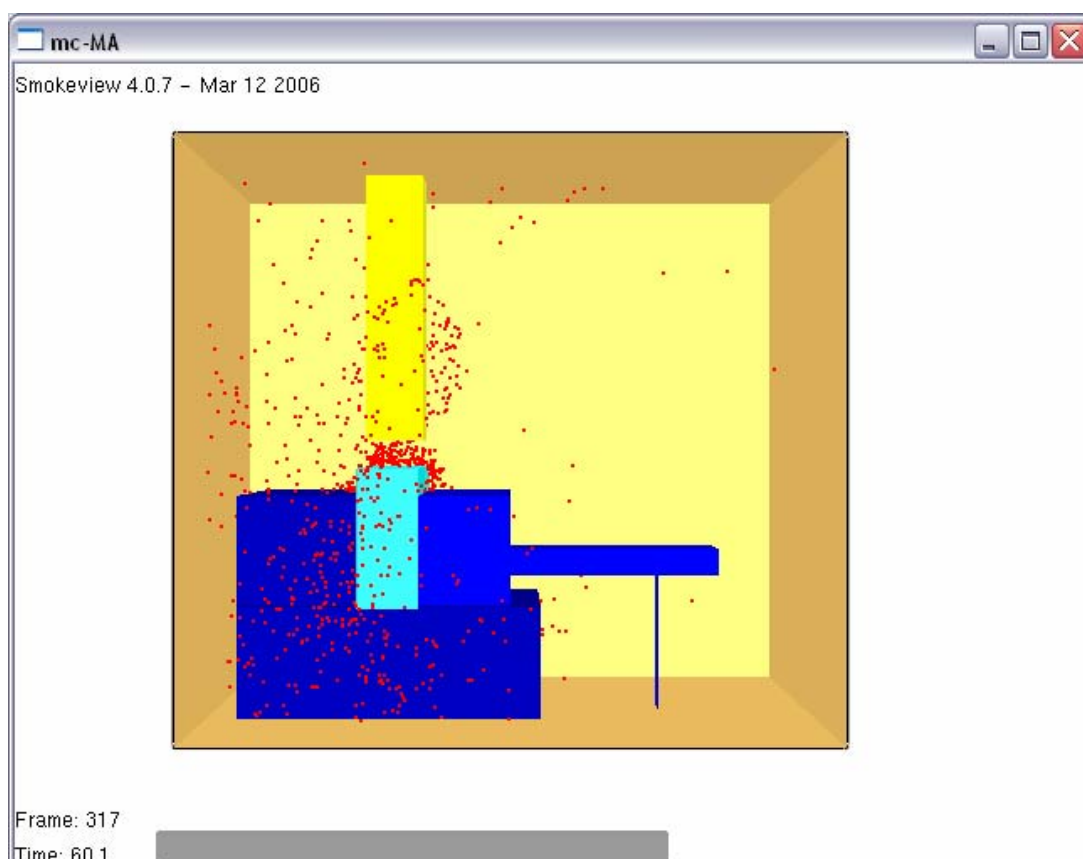
5.1.1 การจำลองแบบไม่มีระบบระบายอากาศ

(1) ค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.02 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาการทำงาน 60 วินาที จะได้ภาพจำลองดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง ACME และ MITSUBISHI ที่มีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.02 เมตรต่อวินาที และไม่มีระบบระบายอากาศ

(2) ค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาการทำงาน 60 วินาที จะได้ภาพจำลองดังแสดงในภาพที่ 23

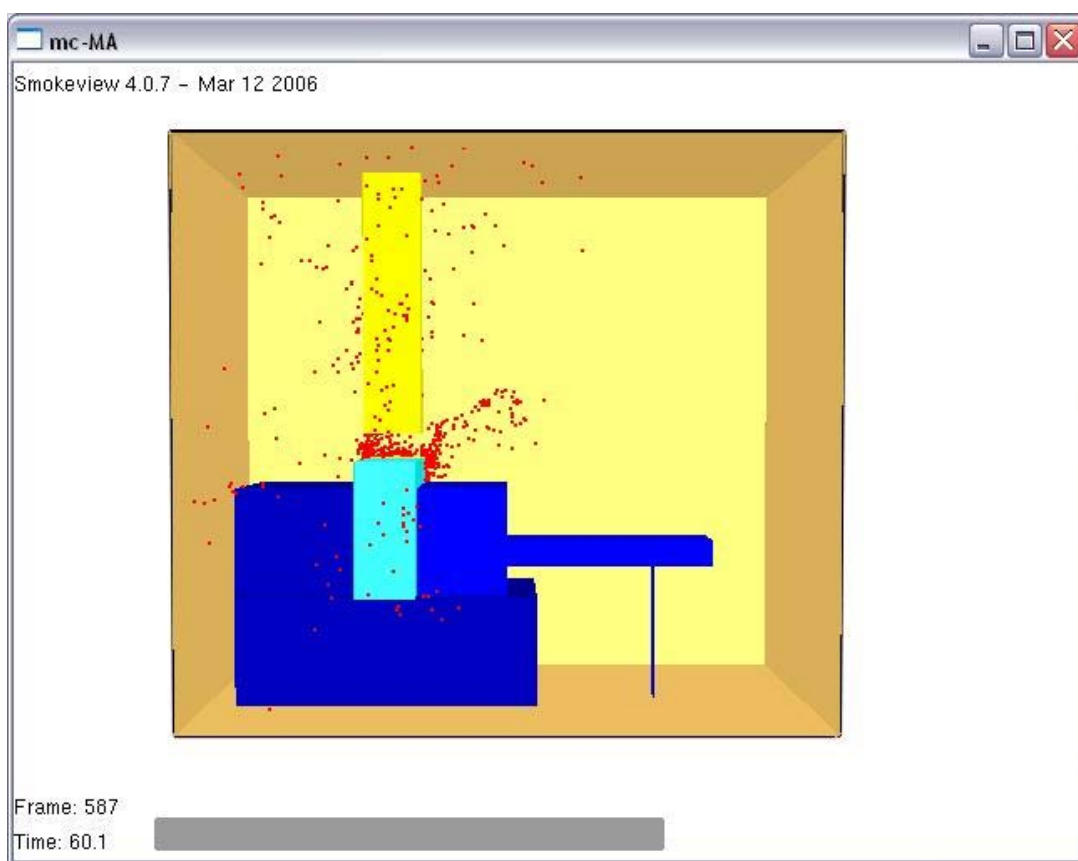


ภาพที่ 23 ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง ACME และ MITSUBISHI ที่มีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที และไม่มีระบบระบายอากาศ

เมื่อนำภาพที่ 22 และ ภาพที่ 23 มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่าภาพที่ 23 มีปริมาณของละอองน้ำมันฟุ้งกระจายมากกว่าภาพที่ 22 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบสูง จะมีการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมันมากกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ตรวจวัดได้

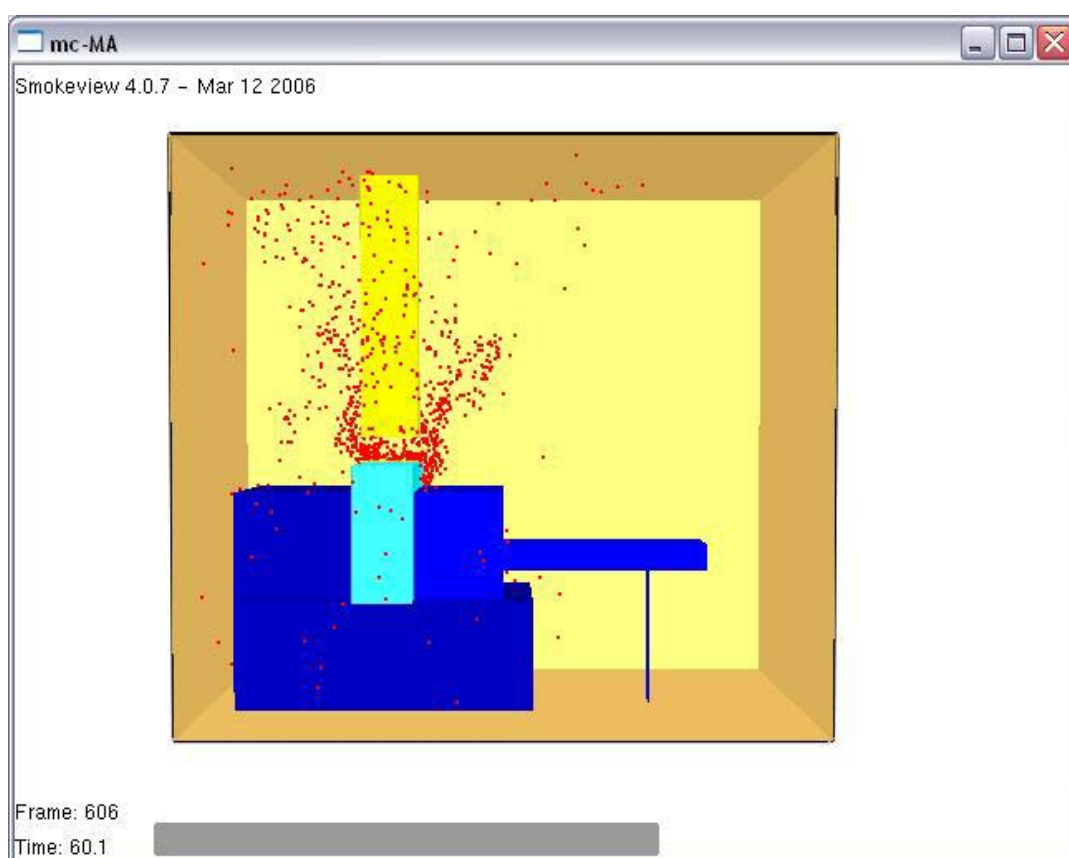
5.1.2 การจำลองแบบมีระบบระบายอากาศ

(1) ค่าความเร็วลมส่งออก 0.02 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาการทำงาน 60 วินาที ความเร็วจับ 1.7 เมตรต่อวินาที จะได้ภาพจำลองดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง ACME และ MITSUBISHI ที่มีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.02 เมตรต่อวินาที และความเร็วจับ 1.7 เมตรต่อวินาที

(2) ค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาการทำงาน 60 วินาที ความเร็วจับ 1.7 เมตรต่อวินาที จะได้ภาพจำลองดังแสดงในภาพที่ 25



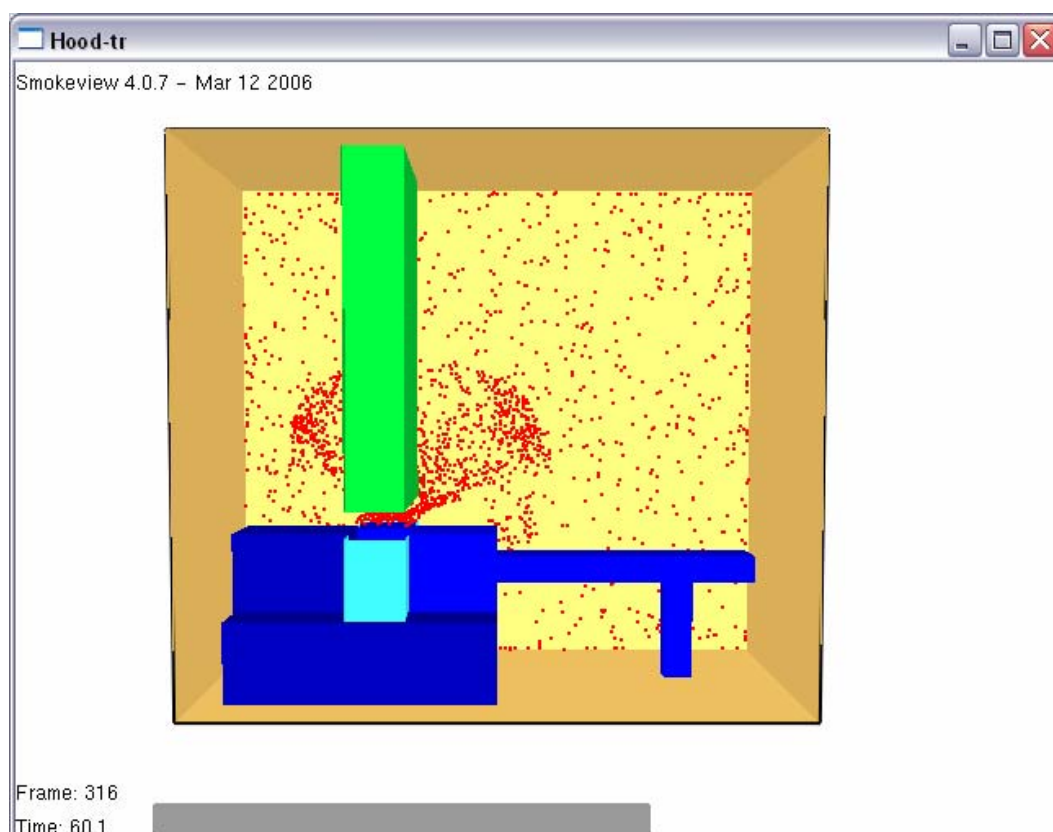
ภาพที่ 25 ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง ACME และ MITSUBISHI ที่มีความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที และความเร็วจับ 1.7 เมตรต่อวินาที

เมื่อนำภาพที่ 24 และ ภาพที่ 25 มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่าภาพที่ 25 มีปริมาณของละอองน้ำมันฟุ้งกระจายมากกว่าภาพที่ 24 แสดงให้เห็นว่าความเร็วจับที่ทอดูดอากาศที่ใช้กับเครื่องจักรที่ความเร็วรอบสูงไม่สามารถที่จะดูดละอองน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 เครื่องจักร TORNOS

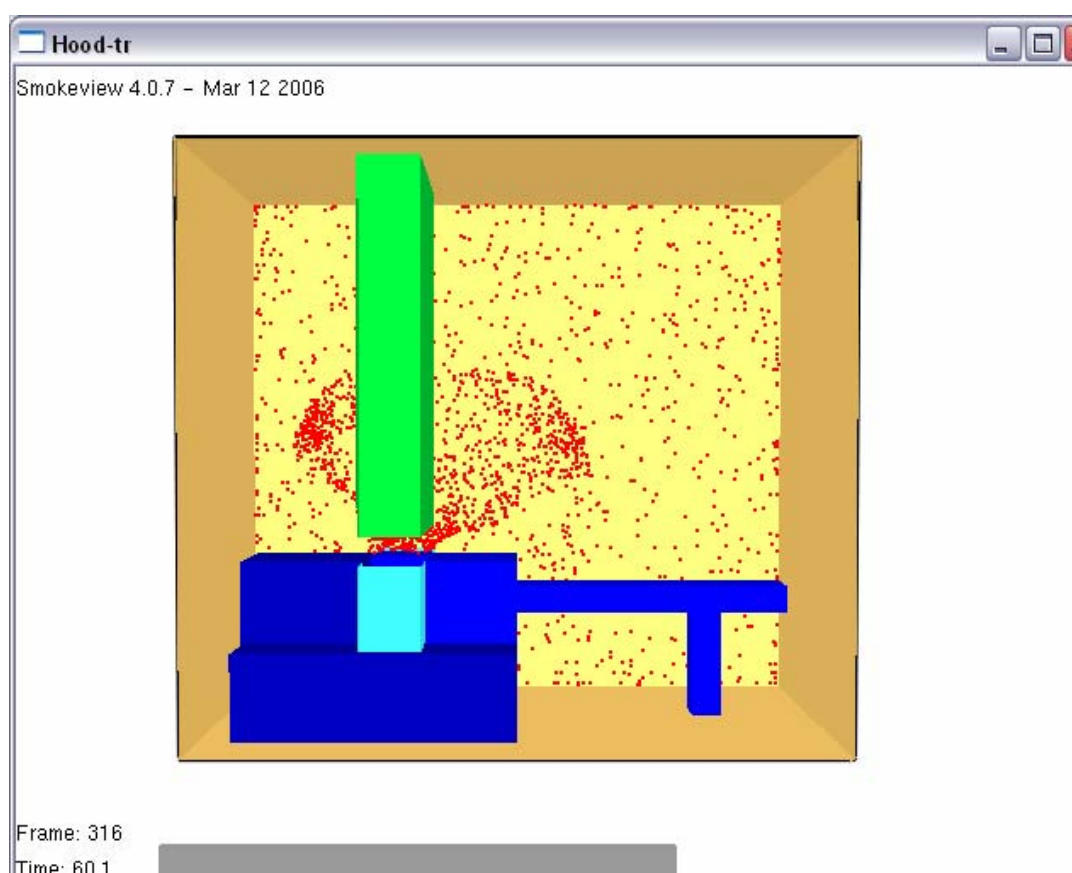
5.2.1 การจำลองแบบไม่มีระบบระบายอากาศ

(1) ค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาการทำงาน 60 วินาที จะได้ภาพจำลองดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง TORNOS ที่มีความเร็วลมที่เกิดจาก
กระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที และไม่มีระบบระบายอากาศ

(2) ค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.05 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาการทำงาน 60 วินาที และความเร็วจับ 1.2 เมตรต่อวินาที จะได้ภาพจำลองดังแสดงในภาพที่ 27

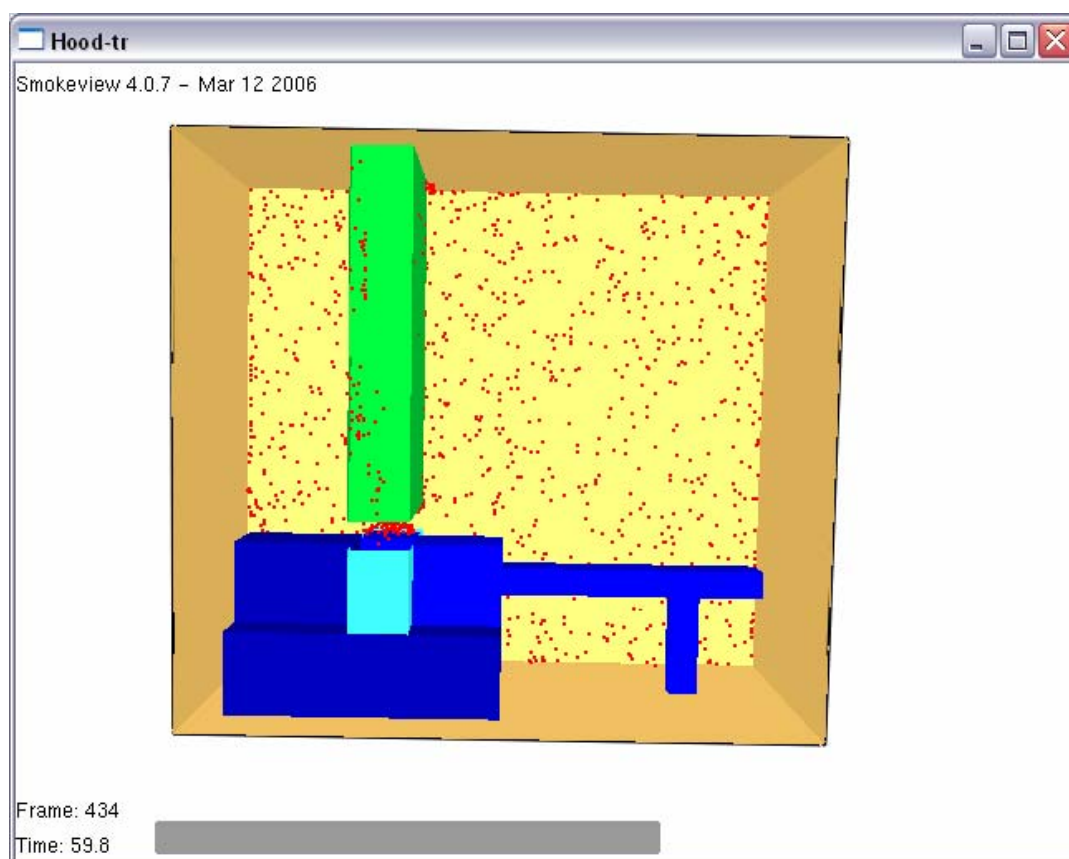


ภาพที่ 27 ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง TORNOS ที่มีความเร็วลมที่เกิดจาก
กระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.05 เมตรต่อวินาที และไม่มีระบบระบายอากาศ

เมื่อนำภาพที่ 26 และ ภาพที่ 27 มาเปรียบเทียบกันพบว่า มีลักษณะการฟุ้งกระจาย
และปริมาณละอองน้ำมันใกล้เคียงกัน

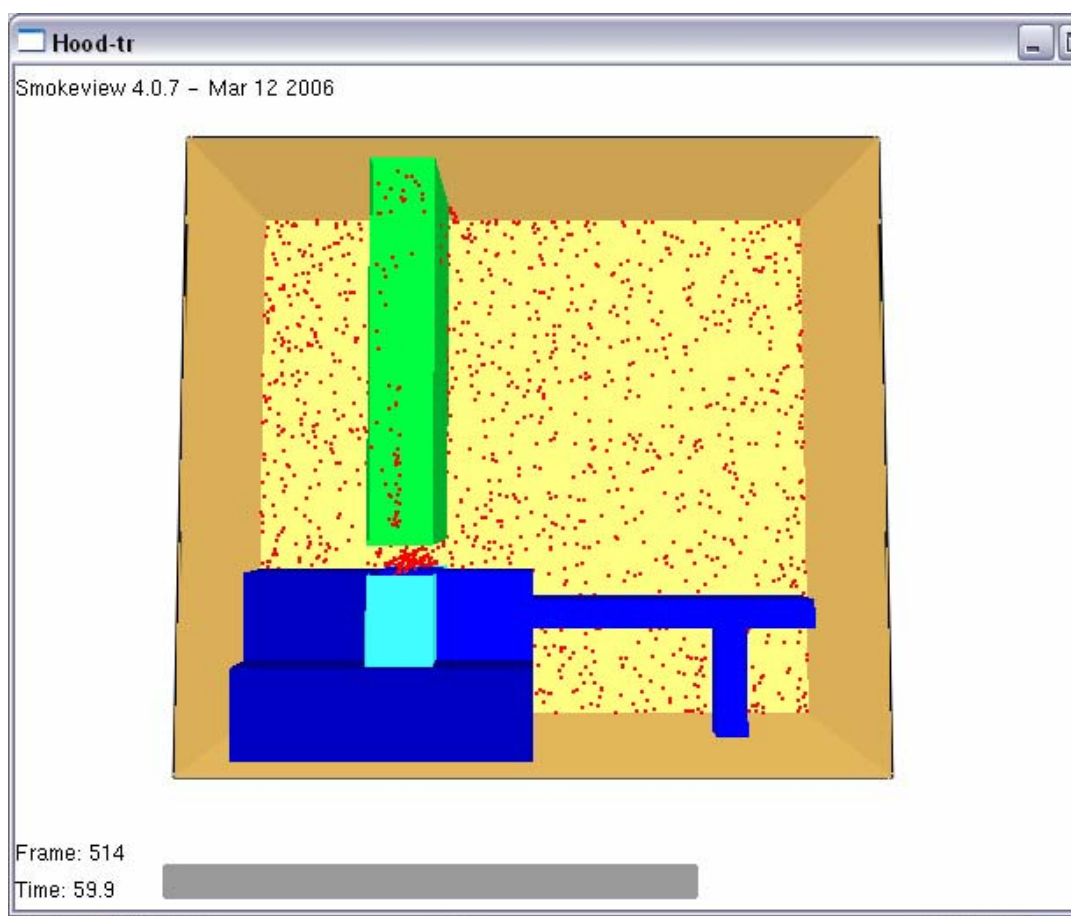
5.2.2 การจำลองแบบมีระบบระบายอากาศ

(1) ค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อ
วินาที ระยะเวลาการทำงาน 60 วินาที ความเร็วจับ 1.2 เมตรต่อวินาที จะได้ภาพจำลองดังแสดง
ในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง TORNOS ที่มีความเร็วลมที่เกิดจาก
กระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.04 เมตรต่อวินาที ความเร็วจับ 1.2 เมตรต่อวินาที

(2) ค่าความเร็วลมที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.05 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาการทำงาน 60 วินาที ความเร็วจับ 1.2 เมตรต่อวินาที จะได้ภาพจำลองดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ภาพจำลองการเกิดละอองน้ำมันของเครื่อง TORNOS ที่มีความเร็วลมที่เกิดจาก
กระบวนการทำงานของเครื่องจักร 0.05 เมตรต่อวินาที ความเร็วจับ 1.2 เมตรต่อวินาที

จากภาพที่ 28 และภาพที่ 29 แสดงให้เห็นว่าภาพที่ 29 ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบสูง จะมีปริมาณละอองน้ำมันฟุ้งกระจายมากกว่าภาพที่ 30 ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ตรวจวัดได้

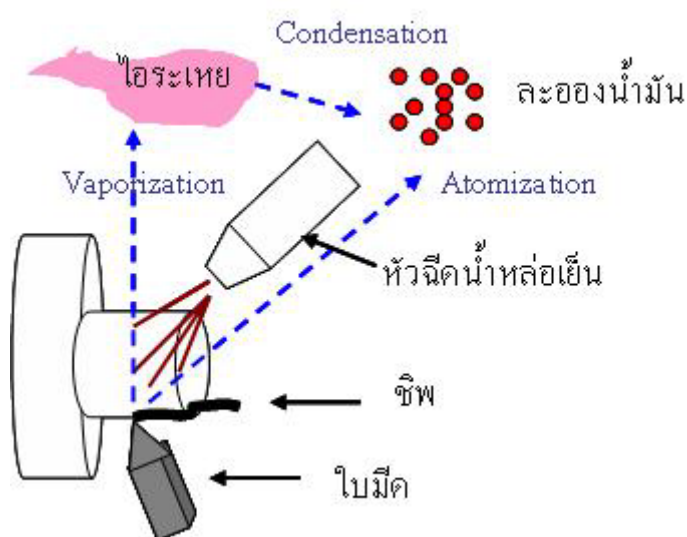
จากภาพที่ได้จากการจำลองการเกิดละอองน้ำมันแบบไม่มีระบบระบายอากาศ และแบบมีระบบระบายอากาศพบว่าภาพที่แสดงการเกิดละอองน้ำมันโดยไม่มีการดูดอากาศออก จะมีละอองน้ำมันกระจายตัวอยู่โดยรอบ ส่วนภาพที่แสดงการเกิดละอองน้ำมัน โดยกำหนดความเร็วจับที่ท่อดูดอากาศตามสภาพการใช้งานในปัจจุบันพบว่ามีการดูดละอองน้ำมันออกไปได้ แต่ยังคงมีปริมาณละอองน้ำมันกระจายตัวอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ปฏิบัติงานที่ยังมีละอองน้ำมันหลุดออกจากเครื่องจักรเข้าสู่บรรยากาศการทำงาน

วิจารณ์

ผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ ทำให้ทราบถึงผลกระทบของความเร็วยรอบของเพลลาที่มีต่อปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน และทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ทำให้ระบบระบายอากาศในปัจจุบันไม่สามารถควบคุมปริมาณละอองน้ำมันให้อยู่ในค่ามาตรฐานได้ โดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ ดังนี้

1. ความเร็วรอบของเพลลา กับ ปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมันที่เกิดจากเครื่องจักรที่มาจาก 3 ผู้ผลิต คือ ACME, MITSUBISHI และ TORNOS ที่ระดับความเร็วรอบของเพลลาแตกต่างกัน พบว่า เครื่องกลึงแบบ 6 เพลลา ที่มาจากต่างผู้ผลิตกัน ไม่มีผลต่อปริมาณละอองน้ำมัน แต่ความเร็วรอบของเพลลา มีผลต่อปริมาณละอองน้ำมัน โดยที่ระดับความเร็วรอบสูงจะมีปริมาณละอองน้ำมันที่มากกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากความเร็วรอบที่สูงจะทำให้เกิดความร้อนที่จุดตัดชิ้นงานสูง เมื่อน้ำมันไปสัมผัสจะทำให้เกิดการกลายเป็นไอ และเมื่อเกิดการควบแน่นจะกลายเป็นละอองน้ำมัน (Gunter, Hii, Michalek, Sun and Sutherland, 2003) ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ภาพแสดงลักษณะการเกิดละอองน้ำมันของเครื่องกลึง

นอกจากนี้เมื่อน้ำมันที่ใช้ช่วยในกระบวนการตัดถูกฉีดไปยังจุดตัดเจาะชิ้นงาน จะถูกเหวี่ยงโดยชิ้นงานซึ่งถูกหมุนด้วยเฟลา ซึ่งถ้าเฟลาหมุนด้วยความเร็วสูง จะเกิดแรงเหวี่ยงมากทำให้ละอองน้ำมันมีความเร็วต้นสูง จึงกระจายได้มากและไกล

2. ระบบระบายอากาศ

สภาพระบบระบายอากาศที่ใช้งานในปัจจุบันในเครื่องจักร 3 ชนิดนี้นั้น มีอยู่ 2 แบบคือแบบ Plain opening และแบบ Slot ซึ่งหากพิจารณาตามทฤษฎีแล้วพบว่าหากปรับความเร็วจับให้ได้ตามทฤษฎีจะไม่สามารถควบคุมปริมาณละอองน้ำมันให้อยู่ในค่าที่ต้องการควบคุมได้ ซึ่งผลการตรวจวัดสภาพในปัจจุบัน ความเร็วจับที่ทดสอบอากาศของเครื่องจักร ACME และ MITSUBISHI นั้นมีค่าสูงกว่าค่าตามทฤษฎี ส่วนเครื่องจักร TORNOS มีค่าเท่ากับค่าตามทฤษฎี แต่ที่ผลการตรวจวัดละอองน้ำมันมีค่าเกินค่าที่ควบคุมนั้น เนื่องมาจาก ความเร็วจับตามทฤษฎีนั้นจะเหมาะสมกับเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบของเฟลาต่ำ แต่เครื่องจักรที่มีความเร็วรอบของเฟลาสูงนั้นต้องการความเร็วจับที่มากกว่า ดังนั้นการออกแบบระบบระบายอากาศ ควรพิจารณาเลือกความเร็วจับโดยคำนึงถึงความเร็วรอบของเฟลาด้วย

3. การจำลองรูปแบบการเกิดละอองน้ำมันและการระบายอากาศด้วยโปรแกรม Pyrosim

จากผลการจำลองการเกิดละอองน้ำมัน และการระบายอากาศ โดยการป้อนค่าความเร็วจับเพื่อเปรียบเทียบปริมาณละอองน้ำมันนั้น พบว่าโปรแกรมพลศาสตร์อณูโมเลกุล ที่ใช้งานร่วมกับโปรแกรม Pyrosim สามารถจำลองภาพการเกิดละอองน้ำมันและลักษณะการดูดอากาศออกได้ แต่ไม่สามารถที่จะตรวจสอบค่าความเข้มข้นของละอองน้ำมันในจุดต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าโปรแกรม Pyrosim มีวัตถุประสงค์หลักในการจำลองสภาพที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอณูโมเลกุล ข้อมูลของอนุภาคจึงเป็นอนุภาคของสารไวไฟ และระบบป้องกันอณูโมเลกุลเท่านั้น ทำให้สามารถจำลองได้เพียงลักษณะการเกิดและการกระจายตัวของละอองน้ำมันเท่านั้น

4. การตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

การตรวจวัดความเข้มข้นของละอองน้ำมันในการวิจัยนี้เป็นการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณละอองน้ำมันที่หลุดออกสู่บรรยากาศการทำงานไม่ได้ตรวจวัดเพื่อแสดงถึงปริมาณละอองน้ำมันที่คนงานสัมผัสจริง ดังนั้นค่ามาตรฐานของ ACGIH ที่ใช้ในการวิจัยนี้ จึงใช้เป็นเพียงค่าอ้างอิงเพื่อกำหนดค่าที่ต้องการควบคุมเท่านั้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาเชิงวิเคราะห์ในระบบระบายอากาศของเครื่องกลึงชนิด 6 เหล่านั้น พบว่า

1. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

จากผลการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลากับความเข้มข้นของละอองน้ำมันในเครื่องจักรจาก 3 ผู้ผลิต ด้วยวิธีทางสถิติแบบ One-way ANOVA สรุปได้ดังนี้

1.1 เครื่องจักร ACME

ในช่วงความเร็วรอบ 1000 ถึง 2000 รอบต่อนาที ระดับความเร็วรอบของเพลามีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยที่ระดับความเร็วรอบสูงจะก่อให้เกิดปริมาณละอองน้ำมันในระดับที่สูงกว่าเครื่องจักรที่มีระดับความเร็วรอบต่ำ

1.2 เครื่องจักร MITSUBISHI

ในช่วงความเร็วรอบ 1500 ถึง 2400 รอบต่อนาที ระดับความเร็วรอบของเพลามีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยที่ระดับความเร็วรอบสูงจะก่อให้เกิดปริมาณละอองน้ำมันในระดับที่สูงกว่าเครื่องจักรที่มีระดับความเร็วรอบต่ำ

1.3 เครื่องจักร TORNOS

ในช่วงความเร็วรอบ 2400 ถึง 4700 รอบต่อนาที ระดับความเร็วรอบของเพลามีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% โดยที่ระดับความเร็วรอบสูงจะก่อให้เกิดปริมาณละอองน้ำมันในระดับที่สูงกว่าเครื่องจักรที่มีระดับความเร็วรอบต่ำ

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลา และชนิดของเครื่องจักร ที่มีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Two-way ANOVA พบว่าความเร็วรอบของเพลา มีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และชนิดของเครื่องจักร ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

2. ระบบระบายอากาศ

ผลการวิเคราะห์ระบบระบายอากาศที่ใช้งานในแผนก Turning ของบริษัทเอ็นเอ็มบี ไทย จำกัด ในปัจจุบันกำหนดค่าความเร็วจับเท่ากันในทุกเครื่องจักร ทำให้บางเครื่องจักรไม่สามารถดูดละอองน้ำมันออกไปให้อยู่ในค่าที่ต้องการควบคุมได้ และจากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลา ที่มีต่อความเข้มข้นของละอองน้ำมันนั้น ทำให้สรุปได้ว่าการออกแบบระบบระบายอากาศ ควรพิจารณาถึงความเร็วรอบของเพลาที่ใช้ในเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เพื่อเลือกความเร็วจับให้เหมาะสม โดยเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบต่ำละอองน้ำมันที่เกิดขึ้นจะมีความเร็วต้นซึ่งเกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักรต่ำ ส่วนเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบสูงละอองน้ำมันที่เกิดขึ้นจะมีความเร็วต้นซึ่งเกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักรสูงตามไปด้วย ดังนั้นเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบของเพลาสูงควรจะใช้ความเร็วจับที่มากขึ้นด้วย

3. การหาสมการทำนายความเข้มข้นของละอองน้ำมัน

ผลการหาสมการทำนายความเข้มข้นของละอองน้ำมันด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ได้ผลสรุปได้ ดังนี้

- ความเร็วรอบของเพลา(ตัวแปรอิสระ) ของเครื่องจักร ACME ที่ช่วงความเร็วรอบ 1000 ถึง 2000 รอบต่อนาที สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน) ได้ 53.4%
- ความเร็วรอบของเพลา(ตัวแปรอิสระ) ของเครื่องจักร MITSUBISHI ที่ช่วงความเร็วรอบ 1500 ถึง 2400 รอบต่อนาที สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน) ได้ 55.7%

- ความเร็วรอบของเพลลา(ตัวแปรอิสระ) ของเครื่องจักร TORNOS ที่ช่วงความเร็วรอบ 2400 ถึง 4700 รอบต่อนาที สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ความเข้มข้นของละอองน้ำมัน) ได้ 85.4%

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจาก การวิจัยครั้งนี้ มีข้อจำกัดในการปรับระดับความเร็วจับของท่อดูดอากาศ ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบปริมาณละอองน้ำมันที่สามารถดูดออกไปได้ ในความเร็วจับที่แตกต่างกัน หากสามารถปรับระดับความเร็วจับของท่อดูดอากาศได้จะทำให้ทราบถึงปริมาณละอองน้ำมันที่ถูกดูดออกไปได้ที่มีความเร็วจับต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดค่าความเร็วจับได้ถูกต้องมากขึ้น
2. เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Pyrosim ที่ใช้ในการจำลองลักษณะการเกิดละอองน้ำมันนั้นไม่สามารถกำหนดค่าคุณสมบัติของละอองน้ำมันได้มากพอ ทำให้ทราบเฉพาะลักษณะการเกิดละอองน้ำมันเท่านั้น ไม่สามารถบอกถึงผลหรือค่าความเข้มข้นของละอองน้ำมันซึ่งเป็นค่าที่ต้องการได้
3. การออกแบบระบบระบายอากาศที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ไม่ได้ต่อออกจากเครื่องโดยตรง ซึ่งทำให้มีระยะห่างระหว่างตัวเครื่องกับท่อดูดอากาศ ทั้งนี้หากสามารถปรับปรุงให้ท่อดูดอากาศอยู่ใกล้ตัวเครื่องให้ได้มากที่สุด จะทำให้ไม่ต้องเพิ่มความเร็วจับ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดละอองน้ำมันอีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ธงชัย อุทัยรัตน์. 2548. การศึกษาเชิงวิเคราะห์ในระบบระบายอากาศสำหรับอุโมงค์ร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระ พุ่มพุกษ์. 2544. การพัฒนาระบบระบายอากาศในที่ทำงานที่มีประสิทธิภาพสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. 2547. การออกแบบแผนการทดลองสำหรับวิศวกร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. 2533. สุขศาสตร์อุตสาหกรรมพื้นฐาน หน่วยที่ 9-15. ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, กรุงเทพฯ.

รุ่งทิพย์ กุลตั้งวัฒนา. 2539. การสร้างและศึกษาประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับงานเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2001. **Industrial Ventilation: A Manual of Recommend Practice.** 24th Edition. Ohio.

Amir, K., G. Michael and S. Stanley. 2005. **Comparison of Mist Generation Rates for an Experimental Metal Removal Fluid with a Baseline Fluid During Milling and Turning Operations.** 89.

Atmadi, A., D.A. Stephenson, and S.Y. Liang. Cutting Fluid Aerosol from Splash in Turning: Analysis for Environmentally Conscious Machining. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 17(2001): 238-243.

Canadian Centre for Occupational Health and Safety. 2001. **Chemical Hazards. Ventilation.**

Available Source: http://www.worksafesask.ca/files/ont_wsib/certmanual/ch_o8.html,
July 3, 2006.

Environmental Protection Agency. 2006. **Module5:Flowcharts and Ventilation Systems.**

Basic Concepts in Environmental Sciences. Available Source:
<http://www.epa.gov/eogaptil/module5/index.htm>, July 3, 2006.

Gunter, K.L., D.J., J. Sun, J.W. Sutherland, and W.S. Hii. 2003. Experimental and Analytical
Efforts to Characterize Cutting Fluid Mist Formation and Behavior in Machining.

Applied Occupational and Environmental Hygiene 18(2003): 842-854.

Montgomery, D.C. 2005. **Design and Analysis of Experiments.** 6th ed. John Wiley and Sons
Inc., New York.

McQuiston, F.C., J.D. Parker, and J.D. Spitler. 2005. **Heating Ventilating and Air**

Conditioning: Analysis and Designs. 6th ed. John Wiley and Sons Inc., New York.

Occupational Safety and Health Administration. 1998. **Chapter3 Dust Control System.**

Dust Control Handbook. Available Source: <http://www.osha.gov/SLTC/silicacrystalline/dust/chapter3.htm>, July 13, 2006.

Washington State Department of Labor and Industries. 2001. **Local Exhaust Ventilation.**

Industrial Ventilation Guidelines. Available Source: <http://www.lni.wa.gov/Safety/Topics/AtoZ/Ventilation/default.asp>, 2006.

ภาคผนวก

One-way ANOVA: mist-ac versus Speed-AC

Source	DF	SS	MS	F	P
Speed-AC	2	0.9090	0.4545	8.05	0.006
Error	12	0.6777	0.0565		
Total	14	1.5867			

S = 0.2376 R-Sq = 57.29% R-Sq(adj) = 50.17%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
1000	5	0.6998	0.1916
1500	5	0.9498	0.1827
2000	5	1.3000	0.3151

0.60 0.90 1.20 1.50

Pooled StDev = 0.2376

Fisher 95% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Speed-AC

Simultaneous confidence level = 88.44%

Speed-AC = 1000 subtracted from:

Speed-AC	Lower	Center	Upper
1500	-0.0775	0.2500	0.5775
2000	0.2727	0.6002	0.9277

-0.50 0.00 0.50 1.00

Speed-AC = 1500 subtracted from:

Speed-AC	Lower	Center	Upper
2000	0.0227	0.3502	0.6777

-0.50 0.00 0.50 1.00

ภาพผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียวของเครื่องจักร ACME กับ ปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน

One-way ANOVA: mist-tr versus Speed-TR

Source	DF	SS	MS	F	P
Speed-TR	2	29.286	14.643	50.42	0.000
Error	12	3.485	0.290		
Total	14	32.771			

S = 0.5389 R-Sq = 89.37% R-Sq(adj) = 87.59%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
2400	5	1.6500	0.1898
3500	5	2.7168	0.2328
4700	5	4.9998	0.8838

1.2 2.4 3.6 4.8

Pooled StDev = 0.5389

Fisher 95% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Speed-TR

Simultaneous confidence level = 88.44%

Speed-TR = 2400 subtracted from:

Speed-TR	Lower	Center	Upper
3500	0.3242	1.0668	1.8094
4700	2.6072	3.3498	4.0924

-2.0 0.0 2.0 4.0

Speed-TR = 3500 subtracted from:

Speed-TR	Lower	Center	Upper
4700	1.5404	2.2830	3.0256

-2.0 0.0 2.0 4.0

ภาพผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียวของเครื่องจักร TORNOS กับ ปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน

General Linear Model: OilMist versus S-Speed, Mac

Factor	Type	Levels	Values
S-Speed	fixed	6	1000, 1500, 2000, 2400, 3500, 4700
Mac	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for OilMist, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
S-Speed	5	70.570	31.103	6.221	47.99	0.000
Mac	2	0.025	0.025	0.012	0.10	0.908
Error	37	4.796	4.796	0.130		
Total	44	75.391				

S = 0.360032 R-Sq = 93.64% R-Sq(adj) = 92.43%

ภาพผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบเพลลา และชนิดเครื่องจักร กับ ปริมาณการเกิดละอองน้ำมัน

Regression Analysis: mist-ac versus Speed-AC

The regression equation is
 $m = 0.083 + 0.000600 S$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.0829	0.2259	0.37	0.719
Speed-AC	0.0006002	0.0001453	4.13	0.001

S = 0.229725 R-Sq = 56.8% R-Sq(adj) = 53.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.90060	0.90060	17.07	0.001
Residual Error	13	0.68606	0.05277		
Lack of Fit	1	0.00837	0.00837	0.15	0.707
Pure Error	12	0.67769	0.05647		
Total	14	1.58666			

ภาพผนวกที่ 5 ผลการทดสอบสมการถดถอยของปริมาณละอองน้ำมันกับความเร็วรอบของ เครื่องจักร ACME ที่ช่วงความเร็วรอบ 1000 ถึง 2000 รอบต่อนาที

Regression Analysis: mist-ma versus Speed-MA

The regression equation is
 $m = 0.019 + 0.000668 S$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.0190	0.3099	0.06	0.952
Speed-MA	0.0006683	0.0001549	4.31	0.001

$S = 0.220890$ $R\text{-Sq} = 58.9\%$ $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 55.7\%$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.90803	0.90803	18.61	0.001
Residual Error	13	0.63430	0.04879		
Lack of Fit	1	0.00093	0.00093	0.02	0.896
Pure Error	12	0.63337	0.05278		
Total	14	1.54233			

Unusual Observations

Obs	Speed-MA	mist-ma	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	1500	0.5830	1.0213	0.0921	-0.4383	-2.18R

R denotes an observation with a large standardized residual

ภาพผนวกที่ 6 ผลการทดสอบสมการถดถอยของปริมาณละอองน้ำมันกับความเร็วรอบของ
 เครื่องจักร MITSUBISHI ที่ช่วงความเร็วรอบ 1500 ถึง 2400 รอบต่อนาที

Regression Analysis: mist-tr versus Speed-TR

The regression equation is
 $m = -2.05 + 0.00146 S$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-2.0477	0.5873	-3.49	0.004
Speed-TR	0.0014632	0.0001606	9.11	0.000

S = 0.584378 R-Sq = 86.5% R-Sq(adj) = 85.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	28.331	28.331	82.96	0.000
Residual Error	13	4.439	0.341		
Lack of Fit	1	0.954	0.954	3.29	0.095
Pure Error	12	3.485	0.290		
Total	14	32.771			

Unusual Observations

Obs	Speed-TR	mist-tr	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	4700	3.750	4.829	0.241	-1.079	-2.03R

R denotes an observation with a large standardized residual.

ภาพผนวกที่ 7 ผลการทดสอบสมการถดถอยของปริมาณละอองน้ำมันกับความเร็วยรอบของเครื่องจักร TORNOS ในช่วงความเร็วรอบ 2400 ถึง 4700 รอบต่อนาที

CALIBRATION LABORATORY

Calibration Certificate

Certificate No. V 490 43



Instrument Description	: Anemometer
Instrument Model	: Testo 405
Instrument Serial No.	: 040700003198
ID No. or Control No.	: SA 011
Manufacturer	: Testo GmbH & Co.
Probe Description	: Hot wire probe
Probe Model	: -
Probe Serial No.	: -
Customer Name	: NMBTHAI LTD.
Customer Address	: 18, Moo 3, Asia Road, Km.72, Tambon Thanu, Amphoe Uthai, Ayutthaya Province 13210

Total Pages of Certificate	: 3 Pages
Instrument Receiving Date	: 18/04/06
Receiving No.	: 06209
Parameter of Calibration	: Air Velocity Calibration
Standard Reference	: Testo 445
	: 16 mm. Vane Probe
	:
	:
	:
	:
	:

Ambient Conditions	: All of the measurement were carried out in a stabilized laboratory.
	Air temperature : 23 +/- 5 Deg C
	Air humidity : 55 +/- 15 % RH
Method of calibration	: Comparison of the actual reading between tested instrument and reference instrument when stabilized

Calibration Procedure No. : WI-CAL-009

The calibration certificate expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k=2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with EAL Publication EAL-R2. This certificate is applied only to item under test Environmental condition. This Calibration Certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Date Of Calibration : 18/04/06



Calibrated By
Atiwat Yodkawe



Approved By
Purinyalita Tongchit

Page 1 of 3

Entech Associate Co.,Ltd.

CMS.FM.055 Rev. 1

Difference for greater value

17/121 Chinnaket 2/46, Ngamwongwan Rd., Toongsonghong, Laksl, Bangkok 10210 Tel. 0-2831-6666 Fax. 0-2831-6656
E-mail : info@entech.co.th Website : www.entech.co.th

ภาพผนวกที่ 8 ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วลมรุ่น Testo 405

CALIBRATION LABORATORY

Calibration Certificate

Certificate No. F 49015

Instrument Description	: Primary Flow Meter
Instrument Model	: DCL-ML
Instrument Serial No.	: 102213
ID No. or Control No.	: -
Manufacturer	: SKC.INC
Probe Description	: -
Probe Model	: -
Probe Serial No.	: -
Customer Name	: NMBTHAI LTD.
Customer Address	: 18, Moo 3, Asia Road, Km.72, Tambon Thanu, Amphoe Uthai, Ayutthaya Province 13210
Total Pages of Certificate	: 3 Pages
Instrument Receiving Date	: 24/04/06
Receiving No.	: 06226
Parameter of Calibration	: Flow rate Calibration
Standard Reference	: DC Lite DryCal
Ambient Condition	: All of the measurement were carried out in a stabilized laboratory. Air temperature : 23 +/- 5 Deg C Air humidity : 55 +/- 15 % RH
Method of calibration	: Comparison the measuring result of UUC with standard flowmeter (Drycal)
Calibration Procedure No.	: WI-CAL-021

*The calibration certificate expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with EAL Publication EAL-R2.
 This certificate is applied only to item under test Environmental condition.
 This Calibration Certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory.
 Calibration certificates without signature and seal are not valid..*

Date Of Calibration : 25/04/06

Calibrate By
Atiwat Yodkawe

Approve By
Purinyalita Tongchit

Page 1 of 3

Entech Associate Co.,Ltd.

CMS.FM.055 Rev. 1

Difference for greater value

17/121 Chinnakot 2/46, Ngamwongwan Rd., Toongsonghong, Lakel, Bangkok 10210 Tel. 0-2831-6666 Fax. 0-2831-6656
E-mail : info@entech.co.th Website : www.entech.co.th

ภาพผนวกที่ 9 ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องตรวจสอบและสอบเทียบอัตราการไหล

DRYCAL DCLITE