

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการจำลองระบบระบายอากาศภายในโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

**THE STUDY ON SIMULATION OF AIR VENTILATION SYSTEM FOR
HARD DISK DRIVE MANUFACTURING**



T117913



วพ.
๐๔๖๖ก
๒๕๕๔

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **117913**
วัน,เดือน,ปี **22** ต.ค. 2554

12345678
b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-EN-M-220-087

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE STUDY ON SIMULATION OF AIR VENTILATION SYSTEM FOR
HARD DISK DRIVE MANUFACTURING**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2011

KMITL-2011-EN-M-220-087

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาการจำลองระบบระบายอากาศภายใน โรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ |
| นักศึกษา | นายอัศวินวิชญ์ เผือกนาโพธิ์ |
| รหัสนักศึกษา | 52611401 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเคมี |
| พ.ศ. | 2554 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบระบบระบายอากาศภายใน โรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์จาก โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล เพื่อทำให้สถานะของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายใน โรงงานมีค่าเหมาะสมต่อการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบซึ่งมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง $77 \pm 5.4^\circ\text{F}$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง $50 \pm 10\%$ ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงในทอมการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายใน โรงงานในวันที่มีการดำเนินงานตามปกติ และนำข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการเก็บข้อมูล โดยตรงมาพลอตด้วย โปรแกรม MATLAB® เพื่อสร้างสถานะขอบเขตทางความร้อน จากนั้นจึงทำการออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ด้วย โปรแกรม Fluent® โดยศึกษา ระบบระบายอากาศ 2 ระบบคือระบบระบายอากาศแบบแทนที่ และระบบระบายอากาศแบบผสม อีกทั้งยังทำการศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหัวจ่ายอากาศ มุมการจ่ายอากาศ ระดับการจ่ายอากาศ และอัตราการระบายอากาศ โดยผลการจำลองการระบายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงภายใน โรงงาน พบว่ามีผลลัพธ์ที่ยอมรับได้โดยผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองจะมีความแม่นยำในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 100°F และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 20% ขึ้นไป โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.777 และ 0.667 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในที่นี้คือ ระบบระบายอากาศแบบผสมที่จ่ายอากาศด้วยระดับความสูง 11.5 ft และจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำเท่ากับ 79.5 ACH เป็นต้นไป

| | |
|-----------------------|---|
| Thesis Title | The study on simulation of air ventilation system for hard disk drive manufacturing |
| Student | Mr. Akkaravich Phueknapo |
| Student ID. | 52611401 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Chemical Engineering |
| Year | 2011 |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Surat Areerat |

ABSTRACT

The purpose of this research is to design the ventilation system of the hard disk drive (HDD) manufacturing in the post-product HDD testing area in order to conform to the air conditioning standard, where the temperature is in range $77\pm 5.4^{\circ}\text{F}$ and the relative humidity is in range $50\pm 10\%$. The temperature and relative humidity distributions of the ventilation system were investigated by computational fluid dynamics (CFD) technique; the thermal boundary condition was determine by plotting the temperature and relative humidity distributions data measured over the testing area located in the HDD tester on a typical day with MATLAB[®]. Two types of designed ventilation systems: displacement ventilation (DV) and mixing ventilation (MV) were studied by using ANSYS Fluent[®] to improve the ventilation system to approach an appropriate system for ventilating air to the HDD testing area. In addition, the effects of changes in the position of supply ventilation rate angle and the supply level on the temperature and relative humidity distributions were studied. As a result, the simulation results can be accurately accepted at the temperature of more than 100°F and the relative humidity of more than 20% with the coefficient of determination (r^2) of 0.777 and 0.667 respectively. Indeed, traditional MV systems with the supply level of 11.5 ft and the minimum ventilation rate of 79.5 ACH onward can maintain the acceptable level of temperature and relative humidity over the HDD testing area.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่มอบความรู้และความกรุณาอบรมสั่งสอน อีกทั้งประสบการณ์ในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนงานวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณถนอม โมกจะสมิต สำหรับการให้คำปรึกษาและช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดคุณภาพอากาศในงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานวิจัยและพัฒนาคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับโปรแกรมในการศึกษาการจำลอง

ขอขอบคุณ คุณนิวัฒน์ ภูเจริญ สำหรับการให้คำปรึกษาและช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมในการศึกษาการจำลอง

ขอขอบคุณ คุณดร.พร กมลภูส สำหรับการให้คำปรึกษาและแนวคิดในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณพงศ์ประภาส ปิยะมโนชา คุณฉัฐพงศ์ เชื้อพล และนักศึกษาภายใต้การดูแลของ ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ ในการช่วยเหลือและให้คำปรึกษาคำเนิงานวิจัย อีกทั้งกำลังใจที่คอยผลักดันให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างราบรื่น

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาว ผู้ให้อุปการะคุณ ที่ช่วยส่งเสริมให้ข้าพเจ้าได้มีการศึกษา รวมถึงให้กำลังใจยามที่ข้าพเจ้าเหน็ดเหนื่อยจากการทำงาน ข้าพเจ้าจะนำความรู้ความสามารถที่ได้ศึกษาไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมอย่างสุดความสามารถ และมีสัมฤทธิ์ผลตอบแทนพระคุณทุกท่าน

ทั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่อบรมบ่มวิชา สั่งสอนและมอบความรู้แก่ข้าพเจ้า ขอให้คุณพระศรีรัตนตรัย คัลบันดาลให้ครูอาจารย์ของข้าพเจ้ามีแต่ความสุขและความเจริญยิ่งขึ้นไป

หากเกิดความผิดพลาดใด ในงานวิจัย ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้ และผู้วิจัยยินดีให้นำข้อมูลอันจะมีประโยชน์แก่ผู้สนใจ สามารถนำไปใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้า เพื่อเป็นประโยชน์ในวันข้างหน้า ข้าพเจ้าจักยินดี และคุณประโยชน์อันใดอันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อัครวิษณุ เผือกนาโพธิ์

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VIII |
| สารบัญรูปภาพ..... | IX |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ..... | 1 |
| 1.2 แนวคิดในการศึกษา..... | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์..... | 3 |
| 1.4 ขอบเขตการศึกษา..... | 3 |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| | |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 ความสบายของมนุษย์และการระบายอากาศ..... | 6 |
| 2.2 ข้อกำหนดสำหรับสภาวะความสบายเชิงความร้อน..... | 6 |
| 2.3 สภาวะความสบายเชิงความร้อนโดยทั่วไป..... | 6 |
| 2.3.1 ดัชนี PMV และ ดัชนี PPD..... | 6 |
| 2.3.2 อัตราเมตาบอลิซึม (Metabolic rate)..... | 8 |
| 2.3.3 เสื้อผ้า (Clothing)..... | 9 |
| 2.3.4 ช่วงอุณหภูมิการดำเนินงาน (Operative temperature range)..... | 9 |
| 2.4 สภาวะความไม่สบายเชิงความร้อนเฉพาะบริเวณ..... | 10 |
| 2.4.1 ความเร็วลมภายในพื้นที่ (Draught - local air velocity)..... | 10 |
| 2.4.2 ความไม่สมมาตรของการแผ่รังสี (Radiant temperature asymmetry)..... | 10 |
| 2.4.3 ความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง (Vertical air temperature difference)..... | 11 |
| 2.4.4 พื้นห้องที่ร้อนหรือเย็น (Warm or cool floors)..... | 11 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| 2.5 ชนิดของระบบระบายอากาศ..... | 11 |
| 2.5.1 ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation, LEV)..... | 11 |
| 2.5.2 ระบบระบายอากาศแบบลูกสูบ (Piston Ventilation , PV)..... | 12 |
| 2.5.3 ระบบระบายอากาศแบบแทนที่ (Displacement Ventilation, DV)..... | 12 |
| 2.5.4 ระบบระบายอากาศแบบผสม (Mixing Ventilation, MV) | 13 |
| 2.5.5 ระบบระบายอากาศแบบกระแสวิกตดกระทบ (Impinging Jet Ventilation, IJV)..... | 13 |
| 2.6 สมการการออกแบบระบบระบายอากาศ..... | 14 |
| 2.7 วิธีการหาค่าอัตราการระบายอากาศ (Air change method)..... | 15 |
| 2.8 พลังงานที่ใช้ในการระบายอากาศ (Energy for ventilation) | 15 |
| 2.9 ทฤษฎีการไหลของกระแสวิกตและลำอากาศ (Principles of air jets and plumes) .. | 17 |
| 2.10 การออกแบบระบบการกระจายตัวของอากาศภายในห้อง | 19 |
| 2.11 การเลือกชนิดของหัวจ่ายอากาศ..... | 21 |
| 2.12 การใช้โปรแกรมการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหลสำหรับทำนายการไหลของ อากาศ | 22 |
| 2.12.1 แบบจำลองมาตรฐาน $k-\epsilon$ | 23 |
| 2.12.2 แบบจำลอง RNG $k-\epsilon$ | 24 |
| 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 25 |
| | |
| บทที่ 3 การทดลอง..... | 28 |
| 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด..... | 28 |
| 3.1.1 ภาพประกอบเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย..... | 28 |
| 3.2 ขั้นตอนการทดลอง | 29 |
| 3.2.1 การตรวจวัดพารามิเตอร์ในอากาศ | 29 |
| 3.2.2 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล | 29 |
| 3.2.3 สภาวะขอบเขต (Boundary condition)..... | 30 |
| 3.2.4 ขั้นตอนและลำดับการเก็บผลการ | 32 |
| 3.2.5 เงื่อนไขเริ่มต้นในการสร้างแบบจำลอง | 33 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.2.6 การประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ 33
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลองเบื้องต้นและการออกแบบระบบระบายอากาศ..... | 34 |
| 4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น..... | 34 |
| 4.2 ผลการสร้างแบบจำลองสภาวะจริงภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์..... | 36 |
| 4.3 การออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์..... | 39 |
| 4.3.1 การออกแบบระบบระบายอากาศแบบแทนที่..... | 39 |
| 4.3.2 การออกแบบระบบระบายอากาศแบบผสม..... | 41 |
| บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล..... | 44 |
| 5.1 ผลการสร้างแบบจำลองของระบบระบายอากาศแบบแทนที่..... | 44 |
| 5.2 ผลการสร้างแบบจำลองของระบบระบายอากาศแบบผสม..... | 53 |
| 5.2.1 ระบบระบายอากาศแบบผสมที่ใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย.. | 53 |
| 5.2.2 ระบบระบายอากาศแบบผสมที่ใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย | 61 |
| บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง..... | 72 |
| 6.1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศภายในพื้นที่ ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ ของไหล..... | 72 |
| 6.2 ผลการจำลองการออกแบบระบบระบายอากาศ..... | 72 |
| 6.2.1 ผลการจำลองการระบายอากาศโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่..... | 72 |
| 6.2.2 ผลการจำลองการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบผสม จ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย..... | 73 |
| 6.2.3 ผลการจำลองการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบผสม จ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย..... | 73 |
| 6.5 ข้อเสนอแนะ..... | 73 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 74 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และขอร้องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ภาคผนวก..... | 76 |
| ภาคผนวก ก. การคำนวณอัตราคาร์บอนสำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศ..... | 77 |
| ภาคผนวก ข. ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า..... | 80 |
| ภาคผนวก ค. การคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศ..... | 83 |
| ภาคผนวก ง. มาตรฐานคุณภาพอากาศประเทศสิงคโปร์ | 86 |
| ภาคผนวก จ. ข้อมูลดิบจากการเก็บตัวอย่างอากาศภายในโรงงาน..... | 91 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 102 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 อัตราเมทาบอลิซึมจากกิจกรรมต่างๆ | 8 |
| ตารางที่ 2.2 ค่าความไม่สมมาตรของการแผ่รังสีที่ค่าดัชนี PPD ต่างกัน | 11 |
| ตารางที่ 2.3 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งและอุณหภูมิของพื้นที่ห้องที่ค่าดัชนี PPD ต่างกัน | 11 |
| ตารางที่ 2.4 จำนวนวันที่ต่อการระบายอากาศขั้นต่ำสำหรับสถานที่ต่างๆ..... | 15 |
| ตารางที่ 2.5 พลังงานสำหรับการเคลื่อนย้ายอากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตรในอาคารทั่วไปและอาคาร ประหยัดพลังงาน | 17 |
| ตารางที่ 2.6 การประยุกต์ใช้หัวจ่ายสำหรับการกระจายอากาศโดยทั่วไป | 21 |
| ตารางที่ 3.1 สภาวะขอบเขตของผนังห้อง..... | 30 |
| ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง..... | 33 |
| ตารางที่ 5.1 ค่าตัวแปรในอากาศที่ได้จากการสร้างแบบจำลองโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบ แทนที่..... | 44 |
| ตารางที่ 5.2 ค่าตัวแปรในอากาศที่ได้จากการสร้างแบบจำลองโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบ ผสม ซึ่งใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย..... | 54 |
| ตารางที่ 5.3 ค่าตัวแปรในอากาศที่ได้จากการสร้างแบบจำลองโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบ ผสม ซึ่งใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย..... | 62 |
| ตารางที่ ข.1 ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าทั้งหมด..... | 81 |
| ตารางที่ ข.2 ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าแยกชิ้น | 82 |
| ตารางที่ จ.1 ข้อมูลของอุณหภูมิทั่วทั้งบริเวณของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ | 92 |
| ตารางที่ จ.2 ข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ทั่วทั้งบริเวณของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์..... | 93 |
| ตารางที่ จ.3 ข้อมูลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศวันที่ 19 ตุลาคม 2552 | 94 |
| ตารางที่ จ.4 ข้อมูลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศวันที่ 20 ตุลาคม 2552 | 94 |
| ตารางที่ จ.5 ข้อมูลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศวันที่ 21 ตุลาคม 2552 | 98 |

สารบัญรูป

หน้า

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 2.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี PMV กับค่าดัชนี PPD..... | 7 |
| รูปที่ 2.2 | ช่วงอุณหภูมิการดำเนินงานที่ดีที่สุดซึ่งเป็นฟังก์ชันของความต้านทานของเสื้อผ้าและระดับกิจกรรม | 9 |
| รูปที่ 2.3 | แบบจำลองการระบายอากาศชนิดต่างๆ | 13 |
| รูปที่ 2.4 | ค่าประสิทธิภาพของส่วนประกอบต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเคลื่อนย้ายอากาศภายในระบบท้อลม..... | 16 |
| รูปที่ 2.5 | การไหลของอากาศในลักษณะต่างๆ | 18 |
| รูปที่ 2.6 | ลำความร้อนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่างชนิดกัน..... | 19 |
| รูปที่ 2.7 | การแบ่งชนิดของการกระจายอากาศตามวัตถุประสงค์การใช้งาน..... | 20 |
| รูปที่ 3.1 | เครื่องมือวัดความเร็วลมและอุณหภูมิมือถือ Digicon รุ่น DA-42 | 28 |
| รูปที่ 3.2 | เครื่องมือวัดความชื้นมือถือ HANNA รุ่น HI 9565 | 28 |
| รูปที่ 3.3 | เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมมือถือ Kanomax รุ่น Climomaster series HV508-0531 | 28 |
| รูปที่ 3.4 | เครื่องมือวัดคุณภาพอากาศ IQM 60..... | 28 |
| รูปที่ 3.5 | แบบจำลองสภาวะจริงของพื้นที่ทดสอบบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ชนิด B และสภาวะขอบเขตบริเวณห้องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ | 31 |
| รูปที่ 3.6 | สภาวะขอบเขตของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ชนิด B..... | 31 |
| รูปที่ 3.7 | ขั้นตอนและลำดับการเก็บข้อมูล | 32 |
| รูปที่ 4.1 | แผนผังแสดงตำแหน่งของเครื่องทดสอบชนิด A และชนิด B ภายในบริเวณที่ทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างอากาศ | 35 |
| รูปที่ 4.2 | การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์..... | 35 |
| รูปที่ 4.3 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ภายในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ | 35 |
| รูปที่ 4.4 | การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงงาน ($z = 5.875$)..... | 37 |
| รูปที่ 4.5 | การกระจายตัวของความชื้นภายในโรงงาน ($z = 5.875$) | 37 |
| รูปที่ 4.6 | เวกเตอร์ของความเร็วลมภายในโรงงาน ($z = 5.875$) | 37 |
| รูปที่ 4.7 | การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ภายในโรงงาน ($z = 5.875$)..... | 37 |
| รูปที่ 4.8 | ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัด โดยตรงและจากการสร้างแบบจำลอง | 38 |
| รูปที่ 4.9 | ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัด โดยตรงและจากการสร้างแบบจำลอง | 39 |
| รูปที่ 4.10 | การจ่ายอากาศโดยใช้ช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน | 40 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.11 การจ่ายอากาศโดยใช้ช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้ง | 40 |
| รูปที่ 4.12 ทิศทางการจ่ายอากาศทำมุม 45 องศาับระนาบช่องจ่ายอากาศ | 41 |
| รูปที่ 4.13 ทิศทางการจ่ายอากาศทำมุม 90 องศาับระนาบช่องจ่ายอากาศ | 41 |
| รูปที่ 4.14 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 10 ft ด้วยหัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย | 42 |
| รูปที่ 4.15 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 9 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อ จำนวน 90 หัวจ่าย..... | 42 |
| รูปที่ 4.16 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อ จำนวน 90 หัวจ่าย..... | 42 |
| รูปที่ 4.17 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อ จำนวน 180 หัวจ่าย..... | 43 |
| รูปที่ 4.18 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 10 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อ จำนวน 180 หัวจ่าย..... | 43 |
| รูปที่ 4.19 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 9 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อ จำนวน 180 หัวจ่าย..... | 43 |
| รูปที่ 4.20 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบ ท่อจำนวน 180 หัวจ่าย | 43 |
| รูปที่ 5.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่อัตราการระบายแตกต่างกัน บริเวณที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์ | 45 |
| รูปที่ 5.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่อัตราการระบายแตกต่างกัน บริเวณแถวที่ไม่มีติดตั้งช่องจ่ายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์ | 46 |
| รูปที่ 5.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH จากการจ่าย อากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้งทำมุม 90 องศา ($y = 3$) | 47 |
| รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 80 ACH จากการจ่าย อากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้งทำมุม 90 องศา ($y = 3$) | 47 |
| รูปที่ 5.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่าย อากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้งทำมุม 90 องศา ($y = 3$) | 47 |
| รูปที่ 5.6 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH จากการจ่าย อากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($y = 3$)..... | 48 |
| รูปที่ 5.7 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 80 ACH จากการจ่ายอากาศ ด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($y = 3$)..... | 48 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 5.8 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($y = 3$)..... | 49 |
| รูปที่ 5.9 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$) | 49 |
| รูปที่ 5.10 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 80 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$) | 49 |
| รูปที่ 5.11 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$) | 50 |
| รูปที่ 5.12 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)..... | 50 |
| รูปที่ 5.13 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 80 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)..... | 50 |
| รูปที่ 5.14 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)..... | 50 |
| รูปที่ 5.15 | ค่าดัชนี PPD สำหรับบริเวณที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ (PPD ¹) และบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ (PPD ²) ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกัน | 51 |
| รูปที่ 5.16 | การกระจายตัวของความดันที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 45 องศา ($z = 0$)..... | 52 |
| รูปที่ 5.17 | เวกเตอร์ความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 45 องศา ($z = 0$) | 52 |
| รูปที่ 5.18 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย | 54 |
| รูปที่ 5.19 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 26.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 55 |
| รูปที่ 5.20 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 55 |
| รูปที่ 5.21 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 55 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|-------------|--|
| รูปที่ 5.23 | การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)56 |
| รูปที่ 5.24 | การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($y = 3$).....56 |
| รูปที่ 5.25 | การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($y = 3$)57 |
| รูปที่ 5.26 | การกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($x = 0$).....57 |
| รูปที่ 5.27 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($y = 3$).....57 |
| รูปที่ 5.28 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย.....58 |
| รูปที่ 5.29 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 26.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)58 |
| รูปที่ 5.30 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)59 |
| รูปที่ 5.31 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)59 |
| รูปที่ 5.32 | ค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย.....60 |
| รูปที่ 5.33 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)62 |
| รูปที่ 5.34 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย63 |
| รูปที่ 5.35 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)64 |
| รูปที่ 5.36 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)64 |
| รูปที่ 5.37 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 5.38 | การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 64 |
| รูปที่ 5.39 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย | 66 |
| รูปที่ 5.40 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)..... | 66 |
| รูปที่ 5.41 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 66 |
| รูปที่ 5.42 | การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 67 |
| รูปที่ 5.43 | การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วมวลที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)..... | 67 |
| รูปที่ 5.44 | การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วมวลที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)..... | 67 |
| รูปที่ 5.45 | ค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย..... | 68 |
| รูปที่ 5.46 | การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 69 |
| รูปที่ 5.47 | การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 69 |
| รูปที่ 5.48 | การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 9 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 69 |
| รูปที่ 5.49 | การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$) | 69 |
| รูปที่ 5.50 | การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH และ 106 ACH โดยใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 180 เทียบกับการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่ายที่ใช้อยู่ในโรงงาน | 71 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในปัจจุบันเป็นอุตสาหกรรมที่เน้นปริมาณการผลิตเป็นสำคัญ (mass production) เนื่องจากความต้องการฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในตลาดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี ซึ่งขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตคือการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ถูกผลิตออกมาจากสายการผลิตจำเป็นต้องทำการทดสอบ 100% ซึ่งการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยทั่วไปทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิที่สม่ำเสมอกับชิ้นงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่นำมาทดสอบ เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เหล่านี้จะทำการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตลอด 24 ชั่วโมงเป็นผลทำให้ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพื้นที่บริเวณที่ทำการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีระดับของอุณหภูมิที่สูงขึ้นมาก นอกจากนี้ยังส่งผลเสียทั้งในด้านของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผลิตออกมาและในด้านของสุขภาพของพนักงานที่ทำงานอยู่ในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากต้องทำงานในบริเวณที่มีระดับของอุณหภูมิที่สูงตลอดเวลา สำหรับสภาวะปกติที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์คือ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 77 ± 5.4 °F และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง $50 \pm 10\%$ อย่างไรก็ตามจากความต้องการฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีความจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มากขึ้นเพื่อรองรับความต้องการของตลาด โดยจากพื้นที่ภายในโรงงานที่จำกัดทำให้เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เหล่านี้ไม่สามารถจัดวางตำแหน่งและระยะห่างได้อย่างเหมาะสมทำให้พื้นที่บริเวณที่ทำการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดเป็นแหล่งความร้อนขนาดใหญ่ที่สะสมอยู่ภายในโรงงาน การทำให้สภาวะภายในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบปรับอากาศภายในโรงงาน เนื่องจากต้องรับภาระการทำความเย็น (Cooling load) ต่อพื้นที่ที่มีค่าสูงมากเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดตามมาตรฐานสำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังนั้นการออกแบบระบบระบายอากาศภายในโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงมีความสำคัญมากในการทำหน้าที่ระบายอากาศร้อนที่เกิดขึ้นออกจากบริเวณที่มีการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อรักษาระดับของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

ปัจจุบันมีการออกแบบและพัฒนาระบบระบายอากาศสำหรับอาคารและที่อยู่อาศัยหลายวิธีการด้วยกันซึ่งจุดมุ่งหมายของการระบายอากาศคือการทำให้ สภาพแวดล้อมทางความร้อน (Thermal environment) และคุณภาพอากาศ (Air quality) อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม โดยปัจจัยทั้งสองนี้ถูกนำมาพิจารณาในการออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับห้องหรืออาคารสิ่งปลูกสร้าง เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยอยู่ในอาคารอยู่ด้วยความสบาย หรือเพิ่มสมรรถนะให้กับพื้นที่ปรับอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งปกติแล้วการระบายอากาศที่ดียังช่วยประหยัดพลังงานและลดต้นทุนการดำเนินงานได้อีกด้วย นอกจากนี้การระบายอากาศที่ดียังช่วยลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

แล้วระบบระบายอากาศที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมคือระบบระบายอากาศแบบผสม (Mixing ventilation) เนื่องจากเป็นระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ต้องการการทำความเย็นที่มาก และสะดวกต่อการติดตั้งภายในโรงงาน แต่ระบบระบายอากาศชนิดนี้มีข้อเสียคือการเกิดการลัดวงจรกันของอากาศระหว่างอากาศที่ออกจากหัวจ่ายกับอากาศที่ไหลกลับผ่านช่องระบายอากาศ ทำให้อากาศไม่สามารถกระจายตัวได้ดีเท่าที่ควร การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการไหลและการกระจายตัวของอากาศจากระบบระบายอากาศที่ใช้ภายในโรงงานจึงมีความสำคัญมากต่อการออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากทำให้ทราบถึงแนวโน้มของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการระบายอากาศ และทิศทางการไหลจากการติดตั้งหัวจ่ายอากาศและช่องระบายอากาศกลับ เพื่อให้เกิดการไหลอย่างทั่วถึงภายในพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งการทำงานตัวแปรเหล่านี้ได้นอกจากจะต้องใช้ความรู้ในทางทฤษฎีแล้วจำเป็นต้องใช้การจำลองโดยการใส่โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD program) เข้ามาร่วมพิจารณาด้วย เพื่อการทำนายที่มีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการลดระยะเวลาในการคำนวณ และลดการใช้ทรัพยากรสำหรับการคำนวณและการออกแบบได้อีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการจำลองการระบายอากาศด้วย โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศจากระบบระบายอากาศและออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมกับโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวมไปถึงศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศเพื่อให้เกิดการระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.2 แนวคิดในการศึกษา

โครงการนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากระบบระบายอากาศเดิมที่ใช้อยู่ภายในโรงงานไม่สามารถทำให้สภาวะทางด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงงานเข้าสู่ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ ซึ่งหากมีการออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อแก้ไขเพิ่มเติมโดยอาศัยทฤษฎีการกระจายตัวและทิศทางการไหลของอากาศร่วมกับการใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล จะสามารถทำการออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมต่อสภาพพื้นที่และมีประสิทธิภาพในการระบายอากาศที่ดีกว่าประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศแบบเดิมซึ่งปัจจุบันใช้อยู่ภายในโรงงานได้

จากการศึกษา พบว่าปัจจัยส่งผลต่อประสิทธิภาพของการระบายอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ชนิดของระบบระบายอากาศที่ใช้ ความเข้มของความปั่นป่วนของอากาศ รวมไปถึงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมที่ออกมาจากหัวจ่ายอากาศ ฯลฯ[1] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบระบายอากาศบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองสถานการณ์จริงของระบบระบายอากาศที่ใช้ภายในโรงงานจากโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ทางอากาศที่วัด โดยตรงจากบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อศึกษาถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริงกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยตรง จากนั้นจึงทำการจำลองโดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อทำการออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งระบบระบายอากาศที่ศึกษาในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้แก่ระบบระบายอากาศแบบผสมและระบบระบายอากาศแบบแทนที่ (Displacement ventilation) โดยการออกแบบได้ทำการหาค่าสถานะที่ดีที่สุดสำหรับการระบายอากาศเพื่อให้ได้ตามค่ามาตรฐานที่กำหนดสำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากการใช้ระบบระบายอากาศที่ทำการออกแบบ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการระบายอากาศที่เหมาะสมมากที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 ศึกษาการระบายอากาศโดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในการจำลองระบบระบายอากาศ
- 1.3.2 ออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สถานะตามมาตรฐานสำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 1.3.3 เสนอแนวทางการแก้ไขระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาโดยเน้นไปที่การทำให้สถานะภายในโรงงานเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คือมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 77 ± 5.4 °F และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง $50 \pm 10\%$
- 1.4.2 ศึกษาเฉพาะพื้นที่บริเวณที่ทำการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในโรงงาน
- 1.4.3 สร้างแบบจำลองการระบายอากาศโดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล Fluent® เพื่อศึกษาการไหลเฉพาะสถานะคงตัว (Steady-State)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สร้างองค์ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีและปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศเพื่อนำไปประยุกต์สำหรับระบายอากาศในอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้
- 1.5.2 เป็นการพัฒนาให้เกิดกระบวนการออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมเพื่อรองรับการเพิ่มจำนวนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในอนาคต
- 1.5.3 สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อประโยชน์ในการศึกษาวิจัย เกี่ยวกับระบบระบายอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสบายของมนุษย์และการระบายอากาศ [1, 2]

สมการดุลความร้อนสำหรับร่างกายมนุษย์สามารถหาได้จากอัตราการเกิดความร้อนภายในร่างกาย ซึ่งเกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมและสมรรถนะที่เกิดจากงานภายนอก ซึ่งทำให้ความร้อนที่สูญเสียออกจากร่างกายสู่สิ่งแวดล้อมจากการระเหย การหายใจ การแผ่รังสีความร้อน และการนำความร้อนจากผิวหนังไปสู่เสื้อผ้า สามารถหาได้ดังสมการที่ 1 ดังนี้

$$S = M - W - C - R - E_{sk} - C_{res} - E_{res} - K(W / m^2) \quad (1)$$

| | | | |
|-------|-----------|-----|--|
| เมื่อ | S | คือ | ความร้อนที่สะสมภายในร่างกาย |
| | M | คือ | อัตราเมแทบอลิซึม |
| | W | คือ | งานจากภายนอก |
| | C | คือ | ความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อน |
| | R | คือ | ความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน |
| | E_{sk} | คือ | ความร้อนที่สูญเสียจากการระเหยที่ผิวหนัง |
| | C_{res} | คือ | ความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อนขณะหายใจ |
| | E_{res} | คือ | ความร้อนที่สูญเสียจากการระเหยขณะหายใจ |
| | K | คือ | ความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อน |

โดยปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับสมการดุลพลังงานจากร่างกายได้แก่ ระดับของการทำกิจกรรม (metabolic rate, (met หรือ W/m^2)) ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl} , clo หรือ m^2/KW) ความต้านทานการระเหยจากเสื้อผ้า (R_e , m^2PaW) อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ (t_a , °C) อุณหภูมิเฉลี่ยของการแผ่รังสี (\bar{t}_r , °C) ความดันไอน้ำของน้ำ (p_a , Pa) และความเร็วมวล (v_a , m/s) ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัวคูณผลลัพธ์ของความร้อนที่สะสมภายในร่างกายให้อยู่ในสมดุลคือให้ผลลัพธ์ของสมการมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือการบังคับให้ร่างกายมีเวลาในการทำงานที่จำกัดเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดความตึงเครียดบนร่างกาย โดยหากผลลัพธ์ของสมการมีค่าติดลบหมายความว่าสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำเกินไปหรือร้อนเกินไปซึ่งการที่จะทำให้ค่าความร้อนที่สะสมภายในร่างกายเข้าสู่สมดุลนั้น จะต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ผิวหนังอยู่ในค่าจำกัดและควบคุมให้ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการระเหยอยู่ในค่าที่ต่ำ เป็นต้น

2.2 ข้อกำหนดสำหรับสภาวะความสบายเชิงความร้อน

มาตรฐานหลักที่ใช้สำหรับสภาวะความสบายเชิงความร้อนมีอยู่ 2 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐาน ASHRAE 55-2004 (ASHRAE, 2004b) และมาตรฐาน ISO EN 7730-2005 (ISO, 2005) โดยทั้งสองมาตรฐานได้ใช้วิธีการและหลักเกณฑ์ในการประเมินที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

สภาวะความสบายเชิงความร้อนโดยทั่วไป (General thermal comfort) จะใช้ดัชนีการออกเสียงของผู้อยู่อาศัยภายในอาคารเฉลี่ย (Predicted Mean Vote, PMV) ร่วมกับดัชนีร้อยละของผู้คนที่ไม่พอใจในความสบายทางความร้อน (Percentage of dissatisfied, PPD) หรืออุณหภูมิในการดำเนินการ (operative temperature) เป็นเกณฑ์ในการประเมิน

สภาวะความไม่สบายเชิงความร้อนเฉพาะบริเวณ (Local thermal discomfort) ใช้ค่าความเร็วลมภายในพื้นที่ (Draught) ความไม่สมมาตรของการแผ่รังสี (Radiant asymmetry) ความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง (Vertical air temperature differences) และพื้นที่ห้องที่ร้อนหรือเย็น (Warm or cool Floors) เป็นเกณฑ์ในการประเมิน

2.3 สภาวะความสบายเชิงความร้อนโดยทั่วไป

2.3.1 ดัชนี PMV และ ดัชนี PPD

ความสบายเชิงความร้อน คือสภาวะของจิตใจที่แสดงออกถึงความพึงพอใจเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมทางความร้อน ทั้งนี้ความไม่พึงพอใจอาจเกิดขึ้นได้จากการที่ร่างกายหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายได้รับความร้อนหรือความเย็นที่ไม่ต้องการ ซึ่งความไม่พึงพอใจสามารถแสดงได้โดยใช้ดัชนี PMV และดัชนี PPD โดยจากมาตรฐาน ISO EN 7730 ได้กำหนดค่าดัชนี PMV ไว้ 7 ระดับ ซึ่งเป็นการแบ่งระดับความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิจากระดับที่ร้อนมากไปจนถึงระดับที่เย็นมากเย็นมาก ดังนี้

| | | | | | | |
|---------|-------------|--------------|----------------|--------------|-------------|---------|
| ร้อนมาก | ร้อนปานกลาง | ร้อนเล็กน้อย | ไม่ร้อนไม่เย็น | เย็นเล็กน้อย | เย็นปานกลาง | เย็นมาก |
| +3 | +2 | +1 | 0 | -1 | -2 | -3 |

ดัชนี PMV ถูกสร้างมาสำหรับสภาวะคงตัว (Steady-State) ซึ่งมีสมมติฐานว่าการระเหยที่เกิดบริเวณผิวหนังทั้งหมดถูกถ่ายเทผ่านเสื้อผ้าไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับสภาวะที่อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูงมาก โดยดัชนี PMV ในช่วง -2 ถึง +2 เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมที่มีอัตราการเสียเหงื่อที่ต่ำ นอกจากนี้สำหรับการพิจารณาใช้ค่าดัชนี PMV แนะนำให้ใช้ได้เมื่อค่าตัวแปรหลักทั้ง 6 ตัวแปรอยู่ในช่วงต่อไปนี้

- อัตราการเกิดความร้อนภายในร่างกาย (M) อยู่ในช่วง 46-232 W/m² (0.8-4 met)
- ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl}) อยู่ในช่วง 0-0.310 m²/KW (0-2 clo)
- อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ (t_a) อยู่ในช่วง 10-30°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิเฉลี่ยของการแผ่รังสี (\bar{t}_r) อยู่ในช่วง 10-40°C
- ความเร็วลม (v_a) อยู่ในช่วง 0-1 m/s
- ความดันไอล้อยของน้ำ (p_a) อยู่ในช่วง 0-2700 Pa

ค่าดัชนี PMV สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3}[5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad (2)$$

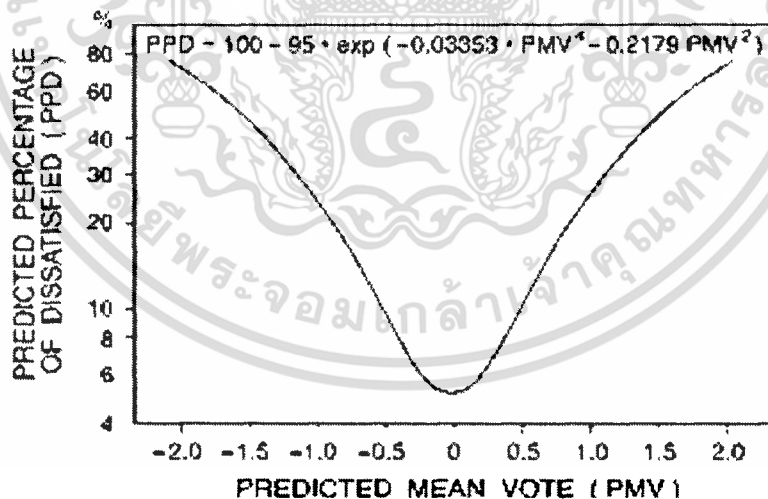
- เมื่อ f_{cl} คือ แฟกเตอร์ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (clo)
 t_{cl} คือ อุณหภูมิของเสื้อผ้า (°C)
 h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างเสื้อผ้ากับอากาศ (W/m²K)

สำหรับค่า t_{cl} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังนี้

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155I_{cl}\{3.96 \times 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad (3)$$

เมื่อทราบค่าดัชนี PMV เรียบร้อยแล้วสามารถคำนวณค่าดัชนี PPD ได้จากทั้งสมการที่ 4

$$PPD = 100 - 95e^{(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)} \quad (4)$$



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี PMV กับค่าดัชนี PPD [2]

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี PPD กับค่าดัชนี PMV แสดงดังรูปที่ 2.1 อย่างไรก็ตามสำหรับค่าดัชนี PMV-PPD เดียวกันบางคนอาจรู้สึกสบายแต่บางคนอาจไม่รู้สึกสบายก็ได้ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนผู้คนที่รู้สึกไม่พอใจต่อสภาวะทางความร้อนสามารถตรวจสอบได้โดยการใช้แบบสอบถามความพอใจส่วนบุคคลเป็นเครื่องมือเพื่อตรวจสอบความพึงพอใจของผู้อยู่อาศัยตามความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 อัตราเมทาบอลิซึม (Metabolic rate)

อัตราเมทาบอลิซึมของร่างกายคือค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกายซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารภายในร่างกาย ซึ่งค่าอัตราเมทาบอลิซึมจะมีค่าขึ้นอยู่กับสถานะในการรับประทานอาหารและระดับกิจกรรมซึ่งสามารถประมาณได้ทั้งจากตารางและการคำนวณ [ISO EN 8996] โดยการประมาณค่าอัตราเมทาบอลิซึมแสดงดังสมการที่ 5

$$M = 2.06 \times 10^4 \dot{V} (F_{oi} - F_{oe}) \quad (5)$$

เมื่อ \dot{V} คือ อัตราการหายใจ (l/s)

F_{oi} คือ สัดส่วนของแก๊สออกซิเจนจากการหายใจเข้า

F_{oe} คือ สัดส่วนของแก๊สออกซิเจนจากการหายใจออก

โดยปกติ F_{oi} มีค่าประมาณ 0.209 และส่วน F_{oe} จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามส่วนประกอบของอาหารที่ถูกใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม ตัวอย่างเช่นผู้ที่รับประทานคาร์โบไฮเดรตค่า F_{oe} มีค่าประมาณ 0.163 ส่วนผู้ที่ควบคุมไขมันค่า F_{oe} มีค่าประมาณ 0.159 เป็นต้น สำหรับค่าอัตราเมทาบอลิซึมเพิ่มเติมแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราเมทาบอลิซึมจากกิจกรรมต่างๆ [2]

| กิจกรรม | อัตราเมทาบอลิซึม | |
|---|---------------------|-----|
| | (W m ²) | met |
| นอนเอนกาย | 46 | 0.8 |
| นั่งพักผ่อน | 58 | 1.0 |
| นั่งอยู่กับที่ เช่น ในสำนักงาน ที่อยู่อาศัย โรงเรียน และห้องทดลอง | 70 | 1.2 |
| ยืนทำกิจกรรมเบาๆ เช่น ซื่อปิ้ง ทำการทดลอง และทำงานเบาในโรงงานอุตสาหกรรม | 93 | 1.6 |
| ยืนทำกิจกรรมปานกลาง เช่น ผู้ช่วยร้านค้า งานที่ทำกับเครื่องจักร | 116 | 2.0 |
| การเดินด้วยความเร็วต่างๆ | | |
| 2 km/h | 110 | 1.9 |
| 3 km/h | 140 | 2.4 |
| 4 km/h | 165 | 2.8 |
| 5 km/h | 200 | 3.4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เสื้อผ้า (Clothing)

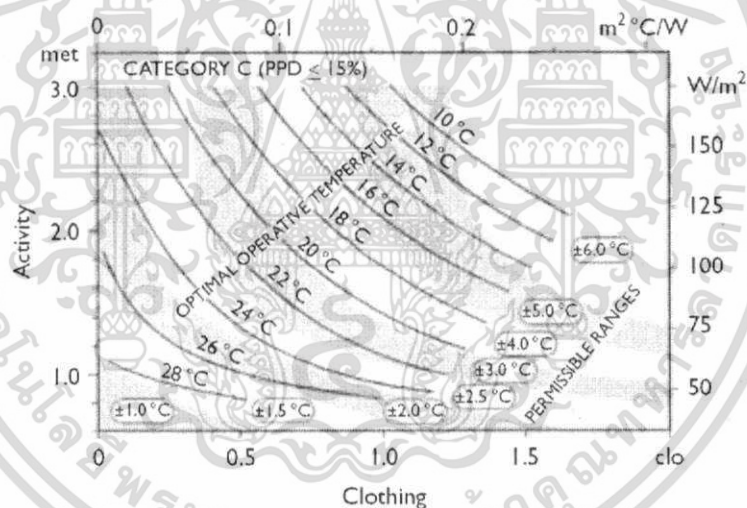
มาตรฐาน ISO EN 9920 ได้แสดงค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าทั้งค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าสำหรับสวมใส่ทั้งหมด และค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าแยกตามจำนวนชั้นที่สวมใส่ โดยค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$I_{cl} = \sum f_{cl} \quad (6)$$

โดยสำหรับข้อมูลเพิ่มเติมของค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าทั้งหมดและค่าความต้านทานความร้อนของแยกตามจำนวนชั้นที่สวมใส่แสดงดังตารางที่ ข.1 และ ข.2 ในภาคผนวก ข ตามลำดับ

2.3.4 ช่วงอุณหภูมิการดำเนินงาน (Operative temperature range)

ช่วงของอุณหภูมิการดำเนินงานคือช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดภาวะที่ดีที่สุดภายในห้องปรับอากาศโดยช่วงอุณหภูมิการดำเนินงานจะขึ้นอยู่กับชนิดของเสื้อผ้าที่ผู้อยู่อาศัยสวมใส่ และระดับของกิจกรรมที่ทำ โดยรูปที่ 2.2 จะแสดงค่าของช่วงอุณหภูมิการดำเนินงานที่เหมาะสมที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% และค่า PPD เท่ากับ 15%



รูปที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิการดำเนินงานที่ดีที่สุดซึ่งเป็นฟังก์ชันของความต้านทานของเสื้อผ้าและระดับกิจกรรม [2]

เป็นที่สังเกตว่าในสภาวะแวดล้อมโดยทั่วไปค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะส่งผลกระทบต่อระดับของอุณหภูมินี้พอสมควร โดยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้น 10% จะมีความรู้สึกว่ระดับของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 0.3°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สภาวะความไม่สบายเชิงความร้อนเฉพาะบริเวณ

2.4.1 ความเร็วลมภายในพื้นที่ (Draught - local air velocity)

ความเร็วเฉลี่ยของอากาศภายในพื้นที่ที่มีค่ามากเกินไปหรือมีค่าความเข้มของความปั่นป่วน (Turbulent intensity) ที่สูงเกินไปอาจก่อให้เกิดความเย็นอันไม่พึงปรารถนาขึ้นบริเวณผิวหนังของร่างกาย เนื่องจากผิวหนังของร่างกายมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นอย่างมาก ซึ่งปัญหาเกี่ยวกับความเร็วลมภายในพื้นที่เป็นหนึ่งในหลายสาเหตุของการร้องเรียนจากผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร โดยร้อยละของผู้คนที่ไม่พอใจจากความเร็วลมภายในพื้นที่ที่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$PD = (34 - t_a)(\bar{v}_a - 0.05)^{0.62} (3.14 + 0.37 \cdot \bar{v}_a T_u) \quad (7)$$

เมื่อ PD คือ ร้อยละความไม่พอใจจากความเร็วลมภายในพื้นที่ (%)

\bar{v}_a คือ ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)

สำหรับ \bar{v}_a ที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 m/s ให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.05 m/s แทนในสมการและสำหรับค่า PD ที่มีค่ามากกว่า 100% ให้ใช้ค่าเท่ากับ 100%

T_u คือ ค่าความเข้มของความปั่นป่วนซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$T_u = \frac{100(2k)^{0.5}}{\bar{v}_a} [\%] \quad (8)$$

สมการที่ 7 ใช้ได้ดีกับบุคคลที่ทำงานซึ่งให้ค่าอัตราการเผาผลาญในระดับต่ำโดยมีอัตราเมตาบอลิซึมอยู่ในช่วง 0.8-1.2 met ในสภาวะทางร่างกายปกติ ความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิของกระแสลมจะมีค่าต่ำสำหรับกิจกรรมที่มีระดับสูงหรือกิจกรรมที่มีอัตราเมตาบอลิซึมมากกว่า 1.2 met ขึ้นไปและสำหรับบุคคลที่รู้สึกอบอุ่นมากกว่าปกติ ซึ่งผู้คนที่ทำงานในระดับที่สูงหรือที่ระดับของอุณหภูมิโดยรอบมีค่าสูงเกินกว่าช่วงความสบาย การเพิ่มความเร็วลมอาจช่วยในการปรับปรุงสภาวะเชิงความร้อนได้ โดยจากสมการคำนวณค่าดัชนี PMV จะพบว่าค่าความเร็วลมที่มากอาจช่วยลดความไม่สบายเชิงความร้อนจากการทำกิจกรรมในระดับที่สูงหรือการทำกิจกรรมที่ระดับของอุณหภูมิโดยรอบมีค่าสูงได้ ซึ่งโดยปกติแล้วความเข้มของความปั่นป่วนจะมีค่าอยู่ในช่วง 30-60% สำหรับพื้นที่ที่ใช้ระบบระบายอากาศแบบผสม (Mixing ventilation) ซึ่งค่าความเข้มของความปั่นป่วนจะมีค่าน้อยลงสำหรับอาคารที่ใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่ (Displacement ventilation)

2.4.2 ความไม่สมมาตรของการแผ่รังสี (Radiant temperature asymmetry)

อุณหภูมิการแผ่รังสีที่ไม่เท่ากันอาจก่อให้เกิดความไม่สบายเชิงความร้อนได้ เนื่องจากผู้คนที่ส่วนใหญ่จะมีความรู้สึกอ่อนไหวต่อความไม่สมมาตรกันของการแผ่รังสี เช่น จากเพดานที่ร้อนเกินไป หรือผนังห้องที่เย็นเกินไป โดยค่าอุณหภูมิของเพดานและผนังห้องที่เหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง (Vertical air temperature difference)

ความแตกต่างที่มากเกินไปของอุณหภูมิในแนวตั้งระหว่างศีรษะกับข้อเท้าอาจก่อให้เกิดความไม่สบายกาย โดยช่วงของความแตกต่างกันของอุณหภูมิที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 2.3 โดยข้อมูลนี้จะสามารถใช้ได้เฉพาะบุคคลที่ทำกิจกรรมในระดับที่ต่ำเช่น นั่งหรือยืนอยู่กับที่เท่านั้น ซึ่งสำหรับการทำกิจกรรมในระดับที่สูงขึ้นซึ่งพบบ่อยในโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าผู้คนจะมีความอ่อนไหวต่อความแตกต่างของอุณหภูมินี้น้อยมาก

2.4.4 พื้นห้องที่ร้อนหรือเย็น (Warm or cool floors)

อาจทำให้เกิดความไม่สบายกายเนื่องจากการที่เท้าร้อน พื้นห้องที่ร้อนหรือเย็นจนเกินไปหรือเย็นมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับบุคคลที่สวมใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้ามีลักษณะบางเช่น รองเท้าสำหรับสวมใส่ในอาคาร โดยสำหรับค่าอุณหภูมิของพื้นห้องที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ค่าความไม่สมมาตรของการแผ่รังสีที่ค่าดัชนี PPD ต่างกัน [2]

| ค่าดัชนี PPD | ความไม่สมมาตรของการแผ่รังสี (°C) | | | |
|--------------|----------------------------------|-------------|--------------|-------------|
| | เพดานที่ร้อน | ผนังที่เย็น | เพดานที่เย็น | ผนังที่ร้อน |
| ≤6% | >5 | >10 | >14 | >23 |
| ≤10% | >5 | >10 | >14 | >23 |
| ≤15% | >7 | >13 | >18 | >35 |

ตารางที่ 2.3 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งและอุณหภูมิของพื้นห้องที่ค่าดัชนี PPD ต่างกัน [2]

| ค่าดัชนี PPD | ความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง(°C) | ช่วงอุณหภูมิของพื้นห้อง(°C) |
|--------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| ≤6% | >2 | 19-29 |
| ≤10% | >3 | 19-29 |
| ≤15% | >4 | 17-31 |

2.5 ชนิดของระบบระบายอากาศ

2.5.1 ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation, LEV)

ลักษณะของระบบระบายอากาศเฉพาะที่แสดงดังรูปที่ 2.3(A) ซึ่งระบบระบายอากาศชนิดนี้เป็นระบบระบายอากาศที่ใช้หลักการของการจับค่าความเข้มข้นที่แหล่งกำเนิดก่อนที่จะกระจายเข้าสู่บริเวณห้อง โดยการใช้ช่องระบายอากาศ (Exact hood) สำหรับการระบายอากาศ ซึ่งรูปร่างของช่องระบายอากาศ และลักษณะการไหลของอากาศถือเป็นส่วนสำคัญของระบบ ทั้งนี้ระบบระบายอากาศเฉพาะที่เป็นระบบการเอ็กซอสเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกดสิ่งเจือปนที่มีประสิทธิภาพมากซึ่งใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเพื่อการระบายอากาศโดยเฉพาะ บริเวณที่แหล่งกำเนิดก่อมลพิษที่มีความอันตราย นอกจากนี้ยังมีการใช้ระบบการระบายอากาศชนิดนี้ภายใน อาคารพาณิชย์หรือบ้านเรือน ด้วยเช่นกัน เช่นในห้องประกอบอาหาร ฯลฯ

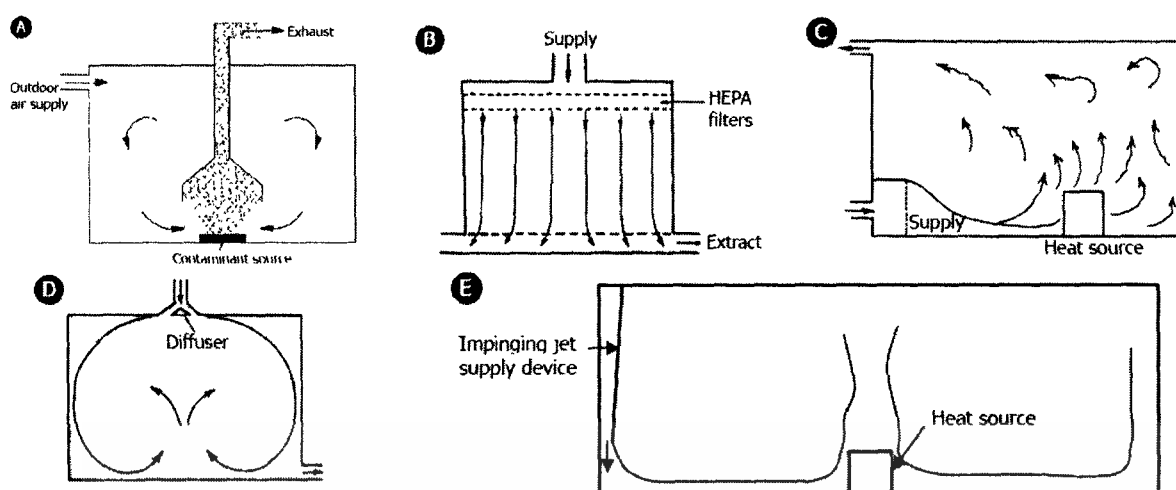
2.5.2 ระบบระบายอากาศแบบลูกสูบ (Piston Ventilation, PV)

ระบบระบายอากาศแบบลูกสูบเป็นการระบายอากาศในลักษณะที่ทำให้อากาศไหลไปในทิศทางเดียวกัน โดยอากาศที่นำเข้ามาภายในห้องทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนสิ่งเจือปนภายในห้อง ในลักษณะของการกวาดสิ่งเจือปนที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายในห้องไปสู่ท่อระบายอากาศ (Exact duct) ซึ่งวิธีการระบายอากาศเช่นนี้ใช้อย่างแพร่หลายในห้องควบคุมความสะอาด (Clean room) โดยเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพดีคุณควรทำการลดความปั่นป่วนของอากาศที่นำเข้าสู่ห้องลงเพื่อลดการกระจายตัวของสิ่งเจือปนภายในห้อง ลักษณะของระบบระบายอากาศชนิดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.3(B)

2.5.3 ระบบระบายอากาศแบบแทนที่ (Displacement Ventilation, DV)

ระบบระบายอากาศแบบแทนที่ที่เป็นระบบระบายอากาศที่ใช้หลักการของการแทนที่อากาศภายในห้องด้วยอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกแต่มีความรัดกุมน้อยกว่าระบบระบายอากาศแบบลูกสูบ โดยระบบระบายอากาศแบบแทนที่ที่ถูกใช้ในอาคารที่มีผู้คนอยู่และมีความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเป็นจำนวนมาก ซึ่งระบบระบายอากาศชนิดนี้จะนำอากาศเข้าสู่ภายในห้องในตำแหน่งที่ต่ำบริเวณพื้นห้องที่ความเร็วของอากาศ ประมาณ 0.25 – 0.35 m/s โดยอากาศที่เข้าสู่บริเวณห้องจะเกิดการผสมกันระหว่างโมเมนต์และแรงลอยตัว ซึ่งแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นมาจากผู้คนหรือบริเวณพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงเช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในห้อง ระบบระบายอากาศชนิดนี้ถือเป็นระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานที่ดีเยี่ยม เนื่องจากการจ่ายอากาศเข้าสู่ห้องที่ระดับต่ำ ทำให้อากาศที่จ่ายเข้ามาท่วมบริเวณที่มีผู้คนอาศัยอยู่และไหลออกจากห้องทางเพดานห้อง โดยกระแสของอากาศพาความร้อนจากผู้คนหรือแหล่งกำเนิดความร้อนภายในห้อง ซึ่งลักษณะการไหลของอากาศจากระบบระบายอากาศแบบแทนที่แสดงดังรูปที่ 2.3(C) โดยระบบระบายอากาศแบบแทนที่ที่เหมาะสมกับห้องที่มีความสูงมากกว่า 9 m และต้องระดับเสียงที่ต่ำบริเวณทำงาน[3] ระบบระบายอากาศชนิดนี้จ่ายอากาศเข้าสู่ห้องที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีช่วงของอุณหภูมิที่แนะนำดังนี้

- ผู้อยู่อาศัยที่อยู่นิ่งๆ ภายในห้อง 18-20°C
- ผู้อยู่อาศัยที่ทำกิจกรรมภายในห้อง 19-20°C
- ผู้อยู่อาศัยภายในโรงงานอุตสาหกรรม 15-17°C



รูปที่ 2.3 แบบจำลองการระบายอากาศชนิดต่างๆ : (A) Local Exhaust Ventilation (B) Piston Ventilation (C) Displacement Ventilation (D) Mixing Ventilation (E) Impinging Jet Ventilation [1]

2.5.4 ระบบระบายอากาศแบบผสม (Mixing Ventilation, MV)

ระบบระบายอากาศแบบผสมอาศัยหลักการผสมอากาศระหว่างอากาศที่เข้าสู่ห้องกับอากาศเดิมที่อยู่ในห้อง โดยใช้โมเมนตัมของกระแสเจ็ทจากอากาศที่นำเข้าสู่ห้องผสมกับแรงลอยตัวที่เกิดจากแหล่งกำเนิดความร้อนภายในห้อง ซึ่งวิธีการระบายอากาศชนิดนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับระบบปรับอากาศ เนื่องจากการระบายอากาศด้วยวิธีนี้สามารถใช้ได้กับห้องที่ใหญ่กว่าและมีภาระทางความร้อนมีมากกว่าการใช้ระบบการระบายอากาศแบบแทนที่ อย่างไรก็ตามระบบระบายอากาศแบบผสมจะมีความเหมาะสมกับห้องที่มีความสูงในระดับที่ต่ำกว่าระบบระบายอากาศแบบแทนที่คือ ระบบระบายอากาศชนิดนี้จะเหมาะกับห้องที่มีความสูงต่ำกว่า 8 ft และมีกรรบกวนอากาศภายในห้องเป็นจำนวนมาก [3] โดยรูปที่ 2.3(D) แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศที่ได้จากการใช้ระบบระบายอากาศแบบผสม

2.5.5 ระบบระบายอากาศแบบกระแสน้ำตกกระทบ (Impinging Jet Ventilation, IJV)

ระบบระบายอากาศแบบกระแสน้ำตกกระทบอาศัยหลักการของการปะทะ โดยกระแสเจ็ทของอากาศที่มีโมเมนตัมสูงจ่ายเข้ามาด้านล่างลงสู่พื้นห้องด้วยความเร็วในช่วง 1-5 m/s เพื่อช่วยทำให้เกิดการพาความร้อนในแนวตั้งได้จากตำแหน่งของแหล่งความร้อนโดยตรง โดยลักษณะการไหลของอากาศจากการระบายอากาศด้วยวิธีนี้ แสดงดังรูปที่ 2.3(E) ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าในขณะที่กระแสเจ็ทของอากาศปะทะกับพื้นห้องกระแสของอากาศจะกระจายตัวออกไปครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ทำให้กระแสเจ็ทของโมเมนตัมสามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะทางที่ไกลออกไปจากหัวจ่ายอากาศได้ดี ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดีทั้งในด้านของการผสมอากาศและการแทนที่อากาศ เนื่องจากมีโมเมนตัมระหว่างการผสมอากาศที่ต่ำกว่าระบบระบายอากาศแบบผสมและมีโมเมนตัมในการแทนที่อากาศที่มากกว่าระบบระบายอากาศแบบแทนที่ รวมทั้งยังสามารถป้องกันไม่ให้ความร้อนกระจายตัวในแนวราบอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สมการการออกแบบระบบระบายอากาศ [4]

การคำนวณอัตราการไหลของอากาศจะคำนวณโดยยึดตามคู่มือการออกแบบตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1-2004 ได้เสนอสมการออกแบบสำหรับการคำนวณอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับภาระการทำความเย็น (V_h) และอัตราการไหลของอากาศบริสุทธิ์ (V_r) สำหรับบริเวณการหายใจ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 10 และสมการที่ 11 ดังนี้ [2]

$$V_h = \frac{0.295Q_{oe} + 0.132Q_l + 0.185Q_{ex}}{60\rho C_p \Delta T_{HF}} \quad (9)$$

$$V_{bz} = R_p P_z + R_A A_z \quad (10)$$

$$T_s = T_{sp} - 6.0 - \left(\frac{Q_l}{1.08V} \right) \left(\frac{A}{2.27376V + 1.08A} \right) \quad (11)$$

เมื่อ

| | | |
|-----------------|-----|---|
| V_h | คือ | อัตราการจ่ายอากาศเข้าสู่ห้อง (CFM) |
| V_{bz} | คือ | อัตราการจ่ายอากาศบริเวณหายใจ (CFM) |
| Q_l | คือ | ความร้อนรวมภายในห้อง (Btu/hr) |
| Q_{oe} | คือ | ความร้อนจากคนและเครื่องจักร (Btu/hr) |
| Q_l | คือ | ความร้อนจากหลอดไฟ (Btu/hr) |
| Q_{ex} | คือ | ความร้อนจากภายนอก (Btu/hr) |
| R_p | คือ | อัตราการไหลของอากาศต่อคน (CFM/person) |
| R_A | คือ | อัตราการไหลของอากาศต่อพื้นที่ (CFM/m ²) |
| A_z | คือ | พื้นที่ผิวของห้องบริเวณที่คนอยู่อาศัย (m ²) |
| ΔT_{HF} | คือ | ความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง (°F) |
| T_{sp} | คือ | อุณหภูมิควบคุมของห้อง (°F) |
| T_s | คือ | อุณหภูมิจากหัวจ่าย (°F) |

สำหรับการคำนวณอุณหภูมิของอากาศที่เหมาะสมสำหรับการจ่ายอากาศภายในพื้นที่ที่สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 12 โดยค่าอัตราการไหล (V) ในสมการที่ใช้ในสมการที่ 11 ได้จากการพิจารณา ระหว่างค่า V_h และ V_r โดยการเลือกค่าที่ส่งผลกระทบต่อภาระระบายอากาศมากกว่ามาใช้งานซึ่งโดยปกติ สำหรับพื้นที่ซึ่งภายในมีแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีค่าสูงกว่า V_h จะมีค่ามากกว่าค่า V_r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 วิธีการหาค่าอัตราการระบายอากาศ (Air change method) [5]

การคำนวณอัตราการระบายอากาศสามารถทำได้เมื่อทราบค่าปริมาตรของอากาศทั้งหมดภายในพื้นที่หรือบริเวณที่ต้องการปรับอากาศในหน่วย (m^3) และค่าอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำที่จำเป็นต่อการระบายอากาศในพื้นที่นั้น ดังแสดงในสมการที่ 12

$$CFM = \frac{\text{Building Volume in Cubic Feet}}{\text{Minutes Air Change (ACM)}} \quad (12)$$

ซึ่งปริมาตรของบริเวณที่ต้องการปรับอากาศทั้งหมดสามารถหาได้จากผลคูณของ ความกว้าง ความยาว และความสูงของห้อง โดยค่า CFM ที่ได้จากสมการที่ 12 บ่งบอกถึงปริมาณของอัตราการไหลของอากาศที่จำเป็นต้องจ่ายเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศต่อหน้าที่ที่แนะนำ เช่นในกรณีของค่าจำนวนนาที่ต่อการระบายอากาศขั้นต่ำที่แนะนำมีค่าเท่ากับ 3 ค่า CFM ที่ได้หมายถึงปริมาณของอัตราการไหลที่จำเป็นต้องจ่ายเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศทุกๆ 3 นาทีเป็นต้น ในส่วนของค่าอัตราการระบายอากาศที่จำเป็นต่อการระบายอากาศนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิดได้แก่ การใช้งานพื้นที่ จำนวนคนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ ลักษณะของพื้นที่ และ ระดับความสูงของพื้นที่ โดยตัวอย่างค่าอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำที่แนะนำสำหรับสถานที่ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 จำนวนนาที่ต่อการระบายอากาศขั้นต่ำที่แนะนำสำหรับสถานที่ต่างๆ [5]

| ชนิดของอาคาร | จำนวนนาที่ต่อการระบายอากาศ |
|------------------|----------------------------|
| ห้องบอยเลอร์ | 15-20 |
| หอประชุม | 8-12 |
| ห้องเครื่องจักร | 4-6 |
| โรงงานอุตสาหกรรม | 2-4 |

จากตารางที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าสำหรับสถานที่ต่างกันมีความต้องการอากาศเพื่อมาหมุนเวียนในปริมาณที่แตกต่างกันสำหรับกำจัดสิ่งเจือปนที่อยู่ภายในพื้นที่ เช่นกลิ่นจากการปรุงอาหารและกลิ่นตัวของผู้นคนที่อยู่อาศัยภายในอาคาร รวมไปถึงกลิ่นควันบุหรี่ภายในอาคาร ฯลฯ นอกจากนี้การระบายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศที่เพียงพอยังช่วยในการรักษาระดับของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

2.8 พลังงานที่ใช้ในการระบายอากาศ (Energy for ventilation) [2]

พลังงานที่ใช้ในการระบายอากาศคือพลังงานที่เกิดจากแรงเนื่องมาจากการแทนที่ของอากาศสำหรับการเคลื่อนย้ายอากาศ ซึ่งแรงในที่นี่คือความดัน (Δp) ที่เกิดขึ้นบนพื้นที่หน้าตัดของท่อแอร์ (A) และความยาวของส่วนการแทนที่อากาศ (l) ดังแสดงในสมการที่ 13

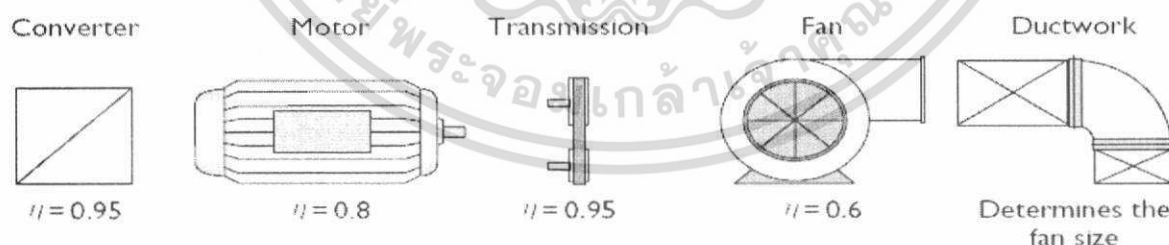
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_m = \Delta p A l = p V \quad (13)$$

โดยเมื่อหารสมการที่ 13 ด้วยเวลาที่ใช้ในการปลดปล่อยพลังงาน Δt จะได้เป็นกำลังที่ใช้ในการระบายอากาศดังสมการที่ 14

$$\Phi_m = \frac{Q_m}{\Delta t} = \frac{\Delta p V}{\Delta t} = \Delta p \frac{V}{\Delta t} = \Delta p \dot{V} \quad (14)$$

โดยทั่วไปแล้วพลังงานของการระบายอากาศ (Φ_m) จากสมการที่ 14 เกิดจากการทำงานของพัดลมในระบบระบายอากาศซึ่งใช้สำหรับการจ่ายอากาศเข้าสู่ท่อลม โดยพลังงานเกิดจากการไหลของอากาศด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตร (\dot{V}) ค่าหนึ่งผ่านท่อลมเนื่องจากความดันที่แตกต่างกัน (Δp) ระหว่างท่อจ่ายอากาศหลักกับท่อดูดอากาศหลัก ซึ่งความแตกต่างของความดันมีค่าเป็นสัดส่วนเดียวกันกับของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศยกกำลัง 2 สำหรับกำลังที่ใช้เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการภายในระบบท่อลมมีค่าเป็นสัดส่วนเดียวกันกับอัตราการไหลของอากาศยกกำลัง 3 กล่าวคือเมื่อเพิ่มอัตราการไหลภายในห้องขึ้น 10% จะต้องการพลังงานจากพัดลมมากขึ้น 33% และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลขึ้นเป็น 2 เท่าของอัตราการไหลเดิม จะต้องการพลังงานจากพัดลมเพิ่มขึ้น 8 เท่า หากขนาดของท่อลมไม่เปลี่ยนแปลง โดยในความเป็นจริงพลังงานที่ใช้จากมอเตอร์ของพัดลมจะมีค่ามากกว่า Φ_m เนื่องจากการสูญเสียพลังงานจากมอเตอร์เองและการสูญเสียพลังงานของพัดลม โดยพลังงานที่สูญเสียจากพัดลมเกิดจากส่วนประกอบต่างๆ ภายในเครื่องจ่ายของท่อลม ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งค่าพลังงานที่ใช้ทั่วไปสำหรับการเคลื่อนย้ายอากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตรในเครื่องจ่ายของระบบระบายอากาศหรือพลังงานที่ต้องการเพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $1 \text{ m}^3/\text{h}$ แสดงดังตารางที่ 2.5 โดยสังเกตได้ว่าระหว่างระบบทั่วไปกับระบบประหยัดพลังงานมีค่าพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายอากาศแตกต่างกันประมาณ 2 เท่า



รูปที่ 2.4 ค่าประสิทธิภาพของส่วนประกอบต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเคลื่อนย้ายอากาศภายในระบบท่อลม [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 พลังงานสำหรับการเคลื่อนย้ายอากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตรในอาคารทั่วไปและอาคารประหยัดพลังงาน [2]

| Use of ventilated room | Typical systems ($Wh\ m^{-3}$) | Energy-efficient systems ($Wh\ m^{-3}$) |
|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Dwelling | 0.42 | 0.17 |
| Office and meeting rooms | 0.56 | 0.35 |
| Shop | 0.35 | 0.22 |
| Shopping center | 0.90 | 0.56 |
| Classroom, auditorium | 0.35 | 0.22 |
| Hospital room | 0.35 | 0.22 |
| Hotel room | 0.56 | 0.35 |
| Restaurant | 0.35 | 0.22 |
| Professional kitchen | 0.42 | 0.28 |
| Workshop | 0.35 | 0.22 |
| Toilets | 0.14 | 0.08 |
| Couloirs, archives | 0.28 | 0.17 |
| Garage (private) | 0.14 | 0.0 ^a |
| Garage (public) | 0.28 | 0.0 ^a |
| Computer room (exhaust air only) | 0.14 | 0.08 |

^a Natural ventilation.

2.9 ทฤษฎีการไหลของกระแสเจ็ทและลำอากาศ (Principles of air jets and plumes)

การไหลของกระแสเจ็ทของอากาศมีความแตกต่างจากการไหลของของไหลชนิดอื่นเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระแสเจ็ทถูกล้อมรอบด้วยขอบเขตอิสระของของไหลชนิดเดียวกัน ซึ่งการกระทำกันระหว่างการไหลภายในกระแสเจ็ทและขอบเขต (Entrainment) เป็นปัจจัยหลักสำหรับการพัฒนาการไหลของกระแสเจ็ท โดยลักษณะของกระแสเจ็ทในลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยรูป A-F เป็นการไหลของกระแสเจ็ทที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal flow) รูป A-E แสดงการไหลของกระแสเจ็ทจากช่องเปิดซึ่งมีลักษณะต่างกัน รูป D-E แสดงการเบี่ยงเบนของกระแสเจ็ทเมื่อปะทะกับผนังห้องและสิ่งกีดขวาง รูปที่ F แสดงการไหลโดยรอบของช่องถ่ายอากาศออก (Exhaust opening) สำหรับการไหลของกระแสเจ็ทที่อุณหภูมิไม่คงที่ (Non-isothermal flow) แสดงดังรูป G-H แสดงการเบี่ยงเบนของกระแสเจ็ทอิสระเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและการไหลผ่านช่องเปิดจากผนัง รูป I-K แสดงการไหลเนื่องจากแรงลอยตัว โดยแสดงการไหลของลำความร้อนเหลือแหล่งกำเนิดความร้อน การพาความร้อนตามธรรมชาติจากร่างกาย และการไหลของอากาศเย็นในแนวตั้งจากผนังห้องตามลำดับ รูปที่ L-M แสดงการไหลแบบชั้น (Stratified flow) จากช่องจ่ายอากาศที่อยู่ในระดับต่ำและจากกระแสอากาศเย็นในแนวตั้งตามลำดับ ส่วนรูป N แสดงการไหลของอากาศที่ถูกสกัดออกจากห้องในแนวราบบริเวณ โชนที่ติดกับการไหลแบบแยกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอาคารที่ใช้ระบบระบายอากาศส่วนใหญ่ กระแสเจ็ทถูกใช้สำหรับการผสมอากาศจากหัวจ่ายกับอากาศภายในห้อง เช่น ระบบระบายอากาศแบบผสมที่ใช้กระแสเจ็ทเป็นตัวกระจายพลังงานความร้อน ความชื้น และอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่ห้อง ซึ่งตรงกันข้ามกับระบบระบายอากาศแบบแทนที่ซึ่งใช้กระบวนการแทนที่กันของอากาศภายในห้อง สำหรับระบบระบายอากาศแบบผสมนั้นสิ่งสำคัญคือต้องให้กระแสเจ็ทของอากาศผสมกันกับอากาศภายในห้องอย่างมีประสิทธิภาพก่อนทำการสกัดอากาศออกจากห้อง ซึ่งมีข้อเสียคืออาจทำให้บางพื้นที่ของห้องมีการระบายอากาศได้ไม่เพียงพอเนื่องจากเกิดการลัดวงจรกันระหว่างอากาศที่จ่ายเข้าสู่ห้อง (Supply air) กับอากาศที่ถูกสกัดออกจากห้อง (Extract air) ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้ผู้ที่คนที่อยู่อาศัยเกิดความไม่พอใจยังทำให้การใช้พลังงานของระบบทำความเย็นมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง และความอ่อนไหวเนื่องจากอุณหภูมิของกระแสลมอยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมอีกด้วย

Isothermal flow



Non-isothermal flow



Buoyant flow



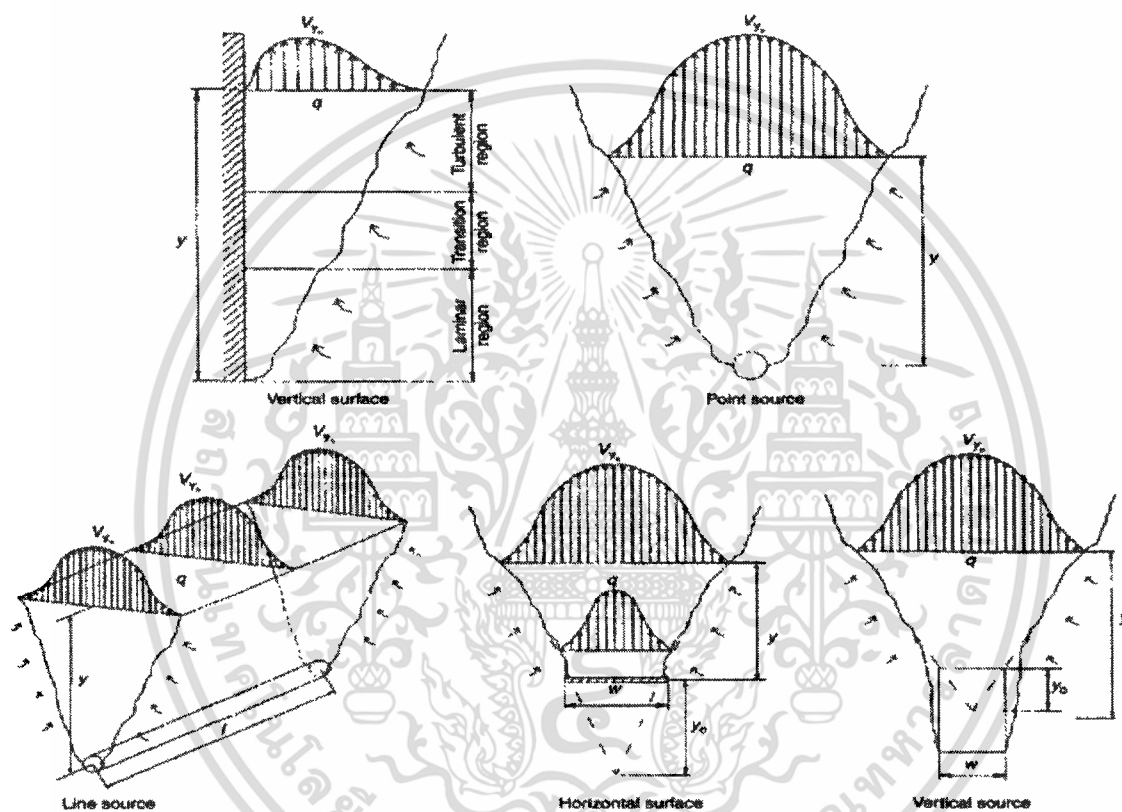
Stratified flow



รูปที่ 2.5 การไหลของกระแสเจ็ทในลักษณะต่างๆ [2]

การไหลที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือการไหลของลำอากาศร้อนซึ่งการไหลชนิดนี้ส่งผลกระทบต่ออย่างมากต่อการเคลื่อนที่ของอากาศและชั้นของความร้อนภายในห้อง โดยลำความร้อนเกิดจากการพาความร้อน ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหลที่สัมผัสกับแหล่งกำเนิดความร้อนกับของไหลที่อยู่โดยรอบ ซึ่งความรู้เกี่ยวกับลำความร้อนสามารถนำมาใช้พัฒนาเกี่ยวกับความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งภายในพื้นที่ระบายอากาศ โดยรูปแบบของความเร็วและอัตราการไหลของลำความร้อนมีความจำเป็นอย่างมาก ต่อการประเมินการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้อง ความสบายเชิงความร้อนรวมไปถึงคุณภาพอากาศภายในอาคาร อย่างไรก็ตามตัวแปรเหล่านี้ไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับรูปร่างและกำลังของแหล่งกำเนิดของลำความร้อนแล้วยังขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของอากาศและเกรดเดียนท์ของอุณหภูมิในแนวตั้งภายในห้องด้วย สำหรับแหล่งกำเนิดของลำความร้อน โดยทั่วไปภายในห้องได้แก่ เครื่องทำความร้อน(Heaters) คอมพิวเตอร์ เเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นับแต่หน้าต่างเปิดปิดระบบปรับอากาศ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกายมนุษย์ พื้นผิวที่ร้อนหรือเย็น ฯลฯ ซึ่งการเกิดลำความร้อนจากแหล่งกำเนิดต่างชนิดกันแสดงดังรูปที่ 2.6 ในส่วนของระดับของอิทธิพลของลำความร้อนต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องพบว่ามีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของระบบระบายอากาศที่เลือกใช้ ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับลำความร้อนมุ่งเน้นไปที่การศึกษาระบบระบายอากาศแบบแทนที่เนื่องจากลำความร้อนส่งผลกระทบต่อระบบระบายอากาศชนิดนี้ค่อนข้างเห็นได้ชัด ซึ่งสำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการคำนวณลำความร้อนจากพื้นผิวชนิดต่างๆ สามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข[1]



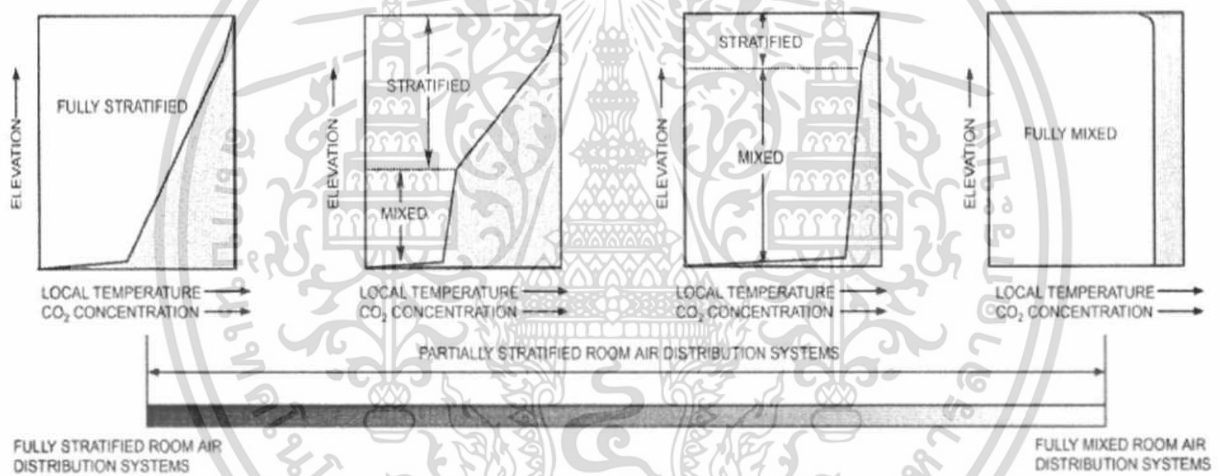
รูปที่ 2.6 ลำความร้อนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่างชนิดกัน [2]

2.10 การออกแบบระบบการกระจายตัวของอากาศภายในห้อง (Design of room air distribution systems)

การกระจายตัวของกระแสเจ็ทของอากาศขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของหัวจ่ายอากาศรวมไปถึงปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับสภาวะขอบเขตของการกระจายตัวเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามสำหรับการออกแบบการกระจายตัวของอากาศภายในห้องจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) ของการระบายอากาศด้วยกระแสเจ็ทของอากาศเป็นอย่างดี สำหรับข้อมูลการไหลของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสน้ำของอากาศโดยส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับกลไกภายในขอบเขตของกระแสน้ำ (Jet envelope) จนถึงระยะการตกของกระแสน้ำอากาศ (Throw length) เท่านั้น ซึ่งปกติแล้วพื้นที่บริเวณนี้อยู่นอกเหนือจากบริเวณที่อยู่อาศัยของคนภายในห้อง อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ของอากาศบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยนั้นเกิดจากการแพร่ในช่วงเริ่มต้นของกระแสน้ำจากหัวจ่ายและการพาความร้อนตามธรรมชาติที่เกิดจากแหล่งกำเนิดความร้อนและแหล่งดูดซับความร้อนภายในห้อง

การทำนายการเคลื่อนที่ของอากาศภายในพื้นที่ปิด สำหรับการออกแบบระบบการกระจายตัวของอากาศ จำเป็นต้องทราบข้อมูลซึ่งได้แก่ ปริมาณของอากาศที่ต้องจ่ายเข้าสู่ห้อง ตำแหน่งภายในห้องที่เหมาะสมต่อกรวางหัวจ่ายอากาศและช่องดูดอากาศกลับ ชนิดของหัวจ่ายอากาศที่เหมาะสมสำหรับใช้ภายในห้อง สภาพที่ดีที่สุดของการจ่ายความเร็วและอุณหภูมิของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศภายในห้อง การกระจายตัวของความเร็วลม ค่าความเข้มข้นของความปั่นป่วน อุณหภูมิบริเวณที่มีผู้คนอยู่อาศัย และการกระจายตัวของสิ่งเจือปนในอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งชนิดของระบบการกระจายอากาศตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 การแบ่งชนิดของการกระจายอากาศตามวัตถุประสงค์การใช้งาน [6]

ระบบการกระจายอากาศแบบผสม (Mixed systems) เป็นระบบที่ยอมให้เกิดการแยกชั้นกันของความร้อนภายในบริเวณที่มีผู้คนอยู่อาศัยเพียงเล็กน้อยหรือไม่ยอมให้เกิดเลย โดยหัวจ่ายที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของอากาศในลักษณะเช่นนี้ได้แก่ หัวจ่ายติดเพดานสำหรับทำความเย็น และหัวจ่ายความเร็วสูงสำหรับทำความร้อน เป็นต้น

ระบบการกระจายอากาศแบบสร้างชั้นความร้อนโดยสมบูรณ์ (Fully thermal stratification systems) เป็นระบบที่เกิดการผสมกันของอากาศเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีการผสมกันของอากาศเลยภายในบริเวณที่มีผู้คนอยู่อาศัย ซึ่งระบบระบายอากาศที่ก่อให้เกิดการกระจายตัวของอากาศในลักษณะนี้ เช่น ระบบระบายอากาศแบบแทนที่และระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการกระจายอากาศแบบกึ่งผสม (Partially mixed systems) เป็นระบบที่จำกัดการผสมของอากาศภายในบริเวณที่มีผู้คนอาศัยอยู่ ซึ่งระบบการกระจายอากาศเช่นนี้ส่วนใหญ่ใช้หัวจ่ายชนิดได้พื้นสำหรับการกระจายอากาศ

2.11 การเลือกชนิดของหัวจ่ายอากาศ [6]

การเลือกชนิดของหัวจ่ายอากาศสำหรับการใช้งานโดยทั่วไปสามารถคำนวณได้จาก ภาระการทำความเย็นของห้อง (Room load) รูปแบบการไหลของอากาศที่ต้องการ (Desired air flow pattern) คุณลักษณะทางเสียง (Noise characteristics) ความดันที่สูญเสีย (Pressure losses) ความสวยงามและความต้องการทางสถาปัตยกรรม (Aesthetic and architectural requirements) ซึ่งสำหรับการประยุกต์ใช้หัวจ่ายแบบต่างๆ ตามวัตถุประสงค์การกระจายตัวของอากาศแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การประยุกต์ใช้หัวจ่ายสำหรับการกระจายอากาศโดยทั่วไป [6]

| Outlet Types | Fully Mixed | | | Fully Stratified | | Partially Mixed | | |
|---------------------|-----------------|--------------|------------|------------------|------------|-----------------|--------------|------------|
| | Ceiling Mounted | Wall Mounted | Floor/Sill | Wall Mounted | Floor/Sill | Ceiling Mounted | Wall Mounted | Floor/Sill |
| Grilles | | | | | | | | |
| Adjustable blade | ● | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Fixed blade | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Linear bar | ⊗ | ● | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ● |
| Nozzle | ● | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Diffusers | | | | | | | | |
| Round | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Square | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Perforated face | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Louvered face | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Plaque face | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Hemispherical | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ● | ⊗ | ⊗ |
| Laminar flow | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ● | ⊗ | ⊗ |
| Variable geometry | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Linear slot | ● | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| T-bar slot | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Light troffer | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Swirl | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ● | ⊗ | ● | ● |
| Displacement | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ● | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Active chilled beam | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
| Air dispersion duct | ● | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ● | ⊗ | ⊗ |

● = often used ◐ = sometimes used ⊙ = seldom used ⊗ = not recommended

จากตารางได้แสดงข้อมูลสำหรับการเลือกใช้หัวจ่ายอากาศโดยทั่วไปซึ่งได้แก่ ชนิดของหัวจ่ายและตำแหน่งในการจ่ายอากาศ รวมไปถึงวัตถุประสงค์ของการกระจายอากาศที่ต้องการเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเลือกใช้และการออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสม โดยสำหรับข้อมูลทางเทคนิคเพิ่มเติมสามารถหาได้จากผู้ผลิตและผู้จัดจำหน่ายโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลสำหรับทำนายการไหลของอากาศ

โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ประยุกต์สำหรับการแก้ปัญหาการไหลตั้งแต่การทำนายการไหลของกระแสเจ็ทภายในห้องที่มีการระบายอากาศไปจนถึงการกระจายตัวของควันไฟที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้ทำการแก้ปัญหาโดยใช้พื้นฐานของ สมการอนุรักษ์มวล (Mass conservation equation) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum conservation equation) สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy conservation equation) ร่วมกัน ดังแสดงในสมการที่ 15 – 18

สมการอนุรักษ์มวล [8]

รูปแบบทั่วไปของสมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) แสดงดังสมการที่ 15

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (15)$$

เมื่อ \vec{v} คือ เวกเตอร์ของความเร็ว และ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล สมการอนุรักษ์โมเมนตัม [8]

สมการอนุรักษ์โมเมนตัมของการไหลของของไหลแสดงดังสมการที่ 16

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (16)$$

เมื่อ p คือ ความดันสถิตย์ $\rho \vec{g}$ และ \vec{F} คือ แรงโน้มถ่วง และแรงจากภายนอก $\vec{\tau}$ คือ เทนเซอร์ของความเค้นซึ่งหาได้จากสมการ

$$\vec{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (17)$$

เมื่อ μ คือ ความหนืดเชิงโมเลกุล (Molecular viscosity) I คือ เทนเซอร์หนึ่งหน่วย (Unit tensor) และเทอมทางขวามือของสมการคือผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปริมาตร

สมการอนุรักษ์พลังงาน [8]

สมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับของไหลแสดงดังสมการที่ 18 โดยในที่นี้เป็นสมการอนุรักษ์พลังงานที่เขียนในเทอมของเอนทัลปีซึ่งมีค่าเท่ากับ $h = \int_{T_{ref}}^T c_p dT$ เมื่อ T_{ref} มีค่าเท่ากับ 298.15 K

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot (\rho h \vec{v}) = \nabla \cdot [(k + k_r) \nabla T] + S_h \quad (18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ k คือค่าการนำความร้อนเชิงโมเลกุล k , คือค่าการนำความร้อนเนื่องจากการไหลแบบปั่นป่วน S_k คือเทอมของแหล่งกำเนิดความร้อนอื่นที่กำหนดไว้ในกระบวนการจำลอง

สำหรับในทางปฏิบัติมีเทคนิคในการแก้ปัญหาจากการจำลองด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลอยู่ 2 เทคนิคหลัก คือวิธีการปริมาตรจำกัด (Finite volume) และวิธีการชิ้นประกอบจำกัด (Finite element) ตามลำดับ ซึ่งสำหรับโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลส่วนใหญ่จะเลือกใช้วิธีการปริมาตรจำกัดสำหรับการคำนวณปัญหาเกี่ยวกับการไหลของของไหล ส่วนวิธีการชิ้นประกอบจำกัดจะเหมาะสำหรับการคำนวณปัญหาเกี่ยวกับของแข็งมากกว่า [7]

โดยทั่วไปแล้วการไหลของอากาศจากระบบระบายอากาศส่วนใหญ่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการเลือกแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนที่เหมาะสมเพื่อทำนายการไหลโดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนที่ถูกรวบรวมไว้ในโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมีอยู่หลายสมการด้วยกัน [8] เช่น แบบจำลองศูนย์สมการ (Zero-equation (Mixing length) model) แบบจำลองสองสมการหรือแบบจำลองมาตรฐาน $k - \epsilon$ (The two-equation (Standard $k - \epsilon$) model) แบบจำลอง RNG $k - \epsilon$ (The RNG $k - \epsilon$ model) และแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองสองสมการ (The enhanced two-equation model) เป็นต้น แบบจำลองศูนย์สมการเป็นแบบจำลองที่ใช้สมการเพียงสมการเดียว (Single equation) ในการแก้ปัญหาซึ่งสำหรับการจำลองการไหลอย่างง่ายไม่ซับซ้อน สำหรับการจำลองการไหลที่มีความซับซ้อนมากขึ้นควรใช้แบบจำลองที่ใช้สองสมการ (two-equation) ในการแก้ปัญหามากกว่า เนื่องจากแบบจำลองสองสมการสามารถอธิบายความเร็วและระยะกระจัดของการไหลแบบปั่นป่วนแยกกันได้อย่างอิสระ โดยแบบจำลองสองสมการที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบระบบระบายอากาศโดยทั่วไปได้แก่ แบบจำลองมาตรฐาน $k - \epsilon$ และแบบจำลอง RNG $k - \epsilon$

2.12.1 แบบจำลองมาตรฐาน $k - \epsilon$ [8]

แบบจำลองมาตรฐาน $k - \epsilon$ เป็นแบบจำลองที่ใช้อย่างแพร่หลายในการคำนวณการไหลทางวิศวกรรมโดยแบบจำลองนี้จัดเป็นแบบจำลองชนิดกึ่งการทดลอง (Semi-Empirical) ซึ่งอาศัยพื้นฐานของแบบจำลองของสมการทรานสปอร์ตสำหรับพลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent kinetic energy, k) และอัตราการสลายตัว (Dissipation rate, ϵ) ของพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้น โดยแบบจำลองนี้ทำการคำนวณสมการทรานสปอร์ต 2 สมการแยกกันได้อย่างอิสระ โดยมีสมมติฐานว่าลักษณะการไหลเป็นแบบปั่นป่วนทุกจุดในกระแสการไหล (Fully turbulent) ซึ่งสำหรับข้อดีของแบบจำลองนี้การใช้แหล่งข้อมูลที่ไม่ซับซ้อนอีกทั้งยังให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำเป็นที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังใช้พื้นที่ของหน่วยความจำในการประมวลผลที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับแบบจำลองชนิดอื่นที่มีความซับซ้อนมากกว่า โดยสมการที่ใช้ในแบบจำลองแสดงดังสมการที่ 19 และสมการที่ 20 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (19)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (20)$$

เมื่อ ρ และ μ คือความหนาแน่นและความหนืดของของไหล μ_t คือความหนืดของการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 21

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (21)$$

เมื่อ C_μ $C_{1\varepsilon}$ $C_{2\varepsilon}$ และ $C_{3\varepsilon}$ คือค่าคงที่ σ_k และ σ_ε คือเลขพรันด์ของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent prandtl number) ของ k และ ε ตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกแบบจำลองมาตรฐาน $k-\varepsilon$ ในการจำลองโดยใช้ค่าคงที่ในการคำนวณจากโปรแกรม Fluent® ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้ $C_\mu = 0.09$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$ และ $\sigma_\varepsilon = 1.3$ ตามลำดับ โดยในส่วนของค่า G_k และ G_b คือการเกิดขึ้นของพลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วนจาก เกรเดียนท์ ของความเร็วเฉลี่ยและจากแรงลอยตัวตามลำดับ

2.12.2 แบบจำลอง RNG $k-\varepsilon$ [8]

แบบจำลอง RNG $k-\varepsilon$ ถูกสร้างขึ้นมาด้วยทฤษฎีการรีโนรมอลไลซ์แบบกลุ่ม (Renormalization group theory) ซึ่งแบบจำลองนี้ความคล้ายคลึงกับแบบจำลองมาตรฐาน $k-\varepsilon$ แต่มีการปรับปรุงโดยการเพิ่มเทอมสำหรับการคำนวณผลกระทบจากความหนืดของของไหลทำให้สามารถคำนวณการไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำได้ดีกว่าแบบจำลองมาตรฐาน $k-\varepsilon$ โดยสมการที่ใช้ในแบบจำลอง RNG $k-\varepsilon$ แสดงดังสมการที่ 22 และ 23

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (22)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon \quad (23)$$

เมื่อ R_ε คือแฟกเตอร์แก้ไขสำหรับการคำนวณการไหลที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำ α_k และ α_ε คือค่าประสิทธิภาพการผกผันของตัวเลขพรันด์ (Inverse effective Prandtl numbers) ของ k และ ε ตามลำดับ และ μ_{eff} คือประสิทธิภาพของความหนืดจากการไหลของของไหล

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhang Lin และคณะ [9] ทำการศึกษาถึงผลของตำแหน่งช่องเติมอากาศ (Supply air) ต่อสมรรถนะของระบบระบายอากาศแบบแทนที่ภายในสำนักงาน ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ตำแหน่งของช่องเติมอากาศอยู่บริเวณด้านข้างของห้อง และกรณีที่ช่องเติมอากาศอยู่บริเวณตรงกลางห้อง โดยใช้โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล พบว่าตำแหน่งของช่องเติมอากาศที่อยู่ตรงกลางห้องให้ประสิทธิภาพของการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องที่ดีกว่าการวางตำแหน่งของช่องเติมอากาศไว้บริเวณด้านข้างของห้อง เนื่องจากการวางตำแหน่งของช่องเติมอากาศไว้บริเวณตรงกลางห้องทำให้อากาศสามารถไหลเวียนได้ทั่วบริเวณห้องโดยไม่ไปติดค้างอยู่ตามซอกมุมและเฟอร์นิเจอร์ต่างๆที่ใช้ภายในห้องและยังสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง (Ambicnt air) ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงผลของมลพิษภายในห้องเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ฯลฯ ซึ่งพบว่าระบบระบายอากาศแบบแทนที่ที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา

Hee -Jin Park และ Dale Holland[10] ทำการศึกษาถึงผลของตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดความร้อนชนิดพาความร้อนในแนวตั้งต่อระบบการระบายอากาศแบบแทนที่โดยการใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล จำลองตำแหน่งของแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีความสูงจากพื้นห้องแตกต่างกันเป็นจำนวน 7 ตำแหน่ง พบว่าลักษณะการไหลเวียนของอากาศในระดับที่สูงขึ้นจากพื้นห้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูงของแหล่งกำเนิดความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าตำแหน่งของแหล่งกำเนิดความร้อนส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของกระแสแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากหัวจ่ายความเร็วต่ำเมื่อตำแหน่งของแหล่งกำเนิดความร้อนอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าความสูงของหัวจ่ายอากาศแบบแทนที่

Zhang Lin และคณะ[11] ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการระบายอากาศในด้านของความสบายเชิงความร้อนระหว่างระบบระบายอากาศแบบผสมและระบบระบายอากาศแบบแทนที่จากสถานที่แตกต่างกัน 3 แห่งได้แก่ โรงเรียน ร้านค้าปลีก และโรงงานอุตสาหกรรม โดยสร้างแบบจำลองจากโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล พบว่าระบบระบายอากาศแบบแทนที่สามารถลดความสบายเชิงความร้อนได้โดยการใช้ความเร็วลมที่ต่ำ นอกจากนี้ยังมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งและค่าร้อยละของผู้คนที่ไม่พอใจเนื่องจากอุณหภูมิของกระแสลมที่ต่ำกว่า ระบบระบายอากาศแบบผสม อย่างไรก็ตามการใช้อัตราการระบายอากาศที่สูงถึงแม้ว่าจะไม่มีประสิทธิภาพทั้งทางด้านพลังงานและทางด้านต้นทุน แต่จะส่งผลกระทบต่อสภาพความสบายเชิงความร้อน ซึ่งพบได้ในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีแหล่งกำเนิดความร้อนขนาดใหญ่ การใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่ในการระบายอากาศพื้นที่บริเวณนี้จำเป็นต้องใช้การหมุนเวียนของอากาศที่สูงขึ้นด้วย

G.Einberg และคณะ[12] ได้ทำการจำลองของหัวจ่ายอากาศที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยการใส่โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อทำนายค่าความเร็วลมและอุณหภูมิในบริเวณที่ใกล้กับหัวจ่าย โดยนำข้อมูลจากผู้ผลิตหัวจ่ายและข้อมูลจากงานวิจัยมาทำการจำลองหัวจ่าย และเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐาน $k-\epsilon$ สำหรับจำลองทางความปั่นป่วนของอากาศที่จ่ายออกมาจากหัวจ่าย โดยสำหรับความเร็วลมทำการวัดโดยใช้เซนเซอร์แบบอัลตราโซนิก จากนั้นจึงนำผลการจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดภายในห้องทดลอง พบว่า แบบจำลองมาตรฐาน $k-\epsilon$ สามารถทำนายการไหลบริเวณโดยรอบของหัวจ่ายของอากาศแบบอุณหภูมิไม่คงที่ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามจากการทดสอบโดยใช้ควันพบว่าการไหลโดยรอบของหัวจ่ายนั้น ไม่สมมาตรอย่างสมบูรณ์ตามการทำนายโดยการใส่โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งสาเหตุของการสังเกตความไม่สมมาตร ไม่ได้มีการระบุไว้ งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นถึงเหตุผลที่คำตอบของการจำลองให้คำตอบที่มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง

Josephine Lau และ Qingyan Chen[13] ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของที่ใช้หัวจ่ายแบบหมุนหรือแผงหัวจ่ายรูปวงรีของระบบระบายอากาศแบบแทนที่ซึ่งจ่ายอากาศที่ระดับพื้นห้อง โดยการใส่โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในการจำลอง สำหรับ โรงฝึกงาน (Workshop) ขนาดใหญ่และมีภาระการทำควมเย็นที่สูง ประมาณ 90 W/m^2 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในการประเมินสมรรถนะของระบบสำหรับ โรงงานขนาดใหญ่มีหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ อัตราการระบายอากาศ จำนวนและตำแหน่งของหัวจ่าย ตำแหน่งของผู้คนในอาคาร การจัดเรียงตัวของเฟอร์นิเจอร์ ตำแหน่งของแผงกัน และการจัดเรียงตัวของช่องระบายอากาศ ซึ่งผลของการจำลองพบว่าการใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่สำหรับการระบายอากาศในโรงฝึกงานสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพอากาศให้ดีขึ้นได้เนื่องจากความเข้มข้นของสิ่งเจือปนที่อยู่ในอากาศในระดับหายใจมีค่าต่ำกว่าการระบายอากาศโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบผสม อย่างไรก็ตามการจ่ายอากาศที่ระดับพื้นห้องอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดความไม่สบายเชิงความร้อนได้เนื่องจากมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งที่สูงเมื่อเทียบกับระบบระบายอากาศแบบผสม

T. Karimipanh และ H.B. Awbi[14] ทำการศึกษาทฤษฎีและทดลองเกี่ยวกับระบบระบายอากาศแบบกระแสเจ็ทตกกระทบและนำมาเปรียบเทียบกับระบบระบายอากาศแบบแทนที่ซึ่งจ่ายอากาศบริเวณผนังห้อง โดยทำการทดลองภายในห้องเรียนของโรงเรียนแห่งหนึ่ง พบว่าการกระจายตัวของอากาศจากระบบระบายอากาศแบบแทนที่ที่สามารถรองรับภาระการทำควมเย็นภายในห้องเรียนได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าทั้งระบบระบายอากาศแบบแทนที่และระบบระบายอากาศแบบกระแสเจ็ทตกกระทบจะแสดงแนวโน้มการระบายอากาศที่คล้ายคลึงกันมากแต่มีความแตกต่างกันในด้านของสมรรถนะซึ่งสามารถสังเกตได้จากความสมดุลกันระหว่างแรงลอยตัวและ โมเมนตัมระบบระบายอากาศแบบกระแสเจ็ทตกกระทบจะทำให้ดีกว่าเล็กน้อยในเรื่องของอายุเฉลี่ยของอากาศและการกระจายตัวของความเร็วลม อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโดยไม่คำนึงถึงสภาวะของช่องระบายอากาศ ซึ่งจำเป็นต้องทำความเข้าใจและศึกษาเกี่ยวกับสภาวะต่างๆ สำหรับการใช้งานจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K.W. Mui และคณะ [15] ทำการศึกษาถึงมาตรฐานของแบบจำลองพลังงานสำหรับระบบหมุนเวียนอากาศภายในสำนักงานที่ใช้ระบบปรับอากาศ (Air-condition) ของประเทศเขตร้อน โดยพัฒนาแบบจำลองของการใช้พลังงานภายในสำนักงานจากการวิเคราะห์ด้วยไซโครเมตริก (Psychrometric) พบว่าพลังงานที่ใช้สำหรับระบบหมุนเวียนอากาศภายในสำนักงานต่อหน่วยพื้นที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในสำนักงาน โดยอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Set point) สำหรับระบบปรับอากาศจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในสำนักงานน้อยมาก ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการประหยัดพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดความไม่สบายเชิงความร้อนภายในสำนักงานจากผลของอุณหภูมิของอากาศภายในสำนักงานที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นแบบจำลองการใช้พลังงานนี้จึงเหมาะสำหรับผู้จัดการอาคาร วิศวกรผู้ควบคุมระบบปรับอากาศ และบุคคลที่เกี่ยวข้องกับงานระบบปรับอากาศ ที่จะนำไปใช้ในการศึกษาและประเมินสมรรถนะของระบบหมุนเวียนอากาศภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพที่ดีอย่างสม่ำเสมอ

S.C. Sekhar และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของรูปแบบการไหลของอากาศภายในอาคารต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารของประเทศในแถบเขตร้อน โดยการใช้โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในการคำนวณ ภายในสภาวะคงตัว (Steady-state) พบว่ารูปแบบการไหลของอากาศภายในอาคารส่งผลกระทบต่อเส้นทางของมลพิษที่เกิดขึ้นภายในอาคารรวมไปถึงปริมาณของอากาศสะอาดที่จะต้องเติมเข้าไปในอาคาร การจัดเรียงตัวของอุปกรณ์ที่นำอากาศเข้าและออกจากอาคาร การออกแบบพื้นที่ว่างภายในอาคาร และแหล่งกำเนิดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบการไหลของอากาศที่สำคัญคือ การหมุนเวียนของอากาศภายในอาคารและสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

C.Y.H. Chao และคณะ [17] ทำการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบเปลี่ยนแปลงตามความต้องการ (Dual mode demand Control) เพื่อควบคุมคุณภาพของอากาศภายในอาคารและประหยัดพลังงานที่ใช้ภายในอาคาร โดยตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมระบบหมุนเวียนอากาศชนิดนี้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และบริเวณที่ไม่มีผู้คนอาศัยอยู่ ซึ่งตัวแปรทั้งสองตัวแปรนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณความต้องการอากาศเข้าสู่ภายในอาคาร จากงานวิจัยพบว่าระบบหมุนเวียนอากาศแบบเปลี่ยนแปลงตามความต้องการให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับระบบหมุนเวียนอากาศแบบกำหนดคงที่ (Fixed-rate Ventilation) นอกจากนี้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบเปลี่ยนแปลงตามความต้องการยังช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 8.3 – 28.3% ต่อวัน

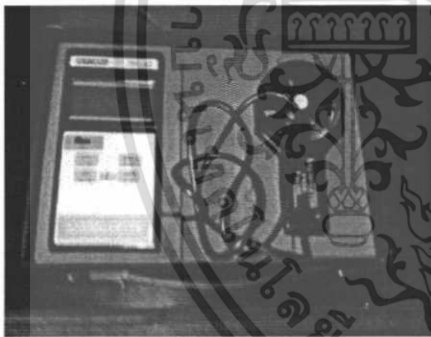
บทที่ 3

การทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

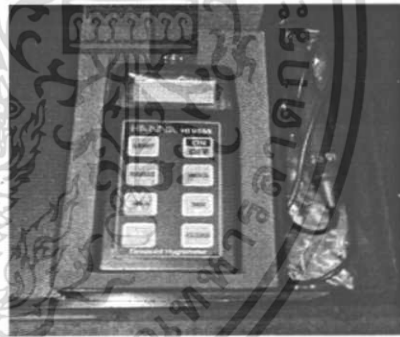
- 1) เครื่องมือวัดความเร็วลมและอุณหภูมิยี่ห้อ Digicon รุ่น DA-42
- 2) เครื่องมือวัดความชื้นยี่ห้อ HANNA รุ่น HI 9565
- 3) เครื่องมือวัดคุณภาพอากาศ IQM 60 สำหรับวัดอุณหภูมิ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ โอโซน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
- 4) เครื่องมือวัดความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ชนิดคลวดความร้อนยี่ห้อ Kanomax รุ่น Climomaster series HV508-0531
- 5) โปรแกรม Matlab®
- 6) โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล Fluent®

3.1.1 ภาพประกอบเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ

ยี่ห้อ Digicon รุ่น DA-42



รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดความชื้น

ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI 9565



รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความเร็วลม

และความชื้นสัมพัทธ์ยี่ห้อ Kanomax

รุ่น Climomaster series HV508-0531



รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดคุณภาพอากาศ IQM 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสสำหรับกรเชงนเพื่อกรศกษเท่นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลักคือ

1. การเก็บตัวอย่างอากาศเบื้องต้นภายในโรงงาน
2. การจำลองเพื่อศึกษาสภาวะปัจจุบันภายในโรงงาน
3. การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองคอมพิวเตอร์กับสภาพจริงที่วัดมาได้จากโรงงาน
4. การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงงาน

3.2.1 การตรวจวัดพารามิเตอร์ในอากาศ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในอากาศบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มของพารามิเตอร์ทางกายภาพและกลุ่มของพารามิเตอร์ทางเคมี โดยสำหรับพารามิเตอร์ทางกายภาพที่ทำการตรวจวัดได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า $10\ \mu\text{m}$ ในส่วนของพารามิเตอร์ทางเคมีได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และโอโซน ซึ่งการทดลองทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยอ้างอิงตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างอากาศจากมาตรฐานของประเทศสิงคโปร์[18] โดยเก็บข้อมูลที่ระดับความสูง 75 – 120 cm หรือ 2.46 – 3.94 ft ภายในพื้นที่บริเวณซึ่งเป็นที่ตั้งของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องทดสอบ 2 ชนิดคือเครื่องทดสอบชนิด A และเครื่องทดสอบชนิด B ตามลำดับ

3.2.2 การจำลองด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

การจำลองการไหลในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Fluent® ซึ่งเป็นโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในการจำลองการไหลของอากาศภายในพื้นที่ปิด สำหรับแบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้ในการคำนวณจะใช้แบบจำลองมาตรฐาน $k-\epsilon$ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากขีดจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง และความแม่นยำของการคำนวณการไหลของอากาศ [19] การจำลองในเบื้องต้นได้ทำการจำลองบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B ภายในโรงงานซึ่งมีขนาดพื้นที่ $27.5 \times 56\ \text{ft}$ และสูง 11.5 ft ซึ่งภายในประกอบด้วยเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พนักงาน และหลอดไฟ ซึ่งเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์มีขนาดพื้นที่ $1 \times 2\ \text{ft}$ และสูง 4 ft จำนวน 220 เครื่อง หลอดไฟมีขนาด $0.25 \times 3.5\ \text{ft}$ จำนวน 24 หลอด โดยหลอดไฟแต่ละหลอดให้ค่าความร้อนเท่ากับ $3.38\ \text{BTU/h-ft}^2$ สำหรับผนังห้องทั้ง 4 ด้านได้กำหนดให้เป็นอากาศทั้งหมดเนื่องจากบริเวณนี้ตั้งอยู่ใจกลางของโรงงานจึงไม่มีผนังห้อง ซึ่งจำนวนเซลล์ที่ใช้ทั้งหมดในการจำลองมีค่าประมาณ 7 – 8 แสนเซลล์ โดยจำลองให้พนักงานภายในพื้นที่อยู่ในท่ายืนในลักษณะการทำงานเต็มอัตราพื้นที่ สำหรับระบบระบายอากาศในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองโดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบเดียวกับที่ใช้ภายในพื้นที่จริงบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B ซึ่งใช้เป็นระบบระบายอากาศแบบผสม โดยมีหัวจ่ายอากาศทั้งหมดจำนวน 90 หัวจ่ายจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft จากพื้น ด้วยหัวจ่ายแบบท่อ (Duct diffuser) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ $0.75\ \text{ft}$ จำนวน 90 หัวจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 สภาวะขอบเขต (Boundary condition)

สภาวะขอบเขตของการจำลองในที่นี้มีอยู่ด้วยกัน 5 ส่วนคือ สภาวะขอบเขตที่ผนัง สภาวะขอบเขตของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิस्कไดร์ฟ สภาวะขอบเขตของพนักงานภายในห้อง สภาวะขอบเขตจากหัวจ่ายอากาศ และสภาวะขอบเขตทางความร้อนบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิस्कไดร์ฟชนิด B ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.2.3.1 สภาวะขอบเขตที่ผนัง (Wall boundary condition)

สำหรับสภาวะขอบเขตที่ผนังกำหนดให้ผนังทั้ง 4 ด้านเป็นอากาศซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันตามข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยตรงภายในพื้นที่ โดยค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของผนังแต่ละด้านแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะขอบเขตของผนังห้อง

| Wall | Temperature (°F) | %RH (%) |
|------------|------------------|---------|
| Front wall | 91.7 | 31 |
| Back wall | 86.8 | 31 |
| Left wall | 84.4 | 30 |
| Right wall | 96.8 | 25 |

3.2.3.2 สภาวะขอบเขตของเครื่องทดสอบ (Tester boundary condition)

สำหรับสภาวะของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิस्कไดร์ฟจากข้อมูลของทางโรงงานได้กำหนดให้มีค่าความร้อนเท่ากับ 1706 BTU/h โดยเครื่องทดสอบมีการดูดอากาศเข้าทางด้านหน้าและปล่อยอากาศออกทางด้านหลังของเครื่องทดสอบ ด้วยความเร็ว 85 CFM โดยตำแหน่งของเครื่องทดสอบวางตำแหน่งแบบหันหน้าเข้าหาพนักงานและหันด้านหลังเครื่องทดสอบเข้าหากัน ซึ่งสภาวะขอบเขตของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิस्कไดร์ฟชนิด B แสดงดังรูปที่ 3.6

3.2.3.3 สภาวะขอบเขตของพนักงาน (Occupant boundary condition)

สำหรับสภาวะขอบเขตของพนักงานภายในพื้นที่ได้จำลองโดยใช้ค่ามาตรฐานตามที่โปรแกรมกำหนดไว้ ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 170 cm และกำหนดให้ความร้อนที่ปล่อยออกมาจากร่างกายมีค่าเท่ากับ 375 BTU/h โดยมีค่าอัตราเมตาบอลิซึมและค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1.6 met และ 1.0 clo ตามลำดับ

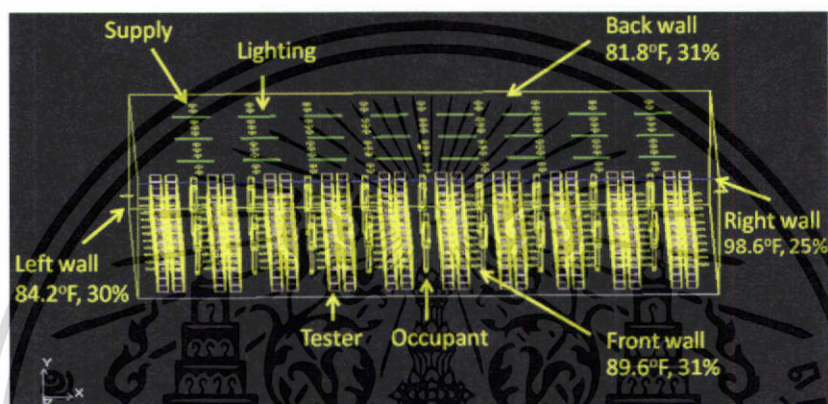
3.2.3.4 สภาวะขอบเขตของหัวจ่ายแบบผสมอากาศ (Diffuser boundary condition)

สำหรับสภาวะขอบเขตของหัวจ่ายอากาศได้จากการวัดโดยตรงจากหัวจ่ายภายในพื้นที่ซึ่งพบว่าพื้นที่บริเวณเครื่องทดสอบชนิด B มีหัวจ่ายอากาศแบบผสมจำนวน 90 หัวจ่ายติดตั้งอยู่ที่ระดับความสูง 11.5 ft จากพื้นของโรงงาน โดยจากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากหัวจ่ายอากาศแบบผสมในเบื้องต้นพบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 61.7°F และ 70% ตามลำดับ

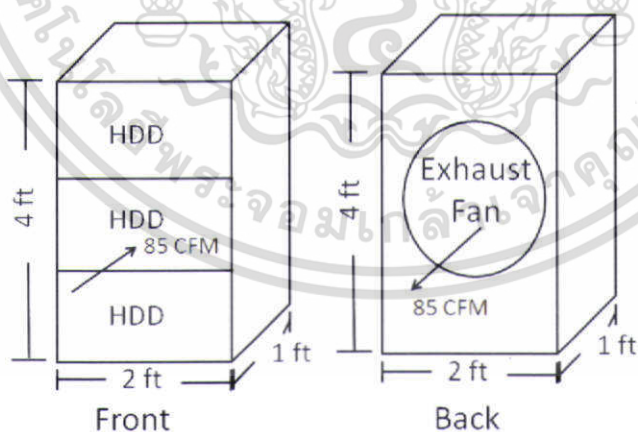
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.5 สภาพะขอบเขตทางความร้อนบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B

สำหรับสภาพะขอบเขตทางความร้อนในที่นี้จำลองให้พนักงาน เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ และหลอดไฟเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนหลักบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B ภายในโรงงานโดยเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์และพนักงานมีค่าความร้อนรวม (Q_{oc}) เท่ากับ 382,070 BTU/h ซึ่งคำนวณได้จาก ((220 เครื่อง×1706BTU/h)+(18 คน×375BTU/h)) ในส่วนของค่าความร้อนรวมจากหลอดไฟมีค่าเท่ากับ 5,110 BTU/h ซึ่งคำนวณได้จาก (3.38 BTU/h-ft²×27ft×56ft) โดยในที่นี้จะไม่นำค่าความร้อนจากภายนอก (Q_{ex}) มาคำนวณด้วยเนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความร้อนรวม (Q_c)



รูปที่ 3.5 แบบจำลองสถานะจริงของพื้นที่ทดสอบบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B และสภาพะขอบเขตบริเวณห้องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 3.6 สภาพะขอบเขตของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B

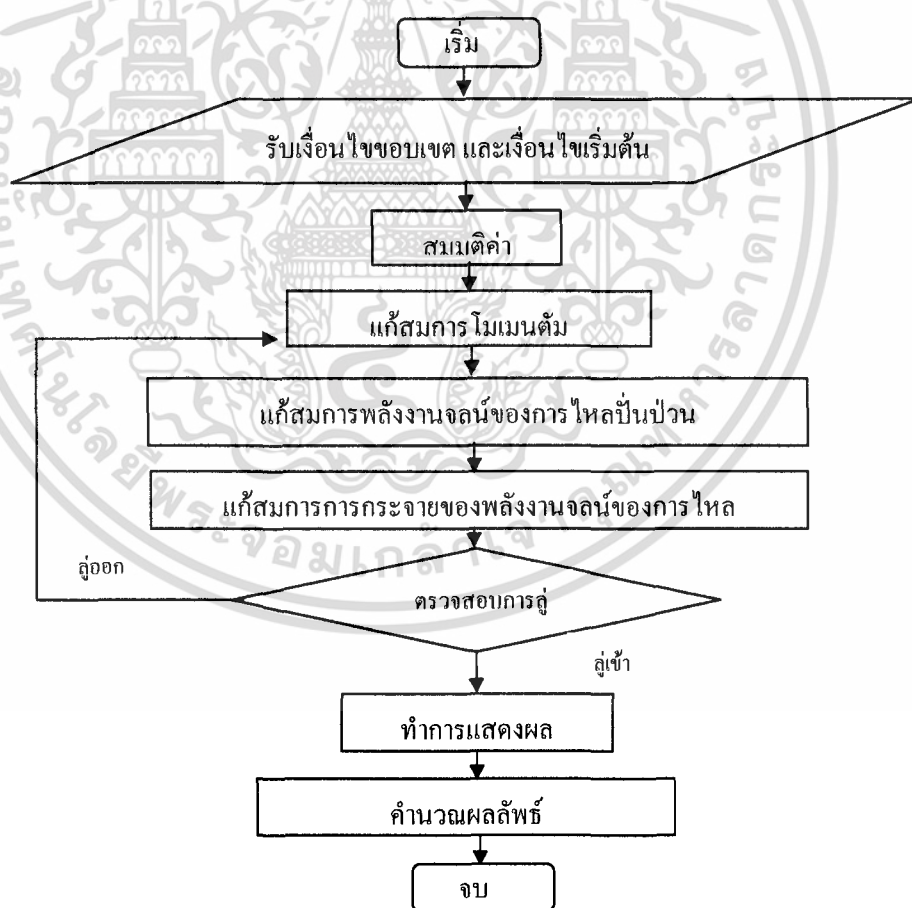
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนและลำดับการแก้สมการ

การหาผลเฉลยใช้การคำนวณซ้ำ ซึ่งขั้นตอนรายละเอียดในแต่ละรอบการคำนวณแสดงดัง

รูปที่ 3.7

- 1) กำหนดเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้น และทำการสมมติค่าเริ่มต้นในการคำนวณ เงื่อนไขในการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วน การถ่ายเทความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนภายในพื้นที่
- 2) แก้สมการโมเมนตัมเพื่อทำการหาความเร็ว
- 3) แก้สมการพลังงานเพื่อทำการหาพลังงานรวมจำเพาะ
- 4) แก้สมการแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน และอัตราการสูญเสียของพลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้แบบจำลอง $k-\varepsilon$ Model
- 5) กลับไปทำในขั้นตอนที่ 3-5 ใหม่จนกระทั่งได้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่าเดิม จะได้ผลการคำนวณที่ผู้เข้าหาคำตอบโดยใช้เกณฑ์ของการลู่เข้า (Criterion convergence) เท่ากับ 10^{-3} สำหรับทุกตัวแปรยกเว้นตัวแปรด้านพลังงานใช้เกณฑ์การลู่เข้าเท่ากับ 10^{-6}



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนและลำดับการแก้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 เงื่อนไขเริ่มต้นในการจำลอง

ในการจำลองการไหลจำเป็นต้องมีการป้อนค่าในครั้งแรกก่อนการคำนวณเพื่อให้โปรแกรมสามารถรู้ว่าในการคำนวณนั้นจะต้องได้รับเอาค่าของส่วนใดบ้าง ซึ่งในการจำลองนั้นจะมีการกำหนดและป้อนค่าต่างๆ ซึ่งได้แก่ สภาวะขอบเขตจากหัวจ่าย อุณหภูมิของอากาศภายในห้อง และสภาวะขอบเขตที่ผนัง รวมถึงกระบวนการควบคุมการหาคำตอบของโปรแกรม แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนที่เลือกใช้ และการกำหนดรอบเพื่อให้โปรแกรมทำการคำนวณ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้แสดงดังตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการจำลอง

| รายละเอียดของเงื่อนไข | กลุ่มของเงื่อนไขหลัก | เงื่อนไขรองที่เลือกใช้ |
|---------------------------|----------------------|------------------------|
| ข้อกำหนดเงื่อนไขที่ป้อน | ลักษณะของแบบจำลอง | 3D |
| | สมการพลังงาน | เลือกใช้ |
| | แบบจำลองปั่นป่วน | Standard k-ε |
| สภาวะขอบเขต | ของไหลที่ใช้ | อากาศ |
| | ที่หัวจ่าย | m, T (Constant) |
| | ที่ผนัง | T, %RH constant |
| การควบคุมกระบวนการหาคำตอบ | ที่เครื่องทดสอบ | m, (Constant) |
| | กระบวนการหาคำตอบ | simple |
| การคำนวณ | การดีสครีตไทเซชัน | First Order |
| | จำนวนรอบการคำนวณ | 1000 รอบ |

3.2.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในโรงงานในงานวิจัยนี้ใช้ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ที่คำนวณได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล Fluent® เป็นหลักในการประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มเทอมของค่าดัชนี PPD เพื่อช่วยในประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศด้วย ซึ่งเทอมของตัวแปรที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศประกอบด้วยตัวแปรดังนี้

- การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity distribution)
- การกระจายตัวของอุณหภูมิ (Temperature distribution)
- ร้อยละของคนไม่พอใจเนื่องจากความไม่สบายทางความร้อน (PPD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

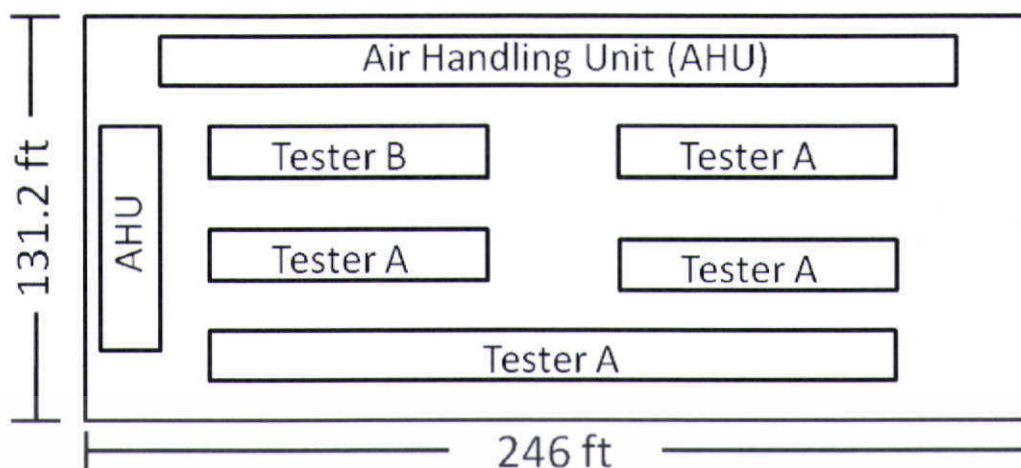
ผลการทดลองเบื้องต้นและการออกแบบระบบระบายอากาศ

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

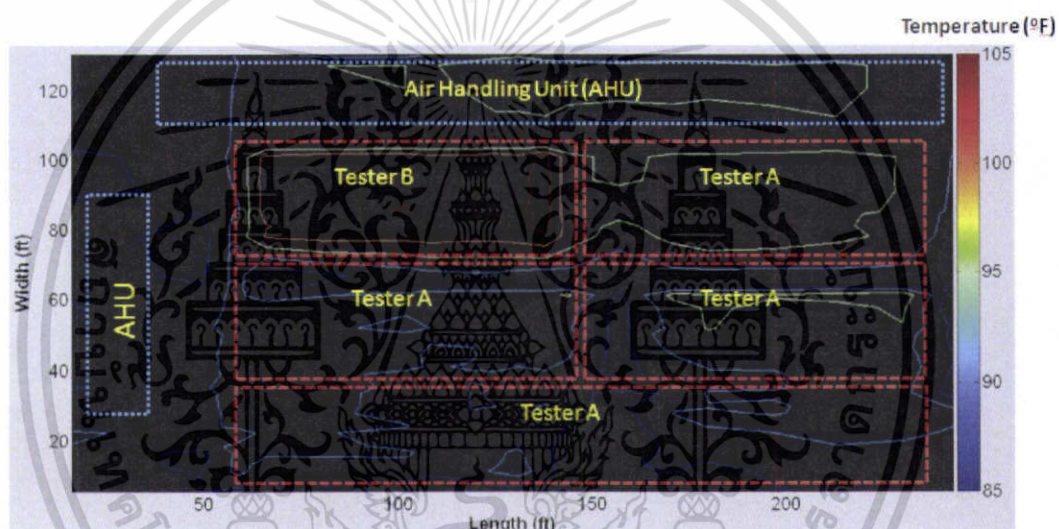
สำหรับการทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารตามมาตรฐานประเทศสิงคโปร์ [18] ในการอ้างอิงผลของการตรวจวัดอากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับสภาวะทางด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงงานเท่านั้น เนื่องจากผลของการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ทางเคมีพบว่าทุกพารามิเตอร์มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ อีกทั้งยังไม่พบการร้องเรียนเกี่ยวกับพารามิเตอร์ทางเคมีที่ส่งผลกระทบต่อพนักงานที่ทำการบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟอีกด้วย

โดยจากการสำรวจพื้นที่ภายในโรงงานสามารถสร้างแผนผังการวางตำแหน่งเครื่องทดสอบภายในโรงงานบริเวณที่ทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างอากาศได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งสำหรับค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ทางเคมีพบว่าค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และ โอโซน มีค่าเท่ากับ 517, 0 และ 0.001 ppm ตามลำดับ ในส่วนของพารามิเตอร์ทางกายภาพพารามิเตอร์เดียวที่ผ่านมาตรฐานคือค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 μm โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับตัวแปรที่เหลือได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นพารามิเตอร์ที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดยค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั่วบริเวณมีค่าอยู่ในช่วง 1.0-2.3 ft/s สำหรับบริเวณเครื่องทดสอบชนิด B มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.3 ft/s โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของพื้นที่ทั้งหมดบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.54°F และ 28.78% ซึ่งค่าอุณหภูมิที่เฉลี่ยสูงที่สุดและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำที่สุดอยู่ในบริเวณซึ่งเป็นที่ตั้งของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ชนิด B ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.91°F และ 22.39% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับบริเวณที่ตั้งของเครื่องทดสอบชนิด A ที่มีค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 89°F และ 30.65% ตามลำดับ ซึ่งผลของพลอตการกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงงานซึ่งมีพื้นที่ 131.2×246 ft ด้วยโปรแกรม MATLAB® แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าบริเวณซึ่งมีอุณหภูมิสูงที่สุดและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุดจากแผนภาพการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คือบริเวณซึ่งเป็นที่ตั้งของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ชนิด B

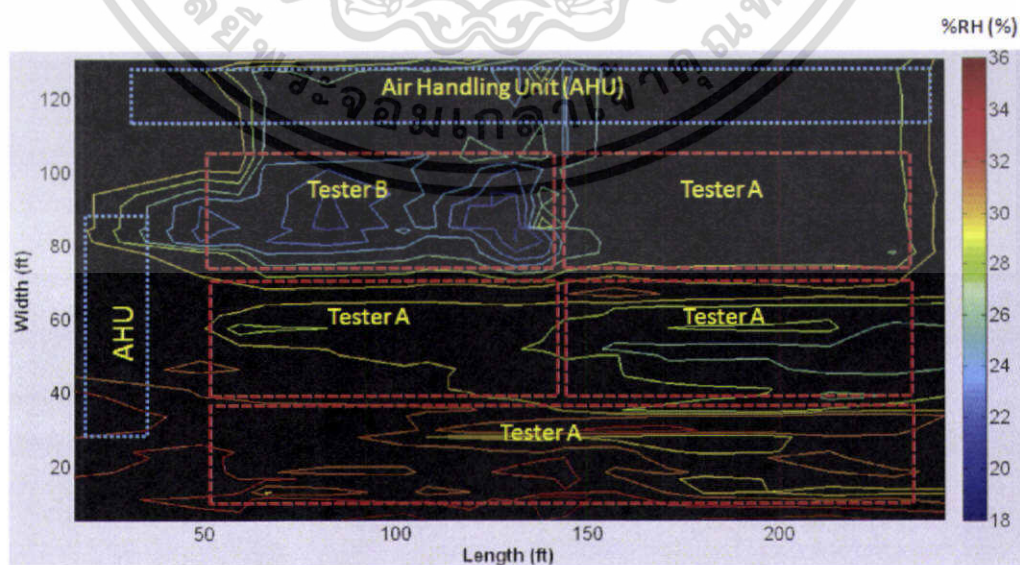
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงตำแหน่งของเครื่องทดสอบชนิด A และชนิด B ภายในบริเวณที่ทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างอากาศ



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ภายในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

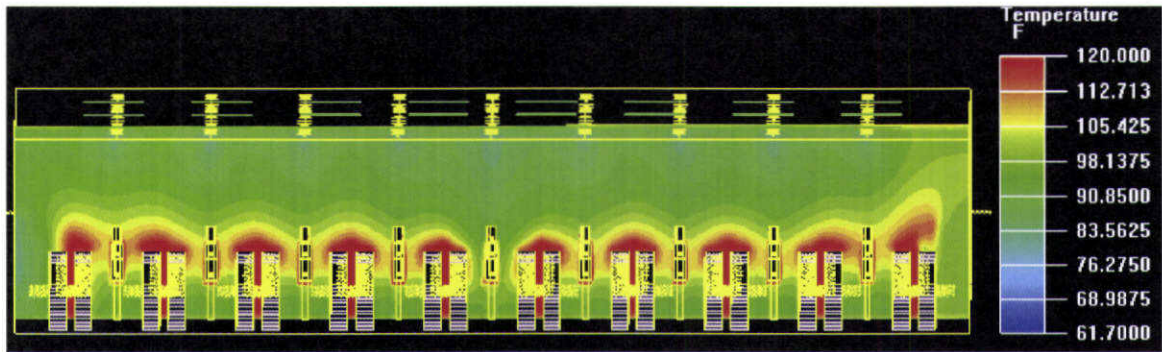
ข้อมูลจากการลงพื้นที่สำรวจภายในโรงงานแสดงให้เห็นว่ามีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเป็นจำนวน 20 เครื่องอยู่ด้านหลังของบริเวณซึ่งเป็นที่ตั้งของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟชนิด B จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่าบริเวณของเครื่องทดสอบชนิด B เป็นบริเวณที่มีความร้อนสูงมากกว่าบริเวณอื่น และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าบริเวณอื่นของโรงงานเช่นกันซึ่งเป็นผลมาจากการที่ไม่มีระบบระบายอากาศร้อนที่ดี ทำให้เบื้องต้นสันนิษฐานได้ว่าสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในบริเวณโรงงานมีค่าสูงเนื่องจากอากาศเย็นจากเครื่องปรับอากาศซึ่งอยู่ด้านหลังของเครื่องทดสอบชนิดนี้ถูกกีดขวางไว้โดยกลุ่มก้อนของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำให้ไม่สามารถส่งผ่านความเย็นได้เต็มความสามารถและต้องใช้ภาระในการทำความเย็นที่มากขึ้นในการทำให้ระดับของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายใน โรงงานอยู่ในค่าที่กำหนด นอกจากนี้ยังทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายใน โรงงานมีค่าต่ำด้วยเนื่องจากความชื้นสูงที่ออกมาจากเครื่องปรับอากาศจะต้องไปช่วยเติมเต็มความชื้นในบริเวณที่มีค่าความชื้นต่ำที่เกิดบริเวณเครื่องทดสอบชนิด B

จากปัญหาเกี่ยวกับระดับของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟชนิด B ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการจำลองสถานะบริเวณเครื่องทดสอบชนิด B ภายในโรงงานเพื่อทำการศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รวมไปถึงลักษณะการไหลของอากาศภายในพื้นที่บริเวณนี้เพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นต่อไป

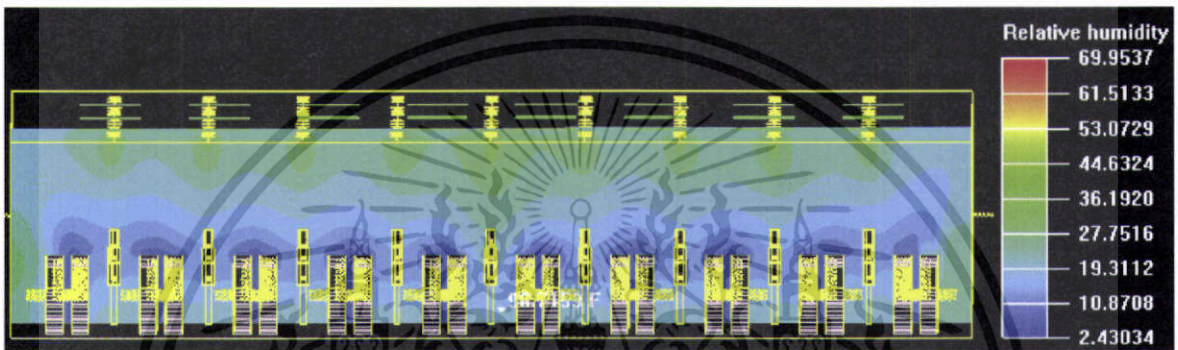
4.2 ผลการจำลองสถานะจริงภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

จากการจำลองภายในห้องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟชนิด B ภายในโรงงานพบว่าผลการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในมีการกระจายตัวที่ต่ำซึ่งกระแสของอากาศร้อนที่ออกมาจากบริเวณพัดลมระบายอากาศด้านหลังของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้นเมื่อถูกระบายออกจะกระจายไปทั่วบริเวณของโรงงาน ทำให้อากาศภายในพื้นที่บริเวณนี้มีอุณหภูมิสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 105°F แสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ตำแหน่ง $z = 5.875$ บริเวณแบบจำลองของพนักงานภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยสาเหตุที่ทำให้การระบายอากาศร้อนภายในพื้นที่บริเวณนี้ทำได้ไม่ดี เท่าที่ควรเนื่องมาจากมีการต้านกันระหว่างโมเมนตัมของอากาศที่ออกมาจากหัวจ่ายอากาศบริเวณด้านบนของห้องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟกับ โมเมนตัมของอากาศร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากพัดลมระบายอากาศบริเวณด้านหลังเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งเป็นผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยโดยรวมของพื้นที่บริเวณนี้มีค่าสูงตามไปด้วย ในส่วนของความชื้นนั้นพบว่ามีค่าต่ำมากโดยบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์มีค่าประมาณ 19% ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ตำแหน่ง $z = 5.875$ เนื่องมาจากการที่อากาศที่มีความชื้นสูงซึ่งออกมาจากหัวจ่ายไม่สามารถจ่ายลงมาถึงบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ดีเท่าที่ควรประกอบกับอากาศบริเวณด้านหลังเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้นมีค่าความชื้นต่ำมากจึงทำให้ความชื้นโดยเฉลี่ยในพื้นที่บริเวณนี้มีค่าต่ำตามไปด้วย โดยผลของความเร็วของอากาศภายในพื้นที่บริเวณนี้สามารถช่วยแสดงให้เห็นปัญหาเกี่ยวกับการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้น ได้อย่างดี

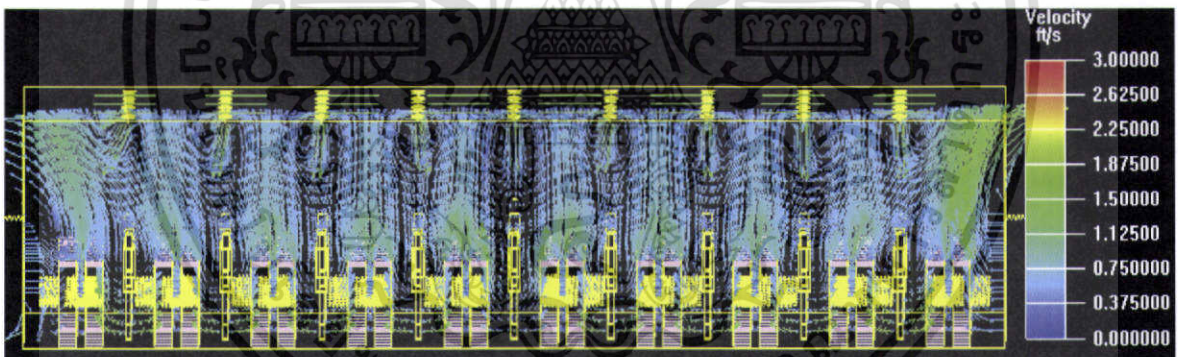
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



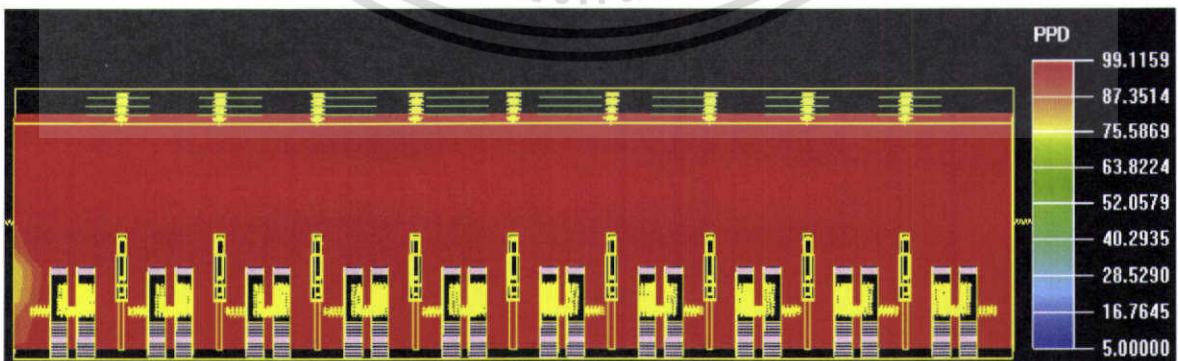
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงงาน ($z = 5.875$)



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของความชื้นภายในโรงงาน ($z = 5.875$)



รูปที่ 4.6 เวกเตอร์ของความเร็วมภายใน โรงงาน ($z = 5.875$)

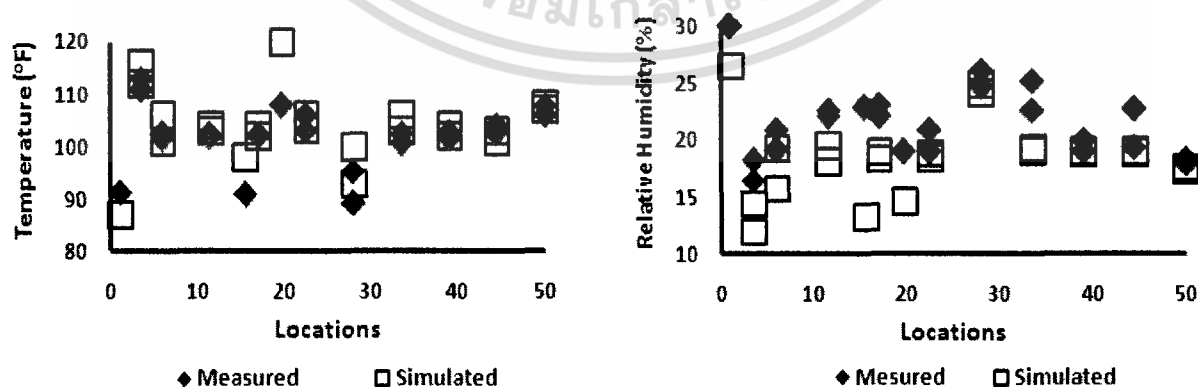


รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ภายในโรงงาน ($z = 5.875$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

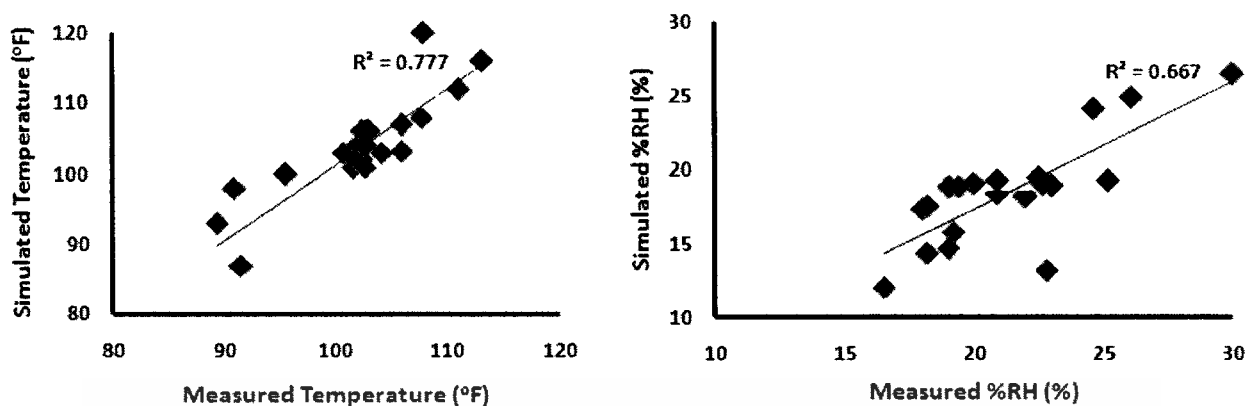
เมื่อสังเกตจากเวกเตอร์ของความเร็วอากาศที่ระนาบ $z = 5.875$ ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ดังรูปที่ 4.6 พบว่ากระแสของอากาศเย็นที่ออกมาจากหัวจ่ายจะถูกดันไว้ด้วยกระแสของอากาศร้อนที่ออกมาจากพัดลมระบายอากาศทางด้านหลังของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยพบว่าค่าความเร็วของกระแสอากาศที่ออกจากหัวจ่ายบริเวณด้านบนของพื้นที่จะมีค่าลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความเร็วเริ่มต้นที่ระยะประมาณ 3 ft จากหัวจ่ายและที่ระดับของเครื่องทดสอบพบว่าค่าความเร็วของอากาศลดลงเหลือประมาณ 0.5 ft/s จึงทำให้ไม่สามารถนำความชื้นที่สูงจากหัวจ่ายมาจ่ายให้กับบริเวณเครื่องทดสอบที่มีพนักงานทำงานอยู่ได้ จากการประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยการวิเคราะห์ค่าดัชนี PPD พบว่าค่าดัชนีเฉลี่ยภายในพื้นที่มีค่าเท่ากับ 99% ซึ่งหมายความว่าอากาศบริเวณนี้ร้อนมากและไม่เหมาะต่อการให้พนักงานเข้ามาทำงาน โดยบริเวณที่สามารถทำงานได้จะอยู่ทางด้านซ้ายมือของห้องซึ่งมีค่าดัชนี PPD ประมาณ 80% โดยสำหรับผลของการกระจายตัวค่าดัชนี PPD ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จากการจำลองแสดงในรูปที่ 4.7

โดยเมื่อนำผลของการจำลองมาทำการเปรียบเทียบกับผลการเก็บข้อมูลพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเป็นผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ โดยจากรูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยตรงและจากการจำลองซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 ซึ่งนำเสนอค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) ที่ได้จากการพลอตระหว่างข้อมูลที่ได้จากการจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศโดยตรงพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.777 และ 0.667 สำหรับความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามลำดับ โดยพบว่าผลที่ได้จากการจำลองจะมีความแม่นยำในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 100°F และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 20% ขึ้นไป นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มของค่าอุณหภูมิจะมีค่าสูงและแนวโน้มของค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง ซึ่งความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่ได้จากการจำลองอาจเกิดจากความไม่แม่นยำของการเก็บข้อมูล และจำนวนของข้อมูลที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ นอกจากนี้สมมติฐานบางสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองนั้นอาจลดความถูกต้องในการทำนายค่าของทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยตรงและจากการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยตรงและจากการสร้างแบบจำลอง

4.3 การออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

การออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการออกแบบโดยแบ่งการออกแบบเป็น 2 กรณีคือการออกแบบระบบระบายอากาศแบบแทนที่ และการออกแบบระบบระบายอากาศแบบผสม โดยทั้ง 2 กรณีใช้ค่าสภาวะขอบเขตและค่าความร้อนเดียวกันกับการจำลองสภาวะจริงของโรงงานในเบื้องต้น สำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศทั้ง 2 ระบบได้แบ่งการทดลองดังนี้

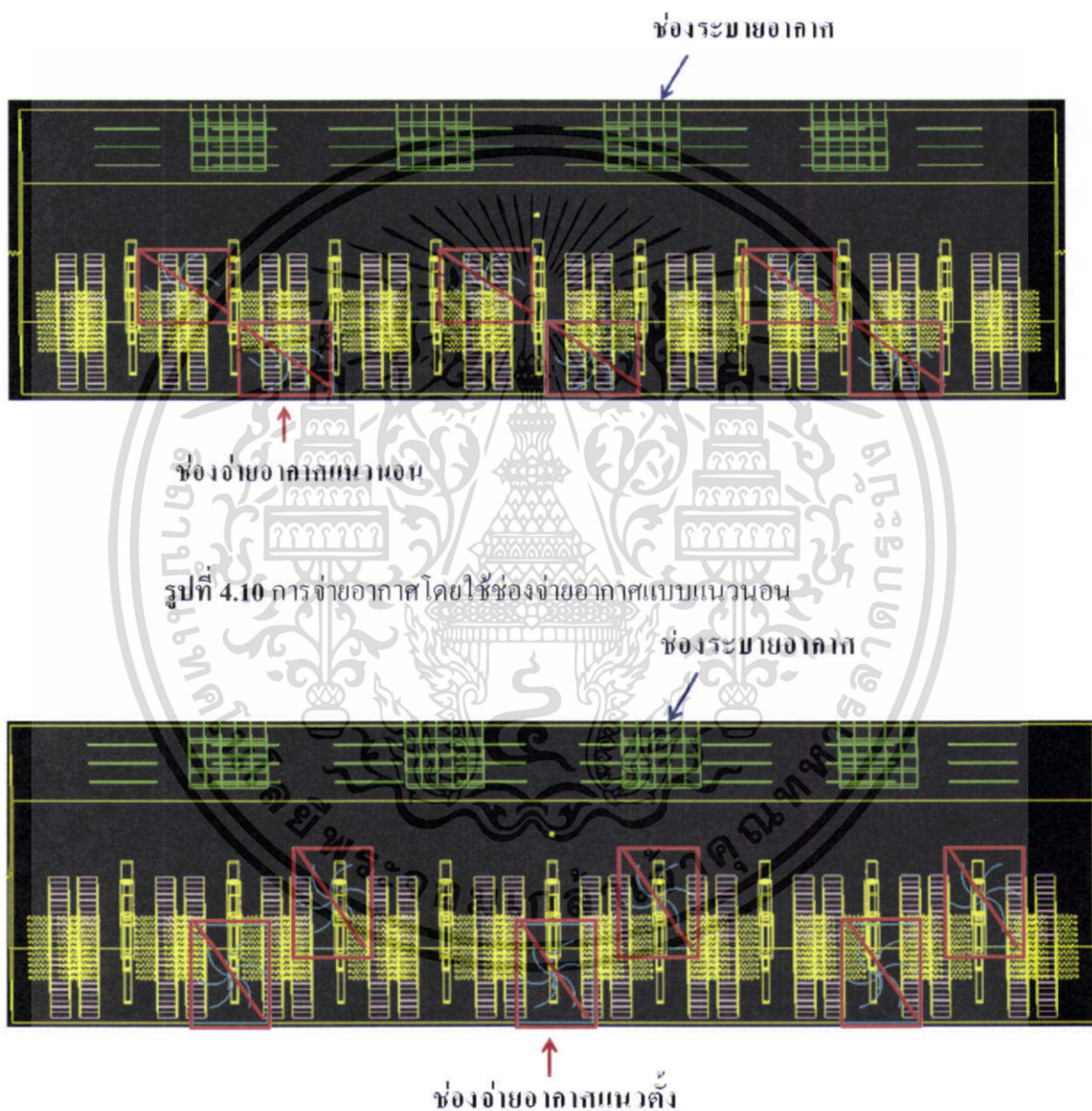
4.3.1 การออกแบบระบบระบายอากาศแบบแทนที่

วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบระบายอากาศแบบแทนที่ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์คือการศึกษาค่าความเหมาะสมของการใช้ระบบระบายอากาศชนิดนี้ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เนื่องจากมีกระแสของความร้อนจำนวนมากภายในบริเวณพื้นที่ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดคือพัดลมระบายอากาศทางด้านหลังของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

สำหรับระบบระบายอากาศแบบเดิมที่ใช้ระบายอากาศบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ชนิด B นั้นเป็นระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่ายติดตั้งไว้ที่ระดับ 11.5 ft เหนือพื้นที่ของโรงงาน ดังนั้นสำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศแบบแทนที่ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ชนิด B ต้องทำการออกแบบโดยการเคลื่อนย้ายหัวจ่ายอากาศแบบผสมที่ติดตั้งไว้บริเวณพื้นที่ออกไป โดยจากการจำลองได้มีการเพิ่ม ช่องระบายอากาศเข้าไปที่ตำแหน่งเพดานของห้องจำนวน 16 ตัว ซึ่งช่องระบายอากาศในที่นี่มีขนาดเท่ากับ 1×4 ft เพื่อใช้ในการระบายอากาศร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณด้านบนของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์และใช้การติดตั้งช่องจ่ายอากาศแบบแทนที่ซึ่งมีขนาด 5×4 ft ไว้ที่ตำแหน่งพื้นที่ห้องของห้องทดสอบบริเวณผนังด้านหน้าและด้านหลัง ด้านละ 3 ช่อง เนื่องจากการใช้ช่องจ่ายอากาศที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อเส้นทางการปฏิบัติงานของพนักงานภายในพื้นที่ได้ ซึ่งการออกแบบได้ทำการเปลี่ยนแปลงทั้งรูปแบบและตำแหน่งของช่องจ่ายอากาศ ความเร็วในการจ่ายอากาศ รวมไปถึงทิศทาง

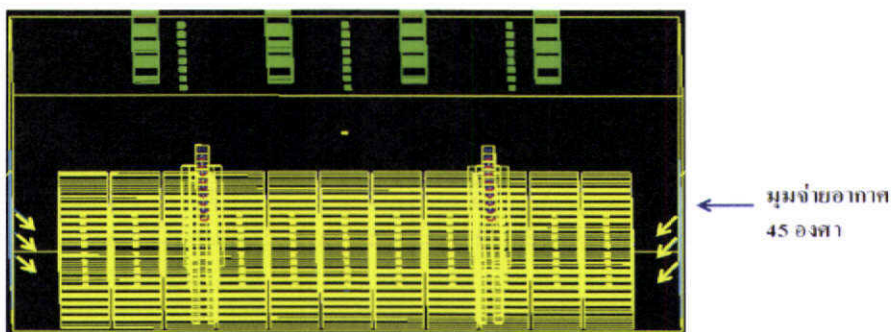
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการจ่ายอากาศ ซึ่งสำหรับความเร็วในการจ่ายอากาศทำการเปลี่ยนแปลง 3 ค่าคือ 2.5, 3.3 และ 4.9 ft/s ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราการระบายเท่ากับ 60, 80 และ 120 ACH ตามลำดับ โดยในส่วนของลักษณะการจ่ายอากาศได้ทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะของช่องจ่ายอากาศทั้งการจ่ายอากาศแบบแนวตั้งและแนวนอน โดยตำแหน่งของช่องจ่ายอากาศจะทำการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.10 – 4.11 ซึ่งทิศทางการจ่ายทำการเปลี่ยนแปลง 2 มุม คือ การจ่ายอากาศทำมุม 45 องศา และการจ่ายอากาศทำมุม 90 องศา กับระนาบของช่องจ่ายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

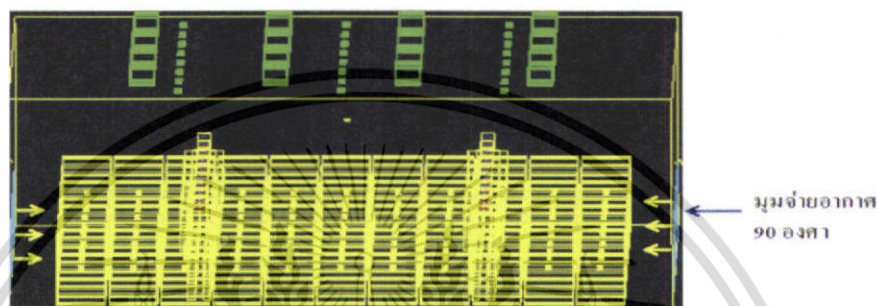


รูปที่ 4.11 การจ่ายอากาศโดยใช้ช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ทิศทางการจ่ายอากาศทำมุม 45 องศา กับระนาบช่องจ่ายอากาศ



รูปที่ 4.13 ทิศทางการจ่ายอากาศทำมุม 90 องศา กับระนาบช่องจ่ายอากาศ

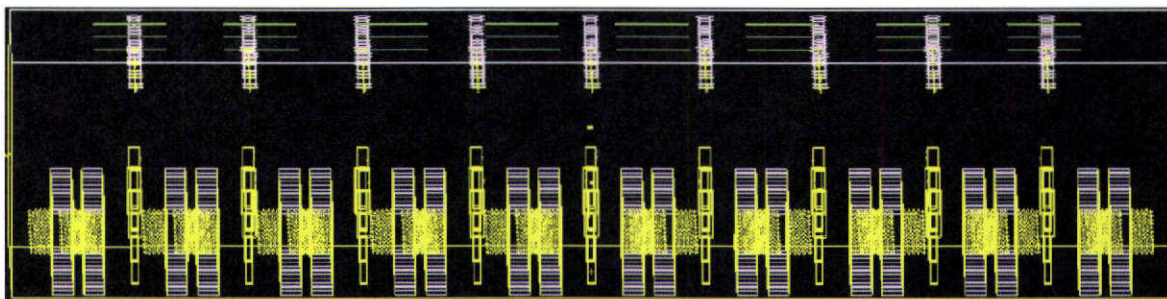
4.3.2 การออกแบบระบบระบายอากาศแบบผสม

4.3.2.1 การออกแบบระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

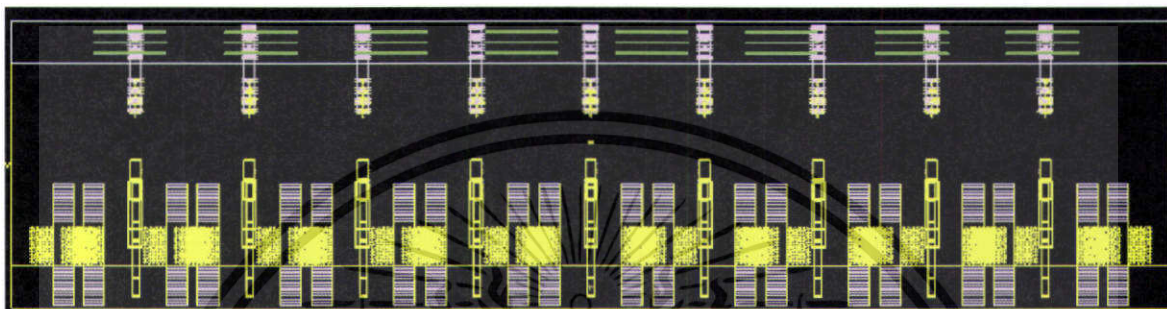
จุดมุ่งหมายของการออกแบบระบบระบายอากาศแบบผสมที่ใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย ซึ่งเป็นระบบระบายอากาศแบบเดียวกันกับที่ใช้อยู่เดิมภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B คือการหาอัตราการระบายอากาศและระดับของการจ่ายอากาศที่เหมาะสมสำหรับระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยไม่จำเป็นต้องทำการติดตั้งระบบท่อจ่ายอากาศเพิ่มขึ้น

สำหรับการจ่ายอากาศในระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่ายซึ่งเป็นระดับของการจ่ายอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบันบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B นั้น ได้ทำการจำลองไปแล้วในเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 – 4.7 พบว่ายังไม่สามารถทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะทำการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จากหัวจ่ายอากาศเข้าสู่บริเวณพื้นที่ให้มากขึ้นโดยการลดระดับการจ่ายอากาศให้ต่ำลงจากระดับการจ่ายอากาศเดิมซึ่งใช้อยู่ภายในปัจจุบัน โดยการออกแบบในที่นี้ได้ทำการจำลองโดยการเปลี่ยนแปลงระดับของหัวจ่ายอากาศแบบท่อ 3 ระดับ คือ จ่ายอากาศในระดับ 10, 9 และ 8 ft ตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการจ่ายอากาศโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วในการจ่ายอากาศ 3 ค่า คือ 3.3, 4.9 และ 6.5 ft/s ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 26.5, 39.75 และ 53 ACH โดยตัวอย่างของการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงทั้ง 3 ระดับโดยใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่าย แสดงในรูปที่ 4.14 – 4.16

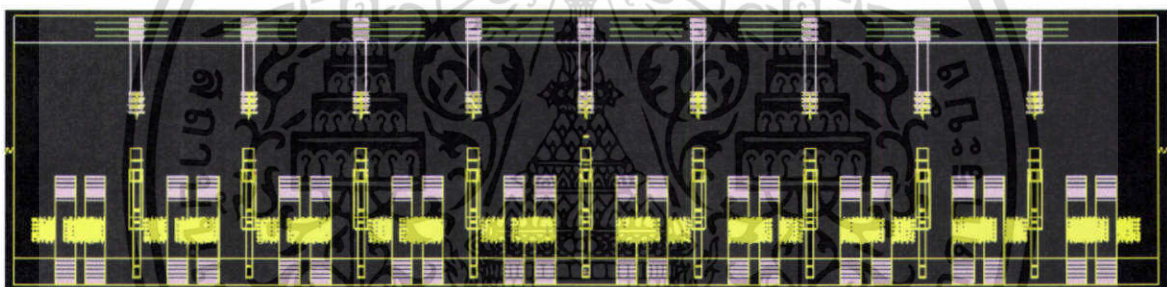
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 10 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย



รูปที่ 4.15 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 9 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย



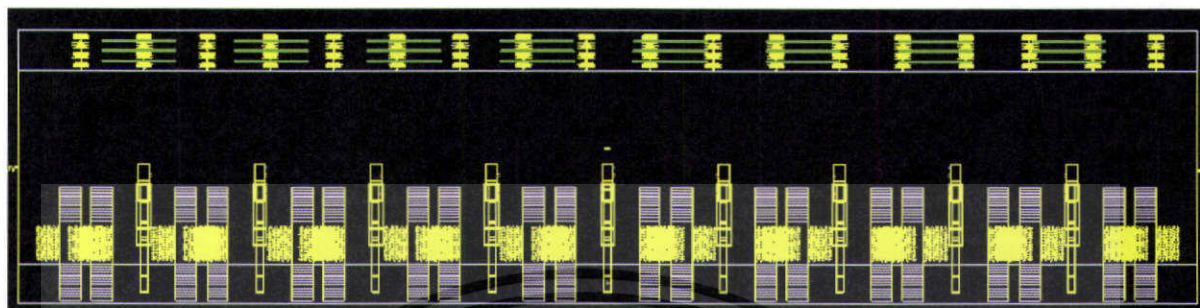
รูปที่ 4.16 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

4.3.2.2 การออกแบบระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย

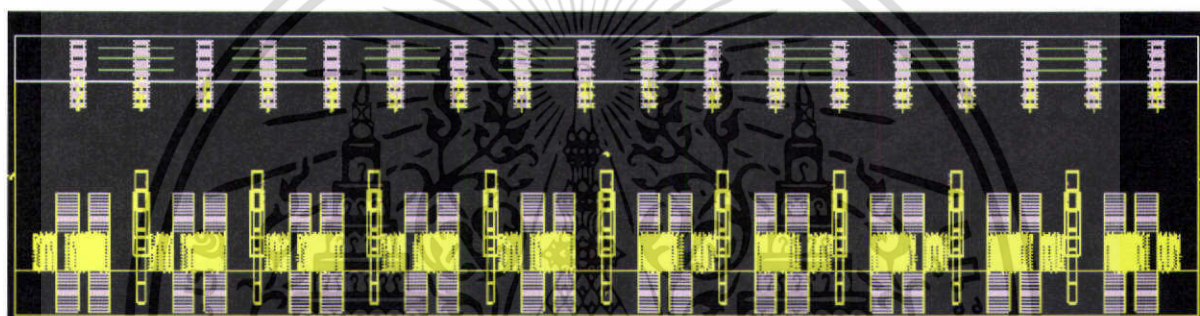
วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบระบายอากาศแบบผสมที่ใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่ายคือการหาอัตราการระบายอากาศและระดับการจ่ายอากาศที่เหมาะสมสำหรับระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยการติดตั้งหัวจ่ายอากาศแบบท่อเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของหัวจ่ายอากาศแบบเดิมที่มีอยู่ภายในพื้นที่ทดสอบเนื่องจากต้องการเพิ่มอัตราการระบายอากาศภายในพื้นที่เนื่องจากหัวจ่ายอากาศแบบท่อสามารถจ่ายอากาศด้วยความเร็วสูงสุดเท่ากับ 6.5 ft/s ดังนั้นหากต้องการอัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นจึงไม่สามารถเพิ่มความเร็วในการจ่ายอากาศโดยใช้หัวจ่ายอากาศจำนวนเท่าเดิมได้ นอกจากนี้การติดตั้งหัวจ่ายอากาศเพิ่มขึ้นยังช่วยเพิ่มการกระจายตัวของอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ดีขึ้น เนื่องจากสามารถกระจายตำแหน่งการติดตั้งหัวจ่ายตัวให้เต็มทั่วทั้งบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B ได้อย่างสม่ำเสมอ

สำหรับการออกแบบในที่นี่ได้ทำการจำลองโดยการเปลี่ยนแปลงระดับของหัวจ่ายอากาศแบบท่อ 4 ระดับ คือ จ่ายอากาศในระดับ 11.5, 10, 9 และ 8 ft ตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำการเปลี่ยนแปลงความเร็ว เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

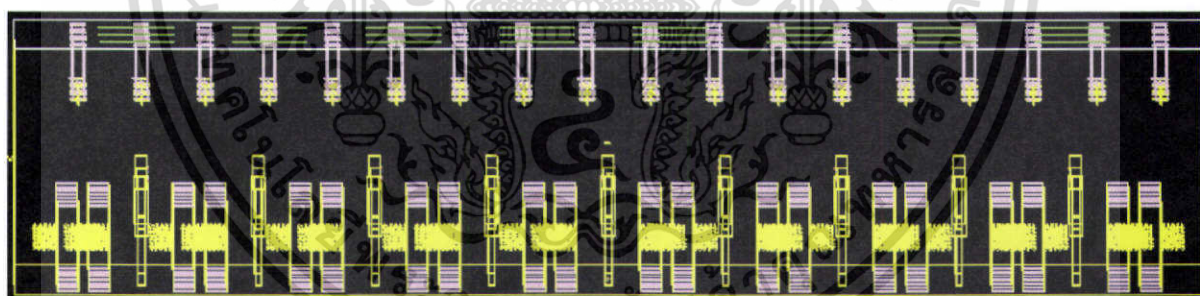
ของการจ่ายอากาศโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วในการจ่ายอากาศ 3 ค่า คือ 3.3, 4.9 และ 6.5 ft/s ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53, 79.5 และ 106 ACH โดยตัวอย่างของการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงทั้ง 4 ระดับโดยใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 180 หัวจ่าย แสดงในรูปที่ 4.17 – 4.20



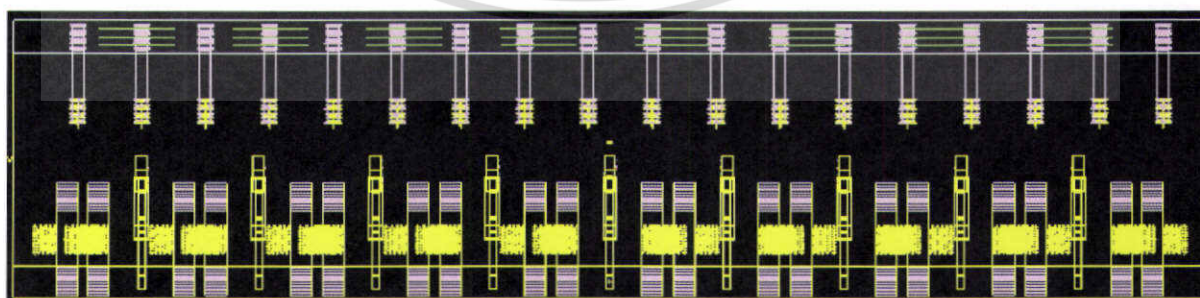
รูปที่ 4.17 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย



รูปที่ 4.18 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 10 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย



รูปที่ 4.19 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 9 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย



รูปที่ 4.20 การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft โดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการจำลองของระบบระบายอากาศแบบแทนที่

ผลการจำลองการระบายอากาศโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่ภายในพื้นที่ทดสอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากการศึกษาพบว่าลักษณะการติดตั้งหัวจ่ายมีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนี PPD อย่างชัดเจน โดยพบว่าการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนให้ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนี PPD ที่ดีกว่าการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้งเป็นอย่างมาก โดยผลของค่าตัวแปรทั้ง 4 กรณีของการใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่จากการจำลองแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าตัวแปรในอากาศที่ได้จากการจำลองโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่

| ลักษณะของช่องจ่ายอากาศ | มุมจ่ายอากาศ | Air-Change ACH | ΔT^1 (°F) | ΔT^2 (°F) | T เฉลี่ย ¹ (°F) | T เฉลี่ย ² (°F) | %RH เฉลี่ย ¹ | %RH เฉลี่ย ² | ดัชนี PPD ¹ (%) | ดัชนี PPD ² (%) |
|------------------------|--------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| แนวตั้ง | 45 | 60 | 37 | 17 | 88.5 | 93 | 28.6 | 22.25 | 90 | 99 |
| | | 80 | 36 | 18 | 82 | 95 | 32 | 21.75 | 71.6 | 99 |
| | | 120 | 29 | 18 | 77 | 96 | 40 | 21.67 | 30.7 | 99 |
| แนวตั้ง | 90 | 60 | 35 | 16 | 80.5 | 94 | 35 | 22.5 | 85.5 | 99 |
| | | 80 | 30 | 13 | 74.5 | 95.5 | 51 | 18.6 | 51.5 | 98 |
| | | 120 | 13 | 9 | 68.5 | 97 | 55 | 18.0 | 31.5 | 98 |
| แนวนอน | 45 | 60 | 21 | 28 | 77 | 98 | 43 | 18 | 88 | 99 |
| | | 80 | 15 | 28 | 70 | 90 | 50 | 30 | 62 | 84.5 |
| | | 120 | 4 | 20 | 65 | 82 | 55 | 38.5 | 30 | 70 |
| แนวนอน | 90 | 60 | 29 | 30 | 75 | 95 | 45 | 25 | 89 | 99 |
| | | 80 | 22 | 32 | 68 | 94 | 57 | 26 | 50 | 79.5 |
| | | 120 | 7 | 21 | 64 | 80 | 64 | 40 | 27.5 | 71.5 |

¹หมายถึง อุณหภูมิบริเวณแถวที่มีการติดตั้งของช่องจ่ายอากาศ

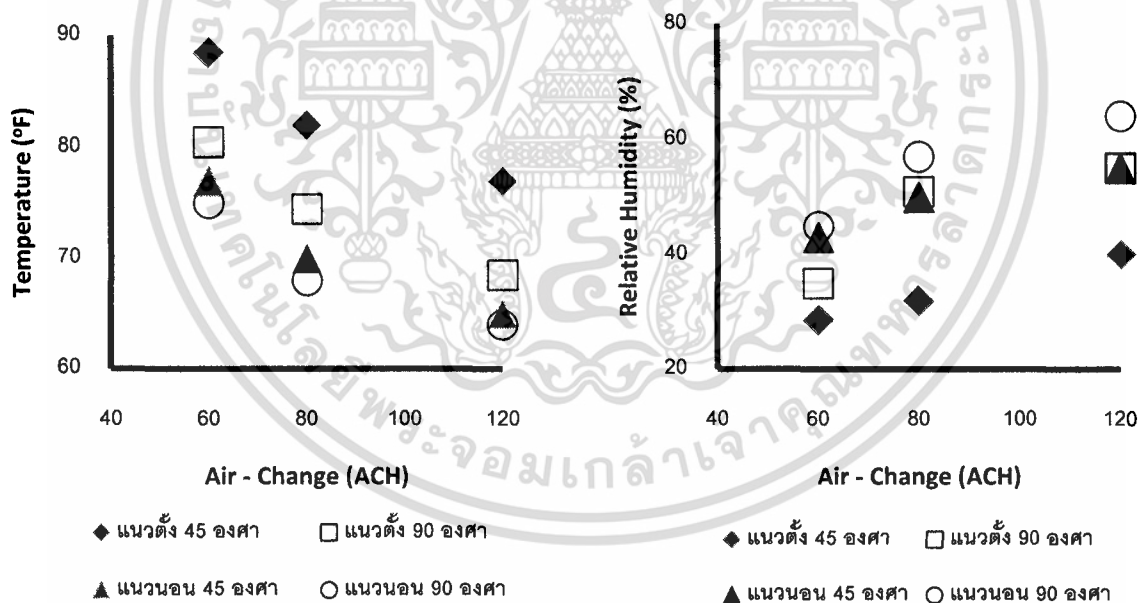
²หมายถึง อุณหภูมิบริเวณแถวที่ไม่ได้ติดตั้งช่องจ่ายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่โดยติดตั้งช่องจ่ายอากาศทั้งแบบแนวตั้งและแนวนอนให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งที่สูง ซึ่งค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งจะแบ่งออกเป็น 2 บริเวณที่สำคัญคือบริเวณแถวที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ และบริเวณแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ ซึ่งค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งทั้ง 2 บริเวณนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.2(°F) และ 20.8(°F) ตามลำดับ โดยค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้น

ในส่วนของมุมการจ่ายอากาศนั้น จากการศึกษพบว่า การจ่ายอากาศทำมุม 90 องศาที่ระนาบช่องจ่ายอากาศให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการจ่ายอากาศทำมุม 45 องศาที่ระนาบช่องจ่ายอากาศ โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 64°F สำหรับการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH ด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศาที่ระนาบช่องจ่าย

สำหรับการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ภายในบริเวณพื้นที่พบว่า การจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนซึ่งทำมุม 90 องศาที่ระนาบช่องจ่ายให้ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64% ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณแถวที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศกับค่าอัตราการระบายอากาศแสดงดังรูปที่ 5.1



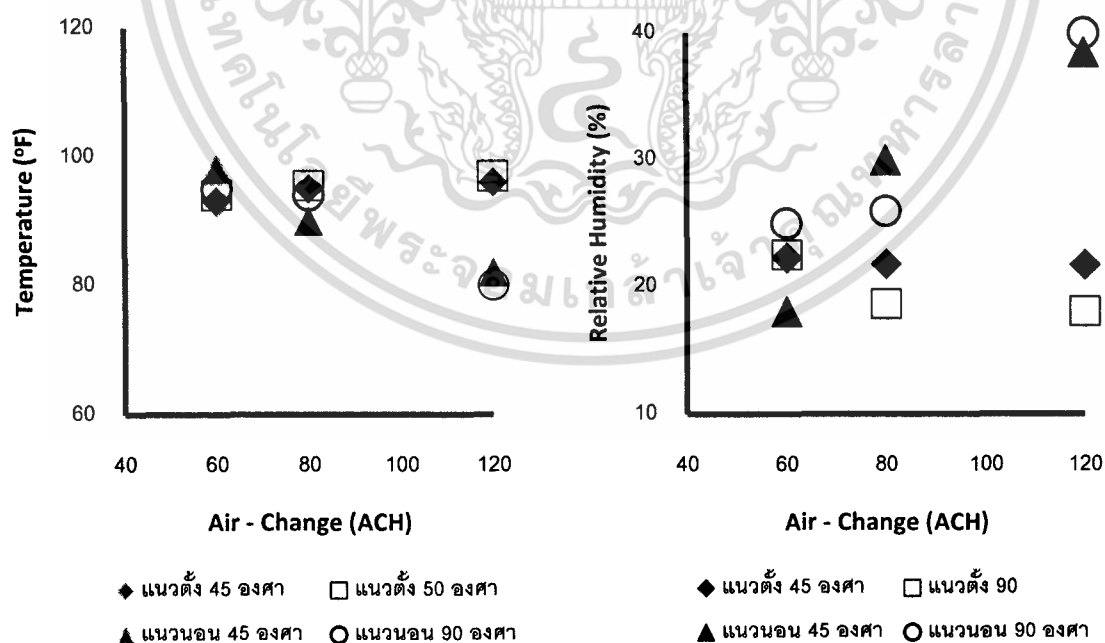
รูปที่ 5.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่อัตราการระบายแตกต่างกัน บริเวณที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ

จากรูปที่ 5.1 พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณแถวที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ซึ่งการจ่ายอากาศโดยการใช้ช่องจ่ายอากาศแบบเอกซานนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวออนจ่ายอากาศทำมุม 90 องศาที่ระนาบของช่องจ่ายอากาศ ทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 64°F และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 64% ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH

ในส่วนของการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศพบว่า สำหรับกรณีการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวออน การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับบริเวณแถวที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ

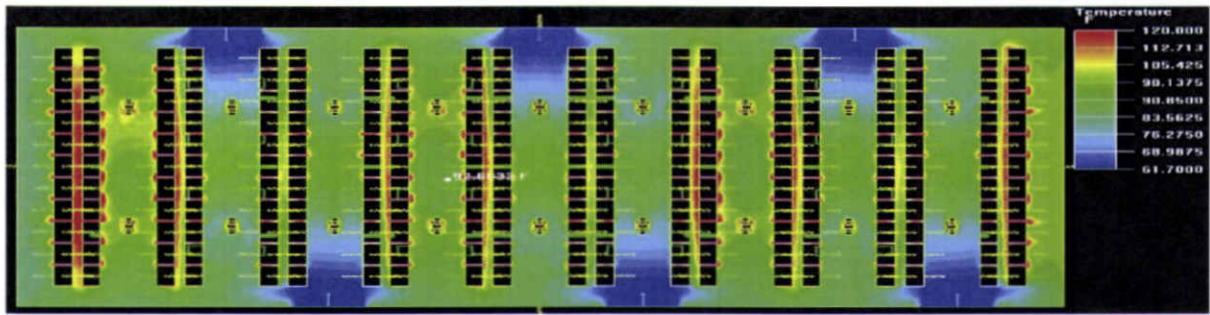
สำหรับกรณีการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้งพบว่าที่อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีลักษณะการกระจายตัวที่น้อยลงสำหรับการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศในแนวตั้งทั้ง 2 กรณี ทั้งนี้เนื่องจากการจ่ายอากาศในแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 5.3-5.5 ไม่มีบริเวณที่อากาศปะทะกันบริเวณตรงกลางพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เหมือนในกรณีของการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวออน ดังแสดงในรูปที่ 5.6 - 5.8 ส่งผลให้อากาศเย็นที่มีน้ำหนักมากและโมเมนตัมสูงจากช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้งพัดพาอากาศร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ให้ไปรวมตัวกันบริเวณแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ ซึ่งอยู่ระหว่างแถวที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศทั้ง 2 แถว ทำให้ระดับอุณหภูมิมีค่าสูงมากขึ้น ดังนั้นเมื่อทำการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศที่สูงขึ้นทำให้อากาศเย็นจากช่องจ่ายอากาศเข้าไปแทนที่และพัดพาอากาศร้อนบริเวณแถวที่ติดตั้งช่องจ่ายอากาศเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้แถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นรวมไปถึงมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำลงด้วย โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์กับอัตราการระบายอากาศบริเวณแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศแสดงดังรูปที่ 5.2



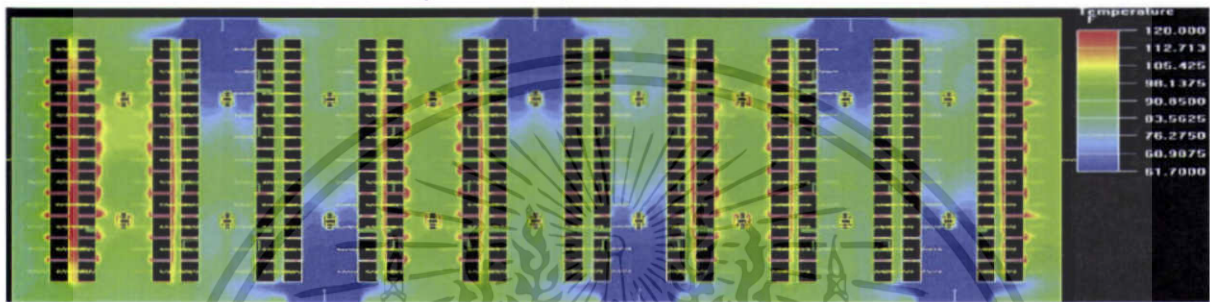
รูปที่ 5.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่อัตราการระบายแตกต่างกัน

บริเวณแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

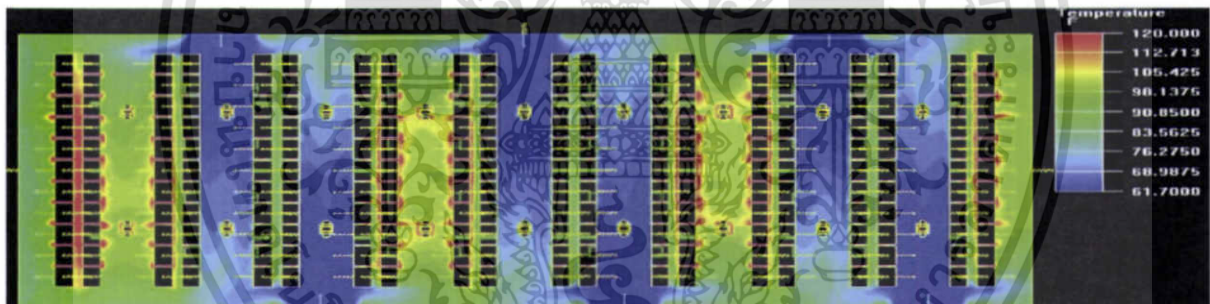
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้ง ทำมุม 90 องศา ($y = 3$)



รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 80 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้ง ทำมุม 90 องศา ($y = 3$)

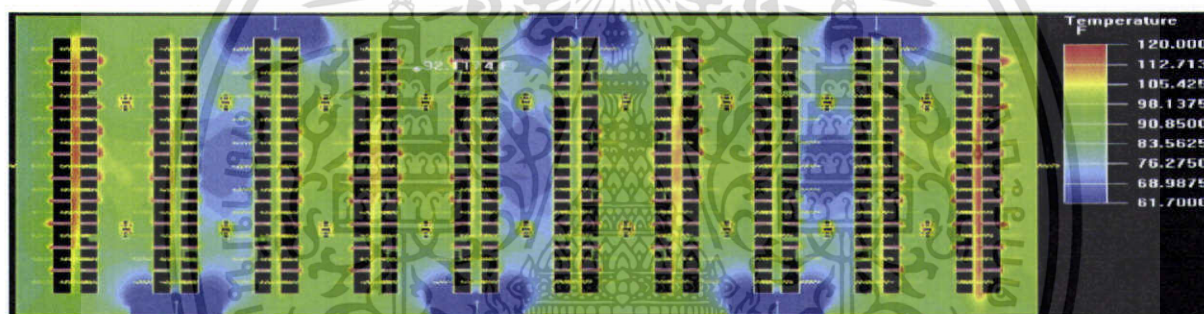


รูปที่ 5.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้ง ทำมุม 90 องศา ($y = 3$)

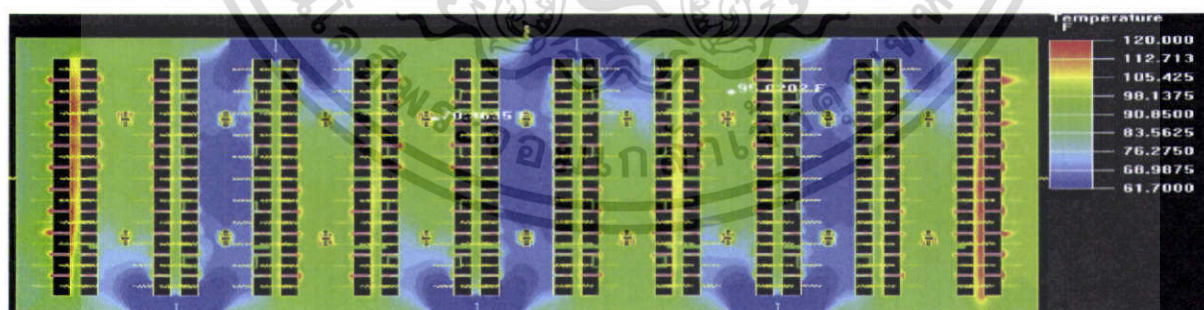
รูปที่ 5.3 -5.5 แสดงการตัดระนาบของอุณหภูมิในแนวแกน $y = 3$ สำหรับการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้งทำมุม 90 องศาที่ระนาบของช่องจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกัน โดยจากรูปพบว่าบริเวณแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศมีระดับของอุณหภูมิที่สูงกว่าแถวที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศเป็นอย่างมากเนื่องจากอากาศเย็นที่จ่ายออกมาจากช่องจ่ายได้เข้าไปแทนที่และผลักดันอากาศร้อนออกไปจากบริเวณพื้นที่ซึ่งสังเกตได้ว่าค่าของอุณหภูมิจากบริเวณตรงกลางของแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณกลางแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศมีค่าสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ซึ่งระดับของอุณหภูมิจากการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60, 80 และ 120 ACH มีค่าเท่ากับ 95, 102 และ 105°F ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.6 - 5.8 ซึ่งเป็นการตัดระนาบของอุณหภูมิในแนวแกน $y = 3$ สำหรับการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทำมุม 90 องศากับระนาบช่องจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกัน พบว่าการติดตั้งช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนส่งผลให้มีการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ดีกว่าการติดตั้งช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้งซึ่งติดตั้งระหว่างช่องทางเดินของพนักงานเป็นอย่างมากเนื่องจากมีการปะทะกันของกระแสอากาศบริเวณกลางห้องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทำให้เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์สามารถดูดอากาศเข้าไปได้ดีกว่าซึ่งส่งผลให้ระดับอุณหภูมิภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีค่าต่ำลง โดยรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นถึงการปะทะกันของอากาศที่ถูกจ่ายออกมาจากช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนบริเวณแถวที่มีการติดตั้งช่องระบายอากาศที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH ซึ่งพบว่าระดับของอุณหภูมิมิตรงกลางของพื้นที่ที่มีค่าค่อนข้างสูงประมาณ 102°F ระดับของอุณหภูมิมิตรงกลางพื้นที่ที่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ โดยจะเห็นได้จากการเพิ่มอัตราการระบายอากาศเป็น 80 ACH และ 120 ACH ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณตรงกลางพื้นที่ที่มีค่าเท่ากับ 97°F และ 75°F ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ

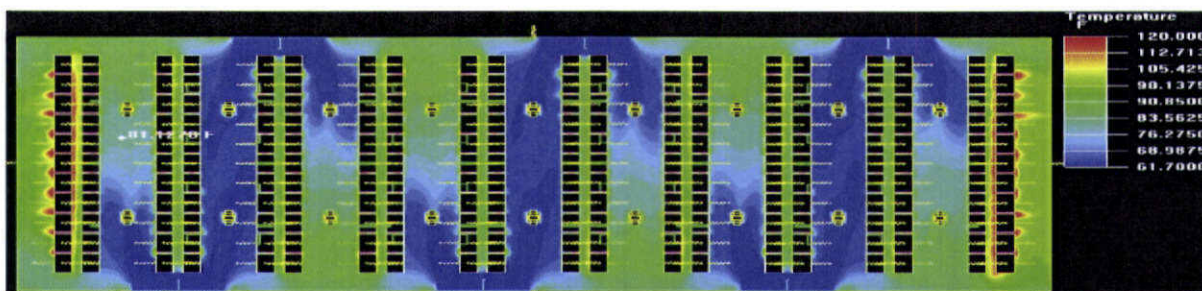


รูปที่ 5.6 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($y = 3$)



รูปที่ 5.7 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 80 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($y = 3$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

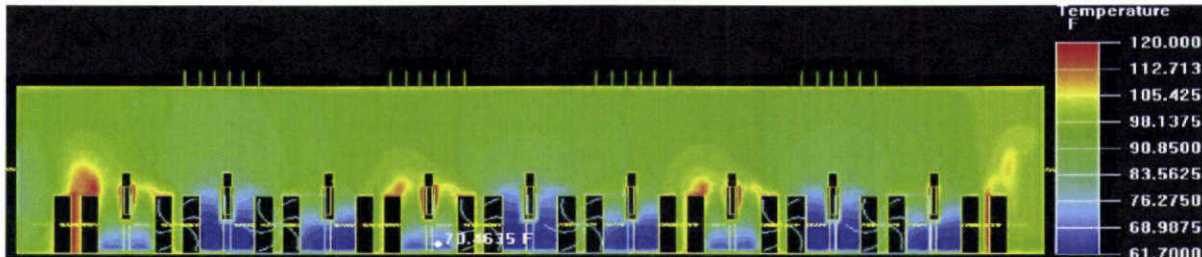


รูปที่ 5.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($y = 3$)

สำหรับการจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วยโปรแกรม Fluent ® พบว่าลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแนวตั้งจากการใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่ทั้ง 4 กรณีในการระบายอากาศมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันมาก โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น สังเกตได้จากระดับของอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงและค่าความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.9 – 5.14 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนซึ่งจ่ายอากาศทำมุม 90 องศาที่ระนาบช่องจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกัน ตำแหน่งระนาบ $z = 5.875$ ซึ่งเป็นระนาบที่พนักงานทำงาน โดยสังเกตได้ว่าบริเวณที่มีระดับของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมจะอยู่ในระดับใกล้เคียงกับตำแหน่งของพื้นห้องซึ่งมีค่าความสูงเฉลี่ยประมาณ 3 ft เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ต่ำกว่าความสูงของช่องจ่ายอากาศ โดยระดับที่สูงกว่าความสูงของช่องจ่ายอากาศ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและมีการลดลงของของของความชื้นสัมพัทธ์อย่างเห็นได้ชัด

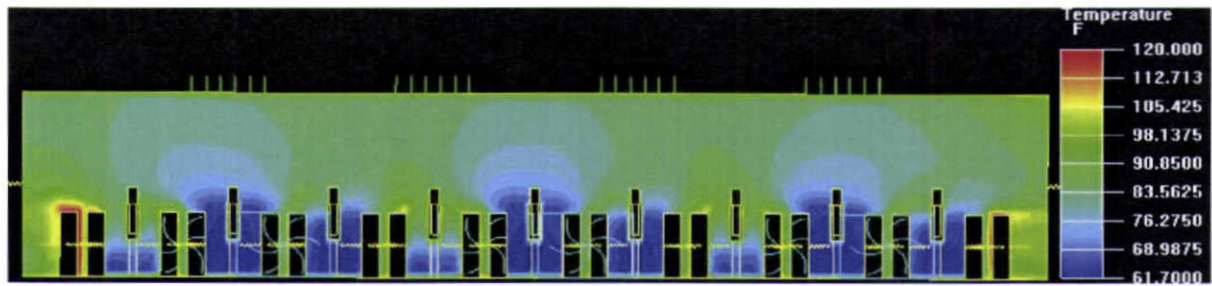


รูปที่ 5.9 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)

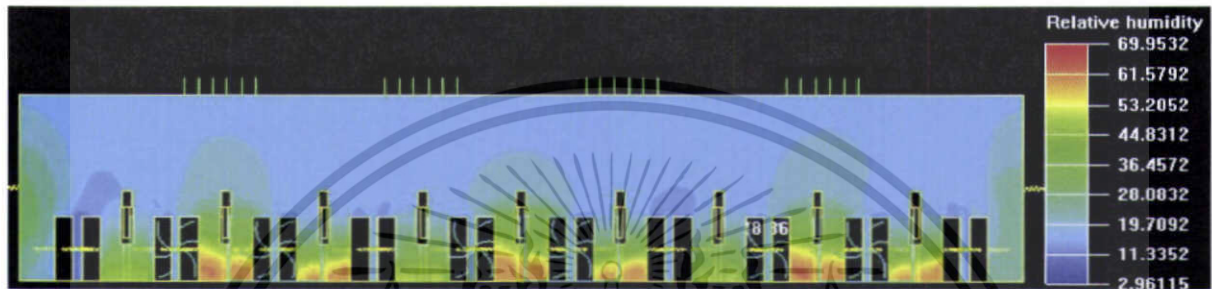


รูปที่ 5.10 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 80 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



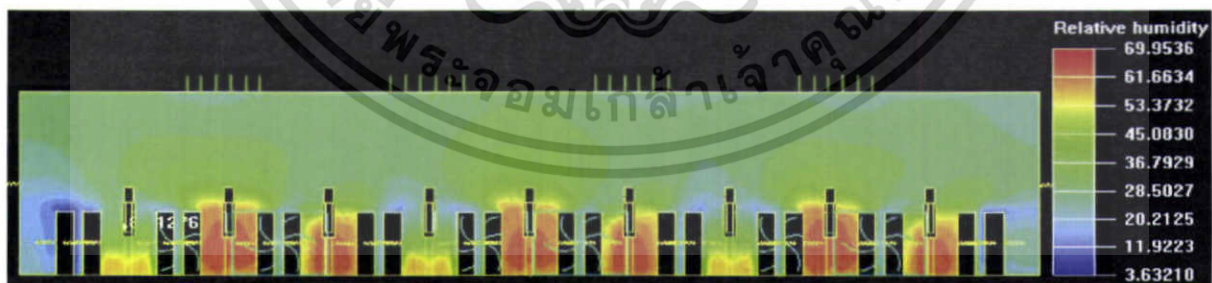
รูปที่ 5.11 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.12 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 60 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.13 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 80 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)



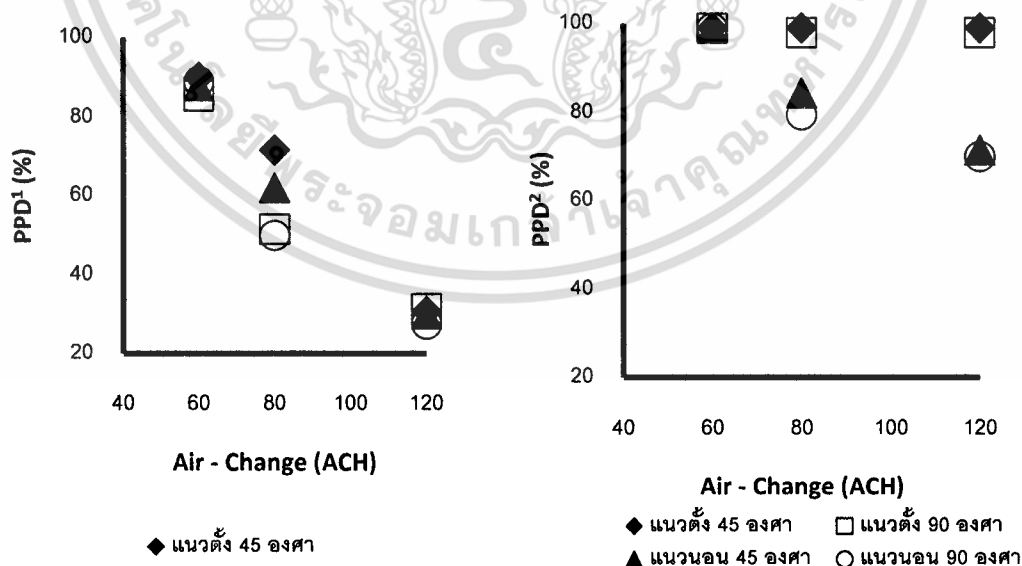
รูปที่ 5.14 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอน ทำมุม 90 องศา ($z = 5.875$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากการจ่ายอากาศด้วยระบบระบายอากาศแบบแทนที่ทั้ง 4 กรณีพบว่าสาเหตุที่ทำให้ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ทดสอบมีลักษณะเช่นนี้ เนื่องจากการที่เครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีการทำงานโดยการดูดอากาศเข้าเป็นอากาศที่ส่งลมแรงที่บริเวณเพดานเพื่อทำการระบายอากาศออกนอกห้อง เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเซอร์เวอชิงหน้าตาที่ปรากฏไม่ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริง จึงต้องมีการแจ้งเตือนให้ช่างเทคนิคเข้ามาตรวจสอบและทำการปรับตั้งเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ใหม่ ซึ่งช่างเทคนิคได้ทำการปรับตั้งเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ใหม่เรียบร้อยแล้ว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศจากทางด้านหน้าของเครื่องที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 99°F และ 22% ตามลำดับ จากนั้นจึงปล่อยอากาศออกจากด้านหลังของเครื่องทดสอบด้วยพัดลมระบายอากาศโดยการหันด้านหลังของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้าหากัน ทำให้บริเวณด้านหลังของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดเป็นแหล่งสะสมความร้อนขนาดใหญ่ ดังนั้นบริเวณแถวที่ไม่ได้ติดตั้งช่องจ่ายอากาศจึงมีระดับอุณหภูมิที่สูงมาก

สำหรับการจ่ายอากาศโดยใช้ช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนติดตั้งช่องจ่ายอากาศไว้ตรงกลางของช่องว่างบริเวณด้านหลังของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถทำให้อากาศร้อนที่สะสมบริเวณด้านหลังของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กระจายตัวได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับตำแหน่งที่ทำการติดตั้งช่องจ่ายอากาศแบบแนวตั้ง

นอกจากนี้การติดตั้งช่องจ่ายอากาศในแนวนอนยังส่งผลให้ค่าดัชนี PPD บริเวณแถวที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศในแนวตั้ง เนื่องจากมีการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ดีกว่าภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยค่าดัชนี PPD ของบริเวณที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ (PPD¹) และบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ (PPD²) ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 5.15 ซึ่งพบว่า การติดตั้งช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนซึ่งจ่ายอากาศทำมุม 90 องศา กับระนาบช่องจ่ายอากาศภายในบริเวณแถวที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศให้ค่าดัชนี PPD ที่ต่ำที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 27.5% ซึ่งสำหรับบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศนั้น การจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนโดยจ่ายอากาศทำมุม 45 องศา กับระนาบช่องจ่ายอากาศให้ค่าดัชนี PPD ที่ต่ำที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 70%



รูปที่ 5.15 ค่าดัชนี PPD สำหรับบริเวณที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ (PPD¹) และบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศ (PPD²) ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกัน

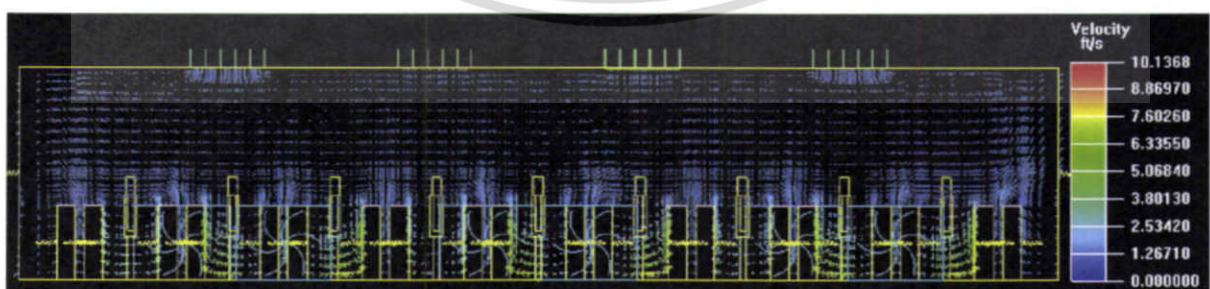
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพิจารณาจากข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนี PPD ที่ได้จากการจำลองข้างต้น พบว่าการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่จากแบบจำลองที่ทำการออกแบบ พบว่าการกระจายตัวของทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าแตกต่างกันมากระหว่างแถวที่มีการติดตั้งช่องจ่ายอากาศกับแถวที่ไม่มีติดตั้งช่องจ่ายอากาศ อีกทั้งยังมีการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณตรงกลางของพื้นที่ทดสอบได้น้อยมาก โดยสังเกตได้จากระดับของอุณหภูมิบริเวณตรงกลางพื้นที่ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าอุณหภูมิบริเวณที่ใกล้กับช่องจ่ายอากาศเป็นอย่างมาก ซึ่งหากต้องการการกระจายตัวของอากาศที่ดีจำเป็นต้องใช้อัตรการระบายอากาศที่สูงมากในการระบายอากาศเมื่อเทียบกับอัตรการระบายอากาศขั้นต่ำสำหรับการระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่คำนวณจากสมการที่ 9 ในภาคผนวก ก. ซึ่งมีค่าประมาณ 60 ACH

นอกจากนี้การระบายอากาศบริเวณตรงกลางของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งไม่มีผนังห้องทำให้ค่าความแตกต่างของความดันจกบริเวณด้านล่างของพื้นที่ซึ่งเป็นที่ตั้งของช่องจ่ายอากาศกับบริเวณด้านบนของพื้นที่ซึ่งเป็นที่ตั้งของช่องระบายอากาศมีความแตกต่างกันน้อยทำให้อากาศร้อนไม่สามารถระบายออกไปทางช่องระบายอากาศด้านบนได้ตามที่แสดงในรูปที่ 5.16 ซึ่งเป็นการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนซึ่งจ่ายอากาศทั้งหมด 45 องศาที่ระบายอากาศที่อัตรการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH และตัดที่ระนาบ $z = 0$ ซึ่งบริเวณตรงกลางของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่าค่าความแตกต่างของความดันระหว่างบริเวณพื้นที่ห้องกับเพดานห้องมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.015 lb/ft^2



รูปที่ 5.16 การกระจายตัวของความดันที่อัตรการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทั้งหมด 45 องศา ($z = 0$)



รูปที่ 5.17 เวกเตอร์ความเร็วลมที่อัตรการระบายอากาศเท่ากับ 120 ACH จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบแนวนอนทั้งหมด 45 องศา ($z = 8$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากการตัดระนาบของเวกเตอร์ความเร็วลมที่ $z = 8$ ในรูปที่ 5.17 ซึ่งเป็นตำแหน่งติดตั้งช่องระบายอากาศ จากการจ่ายอากาศด้วยช่องจ่ายอากาศแบบเดียวกันพบว่าช่องระบายอากาศบริเวณตรงกลางพื้นที่ทดสอบมีอากาศถูกดูดเข้าไปน้อยมากเมื่อเทียบกับช่องระบายอากาศบริเวณด้านข้างของห้องทั้งสองด้าน

จากผลการจำลองโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่แสดงให้เห็นว่าหากต้องการการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นที่ควรติดตั้งช่องจ่ายอากาศทุกแถวของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อที่จะทำให้ได้ระดับของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมทั่วทั้งพื้นที่ แต่เนื่องจากพื้นที่ภายในโรงงานมีจำกัดและเส้นทางการผลิตภายในโรงงาน (Production line) ที่เปลี่ยนแปลงได้ลำบาก จึงไม่สามารถทำได้ อีกทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้นเนื่องจากการติดตั้งช่องจ่ายอากาศทุกแถวของเครื่องทดสอบจำเป็นต้องใช้อัตราการระบายอากาศที่สูงขึ้นอีกด้วย ดังนั้นระบบระบายอากาศแบบแทนที่จึงไม่เหมาะสมสำหรับการทำการระบายอากาศภายในพื้นที่บริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B จากเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมา

5.2 ผลการจำลองของระบบระบายอากาศแบบผสม

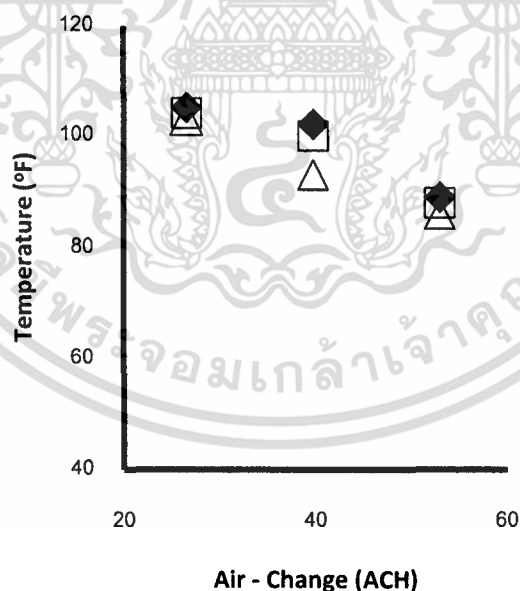
5.2.1 ระบบระบายอากาศแบบผสมที่ใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

ผลการจำลองการระบายอากาศโดยระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่าย ซึ่งเป็นระบบระบายอากาศแบบเดิมที่ใช้จริงภายในบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิด B จ่ายอากาศจากบริเวณด้านบนของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยระดับของหัวจ่ายและอัตราการระบายอากาศที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบายอากาศ โดยผลของค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการจำลองแสดงดังตารางที่ 5.2 โดยสังเกตได้ว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งเฉลี่ยของการจ่ายอากาศทุกระดับความสูงมีค่าเท่ากับ 5.9 ($^{\circ}\text{F}$)

สำหรับการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยจากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงและอัตราการระบายอากาศที่ต่างกันแสดงดังรูปที่ 5.18 พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิมิค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ซึ่งการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพื้นที่ต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 86 $^{\circ}\text{F}$ สำหรับผลของการเพิ่มอัตราการระบายอากาศต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิจากแบบจำลองสามารถสังเกตได้จากผลการจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิดังรูปที่ 5.19 – 5.21 ซึ่งเป็นตัวอย่างของการจำลองการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 10 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศที่ต่างกันจากการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ ซึ่งเป็นระนาบที่ตรงกับแบบจำลองพนักงาน

ตารางที่ 5.2 ค่าตัวแปรในอากาศที่ได้จากการจำลองโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบผสม ซึ่งใช้
หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

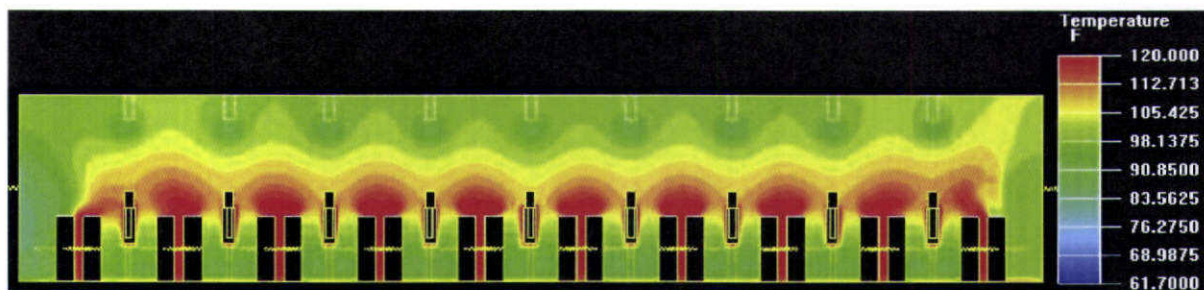
| ระดับความสูง ของหัวจ่าย (ft) | ACH | ΔT (°F) | อุณหภูมิ เฉลี่ย (°F) | ความชื้น สัมพัทธ์ เฉลี่ย (%) | ดัชนี PPD (%) |
|------------------------------------|-------|--------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------|
| 10 | 26.50 | 14 | 105 | 18 | 99.0 |
| | 39.75 | 6 | 102 | 22 | 99.0 |
| | 53.00 | 5 | 93 | 27.5 | 98.0 |
| 9 | 26.50 | 11 | 104 | 18 | 99.0 |
| | 39.75 | 6 | 102 | 23 | 98.3 |
| | 53.00 | 1.8 | 88 | 28 | 97.4 |
| 8 | 26.50 | 7 | 103 | 18 | 99.0 |
| | 39.75 | 0.2 | 93 | 25 | 98.1 |
| | 53.00 | 1.8 | 86 | 30 | 97.0 |



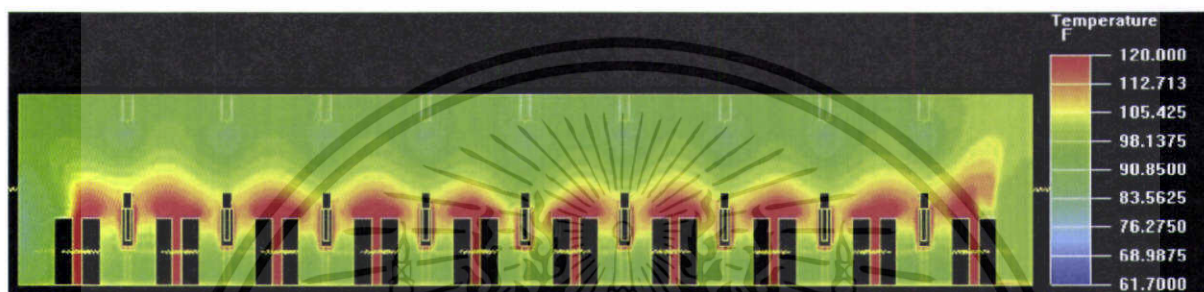
◆ ระดับ 10 ft □ ระดับ 9 ft △ ระดับ 8 ft

รูปที่ 5.18 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่าย
แบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 26.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.20 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



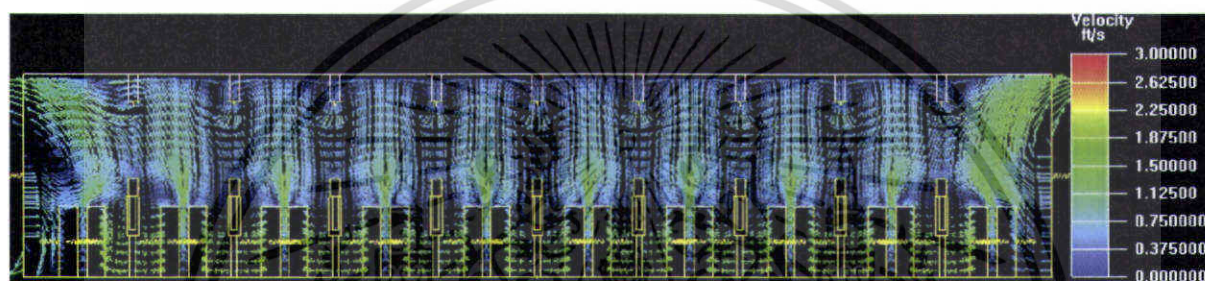
รูปที่ 5.21 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

เมื่อสังเกตจากรูปที่ 5.19 ซึ่งเป็นการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 26.5 ACH ที่ระดับความสูง 10 ft พบว่าเกิดการแยกชั้นกันของอุณหภูมิตั้งแต่บริเวณด้านบนของพื้นที่ที่ตำแหน่งได้หัวจ่ายอากาศกับบริเวณด้านล่างของพื้นที่ที่ตำแหน่งใกล้กับพื้นห้อง เนื่องจากอากาศที่ถูกจ่ายออกมาจากหัวจ่ายมีค่าโมเมนต์ดัดที่ต่ำเกินไปทำให้ไม่สามารถผสมกับอากาศที่พุ่งออกมาจากบริเวณด้านหลังของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้อย่างทั่วถึง

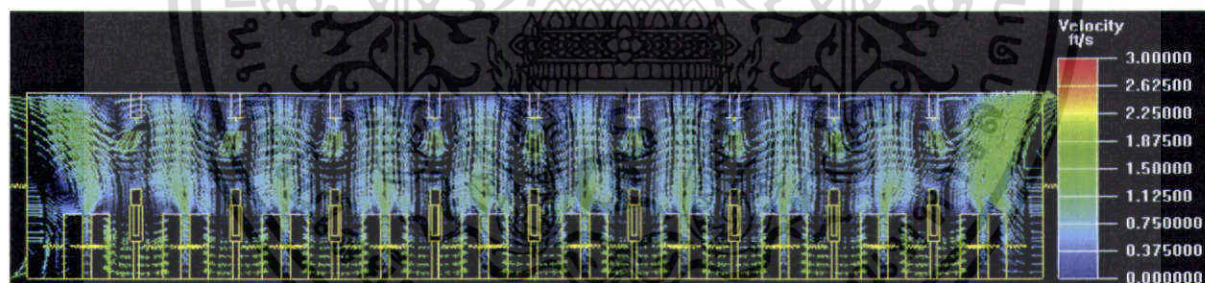
โดยเมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบายอากาศเป็น 39.75 ACH และ 53 ACH ดังรูปที่ 5.20 และ 5.21 พบว่าทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในพื้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอากาศจากหัวจ่ายมีโมเมนต์ดัดที่สูงขึ้นจึงสามารถผสมกับอากาศบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้เพิ่มขึ้นส่งผลให้การแยกชั้นกันของอุณหภูมิลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

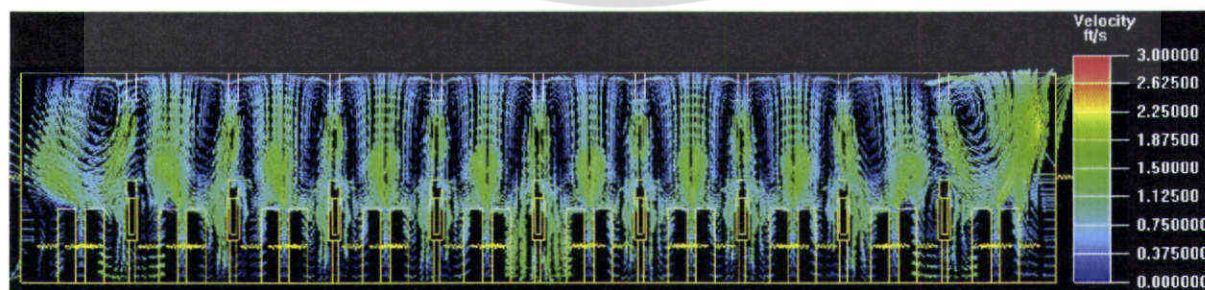
เมื่อพิจารณาจากเวกเตอร์ของความเร็วลมภายในพื้นที่ พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการแยกชั้นกันของ อุณหภูมิในกรณีที่ย้ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศที่ต่ำเกิดจากลักษณะการไหลของอากาศภายใน บริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งมีทิศทางการไหลของอากาศจากหัวจ่ายลงไปสู่บริเวณพื้นห้อง ในช่วงเริ่มต้นของการจ่ายอากาศ จากนั้นจะถูกเครื่องทดสอบดูดอากาศเข้าไปแล้วจึงปล่อยออกทางด้านหลัง เครื่อง ทำให้เกิดการปะทะกันกับอากาศที่ถูกจ่ายออกมาจากหัวจ่ายอากาศทางด้านบนของพื้นที่จึงทำให้เกิด การหมุนวนของกระแสอากาศบริเวณด้านบนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ โดยเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ จะเกิดเป็นกลุ่มของอากาศที่มีอุณหภูมิสูงบริเวณด้านบนของเครื่องทดสอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศที่แตกต่างกันดัง รูปที่ 5.22 – 5.24 ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft



รูปที่ 5.22 การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 26.5 ACH จากการ จ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



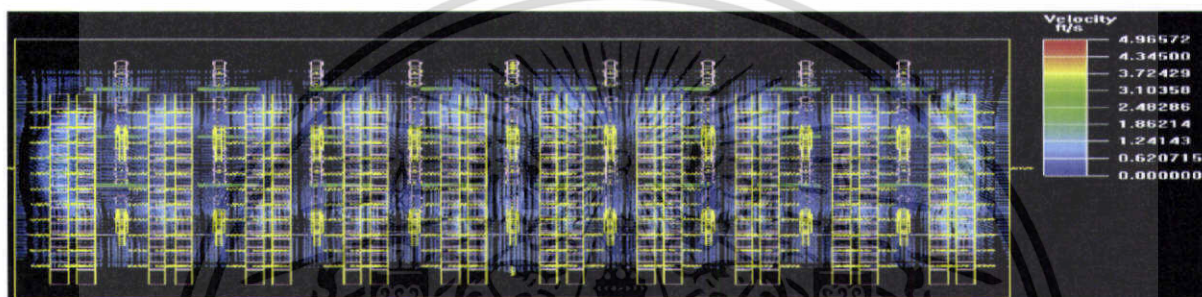
รูปที่ 5.23 การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการ จ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



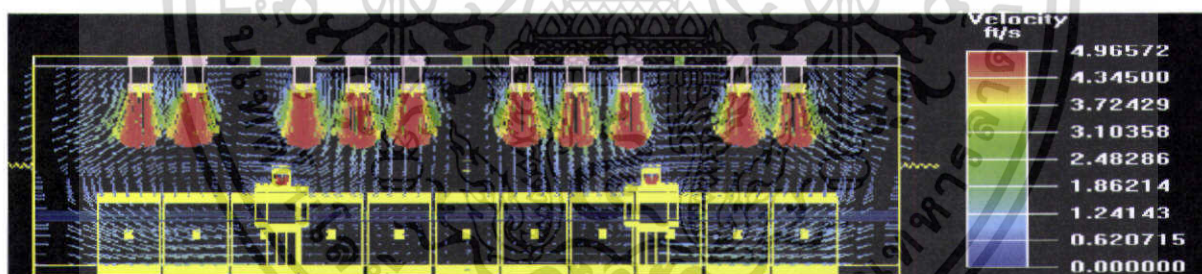
รูปที่ 5.24 การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่าย อากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

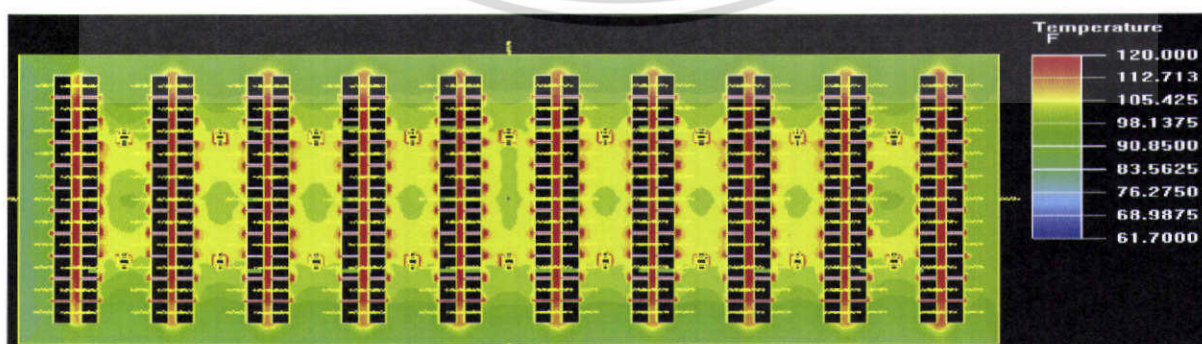
เมื่อพิจารณาเวกเตอร์ของความเร็วลมในแนวแกน z ดังรูปที่ 5.22-5.24 ร่วมกันกับเวกเตอร์ของความเร็วมในแนวแกน x และแนวแกน y จากการตัดระนาบที่ $x = 0$ และ $y = 3$ ที่ระดับการจ่ายอากาศเท่ากับ 10 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH ดังรูปที่ 5.25 และ 5.26 พบว่าลักษณะการไหลของกระแสอากาศที่ออกจากหัวจ่ายสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือส่วนที่พยายามไหลออกไปทางผนังห้องด้านข้าง กับส่วนที่ถูกเครื่องทดสอบดูดอากาศเข้ามาทำให้เกิดเป็นกระแสหมุนวนบริเวณแบบจำลองของพนักงานซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลุ่มของความร้อนบริเวณด้านบนของเครื่องทดสอบ ส่งผลให้บริเวณตรงกลางระหว่างแถวทุกแถวภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีอุณหภูมิที่สูงมาก โดยสังเกตได้จากรูปที่ 5.27 ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ $y = 3$ จากการจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศและความสูง 10 ft



รูปที่ 5.25 การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($y = 3$)



รูปที่ 5.26 การกระจายตัวของเวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($x = 0$)

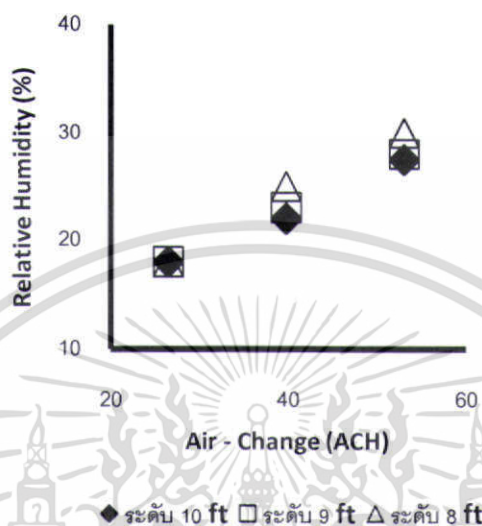


รูปที่ 5.27 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่

ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($y = 3$)

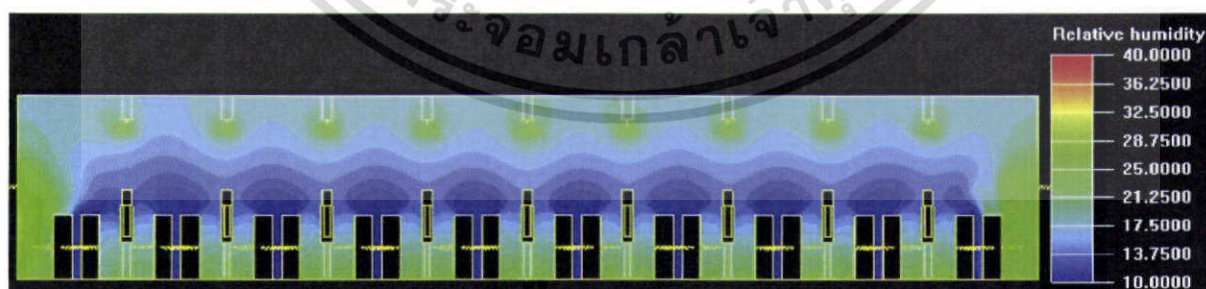
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่พบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์ของการกระจายตัวเช่นเดียวกันกับแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิกล่าวคือ การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับอัตราการระบายอากาศที่แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 5.28



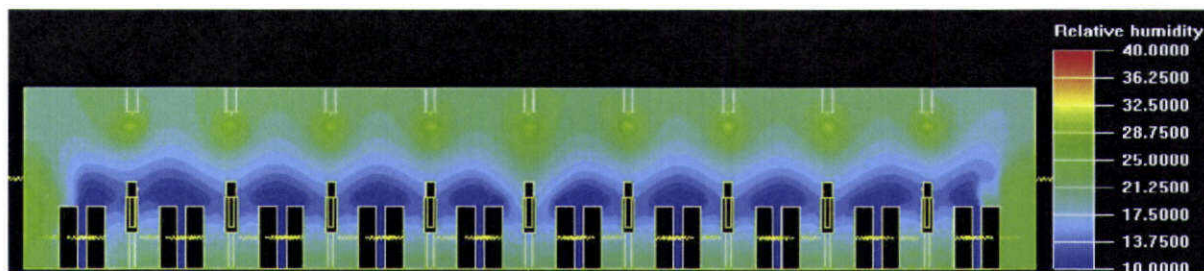
รูปที่ 5.28 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

จากการจำลองพบว่า การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มการกระจายตัวเช่นเดียวกันกับการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในพื้นที่ โดยที่อัตราการระบายอากาศมีค่าต่ำจะก่อให้เกิดกลุ่มของอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำบริเวณด้านบนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.29 – 5.31 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงในการจ่ายอากาศเท่ากับ 10 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศที่แตกต่างกัน โดยการตัดระนาบที่ $z = 5.875$

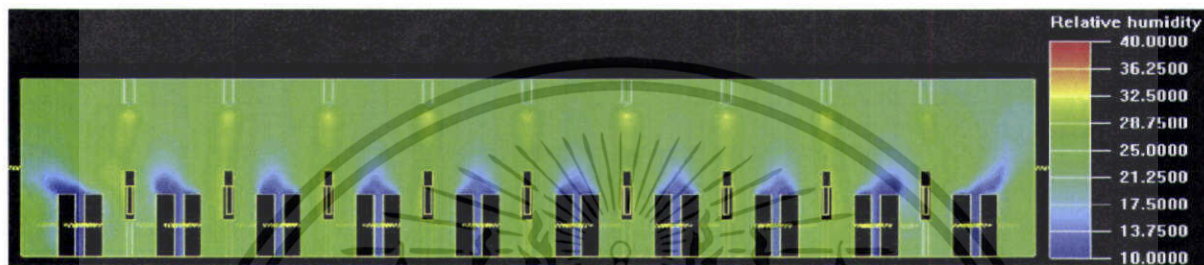


รูปที่ 5.29 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 26.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 39.75 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

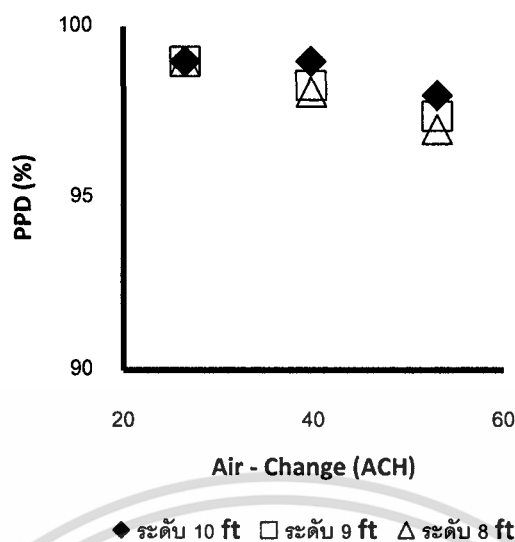


รูปที่ 5.31 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

จากผลการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้จากการจำลองพบว่าตำแหน่งของการจ่ายอากาศส่งผลกระทบต่อ การกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพียงเล็กน้อยสำหรับกรณีการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่าย ตัวอย่างเช่นในกรณีที่จ่ายอากาศที่ความสูง 8 ft ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH ให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 86°F และ 30% ตามลำดับ ในขณะที่การจ่ายอากาศที่ความสูง 9 ft และ 10 ft ที่อัตราการระบายอากาศเดียวกัน ให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 88°F , 28% และ 93°F , 27.5% ตามลำดับ

โดยความแตกต่างที่เห็นได้ชัดจากการจ่ายอากาศที่ระดับต่างกัน คือค่าของความเร็วลมที่ออกจากหัวจ่ายซึ่งตกกระทบกับแบบจำลองของพนักงานภายในพื้นที่ ซึ่งสังเกตได้จากการจ่ายอากาศที่ระดับต่ำเช่นในกรณีการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH ให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยบริเวณแบบจำลองพนักงานเท่ากับ 2.5 ft/s ในขณะที่การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 9 ft และ 10 ft ที่อัตราการระบายอากาศเดียวกันให้ค่าความเร็วลมตกกระทบแบบจำลองพนักงานเท่ากับ 1.6 ft/s และ 1.5 ft/s ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานของความเร็วลมภายในอาคารซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.3 – 1 ft/s [18] ส่งผลให้ค่าดัชนี PPD ของทุกกรณีมีค่าสูงมาก โดยผลของการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงและอัตราการระบายอากาศที่แตกต่างกันต่อค่าดัชนี PPD ภายในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงดังรูปที่ 5.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.32 ค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วย หัวจ่ายแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

จากรูปที่ 5.32 แสดงให้เห็นว่าการจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศมีค่าต่ำเช่นในกรณีการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 26.5 ACH และ 39.75 ACH ระดับความสูงในการจ่ายอากาศไม่มีผลต่อการกระจายตัวของค่าดัชนี PPD โดยค่าดัชนี PPD ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 97% ซึ่งได้จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH

ดังนั้นจากผลการจำลองการระบายอากาศ โดยใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย พบว่าอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศควรมีค่ามากกว่า 53 ACH ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้จากสมการที่ 9 ซึ่งมีค่าประมาณ 60 ACH ดังนั้นการจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศมีค่าต่ำกว่า 60 ACH จึงไม่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศในกรณีนี้ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับในการจ่ายอากาศที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ควรต่ำกว่าระดับ 10 ft เนื่องจากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงต่ำเกินไปทำให้ค่าความเร็วลมตกกระทบกับแบบจำลองพนักงานที่สูงมากซึ่งส่งผลโดยตรงต่อดัชนี PPD ภายในพื้นที่

จากผลการจำลองโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่ายพบว่าระบบระบายอากาศชนิดนี้ให้ค่าอัตราการระบายอากาศที่ต่ำเกินไปจึงไม่สามารถทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทั่วถึงภายในพื้นที่ได้ ซึ่งค่าอัตราการระบายอากาศที่สูงที่สุดจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่าย มีค่าเท่ากับ 53 ACH โดยเมื่อเปรียบเทียบกับการระบายอากาศโดยการใช้ช่องจ่ายอากาศแบบแทนที่ซึ่งให้ค่าอัตราการระบายอากาศสูงสุดเท่ากับ 120 ACH พบว่าการระบายอากาศโดยการใช้ช่องจ่ายอากาศแบบแทนที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ดีกว่ามาก ดังนั้นระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หั่วจ่าย จึงไม่เหมาะสมสำหรับทำการระบายอากาศภายในพื้นที่บริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟชนิด B จากเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมา

5.2.2 ระบบระบายอากาศแบบผสมที่ใช้หั่วจ่ายอากาศแบบต่อจำนวน 180 หั่วจ่าย

ผลการจำลองการระบายอากาศโดยระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งใช้หั่วจ่ายอากาศแบบต่อจำนวน 180 หั่วจ่าย ระบายอากาศจากบริเวณด้านบนของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ด้วยระดับการจ่ายอากาศและอัตราการระบายอากาศที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งมีค่าการแตกต่างใกล้เคียงกันกับการจ่ายอากาศด้วยหั่วจ่ายอากาศแบบต่อจำนวน 90 หั่วจ่าย โดยผลของค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการจำลองแสดงดังตารางที่ 5.3 โดยจากตารางที่ 5.3 พบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งและระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ซึ่งค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งเฉลี่ยของการจ่ายอากาศทุกระดับมีค่าเท่ากับ $4.1(^{\circ}\text{F})$ ซึ่งน้อยกว่าการจ่ายอากาศด้วยหั่วจ่ายอากาศแบบต่อจำนวน 90 หั่วจ่ายเล็กน้อย

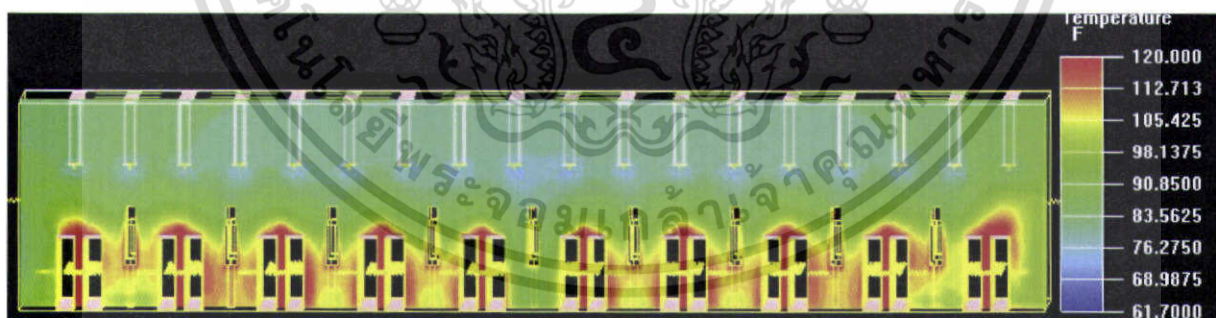
สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยในแนวตั้งพบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยโดยส่วนใหญ่ บริเวณศีรษะของแบบจำลองพนักงานมีระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณข้อเท้าของแบบจำลองพนักงาน แต่กรณีการจ่ายอากาศที่ระดับต่ำเช่นในกรณีของการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft พบว่าค่าอุณหภูมิที่ระดับข้อเท้าของแบบจำลองพนักงานมีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับศีรษะมาก โดยจากแบบจำลองการจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ ดังแสดงในรูปที่ 5.33 พบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันถึง $15(^{\circ}\text{F})$ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณข้อเท้าของแบบจำลองพนักงานมีค่าเท่ากับ 108°F ทุกแถวของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

โดยสาเหตุที่ทำให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณข้อเท้าของแบบจำลองพนักงานมีค่าสูงกว่าเนื่องมาจากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft เป็นระดับการจ่ายอากาศที่ต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับความสูงของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟชนิด B ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 4 ft ทำให้มีระยะทางในการผสมกันของอากาศที่น้อยเกินไปโดยจะเป็นลักษณะของการแทนที่กันของอากาศมากกว่า ส่งผลให้เกิดการผลัดกันอากาศร้อนที่พุ่งออกมาจากพัดลมระบายอากาศบริเวณด้านหลังเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟชนิด B ให้ตกลงบริเวณพื้นของโรงงานซึ่งตรงกับบริเวณข้อเท้าของแบบจำลองพนักงาน โดยเมื่อพิจารณาจากการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศ 79.5 ACH เท่ากัน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณข้อเท้าของแบบจำลองพนักงานมีแนวโน้มลดลงเมื่อจ่ายอากาศที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากรูปที่ 5.36 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH จากกรจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft จากการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ พบว่ามีการผสมกันของอากาศที่ดีกว่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ค่าตัวแปรในอากาศที่ได้จากการจำลองโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมซึ่งใช้
หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย

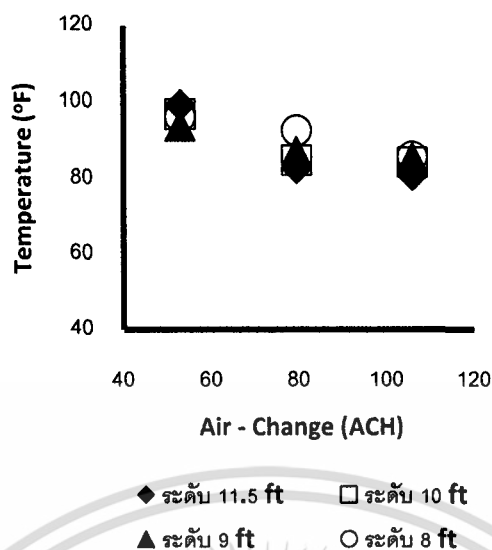
| ระดับความสูง ของหัวจ่าย (ft) | ACH | ΔT (°F) | อุณหภูมิ เฉลี่ย (°F) | ความชื้น สัมพัทธ์ เฉลี่ย (%) | ดัชนี PPD (%) |
|------------------------------------|------|--------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------|
| 11.5 | 53 | 6 | 99.4 | 21 | 98.1 |
| | 79.5 | 2 | 82.8 | 35.6 | 82.3 |
| | 106 | 1.5 | 80.9 | 37.2 | 85.8 |
| 10 | 53 | 4 | 97.1 | 23 | 98.1 |
| | 79.5 | 6 | 85 | 32.4 | 85 |
| | 106 | 3 | 84.5 | 32.6 | 84.5 |
| 9 | 53 | 6 | 94 | 25.2 | 97.4 |
| | 79.5 | 2 | 87.2 | 30 | 93.3 |
| | 106 | 0.1 | 85.6 | 31.5 | 88 |
| 8 | 53 | 3 | 96.4 | 23.2 | 98.5 |
| | 79.5 | 15 | 92.8 | 27 | 93.6 |
| | 106 | 1 | 85.9 | 31.4 | 97.7 |



รูปที่ 5.33 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่
ระดับ 8 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

ในส่วน of ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่ายพบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยกับอัตราการระบายอากาศแสดงดังรูปที่ 5.34

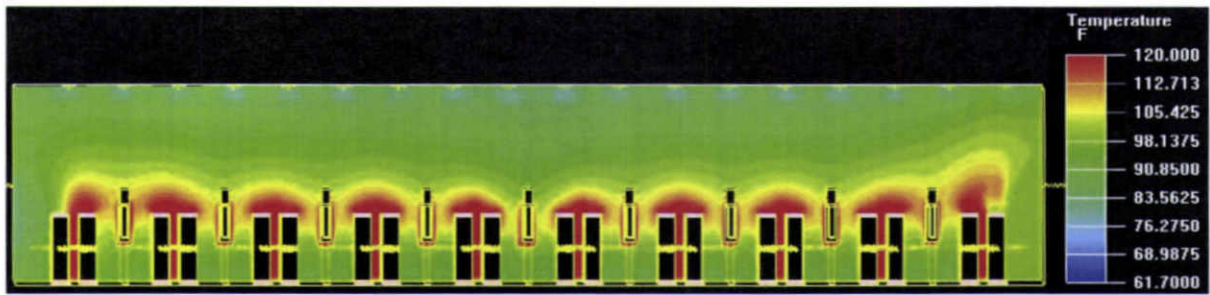
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



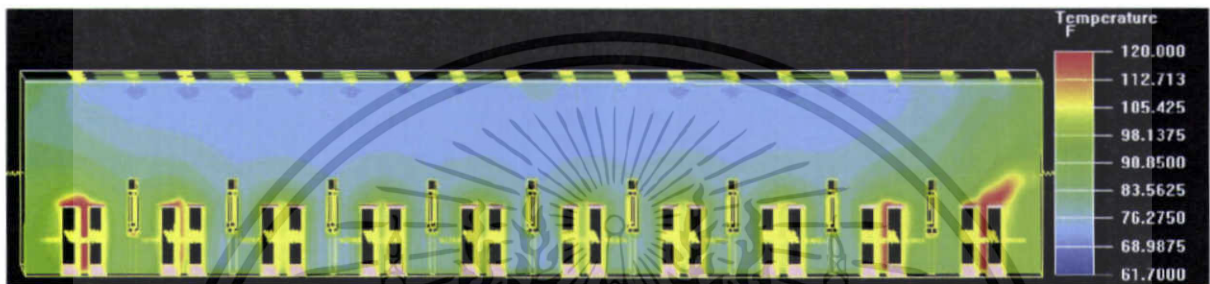
รูปที่ 5.34 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย

จากรูปที่ 5.34 พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศโดยสังเกตได้จากระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าลดลงเมื่อจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้น ในส่วนของระดับความสูงในการจ่ายอากาศพบว่าที่อัตราการระบายอากาศมีค่าต่ำเช่นในกรณีของการจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH การจ่ายอากาศในระดับที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพื้นที่น้อยมากซึ่งพบว่าการจ่ายอากาศทั้ง 4 ระดับคือ 11.5, 10, 9 และ 8 ft ให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันคือ 99.4, 97.1, 94 และ 96.4°F ตามลำดับ

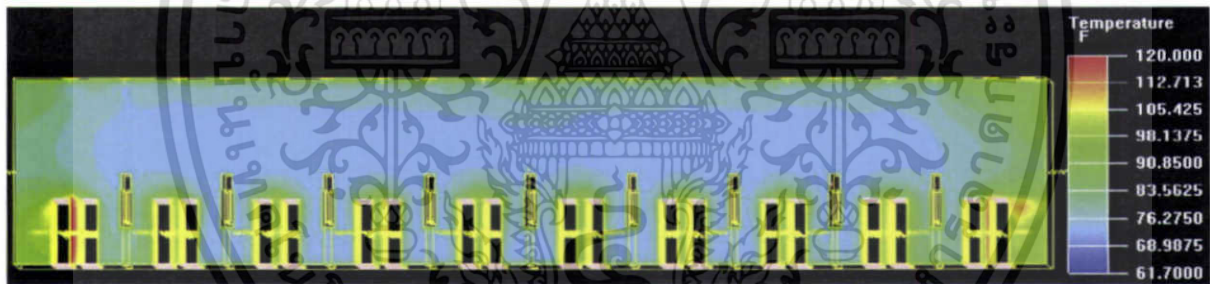
ในขณะที่ทำการเพิ่มอัตราการระบายอากาศภายในพื้นที่เช่นในกรณีการจ่ายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH และ 106 ACH พบว่าการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงต่ำลงมีแนวโน้มทำให้ระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพื้นที่มีค่าเพิ่มขึ้น โดยการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH และ 106 ACH ให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากันสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 92.8°F และ 85.9°F ตามลำดับ สำหรับการจ่ายอากาศที่ทำให้ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพื้นที่มีค่าต่ำที่สุดคือการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 80.9°F โดยผลการจำลองการระบายที่ระดับ 11.5 ฟุต ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ ซึ่งเป็นระนาบของแบบจำลองพนักงานภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงดังรูปที่ 5.35 – 5.37



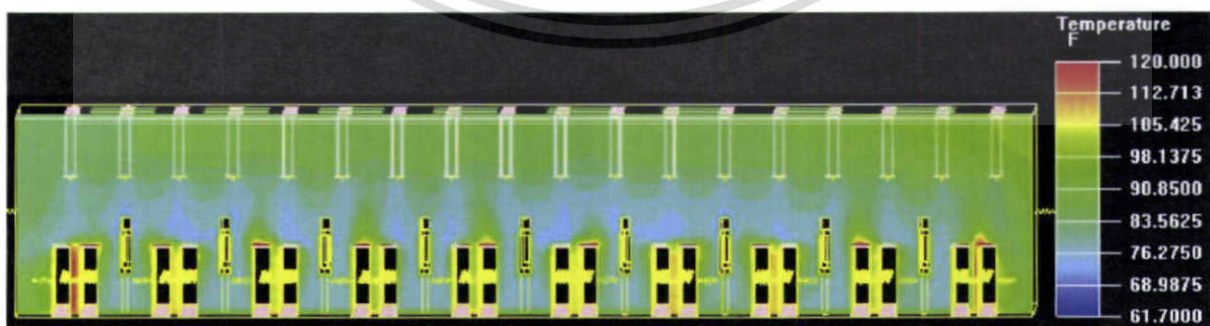
รูปที่ 5.35 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.36 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH จากควจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.37 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.38 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

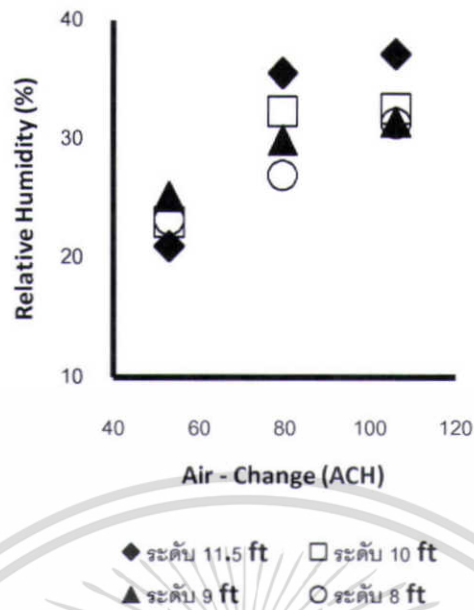
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในพื้นที่ทดสอบจากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft พบว่าที่อัตราการระบายอากาศมีค่าต่ำเช่นในกรณีการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH ดังแสดงในรูปที่ 5.35 ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ พบว่าการผสมกันของอากาศเกิดขึ้นได้น้อยเนื่องจากอากาศที่ถูกจ่ายออกมาจากหัวจ่ายมีค่าโมเมนต์ที่ต่ำเกินไปทำให้ไม่สามารถผสมกันกับอากาศที่พุ่งออกมาจากบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้อย่างทั่วถึง ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับกรณีการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

เมื่อทำการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการผสมกันของอากาศที่ดีขึ้นภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.36 และ 5.37 ซึ่งเป็นการตัดระนาบการจ่ายอากาศที่ $z = 5.875$ โดยการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH และ 106 ACH ตามลำดับ โดยรูปที่ 5.37 แสดงให้เห็นถึงการผสมกันที่มากขึ้นของอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จากการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH ทำให้ระดับของอุณหภูมิภายในพื้นที่ที่มีค่าลดลงมาก โดยหากเปรียบเทียบกับกรณีการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH ดังแสดงในรูปที่ 5.38 ซึ่งเป็นการตัดระนาบเดียวกัน พบว่าการผสมกันของอากาศเกิดขึ้นได้น้อยเนื่องจากระยะในแนวตั้งระหว่างกระแสอากาศที่ออกจากหัวจ่ายกับกระแสอากาศที่ออกจากระยะด้านหลังของเครื่องทดสอบสั้นเกินไป ทำให้เกิดเป็นลักษณะของการผลัดกันของอากาศภายในพื้นที่โดยอากาศร้อนจะถูกแทนที่และลอยไปอยู่บริเวณด้านบนของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขณะที่อากาศเย็นจากหัวจ่ายจะเข้ามาแทนที่บริเวณด้านล่างของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในส่วนของกรณีการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์พบว่ากรณีการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ซึ่งเป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย โดยความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์กับอัตราการระบายอากาศที่แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 5.39 โดยการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์จากการจำลองโดยการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกัน ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ แสดงดังรูปที่ 5.40 – 5.42 ซึ่งพบว่า การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงแตกต่างกันพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยที่อัตราการระบายอากาศมีค่าต่ำเช่นในกรณีที่อัตราการระบายอากาศมีค่าเท่ากับ 53 ACH ดังรูปที่ 5.40 ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในพื้นที่จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงแตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออัตราการระบายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นในกรณีที่อัตราการระบายอากาศมีค่าเท่ากับ 79.5 ACH และ 106 ACH ดังรูปที่ 5.41-5.42 ซึ่งเป็นการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ พบว่าที่อัตราการระบายอากาศเดียวกันค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในพื้นที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อลดระดับการจ่ายอากาศลง เช่น ในกรณีการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 27% ซึ่งได้จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 35.6% ซึ่งได้จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft

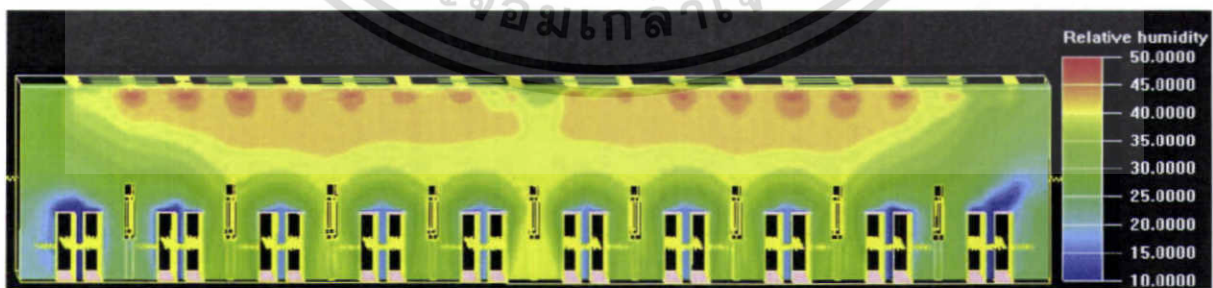
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.39 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย

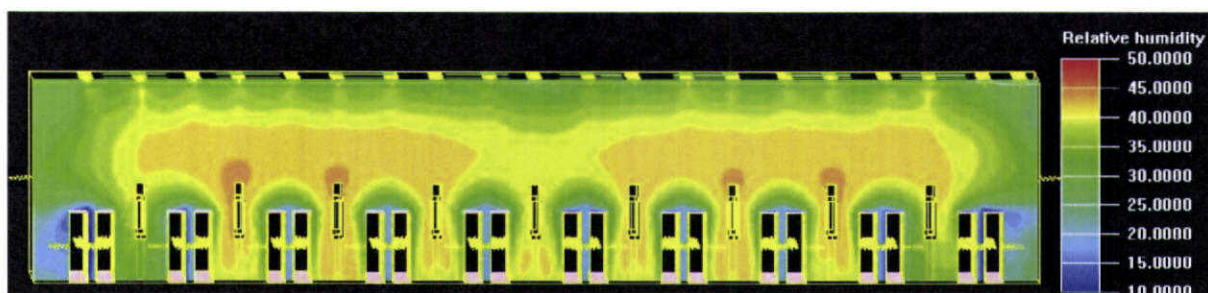


รูปที่ 5.40 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 53 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

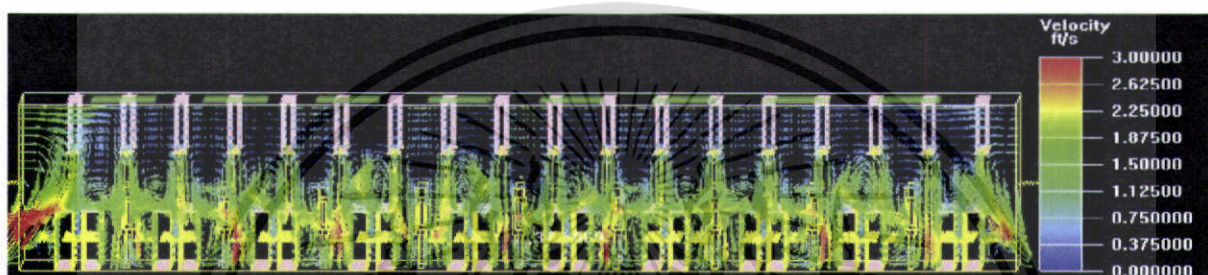


รูปที่ 5.41 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

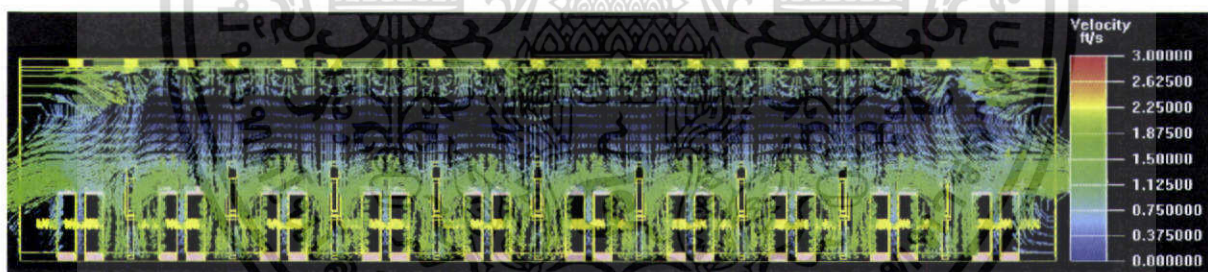
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.42 การกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



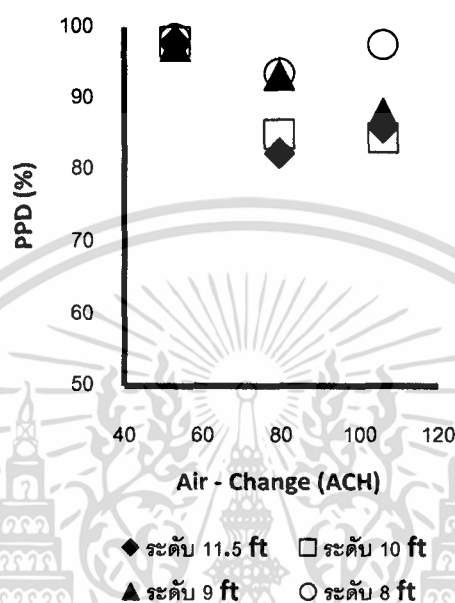
รูปที่ 5.43 การกระจายตัวของแวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.44 การกระจายตัวของแวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

นอกจากนี้จากผลการกระจายตัวความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ได้จากการจำลองยังพบว่า การจ่ายอากาศที่ระดับต่ำเช่น ในกรณีจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ให้ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมที่ตกกระทบกับแบบจำลองของพนักงานภายในพื้นที่สูงมากเมื่อเทียบกับกรณีการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ดังแสดงในรูปที่ 5.43 และ 5.44 ซึ่งเป็นการแสดงแวกเตอร์ของความเร็วลมที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH โดยการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ ที่ระดับความสูง 8 ft และ 11.5 ft ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.43 พบว่าค่าความเร็วลมจากกระแสอากาศที่ตกกระทบแบบจำลองพนักงานจากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 8 ft มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.5 ft/s โดยเมื่อเทียบกับค่าความเร็วลมจากกระแสอากาศที่ตกกระทบแบบจำลองพนักงานจากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ดังรูปที่ 5.44 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 ft/s พบว่ามีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

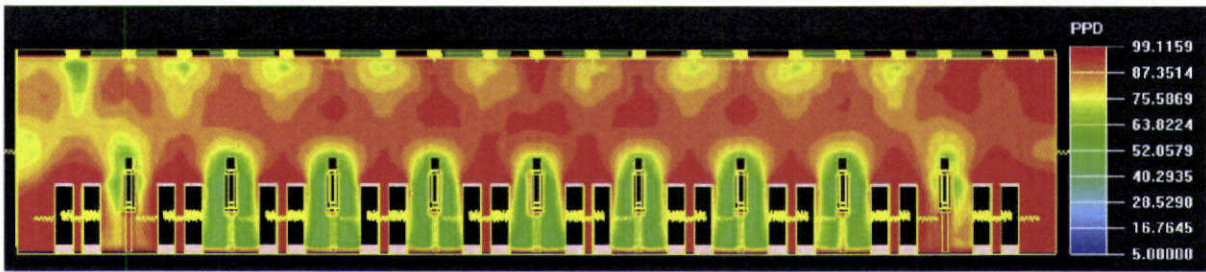
สูงกว่ามาก นอกจากนี้ยังพบว่าค่าดัชนี PPД ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย ทูกระดับความสูงที่จ่ายอากาศให้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ [18] ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าดัชนี PPД ของการจ่ายอากาศในทุกกรณีมีค่าสูง โดยค่าดัชนี PPД ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 5.45



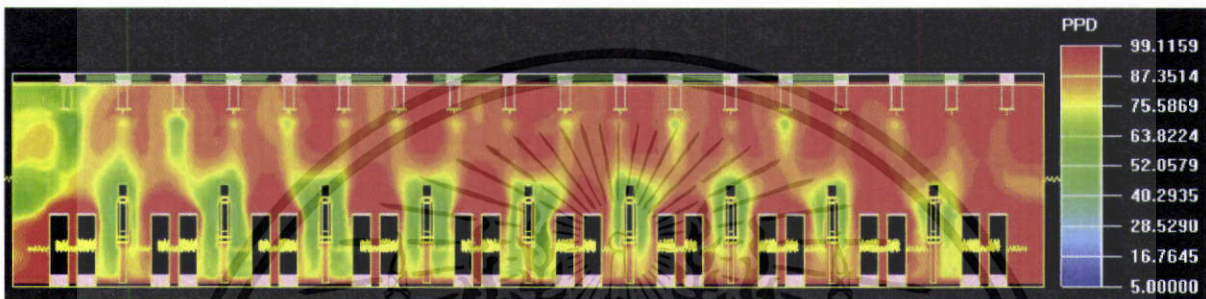
รูปที่ 5.45 ค่าดัชนี PPД ที่อัตราการระบายอากาศแตกต่างกันจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย

จากรูปที่ 5.45 พบว่าค่าดัชนี PPД มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ โดยที่อัตราการระบายอากาศมีค่าต่ำ ระดับของการจ่ายอากาศจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าดัชนี PPД มากนัก เช่นในกรณีที่อัตราการระบายอากาศมีค่าเท่ากับ 53 ACH ค่าดัชนี PPД ของการจ่ายอากาศในทุกระดับความสูงมีความแตกต่างกันน้อยมาก แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราการระบายอากาศพบว่า ค่าดัชนี PPД มีความแตกต่างกันชัดเจนยิ่งขึ้น โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลดระดับการจ่ายอากาศลง เช่นในกรณีของการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH พบว่าค่าดัชนี PPД มีค่าต่ำที่สุดจากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft โดยมีค่าดัชนี PPД เฉลี่ยเท่ากับ 82.3% และมีค่าสูงสุดจากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft โดยมีค่าดัชนี PPД เฉลี่ยเท่ากับ 93.6% ในขณะที่ค่าดัชนี PPД ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH พบว่าการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ให้ค่าดัชนี PPД ที่ต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88% ซึ่งตัวอย่างการกระจายตัวของค่าดัชนี PPД จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงแตกต่างกัน โดยใช้อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการตัดระนาบที่ $z = 5.875$ แสดงดังรูปที่ 5.46 – 5.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



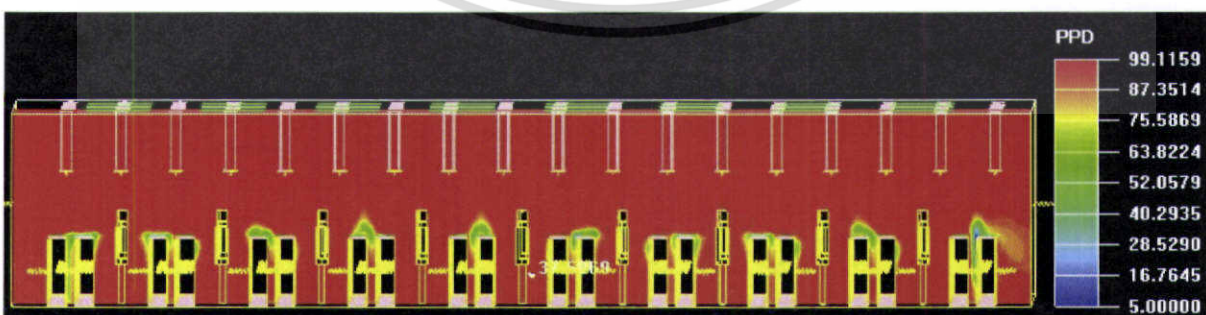
รูปที่ 5.46 การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.47 การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 10 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.48 การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 9 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)



รูปที่ 5.49 การกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH จากการจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่าย ($z = 5.875$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.46 - 5.49 พบว่าค่าดัชนี PPD บริเวณด้านหน้าของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ตำแหน่งของแบบจำลองพนักงาน จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft 10 ft และ 9 ft ที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH มีค่าเฉลี่ยประมาณ 52, 61, 70 และ 99% ตามลำดับ ในขณะที่การจ่ายอากาศที่ระดับ 8 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากันมีค่าดัชนี PPD เฉลี่ยเท่ากับ 99% แสดงให้เห็นว่าการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงตั้งแต่ 10 ft เป็นต้นไปด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 106 ACH ให้ค่าความสบายเชิงความร้อนในระดับที่ยอมรับได้บริเวณสถานที่ทำงานของพนักงานภายในโรงงาน เนื่องจากค่าดัชนี PPD ที่มากจะอยู่บริเวณด้านบนของพื้นที่ทดสอบซึ่งไม่มีพนักงานอาศัยอยู่ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของพนักงานภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าค่าความสบายเชิงความร้อนของคนไทยสำหรับสภาพอากาศที่ยอมรับได้ของกลุ่มคนที่ทำการทดสอบอยู่ในช่วงอุณหภูมิ $78^{\circ}\text{F} - 88.7^{\circ}\text{F}$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 37.7% - 62.9% [20] ซึ่งค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังกล่าวมีค่าเกินค่ามาตรฐานขอบเขตความสบายของสมาคมวิศวกรรมระบบปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา [21] ซึ่งกำหนดอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ $72.5^{\circ}\text{F} - 78^{\circ}\text{F}$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 30% - 70% เนื่องจากการทดสอบในสภาพแวดล้อม และลักษณะการแต่งกายซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้การยอมรับขอบเขตความสบายของคนที่อยู่ในประเทศแถบร้อนซึ่งมีค่าสูงกว่าขอบเขตความสบายของคนในประเทศเขตหนาวเย็น

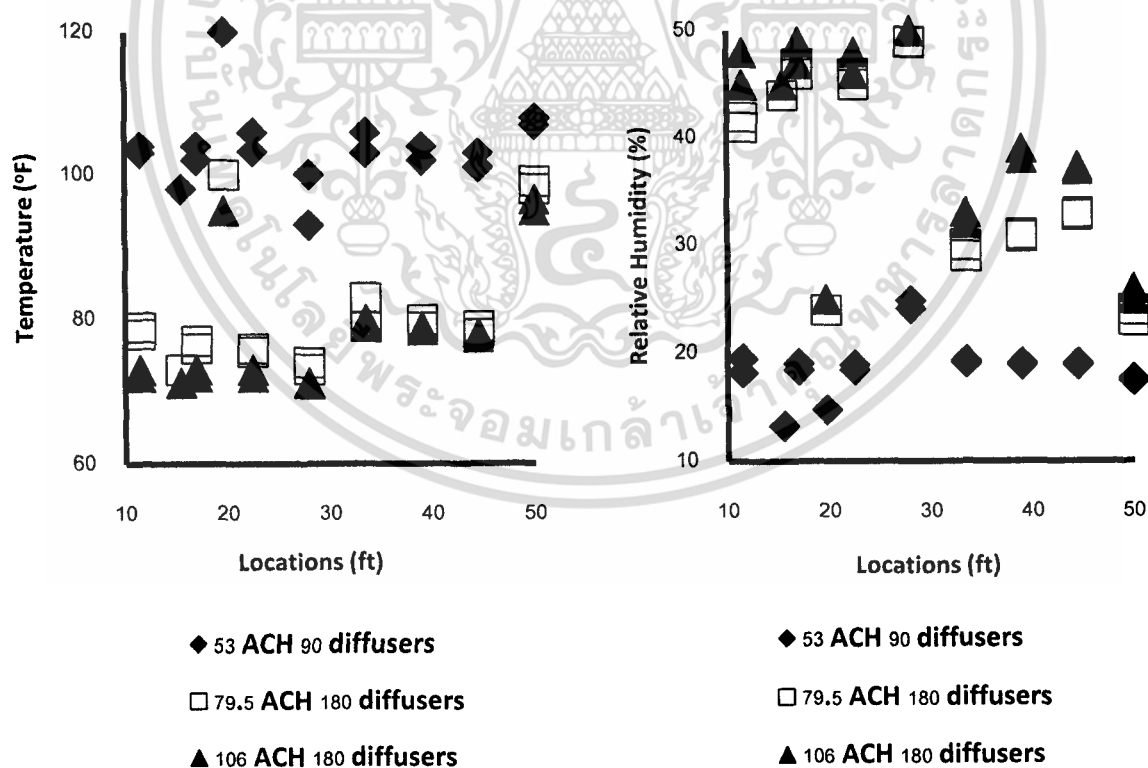
สำหรับค่าอุณหภูมิของอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จากการเก็บข้อมูลโดยตรงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99°F ซึ่งมีค่าเกินค่าขอบเขตที่เหมาะสมสำหรับการทำนายด้วยค่าดัชนี PPD ซึ่งกำหนดไว้อยู่ในช่วง $50^{\circ}\text{F} - 86^{\circ}\text{F}$ ทำให้ผู้คนที่อยู่ภายในบริเวณนี้มีความรู้สึกต่อค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้นการกระจายตัวของค่าดัชนี PPD ที่เกิดขึ้นภายในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จากการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH และ 106 ACH ที่ระดับความสูง 11.5 ft และ 10 ft จึงจัดอยู่ในขอบเขตที่พนักงานที่ทำงานในพื้นที่ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นคนไทยสามารถยอมรับได้

จากผลการจำลองระบบระบายอากาศแบบผสมโดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่ายพบว่า ระบบระบายอากาศชนิดนี้ให้ค่าอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เนื่องจากการใช้ระบบระบายอากาศชนิดนี้ให้ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยเฉพาะการจ่ายที่ระดับความสูง 11.5 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH และ 106 ACH โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยจากการจ่ายอากาศด้วยอัตราการระบายอากาศทั้งสองค่านี้ที่ระดับความสูง 11.5 ft มีค่าเท่ากับ 82.8°F , 35.6% และ 80.9°F , 37.2% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ซึ่งมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง $77 \pm 5.4^{\circ}\text{F}$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง $50 \pm 10\%$ เห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ได้จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศทั้งสองค่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบกับการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากการจ่ายอากาศด้วยระบบระบายอากาศเดิมภายในพื้นที่ทดสอบที่ใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย ที่ระดับความสูง 11.5 ft พบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยจากการจำลองเท่ากับ 105°F และ 19% ดังแสดงในรูปที่ 5.50

ดังนั้นการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงเท่าเดิมโดยเพิ่มจำนวนหัวจ่ายเป็นเท่าตัวในกรณีของการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft ด้วยหัวจ่ายแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในโรงงาน โดยเฉพาะกรณีการจ่ายอากาศที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH ซึ่งเป็นอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราการระบายอากาศเดิมที่ใช้อยู่ภายในโรงงานซึ่งมีค่าประมาณ 53 ACH ทำให้ส่งผลดีต่อการใช้พลังงานภายในโรงงาน นอกจากนี้ยังเป็นการจ่ายอากาศที่ระดับความสูงเท่าเดิมเมื่อเทียบกับระบบระบายอากาศแบบเดิมซึ่งใช้อยู่ภายในบริเวณเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้ไม่ต้องทำการลดระดับท่อจ่ายอากาศภายในโรงงานและไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้ไม่เสียเวลาในการปรับปรุงระบบท่อจ่ายอากาศภายในโรงงาน อีกทั้งยังไม่รบกวนเส้นทางการผลิตภายในโรงงาน อีกด้วย



รูปที่ 5.50 การกระจายตัวอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 79.5 ACH และ 106 ACH โดยใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 180 หัวจ่าย เทียบกับการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่ายที่ใช้อยู่ภายในโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์กับข้อมูลจากการจำลองโดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

จากการเปรียบเทียบระหว่างผลของการจำลองศึกษาการระบายอากาศบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายในโรงงานที่ได้จากโปรแกรม Fluent® กับข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเป็นผลลัพธ์ที่ยอมรับได้โดยเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการตัดสินใจ (r^2) ที่ได้จากข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าเท่ากับ 0.777 และ 0.667 ตามลำดับ โดยพบว่าผลที่ได้จากการจำลองจะมีความแม่นยำในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 100°F และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 20% ขึ้นไป ดังนั้นการใช้โปรแกรม Fluent® จึงเหมาะสมสำหรับการจำลองภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

นอกจากนี้ จากการศึกษาการจำลอง โดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศและการจำลองร่วมกันสามารถแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้เป็นอย่างดี โดยผลลัพธ์ของการจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สามารถนำมาอธิบายพฤติกรรมของการระบายอากาศได้ อีกทั้งการจำลองการไหลของอากาศในงานวิจัยนี้ทำให้สามารถเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นภายในได้ดียิ่งขึ้น

6.2 ผลการจำลองการออกแบบระบบระบายอากาศ

การออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ออกแบบโดยแบ่งการออกแบบเป็น 2 กรณีคือการออกแบบระบบระบายอากาศแบบแทนที่ และการออกแบบระบบระบายอากาศแบบผสม โดยจำลองระบบระบายอากาศทั้ง 2 กรณีด้วยโปรแกรม Fluent® ซึ่งผลการจำลองสามารถสรุปได้ดังนี้

6.2.1 ผลการจำลองการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่

การศึกษาการจำลองการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์พบว่าระบบระบายอากาศชนิดนี้ไม่เหมาะสมต่อการระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบเนื่องจากความแตกต่างเกิดความแตกต่างกันของอุณหภูมิในระหว่างแถวที่ติดตั้งช่องจ่ายอากาศกับแถวที่ไม่ติดตั้งช่องจ่ายอากาศเป็นอย่างมาก อีกทั้งการใช้ระบบระบายอากาศชนิดนี้ยังใช้อัตราการระบายอากาศที่สูงทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการระบายอากาศเพิ่มขึ้นและหากต้องการการกระจายตัวของอากาศที่ดีขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนช่องจ่ายอากาศซึ่งทำให้เกิดการกีดขวางเส้นทางการผลิตภายในโรงงาน อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้ดูแลเห็นชอบหรือดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 ผลการจำลองการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมจ่ายอากาศด้วย หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่าย

การศึกษาการจำลองการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมโดยใช้หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 90 หัวจ่ายซึ่งเป็นการระบายอากาศแบบเดียวกันกับที่ใช้อยู่ปัจจุบันภายในพื้นที่ทดสอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พบว่าอัตราการระบายอากาศมีผลอย่างมากต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ โดยอัตราการระบายอากาศจากการจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายจำนวน 90 หัวจ่ายมีค่าต่ำเกินไปจึงไม่สามารถทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ทดสอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ดีเท่าที่ควร จึงไม่สามารถทำให้สถานะของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้

6.2.3 ผลการจำลองการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมจ่ายอากาศด้วย หัวจ่ายอากาศแบบท่อจำนวน 180 หัวจ่าย

การศึกษาการจำลองการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมจ่ายอากาศด้วยหัวจ่ายจำนวน 180 หัวจ่ายพบว่าค่าการกระจายตัวโดยรวมของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีค่าดีขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่ายซึ่งเป็นระบบระบายอากาศแบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันภายในโรงงาน โดยจากการศึกษาพบว่า การจ่ายอากาศที่ระดับความสูง 11.5 ft ด้วยอัตราการระบายอากาศ 79.5 ACH เป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขปัญหาการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากเหตุผลทั้งในด้านของการใช้พลังงานและความเป็นไปได้ในการแก้ไขปรับปรุงภายในโรงงาน

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.5.1 ควรทำการจำลองในกรณีทีบริเวณทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีผนังล้อมรอบเป็นผนังจริงของโรงงานด้วยเพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการไหลของอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ดียิ่งขึ้น

6.5.2 ควรทำการศึกษาโดยการจำลองที่ครอบคลุมสถานะต่างๆภายในอาคารได้ดียิ่งขึ้นโดยทำการศึกษาในสถานะที่ไม่ขึ้นกับเวลา เช่น ในกรณีที่จำลองให้พนักงานภายในโรงงานเปรียบเสมือนวัตถุที่สามารถเคลื่อนที่ได้

6.5.3 จากความซับซ้อนของแบบจำลองการระบายอากาศทำให้การทำนายผลของการระบายอากาศในแต่ละกรณีใช้เวลาการคำนวณประมาณ 8 – 10 ชั่วโมง (CPU: Corei3 2.27GHz, RAM: 2GB) ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ โดยการใช้ประมวลผลแบบขนาน (Parallel Processor) ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. B. Awbi. **Ventilation of Buildings**, Taylor & Francis, Great Britain, 2003.
- [2] H. B. Awbi. **Ventilation Systems Design and Performance**. Taylor & Francis, New York, 2008.
- [3] Displacement Ventilation Design Guide, [Online]. Available: <http://www.price-hvac.com>, 2007.
- [4] ASHRAE, Ventilation for acceptable indoor air quality, ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004. ASHRAE, Atlanta, USA, 2004.
- [5] James E. Brumbaugh. **HEATING, VENTILATING AND AIR CONDITIONING LIBRARY VOLUME III**, Macmillan Publishing Company, New York, 1987.
- [6] ASHRAE handbook fundamentals. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2008.
- [7] TAC – Group [Online]. Available: <http://tacgroup.bravehost.com/article4.html>. 2554.
- [8] Fluent Inc. **Fluent 5.0 User’s Guide**, 1998.
- [9] Z. Lin, T.T. Chow, C.F. Tsang, K.F. Fong, and L.S. Chan, “**CFD study on effect of the air supply location on the performance of the displacement ventilation system**” *Building and Environment*, vol.40, 2005, pp. 1051-1067.
- [10] Hee-Jin Park and Dale Holland. “**The effect of location of a convective heat source on displacement ventilation: CFD study**” *Building and Environment*, vol.36, 2001, pp. 883–889.
- [11] Zhang Lin, T.T. Chow, K.F. Fong, Q. Wang and Y. Li, “**Comparison of performances of displacement and mixing ventilations. Part I: thermal comfort**” *International Journal of Refrigeration*, vol. 28, 2005, pp. 276-287.
- [12] G. Einberg, K. Hagström, P. Mustakallio, H. Koskela and S. Holmberg. “**CFD modelling of an industrial air diffuser—predicting velocity and temperature in the near zone**” *Building and Environment*, vol. 40, 2005, pp. 601–615.
- [13] J. Lau and Q. Chen. “**Floor-supply displacement ventilation for workshops**” *Building and Environment*, vol. 42, 2007, pp. 1718–1730.
- [14] T. Karimipanah and H.B. Awbi. “**Theoretical and experimental investigation of impinging jet ventilation and comparison with wall displacement ventilation**” *Building and Environment*, vol. 37, 2002, pp. 1329 – 1342.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] K.W. Mui, L.T.Wong, and L.Y. Law. “An energy benchmarking model for ventilation systems of air-conditioned offices in subtropical climates” *Applied Energy*, vol. 84, 2007, pp. 89-98.
- [16] S.C. Sekhar, and H.C. Willem. “Impact of air flow profile on indoor air quality—a tropical study” *Building and Environment*, vol. 39, 2004, pp. 255-266.
- [17] C.Y.H. Chao, and J.S. Hu. “Development of a dual-mode demand control ventilation strategy for indoor air quality control and energy saving” *Building and Environment*, vol. 39, 2004, pp. 385-397.
- [18] NEA Guidelines for good indoor air quality in office premises, Singapore, 1996.
- [19] Chen Q. Comparison of $k-\varepsilon$ models for indoor airflow computations. *Numerical Heat Transfer, part B*, vol. 28, 1995, pp. 353-69.
- [20] วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์. (2541). การศึกษาการเพิ่มขอบเขตสภาวะนำสบายในเขตภูมิอากาศเขตร้อนชื้น, วิทยานิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [21] ASHRAE (2004b). **Thermal Environment Conditions for Human Occupancy**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2004.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การคำนวณอัตราการไหลสำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศ

การคำนวณอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$V_h = \frac{0.295Q_{oe} + 0.132Q_l + 0.185Q_{ex}}{60\rho C_p \Delta T_{HF}} \quad (9)$$

โดยที่นี้กำหนดให้ค่าความหนาแน่นของอากาศ ρ และค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ C_p เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.24 BTU/lb-°F และ 0.075 lb/ft³ ตามลำดับ

สำหรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวตั้ง ΔT_{HF} กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 6°F ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

- ความร้อนจากแบบจำลองพนักงานมีค่าเท่ากับ 375 Btu/h ต่อคน
- ความร้อนจากหลอดไฟมีค่าเท่ากับ 3.38 BTU/h-ft²
- ความร้อนจากเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีค่าเท่ากับ 1706.45 BTU/h ต่อเครื่อง

จากการจำลองภายในพื้นที่ทดสอบกำหนดให้มีพนักงานในแบบจำลองภายในพื้นที่ทดสอบจำนวน 18 คน และมีจำนวนของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เท่ากับ 220 เครื่อง ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าความร้อนที่เกิดจากคนและเครื่องจักรภายในพื้นที่ (Q_{oe}) ได้ดังนี้

$$Q_{oe} = (375 \times 18) + (1,706.45 \times 220) = 382,169 \text{ BTU/h}$$

และจากบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดจากการจำลองเท่ากับ 1,512 ft² ทำให้สามารถคำนวณค่าความร้อนจากหลอดไฟภายในพื้นที่ได้ดังนี้

$$Q_l = 3.38 \times 1,512 = 5,110.56 \text{ BTU/h}$$

เนื่องจากภายในบริเวณพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ทำการจำลองอยู่บริเวณตรงกลางของพื้นที่ภายในโรงงานในที่นี่จึงกำหนดให้ค่าความร้อนจากภายนอก (Q_{ex}) มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า Q_{oe} ดังนั้นสามารถคำนวณค่าอัตราการไหลสำหรับการระบายอากาศได้จาก

$$V_h = \frac{0.295(382,169) + 0.132(5,110.56) + 0.185(0)}{60(0.24)(0.075)(6)} = 17,502.23 \text{ CFM}$$

จากการคำนวณพบว่าค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีค่าเท่ากับ 17,502.23 CFM ซึ่งคิดเป็นอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 59.29 ACH

ก.2 การคำนวณอุณหภูมิที่เหมาะสมจากอัตราการไหลกำหนดสำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศ

การคำนวณอุณหภูมิที่เหมาะสมจากอัตราการไหลที่กำหนดสำหรับการระบายอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

$$T_s = T_{sp} - 6.0 - \left(\frac{Q_i}{1.08V} \right) \left(\frac{A}{2.27376V + 1.08A} \right) \quad (11)$$

โดยค่า Q_i คือค่าความร้อนรวมทั้งหมดภายในพื้นที่ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$Q_i = Q_{oe} + Q_l + Q_{ev}$$

ค่า Q_{oe} และค่า Q_l สามารถหาได้โดยใช้วิธีเดียวกันกับการหาค่าอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศ ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 382,169 BTU/h และ 5,110.56 BTU/h ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่า Q_i ได้จาก

$$Q_i = 382,169 + 5,110.56 + 0 = 387,279.56 \text{ BTU/h}$$

จากมาตรฐานการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งกำหนดให้มีค่าอุณหภูมิเท่ากับ $77 \pm 5.4^\circ\text{F}$ หรือในช่วง $71.6^\circ\text{F} - 82.4^\circ\text{F}$ ในที่นี้จึงกำหนดค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ภายในห้อง (T_{sp}) โดยเลือกในช่วงขอบเขตล่างของช่วงอุณหภูมิซึ่งมีค่าเท่ากับ 71.6°F และจากพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จากการจำลองทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $1,595 \text{ ft}^2$ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจากอัตราการไหลที่กำหนดสำหรับการระบายอากาศได้ดังสมการ

$$T_s = 71.6 - 6.0 - \left(\frac{387,279.56}{1.08(17,502.23)} \right) \left(\frac{1,595}{2.27376(17,502.23) + 1.08(1,595)} \right) = 64.8^\circ\text{F}$$

จากการคำนวณพบว่าควรใช้อุณหภูมิขั้นต่ำเท่ากับ 64.8°F สำหรับการระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 17,502.23 CFM เพื่อให้สถานะของอุณหภูมิภายในพื้นที่ทดสอบอยู่ภายในช่วงมาตรฐานของอุณหภูมิที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าทั้งหมด และค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าแยกตามจำนวนชิ้นที่สวมใส่ สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าทั้งหมดแสดงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าทั้งหมด [2]

| Work clothing | I_{cl} | | Daily wear clothing | I_{cl} | |
|--|----------|--------------|---|----------|--------------|
| | clo | m^2KW^{-1} | | clo | m^2KW^{-1} |
| Underpants, boiler suit, socks, shoes | 0.70 | 0.110 | Panties, T-shirt, shorts, light socks, sandals | 0.30 | 0.050 |
| Underpants, shirt, boiler suit, socks, shoes | 0.80 | 0.125 | Underpants, shirt with short sleeves, light trousers, light socks, shoes | 0.50 | 0.080 |
| Underpants, shirt, trousers, smock, socks, shoes | 0.90 | 0.140 | Panties, petticoat, stockings, dress, shoes | 0.70 | 0.105 |
| Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, socks, shoes | 1.00 | 0.155 | Underwear, shirt, trousers, socks, shoes | 0.70 | 0.110 |
| Underwear with long sleeves and legs, Thermo jacket, socks, shoes | 1.20 | 1.85 | Panties, shirt, trousers, jacket, socks, shoes | 1.00 | 0.155 |
| Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, heavy quilted outer jacket and overalls, socks, shoes, cap, gloves | 1.40 | 0.220 | Panties, stockings, blouse, long shirt, jacket, shoes | 1.10 | 0.170 |
| Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, heavy quilted outer jacket and overalls, socks, shoes | 2.00 | 0.310 | Underwear with long sleeves and legs, shirt, trousers, V-neck sweater, jacket, socks, shoes | 1.30 | 0.200 |
| Underwear with long sleeves and legs, thermo jacket and trousers, Parka with heavy quilting, overalls with heavy quilting, socks, shoes, cap, gloves | 2.55 | 0.395 | Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, vest, jacket, coat, socks, shoes | 1.50 | 0.230 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าแยกชิ้น [2]

| <i>Garment description</i> | <i>Thermal insulation clo</i> |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Underwear | |
| Panties | 0.03 |
| Underpants with long legs | 0.10 |
| T-shirt | 0.09 |
| Shirts-Blouses | |
| Short sleeves | 0.15 |
| Normal, long sleeves | 0.25 |
| Trousers | |
| Shorts | 0.06 |
| Normal | 0.25 |
| Dresses-Skirts | |
| Light skirts (summer) | 0.15 |
| Heavy skirt (winter) | 0.25 |
| Winter dress, long sleeves | 0.40 |
| Sweaters | |
| Thin sweater | 0.20 |
| Thick sweater | 0.35 |
| Jackets | |
| Light, summer jacket | 0.25 |
| Jacket | 0.35 |
| High-insulative, fibre-pelt | |
| Boiler suit | 0.90 |
| Trousers | 0.35 |
| Jacket | 0.40 |
| Outdoor clothing | |
| Coat | 0.60 |
| Parka | 0.70 |
| Sundries | |
| Socks | 0.02 |
| Thick, long socks | 0.10 |
| Shoes (thick soled) | 0.04 |
| Boots | 0.10 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การคำนวณอัตราการระบายอากาศสำหรับการระบายอากาศโดยการใช้ระบบระบายอากาศแบบแทนที่

ค่าอัตราการระบายอากาศที่ใช้ระบายอากาศภายในพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 12

$$CFM = \frac{\text{Building Volume in Cubic Feet}}{\text{Minutes Air Change}} \quad (12)$$

เนื่องจากอัตราการระบายอากาศมีหน่วยเป็น 1/min หรือ 1/h และไม่มีค่าอัตราการระบายอากาศต่อเวลาที่กำหนด จึงต้องทำการย้ายข้างสมการเพื่อหาค่าอัตราการระบายอากาศจากอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้ามาสู่ห้องด้วยตัวเอง ซึ่งเมื่อย้ายข้างสมการที่ 12 แล้วจะได้เป็นสมการที่ 12a ดังนี้

$$\frac{1}{\text{Minutes Air Change}} = \frac{CFM}{\text{Building Volume in Cubic Feet}} \quad (12a)$$

เนื่องจากสมการที่ 12a มีหน่วยเป็นจะได้ค่าอัตราการระบายอากาศในหน่วย ACM ดังนั้นหากต้องการค่าอัตราการระบายอากาศในหน่วย ACH จำเป็นต้องคูณสมการที่ 12a ด้วย 60 จะได้เป็นสมการที่ 12b

$$ACH = \frac{CFM}{\text{Building Volume in Cubic Feet}} \times 60 \quad (12b)$$

สำหรับค่าอัตราการไหลของอากาศ (CFM) ในกรณีที่จ่ายอากาศด้วยระบบระบายอากาศแบบแทนที่ สามารถหาได้จาก ค่าความเร็วในการจ่ายอากาศ \times พื้นที่หน้าตัดของช่องจ่ายอากาศ โดยพื้นที่หน้าตัดของช่องจ่ายอากาศในที่นี้มีค่าเท่ากับ 20 ft^2 ซึ่งการจ่ายอากาศด้วยระบบระบายอากาศแบบแทนที่ทุกกรณีใช้จำนวนช่องจ่ายอากาศทั้งหมด 6 ตัว และขนาดของห้องมีค่าความกว้าง \times ความยาว \times ความสูง เท่ากับ 27.5 \times 56 \times 11.5 ft ดังนั้นเมื่อทราบตัวแปรครบทุกตัวแปรแล้วสามารถคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศได้จากสมการที่ 12b โดยในที่นี้จะยกตัวอย่างการคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศจากการจ่ายอากาศด้วยความเร็วเท่ากับ 3.3 ft/s (196.8 fpm) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$ACH = \frac{196.8(20)(6)}{27.5 \times 56 \times 11.5} \times 60 = 80 \text{ ACH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การคำนวณอัตราการระบายอากาศสำหรับการระบายอากาศโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบผสม

การคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศสำหรับการระบายอากาศโดยใช้ระบบระบายอากาศแบบผสมสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 13b ซึ่งหัวจ่ายอากาศแบบท่อแต่ละหัวจ่ายมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.441 ft^2 ซึ่งในที่นี้จะยกตัวอย่างการจ่ายอากาศที่ความเร็ว 6.5 ft/s (393.6 fpm) ด้วยหัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่าย และ 180 หัวจ่าย ตามลำดับ

การคำนวณค่าอัตราการระบายอากาศโดยใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 90 หัวจ่ายสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$ACH = \frac{393.6(0.441)(90)}{27.5 \times 56 \times 11.5} \times 60 = 52.9 ACH$$

สำหรับกรณีที่ใช้หัวจ่ายอากาศจำนวน 180 หัวจ่ายสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$ACH = \frac{393.6(0.441)(180)}{27.5 \times 56 \times 11.5} \times 60 = 105.85 ACH$$



ภาคผนวก ง.
มาตรฐานคุณภาพอากาศประเทศสิงคโปร์
(NEA Guidelines for good indoor air quality in office premises)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.1 ตำแหน่งในการเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศ

INDOOR AIR QUALITY GUIDELINES

1 Assessment of indoor air quality parameters

(a) Sample position

The sampling probe should be located between 75 and 120 cm from the floor at the centre of the room or an occupied zone.

(b) Number of sampling points

Indoor

At least one sample should be taken from each floor or from each area serviced by a separate air handling unit. For large floor spaces, the guidelines for the minimum required number of sampling points are as follows:

| Area of building (m ²) | Minimum number of sampling points |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 3,000 - <5,000 | 8 |
| 5,000 - <10,000 | 12 |
| 10,000 - <15,000 | 15 |
| 15,000 - <20,000 | 18 |
| 20,000 - <30,000 | 21 |
| 30,000 or more | 25 |

Outdoor

At least two samples should be taken at the entrance to the building or at the entrance of the fresh air intake.

ง.2 ความเข้มข้นสูงสุดของสิ่งเจือปนในอากาศ

2 Guideline maximum concentrations for specific indoor air contaminants

| Parameter time indoor air quality | Averaging time acceptable | Limit for | Unit |
|--|---------------------------------|-----------|-------------------|
| Carbon dioxide | 8 hours | 1800 | mg/m ³ |
| | | 1000 | ppm |
| Carbon monoxide | 8 hours | 10 | mg/m ³ |
| | | 9 | ppm |
| Formaldehyde | 8 hours | 120 | µg/m ³ |
| | | 0.1 | ppm |
| Ozone | 8 hours | 100 | µ/m ³ |
| | | 0.05 | ppm |

Note

The guidelines specified have a wide margin of safety such that even if they are exceeded occasionally, toxic effects are unlikely to occur.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3 ความเข้มข้นที่แนะนำสำหรับสิ่งเจือปนจำเพาะภายในอากาศ

3 Recommended maximum concentrations for specific classes of contaminants

| Parameter | Limit for acceptable indoor air quality | Unit |
|-------------------------------|---|--------------------------|
| Suspended particulate matter* | 150 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Volatile organic compounds** | 3 | ppm |
| Total bacterial counts | 500 | CFU***/ m^3 |
| Total fungal counts | 500 | CFU/ m^3 |

*respirable particles with aerodynamic diameters less than $10 \mu\text{m}$ sampled with a size selective device (commonly used devices; cyclones and impactors) having a median cut size of $4 \mu\text{m}$ and the following penetration characteristics:

| Particle aerodynamic diameter, μm | Respirable particulate mass, % |
|--|--------------------------------|
| 0 | 100 |
| 1 | 97 |
| 2 | 91 |
| 3 | 74 |
| 4 | 50 |
| 5 | 30 |
| 6 | 17 |
| 7 | 9 |
| 8 | 5 |
| 10 | 1 |

**total photoionisable compounds, reference to toluene

***colony-forming units

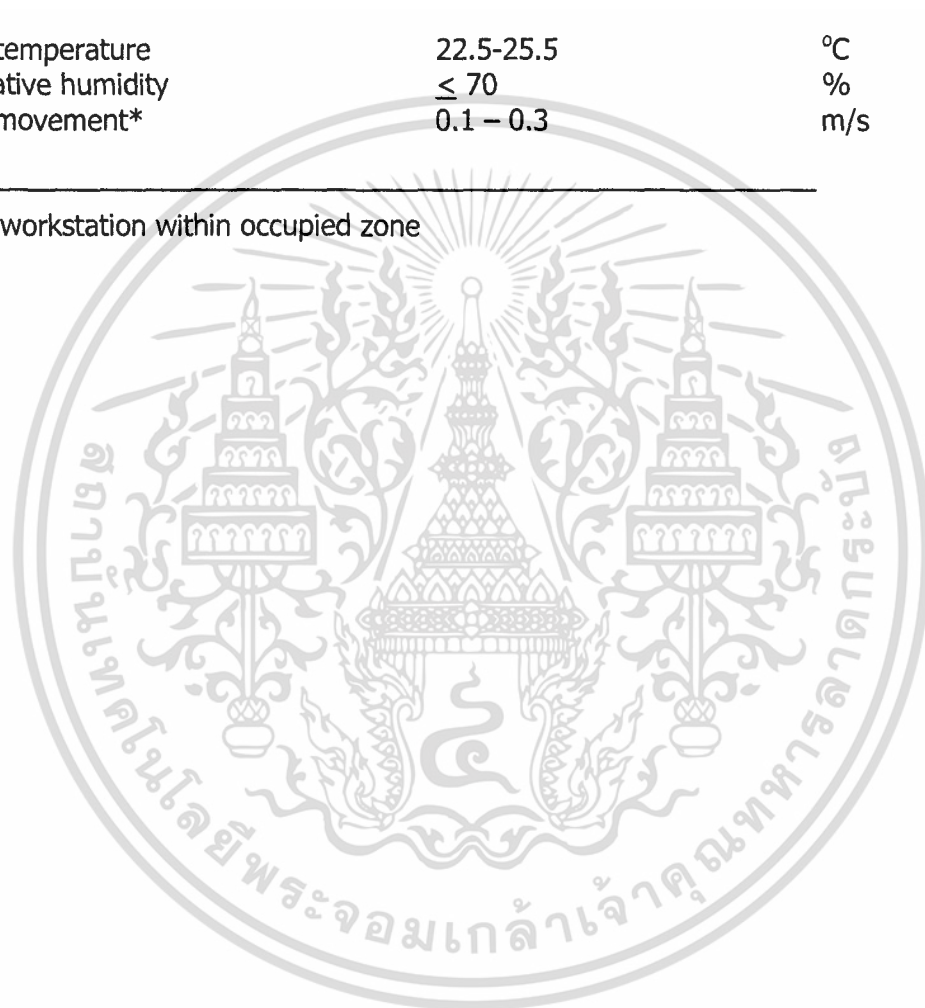
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.4 ค่าตัวแปรทางกายภาพที่แนะนำ

4 Guideline values for specific physical parameters

| Parameter | Range for acceptable indoor air quality | Unit |
|-------------------|---|------|
| Air temperature | 22.5-25.5 | °C |
| Relative humidity | ≤ 70 | % |
| Air movement* | 0.1 – 0.3 | m/s |

*at workstation within occupied zone



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.1 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการตรวจวัดภายในพื้นที่โรงงาน

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลของอุณหภูมิทั่วทั้งบริเวณของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ข้อมูลภายในตารางที่จ. 1 แสดงค่าของอุณหภูมิในหน่วย (°F) โดยบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมแสดงขอบเขตที่ตั้งของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ชนิด B ภายในโรงงาน

| | | Length (ft) → | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------------------|------|------|------|------|------|
| (ft) | | 16 | 49 | 59 | 66 | 82 | 102 | 108 | 119 | 125 | 131 | 138 | 144 | 157 | 171 | 180 | 197 | 213 | 230 | 243 | |
| 5.6 | | 86.9 | 85.5 | 83.4 | 83.3 | 84.2 | 83.7 | 83.4 | 82.0 | 82.9 | 82.8 | 82.6 | 82.5 | 83.7 | 83.6 | 84.0 | 84.6 | 86.0 | 86.0 | 86.4 | |
| 11.2 | | 87.4 | 84.7 | 91.4 | 86.8 | 87.1 | 86.4 | 85.6 | 88.3 | 90.6 | 92.4 | 87.4 | 81.3 | 83.1 | 85.4 | 83.1 | 86.0 | 86.8 | 86.4 | 87.0 | |
| 13.0 | | 87.8 | 83.8 | 91.4 | 88.2 | 88.7 | 88.2 | 87.4 | 88.0 | 89.7 | 91.4 | 86.4 | 82.4 | 84.2 | 86.1 | 84.2 | 88.9 | 87.2 | 87.7 | 87.5 | |
| 16.7 | | 89.1 | 83.4 | 91.4 | 90.6 | 90.7 | 91.3 | 87.4 | 88.2 | 89.3 | 90.8 | 86.1 | 82.0 | 82.9 | 85.5 | 88.3 | 88.0 | 88.2 | 86.8 | 87.8 | |
| 18.6 | | 89.8 | 87.2 | 91.8 | 93.4 | 92.6 | 87.4 | 86.8 | 88.0 | 89.0 | 89.6 | 86.4 | 82.3 | 82.6 | 86.0 | 85.8 | 89.2 | 89.8 | 88.0 | 88.0 | |
| 22.3 | | 90.8 | 87.8 | 86.2 | 92.4 | 90.4 | 87.3 | 86.6 | 88.8 | 89.6 | 89.4 | 89.2 | 83.1 | 82.3 | 87.0 | 88.2 | 90.0 | 92.0 | 93.6 | 88.4 | |
| 24.1 | | 88.3 | 88.0 | 91.6 | 92.6 | 91.8 | 90.6 | 86.4 | 89.7 | 89.7 | 89.6 | 89.8 | 84.2 | 82.5 | 88.6 | 90.1 | 93.0 | 91.8 | 92.8 | 90.0 | |
| 27.9 | | 87.8 | 88.3 | 91.4 | 92.2 | 91.6 | 86.7 | 85.4 | 89.6 | 89.9 | 89.0 | 89.9 | 85.8 | 82.5 | 90.1 | 90.6 | 89.6 | 92.0 | 91.6 | 91.5 | |
| 29.7 | | 86.9 | 88.7 | 91.5 | 91.2 | 91.8 | 87.4 | 86.1 | 90.4 | 90.0 | 89.4 | 90.4 | 86.0 | 84.0 | 89.6 | 89.8 | 89.2 | 92.2 | 92.1 | 89.6 | |
| 33.5 | | 85.5 | 88.8 | 91.5 | 91.0 | 91.6 | 87.8 | 85.4 | 90.2 | 89.7 | 86.4 | 87.8 | 86.9 | 82.6 | 85.8 | 90.4 | 90.8 | 91.8 | 91.8 | 82.2 | |
| 35.3 | | 84.6 | 88.8 | 93.5 | 90.8 | 91.2 | 89.2 | 86.8 | 90.4 | 89.9 | 86.8 | 90.1 | 87.4 | 88.2 | 86.4 | 89.4 | 89.5 | 91.6 | 91.4 | 83.7 | |
| 39.0 | | 87.4 | 88.4 | 91.4 | 91.0 | 91.2 | 88.6 | 88.9 | 89.4 | 89.4 | 88.7 | 89.8 | 88.2 | 82.9 | 87.8 | 89.6 | 89.6 | 92.1 | 92.7 | 84.2 | |
| 40.9 | | 87.8 | 88.7 | 91.4 | 91.1 | 91.4 | 91.0 | 89.6 | 90.4 | 90.7 | 90.0 | 90.2 | 89.4 | 83.1 | 88.2 | 90.2 | 90.4 | 93.4 | 91.0 | 84.6 | |
| 44.6 | | 88.2 | 88.9 | 91.4 | 91.3 | 91.6 | 92.2 | 88.8 | 89.6 | 91.4 | 90.4 | 91.0 | 90.3 | 83.0 | 90.1 | 91.4 | 91.6 | 93.0 | 91.9 | 85.3 | |
| 46.4 | | 87.6 | 88.3 | 91.8 | 91.6 | 91.6 | 92.0 | 89.8 | 90.0 | 91.8 | 91.0 | 91.2 | 91.0 | 82.9 | 91.8 | 91.2 | 91.0 | 92.8 | 91.4 | 84.3 | |
| 50.2 | | 87.3 | 88.0 | 91.4 | 92.4 | 92.2 | 91.2 | 90.6 | 90.5 | 91.6 | 91.4 | 91.1 | 90.9 | 83.2 | 94.1 | 93.7 | 91.4 | 95.0 | 92.4 | 84.1 | |
| 52.0 | | 85.3 | 88.2 | 93.1 | 93.6 | 91.4 | 87.8 | 90.0 | 90.4 | 91.4 | 90.0 | 91.0 | 90.5 | 83.3 | 91.4 | 95.4 | 91.4 | 94.2 | 94.6 | 84.2 | |
| 57.6 | | 84.6 | 87.8 | 91.4 | 95.0 | 91.2 | 91.4 | Back Wall | | | | 91.6 | 92.7 | 91.6 | 83.4 | 92.6 | 95.6 | 94.0 | 93.2 | 96.1 | 81.2 |
| 61.3 | | 86.4 | 87.4 | 91.4 | 85.6 | 89.9 | 91.2 | 92.2 | 94.0 | 94.2 | 94.8 | 93.8 | 95.6 | 84.2 | 96.6 | 96.0 | 95.4 | 96.8 | 98.0 | 84.0 | |
| 63.2 | | 87.4 | 85.6 | 91.5 | 83.9 | 86.1 | 87.8 | 88.1 | 87.8 | 87.8 | 87.3 | 87.1 | 88.2 | 85.4 | 88.2 | 88.1 | 87.9 | 88.4 | 88.5 | 84.2 | |
| 66.9 | | 87.8 | 83.7 | 92.1 | 80.7 | 84.2 | 87.1 | 88.6 | 89.0 | 89.2 | 88.0 | 87.6 | 88.2 | 86.1 | 88.4 | 88.3 | 88.2 | 88.6 | 88.7 | 87.8 | |
| 78.1 | | 88.2 | 82.2 | 92.5 | 100.4 | 101.9 | 101.4 | 102.2 | 101.6 | 101.6 | 102.5 | 104.0 | 98.1 | 92.2 | 96.4 | 98.6 | 98.2 | 96.3 | 93.7 | 88.0 | |
| 81.3 | | 88.7 | 83.8 | 91.8 | 99.8 | 102.0 | 103.0 | 101.1 | 102.0 | 100.2 | 103.9 | 107.4 | 97.3 | 94.0 | 96.8 | Right Wall | | | | 94.0 | 88.2 |
| | Left Wall | 91.0 | 101.4 | 101.3 | 103.4 | 102.0 | 102.2 | 100.6 | 101.6 | 107.2 | 96.8 | 96.0 | 96.3 | 96.8 | 96.6 | 95.6 | 94.1 | 88.6 | | | |
| | | 89.6 | 102.7 | 102.2 | 105.8 | 103.5 | 100.6 | 100.8 | 104.0 | 107.6 | 96.3 | 96.8 | 95.9 | 97.5 | 96.8 | 96.0 | 94.5 | 89.2 | | | |
| 91.2 | | 83.8 | 86.0 | 90.5 | 102.5 | 101.8 | 103.7 | 101.7 | 103.9 | 102.6 | 102.2 | 107.6 | 95.6 | 96.6 | 96.4 | 97.0 | 96.4 | 96.8 | 94.8 | 89.5 | |
| 94.5 | | 83.5 | 86.7 | 90.9 | 102.6 | 102.6 | 103.2 | 103.6 | 103.4 | 102.8 | 103.8 | 107.1 | 96.4 | 93.6 | 96.8 | 96.4 | 96.8 | 96.6 | 94.8 | 89.6 | |
| 101.0 | | 83.7 | 87.1 | 91.4 | 101.8 | 103.5 | 103.4 | 102.0 | 101.6 | 103.2 | 101.3 | 106.6 | 96.8 | 93.2 | 96.4 | 96.6 | 97.0 | 96.8 | 94.8 | 89.9 | |
| 104.3 | | 85.7 | 87.4 | 90.7 | 91.1 | 91.2 | 91.8 | 91.4 | 91.5 | 91.8 | 92.7 | 92.4 | 90.7 | 90.9 | 91.8 | 91.4 | 91.9 | 93.2 | 94.9 | 90.4 | |
| 120.7 | | 84.9 | 87.6 | 90.5 | 91.5 | 93.6 | 95.0 | 93.8 | 95.6 | 97.2 | 96.6 | 97.4 | 96.8 | 96.2 | 96.3 | 95.9 | 96.4 | 96.8 | 93.0 | 90.7 | |
| 127.3 | | 85.5 | 88.2 | 90.0 | 94.8 | 95.0 | 95.0 | 94.4 | 97.1 | 99.0 | 98.6 | 97.8 | 96.6 | 96.3 | 96.8 | 97.0 | 95.5 | 97.0 | 92.7 | 90.9 | |
| 130.5 | | 86.7 | 88.0 | 90.3 | 91.2 | 88.4 | 88.2 | Front Wall | | | | 93.7 | 91.7 | 91.8 | 91.2 | 91.8 | 89.9 | 91.4 | 90.7 | 90.3 | |

*หมายเหตุ - จากการจำลองได้กำหนดให้ขอบเขตบริเวณที่ตั้งของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ชนิด B มีค่าเท่ากับ 27.5 x 57 ft ซึ่งมีขนาดไม่เท่ากับข้อมูลดิบในเบื้องต้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบภายในโรงงานก่อนการจำลองภายในพื้นที่ ดังนั้นจากการตกลงเบื้องต้นจึงให้ใช้ค่าขอบเขตของอุณหภูมิรวมไปถึงความชื้นสัมพัทธ์ทั้ง 4 ด้านของพื้นที่ที่มีค่าเท่าเดิมได้

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลของความชื้นสัมพัทธ์ทั่วทั้งบริเวณของพื้นที่ทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ข้อมูลภายในตารางที่จ. 2 แสดงค่าของความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วย (%) โดยบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมแสดงขอบเขตที่ตั้งของเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ชนิด B ภายในโรงงาน

| | | Length (ft) → | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----------|---------------|------|-------|------|-----------|------------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|------|-------|
| (ft) | | 16 | 49 | 59 | 66 | 82 | 102 | 108 | 119 | 125 | 131 | 138 | 144 | 157 | 171 | 180 | 197 | 213 | 230 | 243 |
| 5.6 | | 35.5 | 35.3 | 35.1 | 36 | 35.8 | 37.4 | 36 | 35.2 | 35.4 | 35 | 36 | 35.8 | 36 | 35.3 | 36.2 | 36.5 | 37.1 | 35.5 | 35.8 |
| 11.2 | | 35.1 | 33 | 32.5 | 35.7 | 34 | 33.2 | 33.7 | 32.8 | 34 | 33.9 | 37.9 | 37.27 | 34.80 | 33.40 | 32.83 | 32.33 | 31.7 | 32 | 31 |
| 13.0 | | 35 | 35.2 | 34.1 | 29.9 | 31 | 32.93 | 31 | 32 | 32.5 | 32.8 | 32.9 | 33.8 | 34 | 31.8 | 29.9 | 30 | 28.8 | 29.4 | 29.7 |
| 16.7 | | 34.4 | 35 | 34 | 34.2 | 33.8 | 33.6 | 33.4 | 33.56 | 33.3 | 33.1 | 33.2 | 34.7 | 32.4 | 30.4 | 29.2 | 30.1 | 31.7 | 31.9 | 31.2 |
| 18.6 | | 33.2 | 35.8 | 33 | 32.2 | 31.2 | 31 | 33 | 33.5 | 34 | 35 | 36 | 34.5 | 31.4 | 32.4 | 31.7 | 31.5 | 32 | 32.4 | 31.6 |
| 22.3 | | 32.67 | 34.9 | 33.3 | 33.1 | 33.4 | 33.6 | 33.9 | 33.5 | 32.8 | 32.7 | 33.6 | 34 | 33.4 | 30.9 | 31.3 | 32 | 32.6 | 30.2 | 30.7 |
| 24.1 | | 33.4 | 34.7 | 33.9 | 33.7 | 33.5 | 32.8 | 33.1 | 32.7 | 32.2 | 32 | 31.8 | 32.5 | 33.2 | 30.2 | 29.5 | 29.6 | 32 | 31.3 | 32 |
| 27.9 | | 34 | 33.3 | 32.9 | 33 | 32.7 | 31 | 30 | 29.8 | 29.7 | 29.5 | 29.3 | 30.3 | 28.9 | 28.5 | 28.6 | 28.9 | 31.8 | 31.7 | 30.7 |
| 29.7 | | 35.3 | 33 | 32.9 | 32.7 | 32.5 | 32.3 | 31.8 | 32.9 | 33.6 | 33.8 | 34 | 33.6 | 34.9 | 34.9 | 33.8 | 33.7 | 33.3 | 32.7 | 31 |
| 33.5 | | 34.8 | 33.7 | 33.5 | 33.3 | 32.4 | 32.1 | 31.2 | 30.7 | 30.9 | 31 | 31.4 | 31.7 | 31.6 | 32.1 | 32.6 | 32.8 | 33.4 | 33 | 32 |
| 35.3 | | 35 | 33.1 | 32.83 | 32.7 | 32.6 | 32.5 | 32.4 | 32.2 | 31.5 | 31.2 | 30.7 | 29.7 | 28.1 | 27.4 | 26.8 | 26.4 | 28.3 | 29.4 | 29.7 |
| 39.0 | | 34.6 | 32 | 31.7 | 31.4 | 31.2 | 30.8 | 30.5 | 30.1 | 29.8 | 29.6 | 29 | 29.3 | 29.4 | 28.8 | 28.4 | 27.9 | 25.4 | 26.1 | 27.9 |
| 40.9 | | 33.8 | 31.8 | 31.4 | 31.2 | 30.8 | 30.4 | 30.1 | 29.9 | 29.7 | 29.6 | 29.7 | 29.9 | 29.4 | 28.9 | 28.5 | 28.1 | 26.4 | 26.5 | 28 |
| 44.6 | | 32 | 31.6 | 31.5 | 31.1 | 30.9 | 30.6 | 30.2 | 29.8 | 29.6 | 29.4 | 29.2 | 28.8 | 28.2 | 27.1 | 26.9 | 26.8 | 26.4 | 26.4 | 27 |
| 46.4 | | 31 | 32.4 | 32 | 31.4 | 30.6 | 30.4 | 30.2 | 29.9 | 29.7 | 29.5 | 29.3 | 28.9 | 28.1 | 27.2 | 26.5 | 26.3 | 25.4 | 25 | 26 |
| 50.2 | | 30.9 | 31.8 | 31.4 | 30.8 | 30.2 | 29 | 29.8 | 29.6 | 29.4 | 28.8 | 28.6 | 27.6 | 28.2 | 25.4 | 25.8 | 25.9 | 25.6 | 25.2 | 25.6 |
| 52.0 | | 31.4 | 31 | 30.8 | 30.5 | 30 | 29.1 | 29 | 28.7 | 28.5 | 28.1 | 27.7 | 27.9 | 25.4 | 25.5 | 25.3 | 25.2 | 25.6 | 25.9 | 25.4 |
| 57.6 | | 31.2 | 30.5 | 27 | 27.7 | Back Wall | | | 29.3 | 29.2 | 28.7 | 28.5 | 27.4 | 27.6 | 28 | 28.2 | 28.3 | 28.5 | 24.8 | 25.8 |
| 61.3 | | 30.8 | 30.2 | 29.8 | 29.6 | 29.2 | 28.9 | 28.7 | 29.2 | 29.4 | 29.3 | 29.1 | 28.3 | 27.9 | 27.5 | 27.3 | 27.2 | 27.7 | 27.6 | 27.3 |
| 63.2 | | 30.9 | 30 | 30.2 | 29.7 | 29.3 | 29.1 | 29 | 29.3 | 29.5 | 29.5 | 29.2 | 28.4 | 28 | 27.6 | 27.7 | 27.3 | 27.5 | 27.2 | 26.5 |
| 66.9 | | 31 | 30.8 | 30.9 | 31 | 31.1 | 31.2 | 31.4 | 31.5 | 31.7 | 31.9 | 31.8 | 31.9 | 33 | 31.8 | 31.4 | 31.1 | 30.5 | 31.1 | 31 |
| 78.1 | | 31.2 | 29 | 27.4 | 23.9 | 24.2 | 24.8 | 25.7 | 25 | 22.7 | 20.2 | 21 | 25 | 26.5 | 26 | 26.4 | 26.7 | 27 | 25.9 | 30.9 |
| 81.3 | | 31.3 | 22 | 23 | 22 | 20.9 | 23 | 25 | 24.8 | 21.4 | 18 | 20 | 24.8 | 26.5 | 26.2 | 26.5 | 26.6 | 26.9 | 26.6 | 31 |
| 84.6 | | 31 | 21.4 | 22.5 | 23.5 | 20 | 24.5 | 22.6 | 22 | 20.2 | 17.9 | 22.2 | 25.8 | 26.2 | 26.23 | Right Wall | | | 26.7 | 30.9 |
| | Left Wall | 21.8 | 22 | 23 | 19 | 22.8 | 25.2 | 19 | 19.4 | 18.2 | 29.6 | 26 | 26.7 | 26.53 | 26.78 | 26.9 | 26.9 | 26.9 | 27 | 30.8 |
| | | 22 | 22.3 | 23.4 | 19.5 | 24 | 24.8 | 20 | 20 | 19.4 | 26 | 25.6 | 27.3 | 26.67 | 26.98 | 27 | 26.5 | 27.3 | 30.7 | |
| 94.5 | | 30.9 | 25 | 26 | 23.2 | 19.8 | 22.5 | 24.2 | 23.7 | 19.9 | 20 | 26.8 | 25.7 | 27.7 | 26.36 | 27 | 26.8 | 27.3 | 27.2 | 30.5 |
| 101.0 | | 31.63 | 30.1 | 30.53 | 23 | 22 | 23 | 25.9 | 24.76 | 23 | 22 | 23.9 | 26.5 | 27.5 | 27.02 | 26.99 | 26.7 | 27 | 27.4 | 30.9 |
| 104.3 | | 32 | 31.7 | 31.5 | 25.3 | 25 | 24.2 | 23.9 | 26.6 | 26.2 | 25.9 | 26.6 | 23.8 | 27.4 | 27.27 | 26.69 | 26.89 | 26.98 | 27.5 | 31 |
| 120.7 | | 30.8 | 30.7 | 29.7 | 26 | 25.3 | 24.9 | 25.4 | 24.8 | 24.7 | 23.6 | 25.5 | 23.9 | 27.1 | 27.01 | 26.78 | 27 | 27.23 | 27.4 | 31.1 |
| 127.3 | | 31 | 30.6 | 26.5 | 25.5 | 26.7 | 25 | 26 | 24.1 | 24 | 23 | 30 | 23.5 | 26.9 | 26.98 | 26.8 | 26.56 | 27.12 | 27.8 | 30.8 |
| 130.5 | | 30.93 | 31.5 | 31.23 | 30.8 | 30.4 | Front Wall | | | 27.2 | 26.4 | 24.5 | 26.2 | 27.6 | 27 | 26.9 | 26.8 | 26.2 | 26.4 | 30.78 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.2 ข้อมูลคุณภาพอากาศที่ได้จากเครื่อง IQM 60

ตารางที่ จ.3 ข้อมูลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศวันที่ 19 ตุลาคม 2552

| IQM ID: 1 | | | | | | | |
|-------------|-------|-------------|-------------|--------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Date | Time | O3 (ppm) | CO (ppm) | CO2 (ppm) | PM10 (ug/m3) | TEMP (Celsius) | RH (percent) |
| 2009 Oct 19 | 13:34 | 0.001 | 0 | 472 | 0 | 31.4 | 35.1 |
| 2009 Oct 19 | 13:36 | 0.001 | 0 | 472 | 0 | 31.5 | 35 |
| 2009 Oct 19 | 13:38 | 0.001 | 0 | 480 | 0 | 31.5 | 35.1 |
| 2009 Oct 19 | 13:40 | 0.001 | 0 | 486 | 0 | 31.6 | 35 |
| 2009 Oct 19 | 13:42 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 31.4 | 36.1 |
| 2009 Oct 19 | 13:44 | 0 | 0 | 500 | 0 | 31.3 | 35.8 |

ตารางที่ จ.4 ข้อมูลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศวันที่ 20 ตุลาคม 2552

| IQM ID: 1 | | | | | | | |
|-------------|-------|-------------|-------------|--------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Date | Time | O3 (ppm) | CO (ppm) | CO2 (ppm) | PM10 (ug/m3) | TEMP (Celsius) | RH (percent) |
| 2009 Oct 20 | 10:49 | 0 | 0 | 536 | 0 | 32.6 | 34.1 |
| 2009 Oct 20 | 10:51 | 0.002 | 0 | 519 | 0 | 32.7 | 33.8 |
| 2009 Oct 20 | 10:53 | 0.002 | 0 | 511 | 0 | 32.9 | 33.2 |
| 2009 Oct 20 | 10:55 | 0.002 | 0 | 508 | 0 | 33.2 | 32.8 |
| 2009 Oct 20 | 10:57 | 0.001 | 0 | 511 | 0 | 33.4 | 32.7 |
| 2009 Oct 20 | 10:59 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 33.3 | 32.3 |
| 2009 Oct 20 | 11:01 | 0 | 0 | 511 | 0 | 33.5 | 32.1 |
| 2009 Oct 20 | 11:03 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 33.6 | 32 |
| 2009 Oct 20 | 11:05 | 0.001 | 0 | 511 | 0 | 33.8 | 31.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:07 | 0.003 | 0 | 508 | 0 | 34 | 31.2 |
| 2009 Oct 20 | 11:09 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 34.1 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:11 | 0 | 0 | 505 | 0 | 34.2 | 30.4 |
| 2009 Oct 20 | 11:13 | 0.001 | 0 | 505 | 0 | 34 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:15 | 0 | 0 | 505 | 0 | 34 | 30.5 |
| 2009 Oct 20 | 11:17 | 0.001 | 0 | 503 | 0 | 34 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:19 | 0.001 | 0 | 503 | 0 | 34 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:21 | 0.001 | 0 | 500 | 0 | 34 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:23 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 34 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:25 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 34 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:27 | 0.003 | 0 | 503 | 0 | 33.9 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:29 | 0.001 | 0 | 503 | 0 | 33.9 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 11:31 | 0.001 | 0 | 500 | 0 | 33.9 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 11:33 | 0.001 | 0 | 505 | 0 | 33.8 | 30.9 |
| 2009 Oct 20 | 11:35 | 0.002 | 0 | 500 | 0 | 33.9 | 30.7 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|---|-----|---|------|------|
| 2009 Oct 20 | 11:37 | 0.001 | 0 | 497 | 0 | 33.5 | 31.2 |
| 2009 Oct 20 | 11:39 | 0.001 | 0 | 497 | 0 | 32.7 | 32.3 |
| 2009 Oct 20 | 11:41 | 0.001 | 0 | 494 | 0 | 32.3 | 33 |
| 2009 Oct 20 | 11:43 | 0.001 | 0 | 494 | 0 | 32 | 33.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:45 | 0.001 | 0 | 497 | 0 | 31.8 | 33.7 |
| 2009 Oct 20 | 11:47 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 31.7 | 34.3 |
| 2009 Oct 20 | 11:49 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 31.5 | 34.1 |
| 2009 Oct 20 | 11:51 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 30.9 | 35 |
| 2009 Oct 20 | 11:53 | 0.002 | 0 | 494 | 0 | 31.2 | 34.4 |
| 2009 Oct 20 | 11:55 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 31 | 34.8 |
| 2009 Oct 20 | 11:56 | 0.001 | 0 | 503 | 0 | 30.7 | 35.8 |
| 2009 Oct 20 | 11:57 | 0.001 | | | | 30.8 | 35.8 |
| 2009 Oct 20 | 11:59 | 0.002 | 0 | 500 | 0 | 31.1 | 34.9 |
| 2009 Oct 20 | 12:11 | 0.003 | 0 | 494 | 0 | 34 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 12:13 | 0 | 0 | 497 | 0 | 34.2 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 12:15 | 0.003 | 0 | 494 | 0 | 34.2 | 31.2 |
| 2009 Oct 20 | 12:17 | 0.002 | 0 | 500 | 0 | 34.2 | 31.1 |
| 2009 Oct 20 | 12:19 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 34.1 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 12:21 | 0.002 | 0 | 494 | 0 | 34.4 | 29.5 |
| 2009 Oct 20 | 12:23 | 0.001 | 0 | 489 | 0 | 34.5 | 29.3 |
| 2009 Oct 20 | 12:25 | 0.002 | 0 | 489 | 0 | 34.5 | 29.5 |
| 2009 Oct 20 | 12:27 | 0.001 | 0 | 486 | 0 | 34.5 | 29.4 |
| 2009 Oct 20 | 12:29 | 0.002 | 0 | 483 | 0 | 34.4 | 29.3 |
| 2009 Oct 20 | 12:31 | 0.003 | 0 | 483 | 0 | 34.5 | 29.4 |
| 2009 Oct 20 | 12:33 | 0.002 | 0 | 483 | 0 | 34.6 | 29.5 |
| 2009 Oct 20 | 12:35 | 0.002 | 0 | 483 | 0 | 34.5 | 29.3 |
| 2009 Oct 20 | 12:37 | 0.001 | 0 | 480 | 0 | 34.7 | 29.3 |
| 2009 Oct 20 | 12:39 | 0.001 | 0 | 486 | 0 | 34.7 | 29.2 |
| 2009 Oct 20 | 12:41 | 0.003 | 0 | 483 | 0 | 34.8 | 29.1 |
| 2009 Oct 20 | 12:43 | 0.002 | 0 | 477 | 0 | 34.9 | 29.1 |
| 2009 Oct 20 | 12:45 | 0.002 | 0 | 480 | 0 | 34.9 | 29 |
| 2009 Oct 20 | 12:47 | 0.003 | 0 | 477 | 0 | 34.9 | 29.9 |
| 2009 Oct 20 | 12:49 | 0.002 | 0 | 483 | 0 | 35.1 | 29.7 |
| 2009 Oct 20 | 12:51 | 0 | 0 | 511 | 0 | 35.1 | 29.8 |
| 2009 Oct 20 | 12:53 | 0.003 | 0 | 503 | 0 | 35.2 | 29.6 |
| 2009 Oct 20 | 12:55 | 0.003 | 0 | 497 | 0 | 35.3 | 29.7 |
| 2009 Oct 20 | 12:57 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 35.4 | 29.3 |
| 2009 Oct 20 | 12:59 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 35.4 | 29.2 |
| 2009 Oct 20 | 13:01 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 35.4 | 29.2 |
| 2009 Oct 20 | 13:03 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 35.5 | 29.1 |
| 2009 Oct 20 | 13:05 | 0.001 | 0 | 505 | 0 | 35.7 | 28.9 |
| 2009 Oct 20 | 13:07 | 0.003 | 0 | 505 | 0 | 35.7 | 28.7 |
| 2009 Oct 20 | 13:09 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 35.6 | 28.7 |
| 2009 Oct 20 | 13:11 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 35.7 | 28.4 |
| 2009 Oct 20 | 13:13 | 0.003 | 0 | 505 | 0 | 35.8 | 28.2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|---|-----|---|------|------|
| 2009 Oct 20 | 13:15 | 0.002 | 0 | 508 | 0 | 35.8 | 27.9 |
| 2009 Oct 20 | 13:17 | 0.001 | 0 | 505 | 0 | 36 | 27.5 |
| 2009 Oct 20 | 13:19 | 0.004 | 0 | 505 | 0 | 36 | 27.4 |
| 2009 Oct 20 | 13:21 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 36 | 27.4 |
| 2009 Oct 20 | 13:23 | 0.003 | 0 | 508 | 0 | 35.9 | 27.4 |
| 2009 Oct 20 | 13:25 | 0.003 | 0 | 505 | 0 | 35.9 | 27.3 |
| 2009 Oct 20 | 13:27 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 36 | 27.3 |
| 2009 Oct 20 | 13:29 | 0.002 | 0 | 508 | 0 | 35.9 | 27.3 |
| 2009 Oct 20 | 13:31 | 0.001 | 0 | 505 | 0 | 35.9 | 27.3 |
| 2009 Oct 20 | 13:33 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 35.8 | 27.3 |
| 2009 Oct 20 | 13:35 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 35.8 | 27.4 |
| 2009 Oct 20 | 13:37 | 0.003 | 0 | 505 | 0 | 35.7 | 27.5 |
| 2009 Oct 20 | 13:39 | 0.001 | 0 | 505 | 0 | 35.8 | 27.4 |
| 2009 Oct 20 | 13:41 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 35.9 | 27.9 |
| 2009 Oct 20 | 13:43 | 0.003 | 0 | 514 | 0 | 35.7 | 28.1 |
| 2009 Oct 20 | 13:45 | 0.001 | 0 | 522 | 0 | 35.7 | 27.5 |
| 2009 Oct 20 | 13:47 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 34.1 | 30.4 |
| 2009 Oct 20 | 13:49 | 0.003 | 0 | 508 | 0 | 33.4 | 31.5 |
| 2009 Oct 20 | 13:51 | 0.003 | 0 | 511 | 0 | 33.3 | 32.1 |
| 2009 Oct 20 | 13:53 | 0.003 | 0 | 505 | 0 | 33 | 32.3 |
| 2009 Oct 20 | 13:59 | NR | 0 | 500 | 0 | 33.7 | 30.5 |
| 2009 Oct 20 | 13:59 | NR | 0 | 508 | 0 | 33.9 | 30 |
| 2009 Oct 20 | 14:03 | 0.002 | 0 | 522 | 0 | 34.7 | 28.7 |
| 2009 Oct 20 | 14:05 | 0.003 | 0 | 514 | 0 | 34.8 | 28.5 |
| 2009 Oct 20 | 14:07 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 35 | 28.2 |
| 2009 Oct 20 | 14:09 | 0.003 | 0 | 508 | 0 | 35.2 | 28 |
| 2009 Oct 20 | 14:11 | 0.002 | 0 | 511 | 0 | 35.3 | 27.8 |
| 2009 Oct 20 | 14:13 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 35.5 | 27.5 |
| 2009 Oct 20 | 14:15 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 35.4 | 28.4 |
| 2009 Oct 20 | 14:17 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 34.2 | 31.2 |
| 2009 Oct 20 | 14:24 | 0.003 | 0 | 508 | 0 | 34.4 | 28.9 |
| 2009 Oct 20 | 14:26 | 0.001 | 0 | 514 | 0 | 34.6 | 28.5 |
| 2009 Oct 20 | 14:28 | 0.002 | 0 | 517 | 0 | 34.6 | 28.5 |
| 2009 Oct 20 | 14:30 | 0.001 | 0 | 517 | 0 | 34.6 | 28.4 |
| 2009 Oct 20 | 14:32 | 0.003 | 0 | 511 | 0 | 34.7 | 28.2 |
| 2009 Oct 20 | 14:34 | 0.001 | 0 | 497 | 0 | 34.9 | 28.2 |
| 2009 Oct 20 | 14:36 | 0.004 | 0 | 497 | 0 | 35 | 28.1 |
| 2009 Oct 20 | 14:38 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 35 | 27.6 |
| 2009 Oct 20 | 14:43 | 0.003 | 0 | 494 | 0 | 34.6 | 28.4 |
| 2009 Oct 20 | 14:45 | 0.001 | 0 | 511 | 0 | 34.6 | 28.5 |
| 2009 Oct 20 | 14:47 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 34.7 | 28.8 |
| 2009 Oct 20 | 14:49 | 0.001 | 0 | 514 | 0 | 34.7 | 28.1 |
| 2009 Oct 20 | 14:51 | 0.003 | 0 | 519 | 0 | 34.3 | 28.6 |
| 2009 Oct 20 | 14:53 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 34.1 | 28.7 |
| 2009 Oct 20 | 14:55 | 0.002 | 0 | 525 | 0 | 34 | 28.9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|---|-----|---|------|------|
| 2009 Oct 20 | 14:57 | 0.001 | 0 | 531 | 0 | 33.8 | 29.3 |
| 2009 Oct 20 | 14:59 | 0.002 | 0 | 533 | 0 | 33.7 | 29.3 |
| 2009 Oct 20 | 15:01 | 0.002 | 0 | 531 | 0 | 33.6 | 29.6 |
| 2009 Oct 20 | 15:03 | 0.003 | 0 | 539 | 0 | 33.6 | 30.1 |
| 2009 Oct 20 | 15:05 | 0.003 | 0 | 542 | 0 | 33.5 | 29.8 |
| 2009 Oct 20 | 15:07 | 0.002 | 0 | 533 | 0 | 33.4 | 29.9 |
| 2009 Oct 20 | 15:09 | 0.002 | 0 | 533 | 0 | 33.3 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 15:11 | 0.001 | 0 | 542 | 0 | 33 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 15:13 | 0.003 | 0 | 548 | 0 | 32.9 | 31.7 |
| 2009 Oct 20 | 15:15 | 0.003 | 0 | 539 | 0 | 32.9 | 30.8 |
| 2009 Oct 20 | 15:17 | 0.001 | 0 | 536 | 0 | 33.1 | 30.5 |
| 2009 Oct 20 | 15:19 | 0.002 | 0 | 533 | 0 | 33.1 | 30.4 |
| 2009 Oct 20 | 15:21 | 0.002 | 0 | 531 | 0 | 33 | 30.7 |
| 2009 Oct 20 | 15:23 | 0.002 | 0 | 533 | 0 | 32.9 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 15:25 | 0.002 | 0 | 531 | 0 | 32.8 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 15:27 | 0.003 | 0 | 528 | 0 | 32.8 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 15:29 | 0.003 | 0 | 528 | 0 | 32.5 | 31.8 |
| 2009 Oct 20 | 15:31 | 0.001 | 0 | 536 | 0 | 32.4 | 31.5 |
| 2009 Oct 20 | 15:33 | 0.002 | 0 | 533 | 0 | 32.4 | 31.6 |
| 2009 Oct 20 | 15:35 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 32.5 | 31.5 |
| 2009 Oct 20 | 15:37 | 0.002 | 0 | 519 | 0 | 32.5 | 31.2 |
| 2009 Oct 20 | 15:39 | 0.003 | 0 | 517 | 0 | 32.7 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 15:41 | 0.003 | 0 | 519 | 0 | 32.7 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 15:43 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 32.7 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 15:45 | 0.002 | 0 | 522 | 0 | 32.8 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 15:47 | 0.001 | 0 | 519 | 0 | 32.8 | 30.4 |
| 2009 Oct 20 | 15:49 | 0.002 | 0 | 517 | 0 | 32.7 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 15:51 | 0.002 | 0 | 519 | 0 | 32.8 | 30.6 |
| 2009 Oct 20 | 15:53 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 32.5 | 31.2 |
| 2009 Oct 20 | 15:55 | 0.002 | 0 | 525 | 0 | 32.3 | 32.4 |
| 2009 Oct 20 | 16:00 | 0.002 | 0 | 511 | 0 | 32.3 | 31.5 |
| 2009 Oct 20 | 16:02 | 0.003 | 0 | 525 | 0 | 32.3 | 31.6 |
| 2009 Oct 20 | 16:04 | 0.002 | 0 | 525 | 0 | 32.2 | 32 |
| 2009 Oct 20 | 16:06 | 0.003 | 0 | 525 | 0 | 32.3 | 31.6 |
| 2009 Oct 20 | 16:08 | 0.002 | 0 | 522 | 0 | 32.1 | 32.3 |
| 2009 Oct 20 | 16:10 | 0.003 | 0 | 522 | 0 | 31.9 | 32.6 |
| 2009 Oct 20 | 16:12 | 0.001 | 0 | 522 | 0 | 32 | 32 |
| 2009 Oct 20 | 16:14 | 0.002 | 0 | 522 | 0 | 32.2 | 31.7 |
| 2009 Oct 20 | 16:16 | 0.002 | 0 | 522 | 0 | 32.3 | 31.4 |
| 2009 Oct 20 | 16:18 | 0.002 | 0 | 525 | 0 | 32.2 | 32.2 |
| 2009 Oct 20 | 16:20 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 32.4 | 32.5 |
| 2009 Oct 20 | 16:22 | 0.003 | 0 | 525 | 0 | 32.4 | 32.4 |
| 2009 Oct 20 | 16:24 | 0.002 | 0 | 525 | 0 | 32.3 | 32 |
| 2009 Oct 20 | 16:26 | 0.003 | 0 | 525 | 0 | 32.4 | 32 |
| 2009 Oct 20 | 16:28 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 32.4 | 31.7 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|---|-----|---|------|------|
| 2009 Oct 20 | 16:30 | 0.002 | 0 | 528 | 0 | 32.4 | 31.6 |
| 2009 Oct 20 | 16:32 | 0.003 | 0 | 525 | 0 | 32.6 | 31.4 |
| 2009 Oct 20 | 16:34 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 32.7 | 31.5 |
| 2009 Oct 20 | 16:36 | 0.002 | 0 | 528 | 0 | 32.7 | 31.3 |
| 2009 Oct 20 | 16:38 | 0.002 | 0 | 528 | 0 | 32.5 | 31.3 |
| 2009 Oct 20 | 16:40 | 0.001 | 0 | 531 | 0 | 32.6 | 31.1 |
| 2009 Oct 20 | 16:42 | 0.002 | 0 | 522 | 0 | 32.6 | 31.1 |
| 2009 Oct 20 | 16:44 | 0.003 | 0 | 525 | 0 | 32.7 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 16:46 | 0.001 | 0 | 519 | 0 | 32.7 | 31.1 |
| 2009 Oct 20 | 16:48 | 0.003 | 0 | 522 | 0 | 32.6 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 16:50 | 0.002 | 0 | 528 | 0 | 32.6 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 16:52 | 0.003 | 0 | 525 | 0 | 32.7 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 16:54 | 0.002 | 0 | 525 | 0 | 32.7 | 31.1 |
| 2009 Oct 20 | 16:56 | 0.002 | 0 | 528 | 0 | 32.7 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 16:58 | 0.002 | 0 | 528 | 0 | 32.7 | 31 |
| 2009 Oct 20 | 17:00 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 32.7 | 30.8 |
| 2009 Oct 20 | 17:02 | 0.003 | 0 | 522 | 0 | 32.7 | 30.7 |

ตารางที่ จ.5 ข้อมูลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศวันที่ 21 ตุลาคม 2552

| IQM ID: 1 | | | | | | | |
|-------------|-------|-------------|-------------|--------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Date | Time | O3 (ppm) | CO (ppm) | CO2 (ppm) | PM10 (ug/m3) | TEMP (Celsius) | RH (percent) |
| 2009 Oct 21 | 10:45 | 0 | 0 | 539 | 0 | 34.7 | 30.8 |
| 2009 Oct 21 | 10:47 | 0.002 | 0 | 542 | 0 | 34.7 | 30.6 |
| 2009 Oct 21 | 10:49 | 0.001 | 0 | 533 | 0 | 34 | 30.9 |
| 2009 Oct 21 | 10:51 | 0 | NR | 531 | 0 | 33.3 | 31.7 |
| 2009 Oct 21 | 10:55 | NR | 0 | 542 | 0 | 34.3 | 30.7 |
| 2009 Oct 21 | 10:57 | 0 | 0 | 542 | 0 | 34.6 | 30.1 |
| 2009 Oct 21 | 10:59 | 0.001 | 0 | 533 | 0 | 34.8 | 29.8 |
| 2009 Oct 21 | 11:01 | 0.001 | 0 | 533 | 0 | 34.8 | 29.8 |
| 2009 Oct 21 | 11:03 | 0.001 | 0 | 536 | 0 | 35 | 29.6 |
| 2009 Oct 21 | 11:05 | 0.001 | 0 | 536 | 0 | 34.9 | 29.7 |
| 2009 Oct 21 | 11:07 | 0.001 | 0 | 542 | 0 | 35.1 | 29.4 |
| 2009 Oct 21 | 11:09 | 0.001 | 0 | 531 | 0 | 34.7 | 28.7 |
| 2009 Oct 21 | 11:11 | 0.001 | 0 | 514 | 0 | 34.9 | 28.5 |
| 2009 Oct 21 | 11:13 | 0 | 0 | 514 | 0 | 35 | 28.6 |
| 2009 Oct 21 | 11:15 | 0.002 | 0 | 525 | 0 | 34.8 | 29.3 |
| 2009 Oct 21 | 11:17 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 35.2 | 28.9 |
| 2009 Oct 21 | 11:19 | 0 | 0 | 528 | 0 | 35.2 | 28.7 |
| 2009 Oct 21 | 11:21 | 0 | 0 | 525 | 0 | 35.1 | 28.8 |
| 2009 Oct 21 | 11:26 | 0.002 | 0 | 525 | 0 | 35.2 | 28.7 |
| 2009 Oct 21 | 11:28 | 0 | 0 | 528 | 0 | 35.4 | 28.7 |
| 2009 Oct 21 | 11:30 | 0.001 | 0 | 533 | 0 | 35.4 | 28.4 |
| 2009 Oct 21 | 11:32 | 0.002 | 0 | 533 | 0 | 35.5 | 28.3 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการดำเนินงานของหน่วยงานนั้น โดยข้อมูลทั้งหมดนี้เป็นข้อมูลภายในและใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|---|-----|---|------|------|
| 2009 Oct 21 | 11:34 | 0 | 0 | 533 | 0 | 35.4 | 28.3 |
| 2009 Oct 21 | 11:36 | 0 | 0 | 528 | 0 | 35.6 | 28 |
| 2009 Oct 21 | 11:38 | 0 | 0 | 536 | 0 | 35.5 | 28 |
| 2009 Oct 21 | 11:40 | 0 | 0 | 528 | 0 | 35 | 28.2 |
| 2009 Oct 21 | 11:42 | 0.002 | 0 | 519 | 0 | 34.8 | 28.7 |
| 2009 Oct 21 | 11:47 | 0.003 | 0 | 503 | 0 | 34.7 | 29.3 |
| 2009 Oct 21 | 11:49 | 0.002 | 0 | 522 | 0 | 35.2 | 29.1 |
| 2009 Oct 21 | 11:51 | 0.001 | 0 | 503 | 0 | 35.4 | 27.9 |
| 2009 Oct 21 | 11:53 | 0.001 | 0 | 486 | 0 | 35.7 | 27.8 |
| 2009 Oct 21 | 11:55 | 0.002 | 0 | 483 | 0 | 36 | 27.3 |
| 2009 Oct 21 | 11:57 | 0.002 | 0 | 483 | 0 | 35.9 | 27.2 |
| 2009 Oct 21 | 11:59 | 0.001 | 0 | 483 | 0 | 36.2 | 26.9 |
| 2009 Oct 21 | 12:01 | 0.001 | 0 | 480 | 0 | 36.1 | 26.9 |
| 2009 Oct 21 | 12:03 | 0.002 | 0 | 474 | 0 | 36.2 | 26.5 |
| 2009 Oct 21 | 12:05 | 0.002 | 0 | 477 | 0 | 36.3 | 26.7 |
| 2009 Oct 21 | 12:07 | 0 | 0 | 483 | 0 | 36.4 | 26.5 |
| 2009 Oct 21 | 12:09 | 0.001 | 0 | 483 | 0 | 36.6 | 25.6 |
| 2009 Oct 21 | 12:11 | 0.001 | 0 | 503 | 0 | 36.7 | 26.3 |
| 2009 Oct 21 | 12:13 | 0.002 | 0 | 500 | 0 | 37 | 25.3 |
| 2009 Oct 21 | 12:15 | 0.001 | 0 | 491 | 0 | 37.1 | 24.9 |
| 2009 Oct 21 | 12:17 | 0.001 | 0 | 486 | 0 | 37.3 | 24.7 |
| 2009 Oct 21 | 12:19 | 0 | 0 | 486 | 0 | 37.5 | 24.5 |
| 2009 Oct 21 | 12:21 | 0.004 | 0 | 486 | 0 | 37.5 | 24.5 |
| 2009 Oct 21 | 12:23 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 37.5 | 24.4 |
| 2009 Oct 21 | 12:25 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 37.4 | 24.6 |
| 2009 Oct 21 | 12:27 | 0.002 | 0 | 489 | 0 | 38.3 | 23.8 |
| 2009 Oct 21 | 12:29 | 0.001 | 0 | 491 | 0 | 38.9 | 22.9 |
| 2009 Oct 21 | 12:31 | 0.002 | 0 | 489 | 0 | 39.4 | 22.4 |
| 2009 Oct 21 | 12:33 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 39.3 | 22.3 |
| 2009 Oct 21 | 12:35 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 39.2 | 22.5 |
| 2009 Oct 21 | 12:37 | 0.002 | 0 | 494 | 0 | 39.6 | 22 |
| 2009 Oct 21 | 12:39 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 39.9 | 21.6 |
| 2009 Oct 21 | 12:41 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 40.2 | 21.3 |
| 2009 Oct 21 | 12:43 | 0.001 | 0 | 491 | 0 | 40.4 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 12:45 | 0.001 | 0 | 489 | 0 | 40.5 | 20.9 |
| 2009 Oct 21 | 12:47 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 40.7 | 20.8 |
| 2009 Oct 21 | 12:49 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 40.7 | 20.7 |
| 2009 Oct 21 | 12:51 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 40.9 | 20.6 |
| 2009 Oct 21 | 12:53 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 41 | 20.4 |
| 2009 Oct 21 | 12:55 | 0.003 | 0 | 494 | 0 | 41.1 | 20.2 |
| 2009 Oct 21 | 12:57 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 41.2 | 20.1 |
| 2009 Oct 21 | 12:59 | 0.002 | 0 | 494 | 0 | 41.4 | 19.9 |
| 2009 Oct 21 | 13:01 | 0.002 | 0 | 491 | 0 | 41.5 | 19.8 |
| 2009 Oct 21 | 13:03 | 0.003 | 0 | 494 | 0 | 41.5 | 19.7 |
| 2009 Oct 21 | 13:05 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 41.7 | 19.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|---|-----|---|------|------|
| 2009 Oct 21 | 13:07 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 41.8 | 19.5 |
| 2009 Oct 21 | 13:09 | 0.003 | 0 | 500 | 0 | 41.7 | 19.5 |
| 2009 Oct 21 | 13:11 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 41.8 | 19.3 |
| 2009 Oct 21 | 13:13 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 41.9 | 19.3 |
| 2009 Oct 21 | 13:15 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 41.9 | 19.1 |
| 2009 Oct 21 | 13:17 | 0.001 | 0 | 500 | 0 | 41.9 | 19.1 |
| 2009 Oct 21 | 13:19 | 0.002 | 0 | 497 | 0 | 41.9 | 19.1 |
| 2009 Oct 21 | 13:21 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 41.9 | 18.9 |
| 2009 Oct 21 | 13:23 | 0.003 | 0 | 505 | 0 | 41.9 | 19 |
| 2009 Oct 21 | 13:25 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 41.9 | 19 |
| 2009 Oct 21 | 13:27 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 41.9 | 18.8 |
| 2009 Oct 21 | 13:29 | 0.001 | 0 | 505 | 0 | 42 | 18.8 |
| 2009 Oct 21 | 13:31 | 0.002 | 0 | 508 | 0 | 41.9 | 18.8 |
| 2009 Oct 21 | 13:33 | 0.003 | 0 | 508 | 0 | 42 | 18.8 |
| 2009 Oct 21 | 13:35 | 0.001 | 0 | 511 | 0 | 41.9 | 18.9 |
| 2009 Oct 21 | 13:37 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 41.9 | 18.9 |
| 2009 Oct 21 | 13:39 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 41.9 | 18.9 |
| 2009 Oct 21 | 13:41 | 0.003 | 0 | 514 | 0 | 41.9 | 18.9 |
| 2009 Oct 21 | 13:43 | 0.003 | 0 | 514 | 0 | 42 | 18.8 |
| 2009 Oct 21 | 13:45 | 0.003 | 0 | 514 | 0 | 40.7 | 20.4 |
| 2009 Oct 21 | 13:47 | 0.004 | 0 | 508 | 0 | 40.2 | 20.7 |
| 2009 Oct 21 | 13:49 | 0.003 | 0 | 505 | 0 | 39.5 | 21.4 |
| 2009 Oct 21 | 13:52 | 0.003 | 0 | 491 | 0 | 39.1 | 21.4 |
| 2009 Oct 21 | 13:54 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 39.2 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 13:56 | 0.001 | 0 | 514 | 0 | 39.2 | 21.2 |
| 2009 Oct 21 | 13:58 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 39.3 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:00 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 39.2 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:02 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 39.1 | 21 |
| 2009 Oct 21 | 14:04 | 0.003 | 0 | 514 | 0 | 39 | 21.3 |
| 2009 Oct 21 | 14:06 | 0.003 | 0 | 517 | 0 | 39.1 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:08 | 0.003 | 0 | 514 | 0 | 39.1 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:10 | 0.002 | 0 | 511 | 0 | 39.1 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:12 | 0.002 | 0 | 511 | 1 | 39 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:14 | 0.002 | 0 | 511 | 0 | 39 | 21 |
| 2009 Oct 21 | 14:16 | 0.003 | 0 | 511 | 0 | 39.1 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:18 | 0.003 | 0 | 514 | 0 | 39.1 | 21.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:20 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 39.1 | 21.3 |
| 2009 Oct 21 | 14:22 | 0.001 | 0 | 522 | 0 | 38.6 | 21.8 |
| 2009 Oct 21 | 14:24 | 0.003 | 0 | 519 | 0 | 38.3 | 22.4 |
| 2009 Oct 21 | 14:26 | 0.002 | 0 | 519 | 0 | 38.4 | 22.4 |
| 2009 Oct 21 | 14:28 | 0.003 | 0 | 519 | 0 | 38 | 22.6 |
| 2009 Oct 21 | 14:30 | 0.001 | 0 | 511 | 0 | 37.3 | 23.4 |
| 2009 Oct 21 | 14:32 | 0.003 | 0 | 505 | 0 | 36.7 | 24 |
| 2009 Oct 21 | 14:34 | 0.002 | 0 | 508 | 0 | 36.4 | 24.4 |
| 2009 Oct 21 | 14:36 | 0.001 | 0 | 503 | 0 | 36 | 24.9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | | |
|-------------|-------|--------|---|-----|---|------|------|
| 2009 Oct 21 | 14:38 | 0.002 | 0 | 503 | 0 | 35.8 | 25.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:40 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 35.9 | 25.3 |
| 2009 Oct 21 | 14:42 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 36.4 | 25 |
| 2009 Oct 21 | 14:44 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 36.2 | 25 |
| 2009 Oct 21 | 14:46 | 0.002 | 0 | 508 | 0 | 35.9 | 25.8 |
| 2009 Oct 21 | 14:48 | 0.001 | 0 | 517 | 0 | 35.8 | 26.1 |
| 2009 Oct 21 | 14:50 | 0.002 | 0 | 517 | 0 | 36 | 26 |
| 2009 Oct 21 | 14:52 | 0.001 | 0 | 522 | 0 | 36.1 | 26 |
| 2009 Oct 21 | 14:54 | 0.002 | 0 | 519 | 0 | 36.1 | 26 |
| 2009 Oct 21 | 14:56 | 0.002 | 0 | 519 | 0 | 36.2 | 26.3 |
| 2009 Oct 21 | 14:58 | 0.002 | 0 | 528 | 0 | 36.2 | 25.8 |
| 2009 Oct 21 | 15:00 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 36.3 | 26 |
| 2009 Oct 21 | 15:02 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 36.3 | 25.6 |
| 2009 Oct 21 | 15:04 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 36.3 | 25.6 |
| 2009 Oct 21 | 15:06 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 36.3 | 25.7 |
| 2009 Oct 21 | 15:08 | 0.001 | 0 | 519 | 0 | 36.4 | 25.6 |
| 2009 Oct 21 | 15:10 | 0.001 | 0 | 525 | 0 | 36.7 | 25.4 |
| 2009 Oct 21 | 15:12 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 37 | 24.9 |
| 2009 Oct 21 | 15:14 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 37.2 | 24.6 |
| 2009 Oct 21 | 15:16 | 0.001 | 0 | 528 | 0 | 37.3 | 24.5 |
| 2009 Oct 21 | 15:18 | 0.002 | 0 | 528 | 0 | 37.4 | 24.5 |
| 2009 Oct 21 | 15:20 | 0.001 | 0 | 531 | 0 | 37.6 | 24.4 |
| 2009 Oct 21 | 15:22 | -0.001 | 0 | 536 | 0 | 37.7 | 23.9 |
| 2009 Oct 21 | 15:24 | 0.003 | 0 | 536 | 0 | 37.8 | 24.1 |
| 2009 Oct 21 | 15:31 | 0.001 | 0 | 519 | 0 | 37.1 | 24.8 |
| 2009 Oct 21 | 15:33 | 0.002 | 0 | 514 | 0 | 37 | 24.9 |
| 2009 Oct 21 | 15:35 | 0 | 0 | 494 | 0 | 37.1 | 24.6 |
| 2009 Oct 21 | 15:37 | 0.001 | 0 | 511 | 0 | 37 | 24.4 |
| 2009 Oct 21 | 15:39 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 37.2 | 24.1 |
| 2009 Oct 21 | 15:41 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 37.2 | 24.1 |
| 2009 Oct 21 | 15:43 | 0.001 | 0 | 508 | 0 | 37 | 24.3 |
| 2009 Oct 21 | 15:45 | 0.002 | 0 | 505 | 0 | 36.4 | 24.8 |
| 2009 Oct 21 | 15:47 | 0.002 | 0 | 500 | 0 | 36.3 | 25.1 |
| 2009 Oct 21 | 15:49 | 0.001 | 0 | 503 | 0 | 36.1 | 25.2 |
| 2009 Oct 21 | 15:51 | 0.002 | 0 | 500 | 0 | 36.1 | 25.2 |
| 2009 Oct 21 | 15:53 | 0.001 | 0 | 497 | 0 | 35.9 | 25.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายอัศวินวิญญ์ เผือกนาโพธิ์
 วันเดือนปีเกิด 9 ตุลาคม 2529
 ประวัติการศึกษา

| คุณวุฒิ | ปีที่สำเร็จการศึกษา | ชื่อสถานศึกษา |
|-----------------------------|--|--|
| วศ.บ.สาขาวิศวกรรมเคมี | 2552 | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ประสบการณ์ในการทำงาน | | |
| พ.ศ. 2551 | นักศึกษาฝึกงาน ฝ่ายวิศวกรรมเครื่องกล บริษัท ผลิตไฟฟ้าและน้ำเย็น (DCAP) | |
| พ.ศ. 2553 | พนักงานตำแหน่ง วิศวกรตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพอากาศ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด | |
| ผลงานทางวิชาการ | | |
| พ.ศ. 2552 | อัศวินวิญญ์ เผือกนาโพธิ์, สิวัช เต็งสุวรรณ และ สุรัตน์ อารีรัตน์. “เครื่องฟ่น ละอองน้ำแข็งแห้งสำหรับการทำความสะอาดแบบเย็นยิ่งยวด” การประชุมวิชาการ วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, ตุลาคม 2552, หน้า 200-201. | |
| พ.ศ. 2554 | อัศวินวิญญ์ เผือกนาโพธิ์ และ สุรัตน์ อารีรัตน์ “การจำลองการระบาย อากาศสำหรับอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์” วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1 มีนาคม 2554 หน้า 55-60. | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้