

การศึกษาคุณลักษณะลามินาร์

Laminar Flow Hood Characteristics Study



รายงานสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต  
วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาคุณลักษณะลามินาร์

Laminar Flow Hood Characteristics Study



T147147



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **147147**  
วันเดือนปี **3 ต.ค. 2560**

600268 234

b. **11850184**  
i. ....

รายงานสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Laminar Flow Hood Characteristics Study



AN INTERNSHIP REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MANUFACTURING SYSTEM ENGINEERING  
COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา

การศึกษาคุณลักษณะลามินาร์

Laminar Flow Hood Characteristics Study

นักศึกษา

นางสาวสุทธิดา คำหว่าน

รหัสนักศึกษา

55120038

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมระบบการผลิต



พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรร

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้สหกิจศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ประจำปี  
การศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรร	
นาย พัสวัส เตชมนีกร	PATSAWAT T.
นาย พีรวัส ด่านกุล	Pirawas D.
นาย สุรศักดิ์ ฟ้าเพิ่มพร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การศึกษาคุณลักษณะลามินาร์
นักศึกษา	นางสาวสุทธิดา คำหวาน
รหัสนักศึกษา	55120038
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบการผลิต
พ.ศ.	2558
อาจารย์นิเทศ	ดร.วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรร
ผู้นิเทศงาน	นาย พีรวัส ด่านกุล
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี(ประเทศไทย) จำกัด

## บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตและประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ให้ความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องการป้องกันการปนเปื้อนของอนุภาคที่เกิดจากเครื่องจักรหรือสิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการผลิตมาสู่ชิ้นงาน กระบวนการผลิตจึงทำงานภายในห้องสะอาด Class 1000 และมีการติดตั้งลามินาร์ซึ่งเป็นสิ่งที่จะช่วยลดและนำพาอนุภาคออกจากสายการผลิต โดยอากาศบริเวณที่ทำงานภายใต้ลามินาร์จะมีความสะอาดอยู่ในระดับ Class 100 จึงทำการศึกษาคคุณลักษณะของลามินาร์ เพื่อดูพฤติกรรมของอากาศภายใต้ลามินาร์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของลามินาร์ รวมทั้งหาแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของลามินาร์

จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมของอากาศที่ออกจากลามินาร์แต่ละตัวมีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย อาทิ เช่น ตำแหน่งที่ตั้งของลามินาร์ ลักษณะการติดตั้ง จำนวนของสายการผลิต ประเภทของจักรหรือการทำงานของผู้ปฏิบัติงานภายใต้ลามินาร์ ความสูงของลามินาร์ ส่งผลต่อปริมาณอากาศ ณ ตำแหน่งโต๊ะทำงานในการนำพาอนุภาคออกจากสายการผลิต โดยลามินาร์ที่มีความสูงมากจะให้ปริมาณอากาศที่น้อย เมื่อเทียบกับลามินาร์ที่มีความสูงต่ำกว่า ดังนั้นจึงหาแนวทางการปรับปรุงเพื่อและเพิ่มประสิทธิภาพของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของลามินาร์ด้วยการติดม่านกั้นอากาศซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณของอากาศและลดจำนวนอนุภาคภายในสายการผลิตได้

### คำสำคัญ ลามินาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Laminar flow hood characteristics study
Student	Miss. Suttida Khumwan
Student ID	55120038
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Manufacturing System Engineering
Year	2015
Advisor	Dr. Vilailuck Siriongrungson
Mentor	Mr. Pirawas Dankul
Company	Seagate Technology (Thailand) Ltd.

## ABSTRACT

In the manufacturing process and assembly of hard disk drives. The focus on quality control, especially in the prevention of contamination caused by the machine or the environment during the manufacturing process to product. The manufacturing process is in a clean room class 1000 and installed laminar flow hood, which is to reduce and released particles from production lines. Air at work area under laminar flow hood will be clean up to clean room class 100. So we study for view airflow pattern under laminar flow hood, factors affecting the performance of the laminar flow hood. As well as find ways to improve and to increase the efficiency of laminar flow hood.

The study found that the pattern of air out from the laminar flow hood varied due to many factors such as the location of the laminar flow hood, appearance installation, number of production lines, and the type of machinery or operator working under the laminar flow hood. The height of the laminar flow hood affects the amount of air at the desk, which in released the leads of particles out from the production line. By laminar flow hood with great height to amount of air compared with laminar with height. Therefore, to find a way to improvements and increase the efficiency of the air out of the laminar. By changing the form of the laminar air which putting curtain can increase the amount of air and reduce the number of particles within the production

**KEYWORD** Laminar flow hood

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติสหกิจศึกษา ณ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ตั้งแต่วันที่ 10 สิงหาคม 2558 ถึงวันที่ 8 ธันวาคม 2558 ส่งผลให้ได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ สำหรับรายงานวิชาสหกิจศึกษาระดับนี้ สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือ และการสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

1. นายพัลลภ เตชมณีกร
2. นายพีรวัสส์ ต่านกุล
3. นางสาวรวงคณา โสรส
4. นายสุรศักดิ์ ฟ้าเพิ่มพร
5. Mr.Basan Bembinov

และบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำ รายงานครั้งนี้

ข้าพเจ้า จึงใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและ คำปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ตลอดจนให้ความดูแลและความเข้าใจเกี่ยวกับ ลักษณะของการทำงานจริง ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวสุทธิดา คำหว่าน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 วิธีการดำเนินการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พื้นฐานห้องสะอาด.....	5
2.2 แผ่นกรองอากาศ.....	14
2.3 ทฤษฎีการไหลของอากาศ.....	14
2.4 โครงสร้างลักษณะการทำงานของลามินาร์.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1 ขั้นตอนการเลือกปัญหา.....	20
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	20
3.3 ขั้นตอนการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล.....	21
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	23
3.5 ขั้นตอนการปรับปรุง.....	27
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	29
4.1 ผลการทดลอง.....	29
4.1.1ผลการศึกษาลักษณะและทิศทางอากาศที่ออกจากลามินาร์โดยการติดเส้นด้าย.....	29
4.1.2ผลการศึกษาลักษณะและทิศทางอากาศที่ออกจากลามินาร์โดยการใช้ Fogger.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 (ต่อ)	
4.1.3 ผลการเก็บค่าความดัน.....	34
4.1.4 ผลการศึกษาความเร็วและปริมาณลม ณ ตำแหน่งต่างๆใต้ลามินาร์.....	34
4.1.5 ผลการศึกษาการจำลองการไหลของอากาศ.....	42
4.1.6 ผลการปรับปรุง.....	53
4.2 วิเคราะห์ผล.....	53
4.2.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	53
4.2.2 วิเคราะห์ผลการปรับปรุง.....	55
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
เอกสารอ้างอิง.....	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1การจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาดตาม FederalStandard209E.....	7
2.2 การจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาดตาม ISO .....	8
2.3องค์ประกอบของระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาด.....	21
3.1ข้อมูลระบบหมุนเวียนอากาศห้องสะอาดโรงงานผลิตเทพารักษ์และโคราช.....	22
3.2รูปแบบลักษณะการติดตั้งและชนิดพัดลมของลามินาร์ในสายการผลิต.....	29
4.1 ผลการแบ่งกลุ่มลมจากการติดตั้งสายด้าย.....	30
4.2 ข้อมูลจากทั้งหมดจากการติดตั้งสายด้าย.....	32
4.3 พฤติกรรมของอากาศที่ออกจากลามินาร์.....	34
4.4 ค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบยาวที่มีความสูง 190cm.....	35
4.5 ค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบยาวที่มีความสูง 200cm.....	35
4.6 ค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบยาวความสูง 185cm.....	36
4.7 ค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบยาวความสูง 200cm.....	36
4.8 ค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบขวาง.....	37
4.9 ค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบขวาง.....	37
4.10 ค่าความเร็วลมปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบแขน สูง 210 cm.....	38
4.11 ค่าความเร็วลมจากลามินาร์หมายเลข0082ณ ระดับ 6 นิ้วจาก filter ลงมา.....	39
4.12 ค่าความเร็วลมจากลามินาร์หมายเลข0082 ณ ระดับ 12 นิ้วจาก filter ลงมา.....	40
4.13 ค่าความเร็วลมจากลามินาร์หมายเลข0082 ณ ระดับ 24 นิ้วจาก filter ลงมา.....	41
4.14ค่าความเร็วลมจากลามินาร์หมายเลข0082 ณ ระดับ 36 นิ้วจาก filter ลงมา.....	52
4.15 ผลความเร็วอากาศและจำนวนอนุภาคก่อนทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งกันลม.....	53
4.16 ผลความเร็วอากาศและจำนวนอนุภาคหลังทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งกันลม.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การทำงานในห้องสะอาด.....	5
2.2 Conventional Cleanroom.....	9
2.3 Raise Floor Cleanroom.....	9
2.4 Mini-Environment & Laminar Flow Hood.....	10
2.5 ตัวอย่างระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาด.....	11
2.6 การไหลของอากาศแบบราบเรียบ.....	12
2.7 การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน.....	12
2.8 การไหลของอากาศแบบผสม.....	13
2.9 อิทธิพลของสิ่งกีดขวางทางกายภาพ.....	13
2.10 รูปแบบการไหลของอากาศ.....	15
2.11 หลักการทำงานของลามินาร์.....	16
2.12 โครงสร้างของลามินาร์ (Laminar flow hood).....	16
2.13 Chamber ภายใน Laminar flow hood.....	17
2.14 พัฒนาการ backward และ forward.....	17
2.15 ULPA Filter สำหรับกรองอากาศก่อนป้อนอากาศสู่พื้นที่ทำงาน.....	18
3.1 แผนผังการดำเนินงาน.....	19
3.2 แผนภูมิแกงปลาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลให้อากาศออกจากรมินามีประสิทธิภาพต่ำ.....	20
3.3 แผนผังองค์ประกอบระบบห้องสะอาดโรงงานผลิตเทพารักษ์.....	21
3.4 แผนผังองค์ประกอบระบบห้องสะอาดโรงงานผลิตโคราช.....	22
3.5 แผนผังการทดลอง.....	23
3.6 การติดเส้นด้ายเพื่อสังเกตลักษณะของอากาศด้านนอกที่ออกจากลามินาร์.....	24
3.7 การใช้ Fogger เพื่อสังเกตพฤติกรรมของการไหลของอากาศที่ออกมาจากรมินาร์.....	24
3.8 ตำแหน่งการวัดความเร็วลม แบบขวางและยาว.....	25
3.9 ระดับการวัดความเร็วอากาศ.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

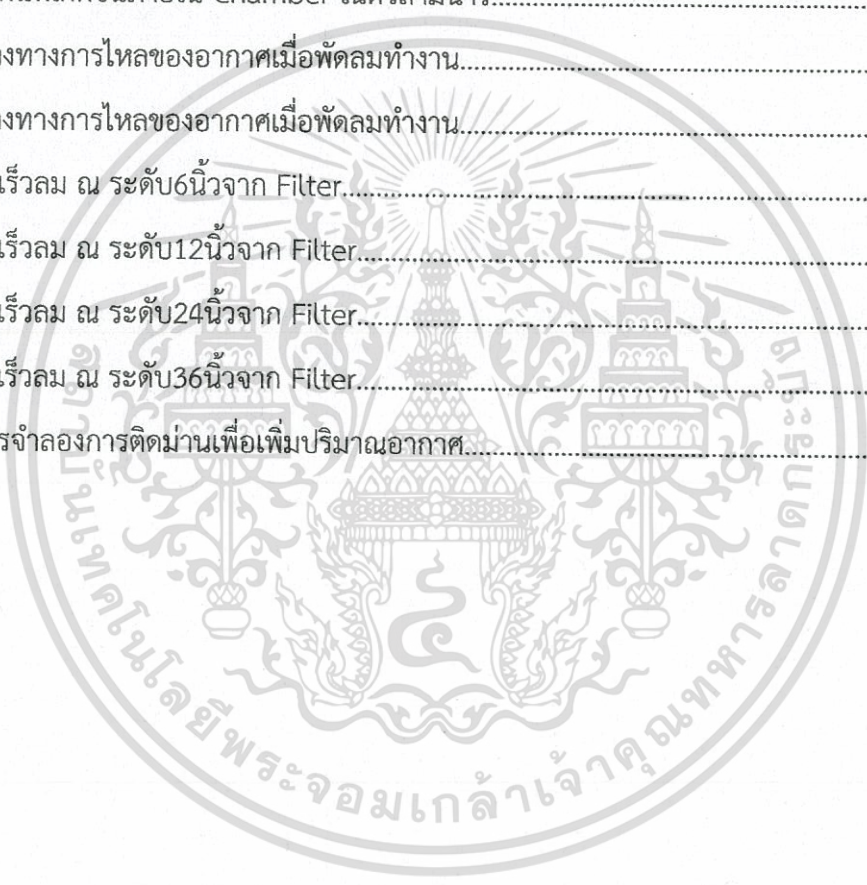
ภาพที่	หน้า
3.10 เกรงวัดความดันแสดงความดันภายใน Chamber.....	26
3.11 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยโปรแกรม ANSYS.....	27
3.12 การออกแบบม่านกันอากาศ.....	27
3.13 ลามินาร์ที่ติดตั้งม่านกันอากาศ.....	28
3.14 ตำแหน่งการวัดความเร็วอากาศ.....	28
4.1 แผนผังตำแหน่งที่ของลามินาร์ที่ติดตั้งของโรงงานผลิตเทพารักษ์.....	30
4.2 แสดงแผนผังตำแหน่งที่ของลามินาร์ที่ติดตั้งของโรงงานผลิตโคราช.....	31
4.3 กราฟ3มิติความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 6 นิ้ว.....	38
4.4 กราฟ3มิติความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 12 นิ้ว.....	39
4.5 กราฟ3มิติความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 24 นิ้ว.....	40
4.6 กราฟ3มิติความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 36 นิ้ว.....	41
4.7 ลักษณะอากาศภายในระบบห้อง cleanroom ณ ตำแหน่ง ที่มี FFU + Return.....	42
4.8 ลักษณะอากาศภายในระบบห้อง cleanroom ณ ตำแหน่ง ที่มีเพียง ULPA filter.....	43
4.9 ลักษณะอากาศด้านนอกลามินาร์ ณ ตำแหน่งที่อยู่ใกล้ ULPA filter FFU และ Return.....	44
4.10 ลักษณะอากาศด้านนอกลามินาร์ ณ ตำแหน่งที่ไม่มี ULPA filter FFU และ Return.....	44
4.11 ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบยาว ณ ตำแหน่งอยู่ใกล้ ULPA filter + FFU และ Return ceiling.....	45
4.12 ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบขวาง ณ ตำแหน่งอยู่ใกล้ ULPA filter + FFU และ Return ceiling.....	45
4.13 ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบยาว ณ ตำแหน่งที่ไม่มี ULPA filterและ Return Ceiling.....	46
4.14 ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบขวาง ณ ตำแหน่งที่ไม่มี ULPA filterและReturn Ceiling.....	46
4.15 ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์ที่มีความสูงไม่เท่ากัน ณ ตำแหน่งใกล้ ULPA filter และReturn Ceiling.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์ที่มีความสูงไม่เท่ากัน ณ ตำแหน่งที่ไม่มี ULPA filter และReturn.....	47
4.17 ลักษณะการหมุนของใบพัดและความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของใบพัด.....	48
4.18 ความดันที่เกิดขึ้นภายใน Chamber ในตัวลามินาร์.....	48
4.19 ทิศทางทางการไหลของอากาศเมื่อพัดลมทำงาน.....	49
4.20 ทิศทางทางการไหลของอากาศเมื่อพัดลมทำงาน.....	49
4.21 ความเร็วลม ณ ระดับ6นิ้วจาก Filter.....	50
4.22 ความเร็วลม ณ ระดับ12นิ้วจาก Filter.....	50
4.23 ความเร็วลม ณ ระดับ24นิ้วจาก Filter.....	51
4.24 ความเร็วลม ณ ระดับ36นิ้วจาก Filter.....	51
4.25 ผลการจำลองการตีผ่านเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศ.....	52



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์(Hard Disk Drive: HDD) และชิ้นส่วนประกอบเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญที่สุดต่อภาคการส่งออกของไทยมาเป็นเวลายาวนาน โดยในการส่งออกเครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์และส่วนประกอบอันเป็นสินค้าส่งออกอันดับหนึ่งของไทยนั้น มากกว่าครึ่งมาจากอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และส่วนประกอบ

ฮาร์ดดิสก์นอกจากเป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญต่อภาคการส่งออกของไทยแล้ว ไทยยังถูกจัดว่าเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ที่สำคัญของโลกอีกด้วย โดยสำหรับในปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2547) ไทยสามารถส่งออกฮาร์ดดิสก์ได้สูงถึง 483,000 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 12.3 ของการส่งออกโดยรวมของทั้งประเทศ โดยการส่งออกทั้งหมดนี้ทำให้ไทยมีส่วนแบ่งในตลาดฮาร์ดดิสก์สูงเป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากสิงคโปร์ หรือคิดเป็นส่วนแบ่งถึงร้อยละ 19.9 ของตลาด โดยในปี 2548 นี้ อุตสาหกรรมนี้ถูกคาดการณ์ว่าจะขยายตัวถึงหนึ่งเท่าตัวของปี 2547 ดังนั้น มูลค่าการส่งออกของฮาร์ดดิสก์ จะมีมูลค่าถึงราว 966,000 ล้านบาทในปี 2548 หรือมีอัตราการขยายตัวเร็วกว่า GDP ถึง 20 เท่า ธนาคารแห่งประเทศไทยได้ประมาณการว่า GDP มีอัตราการขยายตัวในปี 2549 อยู่ในช่วง 4.5-5.5% ในขณะที่การผลิตในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ถูกคาดการณ์โดยกลุ่มผู้ประกอบการฮาร์ดดิสก์ว่าจะขยายตัวถึง 100%และด้วยอัตราการขยายตัวดังกล่าว จะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มในประเทศถึงประมาณ 360,000 ล้านบาท หรือ 2 เท่าตัวของปี 2547ซึ่งมูลค่าเพิ่มนี้ช่วยให้ GDP ของประเทศในปี 2548 ขยายตัวเพิ่มจากปีที่ผ่านมา

นอกจากนี้การขยายตัวของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ยังก่อให้เกิด การจ้างงาน ในประเทศอีกด้วย ในปี 2547 อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ทำให้เกิดการจ้างงานถึง 100,000 คน ดังนั้นเมื่อปริมาณการผลิตขยายตัวการจ้างงานก็ย่อมเพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน และจากการประมาณการของผู้ประกอบการฮาร์ดดิสก์พบว่าการทำงานจะเพิ่มขึ้นราวร้อยละ 10 จากเดิม

ปัจจุบัน บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) เป็นหนึ่งในผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รายใหญ่ของโลก มีฐานการผลิตในประเทศไทยอยู่ 2 แห่งคือที่โรงงานเทพารักษ์จังหวัดสมุทรปราการและจังหวัดนครราชสีมา โดยสายการผลิต เป็นโรงงานประเภท OEM (Original Equipment Manufacturer) โดยจะเริ่มตั้งแต่การนำแผ่น Wafer มาตัดเพื่อผลิตเป็นหัวอ่านเขียน (Slider) ก่อนที่จะนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่นๆ ในสายการผลิต HGA, HSA และ Drive จนได้ฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์ ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์นั้น บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) ให้ความสำคัญในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมคุณภาพของการผลิตและผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่การควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนอนุภาคต่างๆในสายการผลิตเพื่อลดความเสียหายต่อชิ้นงาน ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาคุณลักษณะของลามินาร์ (Laminar flow hood Characteristic) ซึ่งเป็นสิ่งที่จะช่วยให้อากาศในสายการผลิตมีความสะอาด และทำการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของลามินาร์ จะเห็นได้ว่าการควบคุมการผลิตตั้งแต่เบื้องต้นให้มีคุณภาพ จะช่วยป้องกันและลดการเกิดงานที่เสียหาย รวมถึงช่วยลดค่าใช้จ่ายซึ่งเกิดมาจากงานที่เสียหายได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของลามินาร์
- 1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณอากาศและพฤติกรรมการไหลอากาศที่ออกจากลามินาร์ที่มีรูปแบบแตกต่างกัน
- 1.2.3 ใช้การจำลองการไหลของอากาศเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบการทดลองและหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น
- 1.2.4 ปรับปรุงและพัฒนาการติดตั้งลามินาร์เพื่อให้ได้อากาศที่มีคุณภาพสูงสุด

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาคุณลักษณะของลามินาร์ในสายการผลิต เป็นการศึกษาเพื่อดูลักษณะและพฤติกรรมของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์ ณ ระดับที่ต่างกันจนถึงระดับของโต๊ะทำงาน และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของลามินาร์ อาทิ เช่น รูปแบบการติดตั้ง ระบบห้องสะอาด ชนิดของพัดลม รวมถึงการเก็บค่าทางฟิสิกส์ ได้แก่ ปริมาณอากาศ อัตราการไหลอากาศ ความเร็ว ความดัน และจำลองการไหลของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์ เพื่อเปรียบเทียบผลกับค่าที่วัดได้จริงและนำมาวิเคราะห์สาเหตุหรือปัญหาที่เกิดขึ้น ทำการปรับปรุงพัฒนาการติดตั้งลามินาร์เพื่อให้ได้อากาศที่ออกมามีคุณภาพและได้ประโยชน์สูงสุด

## 1.4 วิธีการดำเนินการศึกษา

ลำดับ	หัวข้องาน	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
1	ศึกษา Laminar flow hood ในสายการผลิต				
	1.1 รูปแบบและขนาดของลามินาร์				
	1.2 ชนิดของพัดลมภายในลามินาร์				
	1.3 ชนิดของแผ่นกรองอากาศ				
	1.4 ลักษณะการติดตั้งลามินาร์ในสายการผลิต				
	1.5 ระบบและแผนผังของห้องคลีนรูม				
2	ศึกษาลักษณะพฤติกรรมและทิศทางการไหลของอากาศ				
	2.1 ดูทิศทางการไหลของอากาศด้วยการติดเส้นด้าย				
	2.2 ดูทิศทางการไหลของอากาศ ด้วย Fogger				
	2.3 แบ่งกลุ่มอากาศตามลักษณะการเคลื่อนที่ของเส้นด้าย				
3	วัดค่าทางฟิสิกส์และวิเคราะห์ผล				
	3.1 ออกแบบการวัดความเร็วลม ณ ตำแหน่งต่างๆ				
	3.2 ออกแบบการวัดอัตราการไหลของอากาศ				
	3.3 เปรียบเทียบค่าทางสถิติและกราฟ				
4	จำลองการไหลของอากาศและปรับปรุงการออกแบบ				
	4.1 Airflow Simulation by Ansys Workbench				
	4.2 วิเคราะห์ผลจากการจำลอง				
	4.3 ปรับปรุงและออกแบบการติดตั้งลามินาร์เพื่อพัฒนาการไหลของอากาศและปริมาณลม				
	4.4 เปรียบเทียบปริมาณอากาศ ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง				
5	สรุปและรายงานผล				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 การศึกษาลักษณะของลามินาร์เพื่อเก็บรวบรวมเป็นข้อมูลไว้ใช้ศึกษาในอนาคต เช่น ขนาด รูปแบบการติดตั้ง ชนิดของพัดลมภายในลามินาร์ รูปแบบของแผ่นกรองอากาศ
- 1.5.2 ทราบถึงปัญหาที่เกิดจากระบบของห้องสะอาด
- 1.5.3 การศึกษารูปแบบของการติดตั้งลามินาร์สามารถบอกได้ว่ารูปแบบการติดตั้งลามินาร์แบบใดเหมาะสมที่สุด
- 1.5.4 สามารถบอกลักษณะของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์
- 1.5.5 ทราบปริมาณอากาศและพฤติกรรมของอากาศ ณ ตำแหน่งโต๊ะทำงาน
- 1.5.6 การพัฒนาเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศและปรับทิศทางของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์
- 1.5.7 การศึกษาการจำลองการไหลของอากาศเพื่อนำมาเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ถึงปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากลามินาร์หรือสิ่งแวดล้อม
- 1.5.8 ลดการเกิดการปนเปื้อนของอนุภาคในสายการผลิต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พื้นฐานห้องสะอาด(Clean room)

##### 2.1.1 ความหมายของห้องสะอาด

ห้องสะอาดถูกนำมาใช้ครั้งแรกใน ค.ศ. 1961 โดย Willis Whitfield ห้องสะอาด หมายถึง ห้องที่มีการปิด มิดชิดมีการควบคุมมลสารในอากาศให้น้อยที่สุดเพื่อให้มีความสะอาดเป็นไปตามระดับมาตรฐานความสะอาดและ มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมเช่นอุณหภูมิความชื้นและความแตกต่างของความดันตามที่ต้องการ



ภาพที่ 2.1 แสดงการทำงานในห้องสะอาด

##### 2.1.2 คุณสมบัติเฉพาะของห้องสะอาด

คุณสมบัติเฉพาะของห้องสะอาดประกอบด้วยความสะอาดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ความดันและปัจจัย อื่นๆดังนี้

1. ความสะอาด จะพิจารณาจากปริมาณหรือจำนวนอนุภาคภายในห้อง ซึ่งอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ใน อากาศเกิดจากภายนอกห้องที่ถูกนำเข้ามาโดยปนมากับอากาศเข้า (supply air) และการไหลเวียนของอากาศในระบบ ปรับอากาศและอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยมาจากเครื่องจักรการผลิตและบุคคลที่ทำงานภายในห้องสะอาด

2. อุณหภูมิ สำหรับห้องสะอาดที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับความต้องการของกระบวนการผลิต และข้อ กำหนดของมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน การผลิต และผลิตภัณฑ์โดยจะกำหนด อุณหภูมิและความชื้น ของห้องในย่านที่เชื้อโรคเจริญเติบโตช้า เครื่องจักรไม่เกิดสนิม และผู้ปฏิบัติงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความสบายพอสมควร สำหรับ ห้องสะอาดโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียสโดยหากไม่มีความสำคัญทางด้านการผลิตมัก กำหนดให้อยู่ในช่วง 22.2 องศาเซลเซียส ± 0.14 องศาเซลเซียส

3. ความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับห้องสะอาดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะงาน กระบวนการผลิต หรือชนิด ผลิตภัณฑ์และข้อกำหนดของมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเช่นเดียวกับอุณหภูมิเนื่องจากในบางกรณีถ้าในห้อง สะอาดมีความชื้นสูง (>50%) อุปกรณ์เครื่องมือ หรือผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในห้องนั้นจะเกิดสนิมได้หรือผลิตภัณฑ์/สาร บางชนิดที่สามารถดูดความชื้นได้ง่ายอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณสมบัติหรือคุณภาพเปลี่ยนแปลงไป ในทาง ตรงข้าม ค่าความชื้นต่ำก็จะเกิดประจุไฟฟ้าหรือไฟฟ้าสถิตในวัสดุหรือชิ้นส่วน ทำให้เกิดปัญหาอนุภาคติดติดกันได้ ซึ่งหากไม่มีข้อกำหนดเฉพาะ โดยทั่วไป มักกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของห้องสะอาดประมาณ  $50 \pm 10\%$

4. ความดัน เป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบห้องสะอาด ซึ่งโดยปกติควรรักษาความดันในห้องสะอาดให้เป็นบวก (positive pressure) เสมอ เพราะความดันภายในห้องที่สูงกว่าความดันภายนอกจะมีผลในการผลักดันไม่ให้อากาศสกปรกจากภายนอกเข้ามาภายในห้องได้

5. ปัจจัยอื่น ที่มีผลต่อการทำงานของบุคลากรและอุปกรณ์เครื่องมือมีอยู่ภายในห้องสะอาด ได้แก่ แสงสว่างระดับเสียงและความสั่นสะเทือนซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะต้องได้รับการพิจารณาให้มีค่าที่มีความเหมาะสมตั้งแต่ ขั้นตอนการออกแบบห้องสะอาด

### 2.1.3 หลักการของห้องสะอาด

หลักการที่สำคัญของห้องสะอาดมี 4 ประการคือ

1. การป้องกันอนุภาคและมลสารจากภายนอกเข้าไปในห้อง ซึ่งมีแนวทางดังนี้
  - กรองอากาศที่ผ่านเข้ามาในห้องด้วยฟิลเตอร์ที่เหมาะสม
  - รักษาความดันบวกภายในห้อง
  - ผู้ปฏิบัติงานควรผ่านฝักบัวอากาศก่อนเข้าห้องสะอาด
  - วัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ต้องทำความสะอาดก่อนผ่านเข้าห้องสะอาด
2. การป้องกันการสะสมของอนุภาคและมลสารภายในห้อง ซึ่งมีแนวทางดังนี้
  - พื้นผิวห้อง เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ควรทำด้วยวัสดุและมีรูปทรงที่ทำความสะอาดได้ง่าย
  - พื้นผิวและผนังห้องต้องสะดวกต่อการทำความสะอาด ไม่สะสมฝุ่น
  - การทำความสะอาดห้องต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
3. การป้องกันการก่อให้เกิดอนุภาคและมลสารภายในห้อง ซึ่งมีแนวทางดังนี้
  - ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมชุดสำหรับห้องสะอาดเมื่อเข้าไปภายในห้อง
  - ผู้ปฏิบัติงานไม่ควรเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วถ้าไม่จำเป็นขณะปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัสดุของพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน ต้องไม่เป็นวัสดุที่ทำให้เกิดอนุภาคและมลสาร
- วัสดุของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต้องไม่เป็นวัสดุที่ทำให้เกิดอนุภาคและมลสาร

#### 4. หากมีอนุภาคและมลสารเกิดขึ้นภายในห้องต้องรีบกำจัดออกไปทันทีโดย

- อัตราการเปลี่ยนอากาศ (air change) ของห้องสะอาดควรเหมาะสมที่จะทำให้เป็นไปตามระดับชั้นความสะอาดที่ต้องการ
- ควรมีการหมุนเวียนอากาศบางส่วนออกสู่ภายนอกเพื่อลดสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้น
- ควรติดตั้งระบบดูดอากาศเป็นจุดๆ ในบริเวณที่มีการกระจายของอนุภาคฝุ่นผงมาก

#### 2.1.4 การจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาด

Federal Standard 209 เป็นมาตรฐานของห้องสะอาดที่จัดพิมพ์เผยแพร่เป็นครั้งแรกในสหรัฐอเมริกาใน ค.ศ. 1963 มาตรฐานนี้ได้แบ่งห้องสะอาดออกเป็นระดับชั้น (class) โดยแบ่งตามจำนวนอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่าที่ยอมให้มีได้ในอากาศต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเป็นลูกบาศก์ฟุต แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาดตาม Federal Standard 209E

ระดับชั้น (class)	จำนวนอนุภาคสูงสุดต่อปริมาตรอากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต (Maximum particles/ft <sup>3</sup> )					เทียบเท่ากับมาตรฐาน ISO (ISO equivalent)
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥5 μm	
1	35	7	3	1	NA	ISO 3
10	350	75	30	10	NA	ISO 4
100	NA	750	300	100	NA	ISO 5
1,000	NA	NA	NA	1,000	7	ISO 6
10,000	NA	NA	NA	10,000	70	ISO 7
100,000	NA	NA	NA	100,000	700	ISO 8

เนื่องจากมาตรฐานของห้องสะอาดมีหลายมาตรฐานซึ่งกำหนดโดยแต่ละประเทศ ใน ค.ศ. 1999 องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (The International Organization for Standardization; ISO) จึงได้ออกมาตรฐาน ISO 14644-1: 1999 สำหรับใช้เป็นมาตรฐานสากลในการจำแนกระดับชั้นของห้องสะอาดทั่วโลก เพื่อขจัดปัญหาความแตกต่างของมาตรฐานห้องสะอาดของแต่ละประเทศ โดยระดับชั้นความสะอาดของห้อง (cleanliness class) ตามมาตรฐานนี้แบ่งเป็น 9 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงการจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาดตาม ISO 14644-1: 1999

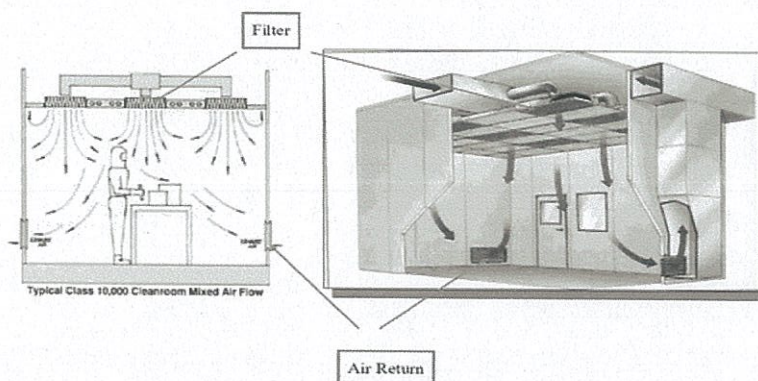
ระดับชั้น (class)	จำนวนอนุภาคสูงสุดต่อปริมาตรอากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต (Maximum particles/ft <sup>3</sup> )						FED STD 209E equivalent
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			
ISO 3	1,000	273	102	35	8		Class 1
ISO 4	10,000	2,730	1,020	352	83		Class 10
ISO 5	100,000	27,300	10,200	3,520	832	29	Class 100
ISO 6	1,000,000	273,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 1,000
ISO 7				352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000	Room air

### 2.1.5 ชนิดของห้องสะอาดตามลักษณะการใช้งาน

ห้องสะอาดทางอุตสาหกรรม (industrial clean room) เป็นห้องสะอาดที่ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครชิพ อุตสาหกรรมการผลิตสีฟิล์ม และสารเคมีต่างๆ สำหรับ บริษัท ซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) ใช้ ห้องสะอาดทางอุตสาหกรรม อยู่ 3 ประเภท ดังนี้

#### 1. Conventional Cleanroom

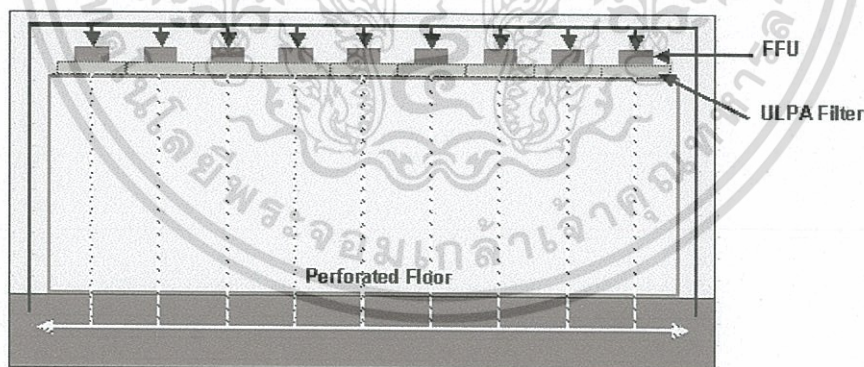
เป็นระบบห้องสะอาดที่อากาศจะถูกดูดเข้ามาในห้องโดยผ่านแผ่นกรอง (Filter) ทำอากาศให้บริสุทธิ์ก่อนจะปล่อยลงมาในสายการผลิต จากนั้นอากาศจะถูกดูดกลับขึ้นไปฟอกใหม่ผ่านช่อง Air Return และเติมอากาศภายนอกเข้ามาเพิ่ม ทำให้ความดันภายในห้องมีมากกว่าความดันภายนอก ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ อากาศภายนอกที่ยังไม่ผ่านการกรองฝุ่นด้วย filter ปะปนเข้ามาในห้องสะอาด (แสดงดังภาพ 2.1) โดยมากแล้ว Conventional Cleanroom จะอยู่ที่ Class 1,000 และ 10,000 (มีจำนวน อนุภาคขนาด 0.5 μm น้อยกว่า 1,000 และ 10,000 particles/ft<sup>3</sup>) ตามระบบ ISO



ภาพที่ 2.2 แสดง Conventional Cleanroom

## 2. Raise Floor Clean room

Raise Floor Clean room ถูก Design โดยมีระบบดูดอากาศและสิ่งสกปรกลงด้านล่าง จากนั้นอากาศจะถูกดูดกลับเข้าไปในห้องสะอาดโดย FFU (Fan Filtering Unit) ผ่าน ULPA Filter ซึ่งทำหน้าที่กรองอากาศให้สะอาดก่อนปล่อยอากาศเข้าไปในสายการผลิตอีกครั้ง (แสดงดังภาพ 2.3) นิยมใช้สำหรับ ห้องสะอาด Class 100 (ที่ Seagate มีห้องสะอาดชนิดนี้ในส่วนของ Drive Clean room)

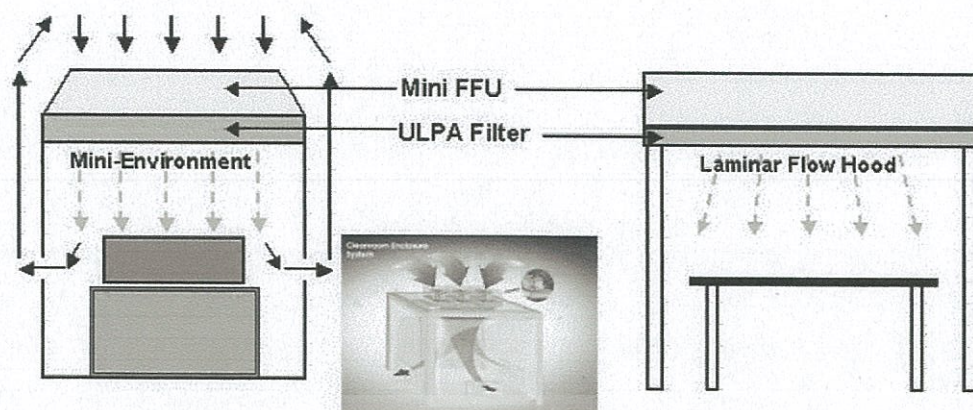


ภาพที่ 2.3 แสดง Raise Floor Clean room

## 3. Mini-Environment & Laminar Flow Hood

หลักการการทำงานเหมือนระบบ Conventional และ Raise Floor Clean room Environment แต่ระบบนี้ใช้สำหรับเฉพาะจุด เพราะทำมาเพื่อรองรับเครื่องจักรที่ออกแบบมาเป็น ลักษณะตู้ปิดเล็กๆเท่านั้นแสดงดังภาพ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 แสดง Mini-Environment & Laminar Flow Hood

### 2.1.6 องค์ประกอบของระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาด

ระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาดทำหน้าที่ควบคุมปริมาณอากาศและกรองอากาศก่อนปล่อยอากาศเข้าสู่ห้องสะอาด โดยเริ่มตั้งแต่การนำอากาศจากภายนอกมาปรับอากาศเพื่อส่งไปยังห้องสะอาด และมีระบบดูดกลับของอากาศเพื่อนำอากาศไปหมุนเวียนใช้ นอกจากนี้ยังมีแผ่นกรองอนุภาคขนาดเล็กพิเศษติดตั้งเพื่อช่วยในการกรองอากาศก่อนปล่อยเข้าสู่ห้องสะอาด องค์ประกอบของระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาด แสดงดังตารางที่ 2.3

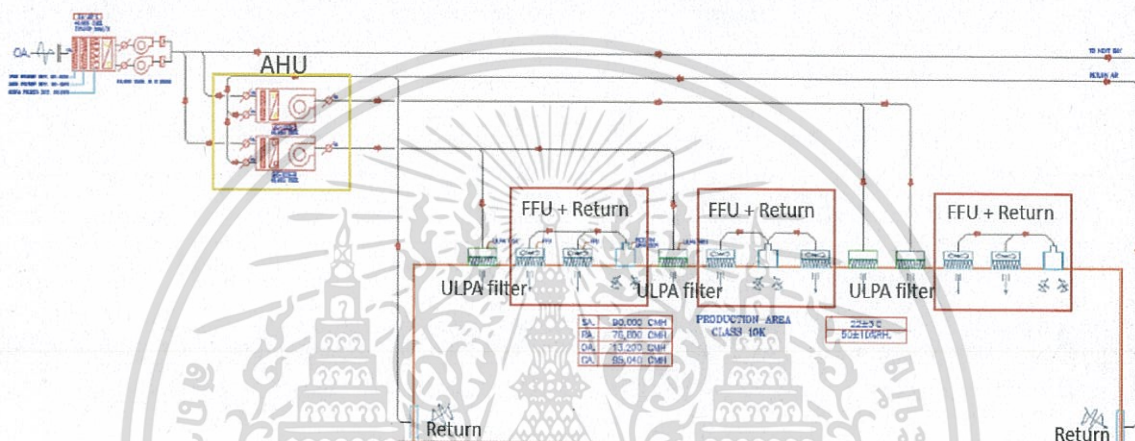
ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาด

องค์ประกอบของระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาด	
องค์ประกอบ	หน้าที่
1. Air Handling Unit(AHU)	นำอากาศจากภายนอกเข้ามาปรับอากาศ และส่งอากาศไปยังอาคารอากาศที่หมุนเวียนแล้ว (exhaust air) จะถูกระบายออกเพื่อรักษาคุณภาพอากาศภายในอาคาร ทั้งนี้อากาศภายนอกอาจจะถูกทำให้เย็นโดยเย็นโดยคอยล์ทำความเย็น (cooling coil)
2.Fan Filter Unit (FFU)	พัดลมหมุนเวียนอากาศ
3.ULPA Filter on ceiling (Ultra-low particulate air)	แผ่นกรองอนุภาคขนาดเล็กพิเศษติดตั้งบนเพดาน ซึ่งแผ่นกรองอากาศออกแบบมาเพื่อดักจับอนุภาคขนาดเล็กมาก ๆ ที่อยู่ในอากาศก่อนที่จะป้อนอากาศเข้าใน Clean area
4.Return on ceiling	ช่องสำหรับดูดอากาศกลับติดตั้งบนเพดาน ทำหน้าที่ดูดอากาศกลับเพื่อนำอากาศไปหมุนเวียนใช้ภายในห้องสะอาด
5. Return Sharp	ช่องสำหรับดูดอากาศติดตั้งอยู่ภายในห้องสะอาดแล้วแต่การออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาด

จากภาพที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า อากาศจากภายนอกอาคารถูกดูดเข้ามาและทำการปรับอุณหภูมิด้วย AHU จากนั้นอากาศจะถูกส่งไปยังช่องต่างๆเพื่อเข้าไปในห้องสะอาด โดยผ่านแผ่นกรองอนุภาคขนาดเล็กพิเศษ (ULPA filter) และจะเห็นได้ว่า ในระบบหมุนเวียนอากาศยังมีการติดตั้งพัดลม (FFU) ซึ่งทำหน้าที่พัดอากาศที่ถูกดูดขึ้นมาจากช่องดูดกลับของอากาศบนเพดาน (Return on ceiling) แล้วปล่อยเข้าไปสู่ห้องสะอาด นอกจากนี้ยังมีระบบดูดกลับของอากาศ (Return Sharp) ทำหน้าที่ดูดอากาศภายในห้องสะอาดกลับไปยัง AHU เพื่อส่งเข้ามาในห้องอีก

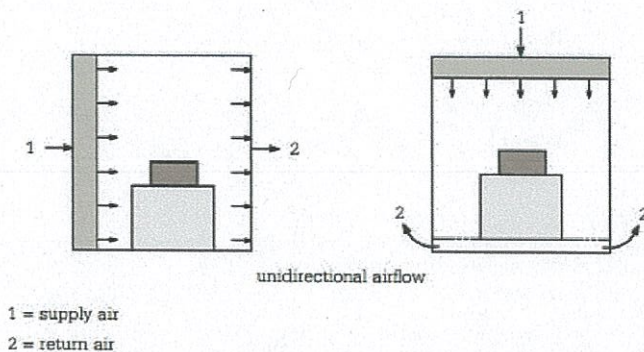


ภาพที่ 2.5 แสดง ตัวอย่างระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาด

### 2.1.7 รูปแบบการไหลของอากาศภายในของห้องสะอาด

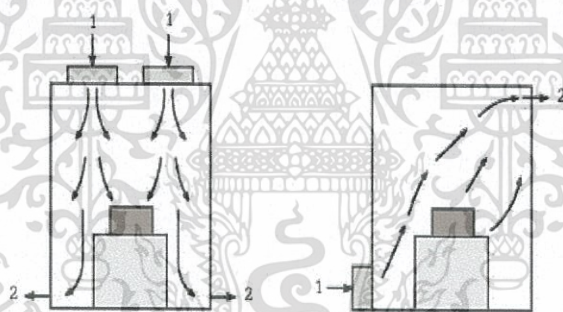
รูปแบบการไหลของอากาศ (airflow patterns) ภายในห้องสะอาดเป็นปัจจัยสำคัญต่อการออกแบบห้องสะอาดให้ได้ตามระดับชั้นของความสะอาดตามที่ต้องการ ลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องสะอาดมี 3 รูปแบบ คือ การไหลของอากาศแบบราบเรียบ การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน และการไหลของอากาศแบบผสมดังนี้

1. การไหลของอากาศแบบราบเรียบ (unidirectional airflow หรือ laminar airflow) มีลักษณะการไหลของอากาศแบบราบเรียบ โดยอากาศที่ผ่านแผงกรองจะมีทิศทางเคลื่อนที่ขนานกันในแนวระดับหรือแนวตั้ง มุ่งไปยังฝั่งตรงข้ามกับห้อง และผ่านช่องลมกลับเพื่อกลับไปยังระบบควบคุมอากาศ หรือชุดส่งลม (air handling system)



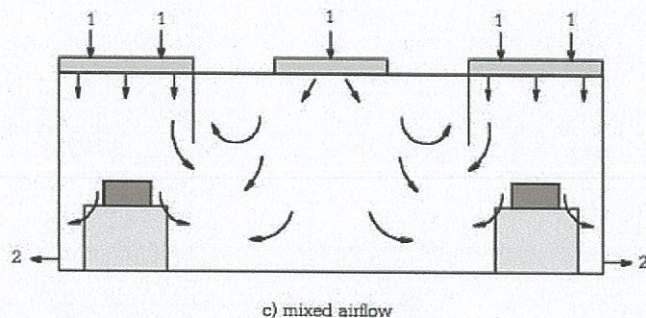
ภาพที่ 2.6 แสดง การไหลของอากาศแบบราบเรียบ

2. การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (non unidirectional airflow หรือ turbulent mixed airflow) เป็นแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป อนุภาคที่เกิดขึ้นภายในห้องจะถูกทำให้เจือจางลงโดยอากาศสะอาดที่ออกมาจากแผ่นกรองอากาศ ทำให้ความสะอาดของห้องเพิ่มขึ้นแต่เนื่องจากการไหลของอากาศแบบปั่นป่วนระดับชั้นของความสะอาดจึงสูงกว่า แบบราบเรียบ



ภาพที่ 2.7 แสดง การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน

3. การไหลของอากาศแบบผสม (mixed airflow) เป็นรูปแบบการไหลของอากาศภายในห้องสะอาดที่มีทั้ง แบบราบเรียบและแบบปั่นป่วนอยู่ในห้องเดียวกัน

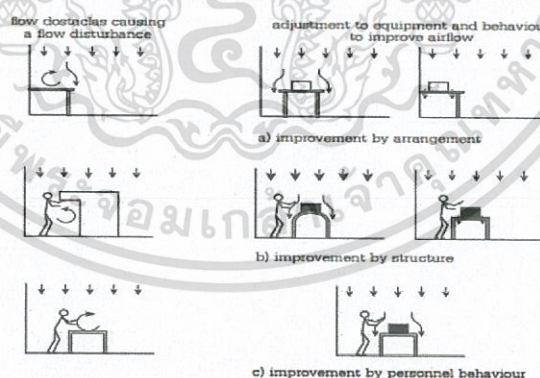


1 = supply air

2 = return air

ภาพที่ 2.8 แสดง การไหลของอากาศแบบผสม

ในห้องสะอาดที่มีการไหลแบบราบเรียบ ในการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ภายในห้องจะต้องระมัดระวังการ กีดขวางทางกายภาพที่จะก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนในบางจุดได้สิ่งกีดขวาง ได้แก่ อุปกรณ์ในกระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติงาน การเคลื่อนไหวของผู้ปฏิบัติงาน และการเคลื่อนย้ายผลผลิต ดังนั้น จึงต้องมีการพิจารณาพื้นฐาน ทางด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อป้องกันการปั่นป่วนของอากาศภายในห้อง โดยเฉพาะบริเวณที่มีกิจกรรมที่มีความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนสูงมาตรการที่เหมาะสมจะต้องนำมาใช้เพื่อป้องกันการปั่นป่วนของอากาศและการปนเปื้อน (cross-contamination) ระหว่างจุดทำงานที่แตกต่างกัน ภาพที่ 2.9 ทางด้านซ้าย แสดงถึงอิทธิพลของสิ่งกีดขวาง ทางกายภาพ ส่วนทางด้านขวา เป็นมาตรการที่เหมาะสมในการลดผลกระทบที่เกิดจากสิ่งกีดขวางเหล่านี้



ภาพที่ 2.9 แสดง อิทธิพลของสิ่งกีดขวางทางกายภาพ และมาตรการที่เหมาะสมในการลดผลกระทบที่เกิดจากสิ่งกีดขวาง

### 2.1.6 การควบคุมความเร็วลมและการถ่ายเทอากาศ

การควบคุมความเร็วลมและการถ่ายเทอากาศ (Air Velocity and Air Change Control)

ห้องสะอาดเป็นห้องที่จัดสร้างขึ้นมาให้ได้ระดับอากาศที่สมดุลย์และสามารถถ่ายอากาศจำนวนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอ เพื่อให้ได้ความเร็วลมอย่างน้อย 90ft./m โดยวัดได้ ULPA Filter 6 นิ้ว อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบความเร็วของอากาศหรือลมที่ผ่านแผ่นกรอง คือ airflow meter

## 2.2 แผ่นกรองอากาศ

### 2.2.1 ชนิดของแผ่นกรองอากาศ

1. High-efficiency particulate absorption หรือ HEPA คือ แผ่นกรองอากาศชนิดหนึ่ง ที่นิยม ใช้งานกันอย่างหลากหลาย เช่น ใช้ในหน่วยงานการแพทย์ รถยนต์ เครื่องบิน และอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้านอย่าง เครื่องฟอกอากาศ แผ่นกรองที่ได้มาตรฐานต้องมีประสิทธิภาพในการกรอง 99.97% ที่อนุภาคขนาด  $0.3 \mu\text{m}$

2. Ultra-low particulate air หรือ ULPA แผ่นกรองอนุภาคขนาดเล็กพิเศษ ซึ่งแผ่นกรองอากาศทั้งสองออกแบบมาเพื่อดักจับอนุภาคขนาดเล็กมากๆที่อยู่ในอากาศ แผ่นกรองอากาศ ULPA มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับแผ่นกรองแบบ HEPA แต่มีประสิทธิภาพในการกรองสูงกว่า ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 99.999% ของอนุภาคขนาด  $0.12 \mu\text{m}$  นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

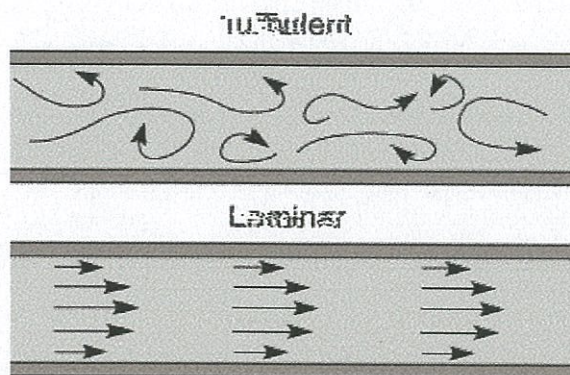
## 2.3 ทฤษฎีการไหลของอากาศ

### 2.3.1 รูปแบบการไหลของอากาศ

รูปแบบการไหลของอากาศสามารถแบ่งออกได้ 2 รูปแบบดังนี้

1. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) คือ รูปแบบการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นของไหล ลักษณะการไหลแบบนี้ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีความหนืด (viscosity) สูงและไหลด้วยความเร็วต่ำ

2. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีความหนืด (viscosity) ต่ำและไหลด้วยความเร็วสูง หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อรูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน และมีการผสมกันระหว่างชั้นของไหลในขณะเคลื่อนที่



ภาพที่ 2.10 แสดง รูปแบบการไหลของอากาศ

### 2.3.2 การหาอัตราการไหลของอากาศ

อัตราการไหล (Flow rate หรือ Discharge) คือ ปริมาณของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆ ที่กำหนด ต่อหนึ่งหน่วยเวลาอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate):  $Q$  มีสมการทั่วไปดังนี้

$$Q = Av$$

เมื่อ  $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล

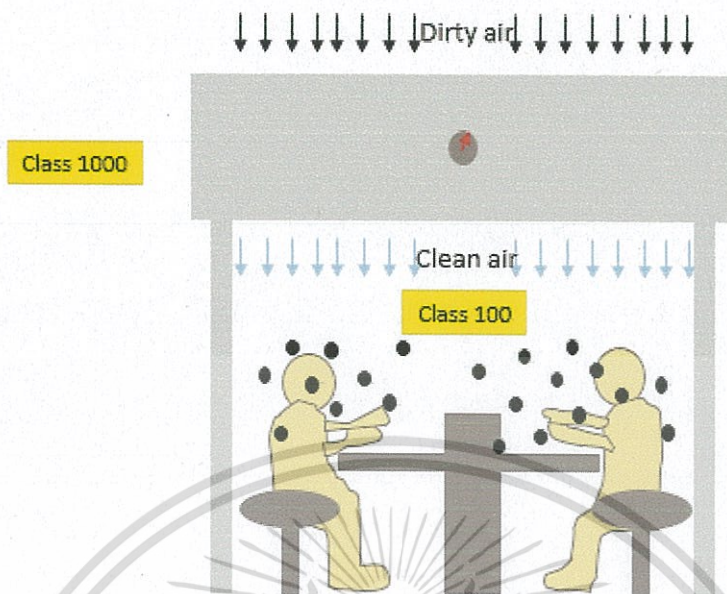
$V$  คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

หน่วยของอัตราการไหลในระบบ SI คือ  $m^3/s$  และในระบบอังกฤษ คือ  $ft^3/s$

## 2.4 โครงสร้างลักษณะการทำงานของลามินาร์ (Laminar flow hood)

### 2.4.1 หลักการทำงานของลามินาร์ (Laminar Flow hood)

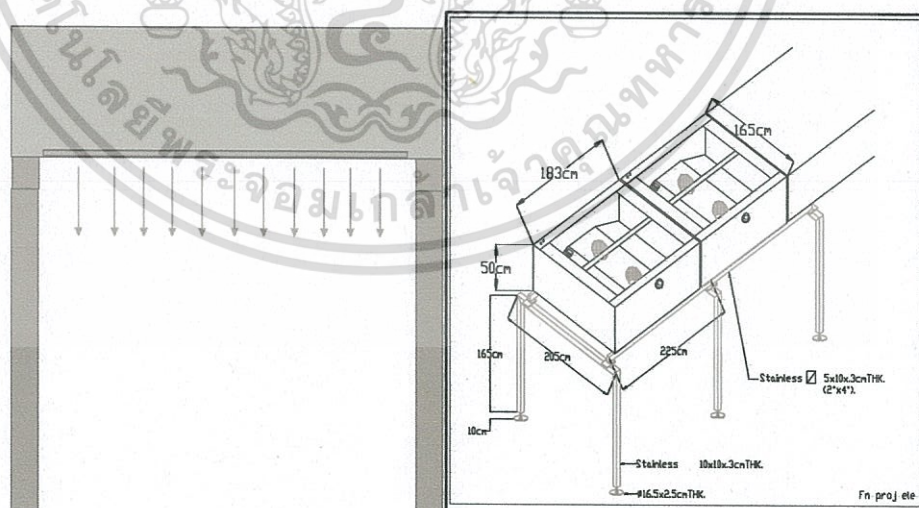
ลามินาร์ใช้หลักการที่จะทำให้เกิด particle-free working environment โดยการนำอากาศที่ผ่านระบบการกรองแล้ว และไหลออกสู่ภายนอกโดยผ่านพื้นที่ทำงานเพื่อให้บริเวณนั้นสะอาดและพัดพาเอาอนุภาคบริเวณพื้นที่ทำงานหรือที่ผลิตภัณฑ์ออกสู่ภายนอก (แสดงดังภาพที่ 2.2) ระบบการกรองจะประกอบด้วย แผ่นกรองอนุภาคเบื้องต้น (pre-filter) และ แผ่นกรองอนุภาคขนาดเล็กพิเศษระดับความสะอาดของอากาศได้ลามินาร์ถ้าหากติดตั้งอยู่ภายในห้องสะอาด Class 1000 จะสามารถสะอาดได้ถึง Class 10 หรือ Class 100



ภาพที่ 2.11 แสดง หลักการทำงานของลามินาร์

#### 2.4.2 โครงสร้างของลามินาร์ (Laminar Flow hood)

โครงสร้างมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 165x183 cm ความสูงพื้นถึง Filter ประมาณ 180 ถึง 190 cm ขึ้นอยู่กับการติดตั้ง แสดงดังรูปที่ ดังรูปที่ 2.12

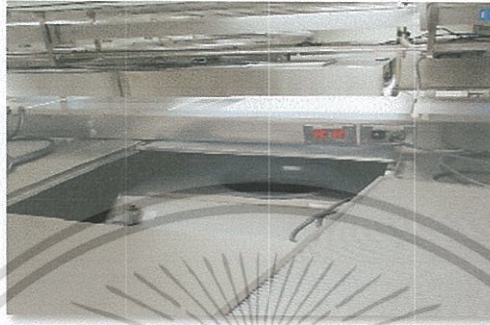


ภาพที่ 2.12 แสดง โครงสร้างของลามินาร์ (Laminar flow hood)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบหลักภายในประกอบด้วย

1. Chamber คือ ห้องสำหรับเก็บอากาศก่อนอากาศจะเกิดการอัดตัวจนเกิดเป็นความดันที่สูง ทำให้อากาศภายในห้องเก็บอากาศเคลื่อนที่ลงผ่านแผ่นกรองอนุภาคขนาดเล็กพิเศษลงสู่พื้นทำงาน

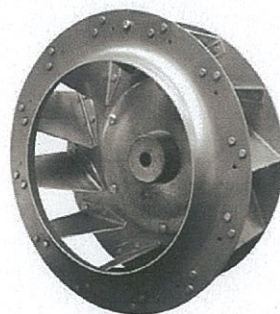


ภาพที่ 2.13 แสดง Chamber ภายใน Laminar flow hood

2. Centrifugal fan คือ พัดลมเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การทำงานของพัดลมประเภทนี้เกิดจากการทำงานร่วมกันของแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) และการหักเหของอากาศโดยใบพัด ทำให้อากาศไหลออกในแนวรัศมี แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.1 Backward blades มีลักษณะของใบเอียงลู่ไปทางด้านหลัง หรือปลายใบ (blade tip) เอียงออกไปจากทิศทางการหมุน มุมออกที่ปลายใบน้อยกว่า  $90^\circ$  ถ้าเป็นใบเอียงหลังตรงเรียกว่า backward inclined blades ส่วนใบเอียงหลังโค้งทำจากวัสดุแผ่นเรียกว่า backward curved blades

2.2 Forward blades มีลักษณะของใบเอียงลู่ไปทางด้านหน้า หรือปลายใบ (blade tip) เอียงหน้าตามทิศทางการหมุน มุมออกที่ปลายใบมากกว่า  $90^\circ$  ใบชนิดนี้จะทำเป็นรูปโค้งหน้าจากวัสดุแผ่นเรียกว่า forward curved blades



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนภาพที่ 2.14 แสดง พัดลมชนิด backward และ forward ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.แผ่นกรองอนุภาคขนาดเล็กพิเศษ (ULPA Filter) สำหรับกรองอากาศทั้งด้านบนก่อนอากาศเข้าและก่อนออกจากตัวลามินาร์



ภาพที่ 2.15 แสดง ULPA Filter สำหรับกรองอากาศก่อนป้อนอากาศสู่พื้นที่ทำงาน

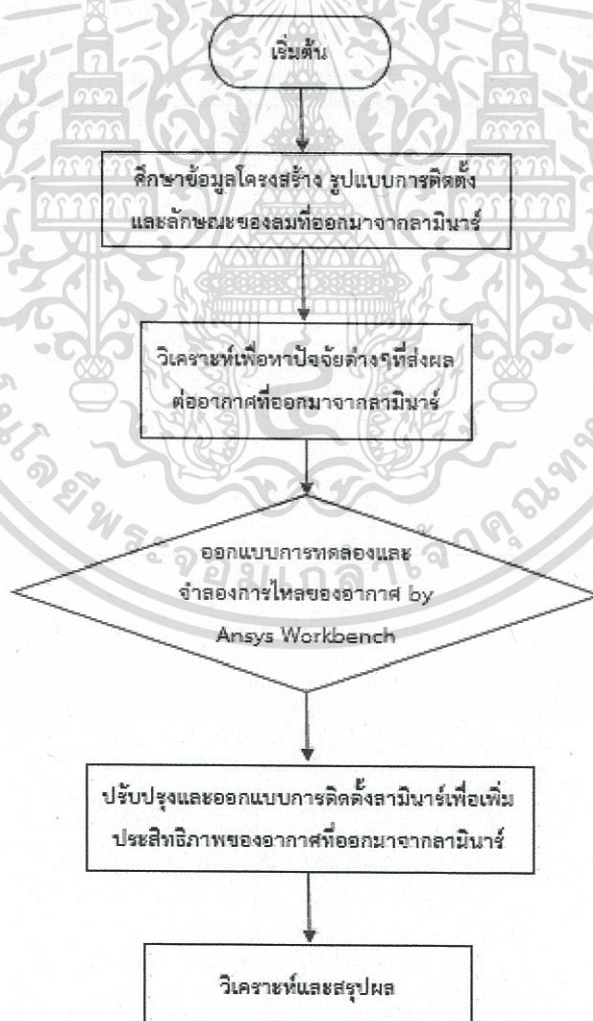


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงาน

ในบทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการดำเนินงาน และกระบวนการออกแบบการทดลอง โดยเริ่มจากขั้นตอนการ ศึกษาโครงสร้าง รูปแบบการติดตั้ง และลักษณะของลมที่ออกมาจากลามินาร์ (Laminar Flow hood) รวมถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อลมที่ออกมาจากลามินาร์ โดยนำปัญหาหรือข้อมูลที่ได้จากการศึกษา มาออกแบบการทดลอง และการจำลองการไหลของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์ (Simulation by Ansys Workbench) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อบอกถึงลักษณะต่างๆที่เกิดขึ้นจากลามินาร์ รวมถึงการพัฒนาให้ลมที่ออกมาจากลามินาร์มีประสิทธิภาพสูงสุด



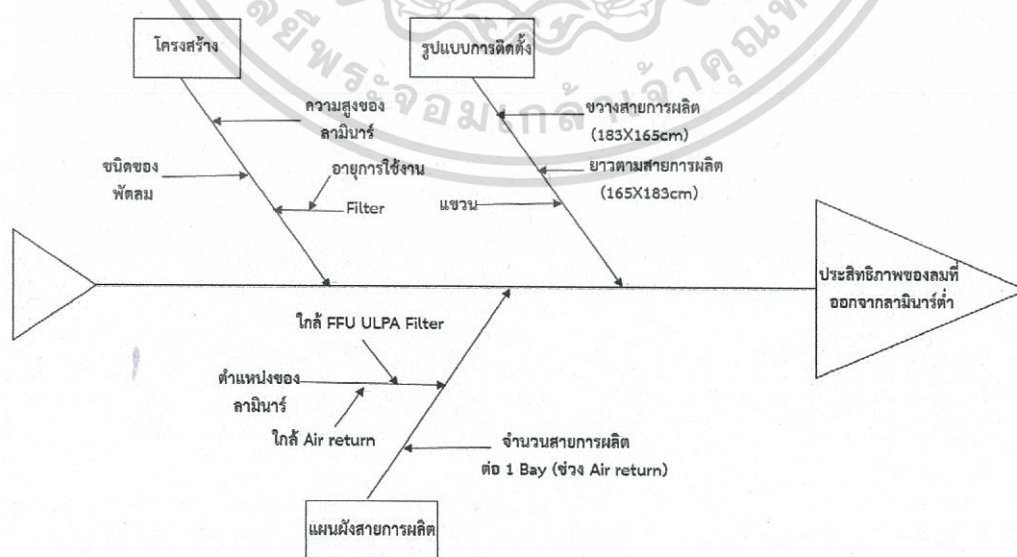
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ภาพที่ 3:1** แสดง แผนผังการดำเนินงาน ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 ขั้นตอนการเลือกปัญหา

ในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้ความสำคัญต่อการควบคุมสิ่งปนเปื้อนเนื่องจากชิ้นส่วนต่างๆที่นำมาผลิตและประกอบมีขนาดเล็กและไวต่อความเสียหายดังนั้นการควบคุมสิ่งปนเปื้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญตั้งแต่กระบวนการผลิตเริ่มต้นจนถึงกระบวนการผลิตการสุดท้าย การผลิตทุกกระบวนการจึงต้องทำภายในห้องสะอาด Class 1000 และภายในตู้ลามินาร์ (Laminar flow hood) เพื่อให้ลมที่ออกจากจากลาร์มินาเป็นตัวช่วยในการพัดพาสิ่งปนเปื้อนออกจากสายการผลิต ทำให้อากาศบริเวณที่ทำงานมีความสะอาดอยู่ในระดับ Class 100 แต่ในปัจจุบันในสายการผลิตยังพบการปนเปื้อนของจำนวนอนุภาคเกินค่ามาตรฐานอยู่ ทำให้ต้องมีการศึกษาลักษณะการทำงานของลามินาร์ พฤติกรรมของอากาศปริมาณอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะพิจารณาพฤติกรรมของอากาศด้านนอกและด้านในลามินาร์ที่ระดับของการทำงานของ Operator เพื่อนำวิเคราะห์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดการเกิดสิ่งปนเปื้อนในสายการผลิต

### 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ายังคงพบปัญหาการปนเปื้อนของอนุภาคภายในสายการผลิตอยู่ถึงแม้จะมีการติดตั้งลามินาร์แล้วก็ตามดังนั้นการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจึงมุ่งเน้นไปยังสาเหตุที่อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของลามินาร์ต่ำลงซึ่งผลต่อการพัดพาอนุภาคออกจากสายการผลิตดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดง แผนภูมิผังปลาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลให้อากาศจากลามินาร์มีประสิทธิภาพต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

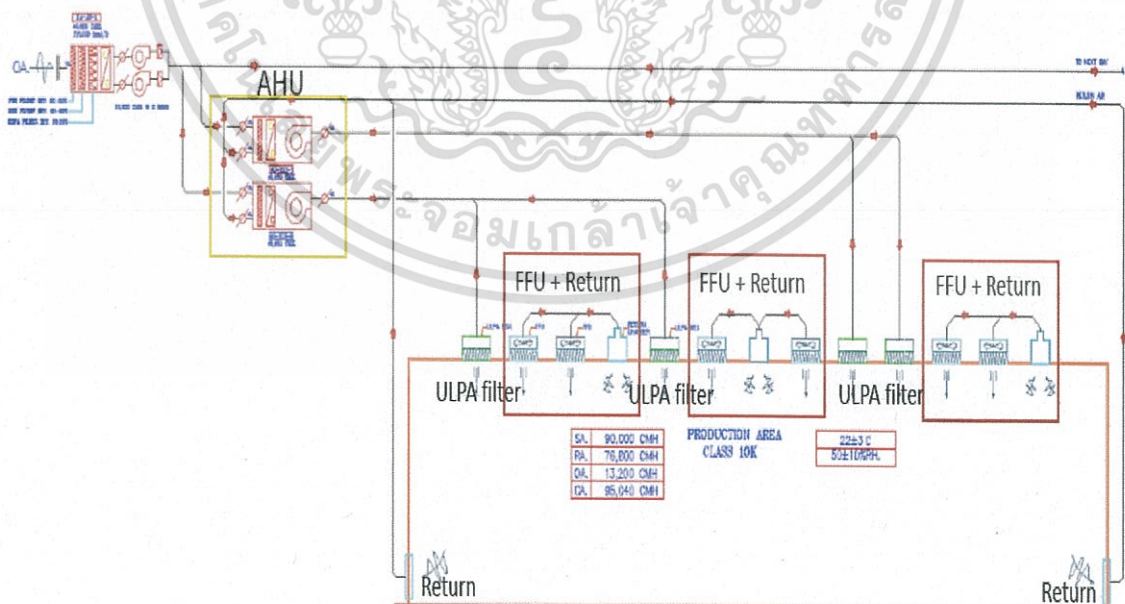
### 3.3 ขั้นตอนศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูล

#### 3.3.1 ระบบห้องสะอาด

จากการเก็บข้อมูลระบบห้องสะอาดของโรงงานผลิตเทพารักษ์และโคราชภายในมีองค์ประกอบและระบบหมุนเวียนอากาศแตกต่างกันแสดงข้อมูลดังตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.3 และ 3.4

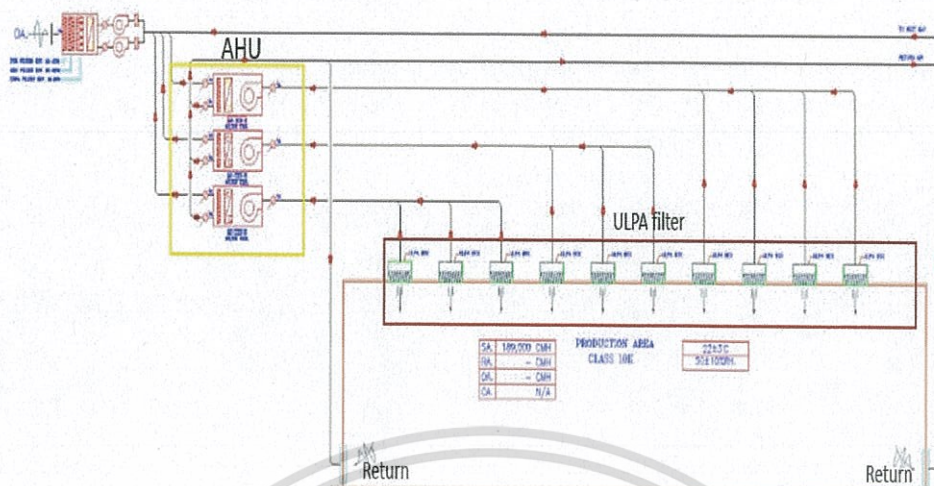
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลระบบหมุนเวียนอากาศห้องสะอาด โรงงานผลิตเทพารักษ์และโคราช

เทพารักษ์		โคราช	
องค์ประกอบ	ข้อมูล	องค์ประกอบ	ข้อมูล
- AHU	- Air Change 30 from AHU + 30 from FFU times/hour	- AHU	- Air Change 60 from AHU times/hour
- FFU		- ULPA filter	
- ULPA filter		- Return on ceiling	
- Return on ceiling	- 2 AHU @ 45,000 CMH each	- Return	- 3 AHU @ 63,000 CMH each.
- Return	- 85 ULPA filter per Bays + 72 FFU		- 180 ULPA filters per Bays



ภาพที่ 3.3 แสดง แผนผังองค์ประกอบระบบห้องสะอาด โรงงานผลิตเทพารักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



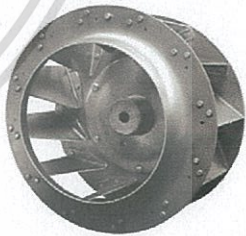


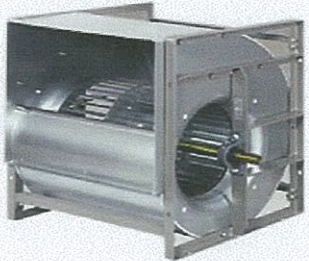


ภาพที่ 3.4 แสดง แผนผังองค์ประกอบระบบห้องสะอาด โรงงานผลิตโคราช

### 3.3.2 รูปแบบ ลักษณะการติดตั้ง และชนิดของพัดลม

จากการศึกษาและรวบรวมรูปแบบลักษณะการติดตั้งลามินาร์และชนิดของพัดลมที่พบในสายการผลิตมีดังนี้ แสดงดังตารางที่ 3.2

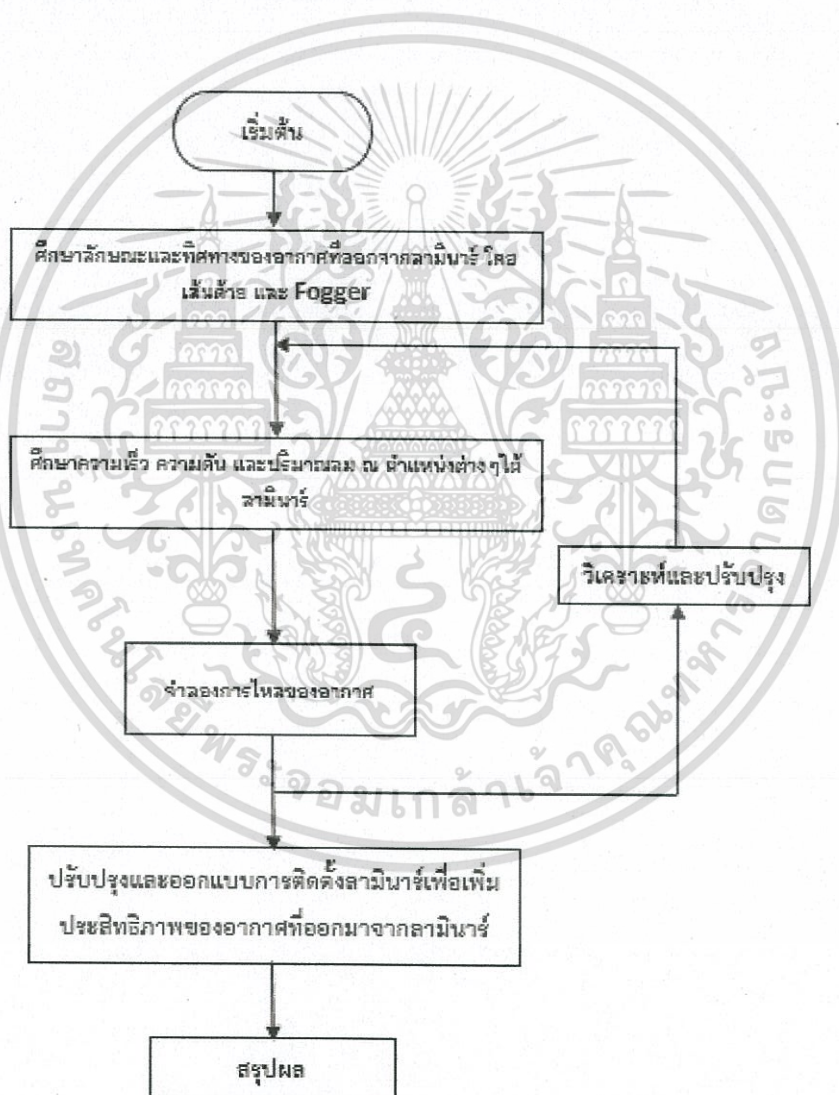
ตารางที่ 3.2 แสดงรูปแบบลักษณะการติดตั้งและชนิดพัดลมของลามินาร์ในสายการผลิต

รูปแบบ	ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดพัดลม
1. แบบมีขาตั้ง 	1. แบบขวางสายการผลิต (183X165cm) 	1. Backward type 
2. แบบแขวน 	2. แบบยาวตามสายการผลิต (165X183cm) 	2. Forward type 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเริ่มจากการศึกษาลักษณะพฤติกรรมของอากาศที่เกิดขึ้นภายใต้ลามินาร์ด้วยการใช้ เส้นด้ายและ Fogger จากนั้นทำการศึกษาความเร็วและปริมาณของอากาศ ทำการจำลองการไหลของอากาศเพื่อนำผลจากการจำลองและผลจากการศึกษาความเร็วนำมาวิเคราะห์ถึงความสอดคล้องและความถูกต้องที่เกิดขึ้นและทำการปรับปรุงผลการจำลองให้มีความสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง จากนั้นทำการออกแบบการปรับปรุงการติดตั้งลามินาร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์



ภาพที่ 3.5 แสดง แผนผังการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะและทิศทางของอากาศที่ออกจากลามินาร์

1. ทดสอบด้วยการติดเส้นด้ายเพื่อแสดงลักษณะและทิศทางของอากาศด้านนอกที่ออกจากลามินาร์ โดยติดบริเวณขอบด้านนอกของลามินาร์ 3 จุด ต่อลามินาร์ 1 ตัว 1 ด้าน (1 ตัว มีด้านซ้ายและขวา) เพื่อ พิจารณาถึงกลุ่มอากาศที่เกิดขึ้นว่าเป็นลักษณะใด แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.6 แสดง การติดเส้นด้ายเพื่อสังเกตลักษณะของอากาศด้านนอกที่ออกจากลามินาร์

2. ทดสอบด้วยการใช้ Fogger เพื่อสังเกตพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

- บริเวณขอบด้านนอกของลามินาร์
- บริเวณด้านในตรงกลางลามินาร์
- บริเวณตรงกลางใกล้โต๊ะทำงาน ที่ระดับ 6, 12, 24 และ 36 นิ้วจาก filter



ภาพที่ 3.7 แสดง การใช้ Fogger เพื่อสังเกตพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์

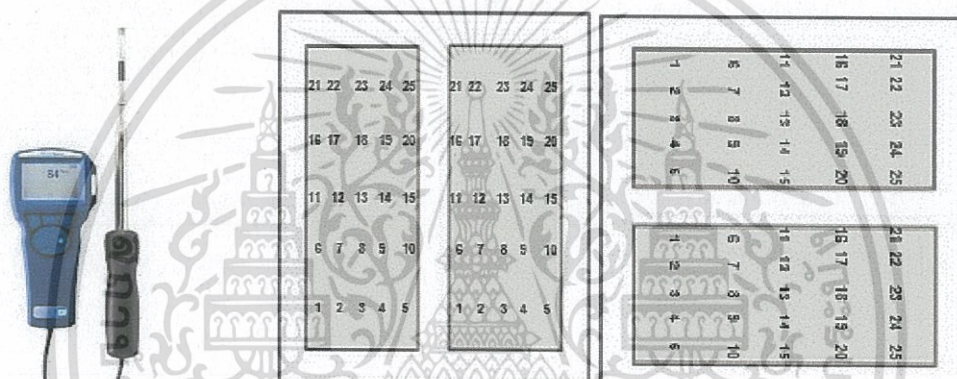
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิเคราะห์ลักษณะและทิศทางของอากาศด้านในและด้านนอกลามินาร์ รวมถึงสังเกตปัจจัยรอบข้างลามินาร์ที่ส่งผลต่ออากาศที่ออกมาจากลาร์มินา

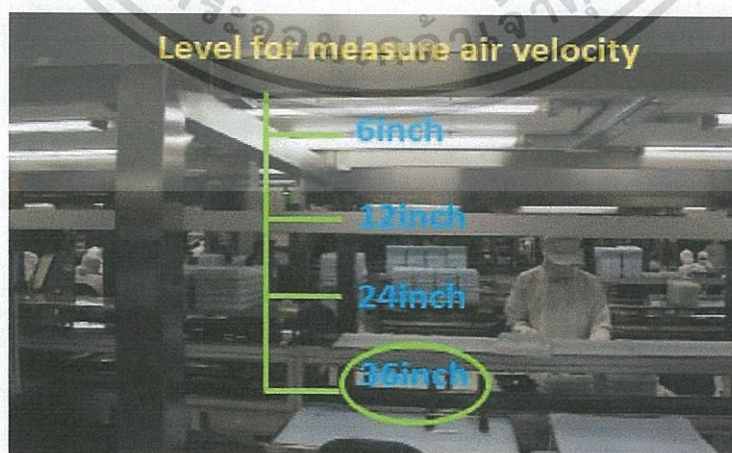
#### 4. สรุปผลการทดลอง

3.4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาความเร็ว ความดัน และปริมาณอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆใต้ลามินาร์ทั้งแบบการติดตั้งแบบขวางและยาวรวมถึงความสูงที่แตกต่างกัน

1. วัดความเร็วลม 25 จุด ทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของลามินาร์แบบขวางและแบบยาว ทั้งหมด 4 ระดับ คือ 6, 12, 24 และ 36 นิ้ว จากหน้า filter ลงมา



ภาพที่ 3.8 แสดง Air flow meter สำหรับวัดความเร็ว และ แผนผังตำแหน่งการวัดความเร็วอากาศแบบขวางและยาว



ภาพที่ 3.9 แสดง ระดับการวัดความเร็วอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เก็บข้อมูลความดันภายใน Chamber จากการอ่านค่าเกจวัดความดัน



ภาพที่ 3.10 แสดง เกจวัดความดันแสดงความดันภายใน Chamber

3. นำความเร็วลมมาคำนวณกลับเป็นปริมาณลม จากสมการการไหล  $Q = Av$

4. วิเคราะห์ปริมาณลม ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตำแหน่ง 36 นิ้ว เนื่องจากเป็นตำแหน่งของโต๊ะทำงานซึ่งมีการทำงานของ Operator อยู่ และเปรียบเทียบความเร็วลมหรือปริมาณลมจากลามินาร์ที่มีการติดตั้งแบบขวางและยาวตามสายการผลิต

5. สรุปผลการทดลอง

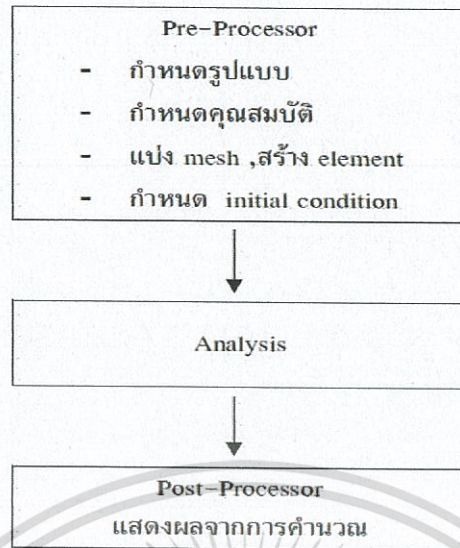
#### 3.4.3 การทดลองที่ 3 จำลองการไหลของอากาศ

1. จำลองการไหลของอากาศในระบบหมุนเวียนของห้องสะอาดเพื่อนำผลมาวิเคราะห์พฤติกรรมของลมจากการสังเกตการติดเส้นด้ายและการใช้ Fogger

2. จำลองการไหลของอากาศที่ออกมาจากลาร์มินาในแบบการติดตั้งขวางและยาวรวมถึงความสูงที่แตกต่างกันเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับปริมาณลมหรือความเร็วลมที่วัดจากของจริง

3. จำลองการไหลของอากาศที่ออกมาจากลาร์มินาที่มีพัดลมชนิด backward เพื่อดูพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลเข้า Chamber และเปรียบเทียบปริมาณลมหรือความเร็วลมที่ได้จากการจำลองกับค่าที่วัดได้จริง ณ ตำแหน่งและระดับต่างๆ

4. เปรียบเทียบผลการจำลองและค่าที่วัดได้จริง



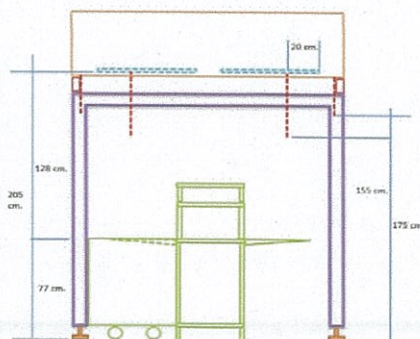
ภาพที่ 3.11 แสดง ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยโปรแกรม ANSYS

### 3.5 ขั้นตอนการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง การเพิ่มปริมาณอากาศที่ออกมาจากลามินาร์เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากการวัดความเร็วอากาศ ณ ตำแหน่งใกล้เคียงทำงานยังพบว่าปริมาณอากาศที่น้อยอยู่อาจไม่เพียงพอต่อการพัดพาสิ่งปนเปื้อนออกจากสายการผลิตจึงได้มีอาคารออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเพื่อบังคับทิศทางอากาศให้มาถึงบริเวณโต๊ะทำงานมากยิ่งขึ้น โดยมีกระบวนการออกแบบและปรับปรุงดังนี้

1. ทำการจำลองการไหลของอากาศด้วยการออกแบบม่านกันอากาศเพิ่มไปในแบบจำลอง เพื่อเพิ่มปริมาณของอากาศ ณ ตำแหน่ง โต๊ะทำงาน โดยทำการออกแบบในหลายรูปแบบ และทำการเปรียบเทียบหาแบบจำลองที่ให้ปริมาณอากาศมากที่สุด

2. ติดตั้งม่านกันอากาศจริงตามผลของการจำลอง แสดงดังภาพที่ 3.11 และ 3.12

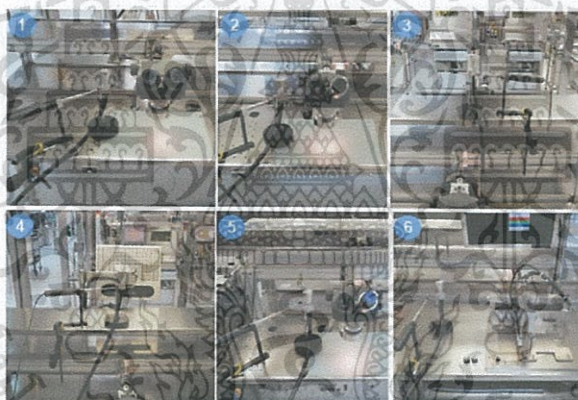


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 แสดง ลามินาร์ที่ติดตั้งม่านกันอากาศ

2. วัดความเร็วอากาศและจำนวนอนุภาค บริเวณ ไกล่โต๊ะทำงานทั้งหมด 6 จุด ดังนี้ ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้ง



ภาพที่ 3.14 แสดง ตำแหน่งการวัดความเร็วอากาศ

3. เปรียบเทียบความเร็วและจำนวนอนุภาคก่อนและหลังติดตั้ง
4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4


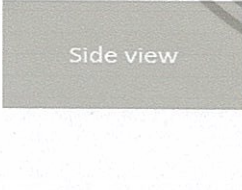

### ผลการศึกษา

#### 4.1 ผลการทดลอง

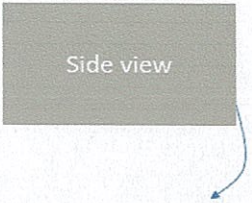
##### 4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะและทิศทางอากาศที่ออกจากลามินาร์โดยการติดเส้นด้าย

ผลการติดเส้นด้ายด้านนอกลามินาร์จากการเก็บตัวอย่างลามินาร์ทั้งสองโรงงานผลิตสามารถแบ่งประเภทของกลุ่มอากาศที่ออกจากลามินาร์ได้ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลจากทั้งหมดจากการติดเส้นด้าย

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการแบ่งกลุ่มลมจากการติดเส้นด้าย

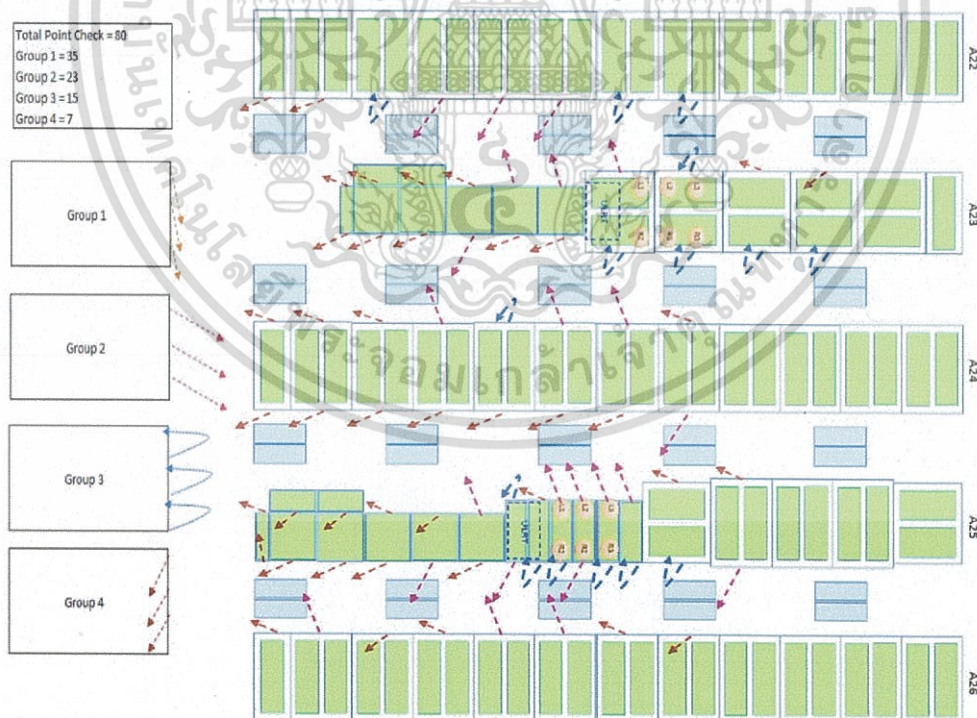
กลุ่มอากาศ	ลักษณะการเคลื่อนที่และทิศทางของอากาศ
กลุ่มที่ 1 	ลมพัดในลักษณะเบา - มีการเคลื่อนไหวของเส้นด้ายเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าอากาศที่ออกจากลามินาร์มีการเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งแต่อากาศมีการเคลื่อนที่ออกจากสายการผลิตเพียงเล็กน้อย
กลุ่มที่ 2 	ลมพัดในลักษณะกลาง - มีการเคลื่อนไหวเส้นด้ายออกในระดับกลาง ปลายเส้นด้ายมีลักษณะพัดขึ้นด้านบนอย่างช้าๆ แสดงให้เห็นว่าลักษณะของอากาศเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งจนถึง ระดับหนึ่ง ก่อนเคลื่อนที่ออกจากสายการผลิต
กลุ่มที่ 3 	ลมพัดในลักษณะแรง (Turbulence) - เส้นด้ายม้วนขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าอากาศเคลื่อนที่ออกจากลามินาร์ในระยะสั้นๆ แล้วเคลื่อนที่ออกอย่างรวดเร็ว และมีการหมุนวนของอากาศด้านนอกลามินาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>กลุ่มที่4</p> 	<p>ลมพัดเข้าสายการผลิต</p> <p>-เส้นด้ายเคลื่อนที่เข้ามาในสายผลิต แสดงให้เห็นว่า อากาศด้านนอกลามินาร์สามารถพัดเข้ามาในสายการผลิตได้</p>
--	--

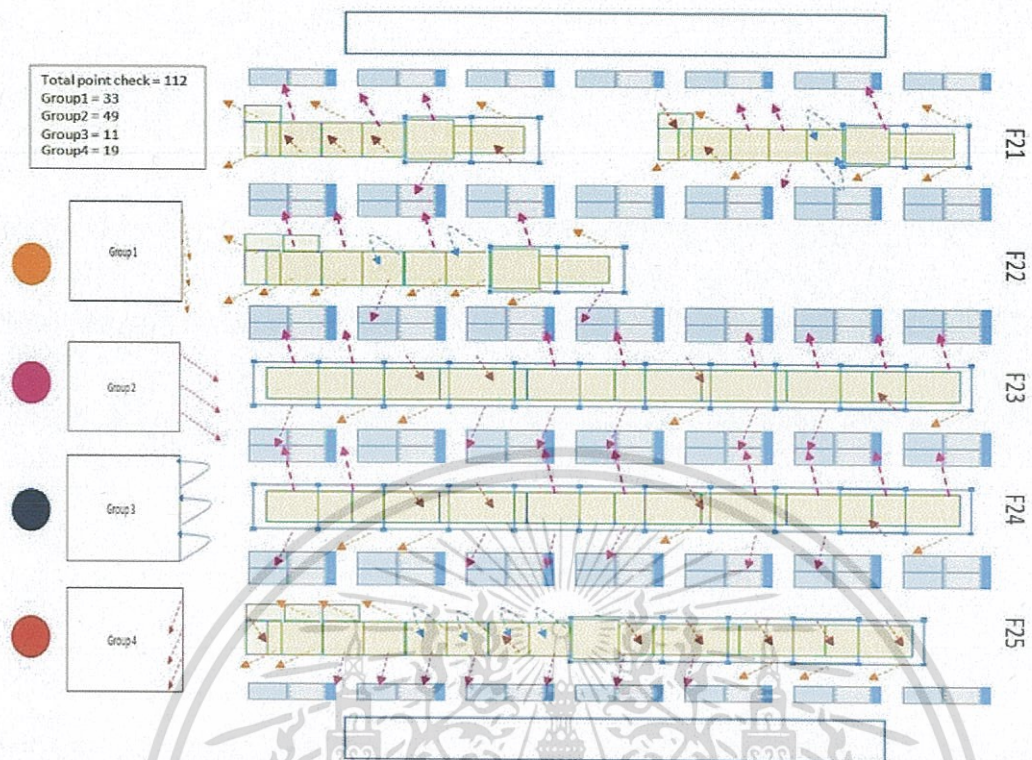
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลทั้งหมดจากการติดเส้นด้าย

กลุ่มลม	เทพารักษ์		โคราช	
	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
1	35	43.75%	33	29.46%
2	23	28.75%	49	43.75%
3	15	18.75%	11	9.82%
4	7	9%	19	15.97%
รวม	80	100%	112	100%



ภาพที่ 4.1 แสดงแผนผังตำแหน่งที่ของลามินาร์ที่ติดด้ายของโรงงานผลิตเทพารักษ์ทั้งหมด 80 ผัง และลักษณะกลุ่มอากาศที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



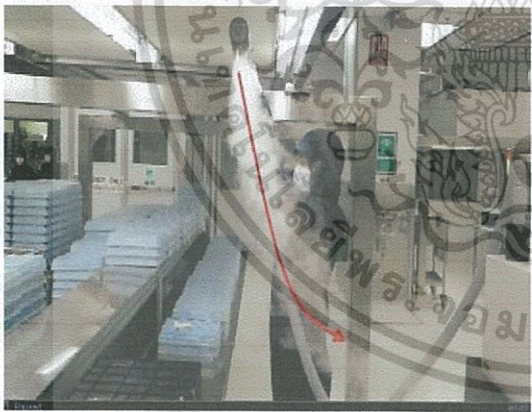



ภาพที่ 4.2 แสดงแผนผังตำแหน่งที่ตั้งของลามินาร์ที่ติดตั้งของโรงงานผลิตโคราชทั้งหมด 112 ผังและลักษณะกลุ่มอากาศที่ได้

จากผลการศึกษาลักษณะและทิศทางอากาศที่ออกจากลามินาร์โดยการติดตั้งพบว่า การเกิดกลุ่มลมที่เป็นลักษณะต่างๆเป็นผลมาจากระบบหมุนเวียนอากาศของห้องสะอาดและตำแหน่งที่ตั้งของลามินาร์ จะเห็นว่าโรงงานผลิตเทพารักษ์ ให้เปอร์เซ็นต์การเกิดกลุ่มลมที่ 3 สูงกว่าโรงงานผลิตโคราช ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบห้องสะอาดของเทพารักษ์ มีทั้ง FFU+ULPA Filter และ Return on ceiling ทำให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศด้านนอกมาก ซึ่งแตกต่างโคราชที่มีเพียง ULPA Filter on ceiling รวมถึง โรงงานผลิตเทพารักษ์มีปริมาณสายการผลิตต่อ 1 Bay มากกว่าที่โคราช การเกิดการปั่นป่วนของอากาศด้านนอกลามินาร์จึงมีมาก

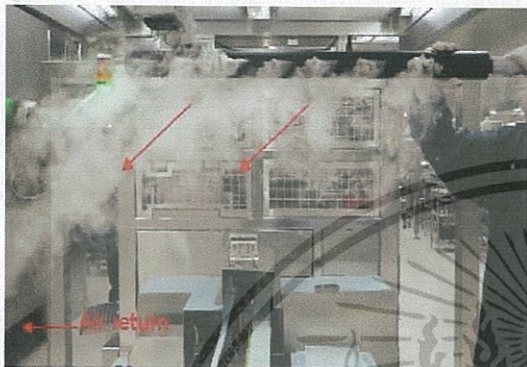
4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะและทิศทางอากาศที่ออกจากลามินาร์โดยใช้ fogger พบพฤติกรรมของอากาศที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 2.3 แสดงพฤติกรรมของอากาศที่ออกจากลามินาร์

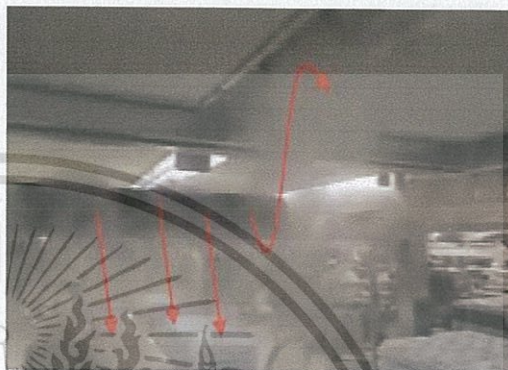
<p>- อากาศมันวาวและเคลื่อนที่ขึ้นข้างบนอย่างรวดเร็ว</p> 	<p>- อากาศมีทิศทางพัดเข้าไปด้านในลามินาร์</p> 
<p>- อากาศมีการเคลื่อนที่ออกจากลามินาร์ในทิศลงและเคลื่อนที่ออกจากสายการผลิต</p> 	<p>- เมื่ออากาศเจอโต๊ะทำงาน อากาศเกิดการเคลื่อนที่ออกจากโต๊ะ</p> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำ Fogger ไปใช้บริเวณ ลามินาร์ที่อยู่ใกล้ Air return แสดงให้เห็นว่า ลมมีทิศพัดไปสู่ Air return อย่างรวดเร็ว



- บริเวณตรงกลางระหว่างฟิวเตอร์อากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนเนื่องจากบริเวณนั้นไม่มีอากาศที่เคลื่อนที่ออกจากฟิวเตอร์ ก่อนม้วนตัวลงเกิดการปั่นป่วนของอากาศบริเวณนั้น ซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางของสายการผลิตที่จะมีโต๊ะเพื่อไว้สำหรับวางชิ้นงาน



จากผลการศึกษาลักษณะและทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่ออกจากลามินาร์โดยใช้ Fogger พฤติกรรมของลมที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากระบบหมุนเวียนอากาศของห้องสะอาดและตำแหน่งที่ตั้งของลามินาร์เช่นเดียวกับผลการติดเส้นด้าย ดังผลตัวอย่างที่ นำ Fogger ไปใช้บริเวณ ลามินาร์ที่อยู่ใกล้ Air return แสดงให้เห็นว่า ลมมีทิศพัดไปสู่ Air return อย่างรวดเร็ว และนอกจากนี้ยังพบ พฤติกรรมของอากาศเมื่อพบสิ่งกีดขวางจะเบนเลี้ยวหนีดังแสดงให้เห็นในการนำ Fogger ไปใช้ด้านในลามินาร์พบว่าลมเมื่อเจอโต๊ะทำงานลมเกิดการเคลื่อนที่ออกจากโต๊ะบริเวณตรงกลาง และยังพบว่าตรงกลางช่องว่างระหว่างฟิวเตอร์เกิดการปั่นป่วนของอากาศมากซึ่งเป็นตำแหน่งของการวางชิ้นงานซึ่งถ้ามีการวางชิ้นงานโดยไม่มีการปิดฝาอาจเกิดการปนเปื้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 ผลการเก็บค่าความดัน

จากการเก็บตัวอย่างความดันของลามินาร์ ทั้งหมด 86 ตัว ความดันแต่ละเครื่องไม่เท่ากัน จะอยู่ในช่วง 0.1-0.8 นิ้วน้ำ (inH<sub>2</sub>O) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ 0.1-1 นิ้วน้ำ (inH<sub>2</sub>O)

#### 4.1.4 ผลการศึกษาความเร็วและปริมาณลม ณ ตำแหน่งต่างๆใต้ลามินาร์

##### 4.1.4.1 ผลการวัดความเร็วลมและปริมาณลมจากลามินาร์ที่มีการติดตั้งแบบยาว

ความเร็วของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์จะค่อยๆลดลงตามระดับของการวัด และพบว่า ลามินาร์แบบยาวของทั้ง 2 โรงงานผลิต ลามินาร์ที่มีความสูงมากกว่าจะให้ปริมาณของอากาศ ณ ระดับ 36 นิ้ว ที่น้อยกว่าลามินาร์ที่มีความสูงน้อยกว่า แสดงดังตารางที่ 4.4 ถึง 4.7

ตารางที่ 4.4แสดงค่าความเร็วลมปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบยาวความสูง190 cm.

Value	Korat LCA Manual Load Unload 25 Points								
	Number of Laminar								
	Level	0558L	0558R	1822L	1822R	0368L	0368R	0040L	0040R
Average Air Velocity (fpm)	6"	85	111	100	93	102	112	94	99
	12"	60	81	72	70	76	82	67	64
	24"	41	56	49	49	52	55	44	43
	36"	26	35	32	33	34	32	26	30
Calculate Volume (CFM) Q=VA	6"	938	1222	1096	1024	1118	1237	1032	1094
	12"	664	895	795	773	833	901	737	701
	24"	455	614	544	535	571	607	481	472
	36"	283	386	347	366	377	355	287	325
Calculate Air flow Remaining	6"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	12"	70.8%	73.2%	72.6%	75.5%	74.5%	72.8%	71.4%	64.0%
	24"	48.5%	50.3%	49.7%	52.3%	51.1%	49.1%	46.6%	43.1%
	36"	30.1%	31.6%	31.7%	35.7%	33.7%	28.7%	27.8%	29.7%

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบยาวความสูง 200 cm.

Value	Korat HSA Manual 25 Points								
	Number of Laminar								
	Level	0022L	0022R	0009L	0009R	0034L	0034R	0011L	0011R
Average Air Velocity (fpm)	6"	102	104	108	112	108	112	114	111
	12"	70	77	72	79	72	79	73	69
	24"	52	51	47	49	47	49	46	39
	36"	31	34	29	28	29	28	25	21
Calculate Volume (CFM) Q=VA	6"	1122	1141	1186	1228	1064	1250	1258	1223
	12"	768	851	787	869	656	846	806	763
	24"	575	565	514	535	394	471	509	429
	36"	336	374	320	307	266	280	278	234
Calculate Air flow Remaining	6"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	12"	68.4%	74.6%	66.4%	70.8%	61.6%	67.7%	64.1%	62.4%
	24"	51.3%	49.5%	43.3%	43.5%	37.0%	37.7%	40.5%	35.0%
	36"	30.0%	32.8%	27.0%	25.0%	24.9%	22.4%	22.1%	19.2%

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบยาวความสูง 185cm.

Value	Teparuk Filter Along with Line A33 25 Points						
	Number of Laminar						
	Level	0082L	0082R	0083L	0083R	1633L	1633R
Average Air Velocity (fpm)	6"	116	118	113	87	111	122
	12"	96	98	95	67	96	108
	24"	71	76	72	50	75	79
	36"	53	62	56	39	56	50
Calculate Volume (CFM) Q=VA	6"	1158	1182	1129	873	1114	1217
	12"	965	981	946	675	958	1086
	24"	708	757	723	503	746	791
	36"	529	619	560	393	559	502
Calculate Air flow Remaining	6"	100%	100%	100.0%	100.0%	100%	100%
	12"	83.3%	83.0%	83.8%	77.3%	86.0%	89.2%
	24"	61.1%	64.1%	64.0%	57.7%	67.0%	65.0%
	36"	45.6%	52.4%	49.6%	45.0%	50.2%	41.2%

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆ ของลามินาร์แบบยาวความสูง 200cm.

Value	Teparuk Filter Along the line at LCA manual 9 Points								
	Number of Laminar								
	Level	C0444L	C0444R	C0450L	C0450R	C0290L	C0290R	C0583L	C0583R
Average Air Velocity (fpm)	6"	89	76	89	76	122	122	122	125
	12"	77	44	77	44	77	71	77	68
	24"	47	34	47	34	54	35	54	35
	36"	38	22	38	22	39	33	39	34
Calculate Volume (CFM) Q=VA	6"	924	858	889	760	1224	1223	1224	1249
	12"	427	477	772	436	766	709	766	683
	24"	346	278	475	341	536	350	536	350
	36"	286	275	381	216	387	330	387	341
Calculate Air flow Remaining	6"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	12"	46%	56%	87%	57%	63%	58%	63%	55%
	24"	37%	32%	53%	45%	44%	29%	44%	28%
	36"	31%	32%	43%	28%	32%	27%	32%	27%

4.1.4.2 ผลการวัดความเร็วลมและปริมาณลมจากลามินาร์ที่มีการติดตั้งแบบขวางและแบบ  
แนว

ความเร็วของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์จะค่อยๆลดลงตามระดับของการวัด และพบว่า ลามินาร์ที่มีความสูงมากกว่าจะให้ปริมาณของอากาศ ณ ระดับ 36 นิ้ว ที่น้อยกว่าลามินาร์ที่มีความสูงน้อยกว่า เช่นเดียวกับการติดตั้งแบบยาว แสดงดังตารางที่ 4.8 ถึง 4.10

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆ ของลามินาร์แบบขวาง

Value	Teparuk Filter Across Line 25 Points						
	Number of Laminar						
	Level	0082L	0082R	0083L	0083R	1633L	1633R
Average Air Velocity (fpm)	6"	103	85	80	97	92	19
	12"	83	63	60	71	70	16
	24"	59	48	45	52	50	8
	36"	40	39	35	38	38	9
Calculate Volume (CFM) Q=VA	6"	1183	983	932	1123	979	1100
	12"	964	732	701	816	745	906
	24"	676	547	508	595	521	723
	36"	456	450	405	443	397	476
Calculate Air flow Remaining	6"	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	12"	81.5%	74.5%	75.2%	72.6%	76.0%	82.4%
	24"	57.1%	55.6%	54.5%	53.0%	53.2%	65.7%
	36"	38.5%	45.8%	43.5%	39.4%	40.6%	43.2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความเร็วลม ปริมาณลม ณ ระดับต่างๆ ของลามินาร์แบบขวาง

Value	Teparuk Filter Across the Line 9 points						
	Number of Laminar						
	Level	C0101L	C0101R	R0379L	R0379R	R0107L	R0107R
Average Air Velocity (fpm)	6"	98	90	92	93	123	120
	12"	84	58	80	71	98	78
	24"	47	45	39	41	65	59
	36"	32	32	31	26	40	40
Calculate Volume (CFM) Q=VA	6"	983	898	1013	1019	1229	1200
	12"	837	580	882	778	982	780
	24"	471	453	426	451	654	587
	36"	318	324	345	285	404	399
Calculate Air flow Remaining	6"	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	12"	85%	65%	87%	76%	80%	65%
	24"	48%	50%	42%	44%	53%	49%
	36"	32%	36%	34%	28%	33%	33%

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความเร็วลมปริมาณลม ณ ระดับต่างๆของลามินาร์แบบแขวน สูง 210 cm.

Value	Teparak Hanging Laminar 25 Points			
	Number of Laminar			
	Level	1660	1666	1670
Average Air Velocity (fpm)	6"	79	81	77
	12"	58	63	50
	24"	46	49	34
	36"	34	35	25
	42"	20	19	17
Calculate Volume (CFM) Q=VA	6"	651	666	628
	12"	479	517	413
	24"	375	401	277
	36"	280	287	204
	42"	168	157	142
Calculate Air flow Remaining	6"	100.0%	100.0%	100.0%
	12"	74.0%	78.0%	66.1%
	24"	58.6%	61.1%	45.2%
	36"	44.7%	44.8%	34.3%
	42"	27.8%	25.6%	24.8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

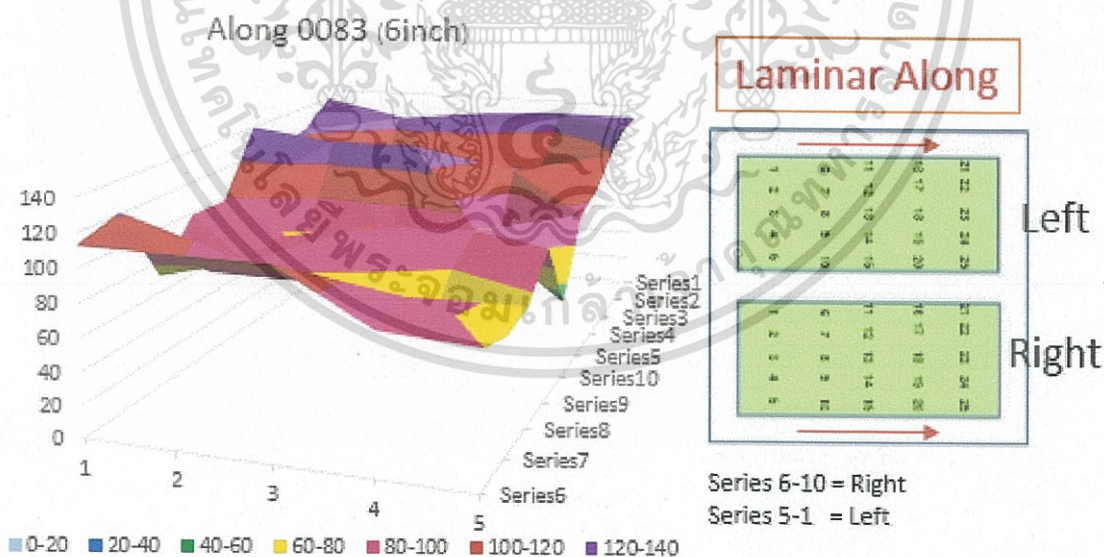
4.1.4.3 ผลการวัดความเร็วลม 25 จุด ทั้งหมด4ระดับ เพื่อดูความเร็วของแต่ละตำแหน่ง ณ ระดับเดียวกัน

จากการวัดความเร็วลม โดยเลือกตัวอย่างลามินาร์หมายเลข 0083 เพื่อดูความเร็วของแต่ละตำแหน่ง ณ ระดับเดียวกัน ความเร็วลมที่ได้แต่ละตำแหน่งไม่เท่ากันไม่ว่าจะเป็นด้านซ้ายหรือด้านขวา และยังพบว่า ณ ตำแหน่งที่ต่ำลงมา ความเร็วลมก็จะลดลงมาเรื่อยๆตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 4.11 ถึง 4.14

1. ณ ระดับ 6 นิ้ว หน่วย ft. /min

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความเร็วลมจากลามินาร์หมายเลข0083 ด้านซ้ายและด้านขวา ณ ระดับ 6 นิ้วจาfilter ลงมา

Left					Right				
121	118	128	131	131	98	72	77	92	51
142	128	124	106	129	99	89	101	82	97
123	77	90	79	119	71	85	71	55	75
120	76	94	113	103	121	91	91	88	72
141	134	135	62	97	113	113	113	83	80



ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟ3มิติความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 6 นิ้ว

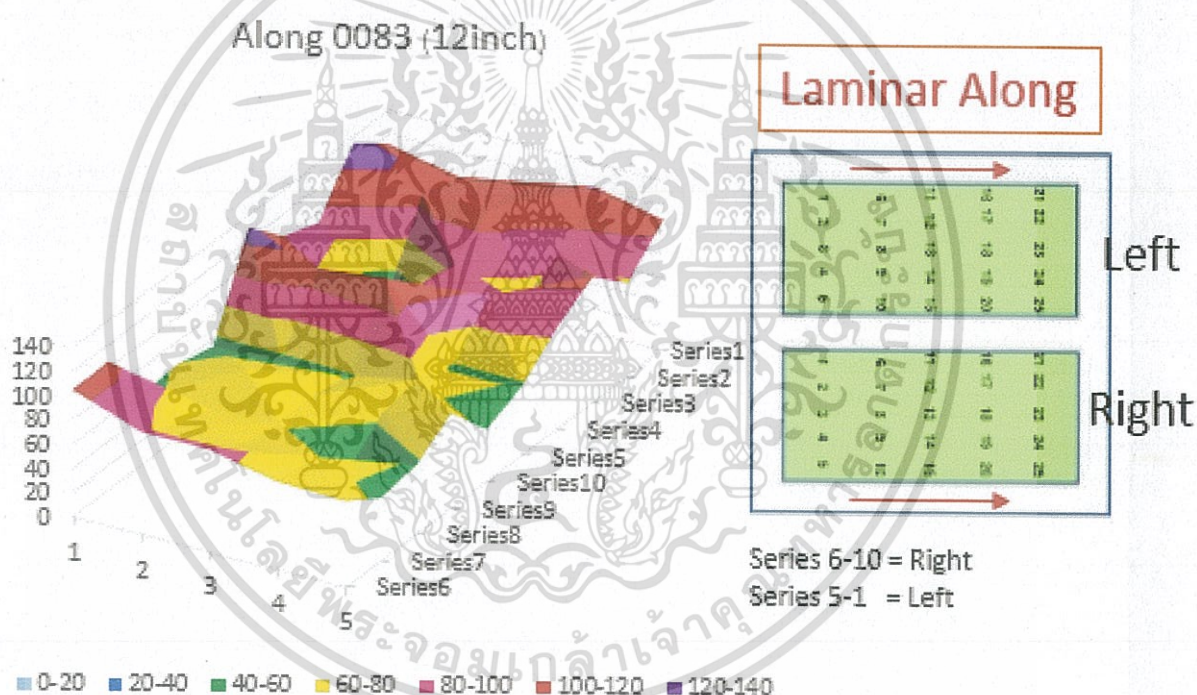
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ณ ระดับ 12 นิ้ว หน่วย ft. /min

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความเร็วลมจากลามินาร์หมายเลข0083 ด้านซ้ายและด้านขวา ณ ระดับ 12 นิ้วจาก filter ลงมา

Left				
112	100	110	121	108
135	107	110	88	78
91	44	85	71	105
101	55	87	96	85
130	111	118	58	58

Right				
53	56	59	70	44
61	71	65	65	79
57	60	63	38	58
106	68	68	72	53
105	85	85	73	72



ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟ 3มิติความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 12 นิ้ว

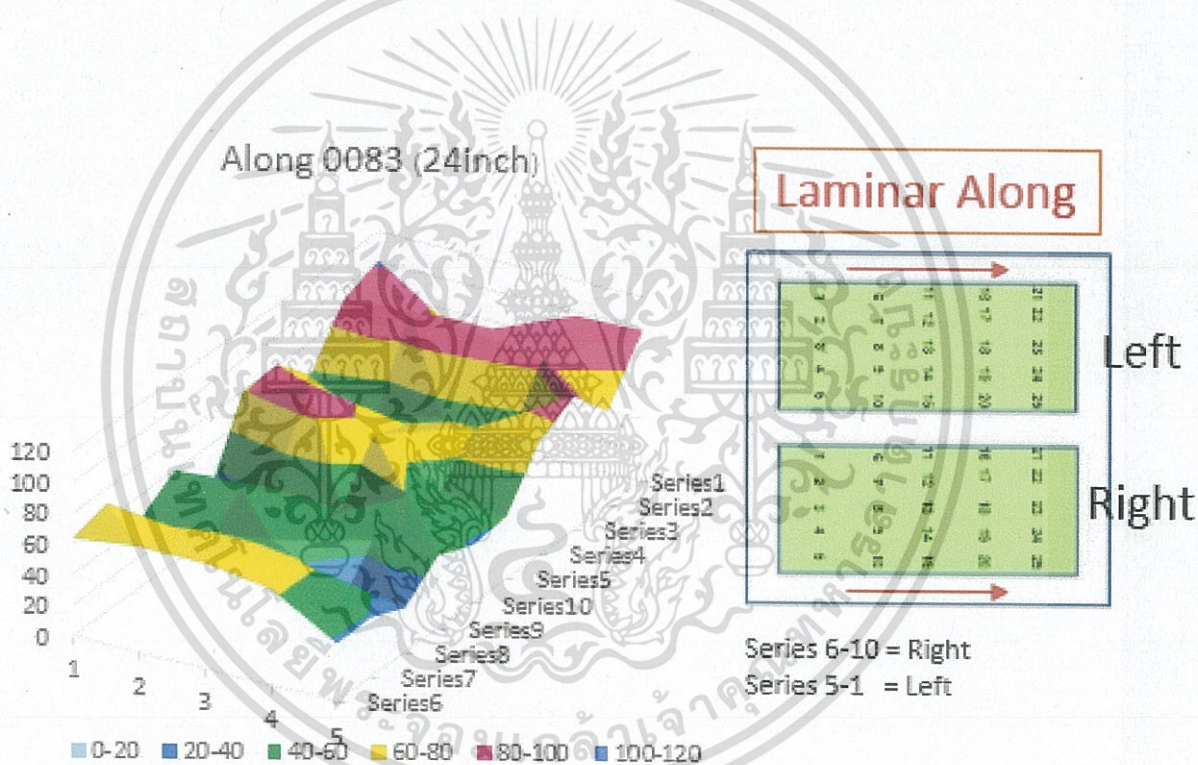
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ณ ระดับ 24 นิ้ว หน่วย ft. /min

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความเร็วลมจากลามินาร์หมายเลข0083 ด้านซ้ายและด้านขวา ณ ระดับ 24 นิ้วจาก filter ลงมา

Left				
101	73	75	97	98
92	96	92	85	62
58	43	52	45	87
81	24	63	72	75
79	95	73	47	41

Right				
28	43	40	59	38
60	59	48	46	48
44	38	52	18	29
70	66	66	63	39
64	69	69	63	38



ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟ3มิติความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 24 นิ้ว

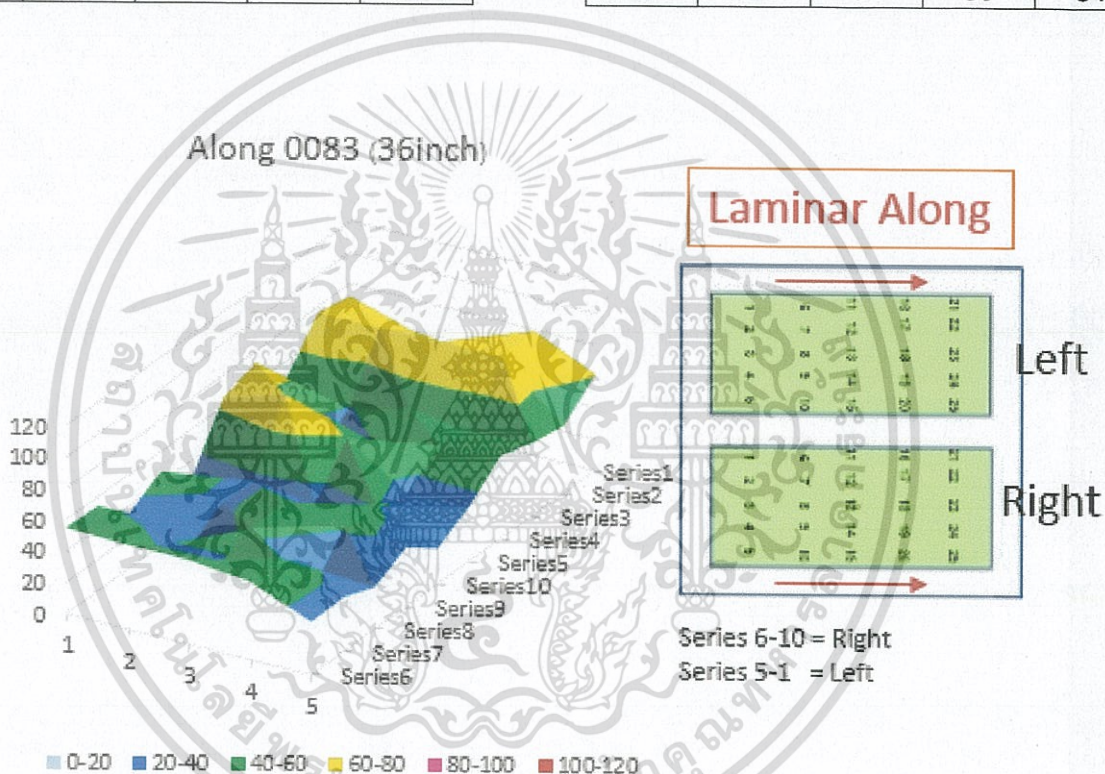
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ณ ระดับ 36 นิ้ว หน่วย ft. /min

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความเร็วลมจากลามินาร์หมายเลข0083 ด้านซ้ายและด้านขวา ณ ระดับ 36 นิ้วจาก filter ลงมา

Left				
72	60	42	79	61
76	76	77	77	43
49	39	49	44	47
73	22	41	50	53
65	77	59	34	35

Right				
29	37	31	41	23
47	37	47	42	38
35	24	45	15	27
54	39	39	50	35
55	54	54	50	34



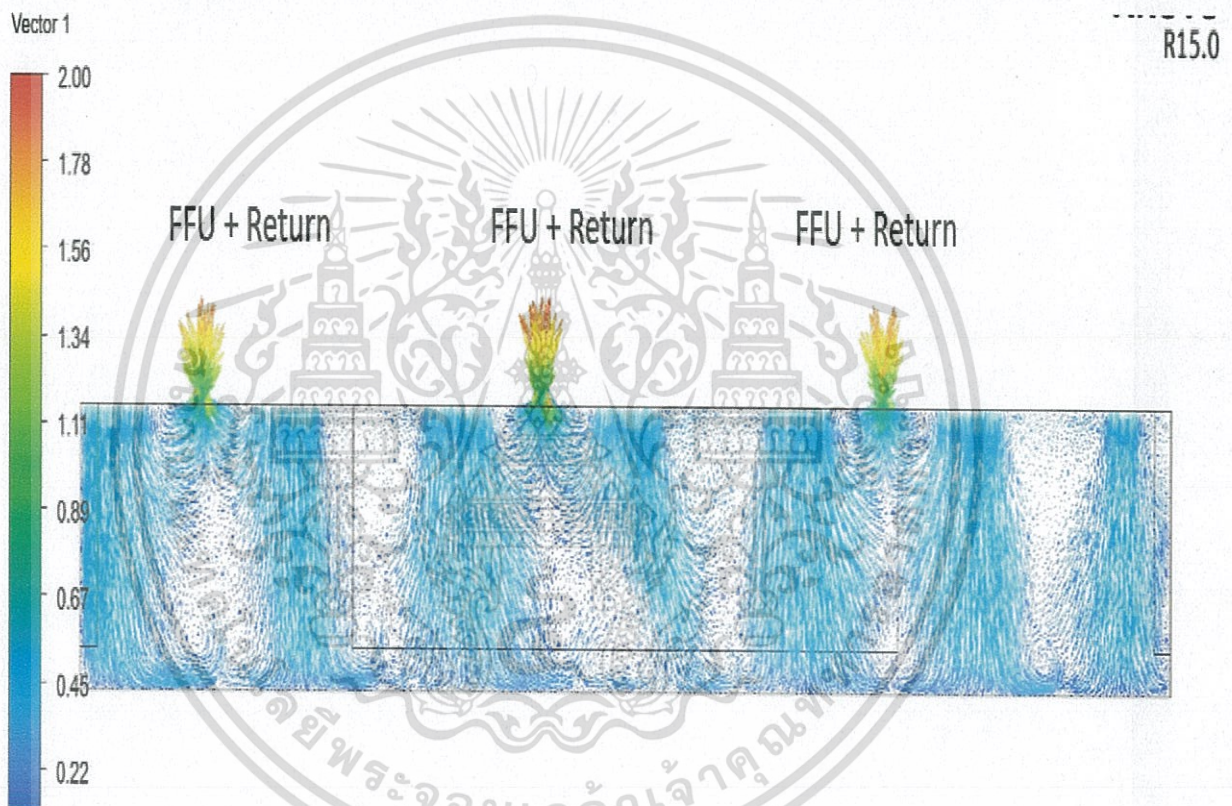
ภาพที่ 4.6แสดงกราฟ3มิติความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 36 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5 ผลการศึกษาการจำลองการไหลของอากาศ

##### 4.1.5.1 ผลการจำลองการไหลอากาศในระบบหมุนเวียนอากาศของห้องสะอาด

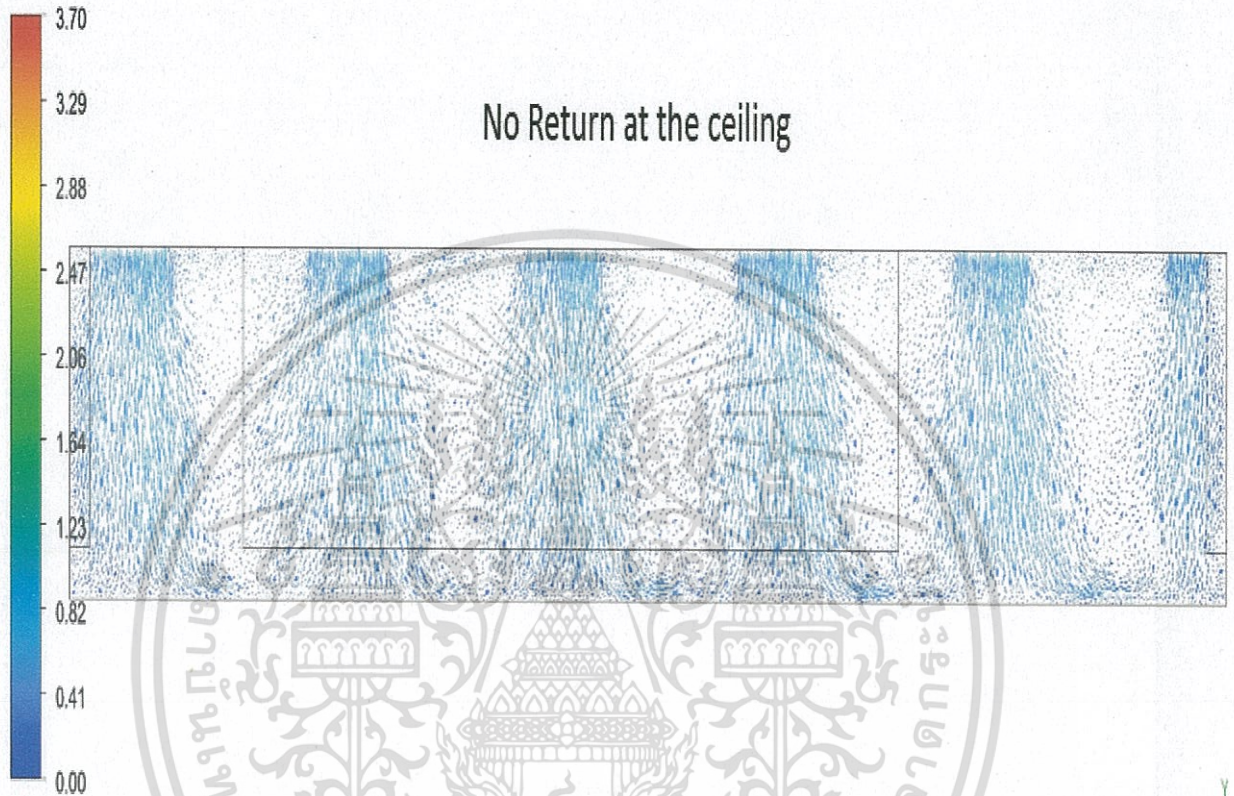
1. ระบบหมุนเวียนอากาศของห้องสะอาดที่มี ULPA filter+ FFU + Return ceiling (Teparak Plant) พบว่าอากาศส่วนใหญ่จาก FFU เคลื่อนที่ไปหา Return ceiling ทำให้อากาศเกิด Turbulence มากแสดงดังภาพที่ 4.1 แสดงภาพตัดขวาง ณ ตำแหน่ง ที่มี FFU + Return



ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะอากาศภายในห้องสะอาด ณ ตำแหน่ง ที่มี FFU + Return

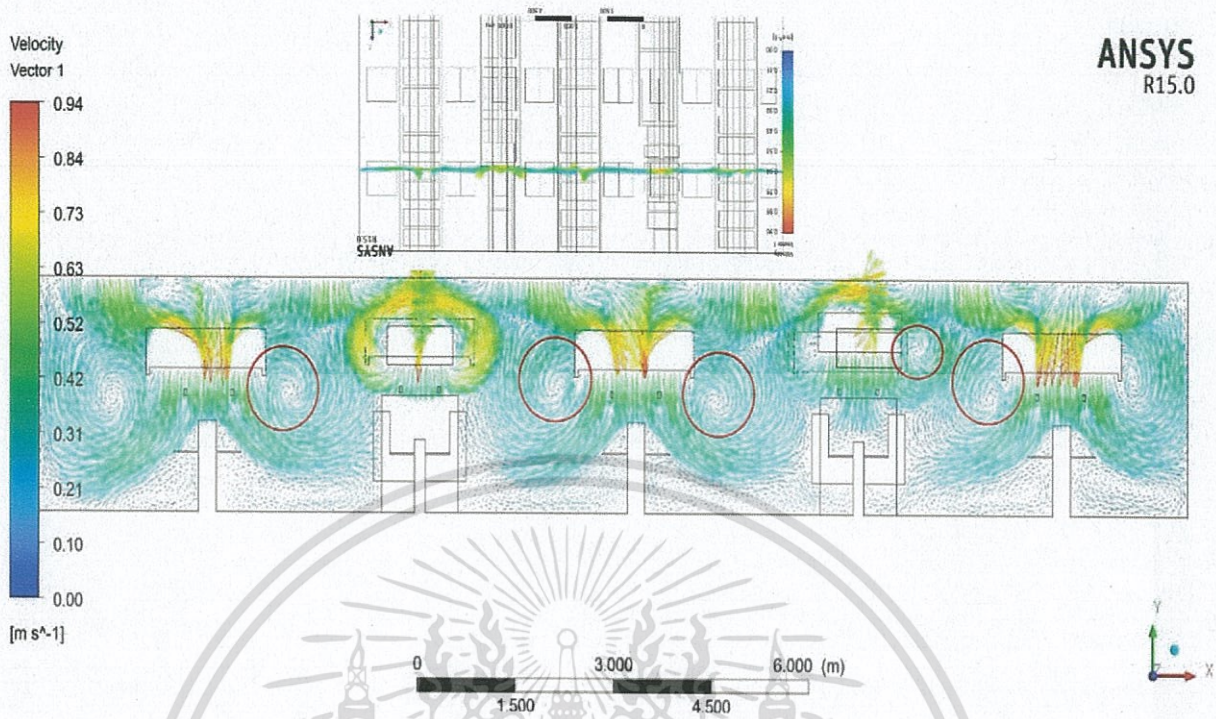
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบหมุนเวียนอากาศของห้องสะอาด ที่มีเพียงULPA filter (Korat Plant) พบว่าอากาศเกิดภาวะ Turbulence น้อยมากแสดงดังภาพที่ 4.2 แสดงภาพตัดขวาง ณ ตำแหน่ง ที่มี ULPA filter

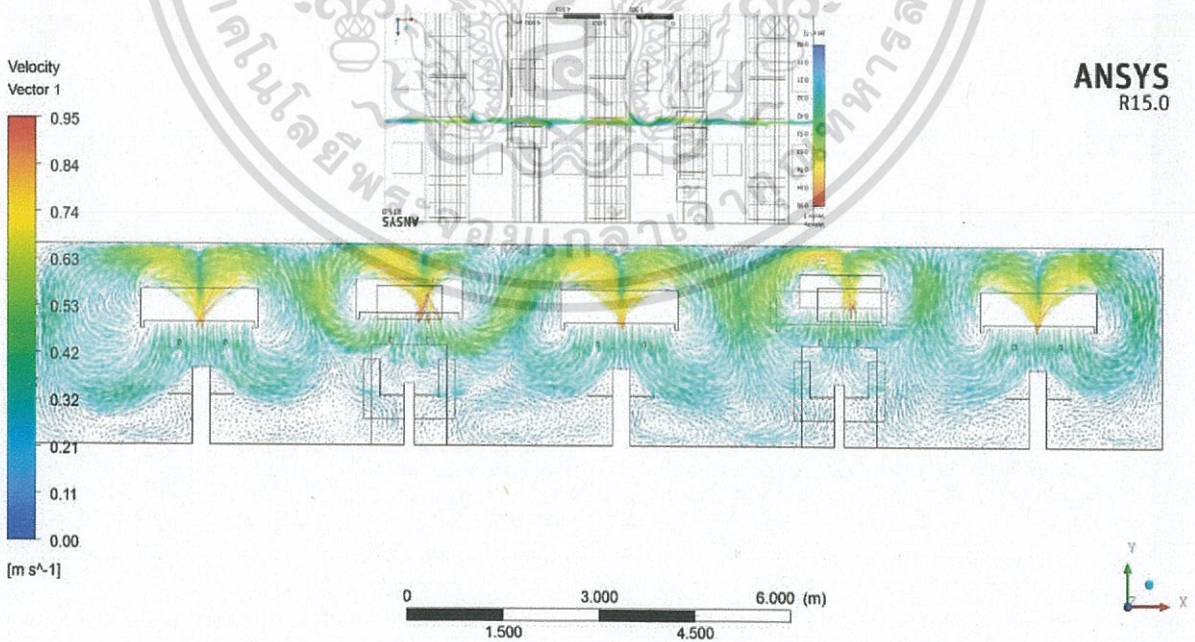


ภาพที่ 4.8 แสดงลักษณะอากาศภายในระบบห้อง cleanroom ณ ตำแหน่ง ที่มีเพียง ULPA filter

3. เปรียบเทียบลักษณะของอากาศด้านนอกถาวรมินา ณ ตำแหน่งของลามินาร์ที่ต่างกัน กล่าวคือลามินาร์ที่อยู่ใกล้ ULPA filter+FFU และ Return ceiling อากาศด้านนอกลามินาร์จะเกิดการTurbulence แสดงดังรูปที่ 4.9 แต่ลามินาร์ ณ ตำแหน่งที่ไกล ULPA filter+FFU และ Return ceiling พบว่าอากาศด้านนอกลามินาร์เกิดการ Turbulence น้อย แสดงดังภาพที่ 4.10



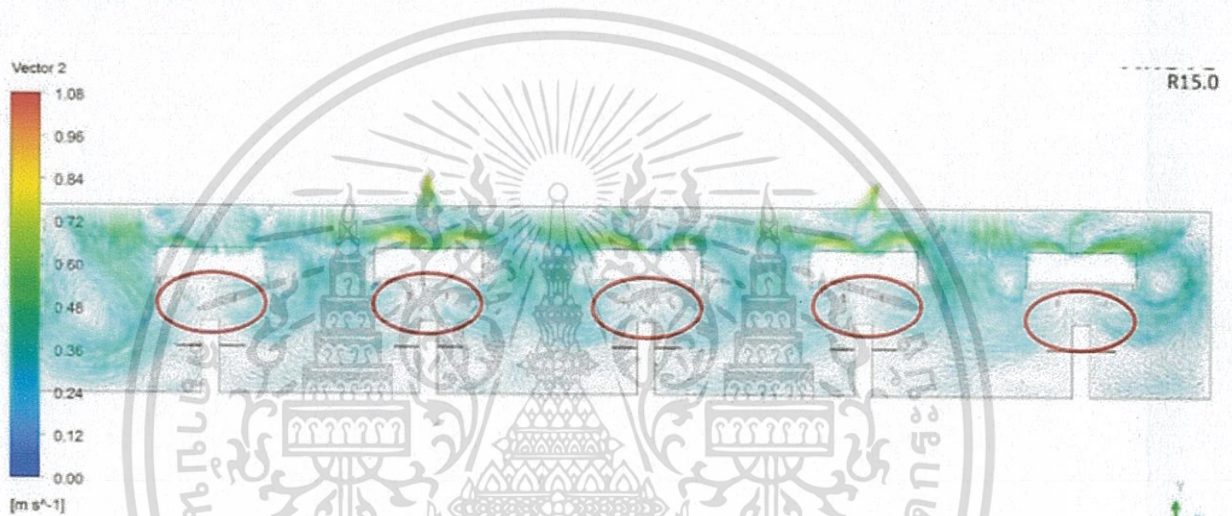
ภาพที่ 4.9 แสดงลักษณะอากาศด้านนอกอาคารมินิรัณ ตำแหน่งที่อยู่ใกล้ ULPA filter + FFU และ Return



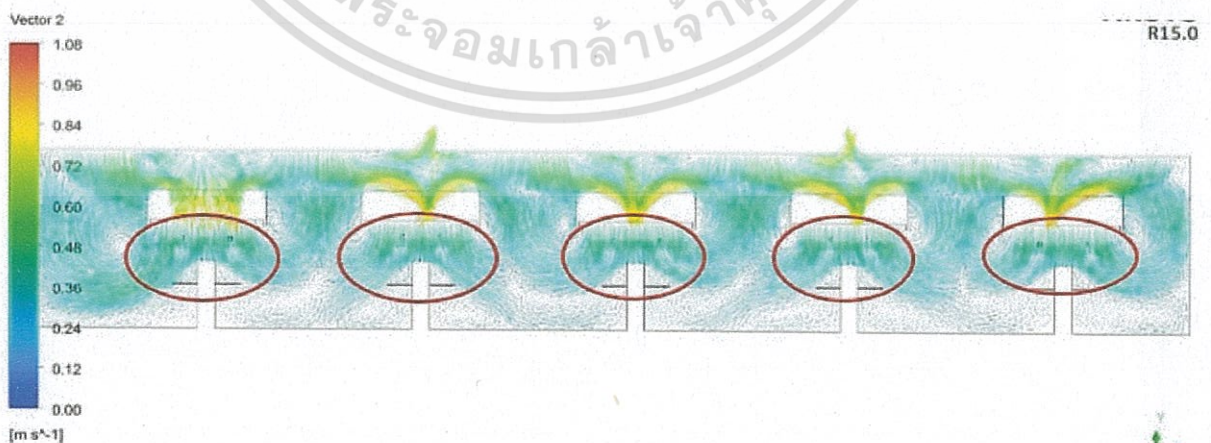
เอกสารภาพที่ 4.10 แสดงลักษณะอากาศด้านนอกอาคารมินิรัณ ตำแหน่งที่ไม่มี ULPA filter FFU และ Return การค้าไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5.2 ผลการจำลองการไหลอากาศเปรียบเทียบลักษณะของลมที่ออกมาจากลามินาร์ที่มีลักษณะการติดตั้งที่แตกต่างกันรวมถึงความสูงที่ต่างกัน

1. ผลการจำลองการไหลของอากาศที่ออกมาจากลามินาร์แบบยาว (165x183cm.) และลามินาร์แบบขวาง (183x165cm.) ที่ความสูงเท่ากัน โดยผลการจำลองจะเห็นได้ว่าเมื่อตัดภาพขวาง ณ ตำแหน่งที่ลามินาร์อยู่ใกล้ ULPA filter FFU และ Return ceiling ลมที่ออกมาจากลามินาร์แบบยาว อากาศเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วไปสู่ return ให้ปริมาณลมที่ลงมาสู่พื้นที่ทำงานน้อยกว่าแบบขวาง แสดง ดังภาพที่ 4.11 และ 4.12



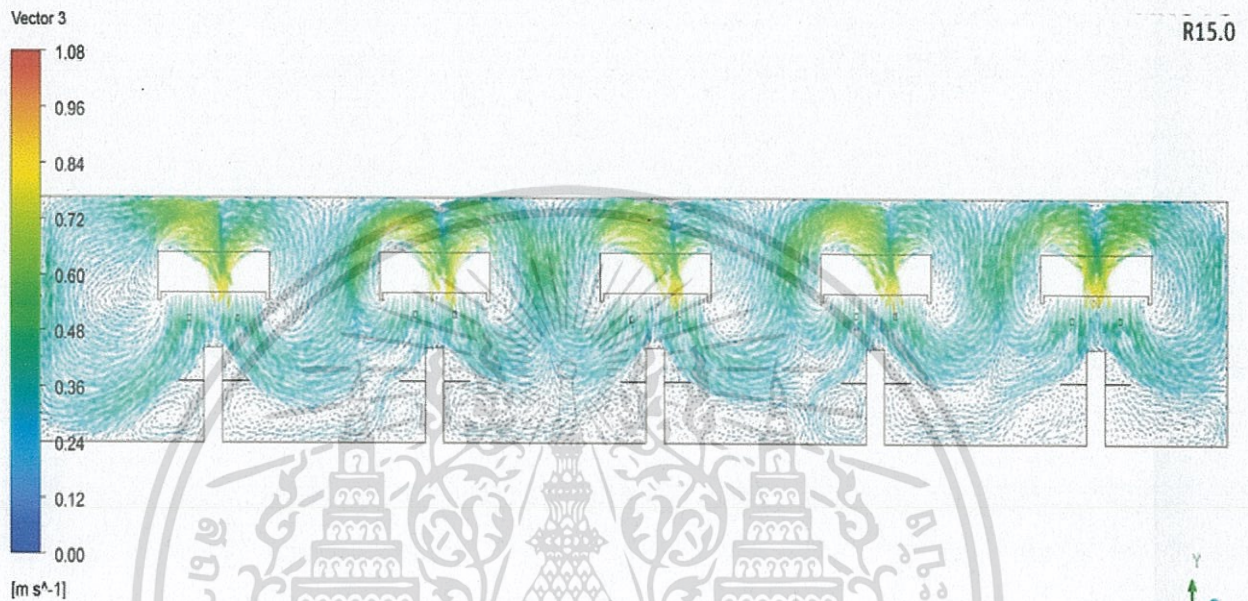
ภาพที่ 4.11 แสดง ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบยาว ณ ตำแหน่งอยู่ใกล้ ULPA filter + FFU และ Return ceiling



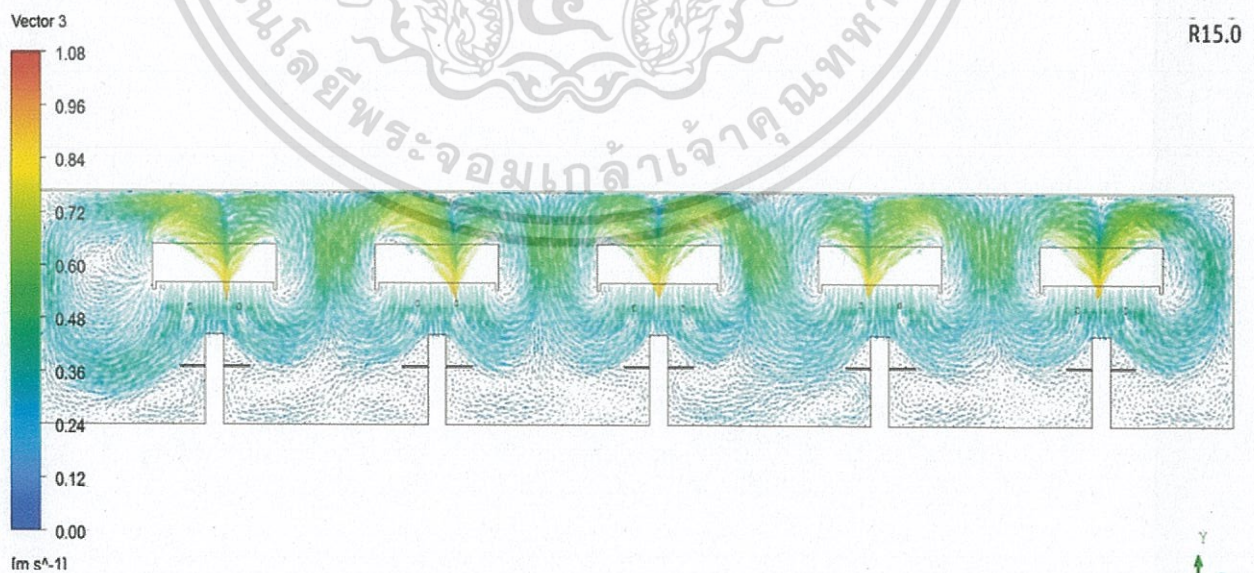
ภาพที่ 4.12 แสดง ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบขวาง ณ ตำแหน่งอยู่ใกล้ ULPA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ filter+ FFU และ Return ceiling อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการจำลองการไหลของอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบยาว (165x183cm.) และลามินาร์แบบขวาง (183x165cm.) ที่ความสูงเท่ากัน โดยผลการจำลองจะเห็นได้ว่าเมื่อตัดภาพขวาง ณ ตำแหน่งที่ลามินาร์ที่ไม่มี ULPA filter + FFU และ Return ceiling ลมที่ไหลออกจากลามินาร์แบบยาว และแบบขวางมีปริมาณ ลมที่ไม่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.13และ4.14



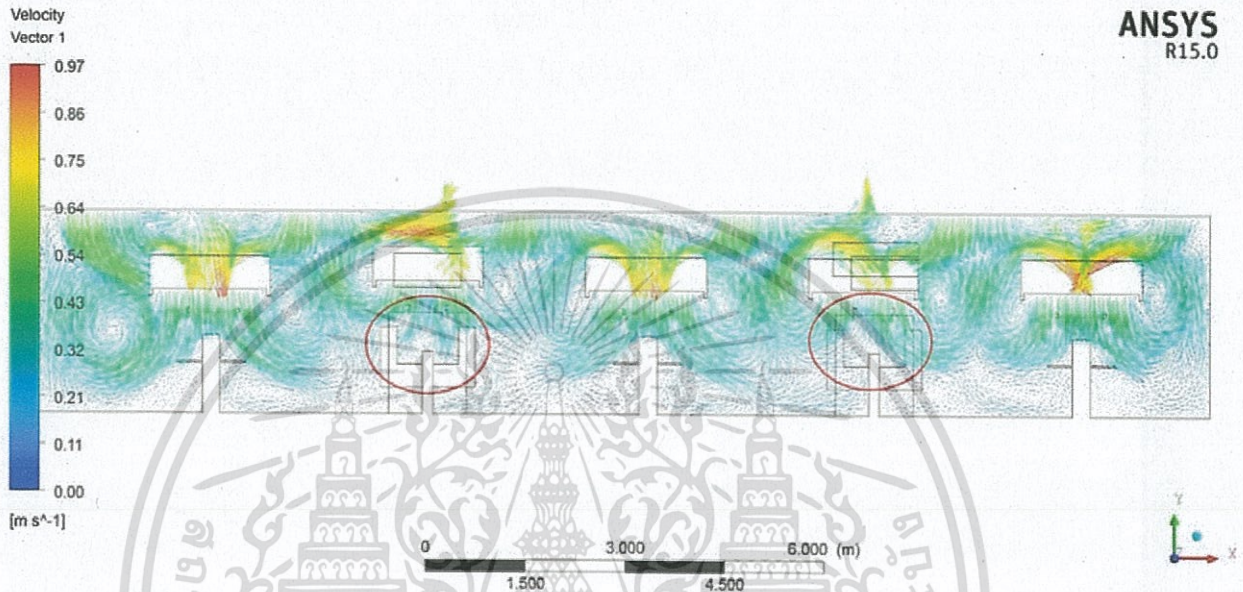
ภาพที่ 4.13 แสดง ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบยาว ณ ตำแหน่งที่ไม่มี ULPA + filter และ Return ceiling



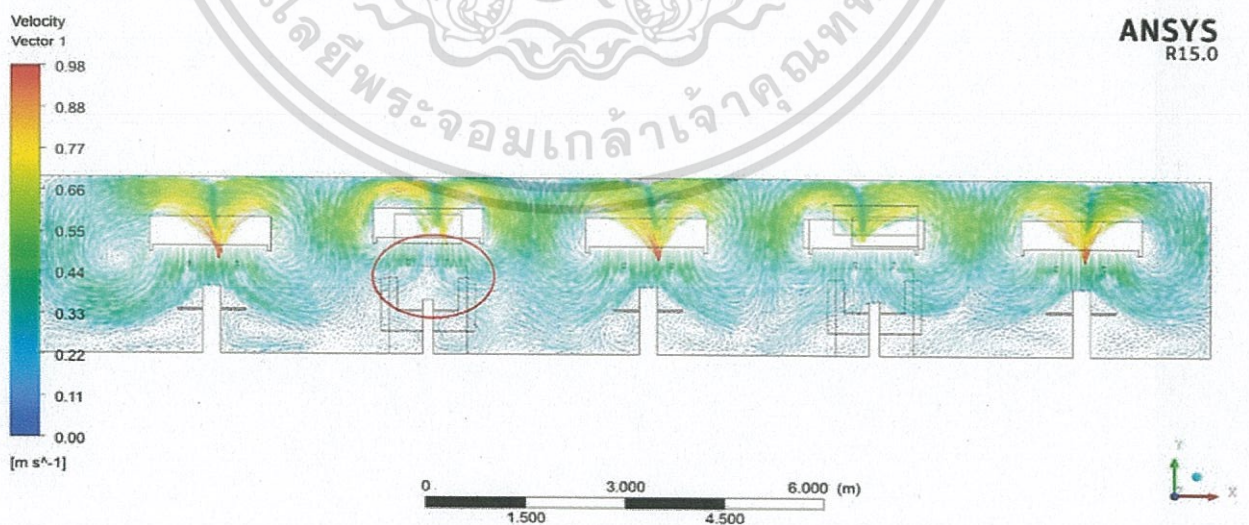
ภาพที่ 4.14 แสดง ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามินาร์แบบขวาง ณ ตำแหน่งที่ไม่มี ULPA filter

และ Return ceiling  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการจำลองการไหลของอากาศที่ไหลออกจากลามิเนาร์ที่มีความสูงไม่เท่ากัน จะเห็นว่าลามิเนาร์ที่มีความสูงมากกว่าให้ปริมาณลม ณ ตำแหน่งโต๊ะทำงานน้อย ไม่ว่าจะอยู่ตำแหน่งใกล้ ULPA filter+ FFU และ Return ceiling หรือไม่ แสดงดังภาพที่ 4.15 และ 4.16



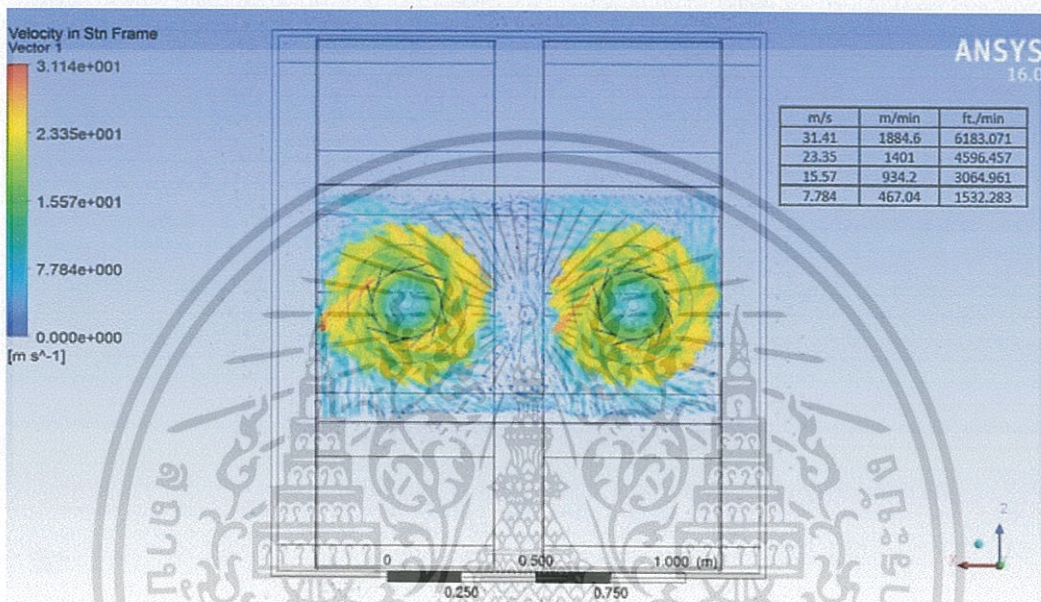
ภาพที่ 4.15 แสดง ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามิเนาร์ที่มีความสูงไม่เท่ากัน ณ ตำแหน่งใกล้ ULPA filter + FFU และ Return ceiling



ภาพที่ 4.16 แสดง ลักษณะอากาศที่ไหลออกจากลามิเนาร์ที่มีความสูงไม่เท่ากัน ณ ตำแหน่งที่ไม่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ULPA filter + FFU และ Return ceiling ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

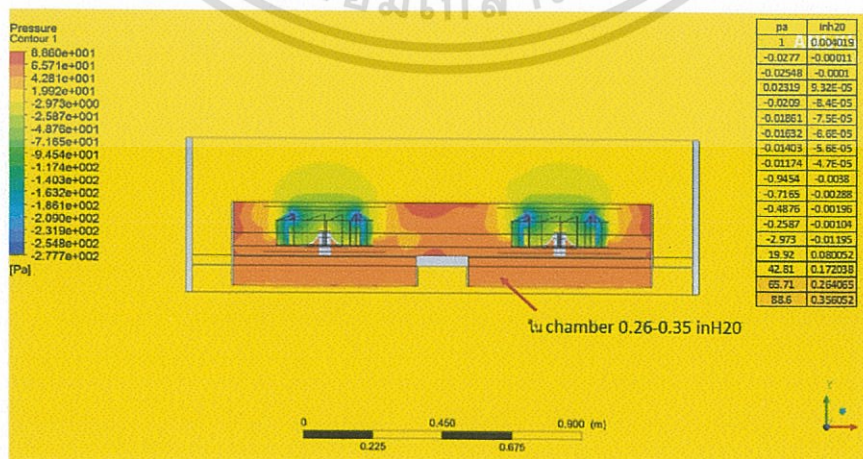
4.1.5.3 ผลการจำลองการไหลอากาศที่ออกมาจากรั้วมินาที่มี Blower ชนิด backward เพื่อดูพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลเข้าโดยการทำงานของพัดลมชนิดนี้

1. ความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของพัดลม ชนิด backward โดยความเร็วสูงสุดที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 31.41 m/s แสดงดัง และภาพที่ 4.17



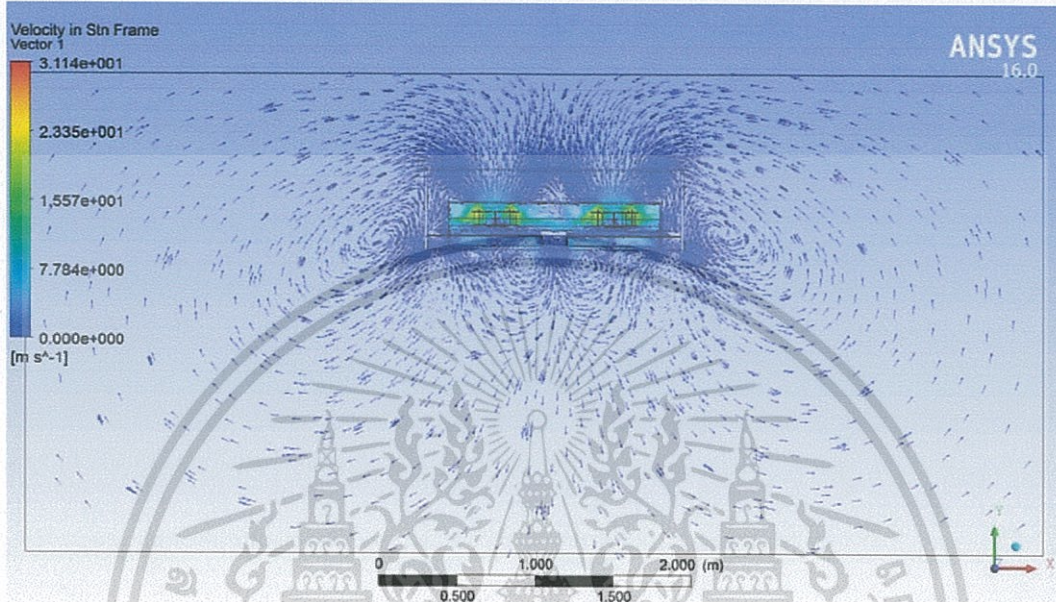
ภาพที่ 4.17 แสดง ลักษณะการหมุนของใบพัดและความเร็วลมที่เกิดจากการหมุนของใบพัด

2. ความดันภายใน Chamber จากผลการจำลอง ได้ความดันส่วนใหญ่ 0.26-0.35 inH<sub>2</sub>O และพบว่าความดันบริเวณใกล้ใบพัดต่ำมากเนื่องจากความเร็วลมบริเวณนั้นสูงแสดงดังภาพที่ 4.18

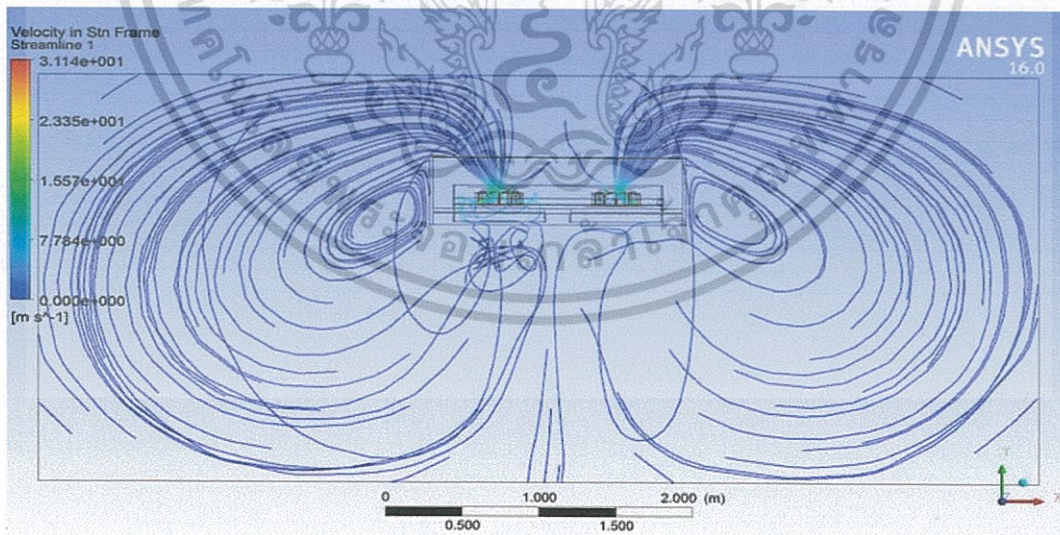


เอกสารนี้เป็นเอกสารภาพที่ 4.18 แสดง ความดันที่เกิดขึ้นภายใน Chamber ในตัวลำมินาร์ ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทิศทางการไหลของอากาศเมื่อพัดลมทำงานจากรูปที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อพัดลมทำงานจะดูดเอาอากาศส่วนล่างขึ้นไปยังด้านบนและปล่อยอากาศลงมายังด้านล่างลามีน้ำผ่านแผ่น filter



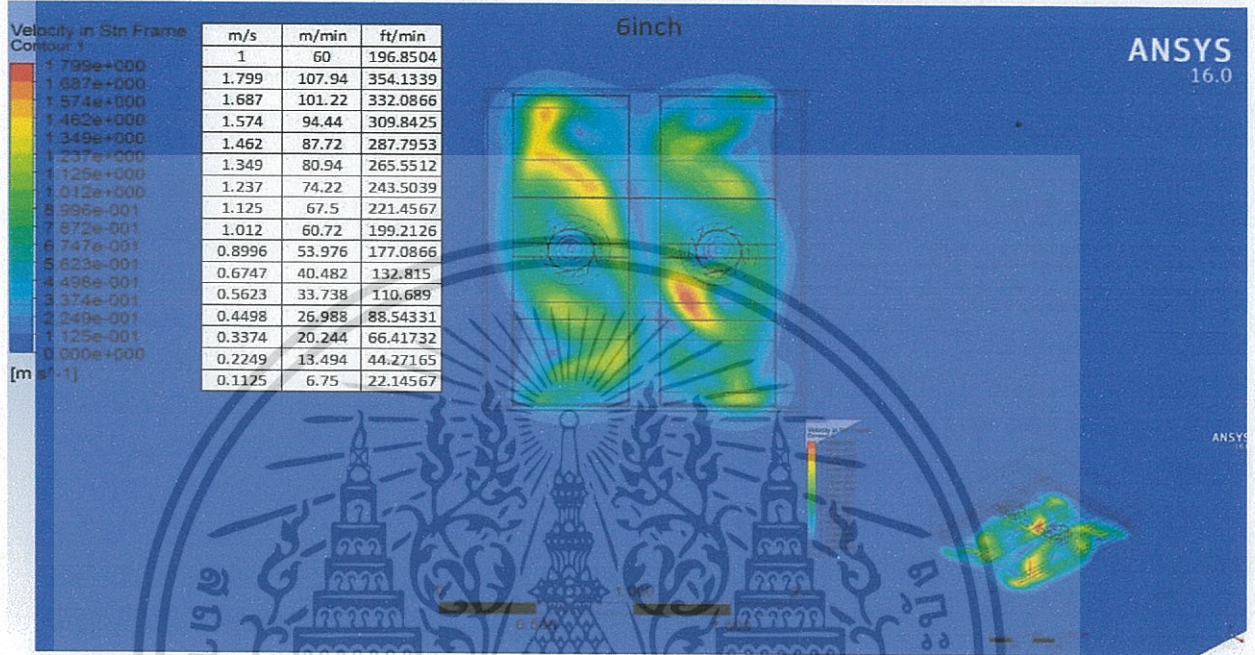
ภาพที่ 4.19 แสดง ทิศทางการไหลของอากาศเมื่อพัดลมทำงาน



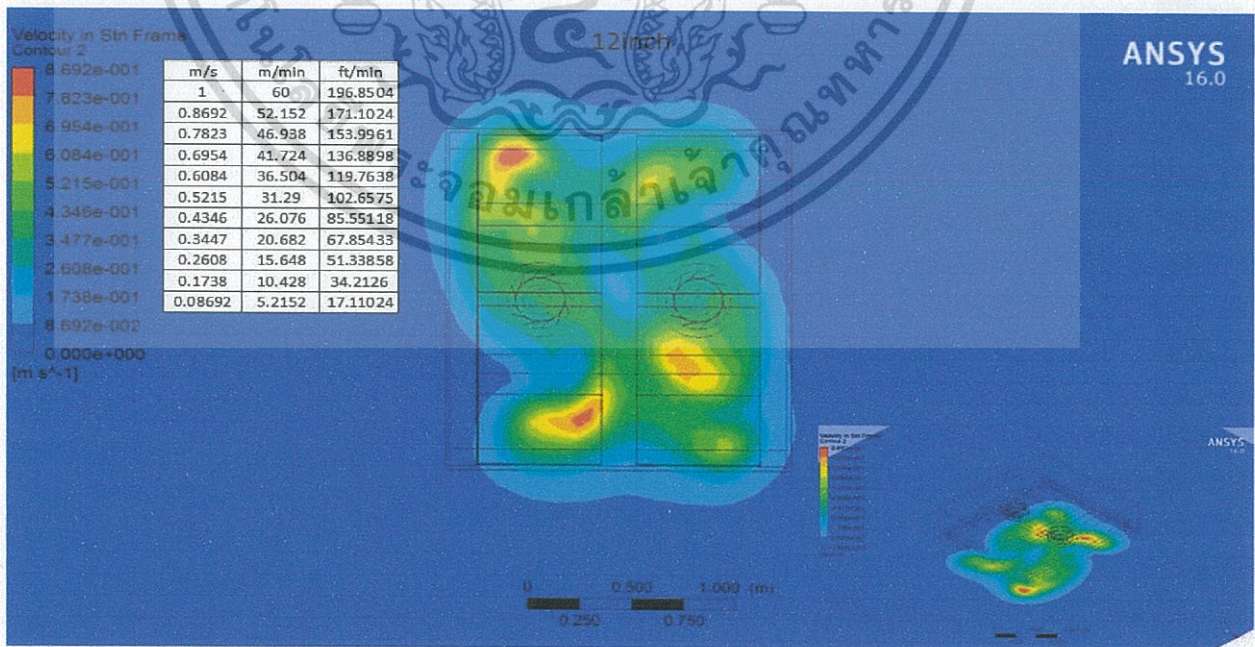
ภาพที่ 4.20 แสดง ทิศทางการไหลของอากาศเมื่อพัดลมทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความเร็วลม ณ ตำแหน่ง 6, 12, 24, และ 36 นิ้วจากฟิวเตอร์ลงมาได้ผลดังต่อไปนี้  
 ความเร็วจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าทุกๆตำแหน่ง ณ ระดับเดียวกันให้ความเร็วลมที่ไม่  
 เท่ากัน แสดงดังภาพที่ 4.21 ถึง 4.24

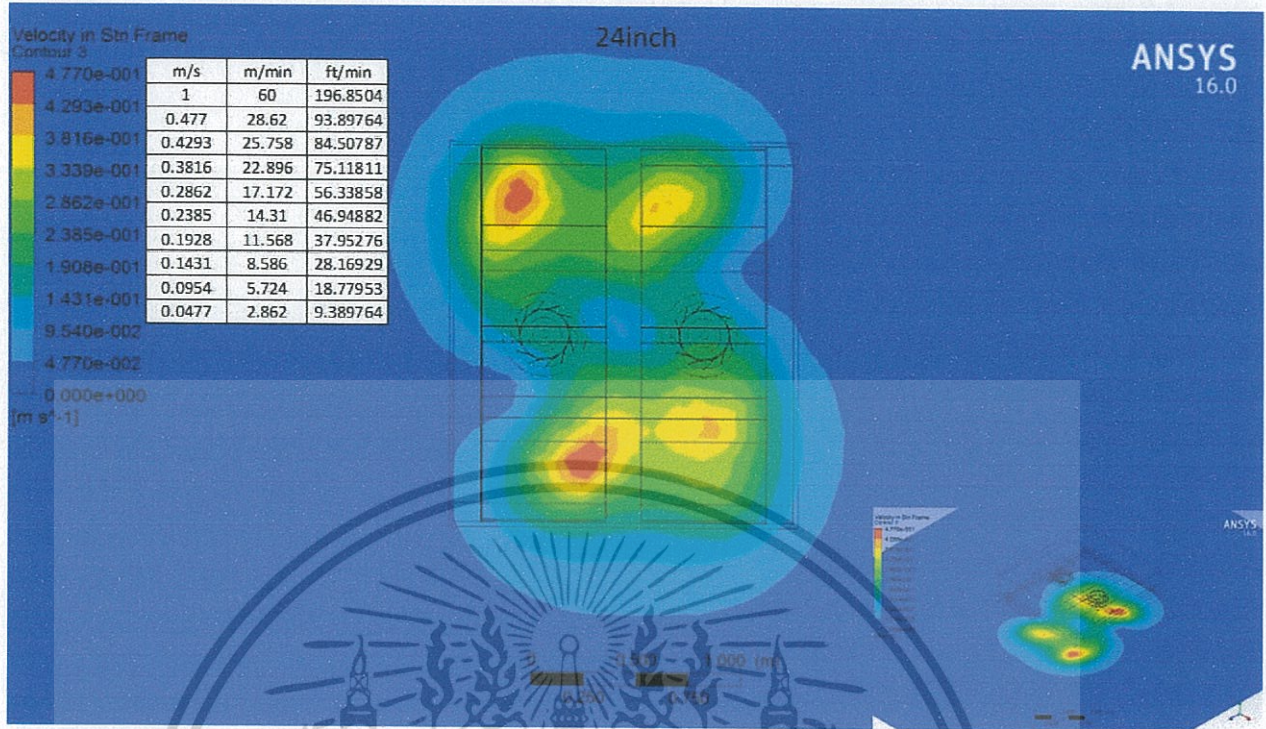


ภาพที่ 4.21แสดง ความเร็วลม ณ ระดับ6นิ้วจาก Filter

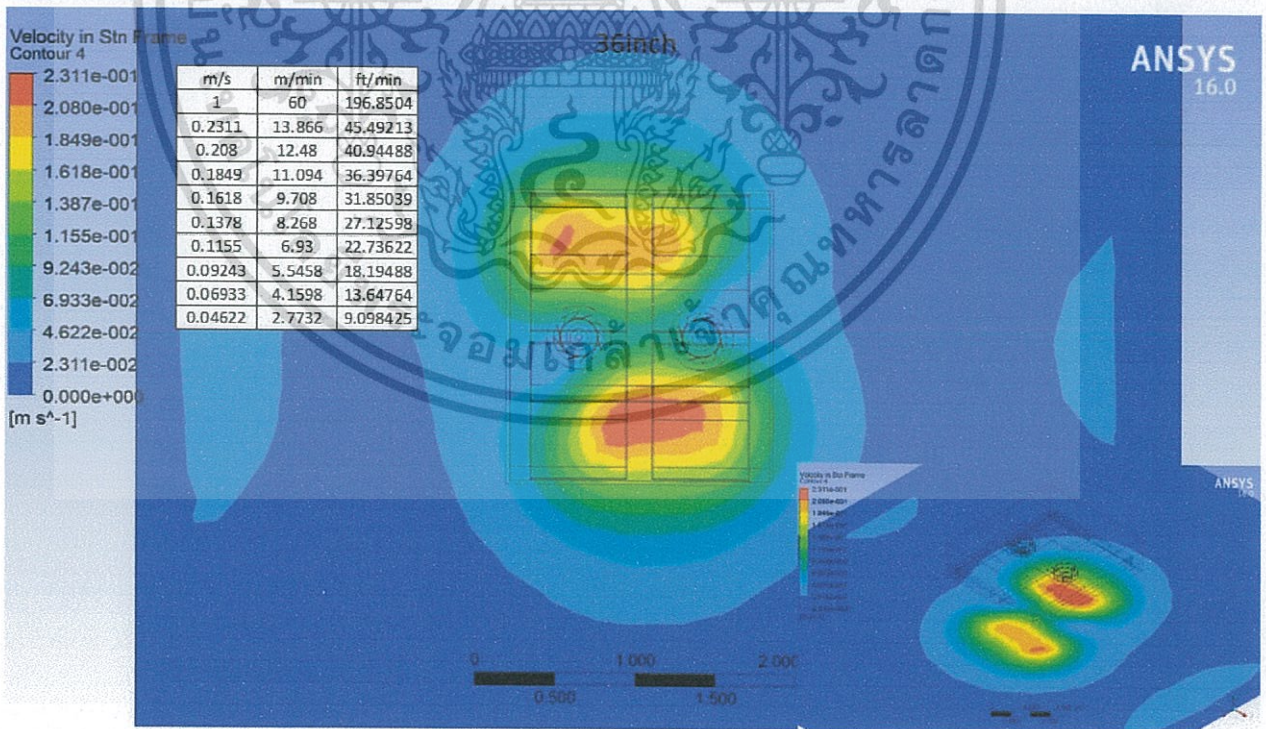


ภาพที่ 4.22แสดง ความเร็วลม ณ ระดับ12นิ้วจาก Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 แสดง ความเร็วลม ณ ระดับ 24 นิ้วจาก Filter



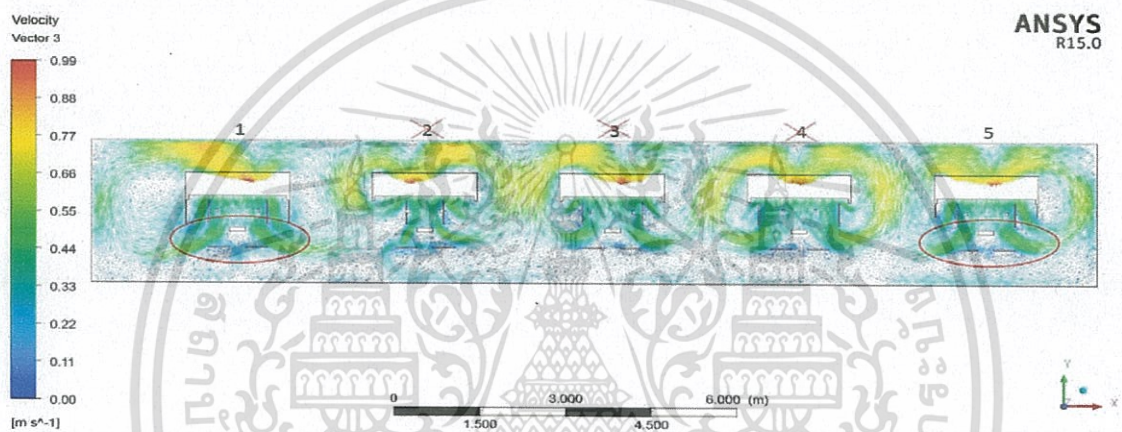
ภาพที่ 4.24 แสดง ความเร็วลม ณ ระดับ 36 นิ้วจาก Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.6 ผลการปรับปรุง

1. ผลจากการจำลองการติดมันเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่จะเพิ่มปริมาณของอากาศ ณ ตำแหน่งโต๊ะทำงาน

จากภาพที่ 4.25 จะเห็นได้ว่า แบบจำลองในแบบ ที่ 1 และ 5 ให้ความเร็วอากาศและปริมาณอากาศมากพอๆกัน ณ บริเวณของโต๊ะทำงานและอากาศยังไม่หมุนตัวออกอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับแบบจำลอง 3 และ 4 แต่ในแบบจำลองที่ 5 ลักษณะของการติดตั้งมันสะดวกต่อผู้ปฏิบัติงานมากกว่าแบบที่ 1 จึงเลือกแบบจำลองที่ 5 มาทำการทดลองติดมันจริง



ภาพที่ 4.25 แสดง ผลการจำลองการติดมันเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศ

2. ผลการวัดความเร็วอากาศและจำนวนอนุภาค ก่อนติดมันกันอากาศ ณ ตำแหน่งโต๊ะทำงาน 6 ตำแหน่งแสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงผลความเร็วอากาศและจำนวนอนุภาคก่อนทำการปรับปรุงโดยการติดมันกันอากาศ

Point Trail	Before														
	Velocity (ft./min)				Particle 0.3um				Particle 0.5um						
	1	2	3	Avg	1	2	3	Avg	1	2	3	Avg			
1	23	24	31	26	0	0	0	0	0	0	0	0			
2	49	53	54	52	0	0	0	0	0	0	0	0			
3	23	25	22	23	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	34	35	40	36	0	0	0	0	0	0	0	0			
5	9	12	13	11	5	2	2	3	3	0	0	1			
6	46	56	50	51	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Avg all point				33.3	Avg all point				0.5	Avg all point				0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและเผยแพร่ในวงวิชาการโดยไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่วารณิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการวัดความเร็วอากาศและจำนวนอนุภาค หลังติดม่านกันอากาศ ณ ตำแหน่งโต๊ะทำงาน 6 ตำแหน่ง ให้ความเร็วลมเพิ่มขึ้นและจำนวนอนุภาคลดลง โดยคิดเป็น 66 % ที่เพิ่มขึ้นของความเร็วอากาศ หลังการปรับปรุง

แสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางที่ 4.16** แสดงผลความเร็วอากาศและจำนวนอนุภาคหลังทำการปรับปรุงโดยการติดม่านกันอากาศ

Point Trail	After											
	Velocity (ft./min)				Particle 0.3um				Particle 0.5um			
	1	2	3	Avg	1	2	3	Avg	1	2	3	Avg
1	59	60	55	58	0	0	0	0	0	0	0	0
2	63	64	67	65	0	0	0	0	0	0	0	0
3	35	34	36	35	0	0	0	0	0	0	0	0
4	53	55	60	56	0	0	0	0	0	0	0	0
5	29	25	32	29	0	0	0	0	0	0	0	0
6	88	89	93	90	0	0	0	0	0	0	0	0
	Avg all point			55.4	Avg all point			0	Avg all point			0

## 4.2 วิเคราะห์ผล

### 4.2.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการศึกษาลักษณะและทิศทางการไหลของอากาศที่ออกจากลามินาร์โดยการติดเส้นด้าย การใช้ Fogger การวัดปริมาณต่างๆทางฟิลิกส์ และการจำลองการไหลของอากาศ สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของลมซึ่งมีผลมาจากหลายปัจจัยดังนี้ต่อไป

1. รูปแบบของระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้อง Cleanroom จะเห็นได้ว่าผลจากการจำลองการไหลของอากาศของระบบหมุนเวียนอากาศในห้อง ระบบของห้องที่มี ทั้ง ULPA+ Filter FFU และ Return on ceiling อากาศจะเกิดการปั่นป่วนของอากาศ (Turbulence) เนื่องจากอากาศมีการหมุนวนและชนกันมากกว่าห้องที่มีเพียง ULPA Filter on ceiling ซึ่งสอดคล้องกับผลการติดเส้นด้าย โรงงานเภสัชกรรมมีระบบห้องที่มี ทั้ง ULPA Filter FFU และ Return on ceiling เพอร์เซ็นต์การเกิดกลุ่มลมที่ 3 จึงสูงกว่าโรงงานโคราชที่ระบบห้องมีเพียง ULPA Filter on ceiling

2. ตำแหน่งของลามินาร์ จากผลการจำลองการไหลของอากาศที่ออกจากลามินาร์และการติดเส้นด้าย ตำแหน่งของลามินาร์ที่อยู่ใกล้กับ ULPA Filter FFU และ Return on ceiling พบว่าอากาศเกิดการปั่นป่วนของอากาศ (Turbulence) ด้านนอกลามินาร์มาก และอากาศจะเคลื่อนที่

อย่างเร็วสู่ Air return ซึ่งแตกต่างจากลามินาร์ที่อยู่ไกลจาก ULPA Filter FFU และ Return on ceiling พบว่าอากาศด้านนอกเกิดการปั่นป่วนน้อยและอากาศมันตัวขึ้นสู่ด้านบนค่อนข้างส่งผลดีต่อการพัดอนุภาคออกจากบริเวณโต๊ะทำงาน

3. ความสูงของลามินาร์ จากผลการจำลองและการวัดความเร็วลม ณ ลามินาร์จริง จะเห็นว่าลามินาร์ที่มีความสูงมากกว่า จะให้ปริมาณลม ณ ตำแหน่งโต๊ะทำงานที่น้อย โดยอากาศจะเคลื่อนที่ออกจากลามินาร์ก่อนถึงโต๊ะทำงานเร็วกว่าลามินาร์ที่มีความสูงน้อยกว่า

4. แผนผังและจำนวนสายการผลิต โรงงานเทพารักษ์มีสายการผลิตต่อ 1 ช่วง Air return (1Bay) มีทั้งหมด 6 แถว ซึ่งต่างจากโคราชที่มีเพียง 5 แถว ดังนั้นจำนวนสายการผลิตที่มากกว่ากันทำให้เกิดความแออัดของปริมาณลามินาร์ส่งผลให้อากาศที่ออกมาจากลามินาร์มีปริมาณที่มากอาจส่งผลให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศด้านนอกและมีโอกาสที่อากาศจะพัดเข้าไปยังตัวลามินาร์ได้

5. จากผลการจำลองการทำงานของพัดลมภายใน Chamber จะเห็นเมื่อพัดลมหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงจะส่งผลให้อากาศถูกดูดเข้ามาใน Chamber อย่างรวดเร็วและมีลักษณะมันตัวขึ้นลมที่ถูกดูดเข้ามาใน Chamber จะส่งผลให้เกิดความดันที่สูงประมาณ 0.1-1 นิ้วน้ำ อยู่ใน Chamber ก่อนที่จะเคลื่อนที่ลงมาผ่าน filter สู่อากาศที่ทำงาน

6. การทำงานของเครื่องจักรหรือการทำงานของ Operator ได้ลามินาร์ เครื่องจักรบางประเภทมีพัดลมดูดอากาศติดตั้งอยู่เยอะมากภายในเครื่อง ส่งผลให้อากาศจากภายนอกลามินาร์สามารถพัดเข้ามาในสายการผลิตได้เนื่องจากการทำงานของพัดลม รวมถึงการเคลื่อนไหวของมนุษย์ขณะทำงานก็ส่งผลให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศได้เช่นกัน

และจากวิเคราะห์ผลการศึกษาความเร็วและปริมาณลม ณ ตำแหน่งต่างๆใต้ลามินาร์จากการวัด ณ ลามินาร์จริงจะเห็นว่าที่ระดับ 6 นิ้ว ความเร็วมีค่ามากกว่า 70 ft./min เนื่องจากใกล้กับบริเวณ ULPA Filter แล้วค่อยๆปรับลดลงมาเรื่อยๆตามระดับของการวัดจนถึงที่ระดับ 36 นิ้วคือระดับบริเวณโต๊ะทำงาน จากความเร็วที่ได้สามารถคำนวณกลับมาเป็นปริมาณของลมจะเห็นได้ว่าปริมาณลมที่ระดับ 36 นิ้วของลามินาร์ที่มีความสูงมากกว่าให้ปริมาณลมที่น้อย และลักษณะการติดตั้งไม่สามารถบอกถึงปริมาณลมที่แตกต่างกันได้ แต่ผลจากการจำลองการไหลของอากาศ ตำแหน่งของลามินาร์ที่อยู่ ใกล้ FFU+ULPA filter และ Return ceiling ลามินาร์ที่มีการติดตั้งแบบยาวให้ปริมาณลมที่ลงมาน้อยกว่าแบบขวาง นอกจากนี้จากการศึกษาจากกราฟ 3 มิติแสดงความเร็วลมและผลการจำลองการไหลอากาศ ยังพบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศภายใต้ลามินาร์ไม่เป็นลักษณะที่เป็นการไหลแบบ ลามินาร์เนื่องจาก ณ ระดับเดียวกันทุกๆจุดที่ทำการวัดความเร็วลมความเร็วลมมีค่าไม่เท่ากันตามรูปแบบการไหลแบบลามินาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 วิเคราะห์ผลการปรับปรุง

จากผลการปรับปรุงโดยการติดตั้งม่านกันลม จะเห็นว่าเมื่อทำการวัดความเร็วลม ณ บริเวณโตะทำงานความเร็วลมหลังทำการปรับปรุงเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณเป็นปริมาณของลมก็แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณลม ณ จุดนั้นมากขึ้น และยังส่งผลต่อการวัดจำนวนอนุภาคที่พบว่าหลังการปรับปรุงจำนวนอนุภาคลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการติดตั้งม่านกันลมลักษณะดังกล่าวเป็นการบังคับทิศทางลมให้ลงมาสู่บริเวณโตะทำงานได้ดีขึ้น ไม่ม้วนตัวออกจากลามินาร์อย่างรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณลักษณะของลามินาร์ ผู้ศึกษาสามารถดำเนินการศึกษา หาที่มาของสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของลามินาร์ สุดท้ายกล่าวถึงผลสรุปการศึกษาข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจจะนำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อไปในอนาคตดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาและวิจัยสามารถสรุปคุณลักษณะของลามินาร์ได้ดังต่อไปนี้

1. พฤติกรรมของอากาศที่ออกจากลามินาร์แต่ละตัวมีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย อาทิ เช่น ตำแหน่งที่ตั้งของลามินาร์ ลักษณะการติดตั้ง จำนวนของสายการผลิต ประเภทของจักรหรือการทำงานของผู้ปฏิบัติงานภายใต้ลามินาร์

2. ความสูงของลามินาร์ส่งผลต่อปริมาณอากาศ ณ ตำแหน่งโต๊ะทำงาน โดยลามินาร์ที่มีความสูงมากจะให้ปริมาณอากาศที่น้อย เมื่อเทียบกับลามินาร์ที่มีความสูงต่ำกว่า ดังนั้นปริมาณอากาศที่มากกว่าจะส่งผลต่อการนำพาอนุภาคออกจากสายการผลิต

3. ลามินาร์ตัวใดที่ตำแหน่งของการติดตั้งอยู่ใกล้กับ FFU + ULPA filter และ Return ceiling อากาศด้านนอกลามินาร์จะเกิดการปั่นป่วนมาก ซึ่งอาจส่งผลต่อการนำพาสิ่งปนเปื้อนเข้าไปในสายการผลิต

4. ลามินาร์ที่มีการติดตั้งในลักษณะขวางเมื่ออยู่ในตำแหน่งที่ใกล้ FFU + ULPA filter และ Return ceiling พบว่าให้ปริมาณลมที่น้อยเนื่องจากอากาศม้วนตัวออกจากลามินาร์ขึ้นสู่ด้านบนอย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณอากาศที่จะลงมายังบริเวณโต๊ะทำงานน้อยส่งผลต่อการนำพาอนุภาคออกจากสายการผลิตที่น้อย

5. ลามินาร์แบบขวางและแบบยาวให้ปริมาณลมที่ใกล้เคียงกัน ณ ตำแหน่งที่อยู่ไกลจาก FFU + ULPA filter และ Return ceiling

6. อากาศที่เคลื่อนที่ออกมาจากลามินาร์สู่บริเวณที่ทำงานพบว่า มีลักษณะการไหลที่ไม่เป็นแบบลามินาร์แต่เป็นแบบผสมระหว่างแบบลามินาร์และปั่นป่วน

7. ระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสะอาดที่มี ทั้ง FFU + ULPA filter และ Return ceiling พบว่าอากาศเกิดการปั่นป่วนมาก เมื่อเทียบกับ ห้องสะอาดที่มีเพียง ULPA filter on ceiling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การปรับปรุงโดยการติดตั้งม่านกันอากาศช่วยบังคับทิศทางของอากาศและเพิ่มปริมาณอากาศที่ลงมาสู่บริเวณโต๊ะทำงานมากขึ้นและยังส่งผลดีต่อจำนวนอนุภาคที่ลดน้อยลง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาพฤติกรรมหรือทิศทางของอากาศที่เกิดขึ้นด้วยการติดเส้นด้ายหรือใช้ Fogger ยังไม่สามารถบอกถึงลักษณะของอากาศที่แม่นยำได้มากนัก เนื่องจากการทดสอบทำในช่วงเวลาที่สั้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป พฤติกรรมของอากาศก็อาจเปลี่ยนไปตามสิ่งแวดล้อมรอบข้างได้ ดังนั้นควรหาแนวทางศึกษาอื่นเพื่อดูพฤติกรรมของอากาศที่แม่นยำหรือมีประสิทธิภาพมากกว่านี้

2. การเลือกلامินาร์เพื่อทดลองหรือศึกษาควรเลือกلامินาร์ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันหรือมีสถานที่ในการติดตั้งที่แตกต่างไปจากเดิมมากยิ่งขึ้นเพื่อจะได้ทราบถึงพฤติกรรมของอากาศหรือปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่ออากาศที่ออกมาจากلامินาร์มากยิ่งขึ้น

3. การจำลองการไหลอากาศควรทำการจำลองซ้ำๆมากยิ่งขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและเปรียบเทียบผลการจำลองกับค่าจริงว่ามีความแตกต่างหรือหาปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วทำการแก้ไข

4. การใช้เครื่องมือการวัดค่าทางฟิสิกส์ต่างๆต้องอาศัยการชำนาญหรือควหาผู้ที่มีความชำนาญมาวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวัชรบัวแย้ม. (2553). ห้องสะอาด. ค้นเมื่อ 15มิถุนายน 2558, จาก <http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114%20unit%208.pdf>
- [2] ธวัชชัย เสถียรรัตนกุล. เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับกรองอากาศ. ค้นเมื่อ 15มิถุนายน 2558, จาก [http://www.acat.or.th/download/acat\\_or\\_th/journal-17/17%20-%2006.pdf](http://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-17/17%20-%2006.pdf)
- [3] พิรุฬห์ วันดี, เฉลิมฤทธิ์, วิญโก, ฌกานต์ จินดาศิริพันธ์, เพ็ญวิสาข์ บุตดาวงศ์. (2556). การศึกษาการไหลของอากาศผ่านกลุ่มอาคาร. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2558, จาก [https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc\\_upload/2013101616083.pdf](https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/2013101616083.pdf)
- [4] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมวงศ์, นวภัทรา หนูนาค, นิธิติยา รัตนাপนนท์. (2555). การไหลแบบราบเรียบ. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2558, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1037>
- [5] บริษัท Well fan. 2555. ประเภทของพัดลม. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 26กรกฎาคม 2558, จาก <http://www.wellfan.net>
- [6] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (2548). มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, หน้า 8.
- [7] อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของไทย [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 26กรกฎาคม 2558, จาก <http://positioningmag.com/18929>
- [8] Using Moving Reference Frames and Sliding Meshes 2558, จาก Introduction to ANSYS Fluent , 2015 ANSYS, Inc tutorial.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวสุทธิดา คำหวาน

วัน เดือน ปีเกิด 5 สิงหาคม พ.ศ.2537

ที่อยู่ 105 หมู่บ้านเกษมสันต์1 แยก11 อ่อนนุช17 ถ.สุขุมวิท77  
เขตสวนหลวง จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10250  
E-mail : Arimoomewmew@gmail.com Tell : 080-781-4357

ประวัติการศึกษา 2555-2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต  
วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงานและผลงานวิจัย 2558 นักศึกษาฝึกงานภาคฤดูร้อน/สหกิจศึกษา  
แผนก Advance Manufacturing Engineering  
บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี(ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้