



## รายงานสหกิจศึกษาระดับสมบูรณ

การควบคุมและการออนไลน์ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FFU เพื่อการติดตามผล  
FFU Control and Monitoring Online Parameter

เกียรติศักดิ์ เชื้อจารย์ชิน

KIATTISAK CHUREJANSHIN

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การควบคุมและการออนไลน์ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FFU เพื่อการติดตามผล

FFU Control and Monitoring Online Parameter

เกียรติศักดิ์ เชื้อจารย์ชิน

KIATTISAK CHUREJANSHIN

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การควบคุมและการออนไลน์ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FFU เพื่อการ  
ติดตามผล

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายเกียรติศักดิ์ เชื้อจารย์ชิน

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ อาจารย์ เกรียงไกร สุขสุด

อาจารย์ ชินภัทร นันทจิวารัชย์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน อาจารย์ เกรียงไกร สุขสุด

อาจารย์ ชินภัทร นันทจิวารัชย์

สถานประกอบการ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางและวิธีการที่จะสร้างสัญญาณเพื่อที่จะใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ FFU (Fan Filter Unit) ที่มีลักษณะการทำงานเป็นมอเตอร์จากนั้นจะเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลเพื่อที่จะสามารถให้ผู้ที่ใช้งานเข้าถึงข้อมูลเหล่านั้นได้และนำข้อมูลมาใช้ในการประมวลผลได้ ปัญหาที่พบในกรณีศึกษาคือ เมื่อผู้ใช้ต้องตรวจสอบและติดตามผลในข้อมูลต่างๆ ผู้ใช้ยังไม่สามารถทำได้ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อระบบเกิดปัญหาขึ้นจึงเป็นไปได้ยากและตัวควบคุมมีอายุการใช้งานที่ไม่แน่นอนทำให้เวลาที่เกิดความเสียหายจึงเป็นงบประมาณที่บริษัทจะต้องจัดสรรเพื่อบำรุงรักษาอุปกรณ์ ผู้วิจัยจึงเริ่มศึกษาระบบการทำงานของตัว FFU(Fan Filter Unit) จากนั้นจึงเริ่มศึกษาและนำแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ โดยอาศัยความรู้ที่เกี่ยวกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) ที่มีหน้าที่รับและส่งค่าระหว่างตัวอุปกรณ์ผ่าน API Server (Application Programmable Interface Server) ข้อมูลจะถูกประมวลผลก่อนที่จะส่งไปยังระบบ หรือ Cloud Database เพื่อนำพารามิเตอร์ต่างๆของระบบไปเก็บไว้ในรูปแบบของฐานข้อมูล

Co-operative Title: FFU Control and Monitoring Online Parameter

Student Intern Name: Mr. Kiattisak Churejanshin

Faculty: Engineering                      Department: Electronics Engineering

Advisor Name: Asst.Prof. Kriangkrai Sooksood

Asst.Prof. Chinnapat Nantajiwakornchai

Mentor Name: Asst.Prof. Kriangkrai Sooksood

Asst.Prof. Chinnapat Nantajiwakornchai

Company: Seagate Technology (Thailand) Co., Ltd.

## ABSTRACT

This research presents process and methods to generate the signal for control machinery that call FFU (Fan Filter Unit) so Fan Filter Unit have operation like motor. It then we store the parameters of the system to database because we intend to allow the user to access those data and retrieve data for processing. The problem found in the case study is when the user needs to monitoring data log so it difficult to analyzing the data when the system crashes and the control part have an indefinite lifetime. As a result, the damaged control part is a budget that the company must provide for maintenance. Researchers began to study the FFU system. Then, we began to study and apply the concept of designing a motor speed control system by the knowledge about microcontrollers, it is responsible for receiving and transmitting between devices through the API (Application Programmable Interface Server) data is processed before it is sent to the system or the Cloud Database. The system parameters are stored in a database.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์เกรียงไกร สุขสุด และ อาจารย์ชินภัทร นันทจิวากรชัย เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องพร้อมให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินโครงการ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้าตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเท ของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้และให้คำแนะนำในการทำโครงการฉบับนี้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคุณรุจิโรจน์ ทิพยมนตรี ผู้จัดการทีมโอเพอร์เรต แผนกแพคซิลิตี้ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้เข้าไปศึกษากระบวนการทำงาน และขอขอบพระคุณพนักงานทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและให้การสนับสนุนในการให้ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการเป็นอย่างดีและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

เกียรติศักดิ์ เชื้อจารย์ชิน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญ(ต่อ).....	V,VI
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญรูป(ต่อ).....	VII,IX
หน้าสารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ห้องคลีนรูม (Cleanroom) .....	4
2.1.1 การจัดแบ่ง Class ของ Clean Room.....	6
2.1.2 ชนิดของ Clean Room แบ่งตามลักษณะการใช้งาน.....	6
2.1.3 วิธีการควบคุมเพื่อรักษามาตรฐานของ Clean Room.....	6
2.2 การกรองอากาศ (Air filter) .....	7
2.2.1 ประเภทของการกรองอากาศ.....	7
2.2.2 ส่วนประกอบของแผ่นกรองอากาศ.....	12
2.2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบกรองอากาศ.....	15
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) .....	27
2.3.1 NodeMCU.....	28
2.3.2 ESP8266.....	28
2.4 API Server (Application Programable Interface Server) .....	30
2.4.1 API ทำหน้าที่อะไร.....	30
2.4.2 ประโยชน์ของ API.....	31
2.5 Cloud Firestore.....	31
2.5.1 การทำงานของ Firebase Cloud Firestore.....	32
2.6 Motor Driver.....	33

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 IONIC Framework.....	37
2.6.1 IONIC Framework คืออะไร.....	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	45
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	47
ภาคผนวก ก.....	48
ประวัติผู้เขียน.....	51

## สารบัญรูป

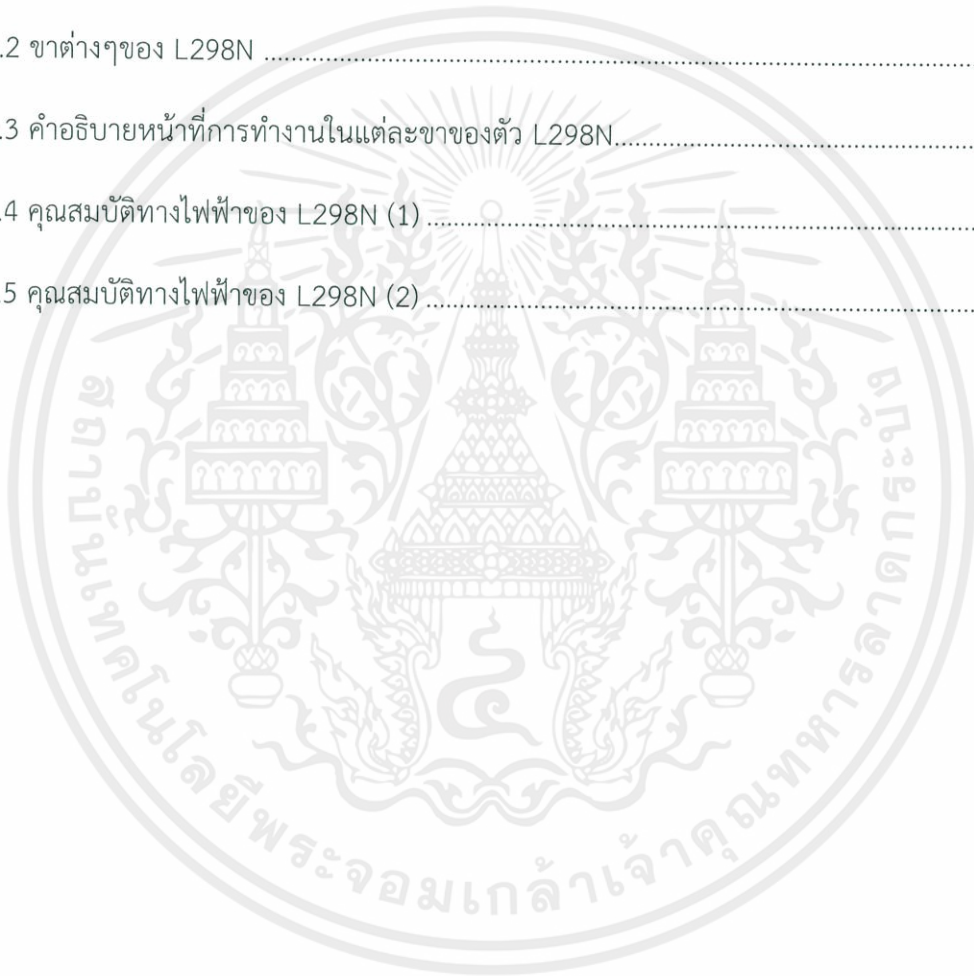
	หน้า
รูปที่ 1.1.1 สถิติของ FFU ที่เกิดเสียหาย.....	1
รูปที่ 1.1.2 รูปแบบการทำงานของ การควบคุม FFU.....	1
รูปที่ 1.1.3 รูปแบบการทำงานของ การสั่งการไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	2
รูปที่ 2.2.1 หลักการกรองอากาศแบบต่างๆ.....	8
รูปที่ 2.2.2 เครื่องกรองแบบ Electrostatic Precipitator และ แผ่น Electrostatic และ Ionizer wire.....	9
รูปที่ 2.2.3 หลักการกรองแบบเคมี.....	10
รูปที่ 2.2.4 กรองเคมีแบบผสมและการจัดวางกรองเคมี.....	11
รูปที่ 2.2.5 เนื้อกรองลักษณะต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.2.6 กรอบของกรองอากาศแบบต่างๆ.....	14
รูปที่ 2.2.7 กรองอากาศรูปแบบต่างๆ.....	15
รูปที่ 2.2.8 ประสิทธิภาพของแผ่นกรองเมื่อเวลาผ่านไป.....	16
รูปที่ 2.2.9 LCCA Curve.....	19
รูปที่ 2.2.10 ประสิทธิภาพ MPPS ของ PTFE และ Glass Fiber และ MPPS ที่แต่ละความเร็วลมที่เปลี่ยนไป.....	20
รูปที่ 2.2.11 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของ ASHRAE และ EN standard.....	21
รูปที่ 2.2.12 Leak Test ตาม DIN 24184, Scan Test ตาม IEST และการซ่อมแซมรอยรั่วที่เนื้อกรอง ULPA.....	22

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.2.13 ความแตกต่างระหว่าง Laminar flow diffusers กับ Fan Filter Units.....	25
รูปที่ 2.2.14 การหมุนเวียนของอากาศภายในห้องคลีนรูม.....	25
รูปที่ 2.2.15 อุปกรณ์ Fan Filter Unit.....	26
รูปที่ 2.3.1 Pin map ของ ESP8266.....	29
รูปที่ 2.4.1 ลักษณะการทำงานของ API Server.....	30
รูปที่ 2.5.1 หลักการทำงานของ Firebase Cloud Database.....	33
รูปที่ 2.6.1 ตัวอย่างการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N เมื่อรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์.....	34
รูปที่ 2.6.2 H-Bridge Circuit.....	34
รูปที่ 2.6.4 Motor Driver L298N Module.....	36
รูปที่ 2.7.1 Ionic Framework.....	37
รูปที่ 3.1 แสดงผังเวลาการดำเนินการศึกษางานวิจัย.....	38
รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....	39
รูปที่ 3.3.1 การรับส่งของข้อมูลจากผู้ใช้กับตัวคอนโทรลเลอร์.....	40
รูปที่ 3.3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมภายในคอนโทรลเลอร์.....	41
รูปที่ 3.4.1 ลักษณะการทำงานของแอปพลิเคชัน.....	42
รูปที่ 4.1 หน้าต่างที่ใช้ในการล็อกอินเข้าสู่ระบบ.....	43
รูปที่ 4.2 หน้าต่างที่ให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ.....	43
รูปที่ 4.3 หน้าต่างที่ใช้แสดงกราฟของข้อมูล.....	44

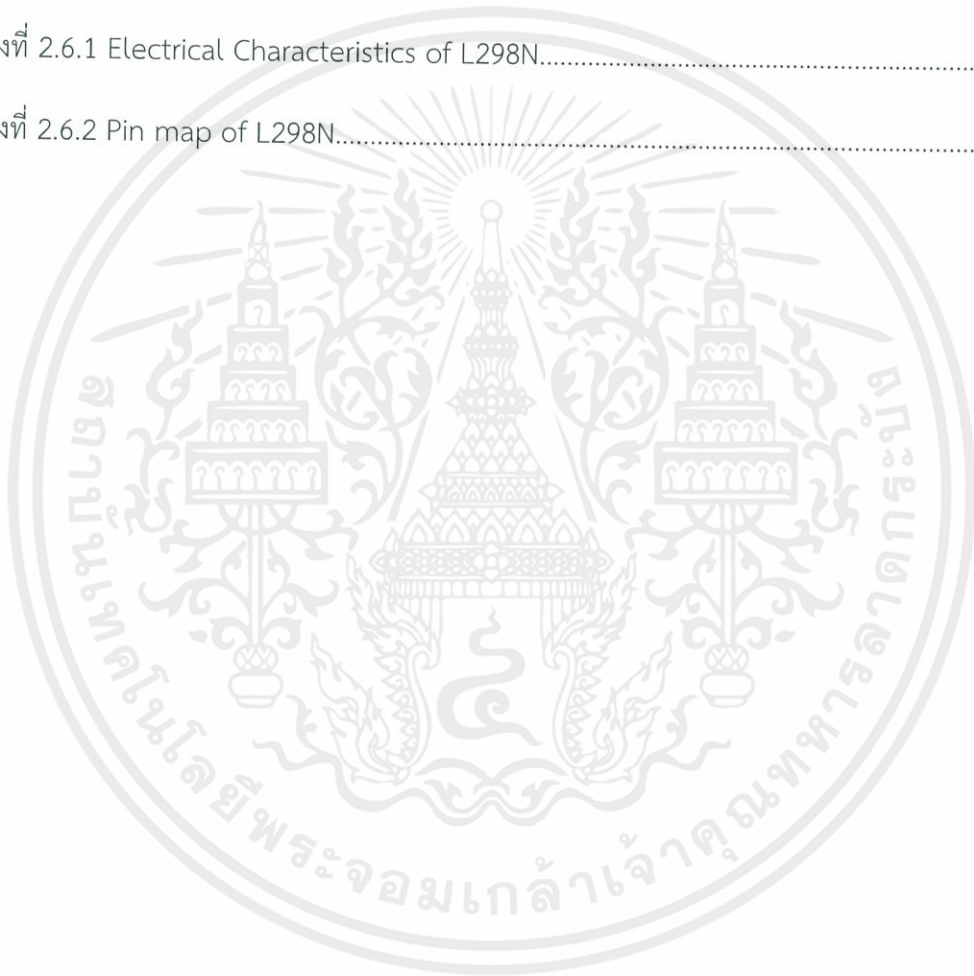
## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าจากผู้ใช้.....	45
รูป ก.1 Block Diagram ของ L298N.....	48
รูป ก.2 ขาต่างๆของ L298N .....	48
รูป ก.3 คำอธิบายหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของตัว L298N.....	49
รูป ก.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ L298N (1) .....	49
รูป ก.5 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ L298N (2) .....	50



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.2.1 ลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ FFU.....	26
ตารางที่ 2.6.1 Electrical Characteristics of L298N.....	35
ตารางที่ 2.6.2 Pin map of L298N.....	36

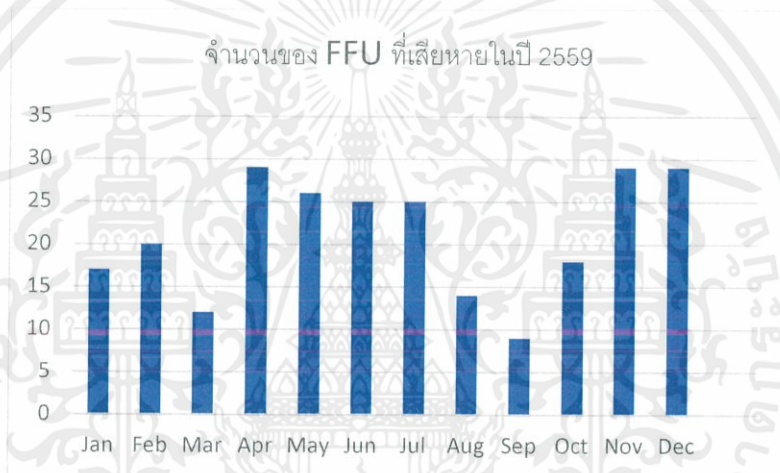


# บทที่ 1

## บทนำ

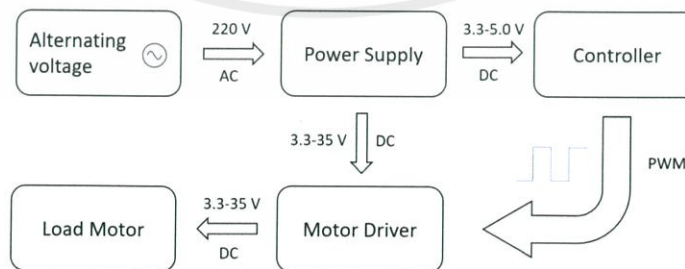
### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากที่ผู้ทำวิจัยได้ลงศึกษาและสอบถามผู้ที่ดูแลระบบกรองอากาศของห้องคลีนรูมพบว่าตอนนี้ บริษัทพบปัญหาเรื้อรัง คืออุปกรณ์ที่เป็นตัว FFU มีอาการเสียบ่อยโดยมีการบันทึกไว้เป็นข้อมูลในปี พ.ศ.2559 ดังนี้



รูปที่ 1.1.1 สถิติของ FFU ที่เกิดเสียหาย

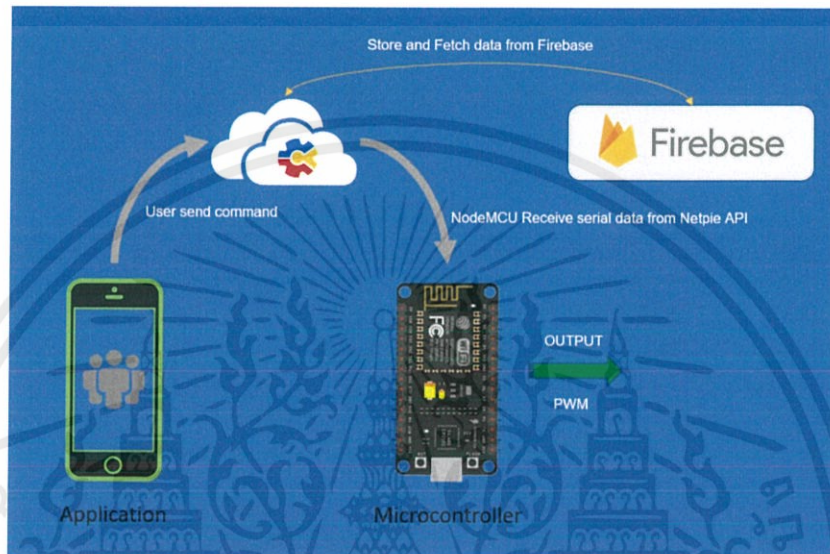
เมื่อผู้ทำวิจัยได้ลงทำศึกษาลึกลงไปพบว่าอุปกรณ์ที่เกิดความเสียหายโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นวงจรควบคุมผู้ทำวิจัยจึงเริ่มที่จะศึกษาลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมอุปกรณ์ FFU (Fan Filter Unit) พบว่าวงจรควบคุมมีลักษณะของการทำงานดังนี้



รูปที่ 1.1.2 รูปแบบการทำงานของวงจรควบคุม FFU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งปัญหาอีกหนึ่งอย่างที่ผู้ทำวิจัยพบอีกคือ ระบบการควบคุมที่ใช้อยู่ตอนนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานต่ำ เพราะเนื่องจากยังไม่มีฟังก์ชันบางอย่างที่จะสามารถสนับสนุนการทำงานของผู้ใช้ได้ ผู้ทำการวิจัยจึงคิดที่จะสร้างโปรแกรมที่จะสามารถใช้ในการควบคุมระบบขึ้นมา โดยมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.1.3 รูปแบบการทำงานของคำสั่งการไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อที่จะสร้างระบบควบคุมตัวอุปกรณ์ FFU (Fan Filter Unit)

1.2.2 เพื่อที่จะสามารถนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบนำไปออนไลน์ยังแอปพลิเคชันหรือแพลตฟอร์มต่างๆได้

## 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาลำดับการทำงานและกระบวนการทำงานของแผนกแพคซิลิตี้

บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัดไทย จำกัด

1.3.2 ศึกษาลักษณะการทำงานของทีม BAS (Building Automation Systems)

1.3.3 เขียนโปรแกรมลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ Arduino IDE

ในการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 เขียนแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการควบคุม โดยใช้ IONIC Framework ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

#### 1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด รวมถึง ลักษณะการทำงานของระบบต่างๆที่แผนกแพคซิติได้รับผิดชอบ เช่น ไฟฟ้าแรงสูง ,การหล่อเย็นภายในโรงงาน, ที่ส่งไปยังห้องคลีนรูม ,การบำบัดน้ำเสีย และ การจัดการน้ำให้เพียงพอต่อการใช้งาน

1.4.2 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของทีม BAS (Building Automation Systems)

1.4.3 เริ่มออกระบบควบคุมโดยเลือกใช้ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อที่จะใช้สอดคล้องกับอุปกรณ์ FFU (Fan Filter Unit)

1.4.4 ศึกษาความรู้เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรม Arduino IDE เพื่อที่จะใช้ควบคุมระบบผ่านทางอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.4.5 ศึกษาความรู้ทางด้านโปรแกรม IONIC Framework เพื่อที่จะนำมาพัฒนาแอปพลิเคชัน

1.4.6 สร้างระบบสั่งการการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้แอปพลิเคชันในการป้อนข้อมูลสู่ระบบ

1.4.7 ทดลองและปรับแต่งโปรแกรมเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานของผู้ใช้ให้มากที่สุด

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 การดำเนินงานภายในแผนกจะมีความรวดเร็วและแม่นยำเพิ่มขึ้นเนื่องจากผู้ที่อยู่หน้างานจะสามารถติดตามผลหรือค่าต่างๆของระบบได้ทันที และระบบสามารถเก็บข้อมูลต่างๆเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ในภายหลังได้

1.5.2 ผู้ดำเนินงานการวิจัยได้รับความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแอปพลิเคชันและภาษา typescript และได้รับความรู้เกี่ยวกับภาษาซีที่ใช้ในการโปรแกรมคอนโทรลเลอร์

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้แก่ การจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่เหมาะสม การจัดตารางการผลิต และลักษณะของอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม

#### 2.1 ห้องคลีนรูม (Cleanroom)

"ห้องปลอดเชื้อ" หรือ "ห้องสะอาด" หมายถึง ห้องสะอาดที่มีการควบคุมปริมาณอนุภาค ฝุ่น ละอองและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ให้มีไม่เกินระดับที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการควบคุมปัจจัยเสริมต่างๆ ได้แก่ คุณลักษณะและความเร็วของลม อุณหภูมิ แร่งดัน และระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอีกด้วย

คุณลักษณะของห้องคลีนรูม

คลีนรูม (Cleanroom) หรือที่มักเรียกกันว่า "ห้องปลอดเชื้อ" หมายถึง ห้องสะอาดที่มีการควบคุมปริมาณอนุภาค ฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ให้มีไม่เกินระดับที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการควบคุมปัจจัยเสริมต่างๆ ได้แก่ คุณลักษณะและความเร็วของลม อุณหภูมิ แร่งดัน และระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอีกด้วย

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตมีการพัฒนาและก้าวหน้าไปมาก มีการนำเทคโนโลยีขั้นสูง (High Technology) มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้สภาวะแวดล้อมที่สะอาด ในกระบวนการผลิต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ Clean Room ได้แก่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ตลอดจนจนถึงอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลที่มีความละเอียดในการทำงานสูง เป็นต้น

Clean Room หรือ “ห้องสะอาด” ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1961 โดย Willis Whitfield ห้องสะอาด หมายถึง ห้องที่มีการปิดมิดชิด มีการควบคุมมลสารในอากาศให้น้อยที่สุด เพื่อให้มีความสะอาดเป็นไปตามระดับมาตรฐานความสะอาด และมีการควบคุมสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความแตกต่างของความดันตามที่ต้องการ

โดยทั่วไปมลสารหรืออนุภาคในอากาศ ประกอบไปด้วยอนุภาคที่มีชีวิต (เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ) และอนุภาคที่ไม่มีชีวิต (ผง ฟุ้ง) ห้องสะอาดทางชีววิทยา อุตสาหกรรมยาหรือโรงพยาบาล จะเน้นการ ควบคุมหรือป้องกันพวกเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนห้องสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการความ สะอาดมาก จะเน้นการควบคุมทั้งอนุภาคที่มีชีวิตและอนุภาคที่ไม่มีชีวิต เครื่องมือสำคัญในการ ควบคุมปริมาณอนุภาคใน Clean Room คือ แผ่นกรองอากาศชนิด HEPA (High Efficiency Particulate Air) ซึ่งสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาด 0.3 ไมครอนได้มีประสิทธิภาพถึง 99.97% การกำหนดคุณสมบัติที่จำเพาะของ Clean Room อุณหภูมิที่เหมาะสม กำหนดตามความต้องการของกระบวนการผลิต หรือหากไม่มี ความสำคัญทางด้าน การผลิต มักกำหนดให้อยู่ในช่วง  $72\text{ }^{\circ}\text{F}$  ( $22.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  $\pm$   $0.25\text{ }^{\circ}\text{F}$  ( $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม ขึ้นกับลักษณะงาน กระบวนการผลิต หรือชนิดผลิตภัณฑ์ ในบางกรณีหากความชื้นสูงไป อาจทำให้ชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์เกิดสนิมได้ หรือผลิตภัณฑ์ / สาร บางชนิดที่สามารถดูดความชื้นได้ง่าย ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติหรือคุณภาพเปลี่ยนไป ในทาง ตรงข้าม หากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำไป จะเกิดประจุไฟฟ้า ที่วัสดุหรือชิ้นส่วน ทำให้เกิดปัญหาอนุภาค ติดติดกันได้ หากไม่มีข้อกำหนดเฉพาะ โดยทั่วไป กำหนดให้มีความชื้นประมาณ  $50 \pm 10\%$  ความดัน ควรรักษาความดันในห้องสะอาดให้เป็นบวกเสมอ (positive pressure) มีทางเข้าออกที่ปิดมิดชิด และมีพัดลมเป่า (air shower) เพื่อดันลมออกไปป้องกันมิให้อนุภาคเข้า มาปนเปื้อนในห้อง ทั้งนี้ ห้องที่มีระดับความสะอาดต่างกัน ให้มีความดันต่างกันอย่างน้อย 0.05 นิ้วน้ำ แสงสว่าง หากไม่มีการกำหนดพิเศษให้ใช้แสงสว่าง 1,080 – 1,620 lux ระดับเสียง ตามข้อกำหนดของการใช้งาน

ชนิดของ Clean Room แบ่งตามลักษณะการไหลของอากาศ Conventional Clean Room การไหลของอากาศเหมือนกับระบบปรับอากาศที่ใช้ ทั่วไป แต่ใช้ HEPA filter และจำนวนครั้งของการเปลี่ยนอากาศมากกว่า เพื่อลดความสกปรกในห้อง ห้องสะอาดแบบนี้จะมีระดับความสะอาดประมาณ Class 1,000 – 10,000 Horizontal Laminar Clean Room ลมที่ความเร็วคงที่จะไหลผ่าน HEPA filter ที่ติดตั้งเต็มพื้นที่ผนังห้องด้านหนึ่ง ผ่านเข้าสู่ห้องสะอาดแล้วถูกดูดกลับขึ้นด้านบนเพดาน กลับไปสู่ เครื่องเป่าลม ห้องชนิดนี้จะมีระดับความสะอาดประมาณ Class 100 นิยมใช้ในอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ ห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา เป็นต้น Vertical Laminar Flow Clean Room ห้องนี้จะติดตั้ง HEPA filter เต็มเพดาน โดยอากาศจะถูกส่งลงจากเพดานผ่าน HEPA filter ในแนวตั้ง และลมจะกลับผ่านพื้นที่ทำให้โปร่ง แล้วกลับสู่เครื่องเป่าลมเย็น มีระดับความสะอาดประมาณ Class 100 ในทางปฏิบัติเหมาะสำหรับ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 การจัดแบ่ง Class ของ Clean Room

- Class 100 หมายถึง ห้องที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่า ไม่เกิน 100 อนุภาคต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต
- Class 1,000 หมายถึง ห้องที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่า ไม่เกิน 1,000 อนุภาคต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต
- Class 10,000 หมายถึง ห้องที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่า ไม่เกิน 10,000 อนุภาคต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต

### 2.1.2 ชนิดของ Clean Room แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

- Industrial Clean Room เป็นห้องสะอาดที่ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Microchip อุตสาหกรรมการผลิตสี ฟิล์ม และสารเคมีต่าง ๆ
- Biological Clean Room เป็นห้องสะอาดที่ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตยา ห้องปฏิบัติการทางด้านชีววิทยา ห้องผ่าตัด เพื่อควบคุมปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ความดันอากาศในห้องจะต้องสูงกว่าความดันอากาศห้องข้างเคียงเพื่อป้องกันมิให้สิ่งสกปรกจากห้องข้างเคียงไหลเข้าสู่ห้องสะอาด
- Biohazard Clean Room เป็นห้องสะอาดที่ใช้กับห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเชื้อโรคไวรัสหรือสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยความดันอากาศในห้องจะต้องต่ำกว่าความดันอากาศห้องข้างเคียง เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อหรือสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพออกไป ปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมภายนอก

### 2.1.3 วิธีการควบคุมเพื่อรักษามาตรฐานของ Clean Room

- ป้องกันอนุภาคหรือสิ่งสกปรกเข้ามาในห้อง
- ใช้ HEPA filter กรองอากาศที่เข้าสู่ห้อง
- รักษาความดันในห้องให้สูง กว่าภายนอก (positive pressure)
- ทำความสะอาดร่างกายโดยล้างตัวด้วยอากาศ (air washer) ก่อนเข้าห้อง
- ป้องกันการก่อให้เกิดสิ่งสกปรกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สวมชุดพิเศษสำหรับคนงานทุกคน
- การทำงานต้องเคลื่อนไหวย่างเชื่องช้า
- วัสดุที่ใช้ในห้อง ต้องไม่ก่อให้เกิดความสกปรกขึ้น
- ป้องกันการสะสมของฝุ่นผงตามผนัง
- การทำความสะอาดห้องต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
- ผนังห้องต้องทำให้สะดวกต่อการทำความสะอาด ไม่สะสมฝุ่น
- การปล่อยทิ้งอนุภาคหรือสิ่งสกปรกออกไปภายนอกห้อง
- ควรมีการหมุนเวียนอากาศบางส่วนออกสู่ภายนอก เพื่อลดสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้น
- ควรทำที่ป้องกันมิติดชิด หรือมีการดูดอากาศทิ้งเป็นจุด ณ บริเวณที่มีอนุภาคซึ่งจะก่อให้เกิดความสกปรก

## 2.2 การกรองอากาศ (Air filter)

### 2.2.1 ประเภทของการกรองอากาศ

การกรองแบบทางไฟฟ้า

โดยการใช้ไฟฟ้าเหนี่ยวนำอิเล็กตรอน โดยการชาร์จประจุ เช่น Electrostatic Charges Media

ตารางที่ 2.2.1 แสดงผลการวัดจำนวนอนุภาคปนเปื้อนต่างๆ ในแต่ละขนาดอนุภาค

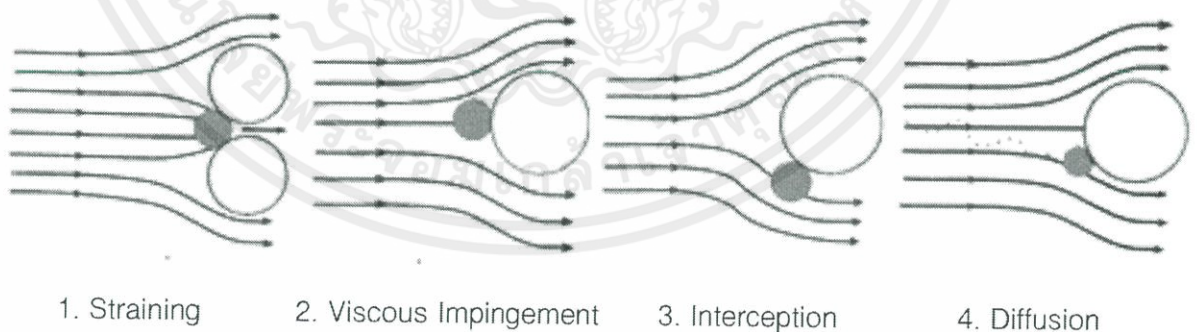
Point Measuring	Ch1-0.3 $\mu\text{m}$	Ch2-0.5 $\mu\text{m}$	Ch3-1.0 $\mu\text{m}$	Ch4-3.0 $\mu\text{m}$	Ch5-5.0 $\mu\text{m}$	Ch6-10.0 $\mu\text{m}$
Inlet Hood	138,409	8,133	1,181	87	31	7
Inlet Hood	166,129	8,071	848	81	31	5
	152,324	8,102	1,015	84	31	6

## หลักการกรองอากาศ

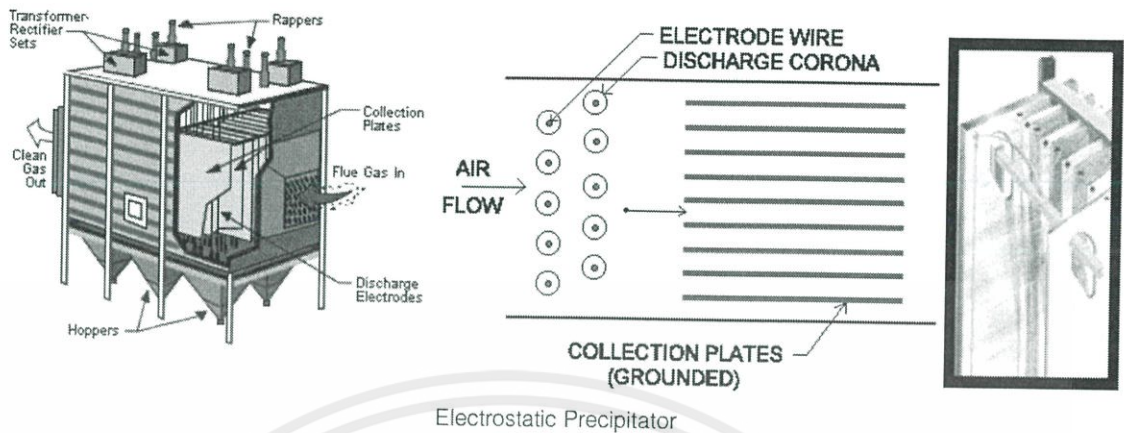
แผ่นกรองอากาศที่ดีนั้น จะต้องมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการใช้งานประเภทต่างๆ ความสามารถในการเก็บกักฝุ่นที่สูง เพื่ออายุการใช้งานที่นาน และมีความดันตกคร่อมต่างๆ ซึ่งโดยทางทฤษฎีแล้ว การที่จะทำแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น ส่วนใหญ่จะมีความดันตกคร่อมที่สูงตามไปด้วย จำแนกหลักการกรองอากาศเป็น 3 ประเภทดังนี้

### การกรองแบบทางกล

การกรองแบบทางกลโดยการใช้เส้นใยเนื้อกรองMediaที่มีขนาดต่างๆกัน มาอัดสานกันในลักษณะต่างๆ ให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยต่างๆกัน เพื่อให้กระแสลมที่มากับอากาศมาพร้อมสิ่งปนเปื้อนถูกเนื้อกรองดักจับ แผ่นกรองแบบทางกลนี้ เริ่มต้นใช้งานแผ่นกรองยังสะอาดมักมีประสิทธิภาพต่ำตามรูปที่ 2 Electronic Air Cleaner เรามักทำโดยใช้ Ionizer wire หรืออาจใช้เข็มแทงประจุ Spike ในการเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนออกจากอนุภาคสิ่งปนเปื้อนให้มีประจุเป็นลบ เพื่อให้อนุภาคสิ่งปนเปื้อนเป็นมีประจุเป็นบวก เกาะติดกับกับแผ่นเก็บหรือแผ่น Collecting Plate ที่มีประจุลบ ซึ่งมักใช้ความต่างศักย์สูงๆ High Voltage 12 KV และ 6 KV ในการชาร์จ Ionizer และ แผ่น Collecting Plate ซึ่งระบบกรองแบบนี้มีความดันตกคร่อมต่ำ และประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่ความเร็วต่ำๆมักมีประสิทธิภาพสูง ประสิทธิภาพจะสูงสุดในตอนเริ่มต้นใช้งานทั้งนี้ประสิทธิภาพยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ขนาดของอนุภาค, ความต่างศักย์ของ Ionizer และ Collector ระยะห่างของ Ionizer และ Collector Plate (Spacing)



รูปที่ 2.2.1 หลักการกรองอากาศแบบต่างๆ



Electrostatic Precipitator

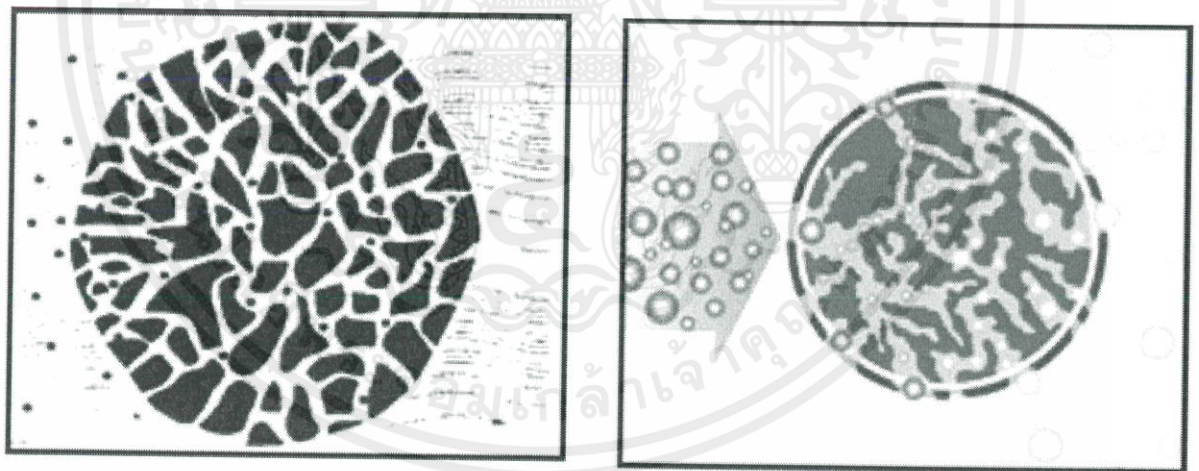
รูปที่ 2.2.2 เครื่องกรองแบบ Electrostatic Precipitator และ แผ่น Electrostatic และ Ionizer wire อย่างไรก็ตาม ถ้าเราใช้ความต่างศักย์สูงๆ มักทำให้เกิดแก๊สโอโซน(Ozone) ซึ่งไม่ควรจะเกินระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ตาม FDA ควรจะน้อยกว่า 0.05 ppm, ตาม OSHA และ NIOSH จะต้องน้อยกว่า 0.1 ppm ใน 8 ชั่วโมง ตาม EPA's National Ambient Air Quality Standard, Clean Air Act น้อยกว่า 0.08 ppm ใน 8 ชั่วโมง และถ้าบ้านเรากรมควบคุมมลพิษ ควรจะน้อยกว่า 0.1 ppm ใน 1 ชั่วโมงและน้อยกว่า 0.07 ppm ใน 8 ชั่วโมง ผู้ผลิตโดยส่วนใหญ่มักจะอ้างว่า electronic air cleaner มักจะกรองอนุภาคได้ถึง 0.01 ไมครอนหรือเล็กกว่านั้น ซึ่งไม่จริง บอกไม่หมดเนื่องจาก 0.01 ไมครอนที่ว่ามันไม่ได้บอกถึงประสิทธิภาพว่าได้กี่ % ดังนั้น ควรจะตรวจสอบและสอบถามผู้ขายก่อนนะครับ โดยทั่วไป ประสิทธิภาพสูงสุดที่ทำได้ มักจะอยู่ที่ 95%ที่ 0.3 ไมครอน ที่ ความเร็วลมไม่เกิน 400 ฟุตต่อนาที (< 2.0 m/s) จะเห็นได้ว่าเราต้องบอกประสิทธิภาพการกรองตามขนาดอนุภาคและความเร็วลมที่ ออกแบบหรือที่ใช้งานซึ่งไม่ได้เป็น True HEPA Filters

การกรองแบบทางเคมี

การกรองแบบทางเคมีโดยใช้สาร Activated Carbon, Alumina เคลือบด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ฯลฯ ทั้งนี้การเลือกชนิดของสารเคมีที่เคลือบนั้นขึ้นกับชนิดของ แก๊สปนเปื้อนที่เราต้องการจะดักจับ ประสิทธิภาพทั้ง Removal Capacity และ Efficiency ตามมาตรฐาน ASTM standard ซึ่งการกรองประเภทนี้ จะใช้กลไกการดูดซับ (Adsorption) การดูดซึม (Absorption) และ การทำปฏิกิริยา(Chemisorption)ในการดักจับแก๊สปนเปื้อนที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากๆ ส่วนใหญ่เล็กกว่า 0.01 ไมครอน

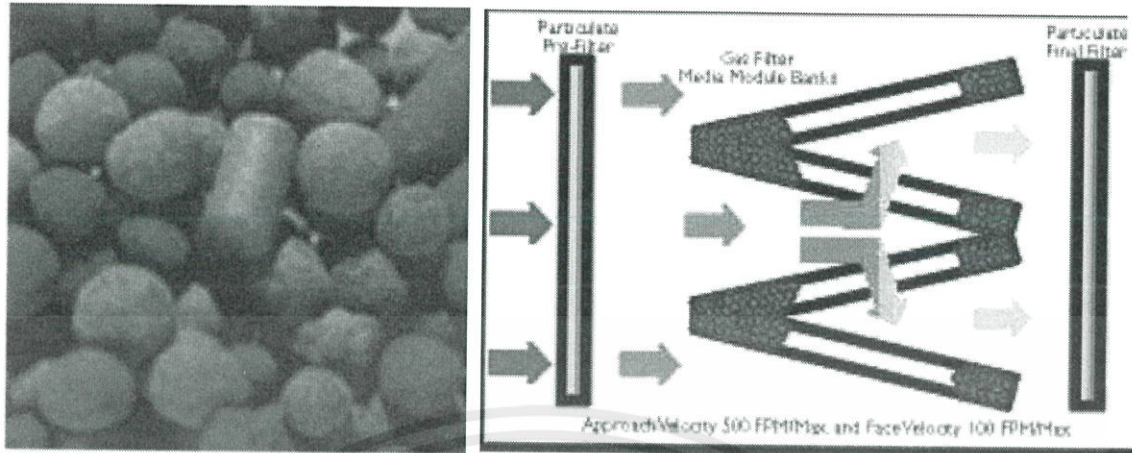
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการกรองขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยเช่น ความเร็วลมหรือเวลาที่ดักจับ (Resident time), อุณหภูมิ, ความชื้น, ความลึกของ Bed ที่ออกแบบ, ความเข้มข้นของแก๊สปนเปื้อน การกรองทางเคมีนี้เรามักพบเห็นโดยทั่วไป เช่นเราใช้ถ่านเพื่อดูดซับกลิ่นในตู้เย็น แต่ก็มีแก๊สปนเปื้อนบางตัวที่ไม่สามารถกรองได้ดี เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)แม้จะมีผู้ผลิตบางรายใช้ Activated Alumina based เคลือบด้วยคอปเปอร์คลอไรด์พาลาเดียมคลอไรด์ และ นิกเกิลออกไซด์ แต่มันก็ทำให้เปลี่ยนรูปจาก CO เป็น CO<sub>2</sub> ซึ่งถ้าจะลดปริมาณของ CO และ CO<sub>2</sub> เทคโนโลยีการกรองทางเคมี ผลการทดสอบยังไม่ได้ถูกนำมาเปิดเผยและยังไม่ได้มีการใช้อย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังมี การกรองแบบทางกลผสมกับทางเคมี โดยการเอาเนื้อกรองแบบใยสังเคราะห์หรือใยแก้วมาเคลือบด้วยสาร Anti-Microbial ที่มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราแบคทีเรียและไวรัสบางชนิด ซึ่งจะต้องผ่านการทดสอบและรับรองว่าจากสถาบัน เช่น Environmental Protection Agency(EPA)ว่าต้องไม่มีสารพิษ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ทั้งนี้แผ่นกรองอากาศชนิดต่างๆที่ออกแบบมาในตลาดทุกวันนี้ มีอยู่หลายประเภท ถ้าเราจำแนกตามลักษณะของการใช้งาน ถ้าเป็นกรองอากาศชั้นต้นหรือ กรองอากาศที่มี ประสิทธิภาพต่ำจะมีแบบชนิดล้างน้ำได้ เป็นใยสังเคราะห์ (Washable-Synthetic Fiber) และแบบใช้แล้วทิ้ง (Disposable-Synthetic& Glass Fiber) ซึ่งทั้งสองแบบต้นทุนไม่ต่างกันมากในปัจจุบัน



รูปที่ 2.2.3 หลักการกรองแบบเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.4 กรองเคมีแบบผสมและการจัดวางกรองเคมี

อีกแบบหนึ่งที่บ้านเราใช้กันคือ แผ่นกรองอะลูมิเนียม(Aluminum Filters) ที่มีประสิทธิภาพต่ำมาก เนื่องจากที่ความเร็วลม 500 ฟุตต่อนาที (2.5 เมตรต่อวินาที) มีประสิทธิภาพไม่ถึง 72% Arrestance หรือ น้อยกว่า 20% ASHRAE Dust Spot Efficiency (< MERV3) โดยน้ำหนักซึ่งมีทั้งแบบหนา 1 นิ้ว และ 2 นิ้วในระบบปรับอากาศ เนื่องจากสามารถล้างน้ำได้และอายุการใช้งานได้มากกว่า 3 ปีถ้าหากล้างทำความสะอาดดี ๆ เพื่อวัตถุประสงค์หลักคือ ป้องกัน คอยล์เย็นไม่ให้ตันหรือรักษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างคอยล์เย็นกับอากาศมักจะไม่ใช้คุณภาพอากาศเพื่อความสบายของคนอาศัย ปัจจุบันต้นทุนถ้าเรา trades ระหว่าง แผ่นกรองอะลูมิเนียม และ โยสังเคราะห์ (Synthetic Filters) ที่มีประสิทธิภาพ 90-92% Arrestance หรือ 25-30% ASHRAE Dust Spot Efficiency(MERV 7) หรือคิดต้นทุนต่อปี ทุก 3 ปีระหว่างการบำรุงรักษาคอยล์เย็นที่ลดลงเนื่องจากลดจำนวนครั้งในการล้างคอยล์การที่ได้อากาศที่ดีหรือสะอาดขึ้น ค่าไฟที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก pressure drop ของ MERV7Filters จะสูงกว่าแต่ถ้าใช้MERV7Filters เราจะประหยัดพลังงานเนื่องจากคอยล์ที่สะอาดกว่า มีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีกว่าโดยทั่วไปฝุ่นที่จะสามารถไปทำให้คอยล์ตันได้จะมีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง3-10 ไมครอน ASHRAEแนะนำว่าควรเลือกใช้แผ่นกรองอากาศอย่างน้อยที่สุดMERV 6 Filtersในระบบปรับอากาศ เพื่อคุณภาพอากาศที่ดีและประหยัดพลังงาน จากผลการวิจัยหลายๆแห่ง ทั้ง EPA, Refrigeration Services Engineer Society บอกว่า ความหนาของฝุ่นที่เกาะผิวคอยล์เย็น แค่0.04นิ้ว(1.0mm.) ทำให้ มีการสูญเสียพลังงานมากกว่า 30% ของ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

## 2.2.2 ส่วนประกอบของแผ่นกรองอากาศ

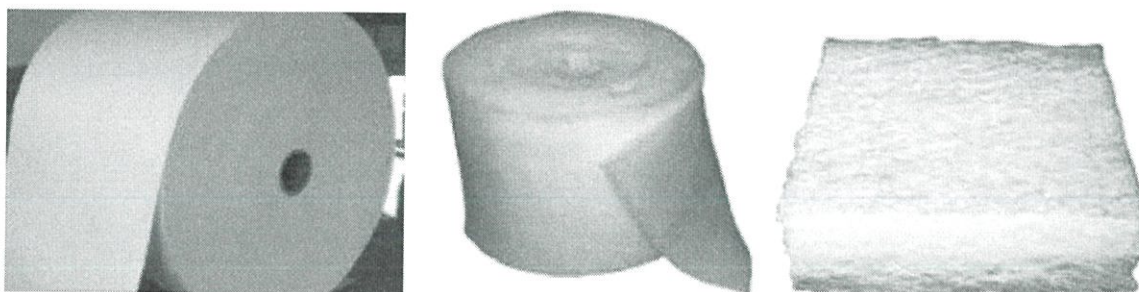
ส่วนประกอบประเภทและคุณสมบัติต่างๆ ของ แผ่นกรองอากาศทั้งทางกล ไฟฟ้าและ เคมีวัสดุ (Materials) ของส่วนประกอบหลักในแผ่นกรองอากาศมีดังนี้

### เนื้อกรอง Media

มีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งาน โยแก้วหยาบและละเอียด (Glass fiber and Micro Fine Glass Fiber Media), โยสังเคราะห์แบบหยาบและละเอียด (Synthetic Fiber and Micro Synthetic Fiber Media), เซลลูโลสผสมโยสังเคราะห์ (Cellulose with Synthetics), โยสังเคราะห์ผสมฝ้าย (Synthetic with Cotton) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเนื้อกรอง เทคโนโลยีใหม่ คือเนื้อกรองแบบเทฟลอน (Poly Tetra Fluoroethylene Media-PTFE) สำหรับแผ่นกรอง HEPA/ULPA ที่ต้องการความดันตกคร่อมเริ่มต้นต่ำ เพื่อประหยัดพลังงาน ซึ่งเนื้อกรองประเภทนี้มีคุณสมบัติทนกรดได้ดี และมีความคงทน ไม่เสียหายง่ายไม่เหมือน Micro Fine Glass Fiber Media ส่วนใหญ่แล้ว เนื้อกรองที่ดีควรมีคุณสมบัติเป็นแบบ Dual หรือ progressive density หรือมีชั้นกรองฝุ่นแบบหยาบและละเอียด เพื่อให้ใช้ได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ และควรมีคุณสมบัติทนต่อความชื้นได้ดี (Water Resistance Media) และอาจมีคุณสมบัติป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียไม่น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำหรับงานที่ต้องทนต่อความชื้นสูงๆ อยู่ใกล้ชายทะเล

กรอบของเนื้อกรอง (Cell Side)

มักทำจาก โลหะ Galvanized Steel , Extrusion Aluminum , Plywood , MDF , Particleboard , ABS Plastics , Card Board Paper และทำจากหรือ Stainless Steel สำหรับงานบางประเภท เช่น อุณหภูมิสูงมีแก๊สกัดกร่อนสูงหรือติดชายทะเลการเลือก cellsides ควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน ให้มีความแข็งแรงเพียงพอ Separators เป็นตัวคั่นระหว่างเนื้อ Media ที่ pleat ติดต่อกัน เพื่อให้เกิดการกระจายลมที่ดี ลดแรงเสียดทาน Separators ที่ดีควรมีลักษณะเป็นแบบ Taper Separators โดยขนาดของช่องหรือรูรับด้านลมเข้าใหญ่กว่า ด้านลมออก เป็นแบบ Aerodynamic Design วัสดุที่ใช้มีทั้งแบบ Aluminum และพลาสติก อีกแบบหนึ่ง Separatorless มักจะใช้กับ Filter แบบ Mini Pleat โดยทำจากวัสดุ Hot Melt หรือ Thermo Plastics Bond



รูปที่ 2.2.5 เนื้อกรองลักษณะต่างๆ

#### สารยึดติดหรือ Adhesive

สำหรับเคลือบเนื้อกรองแบบ Impingement Filter จะมีหลายแบบเช่น Rubber Based, Non Petroleum Content, Epoxy Resin, Polyester Resin ฯลฯ

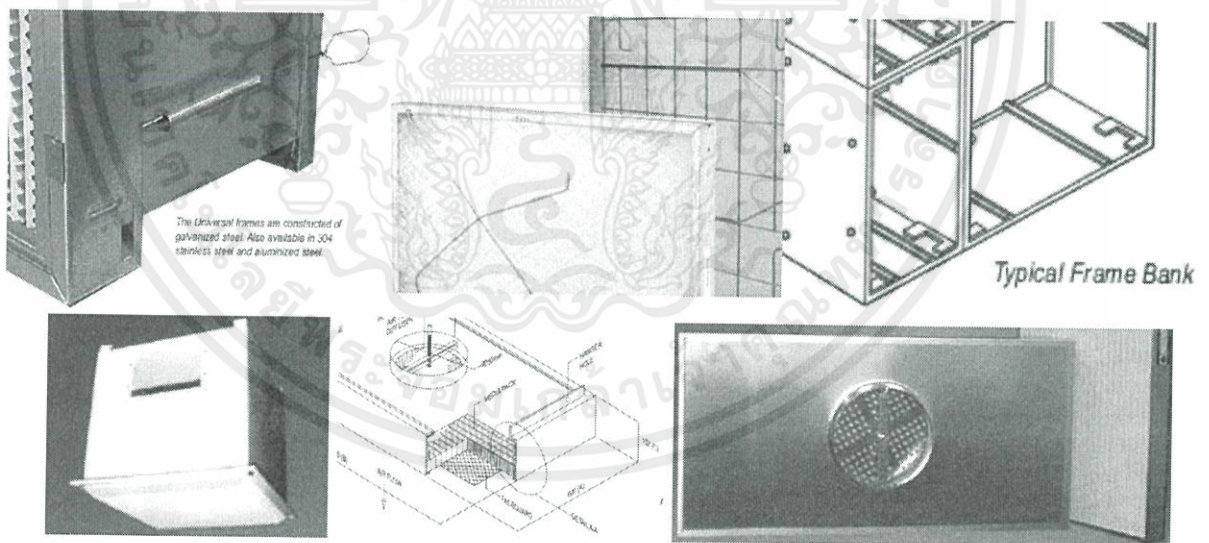
#### ซีลแลนท์ (Sealant)

เป็นสารที่ใช้สำหรับ HEPA/ULPA ส่วนใหญ่ใช้โพลียูรีเทน (Poly Urethane) ซึ่งมีหลายเกรดแบบเพื่อทดสอบถ้าคุณภาพดี ๆ มีคุณสมบัติในการยึด Media Filters เข้ากับ Cell side ได้ดี ยิ่งถ้าเป็นแผ่นกรองที่ใช้กับ Gas Turbine, จะใช้งานที่ความเร็วลมสูง 3.125 m/s จะต้องมีการทดสอบ Burst Pressure ซึ่งเป็นความดันที่แผ่นกรองอากาศจะเริ่มหลุดออกจาก cell side

#### ปะเก็น (Gasket)

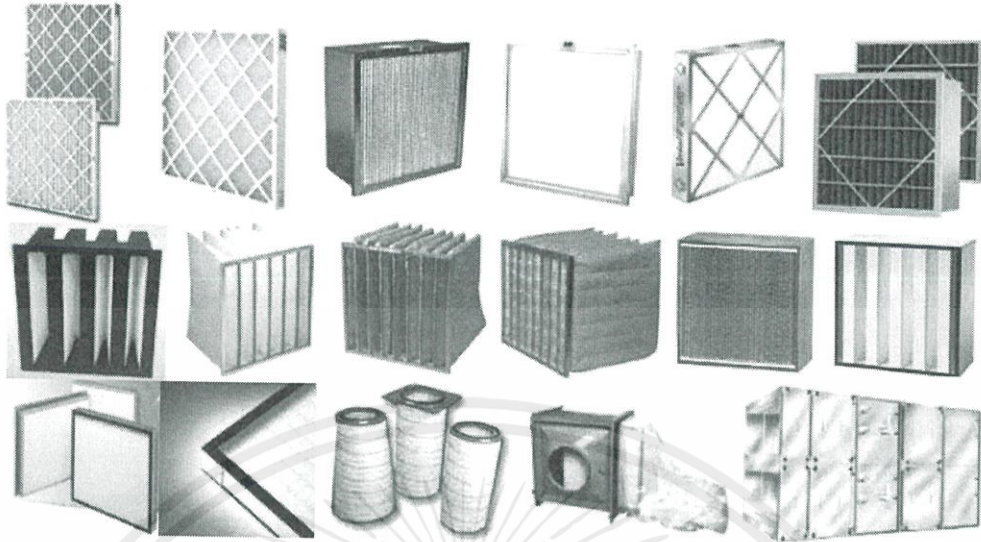
ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้แผ่นกรองและFrame รั่ว หรือเกิดการ By Passของอากาศโดยไม่ผ่านแผ่นกรองโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด แบบ Dry มีหลายชนิดเช่น แบบฟองน้ำ (EPDM Sponge) แบบยางดำ (Black Neoprene), รูปร่างของ gasket แบบนี้มีทั้งแบบที่เป็นแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Flat) และมีอีกแบบหนึ่งเป็นแบบ Flat Dose Tail Gasket ซึ่งมีรอยต่อเป็นรูป Jigsaw และแบบหน้าตัดครึ่งวงกลม (Half-Round Gasket) ขึ้นอยู่กับการใช้งาน มีความยืดหยุ่นพอดีไม่แข็ง ไม่อ่อนเกินไป ไม่รั่วเป็นใช้ได้มี Gasket อีกประเภทหนึ่งเราเรียกว่า White Plasto Zote Gasket เป็น Gasket ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับห้องสะอาดที่มีความสะอาดสูงระดับ Class 100 (ISO5) ขึ้นไป เช่น โรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ Seagate และ Western Digital ซึ่งมีผ่านการรับรองค่า Low Off gassing Test Gasket ชนิดที่ 2 แบบ liquid หรือ Gel Sealant จะมีแบบ Blue Gel (Clear Urethane + Activator) ซึ่งเราเรียกว่าแบบ Gel Sealant ใช้กับ HEPA/ULPA Filters ที่มี cellside แบบ Knife Edge Frame ใช้กับ ห้องสะอาดที่เป็น Class สูงๆ เช่น

Class 100 (ISO5), Class 10(ISO4) Class 1(ISO3) หรือในโรงงานผลิตยากรอบหรือเฟรมที่ใส่แผ่นกรองอากาศเรามีหลายแบบทั้งแบบใส่แผ่นกรองด้านหน้า และด้านข้างขึ้นอยู่กับลักษณะการติดตั้ง และพื้นที่ติดตั้งตามรูปด้านล่างแบบ Universal Holding Frame, RENU Frame , Amer Frame , C Frame และ Fastening หรือ Latch แบบต่างๆสำหรับกล่องหรือframe สำหรับ HEPAหรือULPA Box แม้ว่า แผ่นกรองอากาศจะมีประสิทธิภาพสูงเท่าไร แต่ถ้ากรอบหรือframeมีร่องรอยการรั่วก็อาจจะทำให้ไม่มีประโยชน์ดังนั้น Frame จึงเป็นสิ่งสำคัญโดยเฉพาะแผ่นกรองแบบ HEPA หรือ ULPA ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เป็นแบบ Ceiling Modules สำเร็จจากโรงงาน โดยรับประกัน leak free จากโรงงานผู้ผลิต ตามมาตรฐาน IEST CC RP 007 หรือ EN 1822 ดังรูปที่ 6 กรอบของกรองอากาศแบบต่างๆรูปลักษณะการออกแบบแผ่นกรองอากาศ(Configuration) มีอยู่หลายประเภทเช่นแบบจีบ (Pleat), แบบแผ่น (Panel), แบบกล่อง (Box), แบบถุง(Bag or Pockets,แบบตัววี(V-Shape), แบบจีบเล็ก(Mini pleat), แบบกระบอก(Canisters) ทั้งทรงกรวย (Conical) และทรงกระบอก(Cylindrical)นอกจากนี้ยังมี แบบถุงพิเศษใช้ในงานที่ปลอดเชื้อ(Sterile) หรืองานที่มีกัมมันตภาพรังสี (Radioactive Nuclear) ที่เรียกว่า Bag In Bag Out (BIBO) ดังรูปที่ 7 กรอบอากาศรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.2.6 กรอบของกรองอากาศแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.7 กรองอากาศรูปแบบต่างๆ

### 2.2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบกรองอากาศ

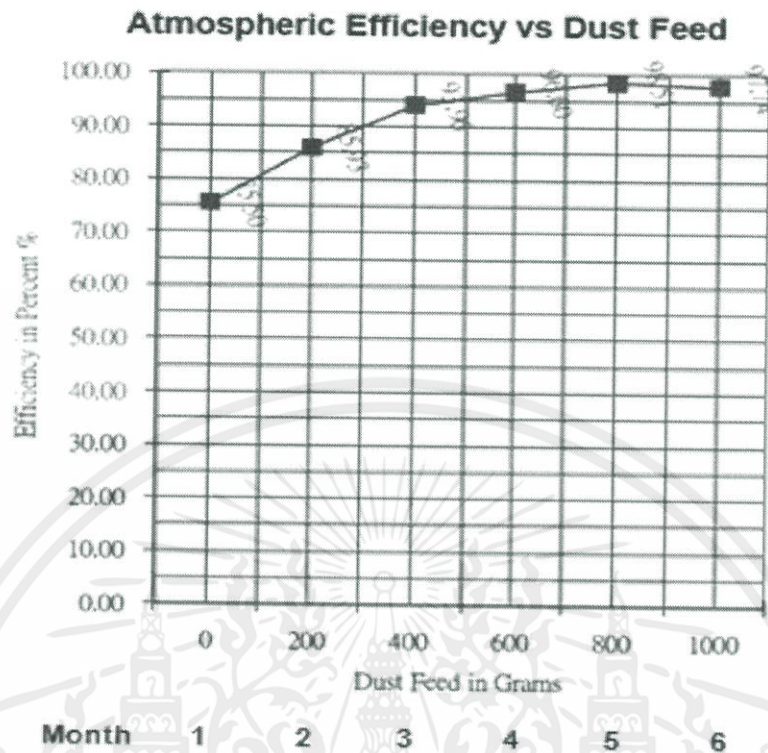
1. ปริมาณลม (Air Flow) โดยทั่วไปถ้าเป็นแผ่นกรองชั้นต้นและชั้นกลางที่มีประสิทธิภาพไม่เกิน 98%ASHRAE dust spot efficiency ใช้ในงานปรับอากาศจะใช้ไม่เกิน 500 ฟุตต่อนาที (2.5 เมตรต่อวินาที) บางรุ่นถ้าเพิ่มพื้นที่เนื้อกรองสามารถรับลมได้ถึง 625 ฟุตต่อนาที (3.125เมตรต่อวินาที) โดยความดันตกคร่อม

2. ประสิทธิภาพ(Efficiency) แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

- ประสิทธิภาพเริ่มต้น เมื่อแผ่นกรองสะอาด(Initial Efficiency)

ประสิทธิภาพเฉลี่ย (Average Efficiency) เป็นประสิทธิภาพที่ผู้ผลิตแผ่นกรองบอกว่าแผ่นกรองอากาศนั้นมีประสิทธิภาพเท่าไร ซึ่งทางผู้ออกแบบมักใช้ในการกำหนด specification

ประสิทธิภาพสุดท้าย (Final Efficiency) เป็นประสิทธิภาพที่แผ่นกรองไม่สามารถกรองได้ ณ จุดนี้ แผ่นกรองอากาศจะตัน อัตราการไหลจะลดลง ความดันตกคร่อมจะสูงขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพ 95% เริ่มต้นเมื่องานอาจจะเริ่มต้นที่ประสิทธิภาพ 30%-40% แต่พอเวลาผ่านไป จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจนถึง Rated ที่บอกในแคตตาล็อก ลองดูกราฟด้านล่างดังรูปที่ 8 ต้องใช้เวลาถึง 3 เดือนครึ่ง จะได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 95% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ load ที่ใช้งานแผ่นกรองอากาศที่ดีควรจะใช้ระยะเวลาที่สั้น ในการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเริ่มต้นจนถึง ประสิทธิภาพเฉลี่ย



รูปที่ 2.2.8 ประสิทธิภาพของแผ่นกรองเมื่อเวลาผ่านไป

3. ความดันตกคร่อม (Pressure Drop หรือ Resistance) โดยทั่วไป เรามักอยากได้แผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูงๆ แต่ความดันตกคร่อมต่างๆ ซึ่งมักจะสวนทางกัน เนื่องจาก ถ้าความดันตกคร่อมหรือความดัน สูญเสีย (Pressure Loss) สูงๆ ก็จะต้องใช้พัดลมและ มอเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งจะกินพลังงานมาก ดังนั้น ผู้ผลิตจึงพยายามออกแบบแผ่นกรองให้มีประสิทธิภาพสูงแต่ความดันตกคร่อมต่ำๆ เป็นแบบ V Shape หรือ เพิ่มพื้นที่เนื้อกรองให้ความเร็วลมต่ำๆ และอีกเรื่องหนึ่งคือเราต้องสอบถามผู้ขายว่าค่าความดันตกคร่อมที่เลือกมีค่าคลาดเคลื่อน +/- กี่เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปไม่ควรเกิน +/- 10% บางที่ไม่ได้บอก ทางผู้ขายก็สามารถลดพื้นที่เนื้อกรองให้น้อยลง โดยมีค่าคลาดเคลื่อน +/- ถึง 20% ผมขอแบ่ง ความดันตกคร่อมเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- ความดันตกคร่อมเริ่มต้น (Initial Resistance) เป็นค่าความดันตกคร่อมเมื่อแผ่นกรองอากาศสะอาด
- ความดันตกคร่อมเฉลี่ย (Average Resistance) เป็นค่าความดันที่ผู้ออกแบบมักจะใช้ในการใช้คำนวณความดันสูญเสียในการเลือกขนาดของพัดลม
- ความดันตกคร่อมสุดท้าย (Final Resistance) เป็นค่าความดันตกคร่อมเมื่อแผ่นกรองตันโดยส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความดันสุดท้ายที่แผ่นกรองอากาศจะเสียหาย (Burst Pressure) ซึ่งมักทดสอบสำหรับแผ่นกรองอากาศ ที่ใช้งานในโรงไฟฟ้า ซึ่งมีความเสี่ยงสูงในการที่แผ่นกรองอากาศเสียหายและหลุดเข้าไปในระบบโดยจะทำให้ระบบTurbine เสียหาย ในโรงไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้Turbine เสียสมดุล และอาจจะเสียหายเป็นมูลค่าหลายล้านบาท เฉพาะการบำรุงรักษา ไม่รวมค่าเสียหายอีกหลายร้อยล้านบาทกรณีที่ต้อง shutdownโดยทั่วไปมักทดสอบที่ความดันสูงสุดมากกว่าความดันสุดท้ายประมาณ 10-15 เท่า โดยทั่วไป บางยี่ห้ออาจจะต้องมีความดันตกคร่อมถึง 25 INWG. (6,250 Pa.) ซึ่งจะทดสอบโดย Third Party

5. ความสามารถในการกักเก็บฝุ่น (Dust Holding Capacity; DHC) มีหน่วยเป็นน้ำหนัก gram หรือ kgจะบอกถึงอายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ เราสามารถเปรียบเทียบกันได้ แบบประมาณการได้ ถ้าเรามีแผ่นกรองอากาศ 2 ชนิด มี DHC ต่างกัน ชนิด A 500 grams และชนิด B 1,000 grams เราสามารถบอกได้ว่า ถ้าแผ่นกรองอากาศทั้งสองชนิดงานในสภาพแวดล้อมเดียวกัน แผ่นกรองชนิด B จะมีอายุการใช้งานมากกว่า ชนิด A 2 เท่า

6. อายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ โดยทั่วไป ผู้ขายมักกำหนดว่าแผ่นกรองอากาศชั้นต้น (20-30% ASHRAE Dust Spot Efficiency) มีอายุการใช้งาน 3-6 เดือน, แผ่นกรองอากาศชั้นกลาง (45-95%ASHRAE Dust Spot Efficiency)มีอายุการใช้งาน 6-12เดือน และแผ่นกรองอากาศชั้นสุดท้าย (> 98% จนถึงHEPA, ULPA efficiency) ,อายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี ถ้าหากว่าเราบำรุงรักษา เปลี่ยนแผ่นกรองอากาศชั้นต้นและชั้นกลาง อาจอยู่ได้นานถึง 2 ปี เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตไม่สามารถบอกได้ อย่างชัดเจน เพราะเนื่องจากขึ้นสภาพแวดล้อมปริมาณฝุ่น ดังนั้น ถ้าผู้ใช้งานสามารถกำหนดปริมาณฝุ่นโดยเฉลี่ยใน 1 ปีได้ ผู้ขายก็สามารถที่จะออกแบบแผ่นกรองอากาศที่เหมาะสมได้สำหรับแผ่นกรองแก๊ส(Chemical Filters) เรามักจะทดสอบอายุการใช้งานได้โดยการเก็บ Sampling Media เพื่อไปทดสอบในห้องแลปซึ่งเรามักจะเทียบกับ Base Line ที่เราเลือกปริมาณ Media ตั้งแต่ต้นว่ามีอายุการใช้งาน 3, 6 หรือ 12 เดือนแล้วแต่ขนาดของอุปกรณ์

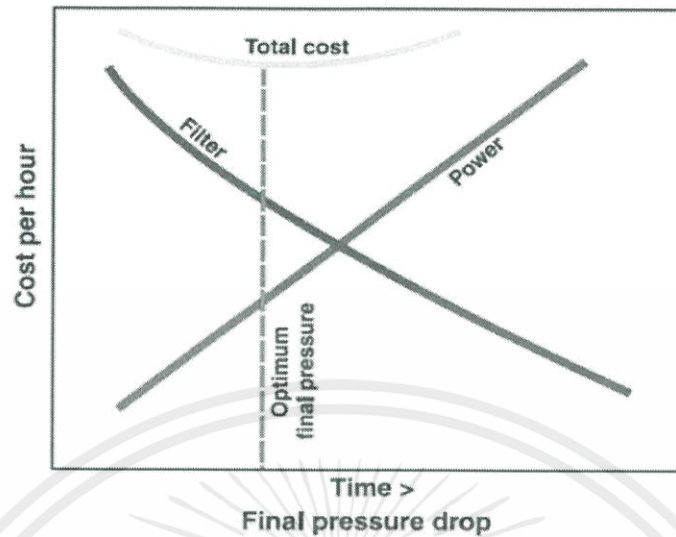
7. ความเร็วลมที่เข้าแผ่นกรองอากาศ (Face Air Velocity) หรือความเร็วที่ผ่านหน้าตัดของแผ่นกรองอากาศ มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองอากาศที่เป็นแบบInertia Effect หรือ Impingement และแบบ Diffusion(HEPA&ULPA) แต่จะไม่มีผลกับ แผ่นกรองอากาศแบบ Interception อธิบายโดยยกตัวอย่างง่ายๆคือ ถ้าเราใช้แผ่นกรองอากาศ HEPA 99.99% ที่ 0.3 ไมครอน ความเร็วลมสูงๆ เช่น มากกว่า 250 ฟุตต่อนาทีประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศก็จะลดลงจะน้อยกว่า 99.99% ที่อนุภาคขนาด 0.3 ไมครอน เนื่องจาก diffusion effect ต้องการความเร็วลมต่ำๆ ทำให้โอกาสที่อนุภาคขนาดเล็ก

จะไปเกาะติดบนเส้นใยของเนื้อกรองอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้ การใช้ความเร็วลมสูงๆ เกินกว่าที่ ออกแบบจะทำให้ความดันตกคร่อมสูงด้วย อีกค่าหนึ่งที่เราน่าจะรู้จักคือ Media Velocity ไม่ใช่ Face Velocity เป็นความเร็วลมที่ผ่านเนื้อกรองอากาศ โดยทั่วไปถ้าเป็นแผ่นกรองอากาศชนิด HEPA จะมีความเร็วลมที่ผ่านเนื้อกรองที่ประมาณ 4-6 ฟุตต่อนาทีซึ่ง face velocity อาจจะเป็น 90 ฟุตต่อนาที แบบ Mini pleat ดังนั้น ผู้ผลิตแผ่นกรองจะต้องออกแบบให้ HEPA มีเส้นใยที่มีขนาดที่เหมาะสม หลายชั้น มีพื้นที่เนื้อกรองอากาศมากๆ เพื่อลดความเร็วจาก 90 ฟุตต่อนาทีเหลือ 4-6 ฟุตต่อนาทีสำหรับแผ่นกรอง แก๊ส (Chemical Filters) เรามักจะออกแบบให้มีความเร็วลมที่ต่ำเพื่อเพิ่ม contact time หรือ Resident Time เช่น Activated Carbon ที่ใช้บ้านเราส่วนใหญ่ ระบบที่ดีความจะออกแบบให้ความเร็วลมที่ผ่าน ภาด Activated Carbon 20-60 ฟุตต่อนาที หรือมี contact time อย่างน้อย 0.02 วินาทีอีกเรื่องหนึ่งเป็น เรื่องการกระจายของความเร็วลมกรณีแผ่นกรองอากาศที่ติดบน ceiling ที่เป็นแบบ Ceiling Module หรือเป็นแบบ FFU (Fan Filter Units) นับเป็นสิ่งสำคัญที่ ผู้ผลิตแผ่นกรองอากาศ จำนวนจุดที่ต้องทดสอบ ขึ้นกับขนาดของแผ่นกรองและมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน +/- 20% ของความเร็วลมที่กำหนด เพื่อให้เกิด การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

8. พื้นที่ของเนื้อกรองอากาศ โดยทั่วไป สามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มจำนวน pleat ทำเป็นแบบ V Shape เพื่อลดความเร็วลม และลดแรงเสียดทานอากาศ เพื่อลดความดันตกคร่อม Media อีกเรื่องหนึ่งที่สำคัญ การออกแบบให้เนื้อกรองเป็นแบบ Dual Density หรือ Progressive Density ด้านหน้าหยาบ รับ ฝุ่นขนาดใหญ่ด้านหลังละเอียด รับฝุ่นขนาดเล็ก เราเคยอาจสังเกตจากการใช้งาน ถ้าพบว่าข้างหน้าดำ และข้างหลังขาว เป็นแผ่นกรองอากาศชนิดที่ไม่มีดี อาจจะใช้งานผิดประเภท ขนาดฝุ่นที่ต้องกรองกับ ประสิทธิภาพเนื้อกรองไม่เหมาะสมกัน หรือเป็นแบบ Single density ซึ่งแผ่นกรองไม่ได้ถูกใช้เนื้อกรองได้ อย่างเต็มที่ แผ่นกรองอากาศด้านหลังไม่ได้ใช้งาน

9. การเกิด Outgassing ของเนื้อกรองอากาศ วัสดุตัวมันเอง ไม่ก่อให้เกิด gas ที่ไม่พึงประสงค์ เข้าไปในระบบ โดยเฉพาะห้องสะอาดที่มีการกำหนด Outgassing Criterion ของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ วซึ่ง gas หลักๆที่เราสนใจก็จะมีหลายตัว ซึ่งมักเป็นพวก Organic Contaminate มาจากเนื้อกรองเองคือ epoxy, Sealant เป็นต้น โดยทั่วไป ผู้ผลิตจะต้องเลือกวัสดุที่ดีที่ทำให้ไม่เกิด Outgassing และต้อง ทดสอบผ่านเกณฑ์ของลูกค้า โดย Third Party Laboratory ปรึกษาต่างๆ ข้างต้น เราสามารถขอรายงาน ผลทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 52.1-1992, 52.2-2007, EN779-2012, EN1822-2009, Leak Test/Efficiency Test ตาม IEST RP โดย Third Party Lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.9 LCCA Curve

10. Life Cycle Cost Analysis (LCCA) หรือการวิเคราะห์ในเรื่องของต้นทุนของแผ่นกรองและ ต้นทุนขณะใช้งาน รวมถึงค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น เช่น ค่าไฟหรือค่าของพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง;kHz) ค่าแรงค่ากำจัดทิ้ง ฯลฯซึ่งจะมองถึงต้นทุนรวมทั้งหมดที่ต่ำที่สุดอายุการใช้งานของแผ่นกรอง อากาศ และเวลาที่เรามาต้องเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศที่เหมาะสม และคุ้มค่าที่สุดตามรูปที่9 เมื่อมูลค่าของ แผ่นกรองอากาศลดลง(depreciation cost) ค่าไฟเพิ่มขึ้น เนื่องจากความดันตกคร่อมสูงขึ้นเรื่อยเมื่อใช้ งาน จะได้จุดตัด แต่อาจจะไม่ใช่ว่าจุดที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด จะเห็นได้ว่าจุดที่จะเปลี่ยน แผ่นกรองอากาศอยู่ ที่จุดoptimum final pressure ซึ่งเป็นจุดที่ total cost ต่ำที่สุดแผ่นกรองอากาศ หลายประเภทดังที่ได้ กล่าวไปแล้วค่าความดันตกคร่อมไม่เท่ากันรูปแบบที่ต่างกัน ดังนั้น เราต้องคำนึงถึงการเลือกแผ่นกรองอากาศในแต่ละชั้นโดยปกติแล้ว เราต้องจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้า หรือ ค่า ไฟในระบบปรับอากาศ มากกว่า 40% ของค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และ ประมาณ 60-80 % ของ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศมาจากการใช้แผ่นกรองอากาศ (ข้อมูลจาก EPA data@WWW.epa.gov)ดังนั้น ในการเลือกแผ่นกรองอากาศควรเลือกให้เหมาะสม ประสิทธิภาพสูงและ ค่าความดันตกคร่อมต่ำ ซึ่งปัจจุบันมีเนื้อกรองอากาศประสิทธิภาพสูง HEPA และULPA ประเภทหนึ่งทำ จากวัสดุใยสังเคราะห์ Poly Tetra Flour Ethylene (PTFE) หรือ เทฟลอน เป็นเส้นใยขนาดเล็ก เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนต่อโอโซน ไอต่าง ไม่ขาดง่าย และมีประสิทธิภาพสูง มากกว่าหรือเท่ากับเส้นใยแก้ว แบบละเอียด (Microfine glass fiber) ณ ความเร็วลม หรือปริมาณลมเท่ากันมีค่าความดันตกคร่อม เริ่มต้นต่ำกว่า30-50 % ซึ่งทำให้เราได้อากาศที่ดี และประหยัดพลังงานควบคู่กันไป MIMC (Maximize

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IAQ, Minimize Total Cost)จากรูปด้านล่างจะเห็นค่าความดันตกคร่อมที่แตกต่างกันระหว่าง PTFE และ Glass Fiber ที่ความเร็วลมเท่ากัน 0.5m/s ประมาณ 2 เท่า (70 Pa และ 148 Pa) ดังรูปที่ 10

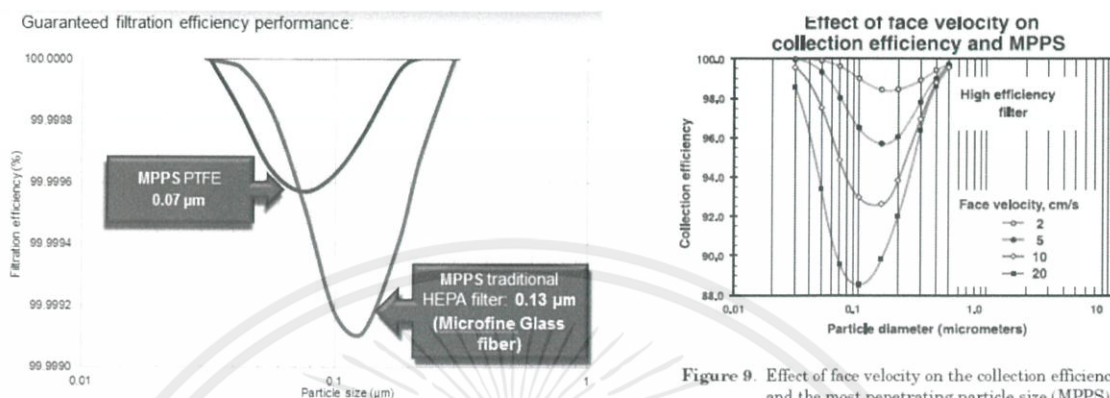


Figure 9. Effect of face velocity on the collection efficiency and the most penetrating particle size (MPPS).

รูปที่ 2.2.10 ประสิทธิภาพ MPPS ของ PTFE และ Glass Fiber และ MPPS ที่แต่ละความเร็วลมที่เปลี่ยนไป

วิธีการบ่งบอกว่าเราจะเปลี่ยนแผ่นกรองอากาศเมื่อไรโดยทั่วไปมีอีก 3 วิธีนอกเหนือจากการใช้ LCCA ดังนี้

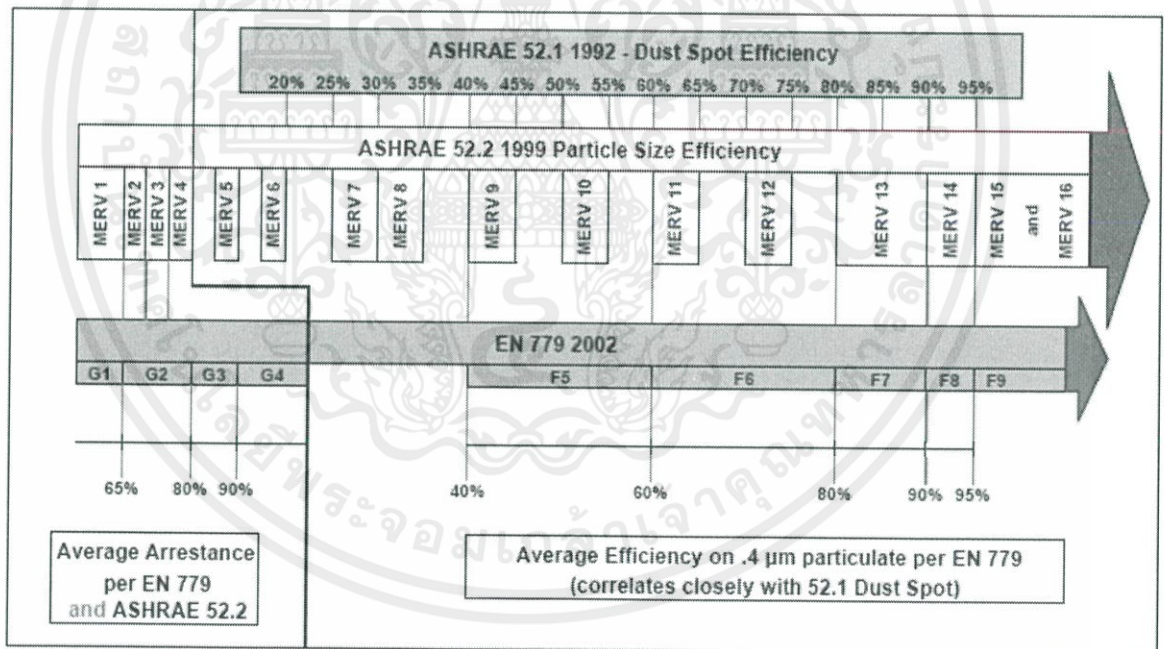
- กำหนดค่าความดันสุดท้ายที่ต้องเปลี่ยนโดยวิศวกรหรือช่าง
- กำหนดจากค่าความดันตกคร่อมสุดท้ายที่ผู้ผลิตแผ่นกรองอากาศแนะนำ
- กำหนดจากประสบการณ์ของผู้ใช้

11. Most Penetration Particle size หรือ MPPS เป็นการทดสอบแผ่นกรองอากาศตามมาตรฐาน EN1822-2009 ทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศประสิทธิภาพสูงตามขนาดของอนุภาคต่างๆที่เราสนใจ (Efficiency by Particle size) จากรูปด้านล่างจะเห็นได้ว่าเนื้อกรองแต่ละประเภทเช่นแบบ micro glass fiber มีประสิทธิภาพที่อนุภาคขนาดต่างกันไม่เท่ากันถ้าเราดูที่อนุภาคขนาดน้อยกว่า 0.1 ไมครอน เนื้อกรองแบบ PTFE จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าและที่ความเร็วลมประสิทธิภาพแบบ MPPS ก็เปลี่ยนแปลงไม่เท่ากันที่ความเร็วลมต่างๆเช่น 2 cm/s จะมีประสิทธิภาพ MPPS ที่ขนาดอนุภาคต่างๆค่อนข้างสูงและค่อนข้างคงที่ แต่ถ้าเพิ่มความเร็วลมประสิทธิภาพที่ขนาดอนุภาคต่างๆกันก็จะลดลงดังรูปที่ 11

12. มาตรฐานการทดสอบ Performance มีอยู่หลายค่ายจากอเมริกาและยุโรป เช่น ASHRAE 52.1-1992, ASHRAE 52.2-2007, IEST RP CC XXX, DIN 24184,

EN779-2012, EN1822-2009 ซึ่งก็จะทดสอบหาประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศ, ค่าความดันตกคร่อม ความสามารถในการกักเก็บฝุ่น ฯลฯ ซึ่งเรามักจะขอผลการทดสอบจากผู้ขายหรือผู้ผลิตได้ ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิดังรูปที่ 12 เปรียบเทียบด้านล่างระหว่าง ASHRAE และ EN Standard

สำหรับการทดสอบ HEPA/ULPA filters จะมีทั้งการทดสอบ overall efficiency, leak scan test, การกระจายความเร็วลม (Air velocity distribution), ความดันตกคร่อมและ outgassing test ตามที่ได้กล่าวไปแล้วปัจจุบัน สารแอโรซอล(Aerosol) ที่ใช้ทดสอบจะเป็นพวก Poly Styrene Latex (PSL), Poly functional Alcohol ,Potassium Chloride (KCl) ซึ่งจะต้องผ่านการรับรองว่าจะไม่มีสารพิษ สารตกค้างในตัวของแผ่นกรองอากาศ เกณฑ์การทดสอบก็จะถูกระบุในมาตรฐานต่างๆ ว่าจะrejectที่มีการรั่วกี่% กี่ตารางนิ้ว ซ่อมได้ในพื้นที่เนื้อกรองไม่เกินกี่ตารางนิ้วดังรูปที่ 13 เป็นต้น ยังมีอีกเรื่องหนึ่งที่ผมอยากจะเผยแพร่คือ การเปรียบเทียบของมาตรฐานการทดสอบHEPA และ ULPA filter ของค่าย US (MIL Std-IEST) และ EU (EN1822)

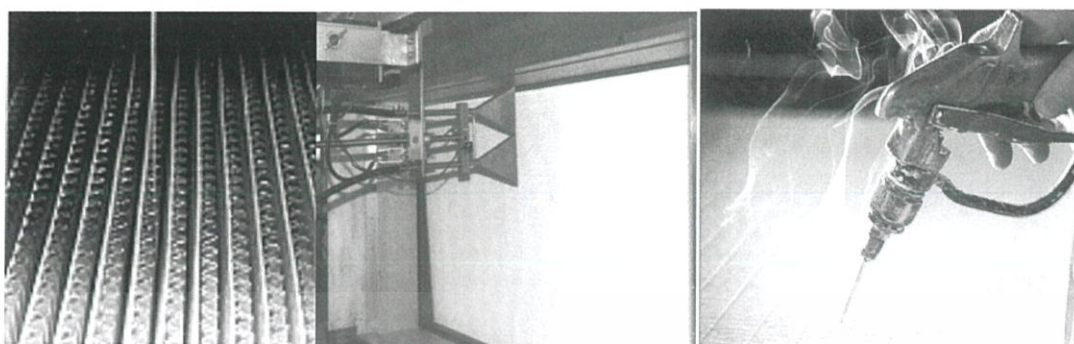


2620 South English Station Road  
Louisville, KY 40299  
270 867 9431

Courtesy of:  
Bob Burkhead  
Blue Heaven Technologies  
270 867 9431  
bobburkhead@blueheavenky.com

รูปที่ 2.2.11 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของ ASHRAE และ EN standard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 2.2.12 Leak Test ตาม DIN 24184, Scan Test ตาม IEST และการซ่อมแซมรอยรั่วที่เนื้อกรอง ULPA

13. มาตรฐาน UL และ FM Approval การทดสอบแผ่นกรองอากาศตามมาตรฐาน UL และ FM Approval นั้นเน้นในเรื่องความปลอดภัยของผู้ใช้ ปัจจุบันมีการประกาศจาก UL ในเดือนพฤษภาคม 2555 ที่ผ่านมามี UL standard 900 ไม่ได้แบ่ง Class อื่นแล้ว เป็นแค่ UL Classified ไม่มี Class I หรือ Class II เนื่องจากคณะกรรมการ UL ตัดสินใจว่าเราไม่สามารถบอกได้ชัดเจนหรือหาความแตกต่าง หรือหาหลักฐานมายืนยันในเรื่องระดับความปลอดภัยต่อผู้ใช้เมื่อใช้งานจริงมีฝุ่นต่างๆมาจับที่เนื้อกรองอากาศ ว่า Class I จะปลอดภัยกว่า Class II UL จะทดสอบแผ่นกรองทั้งแบบใช้แล้วทิ้งและแบบล้างน้ำได้ (Both Disposable and Washable Type) UL 900 จะทดสอบแผ่นกรองที่สะอาด แผ่นกรองใหม่ โดยจะใช้เปลวไฟในการเผาชิ้นส่วนของแผ่นกรองอากาศ เนื้อกรอง ซีล สารยึดเหนี่ยว กรอบของแผ่นกรอง (Media, Sealant, Adhesive, Cell side/frame) เพื่อดูว่าแผ่นกรองนั้นจะต้องทำจากวัสดุที่ไม่ลามไฟมีปริมาณควันที่น้อย ตามมาตรฐาน น้อยกว่า 9 ตารางนิ้ว (Smoke Density Curve) ซึ่งตามที่เรารับมาคนส่วนใหญ่มักจะตายเพราะควันเนื่องจากหายใจไม่ออก มากกว่าตายเพราะไฟและสารยึดเหนี่ยว (Adhesive) จะต้องมีจุดวาบไฟ (Flash Point) ไม่น้อยกว่า 325 องศาฟาเรนไฮต์ (163 องศาเซลเซียส) ตาม Cleveland Open-Cup Method ASTM D92-5a และการเกิดสารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ นั้นอยู่นอกขอบข่ายของการทดสอบตาม UL 900 แผ่นกรองอากาศที่ผ่าน UL 900 จะต้องติด Label และมี List อยู่ใน Approval Lists ของ UL โดยเราตรวจสอบได้ผ่าน website [www.ul.com](http://www.ul.com) ยังมีกรทดสอบอีกประเภทหนึ่งคือ UL 586 สำหรับการทดสอบ HEPA Filters ซึ่งในที่นี้จะไม่กล่าวถึง (UL 586: Standard for High-Efficiency, Particulate, Air Filter Units, defines procedures for confirming the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

performance of HEPA filters. ซึ่งจะกำหนด minimum construction components, airflow and resistance parameters, testing equipment and a minimum criterion flame test) สำหรับ FM Approve (Factory Mutual Approval) นั้นจะค่อนข้างเข้มงวดและรัดกุมกว่า UL โดยครอบคลุมถึงความปลอดภัยของการใช้งานแผ่นกรองอากาศในสภาวะการทำงานจริง ซึ่งมาตรฐาน FM นั้น สถาบัน FM จะต้องมาตรวจสอบถึงโรงงานกระบวนการผลิต วัสดุ ผู้ผลิตแผ่นกรองอากาศ เพื่อลดความเสี่ยงในการใช้งานและหากผู้ใช้ใช้สินค้าที่ได้ตรา FM จะสามารถนำไปลดค่าเบี้ยประกันภัยของโรงงานได้ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะทำ Certified Mark เฉพาะแผ่นกรองที่ มูลค่าสูงๆ เช่น HEPA และ ULPA สำหรับอุณหภูมิและความชื้นในอากาศก็จะมีผลต่อแผ่นกรองอากาศทั้งแบบ กรองฝุ่นและกรองแก๊ส สรุปสั้นๆได้ว่า ถ้าเป็นเรื่องของอุณหภูมิใช้งานโดยทั่วไป แผ่นกรองอากาศจะทนต่อ อุณหภูมิได้ไม่สูงมากนัก 60-80 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเราต้องการใช้งานในบางงาน เช่น ห้องอบสี เราอาจต้องเลือกแผ่นกรองที่ออกแบบมาใช้งานที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเนื้อกรองซิล สารยึดเหนี่ยวจะถูกเลือกมาเป็นพิเศษ ปัจจุบัน สามารถทำแผ่นกรองอากาศชนิด HEPA ที่อุณหภูมิได้สูงสุด ถึง 500 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นแบบกรองเคมี Chemisorption จะมีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อมีอุณหภูมิสูงแต่ไม่เกินอุณหภูมิ ใช้งานโดยทั่วไปไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็น Adsorption จะตรงกันข้าม ถ้าเป็นเรื่องความชื้น หากต้องติดตั้งแผ่นกรองอากาศที่ใกล้ทะเล ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ใกล้ๆ 100% RH เราอาจจะต้องเลือกแผ่นกรองที่สามารถกรองไอเกลือ ที่เป็น Hygroscopic คือเกลือจะเป็นหยดน้ำเมื่อสัมผัสกับอากาศ และแผ่นกรองต้องมีคุณสมบัติทนต่อความชื้นสูงๆ ได้ดี (Water resistance media) อาจเป็นแบบ โยสังเคราะห์ fully synthetic หรือใยแก้วที่ทนความชื้นสูงๆ ได้ดีถ้าเป็นแบบกรองเคมี ถ้าเป็น Chemisorption จะมีประสิทธิภาพสูง เมื่อมีความชื้นสูง แต่ถ้าเป็น Adsorption จะตรงกันข้าม และยังมีแผ่นกรองประเภทเคลือบสารยับยั้ง และป้องกันเชื้อรา แบคทีเรีย (Anti-Microbial treat) ซึ่งบ้านเรา ผมก็มีโอกาสในการสนับสนุน ศูนย์นาโนเทคโนโลยีได้ทำการวิจัยและพัฒนาสารเคลือบบนแผ่นกรองอากาศ เพื่อยับยั้งเชื้อโรค ซึ่งสารนั้นต้องมีความปลอดภัยต่อมนุษย์หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติมติดต่อทางผมได้ครับมีอีก 1 บทความที่ผมอยากจะเผยแพร่ คือ การ Upgrade หรือ Retrofit ระบบกรองอากาศในระบบปรับอากาศในโรงงานยา โรงงานผลิตอาหาร โรงไฟฟ้าผมอยากจะเขียนและขอฝากไว้คร่าวๆ อาจจะหลังจากบทความการเปรียบเทียบมาตรฐานของการทดสอบแผ่นกรองอากาศแบบ HEPA และ ULPA จาก US (MILSTD- IEST RP CC) และ EU ULPA จาก US (EN 1822)

IEST RP CC-001.3 defines a HEPA filter: *“A throwaway, extended medium, dry- type filter in a rigid frame, having a minimum particle-collection efficiency of 99.97% for 0.3- $\mu$ m particles of thermally generated DOP or specified alternative aerosol.”*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทความนี้ เราไม่ได้พูดถึง ปัญหาที่พบในการใช้งานแผ่นกรองอากาศซึ่งมักจะพบอยู่บ่อยครั้ง เช่น

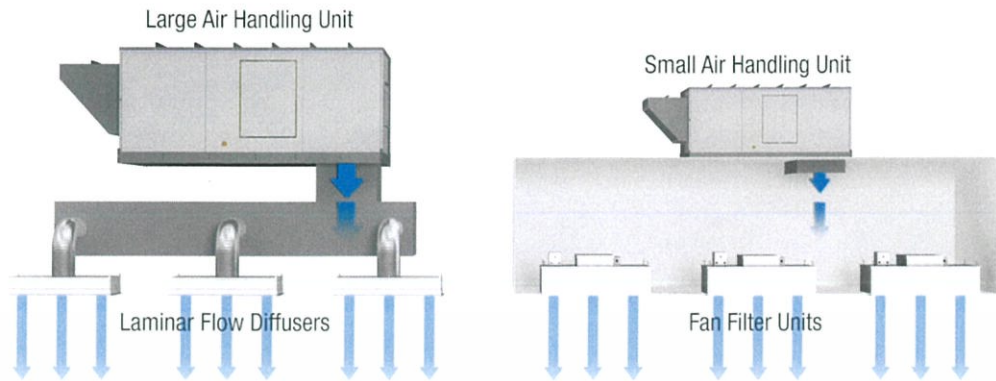
- ขนาดผิดไม่เข้ากับกรอบหรือเฟรม
- เลือกไม่เหมาะสม pressure สูงไป high velocity
- Efficiency ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน
- รั่วโดยเฉพาะ HEPA/ULPA
- อายุการใช้งานสั้นกว่าที่ออกแบบ
- ความชื้นสูง การกรองไม่ดี ต้นเร็ว
- การขนย้ายและเคลื่อนย้าย ทำให้แผ่นกรองอากาศโดยเฉพาะ HEPA/ULPA เสียหาย

7 ปัจจัยหลักในการพิจารณาเลือกแผ่นกรองเพื่อใช้งาน

1. ประสิทธิภาพ (Efficiency)
2. ชนิดของแผ่นกรอง (Type, material, etc.)
3. ค่าความดันตกคร่อม (Energy Consumption)
4. คุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์
5. อายุการใช้งาน
6. การลงทุนเริ่มต้น และต้นทุนการเปลี่ยนแต่ละครั้ง
7. การบำรุงรักษา

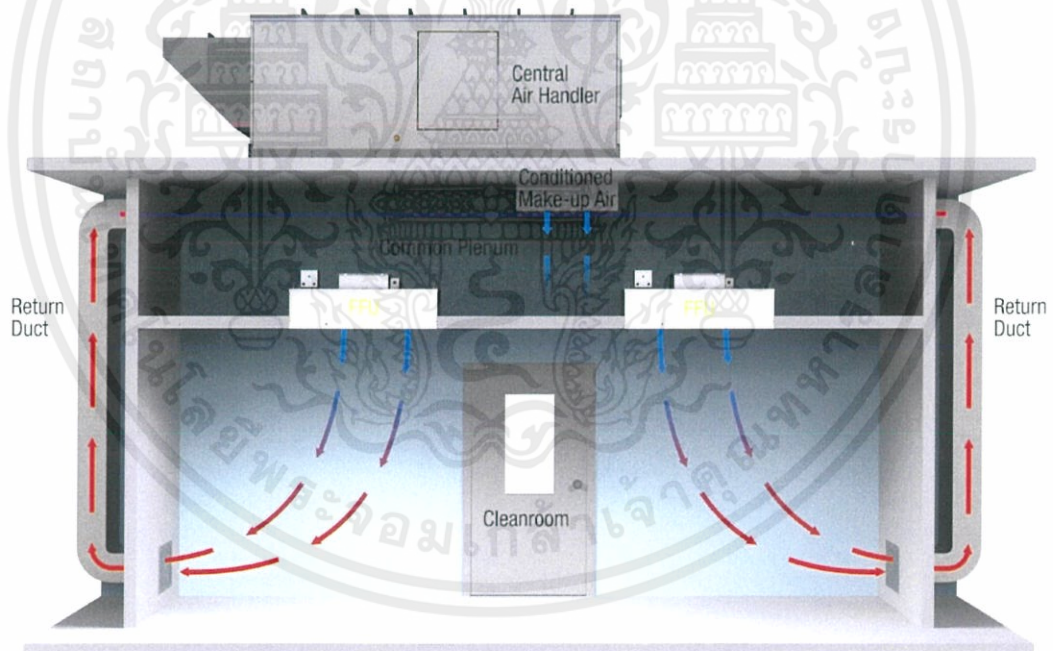
#### 2.2.4 FFU (Fan Filter Unit)

Fan Filter Unit คือ พัดลมติด HEPA Filter (High Efficiency Particulate Air Filter) ที่ช่วยกรองฝุ่นในอากาศออกก่อนที่จะป้อนอากาศเข้า Clean Area (เช่น ห้องคลีนรูม, คลีนเบนซ์, คลีนบูธ ฯลฯ) การป้อนอากาศสะอาดเข้าไปในบริเวณปิด จะช่วยเจือจางฝุ่นภายในบริเวณนั้น ให้มีปริมาณลดลง กลายเป็น Clean Area



รูปที่ 2.2.13 ความแตกต่างระหว่าง Laminar flow diffusers กับ Fan Filter Units

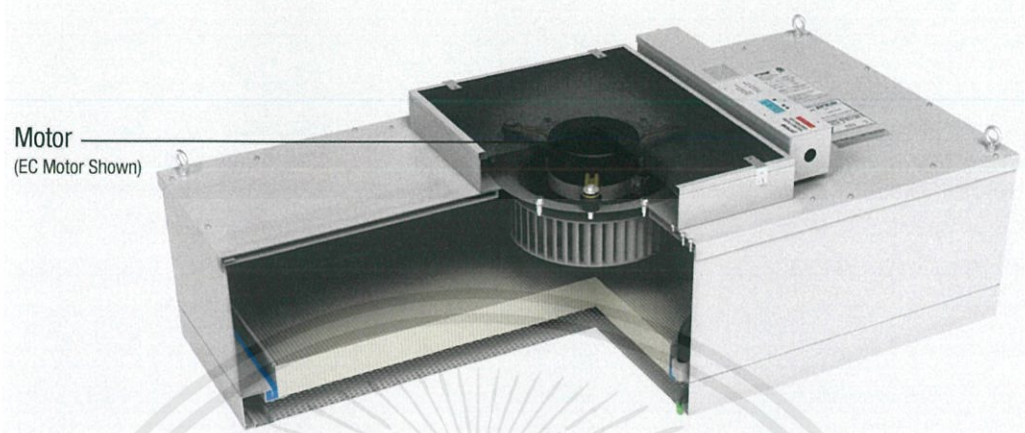
ซึ่ง Laminar Flow Diffusers จะอาศัยแรงดันอากาศจาก AHU (Air Handling Unit) เพื่อใช้ในการลำเลียงอากาศให้ผ่านเยื่อกรองไปยังห้องคลีนรูมต่างจาก FFU (Fan Filter Unit) ที่ใช้มอเตอร์พัดลมภายในตัวในการลำเลียงอากาศไปยังห้องคลีนรูม ทำให้ใช้ AHU ที่ใช้ในการลำเลียงอากาศเล็กกว่า Laminar Flow Diffusers



รูปที่ 2.2.14 การหมุนเวียนของอากาศภายในห้องคลีนรูม

ทิศทางการไหลเวียนของอากาศภายในห้องคลีนรูมจะเป็นไปตามรูปที่ 2.2.14 ซึ่งอากาศภายในห้องคลีนรูมจะต้องมีทิศทางที่ไหลผ่านตัวกรองอากาศ และมีทิศทางการหมุนเวียนของอากาศทิศทางเดียวเท่านั้น เพื่อป้องกันอนุภาคหรือฝุ่นละอองต่างๆจากภายนอก

## Anatomy of a Fan Filter Unit



รูปที่ 2.2.15 อุปกรณ์ Fan Filter Unit

ตารางที่ 2.2.1 ลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ FFU

Classification	AC	BLDC
Power	1Ph 220V 60Hz	
Dimension (mm)	580(L) x 1100(W) x 300(H)	
Ex. Static Pressure (mmAq)	9	
Air Velocity (m/s)	0.25 - 0.45	
Power Consumption (W)	15 - 35	12 - 30
Current (A)	0.65 - 1.05	0.5 - 0.9
Noise [dB(A)]	54 - 61	52- 65
Filter spec	ULPA Efficiency 99.9999% 15CMM at 9.5mmAq x 75(t)	
Weight (kg)	21	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (อังกฤษ: microcontroller มักย่อว่า  $\mu C$ ,  $\mu C$  หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้  
หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกับกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีพรอม (EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงก็ตาม

ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

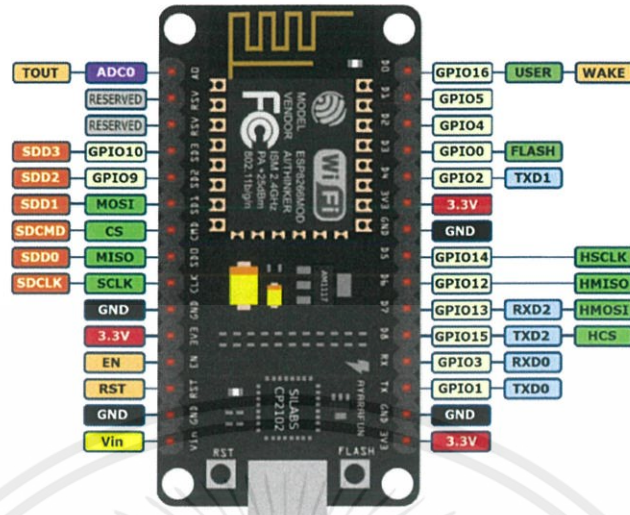
วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

### 2.3.1 NodeMCU

NodeMCU คือ แพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจกต์ Internet of Things (IoT) ที่ประกอบไปด้วย Development Kit (ตัวบอร์ด) และ Firmware (Software บนบอร์ด) ที่เป็น open source สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lua ได้ ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น มาพร้อมกับโมดูล Wi-Fi (ESP8266) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตนั่นเอง ตัวโมดูล ESP8266 นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรุ่นมาก ตั้งแต่เวอร์ชันแรกที่เป็น ESP-01 ไล่ไปเรื่อยๆจนปัจจุบันมีถึง ESP-12 แล้ว และที่ฝังอยู่ใน NodeMCU version แรกนั้นก็จะเป็น ESP-12 แต่ใน version2 นั้นจะใช้เป็น ESP-12E แทน ซึ่งการใช้งานโดยรวมก็ไม่แตกต่างกันมากนัก NodeMCU นี้มีลักษณะคล้ายกับ Arduino ตรงที่มีพอร์ต Input Output built in มาในตัว สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรลอุปกรณ์ I/O ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ และเมื่อไม่นานมานี้ก็มีนักพัฒนาที่สามารถทำให้ Arduino IDE ใช้งานร่วมกับ Node MCU ได้ จึงทำให้ใช้ภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรมได้ ทำให้เราสามารถใช้งานมันได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น NodeMCU ตัวนี้สามารถทำอะไรได้หลายอย่างมากโดยเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ IoT ไม่ว่าจะเป็นการทำ Web Server ขนาดเล็ก การควบคุมการเปิดปิดไฟผ่าน Wi-Fi และอื่นๆอีกมากมาย

### 2.3.2 ESP8266

ESP8266 เป็นชื่อเรียกของชิพของโมดูล ESP8266 สำหรับติดต่อสื่อสารบนมาตรฐาน WiFi ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.0-3.6V ใช้งานใช้กระแสโดยเฉลี่ย 80mA รองรับคำสั่ง deep sleep ในการประหยัดพลังงาน ใช้กระแสต่ำกว่า 10 ไมโครแอมป์ สามารถ wake up กลับมาส่งข้อมูลใช้เวลาน้อยกว่า 2 มิลลิวินาที ภายในมี Low power MCU 32bit ทำให้เราเขียนโปรแกรมสั่งงานได้ มีวงจร analog digital converter ทำให้สามารถอ่านค่าจาก analog ได้ความละเอียด 10bit ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส รายละเอียดเพิ่มเติมจากผู้ผลิตอ้างอิงตามลิงค์นี้ ESP8266 Datasheet เมื่อนำชิพ ESP8266 มาผลิตเป็นโมดูลหลายรุ่น ก็จะขึ้นต้นด้วย ESP866 แล้วตามด้วยรุ่น เช่น ESP-01 , ESP-03 , ESP-07 , ESP-12E



รูปที่ 2.3.1 Pin map ของ ESP8266

ESP8266 ติดต่อกับ Wi-Fi แบบ Serial สามารถเขียนโปรแกรมลงในชิพ โดยใช้ Arduino IDE ได้ ทำให้การเขียนโปรแกรมและใช้งานเป็นเรื่องง่าย คล้ายกับการใช้ Arduino แน่แน่นอนว่าสามารถติดต่ออุปกรณ์อื่น ๆ เซนเซอร์ ต่าง ๆ แบบสไตล์ Arduino ถ้ามีพื้นฐาน Arduino อยู่แล้ว ก็เข้าใจและใช้งานได้รวดเร็ว

โมดูล ESP8266 มีหลายรุ่น และมีรุ่นใหม่พัฒนาออกมาเรื่อย ๆ โดยโครงสร้างและขาที่ใช้งานก็จะมีลักษณะคล้ายกันคือ GPIO0 เป็นขาสำหรับเลือกโหมด โดยเมื่อต่อกับ GND จะเข้าโหมดโปรแกรม เมื่อต้องการให้ทำงานปกติก็ไม่ต้องต่อ GPIO15 เป็นขาที่ต้องต่อลง GND เพื่อให้โมดูลทำงาน

CH\_PD หรือ EN เป็นขาที่ต้องต่อไฟ VCC เพื่อ pull up สัญญาณ ให้โมดูลทำงาน โมดูลบางรุ่นไม่มีขา Reset มาให้ เมื่อต้องการรีเซ็ต ให้ต่อขา CH\_PD กับ GND Reset ต่อกับไฟ VCC เพื่อ pull up สัญญาณ โดยเมื่อต้องการรีเซ็ต ให้ต่อกับไฟ GND

VCC เป็นขาสำหรับจ่ายไฟเลี้ยง ใช้ไฟเลี้ยง 3.0-3.6V

GND ต่อกับไฟ 0V

GPIO เป็นขาดิจิตอล INPUT/OUTPUT ทำงานที่ไฟ 3.3V

ADC เป็นขา Analog INPUT รับแรงดันสูงสุด 1V ความละเอียด 10bit หรือ 1024 ค่า

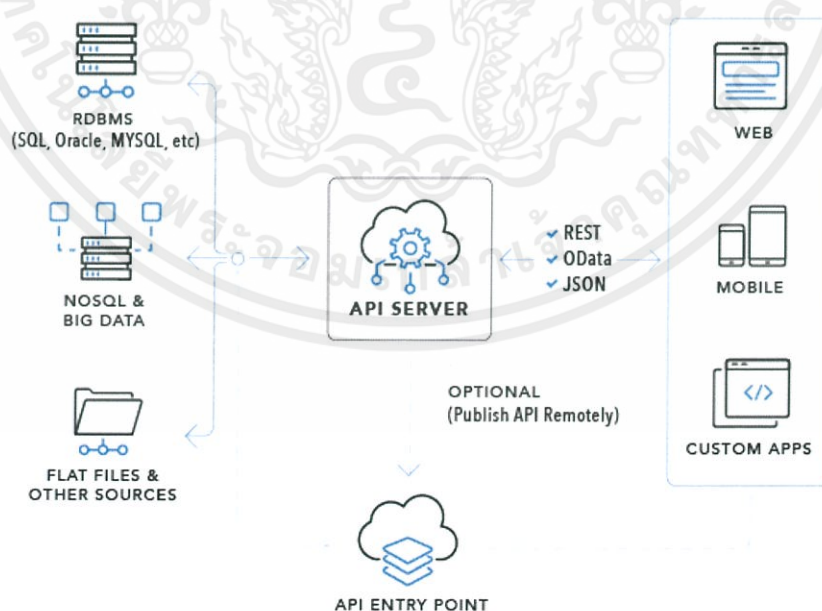
## 2.4 API Server (Application Programable Interface Server)

Application Programming Interface คือช่องทางการเชื่อมต่อระหว่างเว็บไซต์หนึ่งไปยังอีกเว็บไซต์หนึ่ง หรือเป็นการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้งานกับ Server หรือจาก Server เชื่อมต่อไปหา Server ซึ่ง API นี้เปรียบได้เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อย่างอิสระ

โดยส่วนมากแล้วเราจะเห็น API ถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายที่เห็นได้กันอย่างชัดเจนก็คือ บริการของ Amazon มี API ที่เปิดให้ผู้ที่สนใจที่จะเป็นตัวแทนขายสินค้าหรือเจ้าของเว็บทั่วไป ได้นำสินค้าที่มีขายอยู่ใน Amazon ไปติดไว้ในเว็บไซต์หรือบล็อกของตัวเองได้ โดยเจ้าของเว็บไซต์หรือผู้สนใจจะได้รับคอมมิสชันเมื่อมีการคลิกซื้อสินค้าจากเว็บไซต์หรือบล็อกที่นำ API ไปติดตั้ง อีกบริการหนึ่งก็คือบริการของ PayPal API ซึ่งเจ้าของเว็บไซต์ที่ต้องการเพิ่มช่องทางการชำระเงินให้กับลูกค้าก็สามารถนำ PayPal API ไปติดตั้งที่เว็บไซต์ที่ต้องการได้ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับลูกค้าที่มาใช้บริการในเว็บไซต์

### 2.4.1 API ทำหน้าที่อะไร

API (Application Programming Interface) ทำหน้าที่ช่วยในการเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ หรือจะเป็นการนำข้อมูลต่าง ๆ ออกจากเว็บไซต์ หรือจะเป็นการส่งข้อมูลเข้าไปก็ได้ โดยเจ้าของเว็บไซต์ที่มี API จะกำหนดขอบเขตในการเข้าถึงบริการต่าง ๆ ของทางเว็บไซต์



รูปที่ 2.4.1 ลักษณะการทำงานของ API Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 ประโยชน์ของ API

ประโยชน์ของ API สามารถแบ่งออกมาได้หลายอย่างคือ

1. ช่วยในการพัฒนาเว็บไซต์หรือ Application ได้ง่ายและรวดเร็วซึ่ง API จะเป็นตัวช่วยที่นักพัฒนาไม่ต้องเข้าไปแก้ไข Code คำสั่งเลยทำให้สะดวกสบายในการทำงาน
2. ช่วยให้นักพัฒนาเว็บไซต์หรือเจ้าของเว็บไซต์สามารถฐานผู้ชมเว็บไซต์ให้มากขึ้น
3. ทำให้ผู้ใช้งานเว็บไซต์ต่าง ๆ ที่มีการติดตั้ง API ของอีกเว็บไซต์หนึ่ง ไม่ต้องเข้าหน้าเว็บไซต์ที่เป็นเจ้าของ API เพียงแต่เข้ามายังเว็บไซต์ที่มีการติดตั้ง API เท่านั้นทำให้การรับรู้ข่าวสารต่าง ๆ ที่เข้าถึงกันและสะดวกในการทำงานของผู้ใช้งานเว็บไซต์
4. API สามารถรับส่งข้อมูลข้าม Server ได้

ในปัจจุบันเว็บไซต์ใหญ่ๆหลายเว็บไซต์จะมีการเปิดให้ใช้งาน API ซึ่งเราอาจจะเห็นการใช้งาน API ได้มากขึ้นโดยเฉพาะเว็บไซต์ที่ด้านการติดต่อสื่อสาร Social Network และ E-commerce

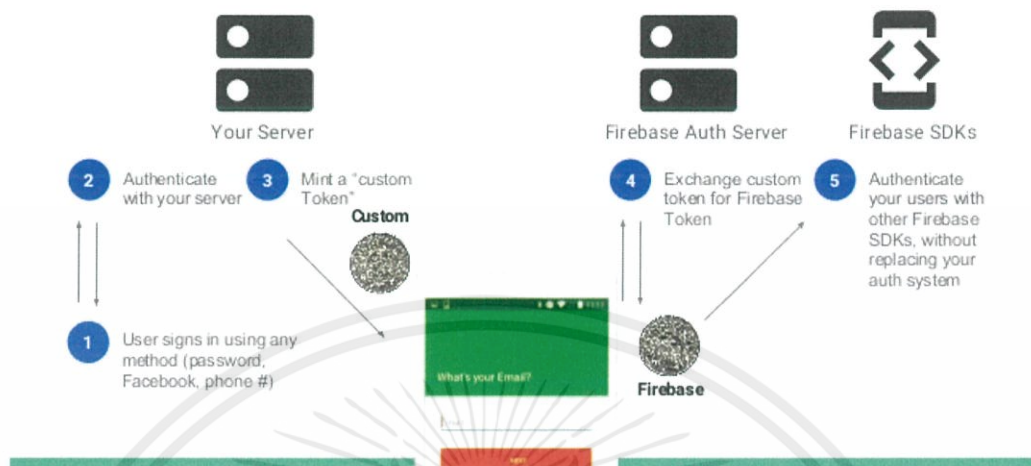
## 2.5 Cloud Firestore

เมื่อเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2560 ได้เปิดตัวบริการใหม่ชื่อว่า Firebase Cloud Firestore ซึ่งเป็นบริการในส่วนของ Database ที่ใช้ระบบฐานของข้อมูลแบบ NoSQL ที่เป็นแบบ Document Database และเป็นการนำเอาข้อดีต่างๆของบริการด้านฐานข้อมูลรุ่นพี่อย่าง Realtime Database มาปรับปรุงพัฒนาต่อและเพิ่มความสามารถขึ้นไปมากขึ้น เช่น การออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลที่ง่ายขึ้นและซับซ้อนน้อยลง (Flexibility) , การสอบถามข้อมูล (Query) ที่ง่ายขึ้น มีการกรองข้อมูล (Filter) มากขึ้นและมีการทำดัชนี (Index) ได้หลากหลายขึ้น , รองรับการขยายตัวของข้อมูลที่มากขึ้น (Scale) , เพิ่มการระบุชนิดของข้อมูล (Type) , การคัดลอกข้อมูลภายในฐานข้อมูลของเราไว้ในหลายภูมิภาค (Multi-region) และยังคงจุดเด่นของ Realtime Database ไว้อย่างครบถ้วน เช่น การรับรู้กระทำของข้อมูลในเวลาเดียวกัน (Real-time data synchronization) , การเข้าถึงข้อมูลโดยไม่มีอินเทอร์เน็ต (Offline support) , การป้องกันและสร้างกฎรักษาความปลอดภัยการเข้าถึงข้อมูล (Security & rule)

### 2.5.1 การทำงานของ Firebase Cloud Firestore

Firebase นั้นเป็น Serverless นั้นหมายความว่าเราไม่ต้องจัดเตรียมพอร์ระบบ Back-end ใดๆ เองเลยแต่จัดเตรียม SDKs ของ Platform หรือ ภาษา ที่เราจะใช้ เพียงเท่านั้นเราก็สามารถเข้าถึงบริการ Cloud Firestore ได้ทันที โดย SDKs ที่ทาง Firebase เตรียมไว้ให้เราก็มีอย่างครบครัน เช่น iOS, Android, Web, Node.js, Java, Python, Go, REST และ RPC APIs. โดยโครงสร้างจะเป็นแบบ NoSQL ที่เราสามารถจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ Document ที่จะผูก Fields กับ Values เข้าด้วยกัน ซึ่ง Document ก็จะถูกจัดเก็บใน Collections อีกทีหนึ่ง ซึ่งเราสามารถสร้าง Query From ไปจัดการเอา ข้อมูลที่เราต้องการได้ในแต่ละ Document โดยในบริการ Cloud Firestore สามารถระบุชนิดของข้อมูล ได้ด้วย ไม่ว่าจะเป็น ข้อความ, ตัวเลขและในส่วนของข้อมูลที่มีความซับซ้อนมีการซ้อนกันของข้อมูลหลายๆ เราก็สามารถสร้างเป็น Subcollections ภายใน Document และแบ่งข้อมูลเป็นลำดับขั้นเพื่อที่จะรองรับ การเติบโตของข้อมูลในอนาคตได้ โดยเราสามารถออกแบบโครงสร้างได้ทุกรูปแบบที่จะสามารถทำงานได้ อย่างดีที่สุดในของแอปเรา เพิ่มเติมอีกนิด ในกระบวนการ Query ข้อมูลใน Cloud Firestore มันดูแพง, มีประสิทธิภาพและทำให้เราทำงานสะดวกขึ้นด้วย เพราะ Syntax นั้นก็สั้น แลมนั้นยังสามารถไปเลือกเอา ข้อมูลที่เราต้องการในระดับ Document ที่แตกต่างกัน โดยที่จะไม่เอาข้อมูลของระดับที่สูงกว่าหรือต่ำกว่า ติดตามด้วยและยังเพิ่มการจัดเรียงข้อมูล (Sorting), การกรองข้อมูล (Filtering), การจำกัดข้อมูล (Limits), การแบ่งหน้าข้อมูล (Paginate) ที่มีความสามารถมากกว่าเดิม ซึ่งถ้าหากเราไม่อยากจะไปดึงข้อมูลทุก ครั้งๆ ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง ก็ให้เราเพิ่ม Realtime listeners เอาไว้ โดยเราจะได้รับข้อมูลใหม่เฉพาะ ขณะที่ข้อมูลได้มีการเปลี่ยนแปลงเท่านั้นในส่วนของการป้องกันการเข้าถึงข้อมูลใน Cloud Firestore ก็ สามารถผนวกกับบริการอย่าง Firebase Authentication และเรายังสามารถสร้างกฎการใช้งานของ ฐานข้อมูลเราได้เพียงที่เดียวก็จะสามารถใช้งานได้ทุกๆ Platform หรือ Identity and Access Management (IAM) สำหรับภาษาฝั่ง server

## How Bring-Your-Own Auth works



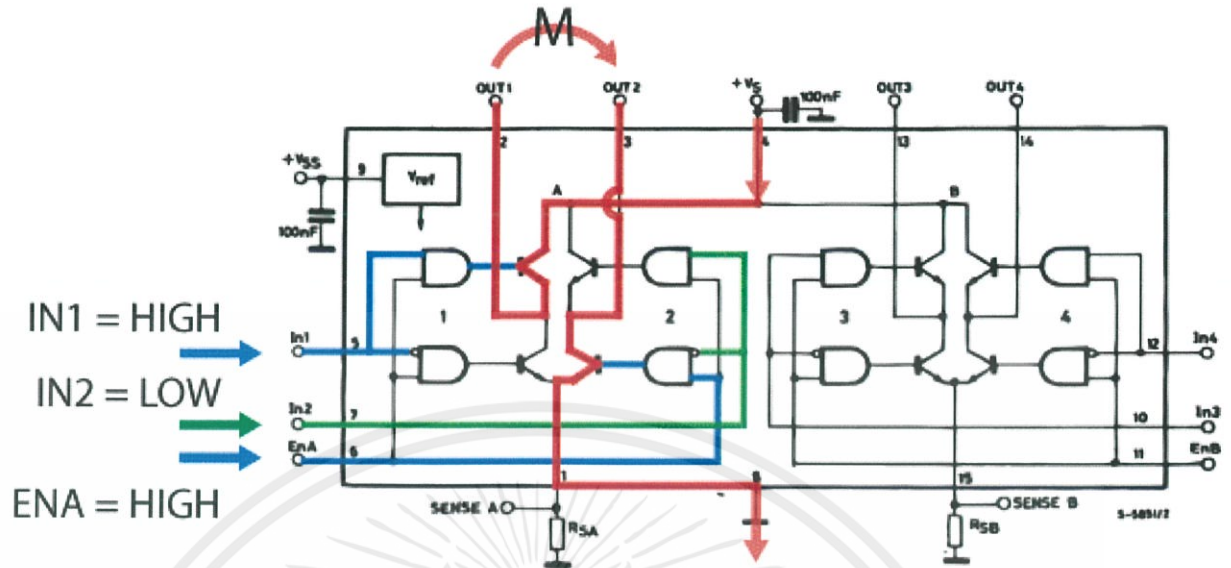
รูปที่ 2.5.1 หลักการทำงานของ Firebase Cloud Database

### 2.6 Motor Driver

Motor driver คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทางหมุนของโพลต์ที่เป็นมอเตอร์หรือความเร็วในการหมุนของมอเตอร์โดยใช้หลักการ PWM (Pulse Width Modulation) ที่เลือกใช้เป็น L298N Dual H-Bridge

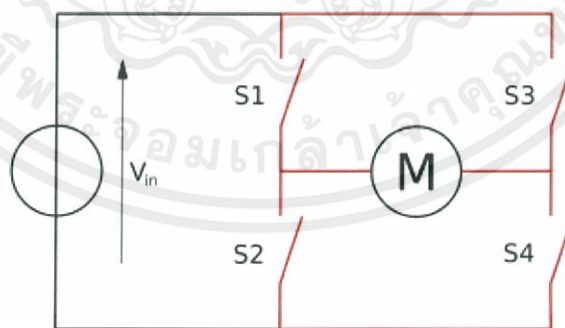
หลักการทำงาน:

วงจร H-Bridge ของ L298N จะขับกระแสเข้ามอเตอร์ ตามขั้วที่กำหนดด้วยลอจิกเพื่อควบคุมทิศทาง ส่วนความเร็วของมอเตอร์นั้นจะถูกควบคุมด้วย สัญญาณ (PWM Pulse Width Modulation)



รูปที่ 2.6.1 ตัวอย่างการทำงานของวงจรขับมอเตอร์ L298N เมื่อรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 2.6.1 จะเห็นว่าเมื่อเราสวิตซ์ขา EnA ให้อยู่สถานะ HIGH แล้ว สัญญาณขาออกของ AND gate คู่ที่ 2 ในวงจรจะขึ้นอยู่กับสัญญาณที่ถูกป้อนเข้ามาจากขา IN2 เมื่อ IN2 LOW AND gate ตัวด้านบนของคู่ที่ 2 จะมีสัญญาณขาออกเป็น LOW แต่ AND gate ตัวด้านล่างของคู่ที่ 2 จะเป็น HIGH ทำให้ขา OUT2 มีสถานะเป็น LOW เนื่องจากช้อตลง Ground เช่นเดียวกับ AND gate คู่ที่ 1 ที่เมื่อสวิตซ์ขา EnA เป็นสถานะ HIGH แล้วสัญญาณขาออกของ AND gate จะขึ้นอยู่กับสัญญาณที่ขา IN1 รับมาจากคอนโทรลเลอร์โดยเมื่อ IN1 มีสถานะเป็น HIGH ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานและ +Vs กับ OUT1 จะเชื่อมถึงกันเป็นโหนดเดียวกัน เป็นลักษณะการทำงานของวงจร H Bridge ดังรูปที่ 2.6.2



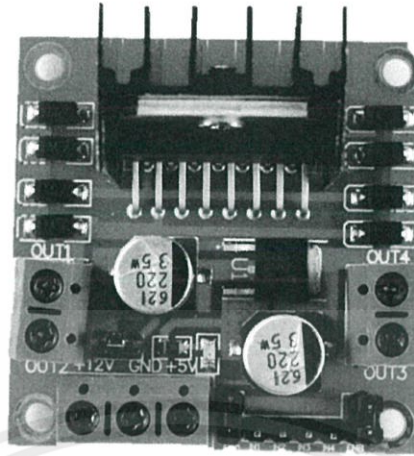
รูปที่ 2.6.2 H-Bridge Circuit

คุณสมบัติทางไฟฟ้า:

ตารางที่ 2.6.1 Electrical Characteristics of L298N

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_S$	Supply Voltage (pin4)	Operative Condition	$V_{IH} + 2.5$		46	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage (pin9)		4.5	5	7	V
$I_S$	Quiescent Supply Current (pin4)	$V_{en} = H; V_i = L$		13	22	mA
		$V_{en} = 0 V_i = H$		50	70	mA
		$V_{en} = L V_x = H$			4	mA
$I_{SS}$	Quiescent Current from $V_{SS}$ (pin4)	$V_{en} = H; V_i = L$		24	36	mA
		$V_{en} = 0 V_i = H$		7	12	mA
		$V_{en} = L V_x = H$			6	mA
$V_{IL}$	Input Low Voltage (pins 5,7,10,12)		-0.3		1.5	V
$V_{IH}$	Input High Voltage (pins 5,7,10,12)		2.3		$V_{SS}$	V
$I_{IL}$	Low Voltage Input Current(pins 5,7,10,12)	$V_i = L$			-10	$\mu$ A
$I_{IH}$	High Voltage Input Current(pins 5,7,10,12)	$V_i = H$ $\leq V_{SS} - 0.6V$		30	100	$\mu$ A
$V_{en} = L$	Enable Low Voltage (pins6,11)		-0.3		1.5	V
$V_{en} = H$	Enable HIGH Voltage (pins6,11)		2.3		$V_{SS}$	V
$I_{en} = L$	Low Voltage Enable Current (pins6,11)	$V_{en} = L$			-10	$\mu$ A
$I_{en} = H$	HIGH Voltage Enable Current (pins6,11)	$V_{en} = H$ $\leq V_{SS} - 0.6V$		30	100	$\mu$ A
$V_{CESat(H)}$	Source Saturation Voltage	$I_{IL} = 1A$	0.95	1.35	1.7	V
		$I_{IL} = 2A$		2	2.7	V
$V_{CESat(L)}$	Sink Saturation Voltage	$I_{IL} = 1A$ (5)	0.85	1.2	1.6	V
		$I_{IL} = 2A$ (5)		1.7	2.3	V
$V_{CESat}$	Total Drop	$I_{IL} = 1A$ (5)	1.80		3.2	V
		$I_{IL} = 2A$ (5)			4.9	V
$V_{sens}$	Sensing Voltage (pins1,15)		-1 (1)		2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6.4 Motor Driver L298N Module

ตารางที่ 2.6.2 Pin map of L298N

Pin	Description
Out 1	โหนดที่เป็นขั้วบวก ของมอเตอร์ตัวที่ 1
Out 2	โหนดที่เป็นขั้วลบ ของมอเตอร์ตัวที่ 1
Out 3	โหนดที่เป็นขั้วบวก ของมอเตอร์ตัวที่ 2
Out 4	โหนดที่เป็นขั้วลบ ของมอเตอร์ตัวที่ 2
12V	แหล่งจ่ายภายนอกเพื่อที่เป็นตัวจ่ายกำลังขับไปยังโหลดมอเตอร์ (รองรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 5V ถึง 35V)
GND	Ground
5V	ช่องจ่ายไฟเลี้ยงวงจรขับมอเตอร์ 5V
ENA	ช่องต่อสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ตัวที่ 1
IN1	โหนดที่รับสัญญาณลจิกจากคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมทิศทางและความเร็วรอบของมอเตอร์ตัวที่ 1
IN2	โหนดที่รับสัญญาณลจิกจากคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมทิศทางและความเร็วรอบของมอเตอร์ตัวที่ 1
IN3	โหนดที่รับสัญญาณลจิกจากคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมทิศทางและความเร็วรอบของมอเตอร์ตัวที่ 2
IN4	โหนดที่รับสัญญาณลจิกจากคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมทิศทางและความเร็วรอบของมอเตอร์ตัวที่ 2
ENB	ช่องต่อสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 Ionic Framework

Ionic Framework คือ เครื่องมือในการสร้าง HTML , CSS และ JavaScript เพื่อใช้ในการสร้าง Mobile Application ซึ่งสามารถใช้งานได้ค่อนข้างสะดวก Ionic Framework เป็นเครื่องมือสร้างแอปมือถือที่สามารถสร้างทีเดียว สามารถใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการ iOS, Android และ Windows เป็น crossing platform ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับ Framework ตัวอื่น ๆ ได้ คือ Angular และ Apache Cordova ในตอนสุดท้ายเพื่อให้ทั้งแอปที่เขียนมาใช้ได้กับทุกระบบปฏิบัติการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

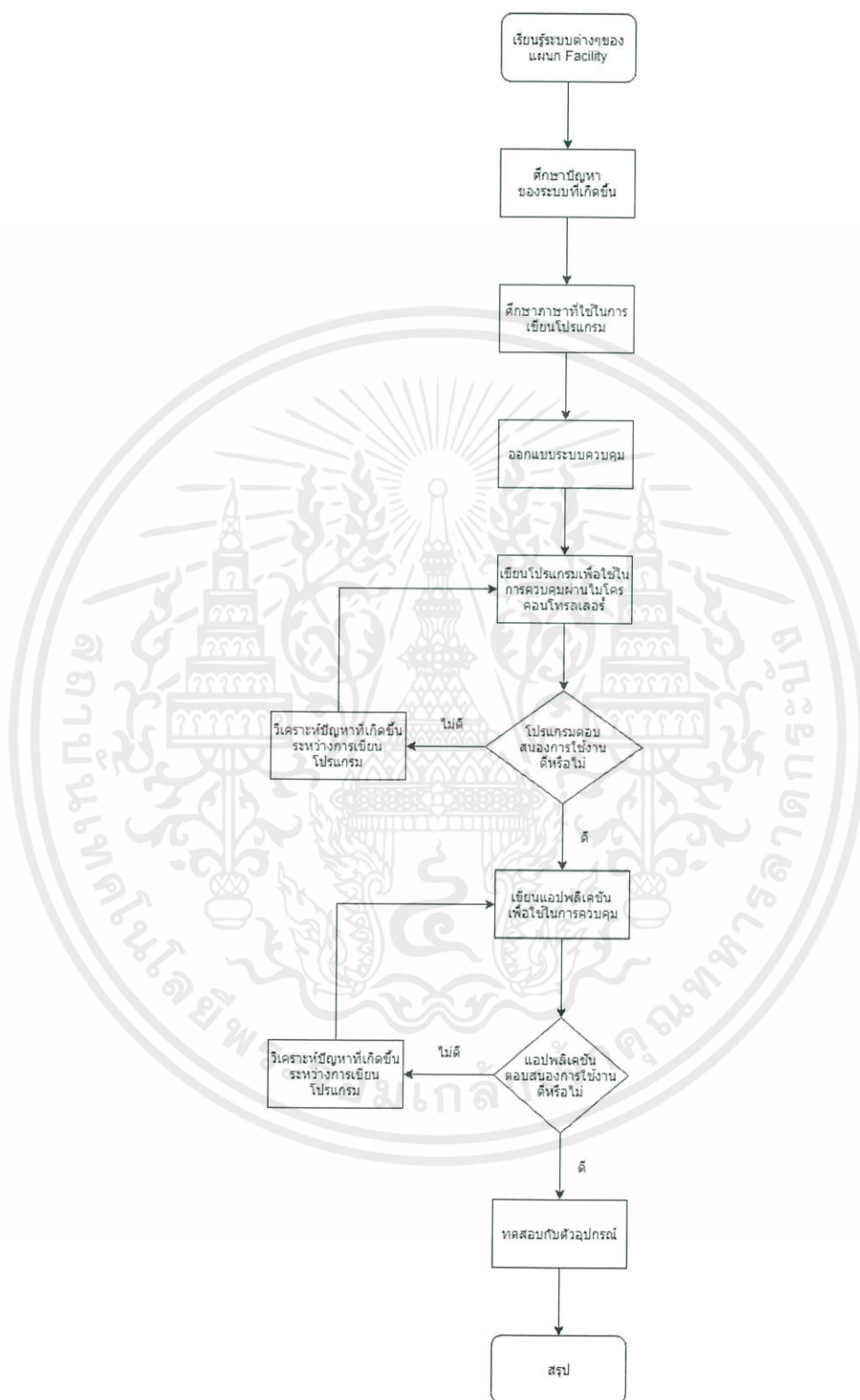
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้เริ่มจากผู้วิจัยทำการศึกษาระบบภายในโรงงานที่แผนกแพคเกจจิ้งของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ดูแลเพื่อให้ทราบถึงที่มาที่ไปและกระบวนการการทำงานของแผนก จากนั้นจึงเริ่มหาปัญหาว่าขณะนี้ทางบริษัทยังประสบปัญหาด้านใดอยู่ที่เกี่ยวข้องกับการสนับสนุนจากระบบจนพบว่าบริษัทประสบปัญหาอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุม FFU (Fan Filter Unit) มีการเสียหายบ่อยครั้งและฟังก์ชันที่ใช้งานอยู่ค่อนข้างที่จะจำกัด จึงเริ่มทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา และศึกษาเนื้อหาเชิงทฤษฎีต่างๆเพื่อที่จะมาใช้สร้างสิ่งประดิษฐ์ที่จะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบที่จะไปสนับสนุนฝ่ายการผลิตภายในโรงงานโดยเริ่มจากศึกษาลักษณะโพลและการทำงานของ FFU จากนั้นหาวิธีการที่จะสร้างสัญญาณมาเพื่อใช้ในการควบคุมตัวโพลโดยเริ่มศึกษาจากภาษาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นจึงหาวิธีทำให้สามารถควบคุมระบบผ่านทาง

แอปพลิเคชันจึงต้องศึกษาภาษาที่ใช้ในการสร้างและพัฒนาแอปพลิเคชันจากนั้นจึงทดสอบและเพิ่มเติมในส่วนที่จำเป็นลงไปโปรแกรม โดยมีผังเวลาตามรูปที่ 3.1 ขั้นตอนการพัฒนาเป็นไปตามแผนภาพตามรูปที่ 3.2

Description	June	July	August	September	October	November
Training	██████████					
Learning Utility Systems	████████████████████					
Research Control Systems		██████████				
Design Control Systems		████████████████████				
Programing for controller			████████████████████			
Research for application creation				████████████████████		
Create application to control systems					████████████████████	

รูปที่ 3.1 แสดงผังเวลาการดำเนินการศึกษางานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 การวิเคราะห์ระบบเดิม

#### 3.1.1 ปัญหาของระบบเดิม

จากปัญหาที่พบเจอของตัวระบบ FFU คือ อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุม FFU (Fan Filter Unit) มีการเสียหายบ่อยครั้งและฟังก์ชันที่ใช้งานอยู่ค่อนข้างที่จะจำกัดเนื่องจากไม่สามารถดึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆทำให้เมื่อผู้ที่ใช้งานทำการเปลี่ยนแปลงค่าในระบบ จะไม่เกิดการบันทึกเอาไว้ ส่งผลให้ช่วงที่เกิดปัญหายากต่อการวิเคราะห์เพราะข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ไม่ได้ถูกเก็บเอาไว้ในระบบ

#### 3.1.2 วิธีการแก้ไขปัญหา

เมื่อพบถึงปัญหาและความต้องการของผู้ที่ต้องการจะใช้งานระบบ จะเริ่มกระบวนการในการออกแบบเพื่อที่จะสามารถแก้ไขปัญหาได้เองเมื่อเกิดปัญหาและพัฒนาระบบควบคุมโดยมีจุดประสงค์ให้สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ให้สอดคล้องกับค่าที่ผู้ใช้ทำการป้อนเข้าไปยังระบบและมีการเก็บบันทึกการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เมื่อเกิดปัญหาขึ้นกับระบบ และมีการแสดงผลข้อมูลของระบบ

### 3.2 การวิเคราะห์ระบบใหม่

ระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นจะมีความยืดหยุ่นมากกว่าตัวเก่าเนื่องจากสามารถทำการโปรแกรมลงไปยังตัวคอนโทรลเลอร์และเก็บข้อมูลต่างๆฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันต่อไป เช่น การเพิ่มตารางของข้อมูล ,การแจ้งเตือน ,การแสดงผลของข้อมูลออกมาในรูปแบบของกราฟชนิดต่างๆ เป็นต้น โดยจุดประสงค์ทั้งหมดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ตัวระบบ

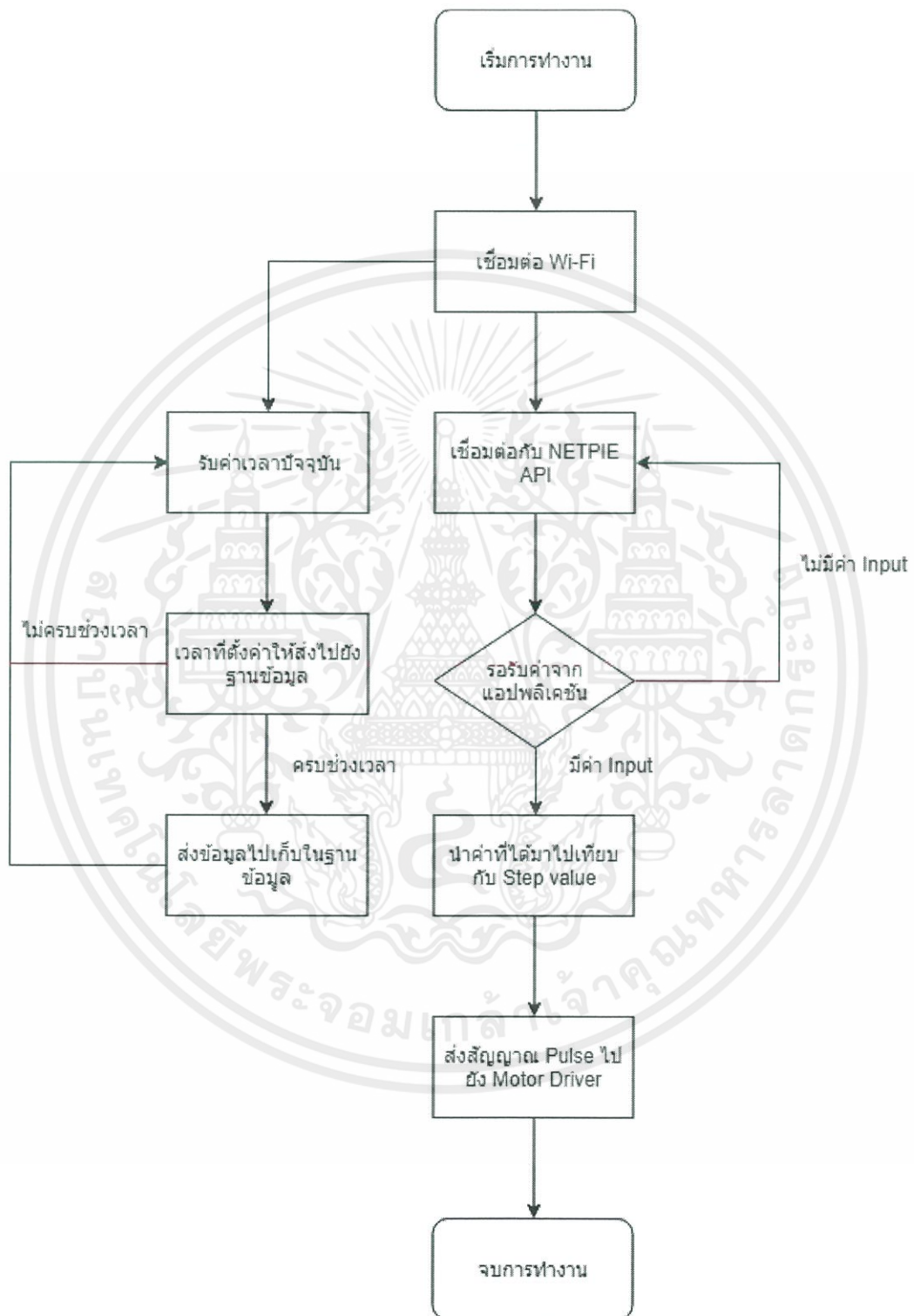
### 3.3 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนแรกจะเป็นส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจุดประสงค์คือต้องให้คอนโทรลเลอร์รับค่าจากผู้ใช้โดยจะให้ผู้ใช้งานป้อนค่าไปยังคอนโทรลเลอร์โดยผ่านแอปพลิเคชัน โดยมีตัวกลางในการรับส่งข้อมูลเป็น NETPIE API



รูปที่ 3.3.1 การรับส่งของข้อมูลจากผู้ใช้กับตัวคอนโทรลเลอร์

โดยภายในโปรแกรมของคอนโทรลเลอร์ก็จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆของโปรแกรมที่สำคัญโดยจะ  
สามารถแสดงออกมาในรูปแบบของแผนผังได้ดังรูปที่ 3.3.2

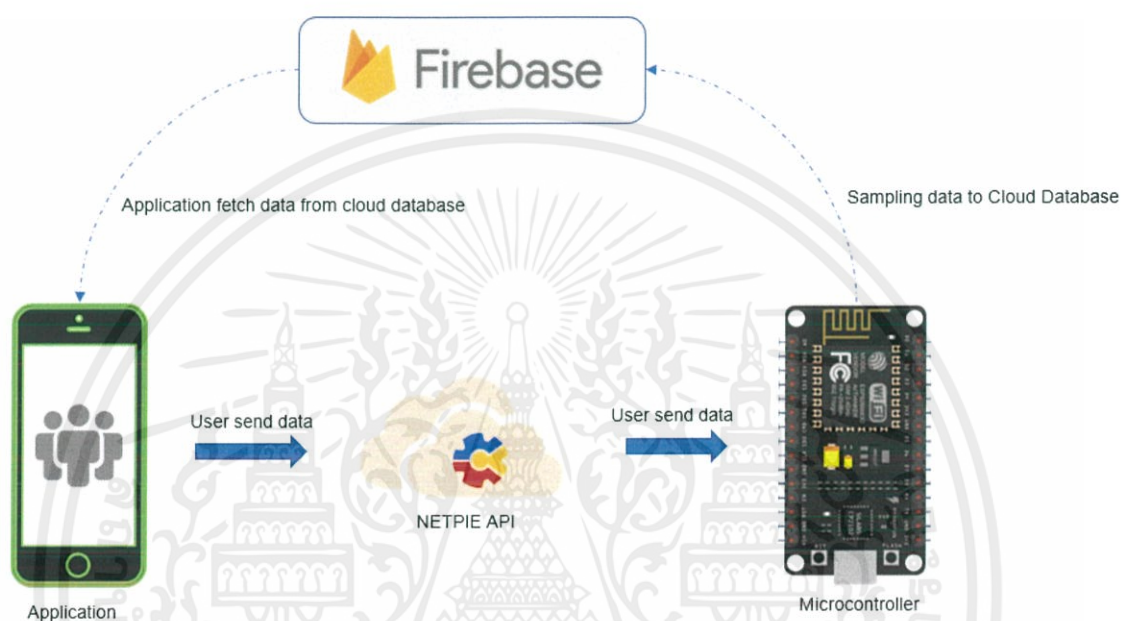


รูปที่ 3.3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมภายในคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนของแอปพลิเคชัน

ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยจุดประสงค์ของตัวแอปพลิเคชันคือเป็นช่องทางที่จะให้ผู้ใช้ป้อนค่าต่างๆเข้าไปยังตัวระบบผ่าน API Server และใช้เป็นตัวแสดงผลข้อมูลจากฐานข้อมูล



รูปที่ 3.4.1 ลักษณะการทำงานของแอปพลิเคชัน

ลำดับการทำงานของแอปพลิเคชันจะเป็นไปดังรูปที่ 3.4 โดยเริ่มจากผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผล จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการนับเวลาเมื่อถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ในตัวโปรแกรมจะทำการส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล โดยข้อมูลที่แสดงภายในตัวแอปพลิเคชันนั้น จะดึงข้อมูลมาจากฐานข้อมูลเก็บไว้ในตัวแปรในลักษณะที่เป็น array ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟ,ตาราง เป็นต้น

## บทที่ 4

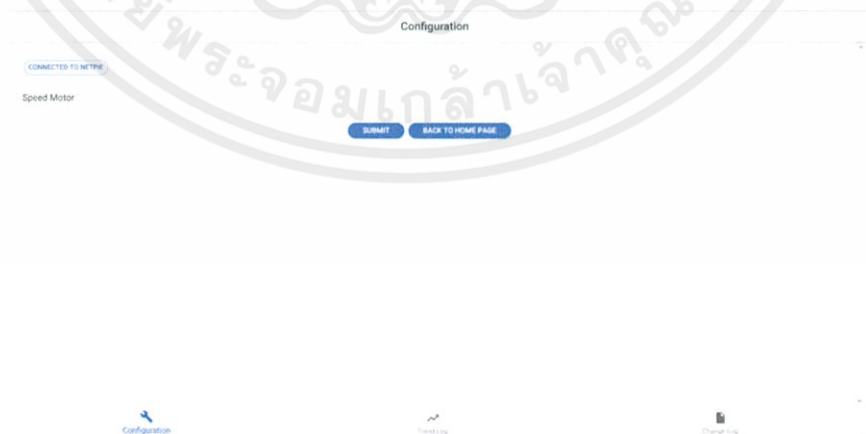
### ผลการวิจัย

จากการทดสอบการใช้งานตัวแอปพลิเคชันและตัวโปรแกรมในคอนโทรลเลอร์พบว่าระบบสามารถตอบสนองต่อผู้ใช้ได้โดยมีส่วนประกอบอยู่สองส่วนส่วนแรกจะเป็นส่วนของแอปพลิเคชัน จะมีหน้าต่างให้ใช้งานอยู่สี่ส่วน



รูปที่ 4.1 หน้าต่างที่ใช้ในการล็อกอินเข้าสู่ระบบ

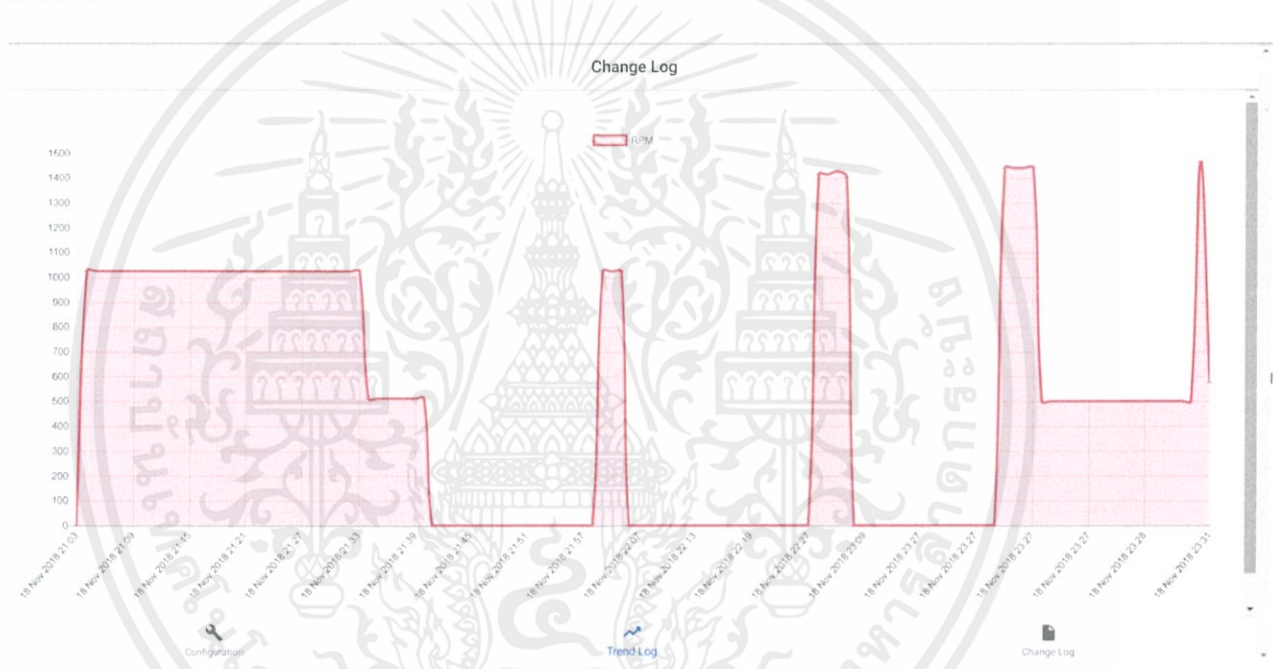
หน้าต่างแรกของแอปพลิเคชันจะเป็นหน้าต่างที่ใช้ในการล็อกอินเข้าสู่ระบบโดยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านจะถูกฝังลงไปในตัวแอปพลิเคชันผู้ใช้จำเป็นต้องกรอกข้อมูลให้ถูกต้องเพื่อที่จะทำการเข้าสู่หน้าต่างถัดไป



รูปที่ 4.2 หน้าต่างที่ให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้ทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบจะพบกับหน้าต่าง Configuration ที่ใช้ในการป้อนค่าความเร็วรอบพัดลมโดยจะมีปุ่มแสดงสถานะการเชื่อมต่อกับ NETPIE API ถ้าสถานะพร้อมใช้งานปุ่มจะขึ้นตัวอักษร “CONNECTED TO NETPIE” เป็นสีฟ้า ถ้าแอปพลิเคชันไม่สามารถเชื่อมต่อไปยัง NETPIE API ปุ่มแสดงสถานะจะเป็นสีแดงและมีข้อความเป็น “DISCONNECTED FROM NETPIE” ต่อจากนั้นจะเป็นส่วนที่ใช้ในการกรอกความเร็วของมอเตอร์ค่าที่กรอกลงไปจะถูกส่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อผ่านกระบวนการประมวลผลก่อนที่จะส่งสัญญาณ Pulse เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์



รูปที่ 4.3 หน้าต่างที่ใช้แสดงกราฟของข้อมูล

หน้าต่าง Trend Log จะเป็นหน้าต่างที่ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาเพื่อนำมาพล็อตเป็นกราฟเพื่อโยชน์ของหน้านี้เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูลของระบบและแสดงแนวโน้มของค่าปัจจุบันของระบบ เพราะหากข้อมูลมีแนวโน้มที่ผิดปกติไปจะเดิกราฟจะเป็นตัวบ่งชี้ ทำให้การรู้ถึงปัญหาจะเกิดขึ้นเร็วขึ้น

Change Log	
Speed Motor (RPM) : Value :0	08-11-2018 16:53:03
Speed Motor (RPM) : Value :1	08-11-2018 16:53:07
Speed Motor (RPM) : Value :2	08-11-2018 16:53:10
Speed Motor (RPM) : Value :3	08-11-2018 16:53:12
Speed Motor (RPM) : Value :4	08-11-2018 16:53:15
Speed Motor (RPM) : Value :5	08-11-2018 16:53:18
Speed Motor (RPM) : Value :6	08-11-2018 16:53:20
Speed Motor (RPM) : Value :23	10-11-2018 20:16:28
Speed Motor (RPM) : Value :1000	10-11-2018 20:16:55

#### รูปที่ 4.4 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าจากผู้ใช้

หน้าต่างสุดท้ายจะเป็น Change Log ที่แสดงประวัติการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของระบบเพื่อทำการติดตามว่าค่าพารามิเตอร์ของระบบนั้นที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าของผู้ใช้หรือเกิดจากความผิดพลาดจากตัวระบบเอง

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบควบคุมโดยใช้แอปพลิเคชัน สามารถตอบสนองผู้ใช้ได้ดี ผู้ใช้ที่อยู่นางานสามารถควบคุมอุปกรณ์และติดตามผลตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงได้ทันที รวมถึงระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นสามารถเก็บข้อมูลย้อนหลังทั้งพารามิเตอร์ของระบบและการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าจากตัวผู้ใช้

#### 5.2 ข้อจำกัดของสหกิจศึกษา

1. API Server ปัจจุบันยังใช้ของ NETPIE อยู่ ข้อจำกัดที่พบภายในบริษัทคือเป็นนโยบายที่สัญญาอินเทอร์เน็ตหรือ Server ต้องอยู่ในการดูแลของแผนก IT และ Security ซึ่งการที่จะติดตั้ง API Server ต้องมีเครื่องเซิร์ฟเวอร์และสัญญาอินเทอร์เน็ต

2. ผลกระทบต่อฝ่ายการผลิต เนื่องจากระบบควบคุมที่ถูกพัฒนาเป็นระบบที่พึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาจึงต้องใช้เวลาในการทดลองใช้งานกับบริเวณที่ไม่ส่งผลกับฝ่ายการผลิตไปก่อน เพื่อทดสอบความเสถียรของตัวระบบจึงเป็นข้อจำกัดเล็กๆน้อยๆที่ปัจจุบันสามารถทดสอบกับอุปกรณ์ได้เพียงบางกลุ่ม

#### 5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาสหกิจศึกษา

1. ระบบการจัดเก็บฐานข้อมูลหากสามารถใช้เป็น SQL Server หรือ MySQL จะมีความปลอดภัยของข้อมูลมากยิ่งขึ้น อาจจะไม่เกิดความซับซ้อนของการจัดเรียงข้อมูลแต่ความยืดหยุ่นในการพัฒนาโปรแกรมจะมีความเสถียรและมีความปลอดภัยมากขึ้น

2. API Server หากเราสามารถสร้าง API Server ที่เป็นของตัวเองได้ จะสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าสู่ระบบได้มากมาย และความเสถียรของระบบจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่ต้องใช้ API Server จากภายนอก

3. การเข้ารหัสข้อมูล Application , API Server , Microcontroller ยังเป็นข้อมูลที่ไม่ถูกเข้ารหัส อาจส่งผลให้ระบบมีความปลอดภัยต่ำ เสี่ยงต่อการถูกโจรกรรมข้อมูล

## เอกสารอ้างอิง

- [1] เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับกรองอากาศ โดย ธวัชชัย เสถียรรัตนกุล [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :  
[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)
- [2] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2557. “คู่มือการออกแบบห้องสะอาด พิมพ์ครั้งที่ 2/2555.” ศาสตราจารย์กิตติคุณ วรวิทย์ อิงภากรณ์
- [3] Technology for Agriculture Project. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :  
<http://jumpstartinnovation.blogspot.com/2013/07/blog-post.html>
- [4] O'Reilly & Associates Inc (GB). 2561/1. “Learning ESP8266:Build the Internet of Things with the Arduino IDE and Raspberry Pi.”
- [5] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ “An Official Guide to NETPIE.”  
 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :  
<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/0B9jvOTVzGjXJdFZfv3ZvcjhsUjg>
- [6] บริษัท พรีเมายด์ พับลิชซิง จำกัด โดย วิชาญ ทุมทอง “การพัฒนา Hybrid Mobile Application ด้วย Ionic Framework.” [ออนไลน์.] เข้าถึงได้จาก :  
<http://www.csit.rbru.ac.th/ebook/pdf/bo3-Ionic.pdf>
- [7] “มาเริ่มต้นสร้างแอปฯ แบบ Cross platform ด้วย Ionic Framework กันเถอะ.” โดย N.Khodom [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<https://medium.com/@N.Khodom>
- [8] Get started with Cloud Firestore [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<https://firebase.google.com/docs/firestore/quickstart>

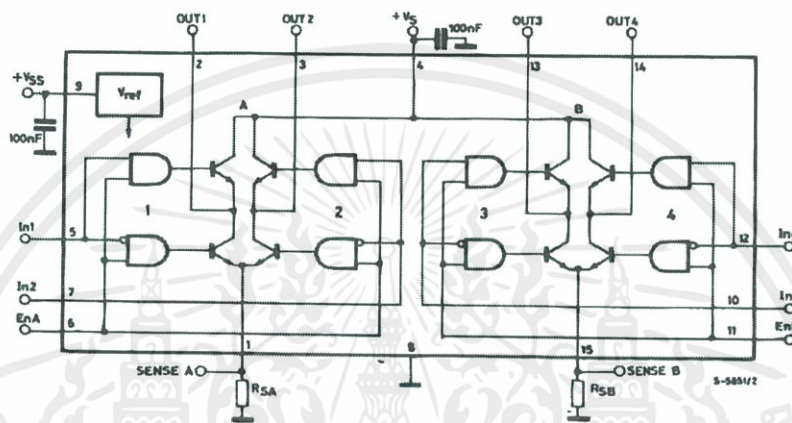


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

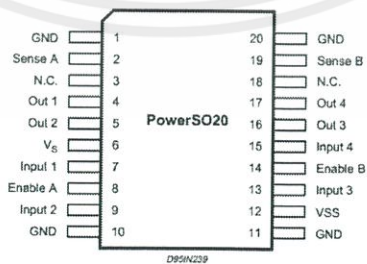
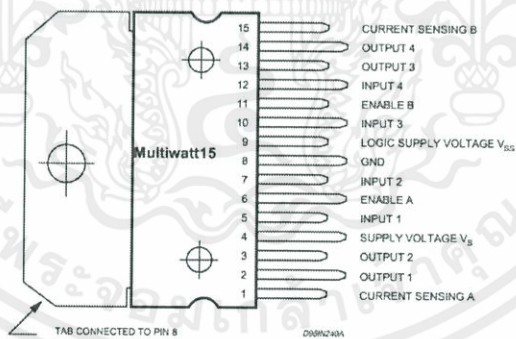
### L298 Dual full bridge driver

#### Block Diagram



รูป ก.1 Block Diagram ของ L298N

#### Pin Connection



รูป ก.2 ขาต่างๆของ L298N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Pin function

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V <sub>S</sub>	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V <sub>SS</sub>	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

รูป ก.3 คำอธิบายหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของตัว L298N

## Electrical characteristic

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V <sub>S</sub>	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V <sub>IH</sub> +2.5		46	V
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I <sub>S</sub>	Quiescent Supply Current (pin 4)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0		13	22	mA
		V <sub>i</sub> = L		50	70	mA
		V <sub>i</sub> = H				
		V <sub>en</sub> = L			4	mA
I <sub>SS</sub>	Quiescent Current from V <sub>SS</sub> (pin 9)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0		24	36	mA
		V <sub>i</sub> = L		7	12	mA
		V <sub>i</sub> = H				
		V <sub>en</sub> = L			6	mA
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>IL</sub>	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>i</sub> = L			-10	μA
I <sub>IH</sub>	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>i</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>en</sub> = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V <sub>en</sub> = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>en</sub> = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = L			-10	μA
I <sub>en</sub> = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>CEsat (H)</sub>	Source Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A I <sub>L</sub> = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V
V <sub>CEsat (L)</sub>	Sink Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V
V <sub>CEsat</sub>	Total Drop	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V
V <sub>sens</sub>	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

รูป ก.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ L298N (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical characteristic (Continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T <sub>1</sub> (V <sub>i</sub> )	Source Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>i</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		1.5		μs
T <sub>2</sub> (V <sub>i</sub> )	Source Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.2		μs
T <sub>3</sub> (V <sub>i</sub> )	Source Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>i</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		2		μs
T <sub>4</sub> (V <sub>i</sub> )	Source Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.7		μs
T <sub>5</sub> (V <sub>i</sub> )	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>i</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.7		μs
T <sub>6</sub> (V <sub>i</sub> )	Sink Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.25		μs
T <sub>7</sub> (V <sub>i</sub> )	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>i</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		1.6		μs
T <sub>8</sub> (V <sub>i</sub> )	Sink Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.2		μs
f <sub>c</sub> (V <sub>i</sub> )	Commutation Frequency	I <sub>L</sub> = 2A		25	40	KHz
T <sub>1</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		3		μs
T <sub>2</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		1		μs
T <sub>3</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.3		μs
T <sub>4</sub> (V <sub>en</sub> )	Source Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (2); (4)		0.4		μs
T <sub>5</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		2.2		μs
T <sub>6</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Fall Time	0.9 I <sub>L</sub> to 0.1 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.35		μs
T <sub>7</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V <sub>en</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.25		μs
T <sub>8</sub> (V <sub>en</sub> )	Sink Current Rise Time	0.1 I <sub>L</sub> to 0.9 I <sub>L</sub> (3); (4)		0.1		μs

รูป ก.5 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ L298N (2)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล: นายเกียรติศักดิ์ เชื้อจารย์ชิน

วัน เดือน ปีเกิด: 29 กรกฎาคม 2539

ที่อยู่: 171 หมู่1 ต.ศรีสงคราม อ.ศรีสงคราม

ประวัติการศึกษา:

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนปิยะมหาราชาลัย

มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนปิยะมหาราชาลัย

