

ดัสคิลเลอร์

การพัฒนาเครื่องดักจับฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตและการกรองอากาศสำหรับห้องปิดขนาดใหญ่

โดย

1.) นางสาว กัญญารัตน์	นิพัฐวัธนะผล	รหัส 590610373
2.) นาย จตุพร	สุขอ่วม	รหัส 590610381
3.) นาย จารุกิตติ์	เหล่ากาวิ	รหัส 590610387
4.) นาย ฉัตรพัฒน์	พูนสิน	รหัส 590610393
5.) นาย เตชินท์	คชรักษา	รหัส 590610428
6.) นาย ทศพล	กาทองทุ่ง	รหัส 590610429
7.) นาย ธนากร	อรรณเกียรติ์	รหัส 590610437
8.) นาย นราวิชญ์	อยู่ธนะวัฒน์	รหัส 590610444
9.) นาย พิสิฐ	พิภพทรศนีย์	รหัส 590610474
10.) นางสาว วิชญาภัทร์	สายสุนาวิชญ์	รหัส 590610512
11.) นาย วิทวัส	กิริติชุตินันท์	รหัส 590610513
12.) นาย ศิวกร	จิรพงศ์ไพฑ	รหัส 590610523

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีการศึกษา 2562

Electric Dust Killer
Development of Particulate Matter Trap
Based on Electrostatic Precipitation and Air Filtration
for Large Closed Room

By

Ms. Kanyarat	Niphitwatthanaphol	ID 590610373
Mr. Jatuporn	Sukoum	ID 590610381
Mr. Jarukit	Laokawee	ID 590610387
Mr. Chattrapat	Poonsin	ID 590610393
Mr. Techin	Kochragasa	ID 590610428
Mr. Tossapon	Katongtung	ID 590610429
Mr. Thanakorn	Thamrongthanakait	ID 590610437
Mr. Narawit	Yutanawat	ID 590610444
Mr. Pisit	Pipobtasanee	ID 590610474
Ms. Witchayaphat	Saisutanawit	ID 590610512
Mr. Wittawat	Keeratichutinan	ID 590610513
Mr. Siwakorn	Jirapongphatai	ID 590610523

This report is submitted in partial fulfillment for Bachelor of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Chiang Mai University

Academic Year 2019

หัวข้อปริญญานิพนธ์ :

ดัสคิลเลอร์:การพัฒนาเครื่องดักจับฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตและการกรอง
อากาศสำหรับห้องปิดขนาดใหญ่

โดย :

- | | | |
|------------------------|-----------------|----------------|
| 1.) นางสาว กัญญารัตน์ | นิพัทธ์วัณนะผล | รหัส 590610373 |
| 2.) นาย จตุพร | สุขอ่วม | รหัส 590610381 |
| 3.) นาย จารุกิตต์ | เหล่ากาวิ | รหัส 590610387 |
| 4.) นาย ฉัตรพัฒน์ | พูนสิน | รหัส 590610393 |
| 5.) นาย เตชินท์ | คชรักษา | รหัส 590610428 |
| 6.) นาย ทศพล | กาทองทุ่ง | รหัส 590620429 |
| 7.) นาย ธนากร | ธำรงธนเกียรติ์ | รหัส 590610437 |
| 8.) นาย นราวิชญ์ | อยู่ธนะวัฒน์ | รหัส 590610444 |
| 9.) นาย พิสิฐ | พิภพทรศนีย์ | รหัส 590610474 |
| 10.) นางสาว วิชญากัณฑ์ | สายสุนาวิชญ์ | รหัส 590610512 |
| 11.) นาย วิทวัส | กิริติชุตินันท์ | รหัส 590610513 |
| 12.) นาย ศิวกร | จิรพงศ์ไพฑ | รหัส 590610523 |

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : ศ.ดร. นคร ทิพย์าวงศ์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2562

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....
(ศ.ดร. นคร ทิพย์าวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

Project Title: Electric Dust Killer:Development of Particulate Matter Trap
Based on Electrostatic Precipitation and Air Filtration for Large
Closed Room

By :	Ms. Kanyarat	Niphitwatthanaphol	ID. 590610373
	Mr. Jatuporn	Sukoum	ID. 590610381
	Mr. Jarukit	Laokawee	ID. 590610387
	Mr. Chattrapat	Poonsin	ID. 590610393
	Mr. Techin	Kochragasa	ID. 590610428
	Mr. Tossapon	Katongtung	ID. 590610429
	Mr. Thanakorn	Thamrongthanakait	ID. 590610437
	Mr. Narawit	Yutanawat	ID. 590610444
	Mr. Pisit	Pipobtasanee	ID. 590610474
	Ms. Witchayaphat	Saisutanawit	ID. 590610512
	Mr. Wittawat	Keeratichtinan	ID. 590610513
	Mr. Siwakorn	Jirapongphatai	ID. 590610523

Project Supervisor : Prof.Dr. Nakorn Tippayawong

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2019

.....

The Faculty of Engineering, Chiang Mai University approves this project submitted in partial fulfillment of the requirement for Bachelor of Engineering.

.....

(Prof.Dr. Nakorn Tippayawong)

Project Supervisor

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ศาสตราจารย์ ดร.นคร ทิพย์าวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา แนวคิดความรู้ด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง การออกแบบทดลองจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับสถานที่ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าข้อมูล การประชุม การปรึกษา รวมถึงสถานที่ในการลงมือปฏิบัติงานให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนการสนับสนุนเงินทุนการศึกษาในการทำโครงการ INNOVATION PROJECT นี้ให้เสร็จตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ รัชยพงษ์ ผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับเรื่องอัตราการถ่ายเทอากาศของเครื่องฟอกอากาศ ซึ่งประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ ครูจันทน์ ใจนวล ผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำด้านการศึกษเกี่ยวกับไฟฟ้าแรงดันสูง รวมไปถึงเรื่องไฟฟ้าสถิตที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงดันสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ในการทำการศึกษาค้นคว้าด้านไฟฟ้าที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ยาวุฒิ ผู้ให้คำปรึกษาเกี่ยวเรื่องระบบควบคุมและระบบวงจรไฟฟ้า ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ว่าน วิริยา ผู้ให้คำปรึกษาเรื่องแผ่นกรองอากาศ และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างสูง

หากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่อง หรือข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับในความผิดพลาด และกราบขออภัยเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่นำไปศึกษาค้นคว้าต่อ และผู้ใช้งาน รวมไปถึงผู้ที่สนใจ อ่าน ตลอดจนหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้จัดทำ

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันปัญหามลพิษเรื่อง PM 2.5 นั้นสำคัญมาก สิ่งนี้เป็นปัจจัยร่วมที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดได้จากกระทำของตัวบุคคลเช่น การเผาขยะ และอาจเกิดจากภัยธรรมชาติ เช่น ไฟป่า

ทางกลุ่มของพวกเราได้ตระหนักถึงปัญหานี้และได้คิดค้นนวัตกรรมเครื่องดักจับฝุ่นนี้ขึ้นมาเพื่อกรองอากาศที่มีความสกปรกให้มีความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเราได้นำระบบที่เรียกว่า ระบบ “Electrostatic Precipitator” หรือ ESP เข้ามาผสมกับการใช้งานด้วย เพื่อหวังว่าระบบการกรองอากาศจะมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นฝุ่นPM2.5เป็นอันตรายต่อผู้คนเป็นอย่างมาก ซึ่งโครงการที่เรา กำลังพัฒนานี้พวกเราหวังว่าจะเป็นการช่วยให้ผู้ใช้งานนั้นมีสุขภาพกายที่ดีปลอดภัยจากโรคเสี่ยงจากทางเดินหายใจ และให้ผู้ใช้งานสามารถดำรงชีวิตได้อย่างราบรื่นและเหมาะสม

Abstract

Nowadays, the pollution of air with small particulate matter, or PM 2.5*, has raised concerns about the negative impact of air quality on several health conditions. This problem can be caused by a variety of issues including natural disaster and what people are doing or from other reasons.

We are aware of this issue and invented an air purifier to make dirty air safe for breathing, therefore we mixed a system known as the system "Electrostatic Precipitator" or ESP mixed with applications. It might be that air purifier become more efficient.

Due to the problem of bad air pollution, we are taking action to increase awareness in handling the situation of PM2.5. We hope that this will help the users to have good physical health, safe from respiratory diseases and allowing users to live smoothly and appropriately.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	จ.
บทคัดย่อ	ฉ.
Abstract	ช.
สารบัญภาพ	ญ.
สารบัญตาราง	ฎ.
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการทำงานของโครงการ	2
2.2 การคำนวณส่วนประกอบสำคัญ หรือทฤษฎีที่ใช้กับการทดสอบ	12
2.3 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ การคำนวณ การออกแบบ	
3.1 การสร้างเครื่อง Electric Dust Killer	31
3.2 การทดสอบบันทึกผล	50
บทที่ 4 ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ	
4.1 ผลการทดสอบ	53
4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	64

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปโครงการ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปโครงการ

65

5.2 ข้อเสนอแนะ

66

เอกสารอ้างอิง

67

ภาคผนวก ก. แบบสำงำน

ก1

ภาคผนวก ข. ตารางดำเนินงานตลอดโครงการ

ข1

สารบัญภาพ

หน้า

รูปภาพที่ 2.1	แสดงการชาร์จประจุให้แก่ฝุ่นละออง	2
รูปภาพที่ 2.2	การกรองฝุ่นละอองผ่านเครื่องESP	3
รูปภาพที่ 2.3	ภาพรวมของกลไกต่างๆที่ทำให้เส้นใยสามารถดักจับฝุ่นได้	4
รูปภาพที่ 2.4	กลไกต่างๆในการกรองฝุ่นของแผ่นกรอง	5
รูปภาพที่ 2.5	กลไกการทำงานของเครื่องดักจับด้วยไฟฟ้าสถิต	5
รูปภาพที่ 2.6	แผ่นกรองอากาศแบบHepa Filter	6
รูปภาพที่ 2.7	แผ่นกรองอากาศแบบPleated Filters	6
รูปภาพที่ 2.8	แผ่นกรองอากาศแบบThrowaway Filter	7
รูปภาพที่ 2.9	แผ่นกรองอากาศแบบWashable Electrostatic Filters	7
รูปภาพที่ 2.10	แผ่นกรองอากาศแบบElectrostatic Filters	8
รูปภาพที่ 2.11	แผ่นกรองอากาศแบบ Nano Filter	8
รูปภาพที่ 2.12	แสดงทิศทางการไหลของอากาศผ่านตัวเครื่อง	11
รูปภาพที่ 2.13	พัดลมรุ่น FV-50GS4TP ยี่ห้อ Panasonic	13
รูปภาพที่ 2.14	การจัดวางอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องดักจับชนิดเส้นลวด-แผ่นระนาบ	15
รูปภาพที่ 2.15	การออกแบบกรอบแผ่นกรองอากาศ	20
รูปภาพที่ 2.16	การวัดความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุด	21
รูปภาพที่ 2.17	แผนผังการทำงานของระบบประหยัดพลังงาน	25
รูปภาพที่ 2.18	แผนผังการทำงานของระบบแจ้งเตือนการทำความสะอาด Collecting plate	26
รูปภาพที่ 2.19	แผนผังการทำงานของระบบแจ้งเตือนการเปลี่ยน Filter	27
รูปภาพที่ 2.20	แผนผังการต่อวงจรของ Prototype	28
รูปภาพที่ 2.21	แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพ	30
รูปภาพที่ 3.22	โครงตัวเครื่องภายในทำจากสแตนเลส	31
รูปภาพที่ 3.23	ลวดลายกรอบตัวเครื่องภายนอก	32
รูปภาพที่ 3.24	ภายในเครื่อง Electric dust killer ของจริง	33
รูปภาพที่ 3.25	ภายนอกเครื่อง Electric dust killer ของจริง	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปภาพที่ 3.26 แสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพ โดยโปรแกรม PYTHON จากเงื่อนไขการวิเคราะห์	35
รูปภาพที่ 3.27 การจัดวางขั้วดิสชาร์จและขั้วตกตะกอน	39
รูปภาพที่ 3.28 รูปภาพแสดงทางเข้าและออกของอนุภาค	39
รูปภาพที่ 3.29 โครงสร้างจริงของตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	40
รูปภาพที่ 3.30 การยึดขั้วดิสชาร์จและฉนวน Superlene	40
รูปภาพที่ 3.31 แผ่น Filter สำหรับการนำมาใช้งาน	42
รูปภาพที่ 3.32 แผ่น Pre-filter สำหรับการนำมาใช้งาน	43
รูปภาพที่ 3.33 ประเภทของเซอร์กิตเบรกเกอร์	43
รูปภาพที่ 3.34 Arduino MEGA 2560 R3	44
รูปภาพที่ 3.35 Node MCU ESP32	45
รูปภาพที่ 3.36 LCD Color module 176x220 TFT 2.2	45
รูปภาพที่ 3.37 Channel Relay Module 5V 10A	46
รูปภาพที่ 3.38 [Plan Tower] Laser Dust Sensor PM2.5 PMS3003	46
รูปภาพที่ 3.39 DHT22 / AM2302 Module	47
รูปภาพที่ 3.40 การทดสอบ Nano filterแบบแผ่น, HEPA filterแบบแผ่น และHEPA filter แบบพับ ตามลำดับ	50
รูปภาพที่ 3.41 จุดที่สามารถวัดหาค่าความดันตกคร่อมได้	51
รูปภาพที่ 3.42 การวัดหาค่าความดันตกคร่อม	51
รูปภาพที่ 3.43 Anemometer ชนิด Vane probe	52
รูปภาพที่ 3.44 การหาค่าความเร็วลมเฉลี่ย(average velocity) จากมาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 41.2	52
รูปที่ ก.1 แบบโครงตัวเครื่องภายใน	ก2
รูปที่ ก.2 กรอบภายนอกตัวเครื่องด้านข้าง	ก3
รูปที่ ก.3 กรอบภายนอกตัวเครื่องด้านบนและด้านหน้า	ก4

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของฝุ่นละอองที่เครื่องดักจับฝุ่นแบบต่าง ๆ ที่สามารถดักจับได้	4
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าประสิทธิภาพโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน EN779:2012	9
ตารางที่ 2.3 แสดง Air change rate (BS 5720)	12
ตารางที่ 2.4 แสดงระดับความดังเสียงในสภาวะต่าง ๆ	14
ตารางที่ 2.5 แสดงค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	22
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศ	23
ตารางที่ 3.7 ภายนอกเครื่อง Electric dust killer ของจริง	34
ตารางที่ 3.8 รายการประเมินราคาโครงการ Electric dust killer	48
ตารางที่ 4.9 การคำนวณค่าไฟฟ้า	54
ตารางที่ 4.10 ตารางทดสอบความดันตกคร่อม ณ จุดที่ 1	55
ตารางที่ 4.11 ตารางทดสอบความดันตกคร่อม ณ จุดที่ 2	55
ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงในแต่ละส่วนของเครื่องโดยเฉลี่ย	57
ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะปิด ESP	58
ตารางที่ 4.14 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะเปิด ESP	59
ตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะปิด ESP (หลังจากซ่อมบำรุง)	60
ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะเปิด ESP (หลังจากซ่อมบำรุง)	61
ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องฟอกอากาศเปรียบเทียบกับแบรนด์อื่น	63

1.บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

มลพิษทางอากาศเป็นปัจจัยร่วมที่เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เนื่องจากมีส่วนประกอบของสารเคมีหลายชนิด ทั้งที่เป็นสารระคายเคืองไปจนถึงสารก่อมะเร็ง จึงเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรค ได้แก่ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหลอดเลือดในสมอง โรคหัวใจขาดเลือด โรคมะเร็งปอด และโรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบหายใจส่วนล่าง ก่อให้เกิดการตายก่อนวัยอันควรในประเทศไทย ประมาณ 50,000 คนต่อปี ส่วนจากรายงานเกี่ยวกับอากาศโลก State of Global Air เปิดเผยผลกระทบจาก PM 2.5 ทำให้คนไทยเสียชีวิตอย่างน้อย 37,000 คนต่อปี

เนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่ในช่วงต้นปีที่ผ่านมาของปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2562 ปริมาณฝุ่น PM 2.5 มีค่าสูงเกินมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพ และยังมีค่าสูงสุดของโลกในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งบุคคลที่พบเจอกับฝุ่นเป็นประจำ ผู้ที่อาศัยหรือทำงานในอาคารหรือห้องขนาดใหญ่ที่มีอัตราการไหลของอากาศเข้าออกอยู่เสมอ ทำให้ไม่สามารถจัดการกับฝุ่นในปริมาณมากได้ จึงคิดแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการ สร้างเครื่องดักจับฝุ่นที่สามารถทำงานได้ในห้องปิดขนาดใหญ่โดยหลักการแบบไฟฟ้าสถิตที่ทำงานร่วมกับการกรองอากาศโดยสามารถกรองได้ในปริมาณมากและประสิทธิภาพการกรองฝุ่นสูงขึ้นมากกว่าเครื่องดักจับฝุ่นที่มีในท้องตลาดปัจจุบันซึ่งยังมีประสิทธิภาพไม่มากพอในการกรองอากาศในปริมาณมากและฝุ่นที่อนุภาคเล็กมาก ๆ

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นฝุ่นPM2.5เป็นอันตรายต่อผู้คนเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะ ผู้ที่ต้องพบเจอกับฝุ่นเป็นประจำ เช่น นักศึกษา อาจารย์ บุคคลวัยทำงาน ทางโครงการจึงมีการคิดค้นและสร้างเครื่องดักจับฝุ่น “Electric Dust Killer” เพื่อกรองอากาศให้สะอาดอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพของกลุ่มเป้าหมาย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องดักจับฝุ่นประสิทธิภาพสูงสำหรับห้องปิดขนาดใหญ่โดยใช้วิธีการไฟฟ้าสถิตร่วมกับการกรองอากาศ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 เครื่องดักจับฝุ่นที่สร้างสามารถทำงานได้ในห้องปิดขนาดใหญ่เช่น ห้องเรียนขนาดใหญ่ หอประชุม ME space เป็นต้น

1.3.2 การศึกษาการออกแบบและสร้างตัวเครื่องได้ดำเนินการภายใต้สภาพอากาศในจังหวัดเชียงใหม่

1.3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาสร้างตัวเครื่องสามารถหาซื้อได้ง่าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การที่สิ่งประดิษฐ์สามารถนำไปใช้ในการลดปริมาณของฝุ่นละอองในพื้นที่บริเวณห้องปิดขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การออกแบบและการคำนวณ

2.1 หลักการทำงานของโครงการ

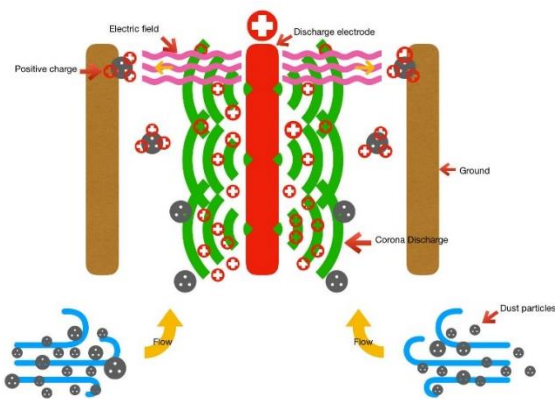
การออกแบบตัวเครื่อง Electric Dust Killer เพื่อให้การกรองฝุ่นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีการดักจับฝุ่น 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย

- 1.) การดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator ,ESP)
- 2.) แผ่นกรองอากาศ (Air Filter)

2.1.1 การดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator ,ESP) เป็นเครื่องมือที่ใช้แรงไฟฟ้าในการแยกอนุภาค โดยใส่ประจุให้อนุภาค แล้วผ่านอนุภาคที่มีประจุเข้าไปในสนามไฟฟ้าสถิต อนุภาคจะเคลื่อนเข้าหาแผ่นเก็บที่มีศักย์ไฟฟ้าตรงข้ามกัน ESP มีประสิทธิภาพสูงมากในการดักฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ได้สูงกว่า 99-99.99% ความดันสูญเสียต่ำและสามารถจับก๊าซร้อนได้

การดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator ,ESP) นี้จะนิยมใช้บ่อยในโรงไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้าชีวมวล โรงไฟฟ้าขยะ โรงไฟฟ้าถ่านหิน เพราะฝุ่นจากเผาไหม้ ไม่สมบูรณ์ ทำให้มีอนุภาคเล็ก ๆ ออกมา ทำให้เกิดปัญหามลพิษเรื่องฝุ่นละออง เช่นเหตุการณ์ฝุ่น PM 2.5 ในกลางใจเมือง กรุงเทพฯ และ ฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ ภาคการเกษตร

หลักการทำงานของ ESP มี 2 ขั้นตอน คือ



รูปภาพที่ 2.1 แสดงการชาร์จประจุให้แก่ฝุ่นละออง

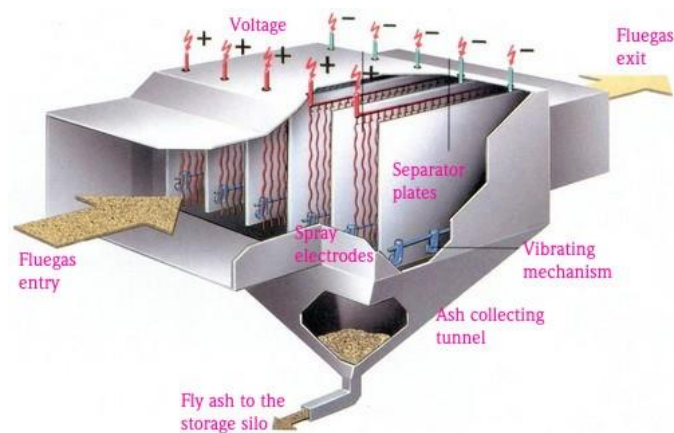
- 1.) การใส่ประจุไฟฟ้าให้กับอนุภาค
- 2.) การดักจับอนุภาคที่มีประจุโดยใช้แรงไฟฟ้าสถิตจากสนามไฟฟ้า

ส่วนประกอบของเครื่อง ESP มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

- 1.) ขั้วปล่อยประจุ Discharge Electrodes เป็นลักษณะเป็นเส้นลวดแผ่นหรือท่อ แล้วใส่ไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน
- 2.) ขั้วเก็บ Collection Electrodes ขั้วเก็บ ส่วนใหญ่เป็นแผ่น เนื่องจากทำให้สามารถรับปริมาณของก๊าซได้มาก

ข้อควรพิจารณาด้านความปลอดภัยของเครื่อง ESP

- 1.) ผู้ควบคุมต้องได้รับการอบรมที่เกี่ยวกับข้อปฏิบัติของเครื่องเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง
- 2.) เครื่อง ESP ไม่สามารถทำงานได้หากมีก๊าซที่เป็นเชื้อเพลิง (CO, CH₄) หรือกระแสไฟฟ้าตก



รูปภาพที่ 2.2 การกรองฝุ่นละอองผ่านเครื่องESP

ระบบดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต(Electrostatic Precipitators : ESP) ใช้แรงไฟฟ้าในการแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซ โดยการใส่ประจุไฟฟ้าให้อนุภาค แล้วผ่านอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปในสนามไฟฟ้าสถิต อนุภาคเหล่านี้ จะเคลื่อนที่เข้าหาและถูกดักจับบนแผ่นเก็บซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าตรงกันข้ามกับของอนุภาค ESP มีประสิทธิภาพสูงในการเก็บอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพ 99.5 % หรือสูงกว่า ปัจจุบัน ESP ถูกใช้เป็นระบบบำบัดมลพิษอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น โรงไฟฟ้า โรงหล่อหลอมเหล็ก โรงปูนซีเมนต์ โรงงานผลิตสารเคมี

จากการเปรียบเทียบการเลือกวิธีการดักจับฝุ่นแบบต่าง ๆ ทำให้เห็นว่ามีการใช้ เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต Electrostatic Precipitators : ESP สามารถดักจับฝุ่นได้น้อยกว่า 0.1 ไมครอน

อุปกรณ์จับฝุ่น	ขนาดอนุภาคที่ดักจับได้ (ไมครอน)
ระบบคั้ดแยกโดยการตก (Gravity Settler)	๔๐-๖๐
ไซโคลน (Cyclone)	> ๑๐
การดักจับด้วยหยดน้ำ (Wet Scrubber)	
- Spray Tower Scrubber	> ๕
- Packed Bed Scrubber	> ๕
- Tray or Plate Scrubber	> ๑
- Venturi Scrubber	> ๑
ถุงกรอง (Bag Filter)	> ๐.๑
เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitators : ESP)	< ๐.๑

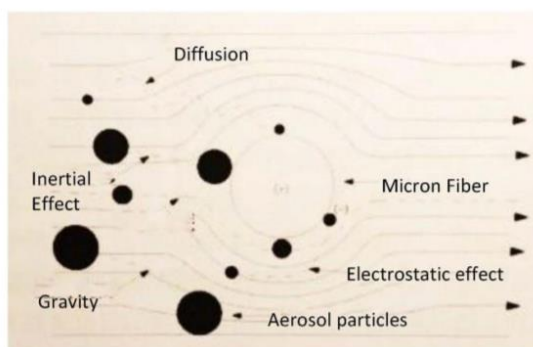
ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของฝุ่นละอองที่เครื่องดักจับฝุ่นแบบต่าง ๆ ที่สามารถดักจับได้

พบว่าระบบดักจับฝุ่นแบบ Gravity Settler, Cyclone, Spray Tower Scrubber, Packed Bed Scrubber ที่นิยมใช้ทั่วไปไม่สามารถดักฝุ่นละออง PM 2.5 ได้ Tray or Plate Scrubber และ Venturi Scrubber มีประสิทธิภาพในการดักฝุ่นปานกลาง สามารถดักจับฝุ่นที่มีขนาดตั้งแต่ 1 ไมครอนได้ ส่วนระบบถุงกรอง (Bag Filter) และระบบดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitators : ESP) สามารถดักจับ PM 2.5 ได้อย่างดี

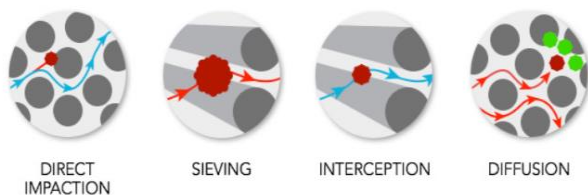
2.1.2 แผ่นกรองอากาศ (Air Filter)

1.กลไกในการกรองฝุ่นของแผ่นกรองอากาศ

หลักการทำงานของกรอง โดยทั่วไปมีด้วยกันทั้งหมด 5 วิธีดังนี้

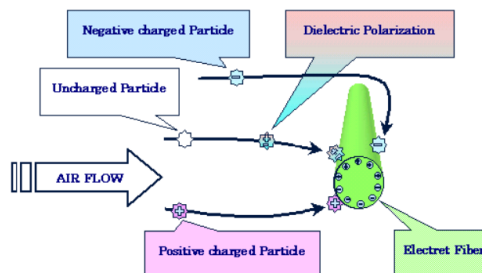


รูปภาพที่ 2.3 ภาพรวมของกลไกต่างๆที่ทำให้เส้นใยสามารถดักจับฝุ่นได้



เครดิตรูปภาพ : cowaymega

รูปภาพที่ 2.4 กลไกต่างๆในการกรองฝุ่นของแผ่นกรอง



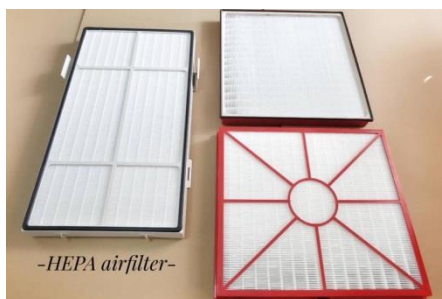
รูปภาพที่ 2.5 กลไกการทำงานของ การดักจับด้วยไฟฟ้าสถิต

- 1.) การชน (Direct Impaction) : เป็นวิธีที่สิ่งสกปรกขนาดใหญ่ เช่น ฝุ่น เกสรดอกไม้ หรือเชื้อราบางชนิด ลอยมาชนและติดเข้ากับเส้นใยของแผ่นกรองโดยตรง
- 2.) การคัดกรอง (Sieving) : ในกรณีที่สิ่งสกปรกเหล่านั้นไม่ได้มาชนเส้นใยโดยตรง แต่ด้วยความหนาแน่นของเส้นใยในแผ่นกรอง ทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นต่อเส้นมีน้อย ฝุ่นหรือสิ่งสกปรกขนาดใหญ่ที่ไม่ได้ลอยมาชนก็ไม่สามารถผ่านช่องว่างนั้นไปได้ด้วยดี
- 3.) การสกัดกั้น (Interception) : กลไกการสกัดกั้นคือ เมื่อฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็กเคลื่อนไปตามการไหลเวียนของอากาศที่รวดเร็ว ก็อาจจะทำให้มันสามารถเคลื่อนไหวอ้อมเส้นใยด้านแรกๆ ไปได้ แต่ด้วยความหนาแน่นของเส้นใย และแรงเฉื่อย สุดท้ายสิ่งสกปรกขนาดเล็กเหล่านั้นก็จะติดกับด้านข้างของเส้นใยอย่างในรูปในที่สุด
- 4.) การแพร่ (Diffusion) : ฝุ่นและสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็กมาก (เช่น ที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน) มักจะมีเส้นทางการเคลื่อนไหวที่ไม่เป็นทิศไม่เป็นทาง ทำให้พวกมันมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไหวไปชนกับและติดกับเส้นใยด้วยตัวเอง
- 5.) การดักจับด้วยไฟฟ้าสถิต (Electret filter) : ใช้เส้นใยที่ผ่านการอัดประจุไฟฟ้าสถิต ซึ่งอาศัยการดักจับฝุ่นละอองที่มีขั้วตรงข้ามกับประจุที่อัดเข้าไปในเส้นใย ดังนั้นการวางตัวของเส้นใยนั้นจึงไม่หนาแน่น ไม่ขัดขวางทางเดินของอากาศมากนัก ส่งผลให้อากาศไหลผ่านได้ดี

2.เทคโนโลยีของแผ่นกรองอากาศ

หลักการทดสอบการทดลอง เนื่องจากในปัจจุบันนั้นเทคโนโลยีของแผ่นกรองอากาศมีด้วยกันหลายแบบหลายชนิดซึ่งทางเราได้จัดตัวเลือกที่มีมาทำให้เกิดความเหมาะสมกับการใช้งานของโครงการ ดังนี้

1.HEPA Filter



รูปภาพที่ 2.6 แผ่นกรองอากาศแบบHepa Filter

แผ่นกรอง HEPA ย่อมาจากคำว่า High efficiency particulate air แปลว่า แผ่นกรองอนุภาคที่มีประสิทธิภาพสูง แผ่นกรอง HEPA ใช้ในงานที่ต้องใช้การกรองที่มีประสิทธิภาพมากของเชื้อโรคในอากาศ ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคหอบหืดหรือทำให้อาการรุนแรงขึ้น และทำให้เกิดโรคภูมิแพ้

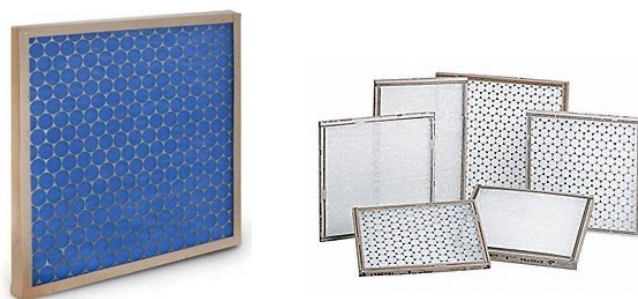
2. PLEATED FILTERS



รูปภาพที่ 2.7 แผ่นกรองอากาศแบบPleated Filters

ตัวกรอง pleated filter ทำมาจากการนำผ้าฝ้ายหรือผ้าpolyester มาพับให้เป็นชั้น ๆ นำมาพับให้มีรูปร่างเหมือนหีบเพลง ปรับพื้นผิวผ้าที่มากให้มีขนาดเล็ก filterชนิดนี้มีประสิทธิภาพที่สูง เพื่อส่งให้อากาศไหลได้ดีขึ้นจึงพับให้มีจำนวนจีบให้เยอะที่สุด ยิ่งมีจำนวนจีบมากจะยิ่งทำให้อากาศไหลเวียนดีขึ้นตัวกรองpolyester จะเป็นทางออกที่ดีที่สุดมันกำจัดมลพิษจำนวนมากออกจากบ้านของคุณโดยไม่มีผลกระทบ ต่อระบบ HVAC (ระบบ HVAC คือ ระบบปรับสภาวะอากาศ ซึ่งจะจัดการอากาศ เพื่อควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด และการกระจายอากาศให้เป็นไปตามที่ต้องการสำหรับพื้นที่นั้น ๆ ประกอบไปด้วย H-heating, V-Ventilation และ AC-Air conditioning)

3. THROWAWAY FILTER



รูปภาพที่ 2.8 แผ่นกรองอากาศแบบ Throwaway Filter

เป็นแผ่นกรองชนิดใช้แล้วทิ้ง ทำมาจากเส้นใยสังเคราะห์ polyester ซึ่งผลิตโดยการจับคู่คุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยสังเคราะห์โดยใช้เทคนิคดั้งเดิมต่าง ๆ เช่นการเจาะเข็ม การยึดเกาะด้วยกาว วิธีการยึดติดเกาะด้วยความร้อนเป็นต้น ทำให้productที่มีค่าต้านทานเริ่มต้นต่ำทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดการใช้พลังงานและลดต้นทุนทางการเงินและมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์นี้ยังมีความต้านทานต่อน้ำสูงและเป็นสารทอพอโฟบิกทำให้เป็นสิ่งอเนกประสงค์และใช้ได้ในหลายๆรูปแบบการทำงาน

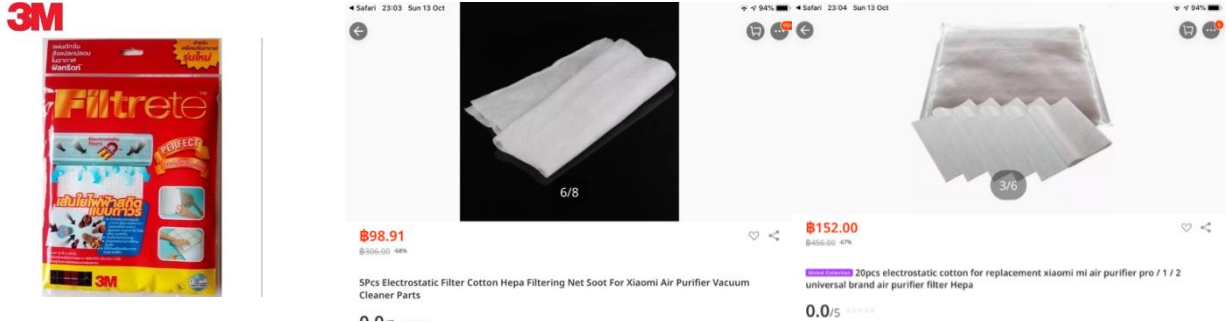
4. WASHABLE ELECTROSTATIC FILTERS



รูปภาพที่ 2.9 แผ่นกรองอากาศแบบ Washable Electrostatic Filters

Filterชนิดนี้จะคล้ายๆกับชนิดใช้แล้วทิ้ง แต่มักจะมาในรูปของกรอบเฟรม aluminium ปลอกในตาข่ายทำจากaluminium ที่ล้างทำความสะอาดได้ ค่อนข้างมีราคา แต่สิ่งเดียวที่คุณต้องทำคือทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ทุกๆ 3-5 ปี และเพื่อให้ประสิทธิภาพแผ่นกรองไปถึงที่สุดคุณต้องทำความสะอาดfilterนี้ทุก ๆ 3 เดือน

5. ELECTROSTATIC FILTER



รูปภาพที่ 2.10 แผ่นกรองอากาศแบบ Electrostatic Filters

Electret air filter ใช้เส้นใยผ่านกระบวนการชาร์จไฟฟ้าสถิตแบบถาวร โดยหลังจากที่ชาร์จประจุทำให้แผ่นกรองดูดจับฝุ่นโดยจะจับกับฝุ่นละอองที่มีขั้วตรงข้าม ทำให้การวางตัวของเส้นใยไม่หนาแน่นมากนัก ทำให้อากาศไหลผ่านดีสามารถดักจับสิ่งแปลกปลอมในอากาศที่มีขนาดตั้งแต่ 0.1 microns ขึ้นไป และผลิตจากเส้นใย Polypropylene ที่มีคุณสมบัติไม่ดูดจับความชื้น จึงไม่เป็นแหล่งสะสมของเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคระบบทางเดินหายใจ

6. NANO FILTER



รูปภาพที่ 2.11 แผ่นกรองอากาศแบบ Nano Filter

แผ่นกรองอากาศที่ใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิต นาโนเทคโนโลยีคือเทคโนโลยีเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างการสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร ซึ่งคุณสมบัติของแผ่นกรองชนิดนี้ สามารถล้างทำความสะอาดนำกลับมาใช้ใหม่ได้ กรองสิ่งแปลกปลอมในอากาศที่มีขนาดตั้งแต่ 0.075 microns ขึ้นไป รวมทั้ง ฝุ่นควัน PM2.5 แบคทีเรีย กลิ่นและไวรัส

3.การพิจารณาเลือกใช้แผ่นกรองอากาศ

กรองอากาศที่ติดตั้งนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ ประสิทธิภาพการในกรองที่สูง ความดันตกคร่อมต่ำ อัตราการไหลของอากาศสูง พื้นที่เนื้อกรองมาก และมีอายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศที่ยาวนาน ซึ่งปัจจัยต่างๆสามารถพิจารณาดังนี้

1. ประสิทธิภาพในการกรอง อันได้แก่

- ประสิทธิภาพเริ่มต้น (Initial Efficiency) ประสิทธิภาพที่จะจากการการทำงานครั้งแรกครั้งแรกโดยที่แผ่นกรองยังไม่ผ่านการใช้งานมาก่อน
- ประสิทธิภาพเฉลี่ย (Average Efficiency)เป็นค่าประสิทธิภาพที่ใช้ในการกำหนดช่วงประสิทธิภาพของฟิลเตอร์แต่ละชนิด (Specification) ที่สามารถตรวจสอบจากข้อมูลที่กำหนดมาจากโรงงานผู้ผลิต
- ประสิทธิภาพสุดท้าย (Final Efficiency) เป็นค่าที่บ่งบอกถึง ค่าประสิทธิภาพสุดท้ายที่ฟิลเตอร์สามารถกรองได้ หากมีการใช้งานเกินจุดนี้แผ่นกรองอากาศจะเริ่มตัน อัตราการไหลของอากาศจะเริ่มลดลง และ pressure drop จะสูงขึ้น

MERV	Average Efficiency(E). Percent in Diameter Range			Average Arrestance. (A)	Minimum Final Resistance
	0.3 μ m-1.0 μ m	1.0 μ m-3.0 μ m	3.0 μ m-10.0 μ m		
1	n/a	n/a	<20%	<65%	75 Pa
2	n/a	n/a	<20%	65% A<70%	75 Pa
3	n/a	n/a	<20%	70% A<75%	75Pa
4	n/a	n/a	<20%	75% A	75Pa
5	n/a	n/a	20%<E<35%	n/a	150 Pa
6	n/a	n/a	35%<E<70%	n/a	150 Pa
7	n/a	n/a	50%<E<70%	n/a	150 Pa
8	n/a	n/a	70% E	n/a	150 Pa
9	n/a	E<50%	85% E	n/a	250 Pa
10	n/a	50%<E<65%	85% E	n/a	250 Pa
11	n/a	65%<E<80%	85% E	n/a	250 Pa
12	n/a	80% E	90% E	n/a	250 Pa
13	<75%	90% E	90% E	n/a	350 Pa
14	75%<E<85%	90% E	90% E	n/a	350 Pa
15	85%<E<95%	90% E	90% E	n/a	350 Pa
16	95% E	95% E	90% E	n/a	350 Pa

Table 3 : Classes defined ANSI/ASHRAE Standard 52.2-1999.

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าประสิทธิภาพโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน EN779:2012

จากตารางอ้างอิงจากมาตรฐาน EN779:2012 ของประเทศสหรัฐอเมริกา MERV คือ MERV เป็นชื่อย่อมาจาก Minimum Efficiency Reporting Value คือสิ่งที่เอาไว้ให้คะแนนความสามารถในการกรองอนุภาคของตัวกรองต่างๆ ในอากาศ โดยมีคะแนนตั้งแต่ 1- 16 ซึ่งถูกพัฒนามาโดย

สมาคมวิศวกรเครื่องทำความร้อน ตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศของอเมริกา ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioner Engineers)

2. ความดันตกคร่อม

แผ่นกรองที่มีประสิทธิภาพในการกรองสูงจะมีการเกิดความดันตกคร่อมสูงเช่น เดียวโดยจะต้องใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานมาก ในการลดความความดันที่สูญเสีย ดังนั้นกรองที่ดีจะต้องมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นที่สูงโดยที่ความดันตกคร่อมต่ำ

3. อัตราการไหลของอากาศ

หากอากาศสามารถไหลผ่านแผ่นกรองอากาศได้ด้นั้นหมายความว่าแผ่นกรองนั้นมีอัตราการไหลของอากาศที่สูง จึงสามารถลดเวลาในการกรองอากาศได้ ซึ่งอัตราการกรองของอากาศนั้นสามารถหาได้จากความเร็วลมคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของการไหลของอากาศ

4. การวัดความเร็วลม

ในการวัดความเร็วของลมในช่วง 0 – 100 m/s นั้นเราสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ช่วง คือ

4.1 ความเร็วลมต่ำ (low speed) คือความเร็วลมช่วง 0 - 5 m/s เหมาะกับหัววัดแบบ
ลดความร้อน (Thermal probe)

4.2 ความเร็วลมกลาง (mid speed) คือความเร็วลมช่วง 5 - 40 m/s เหมาะกับหัววัดแบบ
ใบพัด (Vane probe)

4.3 ความเร็วลมสูง (High speed) คือความเร็วลมช่วง 40 - 100 m/s เหมาะกับหัววัดแบบ
Pitot tube

โดยในการออกแบบตัวเครื่องกรองฝุ่น คาดว่าจะให้การทำงานของเครื่องให้มีความเร็วของลมขณะ
ใช้งานอยู่ในช่วงที่ 2 คือความเร็วลมกลาง ซึ่งเหมาะกับการใช้หัววัดแบบใบพัด

หัววัดแบบใบพัด (Vane Probe) จะใช้หลักการนับความเร็วรอบของใบพัดที่หมุนด้วย
Proximity switch โดยใบพัดขนาดใหญ่ (60 mm, 100 mm) จะเหมาะกับลมที่มีลักษณะปั่นป่วน
(Turbulent flows) เช่น ขาออกของท่อลม ฯลฯ และใบพัดขนาดเล็ก จะเหมาะสมกับการวัดลม
ในท่อ

5. พื้นที่เนื้อกรอง

พื้นที่ของเนื้อกรองอากาศมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการกรองเป็นอย่างมากเนื่องจาก
ฟิลเตอร์ที่ดีต้องมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นที่สูง ซึ่งต้องมีพื้นที่เนื้อกรองมากนั่นเองในการเพิ่มพื้นที่
เนื้อกรองสามารถเพิ่มโดยการเพิ่มจำนวนจีบ (pleat) ของแผ่นกรองให้มีปริมาณมากขึ้นจะช่วยเพิ่ม
เนื้อกรองให้กับฟิลเตอร์ทำให้เพิ่มความสามารถในการกักเก็บฝุ่นได้ในปริมาณมาก ดังนั้นการพิจารณา
แผ่นกรองจากพื้นที่เนื้อกรองจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง

6. อายุการใช้งานของแผ่นกรองอากาศ

ในการเลือกฟิลเตอร์กรองอากาศต้องคำนึงถึงอายุการใช้งานของแผ่นกรองว่ามีอายุการใช้งานได้นานแค่ไหน โดยทั่วไปแล้ว ผู้ผลิตจะมีการกำหนดอายุการใช้งานตามประสิทธิภาพของฟิลเตอร์

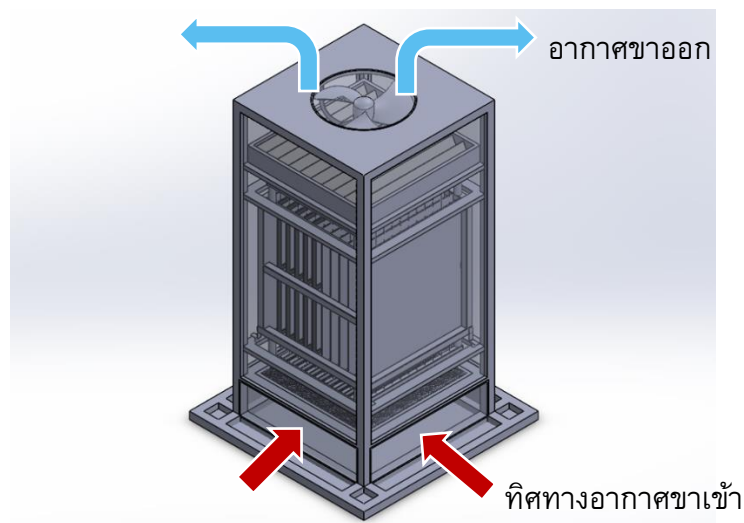
แผ่นกรองขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพ 25-30% มีอายุการใช้งานอยู่ที่ 3-6 เดือน

แผ่นกรองชั้นกลางที่มีประสิทธิภาพ 45-95% มีอายุการใช้งานอยู่ที่ 3-6 เดือน

แผ่นกรองชั้นสุดท้ายที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 98% มีอายุการใช้งาน 6-12 เดือน

อย่างไรก็ตามอายุการใช้งานของฟิลเตอร์ยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ปริมาณฝุ่นและการบำรุงรักษา หากมีการเปลี่ยนฟิลเตอร์ขั้นต้นและชั้นกลางจะช่วยยืดระยะเวลาการใช้งานของฟิลเตอร์กรองละเอียดได้นานขึ้นมากกว่า 1 ปี

2.1.3 ทิศทางการไหลของอากาศผ่านเครื่องดักจับฝุ่น



รูปภาพที่ 2.12 แสดงทิศทางการไหลของอากาศผ่านตัวเครื่อง

จากการออกแบบให้มีทิศทางลมเข้ารอบๆตัวเครื่อง บริเวณด้านล่างและระบายอากาศบริสุทธิ์ออกทางด้านบนตัวเครื่อง โดย

- ขั้นตอนที่1 อากาศเข้าบริเวณด้านล่างตัวเครื่องและผ่าน Pre filter ซึ่งเป็นการกรองขั้นแรก เพื่อป้องกันไม่ให้วัตถุหรือสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่เข้ามาภายในตัวเครื่องได้
- ขั้นตอนที่2 อากาศจะเข้าไปยังในส่วนของ ESP (Electrostatic precipitator) ซึ่งเป็นการดักจับฝุ่นอนุภาคเล็กมากๆด้วยไฟฟ้าสถิต
- ขั้นตอนที่3 อากาศจะถูกกรองอีกครั้งที่ Nano filter เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- ขั้นตอนสุดท้าย อากาศที่ถูกกรองแล้วจะออกทางด้านบนของตัวเครื่อง

2.2 การคำนวณส่วนประกอบสำคัญ หรือทฤษฎีกำกับการทดสอบ

2.2.1 การคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายเทอากาศ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบพัดลม

ในการคำนวณอัตราการถ่ายเทอากาศนั้นเราจำเป็นที่จะต้องกำหนดปริมาตรของห้องที่จะมีการถ่ายของอากาศโดยกลุ่มของเราได้กำหนดให้ห้องมีขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 5 เมตร ทำให้มีปริมาตรห้องเท่ากับ 400 ลูกบาศก์เมตร โดยสูตรการคำนวณคือ

อัตราการถ่ายเทอากาศ = ปริมาตรของห้อง x Air change rate x ACH (Filter)

ซึ่งค่า Air change rate นั้นคือ ค่าการแลกเปลี่ยนอากาศเป็นปริมาตรอากาศที่ไหลเข้าหรือไหลออกจากห้องเทียบกับปริมาตรของห้อง โดยเราเลือกใช้ค่า Air change rate ของหมวดของ Classroom ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 3-4 จากตาราง Air change rate (BS 5720)

Accommodation	Air changes per hour
Offices – above ground	2–6
Offices – below ground	10–20
Factories – large, open	1–4
Factories/industrial units	6–8
Workshops with unhealthy fumes	20–30
Fabric manufacturing/processing	10–20
Kitchens – above ground	20–40
Kitchens – below ground	40–60
Public lavatories	6–12
Boiler accommodation/plant rooms	10–15
Foundries	8–15
Laboratories	10–12
Hospital operating theatres	<20
Hospital treatment rooms	<10
Restaurants	10–15
Smoking rooms	10–15
Storage/warehousing	1–2
Assembly halls	3–6
Classrooms	3–4
Domestic habitable rooms	Approx. 1
Lobbies/corridors	3–4
Libraries	2–4

Table 2.0 - Air changes rates (BS 5720)

ตารางที่ 2.3 แสดง Air change rate (BS 5720)

และค่า ACH หรือ Air Change per Hour เป็นค่าการหมุนเวียนอากาศของเครื่องกรองฝุ่นที่จะสามารถดูดฝุ่นแล้วกรองปล่อยอากาศบริสุทธิ์ออกมา โดยคิดเป็นจำนวนรอบในการดูดกรองต่อหนึ่งชั่วโมง โดยเราจะเลือกใช้ค่า ACH ที่ 5 รอบต่อชั่วโมง ซึ่งค่า ACH ที่เหมาะสมควรมีค่าไม่น้อยกว่า 4 ซึ่งค่า ACH ยังมีค่าสูงยิ่งดีแต่ขนาดห้องที่เหมาะสมในการทำงานจะมีค่าลดลง อ้างอิงจาก

Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM) เราจึงคำนวณค่าอัตราการถ่ายเทอากาศออกมาได้ มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}\text{อัตราการถ่ายเทอากาศ} &= \text{ปริมาตรของห้อง} \times \text{Air change rate} \times \text{ACH (Filter)} \\ &= 400 \text{ m}^3 \times 3 \times 5 \\ &= 6,000 \text{ m}^3/\text{hr}\end{aligned}$$

เมื่อเราทราบค่าอัตราการถ่ายเทอากาศแล้ว เราจึงสามารถนำค่านั้นไปเลือกหาขนาดของพัดลมที่มีความสามารถในการถ่ายเทอากาศได้ดังค่าที่คำนวณ จึงได้เป็นพัดลมรุ่น FV-50GS4TP ยี่ห้อ Panasonic ซึ่งมีขนาดอยู่ที่ 20 นิ้ว ซึ่งมีปริมาตรลมอยู่ที่ 6,390 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



รูปภาพที่ 2.13 พัดลมรุ่น FV-50GS4TP ยี่ห้อ Panasonic

รายละเอียดพัดลม

ขนาด 20 นิ้ว

มอเตอร์ทนต่อการใช้งานเป็นเวลานานๆ

ความถี่ 50 Hz

กำลังไฟ 249 Watt

ปริมาตรลม 6,390 m³/hr

ระดับเสียง 47 dB

น้ำหนัก 22.5 Kg

และมีอีกหนึ่งตัวแปรที่ตามมาคือความดังของเสียงที่จะส่งผลในขณะการทำงานของเครื่องซึ่งความดังของเสียงนั้น (Loundness) หมายถึง ความรู้สึกได้ยินของมวลมนุษย์ว่าดังมากดังน้อย ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่อาจวัดด้วยเครื่องมือใด ๆ ได้โดยตรง ความดังเพิ่มขึ้นตามความเข้มเสียง ความรู้สึกเกี่ยวกับความดังจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความเข้มเสียง โดยถ้า I แทนความเข้มเสียง ความดังของเสียงจะแปรผันโดยตรงกับ $\log I$ หรืออาจกล่าวได้ว่า ความดังก็คือระดับความเข้มเสียงนั่นเอง หูของคนสามารถรับเสียงที่มีความดังน้อยที่สุดคือ 0 dB และมากที่สุดคือ 120 dB ซึ่งจากการเลือกใช้พัดลมรุ่น FV-50GS4TP ยี่ห้อ Panasonic จะเห็นได้ว่าพัดลมรุ่นนี้มีระดับความดังของเสียงอยู่ที่ 47 dB โดยที่ระดับความดังที่ 47 dB นี้จัดอยู่ในระดับความดังที่เงียบ

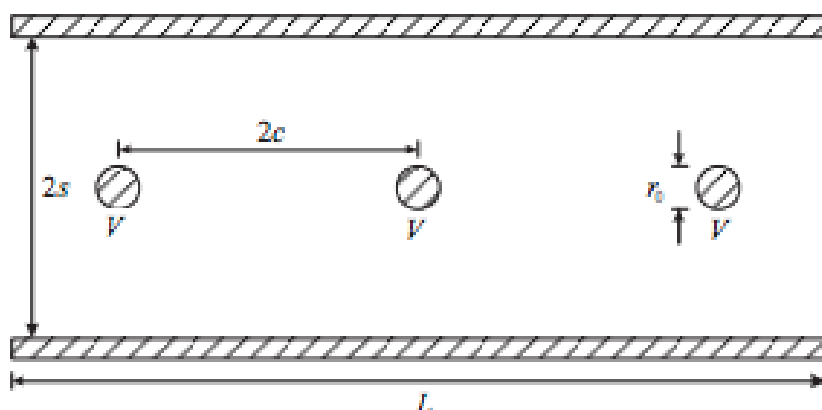
จึงเหมาะกับสำนักงาน ห้องเรียน อ้างอิงจากตารางค่าความดังของเสียงดังนี้

แหล่งกำเนิด	ระดับความเข้มเสียง (dB)	ผลการรับฟัง
การหายใจปกติ	10	แทบจะไม่ได้ยิน
การกระซิบแผ่วเบา	30	เงียบมาก
สำนักงานที่เงียบ	50	เงียบ
การพูดคุยธรรมดา	60	ปานกลาง
เครื่องดูดฝุ่น	75	ดัง
โรงงานทั่วไป, ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น	80	ดัง
เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง , เครื่องเจาะถนน	90	รับฟังบ่อย ๆ การได้ยินจะเสื่อมอย่างถาวร
แบบอัดลม		
เครื่องตัดหญ้า	100	
ดิสโก้เทค การแสดงดนตรีประเภทร็อก	120	ไม่สบายหู
ฟ้าผ่าระยะใกล้	130	
เครื่องบินไอพ่นกำลังขึ้นที่ระยะใกล้	150	เจ็บปวดในหู
จรวดขนาดใหญ่กำลังขึ้นที่ระยะใกล้	180	แก้วหูชำรุดทันที

ตารางที่ 2.4 แสดงระดับความดังเสียงในสภาวะต่าง ๆ

2.2.2 ทฤษฎีการคำนวณทางไฟฟ้า

การดักจับเชิงไฟฟ้าสถิตเป็นกระบวนการการกำจัดอนุภาคแขวนลอย (Particulate matter) ออกจากการไหลของแก๊สโดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ดิสชาร์จอิเล็กโทรด (Discharge Electrode) หรือขั้วดิสชาร์จที่ถูกจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High Volt) และ คอลเลกชันอิเล็กโทรด (Collection Electrode) หรือขั้วตกตะกอน (Ground) เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับดิสชาร์จอิเล็กโทรดโดยใช้คอลเลกชันอิเล็กโทรดเป็นกราวด์จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จ (Corona Discharge) ขึ้นโดยรอบๆ ดิสชาร์จอิเล็กโทรดไอออน (Ion) และอิเล็กตรอน (Electron) จะถูกสร้างขึ้นบริเวณที่เกิดโคโรนาดีสชาร์จและทำให้เกิดการไหลของกระแสไอออนผ่านช่องว่างระหว่างดิสชาร์จอิเล็กโทรดกับคอลเลกชันอิเล็กโทรด เมื่อมีอากาศหรือฝุ่นละอองที่มีอนุภาคแขวนลอยไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างจะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน ไอออนก็จะเกาะติดกับอนุภาคที่ไหลเข้ามาหรือที่เรียกว่าการอัดประจุอนุภาค เป็นผลทำให้อนุภาคที่มีประจุถูกทำให้เคลื่อนที่วิถีโค้งด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตหรือที่เรียกว่า แรงคูลอมบ์ไปตกบนคอลเลกชันอิเล็กโทรดและถูกสะสมตัวอยู่บนคอลเลกชันอิเล็กโทรด



รูปภาพที่ 2.14 การจัดวางอิเล็กโทรดของเครื่องดักจับชนิดเส้นลวด-แผ่นระนาบ

2.2.2.1 สนามไฟฟ้าและการไหลของกระแสไฟฟ้า

สนามไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนา (Corona Onset Field) หาได้จาก

$$E_c = \delta \left(32.2 + \frac{0.864 \times 10^5}{\sqrt{r_0 \delta}} \right)$$

$$\delta = \left(\frac{293}{293 + T} \right)$$

δ คือ ความหนาแน่นของแก๊ส (Gas Density)

T คืออุณหภูมิทำงานของแก๊ส (Operating Temperature)

P คือความดันทำงาน (Operating Pressure)

แรงดันเริ่มเกิดคอโรนา (Corona Onset Voltage) หาได้จาก

$$V_c = r_0 E_c \ln(d_1 / r_0)$$

V_c คือแรงดันเริ่มเกิดคอโรนา (Corona Onset Voltage)

r_0 คือรัศมีของขั้วดิสชาร์จ

d คือระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จและขั้วตกตะกอน มีค่าเท่ากับ S

ความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน (Ion Electrical Mobility)

$$Z_i = Z_i \left(\frac{T_r}{T} \right) \left(\frac{P}{P_r} \right)$$

Z_i คือความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน (Ion Electrical Mobility)

T_r คืออุณหภูมิทำงานอ้างอิง

P_r คือความดันทำงานอ้างอิง

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน (Current-Voltage Relationship) สามารถอธิบายได้จากสมการของ Maxwell ที่ครอบคลุมสมการ Poisson's ของสนามไฟฟ้า E คือ

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของประจุ (C/m^3) และ ϵ_0 คือค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสุญญากาศหรือที่ว่าง (Free-space permittivity) มีค่าเท่ากับ $8.854 \times 10^{-12} F/m$ ซึ่งสมการนี้ใช้ได้สำหรับแก๊สภายใต้สภาวะปกติ ในการศึกษานี้จะสมมุติให้การเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากผลของประจุค้างของไอออน (Ion Space Charge) ในเครื่องตกตะกอนแบบลวด-แผ่นมีค่าน้อยมาก ดังนั้นค่ากระแสคอโรนาเฉลี่ย (Average Corona Current)

$$I_c = \frac{\pi \epsilon_0 Z_i h L}{c s^2 \ln(d_1 / r_0)} V_1 (V_1 - V_c)$$

I_c ที่ เป็นฟังก์ชันของศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วดิสชาร์จอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องตกตะกอนแบบเส้นลวดกับแผ่นราบคือ

เมื่อ L คือความยาวของขั้วตกตะกอน h คือความสูงของขั้วตกตะกอน

ϵ_0 คือค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสุญญากาศหรือที่ว่าง (Free-space permittivity) มีค่าเท่ากับ $8.854 \times 10^{-12} F/m$

V_c คือแรงดันเริ่มเกิดคอโรนา (Corona Onset Voltage)

S คือระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จและขั้วตกตะกอน

C คือระยะห่างระหว่างเส้นลวด

2.2.2.2 การอัดประจุอนุภาค

อนุภาคที่แขวนลอยในอากาศจะถูกอัดประจุ (Particle Charging) ด้วยสัมผัสและการเกาะติดของไอออนที่ถูกสร้างขึ้นโดยปรากฏการณ์คอโรนาดิสชาร์จที่อิเล็กทรอนิกส์ไอออนจะถูกเคลื่อนย้ายโดยสนามไฟฟ้าหรือการแพร่เชิงความร้อน (Thermal Diffusion) ในการศึกษาจำนวนของประจุที่อยู่บนอนุภาคจะได้มาจากการอัดประจุแบบสนาม (Field Charging) เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.1-100 ไมโครเมตร โดยการประมาณค่าจำนวนประจุของอนุภาคด้วยวิธีการนี้สามารถคำนวณได้จาก

$$n_f = \left(\frac{3\epsilon}{\epsilon + 2} \right) \left(\frac{E d_p^2}{4 K_E e} \right) \left(\frac{\pi K_E e Z_i N_i t}{1 + \pi K_E e Z_i N_i t} \right)$$

เมื่อ E คือสนามไฟฟ้า (Electric Field)

ϵ คือค่าคงที่ของการเป็นฉนวนของอนุภาค (Dielectric Constant of Particle)

K_E คือค่าคงที่จากสมการของคูลอมบ์ มีค่าเท่ากับ $9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$

d_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

e คือค่าประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ $1.61 \times 10^{-19} \text{ C}$

N_i คือค่าความเข้มข้นจำนวนของไอออน (Ion Number Concentration)

t คือเวลาในการอัดประจุ (Charging Time)

ค่าจำนวนประจุเฉลี่ย n_d ของการอัดประจุอนุภาคแบบแพร่ในช่วงเวลา t และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค d_p สามารถหาได้จาก

$$n_d = \frac{d_p kT}{2K_E e^2} \ln \left(1 + \frac{\pi K_E d_p \bar{c}_i e^2 N_i t}{2kT} \right)$$

k คือ ค่าคงตัวโบลต์ซมันน์

\bar{c}_i คือความเร็วเชิงความร้อนเฉลี่ยของไอออน

ในสนามไฟฟ้าคอโรนาดีสชาร์จจะเกิด 2 กลไกการอัดประจุอนุภาคพร้อมกันทั้งแบบแพร่และสนาม (Field and Diffusion Charging) เรียกการอัดประจุรวม (combined charging)

$$n_p = n_d + n_f$$

สำหรับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบเส้นลวด-แผ่นระนาบ ค่าความเข้มข้นจำนวนของไอออนกับเวลาในการอัดประจุสามารถหาได้จาก

$$N_i t = \frac{I_c d_1}{Z_i e v_0 V_1 h}$$

เมื่อ v_0 คือความเร็วของการไหล

2.2.2.3 การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า

อนุภาคได้รับประจุไฟฟ้าสถิตสุทธิ (Net electrostatic charge) เมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าที่มีความเข้ม E อนุภาคที่มีประจุเหล่านั้นจะได้รับแรงเชิงไฟฟ้าสถิตสุทธิ (Net electrostatic force) F_e กระทำต่ออนุภาคสามารถคำนวณได้จาก

$$F_e = neE$$

โดยที่ n คือ จำนวนประจุที่อยู่บนอนุภาค

e คือ ค่า ประจุของอิเล็กตรอน เท่ากับ $(1.61 \times 10^{-19} \text{C})$

E คือ ความเครียดสนามไฟฟ้า (V/m)

ในการศึกษาจำนวนของ ประจุที่อยู่บนอนุภาค n จะได้มาจากการใส่ประจุด้วยวิธีการแพร่กระจาย (Diffusion charging) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร ความสามารถของอนุภาคที่ได้รับประจุเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า ความสามารถในการเคลื่อนตัวเชิงไฟฟ้าของอนุภาค (Electrical particle mobility) Z_p หน่วย $(\text{m}^2 / \text{V.s})$ คือความเร็วของอนุภาคที่มีประจุต่อความเข้มของสนามไฟฟ้าสามารถหาได้จาก

$$Z_p = \frac{neC_c}{3\pi\mu d_p}$$

$$C_c = 1 + \frac{\lambda}{d_p} \left(2.541 + 0.8 \exp \left(-0.55 \frac{d_p}{\lambda} \right) \right)$$

โดยที่ d_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (m)

C_c คือตัวชดเชยของคันทิงแฮม

λ คือค่าเฉลี่ยระยะการเคลื่อนที่อิสระของก๊าซ (μm)

λ_r คือค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่อิสระของอากาศที่สภาวะมาตรฐานมีค่าเท่ากับ $0.0665 \mu\text{m}$

เมื่อ t คือเวลา โดยพิจารณาให้มวลของอนุภาคมีค่าน้อยมากๆ และเวลามีค่ามากกว่า 10^{-2} วินาที จะได้ความเร็วของอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปยังขั้วตะกอนคือ

$$w = \frac{n_p e E_2 C_c}{3 \pi \mu d_p} \quad \mu = \mu_r \left(\frac{T_i + S}{T + S} \right) \left(\frac{T}{T_r} \right)$$

μ คือความหนืดของของไหลที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2.2.2.4 ประสิทธิภาพการดักจับ

สำหรับประสิทธิภาพการตกตะกอนหรือการดักจับอนุภาค(collection efficiency)

η ภายในตัวตกตะกอนนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{wL}{v_0 s}\right)$$

เมื่อ L คือความยาวของตัวตกตะกอน

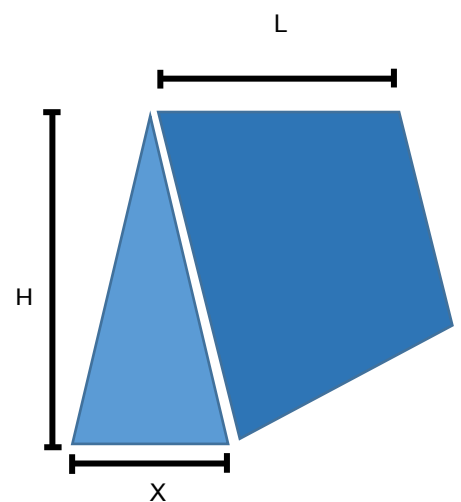
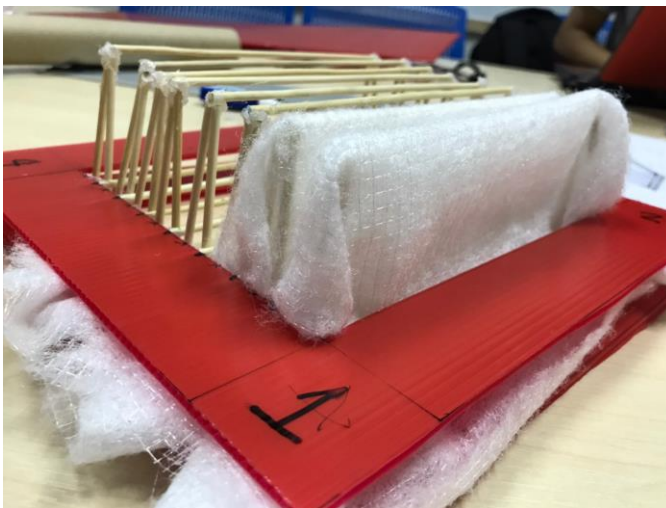
v_0 คือความเร็วของการไหล

w คือความเร็วของอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปยังตัวตกตะกอน

2.2.3 การออกแบบกรอบแผ่นกรองอากาศ

2.2.3.1 การออกแบบพื้นที่เนื้อกรอง

ผู้จัดทำได้ออกแบบกรอบเพื่อเพิ่มพื้นที่เนื้อกรองและให้ง่ายต่อการประกอบระหว่างแผ่นกรองอากาศและกรอบของแผ่นกรองอากาศดังนี้



รูปภาพที่ 2.15 การออกแบบกรอบแผ่นกรองอากาศ

ซึ่งพื้นที่เนื้อกรองหลังติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ(A) สามารถคำนวณได้จาก

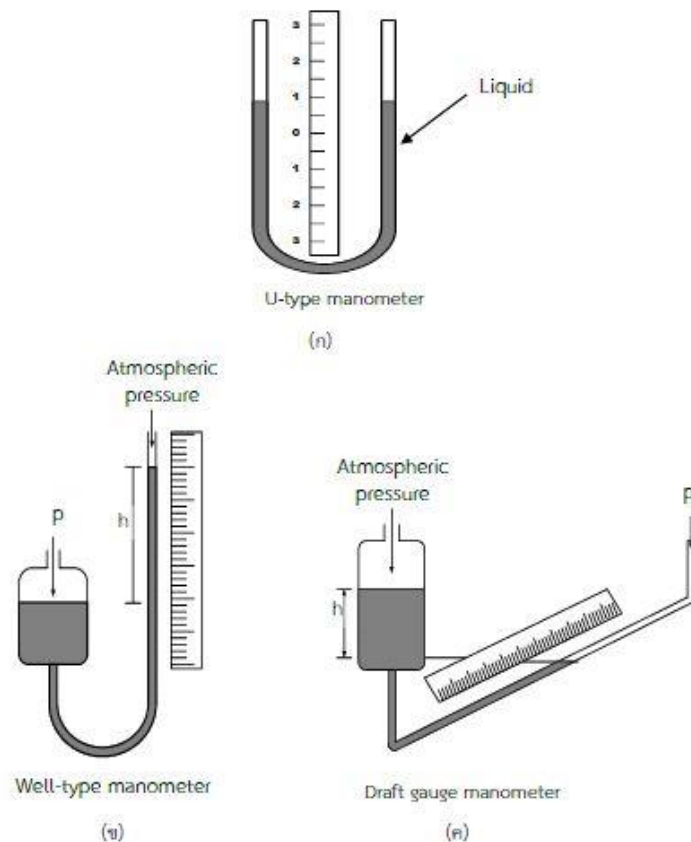
$$A = \left(2L \sqrt{\left(\frac{X}{2}\right)^2 + H^2} + HX \right) N$$

และอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เนื้อกรองสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เนื้อกรอง} = \frac{\text{พื้นที่เนื้อกรองหลังติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ}}{\text{พื้นที่เนื้อกรองก่อนติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ}}$$

2.2.3.2 การวัดความดันตกคร่อม

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดความดัน ชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางกล มีโครงสร้างเป็นหลอดใสภายในบรรจุของเหลวซึ่งมาโนมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดความดันในรูปแบบของความดันแตกต่าง โดยพิจารณาจากความแตกต่างของระดับความสูงของของเหลวภายในหลอดแก้วสองข้าง



รูปภาพที่ 2.16 การวัดความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุด

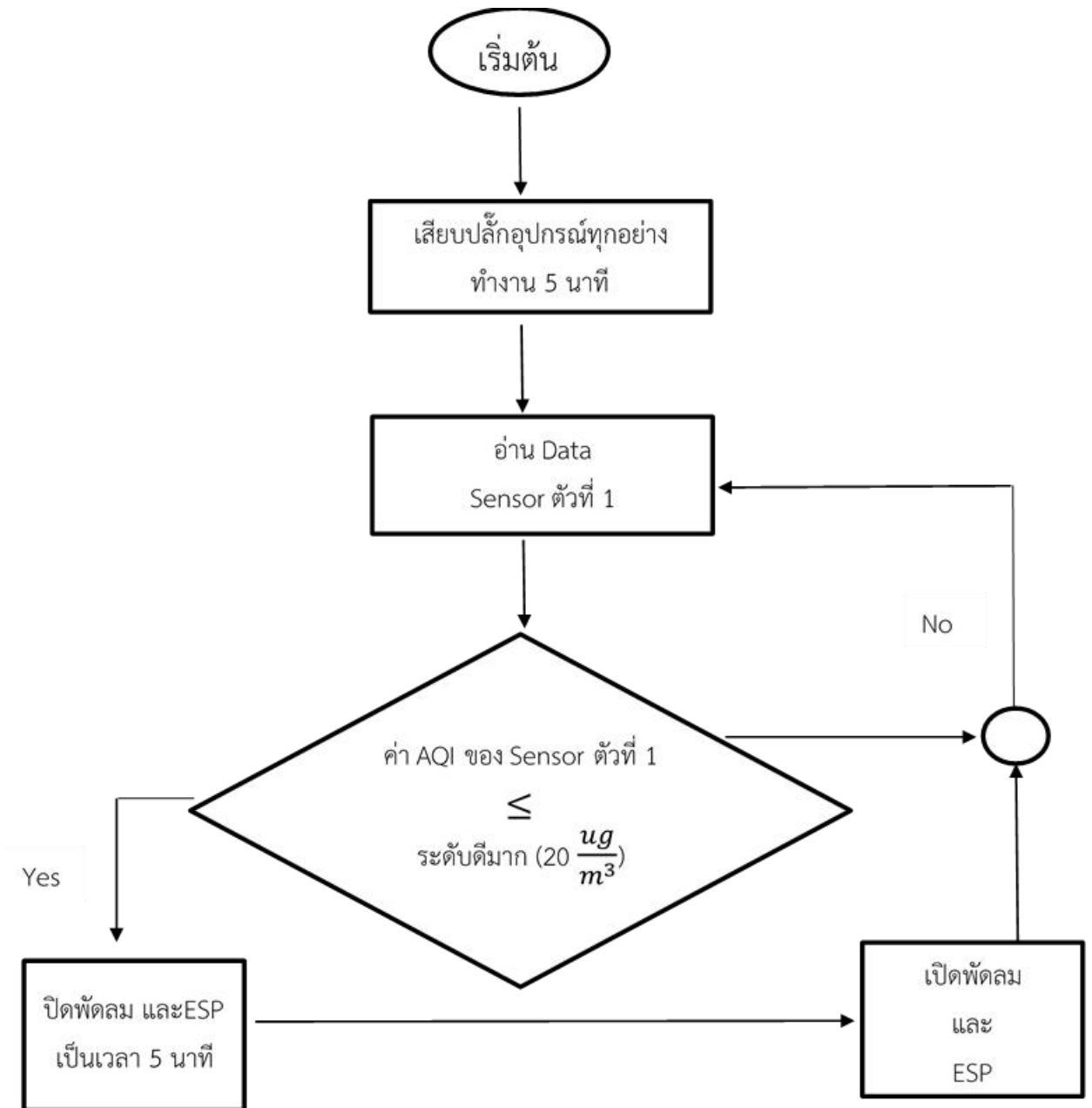
2.2.4 ดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ (AQI)

เป็นการวัดคุณภาพอากาศที่บอกถึงมลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ โดยเทียบจากมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ 5 ประเภท ซึ่งวัดโดยใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ ก๊าซโอโซน (O₃) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย 8 ชั่วโมง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง โดยดัชนีคุณภาพอากาศที่คำนวณได้จะบอกถึงปริมาณของมลพิษทางอากาศและค่าของมลพิษประเภทใดมีค่าสูงสุด จะใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศของวันนั้น

Numerical Value	Color	Air Quality Index Levels of Health Concern	Meaning
0 - 50	Green	Good	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
51 - 100	Yellow	Moderate	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.
101 - 150	Orange	Unhealthy for sensitive groups	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.
151 - 200	Red	Unhealthy	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
201 - 300	Purple	Very unhealthy	Health alert: everyone may experience more serious health effects.
301 - 500	Maroon	Hazardous	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

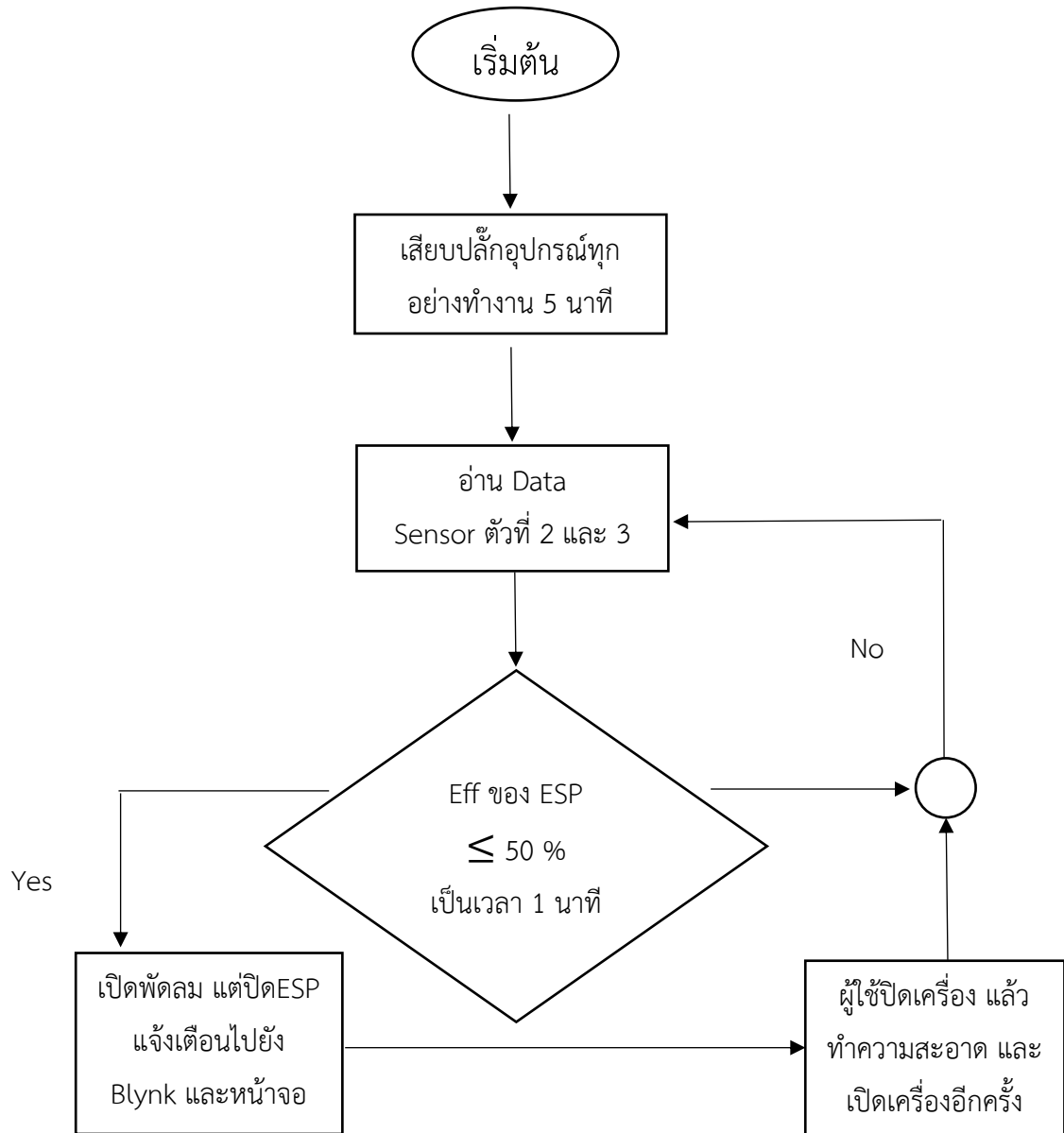
2.2.5 ฟังก์ชันการทำงาน



รูปภาพที่ 2.17 แผนผังการทำงานของระบบประหยัดพลังงาน

1.ระบบการประหยัดพลังงาน

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จะสั่งหยุดการทำงานเมื่อค่า AQI อยู่ในระดับดีมาก($20 \frac{ug}{m^3}$) ซึ่งในการหยุดการทำงานนั้นหมายถึง การหยุดทำงานของพัดลม และส่วนของ ESP แต่ Sensor จะทำงานตลอดเวลาและจะสั่งทำงานเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที เพื่อเป็นการประหยัดไฟฟ้า และยืดอายุของอุปกรณ์

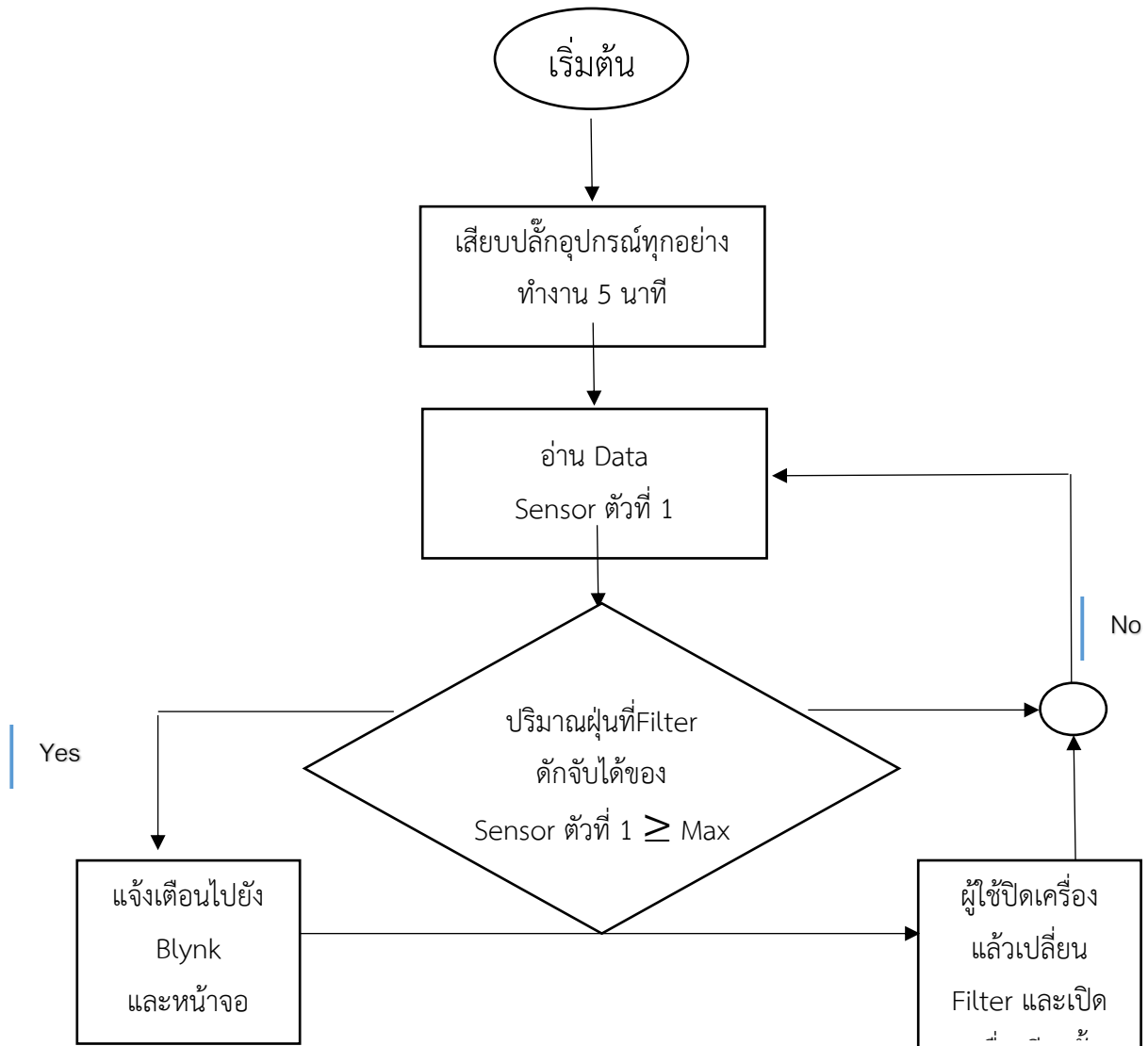


รูปภาพที่ 2.18 แผนผังการทำงานของระบบแจ้งเตือนการทำความสะอาด Collecting plate

$$Eff\ ESP = \frac{|AQI\ sensor\ 2 - AQI\ sensor\ 3|}{AQI\ sensor\ 2} \times 100\%$$

2.ระบบแจ้งเตือนการทำความสะอาด Collecting plate

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จะแจ้งเตือนให้ทำผู้ใช้ความสะอาดเมื่อประสิทธิภาพน้อยกว่า 50% เป็นเวลา 1 นาที แล้วจะสั่งปิดESP แต่เปิดพัดลมทำการดักจับฝุ่นต่อไป เมื่อผู้ใช้ปิดเครื่องเพื่อทำความสะอาด แล้วทำการเปิดเครื่องใหม่ ก็จะเป็นการเริ่มทำงานอีกครั้ง



รูปภาพที่ 2.19 แผนผังการทำงานของระบบแจ้งเตือนการเปลี่ยน Filter

$$\text{ปริมาณฝุ่น}(g) = \text{ปริมาณฝุ่นเดิม} + [AQI \left(\frac{ug}{m^3} \right) \times Q \left(\frac{m^3}{s} \right) \times 3(second) \times 10^{-6}]$$

Max คือ ปริมาณฝุ่นสูงสุดที่แผ่นกรองสามารถรับได้

3.ระบบแจ้งเตือนเปลี่ยน Filter

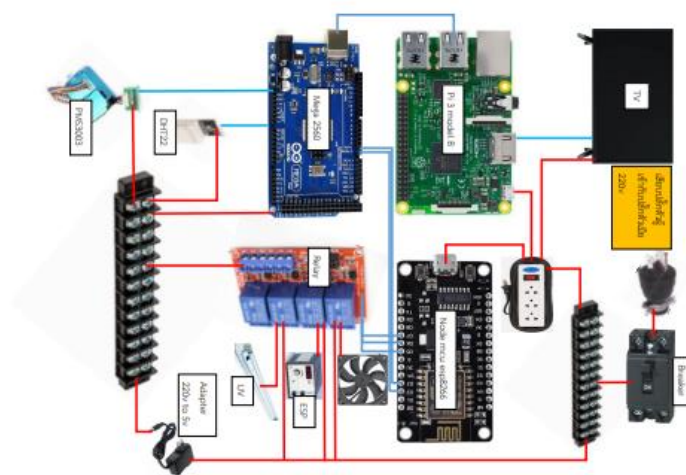
Sensor ที่ใช้สามารถวัดค่า AQI ได้ทุกๆวินาทีแต่เพื่อยืดอายุการใช้งาน เราจะวัดค่าทุก ๆ 3 วินาที เมื่อครบอายุการใช้งาน ระบบจะแจ้งเตือนให้เปลี่ยน Filter เมื่อเปิดเครื่องอีกครั้งจะเป็นการเริ่มทำงานใหม่

4.ระบบแสดงผลผ่านจอภาพ

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลจาก module ต่างๆ และส่งไปแสดงผลที่จอภาพซึ่งจะแสดง เวลา ค่าAQI ค่าความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณฝุ่นที่ Filter ดักจับไปแล้ว และสถานะการเชื่อมต่อ

5.ระบบควบคุมผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับส่งข้อมูลผ่าน ESP 32 ไปยัง Application Blink ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อ ควบคุมการปิดหรือเปิด การรายงานค่าAQI รวมไปถึงการแจ้งเตือนFilter และแจ้งเตือนการทำความสะอาดส่วน Collecting plate



รูปภาพที่ 2.20 แผนผังการต่อวงจรของ Prototype

2.3 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การอัดประจุอนุภาคในสนามคอโรนา

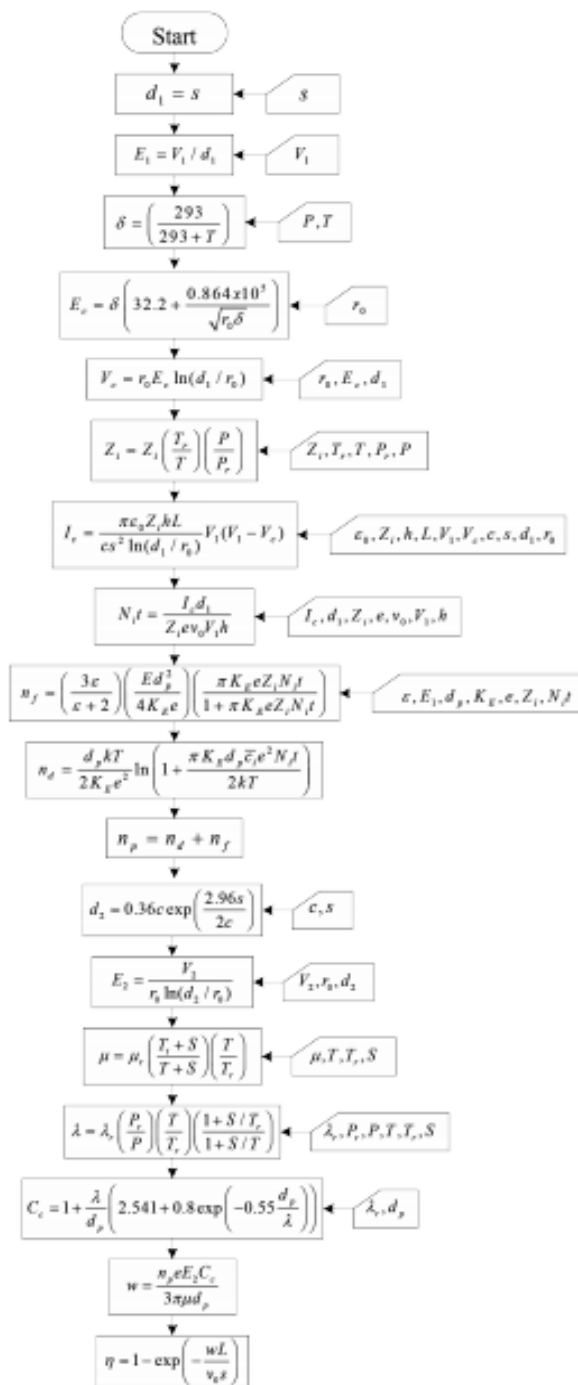
คอโรนาดิสชาร์จ (corona discharge) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่คนนิยมใช้ในการสร้างไอออน ความเข้มข้นสูงสำหรับการอัดประจุอนุภาคละอองลอย ในสนามคอโรนาของเครื่องอัดประจุอนุภาค จะเกิดกลไกการอัดประจุสองกลไกชัดเจนคือ การอัดประจุด้วยการเกาะติดไอออนในสนามไฟฟ้าเป็น กระบวนการที่สนามกำหนดหรือการอัดประจุกระทบ (impact charging) และกระบวนการอัดประจุที่เกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ของการแพร่ไอออน กระบวนการอัดประจุแพร่ (diffusion charging) จะขึ้นอยู่กับพลังงานเชิงความร้อน (thermal energy) ของไอออนแต่ไม่แพร่บนสนามไฟฟ้า ในทาง ปฏิบัติกระบวนการอัดประจุสนาม (field charging) จะโดดเด่นสำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า $0.5\ \mu\text{m}$ และกระบวนการอัดประจุแพร่จะโดดเด่นสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า $0.2\ \mu\text{m}$ ขณะที่ทั้งสองกลไกจะมีความสำคัญสำหรับอนุภาคในช่วงขนาดระหว่าง 0.2 และ $0.5\ \mu\text{m}$ การศึกษาทาง ทฤษฎีเกี่ยวกับการอัดประจุอนุภาคภายใต้สนามคอโรนาดิสชาร์จเริ่มต้นโดย Deutsch (1922) เป็นผู้ พิจารณาเฉพาะพลังงานเชิงความร้อนของไอออนและไปถึงที่ค่าประจุอนุภาคต่ำสุด Rohmann (1923) ได้ค้นพบสมการสำหรับประจุอนุภาคในกลไกการอัดประจุที่ขึ้นอยู่กับสนาม Arendt and Kallmann (1926) ได้ประเมินการอัดประจุแบบแพร่สำหรับอนุภาคขนาดเล็กกว่า $1\ \mu\text{m}$ สำหรับในกรณีที่ไม่มี สนามไฟฟ้า และได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาวิจัยทางทฤษฎีและการทดลองเกี่ยวกับการอัด ประจุอนุภาคแบบแพร่และสนามอย่างต่อเนื่อง (Intra and Tippayawong, 2009)

2.3.2 การออกแบบเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

ในการศึกษานี้ลักษณะโครงสร้างของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจะเป็นแบบ 2 ชั้นคือ ชุด อัดประจุอนุภาคไฟฟ้า (particle charger) และชุดตกตะกอน (collector) โดยจะใช้คอโรนาดิสชาร์จ สำหรับอัดประจุให้อนุภาคก่อน จากนั้นให้อนุภาคตกตะกอนบนแผ่นตกตะกอน ซึ่งจะทำการพัฒนา ระบบกำจัดควีนด้วยเทคนิคการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตด้วยห้องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต และ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ภายในห้องตกตะกอนประกอบด้วยขั้วดิสชาร์จ และขั้วตกตะกอนเมื่อจ่าย ไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วดิสชาร์จโดยที่ขั้วตกตะกอนเป็นกราวด์จะทำให้เกิดปรากฏการณ์คอโรนาดิ สชาร์จขึ้นโดยรอบๆ ขั้วดิสชาร์จ ไอออน และอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นที่จุดที่เกิดคอโรนาและทำให้เกิด การไหลของกระแสไอออนผ่านช่องว่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับแผ่นตกตะกอน เมื่อมีอากาศที่มีอนุภาค ผุ่นแขวนลอยอยู่ไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างนี้จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน ไอออน เกาะติดกับอนุภาคเหล่านั้นเป็นผลทำให้อนุภาคได้รับประจุ และอนุภาคที่มีประจุถูกทำให้เคลื่อนที่

ไปยังขั้วตกตะกอนด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตหรือที่เรียกว่าแรงคูลอมบ์ และถูกสะสมตัวอยู่บนแผ่นตกตะกอน

2.3.3 แผนภูมิลำดับการคำนวณประสิทธิภาพ



รูปภาพที่ 2.21 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพ

3. การสร้างอุปกรณ์และการทดสอบ

3.1 การสร้างเครื่อง Electric Dust Killer

3.1.1 การขึ้นโครงตัวเครื่องและกรอบภายนอก

โครงของตัวเครื่องทำมาจากสแตนเลสเกรด 304 ซึ่งเป็นสแตนเลสอยู่ในกลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) หรือเหล็กกล้าไร้สนิมตระกูล 300 จะมีส่วนผสมของ โครเมียม 18 – 20% และ นิกเกิล อย่างน้อย 8 -10.5 % โครเมียมเป็นส่วนผสมที่ช่วยในการป้องกันการเกิดสนิม และนิกเกิล ช่วยในการป้องกันการกัดกร่อน จากสิ่งต่าง ๆ เกรด 304 เป็นที่นิยมใช้แพร่หลาย ทั่วไป เนื่องจาก มันสามารถป้องกันการเกิดสนิมและทนการกัดกร่อน จากสิ่งต่าง ๆ ได้ดี ในเรื่องราคาก็สมเหตุผลผลใช้งานได้ทั่วไป มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด



ประโยชน์ของสแตนเลสคือ

- ใช้ในสิ่งแวดล้อมที่กัดกร่อน ใช้งานอุณหภูมิสูง
- งานอุณหภูมิเย็นจัด ป้องกันการแตกเปราะ
- มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับมวล
- งานที่ต้องการสุขอนามัยต้องการความสะอาดสูง
- งานด้านสถาปัตยกรรม ไม่เป็นสนิม ไม่ต้องทาสี
- ด้านงานการขัดถูแบบเปียก

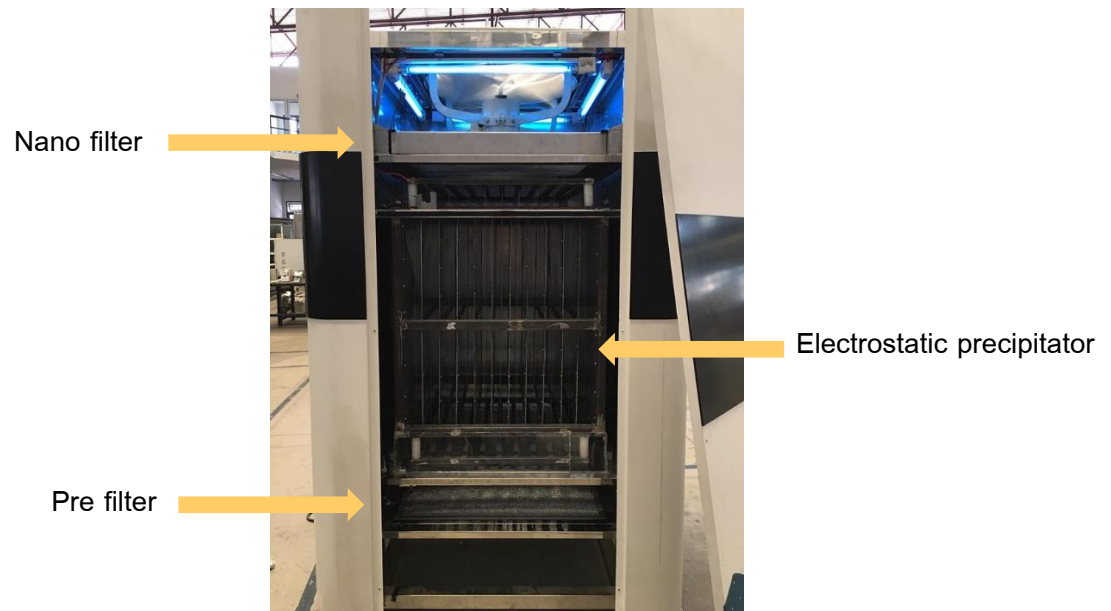
รูปภาพที่ 3.22 โครงตัวเครื่องภายในทำจากสแตนเลส



รูปภาพที่ 3.23 ลวดลายกรอบตัวเครื่องภายนอก

การออกแบบตัวเครื่องภายนอกทางผู้จัดทำได้ทำการออกแบบให้มีโทนสีขาว ลวดลายที่แสดงถึงความเป็นเมืองที่มีความสะอาดปราศจากฝุ่น มีสภาพอากาศที่ดี มีความน่าอยู่ เพื่อจะสะท้อนว่าเครื่องดักจับฝุ่น Electric dust killer จะทำให้อากาศบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น

ตัวเครื่องจริงภายในและภายนอก



รูปภาพที่ 3.24 ภายในเครื่อง Electric dust killer ของจริง



รูปภาพที่ 3.25 ภายนอกเครื่อง Electric dust killer ของจริง

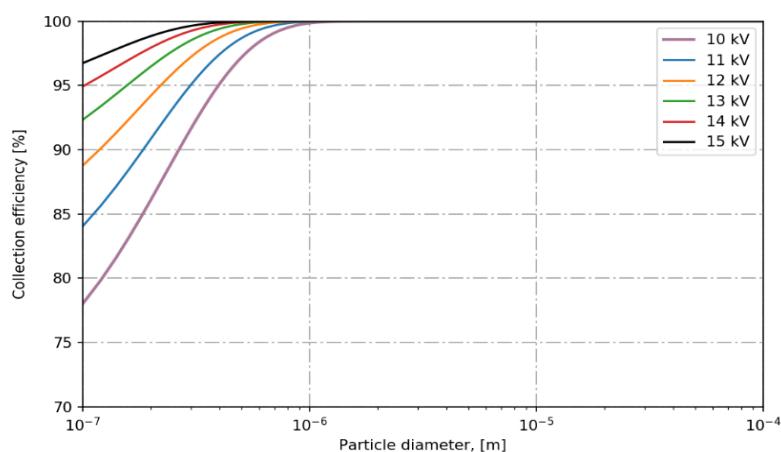
3.1.2 การคำนวณเพื่อใช้ประกอบการออกแบบเครื่องดักจับฝุ่นละอองเชิงไฟฟ้าสถิต

3.1.2.1 หลักการออกแบบเครื่องดักจับฝุ่นละอองเชิงไฟฟ้าสถิต

ในการศึกษานี้ลักษณะโครงสร้างของตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจะประกอบไปด้วยชุดอัดประจุอนุภาคไฟฟ้า (Particle Charger) และชุดตกตะกอน (Collector) โดยจะใช้โคโรนาดีสชาร์จสำหรับการอัดประจุให้อนุภาคก่อน จากนั้นเมื่ออนุภาคมีประจุให้อนุภาคเคลื่อนตัวไปตกตะกอนบนขั้วตกตะกอนเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วดีสชาร์จโดยที่ขั้วตกตะกอนเป็นกราวด์จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จขึ้นโดยรอบขั้วดีสชาร์จ ไอออนและอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นที่จุดที่เกิดโคโรนาและทำให้เกิดการไหลของกระแสไอออนผ่านช่องว่างระหว่างขั้วดีสชาร์จกับแผ่นตกตะกอน เมื่อมีอากาศที่มีอนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยปะปนอยู่ไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างนี้จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออนไอออนจะเกาะติดกับอนุภาคเหล่านั้นเป็นผลทำให้อนุภาคฝุ่นละอองได้รับประจุ และอนุภาคที่มีประจุจะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วตกตะกอนด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตหรือที่เรียกว่าแรงคูลอมบ์และสะสมตัวอยู่บนแผ่นตกตะกอน ซึ่งระบบนี้สามารถลดปัญหามลพิษทางอากาศได้ โดยเป้าหมายในการออกแบบในบทความวิจัยนี้คือเพื่อวิเคราะห์และศึกษาหาค่าประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป EXCEL และวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PYTHON และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องดักจับฝุ่นเชิงไฟฟ้าสถิตที่ทำงานร่วมกับแผ่นกรองอากาศ

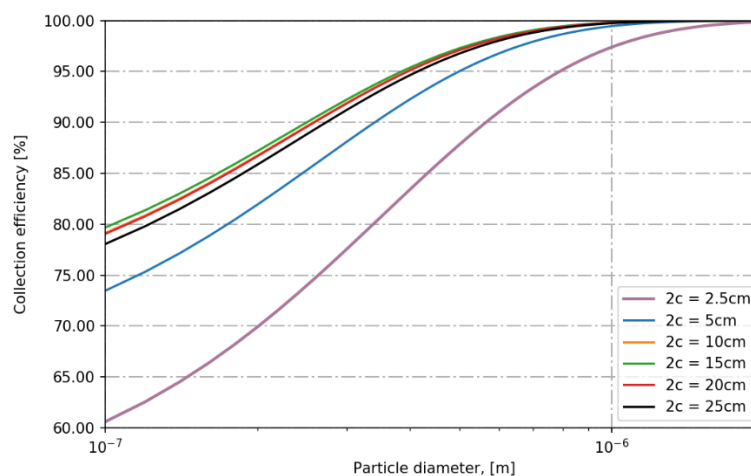
3.1.2.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการคำนวณและออกแบบ

ตัวแปร	ช่วงการคำนวณ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขั้วดีสชาร์จ (2ro)	0.55 mm
ระยะห่างระหว่างขั้วดีสชาร์จ (2c)	10 mm – 150 mm
ระยะห่างระหว่างขั้วดีสชาร์จกับแผ่นตกตะกอน (s)	35 mm
ความยาวของเครื่องตกตะกอน (L)	800 mm
ความสูงของขั้วตกตะกอน (h)	350 mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (dp)	1, 2.5, 10 microns
ประจุอนุภาค	ประจุบวก
แรงดันไฟฟ้า	10kV – 15 kV
อุณหภูมิแก๊ส	20-25 องศาเซลเซียส
ศักย์ไฟฟ้า	ขั้วบวก



กราฟที่ 3.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละออง(η [%]) ที่แรงดันไฟฟ้าขั้วดิสชาร์จที่มีค่าแตกต่างกัน

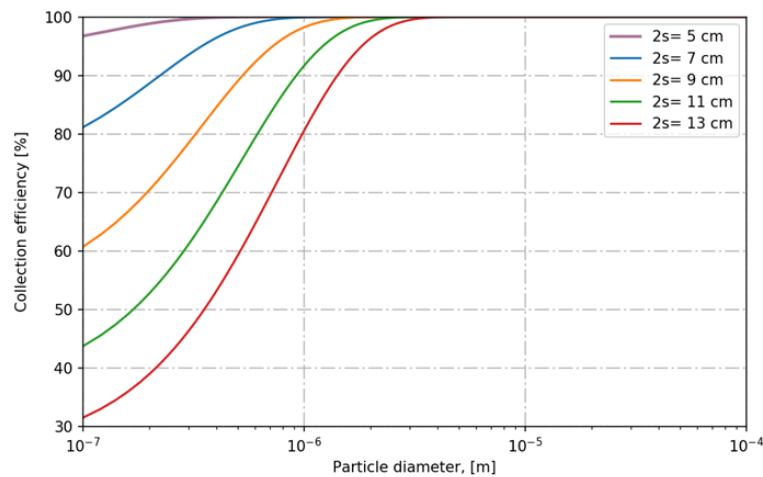
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองที่แรงดันไฟฟ้าขั้วดิสชาร์จ 10,11,12,13,14 และ 15 กิโลโวลต์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคฝุ่นละออง โดยผลการศึกษาและวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้ มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองสูงขึ้นตามและมีผลโดยตรงกับ ค่าความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าภายในขั้วตกตะกอน



กราฟที่ 3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละออง(η [%]) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จแตกต่างกัน

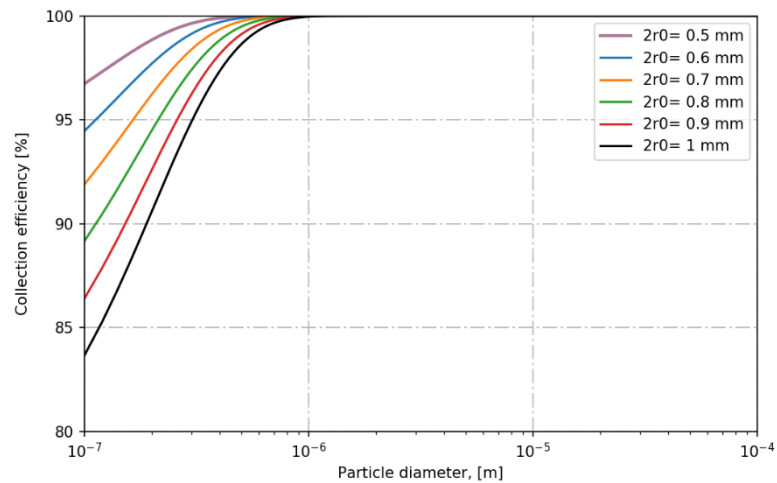
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จที่แตกต่างกัน ($2c$) เท่ากับ 2.5, 5, 10, 15, 20 และ 25 เซนติเมตร พบว่าระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จดังกล่าวส่งผล

ต่อประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะห่างระหว่างลวดขั้วดิสชาร์จที่ลดลงนั้นแสดงให้เห็นถึงจำนวนเส้นลวดที่เพิ่มขึ้นในแต่ละแถวเสมือนกับว่าเป็นการเพิ่มกระแสโคโรนา และนอกจากนี้ยังพบว่าค่าประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากจำนวนประจุบนอนุภาคจะเมื่ออนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มสูงขึ้น



กราฟที่ 3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละออง(η [%]) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตกตะกอนที่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองกับกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตกตะกอน (2s) เท่ากับ 5, 7, 9, 11 และ 13 เซนติเมตร พบว่าระยะห่างระหว่างแผ่นตกตะกอนมีผลต่อประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคฝุ่นละออง เนื่องจากเมื่อขนาดระยะห่างระหว่างแผ่นตกตะกอนหรือแผ่นขนานมีขนาดแคบลงนั้นจะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าที่ทำให้มีการอัดประจุไฟฟ้าให้กับฝุ่นละอองได้ดียิ่งขึ้นดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตกตะกอนลดน้อยลง



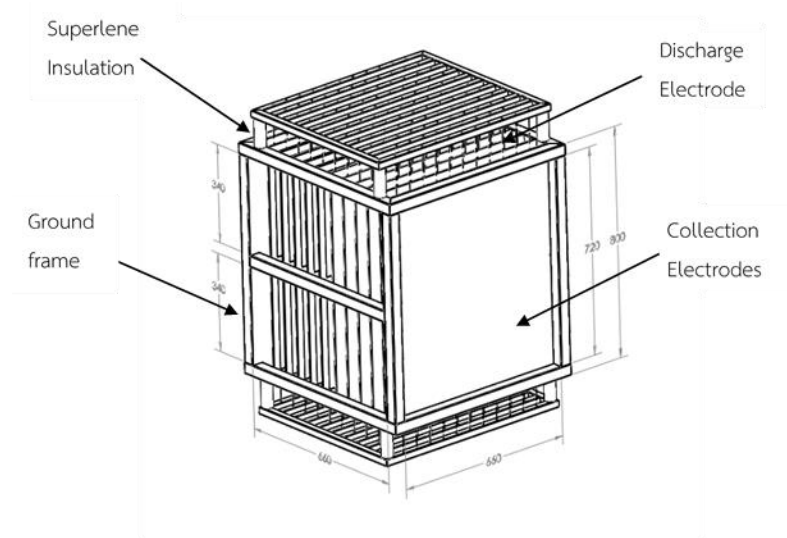
กราฟที่ 3.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละออง(η [%]) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดขั้วดิสชาร์จที่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคฝุ่นละอองกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขั้วดิสชาร์จ ($2r_0$) เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 มิลลิเมตร พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วดิสชาร์จมีผลต่อประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละออง เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วดิสชาร์จมีขนาดใหญ่เล็กจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค ฝุ่นละอองมีขนาดที่สูงขึ้นกว่าค่าประสิทธิภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วดิสชาร์จที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขั้วดิสชาร์จที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร จะมีค่าประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองสูงที่สุดกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วดิสชาร์จขนาดอื่นๆ

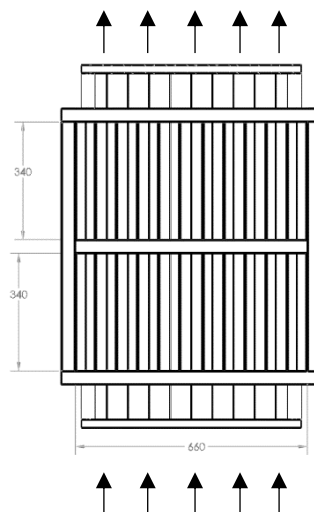
3.1.2.5 รายละเอียดการออกแบบเครื่องดักจับฝุ่นละอองเชิงไฟฟ้าสถิต

หลักการทำงานพื้นฐานของตัวตกตะกอนแบบโคโรนาเส้นลวด กับแผ่นราบคือ เป็นวิธีการกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศออกจากการไหลของแก๊ส โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) ที่เกิดขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ขั้วดิสชาร์จ(Discharge Electrode) และขั้วเก็บรวบรวมหรือ ขั้วตกตะกอน (Collection Electrode) เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วดิสชาร์จและขั้วตกตะกอนเป็นกราวด์ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จ (Corona

Discharge) ขึ้นโดยรอบของขั้วดิสชาร์จ ทำให้เกิด ไอออน (ions) และอิเล็กตรอนอิสระ (free electrons) จะถูกสร้างขึ้นที่เกิด โคโรนาทำให้เกิดการไหลของไอออนผ่านช่องว่าง เมื่อมีอากาศที่มีอนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยอยู่ไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างนี้ จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน (ion to particle collisions) ไอออนจะเกาะติดกับอนุภาคเหล่านั้นเป็นผลทำให้อนุภาคได้รับประจุ (particle charging) และอนุภาคที่มีประจุ (charged particle) ถูกทำให้เคลื่อนที่ไปตกสะสมตัวอยู่บนขั้วตกตะกอนด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต



รูปภาพที่ 3.27 การจัดวางขั้วดิสชาร์จและขั้วตกตะกอน



รูปภาพที่ 3.28 รูปภาพแสดงทางเข้าและออกของอนุภาค

ความต้องการในการออกแบบพื้นฐานของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคหรือตัวเก็บตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตในการศึกษานี้คือจะต้องมีประสิทธิภาพการตกตะกอนที่สูงหรือ

สามารถดักจับฝุ่นได้สูง โดยมีการสูญเสียของความดันอากาศ (Pressure drop) ภายในที่น้อยที่สุด และสามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตัวตกตะกอนที่จะสร้างขึ้นนี้จะต้องมีการป้องกันความปลอดภัยจากอันตรายจากไฟฟ้าแรงดันสูงด้วยการใช้สายไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้าแรงดันสูงโดยเฉพาะและจุดที่มีการเชื่อมต่อ การแยกอุปกรณ์ และการใช้วัสดุฉนวนที่มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าเพียงพอป้องกันการเกิดประกายไฟและการเกิดการลัดวงจรของไฟฟ้า



รูปภาพที่ 3.29 โครงสร้างจริงของตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต



รูปภาพที่ 3.30 การยึดขั้วดิสชาร์จและฉนวน Superlene

ลักษณะโครงสร้างของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคหรือตัวเก็บตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่สร้างขึ้นโดยประกอบไปด้วยขั้วดิสชาร์จ แผ่นเก็บรวบรวมอนุภาค ฉนวนไฟฟ้าและโครงกราวด์ดังแสดงดังรูปที่ 3.27 เส้นลวดขั้วดิสชาร์จทำจากสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.55 มิลลิเมตร แผ่นเก็บรวบรวมอนุภาคทำจากแผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร สูง 800 มิลลิเมตร กว้าง 740 มิลลิเมตร ฉนวนไฟฟ้า Superlene ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร สูง 10 เซนติเมตร โดยโครงกราวด์ทำจากเหล็กฉากขนาด 1.5 นิ้ว เพื่อเป็นโครงสร้างในการจับยึดแผ่นเก็บรวบรวมอนุภาคจำนวน 12 แผ่น โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเก็บรวบรวมอนุภาคเท่ากับ 60 มิลลิเมตร การยึดเส้นลวดขั้วดิสชาร์จจะทำการยึดบนรางเหล็กยึดเส้นลวดจะอยู่ในตำแหน่งบนและล่างของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคและถูกแยกออกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงกราวด์และรางเหล็กยึดเส้นลวดด้วยฉนวนไฟฟ้า Superlene ดังแสดงในรูปที่ 3.30 โดยแต่ละเส้นลวดจะห่างกันเส้นละ 60 มิลลิเมตร ในแต่ละแถวจะมี 11 เส้น โดยการไหลของฝุ่นละอองจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนของตัวเก็บรวบรวมดังรูปที่ 3.28

3.1.3 การออกแบบแผ่น filter สำหรับโครงการ

พื้นที่เนื้อกรองหลังติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ(A) สามารถคำนวณได้จาก

$$A = \left(2L \sqrt{\left(\frac{X}{2}\right)^2 + H^2} + HX \right) N$$

ซึ่งค่าที่วัดได้จากเครื่องคือ $H = 4.5 \text{ cm}$ $X = 4 \text{ cm}$ $L = 68 \text{ cm}$ $N = 17$ ช่อง

$$A = \left(\left(2 \times 68 \sqrt{\left(\frac{4}{2}\right)^2 + 4.5^2} \right) + (4.5 \times 4) \right) 17$$

พื้นที่เนื้อกรองหลังติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ = 11691.28 ตารางเซนติเมตร

พื้นที่เนื้อกรองก่อนติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ(a) สามารถหาได้จาก

$$a = \text{ด้าน } x \text{ ด้าน}$$

โดยที่ขนาด ด้านกว้าง 68 cm

พื้นที่เนื่อกรองก่อนติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ = $68 \times 68 = 4624$ ตารางเซนติเมตร
และอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เนื่อกรองสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เนื่อกรอง} = \frac{\text{พื้นที่เนื่อกรองหลังติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ}}{\text{พื้นที่เนื่อกรองก่อนติดตั้งกับกรอบแผ่นกรองอากาศ}}$$

$$\text{อัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เนื่อกรอง} = \frac{11691.28}{4624} = 2.53$$

จากการคำนวณทำให้เห็นว่าหลังจากการติดตั้งกรอบแผ่นกรองทำให้พื้นที่เนื่อกรองเพิ่มขึ้นจากเดิม 2.53 เท่า คือจากพื้นที่เนื่อกรอง 4624 ตารางเซนติเมตรเป็น 11691.28 ตารางเซนติเมตร การที่พื้นที่ผิวกรองเพิ่มมากขึ้นจะทำให้พื้นที่ในการดักจับมีมากส่งผลให้อายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้น

หลังจากที่ได้ข้อมูลข้างต้นทั้งหมดเราจึงนำข้อมูลเหล่านี้ยื่นเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนนี้แล้วจึงได้แผ่นกรอบ Filter ที่จะใช้งานดังแสดงในรูป



รูปภาพที่ 3.31 แผ่น Filter สำหรับการนำมาใช้งาน

เนื่องจากเราไม่ประสงค์ให้มีวัตถุขนาดใหญ่หลุดลอดเข้าไปในตัวเครื่องซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ เราจึงติดตั้งแผ่น Pre-filter ที่สามารถหาได้ทั่วไปในท้องตลาดมาใช้งานเพื่อเป็นการจับเก็บและดักสิ่งปฏิกูลดังกล่าวดังที่แสดงในรูปภาพ



รูปภาพที่ 3.32 แผ่น Pre-filter สำหรับการนำมาใช้งาน

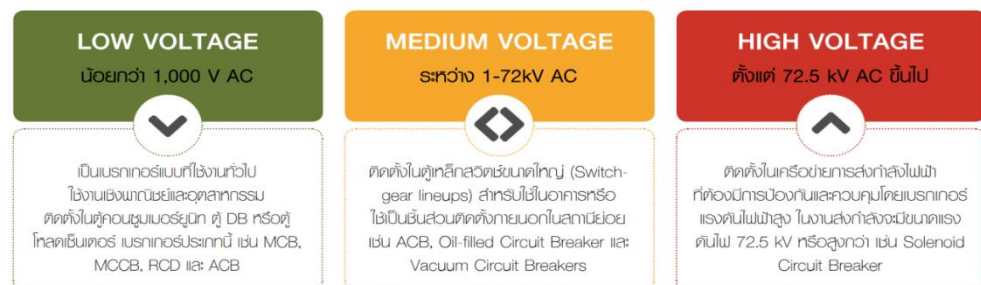
3.1.3.1 ปัญหาและวิธีการแก้ไขในขั้นตอนการสร้าง

ในการออกแบบกรอบแผ่นกรองอากาศนั้นเบื้องต้นสมาชิกในกลุ่มได้ทำเองปรากฏว่ากรอบระหว่างรอยเชื่อมของกรอบแผ่นกรองอากาศนั้นไม่มีความเรียบร้อยและระยะในการออกแบบในส่วนต่าง ๆ มีความคลาดเคลื่อน สมาชิกในกลุ่มจึงตัดสินใจในการแก้ปัญหานี้ด้วยการจ้างเหมาให้ผู้มีความสามารถในการทำโครงเหล็กสร้างกรอบแผ่นกรองอากาศ

3.1.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้า

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือเบรกเกอร์ คือ สวิตช์ไฟฟ้าอัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันวงจรไฟฟ้าจากความเสียหายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าส่วนเกิน โดยทั่วไปเกิดจากโหลดเกินหรือไฟฟ้าลัดวงจร การทำงานของมันคือตัดกระแสไฟฟ้าหลังจากตรวจพบความผิดปกติในวงจรไฟฟ้า ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันกระแสเกินหรือลัดวงจรเช่นเดียวกับฟิวส์แต่จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อตัดวงจรแล้วสามารถที่จะปิดหรือต่อวงจรได้ทันทีหลังจากแก้ปัญหาแล้ว เบรกเกอร์จะถูกแบ่งออกเป็นแต่ละประเภทตามพิกัดแรงดันไฟฟ้า หากแบ่งตามพิกัดแรงดันไฟฟ้าจะแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ Low Voltage เบรกเกอร์, Medium Voltage เบรกเกอร์ และ High Voltage เบรกเกอร์



รูปภาพที่ 3.33 ประเภทของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ในโครงการของเรา เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ประเภทแรงดันไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากเราใช้ไฟฟ้าขนาด 220 V AC

โดยเราจะเลือกการทำงานเป็นแบบ Thermal Trip หลักการทำงานประเภทนี้จะมีโครงสร้างภายในประกอบด้วยแผ่นโลหะไบเมทัล (bimetal) 2 แผ่น ซึ่งทำจากโลหะที่ต่างชนิดกัน มีสัมประสิทธิ์ความร้อนไม่เท่ากัน เมื่อมีกระแสไหลผ่านโลหะไบเมทัล จะทำให้โลหะไบเมทัลเกิดการโก่งตัวแล้วไปปลดอุปกรณ์ทางกลทำให้เบรกเกอร์ตัดวงจรเรียกว่าเกิดการทริป (trip)

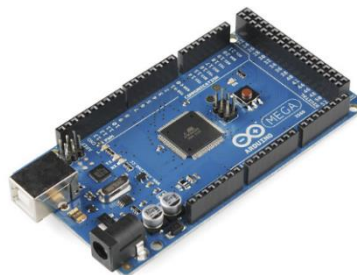
2. เครื่องตัดไฟรั่ว Residual Current Devices (RCDs)

อุปกรณ์ที่ใช้กันไฟรั่ว ไฟดูด ไฟช็อตเฉพาะ คือ เครื่องตัดไฟรั่วที่ช่วยตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น มี 3 ประเภท ได้แก่ RCBO, RCCB และ ELCB ซึ่งแต่ละตัวจะมีการทำงานที่แตกต่างกัน ทำหน้าที่ในการตัดวงจรไฟฟ้าอัตโนมัติเมื่อเกิดไฟรั่วและไฟดูดตามพิกัดที่กำหนดไว้ จะติดตั้งในตู้คอนซูมเมอร์ยูนิต Consumer unit และตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ที่เลือกจะเป็นชนิด RCCB

Residual Current Circuit Breakers (RCCBs) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดพื้นฐานที่ช่วยตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดการรั่วไหลในระบบไฟฟ้า แต่ไม่สามารถตัดกระแสลัดวงจรได้ จะใช้คู่กับ MCB, MCCB

3. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Board)

1.) Arduino MEGA 2560 R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบสำเร็จรูปที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบราคาประหยัด ได้ถูกออกแบบมาสำหรับโครงการที่ซับซ้อนมากขึ้น จึงเป็นบอร์ดที่แนะนำสำหรับเครื่องพิมพ์ 3D และเครื่องจักรต่าง ๆ สามารถเขียนโปรแกรมบน Arduino IDE ผ่าน USB เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ อีกทั้งรูปแบบการออกแบบยังออกแบบให้รองรับการใช้งานกับ Shield ต่าง ๆ ได้โดยตรง ทำให้สามารถพัฒนาระบบต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและเรียบง่าย โดยรองรับการพัฒนาโปรแกรมบนแพลตฟอร์ม Arduino อย่างเต็มรูปแบบ



รูปภาพที่ 3.34 Arduino MEGA 2560 R3

2.) Node MCU ESP32 คือ บอร์ดคล้ายกับ Arduino ที่สามารถเชื่อมต่อกับ Wi-Fi ได้ สามารถเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE ได้เช่นเดียวกับ Arduino เหมาะแก่ผู้ที่ จะเริ่มต้นศึกษาพัฒนาโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์และอินเทอร์เน็ต ภายในบอร์ด Node MCU ประกอบด้วย ESP32 พร้อมอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พอร์ตไมโครยูเอสบี(Micro USB)สำหรับจ่ายไฟ สายยูเอสบีสำหรับอัปโหลดโปรแกรม ชิปเซ็ตแปลงแรงดันไฟฟ้าและ ขาสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก ผู้วิจัยได้นำ Node MCU มาประยุกต์ใช้ในการสร้าง วงจรควบคุมเครื่องดักจับฝุ่น ตรวจสอบ อุณหภูมิ ความชื้น และสื่อสารกับแอปพลิเคชัน



รูปภาพที่ 3.35 Node MCU ESP32

4. โมดูล (Module) และเซ็นเซอร์ (Sensor)

1.) LCD Color module 176x220 TFT 2.2 สำหรับ ESP32 Driver ILI9225

จอแสดงผล LCD TFT ขนาด 2.2 นิ้ว ความละเอียด 240x320 Pixel พร้อมช่องเสียบ SD Card สำหรับเก็บข้อมูล รูปภาพ เพื่อโหลดไปแสดงผลบน หน้าจอ ใช้ไดรเวอร์ ILI9341 สามารถใช้แสดงข้อความตัวอักษรหรือรูปภาพได้



รูปภาพที่ 3.36 LCD Color module 176x220 TFT 2.2

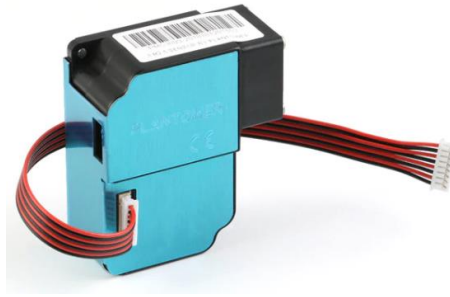
2.) 3 Channel Relay Module 5V 10A (หัวรีเลย์ยี่ห้อ Songle รุ่น SRD-05VDC-SL-C)

รีเลย์ 3 ตัว เพื่อใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า รับกระแสได้สูงถึง 10 A ใช้งานได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับ รับแรงดันระดับ 5 V โดยตรงจาก Arduino board มี LED แสดงสถานะการทำงานของรีเลย์ ออกแบบให้ป้องกันวงจรด้านควบคุมออกจากด้านกำลังโดยใช้การส่งผ่านด้วยแสง (Opto coupler) รีเลย์ เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ขาดไม่ได้เมื่อต้องการใช้งาน Microcontroller กับ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีระดับกำลังไฟฟ้าสูง (สูงกว่าระดับที่ใช้งานของ Microcontroller) ทั้งนี้เนื่องจาก Microcontroller ซึ่งก็คือ Arduino Board ของเรานั้นทำงาน ที่ระดับแรงดันแค่ 3 - 5 โวลต์เท่านั้น ส่วนกระแสที่สามารถจะจ่ายได้ก็อยู่ไม่เกิน 300 mA ขึ้นกับชนิดของบอร์ด หากต้องการควบคุมหลอดไฟที่ทำงานที่แรงดัน 220 โวลต์ เราไม่สามารถต่อหลอดไฟโดยตรงๆ ไปที่บอร์ดได้สิ่งที่เราสามารถทำได้คือ การให้สัญญาณควบคุมไปที่ตัว Relay แล้วให้ Relay เปิดปิดสวิตช์ที่ต่ออยู่กับโหลดอีกที แบบนี้ทำให้เราสามารถแยกส่วนควบคุมออกจากส่วนที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูงออกจากกันได้



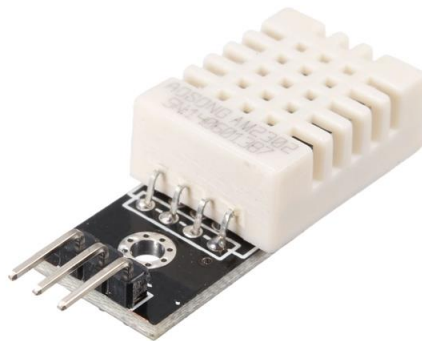
รูปภาพที่ 3.37 Channel Relay Module 5V 10A

3.) [Plan Tower] Laser Dust Sensor PM2.5 PMS3003 เซนเซอร์ตรวจจับฝุ่น PM2.5 แบบเลเซอร์ PMS3003 เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดฝุ่นที่สามารถวัดค่า PM1.0 PM2.5 และ PM10 โดยเซนเซอร์วัดค่าอนุภาคของฝุ่นที่มีขนาดเล็กถึง 0.3 ไมโครเมตร ใช้พัลส์วัดอากาศเข้าไปในตัวเซนเซอร์ ตัวเซนเซอร์จะใช้แสงเลเซอร์ในการตรวจวัดฝุ่นในอากาศทำให้มีความแม่นยำในการตรวจวัดค่าฝุ่น โดยใช้ทฤษฎีการกระเจิงของเลเซอร์



รูปภาพที่ 3.38 [Plan Tower] Laser Dust Sensor PM2.5 PMS3003

4.) DHT22 หรือ AM2302 Module คือ โมดูลวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล และความชื้น (Temperature and Humidity Sensor Module) ทำงานโดยการสอบเทียบกับอุณหภูมิ สัญญาณดิจิทัลและเซ็นเซอร์ประกอบความชื้น จะใช้เทคโนโลยีการตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น ในระหว่างการประมวลผลสัญญาณการตรวจจับ ด้วยมาตรฐานอินเตอร์เฟสส์เดียว การรวมระบบได้ง่าย และรวดเร็ว มีขนาดเล็กเป็นพิเศษใช้พลังงานต่ำมากระยะการส่งสัญญาณสูงถึง 20 เมตร ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำ เหมาะสำหรับการใช้งานทุกประเภท



รูปภาพที่ 3.39 DHT22 / AM2302 Module

3.1.5 รายการประเมินราคาโครงการ Electric dust killer

รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ราคารวม (บาท)
โครง Stainless (ภายใน)					
Stainless steel pipe Grad304 2"x2"	4	เส้น	3,500	500	4,000
Stainless steel pipe Grad304 1"x2"	3	เส้น	1,300	500	1,800
#Stainless steel sheet 1.2x2.4 m	4	แผ่น	8,000	3,000	11,000
Electrostatic precipitator					
Rectangular Steel Tube 1.5"x1.5"	3	เส้น	1,000	500	1,000
Rectangular Steel Tube 1"x1"	4	เส้น	800		800
Aluminum sheet 1.2mm.	5	แผ่น	3,000		3,500
Steel sheet 3mm.	1	แผ่น	700		700
Aluminum wire 0.55 mm.	0.5	Kg.	400		400
Rivet nut	400	ชิ้น	1,000		1,000
Electric part					
Digital TV 24 inch	1	เครื่อง	2,720		2,720
Raspberry pi 3 model B	1	อัน	1,600		1,600
Arduino mega 2560	1	อัน	360		360
Dht22	1	อัน	160		160
Pms3003	3	อัน	2,670		2,670
Node mcu esp 8266	1	อัน	330		330
Relay 4 channel	1	อัน	150		150
Safety breaker	1	อัน	175		175
Emergency switch	1	อัน	330		330
Terminal	2	อัน	140		140
Fan FV-50GS4TP 20"	1	ตัว	15,550		15,550
Uv light TUV18WT8	4	หลอด	4,290		4,290
Power Supply	1	เครื่อง	5,703		5,703
สายไฟจัมเปอร์ ผู้-ผู้ ยาว 20 cm	40	เส้น	60		60
สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย ยาว 20 cm	40	เส้น	60		60
สายไฟจัมเปอร์ เมีย-เมีย ยาว 20 cm	40	เส้น	60		60

รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ราคารวม (บาท)
กรอบตัวเครื่องภายนอก					
Zink cover (Powder coat) แยกได้ 8 ส่วน 2.21x1.20x1.19 m	1	ชิ้น	40,000	10,000	50,000
Zink กรอบจอแสดงผล (ทาสีดำเงา 2K) 0.25x1.22x1.21 m	1	ชิ้น	20,000		20,000
Zink ตะแกรงช่องระบายอากาศ 1.19x1.18x0.05	1	ชิ้น	5,000		5,000
เหล็กกล่อง 1.5"x1.5"	1	เส้น	350		350
ล้อ 10 cm	4	ตัว	732		732
Filter part					
Pre filter (Washable filter)	1	ชิ้น	2,632		2,632
Nano filter 70*500 cm	1	แผ่น	2,000		2,000
กรอบ Nano filter	1	ชิ้น	2,500	1,000	3,500
			รวมทั้งหมด		142,772

จากการประเมินราคาโดยประมาณ ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องดักจับฝุ่น Electric Dust Killer เป็นเงิน 142,772 บาท (ราคาดังกล่าวไม่ได้รวมค่าอุปกรณ์เครื่องมือช่างที่สามารถใช้ซ้ำได้และค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมอื่น ๆ ที่จำเป็นในการศึกษาค้นคว้า)

3.2 การทดสอบบันทึกผล

3.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพการกรองและการสังเกตแรงลมเบื้องต้น

เพื่อพิจารณาเลือกชนิดของแผ่นกรองระหว่าง HEPA filter และ Nano filter เบื้องต้น

ในการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น ได้เลือกชนิดของแผ่นกรองอากาศมา 3 ชนิด ได้แก่ Nano filterแบบแผ่น, HEPA filterแบบแผ่น และHEPA filter แบบพับ โดยได้สร้างเครื่องกรองขนาดเล็กที่ประกอบด้วยพัดลมหอยโข่ง รุ่น BFB1012H และ แบตเตอรี่แห้ง LEOCH DJW12-1.2 12v โดยติดตั้งแผ่นกรองไว้ทางลมเข้าพัดลม ดังรูปด้านล่าง



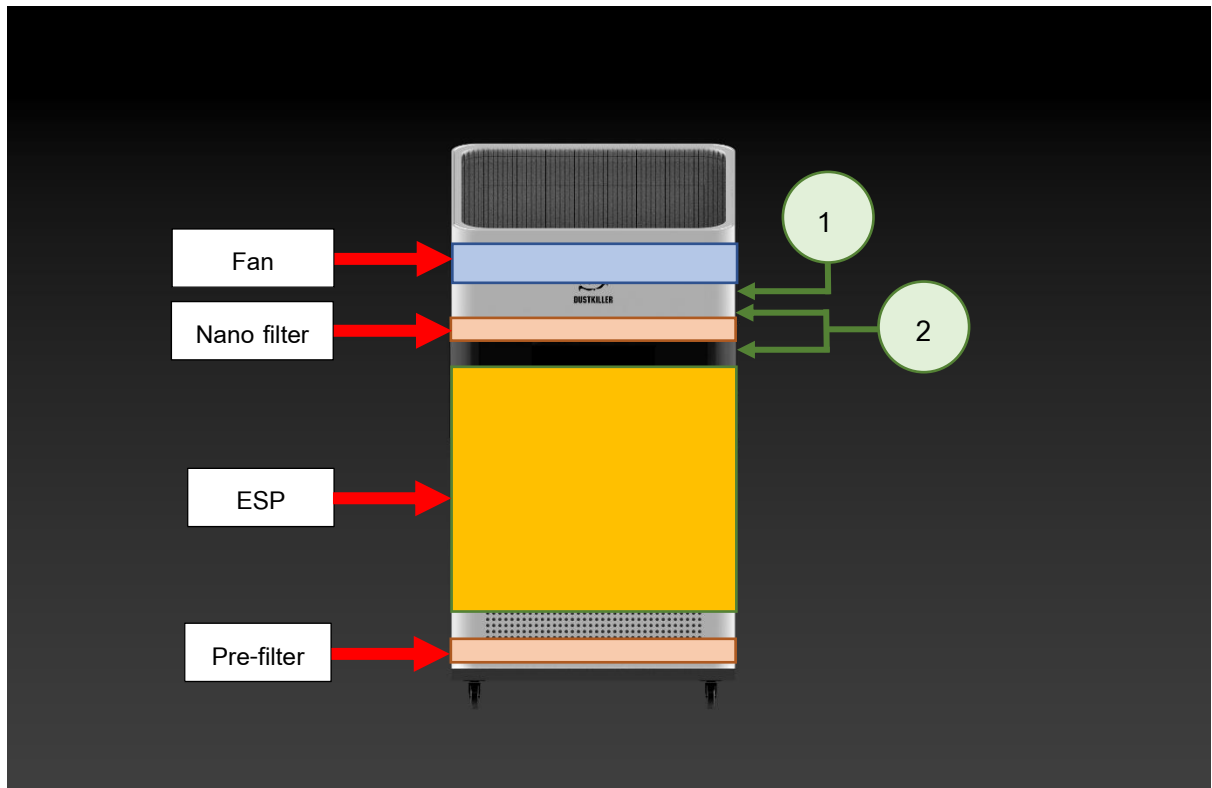
รูปภาพที่ 3.40 การทดสอบ Nano filter

แบบแผ่น, HEPA filterแบบแผ่น

และHEPA filter แบบพับ ตามลำดับ

จากการทดสอบ ค่าฝุ่น PM2.5 ในบรรยากาศอยู่ที่ $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อติดตั้ง Nano filterแบบแผ่น ค่าฝุ่น PM2.5 ทางออกอยู่ที่ $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ติดตั้ง HEPA filterแบบแผ่น ค่าฝุ่น PM2.5 ทางออกอยู่ที่ $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ติดตั้ง HEPA filterแบบพับ ค่าฝุ่น PM2.5 ทางออกอยู่ที่ $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แรงลมของ Nano filterแบบแผ่น ปกติ แรงลมของ HEPA filterแบบแผ่น ปกติ แรงลมของ HEPA filterแบบพับ ลมแรง

3.2.2 การทดสอบค่าความดันตกคร่อม



รูปภาพที่ 3.41 จุดที่สามารถวัดหาค่าความดันตกคร่อมได้

การหาค่าความดันตกคร่อมนั้นได้จำลองวิธีการวัดแบบมาโนมิเตอร์โดยใช้ท่อสายยางและน้ำเปล่าในการวัดหาค่าตามจุดต่างๆ ดังรูปภาพที่ 3.42 ซึ่งสามารถหาค่าความดันตกคร่อมได้ 2 จุดดังรูปภาพที่ 3.41 โดยกำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำคือ 997 kg/m^3 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกคือ 9.81 m/s^2



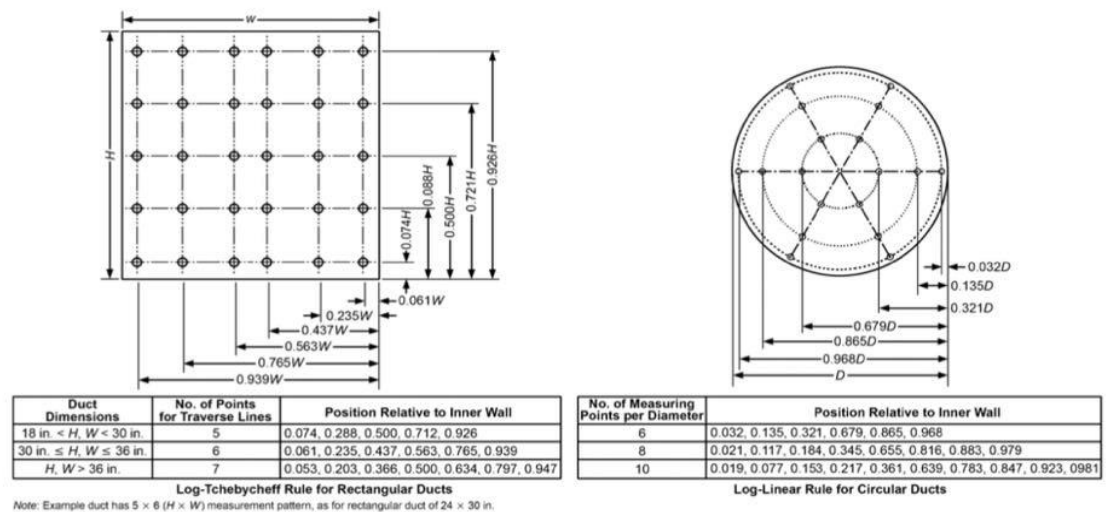
รูปภาพที่ 3.42 การวัดหาค่าความดันตกคร่อม

3.2.3 การทดสอบค่า Air flow



รูปภาพที่ 3.43 Anemometer ชนิด Vane probe

นำ Anemometer ชนิดใบพัดในการวัดความเร็วลมเฉลี่ยที่ทางเข้า (ก่อนเข้า Pre-filter) โดยทั่วไปขนาดของลมในท่ออากาศในแต่ละจุดจะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละจุด ดังนั้นเพื่อความเป็นมาตรฐานสากล เราจึงอ้างอิงมาตรฐานการวัดความเร็วลมและการไหลของอากาศ จากมาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 41.2 ซึ่งตัวเครื่องมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม จะทำการวัดทั้งหมด 30 ครั้งแล้ว จึงนำมาหาค่าเฉลี่ย



รูปภาพที่ 3.44 การหาค่าความเร็วลมเฉลี่ย(average velocity)จากมาตรฐาน ANSI/ASHRAE Standard 41.2

จากสมการ

$$Q = VA$$

Q คือ อัตราการไหลของอากาศมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

V คือ ความเร็วของอากาศมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่วัดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

4.ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบ

4.1.1 การคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ใช้ และค่าไฟฟ้าจากเอกสารข้อมูลอุปกรณ์

1.) การคำนวณหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้

1. Laser Dust Sensor PMS3003 (3 ตัว)

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 0.003A \times 5.19V \times 3\text{ตัว} = 0.47 \text{ Watt}$$

2. Relative humidity & Temperature Sensor DHT22

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 0.001A \times 5.19V = 0.005 \text{ Watt}$$

3. NodeMCU ESP8266

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 0.003A \times 4.29V = 0.013 \text{ Watt}$$

4. Broad Arduino 2560

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 0.09A \times 5.22V = 0.47 \text{ Watt}$$

5. Relay

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 0.634A \times 5.19V = 3.29 \text{ Watt}$$

6. Broad Raspberry Pi

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 0.09A \times 4.78V = 0.43 \text{ Watt}$$

7. แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง 5kV-60kV

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 0.733A \times 225V = 164.925 \text{ Watt}$$

8. พัดลมยี่ห้อ Panasonic รุ่น FV-50GS4TP FV-5

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 1.55A \times 223V = 345.65 \text{ Watt}$$

9. หลอดไฟ UV สำหรับฆ่าเชื้อยี่ห้อ PHILIPS รุ่น TUV18WT8 (4 หลอด)

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 0.4A \times 223V \times 4 \text{ หลอด} = 356.8\text{Watt}$$

10. Aconatic LED TV 24" DIGITAL TV รุ่น 24HD513AN แอลอีดีทีวี ขนาด 24 นิ้ว

ระบบดิจิตอลทีวี

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้

$$P_{\max} = IV = 42.5 \text{ Watt}$$

$$\text{รวม กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (Pmax)} = 914.553 \text{ Watt}$$

การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั้งหมด

$$\text{เปิดเป็นเวลา 1 ปี(เปิดวันละ 8 hr)} = 365 \times 8 = 2,920 \text{ hr}$$

$$\text{คิดเป็น unit(kw-hr)} = 0.914553 \times 2,920 = 2,670.495 \text{ unit}$$

$$\text{ค่าไฟ(8บาท/หน่วย)} = 8 \times 2,670.495 = 21,363.96 \text{ บาท/ปี} = 58.5 \text{ บาท/วัน}$$

2.) ค่าไฟฟ้า

คำนวณค่าไฟฟ้าจากการวัดทางขาเข้า (input) ของเบรกเกอร์ โดยวัดจากความแตกต่างในการใช้แรงดันไฟฟ้าแต่ละค่า

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ (kV)	กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ (A)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (V)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ชม.ทำงาน / วัน	หน่วยต่อเดือน (Unit)	ค่าไฟฟ้า/เดือน (บาท)
0	1.89	231	436.59	8	104.78	371.15
15	1.90	231	438.90	8	105.34	373.30
30	2.07	231	478.17	8	114.76	409.60
45	2.24	231	517.44	8	124.19	445.94
60	2.29	231	528.99	8	126.96	456.61

ตารางที่ 4.9 การคำนวณค่าไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) \times จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า \div 1000 \times จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน = จำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต)

ค่าไฟฟ้าผันแปร (F_{vc}) = -11.60 สตางค์ / หน่วย

4.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพการกรองและการสังเกตแรงลมเบื้องต้นเพื่อพิจารณาเลือกชนิดของแผ่นกรองระหว่าง HEPA filter และ Nano filter เบื้องต้น

จากค่าการทดสอบเบื้องต้น สามารถคำนวณได้ว่า เมื่อติดตั้ง Nano filterแบบแผ่น ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 90% ติดตั้ง HEPA filterแบบแผ่น ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 85% และติดตั้ง HEPA filterแบบพับ ประสิทธิภาพการกรองฝุ่น PM2.5 อยู่ที่ 98.33% แรงลมของ Nano filter แบบแผ่นและ HEPA filterแบบแผ่น ใกล้เคียงกันในเกณฑ์ปกติ และส่วน HEPA filter แบบพับอยู่ในเกณฑ์ ลมแรง

4.1.3 การทดสอบความดันตกคร่อม

Pressure drop testing 1

ครั้งที่	ความต่างระดับน้ำ (mm)	ความดันตกคร่อม (Pa)
1	15	146.71
2	14	136.93
3	14	136.93
เฉลี่ย	14.33	140.19

ตารางที่ 4.10 ตารางทดสอบความดันตกคร่อม ณ จุดที่ 1

Pressure drop testing 2

ครั้งที่	ความต่างระดับน้ำ (mm)	ความดันตกคร่อม (Pa)
1	12	117.33
2	13	127.15
3	12	117.33
เฉลี่ย	12.33	120.60

ตารางที่ 4.11 ตารางทดสอบความดันตกคร่อม ณ จุดที่ 2

การหาค่าความดันตกคร่อมนั้นได้จำลองวิธีการวัดแบบมานอมิเตอร์โดยใช้ท่อสายยางและน้ำเปล่าในการวัดหาค่าตามจุดต่างๆ ดังรูปภาพที่ 28 ซึ่งสามารถหาค่าความดันตกคร่อมได้ 2 จุดดังรูปภาพที่ 27 โดยกำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำคือ 997 kg/m^3 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

ของโลกคือ 9.81 m/s^2 จากการทดสอบ 3 ครั้งในแต่ละจุด พบว่าจุดที่ 1 มีความดันตกคร่อมคือ 140.19 Pa และจุดที่ 2 มีความดันตกคร่อมคือ 120.60 Pa ซึ่งเมื่ออ้างอิงตามมาตรฐาน EN779-2012 ซึ่งระบุไว้ว่าความดันตกคร่อมขั้นต้นไม่เกิน 250 Pa จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ซึ่งเมื่ออ้างอิงตามมาตรฐาน EN779-2012 ซึ่งระบุไว้ว่าความดันตกคร่อมขั้นต้นไม่เกิน 250 Pa จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.1.4 การทดสอบอัตราการไหลของอากาศ

จากวิธีการทดสอบในหัวข้อ 3.2.3 วัดอัตราการไหลของลมโดยใช้เครื่อง Anemometer แบบใบพัดมาวัดที่ทางเข้าของตัวเครื่องโดยติดตั้งแผ่นกรอง Pre-filter และ Nano filter ซึ่งวัดผ่านพื้นที่หน้าตัดของ Pre-filter ที่มีหน้าตัด $71 \text{ cm} \times 71 \text{ cm}$ โดยอ้างอิงการวัดจากทฤษฎีข้างต้นโดยทำการวัดทั้งหมด 30 จุด แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้คือความเร็ว 1.1 m/s และเมื่อนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่หน้าตัด $71 \text{ cm} \times 71 \text{ cm}$ จะได้อัตราการไหลในหน่วยของ m^3/hr คือ $1996.24 \text{ m}^3/\text{hr}$

4.1.5 การทดสอบการวัดประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรองอากาศ

จากการทดสอบการวัดประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรองอากาศ โดยการเก็บข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่วัดจาก Sensor PMS3003 สามารถแสดงค่าปริมาณฝุ่นละอองแต่ละจุดภายในเครื่องได้ดังกราฟ

Sensor ตัวที่1 (1,800 ค่า) วัดฝุ่นที่สภาพแวดล้อม

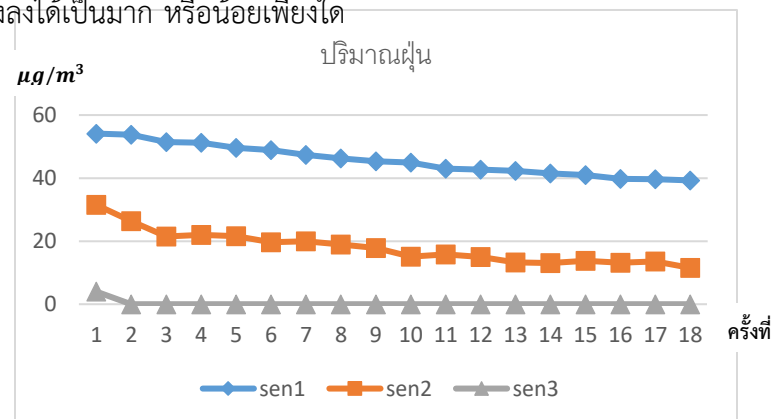
Sensor ตัวที่2 (1,800 ค่า) วัดฝุ่นระหว่าง ESP กับแผ่นกรอง

Sensor ตัวที่3 (1,800 ค่า) ทางออกจากแผ่นกรองอากาศ

4.1.5.1 การทดสอบเครื่องโดยรวมซึ่งวัดปริมาณฝุ่นในแต่ละจุด

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดสอบการทำงานในแต่ละส่วนของเครื่องกรองว่าสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองลงได้เป็นมาก หรือน้อยเพียงใด

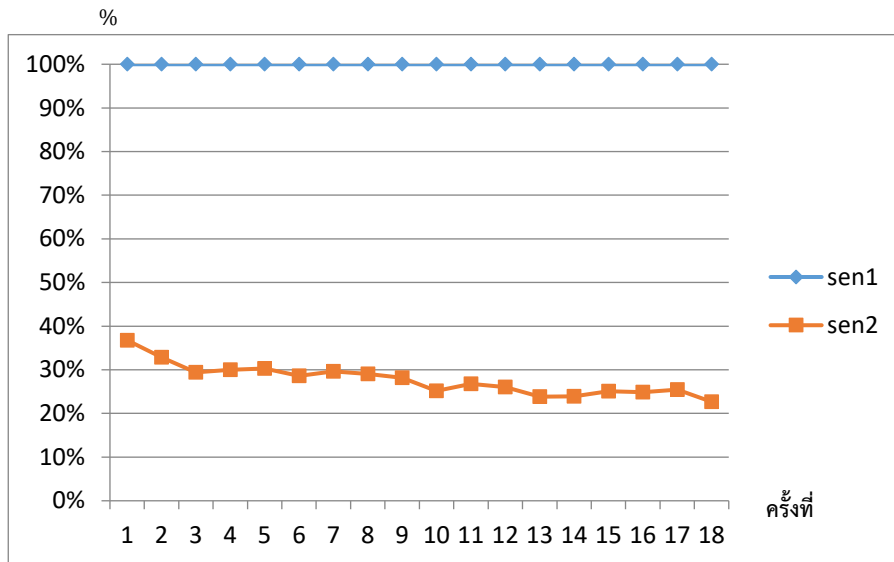
sen1	sen2	sen3
54.12	31.49	3.98
53.74	26.31	0
51.44	21.47	0
51.26	22	0
49.63	21.56	0
48.9	19.63	0
47.42	19.95	0
46.23	18.95	0
45.31	17.78	0
44.93	15.14	0
43.01	15.75	0
42.67	15.02	0
42.26	13.26	0
41.49	13.04	0
40.94	13.74	0
39.8	13.19	0
39.64	13.55	0
39.28	11.52	0



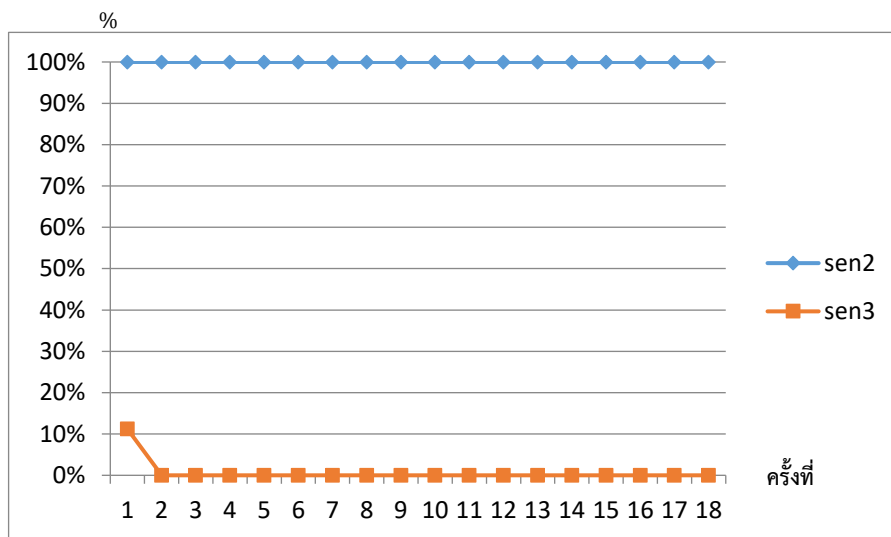
กราฟที่ 4.5 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงในแต่ละส่วนของเครื่องโดยเฉลี่ย

ตาราง 4.12 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงในแต่ละส่วนของเครื่องโดยเฉลี่ย

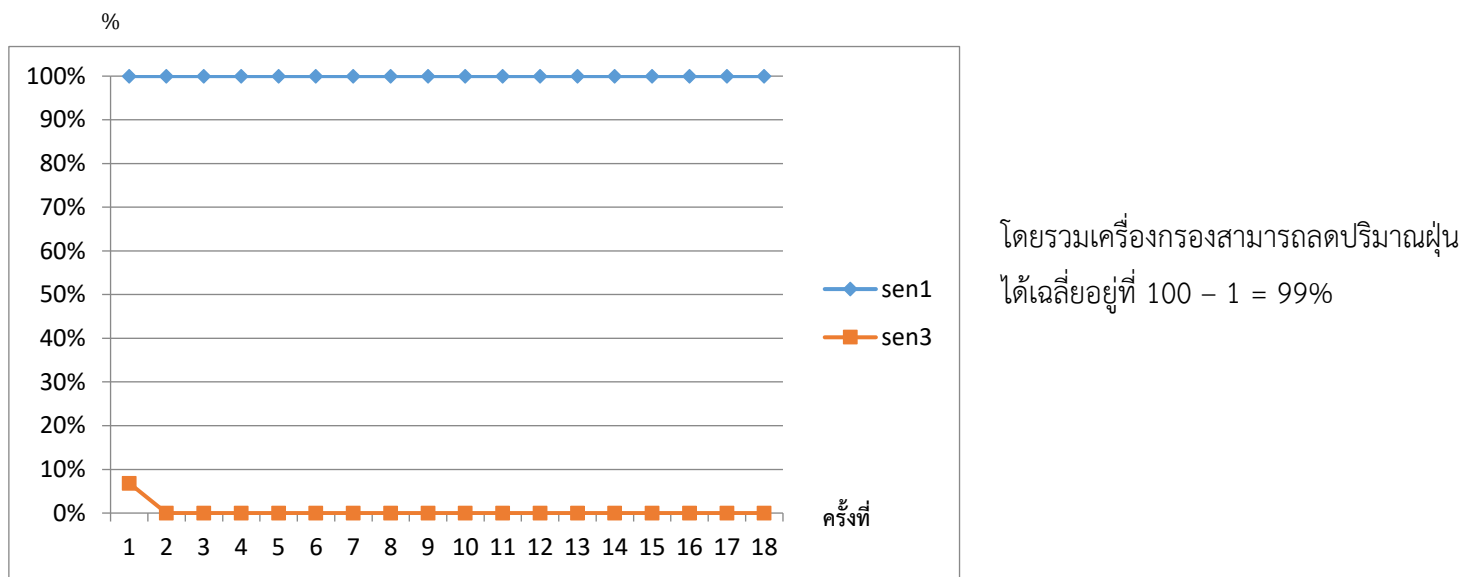
เมื่อนำค่าฝุ่นละอองมาเทียบสัดส่วนการกรองของแต่ละส่วนแล้วสามารถแสดงค่าได้ดังต่อไปนี้



ESP สามารถลดปริมาณฝุ่นได้
เฉลี่ยอยู่ที่ $100 - 27 = 73\%$



Nano filter สามารถลดปริมาณฝุ่นได้
เฉลี่ยอยู่ที่ $100 - 1 = 99\%$



กราฟที่ 4.6 แสดงสัดส่วนการลดลงของปริมาณฝุ่นละอองโดยเฉลี่ยของ ESP, Nano Filter และเครื่องกรอง(ESP + Nano Filter) ตามลำดับ

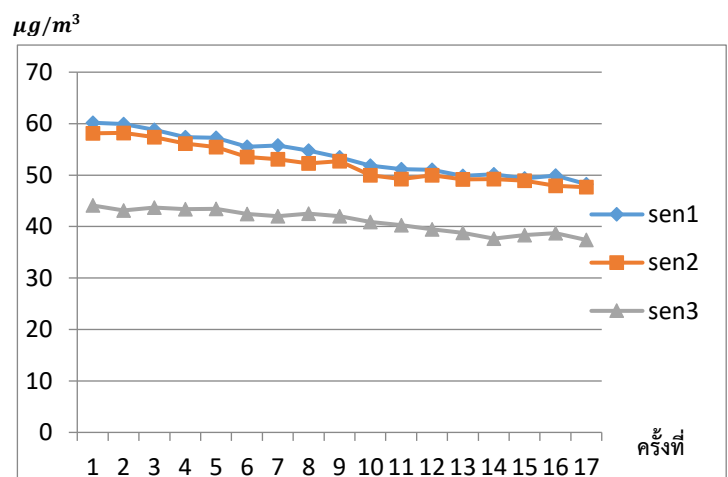
4.1.5.2 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบขณะใช้งานESP และไม่ใช้งานESP

1.) ทดสอบชุดที่ 1

หลังจากที่ทราบค่าฝุ่นละอองในแต่ละจุดแล้วเราจึงสามารถทราบค่าประสิทธิภาพได้ โดยนำค่าของฝุ่นละอองมาเฉลี่ย เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

ขณะปิด ESP

sen1	sen2	sen3
60.18	58.12	44.1
59.94	58.21	43.13
58.79	57.35	43.67
57.37	56.14	43.36
57.25	55.44	43.44
55.52	53.5	42.42
55.77	53.06	42.03
54.77	52.29	42.5
53.47	52.68	42.01
51.83	49.97	40.92
51.18	49.25	40.26
51.02	50	39.44
49.85	49.19	38.8
50.17	49.21	37.67
49.38	48.89	38.33
49.93	47.93	38.75
48.25	47.65	37.4

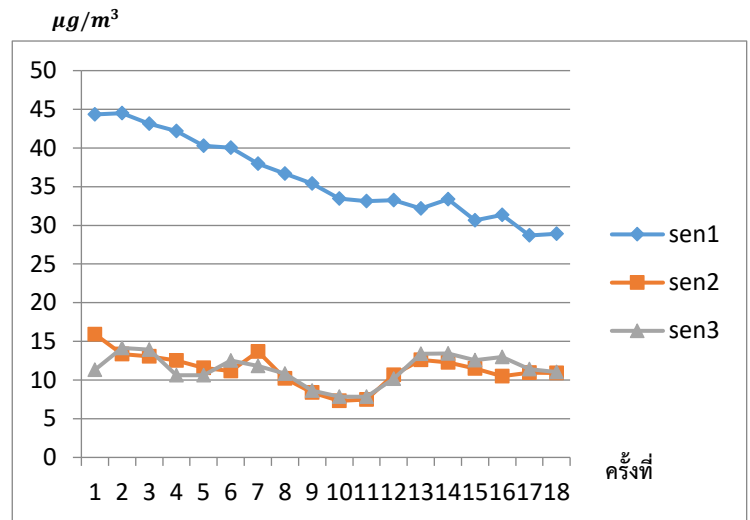


กราฟที่ 4.7 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะปิด ESP

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะปิด ESP

ขณะเปิด ESP

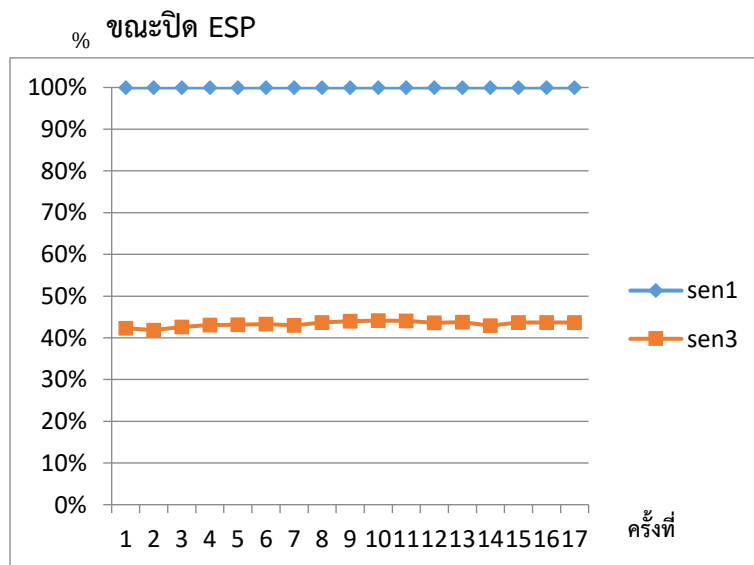
sen1	sen2	sen3
44.33	15.93	11.31
44.5	13.35	14.15
43.12	13.06	13.94
42.18	12.51	10.64
40.3	11.57	10.61
40.05	11.17	12.51
37.96	13.68	11.81
36.68	10.19	10.83
35.39	8.39	8.65
33.47	7.31	7.85
33.14	7.47	7.84
33.26	10.67	10.15
32.16	12.61	13.41
33.39	12.27	13.44
30.63	11.51	12.57
31.34	10.48	12.99
28.69	10.95	11.41
28.92	10.91	11.02



กราฟที่ 4.14 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะเปิด ESP

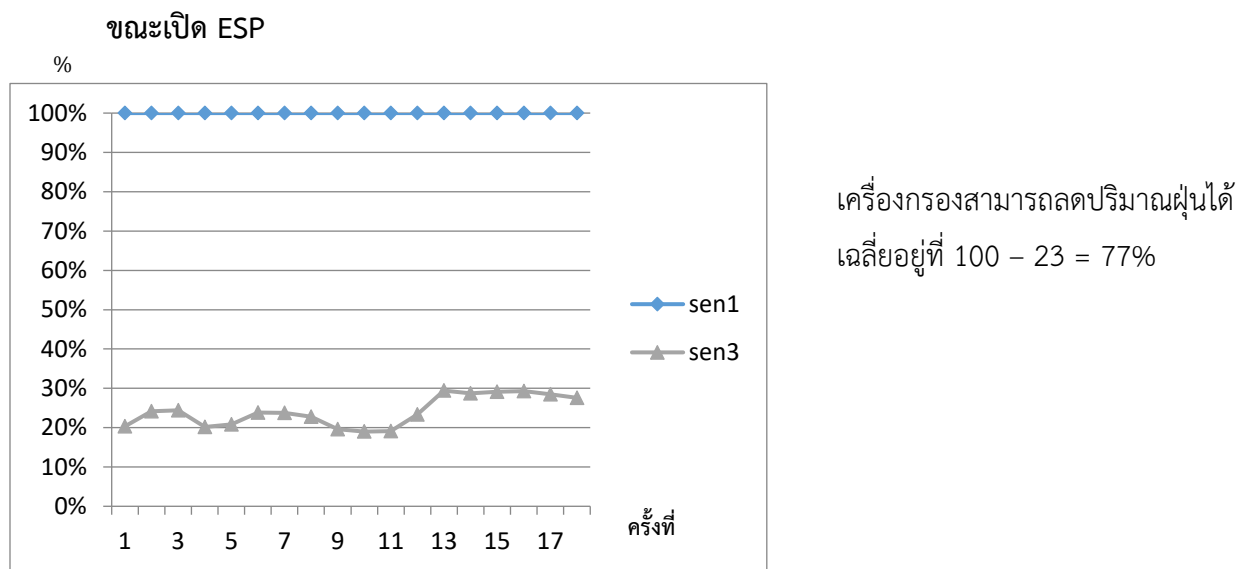
ตารางที่ 4.14 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะเปิด ESP

เมื่อนำค่าฝุ่นละอองมาเทียบสัดส่วนการกรองของแต่ละส่วนแล้วสามารถแสดงค่าได้ดังต่อไปนี้



เครื่องกรอง สามารถลดปริมาณฝุ่นได้
เฉลี่ยอยู่ที่ $100 - 44 = 56\%$

กราฟที่ 4.9 แสดงสัดส่วนการลดลงของปริมาณฝุ่นละอองของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะปิด ESP



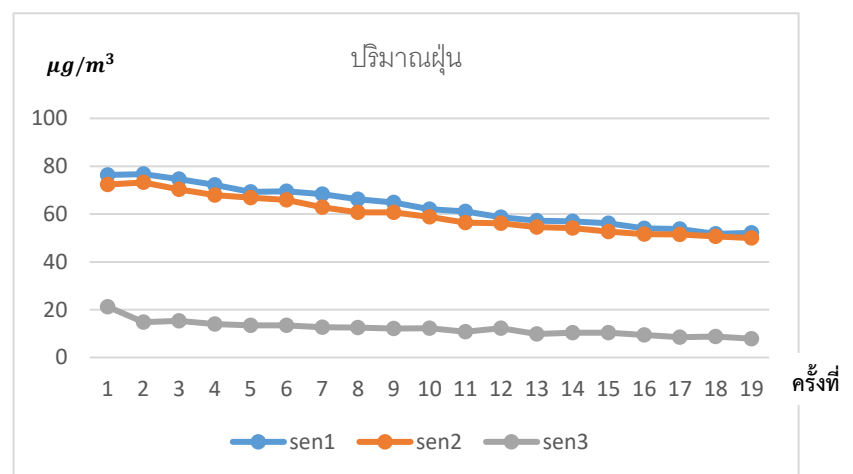
กราฟที่ 4.10 แสดงสัดส่วนการลดลงของปริมาณฝุ่นละอองของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะเปิด ESP

2.) การทดสอบชุดที่ 2 (หลังจากซ่อมบำรุง เนื่องจากเกิดการรั่วของอากาศ)

หลังจากที่ทราบค่าฝุ่นละอองในแต่ละจุดแล้วเราจึงสามารถทราบค่าประสิทธิภาพได้ โดยนำค่าของฝุ่นละอองมาเฉลี่ย เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

ขณะปิด ESP

sen1	sen2	sen3
76.35	72.34	21.26
76.68	73.19	14.82
74.66	70.25	15.31
72.21	67.92	13.93
69.25	66.8	13.44
69.55	65.87	13.46
68.36	62.87	12.63
66.23	60.74	12.54
64.89	60.64	12.06
62.08	58.8	12.19
61.13	56.37	10.78
58.66	56.18	12.24
57.22	54.56	9.87
56.97	54.09	10.34
56.18	52.6	10.35
53.99	51.57	9.38
53.69	51.39	8.51
51.7	50.6	8.78
52.12	49.93	7.87

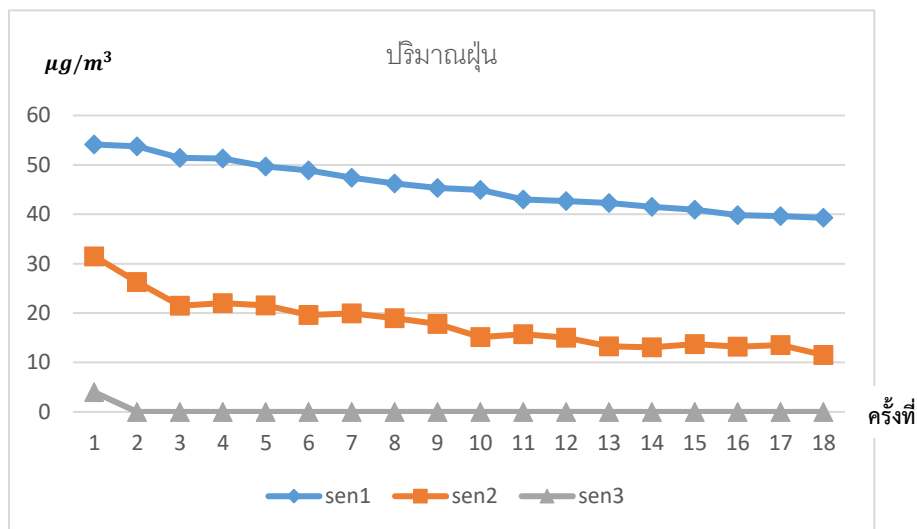


กราฟที่ 4.11 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะปิด ESP (หลังจากซ่อมบำรุง)

ตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะปิด ESP (หลังจากซ่อมบำรุง)

ขณะเปิด ESP

sen1	sen2	sen3
54.12	31.49	3.98
53.74	26.31	0
51.44	21.47	0
51.26	22	0
49.63	21.56	0
48.9	19.63	0
47.42	19.95	0
46.23	18.95	0
45.31	17.78	0
44.93	15.14	0
43.01	15.75	0
42.67	15.02	0
42.26	13.26	0
41.49	13.04	0
40.94	13.74	0
39.8	13.19	0
39.64	13.55	0
39.28	11.52	0

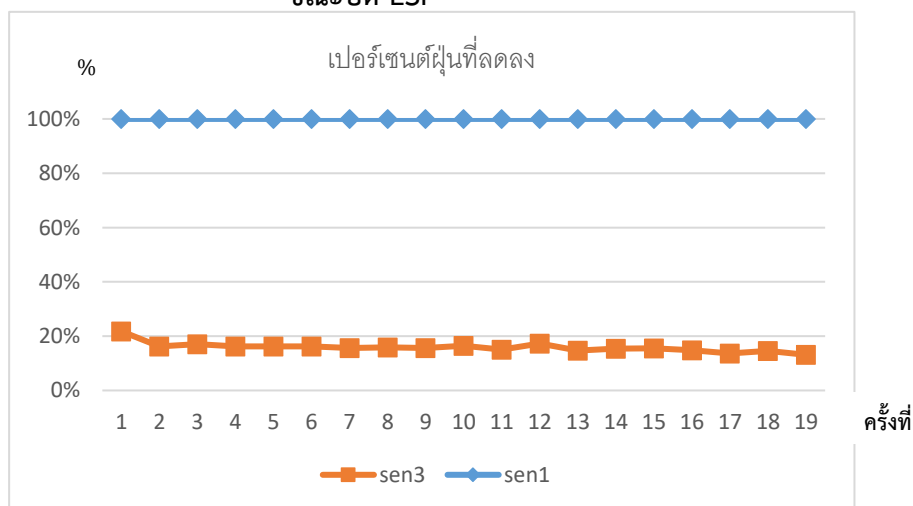


กราฟที่ 4.12 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะเปิด ESP (หลังจากซ่อมบำรุง)

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะเปิด ESP (หลังจากซ่อมบำรุง)

เมื่อนำค่าฝุ่นละอองมาเทียบสัดส่วนการกรองของแต่ละส่วนแล้วสามารถแสดงค่าได้ดังต่อไปนี้

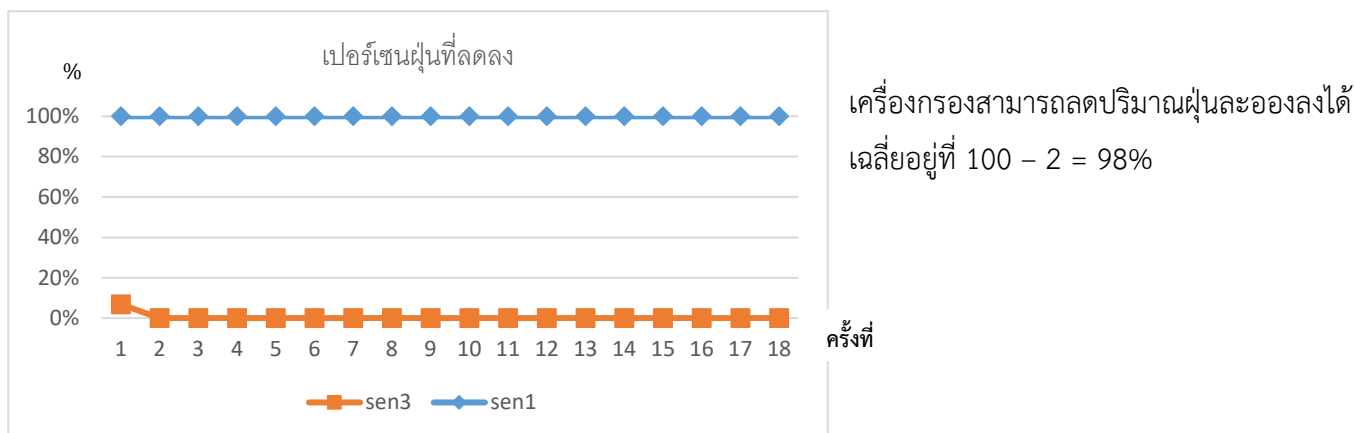
ขณะปิด ESP



เครื่องกรองสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองลงได้
เฉลี่ยอยู่ที่ $100 - 17 = 83\%$

กราฟที่ 4.13 แสดงสัดส่วนการลดลงของปริมาณฝุ่นละอองของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะปิด ESP (หลังจากซ่อมบำรุง)

ขณะเปิด ESP



กราฟที่ 4.14 แสดงสัดส่วนการลดลงของปริมาณฝุ่นละอองของเครื่องโดยเฉลี่ยขณะเปิด ESP (หลังจากซ่อมบำรุง)

4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบประสิทธิภาพการกรองฝุ่นโดยรวมในการวัดปริมาณฝุ่นใน ESP สามารถลดปริมาณฝุ่นได้เฉลี่ยอยู่ที่ 73% ในส่วน Nano filter สามารถลดปริมาณฝุ่นได้เฉลี่ยอยู่ที่ 99% เมื่อทั้งสองอย่างทำงานพร้อมกันโดยรวมเครื่องกรองสามารถลดปริมาณฝุ่นเฉลี่ยอยู่ที่ 99% ก่อนการเกิดการรั่วไหลของอากาศในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบขณะใช้งานESP และไม่ใช้งานESP ขณะปิด ESP เครื่องกรองสามารถลดปริมาณฝุ่นได้เฉลี่ยอยู่ที่ 56% ส่วนขณะเปิด ESP เครื่องกรองสามารถลดปริมาณฝุ่นได้เฉลี่ยอยู่ที่ 77% หลังจากซ่อมบำรุงเนื่องจากเกิดการรั่วของอากาศในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบขณะใช้งานESP และไม่ใช้งานESP ขณะปิด ESP เครื่องกรองสามารถลดปริมาณฝุ่นได้เฉลี่ยอยู่ที่ 83% ส่วนขณะเปิด ESP เครื่องกรองสามารถลดปริมาณฝุ่นได้เฉลี่ยอยู่ที่ 98%

และจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อเปิดใช้งานระบบ ESP ร่วมกับ Nano filter จะให้ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นมากถึง 99% ดังนั้นจากการใช้ระบบ ESP ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองสูงขึ้น และสามารถลดภาระของแผ่นกรองลง จึงทำให้อายุการใช้งานของแผ่นกรองนั้นยาวนานขึ้น รวมถึงลดค่าใช้จ่ายสิ้นเปลืองในส่วน of แผ่นกรองลงอีกด้วย

5.สรุปโครงการ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปโครงการ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกรองอากาศที่ใช้การทำงานร่วมกันระหว่าง การดักจับฝุ่นเชิงไฟฟ้าสถิตและแผ่นกรองอากาศ เพื่อใช้ในการดักจับฝุ่นในห้องปิดขนาดใหญ่ขนาด 400 m³ โดยมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน

คือ แผ่นกรองหยาบ(Pre-filter), เครื่องดักจับฝุ่นเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator ,ESP), แผ่นกรองละเอียด(Nano filter) ส่วนของแผ่นกรองหยาบ(Pre-filter)จะใช้กรองสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่ไม่ให้เข้าสู่ตัวเครื่อง ส่วนเครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator ,ESP) และแผ่นกรองละเอียด(Nano filter) ใช้สำหรับการกรองอนุภาคฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน โดยในการทดลองจะปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ไว้ที่ 15 KV และบันทึกผลที่ได้จากเซนเซอร์วัดฝุ่นตามที่ติดตั้งในเครื่อง 3 ตำแหน่ง คือ 1. ทางเข้า Nano filter 2.ทางออก Nano filter และก่อนเข้า Nano filter 3. ทางออก Nano filter โดยจากการทดสอบสรุปผลได้ว่า โดยเมื่อ Electrostatic Precipitator ทำงานร่วมกับ Nano filter จะมีประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นโดยรวมเท่ากับ 99.73%

จากการศึกษาเรื่องต้นทุนไฟฟ้าได้ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของตัวเครื่องขณะที่เครื่องทำงาน โดยจะทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการดักจับของเครื่อง Electrostatic Precipitator ทุก ๆ 15 KV โดยเริ่มจาก 0-60 KV และนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าไฟฟ้าโดยอ้างอิงจากเว็บไซต์ของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งจะมีค่าไฟฟ้าผันแปรอยู่ที่ -11.60 สตางค์ / หน่วย และสมมติให้เครื่องทำงานวันละ 8 ชม. พบว่าค่าไฟฟ้าต่อเดือนที่มีค่ามากที่สุดมีค่าเท่ากับ 456.61 บาท เฉลี่ยวันละ 15.22 บาท

จากการประเมินราคาโดยประมาณค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องดักจับฝุ่น Electric Dust Killer เป็นเงิน 142,772 บาท(ราคาดังกล่าวไม่รวมค่าอุปกรณ์เครื่องมือช่างที่สามารถใช้ซ้ำได้และค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมอื่น ๆ ที่จำเป็นในการศึกษาค้นคว้า)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในส่วนการประเมินราคาค่าใช้จ่าย ผู้ที่จะนำไปพัฒนาต่อและศึกษาต่อในรุ่นต่อไป สามารถจัดหาหรือปรับเปลี่ยนวัสดุ/อุปกรณ์ที่เหมาะสม ทนสมัย และสะดวกต่อการใช้งาน
2. ข้อเสนอแนะในเรื่องของขนาดตัวเครื่องที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สามารถขนย้ายได้สะดวกเนื่องจากความสูงของตัวเครื่องแปรผันโดยตรงกับขนาดของESP ที่ยังมีช่วงในการดักจับฝุ่นมากยิ่งทำให้มีประสิทธิภาพ
3. ตัวเครื่องมีน้ำหนักมากเนื่องจากในระยะเวลาการทำโครงการที่มีอย่างจำกัด จึงเลือกใช้วัสดุที่หาได้ง่ายและง่ายต่อการทำกรอบตัวเครื่องภายนอก สามารถดัดรูปได้ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมากทำให้ขนย้ายลำบาก ควรเปลี่ยนวัสดุตัวเครื่องภายนอก
4. ในส่วนการลดต้นทุนทางไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการปรับลด หรือเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการดักจับฝุ่นให้สอดคล้องกับปริมาณฝุ่นภายในห้องที่ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

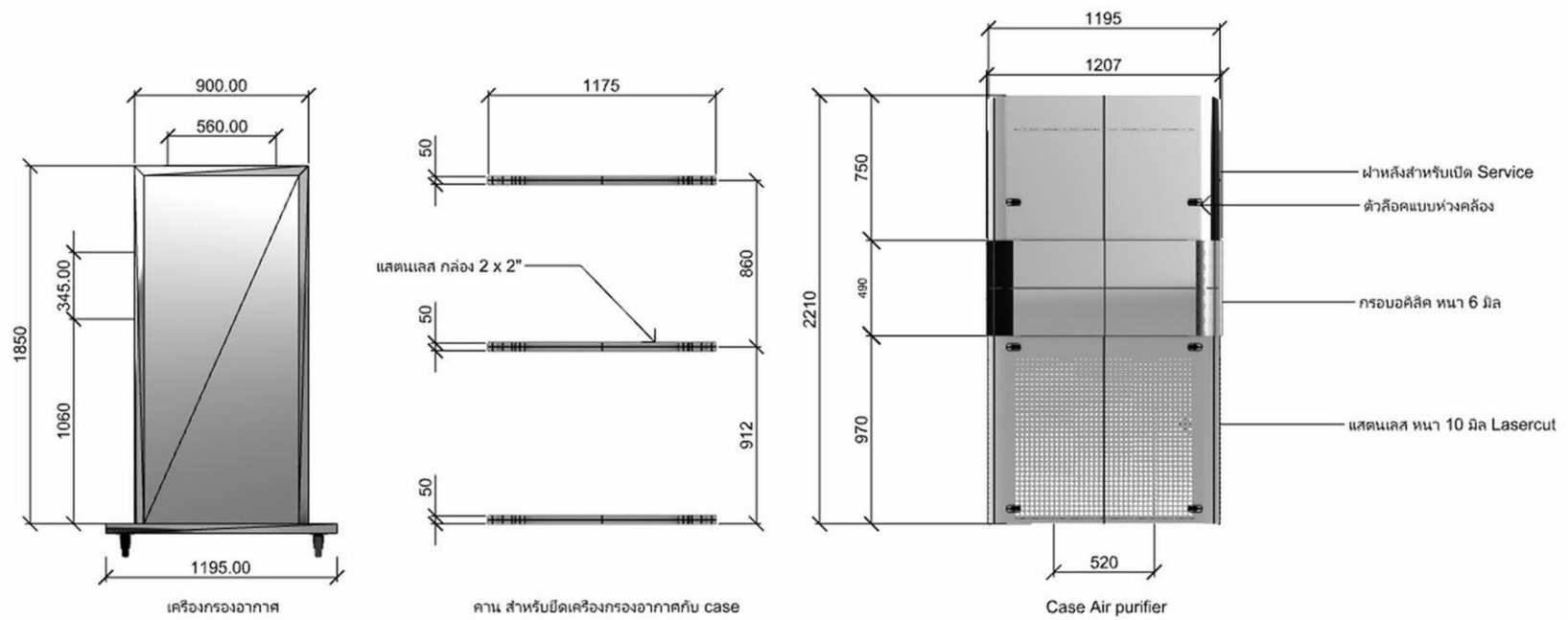
1. คู่มือเซอร์กิตเบรกเกอร์. (ม.ป.ป.). ค้นจาก <https://mall.factomart.com/circuit-breaker/>
2. จักรารุณ วงศ์ศักดิ์. (2557). การศึกษาความเป็นไปได้ของพอลิคาร์บอเนตในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
3. จอแสดงผล. (ม.ป.ป.). ค้นจาก <https://www.myarduino.net/product/2739/จอแสดงผล-tft-lcd-ขนาด-2-2-color-module-240x320-พร้อมช่องเสียบ-sd-card-driver-ili9341>
4. CFD Online, Sutherland's law. (2008). ค้นหาจาก https://www.cfdonline.com/Wiki/Sutherland%27s_law?fbclid=IwAR3RUZqFxCUHpfYsgUd5qsyLHbhnJe_si31TPvUtQL9QPrezwZLzHKfFf_Y
5. เซนเซอร์ตรวจจับฝุ่น.(ม.ป.ป.). ค้นจาก <https://www.arduinochonburi.com/product/859/laser-dust-sensor-pm-2-5-pms3003-เซนเซอร์ตรวจจับฝุ่น-pm-2-5>
6. Thailand Professional Qualification Institute (Public organization). (2557).สมบัติของวัสดุชิ้นงานพลาสติก. ค้นจาก<http://e-training.tpqi.go.th/training/748/chapter/240/content>
- 7.บริษัท ภัทรเมธากิจ จำกัด. (2652). เบรกเกอร์. ค้นจาก <https://www.pmk.co.th/shop/เบรกเกอร์กันดูด-คืออะไร/>
- 8.บริษัท สด เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. (2562). การฟอกอากาศของแผ่นกรองอากาศ HEPA และ ULPA. ค้นจาก <https://www.sod.co.th/hepa-filters-%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0-ulpa-filters/?fbclid=IwAR1gJHPKD-bN4DXZMkKcF9965Wz1raIImnt34uT8RMSxb9hpWlmN0FS2KZE>

- 9.M. Arkam C. Munaaim.(2552). Mechanical Ventilation. ค้นจาก
https://www.slideshare.net/mobile/arkam_slideshare/mechanical-ventilation
10. ACH And CADR Ratings Explained. (ม.ป.ป.). ค้นจาก
<https://homeairguides.com/about-air-purifiers/ach-and-cadr-ratings-explained/>
11. บริษัทอันดาเทคจำกัด. (2562). ระบบดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต. ค้นจาก
<https://www.mitsubishi-kyw.co.th/ex-fan/calculator.php>
12. พานิช อินต๊ะ. (2559). การวิเคราะห์พฤติกรรมและประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต 2 ชั้นสำหรับการกำจัดอนุภาคจากกระบวนการคั่วกาแฟ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 26, ฉบับที่ 3.
13. พานิช อินต๊ะ. (2560). เทคโนโลยีการอัดประจุละอองลอยด้วยสนามไฟฟ้า. หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม.
14. Panich Intra, (2018). Visut Asanavijit and Thitiway Panpang. Design and Evaluation of a Multiple-tube Electrostatic Collector for Particulate Matter Removal from Tobacco Monopoly Exhaust.Rajamangala University of Technology Lanna.
15. ความหมายโอโซน. (ม.ป.ป.). ค้นจาก
https://il.mahidol.ac.th/emedial/ecology/chapter2/chapter2_airpolution8.htm?fbclid=IwAR38Od5ngWZ_25lsprnP1GoAaLQnayn-kQATMmWv3cR8DgD-dgBlTWZCBuo
16. โอโซนฆ่าเชื้อโรคได้จริงหรือ ประโยชน์และข้อควรระวังของโอโซน. (2561). ค้นจาก
<https://healthfood.blogspot.com/2018/04/ozone.html?m=1&fbclid=IwAR3m0ldSLajsWhjMeNNQUtk2yfaa0X424rHMNus5oGqlcfz8pGZfMFhFeAM>

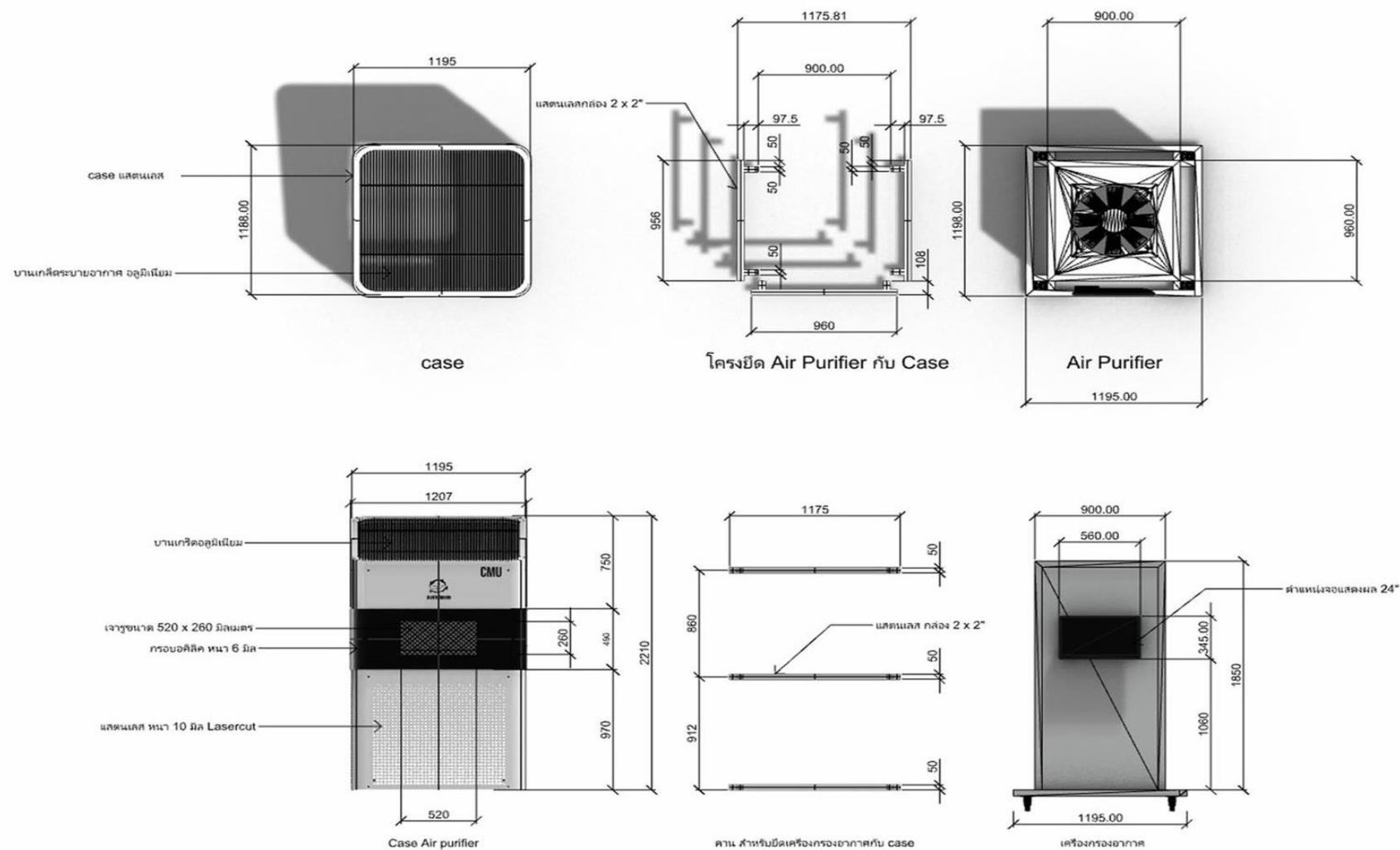
17. ปิยะวิทย์ ทิพรส.(ม.ป.ป.).โอโซนสมบัติทางเคมีกายภาพและการประยุกต์. คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
18. Mitsubishi Electric. (ม.ม.ป.). วิธีการคำนวณการระบายอากาศของห้อง.
ค้นจาก <https://www.mitsubishi-kyw.co.th/ex-fan/calculator.php>
19. รัฐกร สิริอมราพร. (2549). สากลสำหรับมาตรฐานไอโซน.
สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย,11,123-128.
20. วิธีเลือกกรองอากาศ. (ม.ป.ป.). ค้นจาก
http://www.vali-tech.net/home/article-read.php?ArticleId=8&fbclid=IwAR3JAHRslyRWas2YuGHnL_t6eNerEtyEheygbTs8_BIRoInMifZucJ2lwOo
21. วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์.(2547).เครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่ว .(Residual Current Devices).ม.ป.ท :
ม.ป.พ.
22. วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์.(2556).เครื่องตัดวงจรกระแสเหลือ .(Residual Current Devices).กรุงเทพฯ. :
ห้างหุ้นส่วนจำกัด โซติออนต์ ศรีเอช.
23. วิสูตร อาสนวิจิตร, พานิช อินต๊ะ และอนุกุล ปันสา. (2562). การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับกำจัดควินจากกระบวนการประกอบอาหารในครัวเรือน, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 27, ฉบับที่ 3.
24. หจก.อินดี้ซัพพลายแอนด์. (ม.ป.ป.). คุณสมบัติพลาสติกวิศวกรรม. ค้นจาก
<http://xn--12cab0fzbvcmapyamy0jd0bc.com/th/pages>
25. หัวรีเลย์ (ม.ป.ป.). ค้นจาก .<https://www.arduitronics.com/product/2057/3-channel-relay-module-5v-10a-หัวรีเลย์ยี่ห้อ-songle-รุ่น-srd-05vdc-sl-c>

26. ออโต้บอท แวกค์้มทำความรู้จักกับ , HEPA Filter. (2019)ค้นจาก.
<https://www.autobotvacuum.com/what-is-hepa-filter/?fbclid=IwAR2xHyZEtBy0YY0SUqF7vDBdTd0mTiuN43R5-pe3ktvQ66gJR6IFmWOr4>
27. เอกชัย มะการ.(2552).เรียนรู้เข้าใจใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino. กรุงเทพมหานคร อีทีที จำกัด.
28. อีเอสพี32. (ม ป.ป.). ค้นจาก.
<https://www.arduinoall.com/product/1465/esp32-doit-espdevkit-v1esp32s-nodemcu-esp-wroom-32-wi-fi-and-bluetooth-dual-core-esp-32-esp->
29. FLUENT INCORPORATED, Viscosity as a Function of Temperature. (2003). ค้นหากจาก
http://jullio.pe.kr/fluent6.1/help/html/ug/node294.htm?fbclid=IwAR0x3OKhr6V_kSSFvm4cn_4qfBaB7mj51uBNh7u5HI8IKL-gkAlZfV1i34k
30. Newcomb and Company. (2018) A Guide to air filter types. Retrieved from
<https://newcombcompany.com/resources/guide-to-air-filter-types/?fbclid=IwAR3YHHX8qdd7bKt5UVhQO5iwSMEHbjsgFQXaeUG-jr1lhjnGaTZoN>
31. Electret Air Filterm(n.d.). Retrieved from
https://www.toyoboglobal.com/seihin/ac/filter/elitolon/?fbclid=IwAR1d9FSBGwhM8UKDa7foDrZ3yakbNb8MNTQXEIndL1E-0gqv2Kq_yEUcj0
- 32.Liu G. et al,
(2017) A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation. Sustainable Cities and Society, 32. pp. 375396.ISSN 22106707
doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.011> Available at <http://centaur.reading.ac.uk/71549/>

ภาคผนวก ก.
แบบสั่งงาน



รูปที่ ก.2 กรอบภายนอกตัวเครื่องด้านข้าง



รูปที่ ก.3 กรอบภายนอกตัวเครื่องด้านบนและด้านหน้า

ภาคผนวก ข.
ตารางดำเนินงานตลอดโครงการ

แผนงาน	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.วางแผนการทำงานตลอดโครงการ แบ่งหน้าที่รับผิดชอบ	■	■																		
2.ดำเนินการและติดตามผลตามกลุ่ม Technical management																				
กลุ่ม 2.2.1 Design																				
Design , Solid modeling			■	■					■	■	■						■	■		
Computational Fluid dynamic simulation (CFD)									■	■	■						■	■	■	■
ศึกษาคำนวณและเลือกพัดลม																		■	■	
กลุ่ม 2.2.2 Electrical technique																				
ศึกษาหลักการ Electrostatic precipitator			■	■					■	■	■									
คำนวณและออกแบบ Electrostatic precipitator									■	■	■	■	■	■						
เตรียมอุปกรณ์สร้างต้นแบบ											■	■	■	■				■	■	
สร้างต้นแบบ																		■	■	
กลุ่ม 2.2.3 Filtration technique																				
Dust generation										■	■	■								
Select filter									■	■	■	■								
Prepare Pressure drop testing			■	■					■	■	■	■								
Prepare Flow rate testing			■	■					■	■	■	■								
Pressure drop testing																		■	■	
Air flow testing																		■	■	
Efficiency testing																		■	■	
กลุ่ม 2.2.4 Programming, Safty system																				
โปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพแผ่นกรองอากาศ			■	■																
โปรแกรมคำนวณอายุแผ่นกรองอากาศ			■	■																
ฟังก์ชันการทำงานของตัวเครื่อง			■	■					■	■	■									

แผนงาน	ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				หมายเหตุ
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
ประมวลผล กลุ่ม Technical management		■															
วางแผนการสร้างตัวเครื่อง			■	■													
ดำเนินการและติดตามผลการสร้างเครื่องจริง					■	■	■	■	■	■	■	■					เกิดความล่าช้าในการสร้างตัวเครื่อง
ทำการทดสอบประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์									■	■	■	■	■	■	■	■	

- หมายเหตุ
1. ■ คือ ระยะเวลาของแผนการดำเนินงาน
 2. ■ คือ ระยะเวลาในการดำเนินงานจริง