โครงงาน ระบบควบคุมคุณภาพอากาศด้วยเซนเซอร์ฝุ่นและก๊าซในเครื่องฟอกอากาศ

(Smart Air Quality Control System)

จัดทำโดย

๑. นายทิชากร ฟักมาก มัธยมศึกษาปีที่ ๔

๒. นายกลทีป์ พูลศิล มัธยมศึกษาปีที่ ๔

๓. นายปกรณ์เกียรติ ขวัญสุข มัธยมศึกษาปีที่ ๔

ครูที่ปรึกษา

นายณัฐพล อินทนะ

นางสาวตุลารัตน์ แสนตอ

โรงเรียนองครักษ์

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาปราจีนบุรี นครนายก

๑. ชื่อโครงงาน ระบบควบคุมคุณภาพอากาศด้วยเซนเซอร์ฝุ่นและก๊าซในเครื่องฟอกอากาศ
(Smart Air Quality Control System)

๒. ชื่อนักเรียน

๑. นายทิชากร ฟักมาก มัธยมศึกษาปีที่ ๔ e-mail : cee1329q@gmail.ocm

๒. นายกลทีป์ พูลศิล มัธยมศึกษาปีที่ ๔ e-mail : nongkunza612@gmail.com

๓. นายปกรณ์เกียรติ ขวัญสุข มัธยมศึกษาปีที่ ๔ e-mail : mixtv454@gmail.com

ชื่อครูที่ปรึกษา

๑. นายณัฐพล อินทนะ e-mail : yonclub@gmail.com

๒. นางสาวตุลารัตน์ แสนตอ e-mail : ongkhalakcom@gmail.com

ชื่อสถาบัน โรงเรียนองครักษ์ จังหวัดนครนายก

๓.บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบฟอกอากาศอัจฉริยะภายในอาคารที่สามารถตรวจวัดและควบคุมคุณภาพอากาศได้แบบอัตโนมัติด้วยบอร์ด ESP8266 เพื่อลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและมลภาวะที่เป็นอันตราย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดฝุ่น PM2.5 เซนเซอร์ตรวจจับก๊าซระเหย VOCs เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น รวมถึงเซนเซอร์ตรวจจับการมีอยู่ของผู้ใช้งาน โดย ESP8266 ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลเซนเซอร์และควบคุมการทำงานของพัดลม ไส้กรอง HEPA และโมดูลเพิ่มความชื้นตามค่าที่ตรวจวัดได้ เมื่อค่าฝุ่นหรือสารมลพิษสูงกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งให้เครื่องฟอกอากาศทำงานเพื่อหมุนเวียนและกรองอากาศ ช่วยลดระดับมลพิษให้อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย เพื่อพัฒนาระบบฟอกอากาศที่ช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย เป็นมิตรต่อสุขภาพ และสนับสนุนคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นอย่างยั่งยืน

จากการทดลอง พบว่าเครื่องฟอกอากาศต้นแบบสามารถลดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กในอากาศได้จริง โดยเฉพาะในพื้นที่ปิดและกึ่งปิด ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการฟอกอากาศด้วยระบบไหลเวียนผ่านแผ่นกรอง HEPA ตามทฤษฎีที่ระบุว่าสามารถดักจับฝุ่น PM2.5 และ PM10 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

๔.คำสำคัญ ระบบฟอกอากาศ

๕. บทนำของโครงงาน

ในปัจจุบันปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารเรียนเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM1.0 , PM2.5 และ PM10 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเชื้อโรคที่ปะปนอยู่ในอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งจากปัจจัยภายนอก เช่น มลพิษภายนอกโรงเรียน และปัจจัยภายใน เช่นจำนวนผู้ใช้ห้องเรียน การระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม และกิจกรรมในห้องเรียนที่ก่อให้เกิดฝุ่นหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ โครงงานนี้จึงได้พัฒนาระบบเครื่องฟอกอากาศอัจฉริยะที่ใช้บอร์ดควบคุม ESP8266 ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศหลายชนิด เช่น PMS5003 สำหรับตรวจวัดฝุ่น PM1.0 , PM2.5 และ PM10, MQ-135 สำหรับตรวจแก๊สและสารระเหยในอากาศ DHT22 สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น และ PIR สำหรับตรวจจับการมีผู้อยู่ในห้อง พร้อมทั้งออกแบบระบบการทำงาน และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ ทำให้ผู้ใช้สามารถติดตามสถานะอากาศ สังเกตค่ามลพิษ และควบคุมการทำงานของเครื่องฟอกอากาศได้อย่างสะดวกและทันเวลา

๖. วัตถุประสงค์ของโครงงาน

๑. เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบฟอกอากาศอัจฉริยะที่สามารถปรับการทำงานตามคุณภาพอากาศจริงในห้องเรียน

๒. เพื่อลดปริมาณมลพิษในอากาศให้อยู่ในระดับปลอดภัยตามมาตรฐานด้านสุขอนามัย

๓. เพื่อลดการใช้ไส้กรองแบบสิ้นเปลืองโดยมีระบบฟื้นฟูอัตโนมัติ

๗. ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา

๑. ศึกษาการทำงานของแผ่นกรองอากาศ เช่น HEPA และ Activated Carbon

๒. การฟอกอากาศในระบบต้นแบบที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

๓. ประเมินประสิทธิภาพการลดมลพิษก่อน–หลังการติดตั้งระบบ

ขอบเขตด้านประชากร

๑. อาคารหรือห้องเรียนขนาดเล็กในโรงเรียนองครักษ์

๒. เจ้าของบ้านหรือครัวเรือนที่ต้องการจัดการปัญหาฝุ่น

๓. ผู้สนใจเทคโนโลยีสมาร์ทโฮม (Smart Home)

ขอบเขตด้านความสามารถของระบบ

๑. สามารถควบคุมการฟอกอากาศตามเงื่อนไขที่ตั้งค่าไว้

๒. สามารถแสดงผลคุณภาพอากาศแก่ผู้ใช้งานในรูปแบบข้อมูลเบื้องต้น

๓. สามารถปรับการทำงานตามสภาวะแวดล้อมได้เอง

๘. การทบทวนวรรณกรรม

หลักการและข้อคิดทางวิชาการ

๑. การฟอกอากาศภายในอาคารนิยมใช้แผ่นกรองเป็นตัวกลางในการดักจับอนุภาคในอากาศ โดยเฉพาะ ไส้กรอง HEPA ที่สามารถดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก เช่น PM2.5 ได้มากถึง 99% ช่วยลดปริมาณฝุ่นที่ลอยในอากาศและป้องกันการเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ แผ่นกรอง HEPA จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบฟอกอากาศยุคใหม่

๒. สารอินทรีย์ระเหย (VOCs) จากสเปรย์ น้ำยาทำความสะอาด สีทาบ้าน และเฟอร์นิเจอร์ เป็นสาเหตุของอาการปวดหัว แสบตา และโรคทางเดินหายใจ การใช้ Activated Carbon Filter สามารถดูดซับกลิ่นและก๊าซเหล่านี้ได้ดี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้ระบบฟอกอากาศช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยและลดการสะสมของสารพิษในอากาศภายในบ้านหรืออาคารเรียน

๓. มลพิษทางอากาศภายในอาคารเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อสุขภาพอย่างกว้างขวาง ในพื้นที่ปิด เช่น ห้องเรียน บ้าน หรือสำนักงาน พบฝุ่นละอองและก๊าซจากกิจกรรมมนุษย์อย่างต่อเนื่อง เช่น PM1.0, PM2.5, PM10, VOCs และ CO_2 ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ ภูมิแพ้ และอาการเหนื่อยล้า จึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมคุณภาพอากาศภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

๙. วิธีการดำเนินการของโครงงาน

๑. หลักการทำงานของระบบ

ระบบฟอกอากาศอัจฉริยะ ทำงานโดยอาศัยการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารผ่านเซ็นเซอร์ประเภทต่าง ๆ ซึ่งจะตรวจสอบปริมาณฝุ่น ก๊าซ และสภาพอากาศภายในห้องอย่างต่อเนื่อง โดยเซ็นเซอร์วัดฝุ่น PM1.0, PM2.5, PM10 (PMS5003) ใช้ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก เซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซ
และสารระเหย (MQ-135) ใช้ตรวจจับมลพิษในรูปของสารอินทรีย์ระเหย เช่น ควันบุหรี่ กลิ่นสารเคมี และก๊าซพิษ นอกจากนี้ เซ็นเซอร์ DHT11 ยังใช้ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้น เพื่อให้ระบบประเมินคุณภาพอากาศได้อย่างรอบด้าน เมื่อค่า PM2.5 หรือ VOCs สูงกว่าค่ากำหนด ระบบสมองกลฝังตัว ESP8266 จะประมวลผล

ข้อมูลที่ได้รับและส่งสัญญาณสั่งงานผ่านรีเลย์ไปยังพัดลมดูดอากาศและชุดกรองอากาศ เพื่อเริ่มกระบวนการฟอกอากาศ พัดลมจะทำการดูดอากาศจากภายในห้องเข้าสู่ตัวเครื่องและอากาศจะไหลผ่านไส้กรอง HEPA ซึ่งมีความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองขนาดเล็ก เช่น PM1.0, PM2.5, PM10และอนุภาคที่เป็นอันตราย ต่อจากนั้นอากาศจะผ่านแผ่นกรองคาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon) เพื่อดูดซับกลิ่น ควัน และสารพิษในอากาศ ทำให้มลภาวะถูกกำจัดออกอย่างมีประสิทธิภาพ

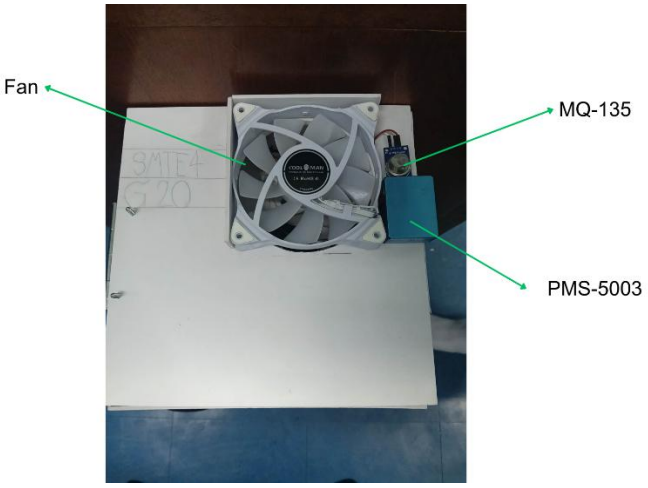
๒. การทดสอบและเก็บข้อมูล

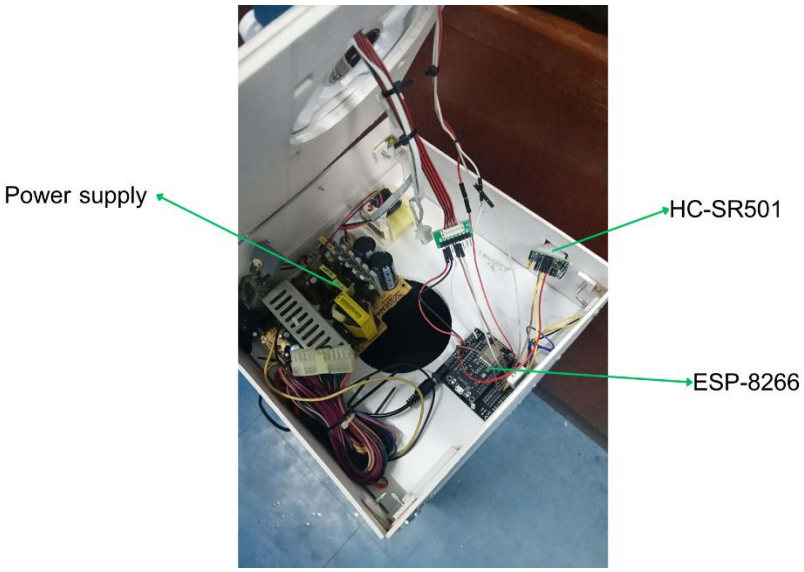
๑. ทดสอบการทำงานของระบบฟอกอากาศ โดยเริ่มบันทึกค่าคุณภาพอากาศก่อนเปิดระบบ เช่น ค่า PM1.0, PM2.5, PM10, VOCs, อุณหภูมิ และความชื้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงก่อนการทำงานของระบบ

๒. วัดคุณภาพอากาศระหว่างการเปิดระบบฟอกอากาศ เปิดระบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งงานตามค่าที่ตรวจจับได้ และทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลา เช่น ทุก 5–10 นาที เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของมลพิษในอากาศ

๓. บันทึกค่าฝุ่นและการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจดบันทึกค่าฝุ่น PM2.5 และก๊าซ VOCs พร้อมระยะเวลาที่ใช้จนกว่าคุณภาพอากาศกลับเข้าสู่ระดับปลอดภัย และนำผลลัพธ์มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอของระบบ

ภาพแสดงโครงสร้างของระบบ


Fan
MQ-135
PMS-5003


Power supply
HC-SR501
ESP-8266

ภาพแสดงโครงสร้าง Code

```ino
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <DHT.h>

/* ================ CONFIG ================ */
#define DHTPIN D5
#define DHTTYPE DHT22

#define PMS_RX D4
#define PMS_TX D3

#define MQ135_PIN A0
#define PIR_PIN D6

const char* ssid = "ESP8266-Air";
const char* password = "12345678";

/* ================ OBJECTS ================ */
ESP8266WebServer server(80);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
SoftwareSerial pmsSerial(PMS_RX, PMS_TX);
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

/* ================ VARIABLES ================ */
uint8_t pmsBuffer[32];
int pm1 = 0, pm25 = 0, pm10 = 0;
int mq135 = 0;
bool motion = false;
float temp = 0, humi = 0;

```

```ino

/* ================ PMS5003 ================ */
void readPMS() {
  if (pmsSerial.available() >= 32) {
    if (pmsSerial.read() == 0x42) {
      if (pmsSerial.read() == 0x4D) {
        pmsBuffer[0] = 0x42;
        pmsBuffer[1] = 0x4D;
        for (int i = 2; i < 32; i++) {
          pmsBuffer[i] = pmsSerial.read();
        }
        pm1  = (pmsBuffer[10] << 8) | pmsBuffer[11];
        pm25 = (pmsBuffer[12] << 8) | pmsBuffer[13];
        pm10 = (pmsBuffer[14] << 8) | pmsBuffer[15];
      }
    }
  }
}

/* ================ JSON API ================ */
void handleData() {
  String json = "{";
  json += "\"temp\":" + String(temp) + ",";
  json += "\"humi\":" + String(humi) + ",";
  json += "\"pm1\":" + String(pm1) + ",";
  json += "\"pm25\":" + String(pm25) + ",";
  json += "\"pm10\":" + String(pm10) + ",";
  json += "\"mq\":" + String(mq135) + ",";
  json += "\"motion\":" + String(motion ? 1 : 0);
  json += "}";

  server.send(200, "application/json", json);
}

/* ================ WEB UI ================ */
```

```ino
/* ================ WEB UI ================ */
void handleRoot() {
  String html = R"=====(
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta charset="utf-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width,initial-scale=1">
<title>Air Quality Monitor</title>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
<style>
body{margin:0;font-family:sans-serif;background:#0f172a;color:#fff}
header{text-align:center;padding:15px;font-size:22px}
.card{background:#111827;border-radius:16px;padding:15px;margin:12px}
.value{font-size:28px;font-weight:bold}
.grid{display:grid;grid-template-columns:1fr 1fr;gap:10px}
canvas{height:260px!important}
</style>
</head>
<body>

<header>🌿 Air Quality Monitor</header>

<div class="grid">
<div class="card">🌡 Temp</div><div class="value" id="temp">0</div></div>
<div class="card">💧 Humi</div><div class="value" id="humi">0</div></div>
<div class="card">PM1.0</div><div class="value" id="pm1">0</div></div>
<div class="card">PM2.5</div><div class="value" id="pm25">0</div></div>
<div class="card">PM10</div><div class="value" id="pm10">0</div></div>
<div class="card">MQ-135</div><div class="value" id="mq">0</div></div>
</div>

<div class="card"><canvas id="tChart"></canvas></div>
<div class="card"><canvas id="hChart"></canvas></div>
<div class="card"><canvas id="pmChart"></canvas></div>
```

```ino
<div class="card"><canvas id="pmChart"></canvas></div>
<div class="card"><canvas id="mqChart"></canvas></div>

<script>
const labels=[];
function chart(id,label,color){
 return new Chart(document.getElementById(id),{
  type:'line',
  data:{labels:labels,datasets:[{label:label,data:[],borderColor:color,tension:.35}]},
  options:{responsive:true,animation:false,plugins:{legend:{labels:{color:'white'}}},
  scales:{x:{ticks:{color:'white'}},y:{ticks:{color:'white'}}}}
 });
}

const tC=chart("tChart","Temperature","red");
const hC=chart("hChart","Humidity","cyan");
const pC=chart("pmChart","PM2.5","orange");
const mC=chart("mqChart","MQ-135","lime");

setInterval(()=>{
 fetch("/data").then(r=>r.json()).then(d=>{
  document.getElementById("temp").innerText=d.temp;
  document.getElementById("humi").innerText=d.humi;
  document.getElementById("pm1").innerText=d.pm1;
  document.getElementById("pm25").innerText=d.pm25;
  document.getElementById("pm10").innerText=d.pm10;
  document.getElementById("mq").innerText=d.mq;

  labels.push(new Date().toLocaleTimeString());
  tC.data.datasets[0].data.push(d.temp);
  hC.data.datasets[0].data.push(d.humi);
  pC.data.datasets[0].data.push(d.pm25);
  mC.data.datasets[0].data.push(d.mq);
```

```
  if(labels.length>20){
    labels.shift();
    tC.data.datasets[0].data.shift();
    hC.data.datasets[0].data.shift();
    pC.data.datasets[0].data.shift();
    mC.data.datasets[0].data.shift();
  }
  tC.update();hC.update();pC.update();mC.update();
 });
},1000);
</script>
</body>
</html>
)=====";

  server.send(200, "text/html", html);
}

/* ================ SETUP ================ */
void setup() {
  Serial.begin(115200);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.print("Starting...");

  dht.begin();
  pmsSerial.begin(9600);
  pinMode(PIR_PIN, INPUT);

  WiFi.softAP(ssid, password);
  server.on("/", handleRoot);
  server.on("/data", handleData);
  server.begin();

  lcd.clear();
}

/* ================ LOOP ================ */
void loop() {
  server.handleClient();

  temp = dht.readTemperature();
  humi = dht.readHumidity();
  if (isnan(temp) || isnan(humi)) { temp = 0; humi = 0; }

  mq135 = analogRead(MQ135_PIN);
  motion = digitalRead(PIR_PIN);
  readPMS();

  lcd.setCursor(0,0); lcd.printf("T:%.1f H:%.1f",temp,humi);
  lcd.setCursor(0,1); lcd.printf("PM2.5:%d",pm25);
  lcd.setCursor(0,2); lcd.printf("PM10:%d",pm10);
  lcd.setCursor(0,3); lcd.printf("MQ:%d",mq135);

  delay(300);
}
```

๑๐.ผลการวิจัย

จากการทดสอบพบว่าการทำงานของระบบ นั้นสามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์และไม่พบข้อผิดพลาด

จำนวนครั้ง	ก่อนเปิดระบบ						หลังเปิดระบบ						
	PM1.0	PM2.5	PM10	ควัน	อุณหภูมิ	ความชื้น	PM1.0	PM2.5	PM10	ควัน	อุณหภูมิ	ความชื้น	ระยะเวลา (นาที)
1	32	48	57	31	28.2	55.3	31	44	54	30	27.8	52.9	20
2	31	46	56	31	28	57	30	44	53	31	28.2	53.3	20
3	30	47	55	31	27.9	56.6	28	43	50	30	28	52.8	20

จากการทดสอบระบบฟอกอากาศจำนวน 3 ครั้ง พบว่า ครั้งที่ 1 ระบบสามารถลด PM1.0 จาก 32 เหลือ 31 ไมโครกรัม PM2.5 จาก 48 เหลือ 44 ไมโครกรัม PM10 จาก 57 เหลือ 54 ไมโครกรัม ควัน จาก 31 เหลือ 30 ppm อุณหภูมิ จาก 28.2 เหลือ 27.8 องศาเซลเซียส ความชื้น จาก 55.3 เหลือ 52.9 ความชื้นสัมพัทธ์ ครั้งที่ 2 ระบบสามารถลด PM1.0 จาก 31 เหลือ 30 ไมโครกรัม PM2.5 จาก 46 เหลือ 44 ไมโครกรัม PM10 จาก 56 เหลือ 53 ไมโครกรัม ควันค่าคงที่ 31 ppm อุณหภูมิ จาก 28 เหลือ 28.2 องศาเซลเซียส ความชื้น จาก 57 เหลือ 53.3 ความชื้นสัมพัทธ์ ครั้งที่ 3 ระบบสามารถลด PM1.0 จาก 30 เหลือ 28 ไมโครกรัม PM2.5 จาก 47 เหลือ 43 ไมโครกรัม PM10 จาก 55 เหลือ 50 ไมโครกรัม ควัน จาก 31 เหลือ 30 ppm อุณหภูมิ จาก 27.9 เหลือ 28 องศาเซลเซียส ความชื้น จาก 56.6 เหลือ 52.8 ความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นได้ว่าตัวเลขมีค่าลดลงและระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นไปตามเป้าหมายของโครงงาน

๑๑.สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาเครื่องฟอกอากาศอัจฉริยะที่ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ พบว่า ระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยตรวจพบว่าค่าฝุ่นละออง PM1.0, PM2.5 และ PM10 ลดลงจากค่าก่อนทดลองอย่างชัดเจนภายในระยะเวลาที่กำหนดการทำงานร่วมกันระหว่างชุดกรอง HEPA พัดลมดูดอากาศ และเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นสามารถตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองยืนยันว่าเครื่องฟอกอากาศต้นแบบสามารถลดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กในอากาศได้จริง โดยเฉพาะในพื้นที่ปิดและกึ่งปิด ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการฟอกอากาศด้วยระบบไหลเวียนผ่านแผ่นกรอง HEPA ตามทฤษฎีที่ระบุว่าสามารถดักจับฝุ่น PM2.5 และ PM10 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

๑๒.ข้อเสนอแนะ

๑. ควรพัฒนาระบบแจ้งเตือนหรือรายงานผลแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันมือถือหรือ IoT เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบคุณภาพอากาศและสถานะเครื่องฟอกอากาศได้จากระยะไกล เพิ่มความสะดวกและการดูแลระบบอย่างต่อเนื่อง

๒. ขยายระบบสู่สเกลใหญ่ เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับห้องขนาดใหญ่ เช่น ห้องประชุม โรงอาหาร หรือห้องเรียนหลายห้องพร้อมเครือข่ายวัดฝุ่น

๓. ออกแบบตัวเครื่องให้เหมาะกับพื้นที่ เพื่อพัฒนาโครงสร้างที่เพิ่มแรงลมและกระจายอากาศได้ดีขึ้น เช่น ช่องลมเข้า–ออกหลายทาง หรือการออกแบบตามหลัก Fluid Dynamics

๑๓. เอกสารอ้างอิง

หน่วยงานความปลอดภัยด้านสารมลพิษในร่ม (Indoor Air Quality Program). (2564). แนวปฏิบัติเพื่อควบคุมมลพิษในห้องเรียน. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.

WHO. (2020). *Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air*. World Health Organization.

Kumar, S., Verma, A., & Das, P. (2019). IoT-based Smart Air Purifier for Domestic Air Quality Control. Journal of Environmental Electronics.

Chen, Y., Zhao, H., & Lin, W. (2022). AI Enabled Speed Control for Household Air Purification Systems. International Journal of Smart Automation, 15(4), 101–112.

Mahmood, A., Khalid, S., & Lee, Y. (2024). *Smart Classroom Ventilation Systems to Improve Indoor Air Quality*. Indoor Environmental Engineering Review, 32(2), 45–58.

Fukuda, T., et al. (2023). *Hybrid Filtration Mechanisms for Particulate and VOC Removal*. Japanese Journal of Indoor Air Research.