

Implementation of Air Pollutant Monitoring System using UAV with Automatic Navigation Flight

Sang-Hoon Shin*, Myeong-Chul Park**

*Professor, Dept. of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

**Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose a system for monitoring air pollutants such as fine dust using an unmanned aerial vehicle capable of autonomous navigation. The existing air quality management system used a method of collecting information through a fixed sensor box or through a measurement sensor of a drone using a control device. This has disadvantages in that additional procedures for data collection and transmission must be performed in a limited space and for monitoring. In this paper, to overcome this problem, a GPS module for location information and a PMS7003 module for fine dust measurement are embedded in an unmanned aerial vehicle capable of autonomous navigation through flight information designation, and the collected information is stored in the SD module, and after the flight is completed, press the transmit button. It configures a system of one-stop structure that is stored in a remote database through a smartphone app connected via Bluetooth. In addition, an HTML5-based web monitoring page for real-time monitoring is configured and provided to interested users. The results of this study can be utilized in an environmental monitoring system through an unmanned aerial vehicle, and in the future, various pollutants measuring sensors such as sulfur dioxide and carbon dioxide will be added to develop it into a total environmental control system.

▶ **Key words:** Air Pollutant, UAV, Autonomous Flight, Monitoring System, Arduino

[요 약]

본 논문에서는 자동항법 비행이 가능한 무인기를 활용하여 미세먼지 등의 대기 오염물질을 모니터링 하는 시스템을 제안한다. 기존 대기 질 관리 시스템은 고정된 센서 박스를 통한 관제나 조종 장치를 이용한 드론의 측정 센서를 통하여 정보를 취득하는 방식을 사용했다. 이는 한정된 공간과 모니터링을 위한 별도의 데이터 수집 및 전송들의 추가적인 절차가 진행되어야 하는 단점을 가진다. 본 논문에서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 비행정보 지정을 통한 자율항법 비행이 가능한 무인기에 위치 정보를 위한 GPS 모듈과 미세먼지 측정을 위한 PMS7003 모듈을 내장하고 수집된 정보는 SD 모듈에 저장하고 비행 종료 후 전송버튼을 통해 블루투스로 연결된 스마트폰 앱을 통하여 원격 데이터베이스에 저장되는 원스톱 구조의 시스템을 구성한다. 또한, 실시간 모니터링을 위한 HTML5 기반의 웹 모니터링 페이지를 구성하여 관심 사용자에게 제공된다. 본 연구의 결과는 무인 비행체를 통한 환경 모니터링 시스템에 활용될 수 있으며, 향후 아황산가스 및 이산화탄소 등의 다양한 오염물질 측정 센서를 추가하여 토털 환경 관제 시스템으로 발전시키고자 한다.

▶ **주제어:** 공기 오염물질, UAV, 자율비행, 모니터링 시스템, 아두이노

-
- First Author: Sang-Hoon Shin, Corresponding Author: Myeong-Chul Park
 - *Sang-Hoon Shin (shshin@ikw.ac.kr), Dept. of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University
 - **Myeong-Chul Park (afrika@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
 - Received: 2022. 07. 25, Revised: 2022. 08. 10, Accepted: 2022. 08. 17.

I. Introduction

미세먼지 등의 오염물을 통한 대기 질 관리를 위한 측정 업무는 정부기관의 특정 측정소에 전문 장비를 설치하여 오염물질에 대한 농도 측정 및 데이터 관리 업무를 수행하고 있다. 이러한 방식은 측정 장비의 설치 간격이 방대하고 측정하고자하는 특정 지역의 대기 상태를 정확하게 확인하기에는 제한적인 단점이 있다[1]. 근간에는 오염물질의 다양화로 특정 지역 내에서 오염 농도가 급격히 높아지는 경향이 있으며, 이는 해당 지역의 거주자에게 큰 영향을 미치게 된다. 대기 오염은 대기공간의 수평 및 수직 방향으로 짧은 거리에서도 급격히 변화하는 것이 특징이다. 이는 다양한 고도에서 대기의 질 관리가 필요한 근본적인 이유이기도 한다. 환경부에서는 2018년부터 드론을 이용한 대기오염물질 불법배출 단속을 실시하고 있지만, 이는 산업단지 내 오염물질을 배출하는 업체를 적발하기 위한 목적이며, 지속적인 대기 질 관리를 위한 모니터링 시스템으로서 역할은 제한적이라 할 수 있다[2]. 본 연구에서는 자동항법 비행이 가능한 무인기를 이용한 대기 질 모니터링 시스템을 통하여 관심 영역의 대기 오염 관리를 위한 모형을 제안한다. 근래 무인 비행체는 무인택배, 토지 측량, 공공시설관리, 안전 방재 등의 다양한 영역에 활용되고 있다. 드론과 같은 대표적인 무인 비행체는 대부분 외부에서 조종자가 조종을 통하여 비행을 하는 형태를 하고 있다. 조종 장치를 통한 무인기는 한정된 거리에서만 운영되며 영상정보를 통한 원거리 운영에서도 상시 모니터링이라는 제한점을 갖는다. 또한 학생들의 자율비행체와 같은 알고리즘 학습에서도 본질적인 알고리즘보다 비행체를 제작하는데 많은 시간을 소비하여 교육의 효과성을 저하하는 원인이 된다. 본 연구에서는 자율비행이 가능한 비행체를 제안하고 대기의 오염물질의 측정하여 모니터링 하는 관제 시스템을 설계 및 구현하여 기본적인 자율비행 알고리즘뿐 아니라 사회 환경적 요소에 관심을 증대하는 교육의 목적을 겸하는 관제 시스템을 제안하고자 한다. 또한, 환경정보 수집을 위하여 비행체에 환경정보 수집모듈을 장착하고 수집된 정보는 착륙 후 모바일 앱과 블루투스로 연결하여 수집 정보를 원격 데이터베이스에 저장하고 모니터링 웹페이지를 통하여 확인할 수 있게 한다. 논문의 구성은 2장에서 드론을 이용한 대기 오염물질 측정에 대한 기존 연구를 살펴보고 3장에서 구현을 위한 기존 비행체에 장착하는 환경측정 모듈의 설계에 관해 기술한다. 4장에서 실제 구현된 모니터링 시스템에 대해 상세히 설명하고 5장에서 결과에 관해 기술한다.

II. Background

1. Related works on IoT-based Air Quality Monitoring

대기오염 물질의 상태를 측정하고 모니터링 하는 연구는 지속적으로 이루어져 왔다. 가압 풍선이나 위성 이미지는, 지상 관측소를 사용하는 기존 측정 방법은 고정형에 가까운 시공에 따른 분해 및 위치 이동이 불가능하고 경제적으로 고가의 장비로 경제성이 저하되는 문제점을 가진다[3]. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 2017년을 기점으로 무인 비행체를 이용한 대기오염 물질의 측정이 활발하게 전개되고 있는 실정이다. Johnston(2019)은 비행체를 사용하지는 않았지만, 저 전력 광역네트워크 기반에서 동작 가능한 무선 네트워크 트랜시버를 장착한 측정 장비를 제안하여 영국 사우샘프턴 전역에 대해 모니터링이 가능함을 보였다[4]. Marinov(2019)는 다양한 고도에서 대기오염 물질의 정보를 모니터링하기 위하여 저렴한 UAV와 공기 질 센서를 사용하여 3차원 대기 오염 물질 농도 데이터를 수집하기 위한 방법을 제안하였다[5]. 하지만, 사용자가 원하는 위치의 대기 상태를 직관적으로 식별하기에는 많은 어려움이 있고 비행체를 이용하고자 하는 시도적인 측면에 큰 의미가 있다.

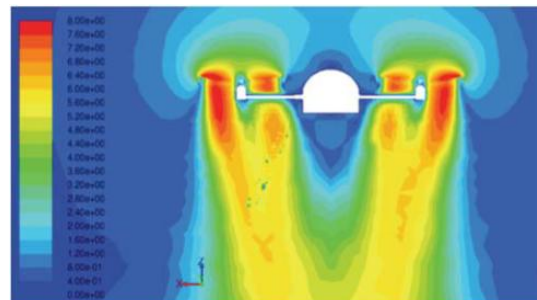


Fig. 1. Influence of rotation of the drone blades on the air movement around the UAV[5]

Ajitesh Kumar(2020)은 일산화탄소, 연기 및 PM 수준을 측정하는 실시간 주변 데이터를 분석하여 모바일 대기 질 모니터링 시스템을 가능하게 하는 사물 인터넷(IoT)을 개발했다. 단순 부저 장치를 통해 사람들에게 경고하는 협소한 공간에 사용되는 제안점이 있다[6]. Adochiei(2020)은 CO, CO₂eq, EtOH, H₂, H₂S, NO₂, O₃, PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM_{4.0}, PM₁₀, RH/T, Rn, SO₂과 같은 다양한 주변 공기 매개변수의 실시간 측정을 수행할 수 있는 실내 공기 질 모니터링 시스템(IAQMS)을 제안했다. 총 8개의 감지기를 이용하였으며, Arduino Mega 2560 마이크로컨

트롤러에 의해 처리되고 Wi-Fi 모듈을 통해 서버로 전송하여 모바일 앱에 그래프로 표시하게 하였고 사용자의 식별 직관력을 높였다[7].

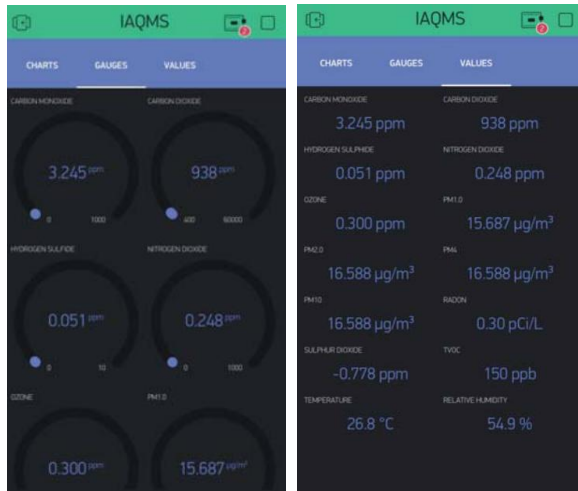


Fig. 2. Real-time pollutant levels displayed by the IAQMS[7]

Jaeseok Yun(2021)은 LoRa 기반 무선 하드웨어 보드와 저가형 PM 센서로 구성된 PM 감지 시스템을 소개했다. PM 모니터링의 신뢰성 확보를 위해 자가 회귀 통합 이동 평균 및 벡터 자동 회귀 이동평균 모델을 기반으로 PM예측 방법을 제안하여 단일 노드 기반의 예측 모델보다 향상된 성능을 보였다[8]. 하지만, 본 감지기도 지상이나 빌딩에 고정하는 측정기로 고도에 변화에 따른 측정은 어려운 제한점이 있다.

2. Air Quality Monitoring using Drones

Hirokazu Madokoro(2021)은 멀티 센서 서브시스템 모듈을 드론에 장착하여 대기의 미세먼지를 측정하고 실시간 모니터링 및 시각화 결과를 제시하였다[9]. 이는 장거리 무선 통신을 부가적으로 사용해야 하므로 자유로운 사용성에 제한점을 갖는다. Huda Jamal Jumaah(2021)은 UAV 기반의 PM2.5 및 온도도 모니터링 시스템을 제안하였다[10]. 하지만, 정보 수집을 통한 별도의 시각화 시스템이 연동되지 않은 점과 비행체의 수동 비행이라는 제한점을 가진다. Roberto De Fazio(2021)은 대기 및 소음 공해를 모니터링하기 위한 모바일 센서 노드를 제시했다. 노드는 RC 드론에 장착되어 넓은 지역을 빠르게 모니터링하며 일정한 시간 간격으로 환경 매개변수를 샘플링 한다. 특히, 드론에 장착된 카메라를 통하여 폐기물 화재를 감지하는 특징을 가진다[11].



Fig. 3. Pictures describing two application scenarios: in a landfill[11]

본 연구에서는 박명철[2021]이 기존 연구에서 개발한 경로 및 고도 지정이 가능한 자율비행 비행체[12]에 대기 오염물질을 측정할 수 있는 데이터 수집 모듈을 장착하고 수집된 정보를 모바일 앱을 통하여 원격 모니터링 시스템에 전달하는 시스템을 제안한다. 별도의 무선 통신망 없이 블루투스 모듈과 모바일 단말기로 대기의 환경정보를 모니터링 하는 경제적인 시스템으로 별도의 비행체 조종기술이 없어도 정해진 경로를 비행할 수 있는 자동 경로추적 체제를 가진다.

III. Design

1. Air Pollutant Monitoring System

Fig. 4는 제안하는 전체 시스템의 구성 요소 간 기능과 데이터 흐름을 보인 것이다. 그림 하단의 ①은 기존 연구[12]에서 구현한 자율비행이 가능한 비행체이며, 본 연구에서는 실내 비행이 아닌 실외의 오픈된 공간에서 비행하므로 기존의 자기위치추정기법을 통한 위치 인식 체계를 배제하여 보다 빠르게 경로 비행을 할 수 있게 수정했다. ②에서 보이는 데이터 수집 모듈은 비행체의 독립적으로 구성하였으며, 비행체의 경로 이동과 위치기반의 환경정보 수집의 중복된 동작의 간섭을 피하기 위함이다. 독립된 모듈로 구성되어 위치인식을 위한 GPS 모듈도 별도로 부착된다. 본 연구에서는 미세먼지 측정 센서(PMC7003)와 측정시간 기록을 위한 RTC(Real Time Clock), 측정 데이터 저장을 위한 SD Card로 구성되어있다. 수집되어 저장된 환경정보를 모바일 앱과 연동하여 전달하기 위하여 블루투스 모듈(HC-06)이 추가적으로 구성된다. ③에서 보이는 모바일 앱은 별도의 무선 네트워크 없이 데이터를 원격지로 전송하기 위한 인터페이스 역할을 한다. 블루투스로 데이터 수집 모듈에서 모바일 앱에 전달된 데이터는 순차적으로 웹 데이터베이스에 POST방식으로 전달된다. ④의 웹 데이터베이스는 MySQL DB를 사용하고 HTML5 기반

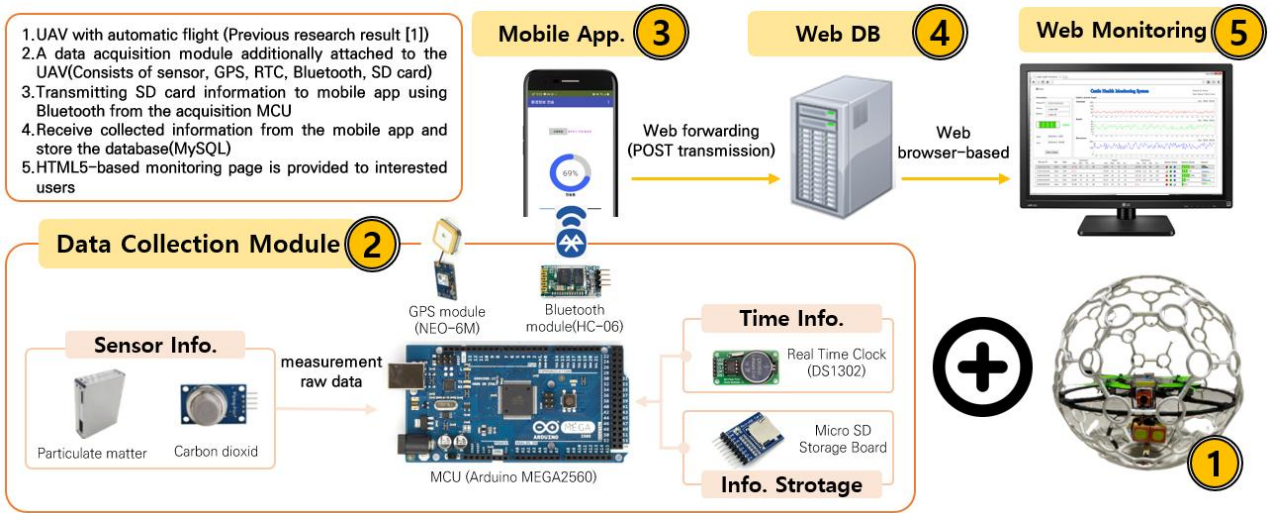


Fig. 4. Components and Functions of the System

의 페이지로 구성된 ⑤와 같이 웹 모니터링을 사용자에게 제공한다.

2. Air pollution measurement module

대기의 오염물질에 대한 농도를 수집하는 환경정보 측정 모듈의 회로도는 Fig. 5와 같이 구성된다. 모듈 동작을 위한 MCU는 Arduino MEGA2560을 사용하며 미세먼지 측정을 위한 센서는 레이저 방식의 PMS7003 센서를 사용하며 전체적인 구성 부품은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of implemented Drone

Part	Item	Specifications
Main	MCU	Arduino MEGA 2560
Sensor	Particulate Matter	PMS7003
Comm.	GPS	NEO-6M
	Bluetooth	HC-06
Time	RTC	DS1302
Storage	SD Card	Micro SD card Adapter

PMS7003 센서는 검출 가능한 입자의 크기는 $0.3\mu\text{m}$ 이며 측정 범위는 $0.3\sim 1.0\mu\text{m}$, $1.0\sim 2.45\mu\text{m}$, $2.5\sim 10\mu\text{m}$ 이다. 또한 입자의 농도를 디지털 형태로 출력하는 특징을 가진다. 특히, 대기 중 부유 입자를 방사하여 산란을 수집하는 방식으로 레이저 산란 원리를 사용한다. 또한, 다양

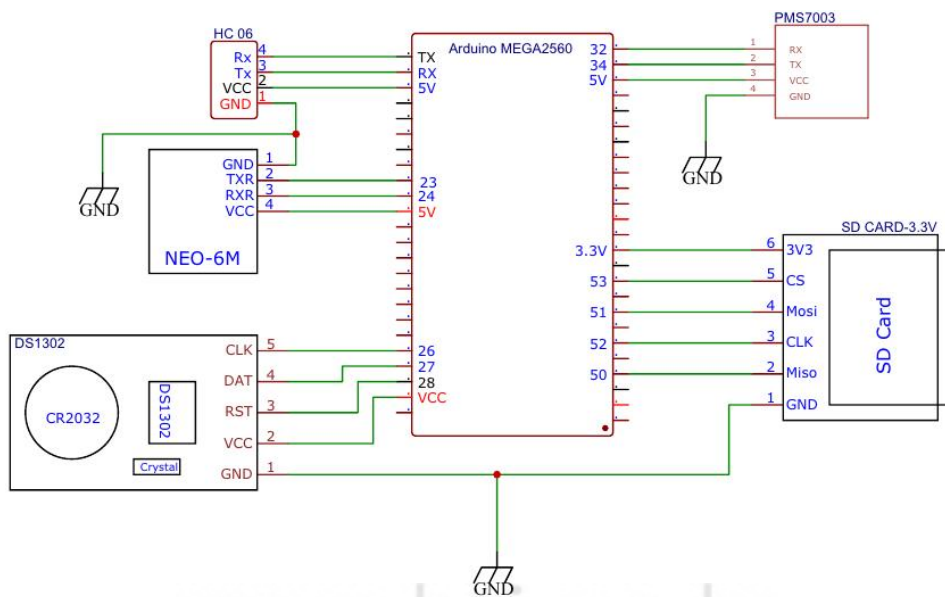


Fig. 5. Circuit design of Air pollution measurement module

한 자연 환경에 사용할 수 있도록 가용 온도는 $-10\sim 60^{\circ}\text{C}$ 이며 습도는 $0\sim 99\%$ 로 강인성을 가진다. MCU의 동작 전원은 DC 5V이며, 일반적으로 전원 인가 20초 이후에 안정적인 센서 값을 얻는다. 위치정보는 드론에 장착된 GPS 모듈 이외의 별도의 NEO-6M 소형 저가 GPS를 이용한다. GPS 수신 신호 중에서는 \$GPGGA 값을 이용하여 경도와 위도 값을 취한다. UTC time 필드는 별도로 사용하지 않고 3번째 위도(Latitude) 필드와 5번째 경도(Longitude) 필드만 취하여 위경도로 인식한다. Table 2의 위도 예시의 경우, 3610.2867은 $dd+(mm.mmmm/60)$ 으로 계산하면 36.171445가 되고 경도 예시의 경우, 12827.8570은 $ddd+(mm.mmmm/60)$ 으로 계산하면 128.464283으로 위경도를 계산할 수 있다.

Table 2. GPGGA Format of GPS Signal

Field	Note	Example
Sentence ID	Global Pos. System Fixed Data	GPGGA
UTC Time	hhmmss.sss	091612.000
Latitude	ddmm.mmmm	3610.2867
N/S Indicator	N:North, S:South	N
Longitude	dddmm.mmmm	12827.8570
E/W Indicator	E:East, W:West	E

실제 측정시간을 측정정보와 함께 저장하기 위한 RTC 모듈은 DS1302 칩셋을 사용하며 전원이 인가되지 않아도 전지(CR2032)를 이용하여 실시간으로 시간정보를 제공한다. 대기 상공에서 측정된 센서 정보들은 실시간 통신을 통한 데이터 전송에는 많은 어려움이 있으므로 내장된 SD 카드에 정보가 저장된다. 저장되는 데이터 프로토콜은 Table 3과 같다.

Table 3. Data Protocol of Stored Information

Part	Type	Example
Time	Character(19)	06/10/2022 11:03:12
Latitude	Float(32)	36.171445
Longitude	Float(32)	128.464283
PM1.0	Integer	0 ~ 200
PM2.5	Integer	0 ~ 250
PM10	Integer	0 ~ 400

IV. Implementation

1. Implementation of Drone

Fig. 5의 회로도를 근간으로 대기 질 측정 모듈을 제작했다. Fig. 6의 (a)와 같이 기존 드론의 상단부에 모듈을 장착할 수 있는 프레임을 만들고 Fig. 6의 (b)와 같이 드론을 상단에 설치하였으며 GPS 안테나와 PMS7003 센싱부는 측정 및 수신 용이성을 위하여 외부로 돌출하게끔 구현했다. 드론의 하단은 드론 날개의 회전 모터에 의한 와류 현상으로 센싱 감도가 저하되는 현상을 보여 상단부에 설치했다. 영상부는 Fig. 6의 (d)와 같이 드론의 정면부에 부착하였으며 환경정보 수집이후에 위치정보의 정확성을 확인하기 위하여 5초단위로 장면 이미지를 저장하게 수정했다. 옵티컬 플로우 센서는 드론의 하부(c)에 부착하는데 건물이나 시설물 상단에 착륙해야 하는 경우를 대비하여 안정성을 확보하기 위한 용도로 이용한다.

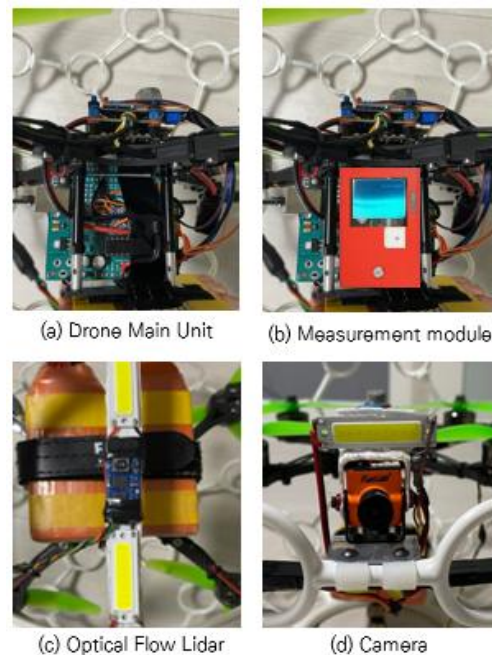


Fig. 6. Drone with measurement module

최종 완성된 환경정보 측정 드론은 Fig. 7과 같으며, 시설물이나 좁은 건물 사이를 이동하면서 충돌하는 경우를 대비하기 위하여 보호막 구조를 추가하였는데, 탄성도를 가진 재질과 완충적인 복원 구조를 통하여 가벼운 충돌에는 반동을 통한 자체 호버링 기능이 동작하도록 설계되었다.



Fig. 7. Drone equipped with Air pollution measurement module

2. Operation procedure of Drone

Fig. 8은 대기오염 측정 드론의 표준적인 동작 알고리즘을 보인 것이다. 드론과 측정 모듈은 전원은 분리되어 있으므로 측정 모듈의 전원을 인가하고 각종 센서의 동작 초기화가 완료되면 드론 전원을 인가한다.

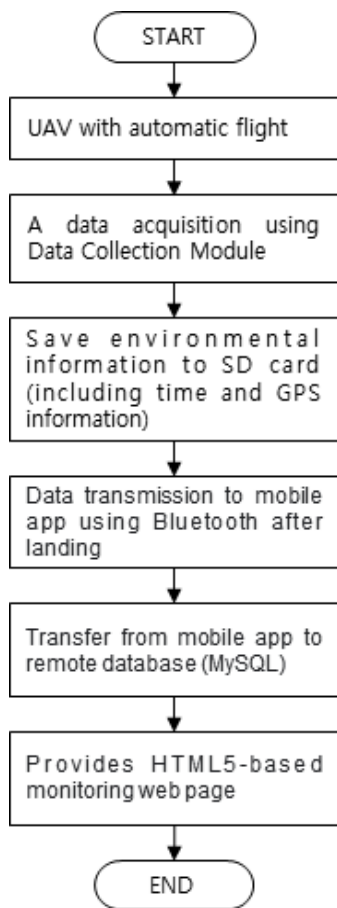


Fig. 8. Flow Chart of Air Pollutant Monitoring System

드론의 조정 장치의 이륙 명령을 수신하면 지정된 경로 정보를 확인하고 출발지점에서 가장 가까운 경로점으로 이동하게 된다. 드론이 첫 경로점에 도달하면 5000ms 단위로 대기오염 상태에 따른 센싱값을 수집하게 된다. 측정

된 센싱 정보는 Table 3에서 보인 데이터 프로토콜 구조에 따라 GPS 신호의 위치정보와 RTC 모듈의 시간정보와 함께 SD 카드에 저장되게 된다. 경로정보의 마지막 경로점에 도달하거나 조정 장치의 착륙 명령이 수신되면 즉시 대기오염 상태 수집 모듈의 동작을 중지하고 지정된 복귀 장소로 귀환하게 된다.

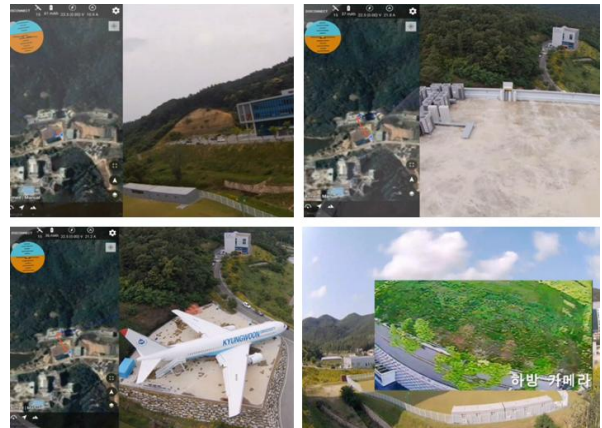


Fig. 9. A shot image of a drone that measures air pollution while flying

Fig. 9는 경로점에 따라 자율 비행하는 수집 드론의 실제 비행을 보인 것이다. 상단 왼쪽은 첫 경로점으로 이동한 이미지이고 상단 오른쪽은 시설물 옥상 위에서 대기오염 상태를 수집하고 있는 이미지이다. 그리고 하단 왼쪽은 수직으로 고도를 높여 상태 정보를 수집하는 모습이고 하단 오른쪽은 착륙 명령에 따라 복귀지점에서 하방 카메라를 통해 착륙하는 과정을 보인 것이다.

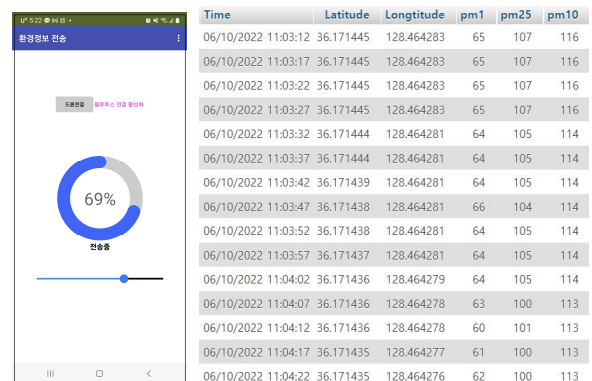


Fig. 10. Data Transfer Mobile App and Table Contents in DB

착륙이후에 수집된 환경정보를 원격 데이터베이스로 전송하기 위하여 Fig. 10과 같이 구현된 모바일 앱에서 [드론연결] 버튼을 클릭하면 지정된 디바이스와 연결을 활성화

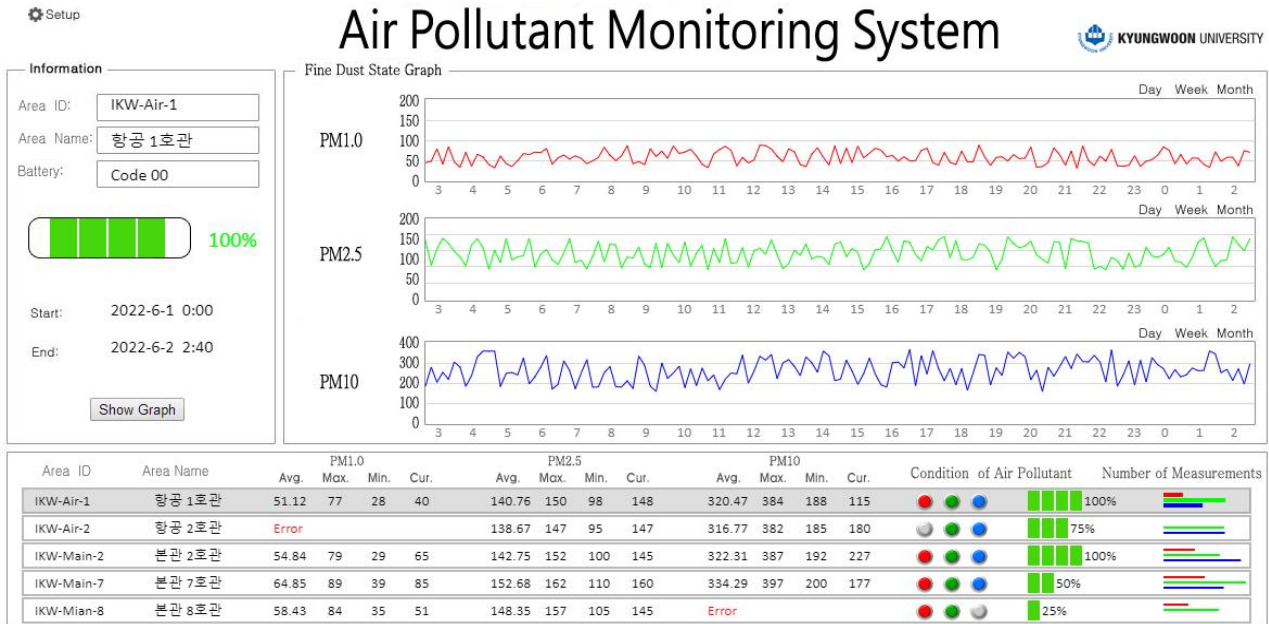


Fig. 11. Web Page of Air Pollutant Monitoring System

화 한다. 연결이 활성화되면 수집 모듈의 SD 카드에 저장된 정보를 전송받아 원격 데이터베이스에 전송한다. Fig. 10의 오른쪽은 MySQL DB에 저장된 결과를 보인 것으로 SD 카드에 저장된 센서 정보와 일치함을 확인했다.

3. Web Monitoring System

Fig. 11은 HTML5 기반의 최종적인 모니터링 웹 페이지를 보인 것이다. 데이터베이스에 기록된 전체 데이터를 기반으로 경도와 위도를 중심으로 영역 식별자(Area ID)를 부여한다. 영역 식별자는 구미시 소재 경운대학교의 각 건물을 대상으로 한다. 세 가지 미세먼지(PM1.0, PM2.5, PM10)의 측정 농도는 Fig. 11과 같이 각 영역별 시계열 형태로 되며, 하단에는 분류된 영역별 상태를 확인할 수 있다. 각 미세먼지 분류별로 측정 기간 내의 평균, 최대, 최소, 현재 값을 표시하고 있으며, 수집 모듈에서 전달된 값 중에 결측치나 측정이 되지 않는 미세먼지 분류가 있다면 “Condition of Air Pollutant” 영역에 상태가 표시되고 해당 수치영역에는 “Error”로 표시된다. 또한, 해당 센서의 측정량을 “Number of Measurements” 영역에 표시한다. 전체적인 드론의 동작과 환경정보 모듈의 수집 및 데이터 전송과 모니터링 페이지가 정상 동작함을 확인 할 수 있었다.

V. Conclusions

본 논문은 별도의 무선 네트워크 시스템을 배제하고 편리하고 경제적인 미세먼지 등의 대기 오염물질을 모니터

링 하는 시스템을 제안했다. 기존 연구와의 차별점은 측정된 대기오염 정보를 모바일 앱을 이용하여 실시간으로 원격 데이터베이스에 전송하고 모니터링 할 수 있다는 것이다. 디지털 트윈 기반의 건물관리를 목적으로 기존에 구현한 자율비행이 가능한 비행체를 이용하였으며, 환경정보 수집을 위하여 Arduino 기반의 모듈을 설계하여 비행체에 결합시켰다. 수집 모듈은 위치 정보와 더불어 미세먼지 측정 정보를 SD 카드에 저장하고 비행 종료 후에 모바일 앱과 블루투스로 연결하여 정보를 전송하여 별도의 무선 네트워크를 사용하지 않는다. 데이터베이스에 저장된 환경 정보는 HTML5 기반의 캔버스를 이용하여 접근성 용이한 모니터링 페이지를 사용자에게 제공한다. 비행체와 수집 모듈이 독립적으로 구현되어 중복된 기능적 모듈을 가지며, 다양한 환경정보를 수집하지 못하는 제한점을 가진다. 이는 향후, 모듈 통합과 멀티 센서 셋업 모듈을 통하여 해결하고자 한다. 또한, 보다 직관적인 데이터 전달을 위한 시각화 모듈의 개발을 통하여 통합 환경 관제 시스템으로 발전시키고자 한다.

REFERENCES

- [1] Duck-Sung Kim, Jeong-Ho Park, "Problems and Improvements in the Quality Control of the Air Monitoring Network," *Journal of Environmental Science International*, 29(8); 847~855; August 2020. DOI : 10.5322/JESI.2020.29.8.847
- [2] Nam Ho Kim, "Development of atmospheric environment

- information collection system using drone," *Smart Media Journal*, Vol.7, No.4, pp. 44-51, Dec. 2018. DOI : 10.30693/SMJ.2018.7.4.44
- [3] Yungaicela, Noe et al., "Design and Implementation of an UAV-based Platform for Air Pollution Monitoring and Source Identification," *Conference: Congreso Nacional de Control Automático 2017*, pp. 288-293, November 2017.
- [4] Johnston SJ et al., "City Scale Particulate Matter Monitoring Using LoRaWAN Based Air Quality IoT Devices," *Sensors (Basel)*, Vol. 19(1): 209, Jan. 2019. DOI : 10.3390/s19010209
- [5] M. B. Marinov et al., "UAVs Based Particulate Matter Pollution Monitoring," *2019 IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET)*, pp. 1-4, Oct. 2019. DOI : 10.1109/ET.2019.8878586.
- [6] A. Kumar, M. Kumari and H. Gupta, "Design and Analysis of IoT based Air Quality Monitoring System," *2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)*, pp. 242-245, May 2020. DOI : 10.1109/PARC49193.2020.236600.
- [7] F. -C. Adochiei et al., "Electronic System for Real-Time Indoor Air Quality Monitoring," *2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)*, pp.1-4, Dec. 2020. DOI : 10.1109/EHB50910.2020.9280192.
- [8] J. Yun and J. Woo, "IoT-Enabled Particulate Matter Monitoring and Forecasting Method Based on Cluster Analysis," in *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 8, No. 9, pp. 7380-7393, May 2021. DOI : 10.1109/JIOT.2020.3038862.
- [9] Hirokazu Madokoro et al., "Development of Drone-Mounted Multiple Sensing System with Advanced Mobility for In Situ Atmospheric Measurement: A Case Study Focusing on PM2.5 Local Distribution." *Sensors*, Vol. 21(14), 4881, July 2021. DOI : 10.3390/s21144881
- [10] Huda Jamal Jumaah et al., "Development of UAV-Based PM 2.5 Monitoring System," *Drones*, Vol. 5(3), 60, July 2021. DOI : 10.3390/drones5030060
- [11] De Fazio, R. et al., "A Sensor-Based Drone for Pollutants Detection in Eco-Friendly Cities: Hardware Design and Data Analysis Application," *Electronics*, Vol. 11(52), Dec. 2021. DOI : 10.3390/electronics11010052
- [12] Sang-Hoon Shin, Myeong-Chul Park, "Design of an Exploration Drone for Digital Twin based Building Control," *Journal of The Korea Society of Computer and Information* Vol. 26(5), pp. 9-16, 2021. DOI : 10.9708/jksci.2021.26.05.009

Authors



Sang-Hoon Shin received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Naval Architecture and Ocean Engineering from Seoul National University, Korea, in 1990, 1993 and 2000. From 1999 to 2017, he had been a senior

researcher at Hyundai Heavy Industries. He is currently a Professor in the Department of Aero Mechanical Engineering, Kyungwoon University. He is interested in Design and Strength Evaluation of Structures, Optimization Technique and Optimal Shape Design.



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, a M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002, 2007.

He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Virtual Reality, and Parallel Programming.