

미세먼지 수집 드론의 구조 제안 및 검증

조영준* · 장민석**

Suggestion and Verification of Architecture for Collecting Fine Dust using Drone

Young-Jun Jo* · Min-Seok Jang**

요약

급격히 증가하는 자동차 수, 발전량 증가 등으로 인하여 미세먼지로 인한 환경오염이 심각한 사회문제로 대두되고 있는 실정이다. 특히 요즘 미세먼지 문제가 이슈가 되고 있다. 50개가 넘는 국가들이 권고치 이상의 미세먼지로 인해 피해를 받고 있으며 각 피해국들은 미세먼지 저감 대책 및 발생을 최소화하기 위한 방안을 연구하고 있다. 하지만 현재 고정형 미세먼지 취득 장치로는 다양한 포인트의 미세먼지 데이터를 수집하기 힘든 상황이며, 기존 드론을 활용한 방법에서도 회전 날개의 영향으로 인해 정확한 데이터를 수집하기 힘든 실정이다. 본 논문에서는 드론을 활용하여 미세먼지를 측정할 때 센서부의 구조를 제안하고 이의 효율성을 보여주고자 한다.

ABSTRACT

Due to the rapidly increasing number of cars and power generation, environmental pollution caused by fine dust is becoming a serious social problem. Especially fine dust becomes an important issue nowadays. More than 50 countries are suffering from fine dust above the recommended level, and each affected country is studying the measures to reduce fine dust and minimize its occurrence. However, at present, it is difficult to collect fine dust data from the various points with fixed fine dust acquisition drones, and also to collect accurate data due to the influence of rotating blades even in the existing drone method. In this paper, we propose a method for collecting fine dust using drones and a sensing parts architecture and show its effectiveness.

키워드

Drone, Fine Dust Sensor, Drone's Architecture, Rotating Blade's Effect
드론, 미세먼지 센서, 드론 구조, 회전 날개의 영향

1. 서론

최근 미세먼지가 큰 사회적인 문제로 대두되고 있다. 발전소, 자동차 매연 등 석유, 석탄과

같은 화석 연료의 연소 과정에서 발생하는 배출가스가 미세먼지의 주 유발원으로 알려져 있다. 미세먼지로 규정하는 마이크로입자의 최대 크기는 $10\mu\text{m}$ 로 일반적인 먼지와 비교했을 때 매우

* 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부
(zrsa@kunsan.ac.kr)

** 교신저자 : 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부
• 접수일 : 2019. 10. 25
• 수정완료일 : 2019. 12. 20
• 게재확정일 : 2020. 02. 15

• Received : Oct. 25, 2019, Revised : Dec. 20, 2019, Accepted : Feb. 15, 2020

• Corresponding Author : Min-Seok Jang

School of Computer & Information & Communication Engineering, College of Engineering, Kunsan National University,
Email : msjang@kunsan.ac.kr

작고 가벼우며 그림 1과 같이 대기를 통해 주변 국에까지 쉽게 영향을 미칠 정도로 광범위한 지역을 오염시킨다¹⁾. 특히 2.5 μ m 미만의 미세먼지는 호흡과정에서 걸러지지 못하고 폐포에 직접적으로 흡착되며 황사와 달리 황산염(SO₄), 질산염(NO₃), 암모니아(NH₃) 등으로 이루어져 있다 [1]. 기관지염, 천식 및 만성폐쇄성폐질환, 폐렴, 협심증, 심근경색 등 각종 알레르기 및 염증의 원인으로 알려져 있다²⁾.

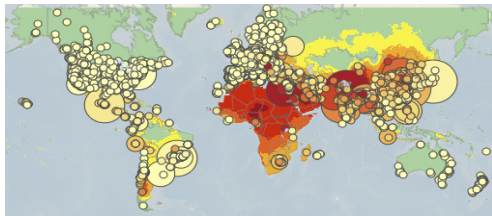


그림 1. 세계 대기 질 PM2.5 대기오염지수
Fig. 1 World air quality index and PM2.5 air pollution index

세계보건기구(WHO)에 따르면 세계인구의 86%(2016)가 AQG(Air Quality Guideline) 수준을 준수하지 못하는 미세먼지 대기오염에 영향을 받고 있다고 발표했다. 또 이로 인해 해마다 600만 명 이상의 목숨을 잃고 있는 것으로 추산하고 있으며³⁾, 세계보건기구(WHO) 산하의 암연구소 IARC (: International Agency for Research on Cancer)에서 2013년에 1군 발암물질로 지정한 바 있다. 또한, 세계보건기구는 1987년 PM10, PM2.5 미세먼지에 대한 대기질 가이드라인을 공개해 관리하고 있으며, 국제암연구소에서 표1 과 같이 미세먼지를 사람에게 발암이 확인되는 1군 발암물질로 지정 했다³⁾.

표 1. IARC의 발암 물질 분류
Table 1. IARC carcinogenic agents

| Group | Description |
|----------|--|
| Group 1 | Carcinogenic to humans |
| Group 2A | Probably carcinogenic to humans |
| Group 2B | Possibly carcinogenic to humans |
| Group 3 | Not classifiable as to its carcinogenicity to humans |
| Group 4 | Probably not carcinogenic to humans |

이와 같이 미세먼지로 인해 심각한 환경오염 문제에 직면하고 있고, 국민 건강에 큰 위협이 되고 있으며, 국가 기구 설립을 하여 정부차원에서 대처하기 위해 준비하고 있다. 그리고 미세먼지에 대응하기 위해 예산도 1조원 이상을 검토하고 있으며, 미세먼지 문제가 우리나라에서 매우 중요하고 우선적으로 처리해야 할 심각한 문제로 떠오르고 있다.

현재의 한국 정부의 미세먼지 관측은 대부분 지상 20M 이내에 설치된 전국 264개 무인 관측소에 의존하고 있다. 표 2 와 같이 특정 고도의 미세먼지 정보만 포집되며 많은 측정소가 실제 거주지역과 동떨어지거나 해당 지역의 주요 통행고도와 관계없는 위치에 설치되어 있어 실제 체감과 상이한 측정 수치를 나타내고 있다.⁴⁾

표 2 . 고도별 미세먼지 측정소
Table 2. Number of fine dust measuring stations by altitude

| Altitude | < 10m | 10~20M | > 20M |
|-------------|-------|--------|-------|
| # of Points | 40 | 203 | 21 |

환경부에 따르면, 고도차에 의한 미세먼지 분포도의 차이는 미미하다고 발표하였으나⁴⁾, 해당 발표의 통계는 짧은 기간 동안의 한시적 측정 결과로써 다른 시점의 측정 결과에 따르면 충분히 의미적 차이가 발생함을 확인할 수 있다⁵⁾.

1) www.airvisual.com/world-most-polluted-countries
2) www.me.go.kr/home/file/readDownloadFile.do?fileId=97828&fileSeq=1&openYn=Y
3) <http://monographs.iarc.fr/eng/Classification/index.php>

4) www.yna.co.kr/view/AKR20180114024600004
5) news.chosun.com/site/data/html_dir/2018/03/28/2018032800241.html

위와 같은 문제들을 해결하고자 국내외 연구소 등에 의해 이동에 제약이 적은 드론을 활용한 미세먼지 포집의 연구가 진행되고 있다[5][6]. 특히 [7]에 따르면, 드론을 통한 대기 환경 조사 시 드론 프로펠러에 의한 대기 흐름으로 인해 센서 측정 수치가 비행 전과 비교하여 약 0.2~0.5%가 더 적게 측정됨을 나타내고 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위해 본 논문에서는 미세먼지를 측정하기 위해 드론을 통해 데이터를 수집하고, 드론이 데이터 수집 중에 바람 영향에 의한 오차 발생을 줄이기 위해 기존과 다른 구조물을 설계하고 제작하였다.

II. 미세먼지 수집 드론 구조 제안/실험

2.1 관련연구

고도에 따른 블랙 카본 농도 측정값의 상관관계를 도출하려 하였으나 모든 측정위치에서 해발 100m까지 고도에 따른 농도는 감소하는 경향을 보였으며 그 감소량은 10m 고도 상승하는 동안 0.12~0.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 근접한 결과를 보였다. 고도에 의한 농도의 영향보다, 드론의 프로펠러로 인한 대기기류의 영향으로 인해 측정된 물질이 약 5% 낮게 측정되어 블랙카본농도 측정에 영향을 주었다는 것을 알 수 있었다[8]. 또한 그림 2 와 같이 빨대구조의 인렛(inlet)구조를 설치하여 5%낮게 측정되는 부분을 보완하고 기류의 영향을 최소화 하는 연구도 진행 되었다[9].



그림 2. 미세먼지 측정을 위한 구조
Fig. 2 Inlet structure for fine dust measurement

그리고 건설현장, 수목원, 주거지역으로 측정 지역을 구분하고 고도 150m까지 비행지점을 30m 간격으로 세분화하고 각각의 고도에서 5분 이상의 호버링 비행을 통해 데이터를 얻었다. 이 실험에서는 초미세먼지와 상대습도가 매우 유사하다는 것을 알 수 있으며[6], 프로펠러로 인해 발생하는 오류를 사전에 방지하고자 그림 3 과 같이 실내 환경에서 드론을 폴대에 고정하여 작동시켜서 센서를 통해 프로펠러로 인한 기류방향과 세기를 측정하였다. 그 결과 드론으로부터 40~50cm 까지 바람의 영향이 있는 것을 확인하여 그림 4와 같이 드론 상단에 47.5cm 길이의 프로브를 설치하여 대기환경을 측정할 수 있도록 설계하였다[10].

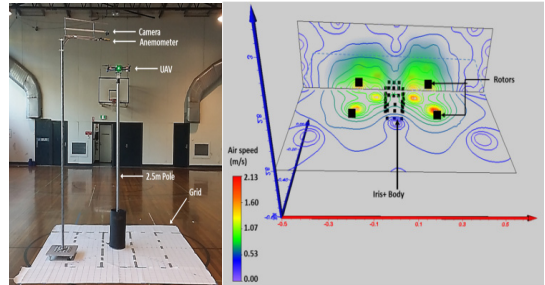


그림 3. 실내 환경에서 드론으로 인한 기류 측정
Fig. 3 Air flow measurement by drone operation in indoor environment

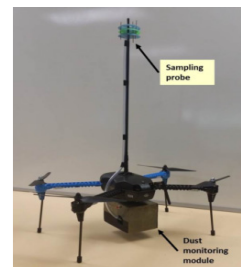


그림 4. 공기저항이 적은 드론
Fig. 4 air-resistant Drone

차량에서 배출하는 대기오염물질을 측정하기 위하여 드론을 이용하였다. 이 실험에서는 프로펠러가 8개인 회전익 드론을 사용하였고, 20m의 고도와 교량에서 15m, 25m, 35m 로 거리를 두

고 바람이 교량에서 드론 쪽으로 부는 다운윈드(downwind) 상황과 반대인 상황인 업윈드(upwind) 상황에서 측정을 하였고, 차량 통행에 의해 크게 미세먼지 데이터가 향상되지 않았지만, 다운윈드와 업윈드에서 측정된 값이 명확하게 차이나는 것을 확인할 수 있었다.[11]

위 연구들은 드론이 비행중일 때 모터 회전의 전과간섭과 프로펠러로 인해 발생하는 바람의 영향으로 인해 정확한 센서값을 취득할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 모터로 인한 바람의 영향을 최소화하기 위해 기존의 구조물과 차별화된 구조물을 설계/제작하였으며, 실험을 통해 그 효율성을 검증하였다. 본 연구에서 제안하는 미세먼지 수집 드론은, 미세먼지 데이터를 센서가 바람의 영향을 받지 않고 측정하도록 유도하는 구조물(미세먼지 유도 구조물)과 미세먼지를 센싱하고 이를 서버에 실시간으로 전달하는 데이터 처리부 등 크게 2가지로 구성되어 있다.

2.2 미세먼지 데이터 처리부 구성

미세먼지 데이터 처리부는 H/W와 S/W로 구성되어 있으며, H/W는 초소형 컴퓨터, 미세먼지 센서, GPS센서, LTE 통신모듈로 구성되어 있으며, S/W는 미세먼지 센서를 처리 및 서버에 전송하기 위한 다중 쓰레드로 구성되어 있다.

H/W의 구성요소로서 초소형 컴퓨터는 Raspberry Pi 3B를 사용하였으며, 미세먼지 센서는 SEN0177 센서를 사용하였다. 이는 디지털 범용 입자 농도 센서로 레이저 산란빛을 통해 $0.3\sim 10\mu\text{m}$ 크기의 단위 체적당(1m³) 부유 입자물질의 수를 얻을 수 있다. GPS 센서는 Ublox사의 neo-6m을 사용하여 고도에 따른 미세먼지 값을 얻었다. 이 센싱 데이터를 서버로 실시간으로 전송하고 통신의 안정성을 확보하기 위해 LTE 통신모듈을 부착하여 원거리 비행시에도 데이터를 확보할 수 있도록 하였다.

S/W는 4개의 다중쓰레드로 구성되어 있으며 Calculation 쓰레드는 각 쓰레드에서 취득한 데이터 중 계산을 요하는 데이터(예: 고도, heading 정보 등)를 계산처리하는 역할을 하며, GPS

Reading 쓰레드는 GPS센서로부터 경위도 정보를 읽어오며, Fine Dust Sensing 쓰레드는 미세먼지 센서로부터 센싱 값을 취득하며, Saving 쓰레드는 콜 시점의 최신 데이터를 먼저 읽어온 후, 내부 큐에 저장하고 별도 콜이 없는 유틸리티 점에 누적된 큐 데이터를 저장 또는 전송하는 역할을 수행한다. 이들 쓰레드들은 Python 코드를 Systemd 데몬으로 등록하여 실시간 자동 측정 가능하도록 구현하였다.

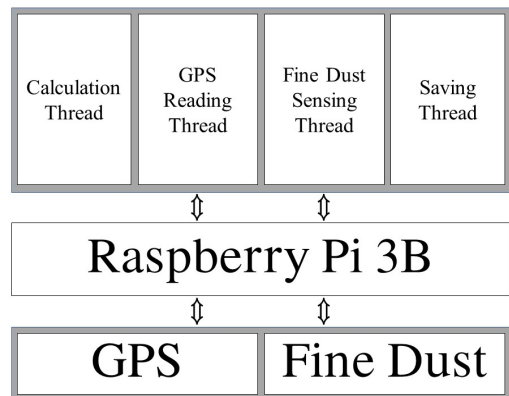
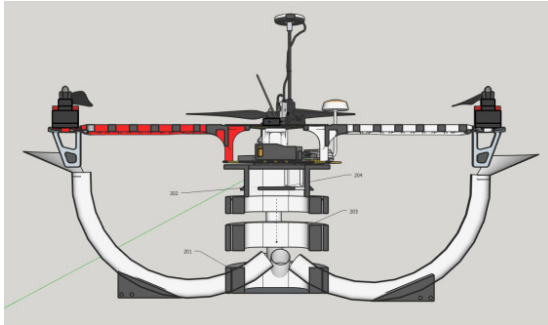


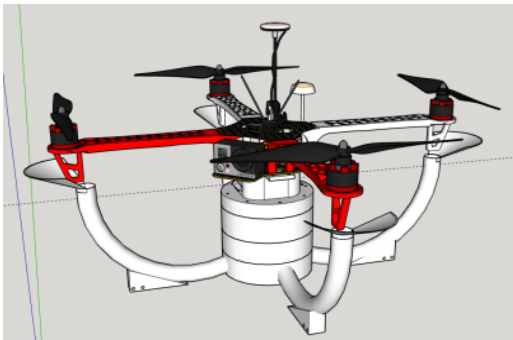
그림 5. 미세먼지 데이터 처리부 구조
Fig. 5. Fine Dust Sensing Data Processor's Architecture

2.3 미세먼지 수집 구조 제안

드론 운행시 프로펠러 바람의 영향을 최소화하여 미세먼지를 측정하기 위해 미세먼지 데이터 수집 구조를 제안 및 제작하였다. 소형 드론에 오버로드가 많을 경우 배터리의 소모량이 급격히 증가하여 비행시간을 단축시키게 된다. 따라서 수집 구조물이 별도의 전력을 소모하지 않도록 그 구조를 설계하였다. 프로펠러 하단에 수집 유도관을 배치시켜 프로펠러 회전시 발생하는 하향풍에 의해 자동으로 미세먼지가 유입될 수 있도록 하였으며, 4개의 유입구로부터 수집된 미세먼지가 센서부에 전달되도록 하였다. 그리고 안정적인 비행을 위한 PID(Proportional Integral Derivative) 값을 튜닝하기 위하여 구조물 부착 후 비행실험을 통해 오토튠(Auto Tune) 작업을 수행하였다[12][13].



(a) Sectional Drawing



(b) 3-Dimensional Drawing



(c) Physical Product

그림 6. 미세먼지 수집 구조
Fig. 6 Fine dust collection structure

2.4 드론비행 실험

미세먼지 수집 실험은 소속 대학 운동장에서 진행하였으며, 각각의 구조 환경에서 고도 15m, 30m, 45m 상공에서 약 5분간 호버링 상태에서 데이터 수집을 진행하였다. 이때 실험 당시 기상

청기준 기온은 22℃, 습도 70%, 풍속 1m/s를 기록하고 있었으며, 국가 측정소에서 제공하는 미세먼지 농도는 표 3 과 같다.⁶⁾

표 3. 실험 당일 미세먼지 측정소 데이터

Table 3. Fine dust monitoring station data

| | PM10 | PM2.5 |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2019-06-14 | 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |

본 실험에서는 미세먼지 센서만 탑재한 방식(Present)과 제안한 구조물을 활용한 미세먼지 센서를 탑재한 방식(Proposed) 2가지 방식으로 실험을 진행했으며, 각각 고도 15m, 30m, 45m에서 약 5분간 호버링을 진행하여 총 약15분간 비행 실험을 진행했다.

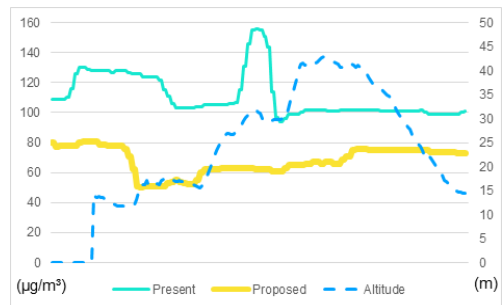


그림 7. 미세먼지 PM₁₀ 측정 결과

Fig. 7 Measurement results of fine dust PM₁₀

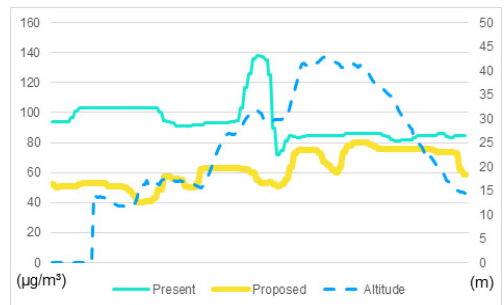


그림 8. 미세먼지 PM_{2.5}의 측정 결과

Fig. 8. Measurement results of fine dust PM_{2.5}

6) www.airkorea.or.kr/web/pastSearch

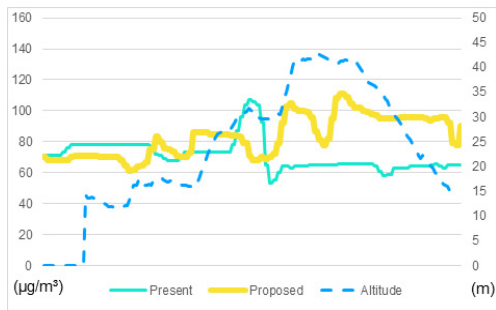


그림 9. 미세먼지 $PM_{1.0}$ 의 측정 결과
Fig. 9. Measurement results of fine dust $PM_{1.0}$

그림 7~9는 각각 고도의 변화에 따른 $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$, PM_{10} 각각의 미세먼지 측정치를 시간 흐름에 따라 보여주고 있으며, 그림 7~9에서 가는 실선은 드론에 미세먼지 센서만 탑재한 방식(Present)이고, 굵은 실선은 논문에서 제안한 방식(Proposed)의 실험 수치다. 점선은 드론의 고도(Altitude)를 나타내고 있다.

Present의 경우 약 30m 상공에 모든 미세먼지 농도가 갑자기 피크치를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 해당 고도에서 드론의 프로펠러 회전RPM이 증가함에 따라 미세먼지 농도가 순간적으로 상승한 것으로 확인할 수 있다. 반면 Proposed의 방식의 수치는 Present의 수치와 달리 미세먼지 농도가 피크치로 상승하는 것을 확인할 수 없었으며, 전반적으로 고도의 상승에 따라 미세먼지 농도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 위 실험 미세먼지 농도 수치와 미세먼지 측정소의 측정값을 비교하면 미세먼지 센서만 탑재한 방식에서는 큰 오차를 보이는 반면에, 논문에서 제안한 구조물을 이용한 드론에서는 평균적으로 유사한 결과 값을 보이는 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 드론을 이용한 미세먼지 방법을 선행 연구를 조사하였다. 하지만 기존에 드론을 활용한 미세먼지 측정 방법은 드론 프로펠러

의 하향풍으로 인하여 정확한 미세먼지 측정이 힘들뿐만 아니라, 구조물을 장착하여 미세먼지를 측정 시에는 별도의 전원이 필요하거나, 구조물의 부착으로 인한 드론은 비행시 불균형 비행으로 인해 발생하는 배터리 소모로 인해 비행시간이 단축 된다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고자 별도의 전력이 없이 드론 프로펠러의 하향풍을 이용하여 미세먼지 농도를 수집할 수 있는 구조물을 제안 하였으며, 구조물이 없는 환경과 제안한 환경 두 가지 환경 각각 고도에 따른 비행 테스트를 수행 했다. 그 결과 구조물이 없는 환경에서는 미세먼지 농도가 순간적으로 피크치로 상승하는 것을 확인할 수 있었으며, 제안한 구조에서는 미세먼지가 피크치로 상승하는 것은 볼 수 없었으며, 고도의 상승에 따라 미세먼지 농도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 당일 미세먼지 측정소의 미세먼지 측정치와 드론을 이용한 측정치를 비교해 보았을 때 구조물이 없는 드론에서 측정한 결과는 측정소의 측정값과 큰 오차를 보이고 있다. 반면 제안한 방식의 측정값과 측정소의 측정값은 유사 하다는 것을 확인할 수 있었다.

현재 드론을 이용한 미세먼지 및 대기환경을 조사하는 연구는 초기 단계라고 볼 수 있다. 다양한 방면으로 추가 연구가 필요 하다. 추후 다양한 구조 변경을 통해 보다 일관적인 데이터를 확보할 수 있는지 실험할 계획이며, 효율적인 데이터 보정 프로그램을 통해 대기환경의 급속 변화에 민감하지 않게 데이터를 표현해줄 수 있도록 연구를 진행 하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2019년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원과 2018년 한국국토정보공사 공간정보연구원 산학협력 R&D 지원사업(자유과제)의 지원을 받아 수행된 연구임 (N0002428, 2019년 산업전문인력역량강화사업)

References

- [1] D. Yu, "A Study on the Effects of Fine Particles to Satellite Signal," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, Feb. 2012, pp. 125-134.
- [2] A. Jang, "Impact of particulate matter on health," *J. Korean Med Association*, vol. 57, no. 9, Sept. 2014, pp. 763-768.
- [3] World Health Organization, *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. Geneva, WHO, 2016.
- [4] Ministry of Environment, *Fine dust fact check: fine dust! Ask me anything*. Sejong, Ministry of Environment, 2019, pp. 11.
- [5] J. Yoon, Y. Li, M. Lee, and M. Jo, "Deep Learning Drone Flying Height Prediction for Efficient Fine Dust Concentration Measurement," *IMCOM 2019*, Phuket Thailand, May 2019, pp. 1112-1119.
- [6] H. Kim, Y. Park, W. Kim, H. Eun, and K. Ahn, "Vertical Aerosol Distribution and Flux Measurement in the Planetary Boundary Layer Using Drone," *Particle and Aerosol Research*, vol. 14, no. 2, July 2018, pp.35-40.
- [7] P. Neumann, S. Asadi, V. Hernandez Bennetts, A. Lilienthal, and M. Barthilmal, "Monitoring of CCS Areas using Micro Unmanned Aerial Vehicles (MUAVs)," *J. Energy Procedia*, vol. 37, June 2013, pp. 4937-4964.
- [8] J. Lee, "Black Carbon Measurement using a Drone," *J. of Korean Society for Atmospheric Environment*, vol. 34, no. 3, June 2018, pp .486-492.
- [9] Korea Environment Institute, *Analysis Research Trends and Application of Air Quality Investigation Technique Using Drones*. Sejong, Korea Environment Institute, 2018.
- [10] M. Alvarado, F. Gonzalez, P. Erskine, D. Cliff, and D. Heuff, "A Methodology to Monitor Airborne PM10 Dust Particles Using a Small Unmanned Aerial Vehicle," *Sensors 2017*, vol. 17, no. 2, 2017, pp. 343-367.
- [11] K. Weber, "The Use of an Octocopter UAV for the Determination of Air Pollutants: A Case Study of the Traffic Induced Pollution Plume Around a River Bridge in Duesseldorf, Germany," *Int. J. of Environmental Science*, vol. 2, 2017, pp. 63-68.
- [12] J. Oh, J. Seol, Y. Gong, S. Han, and S. Lee, "Drone Hovering using PID Control," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 6, 2018, pp. 1269-1274.
- [13] D. Yoon, K. Lee, S. Han, and S. Lee, "A Study on Flight Stabilization of Drones by Gyro Sensor and PID Control," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 4, 2017, pp. 591-598.

저자 소개



조영준(Young-Jun Jo)

2017년 군산대학교 컴퓨터정보공학과 졸업
 2019년 군산대학교 대학원 컴퓨터정보공학과 재학(공학석사과정)

※ 관심분야 : 드론 응용



장민석(Min-seok Jang)

1989년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1991년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1997년 ~ 현재 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
 ※ 관심분야 : IoT 시스템, 드론 응용, 딥러닝

