

드론을 이용한 토지이용별 미세먼지 농도 측정 가능성 모색 연구

손승우, 유재진, 김동우, 김태현, 성웅기, 윤정호*
한국환경정책·평가연구원

Investigation of Measurement Feasibility of Particulate Matter Concentration by Different Land-Use Types Using Drone

Seung-Woo Son, Jae-Jin Yu, Dong-Woo Kim, Tae-Hyun Kim,
Woong-Gi Sung, Jeong-Ho Yoon*

Department of Land and Water Environment Research, Korea Environment Institute

요약 본 연구에서는 원하는 시간과 장소에서 데이터 수집이 용이한 드론에 미세먼지 측정 센서를 부착하여 3가지 측정환경인 건설현장, 자연환경(수목원), 주거지역에서 고도(30m, 60m, 90m, 120m, 150m)에 따른 미세먼지 농도를 측정하고 비교하였다. 건설현장 30m 지점의 PM_{2.5}와 PM₁₀ 측정값은 각각 18.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 150m 지점의 PM_{2.5}와 PM₁₀ 측정값은 각각 10.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 고도가 높아질수록 평균 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 자연환경(수목원) 30m 지점의 PM_{2.5}와 PM₁₀ 측정값은 각각 9.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 150m 지점의 PM_{2.5}와 PM₁₀ 측정값은 각각 3.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 고도가 높아질수록 평균 농도가 낮아지는 것으로 나타났으나, 모든 지점의 PM_{2.5}와 PM₁₀ 측정값은 비슷한 것으로 나타났다. 주거지역 30m 지점의 PM_{2.5}와 PM₁₀ 측정결과는 각각 10.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 150m 지점의 PM_{2.5}와 PM₁₀의 측정값은 각각 4.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 고도가 높아질수록 대체적으로 PM_{2.5}와 PM₁₀ 농도가 낮아짐을 확인하였다. 주거지역의 경우 건설현장이나 수목원에 비해 교통량이 많은 도로에 인접해 있어 PM_{2.5}의 농도가 PM₁₀의 농도보다 높게 나온 것으로 사료된다. 세 대상지 모두 고도가 상승할수록 PM_{2.5}와 PM₁₀의 농도가 감소하는 추세를 보였다. 또한, 건설현장, 주거지역, 자연환경(수목원) 순으로 PM_{2.5}와 PM₁₀의 농도가 높은 것으로 확인하였다. 본 연구의 결과는 토지이용별로 미세먼지 농도값을 고도별로 측정하였다는데 의의가 있으며, 지역계획이나 도시계획 등에서 중요한 공간의사결정 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract This study measured the Particulate Matter (PM) concentration according to altitude (30 m, 60 m, 90 m, 120 m, and 150 m) in three different environments: a construction site, natural environment (arboretum), and residential area. PM_{2.5} and PM₁₀ values at 30 m above the construction site were 18.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 24.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ while values at 150 m were 10.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 10.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, indicating the average concentration decreased as altitude increased. PM_{2.5} and PM₁₀ values at 30 m above the natural environment were 9.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 11.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ while those at 150 m were 3.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 3.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, showing lower average concentrations as altitude increased. PM_{2.5} and PM₁₀ values at 30 m above the residential area were 10.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 12.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ while those at 150 m were 4.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 5.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, also demonstrating lower PM concentrations as altitude increased. The PM concentrations decreased as altitude increased at all tested sites and also decreased between environments in the following order: construction site, residential area, and natural environment. The results of this study are significant because PM concentrations were measured at various altitudes at different land-use sites. The results are expected to serve as basic data for decision-making in both regional and urban planning.

Keywords : Particulate Matter, Drone, Land-Use, Altitude, Measurement

본 논문은 한국환경정책평가연구원에서 수행한 '드론을 이용한 대기환경 조사기법 분석과 적용을 위한 기초연구(BA2018-02)'를 토대로 작성하여 일부 연구 방법론, 표, 그림 등이 유사함.

본 논문은 한국환경정책평가연구원에서 수행하고 있는 '국토환경정보시스템 운영관리(GP2020-02)'에서 지원받아 수행하였음.

*Corresponding Author : Jeong-Ho Yoon(Korea Environment Institute)

email: jhyoon@kei.re.kr

Received January 20, 2020

Revised March 20, 2020

Accepted April 3, 2020

Published April 30, 2020

1. 서론

미세먼지는 사회재난으로 볼릴 만큼 국가적 관점에서 중요한 환경문제로 다뤄지고 있다. 개발과 자동차 이용, 주변국으로부터의 영향으로 인해 미세먼지 농도가 날로 높아지고 있는데 특히 겨울과 봄에 미세먼지 농도가 매우 높아 외부활동 제한은 물론 인간의 건강에 악영향을 미치고 있는 실정이다.

정부에서는 대기측정망을 설치하고 미세먼지 농도를 측정하여 실시간으로 국민들에게 정보를 제공하고 있다. 대부분의 국민들은 하루를 시작할 때, 스마트폰을 이용하여 미세먼지 정보를 파악하여 그날의 계획을 세우거나 활동하고 있다. 하지만 대기측정망을 유지하고 관리하기 위해서는 예산과 인원이 많이 필요하기 때문에 지역별로 균등한 배치가 어려운 실정이다. 현재는 필요한 지역과 장소의 대기질 측정을 위해 가장 인접한 지역의 측정값을 자료로 활용하고 있는 상황이다.

최근 원하는 시간과 장소에서 데이터를 수집할 수 있는 드론 기술이 널리 쓰이고 있으며 전 세계적으로 드론을 이용한 데이터 수집은 대중화되어있고 매우 흥미로운 기술 중에 하나이다[1].

드론은 과거부터 현재까지 주로 고해상도 이미지를 획득하고 정밀 DEM(Digital Elevation Model)이나 DSM(Digital Surface Model)을 생성하여 그 정확도를 검증하는 연구가 주를 이루고 있었다[2-5]. 하지만 최근에는 다양한 센서를 드론에 결합한 기술이 널리 이용되고 있다.

대기질의 수직적 측정을 위해 고도에 따른 대기질 농도 변화와 영향에 대한 연구[6-7]가 수행되었으며 대부분의 연구에서 고도가 높아질수록 대기질 농도가 낮아지는 것을 확인하였다. 대부분 지상에서 발생하는 대기오염 물질에 기반한 연구이다. 최근 공중에서도 대기질을 측정하는 기술이 이용되고 있으며 미세먼지와 같이 특정물질의 농도분포를 고도별로 분석한 연구[8-10] 뿐만 아니라 도로에서 발생하는 오염물질의 농도를 분석한 연구[11-12]가 수행되고 있다.

국내에서 드론을 이용한 대기질 측정 연구는 초기단계이며 토지이용이 미세먼지에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 편이다. 토지이용별로 미세먼지 농도를 파악하는 것은 지역계획이나 도시계획 등에서 중요한 공간의사결정 자료로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 드론과 센서를 이용하여 토지이용에 따른 미세먼지 농도를 측정하였고, 이를 통해 추후 드론 기

반의 미세먼지 측정기술, 방법론 개발 등에서의 활용 가능성을 모색하고자 하였다.

2. 연구재료와 방법

2.1 연구 재료

미세먼지 측정에 활용한 드론은 회전익 드론으로써 DJI사에서 개발한 Matrice 600이다. 프로펠러가 6개인 헬콥터로서 최대 이륙 가능 무게가 약 15kg이다. 드론에 부착하는 센서는 Scentroid사에서 개발한 DR1000을 이용하였다. 미세먼지 외에도 VOCs, NO₂ 등을 측정하며, 실시간으로 측정된 데이터를 GCS(Ground Control Station)로 전송하여 확인할 수도 있고 SD카드에 저장하여 비행 종료 후 확인할 수도 있다. 본 연구에서는 SD카드에 데이터를 저장하여 비행 종료 후 확인하는 방법으로 실시했는데, 이는 실시간으로 데이터를 전송하는 방식보다 더 많은 데이터를 획득할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 미세먼지를 대상으로 파일릿 테스트를 수행하였으며 드론과 센서에 관한 상세 제원은 Table 1과 같다.

2.2 비행 방법론 설계

대기환경 조사를 위한 드론 비행 방법론은 선행연구를 기반으로 설계하였다. 대부분 드론의 장점을 이용하여 다양한 고도에서 측정을 수행하였는데, 본 연구에서도 고도별 미세먼지를 측정하였으며 건설현장, 자연환경(수목원), 주거지역으로 측정환경을 총 세 가지로 구분하였다. 고도는 드론이 가지적으로도 보이며 법정 최대 허용 높이인 150m까지 비행하도록 설계하였다. 150m까지 다양한 고도에서의 측정값을 반영하기 위하여 비행 지점을 30m, 60m, 90m, 120m, 150m로 세분하고 각각의 고도에서 5분 이상의 호버링(Hovering) 비행을 통해 데이터를 취득하였다.

[10]의 연구에서는 프로펠러로 인한 대기기류의 영향으로 측정된 물질이 약 4% 낮게 측정되었다. 이 문제에 대한 대응책으로서 본 연구에서는 드론에 약 1m 길이의 인렛(inlet)을 설치해 기류의 영향을 최소화하고자 하였다.

비행은 2018년 8월 14일에 실시하였으며, 대상지에 가장 인접한 당시의 국가대기오염측정망에서 측정된 값은 Table 2와 같다. 미세먼지를 측정할 시간과 유사한 시간대에 측정망을 통해 측정된 미세먼지 농도를 기재하였다.

Table 1. Specification of drones and sensors for measuring particulate matter(PM)

Drone		Sensor	
Model name	DJI Matrice 600	Model name	Scentroid DR1000
Country of manufacture	China	Country of manufacture	Canada
Diagonal wheelbase	1,133 mm	Time for one-time charging	3 hours
Number of batteries	6	Sample back measurement time	45 sec/1liter
Weight	9.6 kg	Weight	3,410 g
Maximum take-off weight	15.1 kg	Standard	26 cm×16 cm×18 cm
Operating temperature	-10 °C ~ 40 °C	Maximum operating time (Inputting AC power)	2 hours(5 hours)
Voltage output	26.3 V	Radio remote control	Sample pump, Microcomputer, GPS, Wifi
Battery capacity	5,700m Ah	Measuring substance	NO ₂ , VOCs, PM, SO ₂ , CH ₂ O
Battery voltage	22.8 V	Ground station system	Notebook (Core I3)
Battery type	LiPo 6S		Windows 10 dual boot
Hovering accuracy	Vertical: ±0.5 m, Horizontal: ±1.5 m		High frequency antenna, WiFi module
Maximum angular velocity	Pitch: 300°/s, Yaw: 150°/s		Drone manipulation and data transmission possible
Maximum pitch angle	25°		DRIMS
Maximum flight altitude	2,500 m		
Maximum speed	18 m/s(When there is no wind)		
Maximum wind resistance	8 m/s		
Maximum acceleration speed	5 m/s		
Maximum falling speed	3 m/s		
DJI Gimbal	ZENMUSE X3; ZENMUSE X5 series; ZENMUSE XT; RONIN-MX; ZENMUSE Z15 series		

자료: <https://www.dji.com/kr>, <http://scentroid.com/scentroid-dr1000/>을 토대로 재구성.

Table 2. Particulate matter(PM) concentration measured by National Air Monitoring Stations

Category	Target area					
	Around construction site monitoring network and concentration(hours)		Around natural environment (Arboretum) monitoring network and concentration(hours)		Around residential area monitoring network and concentration(hours)	
PM _{2.5} (µg/m ³)	Daejeon Moonpyung Dong	16 (11:00)	Sejong Hansol Dong	18 (12:00)	Sejong Hansol Dong	15 (13:00)
PM ₁₀ (µg/m ³)		26 (11:00)		27 (12:00)		25 (13:00)

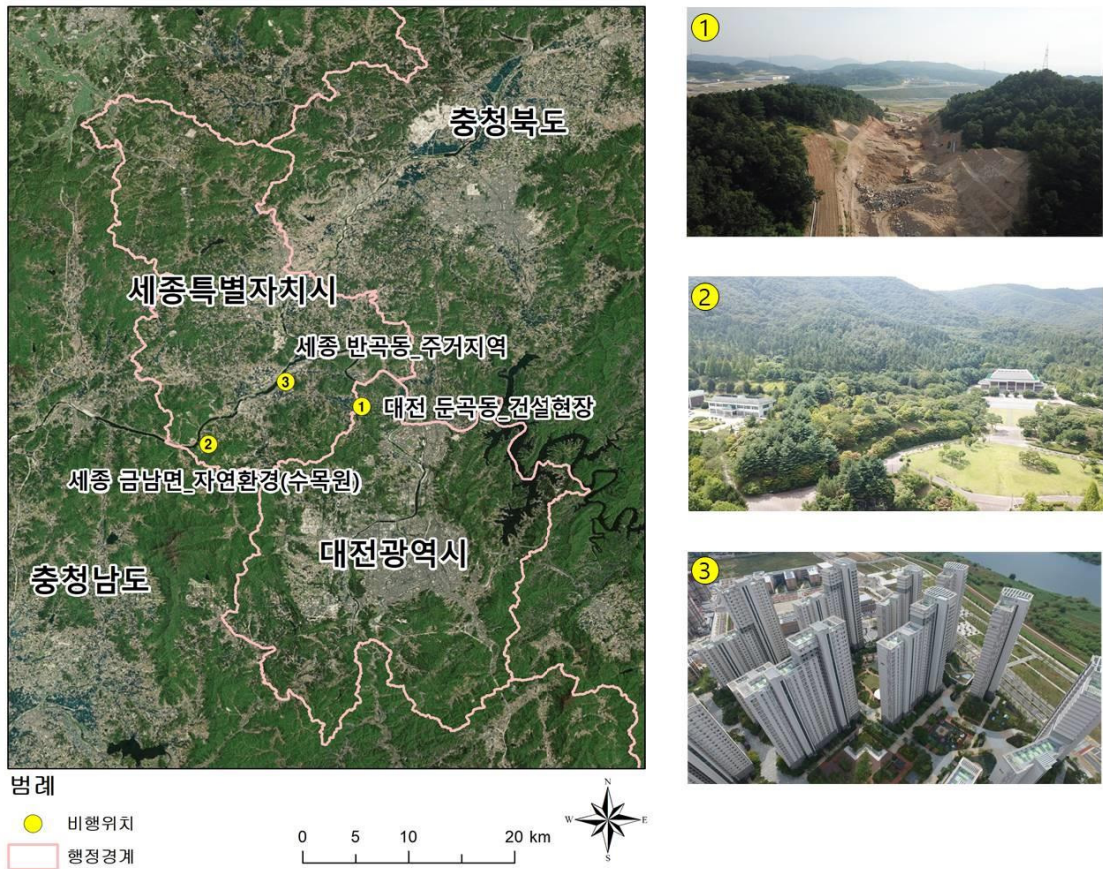


Fig. 1. Study area

3. 연구결과 및 고찰

3.1 건설현장

건설업은 한국에서 비산먼지를 대량으로 배출하는 사업 분야로서, 건설현장에서 배출되는 비산먼지를 잘 관리

하는 것은 국내 미세먼지 문제를 해결하기 위한 중요한 사안 중 하나이다[13]. 이에 따라 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 측정하고자 하였다.

건설현장 대상지는 대전광역시 둔곡동에 위치하는 도로개발 사업으로서 현재 Fig. 2와 같이 토공사를 진행 중이다.

고도별 호버링 비행을 실시한 위치는 안전상 등의 문제로 토공사를 진행하는 반대편에서 실시하였으며, 해당 지점에서 30m, 60m, 90m, 120m, 150m로 비행하여 각각 5분 이상 데이터를 수집하였다. 측정이 되지 않은 데이터를 제외하고 PM_{2.5}와 PM₁₀ 각각 113개의 미세먼지 데이터를 취득하였다. 고도별로 평균 농도는 Table 3과 같다.



Fig. 2. Flight area of construction area

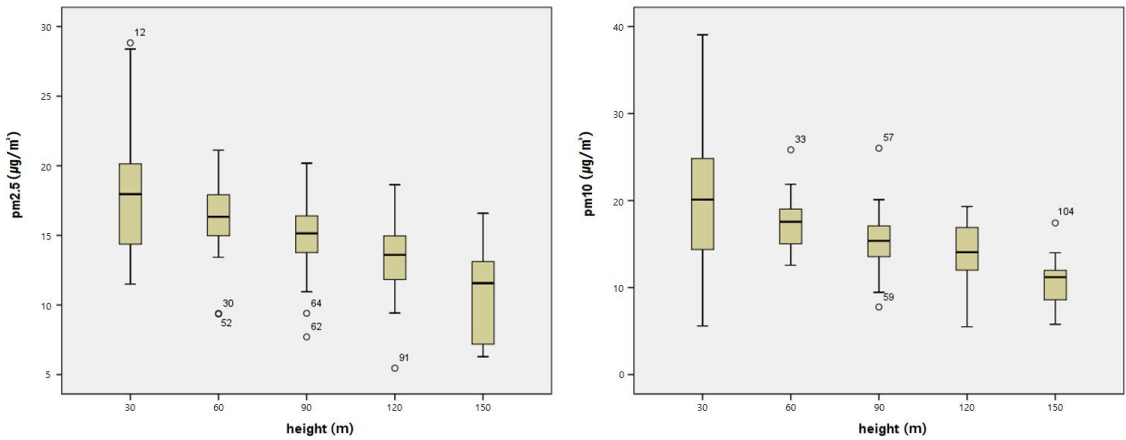


Fig. 3. Particulate matter(PM) concentration and trend at different heights in construction area

Fig. 3은 고도별 미세먼지 측정값을 중 3σ를 넘는 이상치를 제거한 후 box plot으로 나타낸 결과이다. PM_{2.5}와 PM₁₀ 모두 고도가 높아질수록 평균 농도가 꾸준히 낮아지는 것으로 나타났다.

Table 3. Average particulate matter(PM) concentration at different flight heights in construction area

Category	Flight height(m)				
	30	60	90	120	150
PM _{2.5} (µg/m ³)	18.63	16.14	14.86	13.37	10.89
PM ₁₀ (µg/m ³)	24.23	17.92	23.08	14.03	10.61

미세먼지의 이동과 확산은 기상학적 요인과 다양한 고려사항 등이 관계되기 때문에 향후 연구에서 해당 부분을 고려할 필요가 있다.

3.2 자연환경(수목원)

건설현장과는 반대로 자연환경이 우수한 지역을 선정하여 고도별 미세먼지를 측정해 보고자 하였다. 자연환경이 우수한 곳은 세종특별자치시 금남면에 위치한 수목원으로서 Fig. 4와 같이 주변은 산지로 둘러싸여 있다. 금강과도 인접해 있고 건설현장이나 배출업소 등의 오염원 발생지역에서도 어느 정도 거리가 있는 지역이다.



Fig. 4. Flight area of natural environment(arboretum) area

건설현장과 동일하게 수목원에서 30m, 60m, 90m, 120m, 150m로 비행하여 각각 5분 이상 데이터를 수집하였다.

측정이 되지 않은 데이터를 제외하고 PM_{2.5}와 PM₁₀ 각각 152개의 미세먼지 데이터를 취득하였다. 고도별 평균 농도는 Table 4와 같다.

Table 4. Average particulate matter(PM) concentration at different flight heights in natural environment(arboretum) area

Category	Flight height(m)				
	30	60	90	120	150
PM _{2.5} (µg/m ³)	9.03	5.23	5.95	3.61	3.42
PM ₁₀ (µg/m ³)	11.21	5.48	5.99	3.62	3.57

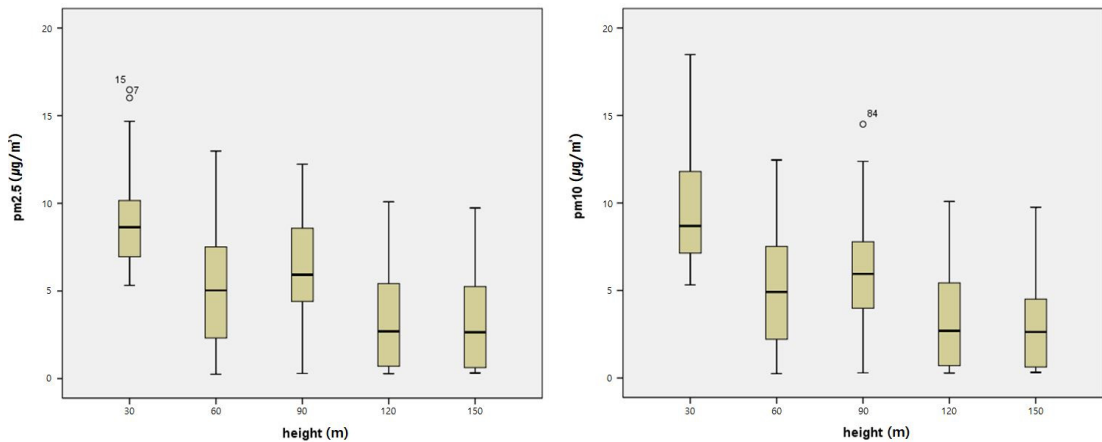


Fig. 5. Particulate matter(PM) concentration and trend at different heights in natural environment(arboretum) area

Fig. 5는 고도별 미세먼지 측정값을 중 3σ 를 넘는 이상치를 제거한 후 box plot으로 나타낸 결과이다. $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 모두 고도가 높아질수록 평균 농도가 꾸준히 낮아지는 것으로 나타났다. 다만 60m와 90m, 120m와 150m의 고도에서는 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 서로 비슷한 농도를 보였다.

3.3 주거지역

많은 사람이 외부활동이나 집안의 환기 등을 위해서 미세먼지 정보를 수시로 확인하고 일상 활동에 이를 참고하고 있다. 특히 주거지역이 밀집한 곳에서는 정확한 미세먼지 정보를 전달하는 일이 날로 중요해지고 있다. 선행연구에서는 주로 드론을 이용하여 고도별 미세먼지를 측정하였는데, 우리나라와 같이 고층 아파트가 많은 지역에도 이를 활용하여 미세먼지 정보를 파악할 필요가

있다. 이를 위해 고층 아파트가 밀집해 있는 세종특별자치시 반곡동의 아파트단지와 인접한 인도에서 비행을 실시하였다(Fig. 6).



Fig. 6. Flight area of residential area

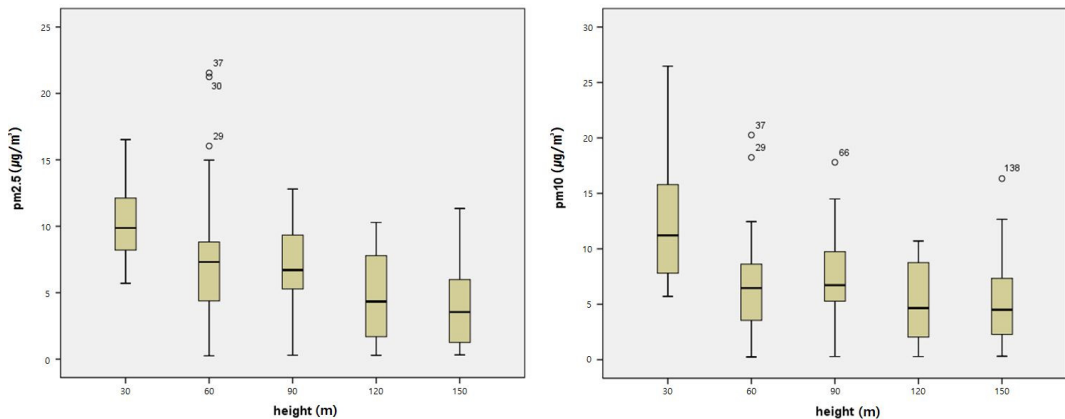


Fig. 7. Particulate matter(PM) concentration and trend at different heights in residential area

앞서 수행한 대상지에서와 동일하게 30m, 60m, 90m, 120m, 150m로 비행하여 각각 5분 이상 데이터를 수집하였다.

측정이 되지 않은 데이터를 제외하고 PM_{2.5}와 PM₁₀ 각각 145개의 미세먼지 데이터를 취득하였다. 고도별 평균 농도는 Table 5와 같다.

Table 5. Average particulate matter(PM) concentration at different flight heights in residential area

Category	Flight height(m)				
	30	60	90	120	150
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10.65	7.66	8.26	4.71	4.24
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12.06	7.07	7.99	5.49	5.17

Fig. 7은 고도별 미세먼지 측정값을 중 3 σ 를 넘는 이상치를 제거한 후 box plot으로 나타낸 결과이다. PM_{2.5}와 PM₁₀의 경우 수목원과 마찬가지로 전체적으로 고도가 높아질수록 농도가 낮아짐을 확인하였다. 다만 PM_{2.5}와 PM₁₀ 모두 60m 보다 90m 지점에서 농도가 다소 높게 측정되었으나, 큰 차이를 보이지는 않았다. 120m와 150m의 고도에서는 PM_{2.5}와 PM₁₀ 모두 비슷한 농도를 보였다.

선행연구의 결과와 마찬가지로 세 대상지 모두에서 고도가 상승할수록 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도가 감소하는 추세를 보이는 것으로 나타났다. 또한 한 시간의 시간차이가 있으나, 건설현장, 주거지역, 자연환경 순으로 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 이는 드론을 활용한 미세먼지 농도 측정 방법이 다양한 조건의 환경에서 활용 가능하다는 것을 의미한다.

인접한 국가대기오염측정망과 유사한 시간대에서의 농도를 30m의 고도에서 측정한 농도와 비교하였는데, 건설현장의 경우 유사한 값이 도출되었지만 자연환경(수목원)이나 주거지역의 경우는 다소 낮은 값을 보였다. 이러한 비교 값은 각각의 대상지에서 인접한 측정망이기는 하나 물리적인 거리가 꽤 있는 데다 주변 환경이나 미기상학적 요인 등이 영향을 미쳐 나타난 차이로 보인다.

한편 주거지역에서는 일정 고도에서 PM_{2.5}의 농도가 PM₁₀의 농도보다 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 PM₁₀과 PM_{2.5}의 배출원 차이에 따른 결과로 보여진다. PM₁₀은 황사나 공사장의 흙먼지 등 1차 대기오염물질로 분류되는 반면, PM_{2.5}는 이와 다르게 경유자동차 엔진 연소 과정에서 배출되는 검댕과 대기 상의 황산화물, 이산

화질소 등의 화학반응으로 생기는 2차 대기오염물질이다. 주거지역의 경우, 건설현장이나 수목원보다 교통량이 많은 도로에 인접해 있어서 PM_{2.5}의 농도가 PM₁₀의 농도보다 높게 나온 것으로 보여 진다. 이러한 결과는 드론을 활용한 미세먼지 농도 측정 방법이 특정 지역의 미세먼지 특성을 정밀하게 분석하기 위한 방법론으로써의 활용 가능성을 가지고 있음을 의미한다.

4. 결론

본 연구는 토지이용에 따라 미세먼지 농도값을 드론을 이용하여 측정하여 추후 드론 기반의 미세먼지 측정기술, 방법론 개발 등에 활용 가능성을 모색하고자 하였다.

연구 결과, 드론을 활용한 미세먼지 농도 측정 방법은 고도 및 토지이용 변화에 따른 미세먼지 농도 측정에 용이하며, 이에 따라 고정된 지역 및 고정된 고도에서의 미세먼지 측정에서 파생되는 여러 한계점들을 보완할 수 있을 것으로 보인다.

첫째, 드론을 활용할 경우 고도별 대기환경 조사가 가능하다. 주거지역 주변에는 수많은 교통 인프라가 들어서고, 오염물질을 배출하는 배출시설 등이 산재해 있다. 이처럼 주거지역에 영향을 미치는 시설 등과 고도별로 대기환경을 조사하여 도시 계획이나 환경 계획 등에서 참고할 수 있다.

둘째, 드론을 이용하면 유연한 대기환경 감시가 가능하다. 드론의 활용은 과거 대기환경에서의 제약이었던 시간과 공간에 대한 문제를 해결하는데 기여할 수 있을 것으로 보인다. 예컨대 배출사업장의 굴뚝은 사람이 접근하기 어려우며, 배출 시간 또한 정해져있지 않다. 드론을 활용할 경우 환경감시가 필요한 시점과 장소에서 대기오염물질 배출유무를 감시할 수 있다.

셋째, 드론을 활용하여 대기환경 지도화가 가능하다. 대기환경 지도는 대기환경 보전, 지역계획, 도시계획 등 공간적 의사결정에서 중요한 역할을 할 수 있다. 드론을 활용할 경우 특히 필요한 시점과 공간에서의 2차원 및 3차원 지도 작성이 가능하다. 또한 드론을 통하여 구축된 정밀한 데이터를 활용하여 AI(Artificial Intelligence)나 기계학습 등 고차원적인 데이터 분석 방법론으로 대기환경을 모델링 할 경우 높은 정확도의 모델링이 가능하다.

드론을 활용한 미세먼지 측정 방법은 다양한 활용가능성을 가지고 있음을 알 수 있으나, 실제 적용되기 위해서

는 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다. 드론의 종류나 크기 등에 따라 적절한 비행 방법론을 적용해야 할 것이며, 대기질에 따라 적용 가능한 센서를 선정해야 할 것이다. 또한 센서의 값이 정확한지 알아보기 위하여 검보정 과정을 거쳐야 하며, 데이터 취득을 위한 통신기술, GCS 등에 대한 고려 또한 필요하다.

드론을 이용한 대기환경 조사에 대한 기술개발과 연구는 현재 초기단계로 볼 수 있으며, 현재 직면한 다양한 한계점을 기반으로 추후 연구를 진행할 필요가 있다. 자연적이고 인위적인 한계점을 살펴볼 수 있는데, 자연적인 한계점으로는 기상상황에 대해 대응하기 어렵다는 점을 들 수 있다. 드론은 회전익이나 고정익 드론 둘 다 바람이 강하게 불거나 비 또는 눈이 내리면 비행을 하기 어렵다. 과거 환경위반 사례를 보면 이처럼 기상상황이 좋지 않을 때 오염물질을 배출하는 사례가 종종 발생하는데, 이러한 시기에 드론을 활용하지 못한다면 드론 기술이 무의미할 수 있다. 따라서 다양한 기상상황에 적용할 수 있는 드론 기술을 개발 하는 것이 필요할 것으로 보인다.

인위적인 한계점으로는 센서 기술을 들 수 있다. 대기환경 조사에서는 드론의 역할도 중요하지만 물질을 직접 측정하는 센서의 기술 또한 매우 중요하다. 선행연구를 보면 대부분의 측정 대기질은 입자상 물질인 미세먼지이다. 이는 미세먼지를 측정할 수 있는 센서의 기술 발전과 소형화가 이루어졌기 때문으로 보인다. 하지만 대기환경에 악영향을 미치는 물질은 매우 다양하므로 이를 측정할 수 있고 또 드론에 장착할 수 있는 센서 기술의 개발이 필요하다.

향후 드론의 정밀한 비행 방법론 설계, 데이터 분석 방법론, 센서 검보정 등과 관련된 연구가 수행된다면 대기환경 분야에서 드론 기술이 더욱 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] J. Wivou, L. Udawatta, A. Alshehhi, E. Alzaabi, A. Albeloshi, S. Alfalasi, "Air Quality Monitoring for Sustainable Systems via Drone Based Technology", *2016 IEEE International Conference on Information and Automation for Sustainability(ICIAFS)*, IEEE, Galle, Sri Lanka, pp.1-5, Dec. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIAFS.2016.7946542>
- [2] M. Uysal, A. S. Toprak, N. Polat, "DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill", *Measurement*, Vol.73, pp.539-543, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.06.010>
- [3] Y. Reshetyuk, S. G. Mårtensson, "Generation of Highly Accurate Digital Elevation Models with Unmanned Aerial Vehicles", *Photogrammetric Record*, Vol.31, No.154, pp.143-165, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1111/phor.12143>
- [4] N. Pineux, J. Lisein, G. Swerts, C.L. Biielders, P. Lejeune, G. Colinet, A. Degre, "Can DEM time series produced by UAV be used to quantify diffuse erosion in an agricultural watershed?", *Geomorphology*, Vol.280, pp.122-136, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.003>
- [5] O. G. Ajayi, A. A. Salubi, A. F. Angbas, M. G. Odigire, "Generation of accurate digital elevation models from UAV acquired low percentage overlapping images", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.38, No.8-10, pp.3113-3134, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1285085>
- [6] Y. Wu, J. M. Hao, L. X. Fu, Z.S. Wang, U. Tang, "Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao, China", *Atmospheric Environment*, Vol.36, No.31, pp.4907-4918, 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00467-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00467-3)
- [7] W. Tao, X. Li, A. Khain, T. Matsui, S. Lang, J. Simpson, "Role of atmospheric aerosol concentration on deep convective precipitation : Cloud-resolving model simulations", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol.112, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1029/2007JD008728>
- [8] S. Lu, D. Wang, X. Li, Z. Wang, Y. Gao, Z. Peng, "Three-Dimensional Distribution of Fine Particulate Matter Concentrations and Synchronous Meteorological Data Measured by an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Yangtze River Delta, China", *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-2016-57>
- [9] M. Alvarado, F. Gonzalez, P. Erskine, D. Cliff, D. Heuff, "A Methodology to Monitor Airborne PM₁₀ Dust Particles Using a Small Unmanned Aerial Vehicle", *Sensors*, Vol.17, No.2, pp.343, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3390/s17020343>
- [10] J. H. Lee, "Black Carbon Measurement using a Drone", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol.34, No.3, pp.486-492, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.3.486>
- [11] T. F. Villa, E. R. Jayaratne, L. F. Gonzalez, L. Morawska, "Determination of the Vertical Profile of Particle Number Concentration Adjacent to a Motorway Using an Unmanned Aerial Vehicle", *Environmental Pollution*, Vol.230, pp.134-142, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.033>
- [12] K. Weber, G. Heweling, C. Fischer, M. Lange, "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", *International Journal of Environmental Science*, Vol.2, pp.63-66, 2017.

[13] H. J. Noh, J. H. Yu, "Improvement Plan of Fugitive Dust Regulations in Construction Site", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.18, No.5, pp.68-76, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2017.18.5.068>

손 승 우(Seung-Woo Son) [정회원]



- 2013년 8월 : 서울대학교 생태조경학과 (조경학석사)
- 2019년 8월 : 서울대학교 협동과정조경학 (공학박사)
- 2013년 7월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 전문연구원

<관심분야>
환경정보, 환경계획, 공간분석, 컴퓨터비전

유 재 진(Jae-Jin Yu) [정회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 지리학과 (지리학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 지리학 박사수료
- 2016년 12월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>
지형, 원격탐사, GIS, 드론기반 영상분석

김 동 우(Dong-Woo Kim) [정회원]



- 2018년 2월 : 공주대학교 지리학과 (지리학석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>
환경정보, 환경계획, 원격탐사, 드론기반 영상분석

김 태 현(Tae-Hyun Kim) [정회원]



- 2014년 8월 : 연세대학교 도시공학과(학사)
- 2015년 6월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>
도시계획, 대기오염, 공간분석

성 응 기(Woong-Gi Sung) [정회원]



- 2019년 2월 : 서울대학교 생태조경학과 (조경학석사)
- 2019년 5월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>
환경정보, 환경계획, 원격탐사, 드론기반 영상분석

윤 정 호(Jeong-Ho Yoon) [정회원]



- 1997년 2월 : 고려대학교 산림자원학과 (농학석사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 산림자원학과 (이학박사)
- 1996년 7월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 선임연구위원

<관심분야>
환경영향평가, 환경정보, 원격탐사