

대기오염 배출구의 정확한 오염도 측정을 위한 5-point 수집 비행 알고리즘

김수영*¹, 정현준*², 이석훈*³, 정동원*⁴

5-point Collection Flight Algorithm for Accurate Pollution Measurement of Air Pollution Outlet

Suyeong Kim*¹, Hyunjun Jung*², Sukhoon Lee*³, and Dongwon Jeong*⁴

이 연구는 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(NRF-2019R1I1A3A01060826)

요 약

대기오염에 대한 관심은 나날이 증가하고 있는 가운데 대기질 관리를 위해 다양한 분야에서 대기오염을 측정하는 연구가 진행되고 있다. 특히 드론을 활용한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 기존에 드론을 활용한 대기오염 측정 방식은 대기오염 배출구 위에서 시료를 포집한다. 그러나 이러한 방법은 바람의 영향을 고려하지 않기 때문에 정확한 오염도를 측정하지 못하는 한계가 있다. 따라서 이 논문에서는 정확한 오염도를 측정할 수 있는 5-point 수집 비행 알고리즘을 제안한다. 5-point 수집 비행 알고리즘은 대기오염 배출구를 기준으로 5개의 지점에서 오염도를 측정하여 최종 오염도를 결정한다. 비교 평가에서, 제안 방법이 높은 정확도의 오염도 측정 결과를 보였다.

Abstract

As interest in air pollution has been increasing day by day, research also has been conducted to measure air pollution in various fields for air quality management. In particular, research using drones is actively has been conducted, and the existing methods for measuring air pollution using drones collect samples from above the air pollution outlet. However, those methods do not consider the effect of wind and have still a limitation in that it cannot measure the accurate pollution. Therefore, this paper proposes the 5-point collection flight algorithm to measure the accurate pollution. The 5-point collection flight algorithm determines the final pollution by measuring the pollution data at five points of an air pollution outlet. In the comparative evaluation, the proposed method shows higher accuracy in measuring pollution.

Keywords

drone, flight algorithm, air pollution, arduino

* 군산대학교 소프트웨어융합공학과(*^{2,4} 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-0349-2704>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-6717-1395>
- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-3390-5602>
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0001-9881-5336>

• Received: Oct. 19, 2021, Revised: Nov. 12, 2021, Accepted: Nov. 15, 2021
• Corresponding Author: Hyunjun Jung and Dongwon Jeong
Dept. of Software Convergence Engineering, Kunsan National University,
558, Deahak-ro, Gunsan, Jeollabuk-do, Korea,
Tel.: +82-63-469-8911, Email: {junghj85, djeong}@kunsan.ac.kr

1. 서 론

대기오염은 사람이 살아가는 데 있어 장애를 유발하거나 조기 사망률에 영향을 준다[1]. 대기오염에 단기간 노출 시 기관지 질환과 심혈관 질환에 영향을 미치며, 장기간 노출 시 만성질환에 영향을 미쳐 조기 사망을 초래할 수 있다. 이처럼 대기오염은 사람의 건강에 악영향을 미쳐 대기오염에 대한 관심은 나날이 증가하고 있다. 대기오염을 일으키는 대기오염물질로는 총 부유먼지(TSP), 미세먼지(PM-10), 초미세먼지(PM-2.5), 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃), 일산화탄소(CO), 블랙 카본(BC) 등이 있다[2]. 앞서 언급한 대기오염물질 중 미세먼지, 질소산화물, 황산화물, 일산화탄소는 주로 산업단지에서 발생하며 대기오염을 일으키는 주요 원인 중 하나이다[3].

대기질 관리를 위해 다양한 분야에서 대기오염 측정 연구가 진행되고 있으며 대표적으로 국가에서 진행하는 대기오염측정망 시스템[4]과 굴뚝원격감시체계[5]가 있다. [4]는 산업단지 내 지상에서 대기오염을 측정하며, [5]는 기기를 굴뚝에 부착하여 대기오염을 측정한다. 앞서 말한 연구는 고정된 위치에서 측정하기에 부유 분진을 측정하기 힘들며 기후의 영향에 따라 정확한 대기오염물질을 측정할 수 없다는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 드론을 활용한 대기오염물질 측정 연구가 활발히 진행 중이다[6]-[13]. [7]-[10]은 고도 및 장소별로 대기오염을 측정하며 수집 시 한 곳에 멈춰서 대기오염물질 데이터를 수집한다. [11]과 [12]는 차량과 드론을 활용한 대기오염 측정 방식으로 차량으로 대기오염 의심 사업장을 선정한 뒤 [11]은 드론이 모든 의심 사업장의 시료를 포집하며, [12]는 의심 사업장 중 고농도 사업장 2곳의 시료만 포집한다. [11]과 [12]는 시료를 포집하기 위해 공장의 굴뚝 위에 멈춰 연기를 채취한다. 대기오염을 측정하기 위해 새로운 비행 방법을 제안한 연구도 있다[13]. [13]은 자율비행을 통한 대기오염 모니터링 시스템으로 측정값이 높은 쪽으로 나선 회전하며 이동하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 오염 농도가 가장 높은 영역을 검색하기 위해 새로운 알고리즘을 제안하지만, 대기오염을 측정하기 위해 호버링한 상태

로 오염 농도를 수집한다. 이처럼 드론을 활용한 대기오염물질 측정 방법은 사람이 접근하기 어려운 위치를 측정할 수 있어 굴뚝과 같은 대기오염 배출구를 탐지할 수 있다. 그러나 기존 연구에서 대기오염물질을 수집하기 위해 한 곳에 멈춰서 수집하는 방법을 사용한다. 이러한 방법은 바람의 영향을 고려하지 않기 때문에 바람이 많이 부는 산업단지에서 정확한 오염도를 측정하지 못하는 한계가 있다.

이 논문에서는 앞서 언급한 한계를 개선할 수 있는 비행 알고리즘을 제안한다. 대기오염물질 측정 시 바람의 영향을 고려해 대기오염 배출구를 중심으로 5개의 지점에서 오염도를 측정하는 5-point 수집 비행 알고리즘을 제안한다. 정확한 대기오염물질을 측정하기 위해 드론을 사용하여 대기오염 배출구를 탐지하고 앞서 말한 대기오염물질 중 미세먼지, 일산화탄소, 오존(O₃), 이산화질소(NO₂)를 측정한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 관련 연구를 소개하며 제3장에서는 제안 시스템의 구성도와 흐름도에 대해 설명한다. 제4장에서는 제안 시스템의 구현 환경에 대해 기술하고 5-point 수집 비행 알고리즘에 대해 설명한다. 제5장에서는 실험 및 비교 평가를 위한 실험 환경 및 방법과 실험 결과를 서술한다. 마지막으로, 제6장에서는 결론 및 향후 연구를 서술한다.

II. 관련 연구

2.1 대기오염물질 측정 연구

산업단지에서 발생하는 대기오염물질을 측정하기 위해 국가에서도 다양한 연구가 진행되어 왔다.

[4]는 대기오염측정망 시스템이다. 이는 유해성대기물질을 측정하기 위해 산업단지 지역에 위치하며 VOCs(휘발성유기화합물) 및 PAHs(다환방향족탄화수소)를 측정한다. 그러나 지상에 위치하고 있기에 굴뚝에서 나오는 대기오염물질 중 부유 분진은 측정할 수 없다는 한계가 있다.

[5]는 굴뚝원격감시체계로 대부분의 공장에서 사용하는 대기오염물질 측정 방법이다. 해당 기기는 굴뚝의 상단에 부착하며 먼지, SO₂(아황산가스),

NOx(질소산화물), HCl(염화수소), HF(불화수소), NH₃(암모니아), CO(일산화탄소)의 대기오염물질을 측정한다. 그러나 기기의 측정 위치는 고정되어 있으며 굴뚝의 밖에서 측정하기에 바람의 영향을 많이 받는 대기오염원의 정확한 대기 오염도를 측정하기 힘들다는 한계가 있다.

앞서 언급한 기존 연구의 문제점을 해결하기 위해 드론을 활용한 대기오염물질 측정 연구가 진행되고 있다.

2.2 드론을 활용한 대기오염물질 측정 연구

사람이 접근하기 어려운 위치의 대기오염물질을 측정하기 위해 드론을 활용한 대기오염물질 측정 연구가 활발히 진행되고 있다.

[6]은 드론에 미세먼지 센서를 부착하여 값을 측정한다. 미세먼지가 급격하게 증가하는 지역 등의 특정 위치에 멈춰 미세먼지 값을 수집한다.

[7]은 드론을 사용하여 장소별, 고도별로 대기오염물질 데이터를 수집한다. 온도, 습도, 미세먼지, 이산화탄소 센서를 MCU 보드에 통합해 드론에 부착하여 데이터를 수집한다. 대기환경을 측정하기 위해서 측정 위치에서 1분간 멈춰 값을 수집한다.

[8]과 [9]는 드론을 활용한 대기오염물질 모니터링 시스템을 제안하였다. [8]에서는 CO, NO₂, O₃, SO₂, PM-2.5, PM-10 및 납 등의 오염 물질에 대한 정보를 수집하고 [9]는 PM-2.5, 온도, 습도에 대한 정보를 수집한다. 이 연구들은 고도별로 대기오염물질을 측정하였으나 바람의 영향을 고려하지 않는다.

[10]은 드론을 활용한 실시간 대기오염 모니터링 시스템을 제안하였다. 자율 비행을 통해 대기오염물질을 측정하며, PM-2.5와 NO₂를 측정한다. 고도별로 10초 동안 호버링하여 대기오염물질을 수집하며, 바람의 영향을 고려하지 않아 정확한 오염도 측정에 문제점을 지닌다.

또 다른 연구로서 차량과 드론을 사용하여 대기오염을 측정하는 연구가 진행되었다[11][12]. 차량으로 산업단지를 운행하며 오염물질 배출 의심 사업장을 선정한다. 의심 사업장이 선정되면 [11]은 드론이 모든 의심 사업장의 시료를 포집하며 [12]는

센서를 드론에 부착하여 의심 사업장의 상공을 실시간으로 측정 후 고농도 사업장 2곳의 시료만 포집한다. 두 연구의 시료 포집 방법은 공장의 굴뚝 위에 멈춰 연기를 채취한다.

[13]은 드론을 활용한 대기오염 모니터링 시스템으로 자율비행으로 대기오염을 측정한다. 오염 농도가 가장 높은 영역을 찾기 위해 PdUC(Pollution-Driven UAV Control) 알고리즘을 제안한다. PdUC 알고리즘은 이전 측정값보다 높은 측정값이 나오면 높은 쪽으로 나선 회전하며 이동하고 적으면 이전 측정 방향으로 되돌아간다. 대기오염 측정 방식으로는 호버링을 한 상태로 오염 농도를 수집한다.

더 나아가 신경망 모델과 드론을 활용하여 미세먼지농도를 예측하거나 건설 공사 현장에서 드론과 GIS 맵핑을 통해 정확한 미세먼지 측정 등과 같은 다양한 분야에서 드론을 활용한 대기오염물질 측정 연구가 진행되고 있다[14][15].

앞서 언급한 기존 연구들은 대기오염을 측정할 때 대기오염 배출구 위에서 측정한다. 그러나 기존의 측정 방식은 바람의 영향을 고려하지 않기에 정확한 오염도를 측정하지 못하는 한계가 있다.

이 논문에서는 앞서 언급한 기존 연구의 문제점을 해결하기 위해 대기오염 배출구의 정확한 오염도 측정을 위한 5-point 수집 비행 알고리즘을 제안한다.

III. 제안 시스템

3.1 시스템 구성도

그림 1은 제안 시스템의 구성도를 보여준다. 드론의 비행 활동과 데이터 측정 및 저장하는 Pollution Collection Drone 영역, 측정된 데이터를 분류 및 분석하는 Pollution Analysis Server 영역으로 이루어진다.

Pollution Collection Drone 영역은 오염도를 수집하는 역할이며 Flight Control 모듈은 대기오염 배출구로 이동하는 역할과 5-point 수집 비행 방법을 수행한다. Sensor Measurement 모듈은 대기오염물질 데이터를 측정하는 기능을 수행하며 Data Storage 모듈은 측정된 데이터를 저장하는 역할을 한다.

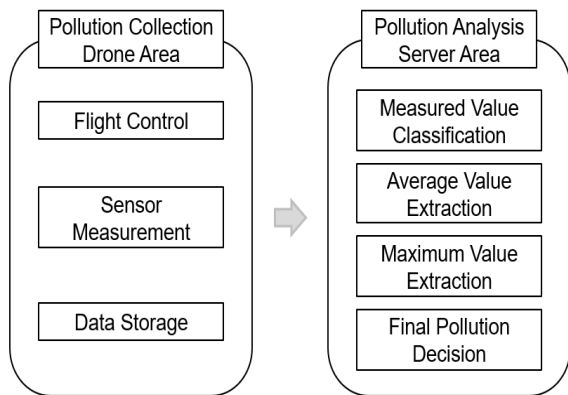


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System architecture

측정한 대기오염물질 데이터는 Pollution Analysis Server 영역에서 분류 및 분석하여 최종 오염도를 결정한다. Pollution Analysis Server 영역은 세부적으로 Measured Value Classification 모듈, Average Value Extraction 모듈, Maximum Value Extraction 모듈, Final Pollution Decision 모듈로 나뉜다. Measured Value Classification 모듈은 드론의 GPS(Global Positioning System)의 값에 따라 측정지점을 나누며, 지점별로 측정한 대기오염물질 데이터를 분류한다. Average Value Extraction 모듈은 측정지점별로 수집한 값에 대한 평균을 계산한다. Maximum Value Extraction 모듈은 측정지점 중 평균값이 가장 높은 지점의 측정값을 추출하며 Final Pollution Decision 모듈에서 최댓값을 최종 오염도로 결정한다.

3.2 시스템 흐름도

그림 2는 제안 시스템의 전체적인 흐름도를 나타낸다. 대기오염 배출구로 이동하기 위한 드론과 대기오염물질을 수집할 아두이노를 구동시켜준다. 드론이 구동되면 대기오염 배출구로 이동을 하고 아두이노와 연결된 센서를 통해 대기오염물질 데이터를 수집한다. 대기오염 배출구는 고도가 높아 와이파와 블루투스 통신에 한계가 있어 수집한 데이터는 아두이노 내의 EEPROM에 저장해준다. 데이터를 수집하면서 5-point 수집 비행을 진행한다. 비행이 끝날 때까지 데이터를 수집하며 비행이 끝나면 아두이노와 드론의 구동을 멈춘다.

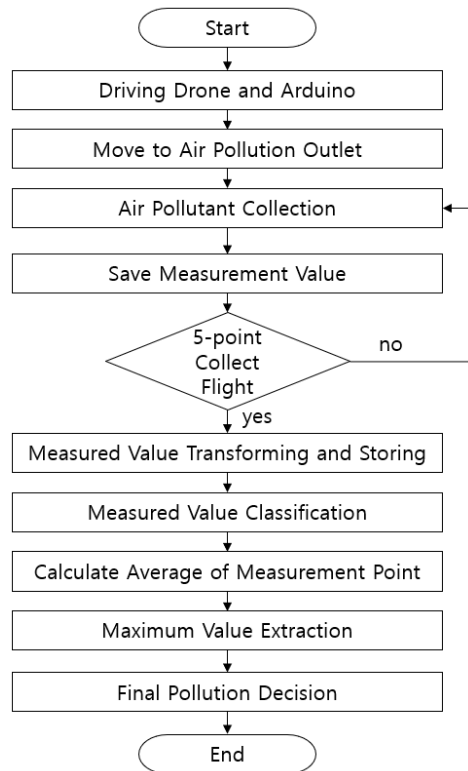


그림 2. 시스템 흐름도
Fig. 2. System flowchart

드론의 구동이 멈추면 아두이노 내에 저장된 데이터를 엑셀 변환을 통해 서버에 저장한다. 저장된 데이터는 드론의 GPS 값에 따라 5가지의 측정지점으로 나누고 측정지점에 따라 대기오염 측정값을 분류한다. 분류한 데이터는 측정지점별로 평균을 계산하며 지점별 평균값을 산출한다. 지점별 평균값 중 최댓값을 가지는 지점을 추출하여 최종 오염도로 결정한다.

IV. 구현

4.1 구현 환경

이 논문의 구현 환경은 표 1과 같다. 대기오염을 측정하기 위한 플랫폼으로 아두이노 메가 2560을 사용한다. 측정 센서로 PMS7003은 미세먼지, MQ-7B는 일산화탄소, MQ-131은 오존, CJMCU-6814는 이산화질소를 측정한다. 대기오염 측정 장치를 드론에 부착해 데이터를 측정하며 수집한 데이터는 아두이노 내에 저장한다. 드론의 모델명은 KnDrone이며 FC는 THE PEACH 제품을 사용한다[16][17].

표 1. 구현 환경

Table 1. Environment for implementation

Device	Features	Specification
Air pollutant measurement	Platform	Arduino mega 2560
	Sensors	PMS7003, MQ-7B, MQ-131, CJMCMU-6814
Drone	Model name	KnDrone
	FC	THE PEACH FCC-R1

그림 3과 그림 4는 대기오염물질 측정 드론을 구현한 사진이다. 그림 3은 드론의 상단으로 드론의 옆 부분에 오존과 이산화질소 센서를 부착하였다. 그림 4는 드론의 하단으로 아두이노와 미세먼지, 일산화탄소 센서를 부착하였다.

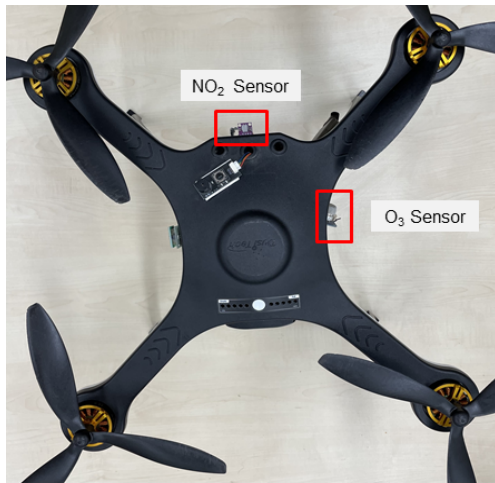


그림 3. 대기오염물질 측정 드론 상단
Fig. 3. Top of air pollutant measurement drone

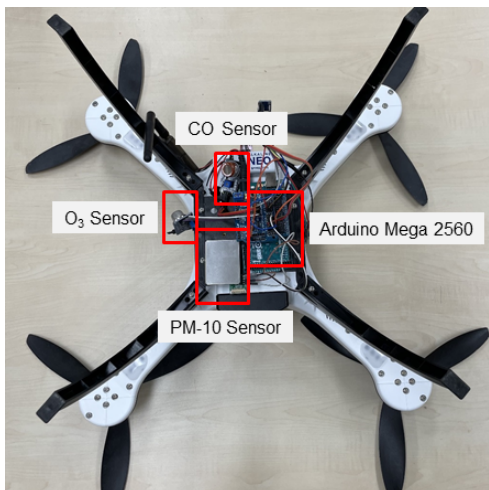


그림 4. 대기오염물질 측정 드론 하단
Fig. 4. Bottom of air pollutant measurement drone

4.2 5-point 수집 비행 알고리즘 구현

대기오염 배출구에서의 정확한 오염도를 측정하기 위해 5-point 수집 비행 알고리즘을 구현하였다. 5-point 수집 비행 알고리즘은 대기오염 배출구를 기준으로 동, 서, 남, 북, 위의 5개의 지점에서 데이터를 수집하는 방법이다.

그림 5는 5-point의 수집 비행경로를 표현한 사진으로 회색 원통은 대기오염 배출구를 나타낸다. 제안하는 알고리즘의 비행 순서는 서, 위, 동, 남, 위의 순서로 진행하며 지점당 5초씩 머물러 데이터를 수집한다.

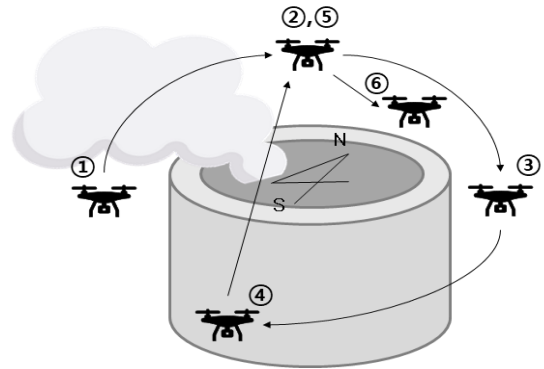


그림 5. 5-point 수집 비행 경로
Fig. 5. 5-point collection flight path

V. 실험 및 평가

5.1 실험 환경

산업단지 내 대기오염 배출구에서 실험을 진행하려 했지만, 공장에서 오염원 배출 시간과 위험성의 문제로 인해 자체적으로 실험 환경을 만들어 진행하였다.



그림 6. 실험 환경
Fig. 6. Experiment of environment

그림 6은 자체적으로 실험 환경을 구축한 사진으로 파이프 아래에 대기오염을 유발하는 물질을 태워 실험하였다. 연기는 바람의 영향을 많이 받기에 바람이 많이 불 때를 기준으로 실험을 진행하였다.

5.2 실험 및 비교 평가

실험은 대기오염 배출구에서 5-point 수집 비행 방법과 기존 연구[10]의 비행 방법으로 측정된 대기오염 수치를 비교하는 방식으로 진행하였다. 5-point 수집 비행 방법은 지점별로 5초씩 데이터를 측정해 지점당 15개 미만의 데이터를 수집하였다. 지점별로 측정값의 평균을 산출하고 평균값이 가장 높은 지점을 선정해 최종 오염도를 결정한다. [11]의 비행 방법으로 측정한 결과는 5-point 비행 결과에서 대기오염 배출구 위에서 측정한 값과 같다.

표 2와 표 3은 서풍과 동풍이 불 때 5-point 수집 비행 기법을 사용하여 측정한 지점별 대기오염물질의 평균값을 나타낸다. 각 표에서 Point 열 번호는 그림 5의 번호를 나타낸다. ①은 동쪽, ②와 ⑤는 위쪽, ③은 동쪽, ④는 남쪽, ⑥은 북쪽을 나타낸다. 각 지점별 측정값 중 표 2는 서쪽, 표 3은 동쪽에서 측정한 값이 가장 높아 최종 오염도로 판단하였다.

표 2. 서풍일 때 5-point 수집 비행 측정 결과
Table 2. 5-point collection flight measurement result (west wind)

Air pollutant \ Point	PM-10 (ug/m ³)	CO (ppm)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)
①-West	102.25	12.25	0.05	0.10
②,⑤-Top	33.40	9.10	0.02	0.07
③-East	40.00	11.45	0.02	0.07
④-South	38.00	9.14	0.01	0.06
⑥-North	30.60	9.60	0.02	0.06

표 3. 동풍일 때 5-point 수집 비행 측정 결과
Table 3. 5-point collection flight measurement result (east wind)

Air pollutant \ Point	PM-10 (ug/m ³)	CO (ppm)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)
①-West	32.00	10.00	0.01	0.06
②,⑤-Top	33.35	7.23	0.03	0.08
③-East	147.66	20.33	0.06	0.10
④-South	44.10	10.90	0.04	0.06
⑥-North	33.00	7.00	0.02	0.07

그림 7과 그림 8은 각 지점별 측정값의 변화를 보여준다. 세로축은 값의 범위를 나타내며 미세먼지와 일산화탄소는 왼쪽의 기본 축, 오존과 이산화질소는 오른쪽의 보조 축을 사용한다. 가로축은 측정 방향을 나타내며 5-point 수집 비행 순서에 따라 작성하였다.

실험을 진행할 때 그림 7은 서풍이 불었으며 5개의 지점 중 미세먼지, 일산화탄소, 오존, 이산화질소의 측정값이 서쪽에서 가장 높은 것을 확인할 수 있다.

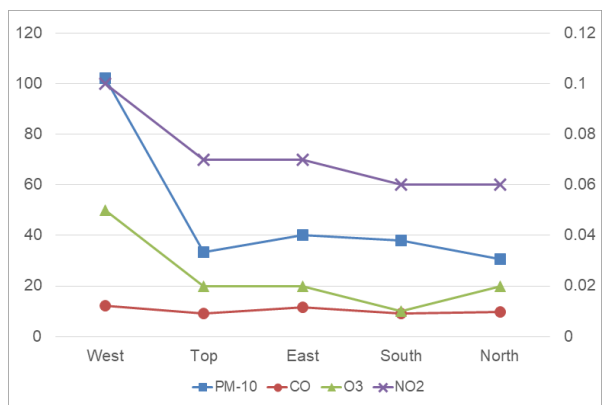


그림 7. 서풍일 때 5-point 수집 비행 결과 측정값
Fig. 7. Measurement values for 5-point collection flight result (west wind)

그림 8은 실험을 진행할 때 동풍이 불었으며 5개의 지점 중 동쪽에서 4가지 대기오염물질 측정값이 가장 높은 것을 확인할 수 있다.

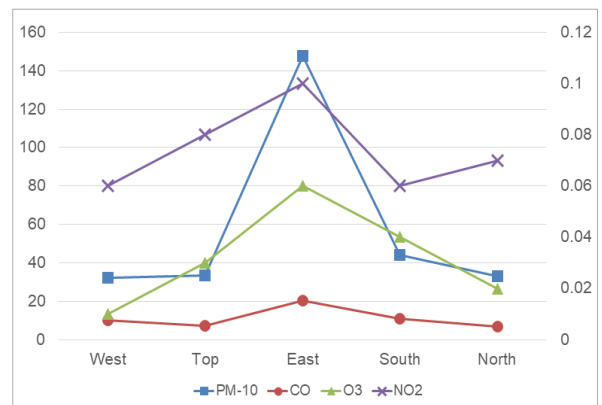


그림 8. 동풍일 때 5-point 수집 비행 결과 측정값
Fig. 8. Measurement values for 5-point collection flight result (east wind)

표 4와 표 5는 5-point 수집 비행 방법과 기존 비행 방법의 대기오염 측정 결과를 비교 평가한다. 기존의 측정 방법보다 5-point 수집 비행 방법이 모든 대기오염물질 항목에서 높은 값을 보인다. 따라서 5-point 수집 비행 방법이 기존의 측정 방식보다 오염도 측정에서 우수하다.

그러나 비용과 시간 측면에서는 기존의 비행 방법이 좋은 성능을 보인다. 5-point 수집 비행 방법은 기존의 측정 방법보다 5회 추가로 탐지하기 때문에 비용과 시간이 추가로 요구된다.

표 4. 서풍일 때 비교 평가
Table 4. Comparative evaluation (west wind)

Air pollutant Method	PM-10 (ug/m ³)	CO (ppm)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)
Proposed method	102.25	12.25	0.05	0.10
Existing method	33.40	9.10	0.02	0.07

표 5. 동풍일 때 비교 평가
Table 5. Comparative evaluation (east wind)

Air pollutant Method	PM-10 (ug/m ³)	CO (ppm)	O ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)
Proposed method	147.66	20.33	0.06	0.10
Existing method	33.35	7.23	0.03	0.08

VI. 결 론

대기오염은 사람의 건강에 악영향을 미치며 이러한 대기오염물질은 대부분 산업단지에서 발생한다. 산업단지에서 대기질을 관리하기 위해 다양한 방법을 사용하여 대기오염물질을 측정하고 있다. 그중 사람이 접근하기 어려운 위치까지 측정할 수 있는 드론을 활용한 방법이 많이 주목받고 있다. 그러나 기존의 대기오염 측정 방법은 한 지점에 멈춰 측정하는 방식으로 바람이 많이 불면 정확한 오염도를 측정할 수 없다는 한계가 존재한다.

이 논문에서는 기존 연구에서 대기오염 측정 방법에 대한 문제점을 해결하기 위해 5-point 수집 비행 알고리즘을 제안하였다. 제안한 비행 방법은 바람의 영향을 고려하여 대기오염 배출구를 중심으로 5개의 지점에서 오염도를 측정한다. 실제 공단에서 실험을 진행하려 했으나 어려움이 있어 자체적으로

실험 환경을 구축하여 실험을 진행하였다. 기존의 비행 방법과 제안한 5-point 비행 방법의 비교 평가를 통해 오염도 측정 측면에서 높은 정확도를 보였다. 그러나 제안한 비행 방법은 기존의 비행 방법보다 5회 추가 탐지가 필요하다. 이에 따라 제안한 비행 방법은 기존의 비행 방법보다 비용과 시간이 추가로 요구된다.

향후에는 북서, 북동, 남동, 남서의 4가지 방위각을 추가해 9-Point 수집 비행을 구현하여 측정값의 정확도를 향상하는 연구가 필요하다. 또한, 대기오염 배출 근원지를 찾기 위해 POI(Point of interest) 기반의 자율 비행 연구가 필요하다.

References

- [1] Health Effects Institute, "State of Global Air 2019", Health Effects Institute, 2019.
- [2] National Air Emission Inventory and Research Center, "Major Air Pollutants", <https://www.air.go.kr>. [accessed: Oct. 06, 2021]
- [3] POSCO NEWSROOM, "How POSCO manages the air environment - Particulate matter", <https://newsroom.posco.com/kr>. [accessed: Oct. 06, 2021]
- [4] Ministry of Environment, "Air Pollution Monitoring Network Installation · Operating Instructions", Ministry of Environment, 2021.
- [5] Ministry of Environment, "Chimney Remote Monitoring System Work Manual", Ministry of Environment, 2020.
- [6] J.-H. Kim, B.-C. Lee, S. H. Lee, J.-T. Kim, "Implementation of QuadCopter Dust Measurement System based on IoT using OSS(QDMS)", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 21, No. 2, pp. 33-39, Apr. 2021. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.2.33>.
- [7] N. H. Kim, "Development of atmospheric environment information collection system using drone", Smart Media Journal, Vol. 7, No. 4, pp. 44-51, Dec. 2018. <http://dx.doi.org/10.30693/SMJ.2018.7.4.44>.
- [8] G. M. Bolla, M. Casagrande, A. Comazzetto, R.

- D. Moro, M. Destro, E. Fantin, G. Colombatti, A. Aboudan, and E. C. Lorenzini, "ARIA: Air Pollutants Monitoring Using UAVs", IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), Rome, Italy, pp. 225-229, Sep. 2018. <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace.2018.8453584>.
- [9] H. J. Jumaah, B. Kalantar, A. A. Halin, S. Mansor, N. Ueda, and S. J. Jumaah, "Development of UAV-Based PM2.5 Monitoring System", Drones, Vol. 5, No. 3, pp. 1-12, Jul. 2021. <https://doi.org/10.3390/drones5030060>.
- [10] Q. Gu, D. R. Michanowicz, and C. Jia, "Developing a Modular Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform for Air Pollution Profiling", Sensors, Vol. 18, No. 12, pp. 1-14, Dec. 2018. <https://doi.org/10.3390/s18124363>.
- [11] Ministry of Environment Wonju Regional Environment Agency, "Control of illegal emission of air pollutants using state-of-the-art monitoring equipment", Ministry of Environment Wonju Regional Environment Agency, 2020.
- [12] S. M. Rye, J. H. Kim, J. H. Kim, J. W. Yoo, B.J. Gong, and J. M. Park, "A Study on Air Pollution Point Source Tracking Method in the Industrial Complex Area Using Drone and Real-time Analyzer", Journal of the Korean Society of Urban Environment, Vol. 19, No. 4, pp. 259-266, Dec. 2019.
- [13] O. Alvear, N. R. Zema, E. Natalizio, and C. T. Calafate, "Using UAV-Based Systems to Monitor Air Pollution in Areas with Poor Accessibility", Journal of Advanced Transportation, Vol. 2017, pp. 1-12, Aug. 2017. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/8204353>.
- [14] B. H. Kim, H. Y. Lee, and S. M. Lee, "Proposal of fine dust concentration prediction system using neural network model and drone", The Korea Society of Management information Systems, pp. 285-190, Nov. 2019.
- [15] J. H. Lee, J. G. Han, and Y. H. Kim, "Preliminary Study on GIS Mapping-based Fine Dust Measurement in Complex Construction Site", Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol. 22, No. 2, pp. 319-325, Feb. 2021. <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.2.319>.
- [16] KNDRONE & DUSITECH, <http://www.kndrone.com>. [accessed: Oct 07, 2021]
- [17] THE PEACH, http://www.thepeach.kr/bbs/content.php?co_id=system. [accessed: Oct 07, 2021]

저자소개

김 수 영 (Suyeong Kim)



2018년 3월 ~ 현재 : 군산대학교
소프트웨어융합공학과 학부생
관심 분야 : 사물인터넷,
프로그래밍, 데이터베이스

정 현 준 (Hyunjun Jung)



2008년 : 삼육대학교
컴퓨터과학과(학사)
2010년 : 숭실대학교
컴퓨터과학과(공학석사)
2017년 : 고려대학교
컴퓨터·전파통신공학과(공학박사)
2017년 8월 ~ 2020년 8월 :
광주과학기술원 블록체인 인터넷경제연구센터
2021년 ~ 현재 : 군산대학교 소프트웨어융합공학과
관심분야 : 블록체인, 데이터 사이언스, 센서 네트워크,
사물인터넷, 머신러닝

이 석 훈 (Sukhoon Lee)



2009년 2월 : 고려대학교
전자및정보공학부(학사)
2011년 2월 : 고려대학교
컴퓨터·전파통신공학과(공학석사)
2016년 2월 : 고려대학교
컴퓨터·전파통신공학과(공학박사)
2016년 3월 ~ 2017년 3월 :

아주대학교 의료정보학과 연구강사
2017년 4월 ~ 현재 : 군산대학교 소프트웨어융합공학과
부교수
관심 분야 : 사물인터넷, 메타데이터, 센서 레지스트리,
시맨틱 웹, 경로 예측

정 동 원 (Dongwon Jeong)



1997년 : 군산대학교
컴퓨터과학과(학사)
1999년 : 충북대학교
전산학과(석사)
2004년 : 고려대학교
컴퓨터학과(박사)
2005년 ~ 현재 : 군산대학교

소프트웨어융합공학과 교수
관심분야 : 데이터베이스, 시맨틱 서비스, 빅데이터,
사물인터넷, 엣지컴퓨팅, 지능형 융합 서비스