

단지조성공사 내 드론을 활용한 GIS 맵핑 기반 미세먼지 측정 시스템 기초 연구

이재호*, 한재구, 김영현
한국건설기술연구원 건설산업고도화센터

Preliminary Study on GIS Mapping-based Fine Dust Measurement in Complex Construction Site

Jaeho Lee*, Jae Goo Han, Young Hyun Kim

Construction Industry Innovation Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 드론을 활용한 미세먼지 측정은 산업의 발달과 함께 점차 보편화 되고 있으며, 일부 산업 지대에서 미세먼지 모니터링으로 대기 오염원을 파악한다. 건설 공사 현장에서는 현장사무소에 미세먼지 측정소를 따로 마련하여 주변 공인 측정소보다 현장의 미세먼지 농도를 파악할 수 있다. 그러나, 미세먼지를 발생시키는 오염원으로부터 미세먼지 측정을 정확하게 파악하기는 어려우므로 현장 오염원에 가깝게 직접 투입하여 미세먼지 농도를 측정하여 정확성을 높이고자 하였다. 미세먼지측정치가 부착된 드론은 착륙 중에 발생하는 하향풍 영향으로 측정 노이즈가 발생하였으나 높이 30m에서, 맵핑을 진행하였을 때, 오염원의 수치와 유사하게 측정이 되었다. 실험 대상지역에 대한 현장 적용성은 평탄화 작업이 많아 지형이 지속적으로 바뀌기 때문에 위성영상을 활용한 주기적인 업데이트 정보에는 한계가 있었다. 특히, 질토 작업구간에서 위성지도의 정보는 드론의 맵핑 구역과 미세먼지 농도가 지형에 중첩되어 정확한 구현을 위해서는 맵핑도 함께 반영되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 드론을 활용한 GIS 맵핑을 통해 실시간 현장 정보를 반영할 수 있는 시스템을 구현하였다.

Abstract A fine dust measurement using drones is becoming an increasingly common technology, and air pollutants can be identified through dust monitoring in partial industrial areas. A station for measuring fine dust provides information at large construction site offices. On the other hand, it was difficult to check the fine dust in the pollutant source accurately. Therefore, the drone took measurements directly after been placed at the site. While measuring fine dust, monitoring noise occurred due to the influence of the drone's down-wind during landing, but the measurements were similar to the numerical value of the grounded pollution source on the height of 30 m. The field applicability to the study area has limitations in periodic updates using satellite images because the terrain was constantly changing due to considerable flattening fieldwork. Therefore, this study implemented a system that can reflect real-time field information through GIS mapping using drones.

Keywords : Fine Dust, Drone, Construction Site, Geographic Information System, Mapping, Flattening Work

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술평가원의 지원으로 수행되었음 (과제번호:19CTAP-C152136-01) 연구과제로 수행되었음

*Corresponding Author : Jaeho Lee(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: engine@kict.re.kr

Received December 21, 2020

Revised February 1, 2021

Accepted February 5, 2021

Published February 28, 2021

1. 서론

최근 도심지를 비롯해 주거지역의 미세먼지 및 황사로 인한 피해가 증가하고 있으며, 미세먼지로 인한 인명 피해가 가중되고 있어 사회적 문제가 되고 있다. 실제 서울 시민의 58.2%는 심각한 환경문제로 대기오염을 인식하고 있으며, 대기오염 예·경보에 따라 미세먼지에 항상 신경을 쓰며 대응하는 시민이 2011년 16.0%에서 2014년 35.6%로 증가하였다. 2016년 기준 서울시에 신고된 비산먼지 발생사업장 1750개소 중 건설업이 1697개소로, 전체 비산먼지 발생사업장의 대부분을 차지하고 있으며, 사업장별 민원건수를 보면 전체 민원발생 3,771건 중 3,748건으로 건설업이 대다수를 차지하고 있다[1].

국립환경과학원에서는 전국 발생 미세먼지 PM10은 약 12만톤에 달하고 있으며, 이중 건설공사 현장에서 발생하는 비산먼지 발생량은 전체 PM10 발생비율에서 약 20%를 차지하는 것으로 발표하였다. 또한 서울연구원에서는 서울시 전체 미세먼지 배출량의 약 40%가 건설현장 비산먼지 배출량이 차지하고 있는 것으로 나타났다. 아울러, 공사장의 비산먼지뿐 아니라 건설기계의 연료연소도 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 질소산화물(NOx)의 주요 배출원 중 하나로 파악하였다[2].

이와 관련하여, 정부와 지자체에서는 법적 규제[3]를 통해 실질적인 저감 방안으로 세륜 시설, 방진막 설치, 도로 살수차 물분사 등의 조치를 취하고 있지만, 규제에서 예외사항이 1,000m² 이하의 소규모 건축공사의 경우 사각지대가 되고 있어 본 연구에서는 소규모 공사를 대상으로 하는 드론기반 미세먼지 측정 방안을 제시하였다.

2. 미세먼지 관련 정책 및 기술 현황

2.1 국내외 정책현황 분석

유럽은 2003년 6차 환경행동계획에서 공기질 개선노력에 대한 방향성을 채택하고, 2008년 공기질 개선관련 훈령 채택(EC Directive)으로 2010년까지 EU 27개국은 관련 훈령 이행을 위한 제반수단 구축을 의결하였으나 이행평가에서 목표달성의 어려움으로 유예하였다. 특히, 독일의 경우 자동차 매연에 의한 오염감소 정책을 추진하는 등 유럽 개별국가별로 자동차 배출가스 규제를 강화하고 있다.

중국은 대기오염방지 행동계획 수립하여 오염심각지역인 베이징, 톈진, 하베이지역 등은 15~25%까지 감축

계획을 수립하였고, 2015년 대기오염 방지법을 전면개정 하였다. 베이징은 도심 진입 차량에 혼잡 통행료를 부과(스모그 세금)하고, 2008년 베이징 올림픽이후 차량 5부제 시행 및 연간 신규차량 번호판 제한정책을 실시하고 있다.

일본은 2010년대 수소, 전기차 등 예코차 보급 활성화 정책을 추진하였고, 세부적으로 도쿄도는 2011년부터 저공해, 저연비차 제도를 시행하여 기존대비 75% 대기질 개선 프로젝트를 진행 중이다. 또한 일본정부 주도의 수소경제는 호텔, 컨벤션 등 대형 복합단지에 들어가는 전기 발전용으로 확대될 예정이다.

국내 종합대책의 주요 추진방향은 1) 수도권 및 대도시 이외에 미세먼지 오염도가 높은 도심지역 중심 관리, 2) 개별적 오염물질 관리가 아닌 통합적 저감 대책 추진 방식, 3) 국제협력을 통한 실질적 저감, 4) 인체 위해성 저감 정책, 5) 체계적이고 통합적인 대응기반 연구를 추진하도록 수립하였다.

2022년까지 미세먼지 국내 배출량 30% 저감, 4대 핵심 배출원(발전, 산업, 수송, 생활) 집중 감축 등을 목표로 하고 있다. 건설관련 단기대책으로 사업장 오염물질 배출 총량제 내실화, 집중단속, 중소기업 환경개선 지원 대책 추진, 도로 및 건설공사장 비산먼지 저감을 위해 2017년 도로 설계기준을 변경하였다.

건설관련 중장기 대책으로 사업장 오염물질 배출 총량제 대상지역을 확대하고 질소산화물에 대한 대기배출 부과금 부과, 비산배출사업장 시설관리기준 강화, 건설기계 저공해화 지원 및 제도개선, 도로제 비산먼지 집중관리로 미세먼지 관리에 대한 중점적인 저감 대책을 이어나가고 있다.

2.2 국내외 연구현황 분석

미세먼지 측정과 관련된 연구동향으로, 미세먼지 수집 드론의 측정은 기존에 설치된 장치보다 0.2 -0.5% 수준의 오차를 발생하고 있다고 분석되었고[4], 이러한 오차를 감소하기 위해 드론 상부의 측정 장치를 적재하고 프로펠러 외부에서 측정할 수 있도록 인렛(inlet) 구조로 드론 적재 상부나 비행 정면부분 측정을 할 수 있도록 제작하였으나 여전히 프로펠러의 영향을 받는 한계점이 있었다.

이러한 오차를 감소하기 위해 프로펠러 하향풍을 측정 센서에 보내 물리적인 구조 개선으로 측정[5]을 시도 하였으나 동일한 문제점이 발생하여 드론 비행의 기본적인 한계점으로 볼 수 있다. 본 연구와 유사한 측정 장비 활

용 사례로 1 μ m 이하 블랙카본 미세먼지를 측정[6]하였으며 기존 미세먼지 농도 측정 기준의 2.5 PPM이나 10 PPM과 동일하게 입자 크기 상관없이 일정 수준의 오차가 발생하며 측정이 가능 한 것을 알 수 있다. 또한 프로펠러의 영향에 대해서 8개의 프로펠러를 활용하여 동일하게 인렛을 설치하여 측정[7]하였다. 본 선행연구는 기존 연구에서 드론과 미세먼지 측정모듈을 함께 운용하였을 때, 드론 하향풍 영향을 중점적으로 측정의 한계점을 확인하였다. 그러나, 매립이나 화산활동의 직접적인 인력의 측정이 불가능한 지역에 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

따라서, 본 연구에서는 하향풍을 고려한 측정 높이를 도출하여 드론을 이용한 미세먼지 측정 정확성을 높이는 데 목적이 있다.

3. 미세먼지 측정장비 사양 및 제작

본 연구는 드론을 이용한 미세먼지 측정을 위한 고려 요소 도출[8]의 한계점으로 제시한 단순 고정 위치로 지엽적인 미세먼지 측정하는 수동적인 ‘점 측정 방식’의 편차를 능동적으로 맵핑하는 ‘면 측정 방식’으로 줄이고, 시간에 따른 미세먼지 이동의 오차를 최소화하기 위해 일반적으로 측정하는 분단위의 측정을 초단위의 측정으로 미세먼지 분포를 가시화 하였다.

3.1 측정 장비 사양

미세먼지 측정 장비 초기 프로토타입을 제작하기 위해 유연한 설계 변경과 향상된 제작이 용이하도록 3D 프린팅 방식으로 모듈을 제작하였으며, 지속적인 측정과 교체의 범용성을 고려하여 측정시간이 빠르고 데이터 수집이 용이한 광산란 방식의 “Plantower PMS3003” 센서로 구축하였다. Table 1은 측정 장비 내에 장착된 센서 사양을 나타내고 있다.

측정범위는 PM 2.5, PM 10 이외에도 PM 1.0 측정이 가능하지만, 공식적인 범위 내의 데이터만 활용하였다. 최대 오차범위는 10% 이내지만, 초단위 측정으로 순간적인 오염에 대한 발견 및 측정에 대해 작동의 무리가 없을 것으로 판단하였다.

Table 2는 센서를 포함한 장비의 사양으로 최대 4시간을 작동할 수 있으며 드론 1회 비행시간보다 여유 있는 가동시간을 확보하고 있다. 활동 온도범위는 작업자의 야외활동이 가능한 온도 내(-20 ~ +50 ℃)에서 운영가

능하다. 데이터는 GPS 위치(위도, 경도), 측정시간(날짜, 시간), PM 농도(2.5, 10), 그리고 고도에 대한 정보를 수집하고 있으며 최대 송수신 범위는 조종기 반경 2km 이내로 최대 12km² 면적의 미세먼지 데이터를 확보할 수 있다.

Table 1. Specification of sensor

PPM	0.3~1.0, 1.0~2.5, 2.5~10	μ m
Efficiency	50 % @ 0.3 μ m 98 %@>0.5 μ m	
Scope of effect	0~500	μ g/m ³
Max. scope	\geq 1000	μ g/m ³
Resolution	1	μ g/m ³
Max. Consistency Error (PM2.5)	\pm 10%@100~500 μ g/m ³ \pm 10 μ g/m ³ @0~100 μ g/m ³	
Volume	0.1	Litre
Single reaction time	1	Second

Table 2. Specification of fine dust measurement module

Weight	650 g
Volume (L×W×H)	165 × 134 × 60 mm
Time	4 hours
Battery	5,000 mAh , 5V2A
Operation Temp.	-20 ~ +50 ℃
Sensor	Plantower PMS3003
Measurement	PM1.0, PM2.5, PM10
GPS	ublox NEO-6M-0-001
Communication Speed	9600 bps
Protocol Sign	GPS satellites_HDOP_latitude_longitude_date_height_velocity_CF_PM1.0 CF_PM2.5 CF_PM10 AT_PM1.0 AT_PM2.5 AT_PM10
Transmission Distance	2 km

3.2 활용 드론 “DJI Matrice 300 RTK”

6방향 감지, 포지셔닝 시스템 및 FPV 카메라를 갖춘 산업용 드론 플랫폼으로, 안정성과 안전성 향상을 위해 드론 위에 장착할 수 있는 추가적인 장애물 감지 구성 요소인 원형 스캐닝(Circular Scanning Milimeter, CSM) 레이더를 지원한다. 리턴 투 홈, 장애물 감지, AI 현장 확인 등 여러 가지 고급 비행 기능이 탑재되어 있으

며, 내장된 AirSense는 주변 비행 공간 내 가까운 기체에 대한 인식 정보를 제공하여 안전 요소를 고려한다. 이 드론의 기체 프레임 설계는 국제 IEC 60529 표준에 따라 IP45 방진방수 등급을 보유하고 있다. 기체의 상단과 하단의 안전 비콘을 통해 밤이나 낮은 조명 조건에서 기체를 식별할 수 있으며, 보조등은 밤이나 저조도 환경에서 비전 포지셔닝 시스템 성능에 도움을 주어 기체 이륙, 착륙, 비행 안전을 개선한 모델이다.



Fig. 1. Measurement module made of 3D printing

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 측정 장비는 드론의 전면 진행 방향으로 인렛 없이 미세먼지를 직접적으로 측정하도록 모듈 내부에 설치하였다. 활용된 드론은 많은 커넥터 짐벌과 호환되며, 멀티 짐벌 시스템을 지원해 최대 3개의 독립적인 짐벌을 지원할 수 있어 여러 가지 시나리오에 적용 가능하다. 확장 포트가 많이 장착되어 있어 응용 분야에 적합하다. 짐벌 3개의 무게를 고려한 적재 용량으로 최대 적재 무게가 2.5kg로 측정 장비 무게(650g)를 수용할 수 있다. 적재용량이 고려되어 있지 않을 경우, 최대 비행시간은 최대 55분으로 추가적인 배터리 팩을 함께 운용한다.

4. 현장 적용성 실험

4.1 실험 현장 개요

드론의 비행과 미세먼지 발생을 육안으로 확인하기 적합한 현장으로 '인천검단지구 택지개발사업 조성공사(2-1공구)'에서 미세먼지를 측정하였다. Fig. 2의 현장 지도는 택지개발사업으로 토공사가 중심인 현장이다. 부지면적은 1,886,314m²으로 인천광역시 서구 불로동 마전동 일원에 위치하고 있다.

적용성 실험은 당일(2020년 10월 13일), 현장 주변의 미세먼지는 인천 서구 측정소 1, 2의 데이터를 반영하여 서울, 인천, 경기의 PM10, PM2.5는 “좋음(PM2.5는 15이하, PM10은 30이하)”으로 예보하였다. 현장사무소에



Fig. 2. Distance of drone measurement point

서 당일 측정 평균값은 5분 단위로 측정된 데이터를 취득하였으며 PM10은 27ppm, PM2.5는 16ppm으로 좋음으로 측정되었다. 드론 미세먼지 측정 위치로부터 현장에서 운영하는 자체측정소는 1km 이내로 위치하고 있으며, 나머지 2개의 측정소는 1.6km에서 3km 수준으로 국지적 미세먼지 발생에 대한 정확한 측정이나 영향은 불가능한 위치이다.



Fig. 3. Background condition of construction site

Fig. 3은 드론 이착륙 주변 지역의 토공사를 진행 중인 황화산과 배매산을 절토하는 작업 환경을 촬영한 사진으로, 고지대에서 절토하는 장비와 덤프트럭이 활발하게 활동을 하고 있으며 드론의 이착륙, 맵핑, 그리고 측정 장비의 데이터 수신에도 적합할 것으로 판단하였다.

4.2 미세먼지 측정

드론의 이착륙 지점의 측정 정보는 위도 37.606105°, 경도 126.695198°, 높이 72.155m 이다. 최대 반경은 500m, 최대고도는 100m로 비행하였다. 고도의 오차를 고려하여 10m 이상의 비행 데이터를 구간별로 분석하였다.

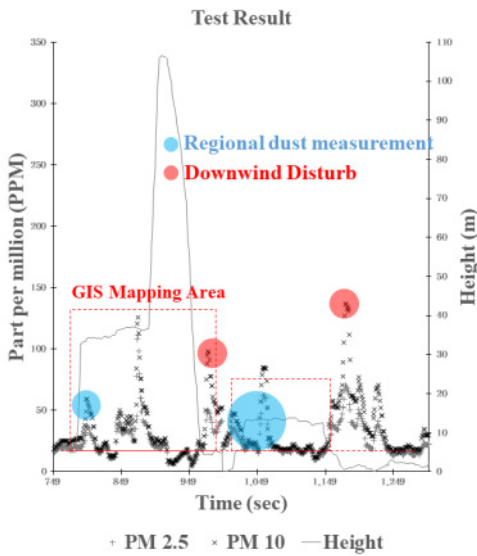


Fig. 4. Test result in construction site

지상으로부터 고도 10m와 30m를 중심으로 비행을 하였으며 1,300개의 데이터가 수집되었다. Fig. 4 는 그 중의 일부 650개의 데이터를 정리하였다. 붉은 점선의 사각 영역은 드론 비행 구간이며, 착륙 시에 하향풍으로 발생한 미세먼지의 데이터 노이즈도 미세먼지 측정 값으로 인정하였다. 붉은 원의 영역은 자체 발생 미세먼지의 값을 나타내고 있으며 푸른 원의 영역은 비행 중에 국지적으로 발생한 미세먼지 오염원을 파악한 구간으로 볼 수 있다. 추가적으로, 일부 지역은 맵핑과 동시에 측정 데이터를 얻는 시스템 프로토타입을 구현하여, 고도 30m에서 중복도(frontal overlap) 30%로 15개의 측정점으로 시각화 좌표를 만들기 위한 초기 모델링을 진행하였다.

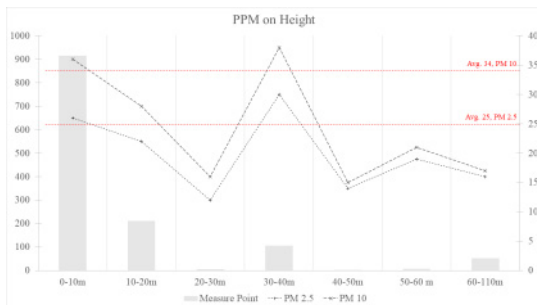


Fig. 5. PPM on Height

Fig. 5에서 고도 구간으로 분석하였을 경우, 0-10m 구간의 측정점은 현장에서 발생하는 주변 미세먼지 농도가

가장 근접하게 측정되었다고 판단할 수 있으며, 이와 유사한 데이터는 30-40m 구간으로, 비행 중 미세먼지 오염도가 근접하게 측정되는 것을 알 수 있다. 고도 구간이 높아지면 정부에서 공시한 예보와 동일하기 때문에, 고도는 50m 이하의 측정이 국지적 측정에 효율적으로 판단된다. 평균적으로 PM10은 34ppm, PM2.5는 25ppm 수준으로 지상 측정소보다 높은 수치를 나타내어 순간 발생 되는 미세먼지 측정에 적합하다.

4.3 GIS를 이용한 미세먼지 분석



Fig. 6. 3D route of measurement on satellite map

Fig. 6에서 나타난 각 심볼의 색상은 에어코리아(airkorea.or.kr)에서 제시하는 색상을 기준으로 설정하였다. 현장 실험에서 취득한 데이터(비행경로 및 미세먼지 측정)를 이용하여, GIS 정보와 함께 연동되는 운영 기초시스템을 구축하였다. 국토부의 국토지리정보원에서 제공하는 위성지도 업데이트는 최소 6개월 이상 주기의 한계로, 측정 데이터가 산으로 가려져 있다. 따라서, 토공사 위주의 건설 현장에서는 위성 지도의 한계로, 공사기간 내에 주기적인 측정을 통해 절토나 성토 구간의 지면을 조정하거나, 맵핑을 통한 3D 모델링을 구현하여 데이터를 입히는 형식이 되어야 한다.

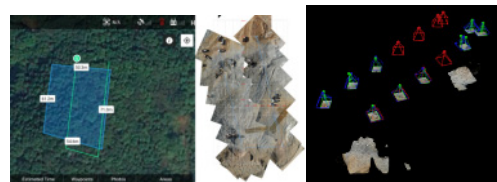


Fig. 7. Realization of 3D modeling through satellite map based flight path setting and mapping

Fig. 7에서 일반적인 3D 맵핑에 필요한 중복도 70%

를 30%로 2D 사진 측량으로 측정시스템의 개념적인 시각화를 접근하였고, GIS 맵핑 구간의 측정 15개의 데이터와 미세먼지를 통합한 2차원 정보는 미세먼지 데이터 값과 함께 구현이 용이하였다. 일부 중첩이 많은 부분은 90도로 회전하는 구간으로 속도가 줄어들고 중첩률이 높아지면서 3D 맵핑이 가능하였다.

5. 결론

30m 상공에서 데이터 취득이 미세먼지 발생원으로부터 유용한 수준으로 볼 수 있으며 데이터 수신 및 위치 정확도에 대한 오차는 사용가능한 수준으로 판단되나, 고도 값의 경우 높이 값의 차이가 10m 정도 오차를 보이는 것으로 확인되어, 일반적으로 GPS의 고도 값 오차 범위 내에 있다.

향후 본 연구의 시스템 개선을 통해 미세먼지 저감을 위한 정확한 위치정보를 제공하려면 기존 드론 시스템에 통합되고 위치정보를 지속적으로 보정할 수 있는 기지국을 설치해야 할 필요가 있다.

실험 현장은 토공사가 중점적인 현장의 특성으로, 미세먼지 발생이 높을 수 있으나 현장 내의 저감 방안으로 살수설비 및 현장 내 살수차를 운영하고, 주변 환경의 순환이 빠르다. 따라서 드론을 활용한 미세먼지 측정은 미세먼지 저감을 하지 않는 규제 외의 사각지대에 있는 연면적 1,000m² 이상의 소규모 공사와 순환이 어려운 도심지 공사를 대상으로 측정하는 것이 적합하다.

위성지도 업데이트 주기의 한계점으로 미세먼지 측정은 실시간 맵핑과 동시에 데이터를 취득하는 것이 공사 현장에 적합하다. 3D 모델링은 공사의 진행 정보(절토, 성토 등)를 파악하는 것에 용이하나 모델링에 시간이 많이 소요되기 때문에, 미세먼지 측정과 저감 조치의 시차에는 적합하지 않다. 그러므로 2D 정보를 바탕으로 우선적인 미세먼지 위치를 파악하고 저감 조치를 시행하면서 병렬적인 데이터 활용으로 3D 모델링을 진행하는 것이 효율적이라고 판단한다.

References

[1] W. S. Kim, A study on Establishing PM2.5 Advisory Criteria with Emission source Management System in Seoul, Research Report, Seoul Institute, Korea, pp 80-91.

[2] The Ministry of Environment, "Fine Dust, What is it?". The Ministry of Environment, Sejong-si, Korea, pp. 8-19, Apr. 2016, ISBN: 978-89-93652-27-7

[3] Law of "Article 43 of Air Environment Conservation Act", Korea, 2019

[4] P. P. Neumann, S. Asadi, V. Hernandez Bennetts, A. J. Lilienthal, M. Bartholmai, "Monitoring of CCS areas using micro unmanned aerial vehicles (MUAVs)", *Energy Procedia*, Vol.37, pp.4182-4190, Jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.320>

[5] Y. J. Jo, M. S. Jang, "Suggestion and verification of architecture for collecting fine dust using drone", *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 15, pp.125-132, Feb. 2020. <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202012764216653.page>

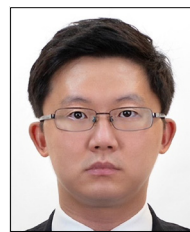
[6] J. Lee, "Black carbon measurement using a Drone", *Journal of Korea Society for Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp.486-492, Jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.3.486>

[7] 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

[8] Y. H. Kim, J. G. Han, "Derivation of Consideration Factors for Fine Dust Measurement through GIS Mapping", *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*, The Korean Institute of Building Construction, Daejeon, Korea, pp.163-164, 2020.

이 재 호(Jaeho Lee)

[정회원]



- 2013년 8월 : 한양대학교 일반대학원 건설환경공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 한양대학교 일반대학원 건설환경공학과 (공학박사)
- 2018년 4월 ~ 2019년 6월 : 한양대학교 산학협력단 선임연구원

- 2019년 7월 ~ 2020년 7월 : 엑스컨 주식회사 대표
- 2020년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원

<관심분야>

건설관리, 건설제도, 건설자동화, 시스템통합

한 재 구(Han Jae Goo)

[정회원]



- 1999년 8월 : 경원대학교 일반대학원 건축학과(건설관리 석사)
- 1999년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 건설정책연구소 수석연구원

<관심분야>

건설관리, BIM, 스마트건설, 건설정책

김 영 현(Young Hyun Kim)

[정회원]



- 2000년 8월 : 한양대학교 한양대학원 토목환경공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 한양대학교 한양대학원 토목환경공학과 (박사수료)
- 2012년 11월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>

건설관리, 건설사업관리 대가, 기술형입찰