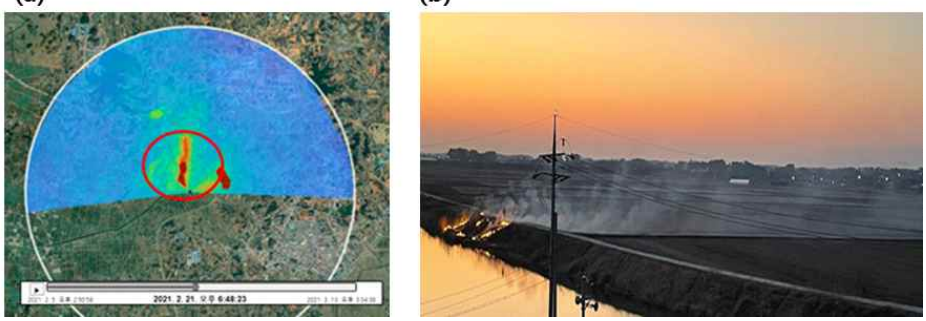
(22-2-40-41) 환경현안조사연구 - 대기관리 - 대기오염측정및관리

<table>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="3">스캐닝 라이다 시스템을 이용한 부산지역 항만 미세먼지 발생 현황 파악</td></tr>
<tr><td>연구기간</td><td colspan="3">2022 년 2 월 ~ 2022 년 11 월(10 개월)</td></tr>
<tr><td>연구비</td><td colspan="3">30,000 천원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업 구분</td><td colspan="3">연구분야 및 세부연구분야(해당사항 1군데 ■표)</td></tr>
<tr><td>하폐수 처리</td><td>상수도 및 정수</td><td>수질관리</td></tr>
<tr><td rowspan="8">□정책연구
■조사연구
□기술개발연구
□산학연협력연구
(해당사항 1군데 ■표)</td><td>□물리화학적 처리
□생물학적 처리
□막처리 및 재이용
□하수처리 시스템
□질소 및 인 제거
□하폐수 처리 기타
□축산폐수 처리
□기타</td><td>□막분리
□정수처리 및 수질관리
□고도정수처리
□상수관망
□기타</td><td>□수질오염
□수질모델
□수질관리기타
□기타</td></tr>
<tr><td>자연환경분야</td><td>폐기물관리</td><td>대기관리</td></tr>
<tr><td>□환경정책 □생활환경
□건강위해성 □생태관리
□환경오염사고대비
□소음관리
□청정기술개발
□기타</td><td>□매립 및 침출수 처리
□슬러지 처리
□소각 및 열분해
□재활용 및 자원화
□음식물 쓰레기 처리
□폐기물 관리 기타</td><td>■대기오염측정 및 관리
□대기오염모델링,위해도
□대기오염 처리기술
□VOCs 및 악취 처리
□기타</td></tr>
<tr><td>토양지하수오염</td><td>기후변화대응분야</td><td>기타환경분야</td></tr>
<tr><td>□오염토양처리관리
□폐광토양오염,지하수처리
□지하수 환경관리
□기타</td><td>□온실가스배출량산정
□온실가스배출량감축연구
□배출권거래 □기타</td><td>□기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>연구의 목적 및 필요성</td><td colspan="3">○ 연구 배경 및 필요성
- 미세먼지는 입자 크기에 따라 미세먼지(PM_{10})와 초미세먼지($PM_{2.5}$)로 구분되며, 특히 초미세먼지는 코나 기관지에서 걸러지지 않아 건강에 큰 악영향을 줌.
- 국내 최대 항만도시인 부산은 중국, 두바이, 싱가포르와 함께 ‘세계 10대 초미세먼지 오염항만’으로 선정되는 등 항만과 해양에서 기원한 미세먼지에 의한 대기오염이 심각한 지역임.
- 부산은 선박 외에도 컨테이너 운송용 트레일러, 야드 트렉터 같은 항만 하역 장비로부터 배출된 미세먼지의 영향을 많이 받음.</td></tr>
</table>

연구의 목적 및 필요성 (계속)	- 특히 선박의 특성상 한정된 공간에서 많은 양의 오염물질을 집중적으로 배출하므로 부산항뿐만 아니라 인근 대기 환경에 악영향을 줌. - 부산의 여름철(5 ~ 7월) 고농도 미세먼지 발생은 전국 최고 수준을 보이며, 이는 항만도시의 특성으로 보임(BDI 정책포커스, 2021, 1-12p). - 부산시에서 발표한 '「2020년 대기질 진단평가시스템 운영 결과」'에 따르면 동절기 부산시의 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 중국의 영향이 가장 컸으나, 하절기의 경우 국외지역보다 부산 자체 배출영향이 우세하였으며 그 중 최대 배출원은 비도로이동오염원(선박)으로 분석됨. - 실제로 하절기에는 남풍 계열의 바람이 내륙으로 유입되기 때문에 부산항에서 발생하는 미세먼지가 내륙 안쪽 지역까지 영향을 줄 것으로 추정. - 해양과 항만에서 발생하는 미세먼지에 의한 부산 내륙 거주 지역에 미치는 영향을 파악하는 것이 중요하나, 현재 미세먼지 측정은 '국가 대기오염측정망'으로 이루어지고 관측소 수가 부산 전체 총 29곳으로 제한되어 있음. - 부산항만공사에서도 항만 미세먼지를 체계적으로 관리하기 위하여 기존 4곳에 더하여 21곳에 대기질 측정기를 설치한 바 있음(BPA 보도자료, 2021년 2월 19일자). 그러나 이 또한 고해상도의 미세먼지 데이터를 산출하고, 오염물질 발생지점 파악 및 확산을 추정하는 것에 한계가 있음. - 부산 항만 지역을 대상으로 미세먼지 발생지점 파악 및 확산에 대한 정보를 얻기 위해서 광범위한 지역에 대해 빠르고 입체적인 관측이 가능한 시스템 구축이 필요 ○ 연구의 목적 - 본 연구는 반경 5 km의 광역적인 범위에서 30 m의 고해상도로 미세먼지 상시 관측이 가능한 스캐닝 라이다 시스템(Scanning LIDAR System)을 이용하여 부산의 항만과 해양에서의 미세먼지 발생 현황 파악, 배출원 특정, 이동을 통한 내륙 미세먼지 농도에의 영향을 파악하고자 함. - 미세먼지 실시간 관측자료 및 기상자료를 활용하여 확산 이동에 따른 영향을 확인하여 예측 대응 시나리오를 마련

연구의 목적 및 필요성 (계속)	○ 국내외 선행연구 및 동향 기술 - 부산항은 세계적인 규모를 가지고 있지만 선박들로부터의 오염물질 배출과 대기확산 패턴에 대한 연구가 적은 편임. 그러나 최근 이에 대한 연구가 활발히 진행 중. : 부산항만 드론을 활용한 미세먼지($PM_{2.5}$) 농도 관측(강정원 외, 2021) 결과, 북항에서 발생하는 미세먼지 고농도 현상은 북항 부두 및 남외항 묘박지, 감천항으로 출입하는 선박의 영향을 받으며 해상에서 불어오는 풍향에 따라 달라짐. : 부산 항만 지역 입자상 대기 오염물질의 물리화학적 특성 및 계절적 변화(김동휘 외, 2021) 관측을 통해 북항 지역에서 여름철 미세먼지 농도(PM_{10} 및 $PM_{2.5}$) 중에서 $PM_{1.0}$이 차지하는 비율이 각각 50.2 %, 75.9 %로 높게 나타나는 것을 확인. : 부산항을 중심으로 한 선박 배기가스의 대기확산 패턴 연구(이민우와 이향숙, 2018) 결과, 바람에 따라 확산 지역 범위가 달라지며, 17시~20시 사이 내륙풍의 영향으로 도시지역으로 확산이 일어남을 확인함. - 스캐닝 라이다 기술은 오염물질 배출 감시 목적으로 이점을 가지고 있으며, 오염물질이 실제 확산된 농도 분포 확인이 가능 : 2021년 스캐닝 라이다를 이용하여 '겨울철 미세먼지 계절관리제' 기간 동안 농촌 지역에서 발생하는 불법 소각에 대한 실시간 실태 확인 및 감시를 통한 홍보·계도 활동 실시 (부경대학교) (a) (b)  그림 1. 불법 소각 감시 사례. (a) 스캐닝 라이다 관측 영역 내 고농도 이벤트 발생, (b) 강 주변 소각 발생 및 미세먼지 확산 확인

주요 연구내용

○ 연구 목표

- 항만, 해양 및 인접 내륙 도시지역 대상 미세먼지 고해상도 집중 모니터링을 통한 발생원, 이동 경향, 오염도 평가
- 기상자료와 연계하여 항만 인접 주거지역으로의 미세먼지 배출 및 확산 특성 파악

○ 연구의 추진 전략 및 방법

- 항만 및 인근 도시지역을 대상으로 최신의 광학기술을 활용한 미세먼지 집중 모니터링을 통해 광범위 지역에서 조밀한 간격으로 미세먼지 농도(PM_{10} 및 $PM_{2.5}$) 데이터 산출
  : 고해상도 시공간 데이터 산출이 가능한 스캐닝 라이다(scanning Light Detection and Ranging)와 고도별 오염물질 농도 평가가 가능한 드론 활용 관측을 상호보완하여 양질의 오염물질 배출 및 확산 평가 실시
- 기상자료와 연계하여 항만 인근 도시지역으로의 미세먼지 배출 및 확산 특성 파악

: 시민이 직접 체감할 수 있는 근거리 미세먼지 농도 데이터 제공을 통하여 대기오염에 대한 시민의 알 권리 충족뿐만 아니라 대기오염에 대한 불안감 완화에 도움

: 배출된 오염물질이 기상조건에 따라 이동하는 경로를 파악하고, 미세먼지 농도 시각화 시스템(LiDAR Visualization System)을 통하여 실제적으로 오염물질이 확산되어 시민들의 건강에 직접적으로 영향을 미치는 지역 범위 추정이 가능

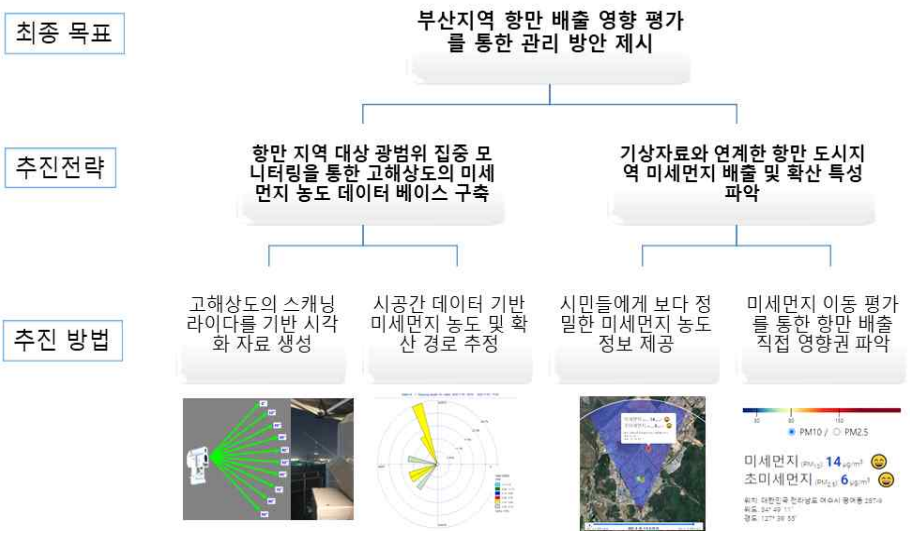


그림 2. 연구 최종목표, 추진전략 및 방법

주요 연구내용 (계속)

○ 주요 연구 내용

- 항만 지역 실시간 고해상도 모니터링 및 드론 활용 표적 관측

: 스캐닝 라이다(그림 3)는 반경 5 km 내에서 30 m 해상도로 미세먼지 농도(PM_{10} 및 $PM_{2.5}$)를 실시간 및 연속적으로 24시간 관측 가능한 고해상도 시스템으로, 미세먼지의 공간분포 확인이 가능. 레이저를 광원으로 거리에 대한 정보를 산출하는 원격탐사 장비로 레이저광이 미세먼지 입자에 의해 후방으로 산란 된 빛을 수집한 신호 분석을 통해 미세먼지 질량 농도와 거리에 대한 정보를 제공.

그림 3. (a) 스캐닝 라이다 시스템, (b) 야간 관측 모습

: 드론에 장착하여 미세먼지 관측이 가능한 스니퍼 4D(Sniffer4D)를 활용하여 고농도 미세먼지 배출 관측 시 이동 관측 실시. 이를 통해 미세먼지 농도 검증뿐만 아니라 고도별 오염물질 분포 확인이 가능(그림 4)

- 고해상도 미세먼지 농도 시각화 정보 분석으로 농도분포, 발생원, 이동특성 파악

: 실시간 관측(360도 기준 30분)으로 얻어진 연속 데이터를 웹으로 전송 후, 자동 분석 시스템을 적용하여 시각화 자료 표출(그림 5).

: 현재 운영되는 '국가 대기오염 측정망'은 1시간 단위로 전국 평균 8 km 정도의 해상도를 가지고 있어 미세먼지 농도를 확인하는 시민의 입장에서 실제 위치의 오염도에 대한 정보를 확인하기는 어려운 실정이나, 스캐닝 라이다를 활용한 시각화 시스템은 근거리의 농도를 최대 30분

단위로 얻을 수 있어 양질의 정보 서비스 제공이 가능.
: 스캐닝 라이다 시스템은 지역 집중적이고 조밀한 격자 데이터 제공이 가능하므로 오염도 공간정보 확인 및 발생원 파악에 유리함.

주요 연구내용 (계속)

그림 4. (a) 스니퍼4D 장비를 드론에 장착한 모습, (b) 드론 운행 조작 장면, (c) 스캐닝 라이다로 관측한 미세먼지 시각화 자료, (d) 미세먼지 고농도 사례를 드론 관측으로 추적하여 검증

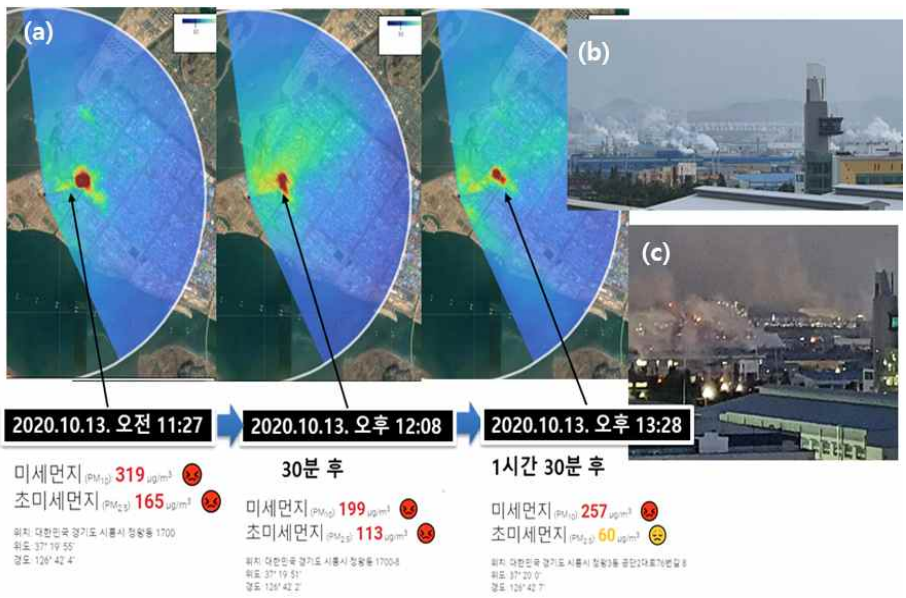


그림 5. (a) 미세먼지 농도 시각화를 이용해 고농도 피크가 시간에 따라 변화하는 모습 관측, (b) 현장 관측 사진(주간), (c) 현장 관측 사진(야간)

주요 연구내용 (계속)

※ 기 실시한 데이터 신뢰도 검증 자료

: 공인 측정 장비(국가 대기오염 측정망 자료)와 데이터 비교 검증을 실시하여 PM_{10}과 $PM_{2.5}$ 농도 정확도가 상관계수로 각각 0.91과 0.95로 높음을 확인 (그림 6)

: 스캐닝 라이다 관측시 고농도 사례에 대하여 드론 관측과 상호 비교를 실시하여 유사한 결과 도출(그림 7)

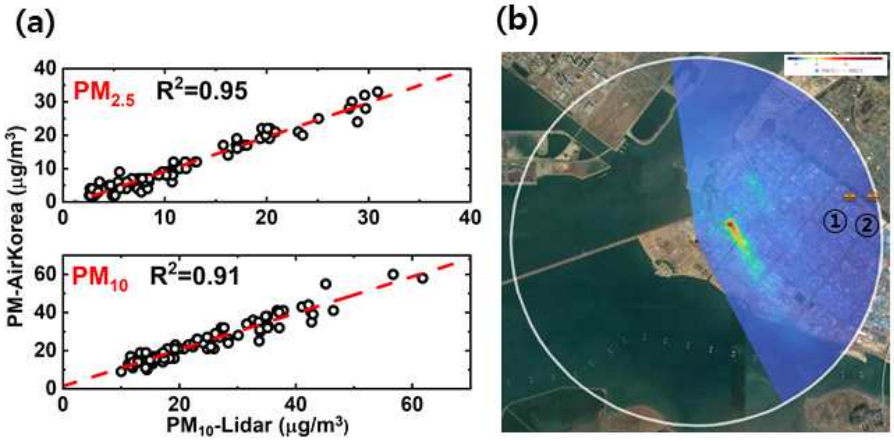


그림 6. (a) 스캐닝 라이다로 계산된 PM_{10} 농도와 $PM_{2.5}$를 국가 대기오염 측정망 자료와 비교 검증한 결과, (b) 스캐닝 라이다 관측 반경 내 대기오염 측정망 위치 확인(①과 ②)

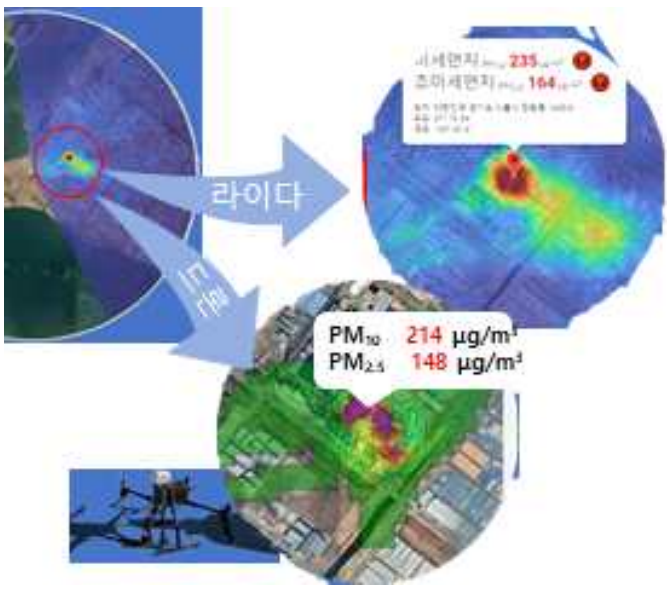


그림 7. 스캐닝 라이다와 드론 관측의 미세먼지 농도 공간 분포 비교 검증

- 기상자료와 연계하여 항만에서 배출된 미세먼지가 확산되어 인근 주거지역에 영향을 미치는 범위를 파악

: 부산 항만 지역은 거주지와 인접하여 대기오염물질을 배출할 경우 시민의 건강에 악영향을 미침. 미세먼지로 인한 시민들의 불안감 해소와 지역 맞춤형 미세먼지 저감 대책 수립을 위하여 항만 주변 지역 대한 지속적인 미세먼지 모니터링을 통해 오염 특성 파악을 파악하고 확산 경로를 확인하는 것이 중요함. 실시간으로 산출되는 스캐닝 라이다 데이터베이스와 기상자료(바람장)를 기반으로 배출된 미세먼지의 확산 지역 범위 추정 가능. 항만 배출 미세먼지의 영향 범위 확인은 저감 대책 수립의 기초 자료로 활용

: 부경대학교 용당캠퍼스에 스캐닝 라이다를 설치할 경우, 부산 북항(그림 8)을 포함하여, 부산항, 부산국제여객터미널, 신선대 부두를 포함하여 고해상도의 정밀 관측을 할 수 있으며, 부산항 주변 동구 및 영도구에 위치한 주거 지역으로의 확산 평가도 가능.

그림 8. 부산항 지역 대상 라이다 관측 영역

○ 연구결과의 기대 및 파급효과

- 광범위 지역에 대한 고해상도 미세먼지 농도 데이터베이스 구축
- 항만 지역 미세먼지 배출 및 확산에 대한 영향 평가
- 미세먼지 시각화 데이터 시스템을 통한 광역적이고 조밀한 농도자료 제공으로 항만 미세먼지 관리 기초 정보 제공

연구성과 활용방안	○ 연구 성과 지표 및 목표 성과 지표 및 목표 1. 부산 항만 지역 고해상도 미세먼지 농도 자료 데이터베이스 구축 2. 항만 지역 오염물질 배출 특성 확인 3. 미세먼지 농도 및 기상 자료 기반 오염도 확산 영향 범위 평가 ○ 연구 성과 활용내용(계획) 활용내용(계획) - 부산의 항만과 해양에서 발생하는 미세먼지 농도 실시간 자료 산출 - 시각화 정보 분석을 통한 고농도 미세먼지 배출원 특정, 배출현황 파악, 이동으로 인한 내륙 주거지로의 영향 확인 - 고해상도 미세먼지 농도 분포 자료와 기상자료와의 연동을 통하여 해양/항만 기원 미세먼지의 확산 이동에 따른 영향을 최소화하기 위한 정책 제언 및 대응 시나리오 수립 - 대기오염물질 감시에 원격탐사 기술의 활용성 파악을 통한 첨단 원격탐사 기술 확산 토대 마련