

요 약 문

I. 연구개요

1절. 항만 지역 미세먼지 배출 현황

- 부산은 항만 기원 미세먼지에 의한 대기오염이 심각한 지역임
 - 부산시 미세먼지 고농도 현상의 상당 부분은 항만 시설, 선박 및 화물 차량이 차지
 - 부산 지역의 대기 중 미세먼지는 초여름에 농도가 증가하는 경향을 보이는데 이는 여름철 해풍의 영향으로 해안가에 위치한 산업시설, 선박 및 항만 시설에서 배출된 것으로 추정
 - 항만 지역은 한정된 공간에서 많은 양의 오염물질이 집중적으로 배출되므로 항구뿐만 아니라 인근 대기 환경에 악영향을 줄 수 있음
- 항만 및 선박 관련 미세먼지 배출량 산정의 한계가 있음
 - 미세먼지 배출량은 환경부의 대기정책지원시스템에 의존하고 있으나 배출계수 및 선박의 정박 및 접안 시간에 대한 정보 등의 한계로 실제 배출량과 차이가 있을 수 있음
 - 부산시는 항만, 선박 관련 미세먼지 배출량이 높은 지역으로 부산 지역 내 초미세먼지 총 배출량의 약 37.7%를 항만 및 선박이 차지함
 - 부산시 PM₁₀과 PM_{2.5} 배출은 비도로오염원 중 선박이 약 81% 정도를 차지함

2절. 항만 미세먼지 관련 연구

- 항만 대기오염을 개선하기 위한 부산항만공사에서 지속적으로 노력 중
 - 선박에 의한 대기오염으로 전 세계 인구 중 6만여 명이 폐암이나 심장마비 등 심폐질환으로 사망할 것으로 예측
 - 부산 지역의 미세먼지 수준은 세계보건기구(WHO) 권고 기준에 비해 약 2~3배 높은 수준임
 - 국내 항만 지역의 미세먼지에 대한 관심이 점차 증가하고 있고, 선박 중 국내외 입출항 화물선의 배출기여도가 높은 편임
 - 부산항만공사에서는 빅데이터 기반의 미세먼지 측정망 구축, 선박 연료유의 황 함유량 규제, 저속 운항 프로그램 실시 등 미세먼지 감축을 위한 노력을 시도하고 있음
- 항구 및 운항 선박의 오염물질 배출과 관련하여 국외에서는 연구를 통한 여러 저감 정책을 시도하고 있음
 - 선박에서 주로 배출되는 오염물질은 미세먼지와 황산화물, 질소산화물 등이며, 엔진 종류나 연료 형태, 선박 속도나 하중 등의 영향을 받음
 - 선박 배출은 기후변화에도 영향을 줄 수 있음
 - 국외 항구 지역에서도 인구 밀집 지역이 인접할 경우 선박에서 배출되는 오염물질의 확인 및 정량화를 위하여 원격 탐사 기술을 활용한 스캐닝 라이다를 적용하여 의미 있는 결과를 얻음

II. 연구의 필요성 및 목적

- 항만과 주거지역이 인접할 경우 주민들의 환경성 질환이 우려되나, 기존의 배출량 자료 및 지점 수가 적은 국가대기오염측정망 자료로는 실제 배출 및 확산에 대한 면밀한 평가가 어려움
 - 부산시는 비도로오염원 중 선박이 미세먼지 최대 배출원으로 보고 있으나 이에 대한 심도 있는 연구가 없어 실제 배출량과 확산 영향 평가가 어려움
 - 선박 운행 및 정박 중 연료 사용에 의한 배출뿐만 아니라 각종 항구 시설에서도 미세먼지가 배출되나 항만과 인근 시설에 대한 배출 평가는 거의 없음
 - 국외 지역에서도 여러 연구를 바탕으로 선박과 항구 지역에서 오염물질 저감 대책을 실시하고 있고, 국내에서도 저감을 위한 노력을 실시하고 있으나 이에 대한 평가는 부족함
- 광역적인 범위에서 고해상도로 미세먼지 상시 관측이 가능한 스캐닝 라이다 시스템을 이용하여 부산의 항만과 해양에서의 미세먼지 발생 현황 파악, 배출원 특정, 미세먼지 확산 영향을 확인하고자 함
 - 반경 5 km 범위에서 30 m의 거리 해상도로 관측이 가능한 스캐닝 라이다 시스템을 항구 지역에 설치하여 항구와 주거지역을 포함한 관측지역의 미세먼지 농도 분포를 모니터링
 - 미세먼지 실시간 관측자료와 기상자료를 활용하여 배출 특성 및 확산 이동에 따른 영향을 확인하여 예측대응 시나리오를 마련하고자 함

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

- 부산항 인근을 관측영역으로 하는 스캐닝 라이다를 설치하여 항만 지역의 실시간 미세먼지 고해상도 모니터링 실시
 - 부경대학교 용당캠퍼스 옥상에 스캐닝 라이다를 설치하여 부산항, 부산 북항, 부산국제여객터미널, 신선대 부두 인근과 동구 및 영도구의 주거지역 일부를 관측영역으로 함
 - 관측 기간은 2022년 3월 2일부터 5월 2일까지이고 총 42일간 1,935 루프 관측 실시
- 고해상도 미세먼지 농도 시각화 정보 분석을 통해 구역별 농도 분포, 발생원 등을 파악
 - 감만항 구역, 항만 인접 주거 구역, 제강소가 위치한 공장 구역, 재개발 중인 부산항 구역, 조선소가 있는 공업 구역, 선박 정박소가 있는 공업단지의 세분화된 구역으로 미세먼지 농도 분석을 실시
 - 데이터 검증을 위하여 관측영역 내부 및 외부 국가대기오염측정망과 동 시간대 농도 비교 실시
- 기상자료와 연계하여 배출 미세먼지의 확산 영향 확인
 - 풍향 및 풍속 자료를 활용하여 배출 미세먼지의 확산 영향 지역을 확인

IV. 연구결과

1절. 스캐닝 라이다 관측 결과 검증

- 공인된 국가대기오염측정망 자료를 이용하여 스캐닝 라이다 농도 자료 검증
 - 관측지역 주변에는 국가대기오염측정망 관측 지점이 3곳으로, 관측 영역 내부의 국가대기오염측정망 1곳을 대상으로 동 시간대 동일지점의 스캐닝 라이다 농도 분석 자료와 비교 검증을 실시한 결과, 영도구 청학동 지점의 대기오염 농도변화는 스캐닝 라이다와 유사하게 나타남
 - 국가대기오염측정망과 스캐닝 라이다 농도데이터의 상관관계(R^2)는 PM_{10} 이 0.94, $PM_{2.5}$ 가 0.88로 높게 나타남

2절. 관측 구역별 미세먼지 농도 분석

- 배출원 및 주거지역으로 세분화된 구역에서 미세먼지 농도 변화 분석 실시
 - 감만항(A)과 제강소(C)가 위치한 구역에서 다른 지역에 비해 미세먼지 농도가 높게 나타나는 편이고(A구역 PM_{10} : $41.8 \pm 26.4 \mu g/m^3$, $PM_{2.5}$: $19.0 \pm 12.8 \mu g/m^3$, C구역 PM_{10} : $41.0 \pm 26.0 \mu g/m^3$, $PM_{2.5}$: $18.6 \pm 12.5 \mu g/m^3$), A 및 C구역과 인접한 주거지역(B)에서도 미세먼지 농도가 높게 나타남(PM_{10} : $45.8 \pm 28.9 \mu g/m^3$, $PM_{2.5}$: $21.0 \pm 14.5 \mu g/m^3$).
 - 스캐닝 라이다를 이용한 관측 영역의 구역별 농도 변화 확인을 통하여 미세먼지의 고농도 배출 지점을 특정하고 구역별 농도 변화가 있음을 알 수 있었음.
 - 현재 관측 영역에 해당하는 국가 대기오염측정망은 단 한 곳으로, 제한된 수의 국가대기오염측정망으로는 농도 변화 감시가 어려움을 확인함
- 기상정보와 연계한 확산 이동 추정
 - 관측 기간 동안 주풍은 남풍이며 풍속 범위는 다양하게 나타남
 - 풍향에 따른 농도변화를 살펴보면 남풍 계열일 때 전반적으로 미세먼지 농도가 높고, 북동쪽 구역과 기타 구역의 농도 편차가 크게 나타남. 이는 항만지역 또는 이동선박에서 배출되는 미세먼지가 상대적으로 북쪽 방향에 위치한 주거지역으로 확산되었음을 의미함. 동풍 및 북풍계열의 바람 영향하에서는 전지역의 농도편차가 줄어드는 것으로 볼 때 항만지역의 배출 미세먼지가 해양 쪽으로 빠져나갔을 것으로 추정됨.
 - 풍속에 따른 미세먼지 질량농도 변화의 경우, 바람이 거의 불지 않을 때 미세먼지 농도가 다소 높았으며, 풍속이 다소 강할 때(5 m/s 이상) 미세먼지 농도의 구역별 편차가 줄어드는 것을 확인함. 이는 오염물질이 전 지역으로 확산되었기 때문으로 볼 수 있음.
 - 풍향 및 풍속에 따른 국가대기오염측정망 지점의 농도 변화 또한 구역별 농도변화와 비슷한 경향을 보이거나 관측 지점이 멀기 때문에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타남. 이는 원거리의 지점측정만으로는 항만 시설 및 선박에서 배출된 미세먼지가 지역 사회에 미치는 영향을 판단하기 어렵다는 것을 의미하므로 미세먼지 관측의 공간해상도를 높이고 주변 지역의 영향을 파악할 수 있는 심도 있는 연구의 필요성이 제기됨.

V. 연구결과의 활용계획

- 부산의 항만과 해양에서 발생하는 미세먼지 농도 실시간 자료 산출
- 시각화 정보 분석을 통한 고농도 미세먼지 배출원 특정, 배출 현황 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