

건설폐기물 중간처리 사업장과 인근 지역의 미세먼지 발생 현황 및 특성에 관한 연구

A Study on the Current Status and Characteristics of Fine Dust Generation in Construction Waste Intermediate Treatment Plants and Neighboring Areas

장경필¹ · 송태협² · 김병윤^{3*}Kyong-Pil Jang¹ · Tae-Hyeob Song² · Byung-Yun Kim^{3*}

(Received July 30, 2021 / Revised October 18, 2021 / Accepted November 10, 2021)

The objective of this study is to investigate the environmental impact of fine dust generated at the construction waste intermediate treatment plants, and to propose engineering data and measures to suppress the generation of fine dust to cope with the expected strengthened environmental regulations of the government. The following study conclusions are drawn. 1) The maximum concentration of fine dust in the workplace was measured as $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ from the crushing operation followed by the point of waste unloading, where focused suppression plan of the fine dust generation is needed in the future. 2) Fine dust concentrations of $113\mu\text{g}/\text{m}^3$ in wet road conditions and $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ in dry conditions were measured, indicating that fine dust could be reduced by 50% with watering alone. 3) The effect of distancing from the dust source was studied. PM₁₀ during operation of the workplace was measured as about $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ higher than those of the neighboring areas. Whereas there was no significant difference in case of PM_{2.5} between workplace and neighboring areas. 4) The measurement results of the heavy metal contents showed that these metals did not affect neighboring areas.

키워드 : 건설폐기물, 중간처리, 미세먼지, 비산먼지, 중금속, 광산란법**Keywords** : Construction waste, Intermediate treatment, Fine dust, Scattering dust, Heavy metal, Light scattering method

1. 서론

폐기물처리시설에서 배출되는 오염물질(분진, 비산먼지 등)로 인한 주민건강 및 환경 영향에 대한 민원이 급증하면서 정부에서도 해당 지역에 대한 건강영향조사를 추진하고, 그 결과를 토대로 제도적 개선방안 마련을 추진하고 있다. 또한 국가적 현안인 미세먼지의 저감을 위해 폐기물 사업장 등에 대한 비산먼지 배출허용기준이 강화될 것으로 예상된다(Related Authorities Consolidation 2017).

건설폐기물 중간처리 사업장은 분진 발생이 높고, 지형에 따라 바람의 막힘 등으로 인하여 특정 지역에 영향을 미칠 수 있는 조건을 가지기 때문에 건설폐기물 중간처리 사업장 및 사업장 주변의

미세먼지 증감에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다(Jang et al. 2021).

따라서, 본 연구는 향후 예상되는 정부의 환경규제에 선제적 대응과 사업장에서 발생하는 미세먼지의 피해 최소화 방안제시를 목적으로 사업장 입지분석, 광산란법으로 사업장 내외 인근의 미세먼지 농도측정, SEM-EDX로 성분 분석을 실시하여, 사업장 발생 미세먼지가 인근 지역에 미치는 영향을 조사·분석하였다.

또한, 본 연구의 대상인 건설폐기물 중간처리 사업장은 인근에 다양한 산업시설이 있는 복합형(Complex type)을 대표하는 지역으로 미세먼지 발생이 다른 시설에도 상호 간 복합적인 영향 요소를 가지고 있는 곳으로 선정하였다.

* Corresponding author E-mail: kby@cku.ac.kr

¹한국건설기술연구원 건축연구본부 박사후연구원 (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Kyonggi-do, 10223, Korea)²한국건설기술연구원 건축연구본부 선임연구원 (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Kyonggi-do, 10223, Korea)³가톨릭관동대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Catholic Kwandong University, Gangwon-do, 25601, Korea)

2. 현장조사 결과 및 분석

2.1 사업장 입지분석

2.1.1 지형적 특성

본 사업장은 주위에 다양한 시설이 산재해 있는 특성을 가진 지역으로, 조사에서 복합형을 대표하는 사업장으로 선정된 곳이다. 해당 사업장은 2000년대 중반까지만 해도 주위에 시설이 없는 독립적인 사업장이었으나, 이후 택지개발과 공단의 특성화 등으로 주택이 인접하거나, 탄소 연구 복합단지가 인접해 있는 상황이다. 또한 미세먼지 및 초미세먼지의 배출 특성을 가진 유사한 건설폐기물 중간처리 사업장과 다른 산업시설들이 모여 있다. Fig. 1에서 붉은색 점선 안이 조사대상의 건설폐기물 중간처리 사업장이고, 북쪽의 노란색 부분에 유사한 사업장 2개가 인접해 있다. 남서쪽 7시 방향의 부지에는 과거 일반 녹지대였으나 현재는 택지개발 완료 후 30층 정도의 아파트가 밀집해 있다. 검은색 실선은 중간처리사업장에 진출입하는 도로로서 입구부터 일부는 2차선 도로지만 그 이후는 4차선 도로에 연결되어 있다.

지리적인 특성은 넓은 평지에 위치하여 있어 사방으로 바람의 기류가 막힘이 없는 곳이며, 인공적인 구조물에 의하여도 바람의 흐름이 막히지 않고 사방으로 자연스럽게 확산하는 지형을 갖고 있다. Fig. 2는 사업장의 지형 고도를 나타낸 그림으로 건설폐기물을 중간처리하여 생산한 모래 및 골재가 높이 40~50m 정도 성토된 구역으로 근처에서 가장 높은 편에 속한다. 자연적으로 언덕 등이 없어 바람의 영향을 받을 변수는 없는 것으로 보이고 조사 기간 중 당일의 풍향과 풍속을 측정하여 방사선 형태의 측정지점 방법을 선택하였다.



Fig. 1. Location of the site



Fig. 2. Topography elevation

2.1.2 바람의 특성

Fig. 3은 사업장 위치의 사계절 바람장미도를 나타낸 것으로 북서 방향의 바람이 많은 편이며, 풍속 3m/sec 이하의 남동풍도 약 16% 정도 부는 것으로 관측되었다. 사계절의 특성과 유사하게 풍향은 서풍 및 북서풍이 주풍향이고 풍속은 0.4m/sec가 7.4%이

고, 0.5~3.3m/sec의 풍속이 84.5% 정도로서 3.3m/sec를 초과하는 비율은 8.1% 정도인 것으로 나타났다.

바람장미도의 계절별 특성을 볼 때 봄철에 3.3m/sec가 넘는 다소 강한 서풍이 약 2.2% 정도 부는 것으로 기록되어 있다. 그 외에 사계절 바람의 방향 특성은 계절별 큰 차이가 없는 것으로 관측되었다. 이같이 서풍이 많은 편이므로 남쪽의 신축아파트단지 에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 보이고, 풍속 3.3m/sec 이하의 연간 비율이 80% 정도이므로 멀리 있는 민간 시설에 미치는 영향은 제한적일 것으로 판단된다.

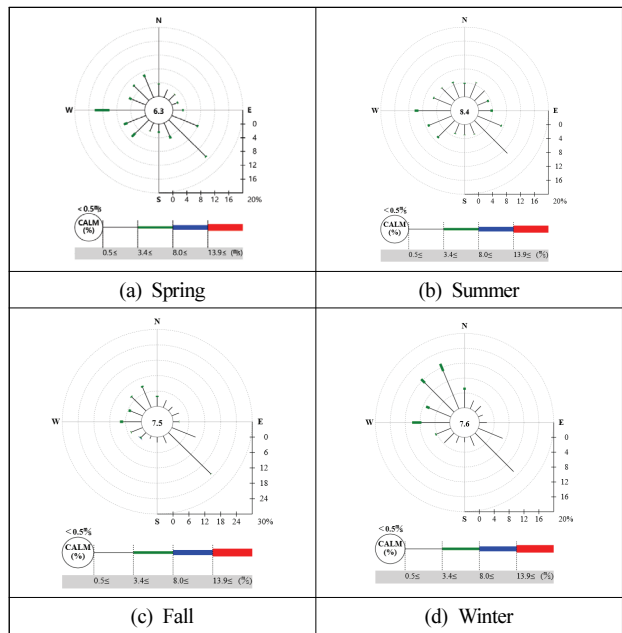


Fig. 3. Seasonal wind-rose measurements at atmospheric stations

2.2 작업 중 사업장 내 미세먼지 농도측정

2.2.1 사업장 및 주변 조사

사업장은 차량 이동이 잦은 도로와 이격이 있어 차량의 이동보다는 인접 산업시설과 공장 영향이 크므로, 미세먼지 발생원을 본 사업장으로 특정하기에는 많은 어려움이 있다.

Fig. 4와 같이 본 사업장과 유사한 처리업체 2개소가 인접해 있으며, 일반 산업시설과 공장 등이 인접 지역에 위치하여 어느 시설에서 어느 정도의 미세먼지가 발생하는지를 구분하는 것은 현실적으로 불가능할 것으로 판단된다.

사업장 내에는 먼지 발생을 최소화하고, 외부 유출을 차단하기 위한 다양한 방지시설을 운영하고 있으며, 그 장비나 설비 등은 Fig. 5와 같다. 모든 차량에 대하여 세륜시설을 통과하여 나가도록

관리하고 있었으며, 작업장 내와 작업장 앞 도로에도 일정한 간격으로 살수 차량을 이용하여 재비산에 의한 미세먼지가 최대한 발생하지 않도록 관리하고 있었다.



(a) Waste treatment facility(northwestward)



(b) Aggregate yard(north)



(c) Industrial facilities(west)



(d) Industrial facilities(left-southeast, right-south)

Fig. 4. Industrial facilities and factories near the workplace



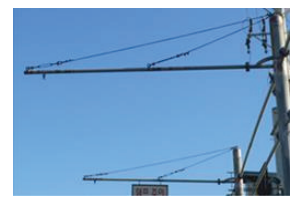
(a) Wet processing facility



(b) Wheel-washing facility



(c) Road sprinkler vehicle



(d) Sprinkler

Fig. 5. Fine dust prevention facility

2.2.2 사업장 내 미세먼지 농도측정

본 연구에서의 농도측정은 실시간 미세먼지 분석이 가능한 직독식 광산란법으로 측정하였다. 일반적으로 대기질 공정시험방법인 중량법을 이용하는 것이 표준이나 중량법은 24시간을 포함하여 측정하는 특징이 있어 시간대별 농도측정이 불가능하고 비용과 시간이 많이 소요되어 불가피하게 직독식 광산란 방식의 계측기를 이용하였다.

사업장 주변에서 발생하는 미세먼지의 원인이 반드시 본 사업장에서만 발생하였다고 특정할 수 없다. 이는 인근 지역에 다양한 오염원의 산업시설이 산재해 있기 때문이다. 따라서 작업장에서 발생하는 먼지가 주변으로 확산하는 농도를 사업장의 경계 지점에서 측정하는 방안이 유효할 것으로 판단하여, Fig. 6과 같은 지점에서 광산란 방식으로 미세먼지 농도를 측정하였다. 지점 A는 인근 지역 대비 가장 높은 지대로 대기 농도와 가장 유사한 지점으로 보아 대조지점으로 정하였다. 지점 B는 작업장의 중심부로서 분쇄, 이송, 선별 작업 등이 진행되는 위치로서 미세먼지 농도가 가장 높은 곳으로 추정되는 지점이다. 지점 C부터 G까지는 사업장의 경계면을 일정 간격으로 분할하여 측정할 위치이다. 참고로 지점 E는 사업장의 출입구이고, G는 상하적 작업이 진행되는 곳이다.



Fig. 6. Fine dust measurement location

측정일은 10월 22일로, 동일한 조건에서 측정하기 위하여 평상시와 같은 작업을 수행하였으며, 주풍이 서풍이고 북서풍이 같이 불었다. 풍속은 2m/sec 정도로서 85% 빈도에 속하는 바람 특성을 나타냈다. 당일 대기의 온도와 습도는 오전에는 21~23°C 상대습도 39% 내외였고, 오후 2시경의 온도는 25~26°C 습도는 29% 정도의 기상 상태를 나타냈다.

작업장의 미세먼지 농도가 가장 높은 곳은 파분쇄 작업이 이루어지는 B 지점이다. 평균 농도와 함께 최대치인 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 측정되었다. 그 다음은 반입된 폐기물이 하적되는 G, F 지점의 비산먼지 수치가 높게 나타나 향후 집중적인 먼지 발생의 억제 방안이 이 지점을 중심으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 측정 위치 E 지점의 경우는 차량의 진출입으로 수시로 살수하고 있으나 부분적으로 도로의 마름 현상이 반복 발생하는 지역이다. 살수에 의하여 도로가 젖은 상태와 다시 건조되어 마른 상태의 도로를 비교한 결과, 미세먼지의 농도가 각각 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나, 평소에 살수를 이용하여 사업장 내 도로를 관리하여도 재비산 미세먼지를 약 50% 정도를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

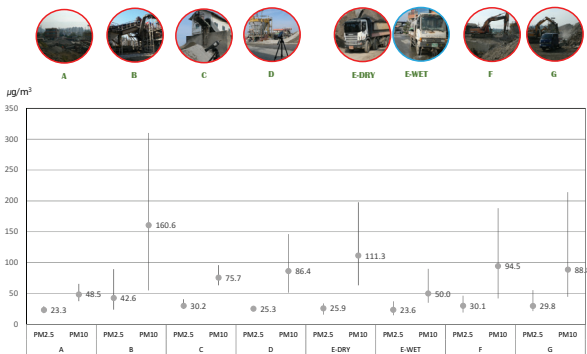


Fig. 7. Fine dust analysis result by light scattering method

Fig. 7과 같이 사업장 경계면을 따라 측정한 지점 B~G의 모든 지점에서 PM10은 작업 특성에 따라 농도가 다르게 나타났다. 즉, 비산먼지 발생이 높은 파분쇄 작업이나 폐기물의 하역, 덤프트럭의 진출입 등이 빈번할 경우 미세먼지의 농도는 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 PM2.5는 지점 B~G 모두 농도의 차이가 대략 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내로 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 B~G 지점과 달리 작업 특성에 따른 영향이 적은 A 위치와도 비슷하게 나타난 결과로서 사업장의 작업 가동 여부와 관계가 없다는 것을 알 수 있다.

사업장 인근 지역에 미세먼지를 유발하는 유사 사업장이 있고 평지로 형성되어 있어, 최적의 측정 위치를 선정한다는 것은 큰 의미가 없을 것으로 판단된다. 작업장에서 발생하는 미세먼지가 사업장의 경계면까지 미치는 가중농도를 계산하면 PM10의 농도는 49~89~160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 대조위치 30~50~88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비교하면 평균값 대비 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높은 것으로 나타났으나, PM2.5의 농도는 23~28~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 대조위치 21~26~37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비교하면

평균값 대비 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높게 나타나 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다.

이같이 사업장에서 작업 중 발생하는 미세먼지가 사업장 경계면까지 미치는 영향을 분석한 결과 PM10의 경우 부분적으로 영향을 미치는 것으로 나타났으나, PM2.5의 경우는 가동 유무와 지점에 상관없이 큰 차이를 보이지 않아 사업장 내 파분쇄 시설의 가동, 상하차 등에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

2.3 작업 중 인근 지역 미세먼지 농도측정

주변에 산이나 기타 바람의 방향에 영향을 줄 수 있는 요인이 없는 사업장으로 풍향에 따라 비산먼지 영향을 분석하고자, Fig. 8~Fig. 10과 같이 방사형의 측정지점 방법을 응용하여 측정하였다. 본 측정은 3일간 실시하였으며, 당일 풍향에 따라 반대편에 각각의 측정 위치를 선정하여 이격에 따른 미세먼지 확산 정도를 측정하였다. 1~3차 측정을 하는 동안 바람은 서풍, 남서풍, 북풍으로 불어와 반대편으로 일정 거리가 이격된 지점을 정하여 측정하였다.

2.3.1 1차 측정 결과



Fig. 8. Location of fine dust measurement(1st)

Fig. 8은 서풍을 고려하여 반대편에 일정한 지점의 측정 위치를 설정하여 표시한 것으로 풍속은 평균 약 2m/sec였으며, 해당 시간대의 대기관측소의 PM10 농도는 56~58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5는 29~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 관측되었다. 인근 지역의 농도와 대조지점 간의 미세먼지 농도를 비교하기 위하여 바람의 방향과 일직선상으로 가장 잘 배열된 P4와 P5 라인의 농도분포를 기준으로 PM10은 약 40~50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 나타내고 있어, 가중농도는 대략 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내 수준인 것으로 추정되었다. PM2.5의 측정 결과는 15~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 대조지점 또는 대기측정소의 농도와 차이가 없어 기여도를 평

가할 수 없는 수준이었다.

2.3.2 2차 측정 결과

2차 측정은 남서풍이 3.5~4.5m/sec로 불어 다른 날에 비하여 풍속이 비교적 빠른 편이었다. 이에 따라 사업장을 중심으로 10시 방향부터 오른쪽으로 6시 방향까지 위치한 지점에 거리별로 미세먼지 농도를 측정하였다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 사업장을 중심으로 북쪽 및 동쪽에는 유사한 건설폐기물 중간처리 사업장 및 기타 산업체들이 산재해 있는데, 이들 공장에서 배출하는 오염물질이 대기에 미치는 영향을 어느 정도 배제할 수 있는 조건으로 보인다.



Fig. 9. Location of fine dust measurement(2nd)

PM10 분석 결과, 남쪽인 P3 지점의 경우 사업장을 중심으로 거리가 멀어지더라도 미세먼지 발생량의 차이는 없는 것으로 나타났으며, 환경공단 관측소가 위치한 P4 방향의 경우는 거리가 이격됨에 따라 점차 감소하는 것으로 나타났다. P5, P6 방향의 경우도 이격된 거리로 인해 PM10의 농도는 점차 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 P7, P8의 경우는 P3와 마찬가지로 거리와 미세먼지와 상관성이 나타나지 않는 것으로 측정되었다. 이는 바람의 방향이 남서풍이기 때문에 1시 방향부터 5시 방향 정도까지는 바람의 영향을 받을 수 있는 것으로 나타나지만, 나머지 지역은 바람의 영향보다는 다른 사업장의 오염원의 영향이 더 큰 것으로 추정되었다.

PM2.5는 거리와 농도의 차이에 상관성이 없는 것으로 나타났다. 특히, 바람의 방향과 반대쪽에 위치한 P4, P5, P6의 지점은 거리에 관련 없이 일정한 농도를 나타내는 것으로 측정되어, PM2.5의 농도는 건설폐기물 중간처리 사업장의 발생 미세먼지와 상관성이 없는 것으로 볼 수 있다.

2.3.3 3차 측정 결과

3차 측정일에 환경공단 관측소의 당일 미세먼지 대기 농도로 PM10의 1시간 미세먼지 농도 수준은 42~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5는 4~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 관측되었으며, 24시간 평균 농도는 PM10 52~64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5는 18~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 관측되었다. 전반적으로 1차 측정보다는 낮으며, 2차 때와는 비슷한 수준의 대기 농도를 가지는 것으로 관측되었다.

측정 시 바람의 방향은 1시 방향의 북풍으로 나타났으며, 풍속은 0.7~1.5m/sec이었다. 이에 따라 측정 위치는 Fig. 10과 같이 반대 방향인 남쪽 지역에 측정지점을 설정하여 거리에 따른 미세먼지 농도를 측정하였다.



Fig. 10. Location of fine dust measurement(3rd)

PM10 분석 결과 전체적으로 당일 관측소에서 측정된 측정값에 비하여 높은 수준의 미세먼지 농도가 측정되었으며, 특히, P3 지역의 경우 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 측정값이 나타나기도 하였다. 맞은 편인 P1, P2 위치에서 미세한 감소 현상이 나타났으나 전반적으로 거리에 관련 없이 높은 측정값을 가지는 것으로 나타났다.

2.4 중량법의 24시간 대기 농도 측정

2.4.1 측정지점의 선정

이 조사는 환경부 대기 농도 공정시험법에 따라 인근 주요 지점의 PM10과 PM2.5의 농도를 측정하여, 사업장이 환경부 대기 농도 기준에 충족하는지를 확인하고자 실시하였다.

Fig. 11은 사업장 인근 지역에 중량법의 대기 농도 측정 위치에 관한 사진이다. 측정지점의 결정은 광산란 방식을 이용한 작업 중 대기 농도 값의 영향이 크다고 평가된 지역과 24시간 2회(가동 및 유훈 중) 동안 안정된 전원공급과 관리가 가능한 지점을 기준으로 결정하였다. 중량법에 의한 24시간 시료 채취는 사업장 내 시설

이 운전 중일 때와 운전을 멈췄을 때로 구분하여 실시하였으며, 기온 및 기타 환경과의 차이를 최소화하기 위하여 2일 연속으로 측정하였다.



Fig. 11. Average concentration measurement point

2.4.2 측정 결과 및 분석

먼저, 당일 대기 측정소 농도와 비교는 샘플링이 진행되었던 당시 전국적으로 대기 중 미세먼지 수치가 높아 경보가 있었으며, 해당 지역도 동일한 경보가 있었던 상황이었다. 이러한 이유로 운휴 중의 관측소의 측정값이 사업장 측정값보다 더 높은 값으로 나타나, 당일 대기 중의 PM10과 PM2.5를 그대로 대입하기에는 한계가 있어 보인다. 특히 PM2.5는 기준치를 3배 정도를 초과하는 정도였으므로 대기 농도가 기여도(측정값)에 영향을 줄 것으로 보이며, 분석에 다소 어려움이 있을 것으로 판단된다.

Table 1. Measurement result

(µg/m ³)	PM10			PM2.5		
	A	B	C	A	B	C
In operation	129	100	104	89	91	79
Not in operation	92	108	111	77	96	93
Atmospheric measuring station, 24h average ¹⁾	In operation : 90 Not in operation : 105			In operation : 82 Not in operation : 104		

Note. 1) The average value of the data measured at one hour intervals at the deokjingu atmospheric measuring station during the sampling time

이격 거리에 따른 미세먼지 농도와 관련해서는 샘플링 지점 A는 사업장 내에 설치하여 작업장의 농도를 의미하고, 지점 B, 지점 C는 사업장 외부에서 내부의 미세먼지 농도와 외부 인근 지역의

미세먼지 농도를 비교할 수 있다. 가동 중의 PM10의 측정 결과 A 지점의 농도가 인근 지역의 B 지점과 C 지점 대비 약 25µg/m³ 높게 측정되었다. 단순 차이를 기준으로 국내 대기 기준치의 25% 정도 수준이다. 반면에 PM2.5의 경우는 인근 지역과 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났다.

운전 중과 운휴 중의 미세먼지 발생량과 관련해서는 사업장 운전 중 24시간 동안 현지 대기관측소의 PM10의 농도가 90µg/m³로 나타났고, 운휴 중의 PM10 농도는 105µg/m³로 미세먼지 대기 기준을 초과 수준이었다. 특히 PM2.5는 104µg/m³으로 약 3배 높은 수준이라 운전 중과 운휴 중의 농도를 직접 비교하기는 한계가 있다고 판단된다. 다만 A 지점은 작업장의 운전이 가장 영향을 받는 지점인 점을 감안하여 A 지점의 결과를 분석하면 PM10은 37µg/m³, PM2.5는 12µg/m³ 정도의 농도가 증가하는 것으로 나타났다.

운휴 중의 결과에서 A 지점의 농도가 B와 C 지점의 농도보다 낮게 측정됨으로써, 다른 산업시설의 영향이 있는 것으로 생각할 수 있다. 다시 말해서 주변의 다른 생산 시설에서도 PM10과 PM2.5의 농도에 영향을 주고 있다고 추정할 수 있으며, 단일 사업장만의 관리로 인근 지역의 미세먼지 농도를 줄이는 것은 어렵다고 판단된다.

2.5 중금속 함유량 측정

Table 2는 사업장에서 채취한 여과지를 대상으로 8종의 중금속 함유량을 측정된 결과이다. 일반적으로 우리나라 대기 중 중금속의 오염정도를 대표적으로 인식하는 성분은 납(Pb)으로서 관리 기준은 500ng/m³ 이하이다. 결과에 나타난 바와 같이 PM10은 28~48ng/m³ 정도로 국내 동계기간 중 대기 농도의 평균 수준으로 나타났으며, PM 2.5는 7~46ng/m³로 범위가 넓게 나타났으나 동절기 평균치 이내의 범위로 나타났다. 이러한 값은 모두 관리 기준인 500ng/m³의 1~8% 수준으로 국내 대기 기준대비 안전한 수준이다.

카드뮴(Cd)의 경우 대기 측정망에서는 검출되지 않거나 최대 3ng/m³로 나타났으며, 본 측정에서는 최대 1~2ng/m³로 평균 이하로 나타났으며, WHO 권고치 5ng/m³보다 낮은 결과를 얻을 수 있었다. 망간(Mn)의 WHO 권고기준은 150ng/m³으로 사업장 인근 지역에서 측정 결과, PM10은 16~69ng/m³, PM2.5는 2~71ng/m³로 권고치보다 낮은 결과를 나타냈다. 측정값은 전국 대도시 측정 결과와 비교하였을 때도 가장 높은 대전지역의 34g/m³보다 낮게 나타났으며, 해당 지역에서 가장 가까운 서울 24ng/m³, 인천

32ng/m³과 동등하거나 낮은 수준이다. 중금속 항목 중에서 가장 다량 포함된 것으로 분석된 철(Fe)의 경우는 별도의 관리 및 권고 기준은 없으나, 전국 관측소에서 측정된 농도의 범위는 150~800ng/m³ 수준이며, 본 사업장에서 발생하는 수준은 PM10의 경우 144~446ng/m³, PM2.5는 175~239ng/m³로 분석되어 전국 평균에 비하여 낮은 함유량을 갖는 것으로 분석되었다.

종합적으로, 본 사업장 인근 지역에서 채취한 미세먼지 중 중금속 함유량을 측정할 결과 전국 평균 또는 전국 대도시 지역의 함유량보다 동등하거나 낮게 나타나, 건설폐기물 중간처리 작업 여건에 따른 중금속 발생은 확인되지 않았으며, 사업장에서 발생하는 미세먼지가 인근 지역의 중금속 함유량의 변화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Table 2. Analysis result of heavy metal content of fine dust

	Sample No.	Measurement result(ng/m ³)								
		Pb	Cd	As	Mn	Cr	Fe	Ni	Cu	
PM 10	A-1	I	36	1	N.D	26	N.D	446	N.D	N.D
		II	39	1	N.D	22	N.D	356	N.D	N.D
	A-2	I	48	1	N.D	69	N.D	211	N.D	N.D
		II	28	1	N.D	16	N.D	144	N.D	N.D
PM 2.5	A-1	I	7	N.D	N.D	2	N.D	239	N.D	N.D
		II	39	2	N.D	17	N.D	175	N.D	N.D
	A-2	I	46	2	N.D	71	N.D	227	N.D	N.D
		II	36	2	N.D	21	N.D	221	N.D	N.D
III		10 ~40	ND ~3	ND ~3	ND ~40	ND ~3	150 ~800	ND ~3	3 ~120	
IV		500	5		150					

Note. I : In operation, II : Not in operation, III : Range of atmospheric heavy metal measurements across the country, IV : WHO Recommended criteria

2.6 SEM-EDX 분석

24시간 평균 농도를 측정하기 위하여 샘플링한 여과지를 이용하여 SEM과 EDX로 조사하여 여과지에 걸러진 PM10과 PM2.5의 개별 입자를 형태별로 관찰하고 그 중 입자를 선별하여 성분 비율을 분석했다.

Fig. 12는 PM10의 EDX 결과를 나타낸 것으로 필터에 걸려 있는 입자들에 대한 성분 분석을 한 것이다. PM10의 성분은 규석 성분인 Si와 O 원소가 대부분이고, C는 CaCO₃로 석회석 성분인 것으로 추정되며, 나머지 NaO, Al₂O₃, CaO 등이 미량 산화물로 존재하는 것으로 나타났다.

Fig. 13은 PM2.5의 EDX 결과로, PM10과 상이하게 SiO₂ 성분이

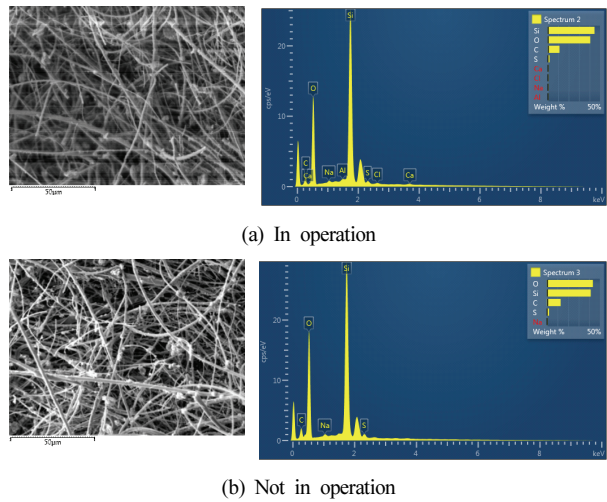


Fig. 12. PM10 fine dust EDX elemental analysis results

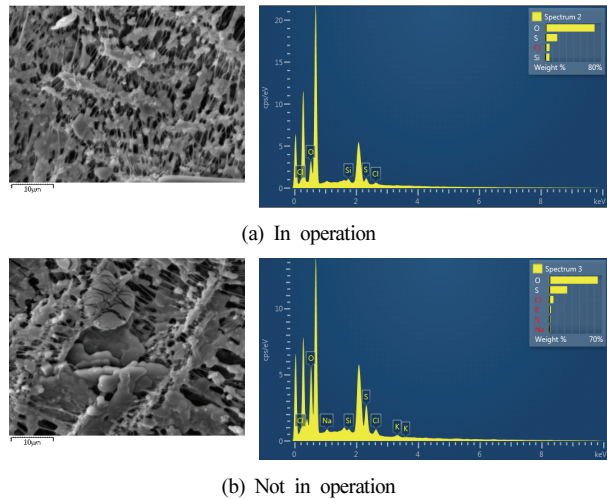


Fig. 13. PM2.5 fine dust EDX elemental analysis results

미량으로 나타나고 주성분은 SOx로 추정되는 황화물이 주류를 이루고 있으며, 염소이온인 Cl과 K가 미량 검출되었다. 이러한 PM2.5의 주요 성분은 작업장의 분쇄공정이나 분류작업에서 발생하는 물질과 인과관계가 적은 것으로 보이기 때문에 작업장에서 발생하는 미세먼지 중에서 PM2.5에 미치는 영향과는 관련이 낮은 것으로 판단된다.

3. 결론

인근에 다양한 산업시설이 혼재해 있는 복합형 지형에 건설폐기물 중간처리 사업장의 미세먼지 발생 현황 및 특성을 분석한

결과는 다음과 같다.

1. 사업장 내의 미세먼지 농도측정 결과, 파분쇄 작업이 이루어지는 지점에서 최대치인 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 측정되었으며, 반입된 폐기물이 하적되는 지점의 미세먼지 농도가 그 다음으로 높게 나타나, 향후 집중적인 발생 억제 방안이 적용되어야 할 것으로 판단된다.
2. 사업장 내 차량의 진출입로에 수시로 살수하고 있으나, 도로가 젖은 상태와 건조된 상태 때의 미세먼지 농도를 측정된 결과 각각 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나, 살수로 사업장 내를 관리하여도 미세먼지를 50% 정도는 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.
3. 작업장에서 발생하는 미세먼지가 사업장의 경계면까지 미치는 가중농도를 계산하면, PM10의 농도는 대조 위치와 비교하면 평균값 대비 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높은 것으로 나타났으나, PM2.5의 농도는 평균값 대비 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높게 나타나 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다.
4. 이격 거리에 따른 사업장의 미세먼지 농도 영향을 분석한 결과, 작업장 가동 중의 PM10은 사업장의 농도가 인근 지역과 비교하여 약 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 측정되어 어느 정도 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났으며, PM2.5의 경우는 인근 지역과 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났다.
5. 사업장 인근 지역에서 채취한 미세먼지 중 중금속 함유량을 측정한 결과는 전국 평균과 유사하게 나타나, 사업장에서 발생하는 미세먼지가 인근 지역의 대기 중 중금속 함유량의 변화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.
6. SEM & EDX 분석 결과 PM10의 성분은 모래의 주성분인 SiO₂

성분이 대부분이고 NaO, Al₂O₃, CaO 등이 미량 산화물로 존재하며, PM2.5는 SiO₂ 성분이 미량으로 나타나고 주성분은 SOx로 추정되는 황화물이 주류를 이루고 있는 것으로 나타났다.

Conflicts of interest

None.

References

Jang, K.P., Song, T.H., Kim, B.Y. (2021). A study on the characteristics of fine dust occurring in an intermediate treatment plant for construction waste and its effects on the surrounding environment, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, **23(1)**, 113–120 [in Korean].

Lee, B.J., Park, S.S. (2019). Evaluation of PM10 and PM2.5 concentrations from online light scattering dust monitors using gravimetric and beta-ray absorption methods, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, **35(3)**, 357–369 [in Korean].

Ministry of Environment (2017). *Statistical Report of Construction Waste Recycling*.

Park, J.H. (2017). Identification factor development of particulate matters emitted from coal-fired power plant by FE-SEM/EDX analysis, *Journal of the Korean Environmental Science International*, **26(12)**, 1333–1339 [in Korean].

Related Authorities Consolidation (2017). *Comprehensive Measures for Fine Dust Management*, 2–23.

건설폐기물 중간처리 사업장과 인근 지역의 미세먼지 발생 현황 및 특성에 관한 연구

본 연구는 건설폐기물 중간처리 사업장에서 발생하는 미세먼지의 환경영향을 조사하여, 향후 예상되는 정부의 강화된 환경규제에 공학적 자료 및 미세먼지 발생 억제 방안 제시를 목적으로 한다. 연구 결론은 다음과 같다. 1) 사업장 내의 미세먼지 농도측정 결과, 파분쇄 작업이 이루어지는 지점에서 최대치인 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 측정되었으며, 폐기물 하적되는 지점이 두 번째로 높게 나타나, 향후 집중적인 발생 억제 방안의 적용이 필요하다. 2) 사업장 내 젖은 도로 상태는 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 건조된 상태 때는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 미세먼지 농도가 측정되어, 살수만으로도 미세먼지를 50% 정도는 감소시키는 것으로 나타났다. 3) 이격에 따른 영향을 분석한 결과, 작업장 가동 중의 PM10은 사업장에서 인근 지역과 비교하여 약 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 측정되었으며, PM2.5의 경우는 인근 지역과 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났다. 4) 중금속 함유량을 측정한 결과는 인근 지역에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.