

2C2) 주물공장에서 발생하는 PM₁₀ 및 호흡성분진의 특성에 관한 연구

A Study of PM₁₀ and Respirable dust Features in Cast-Iron Factory

안정연¹⁾ · 전기준¹⁾ · 박영옥²⁾ · 정용원

인하대학교 환경공학과, 인하대학교 서해연안환경연구센터¹⁾, 한국에너지기술연구원²⁾

1. 서론

주물작업이란 용융된 금속을 미리 준비한 주형에 부어 원하는 형태의 주물을 만드는 금속성형작업으로서, 생산 공정에서 고열을 이용하여 금속을 용해, 주조하는 등의 작업 특성상 부유분진의 발생이 필연적이며, 일산화탄소, 금속 흄, 휘발성 코올타르 피치, 소음 및 진동, 고열, 전리방사선 등의 유해인자로 인한 피해가 극심하다. 특히 분진은 주물의 생산과정 중 용해, 조형, 탈사 및 후처리 등 거의 전 공정에서 발생되며, 결정형 유리규산(SiO₂)을 다량 함유하고 있어 인체에 흡입되었을 때, 건강의 악화 및 직업병의 원인으로 작용 능률을 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있다(Burgess, 1995).

현재 주물공장에서 발생하는 분진 및 유해물질은 후드(hood), 국소배기장치 등으로 어느 정도는 제거가 가능하며, 백 필터(bag filter)등의 여과집진장치 및 기타 집진설비를 이용하여 제거하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 하지만 주물공장 내 발생하는 분진의 대부분이 10 μm이하의 미세분진 형태로 배출되고 있고, 일부 작업공정의 특성상 개방된 장소(open place)에서의 작업으로 인하여 후드(hood) 및 국소배기장치에 의한 분진의 제거가 현실적으로 힘든 실정이다. 특히 인체의 폐포 내까지 도달하여 침착할 수 있는 10 μm이하의 분진은 수일 또는 수주일 이상 작업장 내에서 부유상태로 존재하며, 작업자의 건강 악화를 초래하며, 진폐증과 같은 산업재해로서 나타난다(김두희, 1987).

2. 연구방법

인천시 K공단에 위치한 A주물공장은 전기로에서 용해시킨 주물을 생형 및 금형을 이용하여 양수기 밸브등의 회주철품 및 구상흑연주철품을 생산하는 전형적인 주물작업공장이다. 그림 1은 주물공장 내에서의 전반적인 공정에 대한 개요와 함께 각 공정별 발생하는 유해인자들을 나타내었다. 주물공장의 작업공정은 크게 용해공정(melting), 조형 및 주입공정(molding and pouring), 형 해체공정(shakeout), 후처리공정(finishing)등으로 구분할 수 있으며, 분진 및 금속 흄, 소음·진동 그리고 고열 등 여러 가지 유해인자들이 발생한다. 각 공정별로 발생하는 PM₁₀ 분진 및 호흡성분진의 특성을 분석하기 위해 공기역학적 입경분포에 의해 분진을 포집하는 Cascade Impactor를 사용하였다. 적정 채취 유속은 28.3 l/min으로 조정되었고, 통과된 유속은 매번 측정시 보정하였다. 시료의 포집은 작업시간 동안의 포집을 기초로 10 시간 이상 측정하였으며, 측정에 사용된 여지는 Cascade Impactor용 81mm 유리섬유여지를 사용하였다.

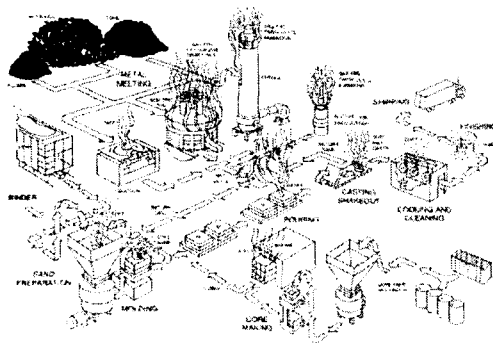


Fig 1. Emission points in typical Cast-iron Foundry

포집된 분진의 화학적 성분분석을 위해 박막 XRD(Philips X'pert MPD), SEM-EDS(Hitach)를 사용하여 입경별 측정을 수행하였다. 또한 대상작업공정의 부유분진의 변화를 실시간으로 측정하기 위해 광산란을 이용한 Microdust Aerosol Monitoring System (CASELLA)을 사용하여 24시간 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

주물공장 부유분진의 PM₁₀ 이하 미세분진을 측정된 결과 용해공정 1,391 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 조형 및 주입공정 830 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 형 해체공정 18,279 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 후처리공정 4,402 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 평균농도를 나타냈다. 이 측정결과 PM₁₀이하 분진의 농도는 환경부에서 고시한 PM₁₀ 이하 대기환경기준농도 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24hr 기준)를 크게 상회한 결과를 보였으며, 용해공정, 조형 및 주입공정에서보다 형 해체공정 및 후처리공정에서 미세분진에 의한 공장 내 분진오염이 더욱 심각함을 볼 수 있다. 이를 각 공정별 발생하는 PM₁₀이하 분진의 누적입경분포로서 나타내면 그림 2와 같다. 용해공정에서는 금속 흄(Fume) 등의 발생으로 인하여 2 μm 이하의 미세입자가 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났으며, 후처리공정에서는 그라인딩(grinding)이나 마모, 탈사 등의 작업에서 발생하는 분진의 영향으로 2~6 μm 영역에서의 입자 비율이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 형 해체공정에서는 탈사 등의 영향으로 다른 공정에서보다 큰 입경의 분진이 많이 발생하는 것으로 나타났다.

분진은 입경이 작을수록 가벼운 중량 때문에 공기 중에서 수일 또는 수주일 부유할 수 있고, 폐포 깊숙히 침착되기 쉬울뿐더러 시야를 감소시키는 주된 유해물질로서 작용한다. 미국 산업위생 전문가 협회(ACGIH)에 따르면, 인체의 폐포 깊숙히 침착될 수 있는 호흡성분진은 “기하평균이 3.5 μm ($\pm 0.3 \mu\text{m}$) 이하, 기하표준편차가 1.5 μm ($\pm 0.1 \mu\text{m}$)이하인 분진”으로 정의하고 있다. 따라서 Cascade impactor를 이용한 미세분진의 측정에서 PM₁₀이하의 입경을 가진 분진 중 3.3 μm 이하의 분진이 많을수록 인체에 유해한 호흡성 분진을 더 많이 내포하고 있는 유해한 인자라 할 수 있다. 그림 3은 주물공장 내 각 공정에서 측정된 PM_{3.3}이하의 분진농도를 PM₁₀과 비교하여 그 비율을 나타내었다. 측정결과 인체에 유해성이 큰 PM_{3.3}이하의 입자는 후처리공정에서 1,700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 큰 농도를 보였으며, 형 해체공정에서도 이에 못지 않은 많은 양의 호흡성분진이 발생하는 것으로 나타났다. 하지만 PM₁₀이하 분진 중 호흡성 분진의 비율(PM_{3.3}/PM₁₀)을 살펴보면 용해공정 0.50, 후처리공정 0.39, 조형 및 주입공정 0.30등으로 나타났다. 이는 다른 공정에서보다 용해공정에서 발생하는 호흡성 분진의 비율이 가장 큰 것을 나타내며, 용해시 배출되는 금속 흄 및 매연등의 영향으로 사료된다. 그러나 발생하는 호흡성 분진의 총량을 비교하면, 형 해체공정 및 후처리공정에서의 발생량이 작업자 및 주변환경에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

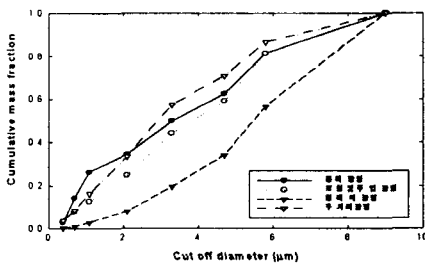


Fig 2. Cumulative mass fraction of each process in Cast-Iron dust

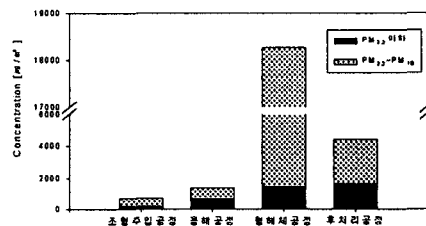


Fig 3. Concentration ratio of PM_{3.3} to PM₁₀ in each process of Cast-Iron Foundry

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 지역개발중점사업인 “주물주강공장 발생분진 처리시스템 개발”(인천-0106)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- Burgess WA.(1995) Foundry Operations. In : Recognition of health hazards in industry 2nd ed, John Wiley & Sons. Canada.
- Wayne T. Davis. (1999) Air Pollution Engineering Manual 2nd, Wiley-Interscience, 631~633.
- ACGIH (1990) Threshold Limit Values for Chemical Substance Agent, ACGIH.
- 김두희 (1987) 보건학 총론, 학문사, pp644~671.