

일부 주조작업장 공기중 분진의 중금속 농도

김영식 · 김규광* · 한 홍**

국립밀양전문대학 환경보호과
* 영동전문대학 환경관리과
** 서울대학교 보건대학원

A Survey of Heavy Metal Concentrations in Casting Work Environment

Kim Young Sik · Kim Gyu Kwang* · Han Hong**

Miryang National Junior College Dept. of Environmental Protection
** Youngdong Junior College Dept. of Environmental Management*
*** Seoul National University Graduate School of Public Health*

ABSTRACT

A study was performed to measure the heavy metal concentrations of suspended particles in iron castings during February, 1990.

The heavy metal concentrations were analyzed using particles atomic absorption spectrophotometer.

The results were as follows :

1. The concentrations of suspended particles by casting process were at furnace 4.19mg/m³ at pouring 2.93mg/m³ at nonferrous furnace 3.90mg/m³, at molding 1.17mg/m³, jung ja 2.23mg/m³, desanding 5.42mg/m³, sand treatment 4.82mg/m³, finishing 1.20mg/m³.

2. Among the total of 8 iron casting workplaces, the concentrations Fe of furnace was 0.36mg/m³, Cu of nonferrous furnace 0.02mg/m³, Pb of pouring 0.02mg/m³, Cr of desanding 0.01mg/m³ and Mn of furnace 0.03mg/m³.

I. 서 론

주조는 5000년 이상의 역사를 가진 성형법의 하나이다. 인류는 구석기 시대에도 금속을 생활 속에서 이용하고 있었는데, 최초에는 동금속이 사용되었다. 처음에 금속을 제련하는 야금 공정에 불을 이용하였고 이에 의하여 녹아있는 상태의 금속을 얻을 수 있었다. 이렇게 얻어진 용융 금속을 일정한 형태를 가진 용기에 부어 넣어 응고시켜서

주물을 얻었다. 이러한 주조과정을 거쳐서 제품을 만드는 기술을 주조 기술이라 하며 주입에서부터 후처리까지의 공정이 모두 이 범주에 속한다.

우리나라에서는 이미 2300년 전에 청동 주물 제품을 제작하였으며, 2000년 전에는 오늘날의 정밀 주조법에 해당하는 주조법을 개발하여 생활 활동에 이용하였다.

주조공업은 모든 공업의 기반인 소재 산업으로, 세계 각국의 주물 총 생산량은 약 80,000,000톤으로 국가별로 보면 소련이 27,834,000톤으로 가장

많아 전체의 35% 정도로 차지하며, 다음이 미국으로 16,420,000톤, 일본이 5,979,000톤이다. 한편 우리나라는 1989년 현재 1,028,000톤이 생산되어 1973년 199,753톤보다 약 5배의 증가를 보이고 있으며, 최근 국내의 추세를 보면 자동차의 공업과 기계공업의 활성화에 따라 이들에 소요되는 주물 소재 소요량이 급격히 증가되면서 생산시설의 확충과 신설 공장이 도처에 늘어나고 있는 실정으로 여러가지 공해문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다.

주조공업은 고열의 생산공정에 의하여 금속을 용해시킨 후에 어떠한 형태의 금속 제품을 주조하는 공업이므로, 비산분진과 유해성가스 및 소음 등의 유해 환경인자가 발생하는 공정상의 특징을 가지고 있다.

주물 사업장의 생산 공정에서 발생하는 분진, 유해성 가스, 발생소음 및 고열은 작업장내의 작업환경을 악화시켜 근로자들의 건강장애와 산업 재해를 유발할 수 있고 진폐나 난청 등의 직업병을 야기할 수 있는 유해 요인이다.

주물 작업장의 작업환경은 현대 사업장에서 가장 열악한 부류에 속할 정도로 이러한 유해요인의 발생이 심하다.¹⁾

1989년도 대한산업보건협회에서 실시한 특수건강진단을 통해 직업병환자로 진단된 근로자는 총 7,568명이었으며, 유해물질 종류별로 보면 분진 937명, 소음 3,410명, 특정화학물질 160명, 납 27명, 그리고 유기용제 직업병환자가 21명으로 보고되었다. 따라서 유해인자에 따른 직업병 분포 현황중에서 분진에 의한 유소견자가 전체 유소견의 52.02%를 차지하고 있었다.²⁾

본 연구에서는 주물공장에서 배출되는 부유분진의 농도와 분진중의 중금속 농도에 관하여 조사하였으며, 주로 분진이 발생하는 생산 공정인 모형제작, 주형제작, 용해, 주입, 정정 등의 공정에서 시료를 채취하여 분석하였다.

II. 연구기간 및 방법

1. 연구기간

본 조사기간은 1990년 1월 23일부터 동년 2월 9일까지 약 2주에 걸쳐 시료를 채취하여 실험실로

운반하여 분석하였다.

2. 연구대상

본 조사는 우리나라 주물 사업장에서 발생하는 공기중의 부유분진의 농도와 분진 중의 중금속 농도를 파악하기 위하여 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 생산 공정별 조사 지역을 선정하였다.

생산 공정별로 보면 모형제작, 주형제작, 용해, 주입, 정정 등의 공정을 대상으로 조사하였다.

조사 대상 사업장은 변압기, 차단기, 펌프, 감속기, 전장품, 산업기계 등을 생산하는 국내 굴지의 중전기 제조회사로 경남 창원에 위치하고 있다.

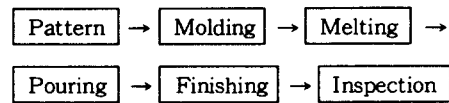


Fig. 1. The process of casting products.

3. 방법

주물 공장의 공정과 작업에 따라 발생하는 분진 중 중금속의 농도를 파악하기 위하여 중금속류가 전파되어 유해하다고 판단되는 작업 개소에 저유량 공기 포집기(Low volume air sampler)를 근로자에게 작업의 방해를 주지 않도록 바닥면에서 75~120cm의 높이에 설치하여 분진의 발생정도에 따라 120~240분 동안 포집하였다. 포집한 시료는 필터 홀더의 양쪽 구멍을 마개로 봉하고, 실험실로 운반하여 수분 조절기에서 24시간 건조시킨 후 분진의 무게를 측정한 다음, 원자흡광광도계로 중금속을 분석하였다.^{3,4)}

1) 기기

(1) 저유량 공기 포집기(Low volume air sampler)

지역시료로 공기중의 총부유분진의 측정에 이용하였으며 사용전후에 유량 보정계로 유량을 보정하였으며 조사기간 중 유량의 변동은 없었다. 사용 기종은 Gilian(미국)사의 Model Aircon 520 DCT로 설정 유량의 $\pm 5\%$ 이내의 일정유량을 유지하는 자동보정 기능을 갖고 있으며 직류전원을 사용하였다.

시료채취 유량은 15ml/min으로 포집하였다.

(2) 유량 보정계(Pump Calibrator)

비누거품을 사용하는 Soap bubble calibrator로 개인용 공기 포집기의 보정을 MSA사의 Model A로 100~1,000ml/min 범위에서 0.1ml/min까지 유량보정이 가능한 기종이고 저유량공기 포집기는 Gilian사의 PFS 500Dk Delux System으로 25Lpm까지 유량 보정이 가능한 기종을 사용하였다.

(3) 직시천칭(Electro balance)

Shimadzu L-200SM으로 0.1mg까지 판독이 가능하다.

(4) 원자흡광광도계(Atomic absorption spectrophotometer)

Model 551, Instrumentaion Laboratory Co. 제품으로 중금속 분석이 가능하다.

2) 재료

(1) 여과막과 여과지(Membrane filter)

공기중의 부유분진의 폭로농도 측정을 위한 분진 포집용으로 직경이 37mm인 공극 0.45 μ m의 mixed cellulose ester membrane filter로 Gelman사의 제품을 사용하였다.

(2) 유리섬유 여과시(Glass fiber collection substrate)

공기 중의 부유분진의 포집용으로 직경 47mm 유리섬유 여지로 Andersen Samplers Inc.에서 구입하였다.

(3) Fe 표준원액

원자 흡광 분석용으로 1,000 μ m/ml, Junsei Chemical Co., Ltd에서 구입하였다.

(4) Cu 표준원액

원자 흡광 분석용으로 1,000 μ m/ml, Junsei Chemical Co., Ltd에서 구입하였다.

(5) Pb 표준원액

원자 흡광 분석용으로 1,000 μ m/ml, Junsei Chemical Co., Ltd에서 구입하였다.

(6) Cr 표준원액

원자 흡광 분석용으로 1,000 μ m/ml, Junsei Chemical Co., Ltd에서 구입하였다.

(7) Mn 표준원액

원자 흡광 분석용으로 1,000 μ m/ml, Junsei Chemical Co., Ltd에서 구입하였다.

(8) 질산(HNO₃)

중금속 분석용, Merck

(9) 황산(H₂SO₄)

중금속 분석용, Merck

(10) 과염소산(HClO₄)

중금속 분석용, Merck

3) 분석방법

중금속 시료를 포집한 여과지를 건조기에서 24시간 건조시켜 칭량한 후 250ml의 둥근 바닥 플라스크에 넣고 여기에 질산과 황산의 혼산(1:2 v/v)을 10ml 가하고 플라스크를 흔들어서 시료와 산을 잘 혼합시킨 후 가열판 위에서 반응이 격렬하게 일어나지 않도록 가열 속도를 조절하면서 유기물을 분해시켰다.

유기물을 파괴시킨 시료 용액을 10ml로 정확히 만든 후 원자흡광광도계(Atomic absorption spectrophotometer)로 중금속 성분별 분석 조건과 기기 조건을 정상 상태로 유지시킨 후 분진중에 함유된 중금속의 흡광도를 5회 반복하여 측정하였다.^{4,5)}

중금속 분석의 최적 기기 조건은 Table 1에서 보는 바와 같이 원자흡광광도계(Atomic absorption spectrophotometer)의 여러가지 기기 조건 상태를 변화시켜 가면서 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr), 망간(Mn) 표준용액으로 흡광도를 측정하여 선택하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공정별 부유분진의 농도

Table 1. Operation conditions

Elements	Fe	Cu	Pb	Cr	Mn
Wave length (nm)	248.4	324.8	216.8	357.8	279.5
Band width (nm)	0.3	1.0	1.0	1.0	0.5
High voltage (V)	700	530	620	530	530
Lamp current (mA)	8	3	3	6	5
D ₂ Lamp current (mA)	5	3	3	5	5
Acetylene oxydant	3:12	2:14	2:14	4:12	3:12

주물 사업장에서 가장 문제시 되는 분진은 생산 공정의 전반에 걸쳐 발생되고 있으며, 특히 주물사 취급과 연관되는 공정에서 분진 발생의 정도가 심하였다.

Table 2는 주물 사업장의 생산 공정별 총 부유분진 농도의 평균 및 범위 등을 나타낸 결과이다.

본 조사 결과에서 나타난 각 공정별 부유분진의 발생 농도는 용해로 4.19mg/m³, 용해주입 2.93mg/m³, 비철용해 3.90mg/m³, 조형 1.17mg/m³, 중자 2.23mg/m³, 탈사 5.42mg/m³, 사처리 4.82mg/m³, 해체 1.20mg/m³로서 용해로, 탈사, 사처리 공정에서 부유분진이 가장 심하게 발생된다는 것을 알 수 있으며 생산 공정의 특성에 따라 발생 농도의 차이를 나타내고 있다. 특히 분진 농도가 상당히 높으리라 예상되었던 해체 및 조형 공정에서 각각 1.20mg/m³, 및 1.17mg/m³로 나타났는데 이는 해체 및 조형 공정 주변에 국소 배기장치가 설치되어 정상적으로 가동되어 주변에 비산되는 분진을 제거하기 때문인 것으로 생각된다.

다른 공정에서는 국소배기시설의 정상적인 가동 및 위치의 부적절로 인하여 별로 효과가 없는 것으로 나타났다. 따라서 각 공정별 특성에 맞는 표준 국소 배기장치의 설치와 효율적인 유지 관리가 필요한 것으로 사료된다.

조사대상 공장의 설비는 일반적으로 노후화 되었으며, 사후처리 시설이 비밀폐식으로 된 중규모의 주물공장으로 주로 수작업에 많이 의존하고 있

었다.

현재 국내 주물 소재에 대한 수요는 자동차 및 기계공업의 발전에 의해 계속 증가할 것으로 판단되므로 작업 환경 개선에 관한 충분한 검토가 요구되고 있다.

2. 공정별 부유분진중 중금속 농도

주조에 사용되는 재질은 무수히 많으나 실제로 제조, 시판되고 있는 것은 주철주물, 주강주물, 동합금 주물, 경합금 주물, 기타의 5가지로 분류될 수 있다.⁷⁾

일반적으로 주철은 탄소(C), 규소(Si), 망간(Mn), 유황(s), 인(P)의 5대성분을 함유하는 철의 합금이다. 주철 속에서 탄소 일부는 철속으로 녹아들고, 또 일부는 세멘타이트(Fe₃C)의 형태로 철과 결합하며, 일부는 미용해된 상태로 용탕중에 부유한다.

금속 주조는 주형에서 만들어진 공간 안으로 용융된 금속을 붓는 것을 말하며 대부분 모래입자를 주 성분으로 하며, 성형성과 강도를 부여하기 위하여 점결제(binder)가 사용되고 있다. 점결제로는 활성 벤토나이트(Active bentonite)가 현재 가장 많이 이용되고 있다.

Table 3은 각 공정에서 발생되고 있는 부유분진 중에 함유된 중금속의 농도를 나타낸 것으로 주요 중금속은 철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb), 크롬(Cr), 망간(Mn) 등이 함유하고 있다.

각 공정별 부유분진중 중금속의 농도를 살펴보면 용해로 및 비철 용해로 공정의 경우 사용되는 용해로는 전기 아크노로 주괴, 고철 및 필요한 합금이 투입되어 용해되므로 다량의 철(Fe), 망간(Mn), 납(Pb), 구리(Cu) 등의 금속 흙이 배출되어 작업장 내의 공기를 오염시키고 있는 것으로 나타났다. 특히 용해로의 경우 철(Fe) 0.36mg/m³, 납(Pb) 0.01mg/m³, 망간(Mn) 0.03mg/m³으로 나타났으며, 비철 용해로는 주로 구리(Cu)를 용해하고 있었으며 각 중금속의 농도는 철(Fe) 0.03mg/m³, 구리(Cu) 0.02mg/m³, 납(Pb) 0.01mg/m³, 망간(Mn) 0.01mg/m³이었다.

용해 주입의 경유도 유사하게 나타났으며 철(Fe) 0.14mg/m³, 납(Pb) 0.02mg/m³, 망간(Mn) 0.01mg/m³이었다.

Table 2. Summary of concentrations of total suspended particles

Sampling sites	Number of samples	Concentrations(mg/m ³)	
		Mean	Range
Furnace	10	4.19	3.69~4.34
Pouring	11	2.93	2.73~3.12
Nonferrous furnace	9	3.90	3.45~4.11
Molding	12	1.17	1.10~2.31
Core	10	2.23	2.14~2.12
Desanding	8	5.42	4.14~5.72
Sand treatment	8	4.82	4.02~5.13
Finishing	9	1.20	0.93~1.34

조형은 일반적으로 규사와 점토를 주 원료로 하여 주형을 제조하는 공정으로 성형이 되어 강도와 가소성이 발휘하기 위해서는 점토에 수분이 첨가되고, 압력이 가해져 성형 및 경화시킨다. 본 조사 결과 철 이외의 중금속은 검출되지 않았으며 이때 철(Fe)의 농도는 0.17mg/m³로 나타났으며 이는 탈사 과정에서 주물사를 회수하여 재 사용하기 때문에 철이 함유된 것으로 사료된다.

Table 3. Heavy metal concentrations in total suspended particle.

Sampling sites	Concentrations, mg/m ³				
	Fe	Cu	Pb	Cr	Mn
Furnace	0.36	Trace	0.01	Trace	0.03
Pouring	0.14	Trace	0.02	Trace	0.01
Nonferrous furnace	0.01	0.01	0.01	Trace	0.01
Molding	0.01	-	-	-	-
Core	-	-	-	-	-
Desanding	0.19	0.01	Trace	0.01	Trace
Sand treatment	-	-	-	-	-
Finishing	-	-	-	-	-

탈사 과정에서는 주물품의 주입, 응고가 완료된 후 주조품을 틀에서 꺼내어 모래를 턴 다음 탕구를 제거하고 핀(fin), 바리(burr) 등의 주조품이 제조되므로 여러 종류의 중금속이 포함되어 있다.

탈사 공정의 중금속 농도는 철(Fe) 0.19mg/m³, 구리(Cu) 0.01mg/m³, 크롬(Cr) 0.01mg/m³으로 나타났으며 중자, 사처리, 해체 등에서는 중금속이 검출되지 않았다.

각 공정에서 가장 높게 나타난 중금속별 농도를 살펴보면, 철(Fe)의 경우 용해로에서 0.36mg/m³, 구리(Cu)의 경우 비철 용해로에서 0.02mg/m³, 납(Pb)의 경우 용해 주입에서 0.02mg/m³, 크롬(Cr)의 경우 탈사에서 0.01mg/m³, 망간(Mn)의 경우 용해로에서 0.03mg/m³으로 전 공정에서 가장 높게 나타났다. 따라서 주물작업 공정이 주로 수작업에 많이 의존하고 있어 작업장에 근무하는 근로자에게 이들의 중금속이 폭로될 위험성이 크다.

예로 1989년 국내 주물공장 실태 조사 보고서에

의하면 생산 규모가 월 50톤 미만을 생산하는 업체가 전체의 50.7%를 차지하고 있어 전반적으로 영세성을 탈피하지 못하고 있으며 월 500톤 이상 생산하는 업체는 6.3%에 불과한 현 상황을 볼 때 작업환경에 대한 근본적인 대책이 검토되어야 할 것으로 사료된다.⁸⁾

IV. 결 론

주물 공장에서 발생하는 부유 분진의 농도와 부유 분진중에 함유된 중금속의 농도를 파악하기 위하여 변압기, 차단기, 펌프, 감속기, 전장품, 산업 기계 등을 생산하는 국내 굴지의 중전기 제조회사를 대상으로 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 공정별 부유분진의 발생 농도는 용해로 4.19 mg/m³, 용해주입 2.93mg/m³, 비철용해 3.90 mg/m³, 조형 1.17mg/m³, 중자 2.23mg/m³, 탈사 5.42mg/m³, 사처리 4.82mg/m³ 및 해체 1.20mg/m³로 나타났다.

2. 각 공정에서 가장 높게 나타난 중금속별 농도는 용해로에서 철(Fe) 0.36mg/m³, 비철 용해로에서 구리(Cu) 0.02mg/m³, 용해 주입에서 납(Pb) 0.02mg/m³, 탈사에서 크롬(Cr) 0.01mg/m³, 용해로에서 망간(Mn) 0.03mg/m³으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) 한국 산업안전관리공단, 우리나라 주물 사업장의 작업 환경 유해요인에 관한 조사 연구, 1989.
- 2) 대한산업보건협회, 근로자 건강 진단 종합연보, 1990.
- 3) James P. Lodge, Method of Air Sampling and Analysis, Lewis Publis-er, Inc., 1989.
- 4) 노동부, 유해물질의 허용농도 및 작업환경 측정방법, 서울, 1990.
- 5) Peter M. Eller, PH. D., CIH, NIOSH Manual of Analytical Methods, National Institute for Occupational Safety and Health, 1984.