

# 우리나라 철강주조업의 공정별 유해인자 노출 현황

피영규·김현욱<sup>1)‡</sup>

노동부 산업안전국 산업보건환경과·가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실<sup>1)</sup>

## Current Status of Environmental Hazards of Iron and Steel Foundry Operations in Korea

Young-Gyu Phee · Hyunwook Kim<sup>†1)</sup>

*Dept. of Industrial Health & Environment, Industrial Safety & Health Bureau, Ministry of Labor  
Dept. of Preventive Medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea<sup>1)</sup>*

Foundry workers are potentially at risk for occupational disease due to exposure to various hazards. This study was carried out to evaluate current status of environmental hazards in the iron and steel foundry operations in Korea. Data were gathered from the work environment monitoring reports from 46 regional labor offices and 95 work environmental monitoring institutes. A total of 4,947 operations in 229 plants were extracted from the reports and were analyzed with no data modification. But data on non ferrous metals, manufacture of steel products, and steel wire were excluded in this evaluation. The foundries were classified into eight operations; melting, pouring, molding, sand treatment, coremaking, shakeout, finishing, and miscellaneous. The results of this study were as follows;

1. The foundry workers were exposed to noise, mineral dust, heat stress, gas and vapors and metals. Among these hazards, high rates of non-compliance were found in noise(27.6%) and mineral dust(10.3%).

2. Mean levels of noise ranged from 84.8 to 91.0dBA. Statistically significantly higher noise levels were found in the finishing compared with other operations. The highest mean non compliance of 58.8% was found in finishing operations.

3. The mean levels of WBGT were 23.1°C in melting and 20.4°C in pouring, with statistical significant difference between two operations. No exposures were determined to be in excess of the Korean occupational exposure limits for WBGT index.

4. The average concentrations of total mineral dust were 1.70, 1.55, 1.60, 2.32, 1.35, 2.35, 3.23 and 0.90mg/m<sup>3</sup> in melting

pouring, molding, sand treatment, coremaking, shakeout, finishing, and miscellaneous, respectively. Dust concentrations of finishing were statistically significantly higher than those of other operations. But the non compliance rate of shakeout operations was the highest among operations.

5. Six different kinds of metals were found from melting and pouring operations. The average concentrations of chromium and lead in melting were statistically significantly higher than that of pouring operations. But the mean concentrations of iron, zinc, cadmium, copper and manganese measured at two operations showed no statistical significant difference. And the non compliance rates were low in both operations.

6. Foundry workers were exposed to mixtures of phenol, formaldehyde, isopropyl alcohol, and methanol in molding and coremaking operations. The mean concentrations of phenol and methanol were comparable for both operations, but slightly higher values were obtained in molding than coremaking. The non compliance rate of gases and vapors was very low, indicating that the average exposures were below the Korean occupational exposure limit.

7. It was found that worker exposures to noise were highest in large scale foundries and were lowest in small scale foundries. Dust concentrations in small foundries having 30-49 employees were higher than those of foundries with more than 50 workers.

**Key Words:** Foundry, Operation, Dust, Gases and vapors, Heat stress, Noise, Metal

접수일: 2003년 1월 27일, 채택일: 2003년 4월 15일

‡교신저자: 김현욱(서울 서초구 반포동 505, 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실)

Tel: 02-590-1237, E-mail: hwkim@catholic.ac.kr)

## I. 서 론

보통 주물업으로 불리는 철강주조업은 완제품 또는 반제품 상태의 각종 철강주물을 제조하는 산업활동을 말하며 표준산업분류상 비철금속주조업과 함께 금속주조업을 이루고 있다(통계청 2002). 금속주조업의 사업장수는 2001년을 기준으로 전국에 935개소가 있으며 근로자수는 15,627명으로 적지 않은 근로자가 이 업종에 종사하고 있다(노동부, 2002b).

철강주조업의 공정은 크게 용해 및 주입(melting & pouring), 조형(molding), 중재(coremaking), 형해체(shakeout), 세정과 마무리(cleaning & finishing)로 대분되고 그 외에 사처리(sand treatment)와 주형 제작(pattern making)이 포함되기도 한다(Boone과 Houten, 1977; Burgess 1995; Mirer, 1998). 이러한 공정들에서 발생되는 건강유해인자로는 광물성 분진, 금속성 흡, 연소와 열분해 산물, 수지결합과 연계된 화학물질 등 매우 다양하며 물리적 인자로서 소음, 진동, 온열 등이 있다(Burgess, 1995; Hogan, 1995). 여기서 발생되는 유해인자와 연계되는 직업성 질환으로는 금속흡에 의한 폐렴, 급성 또는 만성 기관지염, 진폐증, 중금속 중독, 유기용제 중독 및 소음성 난청 등과, 작업관련성 질환으로서 뇌심혈관계 및 근골격계 질환이 있다(Mirer, 1998; IARC, 1997). 또한 대표적인 직업성 암으로서 다환성방향족탄화수소 및 결정형 규산에 의한 폐암과 아직 논쟁의 소지는 있지만 결정형 규산에 의한 기관지암 등이 있다(IARC, 1984; Burgess, 1995; Goldsmith 1994; IARC 1997).

우리나라 금속재료품 제조업에서 발생한 직업성 질환 통계를 보면 소음성 난청이 37명, 금속 및 중금속중독 3명, 특정화학물질중독 3명이 있었으며 작업관련성 질환으로는 뇌심혈관계질환 20명, 신체부담작업 9명, 요통 20명 등이 발생되어 적지 않은 근로자가 업무상 질병에 이환되고 있다(노동부, 2002a). 국내에서는 이러한 직업성 질환을 예방하기 위하여 산업안전보건법에서 사업주에게 분진, 연, 유기용제, 특정화학물질, 소음, 고열 등이

발생되는 작업장의 해당 유해인자에 대하여 작업환경측정을 실시하도록 규정하고 있으며, 발생하는 유해인자의 관리를 위하여 시설 및 설비의 개선 등 적절한 조치를 취하도록 하고 있다(노동부, 2001a). 이렇듯 직업성 질환을 예방하기 위한 가장 기초적인 방법은 작업환경측정을 통하여 유해인자의 발생을 노출기준 이하로 관리하는 데 있으며 특히, 철강주조업에서 발생하는 직업성 질환은 해당 유해인자의 위험이 높은 사업장의 규모, 지역, 해당공정 등의 노출정도를 파악하여 집중관리함으로써 감소시킬 수 있다. 이를 위해서는 우선 유해인자의 노출수준과 노출기준 초과율 등 실태파악이 선행되어야 한다.

실제 철강주조업종에 대해 유해인자의 노출농도 및 노출기준 초과정도에 대한 자료는 부족한 실정이며 그나마 작업환경측정기관협의회에서 발간되는 작업환경측정종합연보는 제1차 금속산업 일부에 대한 노출기준의 초과율 정도만 제시하고 있다(작업환경측정기관협의회, 2002). 또한 국내에서 주물업을 대상으로 수행된 연구들도 대부분 분진중 결정형 규산의 농도(피영규 등, 1997; 김현욱 등, 1998)를 분석하거나 또는 호흡기 건강에 주안점을 둔 연구(최정근 등, 1994; 구정완 등, 1998) 및 인간공학적 기초연구(하미나 등, 1997)로 한정되어 있다. 이처럼 현재까지 우리나라 철강주조업에서 발생하는 유해인자에 관한 정보나 공정별 노출농도에 대한 연구는 아직까지 없는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 우리나라 철강주조업에서 발생하는 물리적 인자 및 화학적 인자의 공정별 노출실태와 규모별 노출기준 초과현황 등을 파악하여 향후 중사 근로자의 직업병을 예방하기 위한 산업보건 정책사업의 기초자료를 제공하는데 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 대 상

2002년 6월에 전국에 있는 금속주조업

에 대하여 2001년 9월에서 12월중에 수행된 2001년 하반기 작업환경측정결과보고서를 지방노동관서 및 작업환경측정기관을 통하여 문서로 확보하였다.

수집된 결과보고서의 확인결과 총 355개의 사업장이 있었으나 산업분류상 철강산업과 비철금속산업을 제외시켰으며 주물사를 사용하지 않는 다이캐스팅업도 대상에 포함시키지 않았다. 1차로 선정된 금속주조업 295개소중 철강주조업은 229개소(77.6%), 비철금속주조업 66개소(22.4%)개소로 분류가 가능하였다. 그러나 업종이 적은 비철금속주조업을 제외하고 주물업을 대표할 수 있는 철강주조업 229개소, 4,947공정을 최종 연구대상으로 선정하였다. 해당 작업환경측정결과보고서를 활용하여 각 사업장의 측정기관명, 관할 지방노동관서명, 지역, 총 근로자수, 업종, 생산품, 공정명, 공정근로자수, 노출수준, 노출기준의 변수를 설정하여 excel 2000 프로그램에 입력하였다. 철강주조업의 지역별 분포를 보면 경상도 지역에 116개 사업장으로 가장 많았으며 그 다음으로는 경기도 70개소, 충청도 지역 27개소가 있었다. 사업장 규모는 5인이상 30인 미만이 131개소로 가장 많았으며 200인 이상 사업장도 8개소가 있었다(Table 1).

### 2. 방 법

소음, 온열, 분진, 가스 및 증기, 금속 등에 대한 측정 및 분석방법은 노동부 고시인 작업환경측정 및 정도관리규정에 준하여 수행되었으며(노동부, 2001b), 각 공정간 유해인자에 대하여 노출기준 초과율(non compliance rate)을 산출하였고 그 계산은 유해물질의 초과공정수를 발생공정수로 나눈 값에 100을 곱하였다. 통계분석적으로는 수집된 유해인자의 각 공정간의 농도차이를  $\alpha=0.05$  수준에서 anova를 이용하여 Scheffe의 다중비교로 검정하였으며 온열, 중금속, 가스 및 증기는 각각 2개의 공정에 대하여 student's t-test를 수행하였다. 또한 측정농도 자료분포를 파악하기 위하여 Sapiro Wilks 검정으로 정규분포여부를 확인한 바 대부분 대수정규분포

Table 1. The general characteristics of the iron and steel foundries

( ) : %

Area	Total	Size of employees					
		<5	5 ~ 29	30-49	50-99	100-199	>199
Seoul	2( 0.9)		1( 0.4)	1( 0.4)			
Kyung In	70( 30.6)	3(1.3)	41(17.9)	13( 5.7)	8( 3.5)	3(1.3)	2(0.9)
Gang Won	3( 1.3)		1( 0.4)	1( 0.4)			1(0.4)
Chung Cheong	27( 11.8)	1(0.4)	10( 4.4)	10( 4.4)	5( 2.2)		1(0.4)
Geon La	11( 4.8)	1(0.4)	9( 3.9)	1( 0.4)			
Kyung Sang	116( 52.5)		69(30.1)	23(10.0)	10( 4.4)	10(4.4)	4(1.8)
Total	229(100.0)	5(2.2)	131(57.2)	49(21.4)	23(10.0)	13(5.7)	8(3.5)

를 보였으나, 대수정규분포라 할지라도 평균노출을 가장 잘 나타내는 대표 값은 산술평균이며, 기하평균이 대수정규분포에서 산술평균보다 낮기 때문에 기하평균을 사용하는 것은 평균노출을 과소 추정하게 된다는 점을 감안하여 각 공정에 대한 노출농도는 산술평균(표준편차)과 기하평균(기하표준편차) 및 범위를 함께 제시하였다(Mullhausen & Damiano, 1998).

### III. 결 과

#### 1. 유해인자별 노출 현황

##### 1) 소음

철강주조업에서 발생하는 평균소음수준은 87.4dBA이었다(Table 2). 각 공정간 평균 소음수준을 비교해보면 마무리공정이

91.0dBA로서 이미 노출기준을 초과하는 것으로 나타났으며 다른 공정에 비해서도 통계적으로 유의하게 높은 수준을 보였다( $p<0.05$ ). 그 다음으로는 형해체공정이 88.9dBA, 검사, 라이닝, 도장 등의 분류불능 공정이 88.3dBA의 소음강도를 보이며 마무리공정 보다는 낮게 용해, 주입, 조형, 사처리공정보다는 통계적으로 유의하게 높은 수준을 보였다( $p<0.05$ ). 한편 각 공정간 소음 노출기준 초과율 역시 마무리공정이 58.8%로 가장 높게 나타났으나 용해와 주입공정은 낮은 초과율을 나타내었다.

##### 2) 온열

Table 3에서 보듯이 용해와 주입공정에서의 평균 WBGT 수준은 23.0℃였으며 최고 노출지수는 용해공정에서의 40.7℃이었다. 공정별로는 주입보다 용해공정에

서 통계적으로 유의하게 높은 수준을 보였으나( $p<0.01$ ) 두 공정 모두 온열에 대한 노출기준 초과율은 측정시기가 9월에서 12월임을 감안해도 상당히 낮은 것으로 나타났다.

##### 3) 분진

총분진 농도를 각 공정별로 구분하여 Table 4에 나타내었다. 각 공정의 평균 총분진농도는 용해 1.7mg/m<sup>3</sup>, 주입 1.6mg/m<sup>3</sup>, 조형 1.6mg/m<sup>3</sup>, 사처리 2.3mg/m<sup>3</sup>, 중자 1.4mg/m<sup>3</sup>, 형해체 2.4mg/m<sup>3</sup> 및 마무리 3.2mg/m<sup>3</sup>으로 마무리공정(a)이 다른 공정(b, c, d)에 비해 통계적으로 유의하게 높은 농도를 보였다( $p<0.05$ ). 각 공정간 분진의 노출기준 초과율도 형해체가 20.4%로 가장 높았으나 용해, 주입 및 분류불능공정은 상대적으로 낮은 수준을 보였다.

Table 2. The levels of noise by foundry operation

Operations	N*	Mean(dB) ±SD <sup>†</sup>	GM <sup>‡</sup> (dB) (GSD <sup>§</sup> )	Range(dB)	Non compliance rate(%)
Melting	271	84.72 <sup>c</sup> ±3.23	84.65(1.04)	70.70- 91.40	2.95
Pouring	47	85.44 <sup>c</sup> ±4.55	85.31(1.06)	66.40- 94.30	4.26
Molding	357	85.14 <sup>c</sup> ±4.69	85.01(1.06)	54.10-104.00	10.36
Sand treatment	48	84.77 <sup>c</sup> ±3.92	84.68(1.05)	75.00- 95.50	8.33
Coremaking	47	85.21 <sup>c</sup> ±4.51	85.10(1.05)	72.70- 96.40	14.89
Shakeout	237	88.90 <sup>b</sup> ±4.04	88.81(1.05)	69.20-101.60	34.60
Finishing	427	90.99 <sup>a</sup> ±4.36	90.89(1.05)	75.00-101.30	58.78
Miscellaneous	29	88.30 <sup>b</sup> ±4.91	88.16(1.06)	79.70- 98.00	41.38
Total	1,463	87.44±4.99	87.30(1.06)	54.10-104.00	27.55

\* : Number of operations, †: Standard deviation

‡: Geometric mean, § : Geometric standard deviation

a, b, c : the same letters are not significantly different

Table 3. The levels of WBGT from selected foundry operations

Operations	N	Mean(°C) ±SD	GM(°C) (GSD)	Range(°C)	Non compliance rate(%)
Melting	112	23.10 <sup>*</sup> ±3.81	22.79(1.81)	13.20-40.70	0.89
Pouring	6	20.42 <sup>*</sup> ±1.38	20.38(1.07)	19.50-23.20	0.00
Total	118	22.97±3.76	22.66(1.18)	13.20-40.70	0.85

\* : p&lt;0.01 by student' t-test

Table 4. The concentrations of total dusts by operation

Operations	N	Mean(mg/m <sup>3</sup> ) ±SD	GM(mg/m <sup>3</sup> ) (GSD)	Range(mg/m <sup>3</sup> )	Non compliance rate(%)
Melting	300	1.70 <sup>d</sup> ±1.28	1.10(3.26)	0.01- 8.31	2.00
Pouring	58	1.55 <sup>d</sup> ±1.29	0.88(4.39)	0.001- 4.92	0.00
Molding	564	1.60 <sup>d</sup> ±1.16	1.26(2.22)	0.01-13.68	5.08
Sand treatment	77	2.32 <sup>b</sup> ±2.34	1.53(2.87)	0.01-11.85	12.99
Coremaking	118	1.35 <sup>d</sup> ±1.15	1.07(1.99)	0.12- 8.42	5.04
Shake out	250	2.35 <sup>b</sup> ±1.61	1.75(2.52)	0.01- 9.73	20.40
Finishing	366	3.23 <sup>a</sup> ±2.64	2.32(2.51)	0.03-18.73	14.48
Miscellaneous	20	0.90 <sup>c</sup> ±0.76	0.47(4.57)	0.01- 2.60	5.00
Total	1,753	2.07 <sup>d</sup> ±1.84	1.43(2.74)	0.001-18.73	10.27

a, b, c, d : the same letters are not significantly different

## 4) 가스 및 증기

조형 및 중자공정에서 사용하는 가스 및 증기는 이소프로필알콜, 포름알데히드, 메탄올, 페놀, 암모니아, 2,4-TDI 등이 있었다(Table 5). 2,4-TDI는 조형과 중자공정에서 각각 2건씩 측정되었으나 미검출로 나타났으며, 사처리공정에서도 0.0198 ppm이 검출되었으나 표에는 제시하지 않았다. 포름알데히드의 경우 조형이 중자 공정보다 통계적으로 유의하게 높은 농도

를 보인 반면(p<0.01), 페놀은 중자가 조형공정보다 유의하게 높은 결과를 보였다(p<0.05). 가스 및 증기의 노출기준 초과율은 전체적으로 상당히 낮은 것으로 나타났다.

## 5) 금속 등

흙 형태의 금속은 대부분 용해 및 주입 공정에서 발생되었으며 그 종류로는 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 니켈, 납 및 아연

이 있었다(Table 6). 용해와 주입공정의 금속 농도를 비교해 보면 용해공정에서 크롬(p<0.05)과 납(p<0.01) 모두 0.005mg/m<sup>3</sup>으로 주입공정에서보다 통계적으로 유의하게 높은 농도를 보였다. 노출기준이 일부 초과된 금속으로는 카드뮴, 철 및 구리 등이 있었으나 초과율은 낮은 것으로 나타났다.

Table 5. The concentrations of gases and vapors in molding and coremaking operations

Operations	Gases and Vapors	N	Mean(ppm) ±SD	GM(ppm) (GSD)	Range (ppm)	Non compliance rate(%)
Molding	Isopropyl Alcohol	33	11.58 ± 46.58	1.24( 6.76)	0.04-268.11	0.00
	Formaldehyde	105	0.07 <sup>*</sup> ± 0.13	0.03( 4.19)	0.00- 0.87	0.00
	Methanol	119	15.47 ± 33.56	5.21( 4.63)	0.07-293.23	0.84
	Phenol	50	0.07 ± 0.16	0.02( 4.58)	0.00- 0.83	0.00
Coremaking	NH <sub>3</sub>	4	0.54 ± 0.60	0.11(15.52)	0.00- 1.12	0.00
	Isopropyl Alcohol	10	4.19 ± 9.82	0.29( 9.90)	0.04- 30.68	0.00
	Formaldehyde	38	0.02 ± 0.02	0.01( 3.13)	0.00- 0.08	0.00
	Methanol	14	25.25 ± 49.17	3.68( 8.75)	0.17-167.69	0.00
	Phenol	48	0.20 <sup>†</sup> ± 0.36	0.04( 6.01)	0.00- 1.66	0.00

\* : p&lt;0.01 by student's t-test, †: p&lt;0.05 by student's t-test

Table 6. The concentrations of metals contained in fume from melting and pouring operations

Operations	Metals	N	Mean(mg/m <sup>3</sup> ) ±SD	GM(mg/m <sup>3</sup> ) (GSD)	Range (mg/m <sup>3</sup> )	Non compliance rate(%)
Melting	Cd	12	0.14 ±0.48	0.001 (2.36)	0.00 -1.67	8.33
	Cr	141	0.005* ± 0.02	0.002 (3.62)	0.00 -0.17	0.00
	Cu	45	0.006 ±0.02	0.001 (4.52)	0.00 -0.13	2.22
	Fe	100	0.65 ±1.25	0.13 (6.66)	0.002-6.40	2.00
	Mn	269	0.02 ±0.05	0.004 (5.11)	0.00 -0.61	0.00
	Ni	14	0.003 ±0.00	0.001 (4.06)	0.00 -0.01	0.00
	Pb	47	0.005 <sup>†</sup> ±0.00	0.003 (2.82)	0.00 -0.03	0.00
	Zn	34	0.02 ±0.05	0.007 (5.28)	0.00 -0.23	0.00
Pouring	Cr	26	0.002 ±0.00	0.001 (2.50)	0.00 -0.007	0.00
	Cu	19	0.0007 ±0.00	0.0004(2.88)	0.00 -0.004	0.00
	Fe	13	0.33 ±0.69	0.07 (5.34)	0.005-2.19	0.00
	Mn	38	0.009 ±0.02	0.002 (4.05)	0.00 -0.13	0.00
	Pb	16	0.001 ±0.00	0.001 (1.96)	0.00 -0.003	0.00
	Zn	7	0.01 ±0.01	0.006 (4.50)	0.00 -0.04	0.00

\* : p<0.05 by student's t-test, †: p<0.01 by student's t-test

## 2. 규모별 노출기준 초과 현황

철강주조업에서 발생하는 유해인자중 노출기준 초과율이 높은 소음, 분진에 대하여 규모별, 지역별로 노출수준 및 초과율을 도식화하였다(Fig. 1).

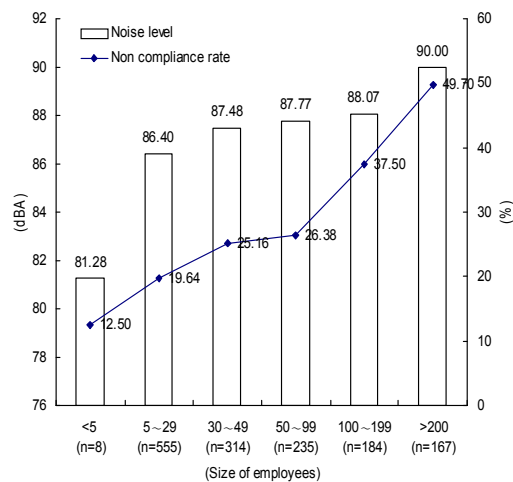
소음의 경우 사업장 규모가 증가할수록 소음의 강도와 노출기준 초과율이 높아져 200인 이상의 철강주조업은 평균 소음노출이 90.0dBA이었으며 노출기준 초과율

도 49.7%를 보였다(Fig. 1A). 분진도 역시 사업장 규모가 클수록 노출되는 농도는 높아지는 경향을 보였으나 노출기준 초과율에서는 30-49인 사업장이 13.9%로 가장 높은 결과를 보였다(Fig. 1B).

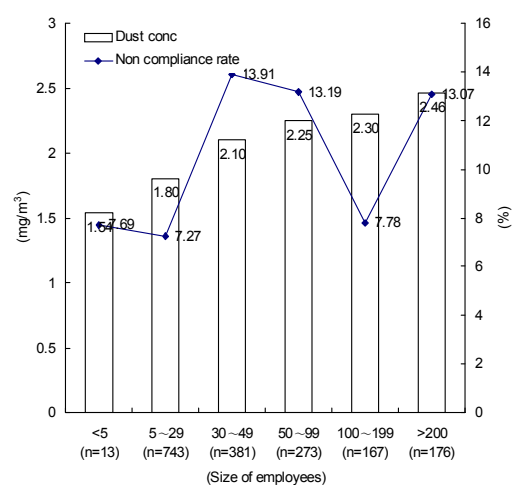
## IV. 고 찰

소음성 난청은 우리나라에서 문제가 되

고 있는 전형적인 직업성 질환의 하나이며 소음의 측정결과 대상사업장의 27.2%가 노출기준을 초과할 만큼 우선 관리대상이 되어야 할 유해인자이다(노동부, 2002a). 더욱이 철강주조업의 소음 조사결과 평균노출수준은 87.4dBA로 거의 노출기준의 수준에 근접하고 있었다. 공정별로는 조형기의 압축공기에 의한 토출음 등이 발생하는 중자공정이 평균 85.2dBA를, 이와 유사한 조형공정은 85.1dBA로



(A) Noise



(B) Dust

Figure 1. The non compliance rate of noise and dust by size of employees.

발생되어 다른 공정에 비해서 다소 낮은 수준을 보이고 있었다. 그러나 금속표면 가공작업이 대부분인 마무리공정은 평균 91.0dBA의 소음강도를 보여 평균소음 자체가 이미 노출기준을 초과하고 있는 실정이었다. 또한 주변 기기 가동으로 인해 발생하는 연속음과 탈형작업시 망치질음, 압축공기음 등이 발생하는 형해체공정의 경우 평균소음수준은 88.9dBA으로 마무리공정 다음으로 높은 수준을 보였다. 이렇듯 철강주물업의 소음 노출수준은 외국의 경우에도 유사한데 형해체공정 105-115dBA, 연마, 가공 등 마무리 작업시 95-115dBA, 조형기계 작업 95-115dBA, 수공구 조형작업 92-97dBA 등으로 마무리와 형해체공정에서 가장 높게 발생된다고 한다(Burgess, 1995). 우리나라 모든 업종에서 발생하는 소음 공정중에 노출기준 초과율은 평균 17.0%로 알려져 있다(노동부, 2002c). 본 결과는 전 공정중 27.6%가 소음의 노출기준을 초과하고 있어 우리나라 평균 초과율보다 훨씬 높은 수준을 보이고 있었다. 특히 마무리공정은 58.8%가 초과되는 것으로 나타나 이 공정은 특별한 관리대책이 요구된다.

다른 물리적 인자로서 온열은 평균 WBGT 수준이 23.0℃로 낮은 수준이었으며 노출기준 초과율도 낮은 상태이었다. 이는 측정이 수행된 계절이 가을과 겨울(9월-12월)임을 감안해도 낮은 수준으로 보여진다. 이러한 원인으로 여러 이유가 있을 수 있으나 온열에 대한 우리나라 측정방법이 다른 유해인자처럼 개인시료포집이 아닌 지역시료포집으로 이루어져서 다소 낮은 수준으로 평가된 것으로 추측할 수 있다. 주로 온열과 연관이 있는 작업은 용해와 주입공정이었으며 용해가 주입공정보다 다소 높은 온도에 노출되는 것으로 나타났다. 그러나 고온에 노출시간이 길지 않고 상시작업으로 행하지 않기 때문에 이로 인한 직업성 질환의 발생은 다른 유해인자에 비해 적을 것으로 판단된다.

철강주조업에서 건강상 가장 문제가 되는 유해인자는 광물성 분진이다. 각 공정간 총분진 농도를 비교해 보면 주로 수공

구 등을 활용하여 금속표면을 가공하는 마무리공정이 3.2mg/m<sup>3</sup>로 다른 공정에 비해 통계적으로 유의하게 높았으며, 그 다음으로는 형해체와 사처리공정이 각각 평균 2.3mg/m<sup>3</sup>의 농도로 노출되고 있었다. 주로 산화철이 발생하는 용해공정에서는 평균 1.7mg/m<sup>3</sup>으로 상기공정보다는 낮게 나타났다. 또한 기계 및 수동조형기 등으로 주물사를 다지는 조형공정에서는 분진이 평균 1.6mg/m<sup>3</sup>, 기계 쉘중자 및 펄셋 중자 작업시에는 1.35mg/m<sup>3</sup>의 노출농도를 보이며 철강주조업 전체평균 이하의 농도로 발생되고 있었는데, 이는 다른 공정과는 달리 습식작업 형태로 분진의 비산이 다소 적었기 때문인 것으로 추측된다. 한편 생사 또는 재활용이 가능한 주물사와 점결제를 배합기로 혼합하는 사처리공정에서 발생하는 주물사 분진은 2.3mg/m<sup>3</sup>으로 노출되고 있었다. 각 공정간 총분진의 노출기준 초과율을 보면 노출농도가 가장 높은 마무리보다 형해체공정이 더 높은 수준을 보였는데, 이는 마무리 공정은 대부분 유리규산의 함량이 1-30% 미만인 2종 분진으로 분류한 반면 형해체 공정은 유리규산의 함량이 30%이상인 1종 분진으로의 분류가 많았기 때문인 것으로 추측된다. 미국의 경우 205개 주물 사업장을 대상으로 결정형규산에 대하여 초과율을 분석한 결과 2.0%으로 본 연구 10.27%의 결과와는 달리 현저하게 낮게 나타났다(Oudiz 등, 1983). 우선 이런 차이의 발생은 우리나라는 분진의 중량으로 노출기준 초과여부를 산정하는데 반해, 미국은 분진중 석영의 분석결과를 토대로 초과여부를 판별하는데 있을 것이다. 사실 분진은 비산되는 분진량 자체가 문제가 된다고 보다는 분진중에 함유된 결정형 규산이 건강상에 유해한 물질로 작용하며 주물사중에는 석영의 함유량이 5-100%까지 다양하다(Burgess, 1995). 이러한 주물사는 다양한 모래와 벤토나이트와 같은 점토 결합제, 기타 부가제 등을 혼합하여 사용하고 있다. 주요 성분은 이미 독성이 알려진 석영이며 이 물질이 주입공정과 같이 고온에 노출되면 크리스토파라이트 또는 트리디마이트로 상(phase)이 전이되게

된다. 그러나 크리스토파라이트나 트리디마이트는 작업 현장에서 쉽게 발생하지 않는 것으로 보고되고 있다(김현옥 등, 1998). 여러 연구에 의하면 철강주조업에서 공기중으로 발생하는 결정형규산의 함유량은 그다지 높지 않은 것으로 보고되는데 Breum(1986)의 연구에 의하면 총 2,185개의 시료중 석영 함량이 8% 미만으로 나타난 것이 81.2%(N=1,775)였으며, Boone과 Houten(1977)의 연구에서도 분진중 평균 석영함량은 호흡성분진중 개인 및 지역시료에서 6.0-6.5%라 한다. 국내연구도 이와 유사한 결과를 볼 수 있었는데 피영규 등(1997)의 연구에서는 4.3-5.4%, 김현옥 등(1998)의 연구에서도 3.4-5.1% 정도인 것으로 나타났다. 이렇듯 철강주조업에서 발생하는 분진중 석영의 함유량은 높지 않은 것으로 판단되나 현행 규정상 유리규산 함유율을 분석하지 않도록 되어 있어 측정기관에서는 분진의 분류가 일관성 없게 이루어지고 있는 것으로 보고되고 있다(김현옥 등, 1999). 분진에 대하여 1, 2, 3종 분진으로 정확히 분류할 수 있는 방법은 분진중 유리규산을 분석해야 가능할 것으로 판단된다. 이렇듯 광물성 분진 분석시 유리규산을 분석해야 한다는 주장은 이미 여러 논문에 의해 권고된 바 있다(피영규 등, 1997; 김현옥 등, 1998; 2000).

철강주조업의 혼합, 조형 및 중자공정에서 발생하는 화학물질로는 포름알데하이드, 암모니아, 방향족 아민, 메틸렌비스페닐이소시아네이트, 페놀, 벤젠, 톨루엔, 메타놀 등이 있으며 그밖에 시안화수소, 이산화황, 황화수소, 일산화탄소의 발생도 가능하다(Burgess, 1995). 조형공정의 경우 점결제로서 페놀수지, 프렌수지를 쓰기 때문에 열분해에 의한 포름알데히드, 페놀류 등의 유해가스가 발생되고 있었으며 그 농도는 포름알데히드와 페놀이 각각 0.07 ppm정도 인 것으로 나타났다. 중자공정에서도 특정화학물질로서 포름알데히드의 노출이 0.02 ppm로 조형공정보다 낮게, 페놀은 0.2 ppm으로 조형공정보다 높게 발생되고 있었다. 중자첨가물에서 주물주입시 발생하는 암모니아는



0.54 ppm으로 낮은 노출을 보였다. 또한 주물모래가 표면에 달라붙는 것을 방지하기 위해서 주형의 표면 도포제에 함유된 메타놀은 중자공정에서 평균 25.3 ppm으로 발생되고 있었으며 조형공정 15.5 ppm보다 높게 노출되고 있었다. 한편 트리에틸아민 및 디메틸에틸아민은 가스정화성 주형의 cold box법의 촉매로 사용되는 것으로 알려져 있으나 측정결과보고서상에서는 볼 수 없었다(Javinen과 Engstrom, 1997).

용해 및 주입공정에서 발생하는 금속은 사용되는 주물의 원료에 따라 다르지만 납, 아연, 망간, 철, 구리, 크롬 등이 있었다. 보통 철강주조업에서는 주원료인 선철, 고철 및 회주철 외에 니켈, 크롬, 망간, 실리콘, 몰리브덴 등이 부자재로 사용된다. 용해로의 종류는 상당히 다양하고로의 특성에 따라 발생하는 흙의 농도는 다를 것으로 생각되지만 보고서 상으로는 구분할 수 없었다. 전체적으로 용해공정이 주입공정보다 높은 농도를 보이고 있었으며 특히 크롬과 납은 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 노출기준 초과가 가장 많은 금속은 카드뮴(8.33%)이었으며, 구리와 철은 각각 2.2%, 2.0%을 보였으나 전체적으로 초과율은 낮은 것으로 나타났다.

철강주조업에서 작업환경측정 대상에 해당되는 물리적 인자로는 소음, 고온이 있었으나 진동은 아직 법상 측정대상에 포함되지 않고 있다. 외국의 경우도 유사한데 영국의 경우 진동에 대한 권고기준을 마련하여 가급적 기준을 준수하도록 권고하고 있으며, 일본에서도 진동에 대한 노출기준은 권고성격으로 마련되어 있다. 미국의 경우에는 미국의 주물업 종사자에게 진동백지증(vibration induced white finger) 같은 진동기인성 질환이 1970년대 발생됨으로 인해 주요 문제로 부각된 바 있다(Burgess, 1995). 여하간 진동이 발생하는 공정에 있어서 작업자는 주의를 기해야 하며 가급적 노출을 최소화해야 할 것이다.

화학적 인자로서 측정된 유해인자로는 조형 및 중자공정에서 이소프로필알콜,

포름알데하이드, 메타놀, 암모니아, 페놀, 톨루엔다이소시아네이트가 있었다. 그러나 이외에 다환성방향족탄화수소, 방향족아민, 메틸렌비스페닐이소시아네이트, 이산화황, 황화수소, 일산화탄소, 시안화수소의 발생도 가능하다(Renman 등, 1984; Sherson 등, 1990; Burgess, Jarvinen과 Engstrom, 1997). 특히 다환성방향족탄화수소로 인한 폐암이 어느 정도 입증되었음을 감안한다면 최소한 법적으로 측정토록 하여 노출기준 이하로 관리할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다. 또한 철강주조업에서 발생하는 업무상 질병중 직업성 질환보다 작업관련성 질환이 더 많이 발생되고 있고, 특히 근골격계질환의 발생이 지속적으로 증가추세를 감안한다면 향후 철강주조업에서 발생하는 근골격계 질환 예방을 위한 다양한 기법 개발과 관리방법도 구체적으로 제시되어야 할 것이다.

본 연구의 제한점으로는 측정결과를 산정함에 있어 우리나라는 최고노출근로자를 선정하여 측정토록 규정하고있어 자료가 과대평가 되었을 수 있다는 것과, 산업분류에 있어서 철강주조업만을 엄밀히 선정하도록 노력하였으나 극히 일부는 오분류의 가능성을 배제할 수는 없었다. 결론적으로 철강주조업중에서 발생하는 광물성분진에 대한 노출기준 적용시 혼란을 해결하기 위해서는 석영의 함량을 반드시 분석하는 것이 필요하고, 발생하는 유해인자에 대해서 누락된 물질 등은 가급적 측정토록 하여 노출기준 이하로 관리되어야 할 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 우리나라 철강주조업 229개소, 4,947공정을 대상으로 측정결과보고서를 이용하여 유해인자의 노출정도를 공정별, 지역별, 규모별로 파악하였으며 그 결과는 다음과 같았다.

1. 소음의 경우 마무리 공정에서 평균 91.0dBA의 수준을 보여 다른 공정에 비해 통계적으로 유의하게 높았으며, 그 다음

순으로 형해체공정이 88.9dBA의 강도를 보였다.

2. 온열은 용해와 주입공정에서 WBGT 지수가 각각 23.1, 20.4℃로 나타났으며 용해공정의 WBGT가 통계적으로 유의하게 높았으나 노출기준 초과율은 두 공정 모두 낮은 수준이었다.

3. 공기중 발생하는 총분진은 마무리공정이 3.3mg/m<sup>3</sup>으로 다른 공정에 비해 통계적으로 유의하게 높은 농도를 보였으나 노출기준 초과율은 형해체공정이 20.4%로 다른 공정에 비해 높은 것으로 나타났다.

4. 용해 및 주입공정에서 발생하는 금속은 납, 아연, 망간, 철, 구리, 크롬 등이 있었으며 용해가 주입공정보다 높은 농도를 보였으나 노출기준 초과율은 낮은 것으로 나타났다.

5. 조형과 중자공정에서 포름알데하이드, 페놀, 메타놀 등의 가스 및 증기가 발생되었으며 금속과 마찬가지로 낮은 초과율을 보였다.

6. 소음은 사업장 규모가 클수록 소음 수준과 노출기준 초과율이 높았으며 분진의 경우는 30-50인 미만 사업장에서 노출기준 초과율이 가장 높게 나타났다.

이상의 결과로 보아 우리나라 철강주조업의 노출기준 초과율이 높은 유해인자로는 소음(27.6%)과 분진(10.3%)이었으며, 소음의 경우 마무리, 형해체공정이 높은 소음에 노출되고 있는 상태였고 분진의 경우 마무리, 형해체 및 사처리공정이 다른 공정에 비해 높은 분진노출농도를 보였다.

## REFERENCES

- 김현욱, 노영만, 피영규, 원정일, 김용우. 제조업체에서 발생하는 호흡성분진 중 XRD와 FTIR를 이용한 결정형 유리규산 농도의 비교분석 제1부-주물 사업장. 한국산업위생학회지 1998;8 (1):50-66
- 김현욱, 피영규, 고원경, 원정일, 노영만. 여러 제조업에서 발생하는 분진농도

- 와 노출기준 적용에 따른 문제점 고찰 -제1차 금속산업 등. 1999년 한국 산업위생학회 추계학술대회 초록집; 1999. p40
- 김현욱, 피영규, 원정일, 노영만, 고원경, 신창섭. 비금속광물 제품제조업에서 발생하는 분진 농도와 분진 노출기준 적용에 따른 문제점 고찰. 한국산업 위생학회지 2000;10(1):104-114
- 구정완, 김경아, 정치경. 유리규산 분진이 주물작업 근로자들의 환기기능에 미치는 영향. 대한산업의학회지 1998; 10(1):94-104
- 노동부. 2001 산업재해분석. 노동부, 2002a. p.306
- 노동부. 노동통계연감. 노동부, 2002b. p.54
- 노동부. 작업환경측정결과 분석. 노동부, 2002c. p.21-25
- 노동부. 산업안전보건법. 노동부, 2001a. p.107-108
- 노동부. 작업환경측정 및 정도관리규정. 노동부, 2001b. p.8-14
- 작업환경측정기관협의회. 작업환경측정 종합연보. 작업환경측정기관협의회; 2002. p.72-95
- 최정근, 이창욱, 백도명, 최병순, 신용철, 정호근. RESIN 취급 주물공장 근로자들의 호흡기 건강에 관한 연구. 예방의학회지 1994;27(2):274-285
- 통계청. 표준산업분류. Available from : URL : <http://www.nso.go.kr:7001/standard/industry/industry.cfm>, 2002
- 피영규, 노영만, 이광목 등. 주물사업장 주공정별 발생하는 분진의 석영함유량 및 크기분포 연구. 한국산업위생학회지 1997;7(2):196-208
- 하미나, 백도명, 조수현, 강대희, 권호장. 역학적 연구에서 인간공학적 폭로 정도를 측정하기 위한 설문지 신뢰도 평가 -일부 주물공장 근로자를 대상으로 - 대한산업의학회지 1997;9(3): 659-670
- Breum NO, Holst E. Evaluating dust exposures in foundries by a screening test. Ann occup Hyg 1986;30(1):31-40
- Boone CW, Houten RW. Comparison of foundry dust evaluation by various methods. Am Ind Hyg Assoc J 1976;537-540
- Burgess WA. Foundry Operations. In : Recognition of health hazards in industry(A review of materials and processes), 2th ed, John Wiley & Sons, Canada, 1995. p. 106-135
- Goldsmith DF. Silica exposure and pulmonary cancer. Epidemiol of Lung Cancer 1994;245-298
- Hogan TJ. Particulates. In : Fundamentals of Industrial Hygiene, 4th ed, by B.A. Plog, Itasca, Illinois, National Safety Council, 1995. p. 175-178
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on Polynuclear aromatic compounds: Part 3. Industrial exposures in aluminum production, coal gasification, coke production, and iron and steel founding. Vol 34. Lyon, France; World Health Organization, IARC, 1984. p. 112-126
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans: Silica and some silicates. Vol 68. Lyon, France: World Health Organization, IARC, 1997. p. 14-21
- Jarvinen P, Engstrom K. Biological monitoring of triethylamine among cold-box core makers in foundries. Int Archives of Occup and Environ Health 1997; 70(6):424-427
- Mirer FE. Foundries. In : Encyclopaedia of occupational health and safety, 4th ed, by Stellman, Geneva, International Labour Organization, 1998. p.81.11-81.29
- Mulhausen JR & Damiano J. A strategy for assessing and managing occupational exposures, 2th ed, AIHA press, USA, 1998. p. 132-135
- Oudiz J, Brown JW, Ayer HE, Samuels S. A report on silica exposure levels in United States foundries. Am Ind Hyg Assoc J 1983;44(5):374-376
- Sherson D, Sabro P, Sigsgaard T, Johansen F, Autrup H. Biological monitoring of foundry workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. British J of Ind Med 1990;47(7):448-453