한국산업보건학회지, 제27권 제4호(2017) ISSN 2384-132X(Print) ISSN 2289-0564(Online)
Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 2017: 27(4): 302-312
https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2017.27.4.302

Original Article

합금철 제조공장 출탕 노동자의 유해인자 노출

차원석 · 김부욱* · 최병순

근로복지공단 직업성폐질환연구소

A Study on Exposure to Hazard Factors in Furnace Worker in Ferro-Alloy Manufacturer Factory

Wonseok Cha · Boowook Kim* · Byungsoon Choi

Occupational Lung Diseases Institute, Korea Workers' Compensation and Welfare Service

ABSTRACT

Objectives: In this study, an evaluation of the working environment of furnace workers was performed and the work-relatedness of the occupational diseases were examined

Methods: In this study, two electric furnaces at a single casting business site producing manganese-based iron alloy were selected, and occupational exposures to hazardous substances were evaluated for furnace workers and furnace worker assistants.

Results: As a result, total dust concentration were 0.407 ~ 3.001 ㎎/㎥ and respirable dust concentration were 0.196 ~ 0.584 ㎎/㎥. The highest concentration of crystalline silica was 0.079 ㎎/㎥. In the case of *Masato* and *Sosuckwhoi* crystalline silica, they contained 90.85% and 4.17% respectively. Manganese concentration was the highest at a 0.205 ㎎/㎥ maximum. The average of black carbon is 11.56 ㎍/㎥ and the maximum concentration is 604.23 ㎍/㎥. PAHs concentration was the highest at a 78.301 ㎍/㎥ of naphthalene. The concentration of carbon monoxide was 18.82 ppm(total average 3.89 ppm) during pouring, and the maximum is 131 ppm. The formaldehyde concentration was 0.003 to 0.007 ppm.

Conclusions: It seems that conditions in the past were worse, since casting has recently been performed only twice per day for about 20 minutes, reducing the amount of pouring, and local exhaust systems have been installed one-by-one. In addition, it was judged that the past exposure levels were higher considering the points measured on the back-side due to the risk of damage to the individual samples. It was found that operators could be exposed to high concentrations of crystalline silica, and that they were also exposed to high concentrations of metal(fume) and carbon monoxide during pouring. Therefore, there is a risk that occupational diseases such as lung cancer and COPD may occur with long-term work in such a process.

Key words: chronic obstructive pulmonary disease(COPD), ferro-alloy, furnace worker, lung cancer,

I. 서 론

주조산업은 자동차, 조선, 공작기계 등 전통산업과 IT 산업분야 등 핵심부품을 생산하는 필수산업으로, 세계화에 따른 기술 수요와 우리나라 산업의 급속한 기술 발전에 따라 비약적으로 성장하고 있다. 우리나라의 주물 생산량은 244만 톤으로 세계 생산량의 약 2.4%를 차지하여 세계 8위 수준으로, 1960년부터 꾸준히 성장하여 2012년 기준 약 100배에 가까운 성장을 보였다. 국내 주조 기업은 900여개로 약 45,000명이 근무하고 있으며, 주조산업의 매출액은 6조원으로 국가의 중추 산업이다. 그러나 국내 주조산업의 대부분은 50인 이하 영세사업장으로 형성되어 있으며, 대부분 생산직종 노동자로 작업 공정에서 다양한

*Corresponding author: Boowook Kim, Tel: 032-540-4968, E-mail: labor7@gmail.com
Occupational Lung Diseases Research Institute, Korea Workers' Compensation & Welfare Service, 478, Munemi-ro, Bupyeong-gu, Incheon 21417
Received: September 15, 2017, Revised: November 30, 2017, Accepted: December 17, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

유해인자에 노출되고 있으며, 장비 노후화 등에 따라 작업환경도 열악한 실정이다(KITECH, 2015).

주조 공정은 크게 주물설계, 주형작성, 용해, 주입, 파쇄로 구분되어 있는데, 모든 주물 사업장이 명확하게 구분되어 있지는 않고 제품의 용도에 따라 조금씩 다른 형태를 보인다. 용해 및 주입공정 중 출탕작업은 원재료를 배합하여 고로(furnace) 또는 전기로(electric furnace)에서 가열한 뒤 만들어진 쇳물을 얻어내는 작업으로, 용융된 금속을 이용하여 주물 또는 주괴형태의 제품을 만드는 주조 공정의 세부작업이다. 이러한 작업에서 출탕 노동자(출탕공)들은 입자상 물질인 결정형 유리규산, 금속과 가스상 물질인 일산화탄소, 저 농도의 포름알데히드와 다핵방향족 탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 등의 유해인자에도 노출될 수 있다(IARC, 2012).

주조 공정에서 발생하는 유해인자 중 결정형 유리규산은 작업 시 사용하는 모래 및 기타 광물에서 발생하며, 이들 결정형 유리규산은 4 ㎛ 이하의 호흡성 분진의 형태로 노동자에게 노출되고 있다(Andersson et al., 2009). 금속은 쇳물의 공기 중 증발, 응축, 산화에 의해 흄(fume) 형태로 발생되며, 일산화탄소는 흘러나오는 쇳물에서 탄소의 열분해로 발생한다(IARC, 1984). 또한 주조 공정에서 사용하는 모래에는 결합제(Binder compound)로 포름알데히드가 함유될 수 있으며(Toeniskoetter & Schafer, 1977), 이 외의 결합제의 불완전 연소에 의해 PAHs도 발생할 수 있다(IARC, 1984).

주조 산업은 용해된 쇳물을 주형에 주입하여 주물제품을 제조하는데, 최종 제품의 용도에 따라 철 이외 성분의 함량이 다르기 때문에, 주로 첨가제(망간, 니켈, 실리콘 등)를 첨가하여 함량을 조절한다. 이러한 첨가제로는 주로 합금철이 사용되는데, 합금철 또한 원재료의 전기로용해와 출탕 공정을 거쳐 생산된다.

국내 합금철 기업은 20여개로 약 1,600명이 종사하고 있으며, 합금철의 종류는 망간합금철, 텅스텐합금철, 니켈합금철 등이 있고 대부분 광석 반제품 형태로 생산된다(KOSTAT, 2015).

합금철 제조 공장의 전기로(쇳물 생산량)는 주물공장의 전기로에 비해 규모가 월등히 커서 출탕 작업시 발생되는 유해인자의 농도도 훨씬 높을 것으로 판단된다. 그러나 주물공의 유해인자 노출에 관한 연구는 진행되어 왔으나(Phee & Kim, 2003), 합금철 산업의 출탕공들의 유해인자 노출에 관한 연구는 거의 없었고, 출탕공정의 법적 작업환경측정에서도 대부분 금속류에 대해서만 실시되고 있는 실정이다.

주물업에서의 폐암 등 직업병 사례는 보고되고 있으나(Jeong et al, 2013), 합금철 제조업에서는 직업병에 관해서는 잘 알려진 바가 없다. 그러나 최근 근로복지공단 직업성폐질환연구소에서 합금철 제조공장 출탕공의 폐암 및 만성폐쇄성폐질환(Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD)에 대한 업무관련성 전문조사가 진행되고 있다.

이에 본 연구에서는 합금철 제조공장 출탕공들이 작업 중 노출될 수 있는 유해인자에 대한 작업환경평가 및 문헌조사를 통해 출탕공정 업무관련성 조사 및 작업환경 개선의 기초자료를 확보하고자 실시하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 국내 망간계 합금철을 생산하는 사업장 1개소의 전기로 2개를 선정하여, 출탕공 2인 및 출탕 보조공 1인에 대해 작업환경측정을 실시하여 유해인자의 직업적 노출에 대해 평가하였다. 측정 당일 전기로 1호는 망간과 실리콘의 합금철을 생산하여 하루 2회 출탕하였으며, 전기로 2호는 망간 합금철을 생산하여 하루 1회 출탕하였다. 출탕 작업은 1회 출탕에 약 20분 소요되며, 출탕 전과 후에 출탕길의 상태를 점검하고 보수하는 작업에 약 1시간 소요된다. 교대근무 형태는 4조 3교대 근무였다.

합금철 제조공장의 공정은 야적장에 입고된 원재료(망간광석, 철, 실리콘, 규석, 코크스, 백운석, 생선회 등)를 원료 배합설비에서 일정량 계량, 배합한 뒤 컨베이어 벨트로 전기로에 이송되어 가열, 용해를 거쳐 합금철 쇳물이 생성된다. Figure 1은 쇳물 출탕 작업을 나타낸 것인데, 쇳물 출탕은 출탕공이 긴 드릴로 전기로 하단의 단열재를 뚫어서 쇳물을 출탕길로 배출시킨다. 쇳물이 출탕길을 흐를 때에는 쇳물의 표면이 굳지 않도록 소석회 분말을 삽으로 퍼서 쇳물 표면에 붓는 작업을 한다. 쇳물은 주선기 주형에 순차적으로 담기에 되고 냉각(냉각수 분사)을 거쳐 고형화되어 분쇄기에서 파쇄된 후 제품선별, 저장 및

(a) Drilling(No.1 electric furnace)

(b) Drilling(No.2 electric furnace)

(c) Slag separation and *sosuckwhoi* embrocation

(d) *Masato* embrocation in runner

Figure 1. Pouring by furnace worker

출하된다. 출탕공은 출탕작업이 종료된 후 출탕길에 잔류하는 쇳물을 용융상태로 유지시키기 위해 삽으로 쇳물 표면에 마사토를 덮는 작업과 출탕길 보수작업도 한다.

최종 제품의 용도에 따라 쇳물을 주선기 주형이 아닌 래들(ladle)에 부어넣고 탄소농도를 조절하여 순도를 결정하는 정련공정이 추가되기도 한다. 전기로 2개 중 1호기는 정련공정이 없었으며, 2호기는 정련공정이 있었다.

2. 측정 및 분석

측정항목은 총분진, 호흡성분진, 결정형 유리규산, 탄소입자(black carbon) 등의 입자상 물질과 일산화탄소, 이산화질소, 포름알데히드 등의 가스상 물질 및 PAHs에 대해 실시하였다. 총분진, 호흡성분진, 결정형 유리규산, 금속(흄), 일산화탄소, 이산화질소는 개인시료로 측정하였고, 이 외의 항목은 출탕길로 부터 5 m 이내의 위치에서 지역시료로 측정하였다. 또한, 출탕작업 시 사용하는 마사토와 소석회에 대해 결정형 유리규산 함량 분석을 실시하였다. 측정시간은 전기로 1호기에는 08시부터 14시까지 측정하였고, 2호기에서는 08시 30분부터 14시까지 측정하였다. 한편, 출탕공정은 방열복을 착용하고 작업하는 매우 고온(약 1500℃)의 환경이므로 샘플러, 튜브 및 시료의 측정위치가 출탕공의 등에 부착되어 측정되었다.

입자상 물질 중 총분진의 측정 및 분석은 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) method 0500, 호흡성 분진은 NIOSH method 0600, 결정형 유리규산은 NIOSH method 7500, 금속은 NIOSH method 7304에 따라 실시하였고, 휴대용 탄소측정기(AE51, Miniature Black Carbon Monitor, TSI corp, USA)를 이용해 탄소입자 농도도 측정하였다.

가스상 물질 중 포름알데히드의 측정 및 분석은 NIOSH method 2016에 따라 실시하였고, 일산화탄소와 이산화질소의 측정은 개인시료용 가스측정기(PGM50-5P, RAE system, USA), 그 외 가스상 물질들의 측정은 다중가스측정기(YES-Plus, Critical Environment Tech, Canada)를 사용해, 전기로 1호에서 오후에 약 90분간만 측정하였다.

PAHs는 NIOSH method 5515에 따라 PTFE 필터와 XAD 튜브로 입자상 물질과 가스상 물질을 구분 해 포집한 후 가스크로마토그래피 질량분석기(GC-MS, Agilent Tech, USA)로 분석하였다. 또한, 마사토와 소석회 벌크시료를 채취하여 X-선 회절분석기(D8 Advance, Bruker Inc., Germany)를 사용해 결정형 유리규산의 종류와 함량을 분석하였다.

3. 과거 농도 검토

본 연구대상 사업장의 최근 6년 동안(2010~2015) 실시한 작업환경측정 결과를 입수하여 검토하였다. 합금철 출탕공에 대한 작업환경측정은 연간 1회(상반기) 실시하고 있으며, 항목은 습구흑구온도지수(Wet Bulb Globe Temperature, WBGT), 금속, 소음이었다.

4. 자료처리

AE51과 PGM50-5P, Yes-plus 측정결과는 기기의 전용소프트웨어에서 엑셀시트에 옮겨 자료처리 하였으며, 도표의 작성은 Sigmaplot 10.0(Systat Inc., USA)을 사용하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 과거 농도

Table 1은 본 연구대상 사업장의 최근 6년 동안(2010~2015) 실시한 작업환경측정결과보고서의 금속(흄)의 농도를 나타낸 것이다. 망간의 농도는 평균 0.13 ㎎/㎥으로 고용노동부 노출기준(1 ㎎/㎥)에 비해서는 낮았으나, 미국 산업위생전문가협회(American Conference

Table 1. The results for the concentration of metals in furnace worker for the past 6-years

Sampling site	Year	Job	Sampling time(min)	Concentration(㎎/㎥)		
				Mn	Fe	Pb
No. 1 Electric furnace	2010	Furnace worker	365	0.0046	0.0229	0.0034
		Furnace assistant	365	0.0051	0.0100	0.0041
	2011	Furnace worker	369	0.0040	ND*	ND
		Furnace assistant	369	0.0079	ND	ND
	2012	Furnace worker	368	0.0283	0.0294	0.0019
		Furnace assistant	368	0.0079	0.0046	0.0022
	2013	Furnace worker	368	0.0046	0.0100	0.0008
		Furnace assistant	368	0.0165	0.0055	0.0020
	2014	Furnace worker	368	0.2150	0.0634	0.0027
		Furnace assistant	368	0.2563	0.0574	0.0016
	2015	Furnace worker	365	0.0664	0.0175	ND
		Furnace assistant	365	0.0959	0.0241	ND
No. 2 Electric furnace	2010	Furnace worker	362	0.1190	0.0673	0.0070
		Furnace assistant	362	0.0521	0.0358	0.0084
	2011	Furnace worker	366	0.0893	0.0292	ND
		Furnace assistant	366	0.0520	0.0111	ND
	2012	Furnace worker	368	0.0330	0.0322	0.0018
		Furnace assistant	368	0.2731	0.1148	0.0023
	2013	Furnace worker	364	0.0106	0.0078	0.0009
		Furnace assistant	364	0.0278	0.0205	0.0008
	2014	Furnace worker	366	0.6022	0.1949	0.0026
		Furnace assistant	366	0.3529	0.1310	0.0054
	2015	Furnace worker	365	0.6505	0.2002	0.0000
		Furnace assistant	365	0.1422	0.2414	0.0000

*ND: Not detected

of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)의 호흡성(Respirable fraction) 노출기준(Threshold Limit Values, TLV)인 0.02 ㎎/㎥를 약 6배 초과하였으며, 흡입성(Inhalable fraction) 노출기준인 0.1 ㎎/㎥ 또한 초과하였다. 망간의 최고 농도는 0.6505 ㎎/㎥으로 고용노동부 노출기준의 2/3이며, ACGIH 호흡성 노출기준에 비해 약 30배 초과하였다. 철의 최고 농도는 0.2414 ㎎/㎥로 고용노동부 노출기준의 1/20이며, 납의 최고 농도는 0.0084 ㎎/㎥로 고용노동부 노출기준의 1/6이었다.

2. 작업환경측정 결과

1) 총분진, 호흡성분진, 결정형 유리규산

Table 2는 총분진, 호흡성분진, 결정형 유리규산의 농도를 나타낸 것이다. 입자상 물질 중 총분진 농도는 0.407~3.001 ㎎/㎥, 호흡성 분진 농도는 0.196~0.584 ㎎/㎥로 나타났다. 결정형 유리규산의 최고 농도는 0.079 ㎎/㎥으로써 고용노동부 노출기준(0.05 ㎎/㎥)을 초과하며, ACGIH 노출기준인 0.025 ㎎/㎥를 약 3배 초과하는 높은 농도였다.

마사토와 소석회에는 결정형 유리규산인 석영이 90.85%, 4.17% 함유되어 있었다.

2) 금속(흄)

Table 3은 금속(흄)의 농도를 나타낸 것이다. 금속(흄) 중 망간이 최대 0.205 ㎎/㎥으로, 고용노동부 노출기준(1 ㎎/㎥)의 1/5이며, ACGIH 호흡성 노출기준인 0.02 ㎎/㎥를 약 10배, 흡입성 노출기준인 0.1 ㎎/㎥을 2배 초과하였다. 철의 최대 농도는 0.270 ㎎/㎥으로 고용노동부 노출기준인 5 ㎎/㎥의 1/18이었고, 이외 금속들의 농도는 매우 낮거나 검출되지 않았다.

3) 일산화탄소

Table 4는 출탕공의 일산화탄소 농도를 나타낸 것이다. 전기로 1호 출탕공의 전체 작업시간 평균 농도는 3.89 ppm으로 고용노동부 노출기준(30 ppm)의 1/8이며, 출탕 중 약 20분간 평균 농도는 18.81 ppm으로 고용

Table 2. The results for the concentration of dust and crystalline silica in furnace worker (Unit: ㎎/㎥)

Sampling site	Measuring point	Sampling			Total dust	Respirable dust	Crystalline silica
		Start	End	Time (min)			
No. 1 Electric furnace	Furnace worker	08:19	14:10	341	3.991	0.584	0.079
	Runner side 1.5m	08:14	14:44	392	1.214	0.227	0.040
No. 2 Electric furnace	Furnace worker	08:48	14:00	310	0.407	0.196	ND*
	Furnace assistant	08:52	14:00	307	0.621	0.215	ND
	Runner forward 5m	08:37	14:49	367	0.475	0.169	0.003
	Runner side 5m	08:34	14:49	369	0.194	0.104	ND
Office	-	08:40	14:46	368	0.144	0.104	ND

*ND: Not detected

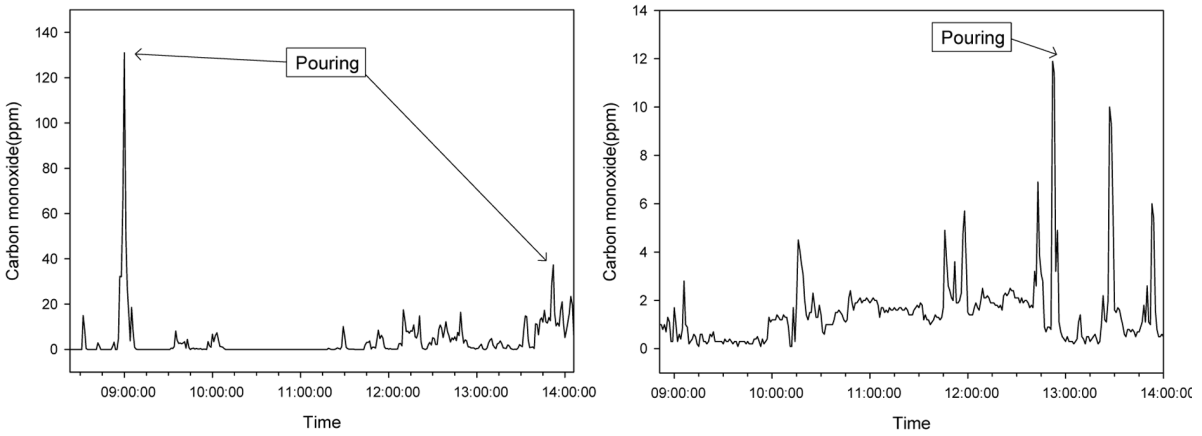
Table 3. The results for the concentration of metals in furnace worker (Unit: ㎎/㎥)

Sampling site	Measuring point	Sampling time(min)	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Pb	Si
No. 1 Electric furnace	Furnace worker	341	0.031	0.136	0.205	0.270	0.014	0.001	0.000
	Runner side 1.5m	392	0.013	0.044	0.105	0.070	0.009	0.001	ND
No. 2 Electric furnace	Furnace worker	310	0.004	ND*	0.053	0.026	0.007	0.004	0.000
	Furnace assistant	307	0.005	0.007	0.089	0.037	0.019	0.001	0.000
	Runner forward 5m	367	0.003	ND	0.063	0.065	0.012	0.001	ND
	Runner side 5m	369	0.002	ND	0.039	0.013	0.003	0.000	ND
Office	-	368	0.001	ND	0.024	0.008	0.006	0.001	ND

*ND: Not detected

Table 4. The results for the concentration of CO, NO_2 in furnace worker (Unit: ppm)

Sampling site	Total working time(min)	CO		NO_2		Pouring time (min)	CO		NO_2	
		AM	Range	AM	Range		AM	Range	AM	Range
No. 1 Electric furnace	344	3.89	0~131	0.006	0~0.9	37	18.81	0~131	0.05	0~0.9
No. 2 Electric furnace	310	1.51	0.1~11.9	0	0	20	3.13	0.4~11.9	0	0



(a) No. 1 Electric furnace (b) No. 2 Electric furnace

Figure 2. Real-time airborne carbon monoxide concentration in furnace worker

Table 5. The results for the concentration of Black carbon in furnace around (Unit: $\mu g/m^3$)

Sampling site	Total working time(min)	Concentration		Pouring time (min)	Concentration	
		AM	Range		AM	Range
No. 1 Electric furnace (Runner side 1.5m)	445	11.56	0.06~604.23	37	47.93	0.49~604.23

노동부 단시간 노출기준(Short-Term Exposure Level, STEL)의 1/11 수준이었다. 또한, 최고 농도는 131 ppm로 NIOSH 순간 노출기준(Ceiling)의 3/5이었다. 전기로 2호 출탕공의 전체 작업시간 평균 농도는 1.51 ppm, 출탕 작업 시 농도는 평균 3.13 ppm, 최고 농도는 11.9 ppm 이었다.

Figure 2는 일산화탄소의 실시간 농도를 나타낸 것인데, 사무실에 머무르거나 준비작업 등의 기타 상황에서는 불검출 또는 1 ppm 이하로 나타났으나, 출탕 작업 시 일산화탄소 농도가 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4) 탄소입자

Table 5는 전기로 1호의 출탕길 옆 1.5 m에서 탄소입자의 실시간 농도를 나타낸다. Figure 3을 보면 출탕 작업 시 탄소입자의 농도가 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 전체 작업시간 평균 농도는 11.56

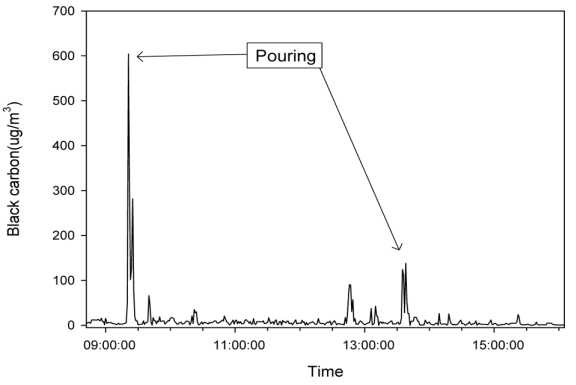


Figure 3. Real-time airborne black carbon concentration in furnace worker

Table 6. The level of formaldehyde concentration in furnace around (Unit: ppm)

Sampling site	Measuring point	Sampling			Concentration
		Start	End	Time (min)	
No. 1 Electric furnace	Runner side 1.5m	08:14	14:44	392	0.007
No. 2 Electric furnace	Runner forward 5m	08:37	14:49	367	0.005
	Runner side 5m	08:34	14:49	369	0.003
Office	-	08:40	14:46	368	0.014

Table 7. The results for the concentration of multi-gas concentration in furnace around (Unit: ppm)

Sampling site	Type of gas	Total working time(min)	AM	Range	Pouring time (min)	AM	Range
No. 1 Electric furnace (Runner side 1.5 m)	CO*	89	1.59	0.76~5.88	20	1.937	1.23~5.88
	CO2†	89	351.15	332~390	20	344.25	333~390
	Arsine	89	0.02	0~0.23	20	0.09	0~0.296
	TVOCs	89	0.60	0~0.96	20	0.65	0.6~0.71

* MoEL-TWA(CO) 30 ppm, STEL: 200 ppm
† MoEL-TWA(CO^2) 5,000 ppm, SEL: 30,000 ppm

$\mu g/m^3$이었지만, 출탕 작업 시 농도는 평균 47.93 $\mu g/m^3$으로 약 5배 증가하였으며, 최고 농도는 604.23 $\mu g/m^3$이었다.

5) 포름알데히드

Table 6은 출탕 작업 시 전기로 주변 포름알데히드의 농도를 나타낸 것이다. 포름알데히드 농도는 0.003~0.07 ppm으로 고용노동부 노출기준(0.3 ppm)의 1/40미만으로 낮았다.

6) 기타 가스상물질

Table 7은 전기로 2호의 출탕길 뒤 1.5 m에서 일부 가스상 물질의 실시간 일산화탄소, 이산화탄소, 아르신, 총휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compounds, TVOCs) 농도를 나타낸 것이다. 일산화탄소 농도는 평균 1.59 ppm, 이산화탄소 농도는 평균 351 ppm, 아르신 농도는 평균 0.02 ppm, TVOCs 농도는 평균 0.6 ppm이었다. 가스상 물질들은 전체 작업시간 동안의 평균 농도와 출탕 작업 시 평균 농도가 유사하였다.

7) PAHs

Table 8은 출탕 작업 시 전기로 주변 PAHs의 농도를 나타낸다. 전기로 1호에서는 공기 중 나프탈렌

Table 8. The level of PAHs concentration in furnace around (Unit: mg/m^3)

Sampling site	Measuring point	Sampling			NAP*	FLU†	PHE‡	ANT§	FLN‖
		Start	End	Time (min)					
No. 1 Electric furnace	Runner side 1.5m	08:14	14:44	392	0.078	ND¶	ND	ND	ND
No. 2 Electric furnace	Runner forward 5m	08:34	14:49	367	0.044	0.005	0.022	0.017	0.004
	Runner side 5m	08:37	14:49	369	0.022	ND	0.008	0.006	ND
Office	-	08:40	14:46	368	0.011	ND	0.005	0.003	ND

* NAP: Naphtalene
† FLU: Fluorene
‡ PHE: Phenanthrene
§ ANT: Antrancene
‖ FLN: Fluoranthene
¶ ND: Not detected

(NAP) 농도가 0.078 ㎎/㎥ 검출되었고, 이 외 PAHs는 불검출이었다. 전기로 2호에서는 NAP가 평균 0.033 ㎎/㎥, 플루오렌(FLU)이 평균 0.003 ㎎/㎥, 페난트렌(PHE)이 평균 0.015 ㎎/㎥, 안트라센(ANT)이 평균 0.012 ㎎/㎥, 플루오란텐(FLN)이 평균 0.002 ㎎/㎥ 검출되었으며, 그 외 PAHs는 불검출이었다. 사무실의 공기 중 NAP, PHE, ANT 농도는 각각 0.011 ㎎/㎥, 0.005 ㎎/㎥, 0.003 ㎎/㎥ 검출되었고, 이 외 PAHs는 불검출이었다.

Ⅳ. 고 찰

주물공에 대한 유해인자 노출평가는 1980년대 외국에서 본격적으로 진행되어 왔는데, 주로 결정형 유리규산, 금속(흄), 일산화탄소, PAHs, 포름알데히드(결합제)에 관하여 측정되었다(IARC, 2012). 그러나 고로(furnace)에서 쇳물을 뽑아내는 출탕공을 중심으로 유해인자에 대한 노출평가는 일부 금속(니켈, 크롬)의 노출 가능성에 대해서만 언급되었으며, 특히 국내에서는 연구된 바가 거의 없었다.

본 연구에서 전기로 1호 출탕공의 결정형 유리규산 농도는 0.079 ㎎/㎥으로 고용노동부 노출기준과 ACGIH의 노출기준을 초과하는 높은 농도였는데, 그 이유는 출탕 중 흐르는 쇳물이 굳는 것을 방지하기 위해 쇳물 표면에 소석회를 도포하고, 출탕 후 출탕길에 남아있는 쇳물을 용융상태로 유지하기 위해 마사토를 도포하는 과정에서 이들 물질에 함유되어 있는 결정형 유리규산(석영)에 노출되기 때문이다. 그러나 전기로 2호 출탕공 및 출탕 보조공에서는 결정형 유리규산 농도가 낮거나, 검출되지 않았는데, 그 이유는 전기로 2호는 1호에 비해 출탕길이 상대적으로 짧아서 마사토 사용량이 상대적으로 적었고, 1호와 달리 2호에서는 쇳물 표면에 소석회를 도포하는 작업은 없기 때문으로 판단된다.

출탕 작업에서 발생되는 금속의 형태는 쇳물의 증발, 금속의 산화, 응축에 의한 흄의 형태로 공기 중으로 발생된다(IARC, 1984). 본 연구에서 출탕공의 망간 흄 농도는 0.205 ㎎/㎥으로 ACGIH 흡입성 노출기준 및 호흡성 노출기준을 모두 초과하였다. 이는 쇳물이 흐르면서 다량의 흄과 가스가 발생되기 때문에 출탕길 상부에서 국소배기 장치가 설치되어 있음에도 출탕공은 여전히 고농도의 흄과 가스에 노출될 수 있음을 의미한다.

본 연구대상인 출탕 작업과 주물공정의 용해 및 주입 작업은 원재료를 배합하여 용해시키고, 주형에 주입한다는 점에서 유사하다. 2002년 국내 금속주조업 229개소의 작업환경측정결과보고서를 검토한 결과 용해 및 주입 작업 시 발생하는 금속은 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 니켈, 납 아연 등 다양하며, 망간(평균 0.004 ㎎/㎥, 최대 0.61 ㎎/㎥), 카드뮴(평균 0.001 ㎎/㎥, 최대 1.67 ㎎/㎥), 철(평균 0.13 ㎎/㎥, 최대 6.40 ㎎/㎥), 구리(평균 0.001 ㎎/㎥, 최대 0.13 ㎎/㎥) 등으로 나타났다. 이 중 일부 금속의 최고 농도는 고용노동부 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다(Phee & Kim, 2003). 1996년 덴마크 주물공 24명은 평균 0.002 ㎎/㎥(최대 0.066 ㎎/㎥)의 망간 흄에 노출되었으며 혈중 망간 농도는 최대 3 ㎍/ℓ으로 매우 높았다(Lander et al., 1999). 또한 2002년 대만 및 중국의 주물공 63명의 소변 중 평균 금속 농도는 카드뮴 0.009 ㎍/ℓ, 코발트 0.008 ㎍/ℓ, 니켈 0.03 ㎍/ℓ, 납 0.05 ㎍/ℓ로 나타났다(Horng, et al., 2002). 영국 주물공의 카드뮴, 니켈 노출(Triger et al., 1989) 및 네덜란드 주물공의 탈륨 노출(Apostoli et al., 1988) 등 국내/외 다양한 문헌에서 주물공의 금속 흄 노출에 대해 연구되고 있다. 출탕 공정에서 발생되는 금속은 원재료에 따라 다르지만 납, 아연, 망간, 철, 구리, 크롬 등 다양하게 나타난다. 본 연구에서는 합금철의 원재료인 망간광석, 선철 및 고철 등이 사용됨에 따라 출탕공의 망간 흄 농도 또한 높았다.

출탕 작업 시 일산화탄소는 탄소입자의 불완전 연소에서 발생된다(IARC, 1984). 본 연구에서 전기로 1호 출탕공의 일산화탄소 농도는 전체 작업시간(3.89 ppm)에 비해 출탕 중 평균 농도(18.81 ppm)가 약 5배 높았다. 또한, 지역시료로 측정한 탄소입자 농도도 전체 작업시간(11.56 ㎍/㎥)에 비해 출탕 중 평균 농도(47.93 ㎍/㎥)가 약 5배 높았는데, 그 이유는 사무실에 머무르거나 출탕 준비 작업에 비해 출탕 작업 동안 고농도의 유해인자가 발생하기 때문이다. 이는 8시간 가중평균(8hr- TWA)으로 측정 및 분석한 결정형 유리규산과 금속(흄)도 마찬가지이다.

최근 여러 연구 결과에 의하면 8시간 가중평균의 농도도 중요하지만 단기노출 혹은 순간노출의 중요

성이 대두되고 있다. 본 연구에서 출탕공들은 하루 8시간 근무 중 1~2회의(회당 약 1시간 30분) 출탕 및 준비 작업을 한다. 그리고 쇳물이 흘러나오는 시간은 1회에 20분 정도로 짧지만 하루 중 금속 흄과 가스 물질 노출의 대부분은 이 20분 동안에 이루어진다.

순간적으로 고농도의 노출이 장기간 발생하는 경우 백혈병 및 폐암, 비호지킨 림프종 등이 발생할 위험이 더욱 높아지는 것으로 예측되는 연구 결과도 있다(Collins et al., 2003).

본 연구에서 출탕공의 일산화탄소 농도는 고용노동부 노출기준을 초과하지는 않는다. 그러나 일산화탄소는 헤모글로빈에 대한 친화도가 산소에 비해 약 240배 높아 쉽게 중독되며(Turner et al., 1999), 일산화탄소는 헤모글로빈에 결합하여 카르복시헤모글로빈(Carboxyhemoglobin, COHb)을 형성하는데 심장, 뇌, 폐 등과 같이 산소 요구량이 높은 기관은 쉽게 조직이 손상된다(EPA, 2010). COHb가 4~5%에 달하게 될 경우 위험 군으로 분류하는데(EPA, 2010), NIOSH에서는 노동자의 COHb 수준을 5% 이하로 유지하기 위해 일산화탄소의 8시간 노출기준으로 35 ppm, 천정값으로 200 ppm을 권고하고 있다(NIOSH, 1988). 또한, 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서도 일산화탄소의 8시간 노출기준으로 50 ppm, 천정값으로 200 ppm을 관리기준(Probable Effects Level)으로 설정하고 있다.

폐암은 폐에 생기는 악성종양을 뜻하며, 직업적 또는 환경적인 발암물질에 의해 발생할 수 있다. 직업적 발암물질로는 석면, 라돈 및 자핵종, 결정형 유리규산, 6가 크롬, 디젤엔진 연소물질 등이 있는데, 출탕 작업 중 노출될 수 있는 폐암 발암물질은 결정형 유리규산 등이 있다. 본 연구에서 출탕공의 결정형 유리규산 농도는 0.079 ㎎/㎥으로 고용노동부 노출기준 및 ACGIH TLV를 모두 초과하는 고농도이므로 장시간 노출 시에는 폐암을 유발할 수 있다.

COPD는 외부로부터 흡입된 유해한 입자상물질이나 가스상물질 등에 의해 폐에서 비정상적 염증 반응이 일어나 비가역적 기류폐쇄가 발생하는 질환을 뜻하며, 폐기능검사에서 속효성 기관지확장제 흡입 후 노력성 폐활량(FVC)에 대한 1초량(FEV_1)의 비인 일초율(FEV_1/FVC)이 70% 미만을 말한다. COPD의 원인은 다양하지만 사례의 90% 이상에서 흡연이 관여하나, 모든 흡연자에게서 COPD가 발생하지는 않는다. 직업적 요인으로는 유기 및 무기분진(곡물, 면, 종이, 결정형 유리규산, 금속류의 분진), 각종 화학물질 및 흄 등이 있다(Trupin et al., 2003; Hnizdo et al., 2004; Matheson et al., 2005). 미국의 국민영양조사에 의하면 전체적으로 19.2%, 비흡연자에게서 31.1%의 COPD가 직업적 요인에 의해 발생하는 것으로 추정되었고(Hnizdo et al., 2002), 미국 흉부학회에서는 COPD의 증상 또는 기류 폐쇄의 10~20%가 직업적 노출 때문이라고 결론 내렸다(Balmes et al., 2003). 무기 분진도 COPD의 위험요인으로 밝혀졌는데(Kennedy et al., 1985; Becklake et al., 1987; Meijers et al., 1997; Coggon et al., 1998), 금속흄과 가스 등도 직접적으로 상기도 상피에 화학적 손상을 초래하여 COPD가 발생하는 것으로 이해하고 있다. 또한, 최근 영국 산업보건청(Health and Sefety Executive, HSE)에서는 COPD 환자의 수십퍼센트는 직업적 노출에 기인한 것으로 보고 저 독성(성분이 특정되지 않은) 호흡성 분진 노출기준을 4 ㎎/㎥에서 1 ㎎/㎥로 강화해야 할 필요성이 제기된 상태이며(Cherrie et al, 2013), 최근 우리나라에서도 COPD가 직업병 요양대상에 포함됨에 따라(MoGL, 2013), 업무관련성 COPD에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이다.

한편, 현재는 과거에 비해 제품의 판매량이 줄어 출탕량 또한 줄었으며, 국소배기장치의 설치 수준이 단계적으로 높아진 점 등을 감안하면 과거 작업환경은 본 연구 당시보다 더 열악했을 것으로 판단된다. 또한 개인시료 측정위치가 부득이하게 노동자 호흡위치가 아닌 등 쪽에 설치하여 측정한 점을 감안하면 입자상 및 가스상 물질 농도는 본 연구에서 나타난 농도 보다 훨씬 높았을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 나타난 것과 같이 고농도의 금속 흄(망간 등), 결정형 유리규산 등의 입자상 물질에 노출되면서, 순간적으로 높은 농도의 일산화탄소 등의 가스상물질에도 노출되게 된다. 따라서, 장기간 출탕 작업을 하는 출탕공에서는 폐암 및 COPD 등의 질병이 발생할 수 있다.

Ⅴ. 결 론

국내 합금철을 생산하는 사업장에서 출탕공의 유해인자 노출을 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 출탕공의 총분진 농도는 0.407~3.001 ㎎/㎥, 호흡성분진 농도는 0196~0.584 ㎎/㎥이었다.

2. 결정형 유리규산의 최고 농도는 0.079 ㎎/㎥으로 고용노동부 노출기준을 초과하며, 마사토 및 소석회에는 결정형 유리규산인 석영이 각각 90.85%, 4.17% 함유되어 있었다.

3. 금속(흄)의 농도는 망간이 0.205 ㎎/㎥으로 가장 높았는데, ACGIH TLV를 초과하는 수준이었다.

4. 일산화탄소 농도는 작업시간 전체의 평균은 3.89 ppm이었으나, 출탕 작업을 수행하는 약 40분간의 평균 농도는 18.82 ppm으로 약 5배 높았고, 최대 131 ppm이었다.

5. 탄소입자(BC)의 농도는 평균 11.56 ㎍/㎥이었으나, 출탕 작업을 수행할 때 47.93 ㎍/㎥으로 약 5배 높았고, 최고 농도는 604.23 ㎍/㎥이었다.

결론적으로 출탕공은 결정형 유리규산, 금속(흄), 일산화탄소등의 유해인자에 노출되고 있다. 이러한 유해인자에 장기간 노출될 시에는 직업병 발생 위험이 높으므로 노출저감을 위한 적극적인 대책이 강구되어야 할 것이다.

References

Apostoli P, Maranell G, Minoia C, Massola A, Baldi C et al. Urinary thallium: critical problems, reference values and preliminary results of an investigation in workers with suspected industrial exposure. Sci Total Environ 1998;71(3):513-8

Andersson L, Bryngelsson IL, Ohlson CG. Quartz and dust exposure in swedish iron foundries. J occup Environ Hyg 2009;6(1): 9-18

Balmes J, Becklake M, Blanc P, Henneberger P, Kreiss K et al. American Thoracic Society Statement: Occupational contribution to the burden of airway disease. Am J Respir Crit Care Med. 2003;167(5):787-97

Becklake MR, Irwig L, Kielkowski D, Webster I, Beer M et al. The predictors of emphysema in South African gold miners. Am Rev Respir Dis 1987;135: 1234-41

Coggon D, Newman TA, Coal mining and chronic obstructive pulmonary disease: a review of the evidence. Thorax 1998;53:398-407

Collins JJ, Ireland B, Buckley CF, Shepperly D. Lymphohaematopoeitic cancer mortality among workers with benzene exposure. Occup Environ Med 2003; 60(9):676-9

Cherrie JW, Brosseau LM, Hay A, Donaldson K. Low-toxicity dusts: current exposure guidelines are not sufficiently protective. Ann Occup Hyg 2013;57(6): 695-701

EPA(National Research Council). Carbon monoxide acute exposure guideline levels. In: Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals. The National Academies Press. 8th ed. 2010. p. 49-143

Hnizdo E, Sullivan PA, Bang KM, Wagner G. Association between chronic obstructive pulmonary disease and employment by industry and occupation in the US population: a study of data from the Third Health and Nutrition Examination Survey. Am J Epidemiol 2002; 156(8):738-46

Hnizdo E, Sullivan PA, Bang KM, Wagner G. Airflow obstruction attributable to work in industry and occupation among U.S. race/ethnic groups: a study of NHANES Ⅲ data. Am J Ind Med 2004;46(2):126-35

Horng CJ, Tsai JL, Horng PH, Lin SC, Lin SR et al. Determination of urinary lead, cadmuim and nickel in steel production workers. Talanta 2002;56(6):1109-15

Jeong IC, Ryu IS, Kim BU, Park IH, Won JU et al. Two cases of lung cancer in foundry workers. Ann Occup Environ Med 2013;25:16

International Agency for Research on Cancer(IARC). IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, Volume 34;1984. p. 41-154

International Agency for Research on Cancer(IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Volume 100F;2012. p. 497-507

Kennedy SM, Wright JL, Muilen JB, Pare PD, Hogg JC. Pulmonary function and peripheral airway disease in patients with mineral dust or fume exposure. Am J Respir Crit Care Med 1985;132:1294-9

Korea Statistics(KOSTAT). Report on Mining and Manufacturing survey for 2014.; 2015. p. 32-48

Korea Institute of Industrial Technology(KITECH). Guide book to energy efficiency improvement in casting industry.; 2015. p. 12-9

Lander F, Kristiansen J, Lauritsen JM. Manganese exposure in foundry furnacemen and scrap recycling workers. Int Arch Occup Health 1999;72(8):546-50

Levy RJ. Carbon Monoxide Pollution and Neurodevelopment: A Public Health Concern. Neurotoxicol Teratol. 2015;49:31-40

Matheson MC, Benke G, Raven J, Sim MR, Kromhout H et al. Biological dust exposure in the workplace is a risk factor for chronic obstructive pulmonary disease. Thorax 2005;60(8):645-51

Meijers JM, Swaen GM, Slangen J. Mortality of Dutch coal miners in relation to pneumoconiosis, chronic obstructive pulmonary disease, and ling function. Occup Environ Med 1997;54:708-13

Ministry of Government Legislation(MoGL). Industrial accident compensation insurance act. Available from: URL: http://www.law.go.kr/lsBylInfoR.do?bylSeq=4319060&lsiSeq=128320&efYd=20120901#AJAX

National Institutes of Occupational Safety and Health (NIOSH). OSHA PEL project documentation: List b CAS number. Available from: URL: http://www.cdc.gov/niosh/pel88/630-08.html

Toeniskoetter RH, Schafoer RJ. Industrial hygiene aspects of the use of sand binders and additives. In: The working environment in iron foundries. Birmingham, United Kingdom: British Cotton Industry Research Association; 1977. p. 19-28

Triger DR, Crowe W, Ellis MJ, Herbert JP, McDonnel CE et al. Trace element levels in the blood of workers in two steel workes and a non-ferrous pland hanling lead and cadmium compared with a non-exposed population. Sci Total Environ 1989;78:241-61

Trupin L, Earnest G, San Pedro M, Balmes JR, Eisner MD et al. The occupational burden of chronic obstructive pulmonary disease. Eur Respir J 2003;22(3):462-9

Turner M, Hamilton-Farrel MR, Clark RJ. Carbon monoxide poisoning: an update. J Accid Emerg Med. 1999;16(2):91-103

Phee YG, Kim HU. Current status of environmental hazards of iron and steel foundry operations in Korea. J Korea Soc Occup Environ Hyg 2003;13(2):99-106