

## 코발트 취급사업장의 공기 중 코발트 노출평가

김재홍 · 정종현<sup>1</sup> · 피영규<sup>1\*</sup>

대구한의대학교 보건대학원, <sup>1</sup>대구한의대학교 보건학부

## Exposure Assessment of Airborne Cobalt in Manufacturing Industries

Jae Hong Kim · Jong-Hyon Jung<sup>1</sup> · Young Gyu Phee<sup>1\*</sup>

Graduate School of Public Health, Daegu Haany University

<sup>1</sup>Faculty of Health Science, Daegu Haany University

### ABSTRACT

**Objectives:** The purpose of this study was to evaluate cobalt concentrations in airborne inhalable, total and respirable dust from manufacturing industries using cobalt.

**Methods:** To compare cobalt concentrations, three types of dust samplers(a 37mm closed cassette sampler, Institute of Occupational Medicine(IOM) sampler, and Aluminum cyclone sampler) were used. The analysis of cobalt concentrations was conducted using AAs based on the NIOSH 7300 method.

**Results:** The geometric mean of cobalt concentration in total dust was 1.47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , and the rate of excess of the Korean Occupational Exposure Limit(KOEL) was 10.0%. The geometric mean concentrations of cobalt in super alloy manufacturing industries were higher than those in plating industries, and molding operations showed higher exposure levels to cobalt than did other operations.

**Conclusions:** The rate of cobalt concentration in inhalable dust from super alloy manufacturing industries exceeding the Workplace Exposure Limit(WEL) as recommended by the Health & Safety Executive(HSE) was 7.1%, which means proper work environmental management is required through wet work environments. Given that molding operations had higher cobalt concentrations, it is necessary to apply measures such as local exhaust for reducing airborne dust in cobalt manufacture industries.

**Key words:** cobalt, concentration, exposure

### I. 서 론

코발트는 주기율표 8족에 속하는 철족원소의 하나로서 1735년 스웨덴의 G. Brandt에 의해서 발견된 철과 비슷한 광택이 나는 강자성의 금속이다. 가열해도 잘 용해되지 않으며, 공기 중에 방치해도 표면에 녹이 슬 뿐 잘 부식되지 않는다. 산에는 서서히 녹아 수소를 발생하고, 산화력이 있는 산에 녹아 코발트(II)염이 된다. 진한 질산에서는 철과 마찬가지로 부

동태(不動態)를 만드는 성질을 가지고 있다(Her et al., 2005). 전 세계 코발트 생산량의 약 80%가 금속 상태로 이용된다. 코발트는 합금으로서 중요하며 고속도강, 영구자석 등의 자성재료, 내열 및 내식강 등으로 사용되고 도금에도 활용된다. 코발트를 기본으로 하는 합금은 마멸 및 부식에 매우 강하기 때문에 절삭기 등의 절삭 도구로도 광범위하게 사용된다(Lee & Jung, 2002).

2008년 코발트개발협회(Cobalt Development Institute,

\*Corresponding author: Young Gyu Phee, Tel: 053-819-1590, Fax: 053-819-1209, E-mail: yphee@dhu.ac.kr  
Faculty of Health Science, Daegu Haany University, 1 Hannydae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 712-715  
Received: June 1, 2015, Revised: June 15, 2015, Accepted: June 20, 2015

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.

CDI)의 보고에 따르면 초합금용 코발트 사용량이 전체 소비량의 26%이며, 카바이드, 다이아몬드공구 등 경금속 분야의 소비량은 전체 소비량의 약 15%를 차지한다고 한다. 또한 유리, 세라믹 등 안료 제조 분야도 주요 소비처로 소비량은 전체의 12%이고, 기타 주요 용도로는 촉매제(9%), 자석(10%), 표면경화제 및 기타 합금(7%) 등이 있다(CDI, 2010). 우리나라 제조업체 일제조사에 따르면 코발트 취급사업장은 38개 소이며, 각 사업장에서 계량 또는 혼합 등 코발트를 직접적으로 취급하는 근로자는 총 203명, 월 평균 사용량은 869톤으로 알려져 있다(Jo et al., 2010). 그리고 코발트의 수출입 현황은 2000년 이후부터 2013년까지 코발트와 그 제품, 코발트광 등이 지속적으로 증가하는 경향이다(KITA, 2013).

코발트는 사람의 경구, 흡입 및 피부노출에 의해 흡수되고(Domingo, 1989; Scansetti et al., 1994), 24시간 내에 소변으로 빠르게 배출되지만 일부 적은 양은 몇 주간 동안 체내 잔류 후 배출되기도 한다(Alexandersson & Atterhög, 1980). 특히 배출되지 않은 일부분의 코발트에 대한 체내 반감기는 수년으로 알려졌다(Elinder & Friberg, 1986). 또한 급성으로 코발트 분진 및 흡에 고농도로 노출될 경우 코와 목을 자극하며, 기침과 숨이 가빠지는 증상을 동반하는 호흡기장해를 유발하기도 하고 영구적인 장해를 일으켜 사망하기도 한다. 만성적 노출 시 폐간질의 섬유화와 폐간질염을 유발하는 것으로 알려져 있으며, 호흡기와 피부를 감각시켜 알러지 반응을 유발시킨다(Hogan, 1995).

우리나라는 코발트 취급 근로자의 건강보호를 위하여 정기적으로 작업환경측정을 시행하도록 하고 있으며, 특수건강진단도 실시하여야 한다(MoEL, 2015). 작업환경측정에 활용되는 직업적 노출기준은 코발트금속 분진 및 흡에 대하여 8시간 시간가중평균치로 0.02 mg/m<sup>3</sup>로 설정하고 있으며, 발암성은 구분 2로 표기하고 있다(MoEL, 2013). 외국의 노출기준을 보면 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Industrial Hygienists, ACGIH)는 노출기준(Threshold Limit Value, TLV)이 0.02 mg/m<sup>3</sup>이며(ACGIH, 2015), 미국 국립직업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH)은 권고노출기준(Recommended Exposure Limit, REL)으로 0.05mg/

m<sup>3</sup>, 미국 직업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 허용노출기준(Permissible Exposure Limit, PEL)을 0.1 mg/m<sup>3</sup>으로 설정하고 있다. 또한 일본의 경우 권고노출기준(Recommendation of Occupational Exposure Limit, ROEL)이 0.05 mg/m<sup>3</sup>이며, 호흡기와 피부 감각물질로 명시하고 있고(JSOH, 2014), 영국의 경우 우리나라 및 미국과 달리 흡입성 입자로 채취하도록 하고 있으며 작업장노출기준(Workplace Exposure Limit)을 0.1 mg/m<sup>3</sup>로 제시하고 있다(HSE, 2011).

코발트의 강력한 인체독성으로 인하여 유럽화학물질관리청(European Chemicals Agency, ECHA)에서는 코발트 염을 취급제한물질로 규정하는 등 국가별로 이 물질 사용을 상당히 규제하고 있다(ECHA, 2013). 이러한 이유로 우리나라는 물론 외국도 코발트 취급 사업장은 극소수에 불과하여 그 동안 코발트 노출수준에 대한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

따라서 본 연구는 공기 중 코발트에 대한 노출실태를 파악하여 향후 코발트 취급근로자의 건강보호를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상

공기 중 코발트 농도를 파악하기 위하여 2013년 3월부터 10월까지 대구광역시 지역에 소재한 5개 사업장을 대상으로 총 52개의 시료를 채취하였다. 코발트 취급사업장의 업종은 초합금업과 도금업이 있었고, 공정은 배합 및 혼합, 성형, 가공 및 도금으로 구분되었다.

### 2. 연구방법

#### 1) 공기 중 시료의 채취

코발트가 함유된 총분진은 미국 NIOSH의 0500 공정시험법을 활용하여 직경 37 mm, 공극 0.8 μm의 멤브레인 여과지(Mixed Cellulose Ester, MCE, SKC, USA)를 3단 카세트(3-piece cassette) 홀더에 장착하여 채취하였고, 흡입성분진은 직경 25 mm, 공극 0.8 μm의 MCE 여과지를 흡입성입자 포집기(IOM, SKC, USA)에 장착하여 채취하였다(NIOSH, 1994). 또한, 호흡성분진의 채취는 미국 NIOSH의 0600 공정시험법을 준용하여

Aluminum Cyclone(37 mm-Catalog NO.225-01-02, SKC, USA)에 MCE 여과지(직경 37 mm, 공극 5 μm)를 장착하여 사용하였다(NIOSH, 1998). 고용량 펌프(ESCORT ELF, MSA, USA)에 각각의 시료 채취기를 연결하였으며, 시료 채취 시 유량은 총분진 1.5 Lpm, 흡입성분진 1.7 Lpm 및 호흡성분진 2.5 Lpm 이었고, 측정 전·후에는 건식유량보정계(BIOS Defender 510, USA)로 유량을 확인하여 평균값을 활용하였다. 시료의 채취 위치는 코발트 함유물질 사용공정 근로자의 작업 반경 내에서 지면으로부터 1.0~1.2 m 높이에 설치하였고, 공기 중 코발트 금속 농도에 영향을 미칠 수 있는 온도, 습도, 국소배기설비 제어속도 등의 요인도 확인하였다.

2) 시료의 분석

(1) 분진의 중량 분석

모든 필터는 칭량 전 데시게이터(SA-0001 sanpatec, AS ONE, Japan) 내에서 하루 이상을 건조시킨 후 사용하였다. 총분진과 호흡성분진의 시료는 카세트를 분리하여 필터에 대한 중량만을 확인하였고, 흡입성분진은 포집된 분진의 탈락이 발생되지 않도록 홀더 자체의 중량을 확인하였다. 중량 분석은 0.01 mg의 감도를 가진 전자저울(CPA225D, Sartorius, Germany)을 사용하였으며, 3회 반복하여 무게를 칭량한 후 평균값을 사용하였다.

(2) 코발트의 정량 분석

MCE 여과지에 채취된 코발트는 공시료, 회수율 시료와 함께 전처리를 실시한 후 원자흡광분석기(Atomic

absorption spectroscopy, AAs, Analyst 700, Perkinelmer, USA)로 정량 분석하였다. 전처리는 NIOSH 7300 공정 시험법에 준하여 실시하였으며, 먼저 여과지를 비이커에 옮겨 용액[4:1 (v:v) HNO<sub>3</sub>: HCl] 5 ml를 넣고 시계접시로 덮은 후 용액이 약 0.5 ml 정도 남을 때 까지 Hot plate(120℃)에서 가열하였다(NIOSH, 2003). 그 후 시계접시와 비이커 옆면에 붙은 금속을 증류수로 씻어내어 150℃까지 온도를 올리고 약 0.5 ml가 남을 때 까지 건조시켰고, 4% HNO<sub>3</sub> 2~3 ml를 가하여 용해시킨 후 20 ml Volumetric flask에 희석하였다.

3) 자료의 분석

조사된 자료들의 통계분석은 SPSS(Version 20.0K, USA) 프로그램을 사용하였다. 공기 중 코발트의 농도는 Sapiro-Wilk의 정규성 검정결과 대수정규분포를 보여 기하평균과 기하표준편차로 제시하였고 참고를 위하여 산술평균과 표준편차도 결과에 수록하였다. 코발트 취급 사업장의 업종, 작업 형태의 두 군간 공기 중 농도 비교는 Mann Whitney U-test를 사용하였고, 공정별 코발트 농도는 Kruskal-Wallis test를 이용하여 비교하였다. 다중회귀분석은 공기 중 코발트 농도에 영향을 미치는 요인을 확인하기 위하여 활용하였다.

III. 연구결과

1. 공기 중 분진 내 코발트의 노출수준

1) 총분진 내 코발트의 농도

코발트 취급 사업장의 총분진 내 코발트의 노출평

Table 1. Airborne cobalt concentrations in total dust

Classification		N*	GM**(GSD <sup>†</sup> )	Mean±S.D. <sup>‡</sup>	Min	Max	ER <sup>§</sup>	p-value
Work type	Super alloys	14	6.490(2.50)	10.157±0.01	1.500	40.600	14.3%	0.026
	Plating	6	0.046(80.19)	2.484±0.01	0.001	10.400	0.0%	
Industrial Classification	Semiautomatic	11	1.236(37.17)	7.382±0.01	0.001	32.800	9.0%	0.790
	Manual	9	1.806(23.13)	8.433±0.01	0.001	40.600	11.1%	
Process	Plating	6	0.046(80.19)	2.484±0.01	0.001	10.400	0.0%	0.163
	Mix & weighing	5	7.443(2.72)	12.200±0.02	2.900	40.600	20.0%	
	Molding	5	6.736(2.46)	10.240±0.01	3.70	32.800	20.0%	
	Finishing	4	5.221(2.90)	7.500±0.01	1.50	13.900	0.0%	
Total		20	1.466(27.86)	7.855±0.01	0.001	40.600	10.0%	

(Unit : μg/m<sup>3</sup>)

\*N : Number of samples

†GSD : Geometric Standard Deviation

§ER(Exceed rate) : Number of samples over WEL/Number of samples × 100

\*\*GM : Geometric Mean

‡Mean±S.D. : Arithmetic mean±Standard Deviation

가 결과 기하평균 농도는 1.47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 산업안전보건법 상의 노출기준(20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 초과율은 10.0%로 나타났다(Table 1). 업종별 기하평균 농도는 초합금업종(6.49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 도금업종(0.05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 높게 나타났다으며 그 차이가 통계적으로 유의하였다( $p < 0.05$ ). 업종을 구분해볼 때 초합금업종의 노출기준 초과율은 16개의 시료 중 2개 시료가 초과되어 14.3%이었으며 최대농도는 40.60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 노출기준의 2배 수준인 것으로 평가되었고, 도금업종은 노출기준을 초과하는 시료는 없었다.

작업 형태별 코발트의 기하평균 농도는 수작업(1.81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 반자동작업(1.24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 높게 나타났으나 통계적 유의성은 없었으며, 수작업과 반자동작업에서 각각 1개의 시료가 우리나라 노출기준을 초과하였다. 공정별로는 배합 및 계량의 농도가 7.44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았으며 그 다음으로 성형(6.74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 가공(5.22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 도금(0.05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순이었으나 그 차이가 통계적으로는 유의하지는 않았다. 또한, 배합

및 계량과 성형공정에서 각각 1개의 시료가 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다.

2) 흡입성분진 내 코발트의 농도

코발트 취급 사업장에서 채취한 흡입성분진 내 코발트의 기하평균 농도는 1.84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다(Table 2). 업종별 기하평균 농도는 초합금업종(5.39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 도금업종(0.001  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 영국의 작업장 노출기준(Workplace Exposure Limit, WEL)인 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 적용했을 때 노출기준 초과율은 16개의 시료 중 1개 시료가 초과되어 6.3%로 나타났으며, 초합금업종에서의 초과수준은 4.3배이었다.

작업 형태별 기하평균 농도는 수작업이 2.55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 반자동작업 1.59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높게 나타났으나 통계적 유의성은 없었고, 영국 WEL 초과는 오히려 반자동 공정에서 나타났다. 공정별 농도는 성형(12.52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 가공(4.80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 혼합 및 계량(2.55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 도금

Table 2. Airborne cobalt concentrations in inhalable dust

(Unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Classification		N	GM(GSD)	Mean±S.D.	Min	Max	ER	p-value
Work type	Super alloys	14	5.392(16.12)	39.486±0.11	0.001	431.000	7.1%	0.038
	Plating	2	0.001(1.00)	0.001±0.01	0.001	0.001	0.0%	
Industrial Classification	Semiautomatic	11	1.589(48.74)	42.927±0.13	0.001	431.000	9.1%	0.125
	Manual	5	2.549(82.44)	16.120±0.01	0.001	31.200	0.0%	
Process	Plating	2	0.001(1.00)	0.001±0.01	0.001	0.001	0.0%	0.125
	Mix & weighing	5	2.549(82.44)	16.120±0.01	0.001	31.200	0.0%	
	Molding	5	12.521(7.25)	90.360±0.19	4.700	431.000	20.0%	
	Finishing	4	4.798(1.50)	5.100±0.01	3.300	7.400	0.0%	
Total		16	1.842(50.05)	34.550±0.11	0.001	431.000	6.3%	

Table 3. Airborne cobalt concentrations in respirable dust

(Unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Classification		N	GM(GSD)	Mean±S.D.	Min	Max	p-value
Work type	Super alloys	14	0.127(48.35)	2.022±0.01	0.001	8.600	0.136
	Plating	2	0.001(1.00)	0.001±0.01	0.001	0.001	
Industrial Classification	Semiautomatic	11	0.026(49.60)	1.455±0.01	0.001	8.600	0.174
	Manual	5	0.582(35.83)	2.460±0.01	0.001	5.000	
Process	Plating	2	0.001(1.00)	0.001±0.01	0.001	0.001	0.326
	Mix & weighing	5	0.582(35.83)	2.460±0.01	0.001	5.000	
	Molding	5	0.026(92.40)	2.021±0.01	0.001	8.600	
	Finishing	4	0.134(35.89)	1.475±0.01	0.001	5.400	
Total		16	0.069(53.07)	1.769±0.01	0.001	8.600	

**Table 4.** Ratio of cobalt concentrations in total, inhalable and respirable dusts

Classification	No. of samples	Mean of cobalt concentration( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Mean of dust concentration( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Ratio*(%)
Total dust	20	87.855	0.430	2.043
Inhalable dust	16	34.550	0.677	5.103
Respirable dust	16	1.769	0.181	0.977

\* Ratio : (Mean of cobalt concentrations/Mean of dust concentrations) $\times$ 100

( $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 높게 나타났으며, 영국 WEL 초과는 성형공정에서 발생되었다.

**3) 호흡성분진 내 코발트의 농도**

공기 중 호흡성분진 내 코발트의 기하평균 농도는  $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 업종별로는 초합금업종이  $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 도금업종  $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높게 나타났으나 그 차이가 통계적으로 유의하지 않았다 (Table 3). 호흡성분진 내 코발트에 대한 노출기준은 마련되지 않아 초과율을 비교할 수 없었다.

한편, 작업형태별 기하평균은 수작업( $0.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 농도가 반자동작업( $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 높게 나타났으나 그 차이가 통계적으로 유의하지 않았고, 공정별로는 혼합 및 계량( $0.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 가공( $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 성형( $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 도금( $0.001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 높게 나타났으나 역

시 통계적 유의성은 없었다.

**4) 공기 중 분진 내 코발트의 농도 비율**

평균 농도를 활용하여, 채취한 공기 중 분진 내 코발트의 비율을 단순히 살펴보면 흡입성분진에 함유된 코발트의 비율은 5.10%로 나타났으며, 총분진 내 코발트 비율은 2.04%, 호흡성분진 내 코발트 비율은 0.98%로 확인되었다(Table 4).

**2. 공기 중 코발트 농도에 영향을 미치는 요인**

공기 중 코발트 농도에 영향을 미치는 요인으로 업종, 작업형태, 작업공정, 함유량, 온도, 습도 및 국소배기장치 제어속도를 독립변수로 하여 다중회귀분석을 실시한 결과 습도가 코발트 금속농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 4).

**Table 4.** Factors affecting airborne cobalt concentration

Dependent variable	Independent variable	$\beta$	t-value	p-value	Model R-square
Airborne cobalt concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Industrial classification				
	Super alloys	-0.591	-0.158	0.877	
	Plating		Reference group		
	Work type				
	Semiautomatic	2.364	1.334	0.212	
	Manual		Reference group		
	Process				
	Plating		Reference group		0.488
	Mix & weighing	-2.820	-0.788	0.449	
	Molding	-2.359	-0.662	0.523	
	Finishing	-3.199	-0.912	0.383	
	Content(%)	1.801	1.048	0.319	
	Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	-2.396	-1.615	0.137	
	Relative humidity(%)	1.122	2.478	0.033	
	Capture velocity(m/sec)	-2.871	-1.622	0.136	

## IV. 고 찰

코발트는 원소기호 Co, 원자번호 27, 원자량 58.93, 녹는점 1494°C, 끓는점 약 3100°C 및 비중은 8.9이다. 지각 중 코발트의 함량은 23 ppm 정도이며, 해수 중에서는 0.1 ppb, 토양 중에는 최고 100 ppm 까지 포함되어 있다. 사람의 경우 성인의 코발트 함유량은 약 1.2 mg이고, 뼈에 14%, 근육에 43%, 나머지는 연부조직에 함유되어 있으며, 비타민 B<sub>12</sub>에는 100 µg 정도 함유되어 있다(Lee & Jung, 2002).

코발트를 취급하는 작업의 노출경로는 공기 중 흡과 분진형태로서 호흡기로 흡입되며, 피부와 눈으로도 흡수가 가능하다. 호흡기로 흡입된 코발트는 기도의 점액성 섬모에 의해 제거되기도 하지만 호흡성입자의 코발트는 폐포에 도달하여 대식세포에 의해 포획된다(Evans et al., 1993). 코발트의 피부를 통한 흡수는 거의 이루어지지 않지만 상처가 있는 피부를 통해서도 다량 흡수가 가능하다(Inaba et al., 1979). 코발트에 장기간 노출되면 폐에 독성이 나타나며 이는 코발트 원광을 취급하는 근로자뿐만 아니라 다이몬드 광택 분야에 종사하는 근로자와 치과기공사에 제도 확인된 바 있다(Lahaye et al., 1984; Sherson et al., 1990; Auchincloss et al., 1992). 또한 코발트에 노출되어 만성적으로 흡입하게 되면 폐섬유증과 경금속 폐렴(Hard metal pneumonia)이 유발될 수 있으며 증상은 호흡 곤란, 기침, 가슴압박 등을 호소한다(Bech et al., 1962). 한편, 코발트 노출에 의하여 천식이 유발되며 이는 코발트 특이적 IgE와 기관지의 과민반응과 관련이 있다(Kusaka et al., 1989).

이러한 건강상의 이유로 코발트에 대한 직업적 노출기준을 우리나라뿐만 아니라 세계 각국에서 설정하여 관리하고 있다. 우리나라의 경우 코발트 취급사업장의 건강보호를 위하여 직업적 노출기준을 코발트금속 분진 및 흡에 대한 8시간 평균가중치로 0.02 mg/m<sup>3</sup>로 설정하고 발암성은 구분 2로 표기하며, 감각에 대한 표기는 없다(MoEL, 2013). 외국의 경우 미국 ACGIH에서는 발암성 분류를 동물에게는 발암성이 확인되었으나 사람에서는 확인되지 않은 물질인 A3로 구분하고(ACGIH, 2015), 세계보건기구(World Health Organization, WHO)산하 국제암연구기구(International Agency for Research on Cancer, IARC)

는 인체 발암 가능물질인 Group 2B로 분류하였다(IARC, 2013). 또한, 영국에서는 코발트를 감작물질(Sensitization)로 지정하고 있으며(HSE, 2011), 일본에서도 호흡기와 피부에 대한 감작물질로 구분하고 있다(JSOH, 2014). 이처럼 코발트의 직업적 노출기준에 대한 규제수준이 강하고 건강에 상당히 유해한 점을 감안하여 선진외국은 취급을 제한하거나 허가를 받도록 관리함에 따라 국내·외에서 코발트를 취급하는 근로자를 대상으로 노출평가를 수행한 연구는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 코발트 취급사업장의 공기 중 총분진, 흡입성분진 및 호흡성분진을 채취하여 분진 내 함유된 코발트의 농도를 파악하였다. 우리나라 코발트의 노출기준은 20 µg/m<sup>3</sup>이며, 총분진으로 채취하여 코발트 금속을 분석하도록 하고 있다. 본 연구결과 총분진 내 코발트 농도의 기하평균은 1.47 µg/m<sup>3</sup>이었고 노출기준 초과율은 10.0%로 나타났다. 이는 Her et al.(2005)이 수행한 총분진 내 코발트 농도 1.30 µg/m<sup>3</sup>과 비슷한 수준이었으나 노출기준 초과율(22.2%)은 다소 차이가 있었다. 또한, 총분진 내 업종별 코발트 농도의 범위는 2.4~10.2 µg/m<sup>3</sup>으로 Jo et al.(2010)의 연구결과 0.2~9.6 µg/m<sup>3</sup>로 역시 유사한 수준으로 나타났다. 코발트의 노출기준을 초과한 업종은 초합금업이었고 초과농도는 노출기준의 2배 수준이었다. 또한, 공정별로는 성형과 배합 및 계량공정에서 노출기준 초과를 보여 흡입성분진 내 코발트의 노출기준 초과 내용과 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과는 Jo et al.(2010)이 수행한 코발트의 공정별 노출기준 초과가 계량 및 배합에서 발생한다는 점에서 일치한다.

흡입성분진 내 코발트 농도의 기하평균은 1.84 µg/m<sup>3</sup>이었고, 영국 WEL 초과율은 6.3%로 나타났다. 이는 Her et al.(2005)이 수행한 흡입성분진 내 코발트의 기하평균 농도(0.20 µg/m<sup>3</sup>) 보다는 다소 높은 수준이었으나 이는 대상 사업장, 사용량 및 작업방법 등의 차이로 추측된다. 또한 코발트의 노출기준 초과를 업종별로 구분했을 때 역시 초합금업종에서, 작업형태별로는 수동작업이, 공정별로는 성형공정에서 발생하여 이에 해당되는 업종, 작업형태 및 공정에서 근무하는 근로자들은 호흡용 보호구 착용은 물론 농도 저감을 위한 별도의 노력이 필요한 것으로 판단된다.

공기 중 분진 내 코발트 농도 비율의 경우 흡입성 분진 내 코발트의 비율이 5.17%로 총분진 내 코발트 비율(1.86%) 및 호흡성분진 내 코발트 비율(1.11%) 보다 상당히 높게 나타났다. 이는 입자가 큰 분진에 코발트 함유율이 높다는 의미로 현재 우리나라 규정 상 총분진을 채취하여 코발트 농도로 평가하는 것 보다 영국과 같이 흡입성분진을 채취하여 코발트를 분석하는 것이 근로자 건강보호 차원에서 더 바람직 할 것으로 판단된다. 그리고 코발트 농도에 영향을 미치는 요인을 파악한 결과 습도가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 무엇보다 코발트 취급 근로자의 건강보호를 위한 노출저감 방안은 원재료의 공기 중 비산을 방지하기 위하여 습식작업이 필요하며, 도금업종보다는 초합금업종에 대한 관리가 우선 되어야 하고, 성형, 배합 및 계량공정에서는 국소배기장치 제어속도의 적정 유지가 필수적인 것으로 판단된다.

본 연구의 제한점으로 우리나라 코발트 취급 사업장이 전국적으로 38개소로 보고되어 있지만 본 연구는 5개 사업장에 한정된 연구로 전국 코발트 취급 사업장의 농도로 확대 해석하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 코발트 취급 사업장을 대상으로 업종, 작업형태 및 공정별 총분진, 흡입성분진 및 호흡성분진 내 코발트 농도를 파악하였다. 그 결과 공기 중 코발트의 기하평균 농도는 총분진  $1.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 흡입성분진  $1.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$  및 호흡성분진  $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 노출기준 초과율은 총분진은 10.0%, 흡입성분진 6.3%로 나타났다. 코발트 농도의 경우 업종별로는 초합금업종이 도금업종에 비해 유의하게 높았고, 작업방법은 수동작업이 반자동작업보다 높은 경향을 보였으며, 공정은 성형과 배합·계량공정에서 노출기준 초과가 발생되었다. 따라서 우리나라 코발트 취급 근로자의 건강보호를 위해서는 초합금업종의 성형, 배합 및 계량공정은 국소배기장치 제어속도의 유지 등 적극적인 작업환경관리가 필요하고 공기 중 코발트 농도저감을 위해서는 습식작업이 권장된다.

## References

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). 2015 threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH.; 2015. p. 22
- Auchincloss JH, Abraham JL, Gilbert R, Lax M, Henneberger PK, Heitzman ER, Peppi DJ. Health hazard of poorly regulated exposure during manufacture of cemented tungsten carbides and cobalt. *Br J Ind Med* 1992;49:832-836
- Alexandersson R, Atterhög J-H. Studies on effects of exposure to cobalt. VII. Heart effects of exposure to cobalt in Swedish hardmetal industry. *Arbete och Hälsa* 1980;9:1-21
- Bech AO, Kipling MD, Heather JC. Hard metal disease. *Br J Ind Med* 1962;19:239-251
- Cobalt Development Institute(CDI). Production statistics [Accessed 2013 June]. Available from <http://www.thecdi.com/cobalt-stats>
- Domingo JL. Cobalt in the environment and its toxicological implications. *Rev Environ Contam Toxicol* 1989;108:105-132
- Elinder CG, Friberg L. Cobalt. In: Friberg L, Nordberg GF, Vouk VB, eds. *Handbook on the toxicology of metals*. Vol 2. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.; 1986. p. 211-232
- Evans P, Fairhurst S, Champion K. HSE Toxicity review 29. Cobalt and cobalt compounds. London: HMSO.; 1993. p. 45
- European Chemicals Agency(ECHA). Cobalt and its salts [Accessed 2013 June]. Available from [http://echa.europa.eu/view-article/-/journal\\_content/title/echa-to-conduct-a-preliminary-study-and-hold-a-webinar0on-the-use-of-five-cobalt-salts](http://echa.europa.eu/view-article/-/journal_content/title/echa-to-conduct-a-preliminary-study-and-hold-a-webinar0on-the-use-of-five-cobalt-salts)
- Her Y, Yun CS, Yang WH, Song YW et al. The study on occupational exposure limits of cobalt, Ministry of Labour; Korea.; 2005. p. 127-154
- Hogan TJ. Particulates. In : *Fundamentals of Industrial Hygiene*, 4th ed, by B.A. Plog, Itasca, Illinois, National Safety Council, 1995. p. 175-178
- Health & Safety Executive(HSE). EH40/2007 Workplace Exposure Limits: Containing the list of workplace exposure limits for use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations. HSE books; Norwich.; 2011. p.32
- Inaba J, Suzuki-Yasumoto M. A kinetic study of radionuclide absorption through damaged and undamaged skin of guinea pig. *Health Physics* 1979;

- 37(4):592-595
- International Agency for Research on Cancer(IARC). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol.86 Cobalt in Hard-metals and Cobalt Sulfate, Gallium Arsenide, Indium Phosphide and Vanadium Pentoxide[Accessed 2013 June]. Available from [http://www.crios.be/Cobalt/specific\\_classification/IARC.htm](http://www.crios.be/Cobalt/specific_classification/IARC.htm)
- Japan Society for Occupational Health(JSOH). Recommendation of occupational exposure limits (2014-2015). *J Occup Health* 2014;56:401-420
- Jo KA, Lee MC, Park SS. The survey on use and distribution of chemicals, Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA); Korea.; 2010. p.36-38
- Korea International Trade Association(KITA). The import and export status of cobalt[Accessed 2013 June]. Available from [http://stat.kita.net/stat/kts/pum/ItemImpExpDetailPopup.screen?p\\_code=2605](http://stat.kita.net/stat/kts/pum/ItemImpExpDetailPopup.screen?p_code=2605)
- Kusaka Y, Yokoyama K, Sera Y, Yamamoto S, Sone S, Kyono H, Shirakawa T, Goto S. Respiratory diseases in hard-metal workers: an occupational hygiene study in a factory. *Br J Ind Med* 1986;43:474-485
- Lahaye D, Demedts M, Vanden Oever R, Roosels D. Lung diseases among diamond polishers due to cobalt. *Lancet* 1984;1:156-157
- Lee YH, Jung MH. Metal and Human.; 2002. p.142-157
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents (MoEL Public Notice No. 2013-38).; 2013. p. 27
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Industrial Safety & Health Act.; 2015. p. 47
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Particulates not otherwise regulated, respirable 0600, In manual of analytical methods, 4th ed, NIOSH, 1998. p. 1-3
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Particulates not otherwise regulated, total 0500, In manual of analytical methods, 4th ed, NIOSH, 1994. p. 1-4
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH manual of analytical methods, 4th ed, Elements by ICP; 2003. p. 1-9
- Scansetti G, Botta GC, Spinelli P, Reviglione L, Ponzetti C. Absorption and excretion of cobalt in the hard metal industry. *Sci Total Environ* 1994;150:141-144
- Sherson D, Maltbaek N, Heydorn K. A dental technician with pulmonary fibrosis: a case of chromium-cobalt alloy pneumoconiosis. *Eur Respir J* 1990;3: 1227-1229