

페인트 제조 작업자의 6가 크롬 및 실리카 노출평가와 호흡보호구 밀착도 검사 사례

이현석 · 김부욱^{1*}

부산대학교 의과대학 예방의학과, ¹서울대학교 보건환경연구소

Case study of Hexavalent Chromium and Silica Exposure Assessment and Respiratory Fit-test for Paint Manufacturing Worker

Hyun Seok Lee · Boowook Kim^{1*}

Department of Preventive Medicine, Pusan National University

¹Institute of Health and Environment, Seoul National University

ABSTRACT

Objective: Paint manufacturing industry workers are exposed to various lung cancer carcinogenic substances including hexavalent chromium and crystalline silica. Studies have been conducted on lung cancer in Paint manufacturing industry workers and the concentration of hexavalent chromium in paint industry; however, the concentration of crystalline silica and hexavalent chromium and cases of lung cancer in a single Paint factory has never been reported in Korea.


Methods: To determine whether the cancer was related to his work environment, we assessed the level of exposure to carcinogens during pouring and mixing talc and pigment. In addition, a mask fit test was performed for the worker.


Results: Analysis of talc and silica bulk powder materials showed that crystalline silica (quartz) was 5% in talc and 100% in silica. The green and yellow pigments contained 87% and 92% of lead chromate, respectively. Our quantitative analysis of pigment powder samples showed that the hexavalent chromium contents quantified in the green and yellow pigment samples were 87% and 92%, respectively. In order to estimate his exposure level of hexavalent chromium, we measured a personal exposure level of hexavalent chromium for a worker in accordance with the National Institute for Occupational Safety and Health #7605 method. The results showed that the worker was exposed to the high level of hexavalent chromium (0.033 mg m⁻³). In addition, the talc powder also contained 5% quartz, and the worker's exposure level to respirable quartz exceeded OEL. As a result of the respiratory protection fit test for workers, the overall Fit Factor was '15' when wearing a second-grade mask and '25' when wearing a first-grade mask, significantly lower than the US Occupational Safety and Health Agency (OSHA) pass value of "100".

Conclusion: Workers who pouring and mixing powder materials such as talc or colored pigments in paint manufacturing company may be exposed to high concentrations of carcinogenic substances. These findings indicate that it is necessary to local ventilation system inspection, safety and health education for employers and workers, and periodically monitoring and manage the working environment.

Key words: crystalline silica, fit test, hexavalent chromium, lung cancer, paint industry

*Corresponding author: Boowook Kim, Tel: 010-5400-6933, E-mail: labor7@gmail.com
Institute of Health and Environment, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea
Received: September 9, 2021, Revised: October 17, 2021, Accepted: December 13, 2021

 Hyun Seok Lee <https://orcid.org/0000-0002-0972-4887>

 Boowook Kim <http://orcid.org/0000-0001-6869-2320>

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.

I. 서 론

남성 근로자 A씨는 20대 초반이었던 1992년 10월부터 2013년 1월까지 약 20년간 국내 중소기업의 페인트 제조회사인 A사에서 페인트 제조공으로 근무하다가 폐암을 진단받아 2013년 1월 산재보험 요양급여 및 휴업급여 신청을 하였다.

A사는 페도로나 페시너를 이용하여 재활용 페인트와 시너를 만드는 회사로 근로자 A씨는 초기 1년간은 입고된 페시너를 설비에 투입하고 가열 장비를 가동하는 정제 업무를 하였고, 이후에는 원료의 입고, 정제, 배합, 분산, 조색, 점도, 검사 및 포장 작업 순으로 이루어지는 공정 중 주로 배합 공정에서 페인트 충전제(탈크 및 실리카)와 안료(크롬산납)를 배합하는 업무를 수행하면서 후기에는 전체 공정 관리도 하였다. 근로자 A씨의 진술에 따르면 입사 후 초기 3년간은 마스크 없이 작업하다가 이후 대부분의 기간은 2급 반면형 방진마스크를 소량 지급 받아서 사용하였고 최근에 와서야 1급 반면형 방진마스크가 일부 지급되었다고 하며, 사업주는 방진마스크를 적절히 지급하였기 때문에 분진 노출이 거의 없었을 것이라고 진술하였다.

페인트 제조를 위해 사용하는 탈크 및 실리카에 함유된 결정형 실리카와 무기안료에 함유된 6가 크롬은 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 인체에서 발암성이 확실한 물질로 분류하고 있으며(IARC, 1990, 1997), 우리나라도 현재 사람에게 충분한 발암성 증거가 있는 물질인 발암성 1A로 분류하고 있다(MoEL, 2016). IARC 문헌에서는 페인트 생산에 관여하는 작업자가 결정형 실리카에 노출되는 것을 확인할 수 있으며(IARC, 2012), 크롬산염 안료 생산 작업자에 대한 코호트 연구에서 크롬 화합물 노출에 의한 폐암 발생 위험이 증가하고, 참조 집단과 비교하여 크롬 안료 작업자의 폐암 발병률이 높으며, 일부 연구에서는 크롬 노출수준이 높을 가능성이(예: 작업 유형, 고용기간) 높을수록 폐암 발병이 증가하는 것으로 나타났다(Dalager et al., 1980; Sheffet et al., 1982; Langård & Vigander, 1983; Hayes et al., 1989; Deschamps et al., 1995).

크롬 노출과 암 사이의 연관성은 폐암 사망률에서 가장 높으며, 이는 수많은 연구에서 입증되고 정량화되었으며, 주로 크롬 작업자를 대상으로 암 결과에 대한 84개의 논문을 기반으로 메타분석을 실시한 연구에 따르면

폐암에 대한 표준화 사망비(standardized mortality ratio, SMR)은 112에서 279 사이이며 전체 SMR은 141로 나타났다(Cole & Rodu, 2005). 또한, 6가 크롬 화합물의 직업적 노출은 호흡기계암, 기관지 및 비강암의 증가와 관련이 있으며, 후향적 사망률 연구에서 조사된 산업 중에는 크롬산염 생산, 크롬산염 안료 생산 및 사용, 크롬 도금, 스테인리스강 용접 작업 등이 있다(Goldbohm et al., 2006).

한편, 우리나라에서 일반적으로 페인트 제조업에서 정기적으로 실시하는 작업환경측정 유해인자는 주로 유기용제로써 작업자의 폐암 발암물질인 6가 크롬과 결정형 실리카의 노출농도를 추정하기에는 한계가 있다.

이에 본 사례 연구는 지난 20년간 페인트 제조공으로 근무하던 중 발생한 폐암의 업무상 질병 유무를 판단하기 위한 역학조사의 일환으로 과거 근로자 A씨가 수행하였던 작업과 동일한 작업을 현재 수행하고 있는 작업자에 대해 폐암 발암물질 노출수준을 평가하고, 근로자 A씨에 대해 호흡보호구 밀착도 검사를 실시하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

A사는 유성계 페인트를 제조하는 중소기업의 업체로 공장 3층에서는 주로 시너를 비롯한 각종 유기용제를 취급하는 작업을 하고, 2층에서는 분말을 투입, 혼합하는 작업을 하고 1층에서는 최종 페인트 제품을 용기에 담아 포장하고 적재 및 출하 작업이 이루어진다. 근로자 A씨는 주로 2층에서 페인트 충전제인 탈크를 교반 탱크에 투입하는 작업을 하였고, 간헐적으로 디솔버(dissolvers) 교반기에 안료를 투입해 용해 및 분산하는 작업을 하였다. 원료 배합표를 확인한 결과 A사에서 가장 많이 생산되는 대표 페인트에서 탈크 함량은 약 25%이었다.

페인트 충전제로써 탈크 분말을 하루 평균 1,400 kg 정도를 5개의 교반 탱크에 나누어 투입하였다. 과거에는 한 자루에 25 kg 또는 12.5 kg의 탈크가 들어있는 자루 약 80개를 하나씩 투입하였고, 최근 4~5년 전부터는 한 자루에 500 kg의 탈크를 두 자루 투입한 후 모자란 양만큼 25 kg 혹은 12.5 kg 탈크 자루를 투입하였다. 탈크 자루를 교반기에 투입시 많은 양의 탈크 먼지가 발생하였다. 발전소, 굴뚝, 컨테이너 등에서 사용되는 페인트는 내구성이 요구되기 때문에 탈크 대신에

실리카를 투입하기도 하는데, 빈도는 평균 월 1회 정도 300~400 kg의 실리카를 투입하였다.

페인트의 조색을 위해서 디솔버에서 크롬산염 유색 안료를 투입하고 교반하는 작업도 하였는데, 녹색 안료는 이틀에 1회, 1시간 정도 작업하는데 100 kg를 투입하고, 노란색 안료는 주 1회 30~60분 정도 작업하는데 100~500 kg 정도를 투입한다.

탈크는 국내 유명 탈크 제조사에서 생산된 제품으로 제조사에서 제공되는 자료에 의하면 탈크의 입자 크기는 $5.5 \pm 1.0 \mu\text{m}$ 이었고, 안료 분말도 국내 중소기업에서 제조된 제품이고, 입자의 크기와 성분에 관한 자료는 확인되지 않았다.

한편, 교반 탱크와 디솔버 상부에는 국소배기 장치가 자동 중이었지만 분말 투입시 비산되는 분진의 양이 많아 모두 포집 되지는 않았고, 많은 양의 분진이 주변으로 비산되는 것이 관찰되었다.

2. 연구방법

1) 분말의 성분 분석

탈크와 실리카 분말을 현장에서 채취해 습식 전처리 없이 비파괴 방법으로 광물의 결정구조를 확인하는 X선 회절분석기(X-ray diffraction, XRD, D8 Advance, Bruker Corp., Germany)를 이용해 결정형 실리카의 함유 유무, 종류와 함량을 분석을 하였고, 3가지(녹색, 노랑, 빨강) 색상의 유색 안료 중 6가 크롬 함량 분석은

미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 7605 방법을 참조하여 소량의 시료를 알카리 추출 후 이온크로마토그래피(IC)를 이용하여 검량선법으로 6가 크롬의 함량(%)을 분석하였고, 6가 크롬이 검출된 녹색과 노란색 안료는 추가로 비파괴 방법으로 화학성분을 분석하는 X선형광분석기(X-ray fluorescence, XRF, S2 Ranger, Bruker Corp., Germany)를 이용해 크롬산납(PbCrO_4)의 함량을 분석하였다. XRF에 의한 크롬산납의 함량은 PbCrO_4 화합물 자체를 분석한 값이 아니라 원소별(Pb, Cr, O) 함량을 통해 기기에서 계산된 함량이기 때문에 분석오차가 있을 수 있다.

2) 작업환경측정 및 분석

1일차(2013.8.14.)에는 교반 탱크에 탈크를 투입하는 작업, 2일차(2013.8.19.)에는 디솔버에 안료(녹색)를 투입하는 작업에 대해 작업자의 공기 중 호흡성 분진(결정형 실리카)과 6가 크롬 농도에 대해 작업환경측정을 하였다. 이때 개인시료와 함께 지역시료도 측정하였다(Figure 1).

호흡성 분진의 측정과 분석은 NIOSH 0600 방법에 따라 사이클론(4.2 L/min, GK2.69; BGI Inc., Waltham, MA, USA)이 체결된 직경 37 mm PVC (polyvinyl chloride) 여과지(SKC Inc., Eighty Four, PA, USA)에 호흡성 분진을 채취한 후 해독도 $1 \mu\text{g/in}$



Figure 1. Talc pouring and mixing work (left), fit test (center), pigment pouring and mixing (right)

전자저울로 중량분석을 하였고, 결정형 실리카 분석은 NIOSH 7500 방법에 따라 중량분석이 완료된 PVC 여과지를 600℃ 고온 처리를 거쳐 유기물을 제거한 후 잔류물을 은막 여과지(silver membrane filters)에 재침착시켜 XRD로 2 θ 26.6°에서 결정형 실리카인 석영(quartz)을 분석하였다(NIOSH, 2003a).

6가 크롬은 NIOSH 7605 방법에 따라 PVC 여과지에 총 분진을 채취한 후 알칼리 추출 전처리 후 이온크로마토그래피(IC33000; Thermo Scientific Dionex Inc., Sunnyvale, CA, USA)로 분석하였다(NIOSH, 2003b).

3) 호흡보호구 밀착도 검사

A씨가 지난 20년간 주로 착용하였던 2급과 1급 마스크에 대해 밀착도 검사를 실시하여 호흡보호구 착용 효과를 평가하였다. 밀착도 검사기는 Portacount(TSI 8038, USA)를 사용하였다. 2가지 마스크 모두 국내에서 생산된 제품으로 안전인증을 획득한 컵형 제품이었으며, 1급 제품은 배기밸브가 있는 모델이었다. 마스크 끈은 헤드밴드형으로써 착용자의 머리 위와 목 뒤에 고정시키도록 되어 있는 모델이었다(Figure 1).

밀착도 검사는 A씨의 사전 동의하에 이루어졌으며, 밀착도를 높이기 위한 착용방법에 대한 교육은 사전에 실시하지 않았고, 평소 작업장에서 분진 작업시 착용하던대로 착용 후 검사하였다. 검사방법은 미국의 29CFR1910.134 'Respiratory protection' 부록 A에 수록된 방법을 준용하여, 8가지(정상 호흡 → 깊은 호흡 → 머리 좌우 돌리기 → 머리 위아래 움직이기 → 말하기 → 얼굴 찡그리기 → 허리 구부리기 → 정상 호흡) 테스트 운동을 각 1분씩(얼굴 찡그리기는 15초) 순서대로 진행하였다.

III. 연구결과

1. 분말 성분 분석 결과

탈크와 실리카 분말에서 결정형 실리카인 석영이 검출되었고, 크리스토파라이트, 트리디마이트 등 석영 이외의 결정형 실리카는 검출되지 않았다. 석영의 함량 분석결과 탈크에는 5%, 실리카는 100% 석영으로 분석되었다(Table 1).

유색 안료 분말 중 IC 분석에 의한 6가 크롬 함량은 녹색과 노란색에서는 각각 8.2%, 13%이었고, XRF 분석에 의한 크롬산납의 함량은 녹색과 노란색이 각각

Table 1. Quartz content (%) of paint filler

Talc powder	Silica powder
5	100

Table 2. Content (%) of hexavalent chromium and lead chromate in the pigment powder

Analysis material	Color of pigment powder		
	Green	Yellow	Red
Hexavalent chromium*	8.2	13.0	ND [†]
Lead chromate [‡]	87	92	NA [§]

* Hexavalent chromium was analyzed by IC

[†] Lead chromate was analyzed by XRF

[‡] Not detected

[§] Not available

87%, 92%로 나타났다. 빨간색 안료에서는 6가 크롬이 검출되지 않았다(Table 2).

2. 작업환경측정 결과

탈크 투입 및 배합 작업자의 호흡성 분진의 8시간 시간가중평균(TWA) 농도는 1.47 mg/m³으로 현재의 탈크 노출기준 2 mg/m³ 미만이었지만, 결정형 실리카(석영)의 8시간 시간가중평균(TWA) 농도는 개인시료에서 0.061 mg/m³(작업자로부터 약 2미터 떨어진 지역시료에서는 0.008 mg/m³)으로 나타나 고용노동부 노출기준인 0.050 mg/m³을 초과하며, 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) TLV(Threshold Limit Value)인 0.025 mg/m³을 2배 이상 초과하는 수준이었다.

안료 투입 및 배합 작업시 6가 크롬의 8시간 TWA 농도도 0.033 mg/m³으로 고용노동부의 불용성 6가 크롬의 노출기준인 0.010 mg/m³을 3배 이상 초과하는 높은 수준이었고, 디솔버에서 1 m, 1.5 m 떨어진 곳에서 측정한 지역시료 농도는 각각 0.033 mg/m³, 0.021 mg/m³으로 거리가 멀어짐에 따라 농도가 감소하는 경향을 보였다(Table 3).

3. 호흡보호구 밀착도 검사 결과

근로자 A씨에 대한 호흡보호구 밀착도 검사 결과, Overall Fit Factor는 2급 호흡보호구 착용시 '15', 1급 착용시 '25'로써 미국산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA) 반면형 호흡보호구 Pass Value인 '100'에 크게 미치지 못해,

Table 3. Concentration of airborne crystalline silica and hexavalent chromium in talc and pigment mixing process (mg/m³)

Talc mixing	RD*	RCS†	Pigment mixing	Hexavalent chromium
Personal sample	1.47	0.061	Personal sample	0.033
Area sample (2m away)	0.14	0.008	Area sample (1m away)	0.033
			Area sample (1.5m away)	0.021

* RD: respirable dust

† RCS: respirable crystalline silica

Table 4. Fit Factor according to various test exercise of the worker

Various test exercise	1st grade mask	2nd grade mask
Normal breathing	27	30
Deep breathing	24	39
Head side to side	28	41
Head up and down	39	29
Talking	23	10
Grimace	Excluding	Excluding
Bending over	12	6.5
Normal breathing	60	12
Overall fit factor	25	15

호흡보호구 착용 효과가 미비한 것으로 나타났다. 동작별 밀착도는 Table 4에 제시하였다.

IV. 고 찰

발암물질에 대해서는 여러 기관에서 나름대로 연구한 결과를 발표하고 있는데, 그 중에서도 세계보건기구 산하 IARC의 분류가 대표적이다. 이에 따르면 인체에서 발암성이 확실한 주요 폐암 발암물질로는 석면, 라돈, 디젤매연 등과 더불어 6가크롬과 결정형 실리카도 잘 알려져 있다. 그동안 국내에서도 6가크롬과 결정형 실리카에 대해 많은 작업환경평가 연구가 있어 왔고(Park et al., 1993; Shin et al., 1998; Kim et al., 1998b; Kim et al., 1999; Yi et al., 2015; Jeong et al., 2017; Yeon & Choi, 2017; Kim et al., 2021a; Kim et al., 2021b), 직업병 역학조사에서도 주물업(Jeong et al., 2013), 경마장(Yoon et al., 2013), 세라믹 분말 취급 작업(Kim et al., 2019), 스프레이 도장(Kim et al., 2013), 분체 도장(Lee et al., 2017) 등에서 노출평가가 진행된 바 있었다. 그러나 페인트 제조 공장에서 6가 크롬 및 결정형 실리카 노출에 대한 작업

환경평가 사례가 보고된 바는 거의 없었고, 무기 안료를 취급하는 작업환경에서 납 또는 크롬 농도로 노출평가를 진행한 연구가 일부 있었으나(Kim et al., 1998; Choi et al., 2008), 6가 크롬에 대한 평가는 없었고, 작업상황에 대한 구체적인 기술은 부족하여 본 사례에서 직접적으로 활용하기에는 한계가 있었다.

유성계 페인트는 일반적으로 멜라민, 에폭시 등의 수지에 분말 첨가제인 충전제 및 안료와 시너, 톨루엔, 부틸아세테이트 등의 유기용제를 혼합해 제조한다. 그러나 페인트 제조업의 작업환경측정 결과보고서를 보면 대부분 유기용제를 중심으로 측정이 이루어져 있고 입자상 물질에 대한 측정자료는 부족하다. 본 조사대상 A사의 작업환경측정 결과보고서를 보더라도 유기용제는 톨루엔, 크실렌, 메틸이소부틸케톤, 아세톤, 에틸아세테이트, 2-부톡시에탄올, 메틸에틸케톤, 이소프로필알코올, n-부틸알코올, 메탄올 등 사용하는 모든 물질에 대해 측정이 이루어지고 있었지만, 입자상 물질은 충분진(산화철분진과함)과 납 두가지 항목만 측정되고 있었고 이마저도 매년 노출기준에 비해 매우 낮은 농도로 나타나, 페인트 생산공장에서 폐암 발암물질에 대한 평가는 부족한 상태였다.

충전용 분말은 “filler”라 하고, 충전제(재)로 번역되기도 하는데, 미국의 공업표준(American Society for Testing and Materials, ASTM)에서는 제품의 강도나 각종 성질의 개량과 원가의 절감을 위하여 첨가하는 비교적 불활성인 물질이라고 정의하고 있다. 충전제의 종류는 다양한데 페인트, 플라스틱, 종이에 흔히 사용되는 충전제로는 탄산칼슘, 점토(고령토), 탈크, 실리카 등이 있다(Chae & Jung, 2000).

본 연구에서는 충전제로 사용되는 탈크와 실리카에 대해 XRD를 이용해 결정형 실리카 분석을 하였는데 실리카 분말은 결정형 실리카인 석영이 100%인 것으로 나타났고, 탈크에도 석영이 5% 함유되어 있는 것으로 나타났다. 탈크는 2009년 베이비파우더 석면 파동으로 인해 환경부에서 석면이 1% 이상 함유된 탈크는 취급 금지 물질로 지정하고 탈크 수입시 석면이 1% 미만 함유된 탈크에 대해서만 수입, 제조가 가능하도록 엄격하게 규제하여 관리되고 있지만(MoE, 2009), 석영에 대해서는 관리가 되고 있지 않다. 석영은 석면과 마찬가지로 폐암 발암물질이면서 기타 다양한 질병을 일으킬 수 있으므로 관리가 필요하다.

탈크 투입 작업자의 호흡성 분진 농도는 1.47 mg/m^3 으로 현재의 탈크 노출기준 2 mg/m^3 미만이었지만, 호흡성 석영의 농도는 0.061 mg/m^3 으로 노출기준(0.05 mg/m^3)을 초과하는 것으로 나타났다. 탈크에는 석영이 5% 함유되어 있었지만 탈크에 비해 석영의 노출기준이 상대적으로 강화되어 있기 때문이다. 한편 과거 다른 업종에서 채취한 탈크에서는 석영이 불검출 경우도 있어 탈크의 산지나 순도에 따라 불순물인 석영의 검출유무나 함량에 차이가 있을 것으로 판단된다. 따라서 많은 양의 탈크를 취급하는 작업장에서는 우선 탈크에 석영이 함유되어 있는지 분석한 후 석영이 함유되어 있으면 호흡성 탈크와 함께 호흡성 석영에 대한 작업환경측정도 필요하다고 판단된다.

한편, 본 측정에서는 탈크 분말을 투입하는 작업에 대해서만 측정이 이루어졌고, 실리카 분말을 투입하는 작업에 대한 측정은 이루어지지 않았다. 비록 실리카 분말을 투입하는 작업이 상시작업은 아니고 빈도가 낮기는 하지만 석영 함량이 100%인 것을 감안하면 실리카 분말을 투입하는 작업에서는 노출기준을 초과하는 고농도의 실리카에 노출될 것으로 판단되기 때문에 국소배기 장치의 성능을 개선하거나 전면형 마스크를 착용하고 작업해

야 하겠다. 안료 투입 및 배합 작업은 탈크에 비해 적은 양의 분말을 투입함에도 6가 크롬 농도가 0.033 mg/m^3 으로 노출기준을 3배나 초과하는 높은 농도로 나타났는데 안료에 6가크롬인 크롬산납의 함량이 약 90%로 매우 높기 때문이다. 비록 안료 혼합 작업이 격일 작업이지만 노출수준이 높고, OSHA와 NIOSH에서는 6가 크롬의 노출기준이 훨씬 강화(Appendix 1)되어 있는 것을 감안하면 크롬산염계 안료 대신에 산화철계 안료, 유기 안료 등의 다른 물질로 대체되어야 하겠다.

1998년에 실시된 우리나라 소규모 사업장 근로자들의 호흡보호구 사용실태에 관한 과거 연구(Kim et al., 1998a)에 의하면 호흡보호구 착용률은 항시착용과 작업시 착용을 합해 64%였고, 2013년 연구보고에 의하면 비록 사업장 보호구 담당자를 대상으로 실시한 조사이긴 하지만 호흡보호구 착용률이 91%로 높았다(OSHRI, 2013). 이처럼 사업장에서 보호구 착용률은 높은 수준으로 증가 되고 있지만 적절한 마스크를 착용하는 비율과 마스크의 밀착도 수준은 아직도 부족하다.

본 연구에서 근로자(산재 신청인)에 대한 호흡보호구 밀착도검사 결과, 1급과 2급 모두 (Overall) Fit Factor가 OSHA 반면형 마스크 Pass Value인 ‘100’에 크게 미치지 못하였는데, 업종별로 밀착도 검사 결과를 살펴본 연구 결과에서(OSHRI, 2017) 제조업에서 안면 부여과식 마스크는 적합 판정이 10.0%에 불과하여 안면 부여과식 마스크에 대한 밀착 상태를 개선시키는 것이 중요한 과제를 시사하고 있었다. 한편, 본 연구의 근로자 A씨는 20년간 페인트 제조회사에서 종사하면서 호흡보호구의 올바른 착용 교육을 받은 적이 없다고 하였다. 그러나 Kim et al.(2014)의 연구에서 N95 마스크 착용 방법 교육 전과 비교해 교육 후에는 밀착도 검사를 통과한 피험자 수가 유의하게 증가하였고, 밀착도도 크게 증가하여 교육 효과가 크다고 하였으며, 최근 Seo et al.(2021)의 연구에서도 두 가지 모델의 N95 마스크의 교육 전과 후의 밀착도 평균을 비교한 결과 이단 접이형과 컵형 N95 마스크의 밀착도 평균은 교육 전에 비해 각각 약 1.9배 및 1.64배 상승한 것으로 나타났다.

따라서, 작업환경에 알맞은 호흡보호구를 선정하고(Han et al. 2014, 2016), 밀착도 검사의 체계적인 시행과 올바른 호흡보호구 착용에 관한 훈련을 통해 실효성 있는 관리가 이루어질 수 있도록 제도적 기반이 필

요하다고 생각된다.

페인트 제조회사의 일반적인 추세는 환기 시스템 또는 완전히 폐쇄된 자동화 생산라인을 사용하여 작업자 노출을 줄이고 있으나, 아직도 많은 소규모 회사에서 이러한 안전조치 없이 계속해서 페인트를 제조하고 있다 (De Maria et al., 2021). 본 연구에서도 작업자가 자루에 포장된 탈크 및 실리카를 직접 교반기에 투입하는 과정에서 탈크 및 실리카에 함유된 폐암 발생물질인 결정형 실리카에 고농도로 노출되었고, 조색 작업을 위해 무기안료를 배합기에 투입하면서 고농도의 6가 크롬에 노출되었다고 판단된다.

다만 본 조사는 2013년에 공업용 유성계 페인트를 생산하는 중소기업의 1개 업체를 대상으로 진행된 결과이므로 국내 다른 페인트 업체의 상황도 동일할 것으로 일반화할 수는 없다.

V. 결 론

본 연구는 유기용제를 중심으로 작업환경측정이 이루어지고 있는 페인트 제조공장에서 분말 투입 및 배합 작업시 작업자의 폐암 발암물질 노출수준을 평가하고, 근로자 A씨가 직접 사용하는 호흡보호구로 밀착도 검사를 실시한 사례 연구이다.

근로자 A씨는 약 20년간 페인트 제조 공장에서 탈크와 실리카 분말을 배합하는 작업과 크롬산납이 주성분인 유색안료를 배합하는 작업을 수행하다 폐암이 발생하였다. 이에 작업환경평가를 실시한 결과 탈크 및 실리카 분말에는 결정형 실리카인 석영이 각각 5%, 100%가 함유되어 있었고, 녹색과 노란색 안료에는 6가 크롬이 각각 8.2%, 13% 함유되어 있었다. 작업환경측정 결과 결정형 실리카 농도는 고용노동부 노출기준을 초과하였으며, 6가 크롬 또한 노출기준을 약 3배 초과하는 높은 농도였다.

근로자 A씨의 호흡보호구 밀착도는 1급과 2급 모두 낮아 호흡보호구 착용효과가 미비하였다.

따라서, 페인트 제조공장에서 결정형 실리카 및 6가 크롬이 함유된 탈크, 실리카, 무기안료 등의 분말을 수작업으로 투입하고 혼합하는 경우에는 고농도의 발암성 물질에 노출될 수 있으므로, 원료물질의 대체, 국소배기 시스템의 점검 및 개선, 올바른 호흡보호구의 착용, 주기적인 노출실태 파악 및 근로자 안전교육 등에 대한 철저한 관리가 필요하다.

감사의 글

본 연구에서 Fit test에 도움을 준 ㈜APM엔지니어링과 ㈜미세먼지연구소에 감사드립니다. 더불어 직업환경 연구원 김대호, ㈜삼성전기 이경민 님에게도 감사의 마음을 전합니다. (저자기여도: 논문작성 및 밀착도 검사 이현석, 연구설계 및 작업환경평가/밀착도 검사 김부옥)

Appendix

OSHA와 NIOSH의 6가크롬 직업 노출기준

공기 중 6가크롬 노출에 의한 폐암은 노출수준에 따른 양반응 관계에 있지만(Gibb et al., 2000), $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만의 저농도 노출에 있어서도 폐암 발생이 증가하는지에 대한 논란이 있었다. 그러나 1950년에서 1970년 사이 미국 볼티모어 크롬산염 제조업체 작업자 2,357명을 대상으로 실시한 연구에서 기존의 OSHA 허용기준(PEL)인 $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서는 초과 발암위험이 1,000명당 약 255명이나 되었고, 기존의 NIOSH 권고기준(REL)인 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서도 초과 발암위험이 1,000명당 6명이나 되었으며, $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 1,000명당 1명이 되었다 (Park et al., 2004). 또한 미국과 독일의 4개 크롬염 제조업체의 6가크롬 노출 작업자 1,518명을 대상으로 실시된 연구에 의하면, $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 노출군의 OR은 20.2였고, $1.2 \sim 5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 노출군에서도 OR이 4.9로써 통계적으로 유의하게 폐암 사망률이 높았다(Applied Epidemiology, Inc., 2002; Michaels et al., 2006). OSHA와 NIOSH는 이들 연구결과를 바탕으로 기준을 개정하였는데, OSHA는 기존의 $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2004년 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 50배 강화한 고시를 공표하였다가, 산업계의 비용부담, 기술적 측면을 고려하여 2006년 다시 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 재고시하였고, NIOSH에서도 2013년 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 5배 강화하였다. OSHA와 NIOSH 모두 6가크롬에 노출되는 산업의 종류와 수용성 및 불용성에 대한 구분 없이 모든 6가크롬에 동일하게 적용하도록 하고 있다.

References

Applied Epidemiology, Inc. to the Industrial Health Foundation: Final report: collaborative cohort mortality study of four chromate production facilities,

- 1958-1998. September 27, 2002.
- Chae Y and Jung S. The mineral powder used as an industrial filler and its properties. *Mineral Sci and Ind* 2000;13(2):26-39
- Choi HC, An SH, Lee HS, Kim HS. Evaluation of workers' exposures to airborne lead chromate in the producing and using industries. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2008;18(4):293-302
- Cole P, Rodu B. Epidemiologic studies of chrome and cancer mortality: a series of meta-analyses. *Regul Toxicol Pharmacol* 2005;43(3):225-231
- Dalager NA, Mason TJ, Fraumeni JF, Hoover R, Payne WW. Cancer mortality among workers exposed to zinc chromate paints. *J Occup Med* 1980;22(1):25-29
- Deschamps F, Moulin J, Wild P, Labriffe H, Haguenoer JM. Mortality study among workers producing chromate pigments in France. *Int Arch Occup Environ Health* 1995;67(3):147-152
- De Maria L, Caputi A, Luisi V, Delfino MC, Cavone D, Acquafredda P, Pallara M, Lovreglio P, Vimercati L. Silicosis in a paint-production worker: Study of a lung histological specimen with scanning electron microscopy-Energy dispersive X-ray spectrometer. *Clin Case Rep* 2020;10:9(1):67-71
- Gibb HJ, Lees PSJ, Pinsky PF, Rooney BC. Lung cancer among workers in chromium chemical production. *Am J Ind Med* 2000;38:115-126
- Goldbohm RA, Tiekema EL, Heederik D, Rubingh CM, Dekkers S et al. Risk estimation for carcinogens based on epidemiological data: a structured approach, illustrated by an example on chromium. *Regul Toxicol Pharmacol* 2006;44(3):294-310
- Han DH and Yoo KM. A Development of preliminary respirator selection guide (PRSG) for workers exposed to chemicals. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2014;24(3):393-403
- Han DH, Chung ST, Kim JI, Cho YS, Lee CS. A Study on selecting personal protective equipment for listed hazardous chemicals(2): analysis using an exposure risk matrix. *J Environ Health Sci* 2016;42(6):430-437
- Hayes RB, Sheffet A, Spirtas R. Cancer mortality among a cohort of chromium pigment workers. *Am J Ind Med* 1989;16(2):127-133
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: chromium, nickel and welding. vol 51. Lyon, France: World Health Organization, IARC 1990;49:1-648
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. Vol 68. Lyon, France: World Health Organization, IARC 1997;68:1-475
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs, chemical agents and related occupations. vol 100f, occupational exposure as a painter. Lyon, France: World Health Organization, IARC 2012: 509-539
- Jeong GS, Bae HJ, Nam MR, Jung JH, Phee YG. Comparisons of airborne quartz concentrations in mineral dust exposure industries. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2017;27(3):163-169
- Jeong I, Ryu I, Kim B, Park I, Won JU et al. Two cases of lung cancer in foundry workers. *Ann Occup Environ Med* 2013;25:16
- Kim B. Occupational exposure to dust and respirable quartz in coal briquettes ash handling worker. *J Korean Assoc Part Aerosol Res* 2021;17(1):1-8
- Kim B, Kim D, Kim HR, Choi BS. Exposure assessment of crystalline silica in diatomite powder handling workplace with acute silicosis. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2019;29(3):271-277
- Kim B, Kim E, Cha W, Shin J, Choi BS et al. Occupational exposure to respirable crystalline silica in municipal household waste collection and road cleaning workers. *Sci Rep* 2021;11:13370
- Kim B, Yoon JH, Choi BS, Shin YC. Exposure assessment suggests exposure to lung cancer carcinogens in a painter working in an automobile bumper shop. *Saf Health Work* 2013;4:216-220
- Kim HA, Lee KJ, Kim YW, Kim HW. Metal concentration analysed in the inorganic bulk pigment samples by ICP-AES and the provision rate of MSDS and agreement rate with MSDS. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 1998;8(2):196-208
- Kim H, Baek JE, Seo HK, Lee JE, Myong JP et al. Comparison of Fit Factor for Healthcare Workers and After Training with the N95 mask. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2014;24(4):528-535
- Kim H, Kim HA, Roh YM, Chang SS. Current status of respirator usage and analysis of factors causing discontinued use of respirator in the small-scale industries in Korea. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 1998;8(1):133-145a
- Kim H, Phee YG, Roh YM, Won JI. Analysis of quartz contents by XRD and FTIR in respirable dust from various manufacturing industries part II-ceramics, stone, concrete, glass and briquets, etc. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 1999;9(1):99-111

- Kim H, Roh YM, Phee YG, Won JI, Kim UW. Analysis of quartz contents by XRD and FTIR in respirable dust from various manufacturing industries part I-foundry. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1998;8(1):50-66b
- Langård S, Vigander T. Occurrence of lung cancer in workers producing chromium pigments. Br J Ind Med 1983;40(1):71-74
- Lee K, Park D, Kim B, Shin J. Exposure assessment of hexavalent chromium for a powder coating spray painter associated with the development of lung cancer. Aerosol Air Qual Res 2017;17:2076-2080
- Michaels D, Monforton C, Lurie P. Commentary selected science: an industry campaign to undermine an OSHA hexavalent chromium standard. Environ Health: a global access science source 2006;5:5
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Exposure limits for chemical substances and physical agents(MoEL Public Notice No. 2016-8;p.27
- Ministry of Environment. press release 2009; available: <http://me.go.kr/home/web/board/read.do?jsessionid=FFQxLNQCMSKUzm-VoyS0EgIH.mehome2?pagerOffset=9210&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=&orgCd=&boardId=168325&boardMasterId=1&boardCategoryId=&decorator=>
- National Institute of Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Methods. Silica, crystalline, by XRD (filter redeposition). 2003a
- National Institute of Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Methods. Hexavalent chromium by ion chromatography. 2003b
- Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). Development of guidelines for selecting respirators for workers exposed to chemicals. 2013-OSHRI-1203 (Korean)
- Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). A Study on the status of respirator fit test and system improvement. 2017-OSHRI-969 (Korean)
- Park DU, Park DY, Shin YC, Oh SM, Chung KC. Evaluation on the efficiencies of local exhaust system and airborne concentrations of total chromium, hexavalent chromium and nickel in some electroplating plants. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1993;3(1):68-77
- Park RM, Bena JF, Stayner LT, Smith RJ, Gibb HJ et al. Hexavalent chromium and lung cancer in the chromate industry: a quantitative risk assessment. Risk analysis 2004;24:1099-1108
- Seo H, Kwon YI, Myong JP, Kang BK. Fit comparison of Domestic N95 Medical Masks in a Fit test. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2021;31(1): 94-104
- Sheffett A, Thind I, Miller AM, Louria DB. Cancer mortality in a pigment plant utilizing lead and zinc chromates. Arch Environ Health 1982;37(1):44-52
- Shin YC, Yi GY, Lee NR, Oh SM, Kang SK et al. Welder's exposure to airborne hexavalent chromium and nickel during arc welding in a shipyard. J Korean Soc Occup Environ Hyg 1998;8(2):209-223
- Yeon DE, Choi S. Evaluation of crystalline silica exposure level by industries in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2017;27(4):398-422
- Yi GY, Kim B, Shin YC. Worker exposure assessment on airborne total chromium and hexavalent chromium by process in electroplating factories. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2015;25(1):89-94
- Yoon JH, Kim B, Choi BS, Park SY, Kwag HS et al. A case report of lung cancer in a horse trainer caused by exposure to respirable crystalline silica: an exposure assessment. Saf Health Work 2013;4:71-74

<저자정보>

이현석(박사과정), 김부욱(연구교수)