

크롬 직업병 유소견자와 요관찰자 추이 및 취급 근로자의 생물학적 노출수준 고찰

박상일 · 김남수¹ · 황보영¹ · 김화성¹ · 이성수¹ · 김용배^{1*}

순천향대학교 대학원 의과학과, ¹순천향대학교 의과대학 예방의학교실 및 환경산업의학연구소

Review of the Literature on Level of Biological Exposure and Trends in Possible and Probable Occupational Disease among Chromium Workers

Sang-il Park · Nam-Soo Kim¹ · Young Hwangbo¹ · Hwa-Sung Kim¹ · Sung-Soo Lee¹ · Yong-Bae Kim^{1*}

Department of Medical Sciences, Graduate School of Soonchunhyang University

¹Department of Preventive Medicine & Institute of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, Soonchunhyang University

ABSTRACT

Objectives: This study identifies the trends in possible and probable occupational disease among chromium workers and reviews the literature on domestic and foreign chromium workers to review the industries, biological exposure levels, and major results.

Methods: The results of the Ministry of Employment and Labor's special health-screening program for hazard agents among workers from 2009 to 2019 were used. Also, the industries, biological exposure levels, and major results on chromium workers were reviewed using PubMed and RISS.

Results: The average annual proportion of both possible and probable occupational disease for chromium workers has recently increased. The average annual proportion of possible and probable occupational disease that can occur was high for both men and women in their 60s or older by age and 10 to 14 years by work duration. By industry, possible occupational disease showed high in manufacturing. In the literature review, many electroplating-related chromium-workers reported high levels of exposure to blood and urine chromium, as did dental technicians; tannery, tile factory or glass mill workers; cement workers; and sodium bichromate workers. Furthermore, a number of main findings in recent studies have reported that chromium exposure is related to genetic toxicity among workers.

Conclusions: In this study, the average annual rate of both possible and probable occupational disease in domestic chromium workers is increasing, and a body of literature shows that chromium exposure is related to genetic toxicity and associated indicators among workers, which requires more systematic study.

Key words: Chromium, worker, occupational disease, exposure level

I. 서 론

크롬(chromium, Cr)과 그 화합물은 야금, 제조, 전기 도금, 가죽 태닝 및 용접과 같은 수많은 산업 공정에


서 널리 사용되며(Xia et al., 2019). 직업적인 크롬(6가)에 대한 노출은 크롬생산, 크롬도금과 스프레이도장, 크롬안료의 제조와 크롬합금의 용접, 절단, 그라인딩 과정에서 발생한다(Roh et al., 2007). 크롬은 1900°C의


*Corresponding author: Yong-Bae Kim, Tel: 041-575-2406, E-mail: atlask@sch.ac.kr


Department of Preventive Medicine, Soonchunhyang University, 31, Soonchunhyang 6-gil, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do 31151


Received: July 7, 2021, Revised: August 27, 2021, Accepted: September 11, 2021


 Sang-il Park <https://orcid.org/0000-0002-6825-3034>

 Young Hwangbo <https://orcid.org/0000-0002-8447-8372>

 Sung-Soo Lee <https://orcid.org/0000-0002-9130-8347>

 Nam-Soo Kim <https://orcid.org/0000-0002-2534-012X>

 Hwa-Sung Kim <https://orcid.org/0000-0003-4061-9417>

 Yong-Bae Kim <https://orcid.org/0000-0002-8943-2349>

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.

녹는점과 2672°C의 끓는 점을 가진 중금속으로 작업장에서 가장 일반적인 원자가 타입은 크롬(6가)이며, 크롬(6가)의 용해도는 화학적 형태에 따라 물에 아주 잘 녹는 것부터 불용성까지 다양하고 가용성 형태는 스텐레스스틸을 사용하는 MMA(manual metal arc) 용접에서 가장 일반적으로 사용된다(Roh et al., 2007). 또한 크롬(6가) 이온은 가죽을 무두질할 때 사용해온 이크롬산 이온($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)으로 대부분 이크롬산칼륨($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)의 형태로 사용된다.

크롬 및 크롬화합물의 독성은 광범위하게 조사되어 왔는데 용해도와 화합물의 물리적 형태에 따라 나타난다. 환경에 있는 크롬의 대다수는 크롬(3가)과 크롬(6가) 상태로 존재하며, 주요 생물학적 차이는 세포막을 교차하는 능력에 있어 크롬(6가)은 크롬(3가)보다 훨씬 쉽게 세포막을 통과 할 수 있다(Nickens et al., 2010). 환경 중 높은 수준의 크롬(6가)에 대한 노출은 상기도 자극, 심한 경우 비중격에 종양(궤양)을 야기할 수 있고 크롬(6가)화합물은 피부, 기도와 신장에 해로운 효과를 야기하며(Roh et al., 2007), 실제로 크롬(6가) 노출이 호흡기 암의 위험을 크게 증가시키는 것으로 나타났다(Proctor et al., 2014; Urbano et al., 2012). 국내의 “화학물질 및 물리적인자의 노출기준”에 관한 고시에서는 크롬(6가)화합물(불용성화합물, 수용성)은 “사람에게서 충분한 발암성 증거가 있는 물질[1A]”로 구분하고 있다. 한편 2019년 특수건강진단 실시결과 유해인자별 발생현황에서 크롬 직업병 유소견자 및 요관찰자는 각각 31명, 1324명으로 금속물질 취급근로자 중 가장 많았고, 2016년 이후 매년 크롬 직업병 유소견자 및 요관찰자는 증가한 결과를 보였다(MoEL, 2016; 2019).

본 연구는 최근 국내에서 크롬 취급근로자의 직업병 유소견자 및 요관찰자 추이를 분석하고, 직업병을 예방관리하고 관련연구를 진행하는데 참고가 될 수 있도록 국내외 크롬 취급근로자에 대한 문헌을 검토하여 크롬노출 관련업종과 최근 취급근로자에 대한 생물학적 노출수준 동향, 건강영향에 대한 주요 결과를 제시하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

연구대상은 2009년부터 2019년까지 우리나라에서 특수건강진단을 실시한 전체근로자를 대상으로 하였다. 주로 유해인자별로 특수건강진단을 실시한 연 근로자수

에 따라 전체근로자, 금속물질 취급근로자(크롬 취급근로자 포함), 크롬 취급근로자로 구분하고 성별, 연령, 작업 기간, 사업장 규모, 산업에 따라 구분된 직업병 유소견자 및 요관찰자 발생 건수 등의 통계자료를 확보하였다. 전체근로자, 금속물질 취급근로자, 크롬 취급근로자의 11년간(2009~2019년) 평균 연 근로자수는 각각 3,361,002명, 656,260명, 131,900명이었다. 또한 크롬 취급근로자의 생물학적 노출수준은 국내외 문헌검색을 하였으며, 연구대상의 혈중 및 요중크롬, 주요결과에 대해 고찰하였다.

2. 연구방법

1) 유소견자 및 요관찰자 추이

2009년부터 2019년까지 고용노동부의 근로자 건강진단 실시결과를 이용하였다. 통계자료 중 특수건강진단을 실시한 연 근로자수에 대해 성별, 연령, 작업 기간, 사업장 규모, 산업별로 구분하고 유해인자별 실시한 연 근로자수에 따라 전체근로자, 금속물질 취급 근로자, 크롬 취급근로자로 구분하여 평균 연 근로자수를 산출하였다. 또한 특수건강진단을 실시한 연 근로자수 대비 직업병 유소견자 및 요관찰자(연 근로자수)의 연평균 비율(%)을 산정하여 성별, 연령, 작업 기간, 사업장 규모, 산업별로 차이를 비교하였다. 크롬 취급근로자의 직업병 유소견자 및 요관찰자 추이를 보기 위해 11년간(2009~2019년) 특건강진단을 실시한 연 근로자수 대비 직업병 유소견자 및 요관찰자의 연평균 비율(%)을 산정하여 나타냈다. 자료의 통계분석은 SAS(Version 9.4, SAS institute, Cary, NC)를 사용하였으며, 연평균 비율의 차이는 T-검정과 일원분산분석(사후검정: Tukey's studentized range test)을 실시하였다.

2) 문헌검색

문헌검색은 PubMed(<http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>)와 RISS(<http://www.riss.kr/index.do>)를 활용하였다. 사용한 키워드는 Pubmed인 경우 chromium worker와 exposure level을 'and'로 묶어서 검색하였고 검색 기간은 2010년에서 2021년 6월 15일이며, 텍스트 가용성은 full text, 종의 분류는 humans로 하였다. RISS인 경우 위 키워드를 한글로 바꾸어 동일한 방식으로 검색하였다. Pubmed에서는 총 101개의 논문이 검색되었고, RISS로 검색 했을 때는 국내학술논문에는 관련논문이 검색되지 않았다. 이 논문 중에서 제목과 초록

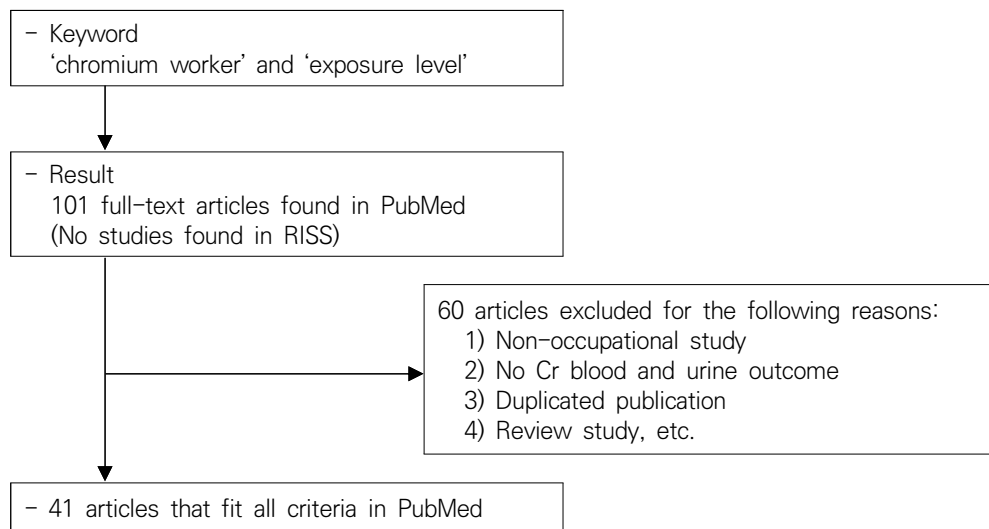


Figure 1. Flow chart of the summary of the study selection

을 검토하여 실제로 본 논문에 적합하다고 저자가 선택한 논문은 Pubmed 검색논문 41개로, 각 논문의 초록과 필요할 경우 본문을 인용하였다(Figure 1).

III. 결 과

최근 11년간 유해인자별로 특수건강진단을 실시한 연 근로자수에 대해 성별, 연령, 작업 기간, 사업장 규모, 산업별로 분류하고, 전체, 금속물질 취급 근로자(크롬 취급근로자 포함), 크롬 취급근로자로 구분하여 연평균으로 나타낸 분포는 Table 1과 같다. 크롬 취급근로자는 연평균 131,900명으로 이중 남성이 95.3%, 여성이 4.7%이며, 연령별로는 30대가 30.6%로 가장 많았다. 작업기간은 1~4년, 1년 미만이 각각 31.8%, 22.7%이었으며, 사업장 규모는 50~299명인 경우가 39.5%, 산업별로는 제조업이 84.2%로 가장 많았다.

Table 2는 최근 11년간 유해인자별로 특수건강진단을 실시한 연 근로자수 대비 직업병 유소견자 및 요관찰자(연 근로자수)의 연평균 비율을 산정하여 성별, 연령, 작업 기간, 사업장 규모, 산업별로 차이를 비교하였다. 직업병 유소견자 연평균 비율은 전체근로자, 금속물질 취급근로자, 크롬 취급근로자 각각 0.278%, 0.020%, 0.011%이며, 직업병 요관찰자 연평균 비율은 전체, 금속물질 취급 근로자, 크롬 취급근로자 각각 4.511%, 0.651%, 0.623%이다. 크롬 취급근로자는 직업병 유소견자 연평균 비율에서 연령, 작업 기간, 사업

장 규모에 따라 유의한 차이를 보였으며, 직업병 요관찰자 연평균 비율에서 성별, 연령, 작업 기간, 사업장 규모, 산업별로도 유의한 차이를 보였다. 또한 직업병 유소견자 및 요관찰자 연평균 비율은 남녀 모두 연령별로 60대 이상, 작업 기간은 10~14년에서 높게 나타났으며, 사업장 규모는 직업병 유소견자의 경우 5인 미만, 직업병 요관찰자의 경우 5~49명인 경우에 높게 나타났다. 산업별로는 직업병 요관찰자의 경우 운수업에서 높게 나타났으며, 사후검정에서도 다른 업종들과 차이를 보였다. 한편 전체, 금속물질 취급근로자와 비교하여 크롬 취급근로자는 사업장 규모나 산업별로 직업병 유소견자 및 요관찰자의 연평균 비율이 다른 경향을 보였다.

최근 11년간 특수건강진단을 실시한 연 근로자수 대비 직업병 유소견자 및 요관찰자(연 근로자수)의 연도별 비율을 산정하여 전체 근로자, 금속물질 취급 근로자, 크롬 취급근로자로 구분하였으며, 크롬 직업병 유소견자 및 요관찰자의 연도별 비율을 각각 Figure 2와 3에 나타냈다. 크롬 직업병 유소견자의 연도별 비율은 최근 증가하는 경향을 보였으며, 금속물질 취급근로자는 대체로 감소하는 경향을 보였다. 크롬 직업병 요관찰자의 연도별 비율은 최근 증가하는 경향을 보였으며, 금속물질 취급근로자의 연도별 비율도 최근 증가하는 경향을 보였다. 다만 전체 근로자의 직업병 요관찰자의 연도별 비율은 매년 감소하는 경향을 보였다. 한편 크롬 취급근로자에 대한 문헌검토 결과에서는 전기도금, 크롬생산, 무두질 공장에서의

Table 1. Average number of workers per year of special health-screening program by hazard agents over the last 11 years

Classification variables		All		Metal		Chromium	
		Worker*	(%)	Worker*	(%)	Worker*	(%)
Total		3361002	100.0	656260	100.0	131900	100.0
Gender	Men	2890510	86.0	598427	91.2	125693	95.3
	Women	470492	14.0	57833	8.8	6207	4.7
Age (year)	<30	620942	18.5	111198	16.9	17893	13.6
	30-39	1032257	30.7	213087	32.5	40375	30.6
	40-49	889420	26.5	180397	27.5	39518	30.0
	50-59	662367	19.7	127900	19.5	29048	22.0
	60≤	155934	4.6	23678	3.6	5066	3.8
Work duration (year)	<1	782195	23.3	142572	21.7	29882	22.7
	1-4	1126679	33.5	222324	33.9	41989	31.8
	5-9	552740	16.4	109333	16.7	20382	15.5
	10-14	296963	8.8	58962	9.0	11485	8.7
	15≤	602426	17.9	123069	18.8	28163	21.4
Workplace scale (Number of workers)	<5	147413	4.4	26632	4.1	5104	3.9
	5-49	785782	23.4	156461	23.8	29657	22.5
	50-299	1256508	37.4	244175	37.2	52075	39.5
	300-999	406166	12.1	65887	10.0	11531	8.7
	1000≤	765133	22.8	163105	24.9	33532	25.4
Industry	Manufacturing	2491441	74.1	542343	82.6	111097	84.2
	Construction	238576	7.1	31924	4.9	7398	5.6
	Transportation	101459	3.0	16414	2.5	4519	3.4
	Professional science, technology service	61524	1.8	12664	1.9	1884	1.4
	Facility management, support service	108454	3.2	10652	1.6	1552	1.2
	Health, social welfare service	142404	4.2	4105	0.6	560	0.4
	Association organization repair and other personal services	66718	2.0	20425	3.1	2208	1.7
Etc.	150425	4.5	17734	2.7	2682	2.0	

* : Number of annual workers: Aggregated based on resident registration number, date of initial health-screening, and hazard agents

크롬에 대한 직업적 노출 보고가 많았다. 또한 혈중 및 요중 크롬 모두 대조군보다 조사군이 높게 보고되었으며, 혈중 크롬은 치과 기술자와 무두질 작업자에서 높게 나타

났고(Table 3), 요중 크롬은 타일공장이나 유리 세공소 작업자, 시멘트 작업자, 중크롬산나트륨에 노출된 작업자에서 높게 보고되었다(Table 4).

Table 2. One-year average proportion (%) of possible occupational disease and probable occupational disease by hazard agent

Classification variables		Possible occupational disease			Probable occupational disease		
		All	Metal	Chromium	All	Metal	Chromium
		Mean±SD, %	Mean±SD, %	Mean±SD, %	Mean±SD, %	Mean±SD, %	Mean±SD, %
Total		0.278±0.011	0.020±0.005	0.011±0.002	4.511±1.324	0.651±0.076	0.623±0.108
Gender	Men	0.308±0.009	0.021±0.005	0.012±0.003	4.903±1.334	0.654±0.070	0.628±0.109
	Women	0.079±0.010	0.002±0.002	-	1.887±0.807	0.628±0.178	0.516±0.133
	p-value*	<0.001	<0.001	-	<0.001	0.659	0.044
Age (year)	<30	0.007±0.004 ^c	0.008±0.006 ^c	-	0.778±0.330 ^c	0.613±0.133 ^c	0.570±0.189 ^c
	30-39	0.021±0.007 ^c	0.006±0.004 ^c	0.001±0.001 ^b	1.998±0.972 ^{b,c}	0.495±0.066 ^c	0.462±0.100 ^c
	40-49	0.134±0.038 ^c	0.015±0.010 ^{b,c}	0.011±0.008 ^b	5.399±2.117 ^b	0.567±0.045 ^c	0.547±0.079 ^c
	50-59	0.783±0.182 ^b	0.039±0.013 ^b	0.021±0.006 ^b	9.830±2.917 ^a	0.915±0.124 ^b	0.876±0.164 ^b
	60≤	2.558±0.722 ^a	0.153±0.052 ^a	0.091±0.056 ^a	13.147±5.10 ^a	1.688±0.241 ^a	1.574±0.456 ^a
	p-value [†]	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Work duration (year)	<1	0.243±0.023 ^{b,c}	0.023±0.009 ^a	0.010±0.007 ^b	3.812±0.801 ^b	0.547±0.111 ^b	0.470±0.139 ^b
	1-4	0.216±0.020 ^c	0.019±0.006 ^{a,b}	0.010±0.004 ^b	3.654±1.109 ^b	0.713±0.113 ^a	0.679±0.186 ^a
	5-9	0.235±0.010 ^{b,c}	0.022±0.006 ^a	0.016±0.009 ^{a,b}	4.073±1.443 ^b	0.615±0.112 ^{a,b}	0.591±0.117 ^{a,b}
	10-14	0.268±0.050 ^b	0.024±0.005 ^a	0.019±0.009 ^a	4.948±1.909 ^b	0.671±0.126 ^{a,b}	0.703±0.197 ^a
	15≤	0.481±0.065 ^a	0.012±0.004 ^b	0.008±0.006 ^b	7.201±2.007 ^a	0.671±0.146 ^{a,b}	0.693±0.163 ^a
	p-value [†]	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	0.027	0.007
Workplace scale (number of workers)	<5	0.401±0.034 ^b	0.041±0.027 ^a	0.030±0.040 ^a	5.594±1.661 ^{a,b}	0.785±0.285 ^b	0.848±0.437 ^{a,b}
	5-49	0.489±0.058 ^a	0.048±0.010 ^a	0.028±0.009 ^a	6.509±1.668 ^a	1.116±0.248 ^a	1.161±0.425 ^a
	50-299	0.197±0.025 ^c	0.015±0.005 ^b	0.009±0.003 ^{a,b}	4.215±1.108 ^{b,c}	0.536±0.120 ^c	0.417±0.120 ^c
	300-999	0.162±0.033 ^c	0.005±0.003 ^b	0.003±0.005 ^b	3.831±1.508 ^c	0.438±0.095 ^c	0.465±0.147 ^c
	1000≤	0.230±0.101 ^c	0.002±0.003 ^b	0.001±0.002 ^b	3.148±1.249 ^c	0.465±0.171 ^c	0.515±0.186 ^{b,c}
	p-value [†]	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Industry	Manufacturing	0.290±0.009 ^b	0.020±0.005 ^{a,b}	0.012±0.003 ^a	4.709±1.183 ^{a,b}	0.673±0.087 ^b	0.615±0.128 ^b
	Construction	0.425±0.060 ^a	0.011±0.015 ^{a,b}	0.003±0.008 ^a	6.407±0.963 ^a	0.457±0.143 ^{b,c}	0.349±0.178 ^b
	Transportation	0.126±0.045 ^{c,d}	0.004±0.008 ^b	0.003±0.011 ^a	3.728±2.102 ^{b,c}	1.113±0.652 ^a	1.499±0.714 ^a
	Professional science, technology service	0.073±0.025 ^{d,e}	0.019±0.051 ^{a,b}	0.005±0.011 ^a	2.018±0.881 ^{c,d}	0.416±0.288 ^{b,c}	0.531±0.376 ^b
	Facility management, support service	0.158±0.076 ^c	0.019±0.035 ^{a,b}	0.004±0.014 ^a	3.243±2.229 ^{b,c}	0.618±0.276 ^b	0.505±0.351 ^b
	Health, social welfare service	0.015±0.013 ^e	-	-	0.486±0.387 ^d	0.214±0.125 ^c	0.237±0.349 ^b
	Association organization repair and other personal services	0.171±0.047 ^c	0.004±0.006 ^b	-	3.311±1.328 ^{b,c}	0.484±0.229 ^{b,c}	0.726±0.295 ^b
	Etc.	0.384±0.071 ^a	0.045±0.053 ^a	0.011±0.021 ^a	4.429±2.284 ^{a,b}	0.434±0.111 ^{b,c}	0.459±0.271 ^b
p-value [†]	<0.001	0.016	0.064	<0.001	<0.001	<0.001	

* : T-test, † : One-way ANOVA [Proc-hoc test; Tukey's studentized range test (Show results: Displays the same character when the means of two populations are the same and different characteristics when the means of two populations are different)]

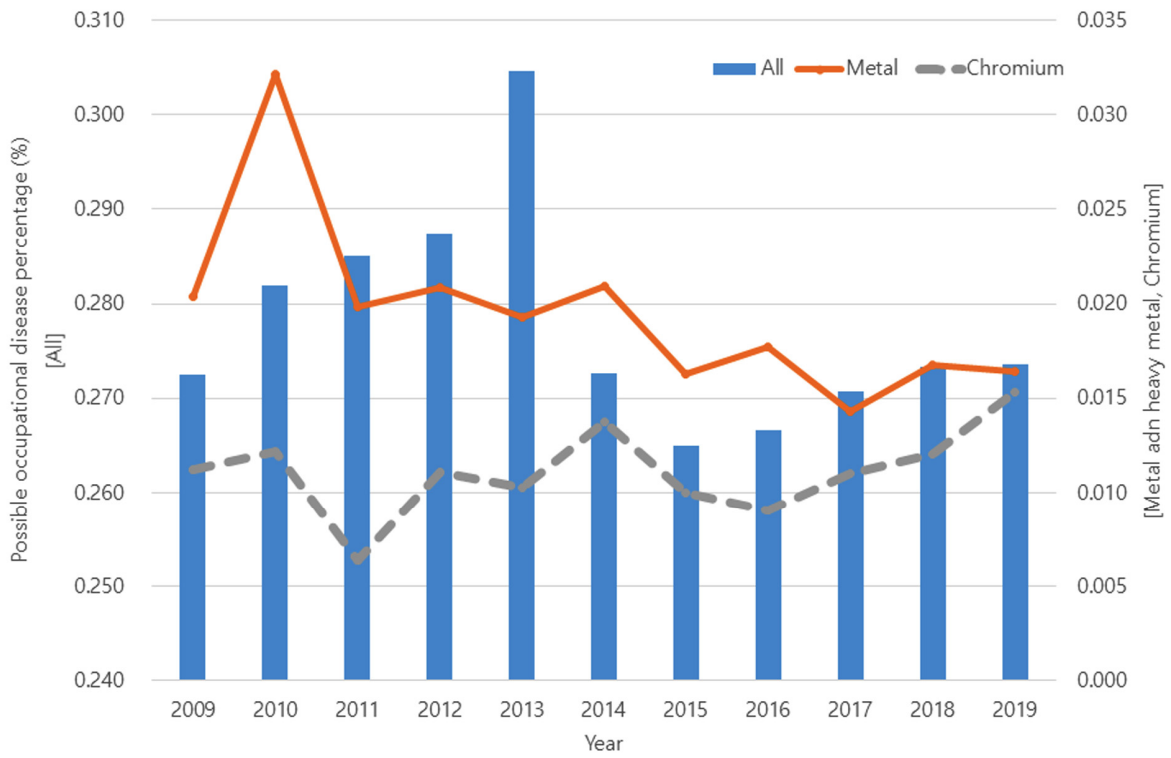


Figure 2. Trends in probable occupational disease

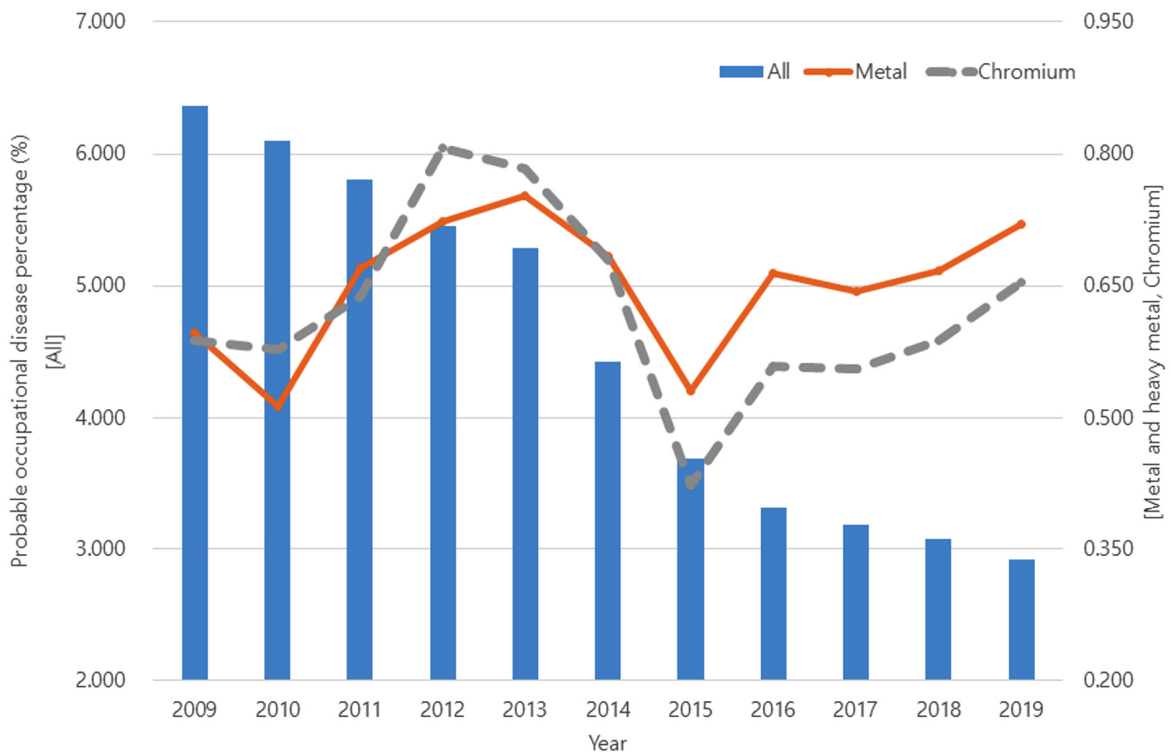


Figure 3. Trends in probable occupational diseases

Table 3. A review of studies on the exposure status to blood chromium

Reference	Study subjects	Blood exposure levels		Statistic, unit
		Exposed	Control	
Hu et al. 2021	China, 455 workers and 545 control	6.42 (6.08–6.79)*	1.29 (1.22–1.36)*	GM (95% CI), $\mu\text{g/L}$
Jia et al. 2020	China, 66 electroplating workers and 66 control	7.81 (4.69–16.66)*	2.54 (0.40–4.95)*	Median (Q1–Q3), ppb
Berniyanti et al. 2020	Indonesia, 40 dental technicians and 30 control	346.36 (303.78–388.94)	0.06 (0.03–0.08)	Mean (95%CI), $\mu\text{g/L}$
Bai et al. 2019	China, 171 exposure group and 120 control	Female:5.75(2.06) Male:5.65(2.86)	Female:4.50(-) Male:4.76(1.90)	Mean (SD), $\mu\text{g/L}$
Xia et al. 2019	China, 162 electroplating workers and 84 control	6.37 (0.04–58.92)†	3.25 (0.04–25.94)†	Median (range), $\mu\text{g/L}$
Hu et al. 2017	China, chromate production plant, 25 workers and 16 control	4.837 (0.682–16.414)*	1.160 (0.300–2.392)*	Median (range), $\mu\text{g/L}$
Junaid et al. 2016	Pakistan, worker and control	16.30	5.48	Mean, $\mu\text{g/L}$
Yang et al. 2016	China, chrome platers in two enterprises, 29 electroplating exposed cases and 29 control	14.015 (2.080–41.970)	4.552 (0.240–27.980)	median(range), $\mu\text{g/L}$
Li et al. 2016	China, chromium-producing factories, 262 workers and 115 control	(2006, 2008, 2011): 15.6, 7.2, 6.6	(2006, 2008, 2011): 3.3, 1.8, 3.4	Median, $\mu\text{g/L}$
Li et al. 2014	China, chromate production plant, 87 workers and 30 control	14.5 (33)*	4.4 (1.9)*	Mean (SD), $\mu\text{g/L}$
Wang et al. 2014	China, 115 chromate production workers and 60 control	12.45 (20.23)§	2.81 (0.48)§	Mean(SD), $\mu\text{g/L}$
Ambreen et al. 2014	India, 100 tannery workers and 100 control	167.58 (23.44)	22.09 (3.78)	Mean(SD), $\mu\text{g/L}$
Khan et al. 2013	Pakistan, 120 tannery workers and 120 control	569 (377–726)	318 (245–397)	Median (interquartile range), nmol/L
Halasova et al. 2012	73 welders exposed to chromium and 71 control	0.07 (0.04)	0.03 (0.007)	Mean (SD), $\mu\text{mol/L}$
Zhang et al. 2011	China, 20 electroplating factories, 157 electroplating workers and 93 control	4.41 (0.93–14.98)§	1.54 (0.14–4.58)§	Mean (range), $\mu\text{g/L}$
Wang et al. 2011	Chronic occupational exposure worker and control	23.49	3.32	Mean, $\mu\text{g/L}$
Balachandar et al. 2010	India, tannery industries 72 exposed subjects [36 directly exposed (DE) subjects and 36 indirectly exposed (IE) subjects] and 36 control	DE subjects: 4.21 (3.21–10.98) IE subjects: 3.98 (2.98–11.27)†	3.01 (2.68–9.40)†	Mean (range), $\mu\text{g/L}$
Goldoni et al. 2010	Chrome-plating plant, 14 male workers –the end of the Tuesday working shift (ES1) –the beginning of the Monday working shift (at least 36 h after the last Cr(vi) exposure (BS))	ES1: 3.4 (1.2–5.8)§ BS: 1.5 (0.1–5.1)§	–	Median (range), $\mu\text{g/L}$

* : Cr(VI), † : Cr(III), ‡ : peripheral blood Cr, § : RBC–Cr

Table 4. A review of studies on the exposure status of urinary chromium

Reference	Study subjects	Urinary exposure levels		Statistic, unit
		Exposed	Control	
Jia et al. 2020	China, electroplating workers, 66 exposure group and 66 control	6.87 (2.33-14.47)*	0.36 (0.21-0.47)*	Median (Q1-Q3), ppb
Tsuchiyama et al. 2020	Bangladesh, 100 male tannery workers	2.89 (4.2) [†]	-	Mean (SD), $\mu\text{g/g}$ creatinine
Su et al. 2019	Taiwan, shipyard, 121 welders and 53 office workers	2.06(1.64)	0.74 (1.80)	GM (GSD), $\mu\text{g/g}$ creatinine
Xia et al. 2019	China, 162 electroplating workers and 84 control	1.66 (0.42-94.27)	0.73 (0.42-40.91)	Median (range), $\mu\text{g/L}$
Kargar Shouroki et al. 2018	Iran, 15 tile factories and 6 pottery workshops as glazers, 49 workers and 55 control	Pre-shift glazer: 44.18 (23.38) Post-shift glazer: 68.32 (73.44)	13.51 (8.67)	mean (SD), $\mu\text{g/L}$
Leese et al. 2017	Workers (35)[platers, jiggers and blenders], Non-Cr(VI) Workers(12), Other Workers(11) and 22 control	Cr (VI) Workers: 4.7 (1.1-34.1)* Non-Cr(VI) Workers: 2.1 (0.6-37.1)* Other Workers: 1.5 (0.8-6.0)*	0.4 (<LOQ-1.4)*	Median (range), $\mu\text{mol/mol}$ creatinine
Srigboh et al. 2016	Ghana, 58 male e-waste workers and 11 females who service the site by selling food and water	0.9 (0.5)	-	mean (SD), $\mu\text{g/L}$
Beattie et al. 2017	Great Britain, electroplating industry, 506 workers	All workers: 2.7 (2.7) Electroplaters: 3.4 (2.8)	1.3 (2.1)	GM (GSD), $\mu\text{mol/mol}$ creatinine
Junaid et al. 2016	Pakistan, worker and control	58.15	4.47	mean, $\mu\text{g/L}$
Wang et al. 2015	China, coke oven plant, 1333 healthy male workers	0.08 (0.02-0.30)	0.07 (0.02-0.26)	median(range), $\mu\text{g/mmol}$ creatinine
Chou et al. 2016	Taiwan, cement workers	high-exposure: 37.8 (25.2-73.9) low-exposure: 14.5 (3.0-24.9)	-	Median (range), $\mu\text{g/L}$
Khan et al. 2013	Pakistan, 120 tannery workers and 120 control	131 (46-313)	13 (3-26)	Median (interquartile range), nmol/L
Wang et al. 2012	China, 86 exposed to sodium dichromate, 45 controls	18.68 (14.60)	1.53 (2.09)	Mean (SD), $\mu\text{g/g}$ creatinine
Wang et al. 2011	Chronic occupational exposure worker and control	17.41	1.52	mean, $\mu\text{g/g}$ creatinine
Goldoni et al. 2010	Chrome-plating plant, 14 male workers -the end of the Tuesday working shift (ES1) -the beginning of the Monday working shift (at least 36 h after the last Cr (vi) exposure (BS)	ES1: 2.8 (1.3-5.5) BS: 1.9 (0.6-5.8)	-	Median (range), $\mu\text{g/g}$ creatinine

* : Cr(VI), [†] : Cr(III)

IV. 고찰

특수건강진단은 작업장에서 유해요인에 노출되는 근로자들의 직업병을 조기진단하고 예방하는 것을 목적으로 한다(MoEL, 2019). 본 연구의 특수건강진단 결과(2009~2019년)에서 크롬의 직업병 유소견자 연평균 비율은 0.011% 조사되었는데, Kim & Kim(2020)의 연구결과에서 보고된 납(연), 카드뮴 및 그 화합물의 직업병 유소견자 연평균 비율(각각 0.094%, 0.085%) 보다는 낮게 나타났다. 다만, 납과 카드뮴은 직업병 유소견자 및 요관찰자의 추이는 감소하는 경향을 보였으나(Kim & Kim, 2020) 크롬의 경우 2016년 이후 매년 증가하는 경향을 보이고 있고, 취급사업장 및 근로자 수가 유해인자별 분류(금속물질) 중 가장 많다. 최근 환경부의 '화학물질 통계조사 결과보고서'에 의하면 화학물질의 종류, 유통량 및 제조량이 모두 증가하고 있고, 화학물질별 배출량·위탁처리량에 대한 국내통계보고에서 연간 크롬 및 그 화합물의 사업장내 배출량은 2009년 7138.4kg에서 2018년 20667.8kg으로 2배 이상 증가하였으며, 특히 2015년에 일시적인 감소이후 2016~2017년에 각각 21034.7kg, 28574.5kg으로 배출량이 크게 증가하였다(MoE, 2019). 이는 취급근로자의 작업환경, 보호구착용여부 및 개인위생상태와 같은 개별 작업장의 특성과 함께 사업장내 크롬의 사용량 증가에 따른 노출환경의 변화는 직업병 유소견자 및 요관찰자의 증가추이에도 영향을 주었을 것으로 보인다. 한편 크롬 직업병 유소견자 및 요관찰자 연평균 비율은 남녀 모두 연령별로 60대 이상, 작업 기간은 10~14년에서 높게 나타났으며, 사업장 규모는 직업병 유소견자의 경우 5인 미만인 경우에 높게 나타났다(Table 1). 이는 크롬 취급근로자의 경우 5인 미만 소규모 사업장에서 60대 이상, 만성 노출근로자에서 직업병 유소견자가 높게 나타나고 있음을 시사한다. 산업별로는 제조업에서 직업병 유소견자의 연평균비율이 유의하게 높았는데 Jeong & Ha(2018)는 2017년 작업환경측정결과에서 제조업 중 금속가공제품 제조업(기계 및 가구 제외), 기타기기 제조업(금속제품의 기계 가공), 철도장비제조업에서 크롬과 그 무기화합물(수용성 6가, 불용성 6가)의 노출기준 초과사례가 있고 화학물질 및 화학제품제조업, 자동차 및 트레일러 제조업, 가구제조업, 기타제품제조업에서는 노출기준 1/2 초과사례가 있음을 보고하였다. 크

롬 직업병 요관찰자의 경우 운수업에서 유의하게 높게 나타났는데 참고로 여객·화물자동차 운수업의 작업과정 중 차량정비공정의 세부 작업내용은 엔진, 변속기 등 기관정비, 프레임 등 하체정비, 용접·절단, 바디 성형 등 판금·도장작업 구분되며, 주로 크롬 노출은 크롬합금의 용접, 절단, 그라인딩 과정에서 발생한다(Roh et al., 2007). 다만, 운수업은 직업병 요관찰자의 연평균 비율은 높은 반면에 직업병 유소견자의 연평균 비율은 상대적으로 낮게 관찰되고 있어 크롬 노출이 주로 발생하는 차량정비공정 등에서 근로자들이 직업병 유소견자수의 증가로 나타나지 않는 것으로 보인다.

크롬 및 그 화합물의 독성은 용해도와 화합물의 물리적 형태에 따라 다양하게 나타나며, 최근까지 많은 조사가 이루어져 왔다. 환경 중 높은 수준의 크롬(3가)에 대한 노출은 상기도 자극, 심한 경우 비 중경의 종양(궤양)을 야기할 수 있다. 직업적으로 용접 흠에 만성적으로 노출된 근로자에게서 나타나는 크롬농도의 증가는 폐에 크롬 입자가 축적된다고 보고되었고(Roh et al., 2007), 국내에서 폐암으로 새로 진단되어 입원한 환자 중 일차 병원별 회의를 거쳐 직업병 감시체계 협의회의 작업관련성 평가에서 possible 이상으로 평가된 환례중 노출물질이 크롬인 사례도 다수이며(Kim et al., 2005), 실제로 크롬(6가) 노출이 호흡기 암의 위험을 크게 증가시키는 것으로 나타났다(Proctor et al., 2014; Urbano et al., 2012).

Li et al.(2016)은 직업종사자의 혈중 크롬 노출수준을 20 $\mu\text{g/L}$ 로 권장하였다. 본 연구의 문헌검토에서 생물학적 노출지표인 혈중 크롬 권장 기준값을 초과하는 것으로 나타난 업종은 가죽 제조업[무두질 작업자(167.58 $\mu\text{g/L}$)]과 치과 기술자(346.36 $\mu\text{g/L}$) 등이며, 요중 크롬은 타일이나 유리 제조업, 시멘트나 중크롬산 취급 근로자에서 높게 관찰되었다(Chou et al., 2016; Kargar Shouroki et al., 2018; Wang et al., 2012). 다만, 이러한 결과는 국외 연구사례로 국내문헌은 검색 기간 설정범위 내에서는 일부 검색되었으나 주로 크롬 취급근로자의 작업환경중 공기중 농도에 연구들이며, 생물학적 노출지표(혈중이나 요중 크롬)에 대한 결과는 제시되지 않았다. 한편 2010년 이전 국내 연구에서 Lee & Shin(2001)은 크롬 도금공정 근로자의 전혈 및 요중 크롬농도는 각각 8.38 $\mu\text{g/L}$, 11.9 $\mu\text{g/L}$ 로 보고하였고, Cha(1988)는 치과기공사 48명을 대상으로 한 연구

에서 전혈 및 요중 크롬농도는 각각 25.1 $\mu\text{g/L}$, 16.38 $\mu\text{g/L}$ 로 보고한바 있다. 이상의 결과는 같은 업종이라도 연구시기 및 작업환경의 노출특성 등에 따라 취급근로자의 노출수준에 미치는 영향요인은 다양하게 존재할 수 있어 단순 비교하는데 한계가 있다. 또한 소변중 총 크롬은 TLV-TWA에 의해 기중 호흡기영역에서 크롬(가용성 6가)의 측정과 업무종료시점에서의 소변중 크롬의 농도 또는 업무 중 관찰되는 소변중 크롬의 증가 사이에서 나타나는 상관성에 기초하고 있어 폐암, 임상적인 신장 기능의 변화, 또는 피부나 호흡의 자극과 같이 잠재적인 건강효과를 예측하지 못한다고 보고된바 있다(Roh et al., 2007).

한편 최근 연구에서 크롬의 노출은 유전적 독성과 관련이 있고(Bai et al., 2019; Xia et al., 2019), 낮은 수준의 직업적 노출에도 DNA손상을 유발하는 것으로 보고되었다(Zhang et al., 2011). Hu et al.(2018)은 크롬(6가)의 노출이 과메틸화(hypermethylation)에 의하여 DNA 복구 유전자 발현을 억제할 수 있다고 하였고, Pan et al.(2018)은 전기도금회사에서 크롬(6가)에 노출된 105명의 남성 근로자를 대상으로 DNA 손상 및 지질과산화의 반응산물인 MDA(malondialdehyde)의 수준을 평가하였는데 크롬(6가) 노출 및 요중 크롬 수준은 요중 MDA와 높은 상관관계가 있었고, 요중 크롬이 10배 증가하면 요중 MDA가 1.45배 증가하는 것으로 나타나 크롬(6가) 노출 증가가 DNA 손상과 지질의 산화를 악화시키는 것으로 보고하였다. 국내에서는 크롬 노출에 의한 암 발생의 초기단계 변화인 세포 내 유전독성 및 산화적 손상을 평가하고 크롬에 노출된 집단에의 적용성 여부를 판단하기 위해 두 가지 지표 [8-OHdG(8-hydroxydeoxyguanosine) 및 지질과산화의 반응산물인 MDA]에 대한 동물실험 연구에서 지질과산화의 반응산물인 MDA 측정이 더 유용성이 있다고 판단하였고(Maeng et al., 2001), Kim et al.(2006)은 크롬의 농도증가가 메티오닌의 농도를 증가시키는 반면, Hcy의 합성과 대사에 관여하는 SAHHase와 cystathione- β -synthase의 활성도는 유전적으로 밀접한 관련이 있는데 크롬이 Hcy가 Met로 재합성되는 과정에 영향을 미치고 있다고 판단하였다. 한편 우리나라 10개 크롬도금공장의 도금작업근로자 51명을 대상으로 크롬에 의한 유전독성을 평가하고 유전독성지표와 환경적 폭로량 및 내적 폭로량의 상관성 등을 연구한 자료에서는 관찰된 염색체이상빈도와 환경 폭로 및

내적 농도인 혈중 크롬농도와의 상관성은 관찰되지 않았다고 보고하였다(Maeng et al., 1999). 이러한 결과에도 국내에서 최근 10년 이내의 크롬 노출관련 연구는 제한적으로 확인되고 있고 이전 연구도 동물실험 연구 및 일부 유전독성에 관한 연구로 관련업종 및 취급근로자에 대한 유전적 독성 및 관련 지표(8-OHdG 및 MDA 등)에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 활용된 근로자 건강진단 실시결과는 실시한 근로자수가 중복 집계될 수 있는 등 자료의 제한점이 있고(Kim & Kim, 2020), 문헌검토 자료는 최근 국내 현황에 대한 자료를 포함하지 못하여 이후 연구에서 함께 고려되어야 한다. 이러한 자료의 제한점에도 2016년 이후 매년 크롬 직업병 유소견자 및 요관찰자 비율의 증가경향과 최근 연구의 주요결과에서 크롬(6가)은 유전적 독성과 DNA 복구 시스템을 방해할 수 있는 것으로 보고되고 있어(Brooks et al., 2008; Browning et al., 2016; Xia et al., 2019; Zhang et al., 2012), 크롬 취급근로자에 대한 취급업종, 노출수준 및 주요 연구결과, 직업병 유소견자 및 요관찰자 추이를 확인하는 것은 직업병 예방 관리와 향후 관련 연구를 진행하는데 참고가 될 수 있다.

V. 결 론

최근 국내 크롬 취급근로자의 직업병 유소견자 및 요관찰자 추이를 분석하였으며, 국내의 크롬 취급근로자에 대한 문헌을 검토하여 관련업종 및 근로자, 최근 생물학적 노출수준에 대한 동향, 건강영향에 대한 주요 결과를 확인하였다.

크롬 취급근로자의 직업병 유소견자 및 요관찰자의 연도별 비율은 최근 증가하는 경향을 보였다. 직업병 유소견자 및 요관찰자 연평균 비율은 남녀 모두 연령별로 60대 이상, 작업 기간은 10~14년에서 높게 나타났으며, 사업장 규모는 직업병 유소견자의 경우 5인 미만, 직업병 요관찰자의 경우 5~49명인 경우에 높게 나타났다. 산업별로는 직업병 유소견자 경우 제조업, 직업병 요관찰자의 경우 운수업에서 높게 나타났다.

이러한 결과는 국내에서 2016년 이후 사업장내 크롬의 배출량 증가와 함께 크롬 직업병유소견자 및 요관찰자 증가추이 등을 고려할 때 가죽제조업이나 운수업 등 관련업종 및 취급근로자에 대해서는 직업병 예방관리시 우선 대상으로 고려해야 한다. 또한 최근 10년 이내의

국내 크롬 노출관련 연구는 제한적으로 확인되고 있고 유전적 독성 및 관련 지표에 대한 연구도 함께 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

References

- Ambreen K, Khan FH, Bhadauria S, Kumar S. Genotoxicity and oxidative stress in chromium-exposed tannery workers in North India. *Toxicol Ind Health* 2014; 30(5):405-14
- Bai Y, Long C, Hu G, Zhou D, Gao X et al. Association of blood chromium and rare earth elements with the risk of DNA damage in chromate exposed population. *Environ Toxicol Pharmacol* 2019;72: 103237
- Balachandar V, Arun M, Mohana Devi S, Velmurugan P, Manikantan P et al. Evaluation of the genetic alterations in direct and indirect exposures of hexavalent chromium [Cr(VI)] in leather tanning industry workers North Arcot District, South India. *Int Arch Occup Environ Health* 2010;83(7):791-801
- Beattie H, Keen C, Coldwell M, Tan E, Morton J et al. The use of bio-monitoring to assess exposure in the electroplating industry. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2017;27(1):47-55
- Berniyanti T, Palupi R, Kriswandini IL, Bramantoro T, Putri IL. Suitability of MDA, 8-OHdG and wild-type p53 as genotoxic biomarkers in metal (Co, Ni and Cr) exposed dental technicians: a cross-sectional study. *BMC Oral Health* 2020;20(1):65
- Brooks B, O'Brien BJ, Ceryak S, Wise Sr JP, Wise SS et al. Excision repair is required for genotoxin-induced mutagenesis in mammalian cells. *Carcinogenesis* 2008;28:1064-1069
- Browning CL, Qin Q, Kelly DF, Prakash R, Vanoli F et al. Prolonged particulate hexavalent chromium exposure suppresses homologous recombination repair in human lung cells. *Toxicol Sci* 2016;153(1): 70-78
- Cha SS, A study on the heavy metals concentrations in the air of the dental laboratories, in the blood and urine of dental laboratory technicians. *Journal of Technologic Dentistry* 1988;10(1):11-24
- Chou TC, Wang PC, Wu JD, Sheu SC. Chromium-induced skin damage among Taiwanese cement workers. *Toxicol Ind Health*. 2016;32(10):1745-51
- Goldoni M, Caglieri A, De Palma G, Acampa O, Gergelova P et al. Chromium in exhaled breath condensate (EBC), erythrocytes, plasma and urine in the biomonitoring of chrome-plating workers exposed to soluble Cr(VI). *J Environ Monit* 2010;12(2):442-7
- Halasova E, Matakova T, Musak L, Polakova V, Letkova L et al. Evaluating chromosomal damage in workers exposed to hexavalent chromium and the modulating role of polymorphisms of DNA repair genes. *Int Arch Occup Environ Health* 2012;85(5): 473-81
- Hu G, Li P, Cui X, Li Y, Zhang J et al. Cr(VI)-induced methylation and down-regulation of DNA repair genes and its association with markers of genetic damage in workers and 16HBE cells. *Environ Pollut* 2018;238:833-843
- Hu G, Long C, Hu L, Xu BP, Chen T et al. Circulating lead modifies hexavalent chromium-induced genetic damage in a chromate-exposed population: An epidemiological study. *Science of the Total Environment* 2021;752:14182
- Hu G, Wang T, Liu J, Chen Z, Zhong L et al. Serum protein expression profiling and bioinformatics analysis in workers occupationally exposed to chromium (VI). *Toxicol Lett* 2017;277:76-83
- Jia J, Li T, Yao C, Chen J, Feng L, Jiang Z et al. Circulating differential miRNAs profiling and expression in hexavalent chromium exposed electroplating workers. *Chemosphere* 2020;260:127546
- Junaid M, Hashmi MZ, Malik RN. Evaluating levels and health risk of heavy metals in exposed workers from surgical instrument manufacturing industries of Sialkot, Pakistan. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016; 23(18):18010-26
- Jeong EG, Ha GC. Development of occupational and industrial health guide and occupational health summary for manufacturing plan. *Occupational Safety and Health Research Institute Research.*; 2018. p. 190-443
- Kargar Shouroki F, Shahtaheri SJ, Golbabaee F, Barkhordari A, Rahimi-Froushani A. Biological Monitoring and Lung Function Assessment among Workers Exposed to Chromium in the Ceramic Industry. *J Res Health Sci* 2018;18(1):e00408
- Khan DA, Mushtaq S, Khan FA, Khan MQ. Toxic effects of chromium on tannery workers at Sialkot (Pakistan). *Toxicol Ind Health* 2013;29(2):209-15

- Kim KW, Kim KS, Park IJ, Kang SK, Oh SS et al. Effects of occupational chromium exposure on plasma homocysteine, folate and vitamin B12 concentration. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2006;16(2):245-253
- Kim NS, Kim YB. Relationship of Follow-up Management, Trend of Possible Occupational Disease and Probable Occupational Disease: Focusing on Lead or Cadmium Workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2020;30(4):378-386
- Kim JI, Kim JH, Kang DM, Kim JW, Kim JE et al. Epidemiologic characteristics of occupational lung cancer in the Busan area. *Korean J Occup Environ Med*, 2005;18(1):53-58
- Lee JT, Shin YC. Relationship between worker's exposure to airborne chromium and blood and urine chromium levels in plating process. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2001;27(3):1-10
- Leese E, Morton J, Gardiner PHE, Carolan VA. The simultaneous detection of trivalent & hexavalent chromium in exhaled breath condensate: A feasibility study comparing workers and controls. *Int J Hyg Environ Health* 2017;220(2 Pt B):415-423
- Li Y, Li P, Yu S, Zhang J, Wang T et al. miR-3940-5p associated with genetic damage in workers exposed to hexavalent chromium. *Toxicol Lett* 2014;229(1):319-26
- Li P, Li Y, Zhang J, Yu SF, Wang ZL et al. Establishment of a reference value for chromium in the blood for biological monitoring among occupational chromium workers. *Toxicol Ind Health* 2016;32(10):1737-44
- Maeng SH, Yu IJ, Kim HY, Lee KS, Im CH et al. A study on genetic and oxidative damage by metallic compounds. *Occupational Safety and Health Research Institute Research.*; 2001. p. 33-34
- Maeng SH, Lee YM, Yu IJ, Im CH, Lee KY et al. A study on the genotoxicity of industrial chemicals -Chromosomal rearrangements in chromium exposed workers using fluorescence *in situ* hybridization(FISH). *Occupational Safety and Health Research Institute Research.*; 1999. p. 33-34
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Results of workers' health examination in 2016.; 2016. p. 41-173
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Results of workers' health examination in 2019.; 2019. p. 39-171
- Ministry of Employment(MoE). Results report for chemicals statistic survey; 2019 [Accessed 2021 July 27]. Available from: <https://kosis.kr/statistics> List/statistics ListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01&outLink=Y&entRType=#content-group
- Nickens KP, Patierno SR, Ceryak S. Chromium genotoxicity: a double-edged sword. *Chem Biol Interact* 2010;188:276-288
- Pan CH, Jeng HA, Lai CH. Biomarkers of oxidative stress in electroplating workers exposed to hexavalent chromium. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2018;28(1):76-83
- Proctor PM, Suh M, Campleman SL, Thompson CM. Assessment of the mode of action for hexavalent chromium-induced lung cancer following inhalation exposures. *Toxicology* 2014;325:160-179
- Roh JH, Won JU, Choi HC, Cho KH, Kim CN. A study on plans for applying BEI of chemicals in Korea. *Ulsan; Occupational Safety and Health Research Institute Research.*; 2007. p. 209-224
- Srigboh RK, Basu N, Stephens J, Asampong E, Perkins M et al. Multiple elemental exposures amongst workers at the Agbogbloshie electronic waste (e-waste) site in Ghana. *Chemosphere* 2016;164:68-74
- Su TY, Pan CH, Hsu YT, Lai CH. Effects of Heavy Metal Exposure on Shipyard Welders: A Cautionary Note for 8-Hydroxy-2'-Deoxyguanosine. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16(23):4813
- Tsuchiyama T, Tazaki A, Hossain MM, Yajima I, Ahsan N et al. Increased levels of renal damage biomarkers caused by excess exposure to trivalent chromium in workers in tanneries. *Environmental Research* 2020;188:109770
- Urbano AM, Ferreira LM, Alpoim MC. Molecular and cellular mechanisms of hexavalent chromium-induced lung cancer: an updated perspective. *Curr Drug Metabol* 2012;13:284-305
- Wang TC, Feng WY, Kuang D, Deng QF, Zhang WZ et al. The effects of heavy metals and their interactions with polycyclic aromatic hydrocarbons on the oxidative stress among coke-oven workers. *Environ Res* 2015;140:405-13
- Wang TC, Jia G, Zhang J, Ma YH, Feng WY et al. Renal impairment caused by chronic occupational chromate exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 2011;84(4):393-401
- Wang TC, Jia G, Zhang J, Ma YH, Liu LZ et al. Vitamin B12 and folate deficiency and elevated plasma total homocysteine in workers with chronic exposure to chromate. *Occup Environ Med* 2011;68(12):870-5
- Wang TC, Jia G, Song YS, Zhang J, Ma YH et al. Effects

- of chronic chromate exposure on human serum prostate specific antigen: a cross sectional study. *Ind Health* 2012;50(2):95-102
- Wang TC, Song YS, Yu SF, Zhang J, Wang H et al. Association of folate deficiency and selected tumor marker concentrations in long-term hexavalent chromium exposed population. *Int J Hyg Environ Health* 2014;217(1):88-94
- Xia H, Ying S, Feng L, Wang H, Yao C et al. Decreased 8-oxoguanine DNA glycosylase 1 (hOGG1) expression and DNA oxidation damage induced by Cr (VI). *Chem Biol Interact* 2019;299:44-51
- Yang L, Xia B, Yang X, Ding H, Wu D et al. Mitochondrial DNA hypomethylation in chrome plating workers. *Toxicol Lett* 2016;243:1-6
- Zhang XH, Zhang X, Wang XC, Jin LF, Yang ZP et al. Chronic occupational exposure to hexavalent chromium causes DNA damage in electroplating workers. *BMC Public Health* 2011;11:224
- Zhang XH, Zhang X, Zhang L, Chen Q, Yang Z et al. XRCC1 Arg399Gln was associated with repair capacity for DNA damage induced by occupational chromium exposure. *BMC Res. Notes* 2012;5:263

<저자정보>

박상일(박사과정), 김남수(연구부교수), 황보영(교수), 김화성(교수), 이성수(교수), 김용배(교수)