한국산업위생학회지 제10권 제1호
Korean Ind. Hyg. Assoc. J
Vol. 10, No. 1, May, 2000

폐암 발생 용접공의 유해물질 노출 평가 및 폐암 원인에 관한 고찰

산업안전보건연구원[1], 인제대학교 산업안전보건학과[2]

이광용[1]† · 박승현[1] · 이나루[1] · 권은혜[1] · 이용학[1] · 최정근[1] · 유기호[1] · 박정선[1] · 정호근[1] · 신용철[2]

-Abstract-

A Case Report on Lung Cancer Caused by Exposure to Welding Fumes in Korea

Gwang Yong Yi[1]† · Seung Hyun Park[1] · Na Roo Lee[1] · Eun Hye Kwon[1]
Yong Hag Lee[1] · Jung Keun Choi[1] · Ki Ho You[1] · Jungsun Park[1]
Ho Keun Jeong[1] · Yong Chul Shin[2]

Dept. of Industrial Health and Hygiene[1],
Occupational Safety and Health Research Institute;
Dept. of Occupational Safety and Health, Inje University[2]

The purpose of this case study is to report a case of lung cancer with exposure to welding fumes of welders in Korea and to demonstrate the causal relationship with exposure to welding fumes, especially with nickel and hexavalent chromium. The case is 47 years old, and had been engaged in welding, gas cutting, grinding and gousing on mild, stainless steel and nickel steel for 11 years from 1982 to 1993, and have been engaged in cleaning steel rollers with a cleaning oil in the same work shop since 1993. The level of welding fume exceeded the occupational exposure limit of 5 mg/m^3 established by the Korean Ministry of Labor and American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH). Especially, detectable hexavalent chromium and nickel was generated during welding, gousing on stainless and nickel steel. However, there was no ventilation systems(local and dilution) and no personal protection. There is several evidence that the past (1983-1993) exposure would be higher than the present. In conclusion, the lung case could be associated with his task including welding, gousing, and this association could be attributed to carcinogenic potential of the nickel and chromium in the fume.

Key Words : lung cancer, welder, welding fume, stainless steel, hexavalent chromium, nickel

접수일 : 1999년 10월 2일, 채택일 : 2000년 2월 28일
†교신저자 : 인천시 부평구 구산동 34-6 산업안전보건연구원
Tel) 032-510 0905, Fax) 032-518-0864, E-mail) yigy@chollian.net

I. 서 론

이 사례 연구의 목적은 국내의 모 철강 제품가공 업체에 근무하였던 근로자에게서 발생한 폐암(비소세포폐암)의 직업관련성 여부와 원인을 추정하는 데 있다. 나이가 47 세인 이 근로자는 1982 년 5 월부터 1993 년까지 4 월까지 압연 롤러의 용접, 절단, 연마 등의 작업을 하였고 이후 압연 롤러의 해체시 세척유를 분사하여 이물질을 제거하고 재조립 작업을 수행하던 중 98년 11월에 폐암으로 진단을 받았다. 이 근로자는 입사 이후 약 11 년간 주로 용접작업에 종사하였다.

본 사례 연구에서는 폐암이 근로자가 수행했던 작업과 관련이 있는지를 판단하기 위해 용접을 비롯한 근로자와 관련이 있는 작업과 이들 작업에서 발생될 수 있는 유해 요인과 그 수준을 평가하는 한편, 과거 노출을 추정할 수 있는 관련 자료를 수집하였다. 이와 같이 얻은 자료들에 근거하여 이 업체에서 발생한 폐암의 직업관련성과 그 원인을 추정하였다

II. 방 법

폐암이 발생한 근로자의 유해물질 노출력을 파악하기 위해 동료 근로자 면담, 공정도면, 물질안전보건정보(MSDS), 작업환경측정보고서 검토 그리고 현장조사를 실시하였다. 이를 통해 공정, 발생가능유해인자, 작업 시간, 작업 강도, 취급원료 및 성분, 작업조건, 원료, 공정 변경여부 등 노출력과 관련된 정보를 입수하였다.

현재의 노출상태를 파악하고 폐암 발생 근로자의 노출력을 추정하기 위해 이 근로자가 수행한 작업(일반용접, 특수용접, 연마, 절단)에 대해 공기중 총흄, 총크롬, 니켈 등 금속 및 6가 크롬 농도를 측정하였다. 근로자의 노출농도를 추정하기 위해 가능한 한 과거에 사용했던 재료들을 가지고 작업하도록 하였으나, 모재인 압연 롤러는 과거에 사용하였던 것을 구할 수 없어 현재 사용중인 재료를 사용하였다. 여기에서 구한 측정자료와 면담 등을 통해 얻은 정보는 과거 노출상태를 추정하는 근거로 이용하였다.

공기중 총흄(또는 금속)과 6가 크롬 시료는 서로 다른 종류의 여과지에 채취하여야 하므로 2 종류의 여과지를 사용하여 2개의 개인시료를 동시에 채취하였다. 개인시료와 함께 작업을 수행하고 있는 근로자 주위에서 장소시료를 동시에 측정하였다. 공기중 총흄 측정은 NIOSH Method #0500을 이용하였으며 mixed cellulose ester membrane(37-mm diameter, 0.8-μm pore size, Millipore Corp.)여과지에 시료를 채취하여 천평(2000D, Sartorius Co.)으로 여과지의 무게를 재어 농도를 산출하였다. 중량 분석이 끝난 여과지는 흄중에 존재하는 니켈 등의 금속 분석에 이용하였다. 시료여과지의 전처리는 NIOSH Method #7300 (NIOSH, 1994)의 마이크로파회화기(microwave digestion system, MDS 2000, CEM Corp.) 전처리방법으로 회화하였고, 회화된 시료는 원자흡수분광광도계(atomic absorption spectrometry, Model 880, Varian Corp.)로 분석하였다.

6가 크롬은 NIOSH Method #7604(NIOSH, 1994)을 이용하였고 PVC 여과지(37-mm diameter, 5.0-μm pore size, Nuclepore Corp.)에 시료를 채취, 2% NaOH/3% Na_2CO_3 용액으로 6가 크롬을 추출한 후 이온크로마토그래피(ion chromatography, IC/ conductibity detector, Dionex Corp)로 분석하였다. 6가 크롬중 수용성 6가 크롬은 탈이온수로 추출하여 IC로 분석하였다.

III. 결 과

1. 직업력 및 작업 조건

근로자는 1982년 5월에 입사하여 1993년 4월까지 "롤 설계부 가이드반"에서 압연 롤러의 보수, 준비 등을 위해 용접, 절단, 연마 등의 작업을 수행하였으며

1993년 4월 이후부터 98년 11월 폐암 진단을 받기 전까지 "형강압연부 가이드반"에서 롤 해체시 세척유를 분사하여 이물질을 제거하는 작업을 수행하였다.

폐암이 발생된 근로자가 과거에 근무하였던 부서 명칭은 바뀌었고 작업 공간도 일부 변경되었다. 근로자가 과거에 작업하였던 용접, 절단, 연마 등의 작업은 현 부서에서도 계속적으로 수행되고 있었으나 과거에는 현재보다 작업공간이 좁았고 칸막이가 설치되어 있어 발생된 유해물질이 축적될 수 있는 조건이었다.

이 근로자는 1982년 5월부터 1993 년 4월까지 2교대로 1 일 12 시간 근무하였고, 작업 내용별 시간 분포를 보면 일반용접 6 ~ 7시간, 특수용접(니켈강 용접, 스테인레스강 용접) 2 ~ 3시간, 연마 3 ~ 4시간, 산소절단 또는 가우징(gousing) 1 ~ 2시간으로 조사되었다. 1993년 4월 이후부터는 24시간 3교대로 1일 8시간 동안 세척유 취급 작업을 수행하였다고 한다.

그림 1은 근로자가 근무했던 형강압연부 가이드반의 작업장 및 작업상황으로 작업장소에는 국소배기장치가 설치되어 있지 않아 열려 있는 출입문을 통해서만 통풍이 되고 있어 환기가 매우 미흡한 상태였다. 근로자들이 착용하고 있는 마스크도 분진용 면마스크를 착용하고 작업을 하였다. 이러한 작업상황은 과거와도 동일하였다.

이 업체에 입사하기전 이 근로자는 1970년부터 다른 4개 사업장에서 근무한 경력이 있으며 1976 년부터 1980년까지 약 4년 동안 용접에 종사하였으나 이 기간동안의 직업력에 대한 구체적인 자료는 없다. 이 근로자의 과거력이나 가족력상에 특별한 질환력이 없었다. 근로자의 흡연력은 12 ~ 13개피/일 × 15 ~ 20년이었다.

Figure 1. Workers welding on stainless steel roller. The photograph shows that welding fumes are generating from welding sites without local exhaust ventilation.

2. 취급 물질

1) 용접봉

주로 피복아크 용접을 이용하고 있었으나 모재의 성분에 따라서 일반 피복아크 용접(연강용접)과 특수 용접(스테인레스강 또는 니켈강 용접)으로 구분하고 있었다. 사용한 용접봉의 종류는 다음과 같다.

- 연강용 피복아크 용접봉(LC-300): 심선의 주요 성분은 탄소강이 70% 정도이며, 피복제에 방해석, 장석, 망간 등이 함유되어 있다. 이 부서에서 사용되는 피복아크용접봉의 월 사용량은 80kg 이었다.
- 스테인레스강 용접봉 (NC-309 및 NC-309L) : 심선에는 크롬 19.5% ~ 20.0%, 니켈 9.5 ~ 11% 정도 함유되어 있으며, 피복제에는 금홍석, 운모, 방해석, 크롬, 망간 등이 함유되어 있다. 스테인레스강 용접봉의 월 사용량은 5k이었다.
- 니켈강 용접봉(UTP 85 FN): 니켈강 용접봉은 주성분인 니켈이 54% 함유되었으며 나머지는 철이 대부분이었다. 이 용접봉의 월 사용량은 10k이었다.

2) 모재

모재는 high chromium rolls을 사용하다가 최근에 들어서 high carbon cast steel rolls(Adamite)을 사용하고 있었다. 두 모재의 조성은 표 1에 정리되어 있다. 이 표에서 보듯이 high chromium rolls과 high carbon cast steel rolls의 크롬 함량은 각각 10 - 20% 및 0.5 ~ 1.8%로 큰 차이가 있었다.

3) 세척액

이 부서에서 이루어지고 있는 세척작업에 사용되는 세척액에는 톨루엔 10 -15 %, carbon black 1 - 3%, acryl 변성수지 85 - 95 %가 함유되어 있다.

3. 공기중 유해물질 노출 수준

이 부서에서는 용접(연강 피복아크 용접, 스테인레스강 용접, 니켈강 용접), 산소절단 및 가우징 작업이 이루어지고 있었다. 각 작업에서의 채취한 개인 시료 및 장소시료의 유해물질 농도는 각각 표 2 및 표 3과 같다.

Table 1. Chemical composition of base metals

Base Metal	Type	Chemical Composition, %					
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
High carbon cast steel rolls(Adamite)	AQ-110/230	1.1-2.4	0.3-1.0	0.6-1.2	0.8-1.7	0.8-1.2	0.2-0.5
	GS-120/220	1.2-2.2	0.8-1.7	0.5-1.2	0.5-1.8	0.5-1.5	0.2-0.5
	AQS-120/170	1.2-1.8	0.3-0.6	0.8-1.3	0.5-1.5	0.8-1.3	0.2-0.8
High chromium rolls	HCR	2.0-3.0	0.3-0.7	0.4-1.0	0.5-1.5	12.5-15.0	0.3-0.8
	HSV	1.0-2.4	0.5-1.5	0.7-1.3	<1.0	10.0-14.0	2.0-5.0
	HCV, HCMV	2.0-3.2	0.5-1.5	0.7-1.3	<2.0	14.0-20.0	1.0-4.0

Note: Major component of base metal is Fe. Fe data are not included in this table.

Table 2. Concentration of total fume, total chromium, hexavalent chromium, Ni and other metals at personal breathing zone by operation

Operation	Concentration, mg/m³					
	Fume	Total Cr	Cr(VI)	Ni	Mn	Fe
Stainless steel MMA welding	8.55* (3.35-30.4)†	0.125 (0.055-0.328)	0.023 (ND-0.130)	0.096 (0.038-0.378)	0.112 (0.060-0.328)	1.68 (1.03-3.43)
Ni steel MMA welding	7.52 (5.64-10.6)	0.026 (0.005-0.053)	0.010 (ND-0.028)	0.121 (0.088-0.177)	0.048 (0.024-0.064)	1.42 (0.764-1.87)
Mild steel MMA welding	15.1 (6.10-32.0)	0.003 (0.001-0.013)	ND	0.002 (ND-0.706)	0.182 (0.005-1.19)	0.879 (0.073-3.14)
Stainless steel gas gouging	36.3 (17.2-65.4)	0.266 (0.146-0.396)	0.0144 (ND-0.027)	0.372 (0.177-0.706)	0.355 (0.192-0.539)	12.4 (8.14-17.3)
Mild steel gas gouging	86.0	0.010	ND	0.016	0.268	19.4
Mild steel gas cutting	7.51 (6.36-8.87)	0.007 (0.003-0.014)	ND	0.018 (0.008-0.042)	0.042 (0.036-0.047)	3.52 (2.71-4.59)
Sand blasting	2.14 (2.11-2.17)	0.006 (0.003-0.009)	ND	0.049 (0.009-0.262)	0.016 (0.013-0.018)	0.879 (0.672-1.15)
Cleaning	1.95 (1.34-2.83)	0.003 (0.001-0.011)	ND	0.002 (ND-0.008)	0.020 (ND-0.819)	0.316 (0.072-1.38)

Note : ND = Not detected. Limit of detection is 0.007 mg/m^3 for hexavalent chromium, 0.001 mg/m^3 for nickel, and 0.001 mg/m^3 for manganese.

*Geometric mean

†Range

Table 3. Concentration of total fume, total chromium, hexavalent chromium, Ni and other metals in area samples by operation

Operation	Concentration, mg/m³					
	Fume	Total Cr	Cr(VI)	Ni	Mn	Fe
Ni steel MMA welding	13.3* (10.9-18.8)†	0.056 (0.038-0.099)	0.013 (ND 0.040)	0.291 (0.242-0.403)	0.127 (0.067-0.292)	2.04 (1.85-2.28)
Stainless steel MMA welding	43.5 (16.5-129.1)	2.04 (0.540-7.99)	0.841 (0.190-2.57)	0.441 (0.165-0.998)	1.39 (0.412-5.05)	2.04 (1.85-2.28)
stainless steel gas gouging	192.0 (133.2-294.7)	1.18 (0.974-1.49)	0.045 (0.035-0.051)	1.743 (1.23.-2.55)	1.75 (1.44-2.16)	12.8 (6.32-43.6)

*Geometric mean

†Range

1) 총흄 또는 총분진

근로자가 수행한 작업을 대상으로 총흄 또는 총분진 농도를 측정한 결과, 특수 용접인 니켈강 및 스테인레스강 용접에서의 총흄의 평균 농도는 각각 7.52 mg/m^3 및 8.56 mg/m^{3}이었고 연강용접에서는 평균 15.1 mg/m^{3}이었다. 산소절단 작업에서의 농도는 특수강 용접과 유사한 수준의 총흄이 발생됨을 알 수 있었다 (평균 7.51 mg/m^3). 총흄 발생이 높은 농도를 보인 작업은 특수강, 연강을 가우징하는 작업으로 모재가 특수강인 경우 평균 36.3 mg/m^{3}이었고 연강인 경우 86.0 mg/m^{3}로 매우 높은 수준이었다. 용접흄 노출기준과 비교했을 때, 공기중 용접흄 농도는 대부분의 시료(83.3%)가 노동부(1998) 노출기준인 5 mg/m^{3}을 초과하였다. 특히, 세척작업을 수행하는 근로자도 인접작업의 영향으로 평균 1.95 mg/m^{3}의 흄에 노출되는 것으로 나타났다. 지역시료의 경우 가우징 작업에서 최고 294.7 mg/m^{3}의 높은 농도를 보인 시료가 있었다.

2) 총크롬

개인시료의 총크롬 농도는 스테인레스강 용접 0.125 mg/m^3 (0.055 ~ 0.328 mg/m^3), 가우징 0.266 mg/m^3(0.146 ~ 0.396 mg/m^3), 니켈강 용접 0.026 mg/m^3(0.005 ~ 0.053 mg/m^3)이었으며 이와 다른 작업의 경우 0.01 mg/m^3 미만으로 나타났다. 전체 총크롬 개인시료중 노동부(1998) 노출기준 0.5 mg/m^{3}을 초과하는 시료는 없었다.

이들 작업중 발생원 근처에서 측정한 지역시료의 농도는 스테인레스강 용접 2.04 mg/m^3(0.540 ~ 7.99 mg/m^3), 가우징 1.18 mg/m^3(0.974 ~ 1.49 mg/m^3), 니켈강 용접 0.056 mg/m^3(0.038 ~ 0.099 mg/m^3)이었다. 따라서 스테인레스강 용접과 가우징 작업에서는 고농도의 크롬이 발생되는 것을 알 수 있었다.

3) 6가 크롬

폐암 환자가 수행한 작업을 대상으로 개인의 노출농도를 측정한 결과, 스테인레스강 용접과 가우징 작업에서 6가 크롬이 검출되었다. 이 공정에서의 공기중 6가 크롬 농도는 스테인레스강 용접 0.023 mg/m^3 (ND ~ 0.130 mg/m^3), 가우징 작업 0.014 mg/m^3 (ND ~ 0.027 mg/m^3)으로 나타났다. 스테인레스강 용접에서 채취한 6개의 개인 시료중 6가 크롬이 검출된 시료는 4건이었고, 이중 2 개 시료의 값은 0.054 ~ 0.130 mg/m^{3}로 노출기준 0.05 mg/m^{3}을 초과하였다. 가우징시 모재가 가열되고 모재중의 크롬이 용해되면서 공기중 발생된 것으로 판단되며, 크롬 함량이 높은 모재를 사용했던 과거에는 근로자의 노출 수준은 현재보다 더욱 높았을 것으로 판단된다. 스테인레스강 용접중 발생한 총크롬중 6가 크롬 함량은 약 30%였고 이중 수용성 6가 크롬은 약 70%이었다.

한편, 니켈강 용접작업 근로자의 호흡위치에서 채취한 4 개 시료중 1 개 시료에서 6가 크롬이 검출되었다(0.0281 mg/m^3). 니켈강 용접중 검출한계 이상의 6가 크롬 농도를 보인 시료는 인접한 스테인레스강 용접작업에서 확산된 크롬의 영향에 기인한 것으로 추정된다.

이외에 연마, 연강용접 및 연강 절단 작업 근로자의 6가 크롬 노출은 검출한계 미만이었다. 연마 작업에서는 고열이 발생되지 않아 6가 크롬이 생성되지 않은 것으로 보이며, 연강용접 및 절단작업에서는 사용 모재와 용접봉속에는 크롬의 함량이 낮아 공기중에 발생되는 6가 크롬의 양이 매우 적었을 것이다.

개인 시료와 함께 흄 또는 분진이 발생하는 위치에서 채취한 지역시료의 농도는 스테인레스강 용접 0.841 mg/m^3(0.190 ~ 2.571 mg/m^3), 가우징 작업 0.045 mg/m^3(0.035~0.051 mg/m^3), 니켈강 용접에서는 3개 시료중 1 개 시료에서 검출되었으며 그 값은 0.040 mg/m^{3}이었다. 그러나 연강용접, 연마 등의 다른 작업중 채취한 지역시료에서는 6가 크롬이 검출되지 않았다.

4) 니켈

우리나라 노동부(1998)의 니켈(금속)에 대한 노출기준인 1 mg/m^{3}을 초과하는 시료는 없었으며, 작업

별 노출농도는 가우징(특수강) 0.372mg/m^3(0.177 ~ 0.706mg/m^3), 니켈강 용접 0.121mg/m^3(0.088 ~ 0.177mg/m^3), 스테인레스강 용접이 0.096mg/m^3 (0.038 ~ 0.378mg/m^3), 연마 0.049 mg/m^3 (0.009 ~ 0.262mg/m^3)이었으며 기타 작업의 경우는 0.02 mg/m^3 이하의 수준이었다.

가우징 작업에서 측정한 지역시료의 농도는 1.743 mg/m^3(1.225 ~ 2.545 mg/m^3), 스테인레스강 용접의 경우 0.441 mg/m^3(0.165 ~ 0.998 mg/m^3), 니켈강 용접의 경우 0.291 mg/m^3(0.242 ~ 0.403 mg/m^3)이었다. 스테인레스강 용접에 사용되는 스테인레스강 용접봉에 비교적 많은 양의 니켈이 함유되어 있으며, 용접시 사용되는 전류의 세기가 높아 니켈강 용접봉을 사용하는 니켈강 용접 작업보다 농도가 높게 나타난 것으로 보인다.

5) 기타 유해물질

용접 근로자가 주로 노출되는 금속은 철, 크롬, 니켈, 망간이었으며 철은 개인시료의 경우 0.072 ~ 17.3 mg/m^{3}이었으며, 지역시료에서는 1.85 ~ 43.6 mg/m^{3}이었다. 망간은 ND ~ 1.19 mg/m^3, 0.067 ~ 5.05 mg/m^{3}이었다.

6) 세척 작업자의 간접 노출

근로자가 질병 발생되기 전까지 근무한 세척 작업에서도 Table 2에서 보듯이 평균 1.95 mg/m^3 수준의 용접흄에 노출되는 것으로 나타났다. 이 작업 근로자는 크롬 및 니켈에도 저농도로 노출되나 6가 크롬의 노출 농도는 검출한계 미만이었다. 본 대상 부서는 작업공간이 협소하고 국소배기 설비가 설치되어 있지 않아 용접 또는 절단 등의 작업에서 발생된 유해물질에 인접한 세척 작업 근로자가 노출될 수 있었다.

4. 과거 노출 추정

이 사업장이 보존하고 있는 과거 작업환경 측정 기록은 1997년에 실시한 소음, 산화철분진 자료 밖에 없다. 이 해에 2회 측정한 산화철분진(총흄 또는 총분진으로 간주할 수 있음) 농도는 97년 상반기에 0.58 mg/m^3 이었고 하반기에는 300배 이상의 노출기준 초과하는 것으로 측정되어 재측정을 권유받았다는 기록이 있다. 이 자료도 2년전의 자료일 뿐만 아니라 2회의 결과는 매우 큰 차이가 있고 또한 시료수가 너무 작아 근로자의 과거 정확한 노출상태를 파악하기에는 큰 제한점이 있다. 따라서 현재의 근로자 노출평가자료, 과거의 작업장 상태, 작업 강도(작업시간), 작업환경관리 실태, 개인 보호상태, 취급 원재료에 대한 정보 등에 근거하여 근로자의 과거 노출수준을 추정하였다.

본 연구 조사 당시 이 부서에는 국소배기 설비가 설치되어 있지 않아 오염물질이 제거되지 않았고, 또한 근로자들은 호흡보호 마스크를 착용하지 않거나 규격에 맞지 않는 면 마스크를 착용한 상태에서 작업을 수행하고 있었는데, 과거에도 이와 유사한 상황이었다고 한다. 더욱이 과거에는 1 일 2 교대제로 하루에 12 시간 동안 근무하여(현재 1 일 작업시간은 8 시간임) 작업강도가 현재보다 크고, 또한 작업장소는 칸막이로 구분되어 있어 유해물질 축적으로 인해 실제 근로자의 노출량이 현재보다 더욱 높았을 것으로 추정된다. 또한 과거에 사용했던 모재는 크롬과 니켈의 함량이 높은 것을 사용하였기 때문에 과거의 크롬, 니켈 등의 노출 수준이 높았을 것이다.

본 연구에서 거의 대부분의 작업에서 노출기준을 초과하는 흄 또는 분진이 발생되는 것으로 나타났고 과거의 작업환경, 작업조건 등은 현재보다 더욱 열악하였다는 점에 비추어 보아 근로자의 과거 크롬, 니켈 등을 비롯한 유해물질 노출량은 현재보다 더욱 높았을 것이고 총흄 또는 분진 노출 농도는 노출기준을 초과하는 수준이었을 것으로 판단된다.

한편 이 근로자가 과거에 수행하였던 작업중(1일) 12 시간의 작업시간중 연강용접이 6 - 7 시간으로 가장 많았다. 연강 용접에서는 비록 저 농도이기는 하나 대부분의 시료에서 니켈이 검출되었다. 따라서 근

로자는 저농도의 니켈에 계속적으로 노출되었음을 알 수 있다. 연강을 용접하는 경우 6가 크롬 농도는 검출한계 미만으로 나타났다. 그러나 신용철 등(1998)이 IC/visible absorbance detection 방법을 사용하여 연강 용접중 채취한 시료를 분석한 결과 저농도(0.0018 mg/m^3)의 6가 크롬이 검출되었다고 보고한 바 있어 연강 용접에서도 미량의 6가 크롬에 매일 계속적으로 노출되었을 가능성을 배제할 수 없다.

최근 작업 환경 평가결과, 크롬이 함유된 스테인레스강 및 니켈을 용접 및 절단 작업에서는 6가 크롬과 니켈이 검출되었고 일부 시료는 노출기준을 초과하는 수준으로 나타났다. 따라서 이 작업을 수행하였던 근로자는 6가 크롬과 니켈에 노출되었을 것이다. 한편, 세척작업에서도 용접흄, 니켈등이 검출되는 것으로 나타나 이 근로자의 직무가 세척작업으로 변경된 이후에도 인접 작업에서 확산된 6가 크롬, 니켈 등의 유해물질에 간접적으로 노출되었을 것으로 추정된다.

IV. 고 찰

용접과 폐암과의 연관성에 관한 많은 역학 연구중에서 일부는 흡연과 석면 노출과 같은 혼란변수의 영향을 제어하지 못한 제한점이 있어 명확한 결론을 이끌어 내는데 어려움이 있으나, 용접 근로자의 폐암 위험도 증가가 통계적으로 유의하였다고 보고하거나 통계적으로 유의한 양-반응 관련성이 있었다고 보고한 여러 연구가 있다(Sjogren, 1980; Beaumont and Weiss, 1981; Gerin et al., 1984; Sjogren, 1980; Steenland et al, 1986; Schoenberg et al., 1987; Sjogren et al., 1987). 또한 일부 연구에서는 스테인레스강 용접중 발생된 유해물질 노출량과 폐암 위험도간에는 강한 연관성이 있다고 보고하였으며(Sjogren, 1980; Gerin et al., 1984; Steenland et al, 1986; Schoenberg et al., 1987; Sjogren et al., 1987), 이러한 연관성은 흄중에 존재하는 니켈과 크롬의 발암성에 기인한 것으로 추정하였다(AIHA, 1984; Sjogren et al., 1987).

International Agency for Research on Cancer (IARC, 1990)에서는 용접흄을 인체에 발암 가능성이 있는(possibly carcinogenic to humans, Group 2B) 물질로 규정하고 있으며 6가 크롬과 니켈화합물(nickel compounds)은 인체에 발암성이 있는(carcinogenic to humans, Group1) 물질로 규정하였다. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 1999)에서는 6가 크롬을 발암물질(confirmed human carcinogen, A1)로 규정하고 있으며 노출기준은 수용성 0.05 mg/m^{3}과 불용성 0.01 mg/m^{3}으로 설정하고 있고, 또한 불용성 니켈도 폐암 유발 물질로 규정하고 있으며 노출기준을 0.2 mg/m^{3}로 설정하고 있다.

용접작업, 특히 스테인레스강 용접중에 공기중으로 6가 크롬, 니켈이 발생하는 것으로 알려져 있다(Koponen et al, 1981; Gray et al., 1983; Zatka, 1985; Sjogren et al., 1987; Karlsen et al., 1994, 신용철 등, 1998;). 6가 크롬과 니켈 화합물은 인체 발암성이 있기 때문에 이들 물질의 흡입으로 인해 폐암이 유발될 가능성이 충분히 있다(AIHA, 1984; IARC, 1990; ACGIH, 1999;).

폐암 사례가 발생된 본 사업장의 경우 노출기준 이상의 용접흄이 발생되며 스테인레스강 및 니켈강 용접중에는 발생된 6가 크롬과 니켈에 근로자가 노출되고 있었다. 작업조건 등 노출에 영향을 미칠 수 있는 여러 요인들을 고려했을 때 과거의 노출수준은 현재보다 더 높았을 것으로 추정되었다.

본 증례의 경우 15 - 20년 동안 하루 12 - 13개피의 흡연력이 있었다. 흡연은 폐암을 유발할 수 있는 원인으로 알려져 있기 때문에 흡연에 의한 폐암 발생 가능성을 배제할 수 없다. 하지만 이 근로자의 흡연력은 20세 이상 한국 남성의 1일 평균 흡연량인 20개피(통계청, 1997)보다 적고 일반적인 폐암 발생 연령에 비해 비교적 젊은 나이(49세)에 폐암이 발생한 점으로 미루어 보아 용접흄에의 직업적 노출과 흡연이

상승적으로 작용하여 폐암 발생시기가 앞 당겨졌을 것으로 추정된다. 이 증례에서 용접 작업 개시 시기가 흡연 개시 시기보다 앞서기 때문에 용접흄은 폐암의 initiator로, 흡연은 promotor로 작용한 것으로 생각할 수 있다.

본 증례에서는 발암물질을 함유한 용접흄에의 직업적 폭로와 함께 흡연이 폐암 발생에 상승적으로 기여하였고, 흡연량이 비교될 만한 집단에 비해 상대적으로 적은 점, 일반적인 폐암 발생 연령보다 젊은 연령에서 폐암이 발생한 점, 발암물질을 함유한 용접흄에 노출된 후 20년 이상의 긴 잠복기가 있었다는 사실로 미루어 보아 폐암이 직업적 노출에 의한 가능성을 배제할 수 없다.

우리나라에서 용접에 종사하고 있는 근로자는 약 20 - 80만 명으로 추산되고 있어 (한국산업안전공단, 1996) 이 업종에 종사하는 근로자 규모가 크다고 볼 수 있다. 용접 근로자의 폐암 발생 위험이 있으며 본 사례와 같이 용접에 종사하였던 근로자에게서 폐암이 발생하였기 때문에 이들 업종에 종사하는 근로자의 발암 위험을 인식하고 대책을 강구하여야 할 것이다.

용접 작업중 스테인레스강이나 니켈강을 용접하는 경우 발암물질로 알려진 6가 크롬과 니켈이 고농도로 발생될 수 있음을 인식하여야 한다. 따라서 이러한 작업을 수행하는 경우 노출을 가능한 한 최소한으로 유지될 수 있도록 작업환경을 관리하여야 한다. 본 연구의 대상 작업장은 근로자의 노출방지를 위해 대책이 거의 없는 상태였다. 이 작업장은 국소배기시설이나 전체환기시설이 없는 상태에서 작업을 수행하고 있어 고농도의 유해물질에 근로자가 노출되고 있으므로 환기시설을 설치하여 근로자의 노출을 방지하여야 할 것이다. 그리고 용접과 가우징 작업에서 다량의 유해물질이 발생되나 작업공간이 협소하여 매우 인접한 위치에 있는 세척작업자가 확산된 유해물질에 영향을 받을 수 있었다. 따라서 인접 작업에서 발생된 유해물질의 간접적인 노출을 방지하기 위해 국소배기시설 설치, 격리 등의 개선을 강구하는 것이 필요하다. 공학적인 개선이 이루어지기까지는 근로자는 호흡보호구를 착용하여 유해물질 노출을 방지하여야 한다.

V. 결 론

본 논문은 용접 및 절단 작업에 종사한 근로자에게서 발생한 폐암의 직업관련성과 폐암의 원인을 규명한 것이다. 폐암이 발생한 근로자가 근무한 부서는 주로 용접, 절단, 세척이 주요 작업이었고 스테인레스강 및 니켈강을 용접하는 경우도 있었다. 이 환자는 1976년부터 1992년까지 주로 용접, 절단 작업을 수행하였고 이후부터는 세척 작업에 종사하였다.

본 조사 당시 이 업체의 작업환경관리가 매우 미흡하였고(환기시설 없음) 개인 보호상태도 미흡(호흡보호구 미착용, 부적합한 면 마스크 사용)한 상태이기 때문에 용접 또는 절단 작업중 6가 크롬과 니켈 등이 함유된 용접흄에 노출되고 있었다. 측정 대상 근로자의 83.3%가 용접흄에 대한 노출기준을 초과하였고, 용접흄 농도가 최고 65.4 mg/m^{3}인 시료도 있었다. 특수강(스테인레스강, 니켈강)을 용접하거나 가우징할 때 공기중에 6가 크롬과 니켈이 발생되었다. 이 특수강을 용접하거나 절단하는 근로자의 6가 크롬 노출농도는 <0.008 - 0.130 mg/m^{3}이었고, 니켈 농도는 0.038 - 0.706 mg/m^{3}이었다. 세척 공정에서 사용되는 세척제에는 발암물질로 의심될 만한 성분은 없었으나 이 작업 위치에서도 인접 용접 작업으로부터 유해물질이 확산되어 이 환자는 93년 이후 세척 작업을 수행하면서도 저농도의 용접흄 등의 유해물질에 노출되었을 가능성이 있었다.

더욱이 과거의 작업공간은 현재보다 밀폐정도가 심해 고농도의 유해물질에 노출 되었으리라 추정되며 이로 인해 일반용접 등 기타 작업을 하는 근로자도 인접한 위치의 스테인레스강이나 니켈강 용접 및 절단공정으로부터 확산된 크롬과 니켈에 간접적으로 노출되었을 가능성이 있다. 또한 과거에 사용했던 모

재의 경우 크롬 함량이 높아 현재의 경우보다 크롬 발생량이 많았으리라 보며, 또한 과거의 1일 작업시간은 12시간으로 현재보다 작업조건이 더욱 열악하여 유해물질 노출량은 현재보다 더 높았을 것으로 추정된다.

본 증례의 경우 흡연이 혼란 변수로 작용하나 흡연량이 한국 성인 남성의 평균 흡연량보다 적었고, 폐암이 발생하기에는 비교적 젊은 나이에 폐암이 발생하였고, 20년 이상의 긴 잠복기가 있었다는 점 등을 고려했을 때 흡연과 용접흄의 직업적 노출이 폐암 발생의 복합적인 원인일 것이다. 또한 두 요인이 상승적으로 작용하여 이 질병의 발생시기가 앞당겨졌을 것으로 여겨진다. 특히, 스테인레스강, 니켈강의 용접 및 절단 작업중 발생된 6가 크롬과 니켈과 같은 발암물질이 폐암 발생의 주요 원인으로 추정된다.

REFERENCES

노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부고시 제97-65호. 노동부, 1998.

신용철, 이광용, 이나루, 오세민, 강성규 등. 모 조선업체 용접작업자의 공기중 6가 크롬
및 니켈 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1998; 8(2):209-223

통계청. 1996 한국의 사회지표. 통계청; 1997.

한국산업안전공단. 조선업 근로자 건강관리, 분진작업편. 교육자료 조선 96-46-48, 한국산업안전공단; 1996.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1998 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH: ACGIH; 1999.

American Industrial Hygiene Association. Welding Health and Safety Resource Manual. Akron, OH, AIHA; 1984.

Beamont JJ and Weiss NS. Lung cancer among welders. J. Occup. Med. 1981; 23(12):839-844

Gerin M, Siemiatycki J, Richardson L, Pellerin J, Lakhani R, Dewar R. Nickel and cancer associations from a multicancer occupational exposure case-referent study: preliminary findings. IARC Sci Publ 1984; 53:105-115

Gray CN, Goldstone A, Dare PRM, Hewitt PJ. The evolution of hexavalent chromium in metallic aerosols. Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44(6):384-388

International Agency Research on Cancer. Chromium, Nickel and Welding. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Humans. IARC; 1990;49.

Karlsen JT, Farrants G, Torgrimsen T, Reith A. Chemical composition and morphology of welding fume particles and grinding dusts. Am Ind Hyg Assoc J 1992; 53:290-297

Koponen M, Gustafsson T, Kalliomaki P-L, Pyy L. Chromium and nickel aerosols in stainless steel manufacturing, grinding and welding. Am Ind Hyg. Assoc J 1981; 42(8):596-601

National Institute for Occupational Safety and Health. Method 0500 - Particulate Not Otherwise Regulated, Total. In NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th Ed., Edited by P.M. Eller, DHHS/NIOSH Pub. No. 94-113. Cincinnati, OH: NIOSH; 1994.

National Institute for Occupational Safety and Health. Method 7300 - Elements. In NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th Ed., Edited by P.M. Eller, DHHS/NIOSH Pub. No. 94-113. Cincinnati, OH:NIOSH; 1994.

National Institute for Occupational Safety and Health. Method 7604 - Chromium, Hexavalent. In NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th Ed.,

Edited by P.M. Eller, DHHS/NIOSH Pub. No. 94-113. Cincinnati, OH:NIOSH; 1994.

Schoenberg JB, Stemhagen A, Mason TJ, Patterson J, Bill J, Altman R. Occupation and lung cancer risk among New Jersey white males. JNCI 1987; 79(1):13-21

Sjogren B. A retrospective cohort study of mortality among stainless steel welders. Scan J Work Environ Health 1980; 6:197-200

Sjogren B, Gustavsson A, Hedstrom L. Mortality in two cohorts of welders exposed to high- and low-levels of hexavalent chromium. Scan J Work. Environ Health 1987; 13:247-251

Steenland K, Beaumont J, Hornung R. The use of regression analyses in a cohort mortality study of welders. J Chron Dis 1986; 39(4):287-294

Zatka VJ. Speciation of hexavalent chromium in welding fumes interference by air oxidation of chromium. Am Ind Hyg Assoc J 1985; 46(6): 327-331