

한 합금공장에서 집단 발생한 급성 베릴륨 질환

단국대학교 의과대학 산업의학교실, 공군본부 의무처¹⁾, 단국대학교 의과대학 내과학교실²⁾,
한국산업안전공단³⁾, 단국대학병원 산업의학과⁴⁾

김현주 · 정우철¹⁾ · 지영구²⁾ · 김대성³⁾ · 강성규³⁾ · 노상철 · 조규탁⁴⁾ · 김동현⁴⁾

— Abstract —

An Outbreak of Acute Beryllium Disease in a Compound Metal Alloy Factory

Hyunjoo Kim, Woo-Chul Jeong¹⁾, Young Koo Jee²⁾, Dae Seong Kim³⁾, Seong-Kyu Kang³⁾,
Sangchul Roh, Kyutag Cho⁴⁾, Donghyun Kim⁴⁾

*Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, Dankook University,
Surgeon General's Office, ROKAF¹⁾, Department of Internal Medicine, College of Medicine,
Dankook University²⁾, Korea Occupational Safety and Health Agency³⁾,
Department of Occupational and Environmental Medicine, Dankook University Hospital⁴⁾*

Objectives: We conducted an epidemiological survey to inquire into an outbreak of acute pneumonitis after two reported cases of interstitial lung disease.

Methods: The study subjects were 45 workers from a compound metal alloy factory. We reviewed the factory's industrial hygiene data along with the results of a special health examination, including pulmonary function tests, simple chest X-rays, and high resolution computed tomography.

Results: The air concentrations of beryllium ranged from 0.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 112.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and the mean concentration of urinary beryllium were 1.53 \pm 0.79 $\mu\text{g}/\text{g}$ of creatinine in the molding workers, 1.41 \pm 0.50 $\mu\text{g}/\text{g}$ of creatinine in the casting workers, and 1.16 \pm 0.53 $\mu\text{g}/\text{g}$ of creatinine in the sorting workers. The rates for cough ($p=0.054$), dyspnea ($p=0.030$), and the use of medical services ($p=0.018$) were higher in the molding workers than in the non-molding workers. The incidence rate of acute interstitial lung disease was higher for the molding process (32.0%) than for the non-molding process (5.0%) ($p=0.012$). The time of employment for all patients was prior to December 1st, 2002.

Conclusions: Since most of the patients were molding workers, and all of the patients had worked without a ventilation system, this outbreak of acute interstitial lung disease was regarded as acute beryllium disease. Although the direct cause of the epidemic was the beryllium fumes, the fundamental cause was improper control of the work environment. Therefore, the means for preventing avoidable epidemics of occupational diseases are discussed.

Key Words: Beryllium, Acute interstitial lung disease

서 론

우리나라의 연간 직업성 질환 발생은 전체 10,235건이며, 근골격계질환과 뇌심혈관 질환과 같은 작업관련 질환이 8,062건으로 대다수를 차지하고 있으며, 화학물질에 의한 직업성 질환으로 산재보상을 받은 경우는 87건으로 이중 금속에 의한 것은 8건이었다¹⁾. 그러나 2005년 태국 이주노동자에서 집단 발생한 노말 핵산에 의한 말초신경병증, 2006년의 DMF에 의한 독성간염으로 인한 이주노동자 사망 등 사회적으로 큰 문제가 되었던 사건에서 알 수 있듯이 전통적인 화학적 요인에 의한 직업성 질환은 취약계층에서 꾸준히 발생하고 있다. 취약계층에 대한 공식적으로 합의된 학술적 정의는 아직까지 없지만 이경용 등은 산업재해와 관련하여 산재 다발 집단, 범·제도 관리취약집단, 사회적 취약집단 등 세 가지 범주로 나누어 '산재취약계층'을 정의하고 있다²⁾.

2003년 1월, 한 대학병원에 내원 2주 전부터 발생한 호흡곤란, 마른기침을 주소로 입원한 29세의 남자 환자가 원인 미상 급성 간질성 폐질환을 진단받았고 약 보름 후 동료 노동자 한명이 또 입원하여 같은 질환을 진단받았으며³⁾, 환자들은 주치의와 면담 과정에서 금속 먼지가 심하게 날리며 동료 작업자 중 비슷한 증상이 있는 사람이 여러 사람이라고 하였다.

환자들이 일했던 곳은 소규모 합금 공장이었고, 작업환경측정이나 특수건강진단과 같은 산업안전보건법 상의 건강보호조치를 받을 적이 없었다. 그런 의미에서 산업보건의 취약계층이라 할 수 있다.

당시 환자의 주치의의를 통해 직업병 집단발생가능성을 인지한 한 대학병원의 산업보건기관에서 지방노동사무소에 역학조사의 필요성을 제기하였다. 지방 노동사무소는 이 사업장이 산업안전보건법상 허가대상 물질인 베릴륨에 대하여 허가받지 않은 상태에서 작업중임을 근거로 사업장을 방문하였고, 작업환경측정과 배치진 건강진단 실시를 명령하였다.

이 연구는 한 합금공장에서 집단 발병한 급성 간질성 폐질환의 구체적인 원인을 규명하고 직업병의 집단발생을 예방하기 위한 대책에 대하여 제안하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상

한 합금공장에서 근무하는 생산직 노동자 45명 전수를 연구대상으로 하였다.

2. 방법

1) 작업환경평가

이 회사는 지르코늄(Zr)을 베이스로 하는 비결정질합금(amorphous alloy)인 리퀴드메탈 합금 주괴(liquid metal alloy ingot)를 생산하는 업체로 2002년 10월부터 공장이 가동되기 시작하였다.

생산 공정은 원재료 입고 및 세척, 원재료 평량, 용해, 금형, 사상, 포장 및 출하 등의 순서였다. 처음에는 용해와 금형공정은 같은 공간에서 이루어졌고, 1월 초부터 용해와 금형공간의 분리되었고, 용해공정에 국소배기시설이 설치되었다. 사상공정은 처음부터 용해공정과 공간이 분리되어 있었다.

작업환경측정은 2003년 2월 10일 실시하였고 예비 조사 결과 유해인자로 선정된 베릴륨, 니켈, 지르코늄, 구리, 티타늄, 철에 대하여 여과포집법으로 지역시료 2건, 개인시료 7건의 시료를 채취하였다. 시료의 포집을 위한 개인시료 채취기(Air Sampling Systems, Gilair-3 RC, Gillian, USA)의 유량은 2.0 l/분이었으며, 펌프의 유량보정(calibration)은 측정 전, 후에 유량보정기(Gilibrator 2, Gilian, USA)를 이용하여 실시한 후 농도결정시 평균유량을 사용하였다. 시료는 전체 10시간의 작업 중 6시간 이상 멤브레인 필터(GelmanSciences, GN-4 37 mm 0.8 μm, Metrical Membrane Filter)를 사용하여 포집한 뒤 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS; Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, Agilent 7500a, USA)를 사용하여 정량 분석하였다. 분석조건은 plasma gas flow rate 15.0 L/min, Aux. gas flow rate 1.0 L/min, carrier gas flow rate 1.22 L/min, RF power 1600 W, Nebulizer PEEK, Babington-type, spray chamber glass, double pass, ICP torch injector quartz, 2.5 mm 이었다.

노동자들이 노출된 화학물질 중 화학성 폐장염을 유발하는 것으로 알려진 베릴륨의 생물학적 모니터링을 위해 입원 환자 2명을 제외하고 당시 현장 근무중이던 작업자 43명을 대상으로 작업 종료 후 소변을 채취하여 micro wave (Milestone, Microwave Report Code 241)로 전처리 후 ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, Agilent 7500a, USA)로 정량 분석을 실시하였다. 분석조건은 plasma gas flow rate 14.0 L/min, Aux. gas flow rate 0.7 L/min, carrier gas flow rate 1.2 L/min, RF power 1200 W, Nebulizer Concentric, spray chamber cyclone, ICP torch injector standard 이었다.

2) 특수건강진단

최초 발생한 환자 2명을 제외한 43명의 생산직 노동자에 대하여 2003년 2월 15일부터 22일까지 특수 건강 진단을 실시하였다

일반적인 특수건강진단 항목 외에 일반 폐기능 검사를 실시하였다. 수검자중 흉부방사선 촬영 이상 소견자 또는 기침과 호흡곤란의 증상이 심한 사람 12명에 대하여 호흡기 내과에 의뢰하였고, 이 가운데 11명에 대하여 고해상도 흉부 방사선 컴퓨터 촬영과 폐확산능 검사(DLCO)를 실시하였다. 고해상도 흉부 방사선 컴퓨터 촬영상 간질성 폐질환 소견을 보인 사람을 환자로 정의하였다.

3) 자료의 분석

수집된 자료는 전산 입력하여 SPSS 한글 버전 12.0을 사용하여 분석하였다. 작업 특성에 따른 요중 베릴륨의 농도의 차이는 분산분석(ANOVA)으로 검정하였고, 선행연구결과를 참고하여 급성 간질성 폐질환을 유발하기 위해서는 4주 이상 노출기간이 필요하다고 가정하고⁴⁾, 작업환경개선 전 1개월 이상 근무했는지를 확인하기 위하여 2002년 12월 1일을 기준으로 하여 입사시기를 구분하여 두 집단의 요중 베릴륨의 농도의 차이를 비교하였다. 공정별 증상 유병률과 흉부방사선 촬영 이상 소견률의 차이는 공정을 용해와 비용해 공정으로 구분하여 Fisher's exact test로 검정하였고, 폐기능 검사값은 세 공정에 대하여 분산분석을 실시하였다. 작업특성에 따른 환자 발생률의 차이는 Fisher's exact test로 검정하였다.

Table 1. General characteristics of the workers (N=45)

Characteristics	N (%)
Sex	Male 38 (84.4)
	Female 7 (15.6)
Age (years)	20-29 27 (60.0)
	30-39 11 (24.4)
	≥40 7 (15.6)
Smoking	Yes 32 (71.1)
	No 13 (28.9)
Type of job	Molding 25 (55.5)
	Casting 11 (24.4)
	Sorting 9 (20.0)
Employment time	Before December 1 ^a 27 (60.0)
	After December 1 ^a 18 (40.0)
Grinding experience*	No 32 (71.1)
	Yes 13 (28.9)
Wearing respirator	Always 16 (35.6)
	Not always 29 (64.4)

*: intermittent process.

결 과

1. 연구대상의 일반적 특성

연구대상은 남자가 38명(84.4%), 여자가 7명(15.6%) 이었고, 연령은 20대가 27명(60.0%), 30대가 11명(24.4%), 40대 이상이 7명(15.6%)이었다. 흡연자는 32명(71.1%)이었고, 종사 공정은 용해공정이 25명(55.5%), 금형공정이 11명(24.4%), 사상공정이 9명(20.0%)이었고, 입사일이 2002년 12월 이전인 사람이 27명(60.0%), 그 이후인 사람이 18명(40.0%)이었고, 간헐적인 공정인 연마작업 경험자가 13명(28.9%), 비경험자가 32명(71.1%)이었고, 호흡용 보호구를 항상 착용자가 16명(35.6%), 간헐적 착용자가 29명(64.6%)이었다(Table 1).

2. 작업환경평가

2003년 2월 실시한 작업환경측정자료에 따르면 용해공정은 고주파 도가니로에 각각의 원재료를 일정 성분비에 따라 투입하고 고주파로 가열하여 용융시키는 공정으로 제품생산 특성상 공기와의 접촉을 피해야 하기 때문에, 진공펌프를 이용하여 도가니로 챔버내의 공기를 제거하고 아르곤 가스로 치환시키는 과정을 거치며, 이때 챔버내의 압력은 대기압의 절반 수준인 약 450 mmHg의 압력을 유지시키게 되며, 용해온도는 800~900℃였다. 금형은 용융된 금속을 일정한 형상으로 만들기 위해 금형에 주입시킨 후 약 2시간 경과 후에 금형 챔버를 열고 천장 크레인을 이용하여 주형을 작업장 밖으로 이동시킨 다음, 금형 표면온도가 100~150℃가 될 때까지 공기중 냉각시키고 나서 동마치를 이용하여 금형을 해체하여 금속의 주괴(ingot)를 선별하고 해체된 금형은 다시 조립하는 과정을 거친다. 사상 작업은 파손 또는 미성형된 제품을 분리해 내는 선별하는 과정이었다. 제품에 심한 불량이 있는 경우 간헐적으로 연마작업을 하고 있었다.

작업에서 노출되고 있는 6종의 금속에 대한 공기 중 농도를 평가한 결과 베릴륨이 0.42~112.3 µg/m³, 니켈이 0.31~208.8 µg/m³, 티타늄이 0.34~40.13 µg/m³, 구리가 3.73~458.4 µg/m³, 지르코늄이 0.68~44.83 µg/m³, 철이 6.18~42.10 µg/m³으로 검출되었다. 이들 금속들의 기중 농도는 대체로 용해공정에서 높은 경향을 보였고, 간헐적인 공정인 연마공정에서 가장 높았다(Table 2).

생물학적 모니터링 결과 요중 베릴륨은 용해(1.53±0.79 µg/g. creatinine), 금형(1.41±0.50 µg/g. creatinine), 사상(1.16±0.53 µg/g. creatinine) 순으로

Table 2. The air concentration of the metals

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

Type of job	Be	Ni	Ti	Cu	Zr	Fe
Molding (A*1)	3.73	7.27	2.00	19.03	1.62	42.10
Molding (A2)	0.42	0.31	0.34	3.73	0.79	6.18
Molding (P [†] 1)	4.66	7.86	2.44	19.53	3.46	19.83
Molding (P2)	4.80	9.20	2.42	21.99	3.99	24.66
Sorting (P3)	0.70	1.59	1.50	5.84	5.80	20.44
Sorting (P4)	0.49	1.10	8.32	4.68	0.68	12.75
Sorting (P5)	0.70	1.42	0.70	5.99	3.90	7.82
Sorting (P6)	3.13	6.41	2.59	14.39	16.05	17.02
Grinding (P7)	112.30	208.80	40.13	458.40	44.83	50.45

*: A, area sampling, †: P, personal sampling

Table 3. Urinary concentration of beryllium (N=43)

Unit: $\text{M} \pm \text{SD}$ ($\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine)

Urinary concentration		N	Be	p-value
Type of job	Sorting	9	1.16 ± 0.53	0.386
	Casting	11	1.41 ± 0.50	
	Molding	23	1.53 ± 0.79	
Employment time	Before December 1 st	23	1.20 ± 0.52	0.011
	After December 1 st	18	1.72 ± 0.76	
Grinding experience	No	30	1.33 ± 0.65	0.786
	Yes	13	1.63 ± 0.75	
Wearing respirator	Always	16	1.33 ± 0.68	0.488
	Not always	27	1.48 ± 0.69	
Total		43	1.42 ± 0.68	

p value by ANOVA

Table 4. Results of the special health examination by job type (N=45)

Clinical characteristics	Non-molding		Molding (n=25)	p-value	
	Sorting (n=9)	Casting (n=11)			
Symptoms (n, %)	Dyspnea	0	1 (9.1)	8 (32.0)	0.030
	Cough	1 (11.1)	2 (18.2)	11 (44.0)	0.054
	Sputum	0	4 (36.4)	8 (32.0)	0.502
	Chest discomfort	0	2 (18.2)	7 (28.0)	0.260
	Past medication	3 (33.3)	1 (9.1)	14 (56.0)	0.018
Simple chest (n, %)	Abnormal	0	1 (9.1)	5 (21.7)	0.141
HRCT [†] (n, %)	Abnormal	-	1 (100.0)	8 (66.7)	-
Pulmonary function test ($\text{M} \pm \text{SD}$)	FVC	131.7 ± 9.6	115.1 ± 24.7	120.8 ± 22.3	0.221*
	FeV1	119.0 ± 11.6	106.5 ± 19.9	107.4 ± 19.6	0.237*
	FVC/FeV1	83.0 ± 6.0	85.6 ± 5.4	85.8 ± 6.7	0.489*
	DLCO [†]	- [‡]	43.9	65.2 ± 20.3	-

p value was calculated by Fisher's exact test for molding vs non-molding group except pulmonary function test

*:p value was calculated by ANOVA

[†]:13 persons were checked including 11 suspected cases at primary special health examination and 2 hospitalized patients). p value was not calculated because there are one casting worker and 12 molding workers.

[‡]:Not checked

Table 5. Incidence of acute interstitial lung disease by job characteristics (N=45)

Unit: n (%)

Job characteristics		Non-case	Case	p-value
Type of job	Non molding	19 (95.0)	1 (5.0)	0.012
	Molding	17 (68.0)	8 (32.0)	
Employment time	Before December 1 st	18 (66.7)	9 (33.3)	<0.001
	After December 1 st	18 (100.0)	0	
Grinding experience	No	25 (83.3)	5 (16.7)	0.464
	Yes	11 (73.3)	4 (26.7)	
Wearing respirators	Always	23 (79.3)	6 (20.7)	0.876
	Not always	13 (81.2)	3 (18.8)	
Total		36 (80.0)	9 (20.0)	

*: p value by Fisher's exact test

높았고, 근무기간에 따라서는 12월 이전입사자가 $1.20 \pm 0.52 \mu\text{g/g creatinine}$, 그 이후 입사자가 $1.72 \pm 0.76 \mu\text{g/g creatinine}$ 으로 그 이후 입사자가 더 높았고 ($p=0.011$), 연마작업경험에 따른 요중 베릴륨의 농도는 연마작업경험자가 비경험자보다 높았고, 호흡용 보호구 착용에 따른 요중 베릴륨의 농도는 항상 착용자보다 간헐적 착용자가 더 높았다(Table 3).

4. 임상적 증상과 소견

건강진단 당시 호흡곤란 호소자는 용해 8명(32.0%), 금형 1명(9.1%), 사상 0명이었으며, 용해와 비용해공정으로 분류하여 통계적 검정을 실시했을 때 유의한 차이를 보였다($p=0.030$). 기침 호소자는 각각 11명(44.0%), 2명(18.2%), 0명이었고 용해와 비용해 공정으로 분류해서 그 빈도를 비교했을 때 경계역의 유의성을 보였다($p=0.054$). 입사이후 호흡기 증상으로 인한 투약 경험율은 용해공정 14명(56.0%), 사상공정 3명(33.0%), 금형공정 1명(9.1%)이었고 용해와 비용해 공정으로 구분해서 비교했을 때 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.018$). 흉부방사선 촬영상 이상자는 용해 5명(21.7%), 금형 1명(9.1%), 사상 0명이었고, 일반 폐기능 검사(FVC, FeV1, FVC/FEV1) 결과는 세 공정 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 일차 건강진단에서 의심된 환자 11명과 입원환자 2명에 대해서 실시한 고해상도 단층촬영검사결과 13중 9명에서 이상소견이 나왔고, 폐확산능은 금형 작업자가 43.9% 이었고, 용해 공정은 평균 $65.2 \pm 20.3\%$ 이었다(Table 4).

5. 급성 간질성 폐질환 발생률

급성 간질성 폐질환 발생률은 용해공정에서 8명(32.0%), 비용해 공정에서 1명(5.0%)이었고 이는 통계적으로 유의한 차이였고($p=0.012$), 2002년 12월 이전

입사자에서 9명(33.3%), 그 이후 입사자에서는 한 명도 없었다($p<0.001$). 급성 간질성 폐질환 발생률은 연마작업경험유무, 호흡용 보호구 착용정도에 따라서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 5).

고 찰

한 합금공장에서 집단 발생한 급성 간질성 폐질환의 원인을 규명하기 위하여 역학조사를 실시한 결과 간질성 폐장염의 발생률은 전체의 20.0%이었고 용해부서에서 32.0%이었다. 급성 간질성 폐질환 환자 9명중 8명은 용해공정에서 발생하였고 비용해 공정에서 발생한 1명의 경우 용해공정과 비용해공정이 공간적으로 분리되기 이전인 공장가동 초기부터 금속 흡에 노출된 점, 금속 분진(dust)에 다량 노출되었던 사상 작업에서는 발생하지 않았고, 분진형태로 베릴륨에 노출되었으며 기중 베릴륨이 $112.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 많이 검출되었던 연마작업 경험여부와 폐장염 발생이 연관성이 없었던 점으로 보아 급성 간질성 폐질환의 원인은 용해공정에서 발생하는 금속 흡이 질병의 원인으로 추정되었다.

용해 공정의 금속흡은 베릴륨, 지르코늄, 니켈, 철, 구리, 티타늄과 같이 6종이었는데, 니켈의 경우 니켈 카보닐 형태로 노출된 경우 급성 간질성 폐질환을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있으나 니켈 그 자체는 철, 구리, 티타늄과 마찬가지로 인간에게서 급성 간질성 폐질환을 일으킨다고 알려져 있지 않다^{5,6)}.

작업자들이 가장 많이 노출되었던 금속인 지르코늄의 폐 독성에 관한 역학 자료는 많지 않다. 1975년 $10 \text{mg}/\text{m}^3$ 이하로 수년간 노출된 178명의 노동자들에서 방사선촬영 및 폐기능을 1988년까지 3회 반복 측정한 결과 이상 소견이 관찰되지 않았다고 보고하고 있다⁷⁾. 세라믹 타일작업을 했던 비흡연 25세 남자에서 노출 3년 후에 과민성 폐장염이 발생했다는 보고⁸⁾, 15년 이상 지르코늄에 노출된 진폐증 몇례⁹⁾ 등이 보고되고 있다. 햄스터를

대상으로 한 실험에서 알루미늄과 지르코늄을 기관 내 주입하고 전자현미경으로 분석한 결과 삼출성 폐렴과 함께 폐장염 과 유사한 소견을 보인 것으로 알려져 있으나¹⁰⁾ 아직까지 사람에게서 지르코늄에 의한 급성 간질성 폐질환은 보고되지 않고 있다.

이상에서 볼 때 한 합금공장에서 집단 발생한 급성 간질성 폐질환은 작업자들이 노출된 6종의 금속 가운데 베릴륨에 의해 발생한 급성 베릴륨 질환으로 판단된다.

급성 베릴륨 질환은 전체 호흡기계의 전격성 염증반응이다. 호흡기계의 증상은 경미한 비인후염에서 심하면 치명적인 급성 간질성 폐질환까지 범주가 넓다. 지금까지 보고된 급성 베릴륨 질환은 대부분 흔히 고농도의 수용성 베릴륨 화합물의 노출과 관련이 있었다. Van Ordstrand et al (1945)은 베릴륨황산염(beryllium sulfate), 산화베릴륨(beryllium oxide), 베릴륨불화물(beryllium fluoride), 베릴륨 산화불화물(beryllium oxyfluoride)에 노출된 작업자들 사이에서 급성 베릴륨 질환에 관한 많은 사례를 기술하였다¹¹⁾.

베릴륨은 합금과정에서는 산화베릴륨 흡 형태로 노출되며 금형이나 사상작업에서는 베릴륨이 포함된 합금의 분진형태로 노출된다. 산화베릴륨 흡의 특수 표면적(specific surface area)는 3.7~5.3 m²/g으로 산화베릴륨 분진의 약 1/3이기 때문에¹²⁾ 상기도보다 하부 기도에 침착할 가능성이 더 높다. 급성 베릴륨 질환이 기본적으로 이물질에 의한 염증반응이기 때문에 하부 기도까지 침입할 수 있다면 합금물의 분진도 급성 베릴륨 질환을 유발할 수 있으나 합금물의 분진의 크기는 적어도 산화베릴륨 분진보다는 클 것으로 추정되어 급성 간질성 폐질환을 유발할 가능성이 떨어진다.

한편 일본에서 보고된, 합금공정에서 노출된 산화베릴륨 흡에 의한 급성 베릴륨 질환에 대한 연구에 의하면 약 20~60 µg/m³의 에서 기중 농도에서 약 4주간 노출된 환자에서 급성 폐장염이 발생한 것으로 보고하고 있다⁴⁾.

우리 조사에서 용해공정의 베릴륨은 최소 0.42 µg/m³, 최대 4.80 µg/m³로 급성 베릴륨 질환을 유발할 수 있는 농도라고 보기에 무리가 있다. 연마공정에서 베릴륨의 기중 농도가 112.30 µg/m³이었으나 이는 심한 불량이 있을 때만 하는 돌아가면서 하는 간헐적인 작업으로 일상적인 노출정도의 근거로 사용하기는 어렵다. 이 작업환경 측정결과는 공장가동 직후 환기시설이 없을 때가 아닌 환기시설이 설치되고 나서 약 한 달 이상 시간이 경과한 이후의 작업환경실태를 설명해주고 있다. 한편 요중 베릴륨은 그 농도가 0.02 mg/l 이상인 경우 베릴륨 노출로 결정하고 있는데, 생물학적 반감기가 2~8주까지로 추정되고 있다¹³⁾. 우리 조사대상에서 요중 베릴륨은 용해공정에서 1.53±0.79 µg/g creatinine로 역시 급성 간질성 폐

질환을 유발할 수 있는 농도에는 못 미치지만 생물학적 모니터링이 이루어진 시기는 환기시설 설치이후 약 6주가 경과한 시점이었다.

그러나 공장가동 초기인 2002년 겨울부터 작업을 했던 사람들은 문진과정에서 당시 작업장은 시야가 흐릴 정도로 금속 흡이 날리는 상태였고 검진당시의 작업환경과는 큰 차이가 있다고 진술한 바 있다. 실제로 발생한 환자들은 2002년 12월 이전 입사자로 모두 환기시설이 가동되지 않은 상태에서 작업을 한 달 이상 했었던 점으로 볼 때 환자들의 실제 베릴륨 흡에 대한 노출은 상당히 심각한 상황이었을 것으로 추정된다. 이상에서 집단 발생한 급성 간질성 폐질환의 원인은 환기시설이 설치되지 않은 상황에서 상당한 농도로 노출되었을 것으로 추정되는 베릴륨 흡일 가능성이 매우 높다고 판단된다.

그런데 베릴륨에 의한 급성 간질성 폐장염, 즉 급성 베릴륨 질환은 선진국에서는 1940년대에 보고된 이후 작업환경개선 결과 1960년대 이후에는 거의 보고되지 않는 질병으로 약 사십년 만에 이 조사를 통해 다시 등장하였다. 즉, 적절한 작업환경개선으로 충분히 예방할 수 있는 질환이 집단발병한 근본적인 원인과 이러한 불행한 일을 예방하기 위해 무엇이 필요한가에 대하여 살펴보고자 한다.

이 사례가 주는 첫 번째 교훈은 이 회사의 사업주가 허가대상 물질인 베릴륨의 유해성에 대해 알지 못 하고 허가도 받지 않은 상태에서 사용하였다는 것이다. 특히 산업안전보건법에 대해 잘 알기 어려운 중소기업 사업주들이 안전보건에 대한 의무를 숙지할 수 있도록 하는 방안이 모색되어야 할 것이며, 최소한 취급허가물질은 그 생산, 유통경로를 추적하여 철저한 감독이 이루어져야 할 것이다.

두 번째로 당시 주치의에 따르면 입원 환자들은 법, 제도 관리 취약집단인 소규모 작업장에서 일했기 때문에 취급하고 있는 물질의 건강영향과 그 예방법에 관하여 한 번도 교육받은 적이 없었다. 그러나 같은 증상의 환자가 여러 사람이라는 것을 알게 되어 호흡기 증상의 원인이 나쁜 작업환경에 있다고 인식을 하면서도 스스로를 보호할 수 없었다. 현행 산업안전보건법 26조에는 작업 중지 에 관한 사업주와 근로자의 의무와 권한을 법으로 규정해 놓고 있으나 노동자의 '작업 거부권'은 없는 상태이다. '작업 거부권'은 대부분의 선진국에서 보장되고 있는 제도로, 우리나라 노동자들도 유해 작업을 거부할 권리를 보장받을 수 있도록 법 개정과 이를 실질적으로 보장하기 위한 노력이 필요하다¹⁴⁾.

이 연구는 직업병의 집단발생이 우려되는 상황에서 시급하게 실시한 특수건강진단결과와 작업환경측정결과를 검토하여 사후에 분석한 것으로 다음과 같은 제한점을 염두에 두고 해석해야 한다. 첫째는 베릴륨의 노출에 관한

평가가 작업환경이 개선된 이후에 이루어져 질병을 유발할 만한 충분한 농도에 노출되었는가에 대한 직접적인 자료를 제시하고 있지 못하다. 그러나 이는 극복할 수 있는 제한점이 아니었다. 둘째, 특수건강진단 당시 고해상도 컴퓨터 단층 촬영상 폐장염에 부합하는 소견이 있는 사람을 환자군을 정의했는데 이는 환자발생을 과소 추정했을 가능성이 있다. 급성 베릴륨질환은 기관지염, 폐렴의 형태로 나타날 수도 있으며 폐장염으로 발전하더라도 스테로이드에 극적으로 반응하는 것으로 알려져 있다. 표4에서 용해공정에서 기침과 습관 증상 등 급성 베릴륨 질환에 부합하는 호흡기 증상 경험률이 더 높았고, 투약경험률 역시 높았던 것은 객관적인 검사상 이상 소견이 나타나지 않은 경미한 질환자나 이미 자가 투약으로 증상이 호전된 사람들은 환자군에서 누락되었을 가능성이 있다.

이 연구는 다음과 같은 의의를 지닌다. 첫째, 국내에서 처음으로 급성 베릴륨 질환을 고해상도 컴퓨터 단층촬영과 폐확산능 검사를 이용하고 확인하여 그 역학적 특성을 기술했다는 점이다. 둘째, 비록 초기에 환자를 발견하지는 못했지만 역학조사결과에 의해 발견된 환자들이 의학적인 치료를 받을 수 있었고 추가환자발생을 예방할 수 있었다는 점으로부터 그 의의를 찾을 수 있을 것이다. 마지막으로 앞으로 화학물질에 의한 직업병의 집단발생이 더 이상 발생하지 않도록 하기 위해서는 산업보건에 관한 법, 제도의 개선과 강력한 예방정책이 필요하다는 교훈을 준다는 점이다.

요 약

목적: 같은 공장에서 일했던 노동자들 중 원인미상의 급성 폐장염 2례가 발견된 것을 계기로 한 합금공장에서의 집단 발생한 화학적 폐장염의 원인을 규명하기 위하여 역학조사를 실시하였다.

방법: 연구대상은 한 합금공장에서 일했던 생산직 노동자 45명 전원이었다. 작업환경측정 기록을 검토하고 일반 폐기능검사, 흉부방사선 촬영, 작업종료후 요중 베릴륨 농도측정을 포함한 특수건강진단을 실시하였고, 유증상자와 유소견자 11명에 대하여 이차로 고해상도 컴퓨터 단층촬영 및 폐확산능 검사를 실시하였다.

결과: 베릴륨의 공기 중 농도를 평가한 결과 베릴륨이 0.42~112.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 요중 베릴륨 농도는 용해 (1.53 \pm 0.79 $\mu\text{g}/\text{g}$.creatinine), 금형(1.41 \pm 0.50 $\mu\text{g}/\text{g}$.creatinine), 사상(1.16 \pm 0.53 $\mu\text{g}/\text{g}$.creatinine) 순으로 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 일차 특수건강진단결과 용해공정은 비용해공정보다 현재 기침 (p=0.054), 호흡곤란(p= 0.030), 입사이후 호흡기증상으로 인한 투약경험률(p=0.018)은 모두 용해작업자가 비용

해공정보다 높았으며 일반 폐기능 검사결과는 두 군 간에 차이가 없었다. 최종적으로 화학성 폐장염으로 분류된 사람은 모두 11명으로 그 발생률은 용해공정에서 32.0%, 비용해 공정에서 5.0%이었다(p=0.012). 2002년 12월 이전 입사자에서 발생률은 33.3%이었고 그 이후 입사자에서는 환자가 발생하지 않았다(p<0.001).

결론: 급성 폐장염이 대부분이 용해공정에서 발생했고 모두 환기시설이 설치되기 전부터 작업했던 점으로 보아 이는 급성 베릴륨질환의 가능성이 매우 높다. 이는 적절한 작업환경관리로 충분히 예방할 수 있는 질병이므로 앞으로 이러한 문제를 예방하기 위한 정책적 대안을 제시하였다.

참 고 문 헌

- 1) Ministry of Labor. 2006 Statistics of Industrial Accident. Ministry of Labor. Seoul. 2007. p 10.(Korean)(translated by Kim H)
- 2) Lee K, Park J, Moon Y, Lee K, Choi S, Lee N, Kim M, Oh J. An analysis on the actual condition of the vulnerable group to the industrial injuries. Korea Occupational Safety and Health Agency. Incheon. 2006. pp 10-17.(Korean) (translated by Kim H)
- 3) Kim Y. Acute beryllium disease in metal workers. Eur Respir J 2004;24:149S.
- 4) Nishimura M. Clinical and Experimental studies on acute beryllium disease. Nagoya J Med Sci 1966;29(1):17-44.
- 5) Newman L. Metals. In: Harber P, Schenker MB, Balmes J(eds) Occupational and Environmental Respiratory Disease. Mosby. St. Louis. 1996. pp 469-513.
- 6) Wexler P. Encyclopedia of Toxicology. Academic press. London. 1998. Vol 1. p376, p415, Vol 2. p186, Vol 3. p244.
- 7) Marcus RL, Turner S, Cherry NM. A study of lung function and chest radiographs in men exposed to zirconium compounds. Occup Med (Lond) 1996;46(2):109-13.
- 8) Liippo KK, Anttila SL, Taikina-Aho O, Ruokonen EL, Toivonen ST, Tuomi T. Hypersensitivity pneumonitis and exposure to zirconium silicate in a young ceramic tile worker. Am Rev Respir Dis 1993;148:1089-92.
- 9) Bartter T, Irwin RS, Abraham JL, Dascal A, Nash G, Himmelstein JS, Jederlinic PJ. Zirconium compound-induced pulmonary fibrosis. Arch Intern Med 1991;151(6):1197-201.
- 10) Leininger JR, Farrell RL, Johnson GR. Acute lung lesions due to zirconium and aluminum compounds in hamsters. Arch Pathol Lab Med 1977;101(10):545-9.
- 11) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Beryllium. Atlanta. 2002. p 46.

- 12) Stefaniak A, Brink C, Dickerson R, Day G, Brisson M, Hoover M, Scripsick R. A theoretical framework for evaluating analytical digestion. methods for poorly soluble particulate beryllium. *Anal Bioanal Chem* 2007;387:2411-7.
- 13) Stiefel T, Schulze K, Zorn H, Tölg G. Toxicokinetic and toxicodynamic studies of beryllium. *Arch Toxicol* 1980;45(2):81-92.
- 14) Kim H, Kwak HS, Kim SB, Rho YM, Lee YJ, Lee IS, Lim J. Development of a Program to Facilitate Worker's Participation in Occupational Safety and Health. Korea Occupational Safety and Health Agency. Incheon. 2004. p 43 (Korean) (translated by Kim H)