

## 역학조사를 통해 직업성 폐암으로 판단된 사례분석

한강성심병원 산업의학과, 직업성폐질환연구소<sup>1)</sup>, 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원<sup>2)</sup>

임정욱 · 박소영<sup>1)</sup> · 최병순<sup>2)</sup>

— Abstract —

### Characteristics of Occupational Lung Cancer from 1999 to 2005

Jung Wook Lim, So Young Park<sup>1)</sup>, Byung-Soon Choi<sup>2)</sup>

*Department of Occupational and Environmental Medicine, Hangang Sacred Hospital  
Occupational Lung Diseases Institute<sup>1)</sup>  
Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency<sup>2)</sup>*

**Objectives:** The aim of this study was to investigate the characteristics of occupational lung cancer.

**Methods:** We analyzed the characteristics of 53 occupational lung cancer cases among 128 lung cancer cases applied for industrial accident compensation insurance benefits and referred for the decision of work-relatedness between 1999 and 2005. Statistical analysis was conducted using the Chi-square test on 128 lung cancer cases.

**Results:** The age of diagnosis, smoking history, and cell type of lung cancer cases were not significantly different between 53 cases of occupational lung cancer and 75 cases of non-occupational lung cancer ( $p>.05$ ). Here is a list of occupational lung cancer case numbers associated with certain carcinogens were: 33(62.3%) cases with asbestos, 23(43.4%) cases with polycyclic aromatic hydro carbon (PAH), 17 cases(32.1%) with chromium VI (Oxidation state), 14 cases(26.4%) with crystalline silica, 12 cases (22.6%) with nickel compounds, 2 cases(3.8%) with radon daughters, and 1 case(1.9%) with arsenic. Eighteen cases(34.0%) of occupational lung cancer had exposures to a single carcinogen, and 35 cases (66.0%) had exposures to more than 2 carcinogens. Job types associated with occupational lung cancer cases were: 16 cases(30.2%) with maintenance, 13 cases(24.5%) with welding; 6 cases(11.3%) with grinding; 4 cases(7.5%) with foundry; 3 cases(5.7%) with driving, casting, and painting' and 14 cases (26.4%) with 'other'.

**Conclusions:** This study identified the characteristics of occupational lung cancer through the analysis of the age of diagnosis, smoking history, cell type, job, and carcinogen. There is no difference between occupational lung cancer and non-occupational lung cancer except exposure to the carcinogens. these results indicate that past exposure to occupational carcinogens remains an important determinant of occupational lung cancer occurrence.

**Key Words:** Lung cancer, Occupational health, Carcinogens

## 서 론

2008년 통계청 사망원인통계에 의한 한국인의 3대 사망원인은 악성 신생물(암), 뇌혈관 질환, 심장 질환으로, 이중 암에 의한 사망자는 인구 10만 명당 139.5명으로 전체 사망자의 28.0%를 차지하였는데, 폐암(29.9명), 간암(22.9명), 위암(20.9명) 순이었다<sup>1)</sup>. 1998년과 비교해 2008년에는 암으로 인한 사망자가 인구 10만 명당 108.6명에서 139.5명으로 10년 전보다 30.9명 증가하였고, 이 중 폐암 사망자가 인구 10만 명당 20.5명에서 29.9명으로 가장 많이 증가하였다.

이처럼 폐암 발생이 증가하고 있음에도 불구하고, 폐암은 효과적인 조기진단 방법과 치료법이 없어 사망률이 높다. 폐는 자연환경이나 작업환경에 존재하는 물리화학적 유해물질에 최초로 노출되는 기관인 동시에 목표기관(target organ)이고, 폐암은 흡연과 대기오염 및 직업과 관련된 유해물질 등 폐암 발생에 관여하는 요인들이 다양하기 때문에 폐암을 특정 원인물질에 기인한 직업성 암과 비직업성 암으로 구분하는 것은 논란의 여지가 있다.

1981년에는 남성에서 발생한 폐암의 15%와 여성에서 발생한 폐암의 5%가<sup>2)</sup>, 1996년에는 남성 및 여성에서 발생한 폐암의 9%와 2%가 각각 직업성 폐암이라고 보고되었다<sup>3)</sup>. 1997년 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 전체 암 사망자의 4%가 직업성 암에 의해

사망한 것으로 추정하였는데, 이 중 폐암은 전체 사망자의 10%가 직업성 폐암에 의한 사망자라고 추정하였다<sup>4)</sup>. 이 결과를 우리나라에 적용하면 2008년 전체 폐암 사망자 14,791명의<sup>1)</sup> 10%인 1,480여 명이 직업성 폐암에 의해 사망한 것으로 추정할 수 있지만, 현재까지 국내에는 직업성 폐암에 대한 공식적인 통계조차 없는 실정이다.

이에 저자들은 역학조사를 통해 업무 관련성이 높다고 판단된 직업성 폐암 사례의 특성을 살펴보았다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

폐암으로 근로복지공단에 산업재해보상보험에 의한 요양급여 또는 유족급여를 신청한 사례의 업무상 질병 여부 판정을 위해, 근로복지공단이 1999년부터 2005년까지 7년간 산업안전보건연구원에 역학조사를 의뢰한 128예의 폐암 사례를 연구대상으로 하였다.

### 2. 연구 방법 및 자료분석

산업안전보건연구원의 역학조사를 통하여 확보된 자료를 이용하였으며, 각 사례들의 성, 연령, 흡연력, 직업, 질병관련 작업 종사기간, 노출 발암성 물질, 잠복기간 등의 변수에 대한 기술분석을 시행하였다.

**Table 1.** Characteristics of total lung cancer cases

Characteristics	Occupational (n=53)	Non-occupational (n=75)	p-value*
<b>Sex</b>			
Male	51 (96.2%)	62 (82.7%)	>0.05
Female	2 ( 3.8%)	13 (17.3%)	
<b>Age (years)</b>			
<40	5 ( 9.4%)	7 ( 9.3%)	>0.05
40-49	18 (34.0%)	30 (40.0%)	
50-59	25 (47.2%)	23 (30.7%)	
60-69	4 ( 7.5%)	15 (20.0%)	
≥70	1 ( 1.9%)	0 ( 0.0%)	
<b>Smoking status</b>			
Smoker	37 (69.8%)	48 (64.0%)	>0.05
Non-smoker	13 (24.5%)	20 (26.7%)	
Unknown	3 ( 5.7%)	7 ( 9.3%)	
<b>Cell types of lung cancer</b>			
Adenocarcinoma	25 (47.2%)	36 (48.0%)	>0.05
Squamous cell carcinoma	13 (24.5%)	24 (32.0%)	
Small cell carcinoma	6 (11.3%)	10 (13.3%)	
Unknown	9 (17.0%)	5 ( 6.7%)	

\* by chi-square test.

결 과

128예 중 역학조사를 통하여 업무관련성이 높다고 판단된 사례는 53예였다(41.4%). 본 연구에서는 역학조사를 통하여 업무관련성이 높다고 판단된 폐암 사례를 직업성 폐암으로 정의하였다. 직업성 폐암자는 전체 53명 중 51명(96.2%)이 남자였고, 비직업성 폐암자는 전체 75명 중 62명(82.7%)이 남자였다(Table 1).

직업성 폐암자의 평균 연령은 50.8세(34~77세)로 비직업성 폐암자의 50.2세(35~68세)와 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 직업성 폐암자의 연령 분포는 50~59세가 25명(47.2%)으로 가장 많았고 그 다음으로 40~49세가 18명(34.0%)이었으며, 비직업성 폐암자는 40~49세가 30명(40.0%)으로 가장 많았고 다음으로

50~59세가 23명(30.7%)이었다.

직업성 폐암자 중 흡연자가 37명(69.8%), 비흡연자가 13명(24.5%), 흡연 여부를 알 수 없는 자가 3명으로 비직업성 폐암자 중 흡연자 48명(64.0%), 비흡연자 20명(26.7%), 흡연 여부를 알 수 없는 자 7명과 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 흡연력이 있는 직업성 폐암자 37명의 평균 흡연기간은 23.8년(7~52년), 평균 흡연량은 18.0갑년(3.0~60.0갑년)이었고, 흡연력이 있는 비직업성 폐암자 48명의 평균 흡연기간은 25.3년(5~50년), 평균 흡연량은 23.1갑년(2.5~60.0갑년)이었다.

직업성 폐암과 비직업성 폐암 모두 선암, 편평상피세포암, 소세포암 순으로 많으면서 서로 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

직업성 폐암 53예 중 33예(62.3%)에서는 석면이, 23예(43.4%)에서는 다핵방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH), 17예(32.1%)에서는 6가 크롬, 14예(26.4%)에서는 결정형 유리규산, 12예(22.6%)에서는 니켈화합물이 발암물질이었으며, 그 외 라돈 자핵종(radon daughters) 노출에 의한 2예, 비소에 의한 1예가 있었다(Table 2). 18예(34.0%)는 단일 폐암 발암물질에 노출이 되었고, 35예(66.0%)에서는 둘 이상의 물질에 복합적으로 노출되었다.

폐암 발암물질에 노출된 직업은 보수, 설비, 정비 등 16예(30.2%), 용접 13예(24.5%), 연마 및 사상 6예(11.3%), 주물 4예(7.5%), 운전, 조형, 도장 각 3예(5.7%)이었고, 그 외의 직종이 14예(26.4%)이었다.

석면에만 노출되어 폐암이 발생한 사례가 12예이면서 석면 이외 발암물질에도 복합적으로 노출되어 발생한 폐암이 21예이었다(Table 3). 다핵방향족탄화수소가 원인인 사례에서는 단일 노출이 2예이고 복합 노출이 21예이었으며, 6가 크롬은 각각 1예 및 16예, 결정형 유리규산은 3예 및 11예이었다. 그 외 니켈화합물, 라돈 자핵종, 비소는 모두 다른 발암물질에도 복합적으로 노출되어 발생하였다.

석면이 원인이었던 사례는 평균 19.8년 동안 석면에 노출되고 최초 노출로부터 평균 22.4년이 지나 폐암이

**Table 2.** Characteristics of 53 occupational lung cancer cases

Characteristics	Numbers
<b>Carcinogens*</b>	
Asbestos	33 (62.3%)
Polycyclic aromatic hydrocarbons	23 (43.4%)
Chromium VI	17 (32.1%)
Crystalline silica	14 (26.4%)
Nickel compounds	12 (22.6%)
Radon daughters	2 ( 3.8%)
Arsenic	1 ( 1.9%)
<b>Exposure type of carcinogen</b>	
Single exposure	18 (34.0%)
Combined exposure	35 (66.0%)
<b>Job*</b>	
Maintenance	16 (30.2%)
Welding	13 (24.5%)
Grinding	6 (11.3%)
Foundry	4 ( 7.5%)
Driving	3 ( 5.7%)
Casting	3 ( 5.7%)
Painting	3 ( 5.7%)
Others	14 (26.4%)

\* Total numbers are more than 53 due to the exposure to multiple carcinogens and jobs in each case.

**Table 3.** Exposure type of carcinogens of 53 occupational lung cancer cases

Carcinogens	Single	Combined*	Total
Asbestos	12	21	33
Polycyclic aromatic hydrocarbons	2	21	23
Chromium VI	1	16	17
Crystalline silica	3	11	14
Nickel compounds	0	12	12
Radon daughters	0	2	2
Arsenic	0	1	1

\* combined with other carcinogen(s).

**Table 4.** Average exposure and latent periods (years) of 53 occupational lung cancer cases

Carcinogens	Cases	Exposure (range)	Latent (range)
Asbestos	33	19.8 ( 6.3-29.0)	22.4 ( 9.1-33.0)
Polycyclic aromatic hydrocarbons	23	18.7 ( 6.3-31.9)	22.8 (10.8-60.8)
Chromium VI	17	21.4 ( 9.0-40.0)	22.8 (10.0-40.0)
Crystalline silica	14	20.5 (10.0-40.0)	26.6 (10.1-60.8)
Nickel compounds	12	23.6 ( 9.3-40.0)	25.0 (11.2-40.0)
Radon daughters	2	11.3 ( 6.3-16.3)	13.6 (10.8-16.3)
Arsenic	1	27.3 (27.3-27.3)	60.8 (60.8-60.8)

발생하였다(Table 4). 다핵방향족탄화수소는 평균 노출 기간과 잠재기가 각각 18.7년 및 22.8년, 6가 크롬은 21.4년 및 22.8년, 결정형 유리규산은 20.5년 및 26.6년, 니켈화합물은 23.6년 및 25.0년, 라돈 자핵종은 11.3년 및 13.6년, 비소는 27.3년 및 60.8년이었다.

### 고 찰

발암물질은 여러 기관에서 분류하고 있는데, 그 중에서 세계보건기구 산하 국제암연구회(International Agency for Research on Cancer, IARC)의 분류가 대표적이다<sup>5)</sup>. 이 분류에 의하면 발암성이 확실한(Group 1) 폐암 발암물질은 비소와 그 화합물<sup>6)</sup>, 석면<sup>7)</sup>, 라돈 자핵종<sup>8)</sup>, 6가 크롬<sup>9)</sup>, 니켈화합물<sup>10)</sup>, 베릴륨과 그 화합물<sup>11)</sup>, 카드뮴과 그 화합물<sup>12)</sup>, 결정형 유리규산<sup>13)</sup>, 흡연<sup>14)</sup> 등이다. 이 외에도 다양한 다핵방향족탄화수소가 포함되어 있는 디젤엔진 연소물질은 인체에서 아직 증거가 충분하지 않지만 폐암을 유발할 가능성이 높은(Group 2A) 물질이다<sup>15)</sup>. 2009년 석면관련 직업성 폐암 연구에 의하면 41예의 직업성 폐암 사례 중 16예에서 결정형 유리규산, 6가 크롬, 디젤엔진 연소가스(diesel engine exhaust, DEE), 다핵방향족탄화수소와 라돈 자핵종에 노출되었다는 연구가 있었으며<sup>16)</sup>, 본 연구의 분석 대상 53예 직업성 폐암의 발암물질인 석면, 다핵방향족탄화수소, 6가 크롬, 결정형 유리규산, 니켈화합물, 라돈 자핵종, 비소 등과 대부분 일치하였다. 53예 중 하나의 발암물질에 의한 폐암 사례 18예를 제외한 나머지 35예는 모두 2가지 이상의 발암물질에 복합적으로 노출되어 발생하였는데, 특히 용접공과 주물공이 여러 가지 발암물질에 노출되었다.

2008년도 통계청 사망원인통계에 의하면 남자 폐암 사망자가 10만 명당 50~54세는 27.2명, 55~59세는 58.8명으로, 60세까지는 10만 명당 50여 명 이하이다가, 70~74세는 410.8명, 75~79세는 632.7명, 80~84세는 726.0명으로 70세부터 급격히 증가하였다<sup>1)</sup>. 53예 직업성 폐암자의 폐암 진단 당시 연령은 50~59세가 가장 많으면서 60세 미만이 전체의 90.6%이었다. 폐암으로 진단되어 사망할 때까지 시간적 차이가 있다 하더라도 다른

암보다 폐암의 5년 생존율이 매우 낮아<sup>17)</sup> 대부분 진단 후 5년 이내에 사망한다는 점을 감안하면, 직업적으로 발암 물질에 노출될 경우 그렇지 않은 경우보다 폐암이 일찍 발생한다는 점을 알 수 있다.

흡연은 가장 강력한 폐암의 발암요인이고 우리나라 남자 성인 인구의 흡연율이 1990년대 초까지도 약 70% 정도이었으므로<sup>18)</sup>, 직업성 폐암 여부를 판단하는데 흡연이 얼마나 영향을 미쳤느냐가 항상 논란이 된다. 그러나 다른 암과 마찬가지로 폐암도 유전, 식생활, 대기오염 등 다양한 비직업적 발암요인도 작용하는 상황에서 단순히 흡연력이 있다고 해서 직업성 폐암이 아니라고 할 수는 없다. 더구나 흡연자가 석면, 라돈 자핵종, 비소, 니켈화합물 등의 발암물질에 노출되면 적게는 상가(additive), 많게는 상승(multiplicative) 관계로 폐암 위험도가 증가 한다<sup>19)</sup>. 따라서 흡연자라 하더라도 직업적으로 폐암 발암물질에 노출되지 않았다면 폐암 위험도가 일반인과 다르지 않을 것이기 때문에, 직업적으로 노출된 폐암 발암물질만으로도 폐암이 발생할 수 있다는 점만 충분히 인정된다면 흡연 자체가 직업성 폐암 여부를 결정적 판단기준이 될 수는 없다.

직업성 폐암은 발암물질별로 특정 세포형의 폐암이 호 발하지 않는다<sup>20)</sup>. 본 연구에서도 직업성 여부에 따른 세포형 분포의 차이가 없었다.

30년 이상의 잠복기를 가진다고 알려진 악성 중피종과는 달리 폐암은 석면 노출 10년 이후부터 발생이 증가한다고 알려져 있는데, 노출기간이 길수록, 특히 노출 후 25년 이후부터 위험도가 뚜렷이 증가한다<sup>21)</sup>. 53예 중 석면이 발암물질로 작용한 사례는 33예였는데, 석면의 평균 노출기간은 19.8년(최소 6.3년, 최대 29.0년)이었고, 평균 잠재기는 22.4년(최소 9.1년, 최대 33.0년)이었다. 국내에서는 1960년대부터 많이 사용한 석면을 1990년대 초부터 규제하기 시작하여 2009년부터는 전면 금지하였다. 따라서 석면에 의한 폐암의 잠복기를 고려할 때 앞으로로도 상당 기간 과거의 석면 노출에 의한 폐암이 많이 발생할 수 있다. 석면과 흡연은 서로 상승 작용을 하여 폐암 위험도가 높아지는 것으로 알려져 있는데, 석면에 노출된 직업성 폐암 33예 중 흡연력이 있는 경우는 24예,

흡연력이 없는 경우는 8예, 흡연력을 모르는 경우는 1예 이었다<sup>22-24)</sup>.

석탄이나 석유 등 화석연료가 불완전 연소되면서 발생하는 다핵방향족탄화수소는 개별 물질별로 발암성이 다르다. 다양한 다핵방향족탄화수소에 집중 노출되는 코크스 오븐<sup>25, 26)</sup>, 트럭운전<sup>27, 28)</sup>, 석탄가스시설<sup>29)</sup>, 알루미늄 환원작업<sup>30-32)</sup> 종사자 등에서 폐암 위험도가 높다. 디젤엔진 연소물질의 구성성분은 디젤(경유)의 구성성분에 따라 달라지는데, 방향족탄화수소가 많을수록 다핵방향족탄화수소도 많이 발생하며, 여러 연구들에서 디젤엔진 연소물질이 폐암 유발물질임이 밝혀졌다<sup>33-39)</sup>. 53예 직업성 폐암 중 다핵방향족탄화수소에 노출되었던 사례는 23예이었는데, 디젤엔진 연소물질에 의한 사례가 7예, 코크스오븐에 의한 사례가 1예이었고 나머지 15예는 용접, 연마, 도장, 조형, 용해 등의 직업과 관련되어 있었다. 이중 2예만 디젤엔진 연소물질 단일노출에 의한 폐암이었고, 나머지는 모두 복합 발암물질에 의한 폐암이었다.

6가 크롬으로 인한 폐암은 주로 크롬광의 정련, 크롬산염 안료생산, 크롬 도금작업 등에서 발생한다. 6가 크롬은 불안정하기 때문에 흡입 후 생체 내 다양한 환원제에 의해 3가 크롬으로 환원되는데, 실제 6가 크롬의 생체 독성은 6가 크롬 자체보다 3가 크롬으로 환원되는 과정에서 생성된 자유라디칼(free radical)과 세포내 3가 크롬에 의한 세포구성물 손상 때문이다. 즉, 세포막 통과가 가능한 6가 크롬에 노출되더라도 실제 세포내에서 세포독성이나 유전독성을 일으키는 것은 3가 크롬이다<sup>40)</sup>. 6가 크롬에 의한 폐암의 잠재기는 13~30년으로<sup>41)</sup>, 30년 이상 노출된 후 폐암 발생이 급격히 증가한다<sup>42)</sup>. 53예 중 6가 크롬에 의한 폐암은 17예로 1예를 제외하고는 모두 다른 발암물질에도 복합적으로 노출되었다. 이 17예의 평균 노출기간은 21.4년(9~40년), 평균 잠재기는 22.8년(10~40년)이었다.

IARC는 1987년 발암성이 의심되는 Group 2A로 분류하였던 결정형 유리규산을 이후 발표된 9개의 코호트 연구를 근거로 1997년에 발암성이 확실한 Group 1으로 재분류하였다<sup>13)</sup>. 결정형 유리규산에 의한 폐암 발암성은 흡연이나 석면보다는 낮다고 알려져 있다. 결정형 유리규산은 규폐증이 있을 경우에만 폐암 위험도가 높아지는지, 아니면 규폐증과 관계없이 결정형 유리규산 노출 자체만으로도 폐암 위험도가 높아지는지에 대해서는 논란이 있었다. 하지만 최근 연구들에 의하면 결정형 유리규산은 규폐증과 상관없이 폐암의 위험도를 높이는 것으로 알려져 있다<sup>43-49)</sup>. 본 분석에서 결정형 유리규산이 단독으로 폐암의 원인으로 작용한 사례는 3예이고, 나머지 11예는 다른 발암물질에도 복합적으로 노출되었다. 총 14예의 평균 노출기간은 20.5년(10.0~40.0년), 평균 잠재기는

26.6년(10.1~60.8년)이었다.

Group 2B인 금속 니켈과는 달리 산화물 등을 포함한 니켈화합물은 Group 1 폐암 발암물질인데, 니켈 화합물 또한 흡연과는 상승 관계로 폐암 위험도가 높아진다<sup>50)</sup>. 크롬과 함께 스테인리스강에 함유되어 있는 니켈은 스테인리스강을 용접하는 과정에서 용접흡 형태로 노출된다. 본 분석에서도 니켈화합물에 노출된 폐암 12예 중 3예(주강 및 스테인리스강 용해 1예, 금속 가공 1예, 제철소 유지·보수 1예)를 제외한 9예가 용접공에서 발생하였다. 니켈화합물에 노출된 폐암 12예 모두 다른 발암물질에 복합적으로 노출되었는데, 6가 크롬(12예), 석면(6예), 결정형 유리규산(2예), 다핵방향족탄화수소(1예) 등에 노출되었다.

라돈 자핵종에 노출되어 발생한 폐암 2예는 복합 노출에 의해 발생하였는데, 평균 노출기간은 11.3년(6.3년, 16.3년), 평균 잠재기는 13.6년(10.8년, 16.3년)이었다. 우라늄이 붕괴되어 생성되는 라돈은 지각 중 토양, 모래, 암석, 광물질 및 이들을 재료로 하는 주택이나 건물, 지하철 역사 등에서 지속적으로 뿜어져 나와 항상 우리 주변에 존재한다. 라돈은 다시 폴로늄(polonium), 비스무스(bismuth), 납과 같은 라돈 자핵종으로 붕괴되는데, 이 때 발생하는 알파 입자가 기도를 둘러싸고 있는 세포의 유전물질에 손상을 일으켜 폐암을 유발한다. 코호트 연구 중 폐암 사망자가 40명 이상이고 개인별로 라돈 자핵종 노출력을 알 수 있었던 11개 광업 근로자 코호트를 종합한 결과 노출 시작 연령과는 무관하면서 연령이 많아질수록 폐암 위험도가 낮아지고, 누적노출량이 같다면 고농도로 단기간 노출되는 경우보다 낮은 농도로 장기간 노출될 경우 위험도가 더 크다는 역관계 노출속도 효과가 나타났다<sup>51)</sup>. 또한 흡연자가 라돈 자핵종에 노출되면 상가 관계와 상승 관계 중간 정도로 폐암 위험도가 높았다.

결정형 유리규산 및 다핵방향족탄화수소와 함께 비소에 노출된 주물공에서 발생한 폐암이 1예이었는데, 흡연자인 이 사례처럼 흡연과 비소에 같이 노출되면 상가 관계 이상으로 폐암 위험도가 높아진다<sup>52)</sup>. 주석을 채광하거나 구리 및 납을 제련할 때 주로 노출되는 비소는 촉진자(late-stage promotor)로 작용하여 유전자 복구기전에 영향을 미쳐<sup>53)</sup> 저농도로 노출되면 약 25년의 잠재기를 거친 후 폐암이 발생하고, 고농도의 비소에 노출되면 폐암 발생 위험도가 9배까지 높아진다.

스테인리스강을 아크 용접할 때 발생하는 용접흡 중에는 폐암 발암물질인 6가 크롬 및 니켈이 포함되어 있는데 특히 6가 크롬은 호흡성 분진 크기이기 때문에 호흡기 점막에 축적될 수 있다<sup>54)</sup>. 6가 크롬 및 니켈에 노출되는 스테인리스강 용접공은 연강(mild steel) 용접공보다 폐암 위험도가 더 높다고 알려져 있다<sup>55, 56)</sup>. 하지만 유럽 9개 국가

의 135개 공장 11,092명 남자 용접공을 대상으로 한 코호트 연구에서는 연강 및 스테인리스강 용접공 모두 최초 노출 후 시간이 지날수록 사망률이 높아졌고, 노출기간이나 니켈 또는 크롬의 누적노출량과는 관련이 없었다<sup>57)</sup>. 18개 환자-대조군 연구와 31개 코호트 연구를 통합하여 분석한 결과에서는 모든 용접공에서 폐암의 상대위험도가 1.38(1.29~1.48)로 높았는데, 석면의 영향이 클 수 있는 조선소뿐만 아니라 조선소 이외 용접공에서도 위험도가 높았으며, 스테인리스강 용접공과 연강 용접공의 차이도 없었다<sup>58)</sup>. 4,459명의 연강 용접공 코호트에서도 폐암의 표준화사망비가 1.46(1.20~1.76)으로 높았다<sup>59,60)</sup>. 직업성 폐암 53예 중 용접공에서 발생한 폐암이 13예이었는데 발암물질로는 6가 크롬(10예), 니켈(9예), 석면(8예)이 대부분이었고 다핵방향족탄화수소 2예, 결정형 유리규산이 1예이었다.

IARC는 1987년 주물업을 폐암과 관련 있는 직업이라고 하였고<sup>61)</sup>, 주물업에서 폐암 위험도가 높다는 보고는 일찍이 1970년대부터 많이 있었다<sup>62-64)</sup>. 덴마크에서 1967-1969년 및 1972~1974년 사이에 확인된 6,144명 남성 주물공을 1985년까지 추적한 결과 폐암의 표준화사망비가 1.30(1.12~1.51)으로 높았고<sup>65)</sup>, 1968년부터 1984년까지 프랑스의 스테인리스강 생산업체에 종사한 4,227명 중 사망자를 분석한 결과 스테인리스강 주물공의 폐암 표준화사망비가 2.29로 유의하게 높았다<sup>66)</sup>. 주물공은 폐암 발암물질인 결정형 유리규산과 다핵방향족탄화수소에 노출되는데, 이 두 물질은 폐암 발생에 있어서 서로 상승적 영향을 미친다<sup>67)</sup>. 본 분석의 주물공에서 발생한 폐암 4예는 결정형 유리규산(4예), 다핵방향족탄화수소(3예), 비소(1예) 등이 발암물질이었다.

일반적으로 직업성 암은 비직업성 암에 비하여 임상 증상 및 징후, 영상의학적, 병리학적 소견 등에 차이가 없기 때문에 특정 검사로 직업성 암과 비직업성 암을 구분하는 것은 불가능하지만, 직업성 암은 일반적으로 여성보다는 남성에서 많이 발생하며, 비직업성 암의 호발연령보다 젊은 연령에서 발생하는 경우가 많다. 또한 발암성 물질의 작용을 받는 부위에 암이 발생하며, 발암성 물질에 처음 노출된 시점부터 암발생까지 일정한 기간이 필요하다. 이 외에도 일반 인구집단에 비하여 직업성 발암물질에 노출되는 특정 집단에서 특정 암의 발생률과 사망률이 높다.

본 연구의 직업성 폐암에서도 대부분이 남성이었으며(96.2%), 대상자의 평균연령이 50.8세로 젊었다. 평균 잠재기 또한 25.5년으로, 일반적으로 10년 이상을 필요로 하는 고형암의 잠재기를 충족하였다. 폐암 위험도가 높다고 알려진 용접공(13예), 주물공(4예), 도장공(3예) 등의 사례들을 포함하고 있다.

외국의 직업성 폐암에 관한 연구 중 2002년부터 2005년까지 폐암 환자 2,100명과 대조군 2,120명을 대상으로 한 환자-대조군연구에 의하면 직업성 폐암 발암물질로써 비소, 석면, 베릴륨, 카드뮴, 크롬, 디젤 흄(diesel fumes), 니켈, 실리카 등 8가지 물질을 기술하고 있다. 이것은 본 연구에서의 폐암 발암물질과 대부분 동일하거나, 세계보건기구 산하 국제암연구회의 분류와 동일한 것이었다. 또한 이들 물질에 노출되는 직업군으로는 폐암을 유발한다고 알려진 광업, 채석업, 요업, 조선업, 철도설비, 건설업 등의 직업군과 폐암유발이 의심되는 직업군으로 자동차수리공, 고무제작자, 목수, 정육점종사자, 유리제작자, 철도원 등이 있었으며, 폐암을 유발한다고 알려진 직업군의 경우 본 연구에서의 직업군과 일치하였으나, 폐암유발이 의심되는 직업군에 대해서는 본 연구와 다소 차이가 있었다<sup>68)</sup>. 또한, 2008년에 국제암연구회의 분류에 의한 직업성 폐암 유발물질을 기초로 이루어진 일반인구 기여분율(population attributable fraction, PAF)에 대한 코호트 및 환자대조군연구에 의하면, 폐암 유발물질 노출에 대한 다른 양상을 반영하는 일반인구 기여분율은 3%에서 40%까지 다양하게 측정되었으며, 폐암 유발물질에 노출되는 직업과 산업이 존재하는 장소, 특히 비철 금속산업, 조선업, 철도설비가 존재하는 장소에서 크게 측정되었다<sup>69)</sup>.

본 연구는 연구대상 수가 많지 않고, 각 사례들이 다양한 직종과 그에 따른 다양한 노출물질을 가지고 있을 뿐만 아니라 발암물질에 노출된 기간과 잠재기 등도 각기 달라 직업성 폐암으로 판단된 경우와 그렇지 않은 경우에서 유의한 차이를 보이는 특성은 발견할 수 없었다. 이는 업무관련성의 판단은 앞서 말한 여러 조건들을 만족해야만 그 관련성을 인정하는데, 비직업성 폐암으로 판단된 사례들은 이러한 다양한 조건들 중 하나만 만족하지 못하더라도 관련성이 없다고 판단되었을 수 있기 때문에 특정 조건의 차이를 발견하지 못한 것으로 판단된다.

그럼에도 불구하고 연구대상 128예 중 직업성 폐암이라고 판단된 53예는 역학조사 등을 통한 전문가적 판단에 의해 업무관련성이 인정된 사례들이다. 국내 직업성 폐암 전체의 규모를 알기 위해서는 실제 직업성 폐암 중 산업재해보상보험에 의한 보상 신청이 되는 비율을 알아야 하지만 이를 파악하는 것은 불가능하며, 보상이 신청된 전체 폐암 사례 중 역학조사가 의뢰된 비율도 파악할 수 없었다. 또한 보상 신청이 되었더라도 역학조사가 의뢰되지 않고 근로복지공단 지사에서 지사 자문의 소견 등으로 업무관련성을 인정해 주거나 인정해 주지 않은 경우가 있을 수 있지만, 이러한 사례들이 실제 객관적이고 정확한 기준으로 처리되었다고 판단하기는 어려우며, 이러한 한계점들은 비단 직업성 폐암만이 아닌 직업성 질환 전체에

적용되는 것이다. 업무관련성이 높다고 판단된 53예가 산업재해보상보험에 의한 보상을 받았는지의 여부도 확인되지 않았다. 53예의 사례가 실제 보상 여부와 차이가 있을 수는 있지만, 산업의학 및 산업위생학 등의 전문가적 관점에서 판단된 업무관련성이 행정적 판단에 의한 보상여부보다도 업무관련성 판단에 더 객관적인 기준이라고 생각된다.

따라서 상기한 여러 제한점들에도 불구하고, 본 연구의 직업성 폐암 사례들은 직업력, 노출물질 및 노출수준 평가, 의무기록 검토 등의 심층조사를 통해 업무와 관련하여 발생했다고 판단된 사례들이기 때문에 우리나라에서 발생하고 있는 일부 직업성 폐암의 특성을 나타낸다고 할 수 있다.

과거 산업화 과정에서 근로자들은 직업적으로 더욱 다양한 폐암 발암물질에 노출되었고 현장에서의 작업환경 관리 또한 1990년대 후반에 이르러서야 제대로 이루어지기 시작하였다. 최소 10년에서 평균 20년 이상의 폐암 잠재기를 감안할 때, 직업성 폐암은 앞으로도 증가할 것으로 추정되지만, 다양한 원인물질에 의해 발생하는 직업성 폐암을 발견하고 그 업무관련성을 밝히기는 쉽지 않다. 따라서 본 연구는 직업성 폐암의 원인이 되는 발암물질, 직업력, 잠재기, 흡연력 등에 관한 분석을 통해 직업성 폐암의 특성을 밝히고, 향후 직업성 폐암 발생을 줄이기 위한 정책 수립의 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

### 감사의 글

본 논문의 사례들의 역학조사에 기여해 주신 산업안전보건연구원 연구원들께 감사의 말씀을 드립니다.

### 요 약

**목적:** 역학조사를 통해 업무 관련성이 높다고 판단된 직업성 폐암 사례의 특성을 살펴보고자 하였다.

**방법:** 폐암으로 진단된 후 근로복지공단에 산업재해보상보험에 의한 요양급여 또는 유족급여를 신청한 사례의 업무상 질병 여부 판정을 위해 근로복지공단이 1999년부터 2005년까지 7년간 산업안전보건연구원에 역학조사를 의뢰한 128예 중에서 업무 관련성이 높다고 판단된 직업성 폐암 53예의 진단 당시 연령, 흡연력, 세포형, 직업 및 발암물질을 분석하였다.

**결과:** 직업성 폐암 53예와 비직업성 폐암 75예는 연령, 흡연력, 세포형의 분포에 있어서 서로 유의한 차이가 없었다( $p>0.05$ ). 직업성 폐암의 발암물질로는 석면이 33예(62.3%)로 가장 많았고, 다핵방향족탄화수소 23예(43.4%), 6가 크롬 17예(32.1%), 결정형 유리규산 14예

(26.4%), 니켈화합물 12예(22.6%)이었으며 그 외 라돈 자핵종(2예), 비소(1예) 등이었다. 18예(34.0%)는 하나의 폐암 발암물질에 노출되었고, 둘 이상의 물질이 복합적으로 작용한 사례가 35예(66.0%)이었다. 폐암 발암물질에 노출된 직업은 보수, 설비, 정비 등 16예(30.2%), 용접 13예(24.5%), 연마 및 사상 6예(11.3%), 주물이 4예(7.5%), 운전, 조형, 도장이 각 3예(5.7%)이었고 그 외 14예(26.4%)이었다. 석면이 원인이었던 사례는 평균 19.8년 동안 석면에 노출되고 최초 노출로부터 평균 22.4년이 지나 폐암이 발생하였다. 다핵방향족탄화수소는 평균 노출기간과 잠재기가 각각 18.7년 및 22.8년, 6가 크롬은 21.4년 및 22.8년, 결정형 유리규산은 20.5년 및 26.6년, 니켈화합물은 23.6년 및 25.0년, 라돈 자핵종은 11.3년 및 13.6년, 비소는 27.3년 및 60.8년이었다.

**결론:** 역학조사를 통해 업무 관련성이 높다고 판단된 사례들의 진단 당시 연령, 흡연력, 세포형, 직업 및 발암물질 분석을 통해 직업성 폐암의 특성을 파악할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- 1) Korea National Statistical Office. Death rates for condensed list of 103 causes by sex and age. Available: [http://www.kosis.kr/online/on00\\_index.jsp](http://www.kosis.kr/online/on00_index.jsp) [cited 18 January 2010].
- 2) Doll R, Peto R. The cause of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today. *J Natl Cancer Inst* 1981;66(6):1191-308.
- 3) Steenland K, Loomis D, Shy C, Simonsen N. Review of occupational lung carcinogens. *Am J Ind Med* 1996; 29(5):474-90.
- 4) Kang SK, Ahn YS, Chung HK. Occupational cancer in Korea in the 1990s. *Korean J Occup Environ Med* 2001;13(4):351-9. (Korean)
- 5) International Agency for Research on Cancer. Complete List of Agents Evaluated and Their Classification. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php> [cited 18 January 2010].
- 6) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. supplement 7. Overall Evaluations of Carcinogenicity: an Updating of IARC Monographs volumes 1 to 42. IARC. Lyon. 1987. pp 100-6.
- 7) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. supplement 7. Overall Evaluations of Carcinogenicity: an Updating of IARC Monographs volumes 1 to 42. IARC. Lyon. 1987. pp 106-16.
- 8) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 43. Man-made Mineral Fibres and Radon. IARC. Lyon. 1988. pp 239-41.
- 9) International Agency for Research on Cancer. IARC

- Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 49. Chromium, Nickel and Welding. IARC. Lyon. 1990. pp 208-14.
- 10) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 49. Chromium, Nickel and Welding. IARC. Lyon. 1990. pp 401-11.
  - 11) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 58. Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. IARC. Lyon. 1993. pp 100-3.
  - 12) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 58. Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. IARC. Lyon. 1993. pp 206-10.
  - 13) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 68. Silica, Some Silicates, Coal Dust and Para-aramid Fibrils. IARC. Lyon. 1997. pp 204-11.
  - 14) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 83. Tobacco Smoke and Involuntary Smoking. IARC. Lyon. 2004. pp 1179-87.
  - 15) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 46. Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes. IARC. Lyon. 1989. pp 148-54.
  - 16) Ahn YS, Kang SK. Asbestos-related Occupational Cancers Compensated under the Industrial Accident Compensation Insurance in Korea. *Ind Health*. 2009;47(2):113-22.
  - 17) Samet JM, Alberg AJ, Ford JG. Epidemiology of lung cancer and mesothelioma. *Eur Respir Mon* 2009; 44:349-91.
  - 18) World Health Organization. Country Profiles Tobacco or Health 2000. Available:<http://www.wpro.who.int/internet/resources.ashx/TFI/country+profiles+2000.pdf> [cited 18 January 2010].
  - 19) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 83. Tobacco Smoke and Involuntary Smoking. IARC. Lyon. 2004. pp 913-972.
  - 20) Devesa SS, Shaw GL, Blot WJ. Changing patterns of lung cancer incidence by histological type. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 1991;1(1):29-34.
  - 21) Hillerdal G, Henderson DW. Asbestos, asbestosis, pleural plaques and lung cancer. *Scand J Work Environ Health* 1997;23(2):93-103.
  - 22) Erren TC, Jacobsen M, Piekarski C. Synergy between asbestos and smoking on lung cancer risks. *Epidemiology* 1999;10(4):405-11.
  - 23) Lee PN. Relation between exposure to asbestos and smoking jointly and the risk of lung cancer. *Occup Environ Med* 2001;58(3):145-53.
  - 24) Liddell FD. The interaction of asbestos and smoking in lung cancer. *Ann Occup Hyg* 2001;45(5):341-56.
  - 25) Lloyd JW, Lundin FE Jr, Redmond CK, Geiser PB. Long-term mortality study of steel workers. IV. Mortality by work area. *J Occup Med* 1970;12(5):151-7.
  - 26) Costantino JP, Redmond CK, Bearden A. Occupationally related cancer risk among coke oven workers: 30 years of follow-up. *J Occup Environ Med* 1995;37(5): 597-604.
  - 27) Steenland NK, Silverman DT, Hornung RW. Case-control study of lung cancer and truck driving in the Teamsters Union. *Am J Public Health* 1990;80(6):670-4.
  - 28) Steenland K, Deddens J, Stayner L. Diesel exhaust and lung cancer in the trucking industry: exposure-response analyses and risk assessment. *Am J Ind Med* 1998; 34(3):220-8.
  - 29) Doll R, Vessey MP, Beasley RW, Buckley AR, Fear EC, Fisher RE, Gammon EJ, Gunn W, Hughes GO, Lee K, Norman-Smith B. Mortality of gas workers-final report of a prospective study. *Br J Ind Med* 1972; 29(4):394-406.
  - 30) Andersen A, Dahlberg BE, Magnus K, Wannag A. Risk of cancer in the Norwegian aluminium industry. *Int J Cancer* 1982;29(3):295-8.
  - 31) Gibbs GW. Mortality of aluminum reduction plant workers, 1950 through 1977. *J Occup Med* 1985; 27(10):761-70.
  - 32) Armstrong B, Tremblay C, Baris D, Theriault G. Lung cancer mortality and polynuclear aromatic hydrocarbons: a case-cohort study of aluminum production workers in Arvida, Quebec, Canada. *Am J Epidemiol* 1994;139(3):250-62.
  - 33) Garshick E, Schenker MB, Munoz A, Segal M, Smith TZ, Woskie SR, Hammond SK, Speizer FE. A case-control study of lung cancer and diesel exhaust exposure in railroad workers. *Am Rev Respir Dis* 1987; 135(6):1242-8.
  - 34) Zaubst DD, Clapp DE, Blade LM, Marlow DA, Steenland K, Hornung RW, Scheutzle D, Butler J. Quantitative determination of trucking industry workers' exposures to diesel exhaust particles. *Am Ind Hyg Assoc J* 1991;52(12):529-41.
  - 35) Järholm B, Silverman D. Lung cancer in heavy equipment operators and truck drivers with diesel exhaust exposure in the construction industry. *Occup Environ Med* 2003;60(7):516-20.
  - 36) Garshick E, Laden F, Hart JE, Rosner B, Smith TJ, Dockery DW, Speizer FE. Lung cancer in railroad workers exposed to diesel exhaust. *Environ Health Perspect* 2004;112(15):1539-43.
  - 37) Hesterberg TW, Bunn WB 3rd, Chase GR, Valberg PA, Slavin TJ, Lapin CA, Hart GA. A critical assessment of studies on the carcinogenic potential of diesel exhaust. *Crit Rev Toxicol* 2006;36(9):727-76.
  - 38) Davis ME, Smith TJ, Laden F, Hart JE, Blicharz AP, Reaser P, Garshick E. Driver exposure to combustion



- particles in the U.S. Trucking industry. *J Occup Environ Hyg* 2007;4(11):848-54.
- 39) Garshick E, Laden F, Hart JE, Rosner B, Davis ME, Eisen EA, Smith TJ. Lung cancer and vehicle exhaust in trucking industry workers. *Environ Health Perspect* 2008;116(10):1327-32.
  - 40) Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). Health Effect and Management by Harmful factor: Chromium (translated by Lim JW). Korea Occupational Safety and Health Agency. Incheon, Korea. 2005. pp 24. (Korean)
  - 41) Becker N, Claude J, Frenzel-Beyme R. Cancer risk of arc welders exposed to fumes containing chromium and nickel. *Scand J Work Environ Health* 1985;11(2):75-82.
  - 42) Hayes RB, Sheffet A, Spirtas R. Cancer mortality among a cohort of chromium pigment workers. *Am J Ind Med* 1989;16(2):127-33.
  - 43) Cocco P, Rice CH, Chen JQ, McCawley MA, McLaughlin JK, Dosemeci M. Lung cancer risk, silica exposure, and silicosis in Chinese mines and pottery factories: the modifying role of other workplace lung carcinogens. *Am J Ind Med* 2001;40(6):674-82.
  - 44) Hughes JM, Weill H, Rando RJ, Shi R, McDonald AD, McDonald JC. Cohort mortality study of North American industrial sand workers. II. Case-referent analysis of lung cancer and silicosis deaths. *Ann Occup Hyg* 2001;45(3):201-7.
  - 45) Rice FL, Park R, Stayner L, Smith R, Gilbert S, Checkoway H. Crystalline silica exposure and lung cancer mortality in diatomaceous earth industry workers: a quantitative risk assessment. *Occup Environ Med* 2001;58(1):38-45.
  - 46) Steenland K, Sanderson W. Lung cancer among industrial sand workers exposed to crystalline silica. *Am J Epidemiol* 2001;153(7):695-703.
  - 47) Calvert GM, Rice FL, Boiano JM, Sheehy JW, Sanderson WT. Occupational silica exposure and risk of various diseases: an analysis using death certificates from 27 states of the United States. *Occup Environ Med* 2003;60(2):122-9.
  - 48) Attfield MD, Costello J. Quantitative exposure-response for silica dust and lung cancer in Vermont granite workers. *Am J Ind Med* 2004;45(2):129-38.
  - 49) Cassidy A, Manetteje A, van Tongeren M, Field JK, Zaridze D, Szeszenia-Dabrowska N, Rudnai P, Lissowska J, Fabianova E, Mates D, Bencko V, Foretova L, Janout V, Fevotte J, Fletcher T, Brennan P, Boffetta P. Occupational exposure to crystalline silica and risk of lung cancer: a multicenter case-control study in Europe. *Epidemiology* 2007;18(1):36-43.
  - 50) Andersen A, Berge SR, Engeland A, Norseth T. Exposure to nickel compounds and smoking in relation to incidence of lung and nasal cancer among nickel refinery workers. *Occup Environ Med* 1996;53(10):708-13.
  - 51) Darby SC, Whitley E, Howe GR, Hutchings SJ, Kusiak RA, Lubin JH, Morrison HI, Tirmarche M, Tomasek L, Radford EP, Roscoe RJ, Samet JM, Yao SX. Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies. *J Natl Cancer Inst* 1995;87(5):378-84.
  - 52) Hertz-Picciotto I, Smith AH, Holtzman D, Lipsett M, Alexeeff G. Synergism between occupational arsenic exposure and smoking in the induction of lung cancer. *Epidemiology* 1992;3(1):23-31.
  - 53) Simeonova PP, Luster MI. Mechanisms of arsenic carcinogenicity: genetic or epigenetic mechanisms? *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 2000;19(3):281-6.
  - 54) Sferlazza SJ, Beckett WS. The respiratory health of welders. *Am Rev Respir Dis* 1991;143(5 Pt 1):1134-48.
  - 55) Sjogren B, Hansen KS, Kjuus H, Persson PG. Exposure to stainless steel welding fumes and lung cancer: a meta-analysis. *Occup Environ Med* 1994;51(5):335-6.
  - 56) Langard S. Nickel-related cancer in welders. *Sci Total Environ* 1994;148(2-3):303-9.
  - 57) Simonato L, Fletcher AC, Andersen A, Anderson K, Becker N, Chang-Claude J, Ferro G, Gerin M, Gray CN, Hansen KS, Kalliomaki P-L, Kurppa K, Langard S, Merlo F, Moulin JJ, Newhouse ML, Peto J, Pukkala E, Sjogren B, Wild P, Winkelmann R, Saracci R. A historical prospective study of European stainless steel, mild steel, and shipyard welders. *Br J Ind Med* 1991;48(3):145-54.
  - 58) Moulin JJ. A meta-analysis of epidemiologic studies of lung cancer in welders. *Scand J Work Environ Health* 1997;23(2):104-13.
  - 59) Steenland K, Beaumont J, Elliot L. Lung cancer in mild steel welders. *Am J Epidemiol* 1991;133(3):220-9.
  - 60) Steenland K. Ten-year update on mortality among mild-steel welders. *Scand J Work Environ Health* 2002;28(3):163-7.
  - 61) International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. supplement 7. Overall Evaluations of Carcinogenicity: an Updating of IARC Monographs volumes 1 to 42. IARC. Lyon. 1987. pp 224-5.
  - 62) Koskela RS, Hernberg S, Karava R, Jarvinen E, Nurminen M. A mortality study of foundry workers. *Scand J Work Environ Health* 1976;2 (Suppl 1):73-89.
  - 63) Egan B, Waxweiler RJ, Blade L, Wolfe J, Wagoner JK. A preliminary report of mortality patterns among foundry workers. *J Environ Pathol Toxicol* 1979; 2(5):259-72.
  - 64) Tola S, Koskela RS, Hernberg S, Jarvinen E. Lung cancer mortality among iron foundry workers. *J Occup Med* 1979;21(11):753-9.
  - 65) Sherson D, Svane O, Lynge E. Cancer incidence among foundry workers in Denmark. *Arch Environ Health* 1991;46(2):75-81.
  - 66) Moulin JJ, Wild P, Mantout B, Fournier-Betz M, Mur JM, Smaghe G. Mortality from lung cancer and cardiovascular diseases among stainless-steel producing workers. *Cancer Causes Control* 1993;4(2):75-81.

- 67) Sherson D, Sabro P, Sigsgaard T, Johansen F, Autrup H. Biological monitoring of foundry workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Br J Ind Med* 1990;47(7):448-53.
- 68) Consonni D, De Matteis S, Lubin JH, Wacholder S, Tucker M, Pesatori AC, Caporaso NE, Bertazzi PA, Landi MT. Lung cancer and occupation in a population-based case-control study. *Am J Epidemiol*. 2010; 171(3):323-33.
- 69) De Matteis S, Consonni D, Bertazzi PA. Exposure to occupational carcinogens and lung cancer risk. Evolution of epidemiological estimates of attributable fraction. *Acta Biomed*. 2008;79 (Suppl 1):34-42.