

RESIN 취급 주물공장 근로자들의 호흡기 건강에 관한 연구

최정근¹ · 이창옥¹ · 백도명¹ · 최병순² · 신용철² · 정호근²

서울대학교 보건대학원 예방의학교실¹, 산업보건연구원²

= Abstract =

Respiratory Health of Foundry Workers Exposed to Binding Resin

Jung Keun Choi¹, Chang Ok Rhee¹, Do Myung Paek¹, Byung Soon Choi²,
Yong Chul Shin², Ho Keun Chung²

*Department of Preventive Medicine, School of Public Health, Seoul National University¹
Industrial Health Research Institute²*

The effects of resin on the respiratory health have been investigated in 309 workers from four iron and steel foundries and the results compared with those from 122 workers who were not significantly exposed to resin gas and silica dust at the same industries. Phenol-formaldehyde resin was used in the core making and molding processes and workers were exposed to their decomposition products as well as to silica dust containing particulates. The subjects were grouped according to formaldehyde, dust and other gas exposures, and smoking habits were considered also in the analysis. Standardized respiratory symptom questionnaire was administered by trained interviewers. Chest radiograph, pulmonary function tests, and methacholine challenge tests were done. Environmental measurements at the breathing zone were carried out to determine levels of formaldehyde, respirable dust and total dust.

Foundry workers had a higher prevalence of symptoms of chronic bronchitis with chronic phlegm and chronic cough when exposed to dust. Exposure to gas was significantly associated with lowered FEV₁ and obstructive pulmonary function changes. Exposure to formaldehyde and phenol gas was associated with wheezing symptom among workers, but FEV₁ changes after methacholine challenge were not significantly different among different exposure groups. When asthma was defined as the presence of bronchial hyperreactivity with more than 20% decrease in FEV₁ after methacholine challenge, 17 workers out of 222 tested had asthma. Fewer asthmatic workers were found among groups exposed to formaldehyde, gas and dust, which indicates a healthy worker effects in a cross-sectional study. The concentration of formaldehyde gas ranged from 0.24 to 0.43 ppm among studied foundries. The authors conclude that

formaldehyde and phenol gas from combusted resin is probably the cause of asthmatic symptoms and also a selection force of those with¹ higher bronchial reactivity away from exposures.

Key words : phenol-formaldehyde resin, foundry, asthma, airway obstruction

서 론

다양한 건강 유해인자에 폭로되는 주물공장 근로자들에게서는 여러가지 직업관련성 질환이 발생할 수 있으며, 그 중 호흡기 질환이 대표적이다. 규소분진과 금속분진에 의한 진폐증, 금속 흡(fume) 등에 의한 폐렴, 급성 또는 만성 기관지염, 폐암, 중금속 중독, 뇌심혈관계 질환 등이 주물공장 근로자들에게서 발생하는 것으로 보고되고 있다(Andjelkovich 등, 1992; Johnson 등, 1985; Low 등, 1985; Tossavainen, 1976). 특히 주물사에 혼합하는 resin은 호흡기 질환 발생에 주요한 요인 중의 하나로, 주물사 가열시에 resin이 타면서 발생하는 유해가스는 급만성 기관지염, 천식, 폐암 등의 호흡기 질환을 유발시키는 것으로 의심되고 있다(Holmstrom과 Wilhelmsson, 1988; Wilhelmsson과 Holmstrom, 1992; Becher 등, 1989).

주물공장에서 resin은 모래의 점도를 높여 쇳물 주입시에 주형의 형태를 유지하도록 하고, 쇳물을 붓고 난 후에는 연소되어 주형과 주물이 잘 분리되도록 하기 위하여 사용된다. resin에서 발생하는 유해가스들은 쇳물을 주입하기 위한 조형을 제작하는 과정에서 주로 발생하는 것으로, 조형의 안쪽 형틀을 제작하는 증자부서와 조형의 외형을 제작하는 주형부서에서 resin으로 화학 처리한 주물사를 가열하여 증자와 조형을 제작하거나, 조형에 쇳물을 주입하는 주조부서 등에서 제작된 주형에 뜨거운 쇳물을 주입할 때 발생한다.

이러한 유해가스 중 formaldehyde와 phenol은 상기도의 점막을 자극하고 섬모운동을 감소시키는 심한 자극성 가스이다. 이들에 폭로는 과민반

응에 의한 기관지 수축을 초래하여 천식과 폐색성 폐질환 등의 호흡기 질환을 유발하거나 악화시킬 수 있다(Bernstein 등, 1984). 일반적으로 formaldehyde와 phenol은 가스상태에서 물에 잘 녹기 때문에 코나 인후두에서 대부분 흡수되어 기관지 이하 부위로는 거의 침투가 되지 않는다. 그러나 농도가 높거나 분진에 흡착되거나 aerosol 형태의 작은 입자모양으로 존재하는 경우에는 하부 기관지를 지나 폐포부위까지 도달하여 천식, 폐렴, 급만성 기관지염 등의 호흡기 질환을 일으킬 수 있는 것으로 알려지고 있다(Karava 등, 1976; Hendrick과 Lane, 1977). 이러한 formaldehyde에 대한 연구는 주로 가구공장에서 목분진과 함께 폭로되어 발생하는 호흡기 질환과 천식에 대해 이루어졌다.

주물공장에서는 밀집된 작업장이 서로 개방되어 있어 분진 및 금속 흡에 폭로되며, 이외에 새로운 공법에 따른 formaldehyde 등의 가스에도 동시에 폭로되고 있다. 주물공장에서 분진과 쇳물 용해시 발생하는 가스 등만이 주로 문제되어 왔으나, 새로이 resin이 첨가된 주물사를 사용하면서 formaldehyde와 phenol에 폭로 또한 문제되어 주물공장에서 발생하는 천식에 대한 사례 보고가 되고 있다(Bresson 등, 1978; Cockcroft 등, 1980). 한편 이들에 대한 복합작용으로 발생하는 천식과 호흡기 장애에 대한 집단조사는 아직 이루어지고 있지 않다. 본 연구에서는 분진과 각종 유해가스에 동시 폭로되는 주물공장의 각개 부서에서 호흡기 질환을 일으키는 유해요인들과 흡연력을 파악하여 그에 따른 주물공장 근로자들의 호흡기 질환 상태를 기술하고자 하였다. 특히 Res

in을 가열할 때 발생하는 유해가스에 의한 폐기능의 변화와 천식의 발생 현황을 파악하고자 하였다.

연구 방법

1. 연구대상

주물공장 근로자들의 호흡기 질환 상태와 유해요인들을 조사하기 위하여 1992년 3월부터 1993년 9월까지 춘천, 안동, 부산에 위치한 4곳의 주물공장 근로자들을 대상으로 조사하였다. 본 연구에서는 주물제작의 여러 부서 중 비교적 여러 유해 요인에 폭로되는 중차, 조형, 용해, 원심부서와 그 외 사무직, 가공부서, 그리고 후처리부서에 근무하는 근로자들이 포함되었다. 총 근로자 수는 642명이었으나, CO₂ 조형부서 근로자, 흉부방사선 직접촬영을 실시하여 결핵과 진폐 등 방사선학적 이상소견이 있는 근로자, 폐기능의 변화가 없을 것으로 판단되는 3개월 이하의 작업경력 근로자들을 제외한 431명(67.1%)이 최종 연구대상으로 선정되었다.

주물공장 4곳은 주로 라디에터나 하수처리용 주철관을 생산하고 있었으며, 2곳에서는 그 외에 일반 기계 부품이나 자동차 엔진도 생산하고 있었다. 조사 사업장 3곳은 모래에 phenol-formaldehyde resin만을 섞은 주물사를 사용하고 있으나, 한 사업장에서는 phenol-formaldehyde resin의 주물사 이외에 CO₂ 조형작업도 부분적으로 이루어지고 있었다.

2. 연구 방법

주물공장은 작업장이 개방되어 있고 인접하여 작업함으로써 여러 유해물질에 동시에 폭로되고 있다. 조사된 부서에서도 유해요인이 중복되어 폭로되고 있으므로 폭로농도를 파악하고 유해요인에 따른 폭로군을 분류하기 위하여 formaldehyde와 분진을 측정하였다. 공기중 formaldehyde는 NIOSH(National Institute for Occu-

pational Safety and Health) 공정시험법 'Method 3500'을 이용하여 측정하였으며 총 시료수는 29개였다. 공기중 호흡성 분진과 총 분진은 NIOSH 공정시험법 'Method 0600', 'Method 0500'을 이용하여 동시에 측정하였고, 시료수는 각각 20개와 17개이었다.

유해요인에 따른 폭로군과 상대적으로 폭로되지 않는 비폭로군을 구별하기 위하여 작업공정의 배열과 작업 형태, 공정별 작업환경 측정결과, 그리고 과거 작업환경 측정결과 등을 바탕으로 본 연구에 참여한 연구진 4명에게 독립적으로 부서별 호흡기 유해요인에 따라 폭로 정도를 폭로와 비폭로로 분류토록 하고, 이 결과를 다시 연구진 각자에게 회부하여 이견을 조정하는 Delphi 방법을 사용하였다.

근로자들의 호흡기 증상 호소를 알아보기 위하여 BMRC(British Medical Research Council, 1960, 1965)와 IUAT(International Union Against Tuberculosis)의 설문(Burney 등, 1987)을 바탕으로 호흡기 증상 설문지를 작성하여 직접 면담 방법으로 설문 조사하였다. 내용은 기침, 가래, 숨참, 천명, 가슴 답답함 등의 호흡기 증상과 호흡기 질환의 과거력, 직업력 등이 포함되었다. 설문지 조사와 함께 의사의 진찰을 시행하였다.

폐기능 검사는 ATS(American Thoracic Society, 1979, 1987, 1991)에서 권고하는 방법에 따라 정확한 검사가 최소한 3회 이상 되도록 실시하였다. 검사 시행 전과 시행 후에 폐기능 검사가 보정을 실시하였다. 검사는 폐기능 검사의 목적을 충분히 설명하고 시범을 보여준 후에 선 자세로 코를 막지 않은 상태에서 시행하였다. 검사시 3초 이상 불어내지 못하였거나 이상한 잡음이나 호기곡선의 갑작스런 변동 등 검사상 이상이 있는 경우는 분석에서 제외하였다. 예측치 공식은 우리나라의 폐기능 검사기에 주로 사용되는 Baldwin 등(1948)의 폐활량 공식에 따라 예측치 대비 노력성 폐활량 퍼센트(% predicted FVC)를 계산하였으며, Berglund 등(1960)의 1초량 공식에

따라 예측치 대비 1초량 퍼센트(% predicted FEV₁)를 계산하였다. 사용된 검사기는 일본 Chest사의 Microspiro HI-298과 일본 Fukuda사의 Spiroshift 500을 사용하였다.

유해요인과 천식과의 관계를 알아보기 위하여 기관지 유발검사를 시행하였다(Ivangelo 등, 1984; McNutt 등, 1991; Palmeiro 등, 1992). 본 연구대상 부서에 근무하는 근로자들 중에 유해가스에 폭로되는 중자, 조형, 원심, 용해부서와 그 외 폭로되지 않는 사무직과 가공, 조립부서의 근로자 222명을 상대로 검사하였다. 검사는 생리적 식염수를 사용하여 기초검사를 시행한 후에 methacholine을 이용하여 기관지 유발정도를 검사하였다. 과거나 현재에 천식력이 있거나 천명 등의 호흡기 증상이 있는 경우는 1.25mg/ml부터 Dosimeter Nebulzer(Devilbis, S and M instrument company)를 사용하여 5번 흡입후 90초, 180초, 5분의 폐기능검사를 시행하였다. 이 때 정확한 검사가 2회 이상 되도록 실시하였다. 생리적 식염수 검사치와 비교하여 methacholine 투여 후 FEV₁(Forced Expiratory Volume in 1 sec)가 20% 이상 변화하면 중지하고 변화가 없는 경우는 2.5, 6.25, 12.5, 25mg/ml를 순서대로 흡입하고 검사하였다. 폐기능 검사와 특별한 호흡기 이상이 없는 경우에는 처음부터 25mg/ml를 동일한 방법으로 흡입한 후에 검사하였다. 이 때 기관지 유발검사상 20% 이상 FEV₁이 감소하며 설문상에 천식력이 있거나, 가래, 기침, 숨참, 가슴 답답함 등의 호흡기 증상이 하나라도 호소되는 경우 천식으로 진단하였다.

최종적인 자료 분석은 한 근로자가 여러가지 유해요인에 중복 폭로되고 있으므로 작업장 유해요인들과 흡연이 임상증상의 발현 및 폐기능에 미치는 영향을 파악하고자 중회귀분석을 시행하였다. 임상증상의 유무와 같은 범주형 자료는 logistic 회귀분석을 하였으며, 폐기능과 같은 연속형 자료는 선형 회귀분석을 하였다.

연구결과

1. 작업환경 측정결과 및 폭로군의 분류

조사대상 사업장의 formaldehyde 폭로수준은 폭로부서에서 평균 0.24 ± 0.10 ppm으로 허용기준치 (ACGIH TLV; 0.3 ppm) 이하였으나, 폭로부서 중 중자부서가 0.43 ± 0.34 ppm으로 허용농도를 초과하고 있었으며, 다음으로 조형부서가 0.26 ± 0.16 ppm을 나타내었다. 호흡성 분진 폭로수준은 중자부서 1.18 ± 0.30 mg/m³, 조형부서 0.61 ± 0.34 mg/m³, 원심부서 0.51 ± 0.23 mg/m³, 탈사와 사상의 후처리부서 0.34 ± 0.17 mg/m³으로, 중자부서가 탈사부서보다 호흡성 분진이 많은 것으로 나타났다. 공기중 총 분진농도는 중자부서에서 1.16 ± 0.37 mg/m³, 조형부서 2.43 ± 1.25 mg/m³, 원심부서 7.10 ± 3.54 mg/m³, 후처리부서 2.90 ± 0.31 mg/m³로, 원심부서가 총 분진에 높게 폭로되고 있었다.

본 연구에서는 중자, 조형, 용해, 원심, 후처리부서로 resin이 포함된 주물사에서 발생하는 가스 및 분진, 금속 용해시 발생하는 가스에 한가지라도 폭로되면 폭로군으로 분류하였다. 한편 이에 해당하지 않는 가공부서와 사무부서 근로자들을 비폭로군으로 분류하였다. 그 결과 309명이 폭로군으로 122명이 비폭로군으로 분류되었다. 폭로군은 모두 분진에 폭로되고 있었다. 일부 근로자들은 그 외에도 다른 유해요인들에 폭로되고 있는 바, 이를 다시 구분하여 중자부서와 같이 phenol-formaldehyde resin이 포함된 주물사를 200~400℃ 가열시 발생하는 formaldehyde와 phenol 등에 직간접 폭로되는 근로자 182명을 formaldehyde 폭로군으로 분류하였다. 그 외 조형이나 원심, 주조, 용해부서와 같이 1400℃ 쇳물을 주입함으로써 발생하는 가스와 쇳물 용해할 때 발생하는 가스 등에 폭로되는 근로자 232명을 가스폭로군으로 분류하였다. 이 중 105명은 작업형태상 formaldehyde 폭로군과 가스폭로군으로 중복되

어 분류되었다.

한편 흡연으로 인한 호흡기에의 영향을 알아보기 위하여 과거 흡연자와 현재 흡연자를 묶어 흡연군으로 비흡연군과 구분하여 분류하였다.

2. 폭로에 따른 연구 대상군의 일반적 특징

조사된 전체 근로자들의 평균 연령은 남자가 평균 40.4세, 여자가 47.4세로 여성 근로자의 연령이 7세 많았으며, 근무기간은 남자가 7.5년, 여자가 6.4년이였다. 각개 폭로별로 본 연구대상자의 일반적 특성은 Table 1에 정리하였다.

근무시간은 주당 53~66시간으로 부서별, 폭로요인별 차이는 없었다. 유해요인에 폭로되는 부서 중 중자부서에서 다른 유해부서보다 여성 근로자가 많았으나 폭로요인에 따른 나이, 신장, 근무기간, 흡연력, 흡연량에 유의한 차이는 없었다.

3. 호흡기 증상

폭로군별로 살펴보았을 때, formaldehyde 폭로

군에서 천명(wheezing)이, 분진폭로군에서는 호흡곤란(dyspnea)이, 가스폭로군에서는 가슴 답답한(chest tightness) 증상이 비폭로군과 비교하여 특히 높게 나타났다(Table 2). 그 외에 만성 기침과 만성 가래는 폭로되고 있는 군 모두에서 비폭로군에 비하여 높게 나타나고 있다.

한편 흡연의 경우, 흡연군에서 만성 가래와 만성 기침이 비흡연군에 비하여 높게 나타나고 있어 전형적인 만성 기관지염의 증세를 보여주고 있다. 그러나 호흡곤란과 가슴 답답함은 흡연에 따른 차이를 보이지 않고 있었다.

4. 폐기능 및 기관지 유발검사

Table 3에서 보듯이 평균 예측치 대비 노력성 폐활량%는 폭로 비폭로군 모두에서 100%를 넘어 정상 범위에 속하고 있으나, 남성 근로자의 경우 formaldehyde, 분진, 가스폭로군은 비폭로군에 비하여 노력성 폐활량이 감소되어 있었다. 특히 가스폭로군의 예측치 대비 노력성 폐활량 %는

Table 1. General characteristics of study subjects

	Formaldehyde*		Dust**		Gas***		No-exposure	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Number	102	80	192	117	143	89	93	29
Age (year)	38.8 (10.0)	46.7 (6.3)	41.2 (10.6)	47.3 (6.3)	40.5 (10.3)	47.1 (6.8)	39.6 (11.2)	50.9 (10.5)
Height (cm)	166.5 (6.3)	153.9 (4.8)	166.2 (6.2)	153.4 (5.0)	166.5 (6.2)	153.6 (4.9)	166.9 (5.7)	155.4 (7.4)
No smokers (N)	22	77	36	133	26	85	20	25
Smokers (N)	80	1	156	2	117	2	72	4
Smoking amount (pack-year)	10.2 (10.1)	0.0 (0.2)	12.5 (12.0)	0.3 (3.3)	12.4 (11.7)	0.4 (3.8)	12.4 (12.6)	1.0 (3.5)
Tenure (year)	8.3 (7.0)	6.1 (4.1)	7.6 (6.6)	6.5 (4.6)	8.1 (7.2)	6.0 (4.3)	7.4 (7.2)	5.9 (4.2)

(): S.D.

* workers exposed to gas from heating resin-coated sand around 200~400°C

** workers exposed to dust

*** workers exposed to gas from melting and pouring melted iron of around 1400°C

Table 2. Clinical symptoms by exposure and smoker group

(unit: %)

	Formaldehyde	Dust	Gas	No-exposure	No-smokers	Smokers
Chronic cough	12.2	11.4	11.3	9.1	8.3	12.9
Chronic phlegm	22.7	22.5	22.2	15.9	15.5	25.1
Hemoptysis	1.7	2.0	1.3	3.4	2.1	2.6
Dyspnea	28.2	30.0	21.7	16.4	33.5	30.3
Wheeze	10.5	8.1	8.3	6.7	4.7	10.3
Chest tightness	13.3	15.8	16.2	8.2	13.2	15.1

Table 3. Lung function test results by exposure and smoker group(Mean \pm S.D.)

	Formaldehyde	Dust	Gas	No-exposure	No-smokers	Smokers
FVC* (% pred.)						
Male	102.4 \pm 18.1	102.3 \pm 18.8	101.9 \pm 19.4	105.3 \pm 19.2	99.9 \pm 19.4	104.2 \pm 18.9
Female	101.0 \pm 17.3	102.5 \pm 17.2	100.6 \pm 16.8	100.1 \pm 24.1	101.9 \pm 18.5	106.3 \pm 27.4
FEV₁** (% pred.)						
Male	90.3 \pm 15.6	91.8 \pm 16.4	89.9 \pm 15.5	94.3 \pm 18.2	90.8 \pm 18.8	93.2 \pm 16.6
Female	92.5 \pm 14.2	94.2 \pm 14.6	92.7 \pm 14.2	94.3 \pm 20.3	93.9 \pm 15.8	104.3 \pm 16.6
Decrease in FEV₁ with methacholine challenge(%)						
Male	7.7 \pm 10.3	8.1 \pm 10.3	8.0 \pm 9.6	7.9 \pm 10.4	6.2 \pm 15.2	8.5 \pm 8.8
Female	7.7 \pm 10.3	7.5 \pm 10.7	7.4 \pm 10.1	7.5 \pm 7.0	7.6 \pm 10.6	7.0 \pm 0.1

FVC* : Forced vital capacity

FEV₁** : Forced expiratory volume in 1 second

비폭로군보다 3.4%가 감소되어 있었다. 반면 여성 근로자의 경우에는 폭로군과 비폭로군간에 큰 차이를 보이고 있지 않았다.

한편 예측치 대비 1초량 %는 폭로군과 비폭로군 모두에서 100%에 못 미치고 있으나, 폭로군과 비폭로군을 비교하였을 때는 노력성 폐활량과 같은 양상을 보이고 있었다. 남성 근로자는 폭로군에서 비폭로군보다 1초량 %가 감소되어 있으며, 특히 가스폭로군의 경우 4.4%의 차이를 보이고 있었다. 반면 여성 근로자들은 차이가 없었다.

Methacholine 투여 후의 검사치와 saline 투여 후의 검사치를 비교하여 변화한 1초량은 남성과 여성 근로자 모두에서 폭로군과 비폭로군 간에

큰 차이는 없었으나 남성에서는 분진폭로군이 여성에서는 formaldehyde 폭로군이 비폭로군과 비교하여 다소 큰 1초량의 감소를 보였다.

흡연에 따른 폐기능 검사 결과에 있어서는 흡연군이 비흡연군보다 예측치 대비 노력성 폐활량 %와 예측치 대비 1초량 %가 모두 높았다. 그러나 methacholine 투여 후 1초량의 감소는 남성 근로자 중 흡연군에서는 8.5%로 비흡연군의 6.2%에 비하여 더 큰 감소를 보이고 있었다.

5. 천식의 유병률

전체 조사 대상자 중 methacholine 기관지 유발 검사를 무작위로 222명에게 시행하였으며, 이중

17명(7.7%)이 saline 투여시와 비교하여 methacholine을 투여하였을 때 20% 이상 1초량의 감소를 보이며 설문상 천식력 혹은 기침, 가래, 천명, 숨참, 가슴 답답함 등의 호흡기 증상을 호소하여 천식으로 진단되었다. 그러나 비폭로군에 비하여 모든 폭로군에서 천식의 유병율이 모두 낮았다. 또한 흡연자에서 비흡연자보다 천식의 유병율이 낮았다(Table 4).

6. 중복 폭로되는 유해요인 중 폐기능 및 임상 증상에 미치는 요인

본 연구대상을 포함하여 호흡기 질환을 일으키는 유해요인에 폭로되고 있는 주물공장 근로자들은 분진과 유해가스 등 복합적인 유해요인에 동시에 폭로되고 있다. 본 중회귀 분석에서는 폐기능에 영향을 미치는 것으로 보고된 나이, 성별, 신

장, 흡연력 등 개인적인 요인을 고려한 후에 호흡기관련 질환을 유발하는 직업적 유해요인들이 미치는 영향을 파악하였다. 또한 방사선 사진상 폐 질환이 있는 근로자들도 요인을 알아보기 위하여 분석에 포함하였다.

분석된 폐기능 검사결과에서 노력성 폐활량은 특별히 직업적 유해요인과 연관이 없으나 1초량은 개인적 요인 이외에도 유해가스에 폭로시 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 특히 1초울의 경우 흡연을 포함한 개인적인 요인 이외에도 유해가스에 폭로되는 경우 감소하며, 작업경력이 길수록 유의하게 감소하는 것으로 나타나, 주물공장 근로자들에게서 유해가스와의 폭로는 주로 1초량이 감소하여 1초울이 감소하는 기관지 폐색을 초래하는 것으로 보여진다(Table 5).

한편 기관지 유발검사 상 생리적 식염수 투여

Table 4. Prevalence of asthma by exposure and smoker group (No(%))

	Formaldehyde	Dust	Gas	No-exposure	No-smokers	Smokers
Number	142	198	181	25	111	111
Normal	132 (93.0)	184 (92.9)	170 (93.9)	22 (88.0)	101 (91.0)	104 (93.7)
Asthma	10 (7.0)	14 (7.1)	11 (6.1)	3 (12.0)	10 (9.0)	7 (6.3)

Table 5. Multiple linear regression analysis of lung function test results

	Personal factors	Work factors
FVC*	height ^{***} , age ^{***} , sex ^{****}	none
FEV ₁ **	height ^{***} , age ^{***} , sex ^{***} , lung disease ^{**}	gas ^{***}
FEV ₁ % ^{***}	height ^{***} , age ^{***} , sex ^{***} , lung disease ^{**} , smoking amount ^{****}	tenure ^{**} , gas [*]
NFEV ₁ % ^{****}	lung disease [*] , age [*]	none

* (p < 0.1) ** (p < 0.05) *** (p < 0.001)

*: Forced vital capacity

** : Forced expiratory volume in 1 sec

***: Percent predicted FEV₁

****: (FEV₁ (after saline) - FEV₁ (after methacholine)) / FEV₁ (after saline)

시와 비교하여 methacholine 투여시 상대적으로 감소하는 1초량은 연령과 연관이 있으나 다른 요인보다는 관련이 없으며, 분석된 주물공장의 직업적 호흡기 건강유해요인과는 유의한 관련이 없었다.

임상 증상 중에 만성기관지염 증상인 만성 가래와 만성 기침은 흡연과 유의한 연관이 있는 것으로 분석되었으며, 직업요인으로는 분진폭로와 연관이 있었다. 한편 천식의 증상인 천명은 유의한 연관성을 보이는 개인적 요인들은 없으나 작업 관련 요인 중 formaldehyde 폭로가 연관이 있는 것으로 나타났다. 그 외에 숨찬 증상을 설명하는 요인은 없었으나, 가슴 답답한 증상은 직업관련 요인 중 분진 폭로와 유의한 연관성을 나타내었다(Table 6).

고 찰

주물공장 근로자들에게서는 주물사에 포함된 유리규산 분진에 의한 진폐증이 주로 연구의 대상이었으나 진폐증뿐만 아니라 다른 호흡기 질환 유발요인들에 의해 폐기능 장애가 발생할 수 있음을 이 연구에서 제시하고 있다. 작업 형태도 용해로를 중심으로 밀집된 각 부서가 서로 개방되어 있어 유해요인들이 근처에서 작업하는 근로자에게도 폭로된다. 본 조사 대상이었던 4개 주물공장도 분진, 흙, 가스, 특히 주물사에 섞는 res-

in의 연소 가스에 작업부서 이외의 다른 부서 근로자들도 광범위하게 폭로되고 있었다. phenol-formaldehyde resin은 주물공장에서 가장 많이 사용되는 resin으로 모래무게의 2~4%를 섞어 사용하고 있다. formaldehyde와 phenol은 부피비 1:1(무게비로는 30:94)로 혼합하여 만든다. 따라서 주물사를 200~400℃로 가열하여 구어낼 때나 조형에 약 1400℃의 췌물을 부어 서서히 식히는 경우 주로 formaldehyde와 phenol, 일산화탄소, 이산화탄소, 다핵방향족화합물, ammonia 등의 유해가스가 발생하는 것으로 보고되고 있다(NIOSH, 1985; Schoenberg 등, 1975).

Resin의 연소시에 발생하는 주요 가스로 formaldehyde와 phenol은 상기도를 자극하며 급성과 만성으로 기관지 수축을 일으켜 천식을 발생시키는 물질로 밝혀져 있다(Henrik 등, 1985). 이러한 formaldehyde에의 폭로는 산업장에서 흔히 resin이 포함된 물질을 사용함으로써 발생하는 것으로, 화학 공장과 PVC 공장, 주물 공장, 가구 공장, 목재, 섬유, 제지 공장, 고무제품 공장, 유기용제, 염료, 향수, 사진 현상, 살충제 등에서 다양하게 사용되고 있어 실제 폭로근로자수가 많다. 또한 흡연, 방부제, 건물 등으로부터 자연적으로 발생되어 대기오염이나 실내 환경오염물질이 되고 있다. 한편 본 연구에 포함된 주물공장들은 주로 phenol-formaldehyde resin을 사용하고 있으나, 그 외에도 urea formaldehyde, urea phenol for-

Table 6. Logistic regression analysis of respiratory symptoms

Symptoms	Personal factors	Work-related factors
Chronic phlegm	smoking amount**, age**	dust*
Chronic cough	smoking amount**, sex***	dust**
Dyspnea	none	none
Wheeze	none	formaldehyde*
Chest tightness	none	dust**

* (p < 0.1) ** (p < 0.05) *** (p < 0.001)

maldehyde, urethane, furan, furfuryl alcohol, epoxy resin 등이 사용되기도 하여, resin에 따른 유해요인도 다양하다.

Formaldehyde에 폭로시 후각역치로 0.17 ppm의 농도에서 50%의 근로자가 폭로를 느낄 수 있으며, 이와 같은 농도에서 시간이 지난 후에는 적응되어 알지 못하게 된다. 0.41 ppm의 농도에서는 불편한 증상을 호소하게 되고, 4.9~31 ppm의 고농도에 폭로되는 경우에는 즉시 하기도 자극이 발생한다고 알려져 있다(ILO, 1985; Witek 등, 1987). 또한 formaldehyde가 비암, 인후두암, 폐암 등을 일으킬 수 있는 물질로 보고되고 있어(Bertazzi 등, 1986; Partanen, 1993), 허용농도를 더욱 낮추어야 한다는 주장이 계속되고 있다. 본 연구에서 작업환경 측정결과 formaldehyde의 농도는 중자부서에서 0.43 ppm으로 허용농도(ACGIH TLV; 0.3 ppm A2, 1994)를 초과하고 있으며, 조형과 용해부서도 0.24 ppm으로 허용농도에 근접하고 있었다. 그러나 작업환경 측정 시기가 여름으로 측정 당시 건물의 창문이 열려 있고 환기가 적극적으로 이루어지고 있는 상태에서 측정되었기 때문에, 평상시 혹은 겨울에 실제 폭로되는 농도는 훨씬 높을 것으로 추측된다.

본 연구의 대상은 formaldehyde와 phenol 이외에 유리규산을 포함한 분진과 기타 유해 가스 등의 다양한 유해요인에 중복 폭로되고 있으며, 이러한 폭로군이 비폭로군에 비하여 노력성 폐활량과 1초량이 3~5% 낮았다. 또한 만성 기관지염을 나타내는 만성 가래와 만성 기침 등의 증상이 폭로군에서 비폭로군에 비하여 높았으며, 숨이 차거나 천명, 가슴 답답함의 증상들도 폭로군에서 높게 나타났다. 중첩 회귀분석을 시행하여 여러 다양한 유해요인의 폭로를 고려하였을 때 폐기능 감소의 주요 원인으로는 약 1400°C의 쉿물을 조형에 주입함으로 resin이 타면서 발생하는 formaldehyde, phenol 등의 가스와 금속 용해시에 발생하는 가스가 직접적인 요인으로 분석되었다. 반면에 resin을 200~400°C로 가열할 때 발생하

는 formaldehyde, phenol 등의 가스는 폐기능 감소의 주요한 요인으로 나타나지 않았다. 여기서는 1400°C에서 resin이 탈 때 더욱 많이 또한 식을 때 까지 더욱 오래 가스가 발생하고, 이러한 부서의 종사자들은 작업을 시작하여 종료시 까지 계속 폭로되는 반면, 200~400°C로 가열하는 중자와 조형부서의 종사자들은 2시간마다 작업을 교대하고 2일에 한번 정도로 작업하는 것이 차이점을 가져오는 한 원인인 것으로 판단된다.

폐기능 감소에 있어 특히 1초량(FEV₁)과 1초율(FEV₁%)의 감소가 가스폭로와 연관이 있으며(p < 0.001), 특히 폐색성 폐기능 장애의 지표인 1초율의 감소가 근무기간과 연관이 있어서(p < 0.05), 주물공장에서의 직업적인 가스 폭로가 폐색성 폐기능 장애를 일으킬 수 있는 것을 뒷받침하여 주고 있다. 가스폭로군 중 용해부서의 유해요인으로는 금속 용해시에 발생하는 H₂S, SO₂와 같은 자극성 유해가스가 주로 많은 것으로 보고되고 있으며(NIOSH, 1976), 그 외에 주물사 resin 연소로부터 발생하는 formaldehyde나 phenol 등의 가스가 1초량(FEV₁)과 1초율(FEV₁%) 감소의 원인으로 판단된다. 본 연구에서는 가스에만 단독으로 폭로되는 근로자 집단이 없는 관계로 가스와 분진간의 상호작용을 분석하지 못하였다. 그러나 주물공장과 같이 분진에 함께 섞여서 폭로되는 경우에는 가스가 분진에 침착하여 하부 기도나 폐포의 실질까지 침범할 가능성이 높은 것으로 지적되고 있다(Schoenberg 등, 1975; ILO, 1983). 그러므로 이러한 분진과 formaldehyde, phenol 등의 가스에 함께 폭로되는 경우 하부 기관지에 염증을 유발하고, 또한 이를 통해 천식과 폐색성 기관지염을 초래할 수 있는 것으로 보여진다.

한편, 분진, 가스 등에 폭로되는 군이 비폭로군에 비하여 만성 가래와 만성 기침 등의 만성 기관지염 증세를 더욱 많이 호소하며, 이러한 만성 기관지염 증세들은 흡연 이외에도 주로 분진폭로와 연관이 있는 것으로 분석되었다. 이는 여러 다른

조사에서 주물공장 근로자들에게 만성 기관지염이 높게 나타나고 있는 결과와 일치하고 있다 (Alexandersson 등, 1982; Johnson 등, 1985).

천식의 증상인 천명은 Nunn 등(1990)의 조사에 의하면 formaldehyde 가스에 폭로시 26%에서 호소되었으며, 비폭로군의 20%에 비하여 증가되어 있음을 보고하고 있다. 본 조사에서는 천명이 있다고 답한 근로자가 formaldehyde 폭로군에서 10.5%로 차이가 있으나, 비폭로군의 6.7%에 비할 때 마찬가지로 증가한 양상을 나타내었다. 또한 중첩 회귀분석에서 다른 개인적 특성이나 작업유해요인과는 관련이 없으나 formaldehyde 폭로와 천명증상이 유의할 수 있는 수준의 관련성을 보이는 것으로 분석되었다($p < 0.1$). 한편 formaldehyde에 단기간 폭로되어도 1초량이 감소하는 것으로 보고되고 있는 바 (Alexandersson 등, 1982), 본 연구에서도 예측치 대비 1초량이 formaldehyde 폭로군에서 비폭로군에 비하여 남성에서는 4.0%, 여성에서는 1.8%가 낮은 것으로 나타나고 있다 (Table 3). 그러나 각개 유해요인에 폭로되는 집단별 예측치 대비 1초량에 큰 차이가 없는 것은 formaldehyde를 비롯하여 폭로군들이 중복 폭로되고 있으며 근무시간의 차이로 인한 간섭효과 때문인 것으로 판단된다.

본 조사대상이 된 주물공장 근로자들의 전체적인 천식 유병율은 7.6%로 일반적으로 알려진 일반 인구집단의 천식 유병율 5%에 비하여 높았다. 그러나 천식의 유병율을 유해요인 폭로집단에 따라 구분하였을 때, 폭로군이 비폭로군보다 오히려 낮은 유병율을 나타내었다. 급성이며 가역적인 기관지 과민반응을 보이는 천식은 만성이며 비가역적인 기관지 폐색성 질환보다 증상을 발현시키는 부서의 작업을 기피하기가 쉽고, 또한 천식의 경우 가역적이긴 하나 비가역적 기관지 폐색성 질환보다 더욱 심한 기관지 폐색을 초래할 수 있어, 근로자들이 유해요인에의 폭로를 선택적으로 피할 가능성이 높을 것으로 예상된다. 이러한 이유로 유해요인에 폭로되지 않는 대

조군은 12.0%의 천식 유병율을 보이거나 폭로군은 7.6%의 낮은 천식 유병율을 보이는 것으로 판단되어 (Table 4), 건강근로자효과 (Healthy worker effects)가 있을 수 있음을 제시하고 있다.

전반적으로 본 조사에서는 정확한 폭로수준의 측정이 이루어 지지 못하였으며, 여러 유해요인에 중복폭로되는 폭로군 이외에 개개요인에 단독 폭로되는 군이 없는 관계로 모든 상호작용을 정량적으로 검토하지 못한 제한점들이 있다. 특히 formaldehyde와 분진의 측정시기가 여름으로 강제 환기를 적극적으로 가동하는 상태에서 측정되어 근로자들의 폭로농도를 과소평가하였을 것으로 예측되어 폭로군의 분류시 직접 적용하지 못하였다. 향후 추운 계절에 환풍기가 작동하지 않고 창문이 닫힌 상태에서도 폭로농도를 파악하여야 할 것이다. 또한 용해로를 중심으로 작업이 이루어짐으로 유해물질에 중복폭로가 되고 있으며, 이러한 폭로하의 건강상태를 단면조사한 관계로 천식의 유병율 등에 있어 건강근로자효과가 의심되나, 이를 명확히 밝히는데 한계점이 있어 중추 연구나 중복 폭로되지 않는 사업장에서 연구가 더 필요할 것으로 기대된다.

결 론

본 연구에서는 4곳의 주물공장 근로자 431명을 대상으로 대표적 직업관련성 질환인 폐질환의 상태와 함께 resin을 혼합한 주물사를 가열할 때 발생하는 formaldehyde 등의 가스와 분진 등의 호흡기 건강유해요인들에의 폭로를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Resin을 취급하는 주물공장 근로자들에게서 직업적 건강유해요인으로서는 유리규산을 포함한 분진보다 용해로에서 발생하거나 resin이 타면서 발생하는 가스가 1초량과 1초울의 감소와 유의한 연관을 보이며, 이러한 폐색성 폐기능장애를 가리키는 1초울은 근무시간에 따라 더욱 감소하는 양상을 보이고 있다.

2. 주물공장 근로자들에게서 분진폭로는 만성 기관지염의 발생과 연관이 있다.
3. Resin이 포함된 주물사를 가열시 발생하는 formaldehyde와 phenol 등의 가스폭로는 천명 등의 천식 증상의 호소와 연관을 보이고 있다. 그러나 실제 기관지과민을 동반한 천식의 유병율은 폭로군에서 비폭로군에 비하여 더욱 낮게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 질병을 지닌 근로자들이 의도적으로 폭로를 피하는 건강근로자효과(Healthy Worker Effect)가 있음을 제시한다.

참 고 문 헌

- ACGIH. 1993-1994 *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*, Cincinnati, ACGIH, 1993
- Alexandersson R, Birgitta K, Goran H. *Exposure to formaldehyde: Effects on pulmonary function*. *Arch of Environ Health* 1982; 37(5): 279-284
- Andjelkovich DA, Mathew RM, Yu RC et al. *Mortality of iron foundry workers*. *J Occup Med* 1992; 34(2): 391-401
- ATS. *Snowbird workshop on standardization of spirometry*. *Am Rev Resp Dis* 1979; 119: 831-838
- ATS. *Standardization of spirometry-1987 update*. *Am Rev Resp Dis* 1987; 136: 1285-1298
- ATS. *Lung function testing: Selection of reference values and interpretive strategies*. *Am Rev Resp Dis* 1991; 1445(5): 1202-1218
- Baldwin EEdF, Courmand A, Richards DW. *Pulmonary insufficiency, 1. Physiological classification, clinical methods of analysis, standard values in normal subjects*. *Medicine* 1948; 27: 243-278
- Becher H, Wieslaw JC, Elzbieta F. *Lung cancer, smoking, and employment in foundries*. *Scand J Work Environ Health* 1989; 15: 38-42
- Berglund E, Birath G, Bjure J et al. *Spirometric studies in normal subjects, 1. Forced expirograms in subjects between 7 and 70 years of age*. *Acta Med Scand* 1963; 173: 185-192
- Bernstein R, Stayner L, Elliott L et al. *Inhalation exposure to formaldehyde: An overview of its toxicology, epidemiology, monitoring, and control*. *Am Ind Hyg Assoc J* 1984; 45(11): 778-785
- BMRC. *Committee on the aetiology of chronic bronchitis*. *British J Ind Med* 1665, 1960
- Bresson JR, Dupouy M, Prost G et al. *A case of asthma in a foundry worker caused by the ashland process*. *Archives des Maladies Professionnelles* 1978; 39(6): 418-420
- Burney P, Chinn S. *Developing a new questionnaire for measuring the prevalence and distribution of asthma*. *Chest* 1987; 91(6): 79s-83s
- Cockcroft DW, Cartier A, Jones G et al. *Asthma caused by occupational exposure to a furan-based binder system*. *J Allergy Clin Immunol* 1980; 66(6): 458-463
- Hendrick DJ, Lane DJ. *Occupational formalin asthma*. *J Occup Med* 1977; 34: 11-18
- Henrik N, Helena K, Matti T. *Formaldehyde asthma-rare or overlooked?* *J Allergy Clin Immunol* 1985; 75: 91-99
- Holmstrom M, Wilhelmsson B. *Respiratory symptoms and pathophysiological effects of occupational exposure to formaldehyde and wood dust*. *Scand J Work Environ Health* 1988; 14: 306-311
- ILO. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. 3rd ed., Geneva, 1983, pp. 112-114
- Ivangelo F, Warren V, Fillery, Charles ER. *Bronchial challenge with formaldehyde gas lack of bronchoconstriction in 13 patients suspected of having formaldehyde-induced asthma*. *Mayo Clin Proc* 1984; 59: 295-299
- Johnson A, Moira CY, Lonia M et al. *Respiratory abnormalities among workers in an iron and steel foundry*. *Br J Ind Med* 1985; 42: 94-100
- Karava R, Hernberg S, Koskela RS et al. *Prevalence of pneumoconiosis and chronic bronchitis in foundry workers*. *Scand J Work Environ Health* 1976; suppl(1): 64-72
- Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ et al. *Changes in the normal maximal expiratory flow volume curve with growth and aging*. *Am Rev Resp Dis*. 1983; 127: 725-734
- Low I, Mitchell C. *Respiratory disease in foundry workers*. *Br Ind Med* 1985; 42: 101-105
- McNutt GM, Schlueter DP, Fink JN. *Screening for occupational asthma: A word of caution*. *J Occup Med* 1991; 33(1): 19-22
- NIOSH. *Recommendations for Control of Occupational Safety and Health Hazards. Foundries*. Washingtons, 1985, pp. 3-125
- NIOSH. *Criteria for a Recommended Standard. Occu-*