

## 석면함유폐기물 취급근로자의 석면노출수준 평가

정지연<sup>1\*</sup> · 김은영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>용인대학교, <sup>2</sup>직업성폐질환연구소

### Assessment of asbestos exposure level of workers handling waste containing asbestos

Jee Yeon Jeong<sup>1\*</sup> · Eun Young Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yong In University

<sup>2</sup>Occupational Lung Diseases Institute

#### ABSTRACT

**Objectives:** There have been many studies on exposure assessment of workers at companies using asbestos as a raw material and at sites of the removal of materials containing asbestos. However, no research has been carried out on the asbestos exposure of workers in industries involving asbestos-containing waste, such as workers at collection and transportation service companies, mid-treatment companies(solidification of asbestos-containing waste), and landfill sites. The objective of this study was to assess the asbestos exposure concentrations of workers in industries handling waste containing asbestos.

**Methods:** For this study, we carried out field investigations at 15 companies: seven collection and transportation service companies, three mid-treatment companies, and five final treatment companies(landfill sites). We took both personal and area samples.

**Results:** The range of asbestos exposure levels of workers handling asbestos-containing wastes at collection, mid-treatment, and landfill companies were 0.000 fibers/cc-0.009 fibers/cc, 0.000 fibers/cc-0.038 fibers/cc, and 0.000 fibers/cc-0.024 fibers/cc, respectively.

**Conclusions:** The asbestos exposure levels of workers at mid-treatment companies were higher than those at collection and transportation companies and at final treatment companies. In the case of collection and transportation workers, the possibility of exposure to levels exceeding those found in the present study is not particularly high considering the characteristics of the work. However, in the case of intermediate or final disposal workers, it is considered that there is a possibility of exposure to levels above those found in this study.

**Key words:** asbestos, asbestos-containing waste, exposure

#### I 서 론

석면은 천연적으로 존재하는 광물군 중에서 비단질 같은 광택이 있는 특이한 섬유상 집합을 말하며, 뛰어난 단열성, 내마모성, 인장력, 전기절연성 등의 성질과 함께 매우 경제적인 이유로 인해 슬레이트, 천장재 등의 건축자재와 브레이크 라이닝, 클러치 판, 브레이크 패드 등 석면마찰재, 가스켓, 석면 방직제품 등 산업용뿐만 아니라 일반 생활 주거 공간에도 과거에는

많이 사용되었던 물질이다(ILO, 1998).

석면에 노출되면 석면폐(asbestosis)와 예후가 불량한 폐암(lung cancer), 악성중피종(mesothelioma) 등 치료하기 어려운 질병이 유발되며, 특히 중피종은 저농도의 석면에도 일정기간 폭로되면 발생할 수 있는 질병으로 알려져 있다(Doll, 1995). 우리나라에서 1993년부터 2007년 6월까지 석면노출로 인한 암으로 인정받은 근로자수는 총 60명(중피종; 19명, 폐암; 41명)이고, 이 중 50명(중피종; 14명, 폐암; 36명)이 2000년 이후에

\*Corresponding author: Jee Yeon Jeong, Tel: 031-8020-3208, E-mail: jtop123@naver.com

Department of Occupational and Environmental Health, Yong In University, 134 Yongin daehak-ro Cheoin-gu, Yongin-si 17092  
Received: March 26, 2018, Revised: June 16, 2018, Accepted: June 18, 2018

© Jee Yeon Jeong <https://orcid.org/0000-0003-3414-7425>

© Eun Young Kim <https://orcid.org/0000-0003-4881-1470>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

발생하였다(Ahn & Kang, 2009). 석면피해구제법이 2010년도 제정되면서 동법에 의한 환경성노출로 인한 건강피해자 보상건수를 살펴보면 2011년 249건(석면 폐증 155건, 악성중피종 82건, 폐암 12건), 그리고 2012년 230건(석면폐증 143건, 악성중피종 72건, 폐암 15건)이었다(Lee, 2013). 2007년 12월부터 2016년 12월 까지 9년 동안 직업성폐질환연구소로 의뢰된 원발성 폐암에 걸린 근로자들의 폐암원인물질 노출규명 결과에 의하면 결정형 유리규산(226명, 69.3%)이 가장 많았고, 그 다음이 석면(64명, 19.6%)이었다(Kim, 2017).

우리나라는 1930년대 중반 전국에 걸쳐 석면광산이 개발되었고 해방당시 전국의 석면광산은 총 28개에 이르렀다. 대표적인 백석면 광산인 충남 홍성지방의 광천광산이 1984년 폐광될 때까지 우리나라에서 생산한 석면의 총 생산량은 145,000톤으로 추정하고 있으며 대부분 백석면이었다(Choi, et al., 1998). 이러한 석면은 일반건축물 등에도 광범위하게 사용되었을 가능성이 높다.

석면노출로 인한 근로자의 건강장해 예방을 위해 고용노동부는 2009년부터 모든 석면의 제조·수입·사용 등을 금지시켰으며, 석면의 노출기준을 2개/cc에서 0.1개/cc로 강화하였고, 석면이 함유된 설비 또는 건축물을 해체·제거할 경우에는 관할 지방고용노동청의 사전허가를 받도록 관련법을 제·개정 하였다(MoEL, 2009a). 따라서, 현재의 법제하에서 석면 및 관련 제품의 제조, 수입, 그리고 사용단계에서의 근로자의 석면노출 가능성은 근본적으로 차단되어 있는 상태이지만 기존 석면이 포함된 건축자재 또는 석면이 함유된 설비를 제거 및 해체하는 작업과, 이들 폐기물을 수집, 운반 및 처리하는 근로자는 석면노출 가능성이 높은 작업이다.

석면해체 및 제거작업시의 석면노출로 인한 근로자의 건강장해 예방을 위해서 고용노동부는 관련법의 제·개정 등 제도정비 뿐 아니라, 석면해체 및 작업기준을 마련하였다. 그 일환으로 ‘석면조사기관 및 석면해체·제거업자 종사인력의 교육에 관한 규정’ 고시를 제정(노동부 고시 제 2009-31호)하여 최근에 이르기까지 개정(고용부 고시 제2015-40호)하고 있고(MoEL, 2015a), 건축물 또는 설비의 석면조사 및 석면농도측정을 관리하기 위해 ‘석면조사 및 정도관리규정’ 고시를 제정(노동부 고시 제2009-32호) 하였는데(MoEL, 2009b), 동 고시는 지금은 석면조사 및 안전성 평가 등

에 관한 고시(고용부 고시 제 2015-19호)로 개정된 상태이다(MoEL, 2015b).

그동안, 국내에서 석면함유제품의 제조, 사용 등과 관련된 근로자의 석면노출실태에 관한 연구(Choi et al., 1988; Park & Paik, 1988; Paik & Lee, 1991; Park et al., 2009; Yi et al., 2013; Lee & Yi, 2016; Phee, 2016)와 석면 해체 및 제거 작업 종사근로자의 석면노출실태 연구(Choi et al., 2002; Yoo et al., 2002; Kim et al., 2009)는 그 동안 지속적으로 발표되어왔다. 이러한 연구를 통해 해당 종사자들의 석면노출정도가 어느 정도이고, 이들의 노출수준에 영향을 미치는 요인들은 무엇이며, 그리고 그 노출을 최소화하기 위한 방안들이 제시되어 있는 상태이다.

그러나, 석면이 함유된 폐기물처리산업에 종사하는 근로자의 석면노출 실태에 대한 조사결과는 지금까지 국내에서는 한 번도 발표된 적이 없다. 따라서 이들 업종에 종사하는 근로자의 석면노출수준이 어느 정도 되는지에 대한 정보는 전혀 없는 상태이다. 본 연구는 석면이 포함된 폐기물처리산업에 종사하는 근로자의 석면노출 수준이 어느 정도 되는지를 알아보고자 한다. 본 연구에서 말하는 석면이 함유된 폐기물처리산업이라 함은 석면함유폐기물의 수집운반에서부터 중간처리 및 최종처리과정까지의 산업을 말하며, 이들 산업에 종사하는 근로자를 대상으로 석면노출실태 등을 조사하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

석면이 함유된 폐기물처리사업을 수행하기 위해서는 폐기물관리법에 의한 폐기물처리업으로 환경부장관의 허가를 받아 사업을 수행해야 한다(MoE, 2018). 동법에서 규정하고 있는 폐기물처리업은 폐기물 수집·운반업, 폐기물 중간처리업, 폐기물 최종처리업, 그리고 폐기물 종합처리업으로 구분되어진다. 이중 폐기물 종합처리업 경우 중간처리와 최종처리를 함께하는 사업을 말하는 것이므로, 작업 중 석면 노출이라는 작업내용적인 특성에서 보면, 수집·운반업, 중간처리업, 그리고 최종처리업으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 2010년 5월부터 9월까지 수집운반업 7개소, 중간처리업 3개소, 그리고 최종처리업 5개소를 대상으로 현장조사를 실시하였다.

## 2. 연구방법

### 1) 작업특성 조사

폐기물 처리업종에 따라 작업장의 작업내용과 작업 시간 등의 작업특성이 다르기 때문에 해당 업종에 종사하는 작업자의 석면노출정도와 변동특성을 이해하기 위해서는 이러한 작업특성에 대한 조사가 필요하였다.

### 2) 공기 중 석면채취

공기 중 석면시료의 채취는 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH)에서 권고하고 있는 방법인 7400에 따라 막여과지(공극 0.8  $\mu\text{m}$ , 직경 25 mm)와 50 mm 카울(cowl)이 장착된 카세트를 이용하였으며(NIOSH, 1994), 시료채취용 펌프는 시료채취 전과 후에 공기유량을 유량보정계(The Gilibrator, Gilian, USA)를 이용하여 보정하였다. 시료의 채취는 작업자에 대한 개인시료와 주변환경에서의 지역시료를 병행하여 채취하였다. 채취된 시료는 위상차 현미경을 이용하여 'A' 섬유계수법으로 분석을 실시하였다(NIOSH, 1994).

### 3) 통계분석

자료분석은 SPSS 통계프로그램(Ver 18.0, USA)을 사용하였다. 채취된 시료의 석면농도 분포는 Shapiro-Wilk 검정을 통해 농도분포를 검정한 결과 작업내용에 따라 정규분포 또는 대수정규분포를 하였다. 따라서 공기 중 석면농도는 산술평균과 기하평균 값 모두를 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 업종별 석면노출수준

#### 1) 수집운반업

수집운반업은 석면이 함유된 건축자재 등이 해체되고 나면 이러한 석면함유 폐기물은 수집운반업 차량에 실어(상차업무) 중간처리사업장으로 가던지 아니면 최종처리사업장으로 가서 석면폐기물을 내리는 업무(하차업무)를 수행하는 업종이다.

현장에서 작업상황을 좀 더 구체적으로 설명하면, 해체된 석면함유 건축자재는 폴리에틸렌등의 불침투성 재질의 비닐 등으로 감 쌓아진 후 일정한 장소에 적재되어 있으며, 이러한 건축자재를 수집하여 운반하는 차인 압롤차나 하이카에 옮겨 싣는 작업이 이루어진다. 압롤차는 암롤(arm-roll) 트럭을 말하는 것으로 주변에 흔히 보는 청소차 형태의 차량은 말한다. 이러한 압롤차를 운반차량으로 이용하는 경우 주로 지게차나 사람의 힘으로 비닐로 감 쌓여있는 폐건축자재를 적재함에 싣게 된다. 하이카는 차량 적재함에 물건을 옮겨 집을 수 있는 집게가 부착되어 있으며, 이 집게를 사용하여 바닥의 폐기물의 집어 들어서 적재함으로 이동시키면서 상차작업이 수행된다.

하이카로 수집 운반하는 작업의 경우 하이카 운전자, 즉 수집운반업에 종사는 작업자에 의해 상차작업이 이루어지지만, 압롤차의 경우는 해체제거업체에 소속된 작업자에 의해 상차작업이 이루어지며, 이때 수집운반업의 운전자는 상차가 완료되기 까지 상차작업이 이루어지고 있는 현장 근처에서 대기하고 있었다.

**Table 1.** The airborne asbestos concentration at loading process in collection and transportation companies

(Unit: fiber/cc)

Location	N*	AM <sup>†</sup> (SD <sup>‡</sup> )	GM <sup>§</sup> (GSD <sup>  </sup> )	Range	Distribution	
					Normal	Lognormal
Driver (Personal sample)	9	0.002 (0.001)	0.001 (3.159)	0.000 - 0.004	No (0.000) <sup>¶</sup>	No (0.002)
Waste yard (Area sample)	15	0.002 (0.001)	0.002 (2.201)	0.000 - 0.006	Yes (0.000)	Yes (0.000)
Driver Seat (Area sample)	3	0.006 (0.005)	0.003 (6.894)	0.000 - 0.009	Yes (0.000)	Yes (3.181)
Total	27	0.002 (0.002)	0.001 (2.921)	0.000 - 0.009	No (0.000)	No (0.004)

\* : Number of samples, <sup>†</sup> : Arithmetic mean, <sup>‡</sup> : Standard deviation, <sup>§</sup> : Geometric mean, <sup>||</sup> : Geometric standard deviation, <sup>¶</sup> : The percent probability of exceeding the occupational exposure standard of MoEL(0.1 fiber/cc) in the 95% confidence interval assuming the distribution.

Table 1은 상차작업이 이루어지고 있는 실 작업시간 동안에 공기 중 석면농도를 측정한 결과를 정리한 것이다. 상차작업이 이루어지고 있는 동안에 운전수를 상대로 개인시료를 채취하였으며, 운반차량의 운전석, 그리고 상차주변에서 지역시료를 채취하였다. 측정된 시료 수는 운전자에 부착하여 측정한 개인시료 9개, 적치장 주변에서 측정한 지역시료 15개, 그리고 운전석에서 채취한 3개 시료 등 총 27개 시료였다.

상차작업시 운전자의 석면에 대한 평균노출수준은 산술평균으로는 0.002개/cc, 기하평균농도로는 0.001개/cc였고, 최대노출근로자의 노출수준은 0.004개/cc로 고용노동부의 노출기준(0.1개/cc)에 비해 매우 낮은 수준이었다.

폐기물을 실어 나르는 차량주변에서 상차하는 동안 지역시료로 측정한 적치장 주변의 농도도(기하평균: 0.002개/cc, 산술평균: 0.002개/cc)도 운전자의 노출농도 수준과 별 차이가 없는 농도였다. 상차작업 시 수집운반업에 종사하는 운전자의 석면노출수준을 가지고 현행 석면의 노출기준인 0.1개/cc를 초과할 가능성을 계산한 결과 95% 신뢰수준에서 0.002%이하로 그 가능성은 매우 낮은 것으로 평가되었다.

운전석의 평균농도(AM: 0.006개/cc, GM: 0.003개/cc) 역시 낮기는 하지만 운전자나 적치장 주변 농도보다 오히려 약간 높았는데, 이는 운전석 내부가 상차작업뿐만 아니라 최종매립장 또는 중간처리장으로 이송된 폐기물을 하차하면서 발생하는 석면분진에도 오염이 될 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 상차작업보다는 하차작업이 석면분진에 오염될 가능성이 더 높은 작업이었다.

수집운반업에 종사하는 운전자의 전 작업시간동안 시간가중평균 석면노출농도를 평가하기 위해서는 상차에서 최종매립지(또는 중간 처리장)까지 상차시, 운전도중, 그리고 하차시의 전 과정을 추적하면서 개인시료를 채취하여 평가하여야 한다. 따라서 본 연구진은 이번 현장조사에서 총 12명의 수집운반업에 종사하는 작업자로부터 얻은 상차에 소요되는 시간에 대한 정보(평균: 192분, 범위: 120분 ~ 240분)와 하차시간에 대한 정보(평균: 31분, 범위: 20분 ~ 40분), 그리고 Table 1에서 제시한 상차작업시의 석면노출정보, Table 3에 제시된 최종처리업의 직무별 석면노출농도 자료 중 운전자의 노출수준과 가장 유사하다고 판단되는 현장관리자의 석면노출정보를 가지고 수집운반업 운전자의 1일 8시

간 작업기준의 시간가중평균 석면노출수준을 산출하였다. 상차 후 하차작업장까지 이동하는 동안의 석면노출수준은 Table 1에서 제시한 운전석의 농도를 적용하였다. 적용결과, 각 과정에서 산술평균농도를 적용한 경우의 운전자의 8시간 시간가중평균 석면노출수준은 0.004개/cc, 기하평균농도를 적용한 경우는 0.002개/cc, 최대농도를 적용한 경우는 0.007개/cc로 이 역시 현행 노출기준에 비해 낮은 농도수준인 것으로 나타났다.

## 2) 중간처리업

중간처리업 사업장의 작업공정은 원료투입 → 분쇄 → 혼합 → 거푸집 투입 및 양생 → 거푸집 제거 → 출하과정으로 분류되며, 조사당시 국내에 존재하는 중간처리업체는 모두 5개 사업장이었고, 이들 사업장은 모두 동일한 공정을 가지는 것으로 파악되었다.

원료투입공정이라 함은 부서진 석면함유 건축자재를 분쇄기에 넣어주기 위해 컨베이어 벨트에 원료를 올려놓는 작업을 말한다. 분쇄공정이라 함은 컨베이어 벨트로 이송되어 온 석면폐기물이 분쇄기 호퍼에 들어가서 잘게 부서지는 공정을 말하며, 혼합공정은 분쇄된 석면폐기물에 물, 시멘트, 그리고 약간의 화학약품(현장에서는 “고팅제”라고 칭함)을 첨가하여 이들을 교반시키면서 혼합시키는 공정이다. 거푸집 투입 및 양생 공정이라 함은, 혼합기에서 완전혼합된 것을 거푸집에 일정양씩 주입한 후 이를 양생 작업장으로 옮겨 굳어지기를 기다리는 과정을 말한다. 거푸집의 크기는 사업장별로 약간의 차이는 있지만 주로 가로, 세로, 그리고 높이가 각각 1 m 정도 크기였다. 고형화된 석면폐기물이 어느 정도 양생이 완료되면 거푸집을 제거하고 추가로 양생과정을 거쳐 최종매립지로 이송되어 매립되어지게 된다.

중간처리가 이루어지는 모든 사업장에는 국소배기장치가 설치되어 있었고, 석면함유물질이 이송되어지는 컨베이어 벨트의 경우 오픈된 곳과 밀폐된 곳이 존재하였다. 모든 작업장은 습식작업 방법을 사용하고 있었고, 작업장 바닥은 물 세척 작업이 가능한 불침투성 재질로 되어 있으며, 매일 바닥에 대한 물청소를 실시하고 있었다. 또한 중간처리사업장의 특징은 외부의 출입을 철저히 통제하고 있었다.

Table 2는 이번 측정대상이 되었던 중간처리업 3개소에서 작업자를 대상으로 측정한 결과를 직무별로 구분하여 정리한 결과이며, 측정시간은 6시간 이상 이었다.

**Table 2.** The worker exposure concentration of asbestos at mid-treatment companies

Job	N*	AM <sup>†</sup> (SD <sup>‡</sup> )	GM <sup>§</sup> (GSD <sup>  </sup> )	Range	Distribution	
					Normal	Lognormal
Inputting	5	0.013 (0.016)	0.005 (6.449)	0.000 - 0.038	No (0.000) <sup>¶</sup>	No (5.826)
Crushing	5	0.008 (0.004)	0.008 (1.648)	0.004 - 0.012	Yes (0.000)	Yes (0.000)
Mixing&Curing	4	0.013 (0.010)	0.010 (2.547)	0.004 - 0.024	Yes (0.000)	Yes (0.688)
Total	14	0.012 (0.010)	0.007 (3.286)	0.000 - 0.038	No (0.000)	No (1.378)

\* : Number of samples, <sup>†</sup> : Arithmetic mean, <sup>‡</sup> : Standard deviation, <sup>§</sup> : Geometric mean, <sup>||</sup> : Geometric standard deviation, <sup>¶</sup> : The percent probability of exceeding the occupational exposure standard of MoEL(0.1 fiber/cc) in the 95% confidence interval assuming the distribution.

중간처리업 종사자의 직무중 가장 높은 석면노출수준을 보인 것은 투입근로자(산술평균농도: 0.013개/cc, 기하평균: 0.005개/cc, 범위: 0.000 ~ 0.038개/cc), 혼합 및 양생 근로자(산술평균농도: 0.013개/cc, 기하평균: 0.010개/cc, 범위: 0.004 ~ 0.024개/cc), 그리고 분쇄근로자(산술평균농도: 0.008개/cc, 기하평균: 0.008개/cc, 범위: 0.004 ~ 0.012개/cc)순이었다. 석면노출기준을 초과할 확률 중 가장 높은 직무는 투입근로자로 95% 신뢰수준에서 5.8%이었다. 일반적으로 분쇄공정은 타 공정에 비해 유해물질 노출수준이 높은 경우가 많다. 그러나 이번 석면 중간처리업의 경우 분쇄공정이 투입이나 혼합에 비해 상대적으로 석면노출수준이 낮은 이유는 분쇄기에 국소배기장치가 설치되어 있었으며, 또한 설비자체가 비교적 밀폐되어 있었기 때문인 것으로 판단된다.

### 3) 최종처리업

석면함유폐기물은 폐기물관리법의해 지정폐기물로 구분되어 있으며, 이러한 지정폐기물은 지방환경청에서 허가받은 매립지역에만 매립을 해야 한다(MoE, 2018). 현장에서 확인한 매립과정을 살펴보면 매립장의 일정구역에 운반차량으로부터 석면폐기물을 하차시켜 포크레인을 이용하여 옮긴 후 표면을 정리 및 다짐을 하였다. 다짐을 한 후 그냥 나누면 석면이 흩날리기 때문에 이를 방지하기 위해 다짐한 폐기물 위에 흙은 덮는 복토를 실시하는데 폐기물관리법에 따르면 그 높이가 15 cm 이상 되도록 하고 있다(MoE, 2018).

매립작업과 관련된 작업자의 직무는 크게 3가지(현장관리자, 살수근로자, 포크레인운전자)로 구분되었다. 현장관리자는 상차된 지정폐기물의 종류와 양을 확인하고 매립위치를 지정해주면서 매립작업 전체를 감독하는 업무이다. 살수근로자는 주기적으로 살수차를 이용하여 작업장 주변과 폐기물 운반차량의 이동 경로에 물을 뿌려 먼지가 날리는 것을 방지하는 업무와 운반차량으로부터 폐기물 하차시 먼지비산을 최소화하기 위해 호스를 사용하여 물을 뿌려주는 업무를 행하는 사람이다. 포크레인운전자는 하차된 석면폐기물을 일정한 장소로 옮겨 표면을 다짐한 후 그 위에 다 석면을 흩날림을 방지하기 위해 복토를 실시하는 업무를 수행하는 작업자이다.

Table 3은 최종처리업 5개소에 측정한 직무별 작업자의 해당 작업시간 동안 측정한 석면노출수준을 정리한 결과이다.

최종처리업 종사자의 직무 중 살수근로자의 석면노출수준(산술평균농도: 0.009개/cc, 기하평균: 0.005개/cc, 범위: 0.000 ~ 0.015개/cc)이 포크레인 운전자의 농도(산술평균농도: 0.006개/cc, 기하평균: 0.002개/cc, 범위: 0.000 ~ 0.024개/cc)와 현장관리자의 농도(산술평균농도: 0.006개/cc, 기하평균: 0.005개/cc, 범위: 0.001 ~ 0.012개/cc)보다 높았다. 해당작업들을 지속적으로 수행한다면 석면노출기준을 초과할 확률 중 가장 높은 직무는 살수근로자로 95%신뢰수준에서 4.8%이었다.

작업상황 및 노출농도 수준을 종합해 보면 최종처리업 종사의 석면노출 수준에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 매립작업시 각각의 직무를 수행하는 작업자의

**Table 3.** The worker exposure concentration of asbestos at final-treatment companies

(Unit: fiber/cc)

Job	N*	AM <sup>†</sup> (SD <sup>‡</sup> )	GM <sup>§</sup> (GSD <sup>  </sup> )	Range	Distribution	
					Normal	Lognormal
Excavator	5	0.006 (0.010)	0.002 (5.248)	0.000 - 0.024	No (0.000) <sup>¶</sup>	Yes (1.000)
Water spray	4	0.009 (0.006)	0.005 (6.301)	0.000 - 0.015	Yes (0.000)	No (4.789)
Field manager	5	0.006 (0.004)	0.005 (2.538)	0.001 - 0.012	Yes (0.000)	Yes (0.061)
Total	14	0.007 (0.007)	0.004 (4.204)	0.000 - 0.024	Yes (0.000)	Yes (1.023)

\* : Number of samples, <sup>†</sup> : Arithmetic mean, <sup>‡</sup> : Standard deviation, <sup>§</sup> : Geometric mean, <sup>||</sup> : Geometric standard deviation, <sup>¶</sup> : The percent probability of exceeding the occupational exposure standard of MoEL(0.1 fiber/cc) in the 95% confidence interval assuming the distribution.

위치, 매립시 발생하는 먼지의 양, 그리고 바람의 방향에 좌우되는 것으로 판단된다. 포크레인운전자는 바람이 운전석으로 쪽으로 불더라도 운전석의 개방여부에 따라 노출수준이 달라질 수 있지만 살수 작업자는 이러한 방호수단이 없기 때문에 바람의 방향에 따라 직접적인 영향을 받는 작업자이다. 포크레인운전자에게서 측정한 자료중 최대값인 0.024개/cc는, 살수 근로자의 최대농도(0.015개/cc)보다 높은 자료가 있었는데(Table 3), 이 경우는 해당 작업자가 작업시 포크레인 운전석의 창문을 개방하고 작업을 실시한 것으로 파악되었다.

Table 3은 해당 작업시의 작업시간동안 측정한 자료이므로 이 노출수준을 고용노동부의 노출기준과 비교하기 위해서는 8시간가중평균농도가 있어야 한다. 따라서 이러한 작업을 수행하는 사람들의 1일 작업시간 동안의 전체적인 석면노출수준을 파악하기 위해서는

이들 작업자의 업무들에 대한 근무시간 파악이 필요하였다. 이번현장조사에서 현장관리자, 포크레인운전자, 그리고 살수작업자 각각 5명씩 총 15명의 작업자로부터 조사한 결과에 따르면 1일 480분 작업 중 평균 165분(최소: 120분, 최대: 240분)이 석면노출과 관련 있는 현장에서의 업무였다.

이렇게 파악한 작업시간을 바탕으로 각자의 직무별 작업시 노출수준과, 작업을 실시하지 않은 동안 석면노출수준은 복토 후 매립장 공기 중 농도 값[시료수: 9개, 산술평균값(표준편차): 0.002(0.001), 기하평균(기하표준편차): 0.001(2.813)]을 적용하여 최종처리업 근로자의 8시간 시간가중석면노출농도로 산출하였다(Table 4). 그 결과 각 직무별 근로자의 최대노출농도를 적용 시 포크레인 근로자가 0.015개/cc, 살수근로자가 0.010개/cc, 그리고 현장관리자가 0.009개/cc 순이었으며, 이는 현행 노출기준인 0.1개/cc에 비해서는 낮은 농도수준을 보였다.

**Table 4.** The estimated 8-TWA asbestos exposure concentration of workers at final-treatment companies

(Unit: fiber/cc)

Job title	Application	8hr TWA concentration
Field manager	By arithmetic mean	0.004
	By geometric mean	0.003
	By max concentration	0.009
Excavator driver	By arithmetic mean	0.004
	By geometric mean	0.002
	By max concentration	0.015
Water sprayer	By arithmetic mean	0.006
	By geometric mean	0.003
	By max concentration	0.010

## 2. 업종별 석면노출수준 종합비교

수집운반업에서 작업시간 동안의 공기 중 석면농도는 산술평균으로 0.002개/cc (범위: 0 ~ 0.009개/cc)였고, 중간처리업에서 0.012개/cc (범위: 0 ~ 0.0038개/cc), 그리고 최종처리업에서 0.007개/cc (범위: 0 ~ 0.024개/cc)로 중간처리업이 가장 높았고, 최고농도에서도 중간처리업이 가장 높은 특징을 보였다.

Figure 1은 이번 조사대상이 된 3개 업종에 종사하는 작업자의 석면노출을 작업시간동안만이 아니라 해당 작업자의 1일 작업특성을 고려하여 1일 8시간 시간가중평균노출수준으로 평가한 결과이다. 1일 8시간 시간가중평가결과에서도 중간처리업종에 종사하는 작업자가 다른 두 업종에 비해 확연히 높은 것을 알 수 있다.

수집운반업 작업자와 최종처리업 작업자 경우 산술평균이나 기하평균농도를 적용시 그 수준이 비슷한 경향을 보이고 있는데, 두 작업 모두 옥외작업이라는 점과, 그리고 최종처리 근로자의 경우 작업시 바람의 방향에 따라 석면노출수준의 차이가 매우 심하기 때문인 것으로 보인다. 이는 최종처리업 작업자의 최대노출농도가 산술평균농도나 기하평균 농도보다 매우 높게 나타난 이유이기도 한다.

Figure 2는 Figure 1과 같이 8시간 시간가중평균농도를 추정한 것이 아니라 해당 업종에서 각각의 업무를 행하는 시간동안에 측정한 총 37개의 개인시료(수집운반업: 9개, 중간처리업: 14개, 최종처리업: 14개)의 석면노출 농도분포를 그림으로 표시한 것이다. 실 작업시간에서도 중간처리업 작업자들이 다른 두 업종의 작업자들 보다 석면노출농도가 높다는 것을 확연히 알 수가 있다.

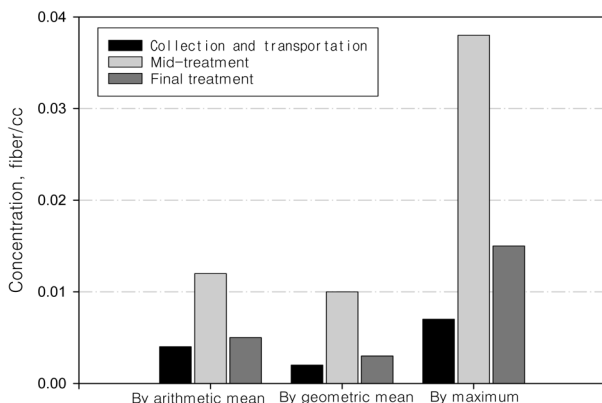


Figure 1. The estimated 8 hour TWA concentration of workers by company type

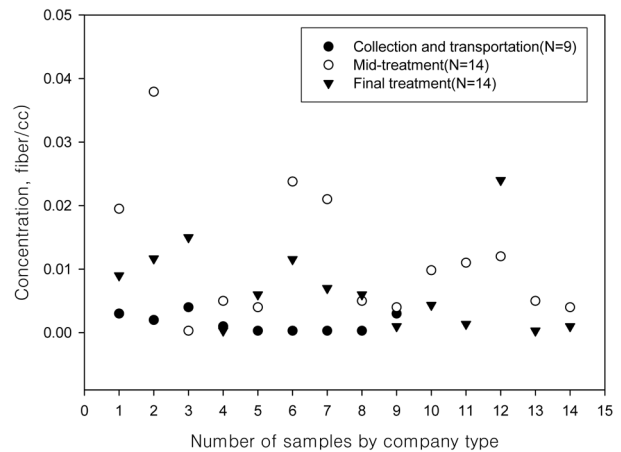


Figure 2. The exposed asbestos concentration of workers during each working time

이번 현장조사에서 작업상황 관찰에 따르면 수집운반업 작업자 경우 본 연구에서 제시한 노출수준 이상으로 노출될 가능성은 그리 높아 보이지 않는다. 그 이유는 수집운반업 운전자의 주요노출 상황은 상차, 운전, 하차로 구분할 수 있는데, 상차작업의 경우 주로 해체 제거업자에 의해 이루어지는 관계로 석면 발생원에 접근하지 않는다는 점이고, 하차작업시 다른 어떤 상황보다 석면에 노출될 가능성은 높은 작업이지만 그 농도 역시 바람방향에 따라 차이가 크고, 또한 동 작업이 매우 단시간(평균 30분 내외) 작업이라는 점이다. 그러나 중간처리업이나 최종처리업에 종사하는 작업자 경우는 이번 평가결과 보다 높게 노출될 수 있다고 판단된다. 왜냐하면 이번 현장조사 경우 회사요청으로 이루어진 조사가 아니라 동 연구의 필요성 때문에 해당 회사의 협조를 구하여 현장조사가 이루어진 관계로 작업자들이 가능한 석면비산 방지를 위한 작업수칙을 철저히 준수하여 작업을 하고 있었기 때문이다.

석면해체·제거 작업자를 제외하고 석면폐기물을 취급하는 작업자를 대상으로 석면노출 실태를 조사한 것은 본 연구가 국내에서 처음인 것으로 파악된다. Kim et al.(2009)이 대구지역 소재 13개소의 석면 해체·제거 작업장에서 작업을 수행하는 작업자를 대상으로 석면노출수준을 보고한 자료에 따르면 총 82개의 시료 중 12개(14.6%) 시료가 고용노동부의 노출기준을 초과하였고, 이들 시료의 기하평균농도는 0.007개/cc(범위: 0.001 ~ 0.34개/cc)로 보고하고 있다. 평균농도수준에서는 해체·제거 작업이 본 연구의 중간처

리업 작업자들과 유사한 수준이다.

석면은 현재 제조·사용이 금지된 물질로 더 이상 산업체에서 사용되지는 않고 있다. 그러나 과거 석면 방직공장이나 슬레이트 제조공장 경우 석면이 제품생산의 원료물질로 사용되었기 때문에 해당 작업자들에게는 고농도의 석면노출이 있었다. Park et al.(2009) 연구결과에 따르면 우리나라 석면방직공장의 직포공정이 11.48개/cc, 개면/혼면공정이 9.47개/cc이었고, 슬레이트 제조공정은 0.63개/cc로 추정하고 있다. 동 연구에서 브레이크라이닝 제조 경우 0.45개/cc로 추정하고 있다. 따라서 이번 연구결과가 이러한 석면을 원료 물질로 사용하여 제품을 생산하던 당시의 작업자 노출수준보다는 훨씬 낮지만, 중간처리업 종사자 경우 평균농도수준에서는 석면해체·제거 작업자와 유사한 노출수준을 보이고 있고, 그리고 최종처리업에 종사하는 작업자 경우는 석면폐기물을 야외에 매립하는 업무이기 때문에 적절한 작업관리가 이루어지지 않는다면 이번 평가결과보가 높은 수준의 석면에 노출될 가능성은 항상 있는 작업으로 판단된다.

#### IV. 결 론

국내에서 석면이 함유된 폐기물처리산업에 종사하는 작업자들에 대한 석면노출수준에 대한 조사 연구는 본 연구가 처음인 것으로 파악된다. 석면이 함유된 폐기물을 취급하는 사업장의 업종은 수집운반업, 중간처리업, 그리고 최종처리업으로 구분되는데, 이번 연구에서는 수집운반업 7개소, 중간처리업 3개소, 그리고 최종처리업 5개소를 선정하여 작업자의 노출수준을 조사한 결과, 중간처리업이 다른 두 업종보다 작업자의 석면노출수준이 높았다. 이번 연구결과, 석면폐기물의 어떤 업종에 종사하는 근로자들이라고 하더라도 현행 석면의 노출기준을 초과하는 작업자는 없었다. 그러나 세 업종의 작업특성을 고려하면 수집운반업을 제외하곤 중간처리업이나 최종처리업의 경우 해당업종 작업자의 석면노출수준이 노출기준을 초과할 가능성을 전혀 배제할 수 없을 것으로 보인다. 중간처리업 경우 본 평가가 이루어진 당시와 같이 석면비산 억제설비(국소배기장치 등)의 정상작동에 이상이 생기거나 충분한 물 분사에 의한 습식작업이 이루어지지 않는다면 작업자의 석면노출은 높을 수밖에 없을 것으로 보이며, 최종처리 작업자 역시 기상조건

등에 따라 그 노출수준은 얼마든지 변할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 수집운반업에 종사하는 작업자 경우 작업특성을 고려시 본 연구에서 제시한 노출수준 이상으로 노출될 가능성은 그리 높아 보이지 않지만, 중간처리업이나 최종처리업에 종사자하는 작업자 경우는 여러 변수가 많아 이번 연구결과에서 제시된 석면노출수준 이상으로 노출될 가능성은 충분히 있다고 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2010년도 산업안전보건연구원의 위탁연구 용역사업 지원을 받아 수행된 것으로 이에 감사를 드립니다.

#### References

- Ahn YS, Kang SK. Asbestos-related occupational cancers compensated under the Industrial accident compensation insurance in Korea. *Ind Health*. 2009;47(2):113-122
- Choi CG, Kim CN, Lim NG, Roh YM, Roh JH. Exposure level of releasing asbestos during building destruction work. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2002;12(3):195-201
- Choi JK, Paek DM, Paik NW. The production, the use, the number of workers and exposure level of asbestos in Korea. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1998;8(2):242-253
- Doll R. Mortality from lung cancer in asbestos workers. *British J of Ind Med* 1995;12(2):45-48
- International Labor Organization(ILO). *Encyclopaedia of occupational health and safety*. 4th ed. vol II. Geneva, International Labour Office, 1998. p.138-145
- Kim DH. A Study on the exposure characteristics of hazardous substances in lung cancer workers recognized as occupational diseases. *Occupational lung diseases institute*, 2017.
- Kim JY, Lee SK, Lee JH, Lim MH, Kang SW, et al.. A study on the factors affecting asbestos exposure level from asbestos abatement in building demolition site. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2009;19(1):8-15
- Lee NR, Yi GY. Exposure assessment to asbestos and diesel engine exhaust particulate matter in urban bus garage. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2016;26(2):219-224
- Lee, HR. Introduction and status of damage remediation by environmental asbestos exposure. The preceeding of spring conference of Korean Soc Occup Environ Med 2013;73-89



- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Industrial Safety and Health Law. MoEL, 2009a
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Notice 2009-32: Guideline on the Asbestos investigation and quality control regulation. MoEL, 2009b
- Ministry of Employment and Labor(MoELd). Notice 2015-40: Guideline on the education for workers in asbestos investigation institute and asbestos demolition company. MoEL, 2015a
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Notice 2015-19: Notice of asbestos survey and safety assessment MoEL, 2015b
- Ministry of Environment(MoE). Waste management Act. MoE, 2018
- Park DU, Choi SJ, Yoon CS. Review on occupational exposure to asbestos in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2009;19(3):307-320
- Paik NW, Lee YH. Characterization of worker exposure to airborne asbestos in asbestos industry. Korean Ind Hyg Assoc J 1991;1(2):144-153
- Park DY, Paik NW. Worker exposure to asbestos fibers in asbestos slate manufacuring and asbestos textile industry. Kor J Env Hlth Soc 1988;14(2):13-27
- Phee YG. Time trend in airborne asbestos concentrations among asbestos-containing material handling industries in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2016;26(4): 454-465
- Yi GY, Shin YC, Yoon CS, Park DY. Airborne asbestos fiber concentration in korean asbestos-related industry from 1994 to 2006. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2013;23(2):123-136
- Yoo CY, Roh JH, Chung HK, Kim CY. Indoor air quality and control of asbestos during the renovation work of subway stations in Seoul. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2002;12(3):178-186