ORIGINAL ARTICLE

부산시내 석면슬레이트지붕 건축물로부터의 석면 노출 및 건강위해성 평가

정재원 · 조순자¹⁾ · 박근태²⁾ · 이상준^{1)*}

부산광역시보건환경연구원, ¹⁾부산대학교 미생물학과, ²⁾부산대학교 산학협력단

Health Risk Assessment and Evaluation of Asbestos Release from Asbestos-cement Slate Roofing Buildings in Busan

Jae-Won Jeong, Sunja Cho¹⁾, Geun-Tae Park²⁾, Sang-Joon Lee^{1)*}

Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan 611-813, Korea

Abstract

This study was performed to evaluate the asbestos exposure levels and to calculate excess lifetime cancer risk (ELCR) for the risk assessment of the asbestos fibers released from asbestos-cement slate roofing (ASR) building. Total number of ASR buildings was into 21,267 in Busan, and 82.03 percent of the buildings was residential houses, and 43.61 percent of the buildings was constructed in 1970s. For this study, ten buildings were selected randomly among the ASR buildings. The range of airborne asbestos concentration in the selected ten ASR buildings was from 0.0016 to 0.0067 f/mL, and the concentration around no-admitted ASR buildings was higher than that around admitted buildings. The ELCR based on US EPA IRIS (integrated risk information system) model is within $3.5\text{E-}05 \sim 1.5\text{E-}04$ levels, and the ELCR of no-admitted ASR buildings was higher than 1.0E-04 (one person per million) level that is considered a more aggressive approach to mitigate risk.

These results indicate that the cancer risk from ASR buildings is higher than other buildings, and systematic public management is required for control of no-admitted ASR buildings within near future.

Key words: Asbestos-cement slate roofing (ASR) building, Health risk assessment, Airborne asbestos, Excess lifetime cacer risk (ELCR)

1. 서 론

석면(Asbestos)은 섬유상의 규산염 광물질로서, 비 단과 같이 부드러운 감촉과 유연성을 가지고 있으면 서도 높은 강도와 불에 타지 않는 내열성, 불연성, 절 연성, 단열성 등을 갖추고 있고, 내마모성, 내부식성, 내화학성, 내약품성과 같은 다양한 특성이 있어 전 세계적으로 건설현장, 산업현장 및 일반가정에서 널리사용되어 왔다.

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503

http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2013.22.12.1579

국내의 경우 1930년대부터 석면광산이 개발되기 시작하여 1990년까지 총 145,533톤이 생산 및 사용되 었으며, 석면원재료의 수입은 관세청으로부터 수입량

Received 6 February, 2013; Revised 3 June, 2013; Accepted 19 June, 2013

*Corresponding author: Sang-Joon Lee, Department of Microbiology, Pusan National University, Busan 609-735, Republic of Korea

Phone: +82-51-510-2268 E-mail: sangjoon@pusan.ac.kr © The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© 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.

¹⁾Department of Microbiology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²⁾Institute for research & industrial cooperation, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

확인이 가능한 1976년부터 1995년까지 약 20년간 꾸 준히 증가하였다. 그러나 석면으로 인한 피해사례가 증가하기 시작한 1997년부터 청석면과 갈석면의 수 입사용을 금지한 이후 수입이 지속적으로 감소하였으 며 2008년까지 총 1,229,206톤을 수입하였던 것으로 파악된다(MOE, 2009). 석면제품의 생산은 1930년대 부터 용산의 아사노 슬레이트 공장을 필두로 시작되 었으며(Choi 등, 1998), 1960년대에 정부의 경제개발 계획으로 슬레이트 사용이 증가하기 시작하여 1970 년대 새마을운동의 전국적인 전파에 따라 석면슬레이 트 제품의 생산 및 사용이 급증하였다(Kim 등, 2010). 1976년에 수입된 석면의 96%가 건축자재인 슬레이 트에 사용되었다고 보고되었으며, 1993년까지 지속 적으로 슬레이트를 포함한 건축자재에 국내 석면의 약 80% 이상이 사용된 것으로 파악되었다(Choi 등, 1998).

석면의 유연성과 고온에 대한 높은 저항성, 강알칼리성 pH에 대한 안정성 등에 의해 물리·화학적으로 내구성이 강한 시멘트의 제조를 위해 오래전부터 광범위하게 석면을 첨가하여 왔으며, 그 중 약 95%가 백석면으로 조사되었다(Bassani et al., 2007). 우리나라에서도 1980년대 이전까지 건축자재로 가장 많이 사용된 슬레이트의 주성분은 시멘트(80~85%)와 백석면 (15~20%)으로 파악된다(KOSHA, 2007).

석면슬레이트는 시간이 지남에 따라 바람, 온도, 습도의 영향에 의해 결합력이 점차 약해지는데, 특히 빗물의 침투에 의해 파괴가 더욱 가속화 되어 석면섬유가 주변 환경으로 방출되는 것으로 알려져 있다. 이는 황산화물에 의해 생성된 산성비가 탄산화 반응을 유도하여 시멘트의 주원료인 수산화칼슘을 수용성인 탄산칼슘과 황산칼슘(석고)으로 변화시켜 물과 함께 유출시킴으로써 파괴가 진행되는 것으로 판단된다(Dias 등, 2008).

대기 중으로 방출된 석면섬유는 공기 중에 부유하게 되며, 호흡기를 통하여 미세한 석면 섬유가 인체로 흡입되면 10~40년의 잠복기를 거쳐 석면폐증, 폐암, 악성중피종 등을 유발시킬 수 있으며, 섭취 시에는 장관계의 암과 인후두암, 신장암, 췌장암, 임파선암 등을 유발하기도 한다. 미세하게 분절된 석면입자는 보통 0.1~10 ㎞ 정도의 길이를 가지고 있는 것으로 알려져

환경부의 조사에 따르면 전국에 약 123만동의 건축물이 슬레이트지붕이며, 도심지에 66만 여동, 농어촌에 57만 여동 분포하고 있으며 그 중 대부분(88만동, 71.4%)이 주거용 건축물로 사용되고 있다. 또한 건축연식으로 70년대 이전의 건물이 다수(55.4%)를 차지해, 노후화에 따른 석면비산의 가능성이 증가할 것으로 우려되고 있다(MOE, 2010).

주변에 산재에 있는 슬레이트지붕으로부터의 석면의 방출은 현재 진행 중이며, 조속한 철거로 시급히 해결해 나가야 할 것이다. 또한 석면방출을 줄일 수 있는 대책을 추진함에 있어, 우선 슬레이트지붕 건축물로부터 대기환경으로의 석면 비산정도와 인체에서 어느정도의 위해성을 나타내는지를 파악하고 관리할 필요성이 있다. 이에 본 연구는 부산광역시 슬레이트지붕의 건축 현황을 파악하고, 석면이 함유된 슬레이트지붕건축물 주변에서의 공기 중 석면 노출농도를 측정하여 거주자에 대한 건강 위해도를 평가해 봄으로써향후 슬레이트지붕 건축물의 관리 방안을 제시하고자하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 슬레이트지붕 건축물 조사

부산광역시 전체의 슬레이트지붕 건축물 조사를 위하여 건축행정정보시스템(AIS)을 이용하였고, 조 회된 슬레이트지붕 건축물에 대해 2011년 3월부터 12 월까지 전수 현황조사를 하였으며, 건물용도, 건축연 도, 슬레이트 종류 및 면적 등을 방문 조사하였다.

2.2. 공기 중 석면 노출농도 측정

석면슬레이트지붕 건축물로부터의 석면 노출정도를 측정하기 위하여 슬레이트지붕 주택건물 10개동을 임의로 선정하여 건물 내・외의 공기 중 석면노출 정도를 조사하였다. 조사대상 건축물들의 부산지역내

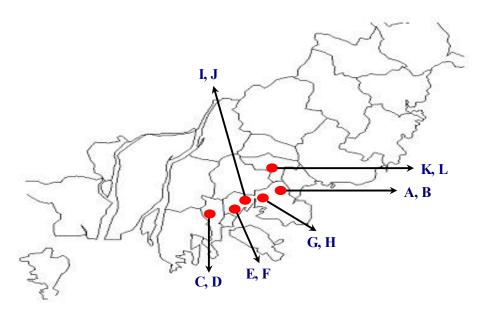


Fig. 1. Sampling sites of asbestos-cement slate roofs in Busan.

위치를 Fig.1.에 나타내었으며, 건축물들의 설립시기 및 재질 특성 등은 Table 1에 표시하였다. 대상 건축물들은 1960년대에서 1980년대 사이에 건축되었으며, A~F지점의 건축물은 건축연도를 확인할 수 있었으나, G~J지점의 건축물은 무허가 건축물로서 정확한 건축시기를 알 수 없었다. 또한 50년대 이전인 일제시대에 지어진 석면슬레이트 지붕이 아닌 건축물(K, L 지점)을 대조군으로 비교하였다.

시료 포집 및 분석은 대기오염공정시험기준(환경 부고시 제2007-145호) ES 01357.1 『환경대기 중 석 면 시험방법』및 실내공기질공정시험기준(환경부고 시 제2010-24호) ES 02303.1 『실내공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정방법 - 위상차현미경법』에 준하였으며, 셀룰로오스에스터(MCE, mixed cellulose ester) 재질의 여과지가 장착된 open face형 필터홀더를 사용하여 바닥으로부터 1.2~1.5 m 위치에서 10 L/min의 유량으로 1,200~2,400 L가 되도록 채취하였다. 포집한 시료 필터는 아세톤-트리아세틴법에 의해 투명화시켰으며, 위상차현미경 400배율에서 총 200시야를 관찰하고 석면 및 섬유상 먼지입자를 계수하였다.

Table 1. Target buildings with asbestos-cement slate roofs

buildings		construction year	asbestos type	
	A	1975	chrysotile (15~20%)	
	В	1985	chrysotile (15~20%)	
permitted	C	1968	chrysotile (15~20%)	
building	D	1985	chrysotile (15~20%)	
-	E	1985	chrysotile (15~20%)	
	F	1985	chrysotile (15~20%)	
	G	before 1970	chrysotile (15~20%)	
unpermitted	Н	before 1970	chrysotile (15~20%)	
building	I	before 1970	chrysotile (15~20%)	
	J	before 1970	chrysotile (15~20%)	
reference	K	before 1950	none asbestos	
building	L	before 1950	none asbestos	

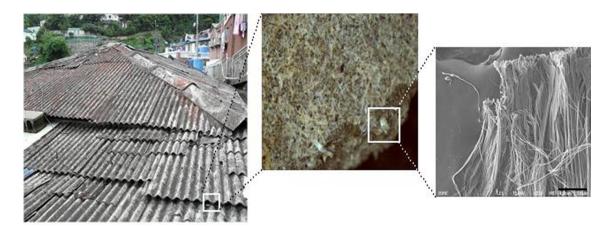


Fig. 2. Asbestos-cement slate roofs (left) and SEM image (right) of chrysotile in the slate roofs. The bar size in the right image indicates 100 µm.

2.3. 인체 위해성평가

석면 노출에 대한 인체 위해성 평가는 미국 EPA에서 제시하고 있는 발암위험도 평가방법(EPA, 1987, 2008)을 바탕으로, 환경부의 『석면광산 등 석면발생지역의 토양환경 관리지침』의 위해성 평가방법(환경부, 2010)과 미국 EPA IRIS(Integrated Risk Information System) 데이터를 이용하였다(EPA, 1986). 석면의 경우 미국 EPA에서 제시하고 있는 방법은 발암물질의 3대 노출경로인 섭취, 호흡, 피부노출의 경로 중에서 피부에 의한 흡수는 거의 없고 섭취에 따른 발암성도 밝혀진 바 없으므로 호흡을 통한 노출만을 고려하여 발암 위해도를 산정한 것이다. 이상의 내용을 바탕으로 석면의 발암위해도는 노출농도, 노출시간, 최초 노출로부터 경과시간을 이용하여 계산한다.

$$ELCR = EPC \times TWF \times IUR \tag{1}$$

- ELCR(Excess Life Cancer Risk): 생애초과발암 위험도(석면노출의 결과로서 암이 발생할 위험 도)
- EPC(Exposure Point Concentration): 노출농도 (해당 활동을 수행함으로써 노출되는 공기 중 석 면농도, f/mL)
- TWF(Time Weighting Factor) : 시간가중인자(1 년 동안 실제 석면에 노출되는 기간의 비가 어느 정도 되는지를 반영)

- IUR(Inhalation Unit Risk) : 흡입단위위해도(흡 입노출로 인한 단위위험도)

식 (1)에서 노출농도는 고정식 시료채취와 활동 시 공기측정농도를 사용하며, 시간가중인자는 아래의 식 을 이용하여 산정한다.

$$TWF = \frac{\cancel{노출시간(hrs/day)}}{24 \, hrs} \frac{\cancel{노출빈도(days/year)}}{365 \, days}$$
 (2)

식 (2)에서 시간가중인자는 활동을 위한 TWF_{ABS} (Activity Based Sampling)와 비활동시 TWF_{Amb(Ambient)}로 구분하고, 각각 활동시 공기측정농도와 고정식 시료채취 농도(실내공기질 및 실외공기질 농도)를 곱하여 산정한다. TWF_{ABS}는 하루(24시간)중 활동시간과 1년 중활동일로 구하며, TWF_{Amb}는 실내 및 실외거주시의 영향을 고려한다. 실내 거주시의 영향은 하루(24시간)중 실내거주시간과 1년 중 거주시간을 이용한다. 또한실외 거주시의 영향은 하루(24시간) 공 실외거주시간 의용한다. 또한

흡입단위위해도는 최초 노출된 나이와 노출기간에 따른 암 발생 위험도로서, EPA IRIS에서 제시한 값을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 석면슬레이트 지붕 현황

부산광역시 슬레이트지붕 건축물을 건축행정정 보시스템으로 확인하였을 때, 총 46,624동이었으며, 직접 확인조사 결과 총 21,267동의 슬레이트 건축물 이 확인되어 약 54.4%가 감소한 것으로 나타났다. 이 러한 슬레이트지붕 건축물 감소의 주요인은 노후 도 심지역의 재건축 및 재개발(63.2%)로 나타났으며, 나 머지는 개인별 지붕개량(36.8%)에 의한 감소였다 (Busan metropolitan city, 2011).

슬레이트지붕 건축물의 용도별 분포를 살펴 보면, 주택이 82.03%로 가장 많았고, 창고 5.26%, 공장 3.68%, 축사 0.54% 등으로 나타났다(Table 2).

건축물수로 비교를 하면 공장 건물이 차지하는 비율은 전체 건축물 수의 3.68% 밖에 되지 않으나, 대부분의 공장건물의 면적이 주택에 비해 넓어, 지붕을 덮고 있는 슬레이트의 면적 비율도 높을 것으로 예상된다. 또한 창고, 축사, 시설 등의 슬레이트지붕 면적도 주택보다는 넓은 것이 일반적이므로 슬레이트지붕의 관리를 위해서는 차후에 좀더 구체적인 조사가 있어야 할 것으로 판단된다.

슬레이트지붕 건축물의 건축연도별 분포를 살펴 보면, 1970년대 건축물이 43.61%로 가장 많았고, 1980년대 36.48%, 1960년대 11.40% 순으로 나타났 다(Table 3).

부산시 슬레이트지붕 건축물의 지역별 분포 현황 은 주거인구 밀집지역이 많은 강서구, 사하구, 남구, 부산진구 등이 높게 나타났으며, 상업지역 및 재개발 이 추진된 신도시 지역 등은 상대적으로 슬레이트가 적게 분포하는 것으로 나타났다(Table 4). 노후화가 우려되는 가장 오래된 슬레이트 건축물인 1920년대이전 건축물 189동 가운데 185동이 강서구에 분포하고 있었으며, 1950년대이전 건축물 898동 가운데 56%인 505동이 강서구에, 28.5%인 256동이 기장군에 분포하는 것으로 나타났다. 또한 강서구와 기장군의 슬레이트지붕 건축물은 타 지역에 비해 창고 및 축사의 비율이 높고, 사상구는 공장의 분포비율이 높다는 것이 특징적이다.

Table 4. ASR buildings classified by administrative district (unit:buildings)

district	buildings
Gangseo-gu	2,810 (13.2%)
Saha-gu	2,549 (12.0%)
Nam-gu	2,455 (11.5%)
Busanjin-gu	2,362 (11.1%)
Gijang-gun	1,983 (9.3%)
Youngdo-gu	1,530 (7.2%)
Seo-gu	1,468 (6.9%)
Sasang-gu	1,344 (6.3%)
Dong-gu	1,171 (5.5%)
Haewundae-gu	1,006 (4.7%)
Yeonje-gu	618 (2.9%)
Geumjeong-gu	591 (2.8%)
Dongrae-gu	517 (2.4%)
Suyoung-gu	340 (1.6%)
Jung-gu	297 (1.4%)
Buk-gu	226 (1.1%)

3.2. 실내·외 공기 중 석면농도

석면슬레이트지붕 건축물 실내 · 외에서의 공기 중 석면 및 섬유상먼지 농도를 PCM(위상차현미경) 분석 법에 따라 조사하고 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 2. Classification of ASR(asbestos-cement slate roofing) buildings on usage (unit:buildings)

total	residential	warehouse	factory	livestock shed	facility	unconfirmed
21,267	17,446	1,118	783	115	1,774	31
(100%)	(82.03%)	(5.26%)	(3.68%)	(0.54%)	(8.34%)	(0.15%)

Table 3. Numbers of ASR buildings classified by construction year (unit:buildings)

total	before 1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	since 1990
21,267	189	239	271	199	2,424	9,275	7,759	911
(100%)	(0.89%)	(1.12%)	(1.27%)	(0.94%)	(11.40%)	(43.61%)	(36.48%)	(4.28%)

Table 5. Airborne asbestos concentration in and out of ASR buildings

hu	ildings	indoor site	outdoor site
	nungs	(f/mL)	(f/mL)
	sampled number	6	6
200 1	Mean	0.0022	0.0016
permitted	SD*	0.00057	0.00065
building	Min.	0.0016	0.0008
	Max.	0.0031	0.0027
	sampled number	4	4
*** 1	Mean	0.0046	0.0013
unpermitted	SD*	0.0016	0.00022
building	Min.	0.0032	0.0011
	Max.	0.0067	0.0016
	sampled number	2	2
	Mean	0.0015	0.0012
reference	SD*	0.00014	0.00057
building	Min.	0.0014	0.0008
	Max.	0.0016	0.0016

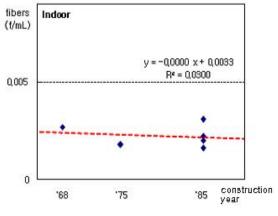
SD* means standard deviation

실내에서의 석면 및 섬유상 먼지농도가 실외보다 높았으며, 일반주택 건물보다 무허가 주택건물에서의 농도가 더 높게 나타났다. 석면슬레이트 지붕이 설치된 일반주택의 실내공기 중의 석면 및 섬유상 먼지농도는 0.0016~0.0031 f/mL로서, 지하역사, 지하상가등의 실내공기 중의 석면 및 섬유상먼지 농도와 유사하였으며, 무허가 석면슬레이트지붕 주택의 실내공기중 농도는 0.0032~0.0067 f/mL로서, 허가 건축물 실내와 대조군 건축물 실내공기에서의 농도에 비해 2배

이상 유의하게 높았고, 실외에서의 농도는 두 그룹간에 거의 차이가 없었다(p<0.05). 무허가 주택의 실내 공기 중 석면 및 섬유상먼지의 농도가 높은 것은, 무허가 건축물의 특성상 건축물의 수선이나 개축이 어려우므로 지붕 뿐 아니라 건축물 전체가 노후화하고 손상이 심한 곳이 많은 것에 기인하는 것으로 판단되었다.

실내에서의 공기 중 석면 및 섬유상먼지 농도는 0.0016~0.0067 f/mL로서 다중이용시설 등의 실내공 기질 석면권고기준인 0.01 f/mL를 초과하는 지점은 없었으며, 기하평균값은 0.0026 f/mL이었다. 석면슬 레이트 지붕 건축물 실내에서의 공기 중 석면농도를 조사한 사례는 찾아볼 수 없었으나, 벽면재, 바닥재, 천장재 등 건축자재 중 석면이 함유된 건축물의 실내 에서의 석면 및 섬유상먼지 농도에 대한 조사 결과에 의하면, 서울시의 석면사용 건축물 10개 동에서의 실 내공기 중 석면농도가 0.0011~0.0043 f/mL라고 보고 되었고(Chung 등, 2011), 그 외 224개의 공공건물에 서 실내공기 중 석면농도를 조사하여 0~0.0111 f/mL 의 결과가 발표되어 본 조사결과에 비해 훨씬 광범위 한 농도의 결과가 보고된 것으로 나타났다(Park 등, 2009). 또한 WHO에서 유럽 여러 나라 공공건물 내의 석면 및 섬유상먼지 농도를 조사한 결과에 의하면 평 균값이 0.00005~0.0045 f/mL로서 정 등의 조사결과 와 유사함을 알 수 있었다(WHO, 1998).

석면슬레이트 지붕건축물 주변 대기 중에서의 석면 및 섬유상먼지 농도 연구사례를 살펴 보면, Campopiano



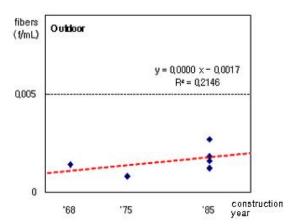


Fig. 3. Correlation between fiber concentrations and ASR building-construction years.

등은 전자현미경(SEM-EDX)을 사용하여 평균 농도 범위가 0.0000~0.0006 f/mL라고 발표하였으며(Campopiano et. al., 2009), Spurny는 석면 슬레이트가 사용된 건물의 부식이 진행된 근처에서 측정한 공기 중 석면농도가 약 0.001 f/mL 정도라고 하였다(Spurny, 1989).

건축연도가 알려진 건축물 중 가장 오래된 1968년 도 건축물 실내·외의 석면 및 섬유상먼지 농도는 0.0027 f/mL, 0.0014 f/mL로서 오히려 1985년도 건축물에서의 농도(0.0031 f/mL, 0.0027 f/mL) 보다 낮게 나타나 건축연도와의 상관성은 거의 없는 것으로 나타났다(Fig.3).

3.3. 인체 위해성평가

슬레이트지붕 주택거주자에 대한 발암 위험도를 산정하기 위해 노출 농도(EPC)는 각 지점에서 조사된 공기 중 석면농도를 사용하였으며, 시간 가중인자 (TWF) 계산은 주택 실내 체류시간은 주5일 근무를 가 정하여 연중 260일은 12시간, 105일의 휴일은 22시간 으로, 실외 체류시간은 매일 2시간으로 가정하여 산정 하였다(Table 6). 주5일 8시간 근무에 따른 외부 체류 시간을 10시간으로 가정하였으나, 본 연구에서는 주 택에서의 생활에 대한 발암위험도를 나타내고자 하였 으므로 위해성 평가과정에서 생략하였다.

흡입단위위해도(IUR)는 조사가구의 세대주가 대부분 60세 이상이었고, 가장 최근에 건축된 연도가

1985년이었으므로 35세부터 25년 노출로 가정하여 0.035로 계산하였다(EPA, 1986).

건축물별 조사된 석면노출 농도와 시간가중인자 (TWF) 및 흡입단위위해도(IUR)를 이용해서 계산한 발암위험도(ELCR)는 Table 7과 같다.

석면함유 슬레이트지붕 주택 거주자에 대한 발암 위험도는 3.5E-05 (십만명당 3.5명 발암가능) ~ 1.5E-04(만명당 1.5명 발암가능) 수준으로 나타났으며, 무허가 석면슬레이트지붕 주택에서 가장 높게 나타났다. 석면슬레이트 지붕이 설치된 일반주택의 발암위험도는 3.5E-05(십만명당 3.5명 발암가능)~6.7E-05(십만명당 6.7명 발암가능) 수준이었고, 무허가 슬레이트지붕 주택에서의 발암위험도는 6.9E-05(십만명당 6.9명 발암가능)~1.5E-04(만명당 1.5명 발암가능) 수준으로 4동의 주택에 대한 조사 결과 50%인 2개동에서 1.0E-04 이상으로 나타났다.

국내에서 석면 농도나 위해성에 대한 조사 자료 중에 발암위험도를 제시한 사례는 많지 않다. 2011년 환경부에서 국내 5개 야구장의 석면이 함유된 토양에 대한 위해성 평가 결과로서 선수는 1.25E-07(천만명당 1.25명 발암가능)~1.66E-06(백만명당 1.66명 발암가능), 관중은 1.44E-08(1억명당 1.44명 발암가능)~6.81E-07(천만명당 6.81명 발암가능)의 초과발암위해도를 가진다고 발표하였고(환경부 보도자료, 2011), Jung 등(2012)이 석면자재가 사용된 공공건축물 근로

Table 6. Calculation of TWFs(Time Weighting Factors) in the ASR buildings

activity space	exposure activities scenarios	TWF
indoor space of house	- 260 days per a year, 12 hours per a day exposure - 105 days per a year, 22 hours per a day exposure	0.620
outdoor space of house	- 365 days per a year, 2 hours per a day exposure	0.083
working space	- 260 days per a year, 10 hours per a day exposure	_

Table 7. Calculation of ELCRs (Excess Life Cancer Risks) in the ASR buildings

buildings	EPC (f/mL)	TWF	IUR (f/mL) ⁻¹	ELCR
admitted building	$0.0016 \sim 0.0031$	0.083 ~ 0.620	0.035	3.5E-05 ~ 6.7E-05
no-admitted building	$0.0032 \sim 0.0067$	0.083 ~ 0.620	0.035	6.9E-05 ~ 1.5E-04
reference building	$0.0014 \sim 0.0016$	0.083 ~ 0.620	0.035	3.0E-05 ~ 3.5E-05

자에 대한 인체 위해성평가 결과 1.5E-06(백만명당 1.5명 발암가능)~3.9E-05(십만명당 3.9명 발암가능) 수준으로 발표하였다. 앞의 두 결과를 본 조사결과와 비교해 본다면, 석면슬레이트지붕 주택거주자에 대한 발암위험도는 10배 이상 높게 나타났으며, 이는 주택 이 직장이나 방문시설 등과는 달리 대부분의 시간을 보내는 공간이므로 석면에 노출될 경우에 대한 위해 도가 훨씬 크게 나타날 수 있음을 시사한다. 정 등의 보고에 의하면, 국내 2004년~2005년 사이 악성중피종 으로 진단된 45건의 사례 중 6건이 슬레이트 가옥에서 의 환경노출이 있었음을 확인하였다(Jung 등, 2006). 미국 EPA에 따르면 교통사고의 위험도는 1.0E-02~ 1.0E-03 수준이며, 번개에 맞을 위험도가 1.0E-04~1.0E-05 수준으로, 대기오염물질에 의한 생애초과발암위험도 (ELCR)는 1.0E-04~1.0E-06의 수준으로 관리되는 것 이 적절하며, 1.0E-04 이상일 경우는 적극적인 저감대 책을 추진할 것을 권유하고 있다(EPA, 2005). 따라서 무허가 슬레이트지붕 건축물에 대한 관리방안을 심각 하게 고려해야 할 것이다.

무허가 슬레이트지붕 주택은 건축연도를 정확하게 알 수 없으나 대부분 20~30년 이상의 노후 건축물이 며 파손 정도도 허가 건축물보다 심한 경향이 있다. 또한 무허가 슬레이트지붕 주택의 거주자는 대개 연령이 높고 거주 기간이 길며, 실내 활동 시간도 길어 고 농도 석면환경에 노출될 가능성이 높을 것으로 조사되었다. 그러나 무허가 주택의 거주자들은 영세민이 많아 스스로 석면함유 슬레이트지붕을 개량할 수 없는 경우가 많으므로 정부 차원의 슬레이트지붕 개량지원이 시급히 필요하다고 판단된다. 2011년 부산시의 석면슬레이트 전수조사 용역은 공부상 확인이 가능한 허가 건축물에 대한 현장조사로 이루어져 사실상부산지역의 무허가 슬레이트 건축물에 대한 현황은 정확히 파악되지 않고 있으므로, 차후 이에 대한 조사 및대책마련도 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

EPA나 환경부에서 제시하고 있는 석면 노출에 대한 인체 위해성 평가를 위해서는 활동근거시료채취 (ABS, Activity Based Sampling)가 원칙이나, 본 연구에서는 고정식 실내・외 공기 시료채취 농도만을 이용하여 발암위험도를 산정하였으므로, 차후 ABS 농도를 측정하여 그 결과를 비교해 볼 필요가 있을 것이

다. 한편, 본 연구 결과의 중요한 변수인 노출농도 (EPC)는 석면 및 섬유상 먼지를 다 포함한 위상차현 미경법에 의한 측정값이므로 실제 석면의 농도보다는 다소 높았을 것으로 사료되므로 TEM이나 SEM을 이용한 석면입자의 농도를 대입한다면 발암위험도는 다소 낮아질 것으로 판단된다.

4. 결 론

슬레이트지붕 건축물에 의한 인체 위해성을 평가하기 위해 부산광역시의 슬레이트지붕 현황을 파악하고, 석면이 함유된 슬레이트지붕 건축물 주변에서의 공기 중 석면 노출농도를 측정하여 거주자에 대한 발암위험도를 산정하였다.

건축행정정보시스템으로 확인 가능한 부산광역시소재 슬레이트지붕 건축물은 총 21,267동으로 조사되었으며, 조사에서 누락된 무허가 슬레이트지붕 건축물까지 합한다면 그 수가 훨씬 많아질 것으로 추정된다. 용도별 분포는 주택이 82.03%, 창고 5.26%, 공장3.68%, 축사 0.54%의 순이었고, 건축연도별 분포는1970년대 43.61%, 1980년대 36.48%, 1960년대 11.40%순이었으며,지역별 분포는 강서구 13.2%,사하구12.0%,남구11.5%,부산진구11.1% 등에서 높게 나타났다.

석면슬레이트지붕 건축물의 실내공기 중에서의 석면 및 섬유상먼지 농도는 0.0016~0.0067 f/mL로서 실내공기질 권고기준 미만이었으며, 대기환경 중의 석면농도(0.0008~0.0029 f/mL)보다는 높고 지하상가 (0.0025~0.0063 f/mL) 및 지하역사(0.0004~0.0068 f/mL)의 공기 중 석면농도와 유사한 결과를 나타내었다(BIHE, 2011).

인체 위해성평가를 위해 산정한 발암위험도는 3.5E-05(십만명당 3.5명 발암가능)~1.5E-04(만명당 1.5명 발암가능) 수준으로, 무허가 슬레이트지붕 주택의 실내공기 일부가 EPA 권고 발암물질 관리기준인 1.0E-04를 초과하여 관리대책 마련이 시급한 것으로 나타났다.

석면슬레이트지붕 건축물의 관리를 위해서는 좀더 정확한 노출농도 및 인체위해성 평가결과가 제시되어 야 할 것으로 사료되며, 무허가 석면슬레이트 건축물 에 대한 현황 조사, 실내·외 활동에 근거한 공기 중 농도, 전자현미경을 이용한 석면분석 결과, 다양한 환 경조건에 따른 슬레이트 노후화 및 석면입자 방출 경 로 등에 대한 조사가 지속적으로 진행되어 종합적 결 과를 바탕으로 한 적절한 관리방안이 제시되어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년) 에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- Bassani, C., Cavalli, R. M., Cavalcante, F., Cuomo, V., Palombo, A., Pascucci, S., Pignatti, S., 2007, Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data, Remote Sensing of Environment, 109, 361-378.
- Busan metropolitan city, 2011, The report of total inspection for slate roofing in Busan.
- BIHE(Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment), 2011, The Annual Report of Busan metropolitan City Institute of Health & Environment, 21(2), 240-260.
- Campopiano, A., Ramires, D., Zakrzewska, A. M., Ferri, R., D'annibale, A., Pizzutelli, G., 2009, Risk assessment of decay of asbestos cement roofs, Ann. Occup. Hyg., 53(6), 627-638.
- Choi, J. K., Paek, D. M., Paik, N. W., 1998, The production, the use, the number of workers and exposure level of asbestos in Korea, Korean Ind. Hyg. Assoc. J, 8(2), 242-253.
- Chung, S. N., Nam, E. J., Hwang, S. Y., Oh, S. R., Shin, J. H., Eom, S. W., Chae, Y. Z., 2011, An Investigation on the airborne asbestos concentrations using PCM and TEM in the public buildings in Seoul, J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg., 21(3), 139-145.
- Dias, C. M. R., Cincotto, M. A., Savastano Jr., H., John, V. M., 2008, Long-term aging of fiber-cement corrugated sheets - The effect of carbonation, leaching and acid rain, Cement Concrete Comp., 30, 255-265.
- Jeong, J. W., Kim, K. S., Cho, S. J., Lee, S. J., 2012,

- Asbestos exposure and health risk assessment in asbestos-containing buildings, J. of the Environmental Sciences, 21(9), 1069-1078.
- Jung, S. H., Kim, H. R., Koh, S. B., Yong, S. J., Choi, B. S., Ahn, Y. S., Park, T. I., Chung, M. J., Kim, Y. M., Song, J. S., Chung, Y. K., Myung, J. P., 2006, Epidemiologic characteristics revealed with a malignant mesothelioma surveillance system in Korea, Korean J. Occup. Environ. Med., 18(1), 46-52.
- Kim, H. W., Park, G. Y., Han, J. G., Han, Y. S., H, B. G., Lee, J. H., 2010, Releasing of asbestos fibers from the weatherd asbestos cement slate roofing, J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg., 20(2), 88-93.
- KOSHA(Korea Occupational Safety & Health Agency), 2007, A survey for asbestos containing products and databases construction.
- MOE(Ministry of Environment), 2009, A comprehensive survey for asbestos management.
- MOE(Ministry of Environment), 2010, A comprehensive measure for slate management.
- MOE(Ministry of Environment), 2010, Guidelines for soil environment management of asbestos-affected areas, such as asbestos mines, etc.
- Park, H., Cho, Y. H., Joeng, J. S., Kim, Y. S., No, Y. M., Park, H. M. Jang, S. K., Lim, H. J., Choi, S. H., 2009, The characteristics of asbestos distribution in public buildings, Proceedings of Korean Society for Indoor Environment Conference, 6, 201-204.
- Spurny, K. R., 1989, On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products, Environ. Res., 48, 100-116.
- US EPA, 1986, Quantitative estimate of carcinogenic risk from inhalation exposure.
- US EPA, 1987, Part 763-Asbestos; subpart E-asbestos-containing materials in schools.
- US EPA, 2005, Asbestos Exposure and Human Health Risk Assessment, Asbestos Air Sampling, Conducted September 27th through 29th, 2005, Clear Creek management Area, Califonia; Adult and Child Exposure.
- US EPA, 2008, Framework for investigating asbestoscontaminated superfund sites. OSWER Directive #9200.0-68.
- WHO, 1998, International Programme on Chemical Safety; Environmental Health Criteria 203; Chrysotile Asbestos.