

석면 해체 · 제거 후 잔류 석면 농도의 평가

대구산업보건센터 환경위생팀
한창희

서론

석면(Asbestos)은 천연광물로서 섬유형태를 띤 규산마그네슘($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$)이 그 주성분이며, 사문석(Serpentine)계열과 각섬석(Amphiboles)계열로 크게 나눌 수 있다. 사문석류는 백석면(Chrysotile), 각섬석류는 청석면(Crocidolite), 갈석면(Amosite), 트레몰라이트(Tremolite), 악티노라이트(Actinolite), 안쏘필라이트(Anthophyllite)로 분류하고 있다(Langer et al, 1994).

석면은 1970년대부터 새마을운동의 일환으로 전국에 있는 초가지붕을 개량하면서 석면이 함유된 슬레이트 지붕으로 대폭 교체하였고(새마을운동중앙회, 2005), 새마을운동을 기점으로 사용량이 늘어나기 시작하여, 1976년부터 1990년까지 석면 원재료를 캐나다, 중국 및 짐바브웨 등에서 연평균 약 63,000톤을 수입하였으며, 1992년에는 그 수입량이 95,476톤으로 최고치를 기록하였다. 그러나 1995년 이후 지속적으로 감소하는 추세를 보이며 2005년에는 6,476톤을 수입한 것으로 보고되고 있지만 석면 원재료 수입량과는 반대로 석면함유제품의 수입량이 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다(환경부, 2009; 고용노동부, 2010).

이렇게 수입된 석면은 인장내력과 유연성, 불연성, 내마모성, 절연성 등이 우수하여 많은 건축 재료에 광범위하게 활용되어 왔고, 1970년대에 약 96%가 건축자재인 슬레이트에 사용되었으나 1990년대에는

슬레이트 이외에도 보온단열재, 건축내장재, 천정판 및 석면판 등 다양한 건축자재에 약 82%를 사용하였다(ATSDR, 2001; 환경부, 2009).

그동안 석면을 중심으로 수행한 연구들은 다양한 업종 등을 대상으로 진행되어 왔다. 특히, 석면을 원재료로 사용하여 제품을 생산하는 업종에 대한 연구가 대부분으로 석면방직업 근로자의 석면노출 실태와 과거농도 추정에 관한 연구(박정임, 1995), 석면 취급 산업장 석면 농도에 관한 고찰(박동욱, 2009), 수리조선 작업장에서의 공기 중 석면 노출에 관한 연구(심상호, 2008) 등이 있으며, 건축물 해체 작업시 발생하는 석면의 노출 평가(최충곤, 2001), 석면 해체·제거 시 공기 중 석면 농도에 관한 연구도 석면 해체·제거 시 공기 중 노출 수준과 영향요인 연구(김지영, 2009), 건축물의 석면분포 특성과 해체·제거 후 공기 중 석면 농도 평가(이진주, 2012) 등이 있으나 이들 연구 모두 본 연구에서 확인하고자 하는 석면 해체·제거 현장 내 시간적 변화에 따른 공기 중 석면 농도를 확인하지는 못했다.

따라서 본 연구는 석면 해체·제거 현장 내 공기 중 석면의 농도 변화를 시간대별로 평가하고, 석면 농도에 영향을 미치는 요인을 규명하여 석면 해체·제거 근로자뿐만 아니라 후속작업을 수행하는 수많은 근로자들에 대한 노출수준을 확인함으로써 그들의 건강보호를 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

본 연구의 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 세부목표를 설정하였다.

첫째, 비닐보양 해체 전·후 및 6시간 경과 후 공기 중 석면농도와 표면 석면농도를 평가한다.

둘째, 석면함유량, 면적, 층수, 기류 및 온도 등의 요인이 공기 중 석면농도에 어떤 영향을 미치는지 규명한다.

셋째, 석면 해체·제거 후 후속작업 근로자들에게 노출되는 잔류 석면의 농도를 확인하고 그 결과에 따라 건강보호를 위한 조치를 제안한다.

연구대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 석면해체·제거 현장 내 공기 중 잔류 석면 농도를 평가하기 위하여 철근콘크리트 구조물 내 석면 함유 천장재를 철거하는 3개 작업현장(교육기관 2개소, 행정기관 1개소)을 선정하여 2012년 2

월부터 2012년 3월까지 공기 중 석면농도를 평가하였다.

2. 연구 방법

1) 석면시료 채취

① 고형시료

석면 해체·제거 작업 전 육안조사를 통하여 건축물의 일반적인 형태를 조사하고, 석면함유 의심물질(Presumed Asbestos-Containing Material, PACM)을 대상으로 균질부분(Homogeneous area)을 선정하여 고형시료(Bulk sample)를 채취하였다.

고형시료는 수공구(Hand tools)를 이용하여 채취하였으며, 가로(3 cm), 세로(3 cm) 정도의 크기로 채취하여 파손되지 않도록 밀폐형 비닐팩을 사용하여 운반하였다.

② 공기 중 석면시료

공기 중 석면 농도를 파악하기 위하여 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법 7400(NIOSH, 1994)에 따라 Membrane Cellulose Ester(MCE) filter(공극 0.8 μm , 직경 25 mm)가 내장되어 있고 50 mm 카울(Cowl)이 장착된 카세트(Cassette)를 사용하였고, 개인시료 채취기(Personal air sampler)의 유량을 2 l/min으로 설정하여 공기 중 석면을 채취하였다.

석면 시료의 시간대별 채취는 석면 해체·제거 작업 완료 후, 비닐보양 해체 후, 비닐보양 해체 후 6시간 이후로 구분하였으며, 주변 환경의 석면농도를 평가하기 위하여 석면 해체·제거 현장 외부에 동일한 조건에서 시료 채취를 실시하였다.

③ 표면 중 시료

표면 중 시료는 Membrane Cellulose Ester(MCE) filter(공극 0.8 μm , 직경 25 mm)가 내장되어 있고 50 mm 카울(Cowl)이 장착된 카세트(Cassette)를 개인시료 채취기에 장착한 후 유량을 2 l/min으로 설정하였다. 표면에 있는 잔재물이 카세트에 잘 포집되도록 연성관 2 cm를 45° 각도로 비스듬이 절단하여 카세트 앞부분에 연결하였고, 가로(5 cm) × 세로(5 cm) 지역에서 약 2~3분 동안 표면의 잔재물을 진공채취방법으로 포집하였다.

2) 석면시료 분석

① 고형시료

고형시료의 분석은 미국환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)의 시험방법인 EPA/600/

R-93-116(EPA, 1993)의 편광현미경법과 NIOSH 공정시험법 9002(NIOSH, 1994)를 준용하였다. 석면의 정 성분분석은 편광현미경(Polarized Light Microscopy, PLM, Nikon LV50POL)을 이용하여 석면의 형태, 색상/다색성, 굴절률, 신장부호, 분산염색, 소광특성, 복굴절을 관찰하여 석면의 함유여부와 종류를 판정하였다.

석면형태(Asbestiform)는 평균 길이 대 지름의 비(Aspect ratio)가 20:1에서 100:1 또는 그 이상이며, 길이가 5 μm 이상 섬유에 대해서 석면을 판명하였다.

② 공기 중 석면시료 및 표면 중 석면 시료

공기 중 시료 및 표면 중 시료의 석면 농도는 NIOSH 7400방법인 위상차현미경(Phase Contrast Microscopy, PCM, Nikon 50i)으로 분석하였다. 이 방법은 채취한 필터를 4등분하여 슬라이드글라스 위에 놓은 후 아세톤(Acetone)으로 투명화 시킨 다음 트리아세틴(Treacetine)으로 기포가 생기지 않도록 커버글라스에 고정시켰다. 그 후 Walton-Beckett Graticule(1시아 면적 0.00785 mm²)이 삽입된 위상차 현미경을 사용하여 400배 배율에서 'A' 섬유 계수법(섬유의 길이 5 μm 이상, 길이 대 지름의 비가 3:1 이상의 섬유를 계수)으로 석면섬유를 분석하며 100개의 섬유가 계수될 때까지 최소 20개 이상 충분한 수의 시야를 계수하되, 계수한 시야의 수가 100개를 넘지 않도록 하였다.

3. 자료 분석

조사된 자료들의 통계분석은 SPSS(Version 20.0K, USA) 프로그램을 활용하였다. 공기 및 표면 중 석면의 농도는 Sapiro-Wilk의 정규성 검정결과 대수정규분포를 보여 기하평균과 기하표준편차로 제시하였고 결과의 이해를 위하여 산술평균과 표준편차도 결과에 수록하였다.

연구결과 및 고찰

우리들이 살아가고 사용하고 있는 건축물들은 보통 철근과 콘크리트를 섞어 만든 철근콘크리트 구조물이 대부분이다. 이런 건축물들의 수명은 대략 30~50년 정도이며 새마을운동을 시작으로 대부분의 석면이 건축자재로 전체 사용량의 80%정도가 사용된 점을 감안 한다면 석면함유 건축물의 철거 건수는 해마다 증가할 것으로 예상된다.

현재까지 우리나라에서 석면과 관련된 연구들은 석면 해체·제거 중 근로자들에게 노출되는 석면의

농도에 대한 연구들이 대부분이었다. 그러나 직접적으로 석면 해체·제거를 수행하는 근로자들뿐만 아니라 석면 해체·제거 완료 후 후속작업을 수행하는 근로자들도 충분히 석면에 노출될 가능성이 있다.

이에 본 연구에서 확인한 결과 석면 해체·제거 시 공기 중 석면의 기하평균 농도는 0.0085 f/cc(0.0002~0.0949 f/cc)이었고, 이를 구체적으로 구분해 보면 비닐보양 해체 전의 석면의 농도는 0.0321 f/cc(0.0040~0.0949), 비닐보양 해체 후의 농도는 0.0084 f/cc(0.0020~0.0301), 비닐보양 해체 후 6시간 이후의 농도는 0.0023 f/cc(0.0002~0.0081)인 것으로 나타났다.

이러한 결과는 석면 해체·제거 완료에서부터 6시간 동안 작업현장 내 공기 중 석면 농도가 차츰 감소하는 경향으로 볼 수 있으나, 석면 해체·제거 완료 후 개인보호구를 미착용한 상태로 후속작업을 수행할 경우 석면에 충분히 노출될 수 있다는 것을 의미한다.

〈표1〉 Airborne asbestos concentrations of removal inside by sampling period

(Unit : f/cc)

Classification	N*	GM**(GSD†)	Mean±SD‡	Min	Max	ER¶	p-value
Before the destruction	15	0.0321 ^a (2.5398)	0.0433±0.0267	0.0040	0.0949	86.7%	
After the destruction	15	0.0084 ^b (1.9683)	0.0103±0.0069	0.0020	0.0301	53.3%	0.0001
Elapse of 6 hours after destruction	15	0.0023 ^b (3.8114)	0.0038±0.0028	0.0002	0.0081	0.0%	
Total	45	0.0085(4.3993)	0.0191±0.02346	0.0002	0.0949	46.7%	

* a,b : Group with the same letters were not significantly different by Duncan test (α=0.05)

* N : Number of samples

**GM : Geometric Mean

†GSD : Geometric Standard Deviation

‡SD : Standard Deviation

¶ ER(Exceed rate) : (Number of samples over Korean Occupational Exposure Limit / Number of samples) × 100

석면 해체·제거 현장 내 표면 중 석면의 농도를 보면 공기 중 석면의 농도와 동일하게 비닐보양 해체 전에서 126.83 Str/cm², 비닐보양 해체 후 59.75 Str/cm², 비닐보양 해체 후 6시간 이후 42.35 Str/cm² 순으로 높은 농도를 보였고 공기 중 석면 농도와 표면 중 석면 농도와의 강한 상관성을 보여 표면 중 석면채취 방법의 활용가능성을 잠재적으로 확인하였다.

(표2) Surface asbestos concentrations by sampling period

(Unit : Structures/cm²)

Classification	N*	GM**(GSD†)	Mean±SD‡	Min	Max	p-value
Before the destruction	12	126.83(2.59) ^a	187.37±167.60	42.35	565.95	0.002
After the destruction	12	59.75(2.01) ^b	82.78±101.00	42.35	392.70	
Elapse of 6 hours after destruction	12	42.35(1.00) ^b	42.35±0.00	42.35	42.35	
Total	36	68.47(2.24)	104.16±0.00	42.35	565.95	

* a,b : Group with the same letters were not significantly different by Duncan test (α=0.05)

* N : Number of samples

**GM : Geometric Mean

†GSD : Geometric Standard Deviation

‡SD : Standard Deviation

한편, 바닥에 비닐재질이 존재할 경우 표면 중 석면의 농도가 126.83 Str/cm²으로 나타나 다른 재질에 비해 높게 나타나 각별한 주의가 필요한 것으로 판단된다. 표면 중 석면채취 방법의 경우 국내에서 처음으로 수행되어 보다 자세한 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

결론

석면 해체·제거 완료 후 후속작업 수행 시 바로 작업현장으로 들어가는 경우 석면에 노출될 가능성이 크다. 또한, 석면 해체·제거 완료 후 6시간 이후에 들어간다 하더라도 일정 수준의 석면 노출은 불가피한 것으로 보인다. 따라서 후속작업 근로자의 건강보호를 위하여 반드시 호흡용보호구 착용 및 후속작업 이전에 공기 중 또는 표면 중 석면 농도 확인 등 후속작업을 수행하는 근로자들에 대한 건강보호 대책 마련이 필요한 것으로 판단된다.

한편, 석면 해체·제거 시 면적이 크고 석면 함유량이 높으며 리모델링 현장의 경우 석면의 노출기준 초과율이 높게 나타나 다소 신중을 기할 필요가 있고 석면 농도에 주영향요인은 온도와 석면함유자재의 손상도로 나타나 손상 정도에 따라 노출을 저감시킬 수 있는 작업방법 등이 강구되어야 할 것이다. 🍀

참고 문헌

1. 고용노동부, 석면조사 및 정도관리규정, 고시 제 2009-32호, 2009.
2. 고용노동부, 고용노동백서, 2010.
3. 김지영, 이송권, 이정희, 임무혁, 강성욱, 피영규, 석면 해체·제거 시 공기 중 노출수준과 영향요인, 한국산업위생학회지, 19(1), pp.8-15, 2009.
4. 박정임, 윤충식, 백남원, 석면방직업 근로자의 석면노출 실태와 과거농도 추정에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 5(1), pp.16-39, 1995.
5. 박동욱, 최상준, 윤충식, 우리나라 석면 취급 산업장 석면 농도에 대한 고찰, 한국산업위생학회지, 19(3), pp.307-320, 2009.
6. 새마을운동 중앙회, 2005.
7. 심상효, 정희태, 송기민, 김윤신, 강용선, 수리조선 작업장에서의 공기 중 석면 노출에 관한 연구, 한국환경보건학회지, 34(4), pp.279-284, 2008.
8. 이진주, 건축물의 석면분포 특성과 해체·제거 후 공기 중 석면 농도 평가, 대구한의대학교 대학원, 2012.
9. 최충근, 건축물 해체 작업시 발생하는 석면의 노출 평가, 연세대학교 대학원, 2001.
10. 안전보건공단, 편광현미경을 이용한 고형시료 중 석면분석, 산업안전보건연구원, 2009.
11. 안전보건공단, 위상차현미경을 이용한 공기 중 시료 중 석면분석, 산업안전보건연구원, 2009.
12. 환경부, 석면관리총람, 2009.
13. 환경부, 석면안전관리법, 2012.
14. Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ATSDR), Toxicological profile for asbestos. ATSDR, Division of Toxicology/Toxicology Information Branch, Atlanta, GA, USA, 23-56, 149-186, D-1, 2001.
15. Becklake MR., Asbestos-related diseases of the lung and other organs. Their epidemiology and implications for clinical practice. Am Rev Respir Dis, 114, 187-227, 1976.
16. Browne K., The controlled use approach for asbestos-A scientific update on health effect, International conference on asbestos products, Kuala Lumpur, Malaysia, 1991.
17. Camus, M., Siemiatycki, J. and Meek, B., Nonoccupational exposure to chrysotile asbestos and the risk of lung cancer, The new England Journal of Medicine, 338(22), 1565-1571, 1998.
18. Concha-Barrientos M. et al. Selected occupational risk factors. In : Ezzati M. et al, eds. Comparative quantification of health risks:global and regional burden of diseases attributable to selected major risk factors, Geneva, World Health Organization, 1651-1801, 2004.
19. Driscoll T. et al. :The global burden of diseases due to occupational carcinogens. American Journal of Industrial Medicine, 48(6):419-431, 2005.
20. Langer AM., Nolan RP., Chrysotile : Its occurrence and properties as variables controlling biological effects, Annals Occupational Hygiene, 38(4), 427-451, 1994.
21. Lippmann M. Review: Asbestos exposure indices. Environ Res, 46, 86-106, 1988.