

## 건축물 해체 작업시 발생하는 석면의 노출 수준

최충곤 · 김치년<sup>1)</sup> · 임남구<sup>1)</sup> · 노영만<sup>2)</sup> · 노재훈<sup>1)†</sup>

대한산업보건협회, 연세대학교 의과대학 산업보건연구소<sup>1)</sup>, 가톨릭대학교 예방의학교실 및 산업의학센터<sup>2)</sup>

### Exposure level of releasing asbestos during building destruction work

Chung Gon Choi · Chy Nyun Kim<sup>1)</sup> · Nam Gu Lim<sup>1)</sup> · Young-Man Roh<sup>2)</sup> · Jaehoon Roh<sup>1)†</sup>

Korean Industrial Health Association, Institute for occupational Health College of Medicine, Yonsei University<sup>1)</sup>,  
Graduate School of Occupational Health, The Catholic University of Korea<sup>2)</sup>

Two buildings(A, B) were destructed and removed simultaneously. Objective of this study was to assess exposure to asbestos during destruction. 8 bulk samples, 52 personal samples and 27 area samples in two buildings were sampled and analysed. The results of this study were as follows;

1. Chrysotile was found in total 8 bulk samples. Crocidolite and glass wool were also found in bulk samples of pipe yarn.

2. Exposure level of asbestos were 0.002 ~ 0.419f/cc and were the highest in drivers(GM 0.069f/cc). 13 samples (16.5%) of 79 samples exceeded Recommended Exposure Limit(REL)

3. Difference of airborne asbestos concentrations by use of insulation was not statistically significant. Difference of airborne asbestos concentration between work before and during by outside was statistically significant( $p < 0.05$ ), but

not by inside.

4. Airborne asbestos concentrations in inside of dust fence were 0.014~0.419f/cc. Concentrations of airborne asbestos were GM 0.052f/cc in length 17m/height 11m and GM 0.033f/cc in length 13m/height 2m from dust fence. The differences were not statistically significant.

Finally, for destruction and removal of buildings, asbestos of high concentrations was released in the all job of destruction and this indicated that protection of dust fence for asbestos was ineffective. So, it is necessary for destruction workers to wear respiratory protective equipments as well as protective clothes. Also, it is necessary to make a dust fence above a destructing building or to isolate a destructing building perfectly.

**Key Words** : asbestos, building destruction, dust fence

## I 서 론

석면은 석면폐와 예후가 불량한 폐암, 악성중피종을 유발시키는 유해성이 큰 물

질로 알려져 있다(Doll, 1995; Wagner et al., 1960). 이외에도 장관계의 암(Frumkin & Berlin, 1988)과 인후두암(Stell & McGill, 1975), 유방암, 난소암, 신장암

(Maclure, 1987), 췌장암(Selikoff & Seidman, 1981), 부고환암(McDonald et al., 1983), 임파선암(Kagan et al., 1983), 원형 무기폐를 유발한다는 보고(Becklake, 1976)가 있다.

선진국에서는 이미 오래 전부터 규제대상이거나 사용금지 물질로 정하고 있으며 우리나라에서도 청석면(crocidolite) 및 갈

접수일 : 2002년 11월 18일, 채택일 : 2002년 12월 13일

† 교신저자 : 노재훈 (서울 서대문구 신촌동 134번지 연세의대 산업보건연구소

Tel : 02-361-5375, Fax : 02-392-8622, E-mail : jhroh@yumc.yonsei.ac.kr



석면(amosite)은 제조금지물질이며 백석면(chrysotile)은 제조사용허가 품목이다(산업안전보건법 제 37, 38조). 이러한 석면의 위험으로부터 석면 취급근로자를 보호하기 위하여 우리나라에서는 작업환경 기준을 석면의 종류에 따라 0.2-2 fiber/cm<sup>3</sup> (f/cc)의 기준을 정하여 근로자를 보호하고 있으며(노동부 고시 제97-65호), 2003년에는 석면의 모든 종류에 관계없이 0.1f/cc로 변경할 예정이다. 미국 국립산업안전보건연구원의 권고기준은 0.1f/cc(NIOSH, 1976)이며 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 석면의 종류에 관계없이 작업장내의 기준을 0.1개/cm<sup>3</sup>로 규정(ACGIH, 2002)하고 있다. 반면 지하생활공간 공기질관리법에서는 석면을 공기오염물질 항목에 포함하고 있으나 공기질기준은 규정되어 있지 않은 상태이다(환경부, 1998). 일반환경기준은 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서도 석면에 대한 노출의 안전수준은 없는 것으로 결론을 내리고 기준을 제시하고 있지 않고 일부 주에서만 실내공기청정법(Clean Indoor Air Standard)에서 0.01개/cm<sup>3</sup>로 제시하고 있다.

석면은 그 물리·화학적 특성인 내열, 내마모, 방음, 단열성 등의 좋은 특성을 가지고 있으며 값도 저렴하기 때문에 절연체, 충전재, 방직품, 건축자재로 벽재, 미장재, 바닥타일 등의 제품에 사용되었다. 백석면의 경우 아직 이렇다할 규제가 없어 연간 8만톤 이상의 석면이 수입되고 있고, 1970년대 수입석면의 80% 이상이 건축자재로 사용되었다(백남원, 1994). 수입된 석면은 1970년대에 약 96%가 건축자재인 슬레이트에 사용되었으나 1990년대에는 슬레이트와 보온단열재인 건축내장재, 천장판, 석면판 등에 약 82%를 사용하여 왔다(최정근 et al., 1998). 경제발전5개년 계획이 시작된 1960년대와 1970년대 초는 새마을 운동의 일환으로 지방개발이 붐을 이루면서 슬레이트 생산을 위하여 많은 석면이 수입되었으며, 또한 이 당시부터 서울에 대형 건물들이 신축될 때이므로 석면이 많이 필요하였을 것이다. 이

외에도 천장재나 벽면재인 석면보드, 보온단열재나 방열, 방화 등의 석면 압축판 등에 사용이 증가되어 직접 건축이나 거주환경, 일반사업장에서 사용되었을 가능성이 많아 노출 농도는 낮을지라도 노출 근로자수는 많을 것으로 추정할 수 있다. 최근에는 노후한 구조물의 경제적 가치상실로 인하여 해체가 증가하고 있다. 또한 노후건물의 재건축을 위하여 해체작업이 증가하고 있다. 이 때 주변오염을 막기 위한 장치도 미비한 실정이고, 또한 주민들은 물론 건축물 해체와 제거작업 근로자들이 석면 분진에 노출될 수 있다. 그러므로 석면 취급 근로자에 대한 엄격한 역학 조사와 작업환경의 개선방안이 제시되어 석면 취급 근로자의 건강을 보호해주는 것이 산업보건의 당면 과제라고 판단된다. 아직까지 국내에서 이와 관련한 연구는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구의 목적은 건축물 해체 작업전 석면 형태를 확인하고, 해체와 제거시 작업별 근로자의 석면 노출 수준을 파악하는 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 대상 건물 및 측정 시료수

본 연구 대상건물인 서울에 소재한 대학병원 A, B 2동은 2000년 11월 30일부터

2000년 12월 28일까지 그림 1의 과정에 따라 해체하였다.

A동은 1968년에 신축되었으며, 석면이 포함된 건축 내장재와 단열재가 사용된 3층 건물로 면적은 1,777.38m<sup>2</sup>이다. B동은 1978년에 증축되었고 단열재가 사용되지 않은 3층 건물로 면적은 1,424.13m<sup>2</sup>이다. 이 둘 건물은 모두 철근 콘크리트 슬레이트 건물이다.

개인 및 지역 시료 포집은 건물 해체 준비 과정에서부터 건물 해체 잔해물 운반 작업까지 실시하였으며, 분진 보호막 제거 등의 정리 작업을 제외한 2000년 11월 30일부터 2000년 12월 19일 기간 동안 시료를 포집하였다. 작업의 조사 기간 동안 09시, 12시, 18시의 평균 기온 2.5℃, 평균 습도 52.9%, 평균 풍속 2.4m/s, 평균 해면기압 1025.1hPa이며, 풍향은 서풍이 26.3%, 북동풍이 19.3%, 동북동풍이 15.8%, 서북서풍이 14%순이고, 기타 24.6%이다. 분진 보호막을 기준으로 내부는 개인 시료, 외부는 건물중앙의 분진 보호막으로부터 각각 거리13m, 높이 2m와 거리 17m, 높이 11m의 위치를 구분하여 지역 시료로 나누고, 각각 작업전과 작업중으로 구분하여 시료 채취를 하였다. 물질 시료는 건축물에 사용되어진 재료를 채취하였다.

석면 건축 내장재가 포함된 건축물 해체와 제거 작업시 준비 작업이 6건(7.6%),

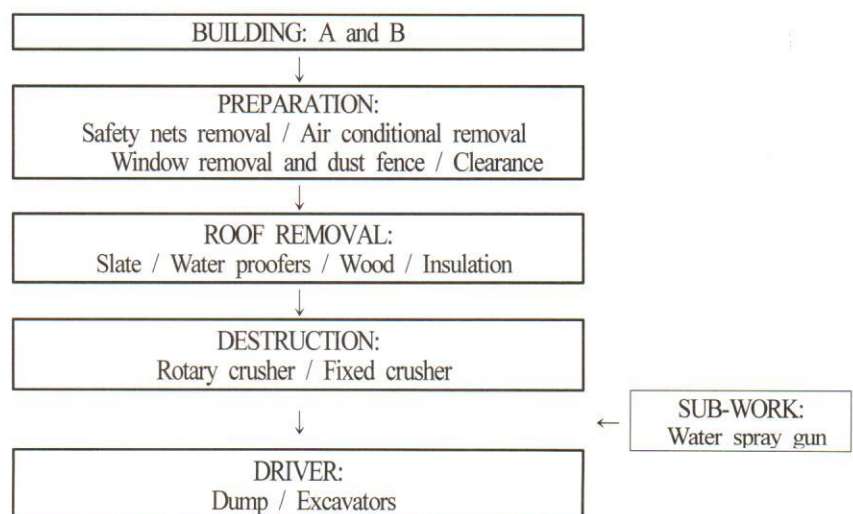


Figure 1. Process of destruction of building A and B



지붕 제거 작업이 23건(29.1%), 본체 해체 작업이 9건(11.4%), 보조 작업이 8건(10.1%) 및 운반 작업이 6건(7.6%)으로 총 52건의 작업시 개인 시료 포집기를 이용하여 채취하였다. 지역 시료는 주차관리소의 8개(10.1%)와 연구소의 19개(24.1%)로 총 27개이었다.

## 2. 포집 및 분석 방법

### 가. 공기중 시료

NIOSH 7400 방법을 사용하여 공기중 석면 섬유를 포집하였다(NIOSH, 1994). 이 방법은 직경 25mm, 기공 0.8 $\mu$ m, 셀룰로우스 멤브레인 필터를 사용하여 50mm 카울이 장착된 포집기를 이용하였다. 시료 포집시 유속은 분당 1~2.0리터로 하고 개인 및 지역 시료를 포집하였으며, 유량 보정은 사용전후 각각 3회씩 측정하여 측정값을 평균하여 사용하였다.

공기중 석면 섬유의 분석은 NIOSH 7400방법(NIOSH, 1994)인 위상차현미경 분석법(phase contrast microscopy, PCM)을 사용하여 Proficiency Analytical Testing (PAT) program에서 제공한 시료를 통해서 사전 정도 관리를 시행하고, 다시 매 분석 전 백석면 3개, 갈석면 3개를 각각 실시 확인한 후 분석하였다. 이 방법은 아세톤/트리아세틴으로 필터를 투명하게 하고, 기포가 생기지 않도록 고정시키며 Walton-Beckett Graticule(계수면적 0.00785 mm<sup>2</sup>)이 삽입된 위상차현미경(Olympus model OA2316, Japan)을 사용하여 400배 배율에서 "A" 계수법에 따라 길이가 5 $\mu$ m 이상이고 길이대 직경비가 3:1이상인 가늘고 긴 섬유를 파악하며, 계수를 확인할 때는 graticule 필드로 최소 20필드, 최대 100 필드까지 계수를 확인하며, 100필드 내에서는 섬유의 수가 100개를 넘으면 필드수에 관계없이 계수 확인을 마쳤다. 공기중 석면 농도는 NIOSH 7400방법(NIOSH, 1994)에 따라 계산하였다.

### 나. 물질 시료

석면 함유 여부를 판정할 물질 시료의 채취는 미국 EPA 및 NIOSH에서 추천하

는 방법을 사용하여 건축물 해체전 건축에 사용되어진 재료의 일부를 오염되지 않도록 poly globe을 이용하여 8종류의 시료를 채취하였고, 또한 2차 오염방지를 위해서 분석실에서 세차례 세척하여 건조시킨 후 coming tube에 보관하였다.

물질 시료내 석면 함유 여부의 판정은 미국 EPA 추천법인 EPS-600/M4-82-020 (EPA, 1982)과 NIOSH 9002 방법(NIOSH, 1994)인 편광현미경법(polarized light microscopy, PLM)을 이용하였다. 총 8건의 물질 시료를 표준 시료인 백석면, 청석면, 갈석면, GF와 비교하면서 편광현미경으로 석면의 함유 여부를 파악하고, 각각의 각도에서 전 시료에 대한 사진촬영을 하였다.

## 3. 자료 분석

자료의 분석은 SAS의 window 버전 6.12 통계 분석 프로그램을 사용하였다. 공기중 석면 농도는 분포 검정 결과 대수 정규 분포를 함에 따라 기하 평균으로 나타내었다. 준비작업, 지붕제거작업, 해체 작업, 보조작업, 운반작업시와 주차관리소 그리고 연구소에서의 석면 농도를 비교하기 위해 분산 분석을 하였다. 해체 작업시 분진보호막 내부중 단열재가 사용된 곳, 분진보호막 내부중 단열재가 사용되지 않은 곳 그리고 분진보호막 외부에서의 석면 농도를 비교하기 위해 비모수 통계방법인 크루스칼-월리스 검정을 실시하였다. 분진보호막 내부와 외부의 해체작업전과 해체작업시 석면 농도를 비교하기 위해 윌콕슨 순위합 검정을 실시하였다.

## III. 연구 결과

### 1. 물질 시료에서 확인된 석면의 형태

표 1에서는 석면이 함유된 건축물 2동에서 슬레이트, 단열재, 방수시트, 석고보드, 벽면타일, 콘크리트, 배관보온재 및 폴리우레탄수지 등 총 8종류의 물질 시료를 채취하여 편광현미경으로 분석한 결과 모든 시료에서 백석면이 확인되었으며, 특히 배관보온재는 청석면과 유리섬유가 함께 확인되었다(그림 2)

### 2. 작업별 석면 노출 수준

내부 5개 장소의 작업별과 외부의 2개 장소로 구분하고 전체 7곳 작업으로 분류한 결과를 보여주고 있다. 총 79개 시료중 작업별 시료중 내부 5개 장소의 석면 농도가 가장 높은 작업은 운반 작업으로써 기하 평균 0.069f/cc 이었고, 다음은 본체 해체 작업의 기하 평균 0.067f/cc, 보조 작업의 기하 평균 0.055f/cc, 준비 작업의 기하평균 0.048f/cc, 지붕제거 작업의 기하 평균 0.047f/cc 순 이었고, 외부의 2개 장소의 석면 농도는 연구소의 기하 평균 0.052f/cc, 주차관리소의 기하 평균 0.033 f/cc 이었다. 전체의 공기중 기하 평균 석면 농도는 0.053(범위: 0.002-0.419f/cc) 이었다. 각각 작업별 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 준비 작업의 1건(16.7%), 지붕 제거 작업의 1건(4.4%), 본체 해체 작업의 3건(33.3%), 보조 작업의 2건(25.0%),

Table 1. Type of asbestos identified in bulk samples

| Type of bulk         | Type of asbestos identified |    |    |    |
|----------------------|-----------------------------|----|----|----|
|                      | CH                          | CR | AM | GF |
| Slate                | +                           |    |    |    |
| Insulation*          | +                           |    |    |    |
| Water proofers       | +                           |    |    |    |
| Gypsum board         | +                           |    |    |    |
| Wall tile            | +                           |    |    |    |
| Concrete             | +                           |    |    |    |
| Pipe yam*            | +                           | +  |    | +  |
| Poly urethane resins | +                           |    |    |    |

CH, chrysotile; CR, crocidolite; AM, amosite; GF, glass fiber; \*, Type of asbestos identified in foreign; +, Type of asbestos and glass fiber identified by PLM.



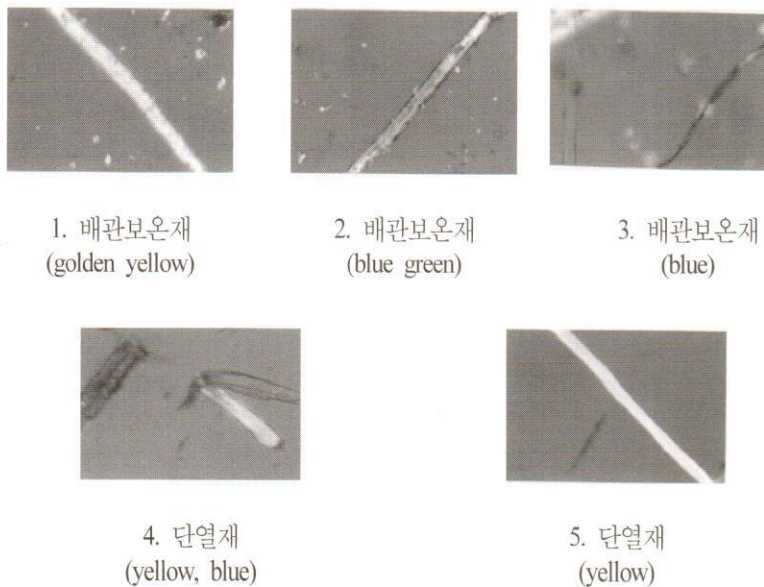


Figure 2. Type of asbestos identified

운반 작업의 1건(16.7%), 주차장관리의 1건(12.5%), 연구소의 4건(21.1%)으로 총 시료 79건중 13건(16.5%)이 NIOSH의 REL을 초과하였다(표 2).

### 3. 건물 해체 작업중 외부와 단열재 사용 여부에 따른 석면 농도 비교

건물 해체 작업중 외부의 석면 농도는 기하 평균 0.055f/cc, 단열재 사용의 석면 농도는 기하 평균 0.052f/cc, 단열재 미사용의 석면 농도는 기하 평균 0.034f/cc로

서 전체 기하 평균 농도는 0.047f/cc(범위: 0.007-0.161f/cc) 이었다. 이의 세 집단간에는 통계학적으로 유의한 차이는 없었으나 단열재가 사용 안된 곳에 비하여 단열재가 사용된 곳에서의 석면 농도가 높은 경향이 있었다 (표 3).

### 4. 분진보호막 내, 외부의 석면 농도 비교

내부에서 작업전의 근로자 석면 농도는 기하 평균 0.030f/cc 보다 작업중의 석면 농도는 기하 평균 0.056f/cc으로 높았으나

통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 외부에서 작업전의 석면 농도는 기하 평균 0.011f/cc, 작업중의 석면 농도는 기하 평균 0.055f/cc으로써 통계학적으로 유의한 차이가 있었다( $p=0.04$ ) (표 4).

## IV. 고 찰

본 연구는 석면 자재를 사용한 건축 구조물의 노후화로 인하여 해체전 물질 시료의 석면 형태를 파악하고, 해체와 제거 작업시 공기중 석면 농도를 조사하기 위하여 실시되었다. 조사 대상 건축물에서 채취한 총 8건의 물질시료 모두에서 백석면이 확인되었고, 배관 보온재에서 1건의 청석면과 유리섬유도 함께 확인되었다. 1970년대 수입된 백석면의 80% 이상이 건축 자재에 사용되었기 때문에 8건의 물질시료 모두에서 백석면이 검출된 것으로 생각된다. 또한 청석면과 갈석면은 건강장해 위험이 다른 석면에 비해 더 큰 것으로 알려져 전 세계적으로 그 사용을 엄격하게 규제하고 있으며, 국내에서는 1987년 11월부터 그 수입을 금지하였다. 하지만 본 조사의 결과로 볼 때 수입금지 조치 전 우리나라에서는 석면의 유해성과 상관없이 청석면이 사용되었음을 알 수 있다. 또한 물질 시료인 슬레이트, 단열재, 방수시트, 석고보드, 벽면타일, 콘크리트, 배관

Table 2. Distribution of airborne asbestos concentrations by jobs

| Type of sampling      | Jobs                        | No. of samples | Airborne asbestos concentrations(f/cc) |       |             | No. of over NIOSH REL(%) |
|-----------------------|-----------------------------|----------------|--|-------|-------------|--------------------------|
|                       |                             |                | GM                                     | GSD   | Range       |                          |
| Personal Air Sampling | Preparation <sup>a</sup>    | 6              | 0.048                                  | 2.114 | 0.027-0.166 | 1(16.7)                  |
|                       | Roof removal <sup>b</sup>   | 23             | 0.047                                  | 1.658 | 0.018-0.117 | 1( 4.4)                  |
|                       | Destruction <sup>c</sup>    | 9              | 0.067                                  | 3.169 | 0.014-0.419 | 3(33.3)                  |
|                       | Sub-work <sup>d</sup>       | 8              | 0.055                                  | 2.045 | 0.015-0.132 | 2(25.0)                  |
|                       | Driver <sup>e</sup>         | 6              | 0.069                                  | 2.359 | 0.030-0.368 | 1(16.7)                  |
| Area Sampling         | Parking office <sup>f</sup> | 8              | 0.033                                  | 3.713 | 0.002-0.131 | 1(12.5)                  |
|                       | Institute <sup>g</sup>      | 19             | 0.052                                  | 2.151 | 0.007-0.161 | 4(21.1)                  |
| Total                 |                             | 79             | 0.053                                  | 2.458 | 0.002-0.419 | 13(16.5)                 |

a, Safety nets removal, Air conditional removal, Window and dust fence, Clearance; b, Slate, Water proofers, Wood, Insulation; c, Rotary crusher, Fixed crusher; d, Water spray gun; e, Dump, Excavators; f, Length 13m and height 2m from dust fence between outside and inside of building A, B; g, Length 17m and height 11m from dust fence between outside and inside of building A, B; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation; REL, recommend exposure limit.



Table 3. Comparison of airborne asbestos concentrations by use of insulation in work during of destructions

| Category                         |                                      | n  | Airborne asbestos concentrations(f/cc) |       |             |      |      |
|----------------------------------|--------------------------------------|----|--|-------|-------------|------|------|
|                                  |                                      |    | GM                                     | GSD   | Range       | F    | P    |
| Inside dust fence                | use of insulation <sup>1,3)</sup>    | 18 | 0.052                                  | 1.659 | 0.018-0.117 | 4.50 | 0.11 |
|                                  | no use of insulation <sup>2,3)</sup> | 5  | 0.034                                  | 1.440 | 0.023-0.055 |      |      |
| Outside dust fence <sup>4)</sup> |                                      | 24 | 0.055                                  | 2.052 | 0.007-0.161 |      |      |
| Total                            |                                      | 47 | 0.047                                  | 1.717 | 0.007-0.161 |      |      |

1), Used insulation to roof removal(slate, water proofers, wood, insulation) of building A; 2), No use insulation to roof removal(wood) of building B; 3), Personal air sample; 4), Area sample; n, number of samples

Table 4. Comparison of airborne asbestos concentrations between inside and outside by dust fence

| Category | Airborne asbestos concentrations(f/cc) |       |                    |                    |       |                    | p-value |
|----------|--|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|---------|
|          | Before destruction                     |       |                    | During destruction |       |                    |         |
|          | n                                      | GM    | GSD(range)         | n                  | GM    | GSD(range)         |         |
| Inside   | 3                                      | 0.030 | 1.170(0.027-0.036) | 49                 | 0.056 | 2.102(0.014-0.419) | 0.09    |
| Outside  | 3                                      | 0.011 | 4.606(0.002-0.040) | 24                 | 0.055 | 2.052(0.007-0.161) | 0.04*   |

\*, p < 0.05 by Wilcoxon rank sum test; n, number of samples; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation.

보온재 및 폴리우레탄 수치 모두 백석면으로 확인되었으며, 배관 보온재에서는 청석면과 유리섬유가 함께 발견되었다.

작업별 석면 노출 수준을 보면 운반 작업은 기하 평균 0.069f/cc로 가장 높았으며 본체 해체 작업이 기하 평균 0.067f/cc로 다음순이었다. 지역 시료의 석면 농도는 연구소의 기하 평균 0.052 f/cc, 주차관리소의 기하 평균 0.033f/cc 순 위였다. 이는 우리나라의 석면 사업장에 대한 석면의 노출 기준인 백석면 2f/cc, 갈 석면 0.5f/cc, 청석면 0.2f/cc보다는 낮지만 환경청의 지하공간 환경 농도 권고치와 미국 EPA의 석면 실내 기준인 0.01f/cc 보다는 높았다.

본 연구 결과, 건물을 해체하는 작업시 전체의 공기중 기하 평균 석면 농도는 0.053(범위: 0.002-0.419f/cc)으로 슬레이트 제조사의 석면 농도 범위 0.04-4.75f/cc(백 남원&이영환, 1991)와 0.03-1.08f/cc(최정근 et al., 1998) 보다 낮은 경향을 보이거나 석면슬레이트 제조업의 평균 석면 농도가 0.08f/cc 이었던 오세민 등(1993)의 결과와 유사하였다. 하지만 건물 해체물 운반 작업시 석면 농도가 0.035f/cc이하이었던 Wilmoth 등(1994)의 연구와 시멘트 창고 제거 작업자의 석면 노출 수준이

0.02-0.65f/cc이었던 Perkins 등(1992)의 연구 결과와 유사하였다. 이런 결과로 보아 슬레이트 제조사보다 비교적 낮은 석면 농도이지만 건물 해체 작업시 작업자들도 석면 농도에 노출되고 있다는 것을 알 수 있다. 지붕 제거 작업자들의 석면 및 유리 섬유 노출로 인한 폐암 비례사망지수는 139 (131-148)인 것으로 보아(Stem et al., 2000) 작업자들은 호흡 보호구와 보호의 착용이 절대적으로 필요하고 이들의 체계적인 건강 관리 교육 프로그램의 개발이 시급하다고 알 수 있다.

해체 작업동안 분진 보호막 내부의 단열재가 사용되지 않은 건물에서의 석면 농도는 기하평균 0.052f/cc, 단열재가 사용된 건물에서의 석면 농도는 기하평균 0.034f/cc 그리고 분진 보호막 외부에서의 석면 농도는 기하평균 0.055f/cc로 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 이는 단열재를 사용되었던 건물과 그렇지 않은 건물간의 거리가 멀지 않아 석면이 비산되고 또한 분진 보호막 밖으로도 석면이 비산되었기 때문이라고 할 수 있다.

분진 보호막 내부에서 작업전 준비 작업시와 작업중의 석면 농도는 각각 기하 평균 0.030f/cc, 0.056f/cc으로 작업중의 석면 농도가 약 2배정도 높은 결과이었으나

통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 하지만 분진 보호막 외부에서 작업전 석면 농도는 기하 평균 0.011f/cc, 작업중의 석면 농도는 기하 평균 0.055f/cc으로 작업중의 석면 농도가 통계학적으로 유의하게 높았다(p=0.04). 이런 결과는 석면이 코팅된 창문제거의 준비 작업과 해체 작업시의 석면 농도가 각각 0.01, 0.07f/cc이었던 Lange(2001)의 연구 결과와 유사하였다. 또한 해체 작업전 분진 보호막 내부에서 석면 평균 농도가 0.030f/cc이었던 것은 주차장 건물내의 석면 농도 0.0068f/cc이었던 김현옥(1995)연구 결과에서 보듯이 석면이 포함된 건축자재로부터 계속적으로 석면이 발생하거나 해체 작업전 창문, 에어컨 등의 철거 작업으로 석면이 비산되었기 때문이라고 할 수 있다. 작업중 내부의 석면 농도는 기하 평균 0.056f/cc, 외부의 석면 농도는 기하 평균 0.055f/cc으로 건물 외부 대기환경 중에서 측정된 섬유 기하 평균 0.0033f/cc (범위 : 0.0004-0.0130f/cc) (김현옥, 1995), 서울 중앙 지역에서 측정된 농도인 0.0022f/cc(유영식 & 김종규, 1989)보다 높았다. 이는 직접적인 결과 비교는 어렵지만 내부의 준비 작업시 노출되었을 가능성이 있으며, 또한 주변에 석면 자재를 사용한 노후화된 슬



레이트 건물들이 밀집되어 있고, 건물들로 인한 공기의 흐름이 차단되어 있고, 공사 차량과 병원 출입 차량 등의 변수가 많기 때문으로 추정된다.

건축물 해체와 제거 작업시 분진 보호막의 중심으로부터 거리 17m와 높이 11m의 측정 위치(연구소)에서는 기하평균 0.052f/cc, 거리 13m와 높이 2m의 측정위치(주차관리소)에서는 기하 평균 0.033f/cc이었다. 이것은 원거리까지 광범위하게 비산할 수 있음을 제시한다. 이 결과는 Hoskins & Brown(1994)의 연구에서 빌딩 폭파 해체와 화재이후 공기중 광물성 섬유 분진이 주변 거리(kilometers)의 매우 광범위하게 증가한다는 결과를 뒷받침하고 있다. 또한 건축물 해체와 제거 작업시 석면 분진 노출의 비산을 방지하기 위하여 분진 보호막을 설치하였음에도 불구하고 효과가 없다는 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

건축물 해체전 채취한 물질 시료 전부에서 백석면을 확인하고, 배관보존재에서는 청석면과 유리섬유를 함께 발견하였다. 건축물 해체 작업별 석면 노출 정도는 운반 작업 0.069f/cc, 본체 해체 작업 0.067f/cc, 보조 작업 0.055f/cc, 준비 작업 0.048f/cc 및 지붕 제거 작업 0.047f/cc이었고, 0.1f/cc이상 초과 건수는 본체 해체 작업의 3건(33.3%), 살수 작업의 2건(25%) 순이었으며 작업에 따른 석면 농도는 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 건축물 해체와 제거 작업시 분진 보호막의 중심으로부터 거리 17m와 높이 11m의 측정 위치(연구소)에서는 기하평균 0.052f/cc, 거리 13m와 높이 2m의 측정위치(주차관리소)에서는 기하 평균 0.033f/cc이었다. A와 B건축물의 해체 작업시 단열재 사용 여부에 따른 석면 농도는 차이가 있었으나 통계학적으로 유의하지는 않았다. 분진 보호막 내부의 건축물 해체 작업전과 작업중의 석면 농도 차이는 해체 작업전보다 높았으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 하지만 분진 보호막 외부의 작

업전보다 유의하게 높았다.

결론적으로 건축물 해체 작업전에 채취한 물질 시료 전부에서 석면이 검출되었으며 건축물 해체와 제거시 모든 작업에서 석면이 발생되었다. 또한 분진 보호막 밖에서의 해체작업중 석면 농도는 기하평균 0.055f/cc이었다. 이는 건축물 해체와 제거 작업시 분진 보호막을 설치하였음에도 불구하고 차단 효과가 없다는 것을 의미한다. 따라서 건축물 해체와 제거 작업 근로자들은 보호의 착용은 물론 호흡 보호구 착용이 필요하며, 해체 작업시 건축물 높이 이상의 분진 보호막을 설치 또는 완전 밀폐하여 비산 분진을 차단하여야 할 것이다.

## REFERENCES

- 김현욱. 대형건물내 비고형 석면함유 건축자재에 의한 기중 석면오염 및 관리 실태. 한국산업위생학회지 1995; 5(2):137-146
- 백남원, 이영환. 석면취급 사업장 근로자의 석면폭로 특성에 관한 연구. 한국 산업위생학회지 1991; 1(2): 144-153
- 백남원. 우리나라 석면 취급근로자의 석면 폭로실태와 석면폐 발생에 관한 연구. 서울대학교 보건대학원, 노동부 직업병 예방을 위한 학술연구용역 사업 1994
- 오세민, 신용철, 박두용, 박동욱, 정규철. 일부 석면취급사업장의 석면폭로 농도 및 작업환경관리 기준에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1993; 3(1): 100-109
- 최정근, 백도명, 백남원. 우리나라 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 변화. 한국산업위생학회지 1998; 8: 242-253
- 환경부. 지하생활공간 공기질관리법, 1998
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, 2002
- Becklake MR. Asbestos-related diseases of the lung and other organs. Their epidemiology and implications for clinical practice. Am Rev Respir Dis 1976; 114: 187-227
- Doll R. Mortality from lung cancer in asbestos workers. Br J Ind Med 1955; 12: 81-861
- Environmental Protection Agency. Interim method for the determination of asbestos in bulk insulation samples. EPA-600/M4-82-020, 1982
- Frumkin H, Berlin J. Asbestos exposure and gastrointestinal malignancy review and meta-analysis. Am J Ind Med 1988; 14: 79-95
- Hoskins JA, Brown RC. Contamination of the air with mineral fibers following the explosive destruction of buildings and fire. Drug Metabol Rev 1994; 26(4): 663-673
- Kagan E, Jacobson RJ. Lymphoid and plasma cell malignancies. Asbestos-related disorders of long latency. Am J Clin Pathol 1983; 80: 14-20
- Lange JH. Occupational exposure during removal of windows with lead-based paint and asbestos caulking. Bull Environ Contam Toxicol 2001; 66: 146-149
- Maclure M. Asbestos and renal adenocarcinoma. A case-control study: Environ Res 1987; 42: 353-361
- McDonald. Dust exposure and mortality in chrysotile mining, 1910-75. Brit J Ind Med 1980; 37: 11-24
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Manual of analytical methods, 4th Ed., asbestos and other fibers by PCM No. asbestos (bulk)by PLM No. 9002, 1994
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Revised recommended asbestos standard. NIOSH, Washington DC, 1976
- Perkins JL, Rose VE, Cleveland MS. Analyses of PCM asbestos air moni-

- toring results for a major abatement project. Appl Occup Environ Hyg 1992; 7(1):27-32
- Selikoff IJ, Seidman H. Cancer of the pancreas among asbestos insulation workers. Cancer 1981; 47: 1469-1473
- Stell PM, McGill T. Exposure to asbestos and laryngeal carcinoma. J Laryngol Otol 1975; 89(5): 513-517
- Stern FB, Ruder AM, Chen G. Proportionate mortality among unionized roofers and waterproofers. Am J Ind Med 2000; 37(5): 478-492
- van der Wal JF, Ebens R, Tempelman J. Man-made mineral fibers in homes caused by thermal insulation. Atmos Environ 1987; 21(1): 13-19
- Wagner JC, Sleggs CA, Marchand P: Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape province. Br J Ind Med 17: 260-271, 1960
- Wilmoth RC, Taylor MS, Meyer BE. Asbestos release from the demolition of two schools in Fairbanks, Alaska. Appl Occup Environ Hyg 1994;9(6): 409-417