

공기 중 석면농도 분석시 관상어용 기포발생기를 개조한 장치와 기존의 상업용 시료 채취기와의 성능 비교

장봉기* · 탁현욱 · 송수진 · 조봉현 · 김영지 · 손부순 · 이종화

순천향대학교 환경보건학과

Comparison of the Efficiency between a Remodeled Bubble Generating Pumps for an Aquarium Fish and the Existed Commercial Air Sampler for the Sampling of Ambient Air Asbestos

Bong-Ki Jang* · Hyun-Wook Tak · Su-Jin Song · Bong-Hyun Jo ·
Yeong-Ji Kim · Bu-Soon Son · Jong-Wha Lee

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to estimate the applicability of regional sample collection of environmental samples. The concentration of asbestos fibers were analyzed with two devices. One was an existing commercial air sampling pump that has been proved to be accurate and exact, and the other is a remodeled pump for sample collection which was made from an electric bubble generator originally designed for aquarium fish. Samples were collected with the two devices under the same environmental conditions and collection equipment. A comparative analysis of the concentration of ambient asbestos fiber was then performed.

Methods: Based on previous research, six farmhouses with asbestos fiber slate roofs known to have high concentrations of asbestos fiber were selected. Using the existing commercial air sampling pump and the remodeled electric bubble generator, four to seven samples were collected each day one meter downwind from the edge of the slate roof at high volume (about 4 L/min) and low volume (about 1.4 L/min). The analyzer responsible for sample quality control of asbestos fibers counted the number of asbestos fibers with a phase microscope.

Results: The rates of flow change of the existed sampler and the remodeled pump at high volume were 0.82% and 0.17%, respectively. The rates of flow change at low volume were 3.83% and 1.09%, but there was not significant difference. The rates of flow change are within the error range ($\pm 5\%$) of OSHA analyzing methods. For the high volume sampler, the average asbestos fiber concentration in the air collected by the existed sampler is 6.270 fibers/L and for the remodeled one 5.527 fibers/L, not a significant difference. For the low volume sampler, the average asbestos fiber concentration in the air collected by the existed sampler is 7.755 fibers/L and for the remodeled one 7.706 fibers/L, not a significant difference. The total area of the slate roof of the targeted farmhouse has an effect on the concentration of asbestos fibers in the air from the existing pump and the remodeled one ($p < 0.01$).

Conclusions: The sampling function between the existing commercial pump and the remodeled one shows little difference. Therefore, the remodeled pump is considered a pump with a good availability for collecting ambient air asbestos samples.

Key words: air sampling pump, efficiency, remodeled bubble generating pump, ambient asbestos, slate roofing

*Corresponding author: Bong-Ki Jang, Tel: 041-530-1268, E-mail: jangbk@sch.ac.kr

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, 22 Soonchunhyang-ro, Asan-si, Chungnam, 336-745

Received: November 26, 2014, Revised: December 19, 2014, Accepted: December 27, 2014

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.

I. 서 론

석면은 1960년대 말부터 정부의 경제개발계획에 따라 사용이 증가하기 시작하였으며, 1970년대부터는 새마을운동의 일환으로 전국에 있는 초가지붕을 개량하면서 석면이 함유된 슬레이트 지붕으로 대폭 교체하였고, 이때부터 사용량이 급증하기 시작하였다. 1990년 7월 산업안전보건법 시행령에서 사용허가 대상 유해물질에 석면을 추가하였으며, 2009년 2월 산업안전보건법이 개정되면서 모든 석면의 제조·수입·양도·제공 또는 사용이 금지되었다(MoEL, 2009; Kim et al., 2010).

전국에 분포되어있는 농가 건물은 최근에 지어진 것도 있지만, 대부분 오래전에 건축되었고, 주요 도시가 재건축과 재개발로 인해 건축자재의 변화를 가져 온 것에 반해, 농촌지역에서는 그 변화가 늦고 도시와는 다르게 석면함유 자재의 사용에 대한 실태조사자가 외국에 비해 미비한 실정이다(Chung et al., 2004; Kim et al., 2011; Kim et al., 2013).

실제로 슬레이트 가옥 거주자가 악성종피종으로 진단된 사례가 발견되었고, 우리나라에서는 1993년부터 2007년 6월까지 석면 노출에 의한 건강 피해를 인정받은 근로자의 수는 총 60명(중피종; 19명, 폐암; 41명)이다(Kang, 2009). 우리나라의 경우 과거 상당량의 석면을 사용한 바 있어, 석면의 긴 잠복기를 고려할 때 직업성, 환경성 노출에 의한 건강문제는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(MoE, 2010).

환경부의 「실내공기질 공정시험기준」에 준하여 휴대용 배터리로 작동되는 펌프의 경우 선택된 시료채취시간 이상 연속적으로 작동할 수 있도록 충분한 배터리 용량을 가져야 한다. 펌프의 유량은 선택된 시료채취유량 이상 작동할 수 있어야 하며, 유량의 변동이 없어야 한다. 펌프와 여과지홀더를 연결할 수 있어야 하며, 연결관은 내압축성과 내누수성이 있어야 한다. 전기로 작동되는 공기시료 채취펌프(Electronic active flow air sampling pump)는 공기와 공기 중 오염물질을 채취매체(필터, 고체 또는 액체 흡수제) 또는 채취용기(Plastic bag) 속에 공기가 능동적으로 흐르도록 공기 이동기구의 역할을 한다(Bisesi & Kohn, 2005). 공기시료 채취펌프는 시료채취매체에 오염물질을 연속적으로 채취하는 연속시료

채취방법에 사용된다. 현재 생산되고 있는 대부분의 개인 공기시료 채취펌프 모델은 8시간 이상 가동할 수 있는 nickel-cadmium battery나 lithium ion battery가 장착되어 있다.

일반적인 전자식 능동형 공기시료 채취펌프는 저유량(<1 L/min), 고유량(1~4 L/min), 초고유량(>4 L/min)으로 분류되며, 시료채취관과 시료채취매체 사이에서 공기압의 손실(압력강하), 마찰과 난류에 의한 공기흐름 역전이 일어날 수 있어 대부분의 공기시료 채취펌프는 일정유량펌프(Constant flow pump)로 고안되어 있다. 일정유량펌프는 압력이 감소하면 이에 반응하여 펌핑작용(Pumping mechanism)을 증가시켜 압력을 일정하게 유지시켜 그 결과 오염물질이 시료채취매체에 축적되는 시료채취기간 동안 일정한 공기 유량비율을 유지한다(Bisesi & Kohn, 2005).

관상어용 공기 펌프는 수족관에 산소를 공급하여 용존산소 농도를 높이기 위한 목적으로 널리 사용되어 왔다. 이를 개조하여 공기 유입구 부분에 튜브를 연결하면 시료 포집 장치로 이용할 수 있게 된다.

이렇게 만든 시료 포집장치는 가격이 저렴하여 작업환경 시료뿐만 아니라 공기 시료 채취에 이용할 수 있어 그 동안 몇몇 연구에서 이를 시료 채취기로 사용해 온 바 있다(Song et al., 1991; Jang et al., 2005). 그러나 기존의 검증받은 시료채취기와 비교하여 그 성능을 검증하여 환경시료를 포집하여야 함에도 불구하고 이와 관련된 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 정확성과 정밀성이 입증된 기존의 상업용 공기 채취 펌프와 우리가 흔히 사용하는 관상어용 수족관 전기 기포발생기를 개조하여 만든 시료채취 펌프로 백석면이 함유된 슬레이트 지붕을 가진 농가의 공기 중 석면 섬유 농도를 두 기기별로 시료를 동일한 환경조건과 포집매체로 포집하여 분석한 결과를 비교 검토하고 환경시료의 지역시료 채취 시 적용 가능성이 있는지를 평가하고 이들 펌프로 측정된 공기 중 석면 농도에 영향을 미치는 요인 분석에 활용하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 조사대상

본 연구의 조사대상은 충남 아산시 지역의 농가 중



Figure 1. Sampling sites in Sinchang myeon, Asan city



Figure 2. Sampling sites in Dogo myeon, Asan city

에서 백석면이 함유된 것으로 확인된 슬레이트 지붕을 가진 20가구를 대상으로 조사한 선행 연구(Jang et al., 2013)에서 석면 함유 농도가 높았던 6곳을 선정하여, 각각 다른 4~7번의 맑은 날에 공기시료를 채취하였다. 조사 대상지역의 시료 채취지점을 Figure 1과 2에 나타내었다.

2. 기존 펌프와 개조한 펌프

기존의 펌프 제품으로는 성능이 검증되어 상업용으로 시판되고 있는 시료 채취기(이하 기존 펌프)인 저유량 펌프(GilAir-3, Gillian Inc., USA)와 고유량 펌프(SARA-5100, Kemik Inc., Korea)를 사용하였다.

개조한 펌프는 관상어용 수족관 전기기포발생기(Model DK-200; 저유량 펌프, DK-3000; 고유량 펌프, 대광전자산업사)를 개조하여 사용하였다.

1) 펌프 유량 보정 방법

기존 펌프와 개조한 펌프를 5분간 작동시키고, 환경부의 「실내공기질 공정시험기준」에 규정된 펌프의 유

량 보정 방법에 따라 여과지를 펌프에 연결한 상태에서 전자식 거품미터(Gillian primary, P/N 800266-1) 고유량용(Gillian bubble generator, High flow, P/N 800285)과 저유량용(Gillian bubble generator, Low flow, P/N 800286)을 이용하여 유량을 측정하였다. 일정 시간 시료 포집 후 같은 방법으로 유량을 측정하여 평균유량 및 유량 변화율을 산정하였다.

2) 개조한 펌프(Remodeled pump)

관상어용 기포발생기는 진동판(Diaphragm) pump의 원리를 이용한 것인데, 펌프 내부의 진동판이 위로 올라가면 우측 밸브가 닫히고 좌측 밸브가 열리면서 공기가 유입되고 진동판이 아래로 내려오면 좌측의 밸브가 닫히고 우측의 밸브가 열리면서 시료공기를 포집하게 된다(Jang et al., 2005). 개조한 관상어용 기포발생기의 유량을 측정(저유량; 약 1.4 L/min, 고유량; 약 4 L/min)한 후 각각 3대씩으로 하여 기존 펌프로 이와 유사한 유량을 맞추어 준 후 시료를 채취 하였다. 개조한 관상어용 기포발생기는 Figure 3에 나타내었다.

3. 공기 중 석면 시료채취 및 분석방법

석면이 함유된 슬레이트 지붕을 가진 대상 농가의 공기 중 석면 시료 채취는 비가 그친 후 2일 이상 경과한 맑은 날에 슬레이트 지붕 끝으로부터 1 m 거리의 주풍향 하에서 바닥으로부터 1.2~1.5 m 높이에서 기존의 고유량 펌프로 33회, 저유량 펌프로 27회 포집하였고, 개조한 고유량 펌프(약 4 L/min)로 33회, 저유량 펌프(약 1.4 L/min)로 36회, 총 129회 포집하였다.

공기 중 시료채취 매체로는 셀룰로오스 에스테르 여지(Mixed cellulose esters filter: MCE, 직경 25 mm,

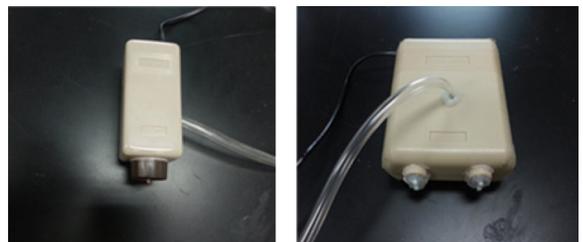


Figure 3. Remodeled electronic bubble pump for aquarium (Left: Low volume sampler; Right: High volume sampler)

pore size 0.8 μm)가 장착된 카세트를 사용하였다. 이 카세트는 정전기와 기류에 의한 영향을 억제시켜 유효채취면적에 대해 균일한 시료채취가 가능하게 해주는 extension cowl(직경 25 mm, 길이 50 mm)을 장착하여 open face로 시료를 채취하였다.

분석방법으로는 아세톤 증기화 장치로 시료를 투명화 한 후 Walton Beckett graticule이 장착된 위상차 현미경(Eclipse 80i, Nikon, Japan)으로 NIOSH 7400 “A”방법(NIOSH, 1994)으로 계수하였다.

4. 정도관리

석면 계수자는 우리나라 산업안전공단에서 실시한 공기 중 석면계수 분야의 정도관리에 적정하였으며, 실험실 내부 정도관리 시료로 검증된 한 사람이 모두 분석하였고, 공기 중 석면 시료를 10%이내의 오차범위에 해당하는 값으로 2회 계수하고 평균하여 석면 섬유 농도로 하였다.

5. 자료의 통계분석

기존 펌프와 개조한 펌프의 공기 중 석면 섬유 농도의 차이는 SPSS 21.0 (Version 21.0K, IBM, USA)을 이용하여 통계분석 하였다. 각 변수별 공기 중 석면 섬유 농도의 측정 자료는 정규분포를 이루고 있어 산술평균 및 표준편차를 산출하여 비교하였고, 통계학적인 차이 검정은 전체에 대해서는 t-test로, 개별 측정 지점에서의 비교는 시료수가 적어 비모수 통계분석법인 Mann-Whitney U test로 검정하였다. 고유량과 저유량 펌프로 채취한 각각의 공기 중 석면 섬유 농도에 영향을 미치는 요인은 독립변수들 간의 상호 관련성을 배제하기 위하여 다변량회귀분석을 실시하였으며, 통계적 유의수준은 p값이 0.05

미만일 때 유의한 것으로 하였다.

III. 연구 결과

1. 기존 펌프와 개조한 펌프의 측정 전, 후 유량 변화율 비교

기존의 펌프와 개조한 펌프의 측정 전과 후의 유량 변화율은 Table 1과 같다. 고유량 펌프는 기존 펌프의 유량 변화율이 0.817%, 개조한 펌프의 유량 변화율은 0.166%로 통계학적인 유의한 차이는 아니었고, 저유량 펌프는 기존 펌프의 유량 변화율이 3.830%, 개조한 펌프의 유량 변화율은 1.085%로 통계학적인 유의한 차이는 없었다. 전체적으로 저유량 펌프에서 유량 변화율이 약간 높았고, 개조한 펌프에서 약간 낮은 유량 변화율을 나타내었다. 그러나 모두 미국산업안전보건청(OSHA, 1998) 분석 방법에서 제시한 권고 유량 변화율인 ±5% 오차 이내였다.

2. 고유량 및 저유량의 기존 펌프와 개조한 펌프의 시료채취 지점별 석면 섬유 농도 비교

고유량 및 저유량으로 나누어 기존 펌프와 개조한 펌프간의 시료채취 지점별 공기 중 석면 섬유 농도를 비교한 결과를 Table 2에 나타내었다. 고유량 펌프에서는 기존 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도는 6.270 fiber/L로 개조한 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도 5.527 fiber/L보다 약간 높았으나 유의한 차이는 아니었으며, 각 지점별 석면 농도도 모두 유의한 차이가 없었다. 저유량 펌프에서는 기존 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도는 7.755 fiber/L로 개조한 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도 7.706 fiber/L와 거의 유사하였으

Table 1. Rate of flow change of the existed sampler and remodeled sampler

Pump type	No.	Flow (L/min)		Rate of change (%)*	Significance	
		Before (B)	After (A)			
High volume	Existed sampler	33	4.141±0.973	4.115±1.002	0.817	N.S.
	Remodeled sampler	33	4.121±0.955	4.097±0.911	0.166	
Low volume	Existed sampler	27	1.381±0.339	1.434±0.352	3.830	N.S.
	Remodeled sampler	36	1.345±0.319	1.362±0.342	1.085	

* : Rate of change (%) = |B-A| / B × 100

N.S. : Not significance between existed sampler and remodeled sampler by t-test.

Table 2. Ambient air concentration of asbestos at sampling site by the existed sampler and remodeled sampler

(Unit : fiber/L)

Site	High volume sampler					Low volume sampler				
	Existed sampler		Remodeled sampler		Sig.	Existed sampler		Remodeled sampler		Sig.
	No.	Mean±S.D.	No.	Mean±S.D.		No.	Mean±S.D.	No.	Mean±S.D.	
A	5	5.691±1.971	5	5.478±1.842	N.S.	4	5.335±1.376	5	5.608±2.473	N.S.
B	5	8.489±5.598	5	6.413±3.572	N.S.	4	11.584±5.946	5	9.591±4.144	N.S.
C	5	3.773±1.491	5	4.133±1.245	N.S.	4	6.839±2.126	5	7.244±0.810	N.S.
D	6	7.845±3.411	6	6.920±3.554	N.S.	5	9.714±5.705	7	10.605±3.321	N.S.
E	6	5.667±2.578	6	5.501±1.199	N.S.	5	4.314±2.540	7	5.159±1.447	N.S.
F	6	6.013±2.959	6	4.621±0.920	N.S.	5	8.845±2.176	7	7.835±3.175	N.S.
Total	33	6.270±3.354	33	5.527±2.343	N.S.	27	7.755±4.252	36	7.706±3.296	N.S.

N.S. : Not significance of asbestos concentration between existed sampler and remodeled sampler by Mann-Whitney U test and t-test.

Table 3. Ambient air concentration of asbestos at sampling site by high volume sampler and low volume sampler

Site	Existed sampler					Remodeled sampler				
	High volume sampler		Low volume sampler		Sig.	High volume sampler		Low volume sampler		Sig.
	No.	Mean±S.D.	No.	Mean±S.D.		No.	Mean±S.D.	No.	Mean±S.D.	
A	5	5.691±1.971	4	5.335±1.376	N.S.	5	5.478±1.842	5	5.608±2.473	N.S.
B	5	8.489±5.598	4	11.584±5.946	N.S.	5	6.413±3.572	5	9.591±4.144	N.S.
C	5	3.773±1.491	4	6.839±2.126	<0.05	5	4.133±1.245	5	7.244±0.810	<0.01
D	6	7.845±3.411	5	9.714±5.705	N.S.	6	6.920±3.554	7	10.605±3.321	N.S.
E	6	5.667±2.578	5	4.314±2.540	N.S.	6	5.501±1.199	7	5.159±1.447	N.S.
F	6	6.013±2.959	5	8.845±2.176	N.S.	6	4.621±0.920	7	7.835±3.175	<0.05
Total	33	6.270±3.354	27	7.755±4.252	N.S.	33	5.527±2.343	36	7.706±3.296	<0.01

N.S. : Not significance of asbestos concentration between high volume sampler and low volume sampler by Mann-Whitney U test and t-test.

며, 각 지점별 석면 농도도 모두 유의한 차이가 없었다. B지점과 D지점에서는 저유량의 기존 펌프와 개조한 펌프에서 석면 섬유 농도가 우리나라 실내공기질 관리법 권고기준인 10 fiber/L를 초과하거나 근접한 값을 나타내었다.

3. 기존 펌프와 개조한 펌프에서의 고유량과 저유량 펌프로 채취한 시료채취 지점별 석면 섬유 농도 비교

기존 펌프와 개조한 펌프로 나누어 고유량과 저유량 펌프로 채취한 시료 채취 지점별 공기 중 석면 섬유 농도를 Table 3에 나타내었다. 기존 펌프에서는 고유량 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도는 6.270 fiber/L로 저유량 펌프의 총 평균 농도 7.755 fiber/L보다 낮았으나 유의한 차이는 아니었으며, 각 지점별로는 C지점에서는 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 개조

한 펌프에서는 고유량 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도는 5.527 fiber/L로 저유량 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도 7.706 fiber/L보다 통계학적으로 유의하게 낮았고(p<0.01), 각 지점별로는 C지점과 F지점에서 고유량 펌프에 의한 측정치가 유의하게 낮았다(p<0.01, p<0.05).

4. 기존 펌프와 개조한 펌프로 채취한 일반적인 특성별 슬레이트 지붕 농가의 공기 중 석면 섬유 농도

기존 펌프와 개조한 펌프로 채취한 슬레이트 지붕을 가진 농가의 일반적인 특성별 공기 중 석면 섬유 농도를 비교한 결과를 Table 4에 나타내었다. 기존 펌프에서 슬레이트 농가의 공기 중 석면의 총 평균 농도는 6.938 fiber/L이었고, 개조한 펌프에서 슬레이트 농가의 공기 중 석면의 총 평균 농도는 6.663

Table 4. Ambient air concentrations of asbestos by general characteristics according to the existed sampler and remodeled sampler

(Unit: fiber/L)

Characteristics	Existed sampler				Remodeled sampler			
	No.	Mean	± S.D.	p-value	No.	Mean	± S.D.	p-value
Construction year								
<1980	31	7.166	± 3.600	0.637	36	7.089	± 3.268	0.230
≥1981	29	6.694	± 4.098		33	6.198	± 2.795	
Rain after the elapsed time (hours)								
<90	33	6.776	± 3.178	0.720	42	6.960	± 3.373	0.319
≥90	27	7.136	± 4.546		27	6.202	± 2.491	
Roof length								
<3.0 m	33	7.015	± 3.626	0.865	39	6.857	± 3.162	0.552
≥3.0 m	27	6.844	± 4.120		30	6.411	± 2.960	
Average wind velocity								
<1.75 m/sec	30	7.085	± 3.855	0.768	32	6.802	± 2.971	0.728
≥1.75 m/sec	30	6.791	± 3.851		37	6.543	± 3.174	
Humidity								
<50%	30	7.223	± 3.411	0.568	39	7.154	± 3.357	0.130
≥50%	30	6.653	± 4.235		30	6.025	± 2.542	
Total roof area in the house with a slate roofing								
<170 m ²	31	5.874	± 2.748	0.024	36	5.793	± 2.127	0.013
≥170 m ²	29	8.076	± 4.485		33	7.612	± 3.632	
Total	60	6.938	± 3.823		69	6.663	± 3.062	

Table 5. Multiple regression analysis of selected independent variables on ambient air concentrations of asbestos with a asbestos slate roofing

	Existed sampler				Remodeled sampler			
	Unstandardized		Standardized	t	Unstandardized		Standardized	t
	B	Std. error	Beta		B	Std. error	Beta	
(Constant)	-163.595	194.240		-0.842	-2.609	142.338		-0.018
Roof length	-0.785	0.858	-0.158	-0.914	-0.547	0.639	-0.137	-0.855
Average wind velocity	-0.644	1.381	-0.069	-0.467	0.714	1.000	0.095	0.714
Rain after the elapsed time	0.002	0.012	0.023	0.169	-0.006	0.009	-0.074	-0.624
Humidity	0.087	0.099	0.153	0.885	0.005	0.072	0.010	0.065
Total roof area in the house with a slate roofing	0.010	0.003	0.469	3.392*	0.008	0.002	0.429	3.384*
R ²	0.190				0.223			

* : p<0.01

fiber/L이었다. 슬레이트 지붕 설치년도가 1980년 이전인 농가에서 기존 펌프와 개조한 펌프 모두 공기 중 석면섬유 농도가 높았으나 유의한 차이는 아니었고, 비가 온 후 경과시간, 지붕길이, 평균풍속, 상대 습도에 따른 공기 중 석면섬유 농도의 유의한 차이도 없었다. 그러나 기존 펌프로 포집한 석면섬유 농도는 측정 대상 농가의 슬레이트 지붕 총 면적이 170 m² 미만일 때의 5.874 fiber/L보다 170 m² 이상일 때 8.076 fiber/L로 유의하게 높았고(p<0.05), 개조한

펌프에서도 슬레이트 지붕 총 면적이 170 m² 미만일 때의 5.793 fiber/L보다 170 m² 이상일 때 7.612 fiber/L로 유의하게 높았다(p<0.05).

5. 공기 중 석면 섬유 농도에 영향을 미치는 요인들에 대한 다변량 회귀분석

슬레이트 지붕을 가진 농가에서 기존 펌프와 개조한 펌프로 채취한 공기 중 석면 섬유 농도에 영향을 미치는 요인들을 다변량 회귀분석한 결과 기존 펌프

및 개조한 펌프 모두 공기 중 석면 섬유 농도에 통계학적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로는 대상 농가의 슬레이트 지붕의 총 면적이었으며($p < 0.01$), 이들 5개의 독립변수들로 구성된 회귀방정식의 설명력(R^2)은 각각 19.0%, 22.3%였다(Table 5).

IV. 고 찰

우리나라에서 처음 보고 되었던 관상어용 수족관 기포발생기를 개조한 펌프에 관한 연구(Jang et al., 2005)에서는 저유량 펌프만 이용하여 공기 중 총부유분진, 호흡성분진, SO_2 , NO_2 및 유기용제인 톨루엔에 대하여 기존 펌프와 개조한 펌프에 대해 성능 비교를 하였다. 그러나 공기 중 석면 섬유 포집을 위한 시료 포집과는 기존의 포집방법과 차이가 있을 수 있어 실제로 공기 중 석면 섬유를 포집하여 그 성능과 농도 차이를 검증해 볼 필요가 있어 본 연구를 수행하게 되었다.

펌프는 시료채취과정에서 발생하는 가장 큰 오차는 채취유량으로, 펌프를 통과한 공기용량의 과대 또는 과소평가하는데서 기인한다. 공기 중 농도를 결정하기 위해서는 공기 부피당 해당 오염물질의 양이 정확히 결정되어야 하므로 실제 농도의 가장 좋은 추정치를 얻기 위해서는 유량을 보정하여 정확한 채취 공기부피를 결정해야 한다(Paik et al., 2012). 여과지를 사용하는 경우 유량이 일정하게 제어되지 않으면 먼지가 여과지에 축적됨에 따라 공기흐름 저항이 증가하여 실제 유량이 감소될 수 있으므로 시료채취 전후의 낮은 유량 변화율은 중요한 요소이다. 본 연구에서 기존 펌프와 개조한 펌프 모두 시료채취 전후의 유량 변화율이 OSHA(1998)에서 권고하는 $\pm 5\%$ 이내로 기존 펌프와 개조한 펌프 모두 시료채취 펌프로서의 성능에 문제가 없는 것으로 나타났고, 개조한 펌프에서 더 낮은 유량 변화율을 나타내었다.

본 연구에서는 저유량 펌프와 고유량 펌프 각각에 대응되는 관상어용 수족관 기포발생기를 개조한 펌프를 준비하여 석면 슬레이트 가옥에서 공기 중으로 비산 되는 석면 섬유를 포집하여 농도를 비교하였다. 고유량 및 저유량의 기존 펌프와 개조한 펌프의 시료채취 지점별 석면 섬유 농도를 비교한 결과 통계학적으로 유의한 차이가 보이지 않아 공기 중 석면

섬유 포집을 위한 펌프로서의 성능에는 문제가 없는 것으로 판단된다. Jang et al.(2005)이 관상어용 수족관 기포발생기를 개조하여 사용한 최초의 성능 비교 논문에서 공기 중 총부유분진, 호흡성분진, SO_2 , NO_2 및 유기용제 포집시 기존의 상업용 시료채취기와 성능에 차이가 없었다는 결과와 같았으며, 공기 중 석면 섬유 농도 측정시 고가의 상업용 시료채취 펌프를 대신하여 저렴한 가격의 관상어용 수족관 기포발생기를 개조한 고유량과 저유량 펌프를 성능에 문제가 없이 사용할 수 있을 것으로 여겨진다.

그러나 기존 펌프와 개조한 펌프로 나누어 고유량과 저유량 펌프로 채취한 시료 채취 지점별 공기 중 석면 섬유 농도는 평균적으로 기존 펌프와 개조한 펌프 모두 저유량 펌프로 채취한 것에서 높았고, 개조한 펌프에서는 유의하게 높게 나타났는데 이는 측정시점의 차이에 기인한 것으로 여겨진다. 즉, 고유량 펌프는 3시간 전후 포집하지만, 김출한계 이상의 충분한 채취공기량 확보를 위하여 저유량 펌프는 6시간 전후의 공기를 포집하기 때문에 포집되는 시점의 공기 중 석면 섬유 농도에 차이가 있을 수 있기 때문이다.

위상차현미경을 이용한 공기 중 석면섬유 농도 분석은 계수자에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 보고(Kang et al., 1991; Kim et al., 1999; Jun, 2012)되고 있으므로 본 연구의 석면 계수자는 산업안전공단에서 실시한 공기 중 석면계수 분야의 정도관리에 적합하였으며, 실험실 내부 정도관리 시료로 검증된 한 사람이 모두 분석하여 석면 계수의 정확성과 신뢰성을 확보하여 수행하였다.

우리나라에서는 석면 슬레이트 지붕과 관련한 연구들은 주로 슬레이트 지붕 철거 작업 시 석면 섬유의 방출에 관한 연구(Choi et al., 2010; Cho, 2012)이며, 철거 시 습윤제와 물을 사용하여 권고기준 이하의 공기 중 석면 섬유 농도를 유지할 수 있다고 보고하였으며, 우리나라의 수많은 석면 슬레이트 지붕에서 발생할 수 있는 석면의 비산에 대한 연구는 Jang et al.(2013)이 최초로 수행한 것이다.

본 연구에서 측정된 슬레이트 지붕을 가진 농가의 공기 중 석면 섬유 농도는 기존 펌프로 포집된 것이 6.938 fiber/L이었고, 개조한 펌프로 포집된 것은 6.663 fiber/L로 우리나라 실내공기질 관리법 권고기준(MoE, 2014)인 10 fiber/L에 근접하고 있고, 일부

농가에서는 이 기준치를 초과하는 경우도 있는데 이는 본 연구의 조사대상 지점이 선행연구에서 높은 석면 농도를 나타낸 농가를 선정하였기 때문으로 여겨지지만 추가적인 자세한 조사가 있어야 할 것이다.

WHO(2000)의 보고에 따르면 오염이 없는 시골지역에서의 대기 중 석면 섬유 농도는 <0.1 fiber/L인 반면에 오염이 심하고 교통량이 많은 혼잡한 도시지역에서는 0.1~1 fiber/L 정도라고 한다. 본 연구에서 조사된 공기 중 석면 섬유의 평균 농도는 오염이 심하고 교통량이 많은 혼잡한 도시지역에서의 값 이상을 나타내고 있어 석면 슬레이트 지붕에 기인한 것으로 추정되며, 슬레이트는 1년에 약 0.01~0.024 mm씩 부식되는 것으로 추산(Spurny, 1989)하였고, 석면 슬레이트 지붕의 노후화에 따른 손상으로 인해 대기 중으로 석면이 유출된다는 보고(Bornemann & Hildebrandt, 1986)가 있다.

기존 펌프와 개조한 펌프 공기 중 석면 섬유 농도의 영향을 미치는 가장 큰 이유가 두 펌프 모두 대상 농가의 슬레이트 지붕의 총 면적이 더 넓을 때로 분석된 것은 석면 슬레이트 지붕을 가진 농가 20개소를 대상으로 각 3번씩 60번을 측정된 Jang et al.(2013)의 연구 결과와 같았다. 따라서 석면 슬레이트 지붕에 대한 대책을 수립할 때는 넓은 면적의 슬레이트 지붕을 가진 곳을 우선적으로 다루어야 할 것이다.

본 연구에서 공기 중 석면 섬유 시료채취 펌프로서의 성능이 기존의 검증된 상업용 펌프와 차이가 없는 것으로 평가된 개조한 관상어용 기포발생기를 사용하면 고가의 시료채취 펌프가 없어도 공기 중 석면 섬유를 포집할 수 있어 저렴한 비용으로 여러 개의 시료채취 펌프를 만들 수 있으므로 기존 펌프의 대체품으로 사용 가능할 것이다. 그러나 교류전원이 필요하므로 지역시료 채취시 그 용도에 맞게 선택되어야 한다는 단점이 있으나, 슬레이트 지붕에서 유출되는 공기 중 석면 섬유 시료 포집뿐만 아니라 석면이 함유된 다양한 건축 자재들에서 유출될 수 있는 공기 중 석면 섬유를 쉽고 정확하게 모니터링 할 수 있는 계기가 될 것으로 여겨진다.

V. 결 론

정확성과 정밀성이 입증된 기존의 상업용 공기시료 채취 펌프와 우리가 흔히 사용하는 관상어용 수

족관 전기 기포발생기를 개조하여 만든 시료채취 펌프로 공기 중 석면 섬유 농도를 두 기기별로 동일한 환경조건과 포집매체로 시료를 포집하여 분석한 결과를 비교 검토하여 환경시료의 지역시료 채취 시 적용 가능성이 있는지를 평가하기 위하여 선행 연구에서 백석면이 함유된 슬레이트 지붕을 가진 농가의 공기 중 석면 섬유 농도가 가장 높았던 6개 농가를 선정하여 관상어용 수족관 전기 기포발생기를 개조한 펌프와 기존의 상업용 펌프(기존펌프)를 이용하여 고유량(약 4 L/min)과 저유량(약 1.4 L/min)으로 슬레이트 지붕 끝에서 1 m 거리의 주풍향 하에서 각각 다른 날에 4~7번의 시료를 채취하여 석면 정도 관리를 받은 분석자가 위상차현미경으로 석면 섬유 수를 계수하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 고유량 펌프는 기존 펌프의 유량 변화율이 0.817%, 개조한 펌프의 유량 변화율은 0.166%, 저유량 펌프는 기존 펌프의 유량 변화율이 3.830%, 개조한 펌프의 유량 변화율은 1.085%로 모두 통계학적으로 유의한 차이가 없었고, OSHA의 분석 방법에서 제시한 권고 유량 변화율인 ±5% 오차 이내였다.

2. 고유량 펌프에서는 기존 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도는 6.270 fiber/L, 개조한 펌프는 5.527 fiber/L로 유의한 차이가 없었고, 저유량 펌프에서는 기존 펌프로 채취한 공기 중 석면의 총 평균 농도는 7.755 fiber/L, 개조한 펌프 7.706 fiber/L로 유의한 차이가 없었다.

3. 기존 펌프와 개조한 펌프로 채취한 공기 중 석면 섬유 농도에 유의하게 영향을 미치는 요인은 대상 농가의 슬레이트 지붕의 총 면적이었다.

이상의 결과로 볼 때 관상어용 수족관 전기 기포발생기를 개조하여 만든 펌프와 기존의 성능이 입증된 상업용 펌프는 공기 중 석면 섬유 시료포집 성능에서 차이가 없는 것으로 나타나 시료포집 펌프로서 활용 가능성이 큰 것으로 여겨진다.

References

- Bisesi MS, Kohn JP. Industrial hygiene evaluation methods. Boca Raton: CRC Press Inc.; 1995
- Bornemann P, Hildebrandt U. On the problem of environmental pollution by weathering products of asbestos cement. Staub Reinhalt Luft 1986;46(11):

487-489

- Cho YJ. A study on the airborne asbestos concentration and health management status of the asbestos abatement and removal working area[dissertation]. [Seoul]; Korea University; 2012
- Choi SJ, Suk MH, Paik NM. Asbestos-containing materials and airborne asbestos levels in industrial building in Korea. *J UOEH* 2010;32(1):31-43
- Chung YH, Han JH, Sung JH, Song KS, Lim KT, Yu IJ. Investigation of asbestos and MMMF containing construction material in Korean buildings. *Indoor Environment and Technology* 2004;1(2):156-165
- Jang BK, Chun JY, Son BS, Lee JW, Park JA. Comparative study on the efficiency test using remodeled bubble generating pump for aquarium fish and established air sampling pump. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2005;15(3):183-191
- Jang BK, Ryu JY, Tak HW, Song SJ, Lee JW, Lee GH, Choi JH. Asbestos concentrations of ambient air and drained rainwater from slate roofing by construction year and the roof area. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2013;23(3):196-204
- Jun BH. Study on effects of microscope and analysts for asbestos fiber counting with the phase contrast microscope[dissertation]. [Seoul]: Hansung University; 2012
- Kang BY, Shin YC, Paik NW. Quality control of asbestos fiber counting for airborne samples using phase contrast microscopy. *Korea Ind Hyg Assoc J* 1991;1(2):222-239
- Kang DM. Health effects of environmental asbestos exposure. *Korean Journal of Environmental Health* 2009;35(2):71-77
- Kim HW, Park GY, Han JG, Han YS, Hwang BG, Lee JH. Releasing of asbestos fibers from the weathered asbestos cement slate roofing. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2010;20(2):88-93
- Kim KY, Kim ES, Kim SW. Analysis of airborne asbestos dust and fiber in other variations of individual analysts. *Korea Ind Health Assoc* 1999;130:36-41
- Kim YC, Hong WH, Son BH. Analysis of generation pattern and generation amount of asbestos containing material, when demolition of buildings in the housing redevelopment district. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 2013;29(7):317-324
- Kim YC, Son BH, Park WM, Hong WH. A study on the distribution characteristics of the asbestos cement slates roofing in the urban area. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 2011;27(1):253-260
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Asbestos management statistics; 2009. p. 25
- Ministry of Environment(MoE). Slate management comprehensive plan.; 2010
- Ministry of Environment(MoE). Indoor air quality management guideline.; 2014
- NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health). Asbestos and other fibers by PCM: 7400. NIOSH Manual of Analytical Method(NMAM), 4th ed., 1994
- OSHA. Sampling and analytical method manual. OSHA; 1998
- Paik NW, Park DU, Yoon CS, Shin YC. Working environment measurement and assessment. Shin Kwang Publisher; 2012.
- Song KH, Kim DH, Lee JY. Mercury contents in scalp hair of dentists and in their dental office. *The Kor J of Occup Med* 1991;3(1):21-31
- Spurny KR. On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products. *Environmental Research* 1989;48(1):100-116
- WHO. Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Geneva: World Health Organization; 2000