

## 청석면 분석 정도관리용 표준시료 개발 및 평가

이지현 · 김은영 · 노수진 · 박용진 · 정지연<sup>†</sup>

용인대학교 환경보건학과

(2011. 1. 12. 접수/2011. 2. 9. 수정/2011. 2. 14. 채택)

## Development and Validation of Crocidolite Quality Control Samples for Proficiency Analytical Testing

Jihyun Lee · Eunyoung Kim · Sujin Noh · Yongjin Park · Jeeyeon Jeong<sup>†</sup>

Department of Environmental Health, Yongin University, Yongin, Korea

(Received January 12, 2011/Revised February 9, 2011/Accepted February 14, 2011)

### ABSTRACT

Crocidolite quality control (QC) sampling created by the wet generation method has been validated by validation tests such as the accuracy, precision, and storage tests. For this study we designed and developed a manufacturing apparatus and standard operating procedure for making these QC samples. The most important step in the procedure of making QC samples was the stage eliminating static electricity in asbestos fibers. This static electricity hampers the fibers clog functioning. In accuracy and precision tests by phase contrast microscopy analysis, the difference between the reference values and the studied values was at maximum 17.8%. This satisfies the AIHA proficiency analytical test criteria for asbestos. We could confirm the nearly even distribution of crocidolite fibers on the membrane filter. Also, there was no loss of fibers in the storage test after the one month.

**Keywords:** crocidolite, quality control, accuracy, precision

### I. 서 론

석면에 노출되면 석면폐(asbestosis)와 예후가 불량한 폐암(lung cancer), 악성중피종(mesothelioma) 등 불치의 질병이 유발되며, 특히 중피종은 저농도의 석면에도 일정기간 폭로되면 발생할 수 있는 질병으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 우리나라에서 1993년부터 2007년 6월까지 석면노출로 인해 암으로 인정받은 근로자수는 총 60명(중피종; 19명, 폐암; 41명)이고, 이 중 50명(중피종; 14명, 폐암; 36명)이 2000년 이후에 발생하였다.<sup>2)</sup>

석면노출에 의한 건강장해를 근원적으로 차단하는 방법은 인체 내로 석면이 전혀 침투하지 못하게 하는 것이다. 그러나 사실상 이는 불가능하기 때문에 석면노출에 의한 건강장해를 최대한 줄이기 위해 노출기준을 설정하여 관리하게 되는데 석면의 경우 현재 석면의 중

류에 관계없이 그 기준은 0.1개/cm<sup>3</sup>이다.<sup>3)</sup> 이 기준은 작업자가 동 농도에서 하루 8시간, 주 40시간 평생 작업시간 동안 노출되어도 거의 모든 근로자가 석면에 의한 건강장해를 일으키지 않을 것으로 판단되는 기준이다. 따라서 작업시 작업장 공기중 석면의 농도를 이 기준 이하로 유지하는 것이 중요하며, 만약 이 기준 이상으로 존재시, 석면농도를 낮추기 위한 작업환경개선을 해야 한다. 또한, 석면해체 제거 작업과 같이 작업특성상 작업환경 개선만으로는 기준농도 이하로 유지가 불가능한 경우에는 공기중 석면의 농도에 따라 그에 적합한 호흡보호구 종류를 착용하고 작업토록 해야 한다.

공기중 석면의 농도를 정확히 측정하여 평가하는 것은 석면노출에 의한 건강장해를 예방하기 위해 가장 먼저 선행되어야 할 중요한 사항이다. 지금까지 국제적으로 가장 신뢰성 있게 공기 중 석면을 측정하는 방법으로 사용되는 것은 석면이 포함된 공기를 여과지로 채취하여 위상차현미경으로 분석하는 방법이며, 시료채취 방법은 거의 동일하지만 위상차현미경 이외에도 전자현미경을 사용하여 분석하는 방법이 사용되고 있다. 그

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Environmental Health, Yongin University  
Tel: 82-31-8020-3208, Fax: 82-31-8020-2886  
E-mail : jyjung@yongin.ac.kr

러나 전자현미경 경우 워낙 고가의 분석장비인 관계로 가장 널리 사용되는 방법은 위상차현미경 방법이며, 국내에서도 가장 널리 사용되는 방법이다.<sup>4,7)</sup>

모든 환경오염 물질에 대한 분석방법이 다 마찬가지로 정교한 분석결과를 도출해 내기 위해서는 장비와 인력에 대한 정도관리(quality control)가 반드시 필요하며 이는 매우 중요한 사항이다. 특히, 위상차현미경 경우 분석자의 숙련도에 따라 분석결과의 편차가 매우 크기 때문에 분석결과의 정밀도와 정확도를 관리하지 않는다면, 그 분석결과의 신뢰성은 급격히 떨어지게 마련이다.

선진국에서는 이미 70년대 이전에 석면이 사회적 문제로 부각하면서 석면분석기관의 질적관리의 필요성이 대두되어 이에 대한 정도관리 프로그램이 수립 시행되고 있는 상태이다. 특히, 미국의 경우 1972년에 미국산업위생학회(AIHA)와 국립산업안전보건연구원(US NIOSH)의 공동주관으로 위상차현미경 분석법을 이용한 석면분야 정도관리 프로그램을 개발하여 시행해 오다가 현재는 AIHA가 단독으로 시행하고 있다.<sup>8)</sup>

국내의 경우 최근에 산업안전보건연구원 및 국립환경과학원에서 석면에 대한 정도관리를 시행하고 있다. 두 기관 모두 사문석계열의 백석면과 각섬석계열의 갈석면에 대하여 정도관리를 시행하고 있으나 가장 독성이 강하다고 알려진 각섬석계열의 청석면(crocidolite)에 대한 정도관리는 실시하고 있지 않다.

본 연구는 청석면에 대한 정도관리 시료를 조제할 수 있는 조제장치 및 조제방법을 확립하고, 이를 통해 조제된 시료의 정도관리시료로서의 적합성을 평가한 결과를 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 표준석면 고형시료, 여과지 및 산화알루미늄

연구에 사용된 벌크청석면 표준품은 SPI(PA, USA)가 공급하는 청석면(crocidolite South African)을 구입하여 사용하였다.

여과지의 경우 실제 현장에서 석면측정에 주로 사용하는 직경의 25 mm의 MCE(mixed cellulose ester membrane) 여과지를 사용을 우선 고려하였는데, 동 여과지의 경우 공극이 0.45  $\mu\text{m}$ 와 0.8  $\mu\text{m}$  여과지 두 종류가 있다. 두 여과지 중 실제 현장에서 많이 사용하는 것은 석면시료가 채취되는 현장의 경우 공기중 먼지가 많아(특히, 석면함유 건축물 해체제거시) 시료채취시 압력손실이 크기 때문에 0.8  $\mu\text{m}$ 의 여과지가 주로 사용된다. 따라서 본 연구에서도 공극이 0.8  $\mu\text{m}$ 이면서 직경이

25 mm인 MCE 여과지(SK, USA)를 구입하여 사용하였다.

일반 작업환경중 석면시료를 채취하는 경우 석면만 채취되는 것이 아니라 다른 먼지 등이 함께 채취되며, 이러한 것들은 석면분석시 방해물질로 작용하게 된다. 따라서 정도관리를 표준시료에서도 이러한 방해물질 역할을 하는 물질을 인위적으로 첨가하였으며, 본 연구에서는 산화알루미늄(Sigma-Aldrich, USA)을 사용하였다.

### 2. 표준시료제조장치 개발 및 조제방법 확립

정도관리를 시료를 조제하는 방법은 석면이 함유된 분진을 발생시켜 이를 공기중에서 직접 시료채취하여 조제하는 건식 조제방법과<sup>9,10)</sup> 분산용액에 석면이 일정하게 희석된 용액을 여과지에 여과하여 조제하는 습식 조제방법이<sup>11)</sup> 알려져 있다. 본 연구에서는 습식 조제방법을 사용하였는데, 습식 조제방법을 통한 정도관리 시료조제의 경우 일반적인 과정은 알려져 있으나 구체적인 제조장치 및 조제방법이 알려져 있지 않기 때문에 직접 제조장치를 개발하여 많은 시행착오과정을 거쳐 조제방법을 확립하였다.

본 연구에서 개발된 표준시료제조장치의 개발 기본방향은 시료 제작시 석면섭취농도가 일정하게 유지된 여러 개의 시료를 동시에 만들 수 있는 디자인이어야 하고, 시료 제작과정이 가능하면 단순하고, 또한 제작에 소요되는 시간이 짧은 시스템이어야 하고, 그리고 시료 제작에 참여하는 작업자가 가능한 석면에 노출되지 않는 시스템을 구축하는 것이었다.

본 연구에서 반복실험을 통해 최종 확립한 표준시료 조제과정의 전체 흐름도는 Fig. 1과 같다. 석면시료 조제과정 중 가장 크게 주의를 기울여야 하는 부분은 분산용액에 들어 있는 석면섭유가 서로 뭉치지 않고 개별 섭유별로 서로 떨어져 있어야 하는 것이 핵심사항이다. 석면섭유는 육안으로는 보이지 않고 현미경을 통해서만 식별이 가능하기 때문에 조제과정 중에서는 그 여부를 전혀 알 수가 없다. 수차례 반복실험을 통해 확인한 것으로 완전한 석면분리를 위해 가장 중요한 과정은 표준고형시료를 일정량 채취한 후 처리하는 초음파처리과정을 통한 석면섭유의 정전기 제거과정과 분산용액의 교반과정이었다.

### 3. 석면시료 분석방법

조제된 석면시료는 위상차현미경(LEICA DM2500, Germany)을 이용하여 분석하였으며, 분석방법은 NIOSH 7400의 A 규정에 따라 석면섭유를 계수하였다(NIOSH, 1994).<sup>6)</sup>

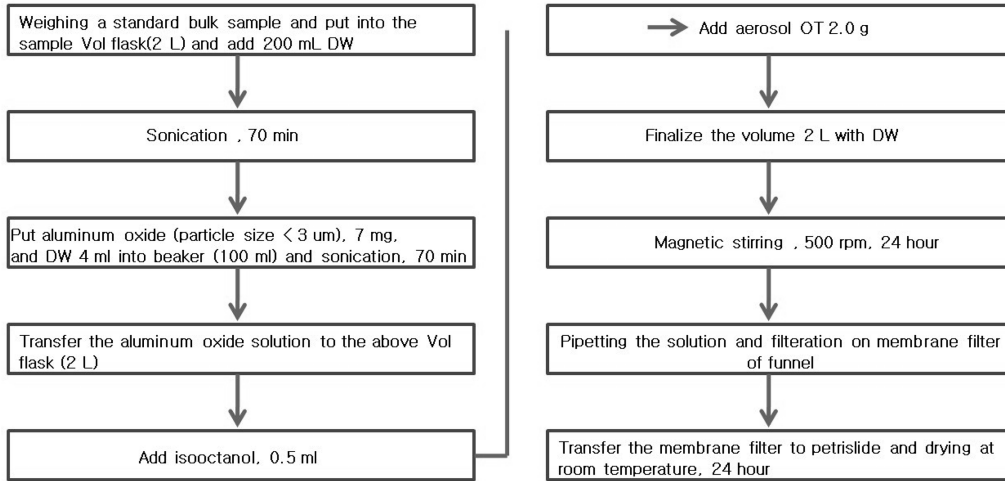


Fig. 1. Overall procedure for preparation of asbestos quality control sample.

4. 시료적합성 평가방법

정도관리 시료로서의 적합성을 평가하기 위해 미국 산업안전보건연구원(NIOSH),<sup>12)</sup> 환경보호청(EPA)<sup>13,14)</sup> 및 산업안전보건청(OSHA)<sup>15)</sup>은 정확도(accuracy), 정밀도(precision), 그리고 시료안정성(sample stability)을 평가하도록 권고 하고 있으며, 이러한 평가항목은 농도수준에 따라 그 값이 달라질 수 있기 때문에 최소한 2가지 농도수준(저농도, 고농도) 이상에서 평가토록 하고 있다. 또한 각 농도수준별 시료수는 최소한 7개 이상 평가토록 하고 있는 바, 본 연구에서도 이 권고기준에 따라 평가를 실시하였으며, 구체적인 방법은 다음과 같다.

1) 정확도(accuracy)

정확도라 함은 실제값(이론값)에 분석결과가 어느 정도 일치하는 지를 평가하는 항목이다. 유기용제나 금속 같은 정도관리 시료의 경우 정도관리용 표준매체에 주입하는 이론적인 양을 계산하여 그 값이 어느 정도 인지를 알 수 있다. 그러나 이 값은 이론적인 값일 뿐, 실제 평가에 사용하는 값은 이론값이 아니라 실제 분석결과를 바탕으로 나타난 기준값(reference value)을 사용하게 된다. 석면정도관리 시료의 경우 이론값 계산이 불가능 하다. 따라서 정확도 평가에 기본이 되는 기준값 설정이 중요한데, 본 연구에서는 그동안 미국 석면국제정도관리(IHPAT)에 참여하여 15년 이상 분석능력을 검증받은 사람 1인이 동일농도 수준의 시료를 7개를 분석한 값의 평균값을 기준값으로 사용하여, 다음 식에 의한 상대정확도(relative accuracy)를 계산하여 정확도를 평가하였으며(식 (1)), 또 다른 두 명의 분석

자의 경우 역시 5년 이상의 석면분석경험을 가지고 있는 사람이다.

Relative accuracy =

$$\frac{(\text{counter concentration} - \text{reference value}) \times 100}{\text{Reference value}} \quad (1)$$

2) 정밀도(precision)

정밀도는 동일한 시료를 여러 개 조제하여 분석시 시료간의 농도변이가 얼마나 일정한 범위 내에 존재하는지 여부를 확인하기 위한 것으로 본 연구에서는 변이계수(CV: coefficient variation) 값으로 평가를 실시하였다. 변이계수는 자료의 산포성을 비교하는데 유용한 통계지표이며, 특히 본 연구에서는 분석자가 달라짐으로써 발생할 수 있는 종합적인 변이정도를 알아보기 위해 식 (2)와 같이 통합변이계수(pooled CV) 값을 산출하여 평가하였다.

$$\text{Pooled CV} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 f_i (CV_i)^2}{\sum_{i=1}^3 f_i}} \quad (2)$$

CV : coefficient of variation(standard deviation\*100)/mean

i : index for three counters

CV<sub>i</sub> : coefficient of variation of the observations at the ith counter

f<sub>i</sub> : degree of freedom, which is equal to the number of observations minus 1.

### 3) 시료안정성(sample stability)

분석능력 검증을 위한 일반적인 정도관리 절차는 시료조제 → 정도관리 참여기관에 대한 시료분배 → 시료분석 → 분석결과 취합 → 분석결과 자료처리 및 적합여부 판정의 순서를 거치게 된다.

따라서, 조제된 시료가 정도관리 참여기관에 우편 등으로 이송되고 이들 기관이 이송 받은 시료를 분석할 때까지 조제된 시료에서 손실이 발생한다면 정도관리 시료로서 가치를 상실하게 되기 때문에 이 기간 동안 시료손실이 거의 발생하지 않아야 한다. 현재 국내외적으로 실시되는 석면 정도관리 경우를 보더라도 정도관리 실시기관에서 시료를 이송하여 정도관리 참여기관이 시료를 분석하고 그 결과를 보고 하는 기간이 한 달 이내로 이루어지기 때문에 본 연구에서 있어서도 한 달 정도의 시료안정성만 입증된다면 정도관리 시료로서 타당성이 충분하다고 판단된다.

### 4) 시료균질성

분석특성 상 유기용제나 금속의 정도관리 시료와는 달리 석면시료의 경우는 여과지 표면 전체에 석면이 가능한 균질하게 골고루 분포되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 조제된 석면시료가 여과지 표면에 균질하게 분포하는지 여부를 확인하기 위해 relocatable field slide를 사용하여 평가하였다. 동 슬라이드는 여과지를 동일한 간격의 수평선과 수직선으로 구분하여 총 140개 격자모양을 만들 수 있는데 수평라인(1-5)과 수직라인(A-N)의 70개 이상의 격자에 존재하는 석면 섬유를 계수하였으며, 각 격자에 존재하는 석면섬유 수가 통계적으로 유의한 차이가 있는지 여부를 확인하기 위해 반복없는 이원배치분산분석을 실시하여 통계적으로 검증하는 방법을 사용하였다. 통계분석에는 SPSS 통계프로그램(ver 12.0)을 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 정확도평가결과

Table 1은 청석면(crocidolite)으로 조제된 석면정도관

리시료의 정확도 평가결과이다. 제조된 표준시료가 1,000 l의 공기를 채취하여 얻어진 결과라 가정할 때 공기중 석면농도로 추정하면 저농도(76.8개/mm<sup>3</sup>) 수준의 시료는 공기중 농도로 0.04개/cc에 해당하며, 고농도(156.1개/mm<sup>3</sup>) 시료는 0.08개/cc이다.

정확도평가결과, 저농도 수준에서 기준값과 분석자 A와 B의 분석값과의 상대정확도는 각각 2.4%(상대정확도 범위: -10.4~17.8%), 0.7%(상대정확도 범위: -13.6~7.8%)였으며, 그리고 고농도 수준에서는 각각 2.5%(상대정확도범위: -6.5~13.9%), 5.9%(상대정확도 범위: -1.6~11.4%)였다. 기준값과 분석값 간의 차이는 최소 -13.6%에서 최대 17.8%의 차이를 보였다.

미국산업위생협회(AIHA)에서 실시하고 있는 분석능력 검증을 위한 정도관리 프로그램에서 정확도 한계를 보면, 활성탄관을 이용하는 유기용제나 여과지를 이용하는 금속분석의 경우 분석값이 기준값에서 ±12% 정도, 확산식 시료채취기를 이용한 유기용제 분석의 경우는 ±18% 정도, 본 연구와 동일한 분석방법인 위상차현미경을 이용한 석면시료 분석의 경우 ±20% 정도를 정확도 한계로 삼고 있다.<sup>16,17)</sup>

이광용 등이 백석면과 갈석면을 대상으로 습식조제 방식을 활용한 정도관리시료의 정확도를 기준시료값과 분석값 간의 차이를 변이계수로 평가한 결과에서도 백석면의 경우 시료농도 수준에 따라 7.6~14.5%, 그리고 갈석면의 경우는 8.8~14.1%로 평가되었다고 보고한 바 있다.<sup>18)</sup> 따라서 습식조제방식을 이용하여 조제하는 방법은 과거 우리가 사용하였던 주요 석면의 3종류, 즉 백석면, 갈석면, 청석면에 대하여 모두 적용 가능한 방법으로 판단된다.

### 2. 정밀도 평가결과

Table 2, 3은 저농도 및 고농도에서 실시한 정밀도 평가결과를 요약한 것이다. 저농도 수준의 결과를 보면, 석면분석자 A의 경우 동일농도 수준의 시료 7개를 각각 분석시 평균값에서 각 분석값 간의 차이를 말하는 변이계수값이 4.7%, 분석자 B는 7.4%, 그리고 분석자 C는 15.0%를 보였으며, 전체 21개 시료에 대한

**Table 1.** Accuracy test results of crocidolite quality control samples

Concentration level	Reference value (fibers/mm <sup>3</sup> )	Counter	N	Mean of relative accuracy (%)	Range of relative accuracy (%)
Low level	76.8	A	7	2.4	-10.4-17.8
		B	7	0.7	-13.6- 7.8
High level	156.1	A	7	2.5	-6.5-13.9
		B	7	5.9	-1.6-11.4
Total			28	2.9	-13.6-17.8

분석자 3인의 통합변이계수 값은 10.0%를 보였다. 고농도 수준의 결과를 보면, 분석자 A가 6.1%, 분석

자 B가 2.5%, 분석자 C가 8.6%, 그리고 분석자 3인의 통합변이계수 값은 6.3%를 보였다.

**Table 2.** Precision test results of crocidolite at low concentration level

Sample number	Concentration (fibers/mm <sup>2</sup> )		
	Analyst A	Analyst B	Analyst C
1	78.3	82.4	76.9
2	77.1	86.9	69.2
3	73.9	89.4	83.3
4	80.3	99.6	72.1
5	84.7	90.0	74.1
6	78.3	98.3	93.4
7	74.5	99.6	102.4
Mean	78.2	92.3	81.6
Standard deviation	3.7	6.9	12.2
Coefficient of variation (CV) (%)	4.7	7.4	15.0
Total mean	84.0		
Pooled CV (%)	10.0		

**Table 3.** Precision test results of crocidolite at high concentration level

Sample number	Concentration (fibers/mm <sup>2</sup> )		
	Analyst A	Analyst B	Analyst C
1	168.8	179.6	176.1
2	169.4	175.2	196.6
3	153.5	181.5	164.7
4	170.7	175.8	151.2
5	163.7	168.8	159.4
6	157.3	178.3	170.2
7	184.7	172.0	164.8
Mean	166.9	175.9	169.0
Standard deviation	10.2	4.4	14.5
Coefficient of variation (CV) (%)	6.1	2.5	8.6
Total mean	170.6		
Pooled CV (%)	6.3		

**Table 4.** Result of one-way analysis of variance for precision data

Category	SST <sup>a</sup>	df <sup>b</sup>	MS <sup>c</sup>	F	p	
Low conc	Inter-group	1810.207	2	905.103	3.405	0.056
	Intra-group	4785.191	18	265.844		
	Total	6595.398	20			
High conc.	Inter-group	310.803	2	155.401	1.399	0.272
	Intra-group	1998.763	18	111.042		
	Total	2309.566	20			

<sup>a</sup>SST: Total sum of source, <sup>b</sup>df: degree of freedom, <sup>c</sup>MS: Mean square.

저농도 수준보다는 고농도 수준에서 정밀도가 약 3.7% 정도 더 우수한 결과를 보였는데, 이는 비록 사람이 석면섭유를 현미경 하에서 계수하여 분석하는 석면분석방법의 특징이 있기는 하지만 분석의 경우 일반적으로 저농도 수준보다는 고농도 수준에서 분석이 용이하기 때문인 것으로 보이며, 분석자 C가 다른 두 분석자(A, B)보다는 분석결과 값들 간의 차이가 비교적 크게 나타났는데 이는 분석개인의 분석능력 차이에 기인한 것으로 판단된다.

Table 4는 저농도와 고농수준에서 분석자 3인의 분석결과 간의 결과차이가 있는지 여부를 확인하기 위해 유의수준 5%에서 실시한 일원배치분산분석결과이다. 통계검증결과 저농도와 고농도에서의 p 값은 각각 0.056, 0.272로 분석결과 값들 간에는 모두 통계적으로 유의한 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

### 3. 시료균질성 평가결과

수평선과 수직선으로 구분하여 총 140개 격자모양을 만들 수 있는 relocatable field slide를 사용하여 수평라인(1-5)과 수직라인(A-N)의 70개 이상의 격자에 존재하는 석면 섬유를 계수하여 시료 균질성 여부를 평가한 결과는 Table 5와 같다.

저농도 경우 수평라인 격자들 안에 존재하는 석면섬유의 전체 평균은 1.1개(전체표준편차: 0.1개)였으며, 수직라인 격자들 안에 존재하는 석면섬유의 전체 평균은 1.1개(전체표준편차: 0.2개)였다.

고농도 경우 수평라인 격자들 안에 존재하는 석면섬유의 전체 평균은 2.2개(전체표준편차: 0.1)였으며, 수직라인 격자들 안에 존재하는 석면섬유의 전체 평균은 2.2개(전체표준편차: 0.5개)였다.

저농도와 고농도 모두 수평라인 격자들 사이에서의 석면섬유 수 분포가 수직라인 격자들 사이에서의 석면섬유 수 분포보다는 좀 더 균질하게 분포하고 있었다.

수평라인과 수직라인이 만나 이루어진 격자 안에서

**Table 5.** Homogeneous test results for number of fibers on membrane filter at low and high concentration level

Conc. levels	No. of cell	Lane	Mean of fibers	SD <sup>a</sup> of fibers	p-Value
Low	70	Horizontal	1.1	0.1	0.135
		Vertical	1.1	0.2	0.098
High	70	Horizontal	2.2	0.1	0.707
		Vertical	2.2	0.5	0.065

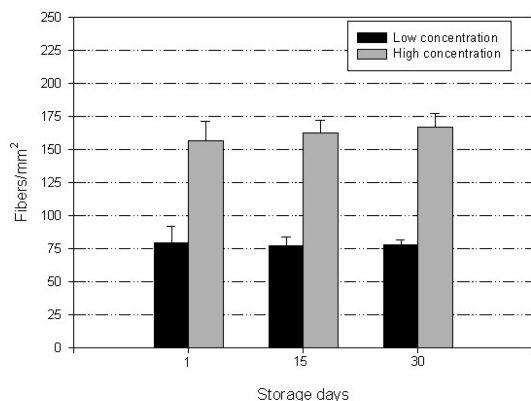
<sup>a</sup>Standard deviation.

계수된 석면 섬유 수가 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 확인하기 위해 실시한 반복없는 이원분산분석 결과, 저농도시료 경우 수평라인의 F-값은 1.841이고 유의확률은 0.135, 그리고 수직라인의 F-값은 1.661이고 유의확률은 0.098이었다. 따라서 수평 및 수직라인 모두 유의수준 5%에서 격자들 간의 석면섬유 수에 있어서 통계적 차이는 없었다. 고농도시료 경우 역시 수평라인의 F-값은 0.540이고 유의확률은 0.707, 그리고 수직라인의 F-값은 1.816이고 유의확률은 0.065로 유의수준 5%에서 격자들 간의 석면섬유 수에 있어서 통계적 차이가 없었다.

### 3. 시료안정성평가

조제된 정도관리 시료가 시간의 경과 및 보관조건에 따라 그 안정성이 달라진다면 정도관리 시료로서는 부적합하다. 따라서 본 연구에서는 조제된 시료를 한 달간 상온보관하면서 조제 1일 후, 15일 후, 그리고 한 달 후에 조제된 시료의 변화가 있는지 여부를 평가하였다. 시료조제 후 한 달 정도까지 시료의 변화가 없다면 정도관리 프로그램을 실시하는데 있어 필요한 시료안정성의 충분한 기간이 된다.

평가결과(Fig. 2)에서 보는 바와 같이 저장기간에 따



**Fig. 2.** Storage test results of crocidolite during 30 days.

른 석면시료의 손실은 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. 유기용제나, 금속 같은 물질의 경우 실온에서 보관하는 경우 시료손실이 일어날 수 있기 때문에 냉장 보관 하는 경우가 대부분이다. 그러나 석면이라는 물질 특성상 상온에서도 매우 안정하고, 또한 한번 여과지 위에 침착하고 나면 시료손실의 거의 발생하지 않음을 이번 연구를 통해서 알 수 있었다.

## IV. 결 론

본 연구는 실제현장에서 석면시료채취에 가장 많이 사용되는 직경 25 mm, 공극 0.8  $\mu$ m의 MCE 여과지를 사용하여 습식방법을 통해 청석면의 정도관리시료 조제장치를 개발한 후 이를 통해 조제된 시료를 바탕으로 정도관리시료로서의 적합성 여부를 평가한 것이다.

습식방법을 통한 표준시료조제과정에서 가장 중요한 포인트가 석면섬유 뭉침 방지를 위한 석면섬유의 정전기 제거 및 교반과정이 핵심사항임을 규명하였으며, 정확도 정밀도, 그리고 시료안정등의 평가를 통한 정도관리 시료로서의 적합성 평가결과, 저농도 및 고농도에서 상대정확도로 평가한 정확도의 경우 이론적인 참값(기준값)과 분석값 간의 차이는 최소 -13.6%에서 최대 17.8%의 차이를 보였으나, 이는 미국 산업위생협회(AIHA)에서 실시하고 있는 석면분석능력 검증을 위한 정도관리 프로그램에서 정확도 한계인  $\pm 20\%$  이내에 들었다.

정밀도의 경우, 저농도 수준에서 통합변이계수 값은 10.0%, 그리고 고농도 수준에서는 그 값이 6.3%로 비교적 석면섬유가 여과지 전체에 고르게 분포하고 있었다. relocatable field slide를 사용하여 평가한 결과에서도 각 격자 안에 존재하는 석면섬유 수는 통계적으로 유의한 차이가 없음을 확인하였다( $p > 0.05$ ).

조제된 시료의 안정성을 평가하기 위해 한 달간 실시한 시료안정성평가결과에 있어서도 조제된 시료의 손실이 거의 일어나지 않음을 확인할 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2009년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 20090064064)의 연구결과이다.

### 참고문헌

1. Hammar, S. P. : The pathologic features of asbestos-induced disease in Asbestos. Taylor & Francis, New York, 2006.
2. Ahn, Y. S. and Kang, S. K. : Asbestos-related occupational cancers compensated under the industrial accident compensation insurance in Korea. *Industrial Health*, **47**(2), 113-122, 2009.
3. Ministry of Labor : Ministry of labor notice 2008-16; Occupational exposure standard for physical and chemical agents. Ministry of Labor, 2008.
4. Ministry of Labor : Workplace measurement methods for hazardous chemicals. Ministry of Labor, 2009.
5. Ministry of Environment : Official measurement methods for indoor air quality. Ministry of Environment, 2004.
6. US National Institute for Occupational Safety and Health : NIOSH method 7400 in NIOSH Manual of analytical methods. 4th ed., US National Institute for Occupational Safety and Health, 1994.
7. UK Health and Safety Executive : Method 39/4 in method for the determination of hazardous substances. UK Health and Safety Executive, 1995.
8. Schlect, P. C. and Stanley, A. S. : Performance of asbestos fiber counting laboratories in the NIOSH proficiency analytical testing program. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **56**, 480-489, 1986.
9. Timbrell, V., Skidmore, J. W., Hyett, A. W. and Wagner, J. C. : Exposure chambers for inhalation experiments with standard reference samples of asbestos of the International Union Against Cancer (IACC). *Aerosol Science*, **1**, 215-223, 1970.
10. Skogstad, A., Eduard, W. and Huser, P. O. : A laboratory method for generation of replicate fiber samples of asbestos fibers in air. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, **57**, 741-745, 1996.
11. Niemeyer, I. C. and Gerchman, L. L. : Preparation of asbestos filter samples for reference standard using a wet generation technique. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **42**, 757-759, 1981.
12. US National Institute for Occupational Safety and Health : Guidelines for air sampling and analytical method development and evaluation. US National Institute for Occupational Safety and Health, Salt Lake City, 1995.
13. US Environmental Protection Agency : Guidance for method development and method validation for the RCRA program. US Environmental Protection Agency, 1992.
14. US Environmental Protection Agency : Revised assessment of detection and quantitation approach. EPA-821-B-04-005. US Environmental Protection Agency, 2004.
15. US Occupational Safety and Health Administration : Evaluation scheme for methods that use filters as collection medium in OSHA analytical manual. 2nd ed., US Occupational Safety and Health Administration, Salt Lake City, 1990.
16. American Industrial Hygiene Association : Laboratory quality assurance program polices. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA, 2001.
17. Schlect, P. C. and Shulman, S. A. : Phase contrast microscopy asbestos fiber counting performance of laboratories in the proficiency analytical testing program. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **56**, 480-489, 1995.
18. Lee, K. W., Yoon, C. S., Han, J. K., Yoon, M. J., Jung, S. J., Lee, J. H., Lee, I. S. and Park, D. W. : Development of asbestos quality control samples for proficiency analytical testing: evaluation of amosite and chrysotile quality control samples. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, **19**(3), 288-296, 2009.