

석면분석 정도관리용 표준시료 개발연구 II - Amosite 및 Chrysotile 표준시료 평가 -

이광용[†] · 윤충식¹ · 한진구² · 윤문종³ · 정시정 · 이종한 · 이인섭 · 박두용⁴

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, ¹서울대학교 보건대학원,
²가톨릭대학교 성모병원 가톨릭산업의학센터, ³한국환경 리서치 & 컨설팅, ⁴한성대학교

Development of Asbestos Quality Control Samples for Proficiency Analytical Testing ± - Evaluation of Amosite and Chrysotile Quality Control Samples -

Gwang Yong Yi[†] · Chung sik Yoon¹
Jin Ku Han² · Moonjong Yun³ · Sijeong Jung · Jong Han Lee · In Sub Lee · Doo Yong Park⁴

Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA

¹School of Public Health, Seoul National University

²Catholic Industrial Medical Center, St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea

³Korea Environmental Research & Consulting

⁴Department of Mechanical Systems Engineering, Hansung University

We conducted validation for asbestos quality control (QC) samples made by the developed method which was presented in our published paper. The main results of the validation study are as follows.

The pooled coefficient variations of analytical results in three different concentrations (low, medium, and high concentration) for amosite and chrysotile were less than 20 %, which met the sample homogeneity criteria of NIOSH. Also we confirmed the homogeneity of asbestos samples by using the relocatable field slide.

To evaluate the field applicability of the developed asbestos QC samples, the field validation was performed with four proficient asbestos analysts by using the statistical methods of AIHA asbestos PAT program. All analytical results from four asbestos analysts were located in the acceptable range.

Key Words : Asbestos, Quality control sample, Homogeneity, Validation

I. 서론

우리나라의 산업안전보건법에서는 청석면(crocidolite)과 갈석면(amosite)에 대해 수입, 제조, 양도 및 사용을 금지하는 규제를 1997년 5월에 입법예고하여 2000년 1월부터 시행하고 있으며, tremolite-asbestos, actinolite-asbestos, anthophyllite-asbestos는 2003년 7월 금지물질로 추가하여 관리하고 있다.

백석면(chrysotile)은 2009년부터 수입, 제조, 양도 및 사용을 금지토록 하고 있다.

2005년 이후 석면이 사회적 문제가 되기 시작하면서 석면 분석자와 분석기관의 질적 관리가 필요하게 되었다. 이런 사회적 요구에 맞추어 산업안전보건연구원에서 2007년 하반기부터 위상차현미경을 이용한 공기 중 석면정도관리 분야를 실시하고 있으나, 석면분석 정도관리용 표준시료가 국내기

접수일: 2009년 8월 5일, 채택일: 2009년 9월 10일

† 교신저자: 이광용(인천광역시 부평구 구산동 34-6 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원,
Tel: 032-510-0806, Fax: 032-518-0864, E-mail: yigy@nate.com)

술로 만들어지지 못함으로 인해 AIHA에서 시행하는 PAT 프로그램용 공기 중 석면시료로 정도관리를 수행하고 있다. 이에 국내에서도 공기 중 석면분석의 정도관리를 위한 공기 중 석면 시료의 국내 제작 필요성이 요구되는 시점이라 하겠다.

이에, 본 연구진은 그동안 개발된 연구결과를 지난 호에 ‘석면분석 정도관리용 표준시료 개발연구 I’에서 석면분석 정도관리용 표준시료제조장치 개발 및 시료제조방법을 확립하는 내용을 발표하였으며(이광용 등, 2009), 이번 논문에서는 지난 호에 발표된 석면분석 정도관리용 표준시료 제조 방법으로 amosite 시료와 chrysotile 시료를 조제하여 정도관리용 표준시료로서의 적합성 여부에 대한 평가한 결과를 제시하고자 한다.

II. 연구대상

1. 석면분석 정도관리용 표준시료(여과지 시료)의 전처리 및 계수

시료는 아세톤 증기와 트리아세틴 용액으로 전처리하였으며, NIOSH Method 7400의 “A” 규정(counting rules A)에 따라 계수하였다(NIOSH, 1994).

2. 정도관리용 표준시료 평가방법

습식제조 방법으로 제조된 석면분석 정도관리용 표준시료의 평가는 연구책임자가 예비분석 및 본 분석을 실시하여 동일하게 제조된 여과지 시료의 균질성 여부를 확인한 후, 4명의 석면분석자가 분석 하였다. 석면분석자는 동일하게 제조된 시료의 적정성, 문제점, 개선사항, 동일 시료 간의 변이, 분석자 간의 변이, 장비에서의 변이 및 시료의 균질성 등을 평가하였다.

1) 석면분석자 선정

제조된 석면분석 정도관리용 표준시료를 실제로 분석하고 그 결과를 평가하여 신뢰성을 확보하는데 매우 중요한 요소로는 석면분석자의 역할을 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 크게 두 가지의 조건을 가지고 4명의 석면분석자를 선정하였다.

석면분석자의 조건은 “첫째 위상차현미경을 이용하여 5년 이상의 석면분석 경험을 가지고 있어야 하며, 둘째 국제 정도관리에 지속적으로 참여한 경험을 가지고 있어야 한다.”는 조건이다. 이 두 가지 조건이 석면분석자의 분석능력을 직접적으로 평가하기는 어렵지만 가능한 한 분석자 내의 변이보다는 제조된 석면시료의 균질성을 평가하고자하는

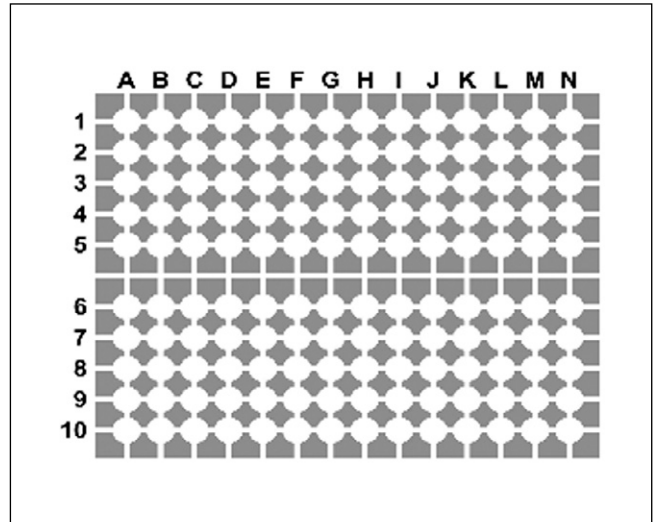


Fig 1. Relocatable fields slide.

측면에서 필요한 조건이었다.

2) 제조된 표준시료(여과지 시료) 분석

본 연구를 수행하기 위하여 석면분석자는 각각 무작위로 선정된 amosite와 chrysotile이 함유된 45개(9개 농도수준 x 5개/농도수준=45개 시료)의 시료를 각각 분석하였다.

3) Chrysotile 정도관리용 표준시료의 균질성 평가

Chrysotile 정도관리용 표준시료에 대한 분석 및 평가 방법에 여러 가지의 오차요인(석면섬유의 불균일한 분포성, 시료 전처리에 따른 차이, 위상차현미경의 차이, 슬라이드 상의 다른 시야의 계수로 인한 차이, 분석자 간 차이)들을 모두 포함하고 있다. 따라서 실제로 위상차현미경을 이용한 석면분석의 분석변이계수에 어떤 항목이 큰 영향을 주는지는 파악하기 힘들다. 석면분석에 영향을 미치는 다른 오차 요인을 모두 제거하고 석면분석 정도관리용 표준시료로 제조한 여과지 시료의 여과지 상에 석면섬유가 균질하게 분포되었는지 평가하기 위하여 석면분석자들이 동일한 여과지의 동일한 시야를 위상차현미경으로 분석할 수 있도록 figure 1과 같은 모양이 그려져 있는 relocatable fields slide를 사용하여 평가하였다. Relocatable fields slide의 1 시야의 직경은 100 μm 이며 총 140개의 시야로 구성되어 있다. 본 연구에서는 수평(1-5)라인과 수직(A-N)라인의 70 시야를 대상으로 NIOSH Method 7400에 준하여 석면섬유를 계수하였다. 또한 석면 계수 과정에서 위상차현미경에서 발생하는 오차를 최소화하기 위하여 모든 석면분석자가 1개의 현미경을 사용하여 계수하였다. 그러나 이 분석에서는 Walton-Beckett graticule을 사용하지 않아 석면 분석 과정에서 채택하는 기준 중 하나인 5 μm 이상 3:1이상의 aspect ratio의 판단은 각각의 석면분석자가 기존의 경험에 의존하여 판단하도록 하였다.

III. 연구결과

1. Amosite

1) 정도관리용 표준시료 평가

Amosite 시료는 9개 농도수준(농도범위 : 100 ~ 680 개/mm²)을 제조하여 4명의 분석자가 각각 5개의 시료를 분석하여 평가한 결과는 Table 1과 같다.

저농도 수준(100 ~ 170 개/mm²)에서 평가한 결과, 변이계수 평균은 100 개/mm² 농도수준에서 9.4 %, 150 개/mm² 농도수준에서 9.1 %, 170 개/mm² 농도수준에서 13.7 %로 평가되었다.

중간농도 수준(230 ~ 290 개/mm²)에서의 변이계수 평균은 230 개/mm² 수준에서 10.9 % 250 개/mm² 수준에서 12.3 %, 그리고 290 개/mm² 수준에서는 12.0 %로 평가되었다.

고농도 수준(440 ~ 690 개/mm²)에서의 변이계수 평균은 440 개/mm² 수준에서 8.4 %, 450 개/mm² 수준은 13.8 %, 그리고 690 개/mm² 수준에서는 10.9 %로 평가되었다.

2) 시료의 균질성 평가

Amosite 정도관리 표준시료의 농도별, 분석자별 변이계수를 이용하여 이원분산분석을 한 결과, 석면섬유 농도수준에 따른 변이계수는 유의한 차이가 없었으나(p=0.81), 각 분석자간의 차이는 유의하게 나타났다(p=0.0006), 이때 농도수준과 분석자간의 교호작용은 없는 것으로 평가되었다(p=0.18). 석

면섬유 농도수준에 따라 변이계수의 차이가 없다는 것은 시료의 제조와 분석 전 과정에 걸쳐 석면섬유 농도수준에 무관하게 변이계수가 큰 차이가 없고 시료의 제조 과정에서 시료의 균질성이 확보되었다는 의미이다. Figure 2는 각 농도수준의 통합변이계수를 보여주고 있다. 모든 석면섬유 농도에서 분석결과 통합변이계수가 20 % 미만이었다. 즉, 석면분석자간의 차이가 존재함에도 불구하고 통합변이계수가 NIOSH

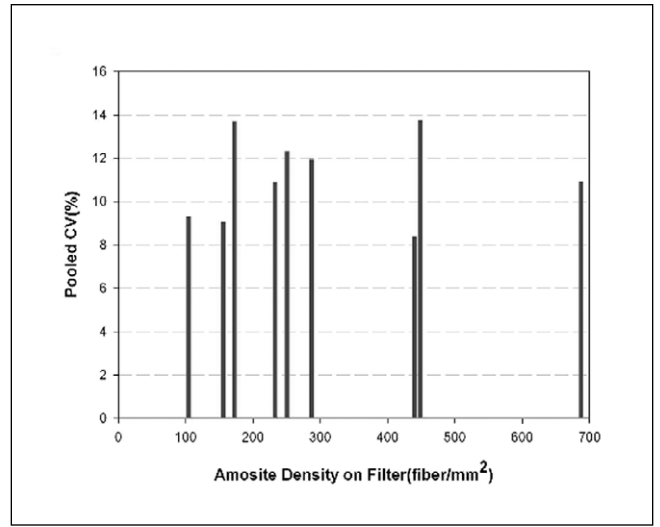


Fig 2. Pooled CV distribution of analytical results for amosite fiber density on filters.

Table 1. Analytical results of amosite quality control samples of different concentration levels

Counte	No. of sample	samples, fiber/mm ²									
		Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7	Level 8	Level 9	
Counter A	Mean	104.6	104.6	172.2	232.6	250.8	286.9	440.5	448.7	687.5	
	(Range)	5 (94.3-116.6)	5 (94.3-116.6)	5 (168.2-177.7)	5 (225.5-236.3)	5 (215.3-256.7)	5 (272.0-299.4)	5 (421.0-465.0)	5 (448.7-470.1)	5 (670.1-716.6)	
	CV	7.8	7.8	3.4	3.2	9.7	3.7	3.9	6.1	2.8	
Counter B	Mean	114.5	114.5	155.0	274.1	270.7	306.2	392.9	444.1	635.9	
	(Range)	5 (110.2-121.0)	5 (110.2-121.0)	5 (138.2-183.4)	5 (263.1-290.4)	5 (226.8-314.0)	5 (276.4-326.8)	5 (370.1-407.6)	5 (429.9-452.2)	5 (566.2-706.4)	
	CV	6.9	6.9	11.7	4.5	12.6	7.4	4.9	2.6	8.0	
Counter C	Mean	81.8	81.8	147.6	239.0	210.1	256.0	327.6	442.2	605.6	
	(Range)	5 (73.9-102.5)	5 (73.9-102.5)	5 (118.5-188.6)	5 (225.5-260.5)	5 (198.3-266.1)	5 (222.3-337.9)	5 (324.2-353.2)	5 (367.0-535.5)	5 (581.3-690.4)	
	CV	14.4	14.4	24.0	8.6	17.4	20.7	9.5	21.3	10.7	
Counter D	Mean	84.5	84.5	133.9	184.5	237.4	250.5	373.5	369.3	494.4	
	(Range)	5 (76.7-94.3)	5 (76.7-94.3)	5 (124.2-145.7)	5 (131.2-247.3)	5 (212.0-268.6)	5 (207.0-285.4)	5 (289.2-423.6)	5 (316.9-433.1)	5 (365.2-613.6)	
	CV	8.5	8.5	8.3	23.9	9.1	12.0	14.3	17.1	20.6	
Pooled											
	CV(%)	20	9.3	9.3	13.7	10.9	12.3	12.0	8.4	13.8	10.9

Table 2. Analytical proficient test results of amosite quality control samples

Sample	No. of samples	Reference Value	SD	CV(%)	Range	Outliers
Level 1	20	95.7	16.2	8.5	46.9-162.7	0
Level 2	20	164.1	18.2	5.5	80.4-279.0	0
Level 3	20	151.3	24.1	8.0	74.1-257.2	0
Level 4	20	230.7	42.0	9.2	113.1- 392.2	0
Level 5	20	241.0	35.7	7.4	118.1- 409.7	0
Level 6	20	273.6	38.5	7.1	134.1- 465.1	0
Level 7	20	381.9	51.9	6.8	187.1-649.2	0
Level 8	20	423.7	64.9	7.7	207.6- 720.3	0
Level 9	20	601.9	99.1	8.3	294.9-1023.3	0

- AIHA PAT program(2000년-2007년, 51개 농도) 변이계수 : 17.9(6.9 ~ 20.0) %

에서 제시하고 있는 균질성의 인정기준인 20%를 넘지 않는다는 점은 본 연구에서 제시하고 있는 시료조제방법이 시료 균질성 측면에서 입증되었다고 판단된다(Ortiz 등, 1975).

3) AIHA PAT 프로그램 통계방법을 이용한 정도관리용 표준시료 평가

석면분석자 4명이 동일하게 제조된 정도관리용 표준시료를 분석한 데이터에 대하여 공기 중 국제정도관리 프로그램인 미국 AHIA IHPAT 프로그램과 동일한 통계처리 방법으로 평가한 결과는 Table 2와 같다. 모든 농도수준의 시료가 적합 범위를 벗어나지 않았으며, 각 농도수준에서의 변이계수는 5.5 ~ 9.2%로 매우 낮은 변이를 보여주고 있다. 이러한 결과는 분석자의 분석능력뿐만 아니라 모든 농도수준에서 시료의 균질성이 확보되었기 때문인 것으로 평가된다.

2. Chrysotile

1) 정도관리용 표준시료 1차 평가

Chrysotile 시료는 9개 농도수준(농도범위 : 100 ~ 640 개/mm²)을 제조하여 4명의 분석자가 각각 5개의 시료를 분석하여 평가한 결과 Table 3과 같다.

저농도 수준(100 ~ 200 개/mm²)에서 평가한 결과, 변이계수평균은 100 개/mm² 농도수준에서 14.9%, 130 개/mm² 농도수준은 14.3%, 그리고 200 개/mm² 농도수준은 9.5%로 나타났다.

중간농도 수준(230 ~ 320 개/mm²)에서의 변이계수평균은 230 개/mm² 수준에서 7.0%, 290 개/mm² 수준에서 8.9%, 그리고 320 개/mm² 수준에서 8.6%로 평가되었다.

고농도 수준(430 ~ 640 개/mm²)의 경우 변이계수평균은 430 개/mm² 수준이 11.0%, 450 개/mm² 수준이 10.0%, 그리고 640 개/mm² 수준은 8.4%로 평가되었다.

mm² 수준은 8.4%로 평가되었다.

2) 시료의 균질성 평가

Chrysotile 정도관리 표준시료의 농도별, 분석자별 변이계수를 이용하여 이원분산분석을 한 결과, 석면섬유 농도수준에 따른 변이계수는 유의한 차이가 없었으나(p=0.21) 각 분석자 간의 차이는 유의하게 나타났다(p=0.014). 또한 농도수준과 분석자 간의 교호작용은 없는 것으로 나타났다(p=0.85). 이러한 결과는 앞서 제시한 amosite와 동일한 결과를 보여주었다.

Figure 3은 각 농도수준의 통합변이계수를 보여주고 있다. 모든 석면섬유 농도에 상관없이 분석결과 변이계수가 모두 20% 미만이었지만 저농도 수준에서는 중간농도와 고농도 수준에 비해 통합표준편차가 다소 높았는데 이는 chrysotile의 분석에서 있어서 저농도 수준에 대한 표준시료의 분석 시 오차가 다소 크게 나타날 수 있음을 의미하는 것이다. 특히, 이번 연구에서는 분석에 참여한 D 분석자가 속한 기관에서 보유하고 있는 위상차현미경의 해상도가 현저히 떨어져 상대적으로 매우 낮게 분석되었다. 위상차현미경의 해상도는 amosite 분석에서 보다 chrysotile 분석에서 영향을 더 미치고 있음을 알 수 있다.

3) 정도관리용 표준시료 1차 시료 제조상의 문제점

1차 chrysotile 석면분석 정도관리용 표준시료에서 제조상의 문제점이 발생되었다. MCE 여과지 표면에 많은 양의 석면섬유가 묻혀져 있는 섬유덩어리가 여러 시료에서 발생하고 있어 통계적으로 균질성이 확보되었다 하더라도 제조상의 문제점을 보완하여 다시 제조할 필요가 있었다(Figure 4).

4) 정도관리용 표준시료 2차 시료 제조 및 평가

Chrysotile 석면분석 정도관리용 표준시료의 2차 평가에는

Table 3. Analytical results of the first chrysotile quality control samples of different concentration levels

Counter		No. of sample	samples, fiber/mm ²								
			Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7	Level 8	Level 9
Counter A	Mean	5	96.9	125.6	203.6	235.3	290.4	321.0	427.5	446.6	640.0
	(Range)		(80.9-108.3)	(106.4-148.4)	(177.4-221.1)	(218.4-245.7)	(285.4-295.5)	(299.4-358.0)	(393.6-461.1)	(389.7-513.8)	(550.3-701.9)
	CV	5	10.5	11.9	8.4	5.4	1.6	7.4	7.1	10.0	9.4
Counter B	Mean	5	83.3	97.0	126.0	212.6	183.6	187.1	272.7	282.2	473.6
	(Range)		(70.7-100.6)	(81.5-118.5)	(121.0-128.0)	(196.2-229.9)	(155.4-207.6)	(180.3-202.5)	(249.7-287.9)	(249.7-317.8)	(444.6-503.8)
	CV	5	14.6	16.2	2.3	5.9	12.3	4.7	5.4	9.1	5.9
Counter C	Mean	5	74.6	71.3	148.1	164.9	152.0	181.3	275.3	208.2	437.6
	(Range)		(64.3-91.0)	(60.5-78.3)	(121.0-165.1)	(150.0-173.9)	(141.5-171.3)	(155.5-197.3)	(228.9-317.8)	(199.4-226.8)	(412.3-473.5)
	CV	5	14.3	9.4	11.1	5.6	8.0	9.6	13.2	5.2	5.5
Counter D	Mean	5	26.4	44.7	76.2	69.0	123.8	94.0	160.4	165.4	237.0
	(Range)		(19.1-31.2)	(40.8-51.1)	(65.6-96.8)	(62.4-82.8)	(91.1-143.3)	(82.8-119.1)	(120.1-220.2)	(141.7-180.2)	(208.1-252.2)
	CV	5	16.9	9.0	16.9	12.0	17.4	16.0	24.2	9.3	8.7
Pooled											
CV(%)			14.9	14.3	9.5	7.0	8.9	8.6	11.0	10.0	8.4

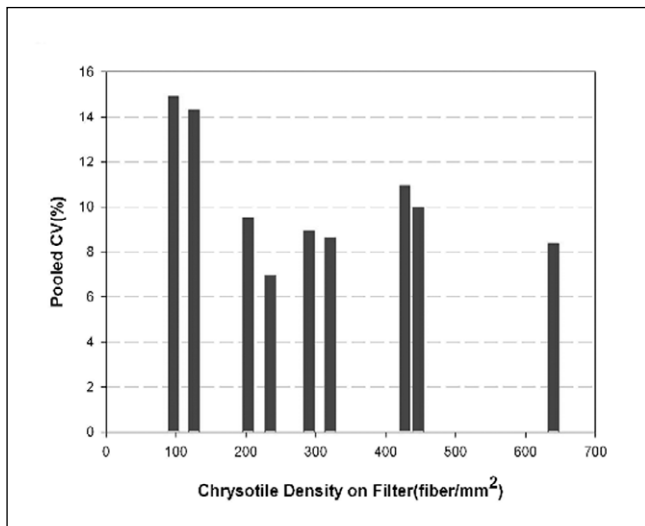


Fig 3. Pooled CV distribution of analytical results for chrysotile fiber density on filters.

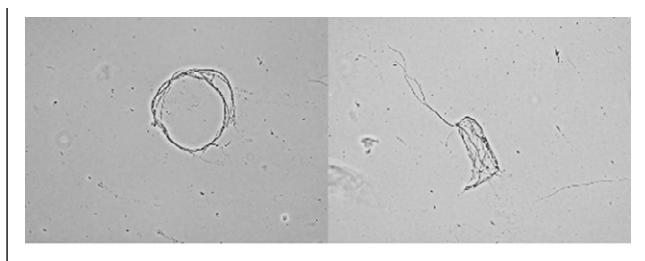


Fig 4. The fiber clumping of chrysotile standard sample.

1차 평가에서 시료 제조상의 문제점으로 확인된 석면섬유의 뭉침 현상을 제거하고 석면섬유가 MCE 여과지 표면에 균일하게 분포되도록 하여 시료를 제조하였다. 시료는 round roving 방법으로 평가하였으며 평가결과는 Table 4와 같다.

Chrysotile 석면섬유 농도 140 개/mm²의 시료를 평가한 결과, A 분석자의 석면섬유 농도는 144.45 개/mm², B 분석자 166.9 개/mm², C 분석자 130.3 개/mm² 그리고 D 분석자 113.8 개/mm²이었으며, 각각의 변이계수는 A 분석자 10.1 %, B 분석자 13.7 %, C 분석자 4.4 %, D 분석자 23.5 %로 변이계수의 평균은 12.9 %이었다.

400개/mm²에 대한 분석결과 A 분석자의 석면섬유 농도는 423.4 개/mm², B 분석자 459.1 개/mm², C 분석자 367.2 개/mm² 그리고 D 분석자 307.6 개/mm²이었으며, 각각의 변이계수는 A 분석자 11.5%, B 분석자 6.0 %, C 분석자 11.1 %, D 분석자 13.9%로 변이계수의 평균은 10.6 %이었다.

Chrysotile 석면분석 정도관리용 표준시료에서 통합변이계수는 13.07 %와 9.75 %로 시료가 균일하게 제조되었다고 할 수 있다.

5) AIHA PAT 프로그램 통계방법을 이용한 표준시료 분석 결과 평가

AIHA PAT 프로그램에서 사용하는 통계처리 방법으로 chrysotile 1차 정도관리용 표준시료 분석 데이터에 대하여 평가한 결과는 Table 5와 같다. 석면섬유 저농도 수준에서의 변

Table 4. Analytical results of the second chrysotile quality control samples of different concentration levels

Sample	Counters, fibers/mm ²							
	Low Level				High Level			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	130.6	128.0	126.1	121.0	431.0	482.2	389.2	243.6
2	164.8	180.9	128.7	103.8	356.7	464.3	327.6	331.2
3	149.9	168.2	137.7	156.1	492.6	470.1	426.1	347.1
4	146.5	171.3	134.7	101.9	411.9	467.5	334.6	285.0
5	130.2	186.0	124.2	86.0	424.6	411.5	358.5	331.2
Mean	144.4	166.9	130.3	113.8	423.4	459.1	367.2	307.6
SD	14.5	22.9	5.7	26.7	48.5	27.5	40.8	42.7
CV(%)	10.1	13.7	4.4	23.5	11.5	6.0	11.1	13.9
AVG. CV(%)	12.9				10.6			
Pooled standard deviation	19.23				40.60			
Pooled CV(%)	13.07				9.75			

Table 5. Analytical proficient test results of the first chrysotile quality control samples

Level	No. of samples	Reference Value	SD	CV(%)	Range	Outliers
Low	20	66.8	30.3	23.7	32.7-113.5	0
	20	81.6	21.5	19.8	40.0-138.7	0
	20	134.2	47.8	18.3	65.8-228.2	0
Medium	20	162.9	69.7	22.2	79.8-276.9	0
	20	182.1	62.5	17.5	89.2-309.6	0
	20	187.0	80.3	22.3	91.6-318.0	0
High	20	275.0	99.5	18.5	134.8-467.5	0
	20	265.4	103.4	20.1	130.1-451.3	0
	20	434.0	151.2	17.8	212.6-737.8	0

AIHA PAT Program
 1. RSD(1992년-1998년) : 17.3 ~ 39.9 %

Table 6. Analytical proficient test results of the second chrysotile quality control samples.

Level	No. of samples	Reference Value	SD	CV(%)	Range	Outliers
Low	20	137.6	26.7	9.8	67.4-233.9	0
High	20	386.2	70.5	9.2	189.3-656.6	0

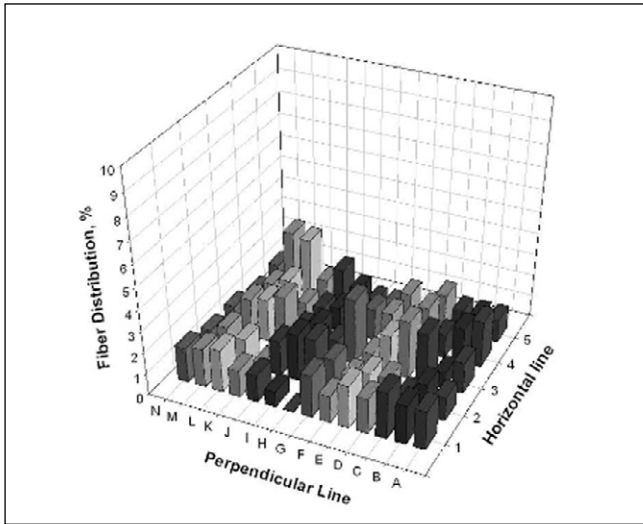


Fig 5. The chrysotile fiber distribution by the counter A.

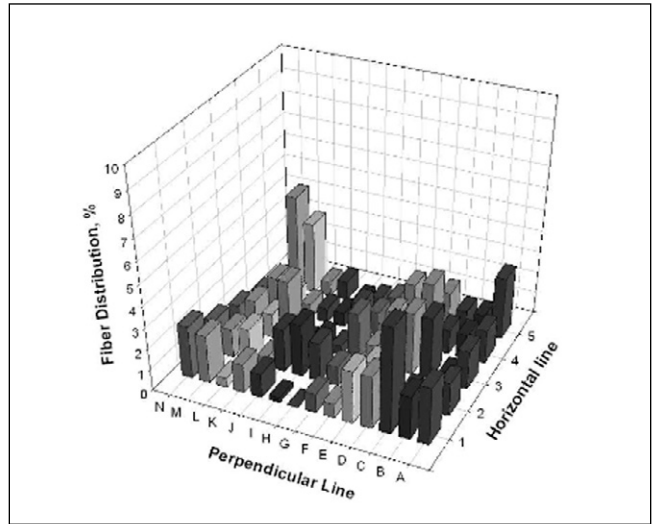


Fig 6. The chrysotile fiber distribution by the counter B.

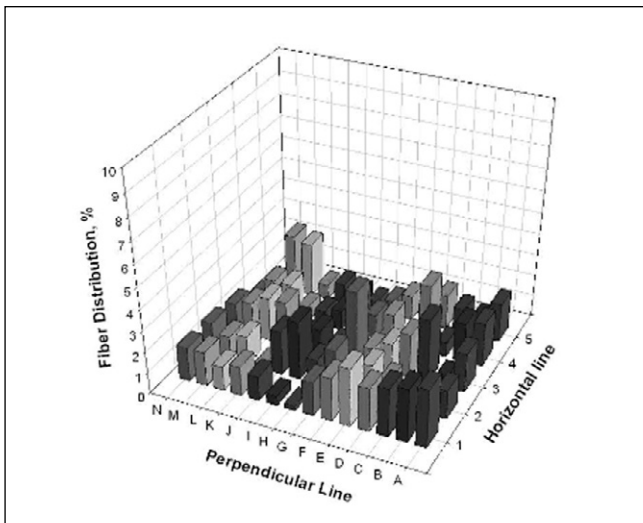


Fig 7. The chrysotile fiber distribution by the counter C.

이계수는 18.3 ~ 23.7 %, 중간농도 17.5 ~ 22.3 % 그리고 고농도 수준에서 17.8 ~ 20.1 %이었다. 9개 농도수준의 정도관리용 표준시료 분석 결과 4개 농도수준 시료의 변이계수가 20 %를 초과하였다. 이러한 결과는 시료제조 상의 문제점(묻침 현상)과 분석자 간의 변이 그리고 위상차현미경의 문제점 등의 영향으로 판단된다.

Chrysotile 2차 석면분석 정도관리용 표준시료의 분석에서는 1차 시료에서 발생한 문제점을 보완하여 round roving 방법으로 4명의 석면분석자가 분석한 데이터에 대하여 통계처리한 결과는 Table 6과 같다. 평가대상 시료 중 적합범위를 벗어나는 시료는 없었으며, 석면섬유 저농도 수준의 변이계수는 9.8 %, 고농도 수준은 9.2 %이었다. 따라서 석면섬유 저농도

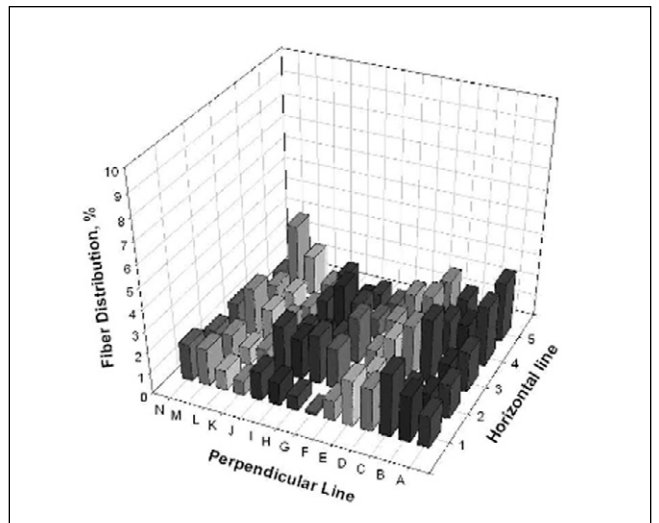


Fig 8. The chrysotile fiber distribution by the counter D.

와 고농도의 변이계수가 일정한 것으로 보아 석면분석 정도관리용 표준시료의 균질성이 확보되었다고 판단할 수 있다.

6) Chrysotile 정도관리용 표준시료의 균질성 평가

Chrysotile 정도관리용 표준시료의 균질성 평가에서는 석면 분석 시 사용하는 Walton-Beckett graticule을 사용하지 않아 석면섬유 크기 측정과정에서 다소 임의적일 수 있으나 이러한 문제점은 석면분석자의 오랜 분석경험으로 보완하고자 하였다. 또한 본 평가방법에서의 주요 초점은 석면분석자 간의 차이가 아니라 석면섬유가 여과지 상에 골고루 분포되는지를 보기 위한 것이므로 각 분석자 간의 차이보다는 여과지 상 석면분포의 균질성을 확인하고자 함이었다. Relocatable fields slide 70 시야를 계수한 결과 figure 5, 6, 7, 8과 같다.

석면분석자 A는 279.0 개/mm²의 석면섬유를 계수하였으며 석면섬유 평균 분포율은 1.4 % (0.0 ~ 3.0 %), 수평 1.4 % (1.3 ~ 1.7%), 수직 1.4% (1.0 ~ 1.9%)로 매우 일정하게 섬유가 분포하고 있는 것을 알 수 있으며(Figure 5), 이원분산분석 방법으로 통계처리 한 결과 수평(p=0.20)과 수직(p=0.36)에 따른 석면섬유의 차이는 유의하지 않았다.

석면분석자 B는 222.5 개/mm²의 석면섬유를 계수하였으며 석면섬유 평균 분포율은 1.4 % (0.0 ~ 4.9 %), 수평 1.4 % (1.2 ~ 1.7 %), 수직 1.4 % (0.9 ~ 2.2 %)로 이었으며(그림 6), 이원분산분석 결과 수평(p=0.61)과 수직(p=0.13)에 따른 석면섬유의 차이는 유의하지 않았다. 석면분석자 C와 D역시 A와 B 처럼 수평과 수직에 따른 석면섬유의 차이는 유의하지 않았다.

전체 석면분석자가 relocatable fields slide의 70 시야에서 분석한 석면섬유의 평균 분포율은 1.4 % (0.0 ~ 4.9 %), 수평에서 석면섬유 분포율은 1.2 ~ 1.7 %, 수직은 0.8 ~ 2.2 %로 석면 분석자 개인 간의 오차 요인과는 무관하게 실제로 각 분석 필드에 존재하는 석면섬유가 행과 열 간의 유의한 차이가 없으므로 chrysotile 석면분석 정도관리용 표준시료로 제조된 여과지 시료 상에 석면섬유가 뭉침 현상 없이 균질하게 분포되어 있다고 결론내릴 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 습식제조 방법을 이용하여 amosite와 chrysotile 석면분석 정도관리용 표준시료를 자체기술로 제조한 후, 석면분석자의 분석을 통해 표준시료로서의 적합성 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. Amosite 정도관리용 표준시료의 석면농도 분석결과에 대한 통합변이계수는 석면섬유 농도수준이 저농도에서 9.9 %, 9.4 %, 14.1 %, 중간농도 13.0 %, 12.7 %, 12.6 %, 그리고 고농도 8.8 %, 14.0 %, 12.4 %로 모든 섬유농도에 상관없이 분석결과와의 통합변이계수가 20 % 미만으로 평가되어 NIOSH에서 제시하고 있는 시료균질성의 인정기준에 부합하였다.

나. Amosite 정도관리용 표준시료의 제조와 분석 전 과정에 걸쳐 각각의 석면섬유 농도수준에 무관하게 변이계수가 큰 차이가 없다. 이는 시료의 제조 과정에서 균질성이 확보됨을 담보하고 있으며 석면분석자 개인 간의 변이계수는 차이가 유의하게 나는 것으로 보아 분석자 간에는 분석 결과의 차이가 있음을 알 수 있다.

라. Amosite 석면표준시료 분석결과를 AIHA PAT 프로그램 통계처리 방법으로 평가한 결과 모든 시료가 적합범위를 벗어나지 않았으며, 9개 농도수준에서의 변이계수 범위는 5.5

~ 9.2%이었다.

마. Chrysotile 석면표준시료의 통합변이계수는 저농도 수준의 시료에서 14.3 %, 12.0 %, 11.0 %, 중간농도 7.7 %, 11.4 %, 10.3 % 그리고 고농도에서는 14.5 %, 8.6 %, 7.6%로 변이계수 간에 유의한 차이는 없었다. 그러나 MCE 필터 표면에 많은 양의 석면섬유가 뭉쳐지는 제조상의 문제점인 “섬유 뭉침 현상”이 발생하였다.

바. 시료제조상의 문제점을 개선하여 2차 chrysotile 시료를 제조하여 평가한 결과, 통합변이계수는 저농도 수준에서 14.7 %, 고농도수준에서 11.0%로 이었으며 ‘섬유 뭉침 현상’은 발생하지 않았다.

사. AIHA PAT 프로그램 통계처리 방법으로 chrysotile 석면 분석 정도관리용 표준시료를 평가한 결과 모든 시료가 적합 범위를 벗어나지 않았으며, 전체 석면분석자가 relocatable fields slide의 70 시야에서 분석한 석면섬유의 평균 분포율을 분석한 결과에서도 시료가 여과지 표면에 골고루 분포되었다는 사실을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

1. 이광용, 이종한, 정시정, 박두용. 석면분석 정도관리용 표준시료 개발연구 I. 한국산업위생학회. 2009;19(2):81-87
2. Niemeier I.C, Gerchman LL. Preparation of asbestos filter samples for reference standard using a wet generation technique. American Industrial Hygiene Association Journal. 1981;42:757-759
3. Ortiz LW, Ettinger HJ, Fairchild CI. Calibration Standard for Counting Asbestos. American Industrial Hygiene Association Journal. 1975;36:104-112
4. Schlecht PC, Shulman SA. Performance of Asbestos fiber counting laboratories in the NIOSH Proficiency Analytical Testing(PAT) Program. American Industrial Hygiene Association Journal. 1986;47(5):259-269
5. Schlecht PC, Shulman SA. Phase contrast microscopy asbestos fiber counting performance in the Proficiency Analytical Testing Program. American Industrial Hygiene Association Journal. 1995;56:480-489
6. Pang TWS, Dicker WL, Nazer MA. An evaluation of the precision and accuracy of the direct transfer method for the analysis of asbestos fibers with comparison to the NIOSH method. American Industrial Hygiene Association Journal. 1984;45(5):329-335
7. Taylor DG, Baron PA, Shulman SA, Carter JW. Identification and

- counting of asbestos fibers. American Industrial Hygiene Association Journal. 1984;45(2):84-88
8. Baron PA, and Deye GJ. Generation of replicate asbestos aerosol samples for quality assurance. Applied Industrial Hygiene. 1994;2(3):114-118
9. Skogstad A, Eduard W, Huser PO. A laboratory method for generation of replicate fiber samples of asbestos fibers in air. American Industrial Hygiene Association Journal. 1996;57:741-745
10. Timbrell V, Rendall REG. Preparation of the UICC Standard Reference samples of asbestos. Powder Technology 1971-1972;5:279-287
11. Timbrell V, Skidmore JW, Hyett AW, Wagner JC. Exposure chambers for inhalation experiments with standard reference samples of asbestos of the International Union Against Cancer(UICC). Aerosol Science. 1970;Vol 1:215-223
12. National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Method. 4th ed. NIOSH;1994.