

위상차 현미경법을 이용한 공기중 석면농도 분석에서의 정도관리

서울대학교 보건대학원

강보영 · 신용철 · 백남원

—Abstract—

Quality Control of Asbestos Fiber Counting for Airborne Samples Using Phase Contrast Microscopy

Bo Young Kang, Yong Chul Shin, Nam Won Paik

School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

This study was conducted to evaluate the accuracy and the precision of asbestos counting data produced by the Division of Industrial Health, School of Public Health, Seoul National University (SNU). The study was performed from July 18 to October 4, 1991, and the results are summarized as follows.

1. Intracounter Relative Standard Deviations (Sr) in the category of 5–50.5 fibers as total fibers counted ranged from 0.27 to 0.37, which were greater than 0.10–0.17 which were reported by the NIOSH. The reasons are supposed to be as follows.

First, inexperience of counters in asbestos fiber counting was considered to be a main reason. Second, poor quality of samples due to sampling and mounting error increased variation of counting. Third, fiber density of many samples were less than 100 fibers/mm².

But Intracounter Relative Standard Deviations (Sr) in samples with >50.5 fibers ranged from 0.16 to 0.20, approaching the value of NIOSH.

2. Intralaboratory Relative Standard Deviations (Sr) in categories of 5–20.5, >20.5–50.5 and >50.5 fibers were 0.54, 0.37 and 0.26, respectively. Intralaboratory Sr in samples with fiber density greater than 100 fibers/mm² was 0.26. This was similar to the values reported by other foreign experienced laboratories.

3. Comparing results of three counters, Counter C, a beginner, overestimated asbestos fiber concentrations.

4. Since our SNU laboratory has participated in two quality control programs, IOM-A.F.R.I.C.A., U.K. and NIOSH PAT Program, U.S.A., this laboratory has been evaluated as "Rating 1" and "Proficient" laboratory, by IOM and NIOSH, respectively.

Key words : Asbestos, quality control.

I. 서 론

최근 원진 레이온의 이황화탄소(CS_2) 중독사건 등 직업병이 사회적인 문제로 대두되면서 산업위생 연구기관의 작업환경 측정결과에 대한 신뢰성이 광범위하게 논란이 되고 있다. 이것은 노동부가 산업위생 연구기관을 '작업환경측정 대행기관'으로 지정할 때 그 연구기관의 경력 및 측정결과와 정확성과 정밀성에 근거를 두기보다 그 연구기관이 보유하고 있는 시설 및 장비와 인력 사항에 근거하여 결정하기 때문이다.

따라서 산업위생 연구기관의 측정결과에 대한 신뢰성을 보증하고 나아가 각 연구기관의 측정 및 분석 능력을 향상시킬 수 있는 제도의 필요성이 무엇보다 절실하게 요구되고 있다. 외국에서는 오래 전부터 정도관리제도(quality control program)를 실시하여 각 연구기관에서 실시하는 측정결과와 정확성과 정밀성을 평가 개선하고 있다. 그러므로 국내의 연구기관도 측정결과와 신뢰성을 보증하기 위하여 실험실간의 정도관리제도(Interlaboratory Quality Control Program)와 실험실 자체내의 정도관리(Internal Quality Control)를 실시해야 한다.

국내에서는 1983년부터 국립환경연구원에서 수질, 대기, 자동차 및 폐기물 분야의 자가측정대행기관에 대해 정도관리를 실시하고 있으나 산업위생 연구기관의 경우 아직 정도관리제도가 실시되고 있지 않는 실정이다. 그러나 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실은 1989년 부터 국제적인 권위를 가진 석면의 실험실간 정도관리제도인 영국의 산업의학연구소(Institute of Occupational Medicine, IOM)가 주관하는 A.F.R.I.C.A.(Asbestos Fiber Regular Informal Counting Arrangement)와 미국산업위생협회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)와 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 실시하는 PAT(Proficiency Analytical Testing) 제도에 가입하여 석면, 중금속 및 유기용제 등의 분석에 대한 정도관리를 실시하고 있다. 본 논문에서는 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실의 석면 분석(co-

unting) 능력을 평가하기 위하여 실험실 자체내와 실험실간의 정도관리를 실시하여 석면 분석의 변이를 측정하였다.

석면은 그 형태가 섬유이므로 석면의 분석은 위상차 현미경을 통해 육안으로 석면수를 측정하고 있어 측정 오차가 주로 측정자의 경험이나 숙련도 등 주관적인 요인에 의해 발생한다(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989; 백남원, 1991). 그러므로 석면 분석 결과는 다른 물질 분석에 비해 변이가 크며 통계적으로도 다른 특징을 갖는다(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989). 따라서 석면 분석 결과는 석면 분석 과정에서 발생하는 변이를 평가하는 것이 중요하다. 이를 위해서 각 실험실에 정도관리위원(Quality Control Coordinator)(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989)이 있어 정도관리 시료를 선택하여 각 측정자에게 나누어 주고 그 측정치를 검토하여 석면 측정치의 변이를 측정하고 감소시키도록 해야 한다.

본 논문의 목적은 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실의 석면 분석능력에 대해 정도관리를 실시하여 석면 분석 과정에서 발생하는 변이를 측정하고, 이를 개선하여 석면 분석 능력을 향상시키는데 있다. 이를 위해서 본 논문에서는 석면 분석의 변이의 구성 성분인 측정자 개인에서의 변이(Intracounter Sr), 동일 실험실내 측정자간 변이(Intralaboratory Sr) 및 실험실간 변이(Interlaboratory Sr)를 측정하였다.

따라서 본 논문은 석면 분석의 정도관리에 대한 정보가 부족한 다른 연구실에서 적절한 정도관리 계획을 세우는 데 도움이 될 수 있는 유용한 자료가 될 것으로 기대한다.

II. 대상 및 방법

1. 대 상

본 논문에서는 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실의 석면 분석 능력을 평가하였다. 석면 분석의 변이 정도를 나타내는 지표로서는 상대표준편차(Relative Standard Deviation, RSD)의 추정치(Sr)(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989)를 구하였다. 측정자 개인에서의 변이와 동일 실험실내

측정자간 변이는 1991년 7월 18일부터 10월 4일까지 본 연구실에 있는 3명의 측정자(counter)를 대상으로 석면 분석 능력을 측정하였다. 측정자 A와 B는 숙련된 측정자로서 측정 경험이 풍부하나 C는 측정 경험이 2개월 밖에 안된 비숙련 측정자였다.

실험실간 변이는 본 연구실에서 가장 숙련된 측정자 1명의 석면 분석 능력을 대상으로 하였다. 본 연구실에서 가장 숙련된 측정자가 영국 IOM의 제 7, 8 및 9회(round)의 A.F.R.I.C.A. 시료와 미국의 AIHA/NIOSH의 제106회 PAT시료를 각각 1989년, 1991년 7월 이후부터 분석하였다.

2. 방 법

1) 시 료

측정자 개인에서의 변이와 동일 실험실내 측정자간 변이를 구하기 위해서 선택된 정도관리 시료는 총 52개였다. 이중 49개 시료는 1991년 6월 1일 본 연구실로 분석의뢰된 시료로 채취장소가 국내의 석면 방직업, 브레이크 라이닝 제조업 및 슬레이트 제조업 등이었고 나머지 3개 시료는 제 106회 NIOSH PAT 시료로서 NIOSH 실험실에서 인위적으로 만들어진 시료였다.

모든 시료는 미국 국립산업안전보건연구원의 공정시험법인 'NIOSH Method 7400'에 따라 '100 시야(field)당 분석된 석면수'를 기준으로 3개의 밀도범위로 구분하여 각각 시료가 15개 이상이 되도록 선택하였다.

각 밀도범위에서의 시료수는 표 1과 같고, 채취장소별 시료수는 표 2와 같다.

실험실간 변이를 보기 위하여 분석한 정도관리 시료는 다음과 같다. 영국산업의학연구소의 A.F.R.I.C.A. 계획에서는 매 회마다 8개의 시료를 측정하였다. 이들 시료는 '섬유밀도(fiber density)'가 대부분 100-600 fibers/mm²인 현장시료(Ogden 등, 1986)들이다. '섬유밀도'는 여과지 위에 쌓인 석면의 밀도를 나타내는 것으로 '여과지 단위면적당 분석된 석면수'를 말한다.

미국산업위생협회와 국립산업안전보건연구원의 PAT계획에서는 매 회마다 5개의 시료(이중

Table 1. Number of Samples by Category

Category	Fiber Density (fibers/100 fields)	Number of Samples
I	5-20	16
II	>20-50	17
III	>50	19
Total		52

Table 2. Number of Samples by Source

Source	Number of Samples
Brake Lining	22
Textile	14
Slate	5
Gasket	5
PAT Sample	3
Unknown	3
Total	52

하나의 공시료임)를 측정하였다. 이들 시료는 주로 실험실에서 인위적으로 만든 '섬유밀도'가 100-1300 fibers/mm²인 시료로 현장시료와는 차이가 있다(Schlecht and Schulman, 1986; NIOSH, 1989; Abell 등, 1989). 제 106회 PAT 시료의 석면 종류는 갈석면(amosite)이었다.

2) 측정방법

49개의 현장시료와 PAT 시료 및 A.F.R.I.C.A. 시료는 37mm 또는 25mm cellulose ester membrane 여과지에 채취되었으며 acetone/triacetin법으로 전처리 되었다.

정도관리 시료들을 Walton-Beckett graticule (계수면적, 0.00785mm²)이 삽입된 위상차 현미경(phase contrast microscopy)으로 400 배의 배율에서 'NIOSH Method 7400'의 'A 법칙'에 따라 측정하였다. 'NIOSH Method 7400'의 'A 법칙'은 길이가 5μm보다 길고, 길이와 폭이 비(aspect ratio)가 3:1 이상이고, 직경이 0.25μm이상인 섬유만을 측정하는 방법으로 100시야까지 계수한다. 이때 100시야 이하에서 섬유가 100개이상 측정될 때는 섬유를 100개까지 측정하나 최소한 20 시야는 측정하여야 한다.

3) 측정치의 변이 계산법 : 미국 NIOSH 법

미국 국립산업안전보건연구원의 공정시험법인 'NIOSH Method 7400'에 따라 측정자 개인에서의 변이와 동일 실험실내 측정자간 변이 그리고 실험실간 변이를 구하였다(Ogden, 1982; NIOSH, 1989; Abell 등, 1989). 변이의 정도를 나타내는 지표로서는 상대표준편차(Relative Standard Deviation, RSD)의 추정치(S_r)(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989)를 구하였다. 이 값은 표준편차를 평균으로 나눈 값이다.

한 실험실의 석면 분석 능력을 평가하기 위하여 구하는 3가지 변이의 의미와 계산방법은 다음과 같다.

(1) 측정자 개인에서의 변이(Intracounter S_r)

측정자 개인에서의 변이는 동일한 측정자가 같은 시료를 다른 시간에 2회 측정할 때 생기는 차이로부터 생긴다. 이것은 측정자의 석면 분석 능력을 나타내는 지표로서 시료의 질을 평가하는 데에도 이용된다. 측정자 개인에서의 변이를 구하는 계산식은 다음과 같다.

$$S_r = \frac{S}{X_m}, S = 0.707 |X_1 - X_2|$$

X_1 = 첫번째 측정치 (fibers/mm²)

X_2 = 두번째 측정치 (fibers/mm²)

X_m = X_1 과 X_2 의 평균치 (fibers/mm²)

S = X_1 과 X_2 의 표준편차의 추정치 (fibers/mm²)

각 시료를 '분석한 총 석면수(total fibers counted)'에 따라 5-20.5개, >20.5-50.5개 및 50.5개 이상의 3개 범위로 나누어서 각 범위마다 S_r 의 합동추정치(S_r pooled)를 구한다. 이 합동추정치가 각 범위에서의 측정자 개인에서의 변이이다. 합동추정치를 구하는 계산식은 다음과 같다.

$$S_r(\text{pooled}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_{ri}^2}{n}}$$

n = 합동추정된 S_r 의 갯수

(2) 동일 실험실내 측정자간 변이(Intralaboratory S_r)

동일 실험실내 측정자간의 변이는 동일한 실험실에 있는 측정자들이 동일한 시료를 측정하였을 때 이들 사이에서 발생하는 차이로부터 생기는 것이다. 이것은 동일한 실험실내에 있는 여러 측

정자들의 개인에서의 변이를 계산하는 방법과 동일하다. 그러나 측정자가 3명 이상일 때는 표준편차를 아래의 식으로 구해야 한다.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}$$

x_i = i 번째 측정자의 측정치 (fibers/mm²)

(3) 실험실간 변이(Interlaboratory S_r)

실험실간 변이(Interlaboratory S_r)는 동일한 시료를 여러 실험실에서 측정하였을 때 생기는 실험실간의 변이를 나타낸다. 이것은 서로 다른 실험실간의 분석 능력을 비교하는 지표로서 신뢰구간을 구하는데 이용된다.

실험실간 변이를 계산하는 방법은 다음과 같다. 이때 계산은 포아송(Poisson)변이와 단위를 통일시키기 위하여 '섬유밀도(fibers/mm²)'가 아니라 '분석한 총 석면수'로 한다. 포아송 변이는 여과지 위의 분포와 관련된 시료의 고유변이이다.

$$S_r = S/X_m$$

X_m = 각 시료에 대한 모든 실험실의 측정치의 평균치(total fibers)

S = 각 시료에 대한 모든 실험실의 표준편차의 추정치(total fibers)

실험실간의 변이는 '분석한 총 석면수'의 범위에 따라 시료를 분류하지 않는다. 이것은 시료의 참값 결정을 80개 정도의 표준실험실군에서 하므로 NIOSH에서 이들 기관에 시료를 나누어주기 전에 시료를 미리 측정하여 분류할 수가 없기 때문이다. 따라서 위에서 구한 시료의 실험실간 총 변이에서 시료의 고유변이인 포아송 변이를 빼주어야만 시료의 고유변이가 포함되지 않고 측정자의 석면 분석 능력에 의해서만 발생하는 실험실간 변이(subjective interlaboratory S_r , $S_{r,s}$)를 구할 수 있다.

$$S_{r,s} = \sqrt{S_r^2(\text{total}) - S_r^2(\text{Poisson})} \\ = \sqrt{S_r^2(\text{total}) - S_r^2(1/\text{count})}$$

count = 각 시료의 모든 실험실에서 보고된 측정치(total fibers)의 평균치

각 시료의 $S_{r,s}$ 값들은 모두 합하여 합동추정(pooling)치를 구하게 되는데 계산식은 측정자 개인에서의 변이를 구할 때와 동일하다.

Ogden에 의해 제안된 90% 신뢰구간의 상한치와 하한치를 구하는 식은 다음과 같다. 이 범위는 표준실험실군의 평균측정치들의 90%가 포함되도록 기대되는 범위이다. Ogden에 의하면 UCL과 LCL을 구하는 식은 Sr,s 가 각각 0.67과 0.5이상인 경우는 90%신뢰구간을 벗어나므로 타당하지 않다고 한다(Ogden, 1982; Abell 등, 1989).

$$UCL = \frac{2x + 2.25 + \sqrt{(2.25 + 2x)^2 - 4(1 - 2.25 Sr,s^2)x^2}}{2(1 - 2.25 Sr,s^2)}$$

$$LCL = \frac{2x + 4 - \sqrt{(4 + 2x)^2 - 4(1 - 4 Sr,s^2)x^2}}{2(1 - 4 Sr,s^2)}$$

UCL=상한치

LCL=하한치

Sr,s =주관적인 실험실간 변이

x =각 시료의 '분석된 총 석면수'

PAT제도에서 참가 실험실의 측정치를 평가하는 방법은 다음과 같다. 참가 실험실의 측정치는 분석 능력이 뛰어난 80개 정도의 표준실험실(reference laboratory)의 평균치를 이론치로 하여 비교하며 참가 실험실의 합격 판정여부는 4개의 시료가 모두 표준실험실 평균치의 90% 신뢰구간 내에 있는 경우만 합격 판정을 한다.

4) 실험실 평가기준 : 영국 A.F.R.I.C.A법(Crawford and Cowie, 1984; Ogden 등, 1986)

영국 산업의학연구소에서 주관하는 A.F.R.I.C.A는 이 제도에 참가하는 연구기관에 매년 2회씩 석면시료를 보내어 그 분석결과를 평가하고 있다.

A.F.R.I.C.A는 보통 5-6개의 실험실을 1개의 그룹으로 묶어 동일한 그룹내에서 8개의 정도관

리 시료를 순환(circulation)시킨다.

영국의 A.F.R.I.C.A에서 참여 실험실들의 석면 분석 능력을 평가하는 방법은 미국의 NIOSH법과는 다르다. 각 시료에 대한 정도관리 기준은 각시료의 이론치(reference count)에 대한 각 실험실의 측정치의 비인 표준화값의 범위에 의하여 결정된다. 각 시료의 이론치는 Manchester Asbestos Program(MAP) software를 사용하는 자동 영상 분석 현미경인 Magiscan 2A Image Analyzer를 이용하여 측정한 값이다. A.F.R.I.C.A의 정도 관리 기준은 표 3과 같다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 측정자 개인에서의 변이(Intracounter Sr)

석면의 측정치는 정규분포가 아닌 포아송 분포나 대수정규분포 등을 한다고 알려져 있고 석면 측정의 변이(Sr)는 '분석한 총 석면수'에 따라 반비례 한다고 알려져 있다(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989). 따라서 석면 측정치의 분포에 관련된 시료의 고유변이인 포아송 변이를 제거하기 위해 각 측정자들이 총 52개 시료에 대하여 2회 측정한 결과의 평균치를 '분석한 총 석면수'에 따라 3개의 범위로 분류하였다(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989). 각 범위에서의 측정자 개인에서의 변이는 표 4에 나타나 있다.

표 4에서 보듯이 측정자 개인에서의 변이는 '분석한 총 석면수'가 5-20.5개인 경우는 A가 B와 C보다 작으나, >20.5-50.5개인 경우는 A와 C가 비슷하다. '분석한 총 석면수'가 50.5개를 초과하는 경우 3명의 측정자 모두 다른 범위에서 보다 낮았다.

Table 3. Quality Control Criteria Established by A.F.R.I.C.A.

Range of Valid Ratios ^A	Percentage of Valid Ratios	Rating of the Round	Rating of the Lab. Category ^B
0.70-1.70	>75%	1(satisfactory)	1(satisfactory)
0.55-2.20	>75%	2(satisfactory)	2(satisfactory)
<0.55 or >2.20	>25%	3(unsatisfactory)	3(unsatisfactory)

A: valid ratio=visual counts of each lab./Magiscan counts (reference value).

B: After four rounds of the scheme have been completed, the average percentage in each of the four range ratios is calculated.

Table 4. Intracounter Sr by the Category with Total Fibers Counted

Category with Total Fibers Counted (fibers)	Intracounter Sr by Counter		
	A	B	C
5-20.5	0.27	0.37	0.35
>20.5-50.5	0.29	0.37	0.29
>50.5	0.20	0.18	0.16

측정자 개인에서의 변이를 ‘분석한 총 석면수’의 범위별로 일원분산분석한 결과, 측정자 A와 B에서는 유의한 차이가 없었으나 C는 유의하게 다른 것으로 나타났다($p=0.02$). 따라서 C는 측정자 개인에서의 변이가 ‘분석한 총 석면수’에 의해 유의하게 영향을 받는 것으로 나타났다.

그림 1, 그림 2 및 그림 3은 52개 시료에 대한 측정자 개인에서의 변이를 ‘분석한 총 석면수’에 따라 나타낸 것이다.

그림 1에서 측정자 A는 ‘분석한 총 석면수’가 90개 이상에서는 변이가 일정하게 감소하고 있으며 변이의 폭과 크기도 90개 이하일 때보다 크게 감소함을 볼 수 있다. 그림 2에서 측정자 B는 ‘분석한 총 석면수’가 100개 부근에서 높은 변이를 보이는 값이 있으나 대체로 50개 이상에서는 변이의 폭과 크기가 50개 이하일 때보다 크게 감소함을 볼 수 있다. 그림 3에서 측정자 C는 ‘분석한 총 석면수’가 50개 이상에서는 역시 50개 이하일 때보다 변이의 폭과 크기가 역시 크게 감소함을 볼 수 있다. 따라서 그림 1, 그림 2 및 그림 3에서는 ‘분석한 총 석면수’가 50개 이상일때는 변이가 일정하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 ‘섬유밀도’가 50-60 fibers/mm²이거나 ‘분석한 총 석면수’가 50개 이상인 경우 변이는 섬유밀도나 ‘분석된 총 석면수’와 관계없이 일정하다는 Ogden(Ogden 등, 1986)의 연구와도 상당히 일치하는 결과이다.

Ogden과 Abell(Ogden, 1982; Abell 등, 1989)에 의하면 여과지위의 석면 분포만을 고려하였을 때 최적의 석면 시료에서는 측정자 개인에서의 변이는 이론적으로 0.1이 최소치이나 실제로는 다른 변이요인들이 있어 이보다 증가한다고 한다.

NIOSH에서는 ‘섬유밀도’가 100 fibers/mm²이

거나 ‘분석한 총 석면수’가 80개 이상인 경우 측정자 개인에서의 변이를 0.10-0.17(Baron and Shulman, 1987; NIOSH, 1989)로 보고하고 있다.

3명의 측정자의 측정자 개인에서의 변이를 NIOSH의 값과 비교하여 보면 다음과 같다. 표 4에서 보듯이 50.5개 이하의 범위에서는 3명의 측정자들 모두 NIOSH의 0.17값보다 1.6-2.2배 정도 높았다. 그러나 50.5이상에서는 측정자 C는 0.16으로 NIOSH값의 범위내에 있었고 A와 B는 각각 0.20과 0.18로 NIOSH 값보다는 약간 높았으나 대체로 만족할 만한 수준이었다.

측정자 개인에서의 변이는 여과지 위의 석면 분포와 관련된 시료의 고유변이인 포아슨 변이와 혼련이나 경험, 현미경 조작기술, 육안으로 측정 시 시각의 예민함, 측정시 마음상태 등 측정자의 주관적인 요인에 의해 발생한다(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989). 섬유유형이나 비섬유성 입자의 존재 또한 측정자 개인에서의 변이에 영향을 주는 것으로 알려져 있으나(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989), 본 실험에서 섬유유형과 관련있는 시료 채취 장소는 측정자 개인에서의 변이에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

3명의 측정자들의 변이가 NIOSH의 값보다 높게 나타난 원인과 이에 대한 개선책은 다음과 같이 지적될 수 있다.

첫째, 측정자들의 숙련도 및 경험의 차이로 변이가 증가된 것 같다. 따라서 측정자들의 숙련도를 향상시키기 위하여 영구표준시료를 만들어 동일한 측정자가 동일한 시료를 측정할 때 생기는 편차를 장기간 동안 관찰하는 것이 필요하다고 본다(Ogden 등, 1986). 그 결과에 따라 실험실내의 숙련된 측정자가 재교육을 실시하는 것도 바람직하다고 본다.

둘째, 불량한 시료가 포함되어 있었기 때문에 변이가 증가된 것 같다. NIOSH의 변이는 시료의 채취나 전처리 과정에서 발생한 수 있는 모든 변이는 극소화시키고 단지 석면 분석 과정에서 발생하는 변이만을 측정한 것이다. 그러나 본 실험의 경우 시료의 채취와 전처리 및 보존상태가 불량하여 분석이 힘들었던 시료가 많아 변이가 증가하였던 것 같다. 실제로 석면이 여과지 위에 고루 분포하지 않았거나 triacetin용액이 많아 촉

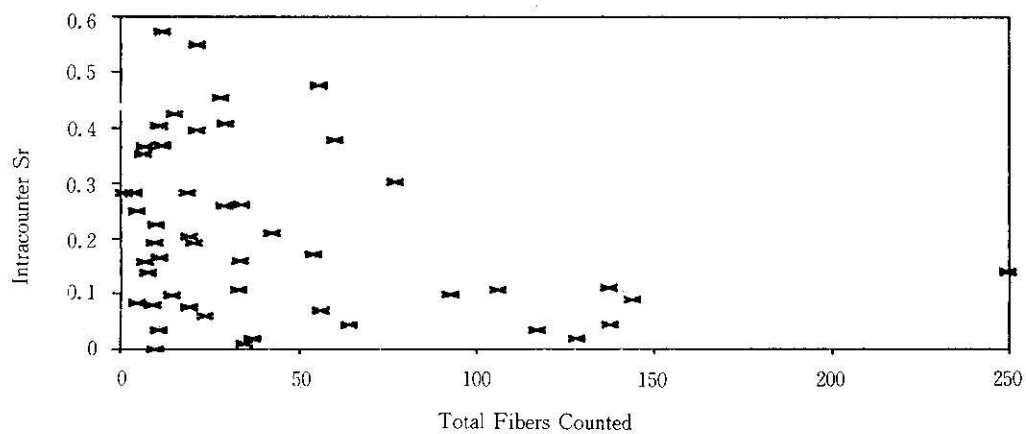


Fig. 1. Intracounter Sr of Counter A by Total Fibers Counted.

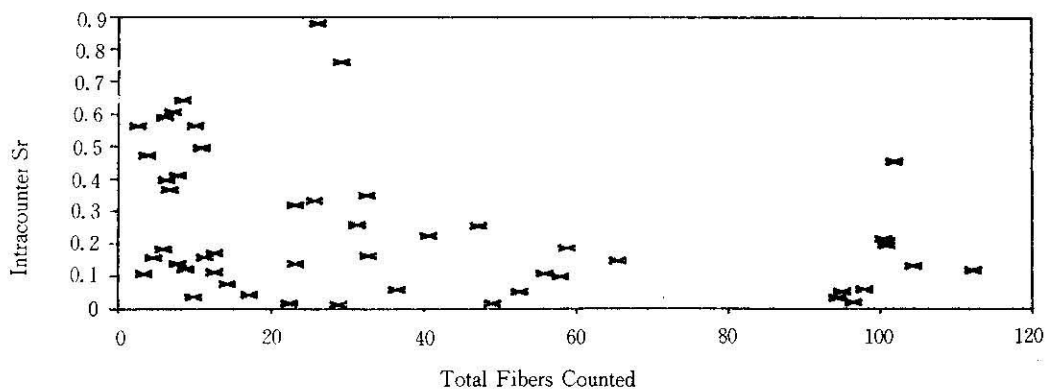


Fig. 2. Intracounter Sr of Counter B by Total Fibers Counted.

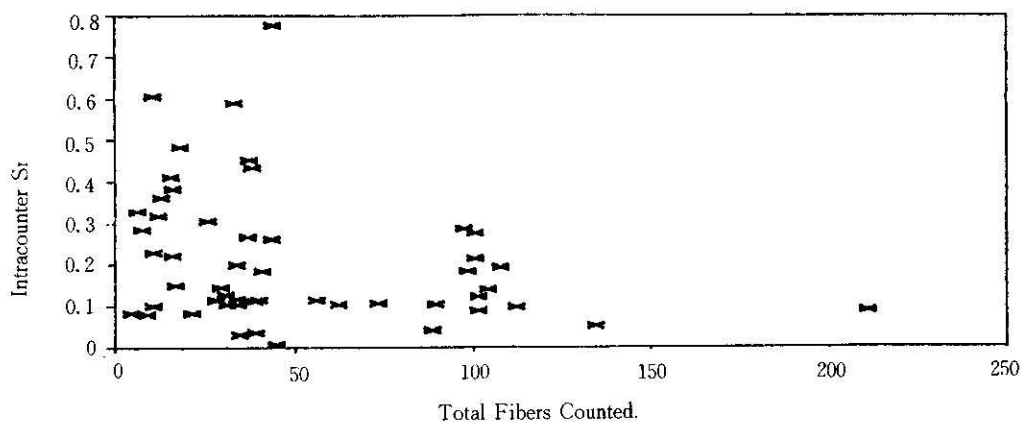


Fig. 3. Intracounter Sr of Counter C by Total Fibers Counted.

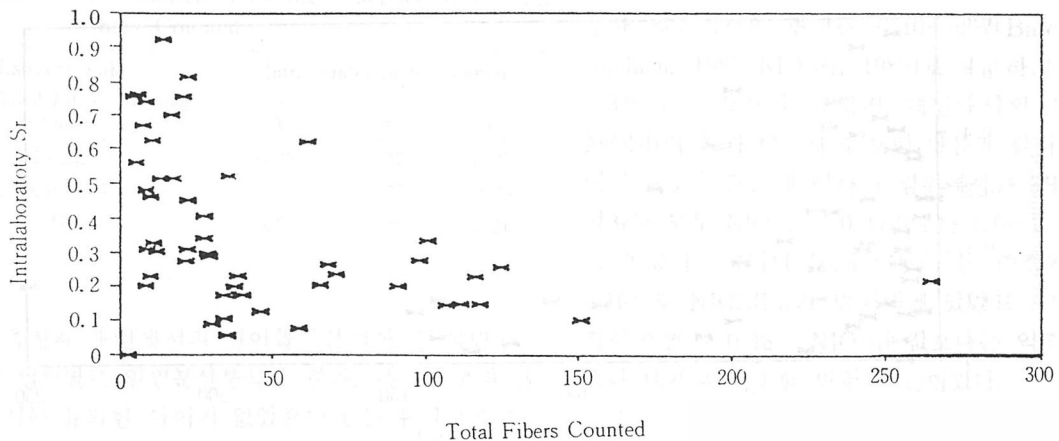


Fig. 4. Intralaboratory Sr by Total Fibers Counted.

점이 맞지 않았거나 오염으로 인해 깨끗하지 못한 시료들이 많이 포함되어 있었다. 따라서 시료의 질을 개선하기 위하여 시료의 채취나 전처리 및 보존 과정의 개선이 필요한 것으로 보여진다. 특히 시료를 채취하는 동안 전기전도성이 있는 50mm extension cowl을 시료채취기 입구에 부착하는 방법을 도입하는 것이 필요하다고 본다. 상대습도가 낮고(20% 이하) 발생원 가까이에서 시료채취를 하는 경우 정전기 전하는 시료채취에 영향을 주어 여과지의 가장자리 위에 석면이 침착되는 것을 감소시킨다고 보고되어 있다. 그러나 50mm extension cowl은 이러한 정전기 효과를 감소시켜 여과지 위에 석면이 고루 분포하도록 한다(NIOSH, 1989).

세제, '섬유밀도'가 100 fibers/mm² 이하인 시료가 40여개나 된다는 점을 들 수 있다. '섬유밀도'가 100 fibers/mm² 이하인 경우 미세한 섬유는 여과지 표면의 인공물(artifacts)과 구분이 곤란해 석면 분석의 변이가 증가된다고 알려져 있다(Cherrie 등, 1986; NIOSH, 1989; Abell 등, 1989). 최근 작업환경의 개선으로 100 fibers/mm² 이하인 시료가 증가해 낮은 농도에서 발생하는 높은 분석 변이가 문제로 되고 있다. 따라서 시료채취방법의 개선을 통하여 '섬유밀도'를 100 fibers/mm² 이상으로 증가시키는 것이 필요하다고 생각된다.

이를 위해서 우선 현재 사용하는 37mm 여과지

를 면적이 적은 25mm 여과지로 대체하는 것이 필요하다. 현재 NIOSH의 공정시험법은 25mm 여과지를 사용하도록 하고 있으며 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서도 25mm 여과지를 사용하는 것을 원칙으로 하되 불가피하게 37mm 여과지를 사용하는 경우는 그 이유를 첨부하도록 하고 있다(OSHA, 1990).

다음으로는 시료 채취 시간을 늘리고 유량을 증가시킴으로써 '섬유밀도'가 100-1,300 fibers/mm² 범위내에 들도록 채취 공기량을 늘리는 것(Cherrie 등, 1986; NIOSH, 1989; OSHA, 1990)이 필요하다고 본다.

네째로는 석면 분석의 변이가 분석한 총 석면수에 반비례(NIOSH, 1989; Abell 등, 1989) 한다는 사실을 지적할 수 있다. NIOSH의 값은 분석한 총석면수가 80개 이상일 때 구해진 변이이나 본 실험에서는 그 보다 훨씬 적은 5개 이상부터 적용되어 구해진 변이이다. 이것은 분석된 총 석면수가 50.5개 이상인 경우는 3명의 측정자 모두 NIOSH의 값에 근접했던 사실에 의해서도 뒷받침된다.

2. 동일 실험실내 측정자간 변이(Intralaboratory Sr)

각 범위에서의 동일 실험실내 측정자간 변이는

표 5에 나타나 있다. 각 측정자들의 측정치는 동일 시료에 대해 2회 측정된 값의 평균치를 사용하였다. 석면의 측정치는 변이가 심하므로 각 측정자의 측정치를 2회 측정된 값의 평균치로 보기에는 무리한 점이 많다. 따라서 표 5에는 첫번째 및 두번째 측정치를 각 측정자의 측정치로 사용하여 구한 결과도 추가하였다.

표 5에서 보듯이 ‘분석한 총 석면수’의 범위별로 구한 동일 실험실내 측정자간 변이는 5-20.5개인 경우는 0.54, >20.5-50.5개인 경우는 0.37, 그리고 50.5 이상인 경우는 0.26이었다. 따라서 ‘분석한 총 석면수’가 증가함에 따라 동일 실험실내 측정자간의 변이가 감소하는 것을 볼 수 있다. 일원분산분석을 하였을 때 동일 실험실내 측정자간 변이는 ‘분석한 총 석면수’와 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 이것은 첫번째와 두번째 측정치에서 구한 결과에서도 동일하게 관찰되고 있다.

그림 4는 52개 시료의 동일 실험실내 측정자간 변이를 ‘분석한 총 석면수’에 따라 나타낸 것이다. 그림 4에서 보듯이 변이는 분석한 총 석면수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보여주고 있

으며 분석한 총 석면수가 70개 이상일 때는 변이가 거의 일정하게 감소함을 보여준다.

표 5에서 보듯이 실험실내 측정자간의 변이는 3개 범위 모두 3명의 측정자들의 측정자 개인에서의 변이보다 큰 값을 보이고 있다. 이것은 동일 실험실내 측정자간 변이에는 측정자 개인에서의 변이가 포함되어 있기 때문이라고 생각된다 (Abell등, 1989).

다른 문헌에서 보고되어 있는 동일 실험실내 측정자간 변이는 표 6과 같이 ‘섬유밀도’에 따라 그 값이 보고되어 있다. ‘섬유밀도’가 표 6에서 제시된 범위 이하일 때는 시료의 고유변이가 증가하므로 동일 실험실내 측정자간 변이도 표 6에서 제시된 값보다 더 증가한다 (Cherrie등, 1986; Abell등, 1989).

본 실험에서 구해진 실험실내 측정자간 변이를 다른 실험실의 값과 비교하기 위하여 ‘섬유밀도’에 따른 실험실내 측정자간의 변이를 구하였는데 그 결과는 표 7과 같다. 표 7에는 첫번째와 두번째 측정치를 이용하여 구한 실험실내 측정자간 변이도 추가하였다.

표 7에서 보듯이 5-1,106 fibers/mm²의 52개 시료에서 구한 동일 실험실내 측정자간 변이는 0.42로 표 6의 실험실보다는 훨씬 크며 AIA에서 보고된 변이의 상한치를 약간 벗어났다. 그러나 100 fibers/mm² 이상의 시료만을 대상으로 하여 동일 실험실내 측정자간 변이를 구하면 표 7에 나타난 것처럼 0.21로서 표 6의 다른 연구와 비교할 때 적절한 범위에 속하는 좋은 결과이다. 이것은 첫번째와 두번째 측정치에서 구한 결과에서

Table 5. Intralaboratory Sr for SNU by the Category with Total Fibers Counted

Category with Total Fibers Counted (fibers)	Intralaboratory Sr		
	Mean	1st Count	2nd Count
5-20.5	0.54	0.62	0.51
>20.5-50.5	0.37	0.50	0.38
>50.5	0.26	0.32	0.26

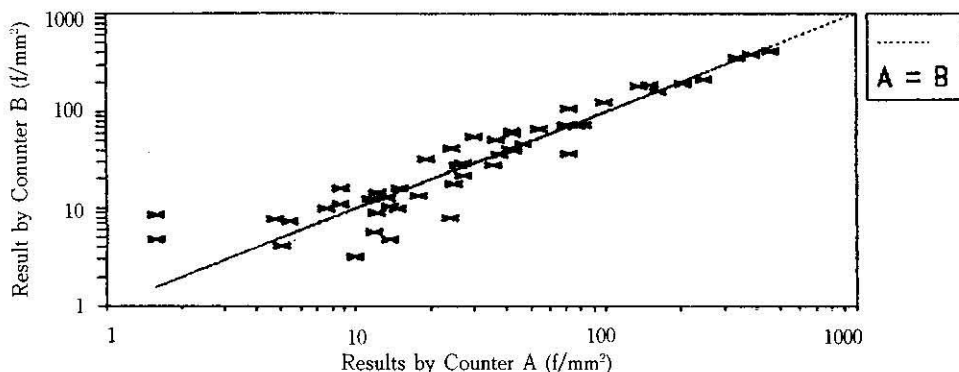


Fig. 5. Relationship between Counter A and B, Showing the Quality Control Counts.

Table 6. Intralaboratory Sr for Other Laboratories by Fiber Density

Researcher	Range of Fiber Density (fibers/mm ²)	Intralaboratory Sr
AIA*	179-1,512	0.12-0.40
AIHA/NIOSH(1978-1981)	315-1,059	0.18-0.28
NIOSH		0.17-0.25
Ogden	100-1,300	0.17-0.22

*AIA: Asbestos Information Association.

Table 7. Intralaboratory Sr for SNU by Fiber Density

Results	Number of Samples	Range of Fiber Density (fibers/mm ²)	Intralaboratory Sr
Mean	52	5-1,106	0.42
1st Count	52	4-1,204	0.52
2nd Count	52	5-1,008	0.41
Mean	10	123-1,106	0.21
1st Count	10	104-1,204	0.27
2nd Count	10	141-1,008	0.21

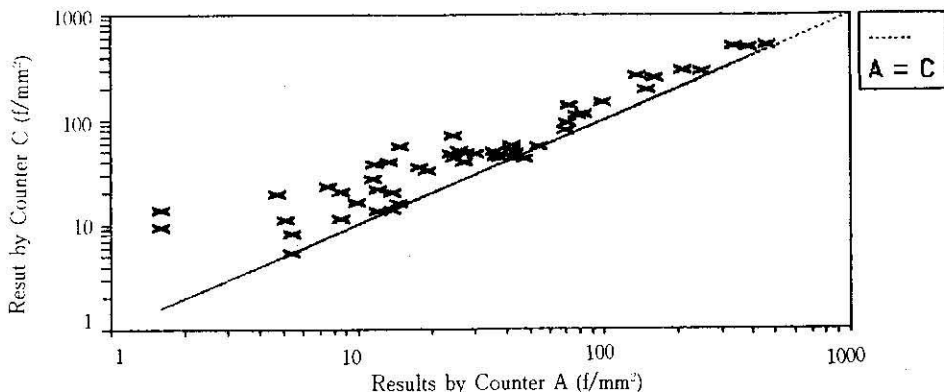
도 동일하게 관찰되고 있다.

각 측정자가 실험실내 측정자간의 변이에 미치는 영향을 보기 위하여 측정자간의 관계를 살펴 보았는데 이는 그림 5, 그림 6 및 그림 7과 같다.

그림 5, 그림 6 및 그림 7은 두 연구자에 대한 동일한 시료의 측정치를 fibers/mm²로 비교한 것으로 측정자간의 관계를 나타내고 있다. 그림 5는 A와 B의 관계를 보여주는데 A와 B는 거의 전 범위에서 거의 일치하고 있다. 그림 6에서는 A와 C의 관계를 보여주는데 C는 전 범위에서 A보다 크게 높은 값을 나타냈다. 그림 7에서는 B

와 C의 관계를 보여주는데 C는 B보다도 역시 크게 높은 값을 나타냈다. 따라서 A와 B는 비슷한 값을 나타내나 C는 A와 B보다 모두 높은 값을 나타냈다.

C에서 보여지는 이러한 과대 평가(overestimation) 경향은 C가 이전에 전혀 경험이 없었던 비숙련 측정자이기 때문으로 보인다. C의 측정자 개인에서의 변이가 A나 B보다 높지 않았던 것으로 보아 C는 계통적 오차(systematic error)가 크게 작용하는 것으로 보인다. C에게 작용했을 것으로 추정되는 계통적 오차로는 여파지 표면의

**Fig. 6.** Relationship between Counter A and C. Showing the Quality Control Counts.

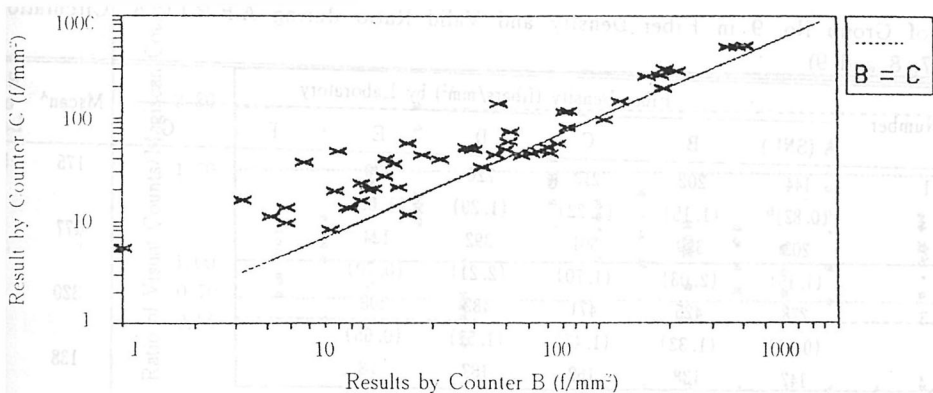


Fig. 7. Relationship between Counter B and C. Showing the Quality Control Counts.

인공물을 미세한 섬유와 혼동했거나, $5\mu\text{m}$ 보다 짧은 섬유를 측정했거나, 길이가 $5\mu\text{m}$ 이상이고 길이와 폭의 비가 3:1 이상으로 측정기준을 만족하나 형태를 보아 석면이 아닌 것을 숙련된 측정자는 측정하지 않았으나 C는 측정했을 경우 등이 있다. 따라서 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실은 C를 실험실내의 숙련된 측정자에 의해 재훈련을 시킴으로써 C의 변이를 감소시켜야 하며 그 결과로 C가 실험실내 측정자간의 변이에 미치는 나쁜 영향을 줄여야 한다.

3. 실험실간 정도관리 결과

서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실은 1989년부터 영국 IOM의 A.F.R.I.C.A.에 가입하여 현재까지 제 7회, 8회 및 9회에 참여하고 있고 1991년 7월부터 미국 AIHA/NIOSH의 PAT제도에 가입해 제 106회에 참여하고 있다.

A.F.R.I.C.A는 6개월마다 그리고 P.A.T제도는 3개월마다 평가가 실시된다. 본 실험실이 위 제도에 가입해 실험실간의 정도관리를 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 영국 A.F.R.I.C.A. 계획의 정도 관리 결과

제 7, 8회 및 9회 때 참가한 실험실중 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실과 같은 9번 그룹에 실험실들의 결과는 표 8, 표 9 및 그림 8과 같다.

참가한 실험실을 나타낸 문자중 A는 동일한 실험실로 모두 서울대학교 보건대학원의 산업보건

학 교실을 나타내나 그 외의 문자의 경우 7회와 8회가 동일한 실험실을 나타내는 것은 아니다. 또 8회 때는 실험실 D와 E는 한 실험실에서 보고한 두개의 측정치이다. 그러나 여기서는 다른 실험실의 측정치로 취급하였다.

표 8에서 보는 바와 같이 매 회마다 8개의 시료에 대한 모든 실험실의 측정치가 나타나 있으며, 이론치(reference count)는 Batch number가 25.6, 24.2 및 24.5인 3개의 시료를 제외하고 모두 나타나 있다. 이들 세 시료가 제외된 이유는 다음과 같다. Batch number 25.6인 시료는 후기 심사 기준(Post-screening criteria)을 만족시키지 못했으며, Batch number 24.2인시료는 Magiscan으로 측정한 이론치와 A.F.R.I.C.A에 참여한 실험실들의 측정치와 차이가 너무 컸으며, Batch number 24.5인 시료는 제 8회가 끝날 무렵에 실시된 조사에서 시료의 질이 불량함이 판명되었다.

표 8에서는 각 시료의 측정치와 이론치(reference count)의 비인 표준화 값(valid ratio)이 각 실험실의 측정치 아래에 명시되어 있다.

표 8에서 구한 각 시료에 대한 실험실들의 표준화값을 A.F.R.I.C.A의 정도관리기준에 의해 등급을 매긴 것이 표 9에 나타나 있다. 표 9에서 보듯이 실험실 A는 비록 8회 때 1개의 시료가 표준화비의 범위 0.70—1.70을 벗어나기는 했지만 7회, 8회 및 9회 모두에서 1급으로 합격 판정을 받았음을 볼 수 있다. 다른 실험실의 경우 7회에서는 B와 C가 1급 판정을 받았고 D가 2급판정을 받아 합격되었으나 E는 3급 판정을 받아 불합격

Table 8. Results of Group No. 9 in Fiber Density and Valid Ratio during A.F.R.I.C.A. Circulations (Round 7, 8 and 9)

Round	Sample Number	Fiber Density (fibers/mm ²) by Laboratory							Mscan ^A	No. of Lab.
		A (SNU)	B	C	D	E	F	G		
7	25.1	144	202	213	226	179			175	5
		(0.82) ^B	(1.15)	(1.22)	(1.29)	(1.02)				
	25.2	203	359	301	392	124			177	5
		(1.15)	(2.03)	(1.70)	(2.21)	(0.70)				
	25.3	278	425	471	482	208			320	5
		(0.87)	(1.33)	(1.47)	(1.51)	(0.65)				
	25.4	147	138	162	182	78			138	5
		(1.07)	(1.00)	(1.17)	(1.32)	(0.57)				
	25.5	452	366	292	506	149			359	5
		(1.26)	(1.02)	(0.81)	(1.41)	(0.42)				
	25.6	238	314	186	278	86			***C	5
		177	134	190	195	84			242	5
8	24.1	177	174	187	162	158	93	173	138	7
		(1.28)	(1.26)	(1.36)	(1.17)	(1.14)	(0.67)	(1.25)		
	24.2	286	165	177	138	163	92	193	***C	7
		289	182	173	186	137	129	167	173	7
	24.3	(1.67)	(1.05)	(1.00)	(1.08)	(0.79)	(0.75)	(0.97)		
		671	541	564	373	589	352	729	460	7
	24.4	(1.46)	(1.18)	(1.23)	(0.81)	(1.28)	(0.77)	(1.58)		
		183	146	122	146	192	86	88	***C	7
	24.5	446	382	330	335	331	261	196	280	7
		(1.59)	(1.36)	(1.18)	(1.20)	(1.18)	(0.93)	(0.70)		
	24.6	241	193	207	153	172	151	189	134	7
		(1.80)	(1.44)	(1.54)	(1.14)	(1.28)	(1.13)	(1.41)		
24.7	396	351	237	312	235	266	464	240	7	
	(1.65)	(1.46)	(0.99)	(1.30)	(0.98)	(1.11)	(1.93)			

A: Result by Magiscan.

B: Valid ratio (result of individual laboratory/result of Magiscan) is presented in the parentheses.

C: Samples were void.

되었다. 또 8회에서는 모든 실험실이 1급으로 합격하였다. 9회 때는 실험당시 9회가 진행중이어서 9번 그룹의 모든 실험실의 결과를 구하지 못했기 때문에 A실험실의 결과만 제시하였다.

그럼 8은 제 7-8회에서 각 실험실의 표준화 값과 실험실 등급을 나타낸 것으로 표 8 및 표 9의 결과를 정리한 것이다.

표 10은 제 7회 및 8회 때 A.F.R.I.C.A.에 참여한 모든 국가 수와 실험실 수 및 합격 판정을 받은 실험실의 비율을 나타내고 있다. 표 10에서 보

듯이 A.F.R.I.C.A.에는 가장 최근인 8회에 세계적으로 29개 국가의 59개 연구기관이 참여하고 있으며, 그 평가 결과를 보면 분석능력 '1급'기관이 40개, '2급'기관이 10개 및 '3급'기관이 9개였다.

Magiscan으로 이론치를 구하는 절대평가의 경우 시간이 적게 걸리고 정확성에 있어서 영국 실험실들의 평균수준과 거의 일치하며, 눈으로 측정하는 실험실간의 차이보다 Magiscan간의 차이가 적어 실험실간의 이론치를 계산하는 데에 많

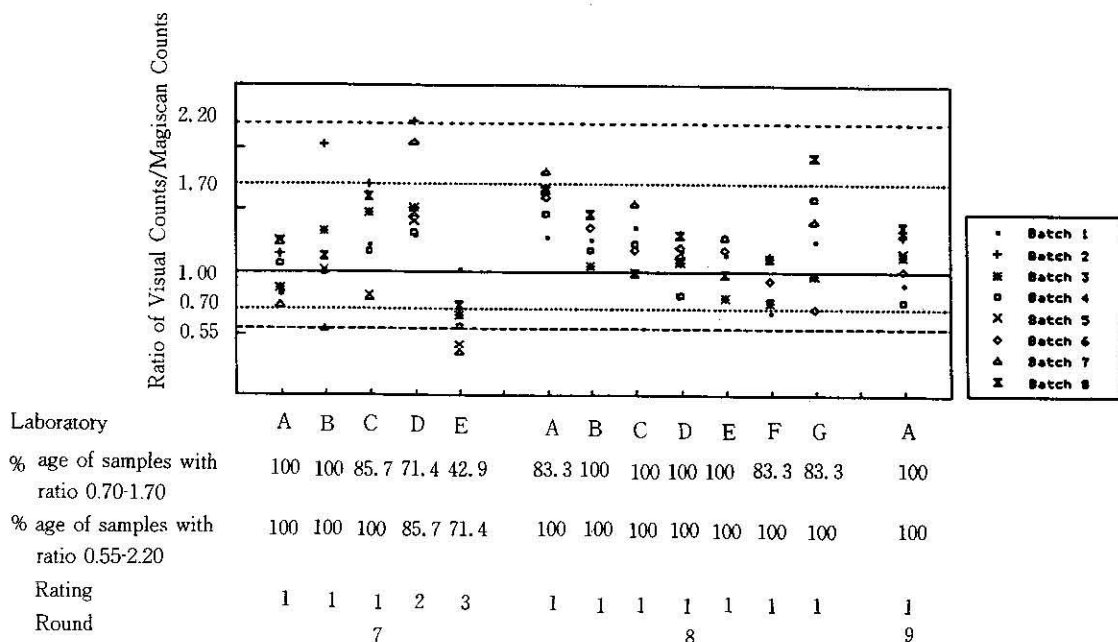


Fig. 8. Quality Control Limits and Laboratory Rating.

은 장점을 가진 것으로 알려져 있다(Crawford and Cowie, 1984).

그러나 A.F.R.I.C.A.의 정도관리기준은 기계로 자동 측정된 값을 참 값으로 보므로 실험실간의 상대적 위치를 보기에는 부족한 점이 있다. 따라서 실험실들간의 상대적 위치를 살펴보기 위하여, A.F.R.I.C.A.에서 비공식적으로 사용하는 두

개의 지표인 실험실간 지표(Interlaboratory Index)와 실험실내 지표(Intralaboratory Index)(Crawford and Cowie, 1984)를 구해 보았다.

실험실간 지표는 동일 그룹의 평균위치에 대한 그룹내 각 실험실의 위치를 나타내는데 다음과 같이 계산된다. 매 시료마다 모든 실험실의 측정치를 평균한 값을 이론치로 보고 각 실험실의 측

Table 9. Distribution of Samples by Ratio in Laboratories and Laboratory Rating in A.F.R.I.C.A. Scheme

Round	Laboratory	Number (%) for Samples by Ratio				Rating
		<0.55	0.55-2.20	0.70-1.70	>2.20	
7	A (SNU)	0(0.0)	7(100.0)	7(100.0)	0(0.0)	1
	B	0(0.0)	7(100.0)	5(100.0)	0(0.0)	1
	C	0(0.0)	7(100.0)	6(85.7)	0(0.0)	1
	D	0(0.0)	6(85.7)	5(71.4)	1(14.3)	2
	E	2(28.6)	5(71.4)	3(42.9)	0(0.0)	3
8	A (SNU)	0(0.0)	6(100.0)	5(83.3)	0(0.0)	1
	B	0(0.0)	6(100.0)	6(100.0)	0(0.0)	1
	C	0(0.0)	6(100.0)	6(100.0)	0(0.0)	1
	D	0(0.0)	6(100.0)	6(100.0)	0(0.0)	1
	E	0(0.0)	6(100.0)	6(100.0)	0(0.0)	1
	F	0(0.0)	6(100.0)	5(83.3)	0(0.0)	1
	G	0(0.0)	6(100.0)	5(83.3)	0(0.0)	1
9	A(SNU)	0(0.0)	8(100.0)	8(100.0)	0(0.0)	1

Table 10. Number of Laboratories and Rating for Laboratories Participated in A.F.R.I.C.A. during the Round 7 and 8

	Round 7	Round 8
No. of Countries	27	29
No. of Laboratories	51(100%)	59(100%)
Labs Rated 1	33(65%)	40(68%)
Labs Rated 2	12(24%)	10(17%)
Labs Rated 3	6(12%)	9(15%)

정치와 이론치의 비인 표준화값(normalized value)을 구한다. 표준화값에서 1을 빼뒤, 각 실험실마다 8개 시료에서 구한 '표준화 값-1'의 값들을 평균하여 100을 곱하여 준다.

그러므로 실험실간 지표의 부호가 양인 경우 실험실간 평균치보다 그 실험실의 측정치가 큰 것을 나타내며, 실험실간 지표의 절대값이 클수록 실험실간의 평균치로부터 변이가 큰 것이 된다.

실험실내 지표는 동일 실험실의 시료들간의 변이를 나타낸다. 이 값은 모든 시료의 표준화값들간의 표준편차에 100을 곱하여 구한다. 그러므로 그 값이 클수록 시료간 측정치 변이가 큰 것이 된다.

표 11에는 제 7회 및 8회의 A.F.R.I.C.A.의 9번 그룹에 속한 실험실들의 실험실간 지표와 실험실내 지표가 나타나 있다.

표 11에서 보듯이 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실의 실험실간 지표는 제 7회의 경우 -3으로 측정치들이 실험실간 평균치보다 3% 낮았다. 이 값은 다른 실험실들과 비교할때 가장 작은 값이었다. 제 8회의 경우는 35로 측정치가 다

른 실험실간 평균치보다 35% 정도 높았으며 다른 실험실과 비교할 때 가장 큰 값이었다.

표 11에서 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실의 실험실내 지표는 제 7회의 경우 20.7로 5개의 실험실중 가장 높았으며 제8회 경우는 19.1로 다른 실험실과 비교하여 약간 높은 편이었다. 이것은 그림 9와 그림 10에도 잘 나타나 있다.

그림 9와 그림 10은 A.F.R.I.C.A.의 제9번 그룹에 속한 실험실들의 8회와 9회의 실험실간의 지표와 실험실내 지표를 나타내고 있다.

2) AIHA/NIOSH PAT 제도

제 106회 PAT계획에서는 73개의 표준 실험실에서 측정한 값을 이론치로 계산하였다. 표준실험실의 상대표준편차는 표준실험실중 Winsorized 실험실의 측정치로부터 구했는데 시료 1은 19.55%, 시료 2는 17.26%, 시료 3은 18.24% 및 시료 4는 16.56%였다. NIOSH PAT 제도의 80개의 표준실험실에서 1984-1985년도에 얻은 실험실간의 변이는 0.25-0.42였다(Schlecht and Schulman, 1986; NIOSH, 1989).

제 106회 PAT계획 때 NIOSH에서 서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실의 측정결과와 석면 분석 능력을 평가하여 회신한 결과는 표 12와 같다.

표 12에는 이론치, 합격범위(Performance Limits), 참여 연구기관수, 합격범위를 벗어난 분석치수(Outliers, 고농도 또는 저농도 표시), 제 106회의 서울대학교 분석치, 적합(Proficient, P) 또는 부적합(Non-Proficient, NP) 및 합격범위를 벗어난 분석치에 대한 평가(Outlier Summary) 등이 기록되어 있다.

Table 11. Determination of Interlaboratory Index and Intralaboratory Index by the Results of Group Number 9, Obtained during the A.F.R.I.C.A. Round 7 and 8

Round	Index	Laboratory							No. of Lab.
		A(SNU)	B	C	D	E	F	F	
7	Inter-lab Index ^A	-3	9	10	29	-45			5
	Intra-lab Index ^B	20.7	19.3	17.7	9.5	16.7			5
8	Inter-lab Index	35	5	-1	-8	-2	-31	2	7
	Intra-lab Index	191.	6.7	13.3	13.9	20.6	11.3	29.6	7

A: Interlaboratory Index.

B: Intralaboratory Index.

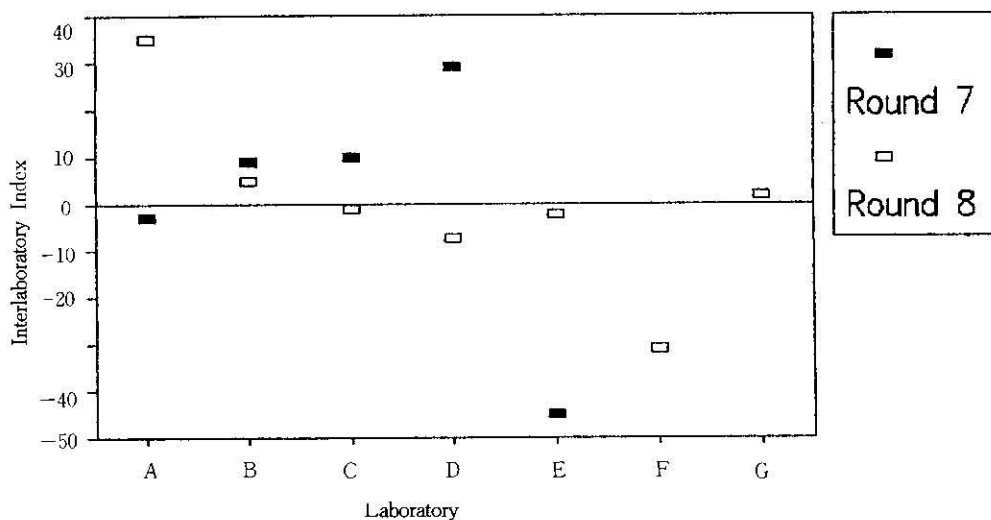


Fig. 9. Interlaboratory Index by the Laboratory.

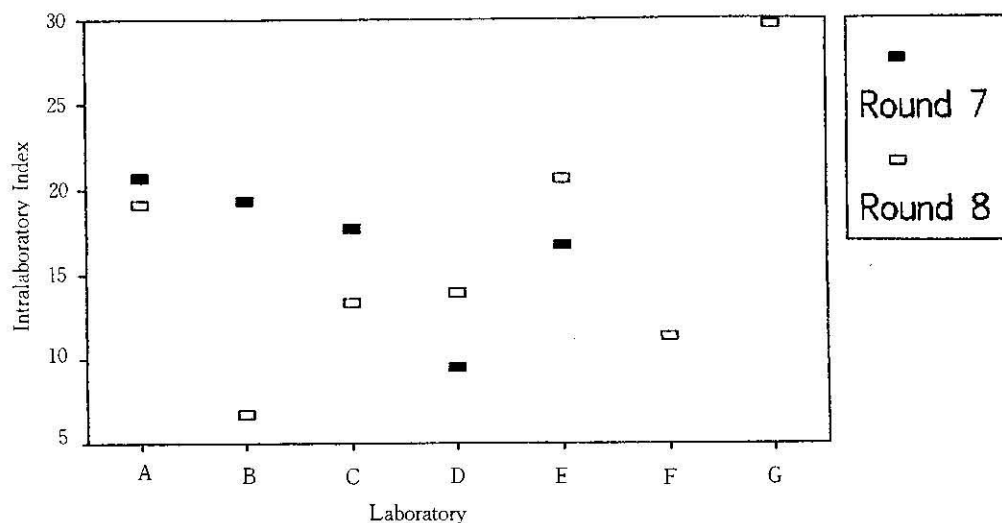


Fig. 10. Intralaboratory Index by the Laboratory.

Table 12. Laboratory Performance - Round 106 in NIOSH PAT Program

Sample No.	Round 106 Statistical Summary						SNU Laboratory Results (fibers/mm ²)	Proficiency Rating
	Reference value (fibers/mm ²)	Performance Limits (fibers/mm ²)	No. of Labs	No. of Outliers				
				HI ^A	LO ^B	Total		
1	231.1	115.8— 385.9	1,302	58	11	69	233.8	P ^C
2	408.5	224.1— 647.8		61	19	80	413.4	
3	805.6	422.2—1,311.8		54	12	66	663.5	
4	657.6	368.8—1,029.2		40	20	60	975.8	

A: HI=High Outlier, B: LO=Low Outlier, C: P=Proficient

표 12에서 보는 바와 같이 시료 1과 2에 대한 본 실험실의 측정치는 233.8과 413.4 fibers/mm²로 각각의 이론치인 231.1과 408.5 fibers/mm²와 거의 일치하는 값이었다. 시료 3은 이론치인 805.6보다 과소평가된 663.5 fibers/mm²로 이론치로부터 약간의 편차를 보였다. 그러나 시료 4는 이론치 657.6보다 훨씬 과대평가된 975.8 fibers/mm²를 나타내었다. 시료 4의 편차가 큰 것은 육안으로 거의 구분하기 힘든 5μm 보다 약간 작은 석면이 매우 많이 존재하였기 때문이라고 생각된다.

그러나 표 12에서 보듯이 본 실험실은 4개의 시료가 모두 합격범위내에 있어 석면 분석 능력에서 합격인 'P' 판정을 받고 있다.

이상의 결과에서 보듯이 본 연구실은 두 종류의 국제적인 정도관리제도에서 석면 분석 능력을 모두 인정받고 있었다.

IV. 결 론

서울대학교 보건대학원 산업보건학 교실의 3명의 측정자를 대상으로 석면분석의 정확성과 정밀성을 평가하기 위하여 1991년 7월 18일부터 10월 4일까지 실시한 정도관리 결과는 다음과 같다. 실험실간 변이는 영국 A.F.R.I.C.A. 계획에 가입한 1989년 이후부터, 그리고 NIOSH PAT제도에 가입한 1991년 7월부터의 정도관리 결과를 대상으로 하였다.

1. 측정자 개인에서의 변이는 '분석한 총 석면수'의 범위별로 보면 5-20.5개와 20.5-50.5개인 경우 NIOSH에서 보고된 값인 0.10-0.17보다 1.6-2.2배 정도 높았다. 이것은 측정자의 석면 분석에 대한 숙련도나 경험의 차이, 시료의 채취나 전처리시에 발생된 불량한 시료가 포함된 점 및 '섬유밀도'가 100 fibers/mm² 이하인 시료의 포함 등으로 인해 변이가 증가하였기 때문으로 보인다. 그러나 '분석한 총 석면수'가 50.5개보다 큰 경우는 3명의 측정자 모두 NIOSH의 값에 근접하였다.

2. 동일 실험실내 측정자간 변이는 '분석한 총 석면수'의 범위별로 보면 5-20.5인 경우에 0.54였고, 20.5-50.5인 경우는 0.37이었으며, 50.5이

상인 경우는 0.26으로 나타났다. '섬유밀도'가 100 fibers/mm² 이상인 시료에서 구한 측정자간 변이는 0.21로서 이것은 외국의 숙련된 실험실에서 보고된 값들과 비슷한 수준이었다.

3. 3명의 측정자들의 측정값을 비교할 때 A와 B는 거의 일치하였으나 초보자인 C는 A와 B 모두 보다 석면수를 과대평가하고 있었다. 따라서 C는 숙련된 측정자에 의해 재교육을 받아 변이를 줄이는 것이 필요하다.

4. 실험실간 변이를 보기 위하여 본 실험실이 영국의 A.F.R.I.C.A.와 미국의 PAT 제도에 가입해 분석한 정도관리 시료의 분석결과를 평가하였다. 본 실험실은 영국의 A.F.R.I.C.A.에 1989년 가입한 이래 계속하여 석면 분석 능력에서 1급을 유지하고 있다. 또한 1991년 7월부터는 미국의 PAT 제도에 가입하여 '합격(P)' 판정을 받고 있다.

참 고 문 헌

- Abell, M., S. A. Shulman and P. A. Baron: *The Quality of Fiber Count Data. Appl. Ind. Hyg.* 1989; 4: 283-285
- Baron, P. A. and S. Shulman: *Evaluation of the Magiscan Image Analyzer for Asbestos Fiber Counting. Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1987; 48 (1): 39-46
- Cherrie, J., A. Jones, and A. Johnston: *The Influence of Fiber Density on the Assessment of Fiber Concentration Using the Membrane Filter Method. Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1986; 47: 465-474
- NIOSH: *Manual of Analytical Methods*, 3rd ed., Washington, D.C., DHHS (NIOSH) Pub., 1989, 84-100
- Crawford, N. P. and A. J. Cowie: *Quality Control of Airborne Asbestos Fiber Counts in the United Kingdom the Present Position. Ann. Occup. Hyg.* 1984; 28 (4): 391-398
- Occupational Safety and Health Administration: *Code of Federal Regulations 29 (Part 1910. 1001)*. Washington D.C., U.S. Government Printing Office, July 1, 1990.
- Ogden, T. L.: *The Reproducibility of Asbestos Counts*. London, Health and Safety Executive Research Paper 18, 1982
- Ogden T. L. and T. Shentone-Taylor: *Within-Laboratory Quality Control of Asbestos Counting. Ann.*

Occup. Hyg. 1986 ; 30 (4) : 411-425

Schlecht, P. C. and S. A. Schulman : *Performance of Asbestos Fiber Counting Laboratories in the NIOSH Proficiency Analytical Testing (PAT) Program.* Am.

Ind. Hyg. Assoc. J. 1986 ; 47 : 259-266

백남원 : 산업위생 연구기관에 있어서의 정도관리.
한국산업위생학회지 1991 ; 101-119