한국산업위생학회지, 제21권 제4호(2011)
J Korean Soc Occup Environ Hyg, 2011: 21(4): 222-226

고형물 석면분석에 대한 국내 정도관리 프로그램에서 나타난 분석 오류의 특성

Characteristics of Analytical Errors Shown in the Korean Quality Control Program on Bulk Asbestos Analyses

권지운[1] · 정은교[1] · 이인섭[1] · 강성규[1] · 김현욱[2]*

Jiwoon Kwon[1] · Eun-Kyo Chung[1] · In Seop Lee[1] · Seong-Kyu Kang[1] · Hyunwook Kim[2]*

[1]**한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원**

[2]**가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실**

[1]*Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency*

[2]*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Catholic University*

ABSTRACT

This study was conducted to identify the characteristics of analytical errors shown in the Korean quality control program on bulk asbestos analyses using polarized light microscopy (PLM). 179 participating laboratories were required to analyze 4 samples respectively and asked to classify each test sample as asbestos-containing (positive) or non-asbestos-containing (negative). For positive samples, participants were also asked to identify the type and semiquantitate the contents of asbestos present. The test results showed 21 (4%) false negative errors among 562 samples, 9 (6%) false positive errors among 154 samples and 53 (9%) asbestos identification errors among 562 samples. Most of false negative and positive errors were observed in a few types of samples. Higher frequencies of asbestos identification errors were shown in samples containing two or more types of asbestos and samples containing anthophyllite, tremolite or actinolite asbestos. For semiquantitative analyses, the ratios of mean to nominal weight contents were 2.1 for chrysotile and 2.9 for amphiboles. A tendency of over-estimation was observed in semiquantitative analyses using the visual estimation technique and higher in case of analyzing samples containing amphiboles than chrysotile. Coefficients of variation (CVs) of semiquantitative analytical results were 0.44~0.83 and 0.5~1.14 for samples containing chrysotile and amphibole asbestos, respectively.

Key words : Bulk asbestos, Polarized light microscopy, Quality control, Error, Identification

I. 서 론

고형물에 함유된 석면을 검출하고 함유율을 분석하는 방법으로서 편광현미경을 이용하는 방법은 경제적이고 신속하게 정확한 분석결과를 산출할 수 있는 장점이 있기 때문에 국내외에서 가장 널리 사용되고 있는 분석방법이다(EPA, 1993; NIOSH, 2003; HSE, 2005; ISO, 2010). 특히 국내에서 편광현미경을 이용한 고형물 석면 분석방법은 건축물 중의 석면조사를 위한 공정시험법으로 고용노동부에 의해 채택되어 사용되고 있다(고용노동부, 2009).

*Corresponding author: Hyunwook Kim
서울시 서초구 반포동 505
가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실
Tel: 02-2258-7363, Fax: 02-590-3820
E-mail: hwkim@catholic.ac.kr
Received: 2011. 10. 19., Revised: 2011. 11. 22.
Accepted: 2011. 11. 29.

석면분석의 정확도와 정밀도를 향상시키고 분석결과의 표준화를 위해 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원은 2007년부터 석면조사기관 정도관리 프로그램의 한 항목으로 편광현미경을 이용한 고형물 중의 석면분석에 대한 정도관리를 국내에 도입하여 실시하여왔다. 2009년 개정된 산업안전보건법이 시행되어 정도관리의 참여 및 합격유지가 고용노동부의 석면조사기관 지정요건으로 요구됨에 따라, 공단의 석면조사기관 정도관리 프로그램에 참여한 실험실의 수는 2007년 제1회차에 12개소에서 2010년 제4회차에는 184개소로 급증하였다. 그러나 새로운 석면분석 실험실과 분석인력의 급증이 분석결과의 질 저하로 이어질 수 있음에도 불구하고, 현재까지 국내의 편광현미경을 이용한 고형물 석면분석의 수준에 대한 연구는 보고된 바 없다. 따라서 국내 석면분석의 질과 특성을 평가하여 현재의 수준을 알고 향후 분석의 질을 높이기 위한 방향을 설정하는 것은 석면에 대한 규제가 강화되고 있는 현시점에서 중요한 과제이다.

이를 위해 본 연구에서는 2010년에 실시된 제4회 석면조사기관 정도관리의 편광현미경을 이용한 고형물 중의 석면분석 분야에 참여한 분석자의 분석결과를 이용하여, 시료 특성에 따른 정성분석의 오류 발생 특성을 평가하고, 정량분석의 석면의 무게함유율에 대한 정확도와 실험실간 변이를 평가하여 그 결과를 제시하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원에서 2010년도에 실시한 석면조사기관 정도관리 프로그램의 고형물 석면분석 분야에 참가한 179개 실험실에 소속된 각 실험실 당 분석자 1명의 분석결과를 대상으로 하였다. 국내 석면분석 실험실에 종사하는 분석자의 수가 대부분 각 실험실 당 1~2명임을 고려할 때 본 연구의 대상은 국내에서 석면을 분석하는 실험실의 분석결과에 대해 높은 대표성을 가졌다고 볼 수 있다.

2. 연구방법

1) 분석 시료

분석 시료로 미국산업위생협회(American Industrial Hygiene Association, AIHA)의 고형물 석면분석에 대한 정도관리(Bulk Asbestos Proficiency Analytical Testing, BAPAT) 프로그램 71~83 라운드에서 활용된 시료 44종과 미국 RTI Int. (Research Triangle Institute International)에서 시판하는 실험실에서 조제된 일정 무게비율의 석면이 함유된 정량분석 표준시료 10종을 활용하였다. 전체 54종의 시료 중 석면이 함유된 시료는 44종, 석면이 함유되지 않은 시료는 10종 이었다.

시료는 오븐에서 60℃ 온도로 12시간 동안 건조한 후 플라스틱 바이알에 약 1 g씩 나누어 담았고, 각 시료 종류별로 7~30개를 제작하였다. 제작된 시료는 균질성을 확인하기 위해 편광현미경을 이용하여 제작된 시료의 약 10%를 무작위로 선별하여 분석하였다.

2) 시료 분석방법

정도관리에 참여한 실험실의 분석자를 대상으로 각 분석자 당 4개의 시료를 무작위로 배포하였다. 전체 분석자는 정해진 날짜에 산업안전보건연구원에 내방하여 시료를 분석하였다. 각 분석자는 배포받은 시료를 고용노동부의 편광현미경을 이용한 건축자재 등의 석면분석법(고용노동부, 2009)에 따라 입체현미경(SZ61TRC, OLYMPUS)을 이용하여 관찰하고 적절한 굴절률의 굴절시약으로 전처리한 후 편광현미경(LV100POL, NIKON)을 이용하여 시료 중 석면의 검출 여부와 석면이 검출된 경우 석면의 종류와 함유율을 제출하였다. 시료 중 석면 외의 섬유상 물질이나 매트릭스 제거를 위한 산 처리와 열 회화 등 전처리 방법은 적용하지 않았으며 입자의 형태와 광학결정학적 특성만으로 석면을 구분하도록 하였다. 정량분석은 시야평가법을 활용하여 가정량하도록 하였으며, 함유율은 정수로 표기하되 1% 미만의 함유율은 미량으로 표기하도록 하였다. 모든 분석은 분석결과를 사전에 예측하는 것을 예방하기 위해 시료에 대한 정보를 알려주지 않고 블라인드 테스트로 진행하였다.

3) 자료의 처리

시료별 정성분석의 오류 발생률은 BAPAT 프로그램의 과거 라운드에서 활용된 기준값과 정량분석 표준시료의 이론값을 기준으로 하여 각 분석자의 분석결과가 범한 오류를 아래와 같이 위음성오류, 위양성오류, 석면동정오류로 구분하여 시료별 발생빈도를 평가하였다.

- 석면이 함유된 시료에서 석면 불검출 - 위음성오류
- 석면이 함유되지 않은 시료에서 석면 1% 이상 검출 - 위양성오류
- 석면 1종 이상 함유된 시료에서 석면 종류를 잘못 구분 - 석면동정오류
- 석면 2종 이상 함유된 시료에서 한 종의 석면을 검출하지 못함 - 석면동정오류
- 함유된 석면 외에 추가로 다른 석면을 1% 이상 검출 - 석면동정오류

정량분석의 석면무게함유율에 대한 정확도와 실험실간 변이의 평가를 위해, 정량분석 표준시료 10종에 대해 분석결과의 시료별 산술평균, 표준편차 및 변이계수를 산출하였다. 또한 각 시료의 기준 중량함유율에 대한 분석한 석면함유율의 평균을 비로 구하여 정량분석의 오차를 추정하였다. 통계분석은 version 18.0 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc., USA)을 이용하여 기술통계분석을 실시하였다.

III. 연구결과

1. 정성분석

전체 54종 716개의 시료를 분석한 결과 시료에 함유된 석면의 종류에 따른 오류발생 빈도를 **Table 1**에 나타내었다. 위음성오류는 석면이 함유된 시료 44종 562건의 분석결과 중 21건(4%)이 발생하였다. 석면종류별로는 백석면이 함유된 시료에서 300건 중 13건(4%), 각섬석 석면이 함유된 시료에서 153건 중 7건(5%), 2종의 석면이 함유된 시료에서 109건 중 1건(1%)의 오류발생 빈도를 보였다. 석면의 함유율과 위음성오류의 발생률은 일정한 상관관계를 보이지 않았다(R^2=0.04). 위양성오류는 석면이 함유되지 않은 시료 10종 154건의 분석결과 중 9건(6%)이 발생하였다. 석면동정오류는 석면이 함유된 시료 44종 562건의 분석결과 중 53건(9%)이 발생하였으며, 안소필라이트, 트레모라이트, 악티노라이트석면이 함유된 시료의 동정오류 발생률(38%, 20%, 16%)과 2가지 종류의 석면이 함유된 시료의 동정오류 발생률(13%, 29%)은 백석면, 갈석면,

Table 1. Types of error shown in bulk asbestos analyses by asbestos type

Sample		No. of samples	Type of error		
Asbestos type	No. of sample lots		No. of false negative error	No. of false positive error	No. of asbestos identification error
Chrysotile	22	300	13 (4)	-	15 (5)
Amosite	7	75	3 (4)	-	7 (9)
Crocidolite	2	22	1 (5)	-	0 (0)
Anthophyllite	2	16	0 (0)	-	6 (38)
Tremolite	2	25	3 (12)	-	5 (20)
Actinolite	2	15	0 (0)	-	4 (16)
Chrysotile + Amphibole	6	95	1 (1)	-	12 (13)
2 Amphiboles	1	14	0 (0)	-	4 (29)
None asbestos	10	154	-	9 (6)	-
Overall	54	716	21 (4)	9 (6)	53 (9)

* ( )는 %.

청석면의 동정오류 발생률(5%, 9%, 0%)에 비해 높았다.

석면분석오류는 특정한 시료재질에서 높은 빈도로 나타났으며 그 사례는 **Table 2**와 같았다. 위음성오류는 백석면 8%가 함유된 분무재 시료에서 11건의 분석결과 중 4건(36%), 트레모라이트석면 2%가 함유된 석고 매트릭스의 실험실 조제시료에서 9건의 분석결과 중 3건(33%)이 발생하였다. 이들 두 종류의 시료분석에서 발생한 위음성오류는 전체 시료에서 발생한 위음성오류 21건의 33%를 차지하였다. 위양성오류는 헤진 끝을 가진 폴리에틸렌 섬유가 함유된 분무재 시료에서 19건의 분석결과 중 6건(32%), 셀룰로오즈가 함유된 천정 타일 시료에서 17건의 분석결과 중 2건(12%)이 발생하였다. 두 종류의 시료분석에서 발생한 위양성오류는 전체 시료에서 발생한 오류 9건의 89%를 차지하였다. 석면동정오류는 갈석면 9%와 백석면 1%가 함유된 분무재 시료에서 16건의 분석결과 중 6건(38%), 갈석면 3%와 청석면 3%가 함유된 실험실 조제시료에서 14건의 분석결과 중 4건(29%), 안소필라이트석면 5%가 함유된 실험실 조제시료에서 9건의 분석결과 중 4건(44%), 트레모라이트석면 5%가 함유된 실험실 조제시료에서 16건의 분석결과 중 4건(25%)이 발생하였다. 이들 네 종류의 시료분석에서 발생한 석면동정오류는 전체 시료에서 발생한 오류 53건의 34%을 차지하였다.

Table 2. Samples causing analytical error with the highest frequencies

Type of error	Sample composition	No. of samples	Frequencies of error
False negative	8% chrysotile in spray-on insulation	11	4 (36)
	2% tremolite in laboratory formulation (hydrated gypsum matrix)	9	3 (33)
False positive	Polyethylene fibers in spray-on insulation	19	6 (32)
	Cellulose fibers in ceiling tile	17	2 (12)
Asbestos identification	9% amosite and 1% chrysotile in spray-on insulation	16	6 (38)
	3% amosite and 3% crocidolite in laboratory formulation	14	4 (29)
	5% anthophyllite in laboratory formulation (hydrated gypsum matrix)	9	4 (44)
	5% tremolite in laboratory formulation (hydrated gypsum matrix)	16	4 (25)

* ( )는 %.

2. 정량분석

실험실에서 일정한 무게 함유율로 조제된 정량분석 표준시료를 정량분석한 결과, 각 시료 분석의 산술평균값은 실제 무게함유율보다 높게 나타났고, 무게 함유율에 대한 산술평균값의 비율은 백석면은 평균 2.1, 각섬석계 석면은 평균 2.9 이었다(**Table 3**). 함유율이 1 중량%를 초과하는 석면을 분석한 107건의 결과 중 1% 이하로 분석한 결과는 10건(9%)이었으며, 이 중 백석면의 분석결과가

Table 3. The results of semiquantitative analyses using visual estimation for samples with the known weight contents

Sample composition	No. of samples	Mean (%)	CV	Range (%)	No. of ≤1%*	Ratio of mean to nominal weight contents
2% chrysotile	12	6	0.50	2-11	0	3.0
2% chrysotile‡	5	4	0.50	2-8	0	2.0
3% chrysotile	11	6	0.83	1-20	2	2.0
7% chrysotile	13	9	0.44	4-28	0	1.3
0.4% amosite‡	5	2	0.50	TRA† -2	2	5.0
1.5% amosite	5	7	1.14	2-20	0	4.7
3% amosite§	12	8	1.00	TRA-26	3	2.7
7% amosite	11	9	1.01	TRA-30	2	1.3
3% crocidolite§	12	12	0.67	3-25	0	4.0
5% anthophyllite	6	12	0.58	4-23	0	2.4
5% tremolite	13	5	0.60	TRA-11	1	1.0
2% actinolite	7	5	0.80	TRA-13	2	2.5
					Mean of chrysotile = 2.1	
					Mean of amphiboles = 2.9	

* Number of analyses reported more than 1%.

† Trace

‡, § : This type of asbestos was contained in a sample containing two types of asbestos.

41건 중 2건(5%), 각섬석 석면의 분석결과가 66건 중 8건(12%) 이었다. 분석결과의 변이계수는 백석면은 0.44~0.83, 각섬석계석면은 0.5~1.14 이었다.

IV. 고 찰

정도관리의 실시 결과는 각 참여 실험실의 석면분석 능력을 평가할 뿐만 아니라 정도관리에 참여하는 전체 그룹의 정확도와 실험실간 변이 등 분석결과의 특성을 평가하는데 좋은 기초 자료가 된다.

Harvey와 Winstead (2008)는 미국의 BAPAT 프로그램의 27년간 평균 오류발생률은 위음성오류 3.0%, 위양성오류 3.3%, 석면동정오류 6.8% 였으며, 정성분석의 오류는 시료에 함유된 석면의 종류, 함유율, 함유된 비석면 섬유상 물질의 종류, 매트릭스의 특성과 같은 시료의 속성에 따라 발생빈도에 큰 차이를 보인 것으로 보고하였다. 본 연구결과의 오류발생률은 세 가지 오류 모두 미국 BAPAT 프로그램의 평균 오류발생률에 비해 높았으나, 국내 정도관리 프로그램의 역사가 1989년부터 실시된 미국의 BAPAT 프로그램에 비해 짧고, 본 연구에서는 BAPAT 프로그램과 같이 시료를 각 실험실에 배포하지 않았으며, 시료분석 시 분석에 방해물질로 작용하는 시료 중의 매트릭스나 비석면 섬유를 제거하기위한 전처리 방법을 적용하지 않고 제한된 시간동안 분석한 결과임을 고려할 필요가 있다.

본 연구에서 시료에 따른 위음성오류와 위양성오류는 분석에 사용된 전체 54종의 시료 중 소수의 시료에 집중되었으며, 나머지 시료에서는 낮은 오류발생 빈도를 보였다. 따라서 적절한 전처리방법을 적용하여 분석자가 충분한 시간을 할애하여 주의를 기울여 분석한다면 통상적인 현장 시료의 분석 시 석면이 있는 시료에서 석면을 불검출하거나 석면이 없는 시료에서 석면을 검출하는 치명적인 오류가 많이 발생하지는 않을 것으로 추정된다. Harvey 등(1998)은 BAPAT 프로그램 실시결과 위양성오류는 폴리에틸렌 섬유, 규회석, 섬유상 무수물 광물이 함유된 시료에서 높게 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서 위양성오류가 가장 높게 나타난 시료 또한 폴리에틸렌 섬유가 함유된 시료로 동일한 특성을 보였다. 석면동정오류는 두 가지 석면이 함유된 시료에서 두 번째 함유율의 석면을 검출하지 못하거나 안소필라이트, 트레모라이트, 악티노라이트석면 다른 각섬석계 석면으로 분석하는 오류가 많이 발생하였다. 이는 분석자들이 석면종류별 형태적 특징 구분에 익숙하지 않고, 석면 섬유를 검출하고도 편광현미경을 이용한 석면분석의 광학결정학적 특성을 잘못 관찰하였거나 광학결정학적 기초지식이 부족하여 관찰한 특성을 올바르게 해석하지 못한 점이 원인일 수 있다.

Webber 등(1982)은 실험실에서 제작한 시료가 정량분석의 정확도와 정밀도를 평가하는 목적으로 유용하게 활용될 수 있음을 보고한 바 있다. 본 연구에서 분석자들이 시야평가법을 적용하여 석면 함유율을 가정량분석한 결과의 산술평균은 한 가지 시료를 제외한 나머지 모든 시료에서 실제 시료에 함유된 석면의 무게 함유율 보다 높게 평가하는 경향을 보였다. 이러한 연구결과는 미국 BAPAT 프로그램에서 참여 실험실들의 정량분석결과의 평균이 기준값의 2~3배의 정량분석 결과를 보인다는 보고와 일치한다. 석면의 함유율 분석은 석면외의 모든 매트릭스를 제거하는 중량분석법이 가장 직접적으로 무게 함유율을 분석할 수 있는 방법이지만 대부분의 시료에 대해 적용이 불가능하므로 시야평가법이나 포인트계수법과 같은 우회적인 가정량법이 사용된다. 비록 시야평

가법을 이용한 가정량분석 결과가 시료의 석면 무게함유율에 비해 과대평가되는 경향이 있고 실험실간 변이가 크지만, 고용노동부의 공정시험법에서는 석면이 검출된 시료의 석면함유율을 산업안전보건법에서 규제를 받지 않는 1% 이하로 결과통보하기 위해서는 포인트계수법이나 중량분석법과 같은 보다 정확도와 정밀도가 개선된 방법을 적용하도록 규정하고 있으므로, 시야평가법의 낮은 정확도와 정밀도가 석면 관리를 위한 법 적용 자체에 영향을 미치지는 않는다. 다만 보다 높은 질의 분석결과를 생산하는 것이 분석의 기본임을 고려할 때, 석면을 분석하는 분석자들에게 보다 많은 정량분석에 대한 훈련이 요구된다. 특히 본 연구에서 각섬석계 석면의 정량분석 결과가 백석면에 비해 더 과대평가하는 경향과 보다 높은 평균변이계수를 보인 것은, 분석자들이 백석면 보다 각섬석계 석면의 정량분석 시 보다 정확도와 정밀도가 낮은 정량분석 결과를 생산할 가능성이 높음을 보여준다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 고형물 중 석면에 대한 정성분석의 정확도를 높이기 위해 분석자는 석면과 유사한 광학결정학적 특징을 가진 비석면 섬유와 흔하게 검출되지 않는 안소필라이트, 트레모라이트, 악티노라이트 석면의 특징을 숙지하고 광학결정학적 특성에 유의할 필요가 있으며, 분석 시 시료에서 하나의 석면이 검출되었더라도 추가로 석면이 검출되는 지 여부에 주의할 필요가 있다. 석면 함유율에 대한 정량분석의 정확도와 정밀도를 높이기 위해서는 매트릭스와 석면의 종류별로 일정 무게 함유율이 함유된 시료를 이용한 시료를 분석하는 등 분석자의 훈련이 필요하다.

석면분석의 정도관리 프로그램에 활용된 정도관리 시료는 분석결과의 정확도와 정밀도를 평가할 뿐만 아니라 정도관리를 통해 설정된 기준값을 이용해서 실험실 내부정도관리 또는 분석자 훈련 시 표준시료로서 활용할 수 있다. 본 연구결과를 고려할 때 석면분석의 정도관리는 배포된 시료를 정도관리 후 실험실 내부 표준시료로 활용할 수 있도록 시료를 각 실험실에 배포하는 방법으로 실시할 필요가 있다. 또한 편광현미경을 이용한 고형물 중 석면분석의 오류발생 빈도는 시료의 특성에 따라 차이가 크므로, 정도관리에 참여한 모든 분석자에 동일한 시료를 배포하는 것이 공평한 평가방법이 될 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 2010년에 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원에서 실시한 석면조사기관 정도관리 프로그램의 편광현미경을 이용한 고형물 중 석면분석 분야에 참여한 분석자 179명의 분석결과를 이용하여, 시료 특성에 따른 정성분석의 오류 발생률과 정량분석의 정확도 및 실험실 간 변이를 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 정성분석의 오류발생률은 위음성오류는 석면이 함유된 시료 562건의 분석결과 중 21건(4%), 위양성오류는 석면이 없는 시료 154건의 분석결과 중 9건(6%), 석면동정오류는 석면이 함유된 시료 562건의 분석결과 중 53건(9%)이 발생하였다.

2. 정성분석의 위음성오류와 위양성오류 발생은 분석에 사용된 전체시료 중 소수의 시료에 집중되어, 적절한 전처리와 주의깊은 분석이 이루어질 경우 통상적인 현장시료의 분석 시에는 치명적인 분석오류가 크게 발생하지 않을 것으로 추정되었다. 석면동정오류는 두 가지 석면이 함유된 시료에서 한 가지 석면을 검출하지 못하거나 안소필라이트, 트레모라이트, 악티노라이트석면을 다른 각섬석계 석면으로 분석하는 오류가 많이 발생하는 특성을 보였다.

3. 시야평가법을 적용한 석면 함유율의 가정량분석은 시료에 함유된 석면의 무게비율 보다 높게 평가하는 경향을 보였으며, 분석결과의 변이계수는 백석면은 0.44~0.83, 각섬석계석면은 0.5~1.14이었다.

References

고용노동부. 석면조사 및 정도관리 규정. 노동부 고시 제2009-32호. 2009.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Asbestos (bulk) by PLM . NMAM 9002. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 4th ed. DHHS (NIOSH) Publication 2003-154. 2003. Available from: http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/9002.pdf.

Environmental Protection Agency (EPA). Method for the determination of asbestos in bulk building materials. EPA 600-R-93-116. 1993. Available from: http://www.epa.gov/ne/info/testmethods/.

Health and Safety Executive (HSE). Appendix 2: Asbestos in bulk materials: Sampling and identification by polarized light microscopy (PLM). In: Asbestos: The analysts' guide for sampling, analysis and clearance procedures. Health and Safety Executive. 2005. p. 65-84. Available from: http://www.hse. gov.uk/pubns/books/hsg248.htm.

International Standard Organization (ISO). Air quality- Bulk materials Part 1: Sampling and qualitative determination of asbestos in commercial bulk materials. Draft International standard ISO/DIS 22262-1. 2010.

Harvey BW, Ennis JT, Greene LC, Leinbach AA. Bulk asbestos laboratory program in the United States-Seventeen years in retrospect. In: Beard MC, Rook HL. Advances in environmental measurement methods for asbestos. West Conshohocken, American Society for Testing and Materials 1998:38-52.

Harvey BW, Winstead WG. Analysis of the analytical performance of laboratories participating in two major US bulk asbestos proficiency testing programs. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 2008:5;455-62.

Webber JS, Pupons A, Fleser JM. Quality-control testing for asbestos analysis with synthetic bulk samples. Am Ind Hyg Assoc J 1982;43:427-31.