

흡착튜브를 이용한 가스상물질 채취용 펌프의 유량성능 평가방법

김남희¹ · 송호준² · 김기연³ · 마혜린⁴ · 이광용⁵ · 정지연^{1*}

¹용인대학교 · ²LG 디스플레이 · ³부산가톨릭대학교 · ⁴한국산업위생학회 · ⁵산업안전보건연구원

Development of an Evaluation Method for the Flow Rate Performance of Gas Sampling Pumps Using Adsorbent Tubes

Nam Hee Kim¹ · Ho June Song² · Ki Youn Kim³ · Hye Lan Ma⁴ ·
Gwang Yong Yi⁵ · Jee Yeon Jeong^{1*}

¹Department of Occupational and Environmental Health, Yongin University,

²Paju Safety Managing Team, LG Display,

³Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan,

⁴Korea Industrial Hygiene Association,

⁵Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

ABSTRACT

Objectives: Flow rate stability is very important for obtaining reliable measurements. However there is no easily used method for checking whether the flow rate set at the initial stage is sustained during sampling. The purpose of this study was to develop a method to evaluate the flow rate performance of gas sampling pumps with adsorbents commonly used to sample gases.

Materials and methods: We tested the back pressure of gas sampling pumps commonly used in Korea with adsorbents such as charcoal and silica tubes and attempted to discover the combination conditions of adsorbents in accordance with back pressure required by ISO standard 13137.

Results: We found the combination of sampling adsorbents to be applicable to the pressure drop required by the ISO standard for evaluating flow rate stability under increasing pressure drop and long term (eight-hour) performance.

Conclusions: This evaluation method of using a sampling media matrix for checking flow rate stability as proposed by this study could be a highly useful tool for determining the reliability of the performance pumps before sampling.

Key words : Adsorbents, back pressure, flow rate, pump, ISO

I. 서 론

작업환경측정과정에서는 측정단계와 분석단계에서 많은 오차들이 발생 할 수 있으며, 이러한 오차를 시료채취 및 분석오차라 부른다(OSHA, 1995). 분석과정 중에 발생하는 오차는 분석속련도에 대한 정도관리와 정

확도 차트나 정밀도 차트 등의 정도관리 기법을 활용하면 분석과정에서 발생하는 오차의 상당부분을 줄일 수 있고, 또한 오차관리 또한 가능하다. 그러나 시료채취 과정의 오차는 이러한 분석과정에서 사용되는 정도관리 기법의 활용이 어렵고, 또한 미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and

*Corresponding author: Jee Yeon Jeong, Tel: 031-8020-3208, Email: jyjung@yongin.ac.kr
Department of Occupational and Health, 134, Yongindaehak-ro, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do
Received: May 9, 2014, Revised: May 30, 2014, Accepted: June 11, 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.

Health, NIOSH)에 따르면 작업환경측정에서 주요오차는 시료채취시에 발생하는 것으로 추정하고 있다 (NIOSH, 1977; NIOSH 1995).

시료채취 과정 중 가장 중요한 것은 측정자가 설정한 유량대로 펌프가 시료채취 시간 동안 허용 가능한 유량변동 범위 내에서 일정하게 유지되어야 한다는 점이다. 그러나 펌프가 설정한 유량으로 지속적으로 작동하는지를 지속적으로 관찰한다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 그 펌프가 정상 작동할 수 있는 펌프인지가 사전에 미리 검증되어야 한다.

시료채취용 펌프의 설정유량 변동을 가져오는 중요한 원인은 시료채취 도중 발생하는 역압력(Back pressure)이다. 역압력이란 펌프가 작업환경 중의 공기를 흡인하는 경우, 이러한 공기흡인에 대해 저항하는 모든 힘을 말한다. 이러한 저항에 관련되는 요소는 공기밀도, 펌프 내부 및 모터 마찰, 펌프와 시료채취 매체를 연결하는 튜브 등에 의한 저항, 그리고 시료채취 매체(필터, 또는 흡착제)에 공기가 통과하면서 걸리는 저항이 있다. 이러한 저항을 일으키는 모든 힘들을 합쳐 역압력이라고 부른다.

시료채취용 펌프 경우 펌프와 시료채취 매체를 연결하는 튜브는 거의 일정하기 때문에 이들에 의해 걸리는 저항 압력은 일정하다고 볼 수 있다. 그러나 측정시 오염물질에 따라 선택하게 되는 시료채취매체 종류에 따른 저항 압력의 차이는 크게 나타나는데, 특히, 이러한 시료채취 매체에 얼마나 많은 양의 오염물질이 흡착되느냐에 따라 그 저항의 차이는 매우 크게 달라진다.

영국 및 유럽, 그리고 국제표준화기구인 ISO (International Organization for Standardization, ISO)에서는 일정한 한도의 역압력에서도 설정유량의 유량변동 범위가 $\pm 5\%$ 를 초과하지 않도록 하는 시료채취용 펌프의 규격을 제시하고 있다(BSI, 1997; CEN 1997; CEN 1999; ISO, 2013). 펌프규격의 주요 내용은 적용범위, 펌프가 갖추어야 할 기본 요구조건, 그리고 펌프 성능에 대한 시험방법 등이다. ISO 규격은 가스상 물질을 채취하는 펌프의 경우 설정유량(10 ml/분 ~ 500 ml/분)에 따라 각각 견뎌야 하는 역압력 범위(0.02 kPa ~ 10.0 kPa)를 규정하고 있다.

작업환경측정시 흔하게 경험하는 현상 중의 하나

는 시료채취 도중 발생하는 펌프 꺼짐 현상이다. 시료채취용 펌프의 유량성능 저하를 가져오는 원인은 다양 할 수 있으나, 가장 중요한 요인은 오랜 사용으로 인한 펌프 모터의 노후화, 그리고 배터리의 성능 저하이다. 따라서 현장 시료채취 전에 미리 사용하고 자 하는 펌프의 유량성능이 점검되어 실제 작업환경 측정시 문제가 일어날 수 있는지 사전에 파악할 수 있는 수단이 있다면 펌프의 유지관리 측면에서 뿐만 아니라 정확한 시료채취를 위해서도 매우 유용할 것이다.

일정한 압력부하(역압력)를 가하면서 가스상 물질 채취용 펌프의 유량성능을 검증하기 위해서는 ISO 규격 등에서 요구하는 압력부하를 펌프에 가하면서 유량성능을 체크 할 수 있는 특별한 장치가 있어야 한다. 그러나 이러한 특별한 장치가 없이도 측정기관에서 작업환경측정시 흔히 사용하는 차콜 튜브나 실리카 튜브 같은 고체 흡착관을 사용하여 유량성능을 평가할 수 있다면 매우 유용한 수단이 될 것이다. 따라서 본 연구는 가스상 물질 채취용 펌프를 대상으로 압력부하를 가하거나 또는 해당 압력을 측정할 수 있는 압력측정 장치가 없어도 측정기관에서 흔히 사용되는 각종 흡착제를 사용하여 ISO의 평가기준에 부합하는 유량성능을 평가할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 펌프 선정

Jang(2013)과 Jeong et al.(2013)의 연구결과에 의하면 국내 작업환경측정기관이 보유하고 있는 가스상 물질 채취용 펌프의 대부분은 Gilian사 제품과 SKC사 제품이였다. 따라서 본 연구에서는 이들 2개사 제품을 평가대상 펌프로 선정하였으며, 평가대상 펌프 제조사가 제시하고 있는 유량범위 및 역 압력(Back pressure) 등에 대한 제원은 Table 1과 같다. 평가에 사용된 모든 펌프는 압력측정장치(Gilian Lab & field calibrator system)를 사용하여 펌프에 압력부하를 가하면서 ISO 기준에서 요구하고 있는 압력부하 조건에서 정상 작동하는지 확인하였으며, 그 결과 모두 적합하였다.

Table 1. The flow range and maximum allowable back pressure of main models by personal pump manufacturers

Manufacturer	Model	Flow rate (L/min)	Back pressure, kPa (inch H ₂ O)
Gilian	LFS-113	0.02~0.2	6.2(24.8)
		0.35	6.2(24.8)
SKC	Pocket pump 210-1002	0.02~0.225	5(20)

2. 연구방법

ISO 규격에서 요구하고 있는 펌프 유량성능 평가 방법은 압력부하를 증가시키면서 유량변동을 평가하는 방법과, 일정한 압력부하 조건에서 펌프를 8시간 이상 연속 가동시키면서 장시간 동안 유량변동을 평가하는 방법을 제시하고 있다. 압력부하를 증가시키면서 평가하는 방법의 경우 **Table 2**에 제시된 유량별 허용압력강하 범위 내에서 압력부하를 5단계로 증가시키면서 유량을 평가하여 유량변동 범위가 설정유량의 ±5%를 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있다.

가스상 물질 채취용 펌프에 있어서 압력부하를 증가시키면서 평가하는 방법을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 펌프제조회사가 제시하는 사양에서 최대유량을 사용하여 평가토록 하고 있는데, 최대유량이 0.2 L/분이라면 0.5 kPa에서 시작하여 6.0 kPa까지 압력을 5단계로 증가시키면서 유량을 측정하여 설정된 0.2 L/분의 유량변동을 확인하는 것이다. 입자상 물질 채취용 펌프의 경우 최소유량과 최대유량 모두를 체크하도록 하고 있으나 가스상 물질 채취용 펌프의 경우 최대유량만을 평가토록 하고 있다.

장시간 펌프를 연속적으로 가동시키면서 평가하는 방법 경우 0.3 L/분 이하의 가스상 물질 채취용 펌프인 경우 0.05 L/분 및 0.48 kPa(1.92 inch H₂O)과 제조회사가 제시하는 해당펌프의 최대유량 및 해당 유량의 허용압력범위(**Table 2**)의 최대값에서 각각 8시

간 이상 펌프를 가동시키면서 평가하도록 하고 있다. 또한 0.3 L/분 초과하는 가스상 물질 채취용 펌프인 경우 0.3 L/분 및 4 kPa(16 inch H₂O)과 해당 펌프 제조회사가 제시하고 있는 최대유량 및 최대허용압력에서 8시간 이상 펌프를 가동시키면서 평가하도록 하고 있다. 이 역시 허용 유량변동 범위는 ±5%이다.

따라서 ISO 기준에서 요구하는 역 압력 조건을 찾아내고자 다양한 흡착제류와 이들의 조합을 사용하였으며, 이들 흡착제류의 조합에 따라 펌프에 걸리는 역 압력을 측정하기 위해 압력측정장치(Gilian Lab & field calibrator system)를 사용하였다. 실험에 사용된 흡착제류는 국내 작업환경측정기관에서 흔히 사용하는 활성탄관(100 mg/50 mg: 226-01, SKC, USA; 100 mg/50 mg: 226-01GWS, SKC, USA)과, 실리카겔관(400 mg/200 mg: 226-10-03, SKC, USA; 300 mg/150 mg: 226-10-04, SKC, USA)을 사용하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. ISO 기준의 압력부하 조건에 부합한 흡착제류 선정결과

이번 연구를 통해 찾아 낸 펌프 제조사별로 압력을 5단계로 증가시키는데 필요한 흡착제류 연결조건을 정리한 것이 **Table 3**이다. 펌프 제조사별로 제시하고 있는 최대유량에서 각 단계별로 해당 압력 얻

Table 2. Required pressure drop ranges of the flow rates by ISO 13137

Type of pump	Adjusted flow rate (ml/min)	Required pressure drop range kPa(inch H ₂ O)
Type G pumps	10	0.02(0.08) ~ 0.2(0.8)
	50	0.1(0.4) ~ 1.2(4.8)
	100	0.2(0.8) ~ 2.6(10.4)
	200	0.5(2.0) ~ 6.0(24.0)
	300	1.0(4.0) ~ 10.0(40.0)
	500	2.0(8.0) ~ 10.0(40.0)

Table 3. Adsorbent combination conditions for checking flow rate stability under increasing pressure drop and maximum flow rate

Stage	Pump	Adsorbents combination	Back pressure(inch H ₂ O)
1	G* & S**	one charcoal tube(226-01)	1.89
2	G&S	one charcoal tube(226-01GWS) + one charcoal tube(226-01GWS)	7.59
3	G	one silica tube(226-10-03) + one charcoal tube(226-01)	15.48
	S	one silica tube(226-10-03)	15.25
4	G	two silica tubes(226-10-03)	20.34
	S	one silica tube(226-10-03) + two charcoal tubes(226-01GWS)	22.65
5	G	one charcoal tube(226-01GWS) + two silica tubes(226-10-03)	23.98
	S	one silica tube(226-10-03) + three charcoal tubes(226-01GWS)	25.58

*: Gilian LFS-113; **: SKC Pocket pump 210-1002

는데 필요한 흡착제 연결조건을 Gilian 펌프와 SKC 펌프로 구분하여 결과를 제시 하였다. 그 예를 들어 설명하면 Gilian LFS-113 펌프 경우 5단계의 최대 압력을 얻기 위해서는 한 개의 활성탄관(226-01GWS, SKC, USA)과 두 개의 실리카겔관(226-10-03, SKC, USA)을 각각 양쪽 끝 부분을 절단 하여 이들을 유연성 튜브로 서로 연결한 후 다시 펌프에 유연성 튜브로 연결하면 된다. 흡착제관 사이의 유연성 튜브 길이는 4 cm 내외이며, 이들 흡착제류와 펌프 사이를 연결시키는 유연성 튜브 길이는 현장 시료채취시와 동일한 길이로 하면 된다.

Table 4는 펌프제조회사가 제시하고 있는 최소유량 및 최대유량에서 8시간 동안 연속 가동시키면서 유량을 평가시 해당 유량에 가해야 하는 압력부하 조건에 부합하는 흡착제 연결조건을 정리한 것이다. SKC Pocket pump 210-1002 경우 제조회사가 제시하고 있는 최대유량 및 압력부하는 각각 0.225 L/분 및 20 inch H₂O. 따라서 해당 압력부하조건에 부합한 흡착제류의 연결조건은 한 개의 실리카겔관(226-10-03, SKC, USA)과 두 개의 활성탄관(226-01GWS, SKC,

USA)을 연결하였을 때 얻을 수 있었으며, 이때 걸리는 실제 압력부하는 20.19 inch H₂O였다. **Table 2**에 제시된 ISO 규격을 보면 0.2 L/분 경우 요구되어지는 최대 허용압력부하는 24 inch H₂O이고 0.3 L/분 경우 40 inch H₂O이다. 따라서 평가대상이 된 펌프 모델은 ISO 규격이 요구하고 있는 허용압력 부하 조건을 충족시키지 않는 모델이다. ISO 평가기준에 따라 평가를 한다면 펌프제조회사가 제시한 최대유량이 0.225 L/분이었으므로 이 유량에 해당하는 최대허용압력을 **Table 2**에서 찾으면 28 inch H₂O 정도가 된다. ISO 규격에서 제시하고 있는 내용에 따르면 **Table 2**에서 제시된 유량의 사이 값에 해당하는 유량 경우 해당 압력이 그 구간에서 비례적으로 증가한다고 간주하고 해당 압력을 계산토록 하고 있다(ISO, 2013). 그러나 평가대상 펌프의 경우 동 압력 하에서는 펌프작동이 멈춰 펌프제조회사가 제시한 최대 허용압력인 20 inch H₂O에서 평가를 실시할 수밖에 없었다.

Table 5는 **Table 3**에서 제시한 흡착제 연결조건을 이용하여 펌프별 최대유량에서 압력을 5 단계로 증가시키면서 각 단계별로 3회씩 펌프에 걸리는 실제

Table 4. Adsorbent combination conditions for checking long-term performance at minimum and maximum flow rate

Pump	Flow rate	Adsorbents combination	Back pressure, inch H ₂ O
G*	0.05 L/min	two silica tubes(226-10-04)	1.90
	Max(0.2 L/min)	two silica tubes(226-10-03)+ one charcoal tube(226-01)	25.70
S**	0.05 L/min	two silica tubes(226-10-04)	1.82
	Max(0.225 L/min)	one silica tube(226-10-03)+ two charcoal tubes(226-01GWS)	20.19

*: Gilian LFS-113; **: SKC Pocket pump 210-1002

Table 5. Pressure drop by filter combination conditions for checking flow rate stability under increasing pressure drop and flow rate (Gilian: 0.2 L/min, SKC: 0.225 L/min)

Pump	N	Variable	Pressure, inch H ₂ O				
			1 step	2 step	3 step	4 step	5 step
Gilian	3	Range	1.57~1.68	7.85~8.34	15.14~15.67	19.82~21.00	23.58~24.24
		Average	1.61	7.95	15.48	20.34	23.98
		CV*, %	2.19	1.62	1.62	2.52	1.27
SKC	3	Range	2.00~2.27	7.15~7.27	15.16~15.36	22.20~22.97	25.40~25.90
		Average	2.17	7.22	15.25	22.65	25.58
		CV*, %	5.62	0.69	0.56	1.48	0.81

*CV: Coefficient of variation

압력부하를 측정하여 평가한 결과이다. Gilian 펌프 경우 각 단계별 압력부하 변동을 나타내는 변이계수 (Coefficient of Variation, CV) 값이 최대 2.52%로 매우 안정적이었다. SKC 펌프의 경우는 1 단계 연결조건에서 5.62%로 약간 높았으나 나머지 네 단계는 모두 1.5% 이하로 매우 안정적임이 확인되었다. 따라서 본 연구에서 찾아낸 흡착제 연결조건은 ISO 기준에 따른 5단계 압력부하를 증가시키면서 유량변동을 평가하는데 사용가능함을 확인 할 수 있었다.

Table 6은 Table 4에서 제시한 흡착제 연결조건을 이용하여 펌프별 최소 및 최대유량에서 해당 압력을 가한 상태에서 펌프를 8시간 이상 연속가동 시키면서 30분 간격으로 펌프에 걸리는 압력부하를 측정한 결과이다.

8시간 이상 연속 가동시키는 동안 각 펌프에 가해진 압력이 별 변동 없이 매우 안정적으로 유지되고 있음을 알 수 있다. 따라서 8시간 장시간 평가도 본 연구에서 찾아낸 흡착제 연결조건을 사용하면 ISO 기준에 따른 장시간 유량변동을 평가하는데 사용가능함을 확인 할 수 있었다.

2. 압력측정장치와 흡착제 연결조건을 이용한 펌프의 유량성능 비교평가 결과

흡착제 연결조건을 사용한 펌프의 유량성능평가 결과는 압력측정장치를 이용한 유량성능평가 결과와 차이가 없어야 한다. 따라서 본 연구에서는 압력측정장치와 흡착제 연결조건을 활용하여 동일한 펌프를 대상으로 ISO 평가기준에 따라 펌프의 유량성능을 평가하여 보았다. 이번 평가대상이 된 두 회사별로 각각 3대씩 총 6대의 펌프를 대상으로 평가를 실시하였다. 평가결과 본 연구를 통해 찾은 흡착제 연결조건을 활용한 유량성능평가 결과와 압력측정장치를 활용한 유량성능평가 결과는 일치함을 확인 할 수 있었다. 해당 연구결과를 모두 제시하기에는 그 내용이 많아 압력을 증가시키면서 평가한 결과는 모두 제시하였으며(Figure 1, 2), 8시간 이상 연속가동 시키면서 평가한 결과는 SKC 제품의 평가결과(Figure 3, 4) 만을 제시하였다.

압력을 5단계로 증가시키면서 평가하는 가스상 물질 채취용 펌프의 경우 입자상 물질 채취용 펌프와는 달리 최대 유량에서만 해당 압력부하 조건에서

Table 6. Pressure drop by adsorbent combination conditions for checking long-term performance at minimum and maximum flow rate

Pump	N	Flow rate	Pressure, inch H ₂ O		
			Range	Mean	SD*
Gilian	3	Min, 0.05 L/min	1.85 ~ 1.94	1.90	0.15
		Max, 0.2 L/min	25.46 ~ 26.07	26.70	0.33
SKC	3	Min, 0.05 L/min	1.78 ~ 1.86	1.82	0.05
		Max, 0.025 L/min	20.04 ~ 20.31	20.19	0.90

*SD: Standard deviation

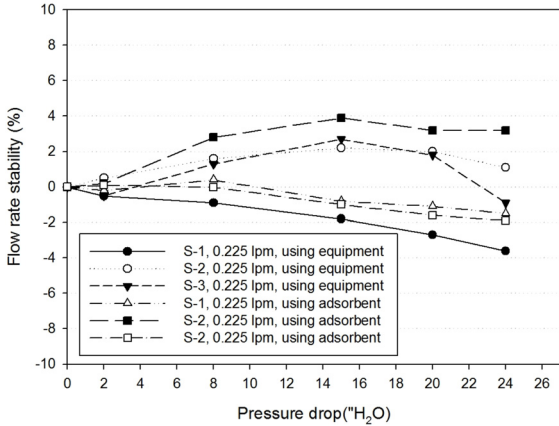


Figure 1. Maximum flow rate stability under increasing pressure drop by using equipment and adsorbent, SKC

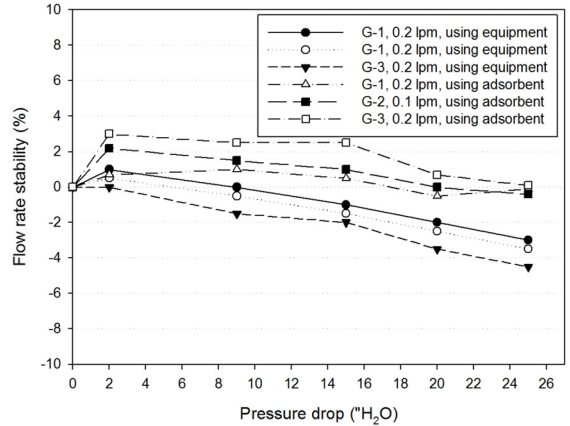


Figure 2. Maximum flow rate stability under increasing pressure drop by using equipment and adsorbent, Gilian

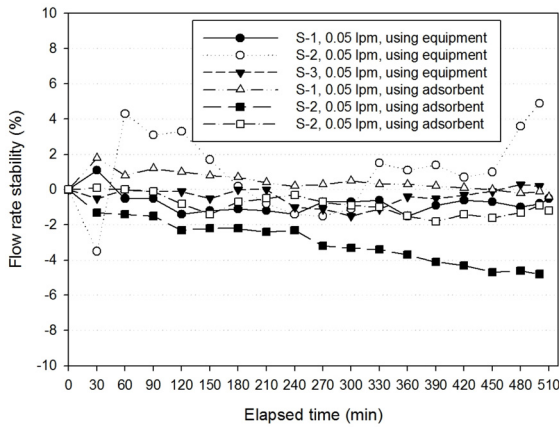


Figure 3. Flow rate stability during long-term performance test using equipment and filter at 0.05 L/min, SKC

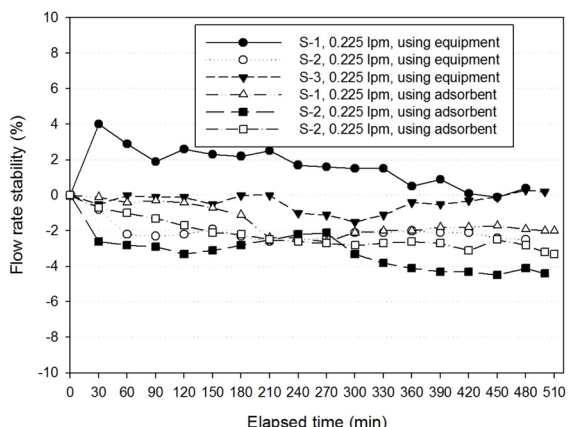


Figure 4. Flow rate stability during long-term performance test using equipment and filter at 0.225 L/min, SKC

유량변동을 평가하도록 하고 있다. Figure 1은 SKC Pocket pump 210-1002의 평가 결과를, Figure 2는 Gilian LFS-113의 평가결과를 보여 주는 것인데, 압력측정장치를 이용한 결과와 흡착제류를 이용한 결과 모두 ISO의 유량변동허용기준인 $\pm 5\%$ 이내의 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

Figure 3, 4는 SKC사 펌프를 대상으로 압력측정장치와 흡착제 연결조건을 각각 사용하여 최소유량과 최대유량에서 8시간 이상 가동시키면서 장시간 유량 성능평가 결과를 제시한 것이다. ISO 기준에 따르면 이 경우 역시 유량변동이 $\pm 5\%$ 를 초과하지 않아야 하는데 두 가지 방법으로 평가한 결과가 모두 일치함을 알 수 있다. 따라서 이번 평가결과에서 보여 주듯이 압력측정장치를 사용하지 않고도 본 연구결과

에서 제시한 흡착제 연결조건을 사용하면 단시간(5 단계로 압력부하 증가시키면서 평가), 또는 장시간 동안 가스상 물질 채취용 펌프의 유량성능을 검증할 수 있음을 확인할 수 있었다.

이번 연구결과는 작업환경측정기관이 압력측정장치를 별도로 구매하지 않더라도 측정시 흔히 사용하는 각종 흡착제류를 이용하면 펌프의 유량성능을 손쉽게 평가할 수 있는 수단을 제시했다는 점에서 의의가 있다고 생각된다. 또한 산업안전보건법에 따라 수행되어지고 있는 지정측정기관 평가에서 현재 구성된 평가항목(KOSHA, 2012)을 추가하는데도 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 작업환경측정방법을 구체적으로 제시하고 있는 지정측정기관평가 및 작업환

경측정방법등에 관한 고시(MoEL, 2013)를 보면 작업 환경측정에 사용된 펌프의 유량성능에 관한 특별한 규정이 없는 상태이다. 그러나 펌프의 유량성능을 담보하는 것은 측정결과의 정확성을 위해 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구결과 및 ISO의 관련규격을 참고하여 동 고시에 펌프의 유량성능 및 해당 허용압력 규정을 제시할 필요가 있다고 판단된다.

IV. 결 론

시료채취시 사용되는 펌프의 유량성능은 정확한 작업환경측정결과를 도출하는데 매우 중요한 요소임에도 불구하고 그 동안 시료채취 전에 펌프의 유량성능을 평가할 수 있는 손쉬운 수단이 국내에서는 제공되지 못한 측면이 있다.

본 연구에서는 국내 작업환경측정기관이 가장 많이 보유하고 있는 2개 회사(Gilian, SKC)의 가스상물질 채취용 펌프를 대상으로 시료채취용 펌프에 일정한 압력부하를 가할 수 있는 압력측정장치 없이도 작업환경측정기관에서 흔히 사용하는 측정용 소모품인 각종 흡착제를 사용하여 ISO 기준에 따른 펌프의 유량성능을 평가할 수 있는 방법을 제시하였다.

작업환경측정시 사용되는 다양한 흡착제류의 조합을 통해 ISO 평가기준에 부합한 압력부하 조건을 찾아냈고, 이렇게 찾아낸 조합들을 사용하면 압력측정장치가 없어도 펌프의 유량성능을 검증 할 수 있음을 입증하였다.

따라서 본 연구를 통해 제시된 흡착제류를 활용한 가스상 채취용 펌프의 유량성능 평가방법은 국내 작업환경측정기관이 비교적 손쉽게 적용할 수 있는 방법론이라고 생각되며, 동 방법을 적극 활용한다면 측정결과의 신뢰성 담보에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2013년도 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원의 연구비 지원을 받아 수행된 것으로 이에 감사를 드립니다.

References

- British Standard Institute(BSI). BS EN 1232_Workplace atmosphere-pumps for personal sampling of chemical agents-requirement and test methods.; 1997.
- European Committee for Standardization(CEN). EN 1232_Workplace atmosphere-pumps for personal sampling of chemical agents-requirement and test methods.; 1997.
- European Committee for Standardization(CEN). EN 12919_Workplace atmosphere-pumps for personal sampling of chemical agents with a volume flow rate of over 5 L/min - requirement and test methods.; 1999.
- International Organization for Standardization(ISO). ISO 13137_Workplace atmosphere-pumps for personal sampling of chemical and biological agents-requirement and test methods.; 2013.
- Jang JK. Evaluation of the possession of measurement and analytical instruments among domestic work environment monitoring service provider(I). J Korean Soc Occup Environ Hyg 2013;23(3):250-260
- Jeong JY, Kim GY, Bae YS. The validation study for constant flow rate performance of personal air sampler. Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA; 2013. p. 35-37
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Manual for assessor of appointed measurement institutions.; 2012. p. 13-14
- Ministry of Employment and Labor (MoEL). Notice on workplace environment measurement and accreditation of workplace environment measurement institution (MoEL Public Notice No. 2013-39).; 2013.
- National Institute for Occupational and Safety (NIOSH). Occupational exposure sampling strategy manual.; 1977.
- National Institute for Occupational and Safety (NIOSH). Guidelines for air sampling and analytical method development and evaluation.; 1995.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). OSHA technical manual, OSHA instruction TED 1.15.; 1995.