

## 여과지가 장착된 3단 카세트를 이용한 입자상물질 채취용 펌프의 유량성능 평가방법

송호준<sup>1</sup> · 김남희<sup>1</sup> · 김기연<sup>2</sup> · 마혜린<sup>3</sup> · 이광용<sup>4</sup> · 정지연<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>용인대학교 · <sup>2</sup>부산가톨릭대학교 · <sup>3</sup>한국산업위생학회 · <sup>4</sup>산업안전보건연구원

### Development of an Evaluation Method for Flow Rate Performance of Particulate Sampling Pump using Three-pieces Cassette Holder Containing Filters

Ho-June Song<sup>1</sup> · Nam-Hee Kim<sup>1</sup> · Ki-Youn Kim<sup>2</sup> · Hye-Lan Ma<sup>3</sup>  
· Gwang-Yong Yi<sup>4</sup> · Jee-Yeon Jeong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Occupational and Environmental Health, Yongin University,

<sup>2</sup>Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan,

<sup>3</sup>Korean Industrial Hygiene Association, <sup>4</sup>Occupational Safety and Health Research Institute

#### ABSTRACT

**Objectives:** In working environment measurement, sampling is an important stage for obtaining reliable result as analysis. A personal air sampling pump is one of the most fundamental and important element in the work environment measurement, but it remains at the level of calibrating the flow rate of the pump before and after sampling. There is no checking whether the flow rate set at the initial stage would be hold during sampling. The purpose of this study was to develop a method to evaluate the flow rate performance of particulate sampling pump with three-pieces cassette holder containing filters commonly used to sample particulate.

**Materials and methods:** We tested back pressure of particulate sampling pumps commonly used in Korea with three-pieces cassette holder containing various filters, and tried to find out the combination conditions of filters in accordance with back pressure required by ISO standard 13137.

**Results:** We found out the matrix of sampling media such as three-pieces cassette holder containing filters applicable to the pressure drop required by the ISO standard for evaluating the flow rate stability under increasing pressure drop and long term(8 hour) performance.

**Conclusions:** This evaluation method using sampling media matrix for checking flow rate stability proposed by this study could be very useful tool to find out good performance pumps before sampling.

**Key words** : back pressure, filter, flow rate, ISO, pump

#### I. 서 론

작업환경측정에서 시료채취업무는 분석업무 만큼이나 신뢰성 있는 측정결과를 얻기 위한 중요한 단계이다. 측정자는 시료채취 중 펌프가 정상작동 되는지 수시로 확인해야 하지만 상황에 따라 지속적인

관찰이 어려운 경우도 종종 발생한다. 만약 시료채취 도중에 펌프 작동이 멈추게 된다면 사업장을 다시 방문하여 재측정을 하거나 시료를 폐기해야 하는 일도 발생 할 수 있다. 따라서 시료채취시 펌프의 정상 작동 유무가 사전에 확인이 가능하다면 사업장을 재 방문해서 측정하거나, 시료를 폐기해야 하는 상황을

\*Corresponding author: Jee-Yeon Jeong, Tel: 031-8020-3208, E-mail: jjjung@yongin.ac.kr

Department of Occupational and Environmental Health, 134, Yongindaehak-ro, Cheoin-gu, Gyeonggi-do

Received: December 5, 2013, Revised: December 19, 2013, Accepted: December 22, 2013

사전에 방지할 수 있을 것이다. 또한 단순히 펌프가 꺼지는 현상뿐만 아니라, 시료채취 중 역 압력에 의해 유량이 어떻게 변하는지도 측정 전에 확인 해 볼 필요성이 있다.

현재 국내에서는 작업환경측정기관을 대상으로 정도관리를 실시하고 있다. “정도관리”란 법 제 42조 제8항에 따라 작업환경측정·분석기에 대한 정확성과 정밀도를 확보하기 위하여 지정측정기관의 작업환경측정·분석능력을 평가하고, 그 결과에 따라 지도·교육 그밖에 측정·분석능력 향상을 위하여 행하는 모든 관리적 수단을 말한다(MoEL, 2013a). 1993년부터 시행하고 있는 이 제도는 도입초기에 80.5%의 합격률을 보였지만, 2000년도 이후에는 95%이상의 합격률을 보이며 분석자들의 분석능력을 크게 향상시켜왔다(Park et al., 2005). 하지만, 정도관리는 분석능력의 평가에 중점이 되어 있어 측정분야에 대한 신뢰성을 확보하기엔 부족한 것이 사실이다. 이러한 점을 보완하기 위해 작업환경측정 수준을 향상시키고자 산업안전보건법 제42조 제9항에 작업환경측정기관 평가 제도를 도입하여 지정측정기관의 작업환경측정 수준을 평가하고자 평가기준을 마련하게 된다(MoEL, 2013b).

동 평가제도의 평가항목은 측정기관을 운영하는데 있어 필요한 제반 규정과 처리절차 등에 관한 기관운영을 전반적으로 평가하는 부분과 작업환경측정을 실시하고자 하는 사업장의 예비조사 단계에서부터 최종보고서가 작성되어 해당 사업장에 발송되는 전반적인 과정에 걸쳐 실무적인 부분을 평가할 수 있는 세부 평가항목으로 구성되어 있다(KOSHA, 2012).

측정기관의 평가항목 중 이번 연구와 관련 있는 항목은 ‘2. 측정결과의 신뢰도’ 중 ‘2.7 시료 채취 전·후 시료채취기 유량 보정 수행 및 결과 반영’ 부분과, ‘3. 시설·장비의 성능 중 3.1 측정장비의 사용 및 유지관리지침 보유 여부, 3.9 법정 필수 장비에 관한 검·교정 계획 수립 여부’ 항목이다.

그러나 상기항목은 시료채취 전 또는 시료채취 후 설정유량으로 펌프가 작동하고 있는지 여부만을 확인하는 것으로 실제로 시료채취 중 설정유량으로 펌프가 작동되고 있었는지를 확인할 수는 없다. 위와 같은 상황은 펌프의 설정유량 유지변동이 시료채취 과정에서 오차를 일으키는 원인 중 가장 큰 요소임

에도 불구하고 현재까지 국내에서는 펌프의 성능을 사전에 검증할 수 있는 수단이나 방법 등은 마련되어 있지 않은 실정이다.

작업환경측정에 경험이 있는 사람이라면 가장 곤란한 상황이 현장에서 시료채취를 하는 중에 펌프가 멈추는 상황이 발생하는 경우이다. 현장을 지속적으로 감시하는 도중에 이러한 상황이 목격된다면 예비 펌프로 교체하는 등의 조치를 취할 수 있지만 그렇지 못한 경우 시료채취를 다시 해야 하는 상황이 발생할 수 있다. 펌프는 시료채취 도중 시료채취 매체에 오염물질의 축적이 지속적으로 일어나게 되기 때문에 압력손실이 지속적으로 증가하게 된다. 따라서 펌프는 일정한 압력까지는 이러한 압력을 견디고 설정유량으로 작업환경중의 공기를 계속 흡인하는 능력을 가져야 하는 것이 개인 시료채취기의 펌프가 가져야 할 가장 중요한 기본 요소이다. 그러나 펌프를 사용하다보면 배터리의 성능저하, 모터의 성능저하, 시료채취기 내의 공기 이동경로에서의 막힘 현상 등 다양한 요인에 의해 제 성능을 유지하지 못하고, 원래는 견뎌야 하는 압력수준임에도 불구하고 펌프가 꺼지는 현상이 종종 발생하는 문제를 야기한다. 따라서 허용압력 범위이내에서 펌프의 꺼짐 현상은 시료채취 전에 미리 발견되어야 하고, 그 원인을 찾아 교정할 수 있는 수단이 제공된다면 시료채취 도중에 펌프의 작동정지로 인한 문제점은 상당부분 해결 할 수 있을 것이다.

그 동안 작업환경측정정도관리 및 지정측정기관평가 제도를 통해 작업환경측정기관의 측정결과에 대한 신뢰성이 많이 향상되었다는 점은 주지의 사실이다. 그러나 측정과 관련된 가장 중요한 요소인 개인 시료 채취기 펌프의 유량 신뢰성을 담보할 수 있는 검증수단이 없어 시료채취 전·후의 유량만을 보정하는지를 확인하는 수준에서만 지정측정기관의 평가가 이루어져 있어, 작업환경측정기관에 시료채취 도중 펌프의 유량이 초기 설정유량으로 제대로 작동하는지 여부를 사전에 검증할 수 있는 수단을 제공할 필요가 있다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 입자상 물질 채취용 펌프를 대상으로 압력부하를 가하거나 또는 해당 압력을 측정할 수 있는 압력측정장치 없이도 측정기관에서 흔히 사용되는 각종 필터류를 사용하여 ISO의 평가기준에 부합하는 유량성능평가 방법을 제시 하고자 한다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 펌프 선정

Jang(2013)과 Jeong et al.(2013)의 연구결과에 의하면 국내 작업환경측정기관이 보유하고 있는 입자상 물질 채취용 펌프의 대부분은 MSA, Gilian, 그리고 SKC사 제품이고, 이들이 전체 보유대수의 약 90% 정도를 점유하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 이들 3개사 제품을 평가대상 펌프로 선정하였다. 이번 평가대상이 된 3개사 펌프가 해당유량에서 최소의 유량변동으로 전달 수 있는 역 압력(Back pressure) 등에 대한 제원은 Table 1과 같다.

### 2. 연구방법

개인시료 채취용 펌프의 유량성능과 관련한 국내외 규격에 대한 문헌조사결과 국내 및 미국의 경우 관련규격이 없고, 영국, 유럽, 그리고 국제표준화기구(ISO)가 관련 규격을 제시하고 있었다(BSI, 1997; CEN, 1997; ISO, 2013). 유럽규격은 영국규격을 그대로 수용한 규격이었으며, ISO 규격 경우 유럽규격을 포함하여 좀 더 포괄적이고, 자세한 규격 및 평가방법을 제시하고 있는 규격이었다. 따라서 본 연구에서는 ISO에서 제시하고 있는 방법에 따라 펌프의 유량성능을 평가 할 수 있는 방법을 사용하였다. ISO 규격에서 요구하고 있는 설정유량에 따른 요구되어지

는 압력강하(Pressure drop) 범위는 Table 2와 같다.

ISO 규격에 따른 펌프 유량성능 평가는 두 가지 방법으로 제시되어 있다. 첫 번째는 5 ℓ/min 이하 펌프 경우 제조회사가 제시하는 최소유량과 최대유량에서 Table 2에 제시되어 있는 해당유량에서 요구되어지는 압력강하 범위의 최소 압력부하에서 최대 압력부하까지 5단계로 압력을 증가시키면서 초기 설정유량의 변동범위를 체크하여 그 유량변동 범위가 ±5%를 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있다. 두 번째는 2 ℓ/min과 6.4 inch H<sub>2</sub>O, 그리고 펌프제조회사가 제시한 최대유량과 Table 2에서 제시된 해당 유량에 따른 압력부하 범위 값 중 최대값의 압력부하를 가한 상태에서 펌프를 8시간 이상 가동시키면서 유량변동을 체크하되 이 역시 유량변동범위는 초기설정유량의 ±5%를 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있다.

다양한 필터류가 조합된 3단 카세트를 펌프에 연결시킨 후 펌프에 걸리는 역 압력을 측정하기 위해 압력 측정장치(Lab & field calibrator system, Gilian, USA)를 사용하였으며, 실험에 사용된 필터류는 PTFE 필터(Diameter: 37 mm, pore size: 2.0 μm, SKC, USA), MCE 필터(Diameter: 37 mm, pore size: 0.45 μm, SKC, USA), MCE 필터(Diameter: 37 mm, pore size: 0.8 μm, SKC, USA), Glass fiber 필터(Diameter: 37 mm, pore size: 1.0 μm, SKC, USA) 등 이었으며, 이들 필터의 다양한 조합을 사용하여 ISO 규격에서 요구되어지는 압력부하 조건을 찾았다.

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

Manufacturer	Model	Flow range (ℓ/min)	Back pressure(inch H <sub>2</sub> O)					
			1 LPM	2 LPM	2.5 LPM	3 LPM	4 LPM	5 LPM
Gilian	GilAir-3	0.75~3	25	15	15	8	-	-
SKC	224-PCXR8	1~5	40	40	40	35	-	10
MSA	Escort ELF	0.5~3	30	30	20	10	-	-

**Table 2.** Required pressure drop range of flow rate by ISO 13137

Type of pump	Adjusted flow rate (ml/min)	Required pressure drop range kPa(inch H <sub>2</sub> O)
Type P pumps	1,000	0.1(0.4) ~ 4.0(16.0)
	2,000	0.3(1.2) ~ 4.0(16.0)
	3,000	0.4(1.6) ~ 4.0(16.0)
	4,000	0.6(2.4) ~ 5.0(20.0)
	5,000	0.7(2.8) ~ 6.25(25.0)

### III. 연구결과 및 고찰

#### 1. ISO 기준의 압력부하 조건에 부합한 측정필터 선정결과

##### 1) 압력부하를 증가시키면서 실시하는 유량성능 평가조건

최소 유량조건(1 ℓ/min)에서 압력을 5단계로 증가시키는데 필요한 필터 연결조건을 실험실 평가를 통해 찾았으며, 이렇게 찾은 필터조건을 3단 카세트에 백업필터 같이 장착한 후 펌프 제조회사별로 입자상물질 채취용 펌프 3대씩을 선정하여 해당 압력부하를 측정할 결과가 Table 3이다.

1단계 압력부하에 적합한 필터 연결조건은 공극 2.0 μm PTFE 필터 1장을 3단 카세트에 백업패드와 같이 장착했을 때 얻을 수 있었으며, 이때 압력 부하는 평균 1.08 inch H<sub>2</sub>O였다. 2단계 압력부하는 공극 0.8 μm MCE 필터 2장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착했을 때 얻을 수 있었으며, 그 압력부하는 평균 3.85 inch H<sub>2</sub>O였다. 3단계 압력부하는 공극 0.45 μm MCE 필터 1장과 공극 0.8 μm MCE 필터 2장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착했을 때 얻을 수 있었으며, 그 압력부하는 평균 8.63 inch H<sub>2</sub>O였다. 4단계 압력부하는 공극 0.45 μm MCE 필터 2장과 공극 0.8 μm MCE 필터 1장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착했을 때 얻을 수 있었으며, 그 압

력부하는 평균 12.12 inch H<sub>2</sub>O였다. 5단계 압력부하는 공극 0.45 μm MCE 필터 3장과 공극 0.8 μm MCE 필터 1장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착했을 때 얻을 수 있었으며, 그 압력부하는 평균 16.75 inch H<sub>2</sub>O였다.

실험결과 펌프 제조사에 상관없이 모든 펌프는 동일한 필터 연결조건에서 유량이 같을 경우 최소유량에서는 거의 비슷한 압력부하를 보였으며(Figure 1), 이들은 모두 ISO 기준에 부합한 압력부하가 걸리는 것이 확인되었다.

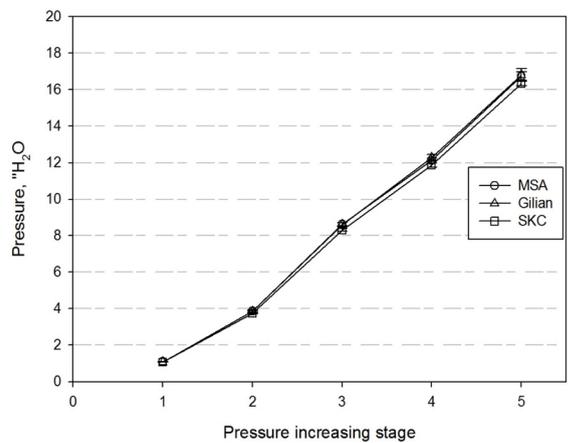


Figure 1. Pressure drop of pumps connected with 3 pieces cassette holder containing various filters at flow rate 1 ℓ/min.

Table 3. Pressure drop by filter combination conditions for checking flow rate stability under increasing pressure drop and flow rate, 1 ℓ/min

Pump	N	Variable	Pressure, inch H <sub>2</sub> O				
			1 step <sup>*</sup>	2 step <sup>†</sup>	3 step <sup>‡</sup>	4 step <sup>§</sup>	4 step <sup>  </sup>
MSA	3	Range	1.06~1.10	3.82~3.90	8.56~8.72	11.98~12.21	16.48~16.92
		Average	1.08	3.85	8.63	12.12	16.75
		CV,%	1.85	1.13	0.94	1.03	1.41
Gilian	3	Range	1.06~1.08	3.81~3.91	8.49~8.70	12.16~12.48	16.48~17.20
		Average	1.07	3.86	8.61	12.29	16.81
		CV,%	0.93	1.30	1.26	1.35	2.16
SKC	3	Range	1.06~1.08	3.73~3.78	8.24~8.36	11.74~11.95	16.24~16.45
		Average	1.07	3.75	8.32	11.86	16.34
		CV,%	0.93	0.67	0.80	0.91	0.64
Total	9	Range	1.06~1.10	3.73~3.91	8.24~8.72	11.74~12.48	16.24~17.20
		Average	1.07	3.82	8.52	12.09	16.64
		CV,%	1.23	1.65	2.00	1.84	1.89

<sup>\*</sup>: PTFE 2.0 μm 1sheet; <sup>||</sup>: MCE, 0.45 μm 3sheet+MCE, 0.8μm 1sheet; <sup>‡</sup>: MCE, 0.45μm 1sheet+MCE, 0.8 μm 2sheet; <sup>†</sup>: MCE, 0.8 μm 2sheet; <sup>§</sup>: MCE, 0.45 μm 2sheet+MCE, 0.8μm 1sheet.

MSA사 및 Gilian사 제품의 경우 펌프 제조회사가 제시하고 있는 최대유량은 3 ℓ/min이나 이 유량에서 견딜 수 있는 허용압력이 각각 10 inch H<sub>2</sub>O, 8 inch H<sub>2</sub>O로 ISO 규격에서 요구하고 있는 16 inch H<sub>2</sub>O에는 부족한 수준이었다. 따라서 MSA사 및 Gilian사 제품 경우 ISO 규격에 부합하는 최대 유량은 약 2.5 ℓ/min이었다. 따라서 최대 유량조건에 부합하는 필터 연결조건은 구분하여 찾았으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

Figure 2는 압력단계별 필터 연결조건에서 MSA, Gilian 그리고 SKC사 펌프의 압력부하가 어떻게 증가하는지를 보여주는 그림이다. MSA사 제품과 Gilian 및 SKC사 제품 펌프에 걸리는 압력부하는 약간의 차이를 보이는데 이는 평가를 실시한 최대유량(MSA 및 Gilian: 2.5 ℓ/min, SKC: 3 ℓ/min)이 다르기 때문에 발생한 것이며, 설정유량이 같은 경우 압력부하 변동범위는 매우 유사함을 나타내 주고 있었다. 또한 동일회사 3개 제품으로 평가된 유량변동의 범위를 나타내는 오차 바 범위 폭을 보면 매우 작음을 알 수 있는데 이는 동일 회사 펌프들 간에는 같은 필터 연결조건에서는 압력부하 차이가 매우 작다는 것을 알 수 있었다.

2) 8시간이상 유량성능평가 조건

ISO 기준에 따르면 펌프를 8시간 이상 가동하면서 유량성능을 평가하는 경우 입자상 물질 채취용 펌프

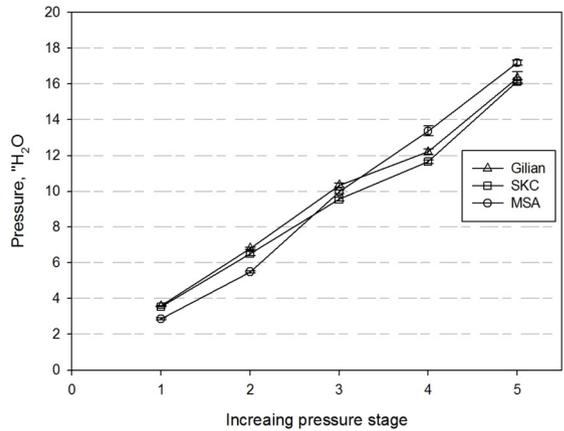


Figure 2. Pressure drop of pumps connected with 3 pieces cassette holder containing various filters at flow rate 2.5 ℓ/min (MSA), and 3.0 ℓ/min(Gilian, SKC).

는 최소유량(2 ℓ/min)과 최대유량(3 ℓ/min)에서 각각 해당하는 압력부하 조건을 설정한 후 펌프를 연속적으로 가동시키면서 유량변동을 평가토록 하고 있다. 그러나 MSA사 모델과 Gilian사 평가모델의 경우 제조회사가 제시하고 있는 최대유량(3 ℓ/min) 및 압력조건(MSA사 모델: 10 inch H<sub>2</sub>O, Gilian사 모델: 8 inch H<sub>2</sub>O)이 ISO기준에서 규정한 압력조건(16 inch H<sub>2</sub>O)에 맞지 않아 2.5 ℓ/min을 최대유량조건으로 설정하고 이 조건에 맞는 압력조건을 확인하여 필터 연결조건을 찾았다.

Table 5는 8시간 이상 펌프의 유량성능을 평가하기

Table 4. Pressure drop by filter combination conditions for checking flow rate stability under increasing pressure drop and maximum flow rate

Pump	N	Variable	Pressure, inch H <sub>2</sub> O				
			1 step*	2 step†	3 step‡	4 step§	4 step
MSA	3	Range	2.82~2.91	5.43~5.54	9.85~10.04	13.05~13.57	17.02~17.28
		Average	2.86	5.49	9.97	13.37	17.18
		CV,%	1.60	1.04	1.05	2.11	0.83
Gilian	3	Range	3.57~3.61	6.77~6.86	10.22~10.45	12.04~12.35	15.59~16.62
		Average	3.59	6.81	10.35	12.21	16.34
		CV,%	0.58	0.67	1.14	1.28	2.13
SKC	3	Range	3.53~3.54	6.39~6.61	9.46~9.65	11.60~11.78	16.05~16.21
		Average	3.54	6.51	9.56	11.66	16.15
		CV,%	0.16	1.73	1.00	0.89	0.55

MSA-\*: PTFE 2.0 μm 1sheet; †: PTFE 2.0 μm 3sheet; ‡: MCE, 0.8 μm 2sheet; §: MCE, 0.8 μm 2sheet+PTFE 2.0 μm 1sheet; ||: MCE, 0.45 μm 1sheet+PTFE 2.0 μm 2sheet.

Gilian, SKC-: PTFE 2.0 μm 1sheet; †: PTFE 2.0 μm 3sheet; ‡: MCE, 0.8 μm 1sheet; §: MCE, 0.8 μm 2sheet; ||: MCE, 0.8 μm 3sheet.

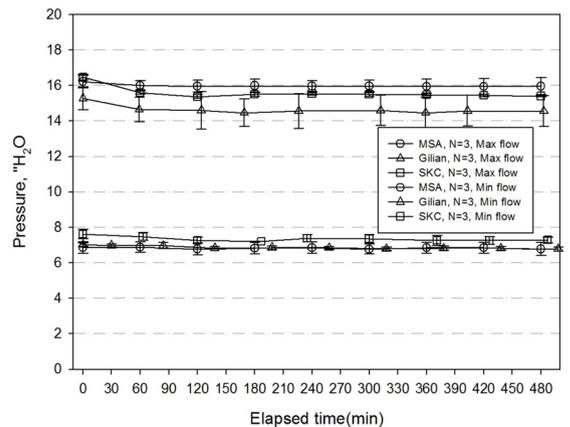
**Table 5.** Filter combination conditions for checking long-term performance at minimum and maximum flow rate

Pump	Flow rate (ℓ/min)	Pressure drop (inch H <sub>2</sub> O)	Filter combination condition
MSA	2(Min)	6.4	MCE, 0.8 μm 1장 + PTFE 2.0 μm 2장
	2.5(Max)	16	MCE, 0.45 μm 1장 + PTFE 2.0 μm 2장
Gilian	2(Min)	6.4	MCE, 0.8 μm 1장 + PTFE 2.0 μm 2장
	2.5(Max)	16	MCE, 0.8 μm 3장 + PTFE 2.0 μm 1장
SKC	2(Min)	6.4	MCE, 0.8 μm 2장
	3(Max)	16	MCE, 0.8 μm 3장

위한 펌프 제조사별 해당유량 및 압력조건에 해당하는 필터 연결조건을 정리한 것이다. MSA사 Escort ELF 모델의 경우 최소유량(2 ℓ/min) 및 6.4 inch H<sub>2</sub>O 압력조건에 해당하는 필터연결 조건은 공극 0.8 μm MCE 필터 1장과 공극 2.0 μm PTFE 필터 2장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착하는 것이며, 최대유량(2.5 ℓ/min) 및 16 inch H<sub>2</sub>O 압력조건에 해당하는 필터연결 조건은 공극 0.45 μm MCE 필터 1장과 공극 2.0 μm PTFE 필터 2장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착하는 것이다. Gilian사 GilAir-3 모델의 경우 최소유량(2 ℓ/min) 및 6.4 inch H<sub>2</sub>O 압력조건에 해당하는 필터연결 조건은 공극 0.8 μm MCE 필터 1장과 공극 2.0 μm PTFE 필터 2장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착하는 것이며, 최대유량(2.5 ℓ/min) 및 16 inch H<sub>2</sub>O 압력조건에 해당하는 필터연결 조건은 공극 0.8 μm MCE 필터 3장과 공극 2.0 μm PTFE 필터 1장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착하는 것이다. SKC사 224-PCXR8 모델의 경우 최소유량(2 ℓ/min) 및 6.4 inch H<sub>2</sub>O 압력조건에 해당하는 필터연결 조건은 공극 0.8 μm MCE 필터 2장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착하는 것이며, 최대유량(3 ℓ/min) 및 16 inch H<sub>2</sub>O 압력조건에 해당하는 필터연결 조건은 공극 0.8 μm MCE 필터 3장을 백업패드와 함께 3단 카세트에 장착하는 것이다.

Figure 3은 Table 4에서 제시한 필터 연결조건에서 각 제조사별로 펌프를 3대씩 총 9대를 이용하여 8시간 이상 펌프를 가동시키면서 펌프에 걸리는 압력부하의 변동정도를 확인하기 위해 약 1시간 간격으로 측정하여 제시한 결과이다.

각 펌프제조사별 최소 및 최대 유량에서 해당 압력부하를 줄 수 있는 필터를 연결한 상태에서 8시간 이상 펌프를 가동시키면서 약 1시간 간격으로 압력



**Figure 3.** Pump's pressure drop variation by filter combination conditions for checking long-term performance at minimum and maximum flow rate.

부하 변화가 어떠한지를 평가하였다. 평가대상 모든 펌프는 평가시간인 8시간 동안 필터연결에 의해 가해진 압력부하가 별 변동 없이 지속적으로 유지되고 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 도출된 필터 연결조건에서 8시간 동안 펌프의 유량성능을 평가하여도 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

## 2. 필터연결조건을 이용한 펌프유량성능 평가 검증 결과

필터 연결조건을 사용한 유량성능평가 결과는 압력측정장치를 이용한 유량성능평가 결과와 차이가 없어야 한다. 따라서 본 연구에서는 압력측정장치와 필터연결조건을 활용하여 동일한 펌프를 대상으로 ISO 평가기준에 따라 펌프의 유량성능을 평가하여 보았다. 이번 평가대상이 된 3개사별로 3대씩 총 9대의 펌프를 대상으로 평가를 실시하였다. 평가결과 본 연구를 통해 찾은 필터연결조건을 활용한 유량성능

평가 결과와 압력측정장치를 활용한 유량성능평가 결과는 일치함을 확인 할 수 있었다. 해당 연구결과를 모두 제시하기에는 그 내용이 많아 여기서는 Gilian사 펌프를 대상으로 얻은 결과만을 제시하고자 한다.

Figure 4, 5는 Gilian사 펌프를 대상으로 압력측정 장치와 필터연결조건으로 압력을 5단계로 증가시키면서 최소 및 최대유량에서 유량변동이 어떻게 변화했는지에 대한 결과를 제시한 것이다. ISO 기준에 따르면 유량변동이  $\pm 5\%$ 를 초과하지 않아야 하는데 압력측정장치로 평가하여 이 기준에 모두 부합한 펌프는 필터연결조건으로 평가시도 모두 부합한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

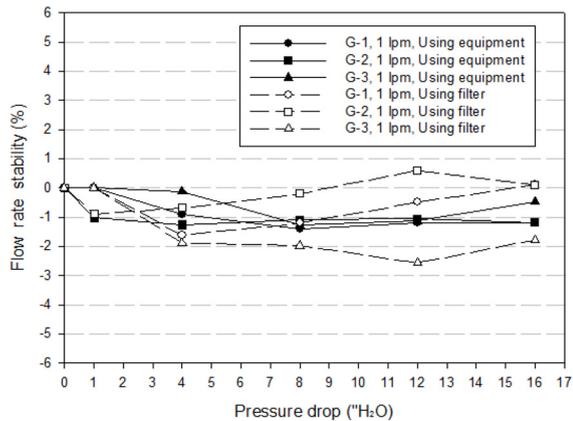


Figure 4. Minimum flow rate stability under increasing pressure drop by using equipment and filter, Gilian (n=3).

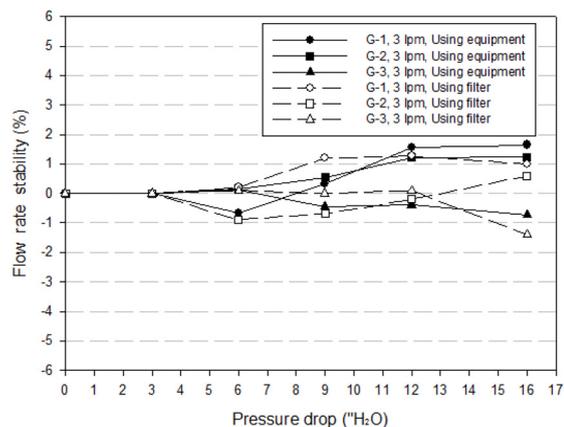


Figure 5. Maximum flow rate stability under increasing pressure drop by using equipment and filter, Gilian (n=3).

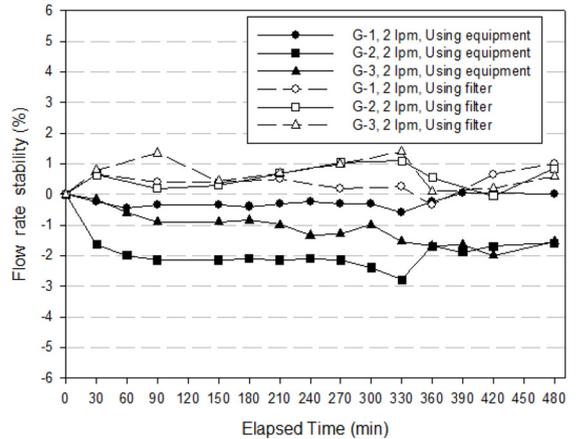


Figure 6. Flow rate stability during long-term performance test using equipment and filter at 2 l/min, Gilian.

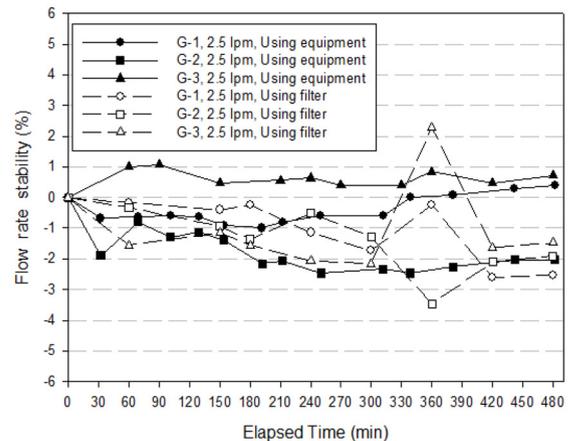


Figure 7. Flow rate stability during long-term performance test using equipment and filter at 2.5 l/min, Gilian.

Figure 6, 7은 Gilian사 펌프를 대상으로 압력측정 장치와 필터연결조건을 각각 사용하여 8시간 이상 가동시키면서 장시간 유량성능평가 결과를 제시한 것이다. ISO 기준에 따르면 유량변동이  $\pm 5\%$ 를 초과하지 않아야 하는데 두 가지 방법으로 평가한 결과가 모두 일치함을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

작업환경측정에서 시료채취업무는 분석업무만큼이나 신뢰성 있는 결과를 얻기 위한 중요한 단계이다. 만약 개인시로 채취용 펌프가 정해진 시간동안

일정한 유량으로 시료채취를 하지 못한다면, 정확한 작업환경측정을 담보할 수 없다. 따라서 펌프의 유량성능을 시료채취 전에 미리 확인할 수 있는 방법의 확보가 매우 중요하다.

본 연구에서는 국내 작업환경측정기관이 가장 많이 보유하고 있는 3개회사(Gilian, MSA, SKC)의 입자상 물질 채취용 펌프를 대상으로 압력측정장치가 없이도 국내 작업환경측정기관이 손쉽게 구할 수 있는 여러 측정용 소모품인 각종 필터류를 사용하여 ISO 기준에 따른 펌프의 유량성능을 평가할 수 있는 방법을 제시하였다.

작업환경측정시 사용되는 다양한 필터류의 조합을 통해 ISO 평가기준에 부합한 압력부하 조건을 찾아냈으며, 찾아낸 조합을 바탕으로 압력부하가 평가시간 동안 일정하게 유지되는지를 확인한 결과 매우 안정적으로 유지됨을 확인 할 수 있었고, 또한 압력측정장치를 활용한 펌프의 유량성능 평과결과와 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통해 제시된 측정필터를 활용한 입자상 물질 채취용 펌프의 유량성능 평가방법은 측정기관에서 별도의 압력측정장치가 없더라도 시료채취 전에 펌프의 유량성능을 사전에 검증할 수 있는 매우 유용한 방법이 될 수 있을 것이라고 판단된다.

### 감사의 말씀

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. BSI; 1997.
- European Committee for Standardization(CEN). EN 1232\_Workplace atmosphere-pumps for personal sampling of chemical agents-requirement and test methods. CEN; 1997.
- International Organization for Standardization(ISO). ISO 13137\_Workplace atmosphere-pumps for personal sampling of chemical and biological agents-requirement and test methods. ISO; 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).; 2013a.
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Industrial Safety and Health Act.; 2013b.
- Park DM, Park JM, Shin YC, Cha JY, Kim BW, Jeong JY, Paik NW. A study on introduction of accreditation program for industrial hygiene laboratories in Korea. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2005;15(3): 232-238