

1D1) 대기 중 오염물질의 초정밀 채취: 6구 매니폴드 매스-플로우-컨트롤러를 조합한 초고정밀 유량채취 방식의 검정

Design of a six-port-manifold mass flow controller system: Establishment of high-precision sampling of airborne pollutants

김기현^{1,2*}, 김민영³, 최여진¹, 최규훈¹, 오상인¹
세종대학교 지구정보과학과¹, 경희대학교 환경연구센터²,
서울시 보건환경연구원³

1. 서론

대기 중 오염물질의 측정은 크게 채취와 분석의 단계로 구분할 수 있다. 오염물질의 측정과 관련된 정도관리도 당연히 이들 2개의 분야에 대한 각각의 가치를 동일하게 비교하여야 한다. 그러나 아직까지 많은 연구주체들에 의해 시도된 대기관측과 관련된 연구분석의 결과들은 분석의 정도관리에 대해 많은 가치를 부여함에도 불구하고, 채취의 정도관리에 대해서는 나름대로 충분한 검정이 이루어지지 않은 경우를 빈번하게 목격할 수 있다 (Kim and Lindberg, 1994). 다수의 선행연구들은 이러한 문제점들을 지적하는데, 실제로 채취와 관련된 오차는 분석으로부터 야기되는 오차보다 더 심각하게 자료해석의 문제를 야기할 잠재적 문제점을 내재하고 있다 (Weinheimer and Ridley, 1990).

본 연구에서는 대기시료의 채취를 정확, 정밀하게 수행할 수 있는 시스템을 개발하고, 이러한 시스템을 대기오염물질의 측정에 직접적으로 응용하기 위한 목적으로 다양한 연구분석을 시도하였다. 이러한 시료채취시스템은 본 연구진이 일상적으로 측정하는 가스상 수은이나 휘발성 유기화합물의 채취에 우선적으로 적용할 수 있게끔 조사하였다. 본문에서는 대기오염물질의 관측 등에 대해, 본 채취시스템과 같은 정밀 채취시스템의 다양한 활용이 이루어지는 것을 목적으로, 본 시스템에 대하여 이루어진 초기검정 결과의 일부를 제시하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 시료의 채취와 관련된 여러 가지 오차의 소지를 최대로 억제하기 위하여, 시료채도와 정밀도를 향상시킬 수 있는 방법을 모색하였다. 주로 가스상 시료의 채취를 정밀하게 시도하고자 하는 목적을 달성하기 위해, 6개의 시료를 동시에 독립적으로 채취할 수 있게 6구형 매니폴드 (manifold)에 최대 1 slpm (standard liter per minute)로 시료의 채취가 가능한 6개의 동일한 mass flow controller (MFC: Model 3660, KOFLOC Inc., Japan)를 연결시킨 단일 시료채취 시스템을 제작하였다 (Fig 1). 본 시스템은 한 개의 진공펌프를 이용하여 구동하고, 각각의 MFC에 대한 유량정보는 전자식으로 확인할 수 있게 전 시된다. 동시에 최대 6개의 동일 시료 (replicate sample)를 확보하도록 제작된 채취시스템의 성능을 검정하기 위하여, 다음과 같은 방식으로 초기성능검사를 시도하였다. 1차적으로 대기 중 가스상 수은시료의 채취에 주로 활용되는 Au-amalgam 흡착튜브를 본 채취시스템의 (독립적인 6개) 시료주입구에 장착하였다. 실험은 100, 200, 300, 400, 500 ml/min의 5 가지 유량에서 각각의 시료주입 채널에 대하여, 채취유량을 3회씩 비교하는 방식으로 진행하였다. 매실험시 시료의 채취는 모두 동일한 유량조건으로 세팅하고, Agilent사에서 제작된 디지털 플로우미터 (digital flow meter: DFM)를 이용하여 모두 동일한 방식으로 검정하였다.

양 시스템으로부터 확인된 유량정보는 비교검정용으로 이용한 디지털플로우미터의 정보가 정확하다는 가정 하에 다음과 같이 percent difference (PD)와 같은 방식으로 오차를 산출할 수 있는 수식 (1)으로 결과를 평가할 수 있다.

$$\text{Percent difference} = (\text{DFM FR} - \text{MFC FR}) * 100 / (\text{DFM FR}) \quad (1)$$

여기서 FR=flow rate.

이와 같이 계산된 PD는 다음과 같이 보정치를 유도하는 공식에 대입하므로써, 최종적으로 MFC의 결과값을 보정할 수 있다.

$$\text{Corrected FR} = \text{MFC FR} * 100 / (100 - \text{PD}) \quad (2)$$

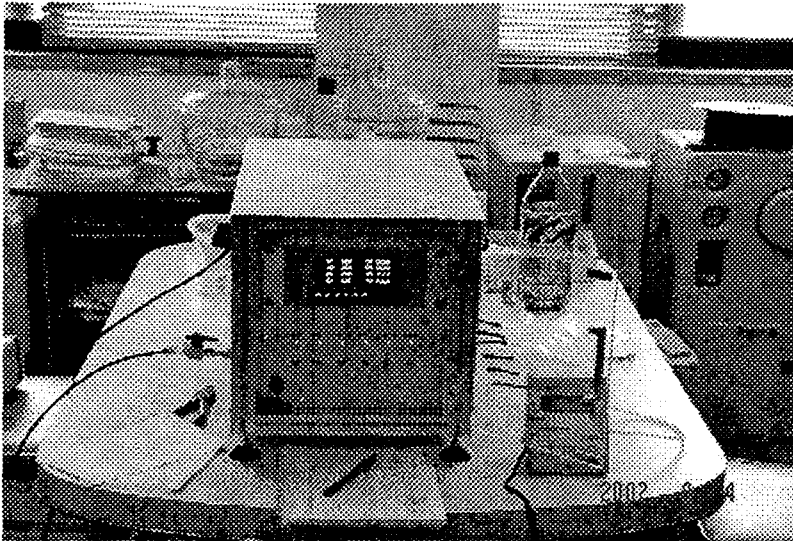
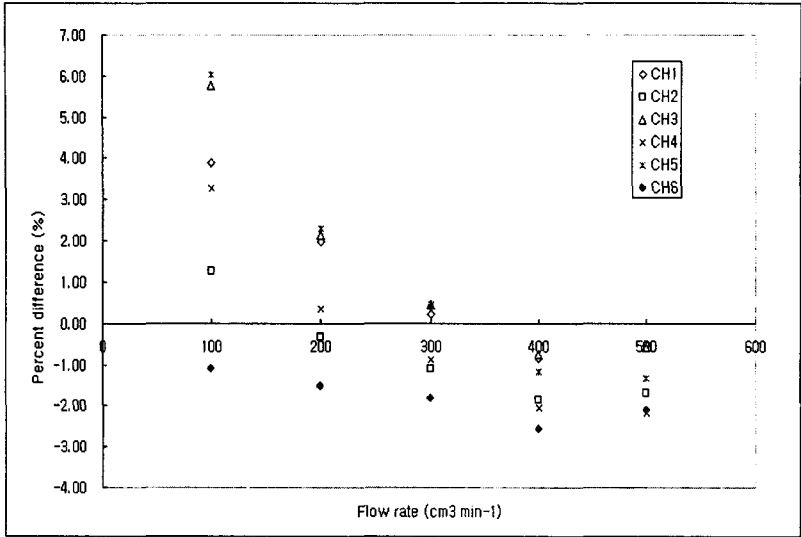


Fig 1. A picture of a 6-port manifold MFC system tested in this study.

3. 결과 및 토론

2001년 9월 기간 중 세종대내 대기환경연구실에서 수은채취 튜브를 이용하여 본 채취시스템의 성능을 평가한 결과는 Fig 2에 제시한 바와 같다. 각 비교유량구간에서 채널별로 3회씩 반복분석된 결과로부터 산출한 바이어스값 (PD)를 Fig 2에 제시하였다. 채널별로 상당히 양호한 PD값을 유지하는 채널도 발견되지만, 전체적으로는 유량이 증가할수록 오차의 범위가 좁아지는 것을 알 수 있다. 저유량구간에서 크게 나타난 오차는 유량의 증가와 함께 감소하는데, 그 크기는 400, 500 ml/min 구간에서는 모두 음수로 2 % 내외의 오차를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 연구는 실제 채취된 시료의 분석을 통하여, 재현성이나 반복성 등을 보다 체계적으로 검증할 계획이다. 그런데 현재 확인된 결과가 MFC의 최대용량보다 훨씬 낮은 규모에서 이루어졌음에도 불구하고 상당히 작은 오차를 보인다는 것은 향후 이러한 시스템의 활용을 통하여, 정밀한 시료채취를 꾀할 수 있다는 가능성을 확인시켜 준다.



사 사

본 연구는 2002년 한국과학재단의 선도과학연구과제의 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

Kim, K.-H. and S. E. Lindberg (1994) High-precision measurements of mercury vapor in air: Design of a six-port-manifold mass flow controller system and evaluation of mass flow errors at atmospheric pressure. *Journal of Geophysical Research* 99, 5379-5384.

Weinheimer, A.J. and B.A. Ridley (1990) A cautionary note on the use of some mass flow controllers. *Journal of Geophysical Research* 95, 9817-9821.