

MA14) 컵임팩터를 사용한 PM_{2.5} 도입부 설계 및 성능 평가

Design and Test of a 2.5 μ m Cut-off Size Inlet Based on Particle Cup Impactor

한영택, 김헌태, 이규원
광주과학기술원

1. 서론

대기중에 부유하는 미세입자는 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있어, 입자 포집 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 부유 에어로졸 입자중 10 μ m 크기 이하의 미세입자는 인체의 흉관 부위까지 도달할 수 있다. 특히 약 2.5 μ m 크기 이하의 입자는 폐포관에 침착할 가능성이 매우 커서, 입자의 화학조성, 침착 부위에 따라서 인체에 유해 정도가 달라질 수 있다. 최근에 미국 EPA에서는 부유분진 입자의 규제를 2.5 μ m 이하입자의 질량 농도에 두고 있다. 본 연구에서는 이러한 요구 사항에 발맞추고, 유해한 부유분진을 효과적으로 측정하기 위한 PM_{2.5} 도입부를 개발하고 그 성능을 평가하였다. 일정 크기 이하의 입자의 농도를 선별적으로 측정하기 위해서는 입자를 기준 크기보다 큰 입자와 작은 입자로 분리해야한다. 입자의 크기별 선별 장치로는 사이클론이나 임팩터 등이 있다. PM_{2.5}도입부는 컵임팩터의 개념으로 관성력을 이용하여 입자를 2.5 μ m 이상과 이하로 구분해 낸다. 컵임팩터 개념은 이미 Kim et al.(1998) 등에 의하여 PM₁₀ 도입부에 적용된 바가 있다.

2. 설계 및 성능평가

도입부는 particle cup 임팩터의 원리를 이용하여 설계되었다. 설계과정에서는 노즐과 컵 사이의 간격과 노즐의 직경이 중요한 변화 인자로 이용되었다. 흡인 유량은 25liter/min으로 설계되었으며, 가속노즐의 직경(D)은 Stokes Number로부터 직접 계산해 낼 수 있다. 도입부는 실험실 규모의 풍동(길이 4.1m, 직경 30 \times 30 cm³)과 test chamber(50 \times 50 \times 70cm³)에서 각각 성능 평가가 실시되었다. 테스트 입자는 polystyrene latex(PSL) 입자이며 Atomizer를 이용하여 발생되었다. 입자 농도 측정에 사용된 기기는 API사의 AeroSizer이다. 10~40liter/min 사이의 유량 변화 실험이 test chamber에서 실시되었다. 실험실 성능평가 후, 제작된 PM_{2.5}도입부를 사용하여 field test를 시화공단 옥상에서 실시하였다. 측정자료와의 비교를 위해 상용화된 Dichotomous sampler와 URG cyclone과 비교하였다.

3. 결과 및 결론

절단입경이 2.5 μ m가되고 입자의 포집 효율 곡선이 EPA의 규정에 만족되기 위하여 노즐과 컵 사이의 간격과 노즐의 직경을 변화시켜 도입부를 설계하였다. 본실험의 결과에서 노즐과 컵 사이의 간격은 3.6mm 그리고 노즐의 직경은 3.2mm에서 가장 적절한 Effectiveness 곡선이 얻어졌다. 풍속도 0, 그리고 2와 24km/hr의 풍동 측정에서 얻어진 절단 입경의 크기는 25liter/min에서 2.43 μ m이었다(그림1). EPA에서 공표된 질량농도 기준과의 차이는 모두 5% 미만으로 적절하였다. 유량이 10~40liter/min으로 변화할 때에 Reynolds number는 4,420~17,670 이며, 10과 40liter/min에서의 절단 입경은 각각 3.4와 2.2 μ m이었다(그림2). 유량변화 실험의 결과는 과거의 연구 결과와 비교되었다. 컵임팩터와 가상임팩터(dichotomous impactor)는 유량변화에 따라 비슷한 정도의 절단입경의 변화를 보여주었고, 임팩터(conventional impactor)에 비하여는 유량변화에 따른 절단입경의 변화가 작게 나타났다. Field test의 결과는 다른 두 상용화된 포집 기구와 유사한 결과를 보였다. 다만 본 연구에서 설계된 도입부가 Dichotomous sampler보다는 약간 많은 포집 농도를 보이고 URG cyclone보다는 약간 작은 포집 농도를 보여주었다(그림3).

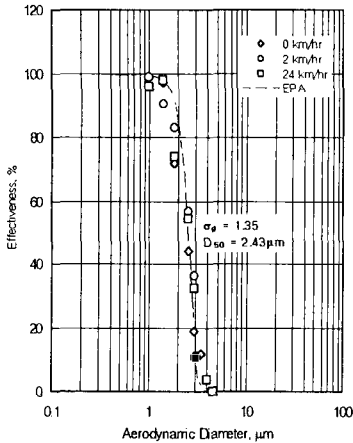


Fig 1. Performance curve for the PM_{2.5} inlet having $D=3.2\text{mm}$ and $S=3.6\text{mm}$ at 0, 2 and 24 km/hr (open - PSL particles; soled - Oleic acid liquid particles).

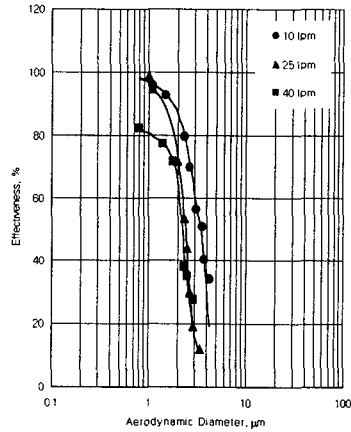


Fig 2. Effectiveness for air flow rates of 10, 25, and 40 liter/min (All points are PSL particles).

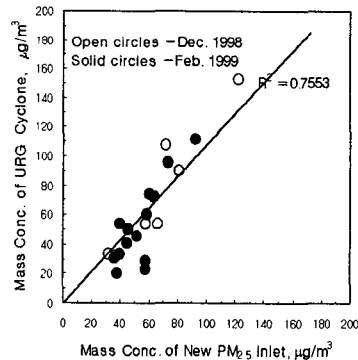
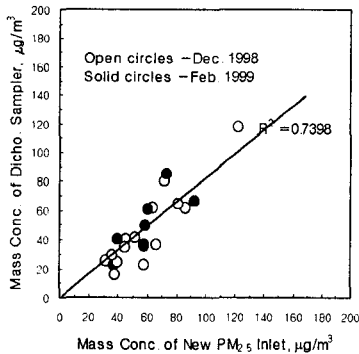


Fig 3. Mass concentration ratio of the new PM_{2.5} inlet to two commercialized size selective inlets. (a):New PM_{2.5} inlet versus the Dichotomous Sampler; (b):New PM_{2.5} inlet versus the URG cyclone

참고문헌

- Hinds, W., (1982). *Aerosol Technology*, Wiley, New York
- Kim, H. T., Kim, Y. J., and Lee, K. W. (1998). New PM₁₀ Inlet Design and Evaluation, *Aerosol Sci. and Technol.* 29:350-354.
- Lee, K. W., Han, D. S., and Kim, J. C. (1990). Particle Collection of Impactors in Different Gases, *J. Colloid Interface Sci.* 137:183-191.
- McFarland, A. R., Ortiz, C. A., and Bertsch, R. W. J. (1978). Particle Collection Characteristics of a Single-Stage Dichotomous Sampler, *Environ. Sci. Technol.* 12:679-682.
- U. S. EPA (1997). Revised Requirements for Designation of Reference and Equivalent Methods for PM_{2.5} and Ambient Air Quality Surveillance for Particulate Matter, *Federal Register (Prepublication, July 18)* 62(138):48-62.