

PM_{2.5}¹⁾ 채취용 Particle Cup 임팩터 설계 및 성능평가 Design and Performance Evaluation of Particle Cup Impactor for PM_{2.5} Sampling

김현태 · 이규원

광주과학기술원 환경공학과

1. 서 론

대기 중에 부유하는 에어로졸을 정확하게 측정하기 위해서는 먼저 가장 중요한 단계인 분진 채취가 이루어져야 한다. 그러나 정확한 질량 농도 및 크기 분포 측정을 위한 이러한 분진 채취는 까다롭다. 정확한 측정결과를 얻기 위해서는 우리가 관심 있는 에어로졸이 도입부(inlet)에 의해 분리되고, 채취 장치까지 도달하여야 한다. 결국 도입부에서 우리가 관심 있는 입경의 분진을 분리하는 역할을 하게 되는데 이러한 도입부는 분진 측정 시스템에서 가장 중요한 부분이며, 각별한 주의를 가지고 설계되어야 한다.

2. 도입부 설계

그림 1은 particle cup 임팩터를 이용한 PM_{2.5} 채취를 위해 설계한 도입부의 개략적인 모습을 보여주고 있다. Kim et al.(1998)은 particle cup 임팩터를 이용하여 PM₁₀ inlet을 설계한 바 있다. 샘플링 유량은 25 l/min 이며, 이를 바탕으로 도입부의 가속노즐 직경(D)을 Stokes number로부터 직접 계산해 낼 수 있다. 분진 채취장치 중 임팩터(impactor)를 설계할 때 이용되는 Stokes number(Stk)는 다음과 같이 정의된다.

$$Stk = \frac{\rho_p D_p^2 C_c V_0}{9\mu D_j} \quad (1)$$

여기서, ρ_p 는 입자 밀도, D_p 는 입자 직경, C_c 는 머크럼 보정계수, V_0 는 가속노즐에서의 속도, μ 는 공기 점성도, D_j 는 가속노즐의 직경이다. Stokes number는 임팩터 충돌판에 입자의 충돌 여부, virtual 임팩터의 채취 노즐에 입자의 제거 여부, 그리고 입자가 유선(streamline)을 따를지의 여부를 예측하는데 중요한 변수가 된다. 분리입경은 50%가 제거되는 입자의 크기(D_{p50})를 말하며, 식(1)로부터 유도된다.

$$D_{p50} = \sqrt{\frac{9\mu D_j}{\rho_p V_0 C_c}} \sqrt{Stk_{50}} \quad (2)$$

Biswas and Flagan(1988)에 의하면 $D_0/D=1.9$ 일 때 가장 좋은 입자 특성곡선을 보이고, S_c/D_0 가 3.0에서 4.9일 때 입자 채취 특성곡선에 영향을 미치지 않는다고 하였다. S/D 는 실험을 통해 최적의 수치를 구할 수 있었다. 가속노즐에서의 Reynolds number는 5600으로써 McFarland(1978)에 의하면 채취 효율에 어떠한 영향도 받지 않음을 알 수 있다.

3. 실험 및 결과

PM_{2.5} 도입부는 실험실 규모의 풍동(길이:4m, 직경:300mm)에서 풍속이 2.24 km/hr일 때, 풍속이 없는 경우는 test chamber(500mm×500mm×700mm)에서 각각 성능평가가 실시되었다. 풍동에서 풍속측정은 Thermo-Anemometer(Alnor Instrument Company, model 8525)를 이용하였다. 실험에 사용된 입자는 polystyrene latex(PSL)이다. 증류수와 이소프로필 알코올을 혼합한 용액에 PSL 입자 용액을 가한 후 분무기(atomizer)를 이용하여 발생, heating을 통하여 순수한 PSL 입자만을 풍동과 chamber 내부로 주입시켰다. 입자 채취 효율을 측정하기 위해, 도입부 통과 전과, 후의 농도 측정이 실시되었다. 입자 농도 측정에 사용된 기기는 API사의 AeroSizer(model Mach II and LD)이다.

1) 2.5 μ m 이하의 입자상 물질(Particulate matters smaller than 2.5 μ m)

그림 2는 실험실에서 실시한 도입부 성능평가의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 $2.5\mu\text{m}$ 에서 통과율은 약 50%이다. $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 입자에 대해서는 입경이 작아질수록 통과율이 급격히 증가한다. 또한 $2.5\mu\text{m}$ 보다 큰 입자의 경우에는 입경이 증가할수록 통과율은 감소한다. 개발된 도입부를 이용하여 field test가 실시되었다. 그림 3은 그 결과를 보여주고 있다.

4. 결 론

$2.5\mu\text{m}$ 이하의 입자를 채취하기 위한 샘플러의 도입부가 설계되었다. 과거 Liu and Pui(1981)는 임팩터의 원리를 이용하여 도입부를 설계하였고, Wedding et al.(1982)은 원심력의 원리를 이용하여 도입부를 설계하였다. 본 연구에서 설계된 도입부는 virtual 임팩터에서 부흐름(minor flow)이 '0'인 형태로써 particle cup을 이용한 것이다. 도입부의 성능평가는 풍동과 chamber에서 실시되었으며, aerodynamic diameter²⁾(μm)의 함수로 측정되었다. 그림 2를 보면 알 수 있듯이 본 연구에서 설계된 도입부는 $2.5\mu\text{m}$ 에서 통과율 50%를 나타내며, 대기 중에 부유하는 입자 중에 $2.5\mu\text{m}$ 이하의 입자를 효과적으로 선별하여 채취할 수 있다. 다시 말해 부유분진은 도입부를 통과하면서 $2.5\mu\text{m}$ 이상의 입자는 particle cup에 채취되고, $2.5\mu\text{m}$ 이하의 입자는 도입부를 지나 아랫부분과 연결될 샘플러에 유입되게 된다. 상용화된 두 개의 도입부와 본 연구에서 개발된 도입부의 field test 결과는 좋은 일치성을 보여주고 있다. 본 연구에서 설계, 개발된 도입부는 PM_{2.5} 샘플링의 기본적인 요구사항을 만족함을 알 수 있다.

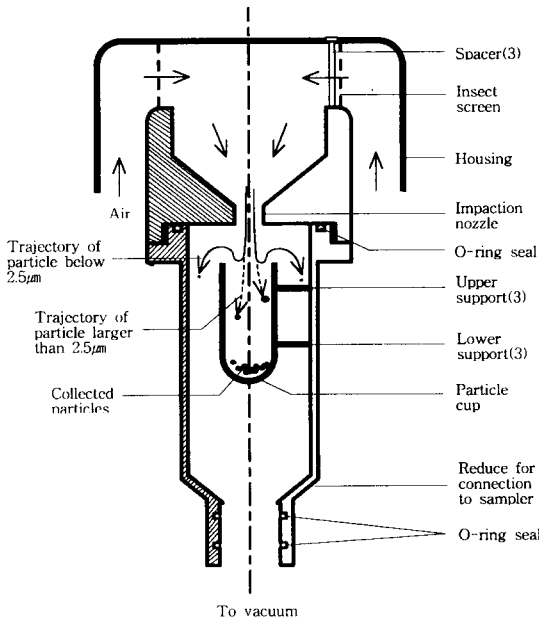


Fig. 1. Schematic diagram of the PM_{2.5} inlet

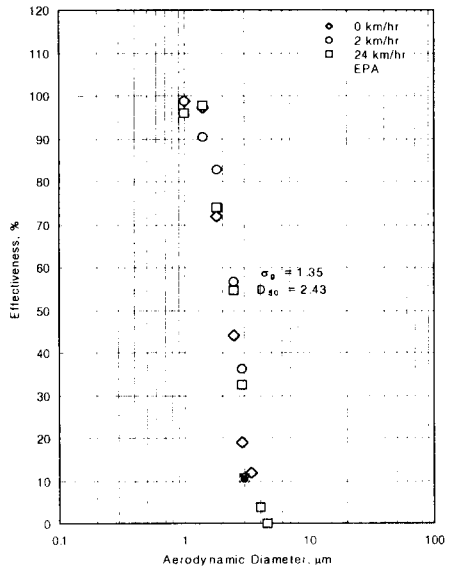


Fig. 2. Performance curve for the PM_{2.5} inlet

2) the diameter of the unit density(1g/cc) sphere that has the same settling velocity as the particle of interest

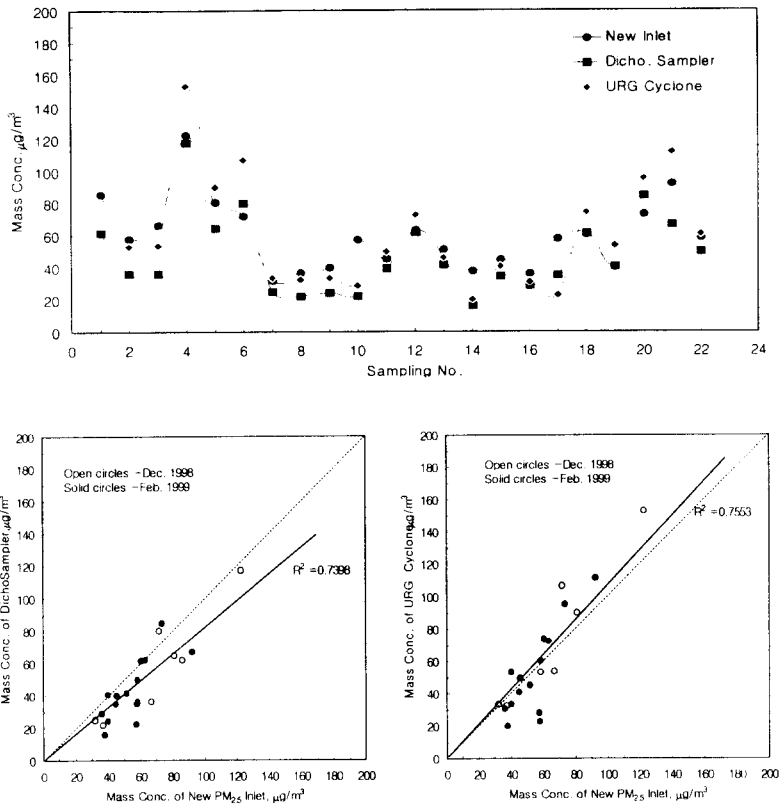


Fig. 3. PM_{2.5} Inlet Field Test

5. 감사

본 연구는 한국표준과학연구원의 대기오염 측정 기기 개발연구의 일환으로 수행되었으며, 이에 도움을 주신 모든 분께 감사드립니다.

참고 문헌

- M. Lippmann, 1977, "Regional Deposition of Particles in the Human Respiratory Tract", in *Handbook of Physiology, Reaction to Environmental Agents* D. H. K. Lee, H. L. Falk, S. O. Murphy, and S. R. Geiger(Eds), American Physiological Society, Bethesda, MD.
- A. R. McFarland, 1978, *Environ. Sci. Technol.* 12:679-682.
- B. Y. H. Liu and D. Y. H. Pui, 1981, "Aerosol Sampling Inlets and Inhalable Particles", *Atmos. Environ.* 15:589-600.
- J. B. Wedding; M. A. Weigand and T. C. Carney, 1982, "A 10µm Cutpoint Inlet for the Dichotomous Sampler", *Environ. Sci. Technol.* 16:602.
- P. Biswas and R. C. Flagan, 1988, "The Particle Trap Impactor", *J. Aerosol Sci.* Vol.19, 1:113-121.
- H. T. Kim, Y. J. Kim and K. W. Lee, 1998, "New PM₁₀ Inlet Design and Evaluation", *Aerosol Sci. Technol.* 29:350-354.