

김현태, 이규원

광주과학기술원 환경공학과

I. 서 론

대기중에 부유하는 에어로졸을 정확하게 측정하기 위해서는 먼저 가장 중요한 단계인 분진 포집이 이루어져야 한다. 그러나 정확한 질량 농도 및 크기 분포 측정을 위한 이러한 분진 포집은 까다롭다. 정확한 측정결과를 얻기 위해서는 우리가 관심 있는 에어로졸이 도입부(inlet)에 의해 분리되고, 포집 장치까지 도달하여야 한다. 결국 도입부에서 우리가 관심 있는 입자의 분진을 분리하는 역할을 하게 되는데 이러한 도입부는 분진 측정 시스템에서 가장 중요한 부분이며, 각별한 주의를 가지고 설계되어야 한다. Lippmann(1977)은 실험을 통해 입경 10 μ m 이하의 입자가 인간의 폐포까지 도달할 수 있고, 그로 인하여 인간에게 치명적일 수 있다는 사실을 제시하였다. 다시 말해 인간에게 해가 될 수 있는 입자의 크기는 10 μ m 이하의 입자이므로 도입부는 10 μ m의 분리입경을 가지도록 설계되어야 한다.

II. 도입부 설계

(그림1)은 PM₁₀ 포집을 위해 설계한 도입부의 개략적인 모습을 보여주고 있다. 샘플링 유량은 25 l/min 이며, 이를 바탕으로 도입부의 가속노즐 직경(D)을 Stokes number로부터 직접 계산해 낼 수 있다. 분진 포집장치중 임팩터를 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 미끄럼 보정계수, V_0 는 가속노즐에서의 속도, μ 는 공기 점성도, D_j 는 가속노즐의 직경이다. Stokes number는 임팩터 충돌판에 입자의 충돌 여부, virtual 임팩터의 포집 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 $D_v/D=1.9$ 일 때 가장 좋은 입자 특성곡선을 보이고, S_c/D_0 가 3.0에서 4.9일 때 입자 포집 특성곡선에 영향을 미치지 않는다고 하였다. S/D는 실험을 통해 최적의 수치를 구할 수 있었다. 가속노즐에서의 Reynolds number는 3200으로써 McFarland(1978)에 의하면 포집효율에 어떠한 영향도 받지 않음을 알 수 있다.

III. 실험 및 결과

PM₁₀ 도입부는 실험실 규모의 풍동(길이:3m, 직경:500mm)에서 풍속이 2, 8km/hr일 때, 풍속이 없는 경우는 test chamber(500mm×500mm×700mm)에서 각각 성능평가가 실시되었다. 풍동에서의 풍속측정

1) 10 μ m 이하의 입자상 물질(Particle matters smaller than 10 μ m)

은 Thermo-Anemometer(Alnor Instrument Company, model 8525)를 이용하였다. 풍동과 chamber 내부로의 test 입자의 주입은 두가지 방법을 사용하였다. Micro-feeder(Sibata MF-2)를 이용하여 silicon carbide 입자를 건조된 분말형태로 주입시켰고, 분무기(atomizer)를 이용하여 polystyrene latex(PSL) 입자를 발생, heating을 통하여 순수한 PSL 입자만을 풍동과 chamber 내부로 주입시켰다.

입자 포집효율을 측정하기 위해, 도입부 통과 전과, 후의 농도 측정이 실시되었다. 입자의 농도측정은 통과 전과 후를 번갈아 가면서 각각 5번씩 측정하였다. 입자 농도 측정에 사용된 기기는 API사의 AeroSizer(model Mach II and LD)이다. 이렇게 측정된 농도를 가지고 다음 식을 이용하여 입자 포집효율을 계산하였다.

$$\eta_i = \frac{\bar{n}_{i,up} - \bar{n}_{i,down}}{\bar{n}_{i,up}} \quad (3)$$

여기서, η_i 는 i 번째 입경의 포집효율을 나타내며, $\bar{n}_{i,up}$ 과 $\bar{n}_{i,down}$ 은 각각 도입부 통과 전과 후의 입자 평균 농도를 나타낸다.

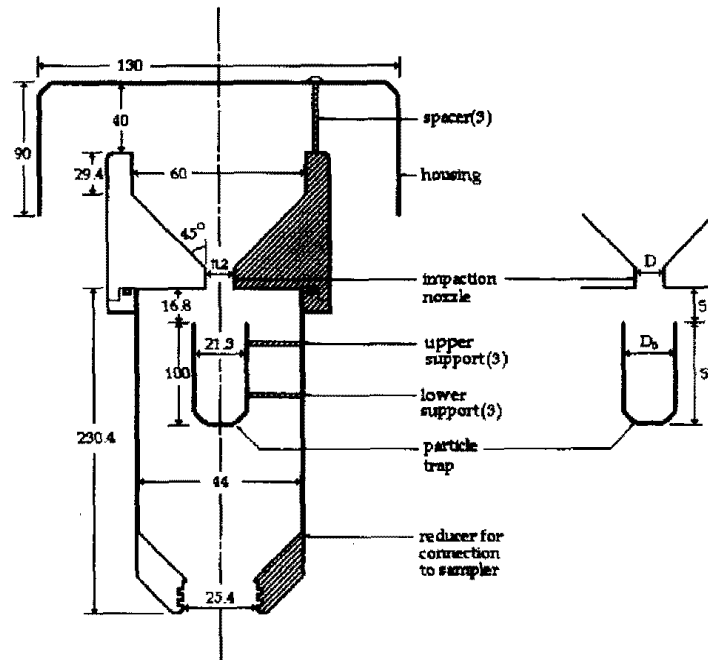


그림 1. Schematic diagram of the PM₁₀ inlet (unit : mm)

(그림2)는 성능평가의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. x축은 aerodynamic diameter²⁾(μm)를 나타내고, y축은 통과율(%)을 나타내는데, 도입부의 통과율(effectiveness)은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\text{Effectiveness, \%} = (1 - \eta_i) \times 100 \quad (4)$$

여기서, η_i 는 식(3)으로부터 구할 수 있다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 10 μm 에서 통과율은 약 50%이다. 10 μm 보다 작은 입자에 대해서는 입경이 작아질수록 통과율이 급격히 증가한다. 또한 10 μm 보다 큰 입자의 경우에는 입경이 증가할수록 통과율은 감소한다.

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

IV. 결 론

10 μm 이하의 입자를 포집하기 위한 샘플러의 도입부가 설계되었다. 과거 Liu and Pui(1981)는 임팩터의 원리를 이용하여 부리입경이 10 μm 인 도입부를 설계하였고, Wedding et al.(1982)은 원심력의 원리를 이용하여 부리입경이 10 μm 인 도입부를 설계하였다. 본 연구에서 설계된 도입부는 virtual 임팩터에서 부흐름(minor flow)이 '0'인 형태로써 particle trap을 이용한 것이다. 도입부의 성능평가는 풍동과 chamber에서 실시되었으며, aerodynamic particle size의 함수로 측정되었다. (그림 2)를 보면 알 수 있듯이 본 연구에서 설계된 도입부는 10 μm 에서 통과율 50%를 나타내며, 대기중에 부유하는 입자중에 10 μm 이하의 입자를 효과적으로 선별하여 포집할 수 있다. 다시 말해 부유분진은 도입부를 통과하면서 10 μm 이상의 입자는 particle trap에 포집되고, 10 μm 이하의 입자는 도입부를 지나 아래부분과 연결될 샘플러에 유입되게 된다. 결국 본 연구에서 설계, 개발된 도입부는 PM₁₀ 샘플링의 기본적인 요구사항을 만족함을 알 수 있다.

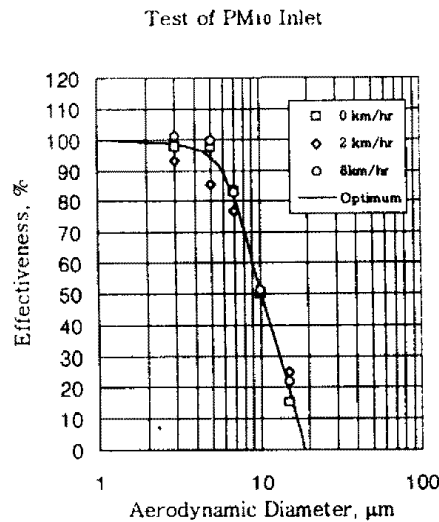


그림 2. Performance curve for the PM₁₀ inlet

V. 감 사

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

VI. 참고문헌

1. 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.
2. P. Biswas and R.C. Flagan, 1988, "The Particle Trap Impactor", J. Aerosol Sci., Vol.19, 1:113-121.
3. A.R. McFarland, 1978, Environ. Sci. Technol., 12:679-682.
4. B.Y.H. Liu and D.Y.H. Pui, 1981, "Aerosol Sampling Inlets and Inhalable Particles", Atmos. Environ., 15:589-600.
5. J.B. Wedding, M.A. Weigand and T.C. Carney, 1982, "A 10 μm Cutpoint Inlet for the Dichotomous Sampler", Environ. Sci. Technol., 16:602.