

## PS35(CT17) 다단 입자농축기의 개발 및 성능평가 Development and Evaluation Performance of Multi-Stage Aerosol Concentrator

김민철 · 김대성 · 이규원

광주과학기술원 환경공학과 분진공학연구실

### 1. 서론

대기 중에 부유하는 입자상 물질의 샘플링은 다양한 방법을 통해 이루어지고 있다. 현재 사용되고 있는 입자 샘플러(sampler)는 대부분 관성력 또는 원심력을 이용하여 입자를 크기별로 분류하고 있다. 하지만 입자의 농도가 아주 낮아 대표적인 샘플링을 하기가 어려운 경우에는 장시간의 샘플링과 대용량의 유량이 필요하다. 저농도로 부유하는 오염물질을 신속하게 측정하기 위해서는 낮은 농도를 고농도로 농축하여 측정기에 실시간(real-time)으로 보내는 기술이 필요하다. 본 연구에서는 대기 중에 존재하는 에어로졸을 실시간으로 농축하는 기술에 관한 것이다.

### 2. 입자농축기의 설계 및 실험방법

가상 임팩터(virtual impactor)를 이용하여 입자를 농축하는 기술은 많은 연구가 이루어지고 있다(Barr et al., 1983 ; Kim and Lee, 2000). 가상 임팩터는 입자 크기에 따른 관성의 차이를 이용하여 입자를 분리하는 기술로 널리 이용되고 있는 방법이다. 본 연구에서 개발된 에어로졸 농축기는 크게 1단과 2단으로 구성되어 있으며, 1단인 경우에는 각각 4개(Models 1, 2, 3, and 4)의 가속노즐(acceleration nozzle)과 수집관(receiving tube)을 제작하여 성능을 평가하였다. 2단의 경우에는 각각 2개(Models A and B)의 가속노즐과 수집관을 제작하여 최적의 농축 효율을 실험적으로 구하였다. 개발된 2단 가상 임팩터는 실시간으로 농축할 수 있는 입자농축기(aerosol concentrator)로서, 입자농축기를 통과하는 총 유량은 1000 l/min 이고, 농축된 입자를 얻을 수 있는 최종 minor flow는 4 l/min로 이론적인 최대 농축율은 250배(1000/4)이다. 성능평가에 사용된 입자는 polystyrene latex(PSL, Duke Scientific Corp., 10% solids) 입자를 사용하였다. 또한 입자의 크기는 Aerosizer(API Inc., Model Mach II)를 이용하여 측정하였다. 그림 1은 개발된 입자농축기의 성능평가를 위한 개요도이다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 1단에서 사용된 가상임팩터의 포집 효율(Collection efficiency)을 보여주고 있다. 1단에서 사용된 노즐의 수는 각각 18 hole을 사용했으며, 노즐의 형상에 따라 모델을 구분하였다. 그림에서와 같이 포집 효율은 모델에 따라 큰 차이를 보였는데, 노즐의 형상에 따라 임팩터내에 입자의 손실이 증가하였기 때문이다. 특히, Model 2인 경우는 입자의 크기가 증가함에 따라 오히려 포집 효율이 감소하는 경향을 보였는데 이는 노즐간의 간격이 좁아 간섭효과가 발생하여, 임팩터의 분리 특성을 방해하기 때문이다. 그림 3은 개발된 입자농축기의 농축율을 나타내고 있다. 그림에서 Model 1+Model A는 현재 상업용으로 사용되고 있는 cascade impactor의 노즐 모양을 가진 에어로졸 농축기로, 1단과 2단을 연속적으로 연결하는 농축기이다. 이러한 방법을 이용하여 multi-nozzle 가상임팩터를 제작하는 경우에는 제작이 간편하고 경제적인 방법이다. 또한 Model 4+Model B는 일반적인 가상임팩터의 노즐을 연속적으로 연결한 입자농축기로, multi-nozzle 가상임팩터로 제작하는 경우에는 제작이 어려워 비경제적인 방법인 반면, 입자의 궤적을 비교적 잘 고려하였기 때문에 입자 분리효율이 뛰어나다. 그림에서와 같이 유입하는 입자에 대한 농축율은 Model 4+Model B로 연결된 방법이 모든 입자에 대해서 증가함을 볼 수 있다. 입자의 크기가 3.4  $\mu\text{m}$  이상인 경우 Model 4+Model B는 유입하는 농도에 비하여 약 145배를 농축할 수 있는 반면, Model 1+Model A의 경우는 약 55배를 농축할 수 있다. 이러한 경향은 cascade impactor 형태를 가

진 가상입액터의 분리지역(separation region)에 입자 손실이 증가하기 때문으로 추정되며, 특히 가속노즐 뒤 표면(backside surface) 지역에 입자의 손실에 기인한다. 높은 효율을 가진 모델을 연속적으로 연결하는 경우에는 5  $\mu\text{m}$  이상의 입자에서는 230배(포집 효율 96%) 이상의 농축 효율을 보였다. 최적의 효율을 보인 입자농축기는 저농도로 존재하는 다양한 환경에 적용될 수 있으리라 기대된다

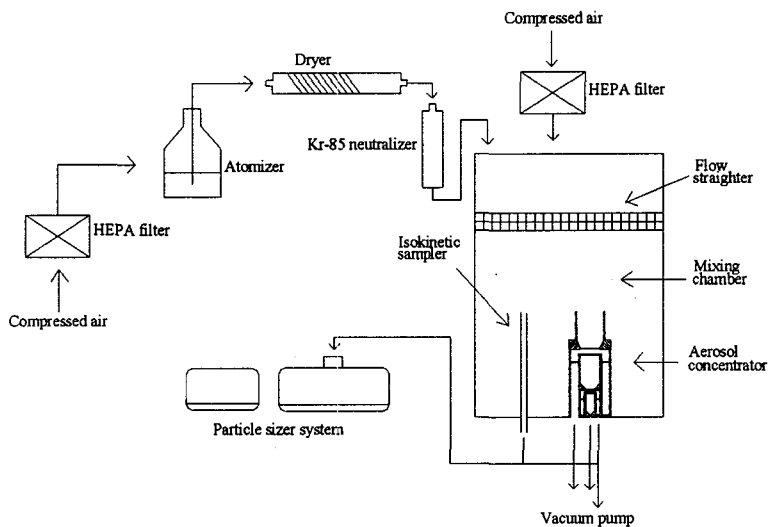


Fig. 1. Experimental set-up for aerosol concentrator experiments.

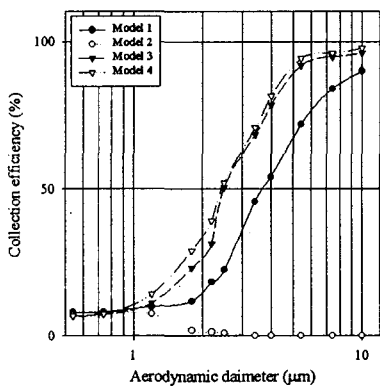


Fig. 2. Collection efficiency curves for four different virtual impactors of 1<sup>st</sup> stage.

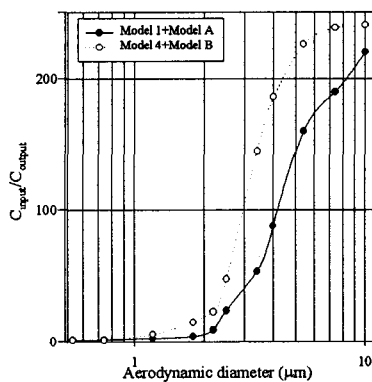


Fig. 3. Concentration ratio curves for two different aerosol concentrators.

#### 참고문헌

- Barr, E.P. M.D. Hoover, G.M. Kanapilly, C.H. Yeh, and S.J. Rothenberg (1983). Aerosol Concentrator: Design, construction, Calibration, and Use, *Aerosol Sci. and Tech.* 2:437-442.
- Kim, M.C. and K.W. Lee (2000). Design Modification of Virtual Impactor for Enhancing Particle Concentration Performance, *Aerosol Sci. and Tech.* 32:233-242.