

3C1) 컵 임팩터의 설계에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Design of Cup Impactors

김대성 · 이규원

광주과학기술원 환경공학과

1. 서론

현재 싸이클론, 임팩터, 원심분리기, 전기적 이동차분석기 등 다양한 기기들이 에어로졸을 샘플링 하거나 입경별로 분리하는데 이용되고 있다. 이러한 다양한 샘플러 중에, 임팩터는 설계 및 제작이 간편하고 입자를 쉽게 분리 및 포집할 수 있어서 입자 분리기술로 May(1945)가 개념을 처음 도입한 이래로 많은 연구가 진행되었고, 현재는 관성 임팩터(inertial impactor)의 단점을 극복한 가상 임팩터(virtual impactor) 및 컵 임팩터(cup impactor) 기술이 널리 적용되고 있다. 컵 임팩터 기술은 PM₁₀, PM_{2.5} 등 많은 환경 계측 장비의 도입부에 사용되고 있는 기술이다.

관성 임팩터는 가속노즐 아래에 충돌판을 설치하여, 유선의 방향이 90°로 바뀔 때, 큰 입자는 유선에서 벗어나 충돌판에 포집된다. 가상 임팩터에는 관성 임팩터와는 달리 충돌판 대신 가상의 공간을 가진 수집관이 설치되어, 분리입경보다 큰 입자를 포집할 수 있는 부 유동(minor flow)과 분리입경보다 작은 입자를 포집할 수 있는 주 유동(major flow)으로 나뉘어진다. 컵 임팩터는 충돌판 대신 컵을 설치하여 입자를 포집하는 것으로, 그 형상이 관성 임팩터나 가상 임팩터와 비슷하긴 하지만 원리가 약간 다르다. 그럼에도 불구하고, 지금까지 컵 임팩터를 이용하여 제작된 PM_{10/2.5} 샘플러들은 관성 임팩터의 설계원리를 따르고 있다.

본 연구에서는 다양한 컵 임팩터를 만들어 성능평가를 한 뒤, 그 결과를 토대로 하여 컵 임팩터의 설계변수를 구하였다. 컵 임팩터의 가속노즐 직경을 변화시키고, 가속노즐과 입자포집컵 사이의 거리를 조절하면서 실험한 뒤, Stk 수에 따른 입자 통과율(Penetration)을 계산하였다. Stk 수와 입자 통과율과의 관계를 통해 컵 임팩터의 $\sqrt{Stk_{50}}$ 를 구하고, 그 값을 관성 임팩터나 가상 임팩터의 값과 비교하였다.

2. 연구 방법

임팩터 분리 입경의 중요한 변수인 Stk 수는 다음과 같다.

$$Stk = \frac{\rho_p D_p^2 C V_o}{9 \mu D_{ac}} \quad (1)$$

여기서 ρ_p 는 입자의 밀도, D_p 는 입자의 직경, C 는 미끄럼 보정계수, V_o 는 가속노즐의 유속, μ 는 기체 점성, D_{ac} 는 가속노즐의 직경을 각각 나타낸다.

본 연구에서는 가속노즐 직경이 4.5 mm, 2.6 mm, 그리고 2.2 mm인 3개의 컵 임팩터를 제작하였으며, 가속노즐과 입자포집컵 사이의 거리를 조절할 수 있는 spacer도 함께 제작하였다. 가속노즐 직경이 4.5 mm인 임팩터는 총 샘플링 유량을 25 l/min으로, 그리고 가속노즐 직경이 2.6 mm 와 2.2 mm인 임팩터는 총 샘플링 유량을 5 l/min으로 하였다.

실험에 사용된 입자는 0.8~5 μ m 크기의 PSL (polystyrene latex particles, Duke Scientific Corp.) 입자로 분무기(atomizer)를 이용하여 발생시켰으며, Aerosizer(API Inc. Model Mach II and LD)를 이용하여 측정하였다. 농도측정은 발생된 입자가 안정된 후, 3분 주기로 컵 임팩터의 유입유량(imput flow)의 입자 개수농도와 유출유량(output flow)의 개수농도를 각각 측정하여 입자 통과율을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

'그림 1'은 Model I(가속노즐 직경=2.6 mm)과 Model II(가속노즐 직경=2.2 mm)의 성능평가 결과를 입경에 따른 통과율(Penetration)로 나타낸 것이다. Model II의 분리입경이 Model I의 분리입경보다 작게 나타남을 알 수 있는데, 이러한 현상은 관성력을 이용하는 임팩터의 특성상 당연한 결과로 볼 수 있다.

‘그림 2’는 ‘그림 1’의 결과를 \sqrt{Stk} 를 이용해 다시 표현한 것으로, 가속노즐의 직경이 다르더라도 \sqrt{Stk} 에 따른 컵 임팩터의 성능이 유사하게 나타남을 알 수 있다. 즉, 가속노즐의 직경이 다르면 입경에 따른 입자 통과율이 달라지지만 \sqrt{Stk} 에 따른 입자 통과율은 거의 변하지 않음을 알 수 있다.

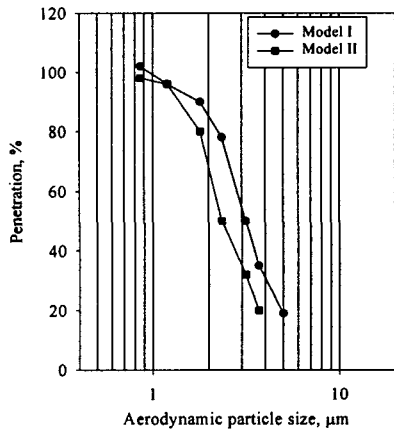


Fig. 1. Penetration curves of Models I and II as a function of particle size.

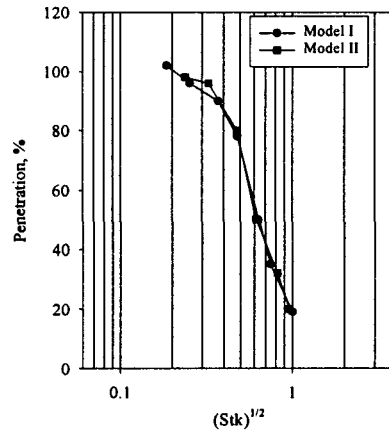


Fig. 2. Penetration efficiencies of Models I and II as a function of \sqrt{Stk} .

‘그림 3’은 Model I과 Model III(가속노즐 직경: 4.5 mm)의 성능평가 결과를 \sqrt{Stk} 에 따른 통과율로 나타낸 것이다. Model I과 Model II는 총 샘플링 유량이 5 l/min 이지만, Model III는 총 유량이 25 l/min으로 유량이 5배 크기 때문에 ‘그림 3’이 ‘그림 2’와 약간 다른 결과를 나타내는 것으로 사료된다. 다시 말하면, Model III의 경우 상대적으로 큰 샘플링 유량 때문에 Model I에 비해 곡선의 sharpness가 약간 낮아진 것으로 생각된다. 본 연구를 통해 컵 임팩터의 \sqrt{Stk}_{50} 는 약 0.62로 관성 임팩터($\sqrt{Stk}_{50} = 0.49$)나 가상 임팩터($\sqrt{Stk}_{50} = 0.69$)와는 약간 다르다는 것을 알 수 있었다.

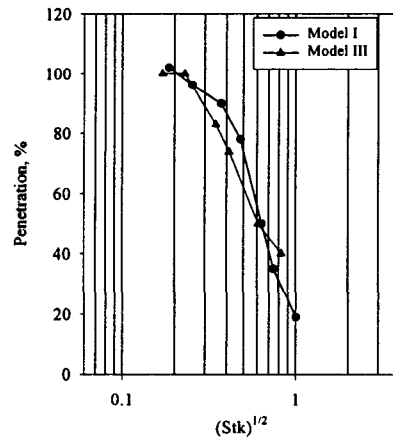


Fig. 3. Performance evaluations of Models I and II as a function of \sqrt{Stk} .

사 사

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업 (관계번호: M10203000047-02J0000-02600)의 지원으로 수행 되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

May, K. R. (1945) Sci. Instrum. J. 22 : 187-195.