

AE2) 저압 임팩터의 설계 및 성능평가

Design and Performance Evaluation of Low Pressure Impactor

임경수 · 권순박 · 이규원 · 배귀남¹⁾

광주과학기술원 환경공학과, ¹⁾한국과학기술연구원 지구환경연구센터

1. 서론

일반적으로 다단 임팩터는 대기 에어로졸의 입경별 질량농도분포를 측정하는데 많이 사용되고 있다. 임팩터는 입자의 관성을 이용하여 기류로부터 입자를 분리하므로, 0.4 μm 이하인 미세 입자의 경우 관성력이 작아 보통의 임팩터로는 입자를 분리하는데 어려움이 있다. 미세 입자에 대한 관심이 높아짐에 따라 저압(low pressure)이나 미세 오리피스(micro-orifice)를 사용하여 미세 입자를 분류할 수 있는 임팩터가 개발되어 사용되고 있다. 저압 임팩터는 임팩터 내부를 저압 상태(보통 0.05~0.4 atm)로 만들어 미끄럼 보정계수(Cunningham slip correction factor)를 증가시킴으로써 가속노즐(acceleration nozzle)내 기류속도를 크게 증가시키지 않고 30 nm 정도의 매우 작은 입자까지도 분리할 수 있다. 본 연구에서는 분리입경(cutoff diameter)이 0.06~0.4 μm인 5단 저압 임팩터를 설계, 제작한 후 실험실에서 입자발생장치를 사용하여 단분산 입자를 발생시켜 중량법으로 각 단의 입자채취효율을 평가하였다.

2. 저압 임팩터의 설계

임팩터의 입자채취효율은 스톡스 수(Stokes number)의 함수이므로, 임팩터 각 단의 분리입경(D_p)은 식 (1)과 같이 표현된다. 즉, 분리입경은 공기의 점성계수(μ), 노즐 직경(W), 스톡스 수(Stk_{50}), 입자의 밀도(ρ_p), 미끄럼 보정계수(C_c), 노즐내 기류속도(V)에 따라 달라진다.

$$D_p^2 = \frac{9 \mu W Stk_{50}}{\rho_p C_c V} \quad (1)$$

식 (1)에서 보는 바와 같이 분리입경을 낮추기 위해서는 노즐 직경을 작게 하거나 미끄럼 보정계수를 크게 하여야 한다. 미끄럼 보정계수는 압력과 입경의 함수이므로, 저압 임팩터의 경우 압력을 낮추어 미끄럼 보정계수를 크게 함으로써 미세 입자를 분리할 수 있다. 저압 임팩터의 경우 임팩터내 압력이 낮으므로 기류를 압축성 유동으로 간주하여 해석하여야 한다. 보통 노즐내 평균 기류속도(average jet velocity) 또는 중심 기류속도(core jet velocity)를 이용하여 저압 임팩터를 설계한다(Hillamo and Kauppinen, 1991). 본 연구에서는 흡입유량이 30 L/min일 때 분리입경이 0.4, 0.25, 0.15, 0.1, 0.06 μm인 5단 저압 임팩터를 설계하였으며, 대표적인 설계시방을 표 1에 나타냈다.

Table 1. Design parameters of a low pressure impactor.

Stage	L1	L2	L3	L4	L5
Cutoff diameter [μm]	0.4	0.25	0.15	0.1	0.06
Number of nozzles	20	22	35	116	116
Stokes number	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45
Nozzle diameter [mm]	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3
S/W ratio [†]	5	5	4	3	3
T/W ratio [†]	5	5	4	3	3
Inlet pressure [atm]	0.978	0.95	0.8	0.5	0.34
Outlet pressure [atm]	0.95	0.8	0.5	0.34	0.19

[†] S/W ratio : ratio of distance between nozzle and impaction plate(S) to diameter of nozzle(W)

[†] T/W ratio : ratio of nozzle depth(T) to diameter of nozzle(W)

3. 저압 임팩터의 성능평가

본 연구에서는 임팩터의 대표적 성능인 각 단별 입자채취효율을 중량법으로 평가하였다. PSL(polystyrene latex) 입자를 충돌 분무기(collision atomizer)로 발생시킨 후 DMA(differential mobility analyzer)를 통과시켜 만든 단분산 입자를 시험용 입자로 사용하였다. 임팩터의 기판으로는 그리스(grease)로 코팅된 알루미늄 호일을 사용하였고, 최종 필터로는 테플론 필터(Teflon filter, F2996-25, zefluor, Gelman Scientific)를 사용하였다.

그림 1은 저압 임팩터의 각 단별 입자채취효율 곡선을 나타낸 것이다. 측정결과로부터 추정한 각 단의 분리입경은 각각 0.37, 0.26, 0.15, 0.11, 0.07 μm 인데, 이것은 설계 분리입경의 $\pm 15\%$ 이내이다. 각 단의 입자채취효율 곡선을 보면, 입경이 작아짐에 따라 채취효율이 완만하게 감소하고, 분리입경이 작은 단으로 내려갈수록 입자채취효율 곡선이 더욱 완만함을 알 수 있다. 이것은 입자가 작을수록 확산력이 증가하여 분리입경보다 작은 입자가 기판에 부착하는 비율이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

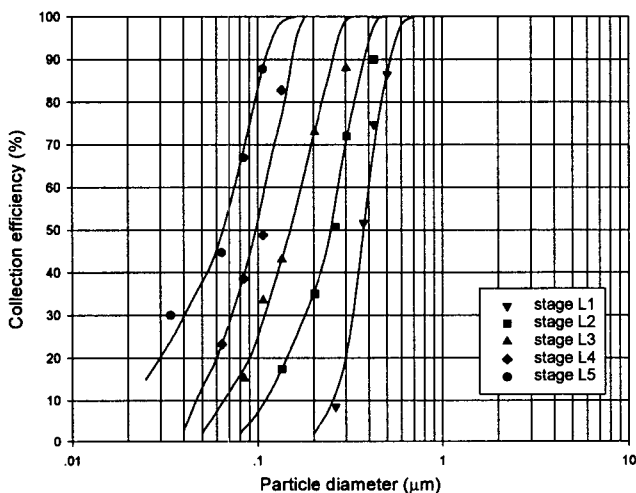


Fig. 1. Particle collection efficiency curves of a low pressure impactor

감사의 글

본 연구는 과학기술부 정책연구사업(과제번호 : 기계99-03)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

Hillamo, R.E., Kauppinen, E.I. (1991) On the Performance of the Berner Low Pressure Impactor, Aerosol Sci. and Technol., Vol. 14, 33-47.