

PA29) 입자 효율 곡선에 따른 대기 중 다분산 입자의 분리 오차

The Particle Error Analysis of Polydispersed Particle in Different Overall Collection Efficiency Curve

정창훈¹⁾ · 박현설¹⁾ · 김용표²⁾

경인여자대학 환경보건과, ¹⁾한국에너지기술연구원, ²⁾이화여자대학교 환경학과

1. 서 론

PM₁₀, PM_{2.5}와 같은 대기 중 입자의 질량 농도 등을 측정하기 위해서는 Cyclone, Impactor 등의 입자 분리 장치를 이용하여 기준 크기 이상의 입자와 이하의 입자를 분리하게 된다. 이때 정확한 입자의 분리는 크기별 입자의 농도 분석에 절대적으로 중요하다. 이상적으로는 정해진 분리입경에서 수직의 분리 효율을 보여야 하나, 현실적으로 입자의 분리 효율이 주어진 분리입경에서 정확히 100%의 분리효율을 보일수 없으므로, 통상적으로 50%의 분리 입경을 이용하여 분리장치를 설계하고 있다(그림 1). 그러나, 이러한 입자의 분리에 따른 오차는 입자의 크기분포와 입자의 분리효율곡선의 기울기에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 입자의 분리효율 곡선과 다분산 입자에 따른 크기분포에 따라 발생하는 오차를 분석하였다.

2. 입자 분리 오차

사이클론 등에 사용되는 절단입경(cut diameter)을 이용한 Lapple의 효율식을 일반화하면 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$\eta(d_p) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{50}}{d_p}\right)^\beta\right]} \quad (1)$$

여기서, d_p 는 입자의 직경, d_{50} 는 50%의 효율일 때의 직경인 절단입경, $\eta(d_p)$ 는 입경 d_p 에서의 포집 효율을 의미한다. 식(1)에서 입자분리의 기울기는 β 값에 따라 다르게 표현할 수 있다. 따라서 Cyclone, Impactor 등의 입자 분리 효율곡선은 적절한 β 값을 구함으로서 식(1)의 형태로 표현할 수 있다(그림 2). 입자의 크기분포를 다음의 대수정규분포로 가정한다면,

$$n_M(d_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} d_p \ln \sigma_g} \exp\left[-\frac{(\ln d_p - \ln d_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right] \quad (2)$$

필터에 포집되는 입자의 질량농도는 절단입경보다 작은 크기에 해당하는 입자의 질량으로 다음과 같은 투과율(P_{real})의 개념으로 표현할 수 있다. 여기서 σ_g 는 기하학적 표준편차, d_g 는 기하학적 질량 평균 직경(geometric mass mean diameter)이다.

$$P_{real} = 1 - \eta = 1 - \int_0^\infty \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{50}}{d_p}\right)^\beta\right]} n_M(d_p) dd_p, \quad (3)$$

이상적인 분리효율을 갖는 경우에 있어 PM₁₀에 대하여, 이상적인 분리효율을 가졌을 경우의 투과율(P_{ideal})은 다음과 같이 PM₁₀과 TSP(Total Suspended Particle)의 비로 표현할 수 있다.

$$P_{ideal} = \frac{PM_{10}}{TSP} = \frac{\int_{d_p=0}^{d_p=10\mu m} n_M(d_p) dd_p}{\int_0^\infty n_M(d_p) dd_p} = \int_{d_p=0}^{d_p=10\mu m} n_M(d_p) dd_p \quad (4)$$

식(4)에서 질량분포는 표준화된 질량 분포를 사용하였으므로, 분모는 1이 된다. 결론적으로, 실제 분리효율과 이상적인 분리효율에 따른 입자 측정시 발생하는 질량 오차는 절단입경(d_{50})이 10 μ m인 경우 두 분

리효율의 질량차이(Diff)를 총 입자질량(TSP)로 나누어 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{Diff}{TSP} = P_{real} - P_{ideal} = \left\{ 1 - \int_0^{\infty} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{50}}{d_p}\right)^\beta\right]} n_M(d_p) dd_p - \int_{d_p=0}^{d_p=10\mu m} n_M(d_p) dd_p \right\} \quad (5)$$

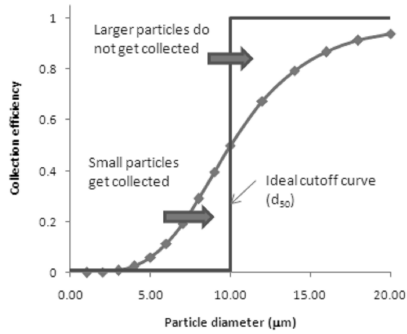


Fig. 1. Schematic diagram of ideal and actual particle cutsize.

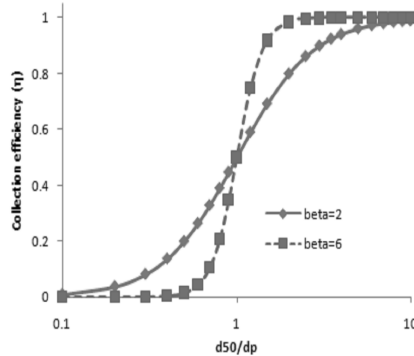


Fig. 2. Collection efficiency curve in different slope factor(β).

표 1은 측정오차가 입자의 크기분포에 따라 어떻게 달라지는 지를 보여 주고 있다. 표 1에서 볼 수 있듯이 실제 이상적인 경우와 비교한 입자 분리장치의 질량 분리 오차는 분리효율곡선의 기울기가 가파를수록 감소하며, 기하학적 평균직경과 기하학적 표준편차에 따라 다른 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 일반적으로 Cyclone은 Impactor에 비해 분리 효율의 기울기 값(β)이 적은 것으로 알려져 있다. 본 연구의 결과에 의하면 이들 측정 장비간 오차는 분리효율곡선의 기울기에 따라 발생하며 기울기 값(β)이 큰 Impactor type의 분리 장치가 입자를 크기별로 더 정확히 분리할 수 있음을 정량적으로 보여준다.

Table 1. Mass difference between ideal and real efficiency curve in various curve slope and size distribution.

β	σ_g	$d_g (\mu m)$	d_{50}/d_g	$P_{real} (%)$	$P_{ideal} (%)$	%Difference
2	1.5	20	0.5	22.7094	4.36781	18.34159
		10	1	50	49.9873	0.0127
		5	2	77.2653	95.6322	-18.3669
		1	10	98.6458	100	-1.3542
	3	20	0.5	30.9884	26.4043	4.5841
		10	1	49.9873	50	-0.0127
		5	2	68.9862	73.5957	-4.6095
		1	10	94.765	98.1955	-3.4305
6	1.5	20	0.5	8.3597	4.36781	3.99189
		10	1	49.9875	50	-0.0125
		5	2	91.6149	95.6322	-4.0173
		1	10	99.9981	100	-0.0019
	3	20	0.5	27.1178	26.4043	0.7135
		10	1	49.9873	50	-0.0127
		5	2	72.8569	73.5957	-0.7388
		1	10	97.8319	98.1955	-0.3636