

PA1) PM₁₀ 및 PM_{2.5} 임팩터 입경 분리 효율 곡선의 모수화

Parameterization of Grade Efficiency Curve for PM₁₀ and PM_{2.5} Impactor

정창훈·김용표¹⁾

경인여자대학 환경보건학부, ¹⁾이화여자대학교 환경공학과

1. 서론

대기 중의 PM₁₀, PM_{2.5} 등 입자상 물질을 채취하기 위해서는 일반적으로 사이클론과 임팩터 방식의 입자 분리장치가 널리 이용되고 있다. 이중, 임팩터는 입자의 관성충돌을 이용하여 입자를 분리하거나 제거하는데 적용되는 원리이며, 사이클론은 원심력을 이용하여 합진 가스로부터 입자를 제거하는 입자-가스 분리 및 제거 장치이다. 일반적으로 임팩터 및 사이클론을 이용한 측정 장비는 입경이 PM₁₀의 경우 10 μ m, PM_{2.5}의 경우 2.5 μ m 등 절단입경(cut diameter)에서의 분리 효율이 50%의 값을 갖는 것을 원칙으로 한다. 그러나, 절단입경이 동일하다고 하더라도, 입경별 분리 효율(grade efficiency)에 따라 두 장비를 통해 채취되는 입자의 질량 농도는 상이할 수 있다. 본 연구에서는 사이클론의 포집효율을 예측하기 위하여 개발된 일반화된 Lapple의 효율 곡선식(generalized Lapple's collection efficiency, Jung et al., 2009)을 PM₁₀, PM_{2.5}를 위한 임팩터의 입경 분리 곡선 모수화에 적용하였다.

2. 연구 방법

Lapple 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 사이클론의 효율이다. 이때 β 가 2인 경우 본래의 Lapple의 효율식이 되며 지금까지의 다양한 사이클론의 효율 실험결과에 의하면 β 값은 사이클론의 경우 2~6의 다양한 값을 갖는다(Overcamp and Mantha, 1998). 본 연구에서는 임팩터를 이용한 입자 분리 장치역시 식(1)과 같은 Lapple의 효율곡선식을 이용하여 입자의 분리 효율을 예측하고자 하였다. 먼저, PM₁₀과 PM_{2.5}에 대해서 선행적으로 수행된 PM₁₀과 PM_{2.5}의 임팩터 유입부에 대한 분리 효율 실험결과를 통하여 입경별 분리 효율을 구하고, 이를 Lapple의 효율식에 근사시켜 최적화된 β 값을 구하고자 하였다. PM₁₀의 유입부 실험 결과는 1991년 EPA에서 수행된 R&P PM₁₀ 샘플러 유입부에 대한 풍동 실험결과를 이용하였고, PM_{2.5}에 대한 효율곡선은 Kenny(1998)의 실험 결과를 이용하였다.

3. 결과 및 결론

그림 1은 선행연구결과와 풍동실험에 의하여 구해진 R&P PM₁₀ 샘플러의 유속에 따른 효율곡선을 절단입경과 입경의 비(d_p/d_{50})의 함수로 보여 주고 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 풍속에 따른 입자 분리효율의 변화는 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다. 그림 2는 PM₁₀과 PM_{2.5}에 대하여 실험치와 근사적으로 구한 분리효율을 보여 주고 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 임팩터에서의 입경별 분리 효율곡선을 사이클론의 효율예측에 사용하는 Lapple의 효율곡선식에 적절한 β value를 취함으로써 실험치에 근사한 값으로 구할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 실험치와 비교하여 예측되어진 β 값은 표 1과 같다. 이상과 같이 구하여진 모수화된 형태의 입경별 분리 포집 효율을 이용하여 전체 입자 크기 구간에 따른 분리 입경을 모사할 수 있다. 특히, 본 연구 결과를 활용하여 입자의 크기분포에 따라 달라지는 ideal한 분리 효율과 실

제 sampler 유입부의 오차를 간략화된 방식으로 정량적으로 구할 수 있다.

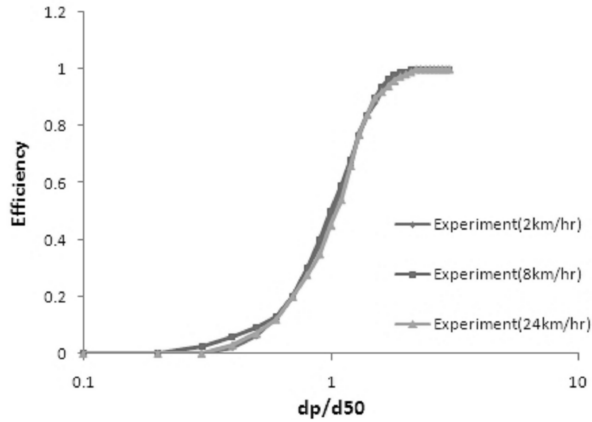


Fig. 1. Comparison of the grade efficiency of R&P PM₁₀ sampler inlet.

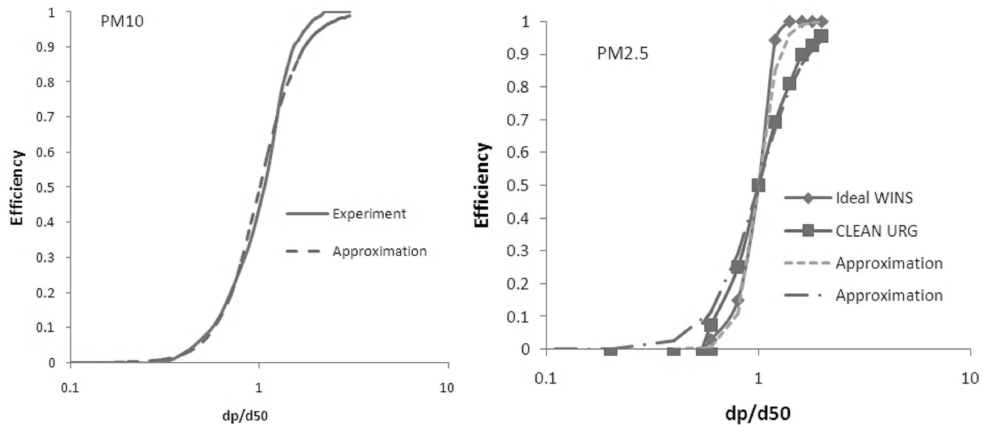


Fig. 2. Comparison of the experimental and approximated grade efficiency for PM₁₀ and PM_{2.5} sampler inlet.

Table 1. Comparison of the β -value in different sampling inlets.

	PM ₁₀ R&P Inlet	PM _{2.5} Ideal WINS	PM _{2.5} Clean URG
β value	4.3	9.5	4

참고 문헌

- Jung, C.H., H.S. Park, and Y.P. Kim (2009) Approximated solution of estimating cyclone efficiency for polydispersed aerosol, Environmental Engineering Science, 26(9), 1401-1405.
- Kenny, L.C. (1998) Investigation of the Effects of Loading on PM_{2.5} Selectors, HSC Report No. IR/L/A/98/13.