

## PE16) 다분산 입자의 사이클론 효율예측을 위한 근사 효율식 Approximated Solution of Estimating Cyclone Efficiency for Polydispersed Particle

정창훈·박현실<sup>1)</sup>

경인여자대학 환경보건과, <sup>1)</sup>한국에너지기술연구원

### 1. 서 론

사이클론은 원심력을 이용하여 함진 가스로부터 입자를 제거하는 가장 일반적인 입자-가스 분리 및 제거 장치이다. 전통적인 tangential-flow type의 사이클론에 대한 효율 예측식은 크게 Leith and Licht에 의한 radial back mix 방법(Jung and Park, 2008)과 절단입경(cut diameter)을 이용한 Lapple의 효율식(Overcamp and Mantha, 1998)이 많이 사용되고 있다. 이 중 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 효율을 의미한다. 여기서  $\beta$ 가 2인 경우 본래의 Lapple의 효율식이 되며 여러 종류의 사이클론의 효율 실험에 의해  $\beta$ 값은 2~6의 다양한 값을 갖는다(Overcamp and Mantha, 1998). 일반적으로 대기 중에서 유입되는 입자는 다양한 크기의 다분산 분포를 하고 있다. 따라서 이러한 다분산 입자의 크기분포를 고려한 총 입자 제거 효율(overall collection efficiency,  $\eta$ )은 다음과 같이  $\eta(d_p)$ 를 입경에 대하여 적분함으로써 구할 수 있다.

$$\eta = \int_0^\infty \eta(d_p)n(d_p)dd_p = \int_0^\infty \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{50}}{d_p}\right)^\beta\right]} n(d_p)dd_p \quad (2)$$

여기서  $n(d_p)$ 는 입경  $d_p$ 에서의 입자의 크기 분포이다. 식(2)는 기본적으로 해석적인 방법으로 적분이 불가능하기 때문에 주어진 입경에 대해 매 집진효율을 수치적으로 적분하여 총 입자 제거 효율을 구하여야만 한다. 본 연구에서는 입자의 크기가 정규대수분포(log-normal size distribution)이라는 가정 하에서 사이클론에 의한 총 입자 제거효율을 간단한 해석적 수식으로 간략화하고 이를 수치적인 적분 결과와 비교하였다.

### 2. 총 입자 제거 효율의 간략화

본 연구에서는 식(2)에서의 입자의 크기 분포,  $n(d_p)$ ,를 일반적인 다분산 입자 분포에 많이 사용하는 대수 정규분포로 가정하였다. 여기서  $d_g$ 와  $\sigma_g$ 는 각각 기하학적 평균 직경과 기하학적 표준편차이다.

$$n(d_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}d_p \ln \sigma_g} \exp\left[\frac{-(\ln d_p - \ln d_g)^2}{2\ln^2 \sigma_g}\right] \quad (3)$$

사이클론에 의한 입자의 총 제거 효율은 식 (1)에 입자의 크기 분포 식 (2)를 대입하여 수치적으로 적분하면 된다. 본 연구에서는 해석적인 식의 유도를 위해 식 (2)를 다음과 같은 식으로 간략화된 형태로

표현하였다.

$$\eta = \int_0^{\infty} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{50}}{d_p}\right)^\beta\right]} n(d_p) dd_p \approx \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{d_{50}}{d_g}\right)^{f(\beta, \sigma_g)}\right]} \quad (4)$$

여기서 간략화를 위한 보정 관계식(Correction factor,  $f(\beta, \sigma_g)$ )은 수치적인 적분해의 결과로부터 다음과 같은 형태로 근사될 수 있다.

$$f(\beta, \sigma_g) = \beta \cdot \exp[-0.127\beta(\sigma_g - 1)] \quad (5)$$

식(4)에서 입자가 단분산인 경우 기하학적 표준편차( $\sigma_g$ )가 1이 되므로  $f(\beta, \sigma_g) = \beta$ ,  $d_g = d_p$ 가 되어 식(1)에 수렴하게 된다. 또한 기하학적 평균 직경( $d_g$ )이 절단입경( $d_{50}$ )과 같은 경우 총 제거 효율은 0.5(50%)가 되는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 과

그림 1은 본 연구에서 유도한 식 (4)-(5)에서의 correction factor 및 사이클론의 예측 효율식을 수치적 적분에 의하여 구한 해와 비교한 것이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 수치적인 결과와 근사식에 의한 결과가 기하학적 표준편차 1에서 3까지의 다양한 크기 분포에 대하여 매우 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 보정계수 역시 본 연구에서 근사한 식과 실제 수치적 계산에 의해 계산된 값이 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 입자의 총괄 효율은 입자의 기하학적 표준편차가 작아질수록 기하학적 평균 직경( $d_g$ )이 절단입경( $d_{50}$ )의 비 1을 중심으로 효율의 경사가 급해지는(stiff) 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 본 연구에서 다분산 입자에 대하여 근사시킨 보정계수를 이용한 사이클론의 효율 예측식이 수치적인 적분 과정을 통하여 얻은 결과와 매우 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

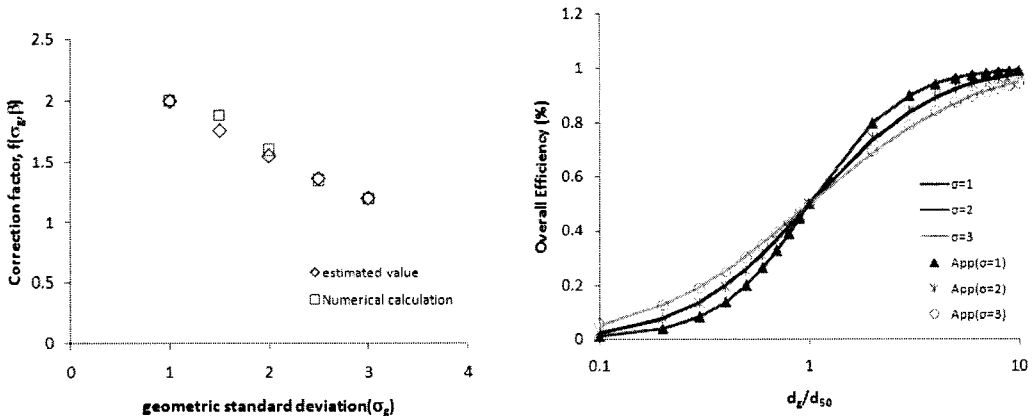


Fig. 1. Comparison of the correction factor and overall efficiency as a function of geometric standard deviation and  $d_g/d_{50}$  for  $\beta=2$ .

### 사 사

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 project)”으로 지원받은 과제입니다.

### 참 고 문 헌

- Jung, C.H. and H.S. Park (2008) A simplified model to estimate the size distribution change of polydispersed aerosol for cyclone separator, Particulate Science and Technology, in press.
- Overcamp, T.J. and S.V. Mantha (1998) A simple method for estimating cyclone efficiency, Environmental Progress, 17(2), 77-79.