

PE1) 전기집진기 내부 유동의 균일도 척도 간 상관관계 Relationship between Standards for Gas Flow Uniformity inside Electrostatic Precipitators

송동근 · 홍원석 · 한방우 · 김학준 · 신완호 · 정상현 · 심성훈 · 김용진
 한국기계연구원 그린환경에너지기계연구본부

1. 서 론

전기집진기는 입자상 오염 물질의 배출 저감을 위해 가장 널리 사용되는 집진설비로서 설치 및 유지보수의 용이성 및 높은 집진 효율 등의 장점이 있다. 전기집진기를 적용하여 높은 집진 효율을 얻기 위해서는 전기집진기 내부 유동의 균일도가 확보되어야 한다. 전기집진기 내부 유동이 균일하지 않은 경우, 제거 대상 분진의 경로에 따라 분진의 체류시간이 크게 달라지며, 제거 대상 분진의 하진 및 제거 성능이 충분히 확보되지 않는다. 이와 같은 전기집진기 내부 유동의 균일도(Gas Flow Uniformity)는 전기집진기 설계 시부터 고려되어, CFD 및 축소 모델 실험 등을 통해 엄격하게 검증되어야 하는 항목이다. ICAC(Institute of Clean Air Companies)는 이를 위한 기준을 마련하여 평가 기준으로 적용하고 있으나, 관련 업계에서는 ICAC 기준과는 다른 %RMS 값을 기준으로 내부 유동의 균일도를 평가하는 경우도 있다. 본 연구에서는 ICAC 기준과 업계에서 통용되는 %RMS와의 상관관계에 대해 살펴보고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 전기집진기 내부 기체의 축 방향 속도 성분의 분포가 정규분포인 경우, 각기 다른 %RMS 인 속도 분포의 ICAC-EP-7 기준 만족 여부에 대한 상관관계를 살펴보았다. 전기집진기 내부 유속의 균일도는 집진부 단면의 균등 측정 지점에서 측정된 측정값을 이용하여 산출하며, 전기집진기 내부 유속의 균일도로 사용되는 %RMS는 다음과 같이 정의된다.

$$\%RMS = \frac{\sigma}{\bar{U}} \times 100 \quad (1)$$

여기서, \bar{U} 는 측정 속도 값들의 평균 속도, σ 는 측정 속도 값들의 표준편차를 의미한다.

ICAC-EP-7에서 규정한 기준안은 목표 배출량에 따라 기준을 달리하며 다음과 같이 규정된다.

- 목표배출량이 100mg/m³ 미만인 경우(ICAC-EP-7-1),
 - 평균 속도의 1.15배 이하인 측정 지점의 수가 전체 측정 지점 수의 85% 이상
 - 평균 속도의 1.40배 이하인 측정 지점의 수가 전체 측정 지점 수의 99% 이상
- 목표배출량이 100mg/m³ 이상인 경우(ICAC-EP-7-2),
 - 평균 속도의 1.15배 이하인 측정 지점의 수가 전체 측정 지점 수의 75% 이상
 - 평균 속도의 1.40배 이하인 측정 지점의 수가 전체 측정 지점 수의 95% 이상

3. 결과 및 고찰

전기집진기 집진부 단면에서의 축 방향 속도 성분의 분포가 정규 분포인 경우, 다음과 같이 표현된다.

$$f(v) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-\bar{U})^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

여기서 $x = (v - \bar{U})/\sigma$ 로 정의하면, 식 (2)는 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (3)$$

ICAC-EP-7에서 규정한 기준인 평균 속도의 1.15배와 1.4배인 유속에서의 변환 변수의 값은 다음과

같이 주어진다.

$$x_1 = (v_1 - \bar{U})/\sigma = (1.15\bar{U} - \bar{U})/(\%RMS \cdot \bar{U}) = 0.15\bar{U}/(\%RMS \cdot \bar{U}) = 0.15/\%RMS \quad (4)$$

$$x_2 = (v_2 - \bar{U})/\sigma = (1.40\bar{U} - \bar{U})/(\%RMS \cdot \bar{U}) = 0.40\bar{U}/(\%RMS \cdot \bar{U}) = 0.40/\%RMS \quad (5)$$

변환 변수 x 까지의 누적값은 다음 적분식을 통해 산출할 수 있다.

$$F(x) = 0.5 + \int_0^x f(x)dx = 0.5 + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (6)$$

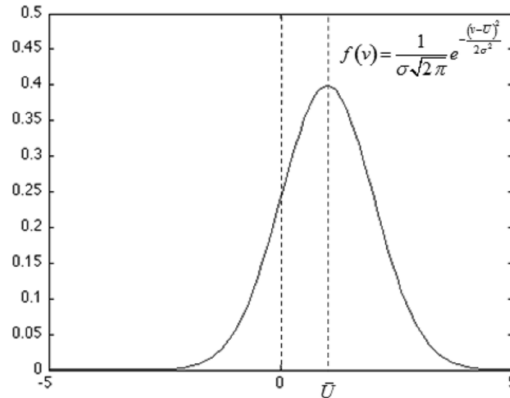


Fig. 1. Normal distribution for gas velocities having a mean \bar{U} .

표 1은 식 (6)을 이용하여 산출한 각 %RMS인 분포에서의 ICAC-EP-7 기준과의 비교 결과이다. 전기집진기 집진부 단면에서의 속도 분포가 정규분포 형태인 경우, 표 1을 기준으로 ICAC-EP-7-1 기준을 만족하기 위해서는 %RMS 값이 15% 미만이어야 하고, ICAC-EP-7-2 기준을 만족하기 위해서는 25% 미만이 되어야 함을 알 수 있다. 역함수를 이용하여 각각의 기준을 만족하는 %RMS 값을 산출하면, ICAC-EP-7-1 기준을 만족하기 위한 %RMS 값은 14.47%이고, ICAC-EP-7-2 기준을 만족하기 위한 %RMS 값은 22.24%로 산출되었다. 실제 전기집진기의 집진부 단면에서의 유속 분포는 정규 분포와 다소 상이한 분포를 나타내며, 실제 유속 분포 형태를 고려한 상관관계에 대한 고찰이 요구된다.

Table 1. Fraction of gas velocities below the specified value in ICAC-EP-7 standards.

%RMS	x_1	x_2	$F(x_1)$	$F(x_2)$
35%	3/7	8/7	66.59%	87.35%
30%	1/2	4/3	69.15%	90.88%
25%	3/5	8/5	72.57%	94.52%
20%	3/4	2	77.34%	97.72%
15%	1	8/3	84.13%	99.62%
10%	3/2	4	93.32%	100.0%

참 고 문 헌

The Institute of Clean Air Companies (1997) Electrostatic Precipitator Gas Flow Model Studies, Publication ICAC-EP-7.