

## 다익형 송풍기의 공력학적 성능에 관한 실험적 연구

김성<sup>\*,\*\*†</sup> · 양현모<sup>\*</sup> · 정순영<sup>\*,\*\*\*</sup> · 김광호<sup>\*</sup> · 이정훈<sup>\*\*\*</sup>

### An Experimental Study on the Aerodynamic Performance of the Sirocco Fan

Sung Kim<sup>\*,\*\*†</sup>, Hyeonmo Yang<sup>\*</sup>, Soon-young Jeong<sup>\*,\*\*\*</sup>, Gwangho Kim<sup>\*</sup>, Jeonghoon Lee<sup>\*\*\*</sup>

Key Words : Fan(송풍기), Sirocco fan(다익형 송풍기), Experiment(시험), Performance analysis(시험분석), Measurement uncertainty(측정불확도)

#### ABSTRACT

In this paper, an experimental study was conducted on the aerodynamic performance of the fan. In order to improve reliability in the fan performance test, the measurement uncertainty of the instrument was estimated. Measurement uncertainty referring to the uncertainty of a measurement, estimates the range in which the expected value of the measurement can be within a certain confidence level, and suggests a range in which the measured representative value is incorrect. Therefore, the measurement result of the performance experiment is not an actual value, but a reasonable estimated value. The aerodynamic performance analysis of the fan was performed on a sirocco fan. The aerodynamic performance of the sirocco fan was analyzed at the design-flow rate. The measurement uncertainty for the aerodynamic performance of the sirocco fan was calculated and the measured results were presented.

#### 1. 서 론

송풍기는 주로 기체를 이송시키는 유체기계이며, 산업 및 가정에서 많이 쓰이고 있으므로 주변에서 많이 접할 수 있는 기계 중 하나이다. 특히, 설치 및 유지보수 비용이 저렴하여 가정 및 산업용 공조시스템에서 흔히 볼 수 있다.

이러한 송풍기의 설계 및 성능분석에 관한 연구는 국내 및 국외에서 활발히 진행되고 있다. 공력학적 성능향상을 위한 송풍기 설계는 이론을 근거한 설계 및 최적화기법을 적용한 최적설계 등 다양한 설계방법으로 연구가 진행되었다. 정철영 등<sup>(1)</sup>은 지하 환기를 위한 산업용 벽부형 송풍기를 익형 타입으로 설계하고 전산유체역학 및 성능시험을 통하여 성능을 검증하였고, 김승욱 등<sup>(2)</sup>은 송풍기 최적설계를 위해 설계 변수를 정립하고 최적화 기법 및 설계프로그램을 활용하여

송풍기를 설계하였다.

송풍기의 공력학적 성능은 주로 전산유체역학이나 성능시험을 통하여 검증하는 연구가 진행되었다. 장충만 등<sup>(3)</sup>은 스플리터 부착에 관한 원심송풍기의 내부유동 및 성능특성을 전산유체역학을 활용하여 송풍기 내부 유동특성을 분석하였으며, 고현석 등<sup>(4)</sup>은 가변익 송풍기의 피치각에 따른 공력학적 성능을 전산유체역학을 활용하여 분석하였다. 또한, 권의용 등<sup>(5)</sup>은 자동차 에어컨용 원심 송풍기의 내부유동 특성을 전산유체역학을 이용하여 분석하였고 성능시험을 통하여 공력학적 성능을 검증 및 비교분석하였다. 최영석 등<sup>(6)</sup>은 송풍기 성능시험장치 구축 및 자동제어계측 시스템을 도입하여 송풍기 성능시험을 체계적으로 수행하고 결과를 분석하였으며, 최문경 등<sup>(7)</sup>은 연료 재순환용 송풍기의 고온상태의 성능을 분석하기 위하여 성능시험을 수행하여 성능을 검증하였

\* 한국생산기술연구원 산업에너지연구부(Industrial Energy R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology)

\*\* 과학기술연합대학원대학교 융합제조시스템공학

(Convergence Manufacturing System Engineering, University of Science and Technology)

\*\*\* 한국기술교육대학교 기계공학부(School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education)

† 교신저자, E-mail : ks2928@kitech.re.kr

으며, 전산유체역학을 활용하여 성능시험 및 수치해석 결과를 비교분석하였다.

일반적으로 성능시험은 성능시험장치 및 측정 센서에 의해서 성능결과가 도출되므로 시험장치 및 측정 센서의 설치 및 측정방법에 따라 성능결과도 다양하게 측정된다. 또한, 성능시험 수행자로 통한 측정결과도 다르게 측정되므로 성능시험 수행을 위한 절차의 체계성 정립이 매우 중요하다. 특히, 성능시험은 다양한 측정센서를 이용하여 성능을 측정하므로 시험환경 및 측정방법에 관한 정립도 중요하다. 정현석 등<sup>(8)</sup>은 다이얼게이지에 대한 측정기를 검증 및 교정을 위한 측정 불확도 산출에 관한 연구를 수행하였으며, 홍성택 등<sup>(9)</sup>은 측정환경에 따른 강수량계의 측정불확도를 분석하였다.

전산유체역학을 활용한 송풍기의 공력학적 성능검증 연구는 활발히 진행되어왔으나 성능시험을 통한 공력학적 성능검증의 연구는 상대적으로 활발하지 않다. 따라서 본 논문에서는 송풍기의 공력학적 성능을 성능시험을 통하여 체계적으로 분석하였다. 공인시험기관에서 검/교정된 측정센서를 이용하여 송풍기의 공력학적 성능을 측정하고 정밀한 데이터를 확보하였다. 또한, 송풍기의 공력학적 성능결과의 측정 불확도를 추정함으로써 성능시험 결과를 객관적으로 분석 및 검토하였다.

## 2. 다익형 송풍기 형상 및 성능특성

### 2.1 다익형 송풍기 형상

송풍기의 공력학적 성능은 다익형 송풍기 대상으로 실험적 연구를 수행하였다. 다익형 송풍기는 터보형 원심 송풍기로 구별되며, 송풍기의 임펠러의 날개는 반경방향으로 길이가 작고 폭이 넓으며 전향형(forward-curved blade) 날개 형상으로 나타낸다. 특히, 송풍기의 임펠러 형상은 원통형 회전체 형태처럼 회전날개가 회전방향과 동일한 방향으로

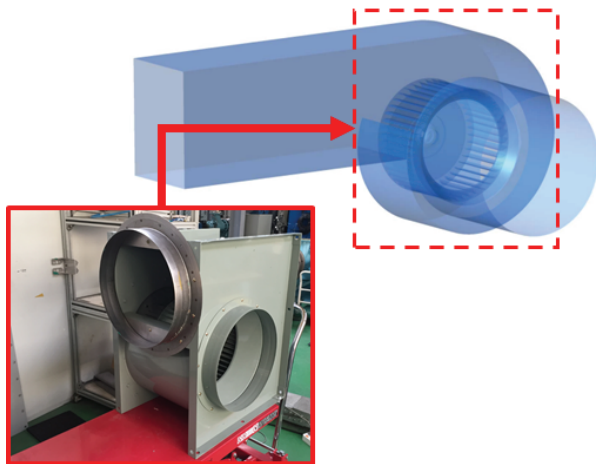


Fig. 1 Shape of the sirocco fan

설계되어 있으므로 임펠러 깃 수가 매우 많은 특징을 가지고 있다. 이러한 다익형 송풍기는 임펠러 형상이 단순하여 설계가 쉽고 제작 단가도 저렴하다. 또한, 다익형 송풍기는 회전수가 낮아 저소음 특징을 가지고 있어 환기용이나 공기조화용으로 많이 사용되고 있다. Fig. 1은 다익형 송풍기 형상을 나타낸다.

### 2.2 다익형 송풍기 성능곡선 특성

송풍기는 요구되는 설계사양에 따라 다양한 송풍기 타입으로 설계되나 송풍기의 성능은 풍량, 압력 및 효율로 정의된다. 일반적으로 송풍기 성능곡선은 유량변화에 따라 압력 및 효율곡선으로 표현되며, 압력은 유량이 증가하면 감소하는 경향이 있으며, 효율은 특정 유량에서 효율이 변곡되는 경향이 있다. Fig. 2는 다익형 송풍기의 성능곡선을 나타낸다.

## 3. 송풍기 성능시험

송풍기 시험장치는 KS 규격(KS B 6311:송풍기의 시험방법)에 제시된 복합노즐타입으로 제작되었으며, 송풍기 시험장치는 Fig. 3에 나타내었다.

복합노즐이 포함된 송풍기 성능시험장치의 계략도는 Fig.

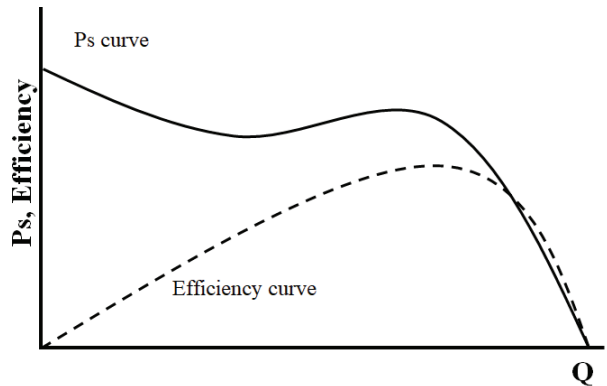


Fig. 2 Performance curves of the sirocco fan



Fig. 3 Multiple nozzles type fan tester<sup>(10)</sup>

4에 나타내었다. 송풍기 성능지표인 유량을 측정하기 위해, 유량제어는 복합노즐을 이용하여 제어하였으며, 복합노즐 형상의 단면을 Fig. 5에 나타내었다. 송풍기의 성능시험은 KS규격(KS B 6311: 송풍기의 시험방법)에 따라 수행 및 성능을 검증 하였다. KS 규격은 송풍기 또는 공기 이송장치의 유량, 압력, 축동력, 공기밀도, 회전수 등을 측정하기 위한 시험에 대한 규정으로 송풍기 시험시 적용되는 방법 및 규정을 제시하였다. KS 규격에 따라 송풍기 성능시험 장치를 구축하였고 성능시험에 필요한 측정센서를 설치하였다.

본 연구에서는 KS 규격에서 제시한 성능시험 측정방법 중에서 송풍기의 유량에 대하여 평가하였으며, 각 계측장비의 상태를 점검하고 규정 압력 및 회전수로 설정한 후에 안정화 상태에서 송풍기 유량을 측정하였다. Table 1은 송풍기 시험 조건을 보여주며, Table 1의 압력 및 회전수 조건일 때, 유량을 측정하여 측정 불확도를 추정하였다.

송풍기 유량 측정을 위한 수학적 모델링은 식 (1)과 같다.

$$Q = A \times V \quad (1)$$

유량은 면적 및 속도의 곱으로 계산되며, 식 (1)에서 면적은 복합노즐의 면적을 나타낸다. 유량 계산에 필요한 면적 및 속도를 구하는 식은 식 (2) 및 (3)에 나타내었다. 식 (2)에서 d는 복합 노즐의 직경을 나타낸다. 또한, 식 (3)에서  $\Delta p$ 는 노즐 차압을 나타내며,  $\rho$ 는 유체 밀도를 나타낸 것이다.

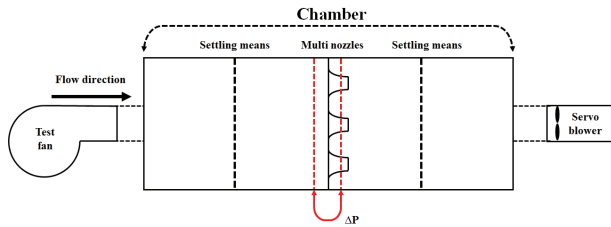


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus for fan tester

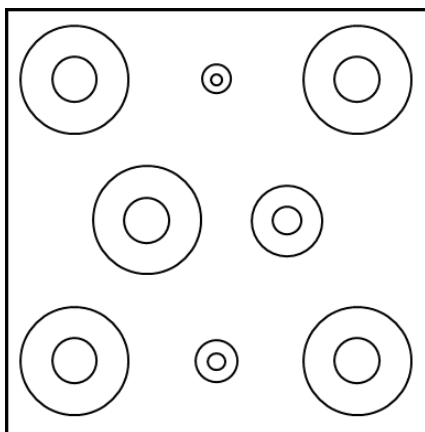


Fig. 5 Fan tester of multiple nozzles system

속도에서 밀도는 KS 규격에서 제시한 식으로 계산되며, 밀도에 관한 식은 식 (4)에 제시하였다.

$$A = \frac{\pi}{4} (\sum d^2) \quad (2)$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{p_b - 0.378 \times p_p}{287 \times (t_{do} + 273.2)} \quad (4)$$

식 (4)에서  $p_b$ 는 대기압을 나타내며,  $p_p$  및  $p_e$ 는 증기의 분압 및 포화 증기압을 나타낸 것이다. 증기의 분압 및 포화 증기압의 식은 식 (5) 및 (6)에 나타내었다.

$$p_p = p_e - p_b \left( \frac{t_{do} - t_{wo}}{1500} \right) \quad (5)$$

$$p_e = 3.25t_{wo}^2 + 18.6t_{wo} + 692 \quad (6)$$

식 (5) 및 (6)에서  $t_{do}$ 는 건구온도를 나타내며,  $t_{wo}$ 는 습구온도를 나타낸 것이다. 밀도를 구하는 식에서 증기의 분압 및 포화 증기압의 식을 적용하면 식 (7)과 같이 변경이 가능하다.

$$\rho = \frac{p_b - 0.378 \times [(3.25t_{wo}^2 + 18.6t_{wo} + 692) - p_b \left( \frac{t_{do} - t_{wo}}{1500} \right)]}{287 \times (t_{do} + 273.2)} \quad (7)$$

KS 규격의 시험방법에 따라 밀도는 건구온도, 습구온도 및 대기압 값을 측정하여 계산되었으며, 속도는 밀도와 노즐 차압을 측정하여 계산하였다<sup>(10)</sup>. 송풍기의 유량은 복합노즐의 면적 및 속도를 이용하여 도출하였다. 송풍기 성능시험에 사용된 측정센서는 Table 2에 제시하였다.

Table 1 Performance test conditions

Pressure(Pa)	352
Rotational speed(r/min)	1150

Table 2 Specifications of a measurement device

Measurement device	Range	Uncertainty
atmospheric pressure(kPa)	0 - 130	± 0.08
pressure(Pa)	0 - 1 333	± 0.3
dry-bulb temperature(°C)	0 - 100	± 0.2
wet-bulb temperature(°C)	0 - 100	± 0.2

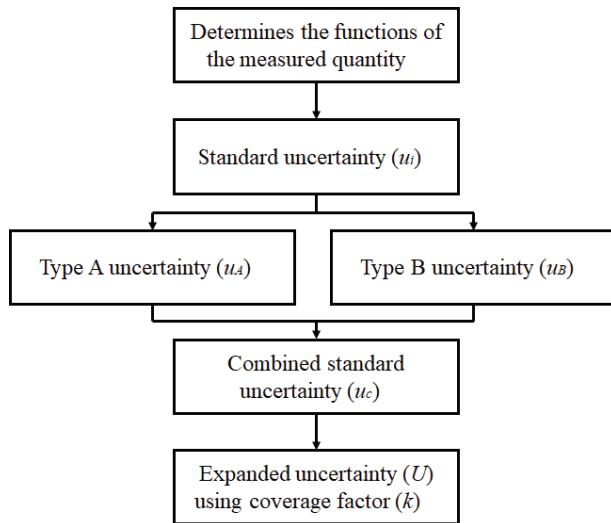


Fig. 6 Flowchart of the uncertainty calculation process<sup>(11)</sup>

#### 4. 측정 불확도 추정

성능시험 결과는 다양한 계측 장비를 통해 도출되며, 최근에는 단순한 측정값 제시를 넘어 각 계측기의 신뢰도를 함께 고려하는 것이 중요해지고 있다. 측정 불확도(measurement uncertainty)는 측정 결과에 포함된 불확실성을 정량적으로 표현하는 개념으로, 측정 데이터에 대한 신뢰성과 정확도를 함께 판단할 수 있는 근거를 제공한다.

실제 시험환경에서는 외부 온도, 습도, 계측기의 상태, 측정자의 숙련도 등 다양한 요인이 측정값에 영향을 미치며, 이러한 요인들로 인해 일정한 오차가 발생한다. 따라서, 측정값은 절대적인 참값이 아닌 근사치로 간주되며, 이를 보정하기 위해 측정 결과와 함께 특정 신뢰수준에서의 오차 범위를 명시할 필요가 있다. 이는 측정값의 해석에 있어 객관성과 정량성을 동시에 확보할 수 있도록 한다.

측정 불확도는 단순한 오차 추정이 아닌, 계측 시스템 전체에 대한 평가를 포함한다. 즉, 측정 장비의 정확도, 반복성, 보정 상태 등 다양한 요소를 반영하여, 최종적으로 시험 결과의 신뢰도 수준을 결정하는 데 기여한다. 따라서, 성능 시험에 사용된 측정값은 적절한 추정 절차를 거쳐야 하며, 계측기에서의 결과가 곧바로 참값이 아님을 인지하고, 이에 대한 정량적인 불확도 분석이 병행되어야 한다.

이러한 절차에 따라 성능시험 결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 측정불확도의 체계적인 산정이 필수적이며, 측정 불확도 추정의 흐름도를 Fig. 6에 나타내었다.

##### 4.1 표준불확도 평가

성능시험 과정에서 측정값은 외부 환경 조건, 측정자 편차, 계측기의 정확도 등 다양한 변수의 영향을 받게 된다. 이러한 불확실 요소들을 정량적으로 평가하기 위해 표준불확

도(standard uncertainty)의 개념이 적용되며, 이는 측정값의 신뢰 범위를 합리적으로 추정하는 데 필수적인 요소이다.

표준불확도는 평가 방법에 따라 크게 두 가지 유형으로 구분된다. 첫 번째는 A형 평가로, 이는 통계적 방법을 기반으로 측정 데이터를 반복 측정하고, 그로부터 얻은 분산(variance)이나 표준편차(standard deviation)를 활용하여 불확도를 도출한다. 반복된 측정값들의 분포 특성, 즉 빈도분포(frequency distribution)를 통해 확률밀도함수(probability density function)를 구성하고, 이를 통해 측정 불확도의 수치를 산정하는 방식이다. 두 번째는 B형 평가로, 직접적인 반복 측정이 아닌 기존 문헌자료, 제조사 사양, 교정성적서 등 외부 정보에 기반하여 불확도를 추정하는 방식이다. B형 평가는 경험적 판단이나 사전 지식을 바탕으로 각 변수에 적절한 확률분포를 가정하고, 이에 따라 불확도 요소를 정량화한다. 통계적인 반복 측정이 어렵거나 불가능한 경우에 유용하게 적용된다.

각각의 불확도 요소는 평가 방법에 따라 서로 다른 경로로 도출되지만, 모두 최종적으로는 측정의 신뢰도를 구성하는 분산 또는 표준편차 형태로 표현된다. 본 연구에서는 송풍기 성능지표 계산에 필요한 측정값들에 대해 A형과 B형 각각의 표준불확도를 산정하였다. A형 불확도는 측정센서를 통한 반복 측정으로부터 샘플의 표준편차와 이를 기반으로 한 모집단 표준편차 추정으로 도출하였으며, B형 불확도는 센서의 검·교정 성적서에 명시된 불확도 값을 활용하여 추정하였다.

##### 4.2 합성 표준불확도

합성 표준불확도(combined standard uncertainty)는 측정 결과가 하나의 입력값이 아닌, 복수의 입력 변수와 측정 방법에 의해 영향을 받을 때, 각 개별 불확도 성분을 통합하여 전체 측정 결과의 불확실성을 추정한 값이다. 이는 주로 A형 및 B형 평가를 통해 산출된 표준불확도를 통계적으로 결합하여 계산된다.

즉, 측정값이 다양한 독립적 또는 상호 연관된 요소에 의존할 경우, 각 요소별 표준불확도를 고려하여 전체 시스템의 총체적인 불확실성을 정량화해야 한다. 이 과정은 불확도 전파법칙(law of propagation of uncertainty)을 적용하여 수행되며, 각 입력 변수의 민감도 계수(sensitivity coefficient)와 표준편차, 공분산 등을 반영하여 최종적인 합성 분산(combined variance)을 계산한 후, 그 제곱근을 취함으로써 합성 표준불확도를 도출하게 된다.

합성 표준불확도는 결과적으로 전체 측정 과정에서의 표준편차를 추정하는 것으로 해석할 수 있으며, 이 값은 다양한 입력 변수들의 분산 및 공분산 요소를 통합하여 도출된다.

### 4.3 확장불확도

확장불확도(expanded uncertainty)는 주어진 측정 결과가 포함할 것으로 기대되는 신뢰 구간을 수치적으로 나타낸 값으로, 측정된 양의 합리적인 추정치가 통계적으로 어떤 범위 내에 존재할지를 평가하는 기준이 된다. 이는 측정값 주변의 분포 범위를 특정 신뢰수준에서 정량적으로 정의하는 개념이다.

확장불확도는 합성 표준불확도에 포함인자(coverage factor)를 곱하여 산출하며, 이 포함인자의 값은 설정된 신뢰수준(confidence level)에 따라 달라진다. 일반적으로 신뢰수준이 약 95 %인 경우에는 포함인자는 주로 2를 사용된다. 이 값은 측정값이 정규분포(normal distribution)를 따른다는 전제 하에 결정되며, 표준 정규분포는 평균과 표준편차만으로 정의되는 통계학에서 가장 널리 사용되는 연속 확률분포이다.

확장불확도를 구할 때는 반드시 해당 측정결과에 적용된 포함인자의 값을 명시해야 하며, 특히 이 값이 이후 다른 측정 결과의 불확도 분석에 활용될 경우 신뢰수준을 명확히 해야 한다. 이는 측정 데이터 간 비교 및 해석의 일관성을 보장하기 위함이다. 본 연구에서는 송풍기 성능지표에 대한 확장 불확도를 계산하기 위하여, 합성 표준불확도에 포함인자 2를 적용하였다. 측정값에 대한 불확도가 작을수록 시험 방법의 신뢰성과 결과의 객관성이 높아지므로, 확장불확도 평가는 성능시험 데이터의 품질을 판단하는 핵심 기준이 된다.

## 5. 송풍기 성능분석

송풍기 성능지표인 유량을 객관적으로 검토하기 위하여 성능시험을 통해 측정 불확도를 추정하였다. 성능시험을 이용한 불확도 평가절차는 우선 성능지표인 측정모형을 설정하고 불확도 구성요소인 A 및 B형 평가로 구별하여 평가 및 표준 불확도를 추정한다. 각각의 표준불확도 성분들은 합석하여 합성표준불확도를 산출하고 사용목적 및 신뢰수준에 따라 합성표준불확도에 보정계수를 곱하여 확장불확도를 산출한다.

송풍기의 성능지표인 유량의 측정불확도의 추정을 위하여 유량 계산식에 필요한 각 항목의 측정값은 공인인증기관에서 검증 및 교정된 측정센서를 이용하여 측정하였다. 송풍기 유량에 필요한 각각의 측정값의 A형 불확도, B형 불확도 및 합성 불확도의 식은 (8)~(10)에 나타내었다.

$$u_a = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

$$u_b = \frac{u}{k} \quad (9)$$

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (10)$$

각 항목의 A형 불확도는 유한 반복측정에 의한 표본의 표준편차를 구하고 모집단의 표준편차를 추정하므로 반복측정을 통하여 A형 불확도를 추정하였다. B형 불확도는 통계적으로 직접 구하지 않는 모든 불확도이므로 각 항목에 측정되는 측정센서의 검/교정 성적서에 제시한 불확도 결과를 사용하였다.

송풍기 유량의 합성 표준불확도는 면적 및 속도 값들의 표준불확도와 감도계수가 요구된다. 면적 및 속도에 대한 감도계수와 송풍기 유량에 대한 합성 표준불확도의 식은 (11)~(13)에 나타내었다.

$$c_A = \frac{\partial Q}{\partial A} \quad (11)$$

$$c_V = \frac{\partial Q}{\partial V} \quad (12)$$

$$u_Q = \sqrt{(c_A u_A)^2 + (c_V u_V)^2} \quad (13)$$

송풍기 유량의 확장불확도는 합성 표준불확도와 포함인자의 곱으로 계산된다. 유량의 유효자유도가 ∞이고 신뢰수준 약 95 %일 때, 포함인자는 2로 사용하여 계산된다. 유효자유도 및 확장불확도 식은 (14) 및 (15)와 같다.

$$\nu_Q = \frac{u_Q^4}{\frac{(c_A u_A)^4}{\nu_A} + \frac{(c_V u_V)^4}{\nu_V}} \quad (14)$$

$$U = k \times u_Q \quad (15)$$

송풍기 유량의 확장불확도 계산에 필요한 감도계수 및 합성 표준불확도 등은 Table 3에 제시하였다. 송풍기 유량의 확장 불확도는 0.2 m<sup>3</sup>/min이므로 측정유량 대비, 약 0.0015

Table 3 Expanded uncertainty of flow rate

	Results
Q(m <sup>3</sup> /min)	132.2
u <sub>A</sub> (m <sup>2</sup> )	0.000005541
c <sub>A</sub> (m/s)	22.8
u <sub>V</sub> (m/s)	0.011392355
c <sub>V</sub> (m <sup>2</sup> )	0.1
u <sub>Q</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0.001
U(m <sup>3</sup> /min)	0.2

%의 측정 오차를 나타낸다. 따라서 송풍기 성능시험방법 및 결과에 대하여 객관적인 신뢰성 확보가 가능하다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 다익형 송풍기의 성능을 분석하기 위하여 성능시험을 수행하고 성능시험결과에 대하여 측정 불확도를 추정함으로써 객관적으로 다익형 송풍기 성능을 분석하였다. 본 논문의 결과는 다음과 같다.

- 1) 일반적으로 계측기를 이용하여 측정된 결과는 참값이 아닌 추정값이다. 따라서 측정센서에 의해 측정된 시험 결과는 측정 불확도 추정을 함으로써 시험결과의 객관적인 검토가 필요하다.
- 2) 송풍기 성능시험의 정확도는 시험에 사용되는 장비의 신뢰성과 유지관리에 크게 좌우된다. 따라서 계측기기 및 시험장치는 정기적인 점검과 보정, 그리고 국가공인 기준에 부합하는 품질 인증이 필요하며, 특히 측정센서와 계측기의 검·교정 주기 준수는 측정값의 정밀도 확보에 필수적이다.
- 3) 측정 장비의 불확실성과 시험 방법에 내재된 오차 요소들을 체계적으로 분석함으로써, 시험 결과에 대한 측정 불확도를 산정할 수 있다.
- 4) 송풍기 성능 시험 결과에 대한 불확도 분석은 향후 기술검토, 장비 개선, 품질관리 및 인증 평가에 중요한 기준으로 활용될 수 있다.

## 후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 내부 연구[2025년 공동장비활용기술지원사업 지원사업, PJC25110]의 지원에 의하여 수행되었습니다.

## References

(1) Jeong, C. Y., Lee, K. Y., Kook, J. K., 2022, "Design And Test Results of Wall Mounted Axial Flow Fan for Smoke

Ventilation," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 3, pp. 21-27.

(2) Kim, S. W., Choi, B. L., Choi, D. H., Lee, C., Yang, S. H., 2022, "Design Optimization of an Axial Fan with Parameters and Establishment of Data Analysis Process," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 25, No. 4, pp. 23-29.

(3) Jang, C. M., Choi, K. R., Yang, S. H., 2011, "Performance Analysis of a Centrifugal Fan with Splitters," Transactions of the KSME B, Vol. 35, No. 10, pp. 1067-1073.

(4) Ko, H. S., Lee, T. H., Kim, S. R., Kang, G. W., Lee, C., 2023, "A Study on the Performance Curve Analysis of a Variable Pitch Fan Using the CFX code," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting.

(5) Kwon, E. Y., Cho, N. H., 2000, "Experimental Study on the Performance of a Forward - Curved Centrifugal Fan for an Automotive Air - Conditioner," Proceedings of the KSFM 2000 Winter Annual Meeting, pp. 122-128.

(6) Choi, Y. S., Kim, J. K., 2003, "Fan Performance Test with Automatic Control and Measurement," Proceedings of the KSFM 2003 Winter Annual Meeting, pp. 373-378.

(7) Choi, M. K., Song, C. K., Kim, S. J., Jung, K. H., 2022, "High Temperature (600°C) Performance Test of Anode Recycle Blower for SOFC Power Generation System for 5kW Class Building," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting.

(8) Jung, H. S., Son, D. S., 2024, "A Study on Dial Gauge Precision Analysis and Uncertainty in Measurement Calculation," Journal of the Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 26, No. 1, pp. 192-196.

(9) Hong, S. T., Kim, I. H., Kim, H. S., Kim, K. I., Lee, H. H., Shin, G. W., 2020, "Precipitation uncertainty analysis according to measurement environment," Proceedings of the KICS 2020 Summer Annual Meeting, pp. 0504-0505.

(10) KS B 6311, 2022, "Testing methods for industrial fans," Korean Agency for Technology and Standards.

(11) Jang, S. Y., 2020, "An Experimental Study on the Performance of Heat Pump Unit Using Geothermal Heat for New Renewable Energy," Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 31, No. 6, 2020, pp. 630-636.