

KOLAS 교정기관 간 측정 동등성 확립을 위한 상대습도 변환기 숙련도 시험

이상욱^{1,2,+} · 이영석¹ · 최병일¹

Relative Humidity Transducer Proficiency Test for KOLAS Humidity Calibration Laboratories

Sang-Wook Lee^{1,2,+}, Young-Suk Lee¹, and Byung-II Choi¹

Abstract

The Korea Laboratory Accreditation Scheme (KOLAS) operates accreditation programs for ensuring measurement traceability with the International System (SI) of Units – the highest calibration standard that measurements can be tested against. As of September 2023, there are 70 KOLAS-accredited laboratories in the Republic of Korea that specialize in humidity calibration. Among them, 32 KOLAS laboratories, along with one laboratory not affiliated with KOLAS, participated in the proficiency test (PM 2023-11) for relative humidity transducers in 2023. This proficiency test was conducted within a relative humidity range of 20–90% at a temperature of approximately 20 °C, taking into consideration the calibration and measurement capability (CMC) of the participating laboratories. The primary objective of the proficiency test was to establish the measurement equivalence between each participating laboratory and the reference laboratory, by calculating the number of equivalence (E_n). When $|E_n|$ was less than 1, the measurements from the participating and reference laboratory were equivalent. Out of the 33 participating laboratories, 32 successfully met this criterion and passed the proficiency test.

Keywords: KOLAS, Relative humidity, Proficiency test, Calibration and measurement capability, Measurement equivalence

1. 서 론

습도 및 가스 내 수증기의 조절은 인간의 건강뿐만 아니라 식품, 전자제품 등 다양한 산업에서 제품의 품질에 상당히 큰 영향을 미친다 [1-3]. 건강 측면에서는, 너무 낮은 습도는 피부 건조, 호흡 문제와 같은 증상을 유발할 수 있다. 반면 너무 높은 습도는 불쾌감을 높이고 곰팡이와 같은 질병 유발 물질의 생장을 촉진한다. 산업적 측면에서, 반도체 및 배터리 제조 공정에서는 매우 낮은 습도가 필요하다. 식품 산업에서는 습도 조절이 제품의 유통 기한과 품질에 영향을 미친다 [4]. 또한 기상 및 기

후학에서 온도와 습도는 가장 기초적인 관측값으로, 날씨 및 기후 예측 모델의 정확도를 향상시키기 위해 정확한 측정이 중요하다. 그 밖에 항공기의 비행 안전 확보 및 재해 예방 그리고 대기 상태에 대한 학술적 연구를 수행하는 데 널리 쓰인다 [5,6].

상대 습도(Relative Humidity)는 주어진 온도와 압력에서 수증기 부분 압력과 최대로 가능한(즉, 포화) 수증기 압력 사이의 백분율(%)로 정의된다 [7]. 일반적으로 상대 습도를 측정하는 기기는 감습 물질로 고분자 박막을 사용하는 습도계이다. 대기 중의 상대 습도에 따라 박막 내부에 수증기의 흡착량이 바뀌어 정전 용량이나 전기 전도도 등 전기적 특성이 변하는 성질을 이용하는 계측기이다. 응결이 일어나는 온도인 노(상)점을 측정하는 정밀 습도계에 비해 저렴하다는 장점이 있으나, 비교적 측정값의 정확도가 떨어지고 센서부가 오염에 취약하거나 온도 의존성을 보이는 단점이 있다 [8]. 그러나 이러한 단점은 상대 습도계를 주기적으로 교정하여 사용함으로써 극복할 수 있다. 2023년 9월 현재, KOLAS(KOrea Laboratory Accreditation Scheme), 즉 한국인정기구에서 습도 교정 분야(분류 번호: 503)로 인가를 받아서 교정 및 측정 능력(CMC, Calibration and Measurement Capability)을 보유한 기관은 총 70개다.

KOLAS는 측정 결과를 국제단위계(SI, International System of Units)로 소급시키기 위해 교정기관 인정제도를 운영한다.

¹ 한국표준과학연구원 물리표준본부(Division of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science)

267 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34113, Korea

² 과학기술연합대학원대학교 측정과학과(Science of Measurement, University of Science and Technology)

217 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34113, Korea

⁺Corresponding author: sangwook@kriss.re.kr

(Received: Oct. 16, 2023, Revised: Nov. 10, 2023, Accepted: Nov. 14, 2023)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

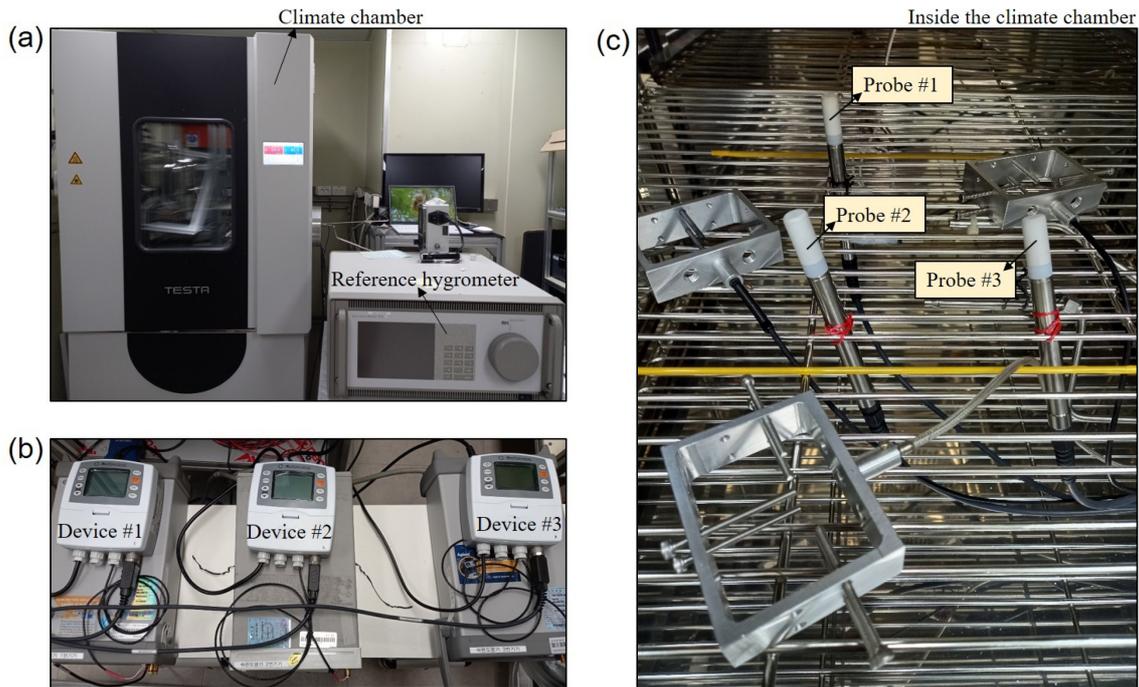


Fig. 1. Photographs of the experimental setup at the reference laboratory. (a) Thermostatic climate chamber and reference chilled-mirror hygrometer, (b) three devices under test (DUTs), and (c) probes of the DUTs installed inside the climate chamber.

KOLAS 인정된 교정 기관은 ISO/IEC 17025 [9]에서 명시된 바와 같이 교정 결과의 유효성 및 교정 항목을 유지하기 위해 숙련도 시험과 같은 실험실 간 비교 측정에 정기적으로 참여해야 한다. 숙련도 시험에 대한 일반 요구 사항은 ISO/IEC 17043에 기술되어 있다 [10]. KOLAS 규정에 의하면 KOLAS 인정 교정 기관은 인정된 모든 하위 범주에 대해 숙련도 시험에 3년에 한 번 참여해야 한다. 이를 준수하기 위해 2023년 한국계량측정협회(KASTO)의 주관으로 상대습도 변환기 항목에 대해서 KOLAS 인정 기관 32개와 일반 산업체 1개가 참여한 숙련도 시험 프로그램이 진행되었다[PM 2023-11].

숙련도 시험에 사용한 상대습도 변환기는 상대습도를 감지하여 전압 및 전류로 출력하는 기기로 자동 기상 관측 장비(AWS, Automatic Weather Station) 등에 많이 활용된다. 참여한 기관들의 CMC를 고려하여 본 숙련도 시험에서는 온도 20 °C에서 상대습도 측정 범위를 (20~90) %rh로 정하였다. 상대습도 20%의 기준을 잡기 위해서는 사용한 기준 습도계의 상점 측정값이 약 -3.2 °C가 되는데, 이 영역에서는 흔히 상점과 과냉각 노점의 구별이 어렵다. 따라서, 이를 통해 참여 기관의 측정 및 데이터 처리 능력을 시험할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 2023년에 실시된 상대습도 변환기 숙련도 시험에 대해서 설명하고, 이를 통해 기준 시험소에서 확립된 상대습도 측정 표준과 KOLAS 인정 교정 기관들 간에 측정 동등성이 유지되는지 여부를 검토하고자 한다. 우선, 기준 시험소의 상대습도 변환기 교정 시스템에 대해서 간략히 설명한 후, 순회

평가에 쓰인 시료 기기의 특성에 대해 기술한다. 숙련도 시험 참여 기관의 CMC 현황과 시험 방법과 결과에 대하여 기술하고자 한다. 끝으로, 참여 기관의 CMC 불확도와 본 시험의 측정 불확도 차이가 발생한 원인에 대해서 간략히 논의하였다.

2. 연구 방법

2.1 상대습도 변환기 교정 셋업 구성

2.1.1 항온항습챔버, 기준 온도계, 기준 노점계

본 숙련도시험의 온도 조건인 20 °C에서 상대습도 (20~90)%를 발생시키기 위해 Fig. 1(a) 왼쪽에 나타낸 바와 같이 항온항습챔버(climate chamber)를 이용하였다 (제조사: Aralab, 모델: Testa CT 500). 사전에 교정된 정밀 백금저항온도계를 챔버 내부에 설치하여 시험 온도를 측정하였다 (제조사: ASL, 모델: CTR2000). 기준 온도계의 측정 불확도는 신뢰수준 약 95%에서 0.05 °C이다 (포함인자 $k = 2$). Fig. 1(a) 오른쪽에 나타낸 바와 같이 항온항습챔버에서 발생된 습공기의 상대습도를 구하기 위해 사전에 교정된 정밀 노점계를 이용하여 습공기의 노점을 측정하였다. 사용한 정밀 냉각거울 노점계는 RH systems 사의 373LX모델로 측정 불확도는 0.1 °Cdp이다 (포함인자 $k = 2$). 이는 상대습도 90%에서 상대습도 0.6%에 해당하는 불확도이다. 챔버 밖에 설치된 흡입기를 통해 챔버 내부에서 발생된 습공기

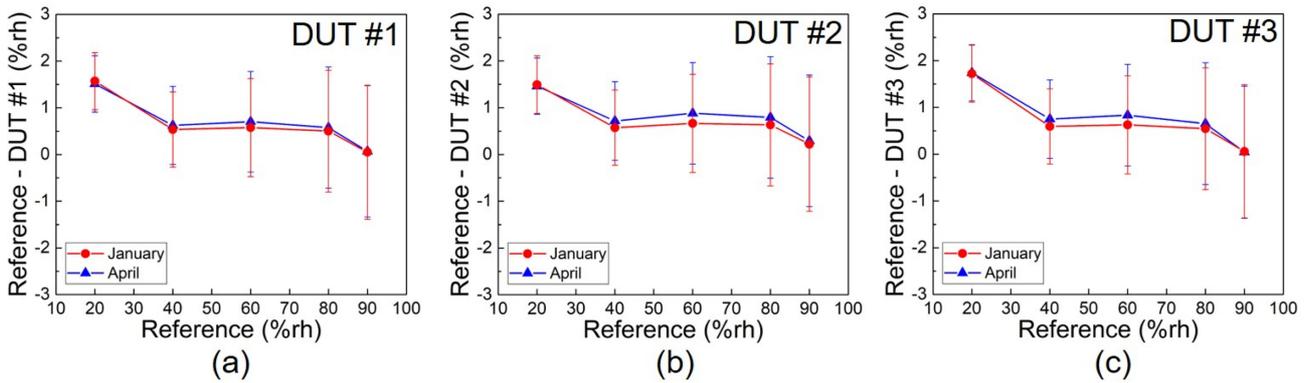


Fig. 2. Calibration results of (a) DUT #1, (b) DUT #2, and (c) DUT #3 performed in January and April of 2023 at the reference laboratory to ensure the long-term stability required for the proficiency test. The error bars are calibration uncertainty of the DUTs.

가 배관을 통해 약 1 L/min의 유량으로 노점계로 흘러가도록 하여 측정하였다.

2.1.2 측정 시료와 멀티미터

Fig. 1(b)에 보인 바와 같이 본 시험에 쓰인 상대습도 변환기 측정 시료(Device under test, DUT)는 Delta OHM사의 HM2817 모델이다. DUT는 총 3대를 준비하여 참가기관(총 33개)을 11 개씩 3조로 나눈 뒤, 각 1대씩 측정하도록 하였다. 측정 시료로부터 출력되는 전류값을 측정하기 위해 사전에 교정된 디지털 멀티미터를 사용하였다 (제조사: Agilent, 모델: 34401A). 시료의 출력값인 (4~20) mA에서 측정 불확도는 (0.1~1) μ A이다($k = 2$). 이는 상대습도로 변환 시 불확도 0.01%이하에 해당한다.

2.1.3 챔버 내 센서 설치

Fig. 1(c)에 보인 바와 같이 시료의 센서부(Probe)를 항온항습 챔버 내부에 설치하여 측정하였다. 센서가 설치된 챔버 내부의 습도 발생 안정성과 공간 균일도를 사전에 측정하여 불확도에 반영하였다.

2.2 상대습도 계산

2.2.1 기준 상대습도의 계산

챔버 내부에서 발생된 습공기의 기준 상대습도(RH_{ref})는 현재 수증기량(E)과 해당 온도에서 최대 존재할 수 있는 포화수증기량(E_s)의 비율로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$RH_{ref} (\%) = E / E_s \times 100 \quad (1)$$

현재 수증기량은 노점계로 측정한 챔버 내부의 습공기의 노(상)점 온도로 계산하여 구하고, 포화수증기량은 기준 온도계로 측정한 챔버 내부의 온도로부터 구할 수 있다. 계산식은 온도(T)에 따라 물(E_{sw})과 얼음(E_{si})의 포화수증기압으로 나뉘는데 한국계량측정협회의 노점계 표준교정절차서(18-50201-370)에 따

르면 각 계산식은 다음과 같다 [11].

$$\ln E_{sw}(T) = -6096.9385 \times T^{-1} + 21.2409642 - 2.711193 \times 10^{-2} \times T + 1.673952 \times 10^{-5} \times T^2 + 2.433502 \times \ln T \quad (2)$$

$$\ln E_{si}(T) = -6024.5282 \times T^{-1} + 29.32707 + 1.0613868 \times 10^{-2} \times T - 1.3198825 \times 10^{-5} \times T^2 - 0.49382577 \times \ln T \quad (3)$$

더 정확하게 계산하려면, 공기의 존재로 인해 수증기압이 더 증가하는 비이상기체적 현상을 보정하기 위한 부가계수(온도와 압력의 함수)를 고려해야 하지만 상대습도에 미치는 영향이 작아(0.01 ‰rh미만) 포함하지 않았다.

2.2.2 시료의 상대습도 측정값 계산

본 시험에 쓰인 상대습도 변환기는 상대습도 (0~100)%를 (4~20) mA의 전류로 선형적으로 바꾸어 출력한다. 따라서 디지털 멀티미터로 측정한 전류(I)를 다시 상대습도로 변환하여 앞서 계산한 기준 상대습도(RH_{ref})와 비교해야 한다. 측정한 전류를 이용하여 상대습도(RH_{DUT})로 바꾸는 식은 다음과 같다.

$$RH_{DUT} (\%) = 100 / 16 \times (I - 4) \quad (4)$$

2.3 시료의 측정 불확도

2.3.1 기준 시험소의 시료 측정 불확도

시료의 측정 불확도 인자와 각 인자의 불확도 산출법은 한국계량측정협회의 상대습도 변환기 표준교정절차서(16-50305-408)에 자세히 기술되어 있다 [12]. 기준 시험소에서 해당 시료의 교정 시에 산출한 측정 불확도를 상대습도 포인트 별로 Table 1에 나타내었다. 불확도 인자 중에, 기준 노점계의 교정 불확도(0.1 $^{\circ}$ C)가 시료의 상대습도 측정 불확도에 기여하는 양이 가장 큰 것으로 나타났다. 신뢰 수준 약 95%에서의 시료의 측정 불확도는 상대습도가 커질수록 커지는데, 상대습도 90%

Table 1. Uncertainty budget of the DUT

Uncertainty factor	Standard uncertainty	20 %rh Contribution (%rh)	40 %rh Contribution (%rh)	60 %rh Contribution (%rh)	80 %rh Contribution (%rh)	90 %rh Contribution (%rh)
Hygrometer calibration	0.10 °C	0.17	0.28	0.40	0.51	0.57
Hygrometer stability	0.05 °C	0.08	0.14	0.20	0.26	0.28
Thermometer calibration	0.03 °C	-0.03	-0.06	-0.09	-0.12	-0.14
Thermometer stability	0.03 °C	-0.03	-0.06	-0.09	-0.12	-0.14
Humidity stability	0.16%rh	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Humidity gradient	0.14%rh	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
DUT repeatability	0.07%rh	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
DUT reproducibility		0.03	0.08	0.09	0.07	0.04
Multimeter	0.03%rh	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Combined standard uncertainty		0.30	0.40	0.52	0.64	0.70
Expanded uncertainty		0.60	0.80	1.05	1.29	1.41

에서 약 1.4%이다.

2.3.2 참가기관의 시료 측정 불확도

참가기관도 Table 1과 같은 불확도 인자들을 고려하여 시료의 측정 불확도를 산출하고, 시료의 교정값과 함께 제출하도록 공지하였다. 본 시험에서 시료의 측정 불확도가 참가 기관이 보유한 교정 및 측정능력(CMC) 불확도 보다 클 경우, 그 이유도 함께 제출하도록 공지하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시료의 장기 안정도 평가

3.1.1 숙련도 시험 전 시료의 교정값 변경

본 상대습도 변환기 숙련도 시험 프로그램에 쓰인 시료는 2020년 시험에 쓰였던 시료였다. 당시에 시료의 일련 번호와 교정값이 노출되었으므로 본 시험에 다시 쓰기 위해 교정값을 임의로 변경할 수 있는 기능을 통해 기존과 달리 변경하고, 변경 사실을 참가 기관에게 사전에 공지하였다.

3.1.2 숙련도 시험 전 시료의 교정

숙련도 시험 프로그램이 진행될 약 3개월 동안 시료의 교정값이 안정적으로 유지되는지 사전에 확인할 목적으로 숙련도 프로그램 운영 전인 2023년 1월과 4월에 기준 시험소에서 시료를 교정하여 결과를 비교하였다. 시료의 교정은 본 숙련도 시험에서 권장하는 온도인 (20 ± 1) °C에서 상대습도 20%, 40%, 60%, 80%, 90%를 발생시켜서 진행하였다. 시료(DUT)의 2회 교정 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 시료 #1, #2, #3은 5개의 교정점에서 1월과 4월 교정값의 차이가 상대습도 0.2% 이내로, 시료의 측정 불확

도(오차 막대)내에서 일치하였다. 시료 #1, #2, #3은 3개월의 시간적 차이를 두고 실시한 교정에서 교정값에 유의미한 차이를 보이지 않았으므로, 숙련도 시험에서 필요한 장기 안정도가 확보되어 숙련도 시험 프로그램에 사용하기에 적합함을 확인하였다.

3.2 시료의 기준 교정값

3.2.1 숙련도 시험 전, 중, 후에 시료의 교정

본 숙련도 시험 프로그램은 2023년 5월부터 7월까지 3개월 간 진행되었다. 각 시료 별로 5월과 6월 사이에는 5개의 참가 기관이, 6월과 7월 사이에는 6개의 참가 기관이 측정을 하여 총 $(5\text{기관} + 6\text{기관}) \times 3\text{개 시료} = 33$ 개 참가 기관이 주어진 기간 내에 측정을 완료하여 결과를 보고했다. 프로그램이 진행되는 동안 시료(DUT)의 교정값이 변하는지 확인하기 위해 기준 시험소에서는 시험 전(4월), 시험 중(6월), 시험 후(8월)에 시료들을 교정하여 결과를 비교하였다. 시험 전, 중, 후에 시료(DUT)의 3회 교정 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 시료 #1, #2, #3은 5개의 교정점에서 3회 교정값의 차이가 상대습도 0.8% 이내로, 시료의 측정 불확도(오차 막대)내에서 일치하였다. Fig. 3(d)에 시료들의 3회 교정값과 불확도(오차 막대)의 평균을 나타내었다. 이 값들을 숙련도 시험의 기준 교정값으로 사용하였다.

3.3 참가기관의 교정 및 측정능력(CMC) 현황

3.3.1 측정 범위와 측정 불확도

Fig. 4는 참가기관이 보유한 교정 및 측정능력(CMC)을 상대습도의 측정 범위(Fig. 4(a))와 측정 불확도(Fig. 4(b))로 나타낸 것이다. 총 33개 참가 기관중에서 4개 기관은 측정 범위가 상대습도 25% 이상에서 선언되어 있어서 이번 시험에서 가장 낮은 상대습도인 20%를 측정하지 못했다 (빨간 원 표시). 기준 온도

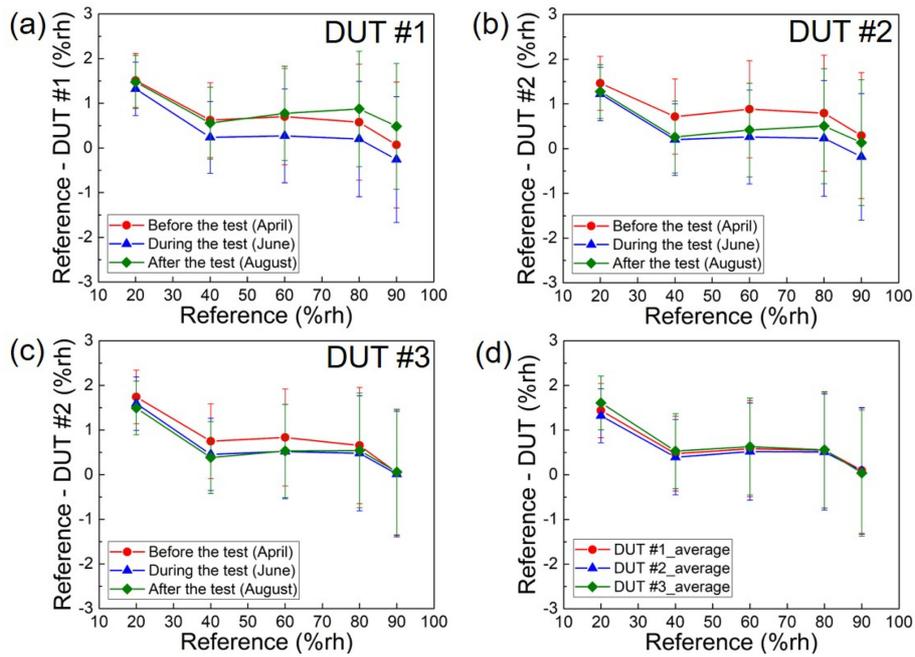


Fig. 3. Calibration results of (a) DUT #1, (b) DUT #2, (c) DUT #3 performed at the reference laboratory before (April), in the middle (June), and after (August) the proficiency test. (d) Averages of three-time calibration corrections of DUTs for establishing reference correction values. The error bars are calibration uncertainty of the DUTs.

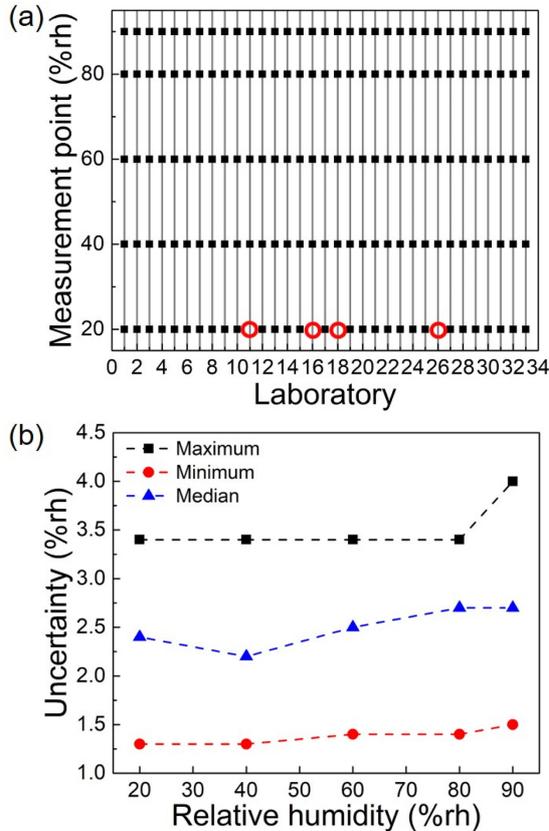


Fig. 4. Calibration and measurement capability (CMC) of participating laboratories. (a) Relative humidity measurement points and (b) uncertainty in the proficiency test.

20 °C에서 상대습도 20%를 측정하려면 기준 노점계의 측정값이 -3.2 °C인 상점을 지시하는데, 이 측정 영역에서는 상점이 아닌 -3.6 °C 과냉각 노점을 지시할 수 있다. 따라서 과냉각 노점/상점 구별 여부에 따른 불확도를 별도로 산출해 포함시켜야 하지만, 이를 피하기 위해 측정 범위를 25% 이상으로 선언한 것으로 판단된다. 만약 측정 거울 표면에 수증기가 얼지 않고 과냉각되었는데 이를 상점으로 오인하면 식(1)에 의해 기준 상대습도 계산값에 최대 0.6 %rh오차가 발생한다.

참가 기관들의 CMC 측정 불확도는 상대습도 20%에서 (1.3 ~ 3.4) %rh이었고, 33개 참가 기관의 중간값은 2.4 %rh 이었으며 기준 시험소의 측정 불확도는 Table 1과 같이 0.6 %rh이었다. 마찬가지로, 상대습도 90 %rh에서 CMC 측정 불확도는 (1.5 ~ 4) %rh범위였고, 중간값은 2.7 %rh이었으며 기준 시험소의 불확도는 1.4 %rh이었다.

3.4 참가기관의 교정값과 E_n 값

3.4.1 참가기관의 교정값

Fig. 5에 시료(DUT) 별로 참가 기관에서 측정하여 제출한 교정값(x_{Lab})과 기준 시험소의 교정값(x_{Ref})의 차이를 나타내었다. 그 차이는 일반적으로 상대습도 값이 커질수록 증가하는 경향을 보였다. 이는 상대습도 값이 커질수록 참가 기관의 측정 불확도(U_{Lab})와 기준 시험소의 측정 불확도(U_{Ref})가 커지는 경향이 있기 때문이다.

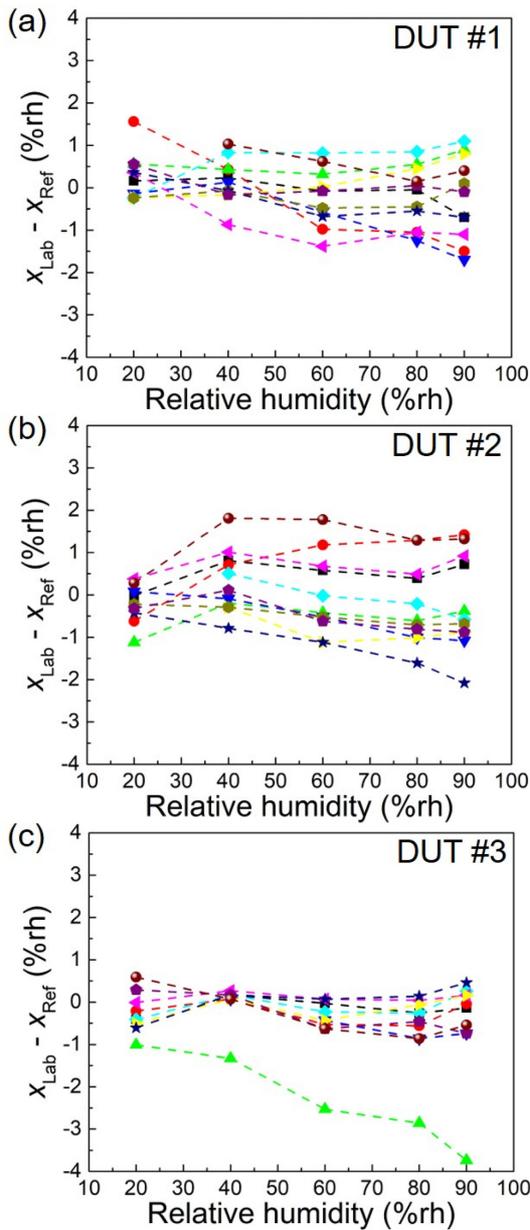


Fig. 5. Difference between the reference by the reference laboratory and the reported values by laboratories that measured (a) DUT #1, (b) DUT #2, and (c) DUT #3.

3.4.2 참가기관의 E_n 값

본 숙련도 시험에서의 합격과 불합격 판정은 ISO/IEC 17043의 지침에 따라 참가 기관과 기준 시험소의 교정값(x_{Lab} and x_{Ref})과 불확도(U_{Lab} and U_{Ref})를 활용하여 다음과 같이 계산된 E_n (number of equivalence)값에 근거한다.

$$E_n = (x_{Lab} - x_{Ref}) / \sqrt{(U_{Lab}^2 + U_{Ref}^2)} \quad (5)$$

판정 기준은 $E_n < 1$ 이면 합격, $E_n \geq 1$ 이면 불합격이다. 즉, 두 교정값의 차이가 두 기관의 측정 불확도의 합성값 보다 작

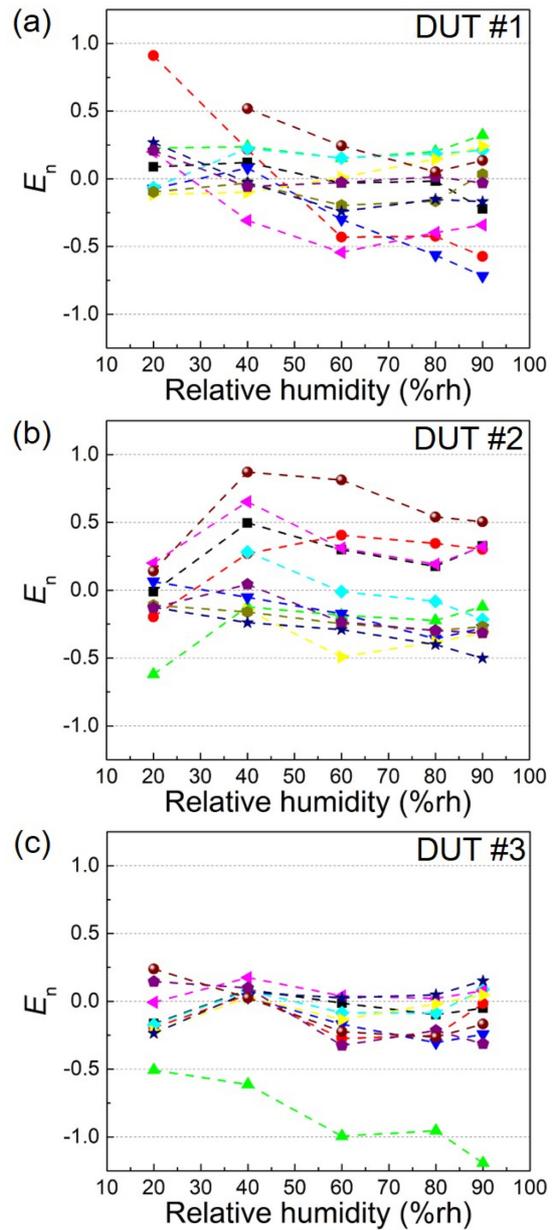


Fig. 6. E_n values of laboratories that measured (a) DUT #1, (b) DUT #2, and (c) DUT #3.

아야 합격이다.

Fig. 6에 시료(DUT) 별로 식(5)에 의해 계산된 참가 기관의 E_n 값을 나타내었다. 본 숙련도 시험에 참가한 총 33개의 기관 중에 1개 기관에서 상대습도 90%에서 E_n 값이 -1보다 작았다 (Fig. 6(c)에서 연두색). Fig. 5(c)에 나타난 바와 같이 해당 기관의 교정값이 다른 기관들에 비해 크게 벗어나 있는 것을 알 수 있다. 추후에 원인을 조사한 결과, 해당 기관에서 사용한 기준 노점계의 교정값 이상으로 숙련도 시험에 제출한 기준 상대습도의 계산 오류에 기인하였다.

Fig. 7은 33개 참가 기관에서 측정된 모든 상대습도에 대하여 계산된 E_n 값의 분포를 나타낸 것이다. 결과적으로 평균값이

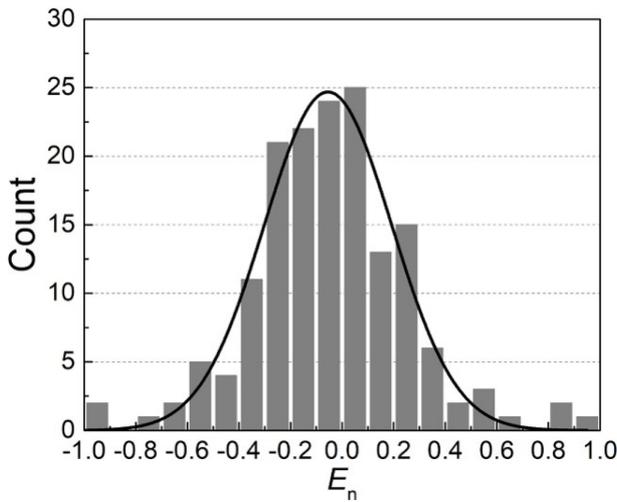


Fig. 7. Distribution of E_n values of all measured points from all participating laboratories.

0에 근접한 정규 분포 형태를 보였다. 이는 참가 기관의 교정값과 기준 시험소의 교정값이 불확도 인자 외에 다른 요인들에 의해 편향되지 않았음을 보여준다.

3.5 측정 불확도와 CMC 불확도 비교

3.5.1 측정 불확도와 CMC 불확도의 차이

측정 불확도는 이번 숙련도 시험에서 시료를 측정하며 산출한 불확도이고, CMC 불확도는 참가 기관에서 기존에 교정 및

측정능력을 스스로 산출하여 인정받은 불확도이다. 측정 불확도와 CMC 불확도는 측정 당시 장비에 따른 차이 및 측정 데이터 분석 방법의 차이로 인해서 다를 수 있다. 측정 불확도와 CMC 불확도의 비율을 Fig. 8에 상대습도 별로 나타내었다. 이번 숙련도 시험에서는 총 13개 기관이 기존의 CMC 불확도 보다 측정 불확도를 크게 보고하였다. 이 경우, 식(5)의 분모가 커져서 E_n 값 계산에 유리하므로 사전에 해당 사유를 서면으로 제출할 것을 요청하였다. 대부분의 경우, 기준 노점계, 기준 온도계 및 항온항습챔버를 새로 교정 받아서, 장비의 교정 불확도 상승을 사유로 제출했다. 또한, 시료의 교정 곡선을 다항 함수로 곡선 맞춤(Fitting)할 때 오차의 증가도 불확도가 커진 주요 원인이었다.

4. 결 론

상대습도 변환기 항목(분류 번호: 50305)에 대해서 KOLAS 공인교정기관의 교정능력을 객관적으로 평가하고 미흡한 부분에 대해서 원인을 조사하고 개선하기 위하여 2023년 숙련도 시험 프로그램[PM 2023-11]을 실시하였다. 32 개 KOLAS 공인 교정기관들과 1개의 일반산업체가 참가하였다. 상대습도 측정 범위인 (20~90) %rh에서 기준 시험소의 측정 불확도는 (0.6~1.4) %rh ($k = 2$)으로, KOLAS 교정기관들의 CMC 불확도 보다 낮으므로, 측정 동등성을 평가할 수 있는 정도의 측정 표준을 갖추었다. 33개 참가기관들을 3개 조로 편성하고, 측정 기간(3개월)과 동등성을 고려하여 3개의 동일 모델 시료를 준비하였다. 사전에 3개월 간격을 두고 기준 시험소에서 교정하여 시험에 필

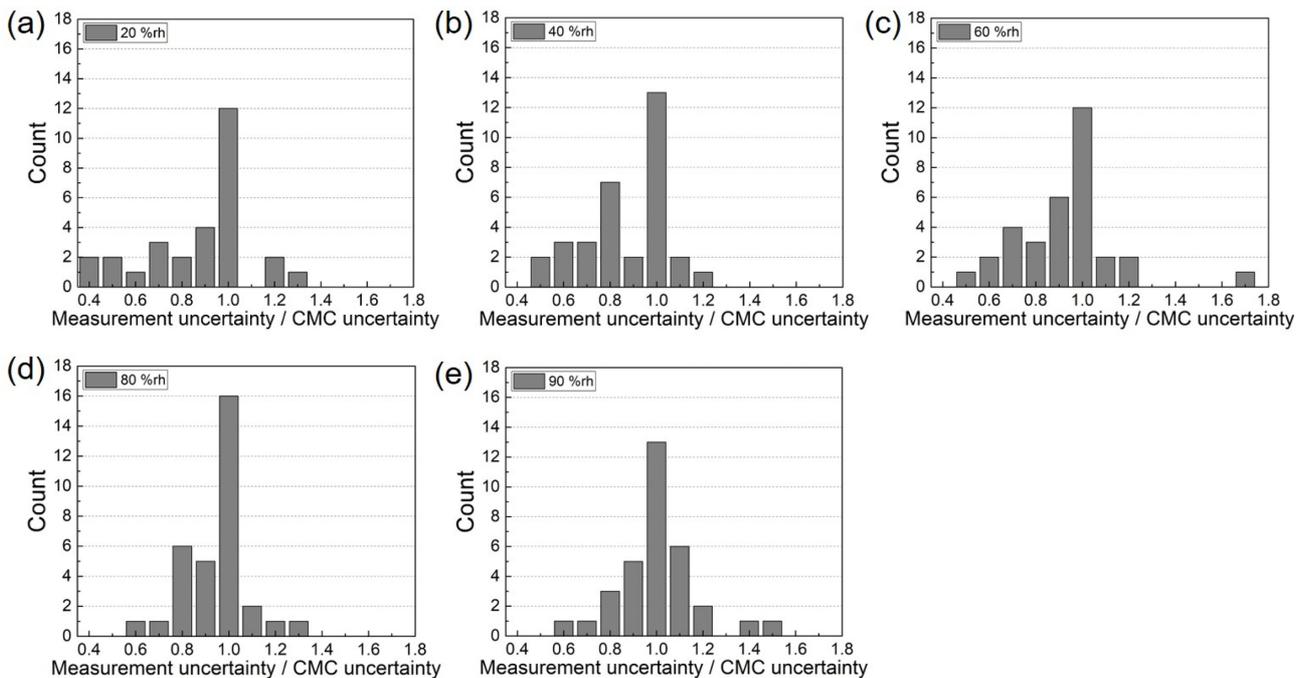


Fig. 8. Ratio between the measurement uncertainty reported in the proficiency test and the CMC uncertainty of laboratories at (a) 20 %rh, (b) 40 %rh, (c) 60 %rh, (d) 80 %rh, and (a) 90 %rh.

요한 장기 안정도를 확인하였다.

참가 기관과 기준 시험소의 보정값 및 측정 불확도를 가지고, 식(5)와 같이 E_{rel} 값을 계산했고, 이를 근거로 기준 시험소의 상대 습도 변환기 측정 표준과의 동등성 성립 여부를 확인했다. 한 개의 참가 기관을 제외하고 모두 $|E_{rel}| < 1$ 를 만족했다. 불만족한 기관의 원인을 조사한 결과, 사용한 기준 노점계의 교정값 이상으로 인해 기준 상대습도 값의 오류에 기인하였다.

참가 기관의 CMC 불확도 보다 본 시험의 측정 불확도를 크게 보고한 사유를 분석했다. 일반적으로, 기준 노점계나 기준 온도계 및 항온항습챔버의 새로운 교정 불확도 적용으로 인한 측정 불확도 상승이 원인이었다. 시료의 교정 곡선을 다항 함수로 곡선 맞춤(Fitting)할 때 오차의 증가도 불확도가 커진 주요 원인 중 하나였다.

감사의 글

이 연구는 수탁사업인 숙련도시험 프로그램 시료 개발 사업(IP2023-0005)의 지원을 받아 수행되었다.

REFERENCES

- [1] P. Mecenas, R. T. R. M. Bastos, A. C. R. Vallinoto, and D. Normando, "Effects of temperature and humidity on the spread of COVID-19: A systematic review", *PLoS one*, Vol. 15, No. 9, p. e0238339, 2020.
- [2] H. H. Funke, B. L. Grissom, C. E. McGrew, and M. W. Raynor, "Techniques for the measurement of trace moisture in high-purity electronic specialty gases", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 74, No. 9, pp. 3909-3933, 2003.
- [3] J. S. Park, H. Chae, H. K. Chung, and S. I. Lee, "Thin film encapsulation for flexible AM-OLED: a review", *Semicond Sci Technol*, Vol. 26, No. 3, p. 034001, 2011.
- [4] R. M. Syamaladevi, J. Tang, R. Villa-Rojas, S. Sablani, B. Carter, and G. Campbell, "Influence of water activity on thermal resistance of microorganisms in low-moisture foods: a review", *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, Vol 15, No. 2, pp 353-70, 2016.
- [5] C. Cardinali, L. Isaksen, and E. Andersson, "Use and impact of automated aircraft data in a global 4DVAR data assimilation system", *Mon. Weather Rev.*, Vol. 131, No. 8, pp. 1865-1877, 2003.
- [6] R. J. Dirksen, M. Sommer, F. J. Immler, D. F. Hurs, R. Kivi, and H. Vömel, "Reference quality upper-air measurements: GRUAN data processing for the Vaisala RS92 radiosonde", *Atmos. Meas. Tech.*, Vol. 7, No. 12, pp. 4463-4490, 2014.
- [7] World Meteorological Organization (WMO), Guide to Instruments and Methods of Observation-Chapter 4. Measurement of humidity, WMO, Geneva, 2021.
- [8] S. W. Lee, B. I. Choi, S. B. Woo, J. C. Kim, and Y. G. Kim, "Calibration of a radiosonde humidity sensor at low temperature and low pressure", *Metrologia*, Vol. 56, No. 5, pp. 055008, 2019.
- [9] International Standard Organization, "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories", ISO/IEC 17025, 01 Dec., 2017.
- [10] International Standard Organization, "Conformity Assessment-General Requirement for Proficiency Testing", ISO/IEC 17043, 17 Mar., 2010.
- [11] Korea Association of Standards & Testing Organizations, "Standard Calibration Procedure of Dew-Point Hygrometers", KASTO 18-50201-370, 14 Dec., 2018.
- [12] Korea Association of Standards & Testing Organizations, "Standard Calibration Procedure of Relative Humidity transducers", KASTO 16-50305-408, 30 Nov., 2016.