상대습도계의 온도 의존성과 경년변화의 통계적 분석

김종철 · 최병일 · 우상봉 · 양인석*

Statistical Analysis on the Temperature Dependence and Long-Term Change of Relative Humidity Sensors

Jong Chul Kim, Byung Il Choi, Sangbong Woo, and Inseok Yang*

Abstract

We have investigated temperature dependence and long-term change of humidity measurement from 32 relative humidity sensors. The readings of the humidity sensors depended not only the reference humidity, but also temperature of the chamber. Approximately, the temperature dependence of the humidity sensor in average was 0.05 %R.H./°C in the temperature range from 5°C to 55°C. For humidity sensors that have an internal temperature compensation circuit, the resulting temperature dependence was weaker by 20%. It should be also noted that for the humidity sensors used in this work underwent ± 3 %R.H. change per year for level of confidence of 95%. The users of relative humidity sensors may refer this value as a minimum change when they set the calibration interval of the humidity sensors.

Keywords : Humidity sensor, Temperature dependence, Long-term change

1. 서론

과학 실험과 산업현장에서 사용하는 장비와 재료의 성질은 많은 경우에 습도의 영향을 받는다. 따라서 습도의 측정과 기록은 실험실과 작업장에서 중요한 역할을 한다. 현재 산업체에서 습도측정을 위하여 가장 많이 사용되고 있는 박막습도계는 측정원리에 따라 전기용량형과 저항형으로 나눌 수 있다[1-3]. 원리에 따른 차이는 있으나, 대부분의 경우 감습 물질의 전기적 특성이 온도의 변화에 영향을 받는다[4,5]. 하지만 대부분의 습도계 제조회사에서 제공하는 매뉴얼에는 건구온도가 20~25°C 사이의 한 온도에서 보정값 혹은 정확도 데이터만 제공하고 온도특성에 대한 정보를 자세히 제공해 주지 않고 있고 실정이다. 또, 교정기관에서 박막습도계의 습도 측정 및 교정은 비용과 시간의 문제 등으로 인하여 건구온도가 20~25°C 부근의 한 온도에서만 수행하여 교정성적서를 발행하고 있다. 온도

의존성에 대한 시험 규격도 10~40°C 이내의 좁은 온도 구간 내에서만 측정하는 것으로 명시되어 있다[6].

그러나 현장에서 습도계는 다양한 온도범위에서 사용되고 있다. 다른 사용 온도에서 습도를 측정하여 25°C 부근에서 측정한 교정 성적서의 보정값을 적용하면 큰 편차가 발생할 수 있으나 사용자에게는 이에 대한 정보가 알려져 있지 않다. 본 연구는 박막습도계의 습도 보정값의 온도특성과 센서의 경년변화를 파악하여 통계적으로 분석한 것으로, 이는 현장에서의 정확한 습도 측정과 데이터 신뢰성 향상에 도움이 될 것이다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 기준장비는 항온항습챔버(습도안정도: ± 0.5 %R.H. 및 온도안정도: $\pm 0.1^\circ\text{C}$)와 습도를 비교측정하기 위한 노점 습도계(노점온도 확장불확도 ($k=2$): 0.19°C D.P.)이다. Fig. 1은 습도 보정값의 온도영향평가에 사용된 측정 장치이다. 본 연구에서는 박막습도계의 온도영향평가를 위주로 하되 산업계에서 습도측정에 많이 사용하는 온습도 기록계를 추가하여 실험하였다.

Table 1에서는 이 연구에서 사용된 습도계와 그 교정연도에 따른 분류를 보여주고 있다. 습도계는 영문알파벳 한 글자와 숫자 한자리의 고유번호를 갖는 것으로 명하였다. 영문알파벳은 제작회사를 상

한국표준과학연구원 기반표준본부 온도센터 (Center for Thermometry, Div. of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science)

*Corresponding author: iyang@kriss.re.kr

(Received : Aug. 29, 2012, Accepted : Sep. 6, 2012)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://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.

장하도록 기호화하였으며, 실제 제작회사의 이름과는 아무런 관련이 없도록 표기하였다. 예를 들어 Table 1에서 A1은 2010년과 2011년에 한 번씩 교정되었으며, A3는 2011년에 구입하여 한번만 교정한 것, H1은 2010년에 교정한 후 2011년에는 교정하지 않은 것이다. 표에서 이탤릭체로 표기한 습도계는 내부에 자체적인 온도보상회로가 장착되어 있는 것이다.

Fig. 1. Comparison measurement system of relative humidity sensors.

Table 1. List of humidity sensors and the year of the calibration of the sensors for this research. The italic symbols indicate the humidity sensors that have an internal temperature compensation circuit

manufacturer	calibration in 2011	calibration in 2010
A	A1, A2, A3, <i>A4</i> , <i>A5</i> , <i>A6</i>	A1, A2
B	B1, B2, B3	B1, B2
C	<i>C1</i> , <i>C2</i> , <i>C3</i>	<i>C1</i> , <i>C2</i>
D	<i>D1</i> , <i>D2</i> , D3, D4, D5	<i>D1</i> , <i>D2</i>
E	E1, E2, E3	E1, E2
F	F1, F2, F3	F1, F2
G	G3, G4, G5	G1, G2
H		H1, H2
I		I1, I2

상대습도계의 성능 차이를 확인하기 위하여 2010년에는 9개의 제작사로부터 제작된 9개 모델의 습도계의 보정값이 어떤 온도특성을 갖는가를 평가하였다. 이 중, 박막형 습도계가 6개 모델, 온습도기록계가 1개 모델, 디지털 습도계가 2개 모델이며 각 모델당 2대의 습도계를 평가하였다.

2010년의 측정 결과를 바탕으로 하여 온도특성이 지나치게 커서, 보정값 편차가 크고 불확도가 큰 디지털습도계는 실험에서 제외하고, 데이터의 신뢰도를 높이기 위하여 박막습도계 및 온습도기록계의 각 모델에서 1대씩 추가 구입 하여 각 모델별로 3대를 실험에 사용하였다. 그리고 온도보상회로 유무에 따른 보정값의 온도특성

을 비교하기 위하여 같은 회사의 다른 모델을 추가로 구입한 경우도 있으며, 경년의 변화를 평가하기 위하여 2010년에 실험한 습도계를 포함하여 합계 26대의 습도계들에 대하여 보정값에 대한 온도특성 실험을 하였다.

기준노점계 센서와 박막습도계 및 온습도기록계의 센서들을 위치에 의한 불확도를 최소한으로 줄이기 위하여 거의 같은 위치에 놓고, 일반적으로 산업현장에서 많이 사용하는 건구온도 5~65°C와 습도 30~80 %R.H. 영역에서 습도를 증가시키면서 측정하였다. 그 후, 센서를 건조 시켜 다시 습도를 30 %R.H. 부터 증가시키면서 습도와 온도가 안정이 된 후에 노점습도계와 비교 측정하는 방법으로 3회씩 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 상대습도계의 보정값의 온도의존성

Table 2는 2011년에 비교교정한 A1 습도계의 건구온도 t °C 에, 기준습도 H % R.H.에서의 보정값 $C_H(t)$ 를 보여주고 있다. 표에서 보여주듯이 건구온도 5°C에서 65°C 범위에서 10°C 단위로 기준습도 30%, 45%, 60%, 80%에서 비교실험을 하였다. 그러나 항온항습 챔버의 건구온도가 5°C에서는 습도 안정도 때문에 80 %R.H.에서만 실험하였다.

Table 2. Correction value $C_H(t)$ in %R.H. for humidity sensor A1 measured in 2011 when the reference relative humidity was H %R.H. and the temperature was t °C

		Dry-bulb temperature (°C)						
		5	15	25	35	45	55	65
Humidity (%R.H.)	30		2.89	3.33	3.77	4.15	4.42	4.54
	45		3.91	4.45	5.08	5.51	6.06	6.18
	60		4.57	5.52	6.21	6.82	7.09	7.49
	80	4.77	6.47	7.03	7.69	8.14	8.45	9.04

Table 1에 보인 모든 습도계에 대하여 Table 2에 해당하는 건구온도와 상대습도에서 정한 것은 아니다. 일부 습도계의 경우 건구온도 65°C에서, 혹은 55°C 이상에서 측정이 불가능하였다. 또는 기준 상대습도가 높고 건구온도가 높을 때, 혹은 기준상대습도가 낮고 건구온도가 낮을 때는 측정이 불가능한 습도계가 있었다. 일반적으로 교정 후 교정대상 습도계들의 습도에 대한 확장불확도($k=2$)는 박막습도계의 경우 습도 1.2 %R.H., 또는 3 %R.H., 온습도기록계의 경우 5 %R.H.로 주어진다.

습도계의 지시값이 평균적으로 얼마나 벗어나있는지를 알기 위하여 실험에 사용한 습도계에 대하여 $C_H(t)$ 의 평균값을 구해보았다. 보정값은 0에 가까운 것이 이상적이거나, 습도계 중에는 보정값이

양인 것과 보정값이 음인 것이 존재한다. 따라서, 이상적인 결과에서 벗어난 정도를 구하기 위해서는 산술평균보다는 제곱평균제곱근 (root mean square, rms)을 구하는 것이 적당하다. 또한, 이 과정에서 통계적인 왜곡을 막기 위하여 rms 계산에 사용하는 모든 습도계에 대해서 보정값을 측정하는 것이 가능한 건구온도와 상대습도 영역을 정해야 한다. 만약, 어떤 영역에서는 측정이 가능하고, 어떤 영역에서는 측정이 불가능한 습도계를 포함시킨다면, 이러한 온도계는 일반적으로 낮은 성능으로 인하여 측정이 가능한 영역에서도 보정값의 절대값이 크게 되며, 이것은 통계적인 왜곡을 가져오게 된다. Table 3에서는 위와 같은 조건에 맞는 20개의 습도계에 대하여 각 건구온도와 상대습도에서 보정값들의 rms 값을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 실험에 사용된 습도계는 약 1.5 %R.H.에서 4.1 %R.H. 정도까지 기준값에서 벗어나 있으며, 그 크기는 건구온도가 높을수록, 그리고 상대습도가 높을수록 일정하게 증가하는 것으로 나타났다.

Table 3. Root mean square of $C_H(t)$ in %R.H. calculated from 20 humidity sensors

		Dry-bulb temperature (°C)				
		15	25	35	45	55
Humidity (%R.H.)	30	1.48	1.63	1.83	1.93	2.29
	45	1.87	2.04	2.31	2.57	2.95
	60	2.00	2.40	2.67	3.06	3.43
	80	2.64	2.89	3.21	3.60	4.07

습도계를 교정하는 것은 일반적으로 정해진 하나의 건구온도에서(대개 20–25°C 사이) 보정값을 측정하고, 그 불확도를 산출하는 것이다. 따라서, 해당 습도계가 교정된 건구온도에서는 교정의 결과인 보정값을 적용하면, 불확도 내에서 신뢰하고 사용할 수 있다. 그러나, 건구온도가 교정당시의 건구온도와 다른 환경에서 습도계를 사용하게 되면 교정시에 측정한 보정값이 적용되지 않을 수도 있다. 따라서 그 벗어난 정도를 계산하기 위해서 건구온도 25°C에서의 보정값의 차이를 나타내는 $\Delta C_H(t) = C_H(t) - C_H(25)$ 를 정의할 수 있다. 이상적으로는 습도계의 측정결과가 건구온도에 의존하지 않아야 하지만, 실제의 습도계는 서론에서 밝힌 여러 가지 물리적인 원인으로 인하여 $\Delta C_H(t)$ 가 0이 아니며 H 와 t 에 의존한다. 따라서 이 경우에도 보정값의 온도의존성에 대한 평균적인 거동을 조사하기 위해서는 실험에 사용한 습도계에 대하여 $\Delta C_H(t)$ 의 rms를 계산한다. 이렇게 하여 20개의 습도계에 대하여 건구온도 15°C에서 55°C 영역, 상대습도 30 %R.H.에서 80 %R.H.의 영역에서 계산한 $\Delta C_H(t)$ 의 rms 값을 Table 4에 표시하였다. Fig. 2는 Table 4의 결과를 건구온도 t 의 함수로서 네 가지 상대습도에 대하여 나타낸 것이다. 보정값 그 자체와 마찬가지로 건구온도 25°C에서의 보정값의 차이도 대체로 상대습도가 증가할수록 증가하며, 건구온도가 25°C에서 멀어질수록 일관성있게 증가한다는 것을 알 수 있다. 건구온도가 25°C에서 단위온도만큼 멀어질수록 보정값이 어느 정도 차이날 수 있는

지를 가늠하기 위하여 Fig. 2에 0.05 %R.H./°C에 해당하는 선을 점선으로 그려넣었다.

Table 4. Root mean square of $\Delta C_H(t) = C_H(t) - C_H(25)$ in %R.H. calculated from 20 humidity sensors

		Dry-bulb temperature (°C)				
		15	25	35	45	55
Humidity (%R.H.)	30	0.42	0	0.50	0.93	1.19
	45	0.60	0	0.57	1.00	1.32
	60	0.76	0	0.68	0.99	1.40
	80	0.83	0	0.99	1.28	1.90

Fig. 2. Rms average deviation of the correction value from the value at 25°C of the dry-bulb temperature calculated from 20 humidity sensors.

3.2 보상회로의 여부와 온도의존성

Fig. 3. Average deviation of the correction value from the value at 25°C of the dry-bulb temperature calculated from eight humidity sensors with temperature-compensation circuit.

Fig. 3과 Fig. 4는 Table 4에 표시한 20개의 습도계의 rms 값을 보상회로가 있는 8개와 보상회로가 없는 12개로 분리하여 따로 rms를 구한 후 Fig. 2와 같은 그래프로 표시한 결과이다. 두 그림을 비교했을 때 알 수 있듯이 온도보상회로가 있는 경우, 보정값의 온도의존성을 약화시키는 것으로 나타났다. 실제로 각 측정점에서 두 값의 상대적인 비를 평균하였을 때, 대체로 보상회로가 있는 습

도계의 rms 값이 그렇지 않은 습도계의 rms 값에 비해서 상대적으로 20% 정도 줄어든 값을 가지고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 4. Average deviation of the correction value from the value at 25°C of the dry-bulb temperature calculated from twelve humidity sensors without temperature-compensation circuit.

3.3 경년변화

2011년에 측정한 습도계 중 10개는 2010년에도 같은 건구온도와 상대습도 범위에서 측정한 결과가 존재한다. 따라서 각 습도계의 보정값의 변화를 관찰함으로써 습도계의 평균적인 경년변화의 정도를 알아내 수 있다. 2010년의 교정결과인 보정값 $C_H(t)_{2010}$ 과 2011년의 교정결과인 보정값 $C_H(t)_{2011}$ 의 차이 $C_H(t)_{2011} - C_H(t)_{2010}$ 를 $C_H(t)_{2010}$ 의 함수로 나타낸 것이 Fig. 5이다. 경년변화 $C_H(t)_{2011} - C_H(t)_{2010}$ 에서는 특별히 H 와 t 의 의존성이 발견되지 않았으므로, H 와 t 에 대해서는 구분 없이 모든 보정값을 한 기호로 표시하였다.

Fig. 5. Correlation between correction value in 2010 and the change of the correction value from 2010 to 2011.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 경년변화는 보정값 그 자체인 $C_H(t)_{2010}$ 와 상관계수 +0.46의 약한 상관관계를 갖고 있다. 경년변화 $C_H(t)_{2011} - C_H(t)_{2010}$ 는 평균 0.19%, 표준편차 1.44%로 분포하고 있다. 따라서 통계적으로 포함인자 $k=2$ 에 들어오도록 일 년 동안 습도계의 경년변화를 예측하면 -2.69 ~ -3.07% 사이가 된다. 즉 포

합확률 95%로 추정할 때 1년에 습도계가 대체로 $\pm 3\%$ 정도는 변할 수 있다고 봐야 한다. 다만, 실제 습도계의 사용환경은 잦은 온습도 변화로 인하여 실험실의 환경에 비하여 더 적대적인 경우가 일반적이다.

4. 결론

본 실험에서는 산업현장에서 많이 사용하는 박막형 습도계와 온습도기록계, 디지털 습도계 32개의 온도특성과 경년변화를 분석하였다. 그 중, 비교적 성능이 좋아서, 측정 영역 모두에서 유효한 결과가 나오는 20개의 습도계의 측정 결과를 통계적으로 분석하여 요약하면 다음과 같다.

(1) 성능이 비교적 괜찮은 습도계에서도 기준습도계에 비하여 1.5~4 %R.H. 정도의 보정값이 측정되었으며, 이 값은 대체로 건구온도가 높을수록, 그리고 상대습도가 높을수록 증가하는 경향이 있다. (Table 3)

(2) 습도계의 보정값은 건구온도에 의존하는 특성을 갖고 있다. 이를테면 건구온도 25°C일때의 보정값과의 차이는 건구온도가 25°C에서 멀어질수록 커지고, 이 편차는 대체로 상대습도가 높을수록 커지는 경향을 보였다. (Table 4 and Fig. 2)

(3) 보상회로가 있는 습도계의 경우 보정값의 온도의존성이 약해지며, 그 편차가 상대적으로 20% 정도 줄어든 것으로 나타났다. (Fig. 3 and Fig. 4)

(4) 사용환경에 따라서 달라질 수 있지만, 이 실험에서 사용한 상대습도계의 경우에는 1년에 약 $\pm 3\%$ R.H. 정도의 경년변화가 생긴 것으로 나타났다. (Fig. 5)

따라서 산업체에서 많이 사용하는 상업용으로 제작된 습도계의 경우에 수 % 이내의 정확도가 필요하다면 사용하고자 하는 온도에서 교정을 해야 더 정확하게 사용할 수 있다. 또한, 습도계의 경년변화에도 주의하여 주기적으로 교정을 해가며 사용하여야 한다.

REFERENCES

- [1] KS A 0078 "Humidity-measurement methods", 1999.
- [2] C. B. Park and D. C. Lee, "Technological trends in humidity sensors", *Proceeding of Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 41, No. 2, pp. 12-21, 1992.
- [3] S. P. Lee, J. Y. Rim, and Y. K. Yoon, "A resistive-type humidity sensor using PMMA thin film", *J. Sensor Sci. & Tech.*, Vol. 1, No. 2, pp. 125-130,

- 1992.
- [4] W.-S. Chung, "A temperature-compensated hygrometer using resistive humidity sensors", *Proceedings of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 43-SC, No. 6, pp. 27-32, 2006.
- [5] T. Isao, "Design of driving circuits of humidity sensors based on the change in electrical resistance", *EE Report Monthly*, No. 2, pp. 73-84, 2009.
- [6] KS B 5344 "Hygrometers-test method", 1997.

김 종 철 (Jong Chul Kim)

- 1984년 동아대학교 전자공학과(공학사)
- 1984년 ~ 한국표준과학연구원 온도센터 책임기술원
- 주관심분야 : 습도/수분 표준, 습도센서

최 병 일 (Byung Il Choi)

- 1985년 고려대학교 물리학과(이학사)
- 1987년 고려대학교 물리학과(이학석사)
- 2003년 고려대학교 물리학과(이학박사)
- 1990년 ~ 한국표준과학연구원 온도센터 책임연구원
- 주관심분야 : 습도/수분 표준, 수분투과도, 물리흡착

우 상 봉 (Sangbong Woo)

- 1982년 ~ 한국표준과학연구원 온도센터 선임기술원
- 주관심분야 : 습도/수분 측정, 수분투과도 측정

양 인 석 (Inseok Yang)

- 1999년 한국과학기술원 물리학과(이학사)
- 2005년 University of Chicago 물리학과(이학박사)
- 2005년 ~ 한국표준과학연구원 온도센터 선임연구원
- 주관심분야 : 온도센서, 열역학적 온도측정, 저온 물리