Regular paper | Journal of the KIECS. pp. 927-932, vol. 17, no. 5, Oct. 31. 2022, t. 115, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2022.17.5.927

형식승인을 위한 측기의 드리프트 검사 방법

서대일* · 이경훈** · 권병혁***

Drift Test Method of Meteorological Instrument for Type Approval

Dae-Il Seo* · Kyung-Hun Lee** · Byung-Hyuk Kwon***

요 약

측기의 드리프트는 시간의 경과, 환경변화, 마모, 충격, 진동, 전자기장 그리고 부적절한 사용 등에 의해 발생한다. 제한된 시험 기간에 출력값의 변화를 직접적으로 드리프트로 결정하는 것은 부적절하므로 측기 교정 방법에 시간에 따른 변화를 부여하여 제로 드리프트와 스팬 드리프트를 모두 반영하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 승온과 감온 과정의 아홉 단계 항온 환경에서 1분 간격으로 약 60분 동안 측정한 온도의 드리프트는 0.49%로 산출되었다.

ABSTRACT

Instrument drift is caused by the passage of time, environmental changes, normal wear and tear, debris buildup, sudden shock, vibrations, electromagnetic fields, and improper use. Since it is inappropriate to directly determine the change of the output value as drift during the limited test period, a new algorithm that reflects both zero drift and span drift by giving changes over time to the calibration method of the instrument was proposed. The temperature drift was calculated to be 0.49% for about 60 minutes at 1-minute intervals in the nine-step constant temperature environment through the warming and cooling process.

키워드

Constant Temperature Chamber, Drift, Meteorological Instrument, Type Approval
항온실, 표류, 기상 측기, 형식 승인

Ⅰ. 서 론

드리프트는 시간 경과에 따른 측기 측정값의 점진적인 이동으로 인해 발생하는 측정 오류이다. 잘못 취급하면 속도가 빨라질 수 있지만 거의 모든 측기는 수명 동안 드리프트를 경험한다. 확인하지 않으면 이러한 변화로 인해 광범위한 측정 오류, 안전 위험 및 품질 문제가 발생할 수 있다. 측정기 또는 표준기의 값이 시간에 따라 증가 또는 감소하는 정도인 단위 시간당 변화량은 내구성 평가의 척도가 된다. 드리프트는 시간에 따른 출력측의 원하지 않는 변화이며, 이 변화는 입력, 환경 또는 부하와 무관하다[1]. 계측기의 드리프트에 의한 오차는 일반적으로 제작자가 제공한다[2]. 제작자가 제공하는 드리프트는 실제 현업에서

* 네이처인포(sdi1588@natureinfo.co.kr)
** 부경대학교 지구환경시스템과학부(lee_buzz@nate.com)
*** 교신저자 : 부경대학교 환경대기과학과
· 접 수 일 : 2022. 08. 22
· 수정완료일 : 2022. 09. 16
· 게재확정일 : 2022. 10. 17
· Received : Aug. 22, 2022, Revised : Sep. 16, 2022, Accepted : Oct. 17, 2022
· Corresponding Author : Dept. of environmental atmospheric sciences, Pukyong National University,
Email : bhkwon@pknu.ac.kr

교정 자료를 통해 산출한 값은 아니므로 현업의 교정 전과 교정 후 측정치를 사용한 계측기 드리프트의 영향평가에 관한 많은 연구가 수행되었고, 연구 결과는 계측기 교정주기 연장을 위한 자료 혹은 교정주기 연장에 대한 영향평가 자료로 사용된다[3].

측정 기기의 드리프트는 오랜 기간 동안 기기의 바이어스 오류를 포함하여 도량형 특성의 변화로 정의[1] 되기도 하지만, 측정 기기의 지시 값이 시간이나 기기 특성의 변화에 따라 달라지는 현상이라는 의미로도 사용된다[4]. 예를 들어, 교정 후 기기의 물리적 변화로 인한 기기 오류의 원인으로써 아네로이드 셀로 공기가 누출되면 진공이 저하되고 드리프트가 발생한다. 따라서 측정 기기의 측정학적 특성의 변화 또는 시간에 따른 연속적이거나 증분의 지시 값 변화로 정의할 수도 있으며[5], 기기표류는 측정되고 있는 양의 변화나 인지된 영향량의 변화와는 관련이 없다.

기상측기 주요 제작사인 핀란드의 Vaisala는 드리프트를 장기 안정도(long term stability)로 간주하여 최소한 6개월 이상의 시간 차이가 있는 자료를 비교하여 연간 변화율(℃/year)로 나타낸다. 일 년 후의 드리프트는 전형적으로 평균 드리프트에 표준편차의 두 배를 더한 결과를 보인다[6]. 장기 드리프트는 일반적으로 정기적인 마모 또는 기타 자연적으로 발생하는 손상으로 인해 발생하고, 일관된 속도로 진행되므로 측기가 허용 오차를 벗어나기 전에 예측하고 수정할 수 있다[7,8]. 기상측기 형식승인 기준·방법 및 신청 절차 등에 관한 고시 제4조(형식승인 기준·방법 및 신청 절차 등)에 따라 국내 형식승인은 60일 이내에 완료되어야 하므로 장기 안정도를 적용하기 어렵다. 단기 드리프트는 열팽창, 환경 간섭 및 진동과 같은 유연한 요인으로 인해 측정값에 일시적인 영향을 미친다.

본 연구에서는 기상관측장비의 형식승인을 위한 시험 결과의 객관성 확보를 위해 성능시험 세부 기준 중에서 특히, 다양하게 정의되는 드리프트를 조사하는 새로운 알고리즘을 온도계를 중심으로 제안한다. 2장에서는 실험 방법을 설명하고 3장에서 실험 결과를 토대로 새로운 알고리즘을 제안하며, 4장에서 실험 결과로부터 결론을 도출하고 향후 연구계획을 제시한다.

II. 연 구 방 법

2.1 EUT 기반 드리프트

드리프트는 측정기(EUT, Equipment Under Test) 또는 표준기의 값이 시간에 따라 증가 또는 감소하는 정도로, 단위 시간당 변화량을 의미한다. 항온항습 챔버에서 -40℃부터 20℃ 또는 30℃ 간격으로 60℃까지 각각 30분 이상 동안 유지될 때 측정한 온도 또는 습도 등의 기상 변수를 측정한다(그림 1). 출력이 안정된 후 일정 시간(30분 ~ 60분) 동안 1분 간격으로 수집한 자료의 시간에 대한 회귀식의 기울기로 드리프트를 정의한다. 드리프트는 식 (1)과 같이 정의되고, 0에 가까울수록 정상 관측장비이다. 기준기의 드리프트와 비교하여 이중으로 검사할 수도 있다. 그러나 출력 수집 시간이 짧아서 드리프트의 변동성이 클 수밖에 없는 단점이 나타난다.

$$Drift = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(t_i-\bar{t}\right)\left(y_i-\bar{y}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(t_i-\bar{t}\right)^2} \quad (1)$$

여기서 t는 시간이고, y는 시험대상 기기(측정기)의 관측자료이다. n은 실험 조건에 따라 30에서 60 사이의 값으로 결정된다.

그림 1. 항온항습 챔버.
Fig. 1 Constant temperature and humidity chamber.

2.2 표준기 기반 드리프트

측정기와 표준기의 출력 값 차이 (또는 표준기 대비 측정기의 기울기)가 시간에 따라 증가 또는 감소

1) https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/drift-instrumentation

하는 정도로 단위 시간당 변화량을 시간과 측정값에 대한 회귀식의 기울기 이용하여 드리프트를 산출할 수 있다. 다양한 드리프트 중에서 두 가지의 드리프트가 중요하다. Zero 또는 Offset Drift는 측정된 모든 값에서 일관된 이동이다. 용어에서 알 수 있듯이 0 값의 변경으로 인해 드리프트가 발생한다. Span 또는 Sensitivity 드리프트는 측정값이 증가하거나 감소함에 따라 보정된 값에서 멀어지는 측정값의 비례 증가 또는 감소 이동이다.[2] 이 드리프트는 측기 교정에 적용되는 것을 고려하면, 측기 교정 방법과 같은 방법으로 측정 표준에서 제공하는 표준기와 측정 불확실성이 있는 측정 값 사이의 관계를 사용하여 드리프트를 정의할 수 있다[6].

승온과 감온 과정의 각 단계에서 표준기에 대한 측정기의 선형 관계를 산출하여 제로 드리프트와 스팬 드리프트(Span Drift)를 결정하는 절편(b_0)과 기울기(b_1)의 시계열 분포를 도출한다. 각 항온 과정과 시간 의존 영역에서 결정된 절편과 기울기의 대푯값을 중앙값으로 정의한다. 이 두 계수를 이용하여 측정기 원시 자료의 교정값을 표준기와 비교하여 오차 분포를 산출한다. 정규분포가 나타나면 식 (2)와 식 (3)과 같이 오차의 표준편차를 무작위 오차로 정의하고, 평균편차를 산출하여 드리프트에 영향을 미치는 오차를 결정할 수 있다.

$$Random\ Error = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \quad (2)$$

$$Mean\ Error = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|x_i - \bar{x}\right|\right) / \sqrt{3} \quad (3)$$

III. 실 험 결 과

웨더링크사의 WL-T100 온도계와 웰비안사의 KWT-1000 온도계의 드리프트를 조사하기 위해 2회 집중 실험을 실시했다. 2021년 11월 11일부터 3일 동안 한국기상산업기술원 표준인증실에서 시험 환경에 따라 자료를 수집하였고, 2022년 7월 25일부터 8월 3일까지 국립기상과학원 실험동에서 시험 환경에 따라 자료를 수집하였다. 항온 구간은 -40°C, -20°C, 0°C, 30°C, 60°C이며 온도를 올리는 과정과 온도를 내리는 과정으로 동일 항온 환경에서 두 번씩 측정하였다(그림 2). 첫 번째 집중 실험에서는 EUT에 기반한 드리프트를 산출하였고, 두 번째 집중 실험에서는 표준기에 기반한 드리프트를 산출하였다.

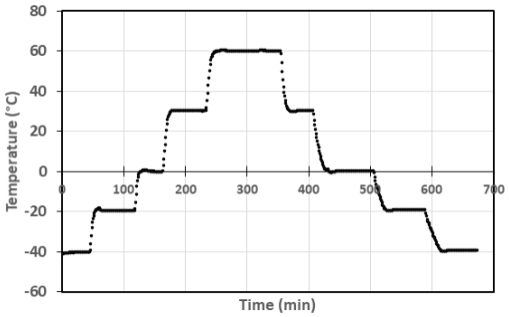

그림 2. 항온 챔버에서 1분 간격으로 측정한 온도.
Fig. 2 Temperature measured at 1-minute intervals in a constant temperature chamber.

안정화된 자료를 선택하여 드리프트를 산출하였고, 이때의 관측 시간은 그림 1과 같이 30분에서 70분까지 서로 다른 자료 수가 제공되었다. 그림 3에서는 영하 40°C의 항온 챔버에서 측정한 승온 과정의 온도(파랑)와 감온 과정의 온도(빨강)를 나타낸다. 두 과정 모두에서 시간이 지남에 따라 증가하는 추세를 보여 드리프트는 약 0.2°C/h 양의 수치로 산출된다.

그림 4와 같이 승온 과정과 감온 과정에서 모두 같은 온도를 산출하고 드리프트까지 동일할 수도 있지만 그림 5와 같이 측정 온도가 차이를 보이고, 드리프트도 큰 차이를 보일 수도 있다(그림 6).

EUT 기반 드리프트 산출에서는 실험 기간이 중요한 조건이므로 단계별 항온 환경에서 시험이 이루어지는 경우에는 충분한 자료를 확보하기 어렵다. 또한 규정된 형식승인 처리 기간을 고려하면, 6개월 이상의 사용 기간 후에 시험할 수 있는 장기 안정도뿐만 아니라 드리프트도 산출할 수 없다.

2) https://premierscales.com/what-is-measurement-drift/

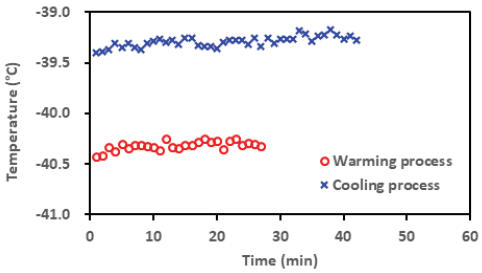

그림 3. -40°C 항온 챔버에서 측정한 온도.
Fig. 3 Temperature measured in -40°C-constant temperature chamber.

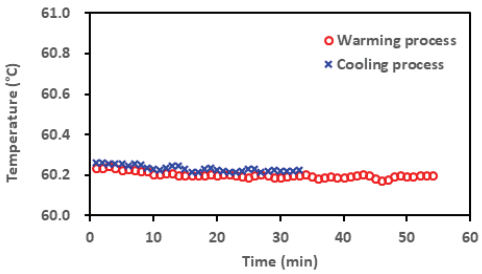

그림 4. 60°C를 제외하고 그림 3과 동일.
Fig. 4 The same as Fig. 3 but for 60°C.

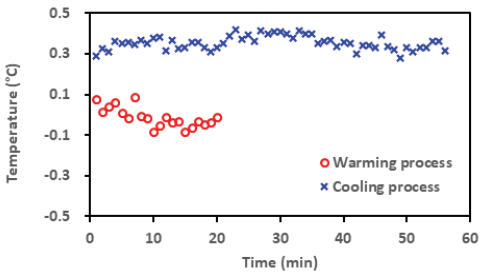

그림 5. 0°C를 제외하고 그림 3과 동일.
Fig. 5 The same as Fig. 3 but for 0°C.

짧은 시험 기간 특히 여러 단계의 항온 조건에서 시험이 시행되는 경우에 활용할 수 있는 표준기 기반 드리프트를 산출하였다. 두 번째 집중 시험도 첫 번째와 마찬가지로 승온과 감온 과정으로 시행되었다. 항온 단계에서 표준기와 측정기의 관계는 그림 7과 그림 8에 일부를 나타내었다. 30°C 항온 조건에서 두 온도계는 환경을 반영하지 못하지만 27°C ~ 28°C를 측정하여 비교적 높은 정확도를 보인다(그림 7). 약 1°C의 제로 드리프트와 음의 스팬 드리프트를 보인다. 그림 8의 -40°C 항온 조건에서 스팬 드리프트는 나타나지 않고, 약 0.7°C의 제로 드리프트를 보인다.

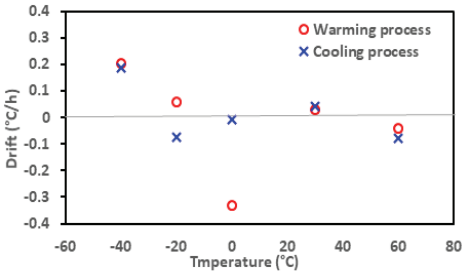

그림 6. 항온 챔버에서 1분 간격으로 측정하여 산출한 각 단계별 온도계의 드리프트.
Fig. 6 Drift on the constant temperature step with the temperature measured at 1-minute intervals in a constant temperature chamber.

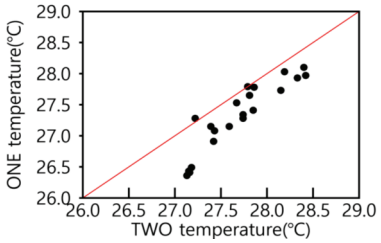

그림 7. 30°C 항온 챔버 감온 과정 온도.
Fig. 7 Temperature at 30°C-constant temperature chamber in the cooling process.

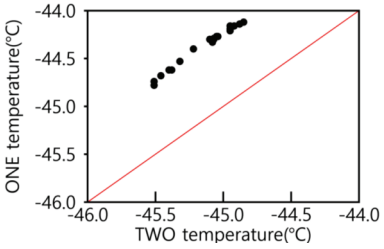

그림 8. -40°C를 제외하고 그림 7과 동일.
Fig. 8 The same as Fig. 7 but for -40°C.

각 항온 단계에서 서로 다른 제로 드리프트와 스팬 드리프트가 산출되어 그림 9와 같이 정리되었다. 제로 드리프트는 -20℃ 항온 단계를 제외하고는 ±10℃ 내에서 변화를 보인다. 스팬 드리프트는 항상 양의 값으로 나타나고, 제로 드리프트와 마찬가지로 -20℃ 항온 단계에서 평균을 벗어나는 크기를 보인다. 제로 드리프트의 중앙값(b_0=-0.49℃)과 스팬 드리프트의 중앙값(b_0=0.99℃/h)으로 산출한 온도를 EUT와 비교하여 그 차이에 대한 평균 오차와 표준편차를 결정하였다. 무작위 오차는 0.84℃로 산출되고, 평균편차의 $1/\sqrt{3}$ 배인 평균 오차는 0.49로 -40℃에서 60℃까지 범위에서 약 0.49%의 드리프트로 결정된다. 장기 안정도의 의미로 사용하는 드리프트와 같은 단위(℃/year)로 비교할 수 없지만 다른 기상장비의 드리프트를 %로 나타내는 것을 고려하면, 기상장비 구매 규격과 같은 차원의 결과이다[9,10].

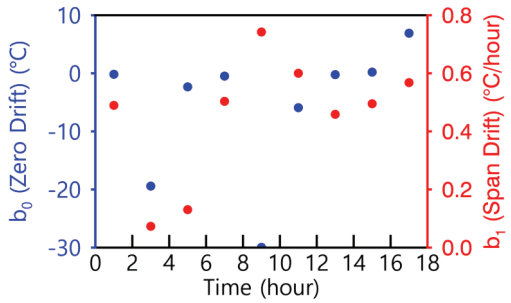

그림 9. 각 항온 단계별 온도계의 제로 드리프트와 스팬 드리프트.
Fig. 9 Zero drift and span drift of the thermometer in constant temperature process.

IV. 요 약 및 결 론

정확도, 안정성, 선형성, 최대허용오차 등과 같은 측기의 형식승인을 위한 평가 항목 중에서 드리프트 산출 방법을 조사하였다. 제한된 형식승인 처리 기간에 노후화나 물리적 변형에 의한 드리프트를 검사할 수 없으므로 새로운 산출 방법이 필요하였다. 아홉 단계별 승온과 감온 과정의 항온 조건에서 EUT 기반 드리프트와 표준기를 포함하는 드리프트 결정 방법을 시험하여 단기간 측정 자료를 선형적으로 장기간 결과로 확장 불가함을 파악하였다. 또한, 측기 검교정 방법을 응용하고, 단계별 측정에 소요되는 시간을 고려하여 새로운 드리프트 결정 방법을 제안하였다. 제로 드리프트와 스팬 드리프트를 산출할 수 있고, 대표적인 교정 결과와 비교하여 산출한 0.49%의 드리프트라는 합리적인 결과를 도출하였다. 새롭게 제시한 알고리즘은 습도계, 풍향계, 풍속계, 기압계 등의 측기 드리프트를 결정하는 데 사용될 수 있다. 추가 실험 연구를 통해 각 측기에 적합한 드리프트 산출 방법이 도출되어야 한다.

감사의 글

이 연구는 기상청(과제번호: KMI2021-02310)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

[1] J. Ha, J. Yoon, H. Han, and J. Han, "A study on Metedology Determining Acceptance Criteria for Instrument As-Found Data," *Trans. of Korean Nuclear Society Spring Meeting*, Seogwipo, Korea, 2020, pp. 120-131.

[2] Act No. 15585, *Weather Observation Standardization Act*, Korean Law Information Center, Enforcement 2021, Partial Amendment 2018.

[3] National institute of Environmental Research, "A Study on Accuracy/Precision Improvement of Environmental Analyzer Type Approval·Performance Test Method," *Report*, 2009, pp. 189.

[4] R. Gould, "EN 15267-A new unified testing and approval scheme for auto mated measuring systems," *Report*, 2008.

[5] F. Brock and S. Richardson, *Meteorological measurement Systems*. New York: Oxford University Press, 2001, pp. 290.

[6] JCGM, *International vocabulary of metrology -Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd Edition*. London: ISO, pp 91, 2012.

[7] J. Lin, "HMP155 long term stability," *Report*, 2021, pp. 5.

[8] W. Jo, B. Kwon, and H. Yoon, "Quality

Control of the UHF Wind Profiler Radar," *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences,* vol. 13, no. 2, 2018, pp. 277-290.
[9] K. Lee, B. Kwon, and Y. Kim, "Removal of Radio Frequency Interference of 1.29 GHz Doppler Wind Profiler Radar," *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences,* vol. 17, no. 3, 2022, pp. 393-398.
[10] S. Kim, M. Kim, K. Lee, B. Kwon, and H. Yoon, "Carbon Dioxide Fluctuation in Suncheon Bay Measured by Infrared and Ultrasonic sensors," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 157-164.

저자 소개

서대일(Dae-Il Seo)

1987년 연세대학교 전자공학 전공(공학사)
2010년~2012년 메테오르 대표
2016년~현재 네이처인포 대표
※ 관심분야 : 무선통신, 원격탐사

이경훈(Kyung-Hun Lee)

2016년 부경대학교 환경대기과학과 졸업(이학사)
2018년 부경대학교 환경대기과학 전공(이학석사)
2020년~현재 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경대기과학 전공 박사과정
※ 관심분야 : 대기과학, 원격탐사

권병혁(Byung-Hyuk Kwon)

1994년 Joseph Fourier 대학교 지구유체역학 전공(이학석사)
1997년 Paul Sabatier 대학교 대기과학 전공(이학박사)
2000년~2001년 Alagoas 대학교 교수
2002년~현재 부경대학교 환경대기과학과 교수
※ 관심분야 : 대기과학, 원격탐사