

환경 및 신뢰성 시험분야를 위한 숙련도시험 시료개발 연구

박경환* · 이철규**†

*건국대학교 신산업융합학과 박사과정

**건국대학교 신산업융합학과 교수

A Study on Proficiency Test Sample Development for Environmental & Reliability Testing Field

Kyunghwan PARK* · Cheolgyu LEE**†

*Department of Advanced Industry Fusion, Konkuk University

**The Professor, Department of Advanced Industry Fusion, Konkuk University

ABSTRACT

Purpose: This study aims to develop distributable samples that can be used for proficiency testing to verify the ability of the testing laboratory to perform high temperature and low temperature tests.

Method: In this study, the temperature-resistance characteristics of the NTC thermistor were used to develop samples. The homogeneity and stability of samples were examined according to the proficiency testing requirements.

Results: Thirty samples with homogeneity and stability were developed and used for the proficiency testing. Thus, it was possible to distinguish between the test laboratories that showed satisfactory results and those that did not.

Conclusion: It was the first time to develop samples that can be used for proficiency testing in high temperature and low temperature tests. and it was proved that the proficiency test program can be operated using the characteristics of NTC thermistor.

Key Words: Environmental & Reliability Testing, Proficiency Test Sample, NTC Thermistor.

● Received 25 July 2017, 1st revised 28 August, accepted 31 August 2017

† Corresponding Author(cglee@konkuk.ac.kr)

© 2017, The Korean Society for Quality Management

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 re-production in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

국제화 시대에 무역교류와 국내외 생산 다변화로 원재료나 완성품에 대한 시험성적서 또는 인증서 요구증대 및 시험인증기관 간 상호인정 등으로 시험성적서의 신뢰성은 매우 중요하다. 이러한 고객의 요구에 대응하고 자체적인 신뢰성 확보를 위하여 많은 제조사 시험소와 전문 시험기관은 국제적으로 널리 활용되는 시험기관 운영 요구사항인 ISO/IEC 17025(General Requirements For The Competence Of Testing And Calibration Laboratories)를 준용한 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 시험결과와 품질보증 방법으로 인증 표준물질의 정규적인 사용 또는 2차 표준 물질을 사용한 내부 품질관리, 시험기관 간 비교 또는 숙련도시험(Proficiency Testing, PT) 프로그램 참가, 같거나 다른 방법을 사용한 반복 시험, 보관된 품목에 대한 재시험, 한 품목의 다른 특성들에 관한 결과들의 상관관계 분석을 하고 있다.

시험기관은 대외적 신뢰성과 자체적인 시험품질을 유지하기 위하여 인정기구로부터 인정을 받고 있으며, KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme, 한국인정기구)에는 2017.07.09. 기준으로 491개 시험기관이 공인시험기관으로 인정받은 상태이다. 시험분야별로 10개의 대분류가 있으며, 여러 대분류에 중복해서 인정받은 시험기관을 포함하면 전체 697개 기관이 된다. 3 전기시험 분야는 154개 기관이며, 중분류 3,014 환경 및 신뢰성 시험 분야에는 54개 기관이 있다. 공인시험기관은 KOLAS에서 요구하는 숙련도시험에 참가하여 만족한 실적을 유지하여야 한다. 최초 KOLAS 공인기관을 신청하는 기관은 대분류별로 1개 이상의 만족한 실적이 요구되고, 공인기관으로 인정된 이후에는 중분류 별로 KOLAS가 주관하거나 인정한 숙련도시험에 3년에 1회 이상 참가하여 만족한 결과를 유지하여야 한다. 숙련도시험은 시험기관의 능력을 평가하고 다른 시험기관과의 차이를 식별하여 시정조치를 통해 시험수행능력을 향상하는 방법이며, 시험분야, 시험 시료의 특성, 사용방법, 참가자 수에 따라 다양하므로 이에 적절한 숙련도시험 시료(Proficiency Test Sample) 개발이 필수적이다. 그러나 환경 및 신뢰성 시험분야에서 온도 관련 시험을 위한 시료 개발이 되지 않아 숙련도시험 프로그램 운영에 어려움이 있었다. 그 주된 이유는 수명예측 또는 고장분석을 위한 시험방법으로 사용되는 고온시험 또는 저온시험은 개별 시험표준에서 제시된 시험조건을 준수하는 것만으로 시험 신뢰성을 유지하고 있으며, 일반적인 숙련도시험 방법인 시험결과로서 직접적인 측정량을 구할 수 없기 때문이다.

이러한 어려움을 해결하고자 고온시험 또는 저온시험 관련 시험능력을 검증할 수 있는 숙련도시험 프로그램에 적용될 수 있는 배포 가능한 숙련도시험 시료를 개발하기 위해 Figure 1과 같이 선행연구조사, NTC 서미스터 소자(Parts) 선정 및 숙련도시험 시료(Sample)를 제작하고 숙련도시험 프로그램에 사용 하였으며, 그 결과를 확인하였다.

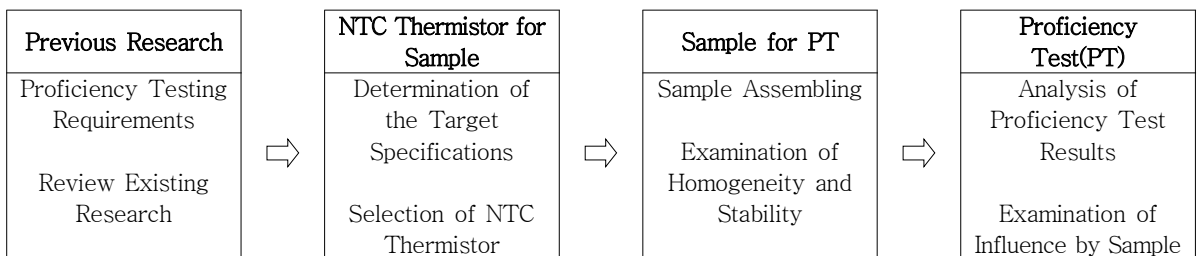


Figure 1. Research Procedure

이전 연구에서는 박경환(2009)이 NTC-Thermistor 특성을 이용하여 배포 가능한 숙련도시험 시료 제작 가능성을 제시하였으나, 시험표준의 허용온도 고려사항, 항온조 장비 내부의 온도변동 특성, 숙련도시험 프로그램 고려사항은 포함되지 않았다. 본 연구는 이러한 부분을 보완하여 시험표준의 허용온도 조건 반영, 시료의 제작과정의 영향, 숙련도시험 요구사항을 고려하여 숙련도시험 시료 30개를 제작하였으며, 숙련도시험 프로그램 운영 결과를 확인하여 시료에 의한 부정적 영향이 없음을 최종 확인하였다. 연구결과의 의미는 고온 및 저온시험에 적용 가능한 숙련도시험 시료를 최초 개발하였으며, 국제적인 표준인 ISO/IEC 17043(Conformity assessment - general requirements for proficiency testing)에 따른 숙련도시험 프로그램에 적용하여 운영한 결과, 시험수행 능력이 적절한 시험기관과 그렇지 않은 시험기관을 식별할 수 있었다. 나아가 본 연구 사례가 환경 및 신뢰성 분야 등의 숙련도시험 시료 개발 및 프로그램의 운영 활성화에 도움이 되기를 기대한다.

2. 숙련도시험 요구사항 및 환경 및 신뢰성 시험 특징

2.1. 숙련도시험 요구사항

시험기관의 숙련도시험 프로그램 운영에 대하여 ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation, 국제시험기관인정협력체)과 APLAC(Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation, 아시아태평양시험기관 인정협력체)은 관련 가이드를 제시하고 있으며, KOLAS 등 각국의 인정기구에서는 관련 규정이나 현실적 사항을 고려하여 숙련도시험 참가 주기를 규정하고 있다.

- 1) ILAC P9 : 2014 (ILAC Policy for Participation in Proficiency Testing Activities)에서는 최소한 숙련도시험 활동에 대하여 다음과 같이 규정한다.
 - 인정획득 전에 만족스러운 숙련도 참가를 요구하고 있으며 인정기구는 최소한의 참여기준을 수립해야 한다.
 - 시험기관은 인정 범위에 적합하고 지속적인 숙련도 참여 계획 활동을 하여야 한다.
- 2) APLAC PT 006:2010 (Proficiency Testing Frequency Benchmarks)에서는 주요 시험 특성별 최소 숙련도 시험 참여 빈도를 Table 1과 같이 제시하고 있다.

Table 1. Benchmark Frequency of PT Participation

Major Sub-Discipline	Benchmark Frequency of PT Participation
Medical (each field)	10 / year
Forensics	1 / year
Veterinary Medicine	1 / year
Chemical - Environmental	2 / year
Chemical - Mineral analysis	2 / year
Chemical - other	1 / year
Biological	2 / year
Electrical	1 / two years
Building Products	1 / two years
Non-destructive testing	1 / two years
Construction Materials	1 / two years
Mechanical	1 / two years
Toy & Children's Products	1 / two years

- 3) KOLAS-R-003 : 2015(숙련도시험운영기준)에서는 숙련도시험 활동 요건으로 다음과 같이 규정하고 있다.
- 최초 인정 신청 시험기관은 신청 전에 신청분야의 대분류별로 1개 항목 이상, 인정분야의 확대 신청 시는 중분류 별 1개 항목 이상 KOLAS가 인정하는 숙련도시험 또는 측정심사에 참가한 실적이 있어야 한다.
 - 공인기관은 인정분야의 측정수행능력을 지속해서 입증하기 위하여 중분류별로 KOLAS가 주관하거나 인정한 숙련도시험에 3년에 1회 이상 참가하여야 한다.

2.2 숙련도시험 운영사례

시험기관은 대외적 신뢰성과 자체적인 시험품질을 유지하기 위하여 인정기구로부터 인정을 받고 있으며, KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme, 한국인정기구)에는 491개 시험기관이 공인시험기관으로 인정받은 상태이다. 시험분야별로 10개의 대분류가 있으며, 여러 대분류에 중복으로 인정받은 시험기관을 포함하면 전체 697개 기관이 된다. 시험기관이 많은 대분류 순으로는 화학시험(220개, 32%), 역학시험(183개, 26%), 전기시험(154개, 22%), 생물학적시험(54개, 12%) 및 나머지 분야 6개 대분류(85개, 12%)이다. 이번 연구와 관련된 대분류 전기시험 분야는 14개의 중분류로 구분되며, 3.011 전자기적합성(67개, 20%), 3.014 환경 및 신뢰성(54개, 17%), 3.013 에너지효율(46개, 14%), 3.007 가정용전기기기(38개, 11%) 및 나머지 중분류(132개, 39%)로 구성되어 있다.

그리고 중분류 3.014 환경 및 신뢰성 시험에서 고온시험 IEC 60068-2-2(Environmental testing - Part 2-2: Tests - Test B: Dry heat) 표준으로 39개 기관, 저온시험 IEC 60068-2-1(Environmental testing - Part 2-1: Tests - Test A: Cold) 표준으로 43개 기관과 및 MIL-STD-810(Department of defense test method standard for environmental engineering considerations and laboratory tests) 표준으로 34개 시험기관이 인정받은 상태이다. 중복으로 인정받은 것을 포함하면 총 51개 기관이 중분류 3.014 환경 및 신뢰성 시험에서 고온 및 저온시험 관

런 표준으로 인정받은 상태이며 전체 54개 기관 중 94%에 해당하여 3,014 중분류에서는 매우 중요한 시험 분야이다.

시험기관의 시험결과에 대한 품질보증 및 신뢰성 향상을 위해 KOLAS 및 숙련도 운영기관이 운영한 KOLAS 숙련도 시험 프로그램은 2017년에는 45회 계획되어 운영 중이다. 최근 10년 동안 점차 증가되고 있다. 그러나 고온 또는 저온시험 관련한 시험표준으로 숙련도 시험 프로그램을 운영한 것은 본 연구에서 다루는 숙련도 시험 시료가 개발된 2011년 이후 2차례 운영된 것이 유일하다. 이 시료를 이용하여 운영된 숙련도 시험 프로그램에는 2012년에 운영된 28개 기관이 참여하였고, 개발된 시료와 같은 원리와 모양으로 제작된 시료를 이용한 2015년에는 42개 기관이 참여하였다. KOLAS 공인시험기관으로서 시험능력을 주기적으로 점검하고 중분류별로 숙련도 실적을 유지할 수 있는 유일한 숙련도 시험 프로그램이었다.

Table 2. KOLAS proficiency test programs for 10 years

Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Total	12	14	16	13	15	15	18	27	39	45	214
Temp. Related Testing	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	2

2.3. 환경 및 신뢰성 시험분야 특징

환경 및 신뢰성 시험분야에서 가장 많이 활용되는 시험은 고온 및 저온시험이다. Table 3에서와 같이 주로 제품의 수명예측시험 및 환경조건에 따른 오동작 등의 변화를 확인하려는 방법으로 활용되고 있으며, 일반적인 시험은 시험 대상에 대한 측정값을 직접 얻는 방법으로 시험을 한다. 시험결과는 길이, 온도, 질량, 전류, 시간, 광도, 물질량 등과 같은 정량적인 측정량을 구할 수 있는 상태이며, 시험이후에 필요한 보정값을 반영하여 정확한 시험결과를 얻을 수 있다. 하지만 고온 및 저온시험은 시험환경 자체만을 준수하여 시험하는 것이 주목적이며, 정량적인 측정량을 구할 수 없는 상태이다. 따라서 시험기관의 시험 능력을 평가할 수 있는 적절한 숙련도 시험 프로그램 개발에 어려움이 있었다.

항온조의 내부온도 모니터링 센서 위치는 통상적으로 항온조 내부 모서리 또는 옆면에 있어서 설정한 온도 값과 시험체가 놓이는 항온조 중심위치에서 온도는 편차가 생기게 된다. 이러한 상태에서 시험을 하게 되면 원래 의도한 시험온도 조건으로 시험하지 못하게 되며, 실제 가해진 온도에 대한 의문점이 생길 수 있다(박경환, 2009).

Table 3. Difference between general and environmental testing

Item	General Testing Field	Environmental Testing Field
Purpose	To measure the characteristics of EUT directly	To apply the test conditions to put stress or predict life
Measuring Target	The characteristics of the EUT. (eg. voltage, power, weight, concentration, etc.)	The testing condition of the test environment. (eg. temperature, humidity, air pressure, etc.)
Correction factor	The correction to measurement result can be applied after testing.	The correction to test conditions is required prior to testing.

항온조 내부에서 시험체에 인가되는 온도는 단지 시험기준에서의 엄격도에 따른 허용편차 관리만을 고려하고 있으며 항온조 설비 자체 능력에만 의지하고 있었다. 즉 시험조건외의 정확한 준수를 위한 보정값 활용 및 시험유효 공간 설정 등의 노력이 간과되고 있다. 따라서 시험조건에서 특별한 온도편차 범위를 허용하는 경우를 제외하고는 시험을 시행하기 전에 항온조의 유효 시험공간을 검증하고 입증된 시험공간 내에 시험체를 위치시켜야 한다. 그리고 시험체에 인가되는 실제 온도 T 가 최초 의도된 온도 환경에서 시험이 되려면 시험온도 t 에 보상온도 C 를 보정하여야 한다.

$$T = t + C \quad (1)$$

항온조 내부의 온도 분포도를 측정하기 위하여 하이브리드 레코드(Hybrid Record) 등을 이용하여 직접 측정하는 방법은 시험기관에서 정기적으로 실시하는 중간점검 방법으로 적합하지만, ISO/IEC 17043 (Conformity Assessment - General Requirements For Proficiency Testing)의 요구사항에 따라 시험자의 인위적인 조작을 방지하고 기지 값(Known Value)을 알리지 않고 배포 가능한 숙련도시험 시료를 이용한 프로그램으로서 시험기관 간 시험환경 설정 및 시험수행 능력을 검증할 만한 적합한 방법은 아니다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 박경환(2009)은 서미스터(Thermistor) 특성을 이용하여 항온조 내부 온도를 저항으로 측정함으로써 시험기관의 시험수행 능력을 검증할 수 있는 숙련도시험 프로그램 운영의 가능성을 제시하였다.

3. 숙련도시험 시료 개발

3.1. 서미스터 특징

일반적으로 반도체는 온도상승에 따라 전기저항이 감소한다. 특히 높은 안정성, 생산성, 실용적인 저항률 및 온도 계수를 가진 서미스터는 다른 반도체와 구별된다. 이런 온도에 민감한 반도체 현상은 1834년 Faraday에 의해 Ag_2S 에서 발견되었다. 그 후 1930년대 후반에 Siemens 사와 Philips 사에 의해 CuO 계, UO_2 계의 소자가 항공계기의 온도보상 등에 사용됨에 따라 산화물계 반도체의 실용화가 시작되었다(어관 외, 1994). 1946년 미국의 Bell 연구소에서 Mn, Ni 산화물계의 복합 소결체가 발표되어 서미스터라는 이름으로 주로 온도 보상용으로 통신기 등에 사용함에 따라 생산성 및 안정성에 있어 종래의 것들이 사라지고, 1950년대에 접어들어 Mn, Co, Ni 산화물의 3성분계,

그 후에 Fe Cu 산화물 등을 포함한 재료의 발전과 제조기술의 비약적 향상으로 온도센서로 주목 받게 되었다(윤중락 외, 1995).

또한, 서미스터는 형상에 따라서는 Disk 형, Bead 형, Rod 형, 후막형, 박막형, 전극 일체형, Chip 형 등으로 구분할 수 있으며, 온도에 의한 저항변화 특성에 따라 (-) 온도계수를 갖는 NTC 타입과 (+) 온도계수를 갖는 PTC 타입으로 구분한다. 온도센서로 많이 사용되는 NTC 타입은 대부분 사용온도가 300 °C 미만으로 1100 °C ~ 1300 °C 의 고온에서 소성한 소결체이다. 구조적으로는 열적, 기계적, 화학적으로 매우 안정한 구조를 갖고 무접점으로 신뢰성이 높다. 기능적으로는 고유저항이 크고 저항의 온도계수가 커서 온도의 검출 정도가 높고 소형으로 응답성이 좋다(어관 외, 1994). 이러한 이유로 균질성 및 안정성이 요구되는 숙련도시험 시료에 사용될 수 있다.

3.2. 숙련도시험 시료 고려사항

숙련도시험 시료로 사용할 NTC 서미스터를 선정할 때 고려되는 중요 특징은 온도범위와 β 정수이다. 온도범위는 환경 및 신뢰성 시험에서 자주 사용되는 저온 -10 °C 및 고온 55 °C 대역에서 안정된 저항값을 나타내는 범위이어야 하며, β 정수는 저항-온도 특성에 따른 서미스터의 재료 정수로서 임의의 두 온도 T_1 과 T_2 사이에서 저항 R_1 과 R_2 의 변화의 비율에 따른 관계를 나타내는 정수이다.

$$\beta = \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{T_1^{-1} - T_2^{-1}} \quad (2)$$

여기서 T_1 와 T_2 는 절대온도(단위 K)가 되고, R_1 과 R_2 는 서미스터가 온도 T_1 과 T_2 일 때 각각의 저항 값이 된다. 별도의 조건이 없는 한 β 정수는 0 °C 와 50 °C, 25 °C와 85 °C 또는 25 °C 와 125 °C 사이의 값으로 규정한다(이상근 외, 2002). β 정수가 크다는 것은 온도에 대한 저항변화가 크다는 것을 의미하고 다른 원인에 의한 영향을 줄일 수 있다(박경환, 2009). 따라서 환경 및 신뢰성 시험분야에서 시료의 이상 상태 점검 및 전처리 또는 후처리에 주로 응용되는 상온 25 °C 와 고온시험에 적용되는 55 °C를 포함하고 β 정수가 큰 서미스터를 선정하는 것이 적절하다.

3.3. 숙련도시험 시료의 소자 선정

숙련도시험 시료에 적합한 저항은 시료제작에 사용되는 PCB, Wiring, 각종 접촉 단자 등의 기생저항보다 상당히 커야 한다. 실제 기생저항은 온도변화 분까지 고려하여 최대 5 Ω 정도로 측정되며, 100배는 500 Ω , 1000배는 5 k Ω 정도가 된다. 즉 기생저항으로 인한 영향이 숙련도시험 저항 크기의 0.1 % 이하가 되게 설계하려면 숙련도시험 온도범위 에서는 NTC 소자의 저항값이 수 k Ω ~ 수십 k Ω 범위가 적절하다.

다수의 기관이 참여하고 짧은 시간 내에 숙련도시험이 마무리될 수 있도록, 시료 1개를 차례로 돌리는 방식이 아닌 균질성이 입증된 시료를 동시에 참여기관에 배포하는 비교숙련도시험 프로그램이 고려된다. 그리고 참가기관에 불리한 결과가 되지 않도록 시료의 불균질성은 최소화 되도록 설계되어야 하고, 숙련도시험 시료의 설계 목표가 설정되어야 한다. 그러나 고온 및 저온시험 관련하여 KOLAS 숙련도시험 프로그램이 운영된 적이 없으며, 참고할 만한 시험결과가 없는 상태이다.

ISO 13528(Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons) 에는 숙련도 시험에 적용하는 설정값 결정 방법으로 “수식화”, “인증기준값”, “기준값”, “전문시험소들로부터의 일치값” 또는

“참가자들의 일치값” 5가지가 방법이 제시되고 있다. 그리고 숙련도시험에 대한 표준편차 결정 방법으로는 “규정값”, “인지에 의한 방법”, “일반 모델로부터”, “정밀실험의 결과로부터” 또는 “한 라운드의 숙련도 시험에서 얻은 자료로부터” 5가지의 방법이 있다. 숙련도시험 프로그램 운영 시 적용될 설정값은 “참가자들의 일치값”으로 하고 숙련도 시험에 대한 표준편차는 “한 라운드의 숙련도 시험에서 얻은 자료로부터” 결정하는 것이 적절하다. 그러나 시료개발에 있어 참고할 수 있는 기존 시험결과는 없는 상태이다.

환경 및 신뢰성 시험에 주로 사용되는 고온시험 관련 규격 IEC 60068-2-2(Environmental testing - Part 2-2: Tests - Test B: Dry heat)의 6절 시험조건에서 허용온도 ± 2 °C 를 제시하고 있다. 그리고 저온시험 관련 규격 IEC 60068-2-1(Environmental testing - Part 2-1: Tests - Test A: Cold)의 6절 시험조건에서 역시 허용온도 ± 2 °C 를 제시하고 있다. 허용온도 ± 2 °C 는 숙련도시험 프로그램에서 적용할 시험조건인 고온 55 °C 와 저온 -10 °C 조건의 3.6 % 및 20 % 에 해당된다. 이 두 값을 ISO 13528 의 7.3절에서 제시한 “인지에 의한 방법”에 적용하여, 확인된 값을 3 σ 로 하는 표준편차(σ)로 환산할 수 있다. 여기서 3 은 숙련도시험의 수행도 평가에 적용되는 z-score 해석에 사용되는 임계값인 3 에 의한 것이다. 따라서 고온에서는 $\sigma = 3.6 \% / 3 = 1.2 \%$, 저온에서는 $\sigma = 20 \% / 3 = 6.7 \%$ 으로 계산된다. 숙련도시료 제작 과정에서 영향을 미칠 수 있는 장비 및 환경 요인 등을 고려한다면 좀 더 보수적인 조건으로 시료간의 표준편차를 1 % 로 하는 설계목표를 세울 수 있다. 이는 시료 균질성 검토에서 변동계수(CV)를 적용할 수 있는 근거가 된다.

2011년 국가기술표준원의 학술연구로 수행한 “고온·저온 관련 환경 및 신뢰성시험 숙련도시험 시료개발”에서 본 이론을 적용하여 NTC 서미스터 소자를 이용한 숙련도시료를 개발하였다. 먼저 숙련도시험 시료에 사용될 핵심 부품인 NTC 서미스터 소자를 선정하기 위하여, 서미스터 제조사의 사양서를 조사하여 온도 정밀도가 1 % 이하이고 저항이 수 k Ω ~ 수십 k Ω 범위의 특성을 갖는 4개 제조사의 서미스터를 선정하였다. 그리고 NTC 서미스터를 선정할 때 고려되는 β 정수의 온도범위와 숙련도시험 프로그램 운영 온도범위를 고려하여, 25 °C 와 55 °C에서 제조사별로 5개의 표본 소자를 측정하였다. 설정값 25 °C 에서 9 k Ω ~ 100 k Ω 및 55 °C 에서 3 k Ω ~ 30 k Ω 범위의 저항 값을 나타내었다. B 사의 NTC 서미스터가 Table 4 와 Table 5에서와 같이 상온 25 °C 에서는 0.09 % 및 고온 55 °C 에서는 0.05 %로 가장 작은 변동계수(CV)를 나타내어 숙련도시험 시료에 사용될 적합한 소자로 확인되었다.

Table 4. Comparison results at temperature 25 °C

Statistics	A	B	C	D
Sum	49.345	147.522	490.905	493.56
Average	9.869	29.504	98.181	98.712
Standard Deviation	0.0562	0.0274	0.2889	0.5560
Samples	5	5	5	5
CV	0.57 %	0.09 %	0.29 %	0.56 %

Table 5. Comparison results at temperature 55 °C

Statistics	A	B	C	D
Sum	17.166	44.535	141.772	142.588
Average	3.433	8.907	28.354	28.517
Standard Deviation	0.0193	0.0046	0.0841	0.1578
Samples	5	5	5	5
CV	0.56 %	0.05 %	0.30 %	0.55 %

3.4. 숙련도시험 시료의 소자 균질성 및 안정성 검토

숙련도시험 시료에 사용될 B사의 NTC 서미스터 100개 소자에 대하여 초기이상이 있는지 점검하고, 소자 간 균질성 확인이 필요하다. 따라서 항온조 설정값 25 °C에서 초기 측정된 결과 평균 저항값은 29.872 k Ω , 표준편차는 0.068 k Ω 로 변동계수는 0.23 % 로 확인되었다. 또한, 내부조직의 크랙 등 초기 불량에 의한 이상 여부를 확인하기 위해 항온조 설정값 105 °C에서 5시간 동안 열 스트레스를 가한 후 25 °C에서 2시간 후, 측정된 결과는 평균 저항값은 29.867 k Ω , 표준편차는 0.055 k Ω 로 변동계수는 0.18 % 이었다. 추가 12시간 동안 열 스트레스를 가한 후 25 °C에서 2시간 후, 재측정된 결과, 평균 저항값은 29.848 k Ω , 표준편차는 0.094 k Ω 로 변동계수는 0.31 % 이었다. 이는 설계목표 CV 1 % 보다는 작아 균질성이 확보되어 있음을 확인하였다.

Table 6. Homogeneity results of NTC thermistor

Statistics	Measured value (k Ω) at 25 °C	Measured value (k Ω) at 25 °C After 5 h at 105 °C	Measured value (k Ω) at 25 °C After 12 h at 105 °C
Sum	2 987.225	2 986.790	2 984.814
Average	29.872	29.867	29.848
Standard Deviation	0.068	0.055	0.094
Samples	100	100	100
CV	0.23 %	0.18 %	0.31 %

NTC 서미스터는 구조가 무점접이고, 고온에서 소성한 소결체로서 매우 안정한 특성을 구조를 갖고 경시변화가 적어 안정성이 확보된 상태이다. 하지만 초기 불량에 의한 이상 여부를 확인하기 항온조 설정값 105 °C에서 열 스트레스를 가한 것으로 인한 시료의 변화가 있는지 Table 7의 시험 결과를 활용하여 안정성 검토를 하였다. 이때 적용된 통계 방법은 일원분산분석을 적용하였으며, 105 °C 열 스트레스 인가 여부에 따라 3가지 시험조건(상온조건, 105 °C, 5 h 인가, 105 °C, 12 h 추가인가)을 독립변수로 하였으며, 이때 측정된 저항값(μ_1 , μ_2 , μ_3)이 종속변수가 된다. 가설검정에서 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)은 다음과 같다.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H_1 : 적어도 하나는 나머지와 같지 않다.

유의수준(α) 0.05 를 적용하여 분산분석 결과, 계산된 $F(2.970) < F \text{ critical } (3.026)$ 이고, $p(0.053) > \alpha(0.05)$

이므로 귀무가설(H_0)을 채택한다. 따라서 초기 불량 검출을 위한 가속시험 이후에도 소자의 저항값은 변동이 없다고 할 수 있다.

Table 7. Stability results of NTC thermistor

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	F critical
Between Groups	0.033	2	0.017	2.970	0.053	3.026
Within Groups	1.652	297	0.006			
Total	1.685	299				

상은 25 °C에서 측정결과에 대한 통계치 $p(0.053)$ 가 유의수준 0.05 육박하는 것은 다소 부담스러운 경우이나, 상온 25 °C 조건은 숙련도시험에서는 숙련도시험 결과 판정에 사용되지 않으며, 참가기관이 시료를 전달 받았을 때 시료 이상 여부를 점검하는 온도를 고려한 조건이다. 실제 숙련도시험 프로그램에서 시료 이상 여부 판정조건은 일 반대기 조건에서 저항값이 10 k Ω ~ 50 k Ω 범위에 있는지 확인하도록 넓은 범위를 제시하였다. 소자를 이용하여 숙련도시험 시료에 대한 균질성 및 안정성 검토는 본문 4절에서 다루었다.

4. 숙련도시험 시료 제작

4.1 숙련도시험 시료제작

NTC 서미스터 중에 편차가 큰 순으로 40개를 제외하고 나머지 60개를 2개씩 쌍으로 회로를 구성하여 총 30개의 숙련도시험 시료를 제작하였다. 숙련도시험 시료의 내부는 다수의 부품으로 인한 고장 회로는 고장 등의 영향이 없도록 최대한 단순하게 PCB 패턴을 제작하고 충격에 견딜 수 있도록 내부 PCB는 네 군데를 견고하게 고정하였다. 실제 숙련도시험 시 연장케이블의 편차를 줄이기 위해 저항성분이 최소가 되도록 연선으로 된 케이블을 적용하였으며, 모든 기생저항은 최대 5 Ω 이하로 설계하였다. 항온조 내부에서 직접적인 송풍의 영향을 받지 않도록 하고, 숙련도시험 시료 전달, 취급, 보관 시에 발생될 수 있는 부주의로부터 변형 및 파손을 방지하기 열전도성이 우수한 금속 케이스를 적용하였다. 금속 케이스 외부에는 온도변화에 따른 저항을 측정할 수 있도록 단자 2개를 적용하였다. 완성된 숙련도 시료는 Figure 2와 같이 숙련도시험 프로그램 참가기관에 손상 없이 안전하게 전달될 수 있도록 충격방지용 스펀지로 완충된 박스에 보관하였다.

Table 8. Parts of proficiency testing sample

Item	Characteristic	Quantity
NTC Thermistor	Operating Temperature -80 °C ~ 150 °C	60 ea (30 x 2)
Bare PCB	71 mm x 94 mm x 2 mm	30 ea
BNC Cable	Contact Resistance < 0.1 Ω Ratio of Resistance to Temp. < 0.01 Ω/°C	60 ea (30 x 2)
PCB Supporter	Hight 5 mm (For Fixing PCB to case)	240 ea (30 x 8)
Aluminum Case	110 mm x 90 mm x 35 mm Thermal conductivity 237 W/(m·K)	30 ea



Figure 2. Completed proficiency testing sample

4.2 숙련도시험 시료 균질성 및 안정성 검토

제작한 숙련도시험 시료 30개에 대하여 ISO Guide 35 (Reference materials - general and statistical principles for certification) 에 따라 숙련도시험 시료 간 편차와 경년변화가 숙련도시험 결과에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 시료의 균질성과 안정성을 검토하여야 한다. 숙련도시험의 핵심 소자인 NTC 서미스터는 고온에서 소성한 소결체로서 안정한 구조이며, 열적으로 매우 안정한 특성이 있다. 하지만 숙련도시험 제작과정에서 발생할 수 있는 소자의 파손과 특성 변화 여부를 확인하기 위해서 숙련도시험 환경조건인 설정값 55 °C 고온 및 -10 °C 저온 환경에서 균질성을 확인하였다. 초기 측정된 저항크기는 평균 8.999 kΩ 및 159.877 kΩ 이었으며, 변동계수는 0.33 % 및 0.32 % 로 균질성이 확인되었다. 또한, 숙련도시험 참가기관이 실제 시험에 사용할 시간을 고려하여 해당 시험온도에서 120 시간 후 측정된 결과는 고온 55 °C 및 저온 -10 °C 환경에서 평균 8.989 kΩ 및 159.784 kΩ 이었으며, 변동계수는 0.29 % 및 0.89 %로 균질성이 확인되었다.

Table 9. Homogeneity results for proficiency testing sample

Temperature	Statistics	Initial	After 120 h
Normal Temp.(25 °C)	Average	29.933	29.818
	Variance	0.018	0.091
	Standard Deviation	0.138	0.303
	CV (%)	0.46	1.02
High Temp.(55 °C)	Average	8.999	8.989
	Variance	0.001	0.001
	Standard Deviation	0.030	0.026
	CV (%)	0.33	0.29
Low Temp. (-10 °C)	Average	159.877	159.784
	Variance	0.269	2.003
	Standard Deviation	0.519	1.415
	CV (%)	0.32	0.89

또한, 숙련도시험 참가기관이 실제 시험에 사용할 시간을 고려하여 해당 시험온도에서 120시간 후 저항값의 비교를 통해 시험 전후의 변경 여부를 확인한다. 이때 적용된 통계 방법은 등분산을 확인하고 t 검정을 적용하였으며, 숙련도시험 온도조건 초기와 60시간 이후 2가지 조건을 독립변수로 하였다. 측정된 평균 저항값(μ_1 , μ_2)은 종속변수가 된다. 가설검정에서 귀무가설(H_0)은 두 조건에서의 평균이 같은 것이고, 대립가설(H_1)은 두 조건에서의 평균이 같지 않은 것이다.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

t검정을 양측검증결과, 고온 55 °C 시험에서는 $t(1.482) < t \text{ critical } (2.001)$ 이고, $p(0.143) > \alpha(0.05)$ 이므로 귀무가설(H_0)을 채택하였다. 따라서 숙련도시험 시료의 평균 저항값은 차이가 없다고 할 수 있다. 저온 -10 °C 시험에서는 $t(0.340) < t \text{ critical } (2.001)$ 이고, $p(0.734) > \alpha(0.05)$ 이므로 귀무가설(H_0)을 채택하였다. 따라서 숙련도시험 시료의 평균 저항값은 차이가 없다고 할 수 있다. 즉 숙련도시험 시료의 핵심 소자인 NTC 서미스터는 고온에서 소성한 소결체로서 열적으로 매우 안정한 특성이 있다. 따라서 120시간 후 평균 저항값은 변동이 없는 것으로 확인되었으며, 가장 중요한 배포될 시료 간의 균질성을 의미하는 변동계수는 설계목표 1 % 이하인 0.29 % 및 0.89 %를 유지하고 있음을 확인하였다.

또한, ISO 13528 Annex B 에 제시된 안정성 점검방법을 적용하여 숙련도 시료의 1차 측정평균(\bar{x}_1)와 2차 측정평균(\bar{x}_2)의 차이($|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|$)와 숙련도시험표준편차(σ)를 식 3과 같이 비교하여 숙련도 시료의 안정성이 숙련도시험 결과에 부정적인 영향을 미치지 않은 것을 추가 확인하였다.

Table 10. Stability results for proficiency testing sample

Statistics	High Temp.(55 °C)	Low Temp. (-10 °C)
Mean Difference of Hypothesis	0	0
df (degrees of freedom)	58	58
t (t statistic)	1.482	0.340
P value (two tailed)	0.143	0.734
t critical (two tailed)	2.001	2.001

5. 숙련도시험 프로그램 운영결과

5.1 숙련도시험 프로그램 운영결과

개발된 시료를 이용하여 숙련도시험 운영기관인 한국산업기술시험원(KTL)에서 2012년 운영한 “고온, 저온 관련 환경 및 신뢰성 숙련도시험 프로그램(KOLAS PT-2012-01)”에는 28개 시험기관이 참가하여 21개 기관이 만족(Satisfied), 4개 기관이 의심(Suspicious), 및 3개 기관이 불만족(Outlier) 결과를 산출하였다. 이때 적용된 수행도 평가는 ISO 13528 (Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons)에서 제시하고 있는 기법 중에 로버스트 통계기법을 사용하여 이상값의 영향을 최소화하였다.

Table 11. Results of KOLAS proficiency test programs

Item	KOLAS PT-2012-01	KOLAS PT-2015-24
PT Program	Environment and reliability proficiency test related to high and low temperature	Environment and reliability proficiency test related to low temperature
Testing Items	Low Temp. (-10 °C) & High Temp. (55 °C)	Low Temp. (-20 °C)
Period	2012.02.29 - 2012.03.30	2015.04.16 - 2015.10.19
Statistical Method	Robust z-score	Robust z-score
Participants	28	42
Results	Satisfied 21, Suspicious 4, Outlier 3	Satisfied 38, Suspicious 3, Outlier 1

그리고 개발된 시료와 같은 원리와 형태로 제작된 숙련도시험 시료를 이용하여 한국산업기술시험원(KTL)에서 2015년 운영한 “저온 관련 환경 및 신뢰성 숙련도시험 프로그램(KOLAS PT-2015-24)”에는 42개 기관이 참가하여 만족한 기관 38개, 의심 3개 및 불만족 1개 기관의 결과를 얻었다.

불만족을 산출한 시험기관은 대부분 항온조 온도 설정 시 보정값을 반영하지 않거나 항온조 내부온도 교정이 아닌 온도 지시계만을 교정하여 사용하는 등의 문제가 있었으며, 숙련도시험 프로그램 참가를 통해서 이러한 문제점을 개선할 수 있었다. 본 연구결과의 의미는 환경 및 신뢰성 시험분야에서 사용되는 항온조의 운영관리 능력을 검증할 수 있도록 NTC-Thermistor 특성을 이용하여 배포 가능한 숙련도시험 시료를 최초로 개발하였으며, 개발된 시료를 이용하여 국제적인 숙련도시험 표준인 ISO/IEC 17043(Conformity assessment - general requirements for profi-

ciency testing)을 적용하여 숙련도시험 프로그램을 운영한 결과, 시험수행 능력이 적절한 시험기관과 그렇지 않은 시험기관을 식별할 수 있었다.

5.2 숙련도시험 시료의 영향 검토

숙련도시료의 불안정성이 숙련도시험 결과에 부정적인 영향을 미쳤는지 확인하기 위하여, ISO 13528 Annex B에 제시된 안정성 점검방법을 적용하여 숙련도 시료의 1차 측정평균(\bar{x}_1)와 2차 측정평균(\bar{x}_2)의 차이($|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|$)와 숙련도시험 참가기관들의 측정값에 의한 숙련도시험표준편차(σ)를 식 3과 같이 비교하였다.

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| \leq 0.3\sigma \quad (3)$$

비교결과 고온시험에서 시료의 1차, 2차 측정평균의 차이($|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|$)는 0.011 이고, 숙련도시험 표준편차(σ)는 0.045이다. 저온시험에서 시료의 1차, 2차 측정평균의 차이($|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|$)는 0.093이고, 숙련도시험 표준편차(σ)는 0.750이다. 고온 및 저온시험 모두 식 3의 조건을 만족하여 안정성이 입증되었다.

Table 12. Stability results after proficiency testing

Temperature	Average Difference between 1 st and 2 nd ($ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 $)	Standard Deviation between PT testing (σ)	Results ($ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \leq 0.3\sigma$)
High Temp. (55 °C)	0.010	0.045	Stable
Low Temp. (-10 °C)	0.093	0.750	Stable

고온 및 저온시험 모두 숙련도시험 시료에 인한 부정적인 영향을 미치지 않은 것이 확인되었다.

6. 결 론

숙련도시험 프로그램은 해당 시험에 대한 신뢰성을 입증할 수 있는 방법이며, 시험기관, 인정기구 및 이해관계에 게 모두 유용하다. 그러나 특정 프로그램에서 만족한 시험결과는 해당 시험에 대한 능력의 증거를 나타낼 수 있지만 지속적인 시험능력을 반영하는 것이 아니므로 시험기관은 숙련도 최소 실적 유지에 머물지 말고 자발적인 품질보증 활동방법으로써 숙련도시험 프로그램을 적극 활용을 해야 한다. 숙련도시험 운영기관은 특화된 시험분야에 대한 자발적이고 적극적인 시료 및 프로그램을 개발하고 숙련도시험 프로그램 참가비용의 현실화를 통한 숙련도시험 시료 및 프로그램 R & D 비용을 확보하기 위한 노력이 필요하다.

항온조를 사용하는 환경 및 신뢰성 분야에서는 시험결과의 신뢰성을 결정하는 주요사항은 시험을 시행하기 전에 항온조 내부 유효시험 공간을 검증하고 시험환경을 정확하게 준수하는 것이 가장 중요하다. 이런 특성을 갖는 환경 및 신뢰성 시험분야는 숙련도시험 프로그램을 운영하기 어려웠으나, 본 연구에서는 항온조의 운영관리 능력을 검증할 수 있도록 NTC-Thermistor 특성을 이용하여 배포 가능한 숙련도시험 시료를 최초 개발하였으며, 개발된 시료를 국제적인 숙련도시험 표준인 ISO/IEC 17043 으로 숙련도시험 프로그램을 운영한 결과, 시험수행 능력이 적절한 시험기관과 그렇지 않은 시험기관을 식별할 수 있었다. 나아가 본 연구 사례가 숙련도 프로그램 개발이 어려웠던 환경 및 신뢰성 시험과 같은 분야의 숙련도시험 시료 및 프로그램 개발 활성화에 도움이 되기를 기대한다.

REFERENCES

- Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation(APLAC). 2010. APLAC PT 006. Proficiency testing frequency benchmarks.
- Eu Gwan, Kim Chul-Soo, Shin Sang-Mo. 1994. "Characteristics and Applications of NTC-Thermistor." *Electron Microscopy Journal* 21(8):783-793.
- International Laboratory Accreditation Cooperation(ILAC). 2014. ILAC P9. ILAC policy for participation in proficiency testing activities.
- INSPEC. 2011. Completion Report on Development of High-Temperature and Low-Temperature Environment and Reliability Testing Samples. Korean Agency for Technology and Standards.
- International Organization for Standardization(ISO). 2005. ISO/IEC 17025. General requirements for testing and calibration laboratories, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization(ISO). 2005. ISO 13528. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization(ISO). 2006. ISO Guide 35. Reference materials - general and statistical principles for certification, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization(ISO). 2010. ISO/IEC 17043. Conformity assessment - general requirements for proficiency testing, Geneva, Switzerland.
- International Electrotechnical Commission(IEC). 2007. IEC 60068-2-1. Environmental testing - Part 2-1: Tests - Test A: Cold, Geneva, Switzerland.
- International Electrotechnical Commission(IEC). 2007. IEC 60068-2-2. Environmental testing - Part 2-2: Tests - Test B: Dry heat, Geneva, Switzerland.
- Korea Laboratory Accreditation Scheme(KOLAS). 2017. KOLAS-R-003. Proficiency Test Operation Standards.
- Korea Laboratory Accreditation Scheme(KOLAS). 2017. Notice. Accessed July 21. <https://www.kolas.go.kr>.

- Korea Testing Laboratory. 2012. KOLAS-PT-2012-01. High Temperature and Low Temperature Environment and Reliability Proficiency Test Report.
- Korea Testing Laboratory. 2015. KOLAS-PT-2015-24. Low Temperature Environment and Reliability Proficiency Test Report.
- Park Kyung-Hwan. 2009. "A Study on Improvement of Reliability of Test Environment through Proficiency Testing." Konkuk University Master Thesis.
- Yoon Jung-Rak, Kim Doo-Young, Song Kwang-Ho, and Lee Hyun-Yong. 1995. "A Fuel shortage detected sensor using NTC thermistor of Mn-Ni-Co systems. The Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers 1995(0):347-350.