

## 백금저항온도센서를 이용한 국가교정기관의 교정능력 평가 및 실험방법

감기술<sup>†</sup> · 유성호\* · 김성민\* · 이인식\*

### Experimental method and evaluation of the calibration capability for the national calibration centers using the platinum resistance temperature sensors

Kee Sool Gam<sup>†</sup>, Sung Ho Yoo\*, Sung Min Kim\*, and In Sick Lee\*

#### Abstract

Calibration capability was evaluated using the reference-grade platinum resistance thermometer (PRT) in the temperature range of  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  for the national calibration centers. The reference-grade PRT was calibrated at the several fixed points, which was composed by the freezing points of Sn, In, the melting point of Ga and the triple point of water and Hg, before and after the round-robin test (RRT) experiments. The temperature scale of reference-grade PRT was compared to the local standard PRT's using the system of the national calibration centers.  $E_n$  values was calculated by the temperature difference between the reference-grade PRT and the local standard PRT, and the best measurement capability. Finally, the capability of the national calibration centers was evaluated by the  $E_n$  values.

**Key Words** : platinum resistance thermometer (PRT) sensor, calibration center, uncertainty, round-robin test (RRT), best measurement capability

#### 1. 서 론

백금저항온도센서는  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  온도영역에서 정밀, 정확한 온도측정에 가장 많이 사용되고 있으며, 특히 표준백금저항온도계는 이 영역에서 국제온도준급 1990(ITS-90)<sup>[1]</sup> 실현의 표준내삽온도계로 정의되어 사용되고 있다. 국내에는 현재 이 온도영역의 국가교정기관이 46개소가 설립되어 있으며, 각 교정기관의 온도 표준은 보유하고 있는 표준백금저항온도계를 한국표준과학연구원에서 일차교정하여 유지하고 있다. 교정된 표준백금저항온도계는 교정기관에서 기준급 백금저항온도계를 자체교정할 때 사용되며, 교정된 기준급 백금저항온도계는 정밀도가 급이 이하의 산업용 온도계를 비교교정하는데 사용된다. 이러한 단계별 교정절차를 통하여 실험실 및 생산현장의 온도표준이 유지되고 있다. 표준백금저항온도계는 사용시간 및 사용환경에 따

라 표준백금저항온도계 내부의 온도 감응부(sensing part)의 물리적 특성의 변화로 인하여 측정값이 다르게 나타날 수 있다. 따라서, 현재 사용하고 있는 표준백금저항온도계의 교정값이 교정불확도 내에서 유효한지 여부를 확인하기 위하여는 물의 삼중점에서의 저항값 측정결과를 확인하여 판단하도록 하고 있다. 표준백금저항온도계의 물의 삼중점에서의 저항측정값이 한국표준과학연구원에서 발행한 교정성적서에 명기되어 있는 값과의 차이가 교정불확도를 벗어나면 재교정하도록 권장하고 있다. 물의 삼중점에서의 저항값 변화량이 교정불확도보다 적을 경우에는 새로 측정된 물의 삼중점 값 및 교정성적서에 나타나 있는 온도-저항비를 사용하여 정확한 온도표준을 유지 할 수 있다. 이와 같이 표준백금저항온도계의 표준유지를 위하여 모든 국가교정기관은 물의 삼중점 및 보관함을 보유하도록 규정되어 있다. 그리고, 산업자원부 산하의 기술표준원에서 주관하는 한국교정·시험기관 인정기구(Korea Laboratory Accreditation Scheme, KOLAS) 규정<sup>[2]</sup>에 따라, 교정의 소급성 및 교정정확도를 확인하기 위하여 KOLAS에서 관장하는 숙련도 시험 프로그램으로 3년에 1회이상 교정능력평가(round-robin test, RRT)에 참

한국표준과학연구원 물리표준부(Division of Physical Metrology, KRISS)  
\*산업기술 시험원 표준계측본부(Measurement & Calibration Center, Korea Testing Laboratory)

<sup>†</sup>Corresponding author: ksgam@kriss.re.kr  
(Received : January 17, 2005, Accepted : March 3, 2005)

여하여 그 능력을 평가하여야 한다. 본 연구실에서는 열전대를 이용한 RRT 경험<sup>[1]</sup> 및 고온백금저항온도계 분야의 축적된 경험<sup>[4]</sup>을 살려서 중온분야 국가교정기관 31개소에 대하여 기준기급 백금저항온도계를 사용하여 -50°C~250°C 온도영역에서의 숙련도 시험을 실시한 결과를 분석, 보고하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

국가교정기관 평가에는 산업기술시험원에서 기준기급 백금저항온도센서(Hart Co., Model 5682-S) 3대 및 이들 센서를 연결하여 사용하는 디지털 온도계 3대를 구입하여 순회평가용으로 사용하였다(표 1 참조). 새로 구입한 백금저항온도센서는 한국표준과학연구원에서 온도계의 저항값을 안정화 시키기 위하여 500°C에서 5시간 동안 열처리 한 후 온도 고정점에서 일차교정하였다.

표 1. 교정능력 평가에 사용한 기준기급 백금저항온도계 및 디지털 온도계

Table 1. Reference-grade platinum resistance thermometer and digital thermometer used in the round-robin test.

시료	제작사	모델	No.	Group
백금저항온도계	HART	5682-S	1113	A
디지털온도계	HART	1529	A38472	A
백금저항온도계	HART	5682-S	1122	B
디지털온도계	HART	1529	A38473	B
백금저항온도계	HART	5682-S	1123	C
디지털온도계	HART	1529	A38474	C

표 2. 교정능력 평가에 참가한 국가교정기관 및 숙련도 시험을 위한 그룹분류

Table 2. National calibration centers participated in the round-robin test and groups for the round-robin test.

구분	A 그룹	B그룹	C그룹
1차	한국가스공사 우진부설 계측기기연구소 (주)한국계측기기연구소	(주)협성히스코 (주)대영씨엔티 (주)와이즈 콘트롤 프라임 엔지니어링	삼성전자(주) 기흥공장 한국지노(주) (주)코닉스
2차	(주)풍산 안강공장 포스코(주) 포항제철소 삼성SDI(주) 현대자동차(주) 울산공장	한국생활환경 시험연구원 삼성교정 기술원 페어차일드코리아반도체(주)	강원지방 중소기업청 LG산전(주)전력기술센터 LG이노텍(주) 구미공장 제주지방 중소기업청
3차	(주)한국측정시험 연구원 포스코(주) 광양제철소 LG전자(주) 품질센터	한국기계연구원 현대중공업(주) (주)한영닉스	광주, 전남지방 중소기업청 한국정밀측정(주) 두산 중공업(주) 현대교정인증 기술원(주)

였다. 열처리 후 이들 온도계는 온도가 높은 고정점에서 낮은 고정점의 순으로 차례로 교정하였다. 즉, 주석 응고점(231.928°C), 인듐 응고점(156.5985°C), 갈륨 용융점(29.7646°C), 및 수은 삼중점(-38.8344°C) 순으로 표준백금저항온도계 교정절차<sup>[5]</sup>에 따라 일차교정하였다. 각 고정점 점후에는 물의 삼중점(0.01°C)에서 표준백금저항온도계의 저항을 측정하여 각 고정점에서의 저항비를 얻었다. 일차교정된 이 온도계는 온도계 감지부에 기계적 충격이 발생하지 않도록 산업기술시험원으로 다시 hand-carry하여 운반하였다. 순회평가에서 온도비교측정점을 단순화 시키기 위하여 일차교정된 표준백금저항온도계는 산업기술 시험원에서 디지털 온도계에 연결되어 -50°C, 0°C, 100°C, 200°C, 250°C에서의 출력값으로 변환되었다. 이 온도센서는 표 2와 같이 3개 그룹으로 분류된 숙련도 시험에 참여한 국가교정기관으로 hand-carry 방식으로 순회시켰으며, 각 기관이 보유하고 있는 기준기급 백금저항온도계 및 교정시스템을 사용하여 비교교정되었다. 각 국가교정기관에서는 다양한 방식의 교정방법이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 비교교정방법에 의한 불확도를 최소한으로 줄이기 위하여 다음과 같은 표준화된 비교교정방법을 사용하도록 하였다.

1) 물의 삼중점에서 교정기관의 기준기급 백금저항온도계의 저항을 측정한다.

2) 액체항온조에 순회용 표준백금저항온도계와 교정기관의 기준기급 백금저항온도계를 설치한다. 이 때 표준백금저항온도계의 센서감지부와 기준기급 백금저항온도계의 센서감지부는 비교항온조내의 온도균일지역(uniform zone)에 위치하도록 설치하여야 한다.

3) 순회용 표준 백금저항온도계와 기준기급 백금저항온도계의 리드선을 저항브릿지와 연결하고 온도계의 정상작동 여부를 확인한다.

4) 액체항온조의 온도를 비교교정하려는 온도로 맞춘다. 측정점은  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 순서로 한다.

5) 액체항온조의 온도가 교정하고자 하는 온도에 도달한 후 안정된 온도를 나타낼 때 기준기 및 피교정기(교정기관의 기준기급 백금저항온도계)의 저항을 교대로 측정한다.

6) 온도 대 저항측정순서는 액체항온조의 온도변화에 의한 영향을 최소화하기 위하여 ① 기준기 → ② 피교정기 → ③ 기준기 → ④ 피교정기 → ⑤ 기준기 → ⑥ 피교정기 → ⑦ 기준기 순으로 측정한다.

7) 비교교정이 끝난 후 물의 삼중점셀에 피교정기를 설치하고, 삼중점에서의 저항을 다시 측정한다.

순회측정과정에서의 순회용 표준백금저항온도계의 저항값 변화는 순회가 끝난 후에 측정된 고정점 재교정을 통하여 확인하였다. 순회용 백금저항온도센서의 교정값은 순회 전후에 측정된 고정점에서의 측정값을 평균하여 사용하였다. 순회용 온도센서의 일차 교정값과 비교 교정값 간의 차이 및 숙련도 시험에 참여한 국가 교정기관에서 제시한 BMC(Best Measurement Capability)값을 사용하여  $E_n$  값을 계산하였으며, 이 값을 근거로 각 교정기관의 교정능력을 평가하였다.  $E_n$  값은 EAL, APLAC에서 운영하는 국제적 교정 프로그램 중 참가시험소의 측정값이 기준시험소의 측정값을 만족시키는지 판단하기 위해 사용하는 기준식으로 다음 식과 같이 정의 되어 있다<sup>[6]</sup>.

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{LAB}^2 + U_{REF}^2}} \quad (1)$$

여기서  $x$ 는 참가시험소의 측정결과,  $X$ 는 기준 시험소의 측정결과,  $U_{LAB}$ 는 참가시험소의 측정불확도,  $U_{REF}$ 는 기준시험소의 측정불확도이다. 식 (1)에 의하여 계산된 결과가  $|E_n| \leq 1$ 의 조건을 만족하면 참가시험소의 측정결과는 양호한 것으로 판단되나, 만약 측정 결과가  $|E_n| > 1$ 로 나타나면 불만족한 결과로 판정된다.

### 3. 실험결과 및 고찰

순회용 표준백금저항온도계 3대는 2003년 9월 26일 한국표준과학연구원에서 온도 고정점에서 일차교정하였으며, 그 이후 4차례에 걸쳐 산업기술 시험원에서 순회평가 전후에 비교교정하였다. 순회평가 종료 후

2004년 3월 17일 이들 온도계는 한국표준과학연구원 에서 다시 온도고정점에서 교정하여 순회평가중에 온도계의 특성변화가 발생하였는지 여부를 확인하였다. 그 결과 순회 기간중 표준백금저항온도계의 비교교정 전후의 고정점 교정값 변화는 물의 삼중점에서  $7.4\text{ mK}$  이내였으며, 고정점중 가장 높은 온도인 주석 응고점에서도  $3.9\text{ mK}$  이내의 변화를 보여 단기안정도가 우수한 것으로 나타났다. 기준 교정기관인 산업기술 시험원과 숙련도시험에 참여한 31개 국가교정기관들이  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 비교교정한 결과와 순회용 표준백금저항온도계의 기준값과의 차이를 그림 1에서부터 그림 5에 정리하였다. 그림 1은

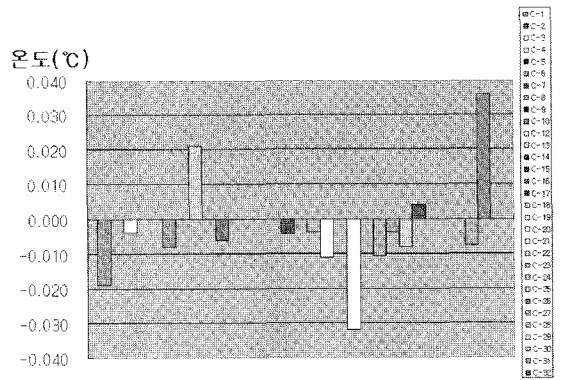


그림 1. 비교교정온도  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서의 교정기관의 측정값과 기준값사이의 온도차

Fig. 1. Temperature difference between the reference values and the measured values at the calibration centers in the comparison temperature of  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

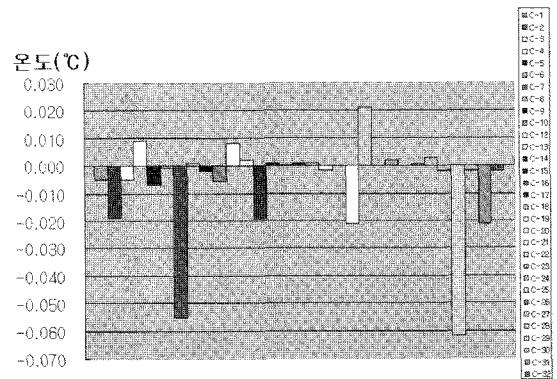


그림 2. 비교교정온도  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서의 교정기관의 측정값과 기준값사이의 온도차

Fig. 2. Temperature difference between the reference values and the measured values at the calibration centers in the comparison temperature of  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

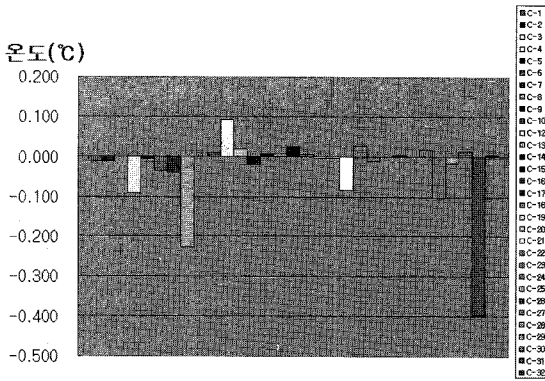


그림 3. 비교교정 온도 100 °C에서의 교정기관의 측정값과 기준값사이의 온도차  
 Fig. 3. Temperature difference between the reference values and the measured values at the calibration centers in the comparison temperature of 100 °C.

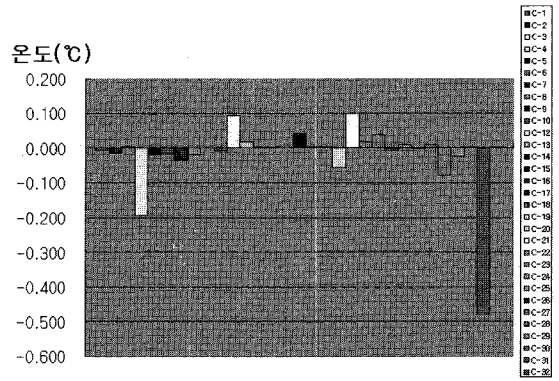


그림 4. 비교교정 온도 200 °C에서의 교정기관의 측정값과 기준값사이의 온도차  
 Fig. 4. Temperature difference between the reference values and the measured values at the calibration centers in the comparison temperature of 200 °C.

-50 °C에서의 비교결과로서 3개 기관을 제외한 모든 참여기관의 측정값이  $\pm 0.20$  °C 이내에서 기준값과 일치하는 좋은 결과를 얻었다. 그림 2는 빙점 측정값에서의 차이를 나타낸 것으로 C-9기관 및 C-29기관의 측정값이 기준값에 비하여 -0.055 °C 및 -0.062 °C 낮게 측정된 결과를 보이고 있다. 빙점은 산업용 저항온도계의 교정데이터를 저항비로 환산할 때 기본적으로 사용되는 측정값으로 아주 중요한 값이기 때문에 최소한  $\pm 0.01$  °C 이내에서는 기준값과 일치하여야 할 것으로 생각되나, 7개 교정기관의 측정 결과는 기준값에 대하여  $\pm 0.01$  °C 이상의 편차를 보임으로서 기대에 비하여 많이 뒤떨어지는 수준을 가진 것으로 나타났다. 그림 3~그림 5는 100 °C, 200 °C, 250 °C에서 비교교정한 교정기관의 데이터와 기준 데이터간의 차이를 나타낸 것으로,  $\pm 0.100$  °C 범위를 벗어난 교정기관은 100 °C 및 200 °C에서는 불과 2개 기관뿐이었으나 비교교정 온도가 250 °C 일 때 5개 기관으로 급격히 증가하는 양상을 보였다. 일반적으로 저항온도계의 교정에 사용하는 액체항온조는 0~100 °C 온도영역에서는 종류수를 항온액으로 사용하기 때문에  $\pm 10$  mK 이내의 안정도 및 온도구배 특성을 가지고 있다. 그러나 비교교정 온도가 100 °C 이상일 경우에는 일반적으로 실리콘 오일을 항온액으로 사용하며, 이 경우 비교교정 최고온도는 실리콘 오일의 특성으로 인하여 250 °C 정도로 제한된다. 따라서, 그림 5에서 비교교정 데이터와 기준값과의 큰 차이는 항온조의 특성으로 인하여 발생된 결과로 추정된다.

교정기관의 측정능력은 각 교정기관이 제시한 BMC

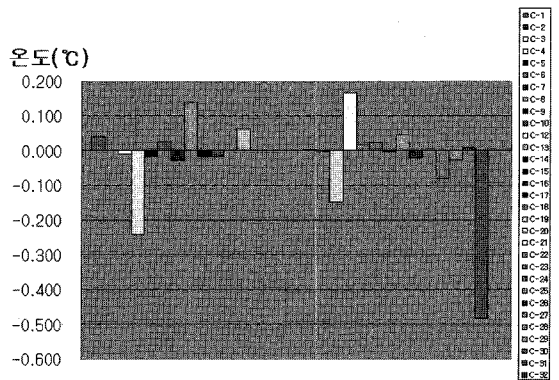


그림 5. 비교교정 온도 250 °C에서의 교정기관의 측정값과 기준값사이의 온도차  
 Fig. 5. Temperature difference between the reference values and the measured values at the calibration centers in the comparison temperature of 250 °C.

값과 이번에 실시한 비교교정 결과와 기준값과의 차이를 사용하여 식 (1)에서 주어진  $E_n$  값을 계산하여 판단하도록 하고 있다. 표 3은 순회용 표준백금저항온도계의 기준값과 측정값과의 차이 및 각 교정기관의 BMC로부터 계산한  $E_n$  값을 정리한 것이다. 모든 숙련도 시험 참가 교정기관의  $E_n$  값이 -50 °C 및 0 °C에서는  $\pm 1$  이내로 KOLAS에서 규정한 교정수준을 대체로 만족하는 결과를 얻었다. 그러나, 비교온도 100 °C 및 200 °C에서는 5개 기관의  $E_n$  값이  $\pm 1$ 을 벗어났으며, 250 °C에서는 7개 기관의  $E_n$  값이  $\pm 1$ 을 벗어난 결과를 보였다. 따라서, 100 °C 이상에서  $E_n$  값이  $\pm 1$ 을 벗어난 경우는 해당 교정기관의 교정능력이 교정기관 인정과정

표 3. 숙련도 시험에 참가한 국가교정기관의 온도별  $E_n$  계산결과Table 3. Results of  $E_n$  values for the national calibration centers participated in the round-robin test.

코드번호	-50.000 °C	0.000 °C	100.000 °C	200.000 °C	250.000 °C
C-1	0.468	-0.124	-0.207	-0.103	0.849
C-2	-	-0.401	-0.208	-0.323	-
C-3	0.086	-0.107	0.107	0.064	-0.192
C-4	-	0.099	-1.009	-2.151	-2.702
C-5	-	-0.053	-0.046	-0.033	-0.032
C-6	0.184	-0.034	-0.807	-0.589	0.900
C-7	-	-0.638	-0.180	-0.158	-0.126
C-8	0.382	0.026	-4.321	-0.431	3.347
C-9	-	-0.052	0.000	0.029	-0.462
C-10	-0.216	-0.195	0.363	-0.270	-0.590
C-12	-	0.293	0.836	0.870	-
C-13	-	0.059	0.296	0.234	0.761
C-14	-	-0.109	-0.101	0.024	-
C-15	-	0.036	0.142	0.083	-
C-16	-0.126	0.012	0.038	0.035	0.032
C-17	-	0.006	0.150	0.253	-
C-18	-0.135	0.034	0.203	0.147	0.088
C-19	-0.385	-0.059	-0.099	0.095	-0.115
C-20	-	0.000	-0.100	-1.247	-3.123
C-21	-0.608	-0.399	-1.597	1.898	3.132
C-22	-	0.735	0.618	0.323	0.299
C-23	-0.128	0.000	-0.053	0.207	0.125
C-24	-0.105	0.053	0.000	-0.158	-0.079
C-25	-0.218	0.000	0.136	0.300	1.199
C-26	0.102	0.015	0.012	-0.015	-0.498
C-27	-	0.096	0.576	0.352	0.032
C-28	-	-0.066	-3.377	-2.510	-2.615
C-29	-	-0.511	-0.145	-0.189	-0.219
C-30	-0.220	-0.059	0.379	0.151	0.240
C-31	0.762	-0.446	-8.437	-10.137	-10.212
C-32	-	-0.058	0.107	0.092	-

에서 각 기관이 제시한 BMC 수준에 미달하는 결과를 볼 수 있다. 최근 국내의 산업체가 고도화 됨에 따라 정확한 온도측정능력이 점점 더 많이 요구되고 있음을 감안 할 때 본 연구에서 파악된 기대 수준에 미달되는 교정기관들에 대하여는 그 원인을 시급히 파악하여 개선하고, 교정의 정확도를 향상시켜 산업체의 요구를 만족시킬 수 있도록 노력하여야 할 것으로 판단된다. 이 목표를 위하여 한국표준과학연구원에서는 2005년도부터 이동형 고정점 셀 및 실험장치를 이용하여 수준에 미달되는 교정기관을 순회하여 교정시스템 점검 및 정

확도 수준을 향상시킬 예정이다.

#### 4. 결 론

백금저항온도센서를 사용하여  $-50^{\circ}\text{C}$ ~ $250^{\circ}\text{C}$  온도 영역에서 국내의 31개 국가교정기관의 교정능력을  $E_n$  값을 사용하여 평가한 결과  $-50^{\circ}\text{C}$  및  $0^{\circ}\text{C}$ 에서는 모든 기관의  $E_n$  값이  $\pm 1$  이내로 KOLAS에서 규정한 교정수준을 만족하였으나, 비교온도  $100^{\circ}\text{C}$  및  $150^{\circ}\text{C}$ 에서는 5개 기관의  $E_n$  값이  $\pm 1$ 을 벗어나는 결과를 보였다.

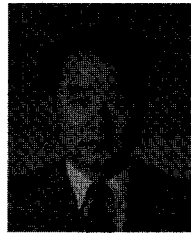
특히 250 °C에서는 7개 기관의  $E_n$  값이  $\pm 1$ 보다 크게 벗어나는 결과를 보여 교정온도가 높을 수록 교정기관의 측정능력에 문제점이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구를 통하여 발견된 국가교정기관의 교정능력을 개선시키기 위한 추가연구를 진행할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] H. P. Thomas, *Metrologia*, 27, pp. 3-10, 1990.
- [2] 한국교정 · 시험기관인증기구, “시험 · 검사기관 인정 제도 관련규정”, KOLAS-2000-7, 2000.
- [3] 감기술, 김용규, 김선곤, “S형 열전대를 이용한 교정 검사기관의 소급성 오차측정”, *센서학회지*, 제4권, 제1호, pp. 43-50, 1995.
- [4] 감기술, 박종철, 장충근, “새로운 고온백금저항온도계의 설계 및 제작”, *센서학회지*, 제10권, 제1호, pp. 24-32, 2001.
- [5] K. S. Gam *et al.*, “Standard calibration procedure of long-stem standard platinum resistance thermometers”, (C-18-2-004-2000), KRISS, 2000.
- [6] 산업자원부 기술표준원, “국가교정기관 평가사 소양 교육 교재”, KOLAS-2000-2, p. 132, 2000.

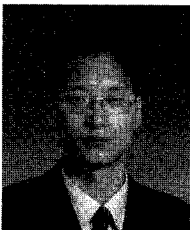
### 감 기술 (甘 基 述)

- 센서학회지 제13권, 제6호 pp.416 참조
- 현재 한국표준과학연구원 물리표준부 온도그룹 책임연구원



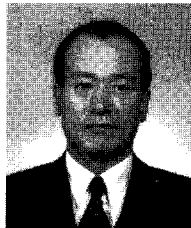
### 유 성 호 (俞 成 鎬)

- 산업기술시험원 표준계측본부장
- 99. 3 ~ 01. 8 연세대학교 공학대학원 (공학석사)
- 주관심 분야 : 표준 교정



### 김 성 민 (金 星 民)

- 산업기술시험원 연구원
- 99.9 ~ 01.8 한양대학교 공과대학원 (공학석사)
- 주관심 분야 : 온도계 교정



### 이 인 식 (李 仁 植)

- 산업기술시험원 중소기업기술지원단장
- 78. 3 ~ 80. 8 연세대학교 공학대학원 (공학석사)
- 주관심 분야 : 중소기업 기술지원