

개선된 구간 계측함수에 의한 디지털 계측시스템의 정밀도 향상

Accuracy Improvement of Digital Measurement System by Modified Piecewise Measuring Functions

홍성훈, 강문성

(Sung-Hun Hong and Moon-Sung Kang)

Abstract : Measurement errors in a digital measurement system are mainly due to the consisting elements' accuracies and the circuit parameters' changes following the environment variations such as temperature. Further, system's non-linearity makes the measurement accuracy worse, and accordingly a linearization method should be considered to avoid this worsening. In this study, a temperature error-correction method and linearization methods are proposed and a digital temperature measurement system utilizing these methods is realized. And the proposed measurement methods are observed to increase the measurement accuracy of the digital measurement system.

Keywords : digital measurement system, measurement errors, linearization, error-correction

I. 서론

최적의 시스템 제어를 위해서는 고속, 고정밀도의 특성을 갖는 계측회로가 필수적이다. 그러나 계측회로에서는 기대와는 달리 많은 오차가 발생됨으로서 계측정밀도가 저하하여 제어시스템의 제어 성능을 충분히 발휘하지 못하는 경우가 생긴다[1]-[3].

이러한 오차는 주위 온도등의 환경변화, 계측센서, 회로 소자의 정밀도 및 회로자체의 비선형성으로 인해 발생하는데, 이를 줄이기 위해 가변성이 있고, 온도 변화에 따른 오차의 보정이 가능한 소자를 사용하거나 부가적인 회로를 첨가한다. 특히, 디지털 방식의 계측시스템인 경우에는 측정 물리량과 계측센서의 출력신호의 대비표인 Look-up-table[4]을 이용하는 방법으로 비선형 특성에 의한 계측오차를 저감시켜 계측정밀도를 향상시킬 수 있으나 대단히 큰 시스템 메모리 영역이 필요하게 되는 단점이 있다 [3][5][6].

디지털 계측시스템에 있어서는 전술한 바와 같이 Look-up-table을 이용하기도 하나 광범위한 범위의 물리량을 정밀하게 측정하기 위해서는 많은 메모리 장치가 소요되므로 측정 물리량과 센서 출력신호의 특성을 나타내 주는 보간함수등을 계측함수[7]로 이용하는 것이 일반적이다. 이 때 계측 정밀도를 향상시키기 위해 전 계측구간을 몇 개의 부분구간으로 분할하고 각 부분구간별 계측함수를 이용하기도 한다[6].

그런데 계측센서의 비선형 특성 및 A/D변환을 위한 양자화 과정에서 발생하는 비선형 특성으로 말미암아 계측정밀도가 저하하게 되며, 또한 계측센서의 출력신호가 양자화되는 과정에서 주위온도등의 변화에 의한 계측회로 소자들의 특성변화로 동일한 출력신호임에도 불구하고 양

자화 레벨이 상이해 지는데 이를 고려하지 않으므로써 계측오차가 발생한다[2][3][8][9].

따라서 본 논문에서는 디지털 계측시스템의 계측정밀도 향상을 위하여 전술한 부분구간별 계측함수를 이용하기로 하되 구간별 상하한 측정 물리량에 대한 센서의 표준 출력신호를 기준값으로 선정하고, Multiplexer를 사용하여 순차적으로 기준값 및 센서로부터의 측정할 물리량을 입력받아 전기신호로 변환한 후 양자화 과정을 거친 기준값을 이용해 구간별 계측함수를 구성하며, 계측할 물리량의 양자화 레벨로써 계측하는 방식을 제시한다. 이와 같이 하므로써 주위 온도변화에 따른 기준값 및 계측할 물리량의 양자화 레벨의 변화를 고려할 수가 있으므로 그로 인한 계측오차의 보정이 가능하다. 그리고 디지털 계측시스템에서 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 비선형 특성에 의한 계측정밀도의 저하를 최소화하기 위하여, 측정하고자 하는 값이 포함되는 구간의 계측함수를 결정하는 과정에서 인접구간의 계측함수의 영향을 고려하여 선형적 변화 특성을 갖도록 한다. 제안한 기법과 기존의 곡선의 적합(Curve-fitting), Lagrange 보간법 및 구간별 계측함수[6]를 각각 이용한 디지털 계측시스템들의 계측정밀도를 비교·평가하여 본 논문에서 제안한 선형화 기법과 온도 오차보정법을 도입한 계측방법이 우수함을 입증하고자 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 산업현장에서 광범위하게 사용되고 있는 계측장비인 디지털 온도계측시스템을 대상으로 하여 전술한 각종 오차의 보정 방법을 적용하며, 제시한 보정방법을 도입하여 계측시스템을 설계, 제작하고 그 성능을 검증한다.

II. 인접구간의 계측함수의 가중치를 이용한 선형화 기법

전술한 바와 같이 본 논문에서는 디지털 계측시스템의 계측기법으로서 부분구간별 계측함수를 이용하기로 하며, 주위 온도변화에 의한 계측오차를 감소시키기 위하여 계측 물리량의 양자화 레벨로써 계측함수를 구성한다. 또한 계측센서의 비선형 특성 및 양자화 과정에서 발생하는 비

접수일자 : 2000. 5. 17., 수정완료 : 2000. 11. 13.

홍성훈, 강문성 : 청주대학교 전자공학과(h0914@chongju.ac.kr/
kanms@chongju.ac.kr)

※ 본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교
정보통신연구센터의 지원에 의한 것임.

선형 특성을 보상하여 계측된 결과가 선형변화특성을 갖도록 다음과 같은 방법을 이용한 계측함수를 제안한다.

(n+1)개의 기준값(이하에서는 상응하는 센서 출력신호의 양자화 레벨을 의미함) x_1, x_2, \dots, x_{n+1} 이 주어졌을 때 계측함수 $f(x)$ 는, 측정하고자 하는 물리량 x 가 $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ ($i = 1, \dots, n$)에 포함되는 경우 $f_i(x)$ 인 함수로 표현한다. 그런데 인접한 두 점 $(x_i, f(x_i)), (x_{i+1}, f(x_{i+1}))$ 만으로 결정되는 함수를 $f_i(x)$ 라고 하자. 이 때 예를 들어 측정할 물리량 x 가 $x_2 \leq x \leq x_3$ 구간에 있는 경우, 계측함수 $f_2(x)$ 를 $f_2(x)$ 뿐 아니라 양단에 인접한 두 부분구간의 함수 $f_1(x)$ 및 $f_3(x)$ 의 영향을 어느 정도 고려하여 선정하므로써 비선형 특성의 보상능력이 더욱 우수한 계측함수가 될 수 있을 것이다. 즉, x 가 기준값 x_2 에 인접할수록 $f_3(x)$ 보다는 $f_1(x)$ 에 더 큰 영향을 받으며, 반대로 x_3 에 인접할수록 함수 $f_3(x)$ 에 더 큰 영향을 받아 결정될 수 있는 방법을 고려해야 할 것이다. 이러한 방법으로서 영향의 정도를 정량적으로 표현하기 위하여 가중치 함수(weighted-function)를 도입하기로 하고, 인접한 두 함수로부터의 거리와 교차각도에 대한 가중치 함수들을 구하여 계측함수 $f_2(x)$ 를 결정한다. 이와같이 결정되는 전 구간 계측함수 $f(x)$ 를 이용하여 입력물리량에 대한 출력물리량을 선형적인 변화특성을 보이도록 함으로써 계측정밀도를 향상시킬 수 있다. 본 장에서는 $f_i(x)$ ($i=1, \dots, n$)의 함수형태에 따라 가중치-직선함수 보간법과 가중치-곡선함수 보간법을 제시한다.

1. 가중치-직선함수 보간법

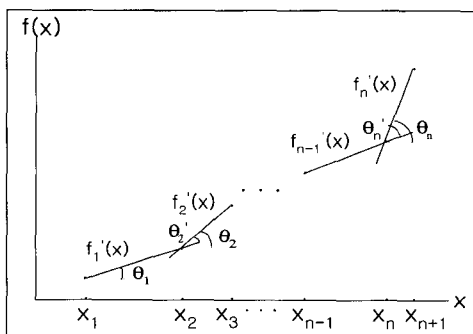


그림 1. 가중치-직선함수 보간법에서의 함수 및 각도 정의.

Fig. 1. Definition of functions and degrees in interpolation by weighted linear functions.

그림 1에서와 같이 전 계측구간을 n개의 부분구간으로 나누어 계측함수를 결정하는 경우를 고려한다. 먼저 인접한 두점 $(x_i, f(x_i)), (x_{i+1}, f(x_{i+1}))$ 만에 의해 결정되는 구간별 직선 방정식 $f_i(x)$ 및 각 직선이 x 축과 이루는 각도 θ_i 를 (1), (2)로 나타낸다.

$$f_i'(x) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} (x - x_i) + f(x_i)$$

$$(i = 1, \dots, n) \tag{1}$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \right) \tag{2}$$

또한 인접하는 두 구간의 직선함수간의 교차각도 θ_i 는 (3)과 같다.

$$\theta_i = \theta_i - \theta_{i-1} \quad (i = 2, \dots, n) \tag{3}$$

그런데 첫 번째 구간의 계측함수 $f_1(x)$ 는 $f_1(x)$ 뿐 아니라 인접구간의 함수인 $f_2(x)$ 에도 영향을 받으며, 또한 마지막 구간의 계측함수 $f_n(x)$ 도 마찬가지로 $f_n(x)$ 뿐 아니라 인접구간의 함수인 $f_{n-1}(x)$ 에도 영향을 받아 결정되는 것으로 한다. 그리고 그 이외의 구간 ($i = 2, \dots, n-1$)의 계측함수 $f_i(x)$ 는 $f_i(x)$ 뿐 아니라 인접한 전후 두 구간의 함수 $f_{i-1}(x)$ 와 $f_{i+1}(x)$ 에 의해 영향을 받으며, 이때 인접구간 함수들의 영향정도를, 전술한 바와 같이 측정하고자 하는 물리량 x 의 인접구간 함수와의 근접거리 및 두함수의 교차각도로 표현한다. 즉 이를 위하여 $f_{i-1}(x)$ 와 $f_{i+1}(x)$ 에 의한 근접거리의 영향정도를 각각 $L_i'(x), L_i''(x)$ 로 표기하는데, 측정량 x 가 ($i-1$)구간에 가까울수록 $f_{i-1}(x)$ 의 가중치가 더 크게되고 ($i+1$)구간에 가까울수록 $f_{i+1}(x)$ 의 가중치가 더 크게 될 수 있도록 함수형태를 선정하였다. 또한 두함수의 교차각도 θ_i 에 의한 영향을 $L_i(\theta_i)$ 로 표현하는데, θ_i 는 $-\pi \sim \pi$ 사이 존재하며 그 각도가 0° 에 가까울수록 인접한 두함수간에 서로 영향을 많이 받을 수 있도록, 즉 가중치가 크게 될 수 있는 형태의 함수를 선택하였다. 각각에 대한 가중치 함수는 (4), (5), (6) 및 그림 2와 같이 나타낸다.

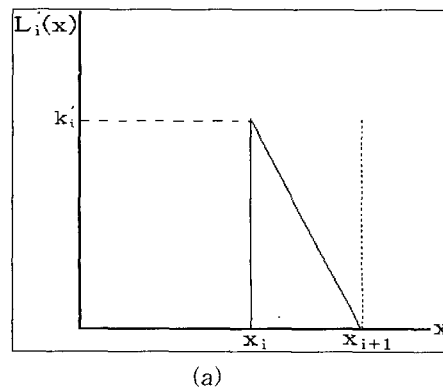
$$L_i'(x) = k_i' \frac{x_{i+1} - x}{x_{i+1} - x_i} \tag{4}$$

(단, k_i' 는 가중치함수의 최대 값, $i = 2, \dots, n$)

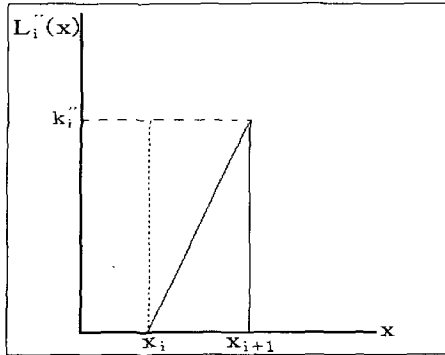
$$L_i''(x) = k_i'' \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} \tag{5}$$

(단, k_i'' 는 가중치함수의 최대 값, $i = 1, \dots, n-1$)

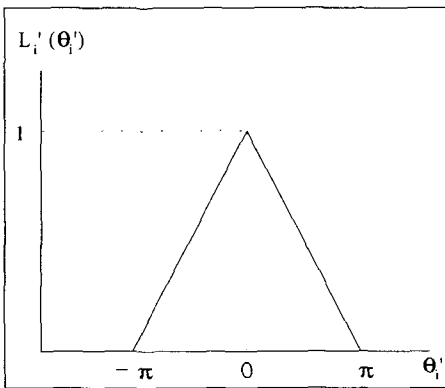
$$L_i(\theta_i) = \frac{\pi - |\theta_i|}{\pi} \quad (i = 2, \dots, n) \tag{6}$$



(a)



(b)



(c)

그림 2. 가중치 함수.

Fig. 2. Weighted functions.

각 구간별 직선의 방정식에 가중치 함수를 적용하여 선형화하기 위한 계측함수를 (7)과 같이 표현한다.

$$f_1(x) = f_2'(x) \cdot L_2'(\theta_2) \cdot L_1''(x) + (1 - L_2'(\theta_2) \cdot L_1''(x)) \cdot f_1'(x)$$

$$f_i(x) = \frac{1}{2} \{ \{ f_{i-1}'(x) \cdot L_i'(\theta_i) \cdot L_i''(x) + (1 - L_i'(\theta_i) \cdot L_i''(x)) \cdot f_i'(x) \} + \{ f_{i+1}'(x) \cdot L_{i+1}'(\theta_{i+1}) \cdot L_i''(x) + (1 - L_{i+1}'(\theta_{i+1}) \cdot L_i''(x)) \cdot f_i'(x) \} \}$$

(단, $i = 2, \dots, n-1$)

$$f_n(x) = f_{n-1}'(x) \cdot L_n'(\theta_n) \cdot L_n''(x) + (1 - L_n'(\theta_n) \cdot L_n''(x)) \cdot f_n'(x)$$

2. 가중치-곡선함수 보간법

II장 1절에서와 같이 전 계측구간을 n개의 부분구간으로 나누어 계측함수를 결정하는 경우를 고려한다. 곡선함수 보간법에서는 인접구간 함수들의 영향정도를, 전술한 바와 같이 측정하고자 하는 물리량 x의 인접구간 함수와의 근접거리만으로 표현한다.

인접한 두점만에 의해 표현되는 곡선함수를 $f_{i-1}'(x)$, $f_i'(x)$, $f_{i+1}'(x)$ 라 하고, 함수 $f_i(x)$ 가 $f_{i-1}'(x)$ 와 $f_{i+1}'(x)$ 와의 근접거리에 의해 영향받는 정도를 각각 (4), (5)의 가중치 함수로 나타낸다. 그러면 각 구간별 계측함수는 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$f_1(x) = f_2'(x) \cdot L_1''(x) + (1 - L_1''(x)) \cdot f_1'(x)$$

$$f_i(x) = \frac{1}{2} \{ f_{i-1}'(x) \cdot L_i''(x) + (1 - L_i''(x)) \cdot f_i'(x) + f_{i+1}'(x) \cdot L_i''(x) + (1 - L_i''(x)) \cdot f_i'(x) \}$$

(단, $i = 2, \dots, n-1$)

$$f_n(x) = f_{n-1}'(x) \cdot L_n''(x) + (1 - L_n''(x)) \cdot f_n'(x)$$

III. 디지털 온도계측시스템의 적용

1. 디지털 온도계측시스템의 제작

실제 디지털 온도계측시스템의 구축에 있어서 Pt-100 Ω을 온도센서로 사용하며, 센서의 저항값을 전압으로 증폭하여 센서의 측정범위인 -200.0 ~ 640.0°C에 대하여 1 scale을 0.1°C로 하여 8400 scale 전 범위를 측정 가능토록 하고, A/D변환을 위해 양산 체제에서 원가 절감을 이룰 수 있으며, 하드웨어적으로 간결하고 분해능도 우수한 V/F(전압/주파수)변환회로를 사용한다. 그림 3은 본 연구에서 제작한 실험용 온도계측시스템의 블럭선도를 나타내는데, 전계측구간을 3개의 부분구간으로 분할하여 계측함수를 결정한다. 이를 위하여 4개의 가변저항을 센서의 표준저항값으로 사용한 기준값 1, 2, 3, 4와 센서의 신호를 Multiplexer에 의해 순차적으로 입력받아 전압으로 증폭한 후 주파수로 변환한다. 그리고 μ-processor(8752)에서

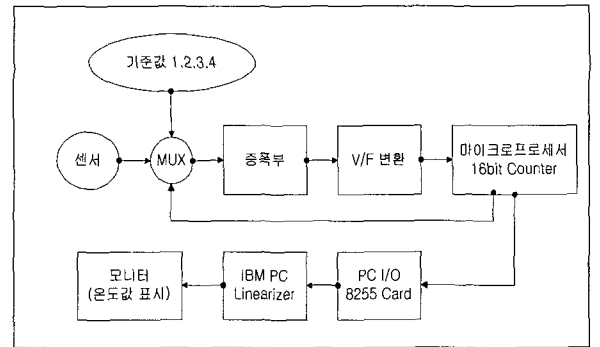


그림 3. 디지털 온도계측시스템의 구성.

Fig. 3. Structure of digital temperature measurement system.

주파수를 계수하여 양자화한 후 PC로 전송하고, 본 논문에서 제안한 가중치 함수 보간법을 이용하여 선형화하며 모니터에 온도값을 표시한다.

센서로서 비교적 선형성이 좋은 Pt-100Ω을 사용하나 V/F변환 및 μ-processor의 계수기능을 이용하여 주파수를 읽어 들이는 과정에서 비선형 특성 및 주위온도의 영향이 나타나게 되며, 이로 인해 계측오차가 발생하게 된다. 특히 비선형 특성에 의한 계측오차는 비선형 특성을 갖는 온도센서를 사용하는 경우에는 더욱 심화되므로 본 연구에서 제시한 선형화 기법이 더욱 큰 효과를 나타내게 된다.

2. 선형화기법 및 온도 오차보정법의 적용

양자화과정에서 야기되는 비선형 특성 및 주위온도의 영향을 전 계측구간에서 고려하여 기준온도 ($x_1, f(x_1)$), ($x_2, f(x_2)$), ($x_3, f(x_3)$), ($x_4, f(x_4)$)를 선정하게 되는데, 센서

가 취할 수 있는 최소값 $-200.0^{\circ}\text{C}(17.14\Omega)$ 를 x_1 으로 하고 $0^{\circ}\text{C}(100.00\Omega)$ 를 x_2 , $250.0^{\circ}\text{C}(195.67\Omega)$ 를 x_3 , 그리고 최대 값인 $640.0^{\circ}\text{C}(330.24\Omega)$ 를 x_4 로 취하여 측정하고자 하는 온도값(저항)이 x_1 이하이거나 x_4 이상일 경우 각각 센서의 단락 및 단선으로 취급하였다. 이 때 실제로 $x_1 \sim x_4$ 값은 각 기준온도에 대한 양자화 레벨을 나타내는 것으로 온도계측시의 주위환경(특히, 주위온도)에 따라 변화하게 된다. 단, 기준온도의 개수를 선정함에 있어서, 선정개수가 과다하면 하드웨어 구성이 복잡하게 되고 또한 비용이 증가하는 문제가 야기되며, 한편 선정개수가 너무 적으면 측정 정밀도가 저하하므로 측정구간에서의 온도변화특성을 고려하여 4개의 기준온도를 선정하였다.

그리고 전구간의 계측함수 $f(x)$ 는, $x_1 \leq x \leq x_2$ 의 구간에서는 $f_1(x)$, $x_2 \leq x \leq x_3$ 의 구간에서는 $f_2(x)$, $x_3 \leq x \leq x_4$ 의 구간에서는 $f_3(x)$ 인 계측함수로 구성하였다.

2.1 가중치-직선함수 보간법

II장 1절에서 제안한 방법을 적용하여 두 점만으로 이루어지는 구간별 직선의 방정식을 (9)와 같이 표현하며, 각 직선이 x 축과 이루는 각도는 (10)과 같다.

$$f_1(x) = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}(x - x_1) + f(x_1)$$

$$f_2(x) = \frac{f(x_3) - f(x_2)}{x_3 - x_2}(x - x_2) + f(x_2) \quad (9)$$

$$f_3(x) = \frac{f(x_4) - f(x_3)}{x_4 - x_3}(x - x_3) + f(x_3)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{f(x_3) - f(x_2)}{x_3 - x_2}\right) \quad (10)$$

$$\theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{f(x_4) - f(x_3)}{x_4 - x_3}\right)$$

또한, 서로 교차하는 직선간의 각도 및 각도에 의한 가중치 함수는 (11) 및 (12)와 같다.

$$\theta_2 = \theta_2 - \theta_1, \quad \theta_3 = \theta_3 - \theta_2 \quad (11)$$

$$L_2(\theta_2) = \frac{\pi - |\theta_2|}{\pi}, \quad L_3(\theta_3) = \frac{\pi - |\theta_3|}{\pi} \quad (12)$$

각 구간에서 인접한 직선과의 거리에 의한 가중치 함수는 (13)과 같이 표현한다.

$$L_1''(x) = 0.4 * \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$L_2'(x) = 0.5 * \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2}$$

$$L_2''(x) = 0.5 * \frac{x - x_2}{x_3 - x_2} \quad (13)$$

$$L_3'(x) = 0.7 * \frac{x_4 - x}{x_4 - x_3}$$

이때 상수는 계측오차가 최소가 되도록 정해진 최대 가

중치이다. 본 논문에서는 이들 상수를 정하기 위하여 먼저 실험을 통하여 계측하고자 하는 온도데이터의 양자화 레벨을 구하였다. 그리고 구해진 데이터를 제안된 함수에 적용하고, 상수를 0.1 ~ 1.0범위에서 0.1씩 증가시켜 가며 시뮬레이션한 후 계측오차가 최소가 되게 하는 값을 선택하였다.

(9) ~ (13)을 (7)에 적용하면 각 구간별 온도 계측 방정식은 (14)로 나타난다.

$$f_1(x) = f_2'(x) \cdot L_2'(\theta_2) \cdot L_1''(x) + (1 - L_2'(\theta_2) \cdot L_1''(x)) \cdot f_1'(x)$$

$$f_2(x) = \frac{1}{2} [\{ f_1'(x) \cdot L_2'(\theta_2) \cdot L_2'(x) + (1 - L_2'(\theta_2) \cdot L_2'(x)) \cdot f_2'(x) \} + \{ f_3'(x) \cdot L_3'(\theta_3) \cdot L_2''(x) + (1 - L_3'(\theta_3) \cdot L_2''(x)) \cdot f_2'(x) \}] \quad (14)$$

$$f_3(x) = f_2'(x) \cdot L_3'(\theta_3) \cdot L_3'(x) + (1 - L_3'(\theta_3) \cdot L_3'(x)) \cdot f_3'(x)$$

2.2 가중치-곡선함수 보간법

II장 2절에서 제안한 방법에 있어서 곡선함수로서는 (15)와 같은 지수함수를 사용하였다. 이때 α_i 와 β_i ($i = 1, 2, 3$)는 점 $(x_i, f(x_i))$ 및 $(x_{i+1}, f(x_{i+1}))$ 에 의해 정해지는데, 온도계측시의 주위환경에 따라 기준온도의 양자화 레벨 $x_1 \sim x_4$ 가 수시로 변화하므로 이 계수들도 달라진다.

$$f_1'(x) = \alpha_1 e^{\beta_1 x} \quad f_2'(x) = \alpha_2 e^{\beta_2 x}$$

$$f_3'(x) = \alpha_3 e^{\beta_3 x} \quad (15)$$

각 구간에서 인접한 곡선과의 거리에 의한 영향만을 고려하며, 가중치 함수는 가중치-직선함수 보간법에서 사용한 함수와 같다.

(13), (15)를 (8)에 적용하면 각 구간별 온도 계측방정식은 (16)과 같이 된다.

$$f_1(x) = f_2'(x) \cdot L_1''(x) + (1 - L_1''(x)) \cdot f_1'(x)$$

$$f_2(x) = \frac{1}{2} \{ f_1'(x) \cdot L_2'(x) + (1 - L_2'(x)) \cdot f_2'(x) \} + f_3'(x) \cdot L_2''(x) + (1 - L_2''(x)) \cdot f_2'(x)$$

$$f_3(x) = f_2'(x) \cdot L_3'(x) + (1 - L_3'(x)) \cdot f_3'(x) \quad (16)$$

3. 실험결과 및 고찰

실험은 먼저 기존의 Lagrange 보간법, 지수함수에 의한 곡선의 적합(Curve-fitting) 및 구간별 직선함수를 각각 이용한 온도계측기법과 제안한 선형화 방법 및 4개의 기준값을 이용한 온도계측기법의 정밀도를 비교, 검토하기 위해 실온 30°C 에서 시행하였다. 이때 기존의 방법에서도 양자화 과정을 거친 4개의 기준값을 이용하여 계측함수를 구성하였다. 그리고 주위의 온도변화에 따라 발생하는 오차의 보정 결과를 확인하기 위하여 제작한 실험용 온도계측시스템으로 각각 -10°C , 70°C 의 주위온도에서 실험을 하였다. 실험에 있어 계측하고자 하는 입력온도로서는,

Pt-100Ω 온도센서의 온도-저항특성에 따라 -200.0 ~ 640.0°C 구간의 각 온도에 해당하는 저항값을 표준입력장치용 'Decade Resistance Box'로 생성시켜 이용하였다. 표 1은 실험에 사용된 장치를 나타내었고, 또한 실온 30°C에서의 실험을 통하여 각각의 계측방법에 대한 정밀도를 비교한 결과가 표 2에 나타나 있다.

표 1. 실험용 장치.

Table 1. Experimental devices.

형 명	규 격	비 고
DECADE RESISTANCE BOX	MAX : 1111.210Ω MIN : 0.100Ω	표준 입력장치용 (센서 대응)
IBM PC	INTEL 80386	오차보정 및 측정온도 지시용
I/O CARD	8255	I/O ADDRESS 300-303(HEX) 사용
항온 BOX	500mm×400mm×200mm	70°C 실험용
온도조절기	-100.0°C~100.0°C ON/OFF	항온 BOX 제어용
냉장고	180ℓ 냉동실	-10°C 실험용

표 2. 계측 정밀도의 비교.

Table 2. Comparison of measurement accuracy.

항 목	Lagrange 보간법	곡선의 직합 (지수함수)	구간별 직선함수	가중치-직선함수	가중치-곡선함수
계측 오차의 평균	-21.59	-3.44	-25.3	-1.74	0.23
계측 오차의 표준편차	45.30	58.06	13.10	3.06	1.00
계측오차 절대값 평균	29.09	48.02	25.30	2.90	0.75
계측오차 절대값의 최대값	160.0	142.2	46.0	8.0	2.5

그림 4는 측정할 온도 즉 입력온도와 양자화 레벨의 특성을 나타내는 것으로 본 논문에서 사용한 Pt-100Ω은 선형성이 좋은 온도센서이나 양자화 과정에서 비선형 특성이 발생함을 알 수 있다. 이러한 비선형 특성은 기존의 방법에 의한 계측함수로는 충분히 보상할 수 없어 표 2 및 그림 5~7의 계측결과에서 보는 바와 같이 계측오차(입력온도-출력온도)가 증가하여 계측정밀도가 저하하게 된다. 그러나, 그림 8 (a)와 그림 9 (a)의 특성을 보이는 제안된 방법에 의해 구성된 계측함수로는 그림 4의 입력온도와 양자화 레벨의 비선형 특성을 충분히 보상할 수 있어, 입력온도와 출력온도사이에 선형적인 변화특성을 갖게하므로써 계측 정밀도가 대단히 향상됨을 표 2 및 그림 8 (b)와 그림 9 (b)로 부터 확인할 수 있다.

또한 그림 10 및 그림 13으로부터 주위온도의 변화에

따라 계측하고자 하는 입력온도의 양자화 레벨사이에는 상당히 큰 차이가 생김을 알 수 있는데, 그럼에도 불구하고 그림 11, 12, 14, 15에서 보는 바와 같이 실온 30°C에서와 비슷한 계측 정밀도를 보임으로서 제안한 방법이 온도 보정능력도 대단히 우수함을 확인할 수 있었다. 그런데 그림 8, 9와 그림 11, 12, 14, 15를 비교해 보면 주위온도가 -10°C 및 70°C인 경우의 계측오차가 실온 30°C인 경우에 비해 약간 큰 것으로 나타나 있는데, 이것은 4개의 기준저항값으로 사용한 가변저항 자체의 저항값이 주위온도의 영향을 받아 변화한 때문으로 고정밀 저항으로 대체하므로써 해결할 수 있다.

그리고 그림 4에서 보는 바와 같이 비선형 특성이 일정한 형태의 곡선임을 알 수 있는 경우에는 제안한 방법중에서 가중치-곡선함수 보간법을 이용한 선형화 기법이 계측 정밀도를 향상시키는 데 유리할 것으로 사료된다.

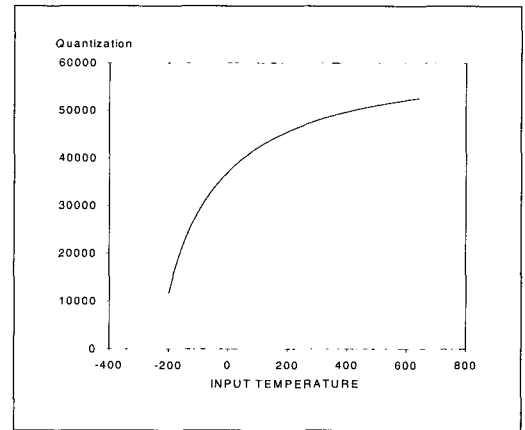


그림 4. 입력온도와 양자화 레벨의 비선형 특성 [30°C 경우].

Fig. 4. Nonlinearity of input temperatures and Quantization levels of input temperatures [at 30°C].

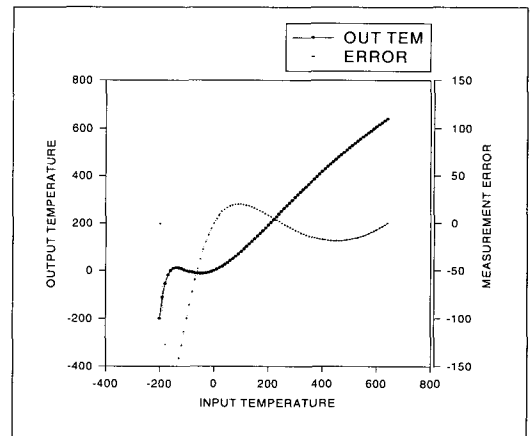


그림 5. Lagrange 보간에 의한 계측결과 [30°C 경우].

Fig. 5. Measurement results by Lagrange interpolation [at 30°C].

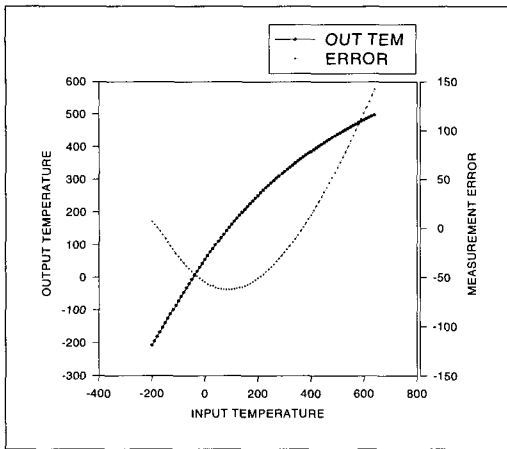


그림 6. 곡선의 적합에 의한 계측결과 [30°C 경우].
Fig. 6. Measurement results by curve-fitting [at 30°C].

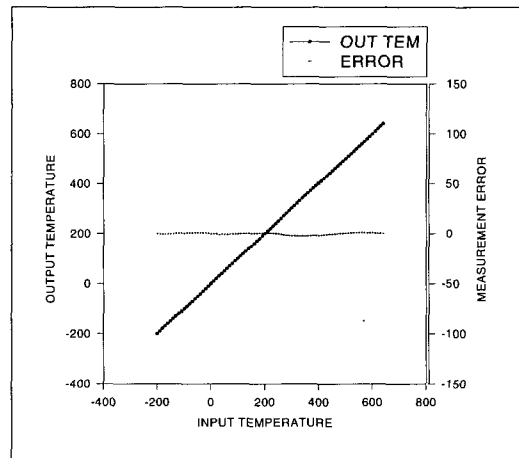


그림 9. 가중치-곡선함수에 의한 계측결과 [30°C 경우].
Fig. 9. Measurement results by weighted curve-fitting functions [at 30°C].

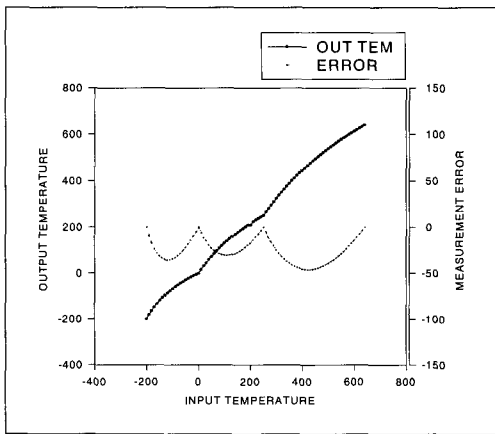


그림 7. 구간별 직선함수에 의한 계측결과 [30°C 경우].
Fig. 7. Measurement results by piecewise linear functions [at 30°C].

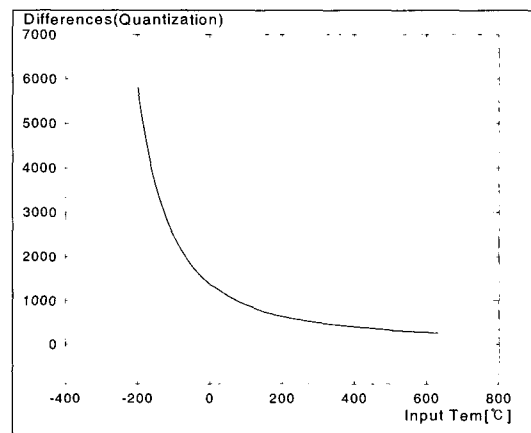


그림 10. 입력온도의 양자화 레벨의 차[30°C와 -10°C에서].
Fig. 10. Differences of quantization levels of input temperatures [at 30°C, -10°C].

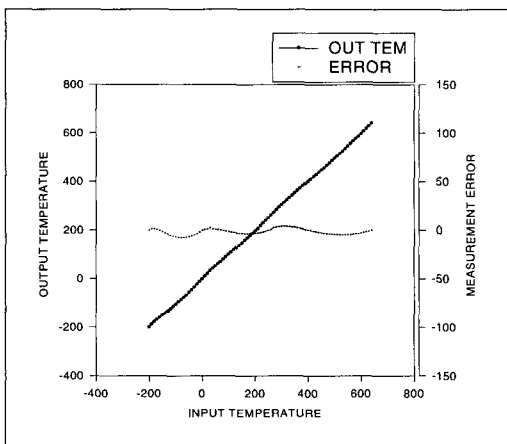


그림 8. 가중치-직선함수에 의한 계측결과 [30°C 경우].
Fig. 8. Measurement results by weighted linear functions [at 30°C].

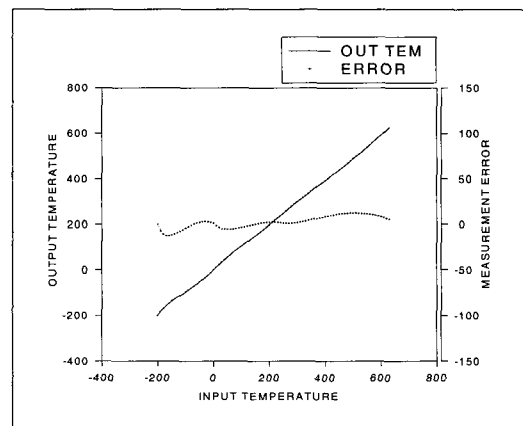


그림 11. 가중치-직선함수에 의한 계측결과[-10°C 경우].
Fig. 11. Measurement results by weighted linear functions [at -10°C].

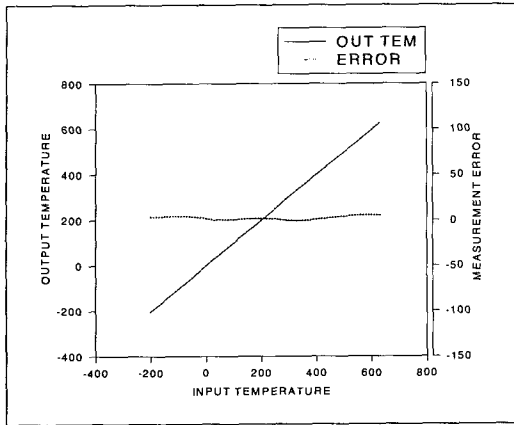


그림 12. 가중치-곡선함수에 의한 계측결과[-10°C 경우].
Fig. 12. Measurement results by weighted curve functions [at -10°C].

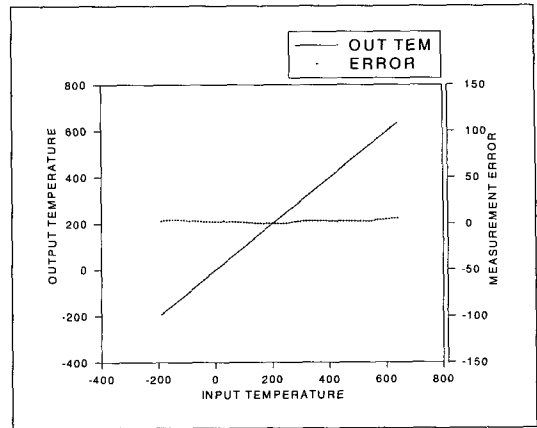


그림 15. 가중치-곡선함수에 의한 계측결과[70°C 경우].
Fig. 15. Measurement results by weighted curve functions [at 70°C].

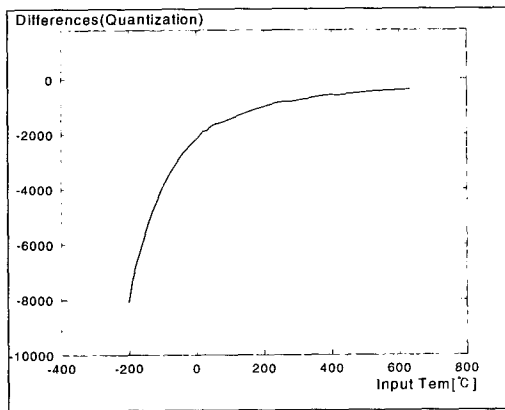


그림 13. 입력온도의 양자화 레벨의 차[30°C와 70°C에서].
Fig. 13. Differences of quantization levels of input temperatures [at 30°C, 70°C].

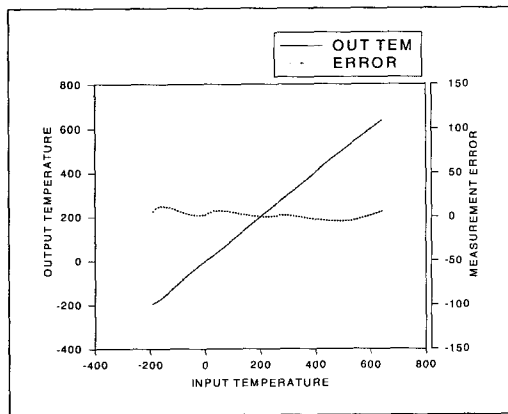


그림 14. 가중치-직선함수에 의한 계측결과[70°C 경우].
Fig. 14. Measurement results by weighted linear functions [at 70°C].

IV. 결론

본 논문에서는 디지털 계측시스템에 있어서 구성소자의 정밀도 및 주위온도등의 환경변화에 따른 회로소자의 특성변화로 발생하는 계측오차의 보정방법과 시스템의 비선형특성으로 인해 야기되는 계측정밀도의 저하를 줄이기 위한 선형화 기법을 제시하였다. 제시한 방법을 온도계측에 도입하여 실제의 디지털 온도 계측시스템을 설계, 제작하고 실험을 통하여 계측정밀도를 평가하였다. 그 결과, 제안한 계측방법이 기존의 방법에 비해 온도보정 및 선형화 능력이 대단히 우수하여 계측 정밀도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 제안한 방법은 온도센서의 동특성이 비선형성을 띠는 경우에 계측정밀도의 향상효과가 더욱 클 것으로 기대되며, 온도계측이외에 다양한 디지털 계측시스템의 구성시에도 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

앞으로 가중치함수에서 사용하는 비례상수의 최적값을 구하는 알고리즘에 관한 연구와 단일프로세서에 적용이 가능하도록 software 알고리즘의 단순화 및 축소를 위한 연구가 계속되어야 하겠다.

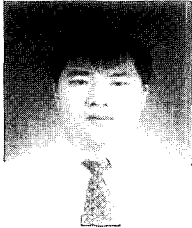
참고문헌

- [1] 오명환외 2인, “정밀 계측 기술의 개발현황”, 대한전기학회지, 제3권 제4호, 4. 1984.
- [2] “온도측정”, 생산기술연구원, 1992.
- [3] 裴吉鎬, 金炯奎, 蘇成信, 鄭學在, “熱電對” 우진기술연구소, 1990.
- [4] John N. Lygouras, “Memory reduction in look-up tables for fast symmetric function generators”, *IEEE Trans. on Inst.* vol. 48, no. 6, pp. 1254-1258, 1999.
- [5] J. R. Yang and J. T. Lue, “A microcomputer -based programmable temperature controller”, *IEEE Trans. on Inst.* vol. 36, no. 1, 3. 1987.
- [6] 홍성훈, “Fuzzy이론을 이용한 디지털 온도계측시스템의 구현”, 청주대학교 대학원 석사논문, 1997.
- [7] S. T. Tuohy, T. Maekawa, G. Shen, and N. M.

Patrikalakis, "Approximation of measured data with interval B-splines", *Computer-Aided Design*, vol. 29, no. 11, pp. 791-799, 1997.

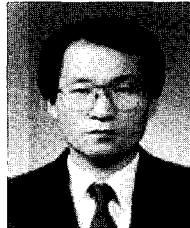
[8] 김태영, "A-D/D-A 변환 회로의 설계와 응용", 우진출판사, pp. 105-115, 1989.

[9] P. Menini, G. Blasquez, P. Pons, X. Chauffleur, P. Dondon, and C. Zardini, "Performances and potentialities of a very simple self-compensated pressure sensor demonstrator", *IEEE Trans. on Inst.* vol. 48, no. 6, pp. 1125-1130, 1999.



홍성훈

1967년 9월 14일생. 1992년 청주대 물리학과 졸업. 1997년 청주대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자공학과 박사과정.



강문성

1954년 12월 2일생. 1978년 한양대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 일본 교토대 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1979년 ~ 1991년 한국전력공사 선임연구원. 1991년 ~ 현재 청주대 전자공

학과 부교수.