

지능형 온도 전송기의 시스템 안정성과 온도 보상

이동규, 박재현, 김영수, 조영학
인하대학교 자동화 공과, 한국 웨드 시스템

Reliable Conversion and Compensation for Temperature of STT

Dongkyu Lee, Jaehyun Park, Youngsu Kim, Younghak Cho
Automation Engineering, Inha University, Korea WAD System

Abstract - There are two cases of error occurrence of STT(Smart Temperature Transmitter). One is that because of unstable reference voltage, data from A/D converter is not reliable. The other is that because of change of room temperature, this change affects conversion of A/D converter.

In this paper, we show algorithms be adapted to STT for reliable conversion of A/D converter through a experiment and compensation for temperature change. In a experiment, we collect data from reference voltage and ground then calculate nominal value of these at constant temperature during A/D converter initialization or at any conversion time. Algorithm for compensation for unstable reference voltage calculates a correction factor and adapts it to compensation for malfunction of A/D converter. Algorithm for compensation for variation of room temperature is come from linearization of thermistor but is adapted to zener diode, not thermistor. therefore we have less effort for compensation for temperature and have a idea that it can be adapted to A/D converter system.

1. 서 론

중·소형단위 제어 시스템에서 원자력 발전소와 같은 초대형 분산 제어 시스템에 이르기까지 지능형 온도 전송기는 반드시 필수적인 정밀 계측 기기이다. 지능형 온도 전송기란 외부 센서로부터 입력되는 전압을 온도 신호로 변환하여 중앙 PC로 전송을 하고 외부 제어기기에 전류 신호를 전달하는 기기이다. 그럼 1은 온도 전송기가 사용이 되는 분산 환경을 나타낸다.

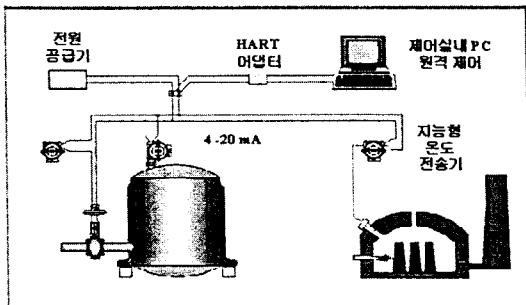


그림 1. 지능형 온도 전송기의 분산 환경.

현재 분산환경에서 이용되는 온도 측정 방식은 크게 아날로그 방식과 디지털 방식으로 나된다. 아날로그 방식은 측온 저항체나 열전대와 같은 외부 센서에서 입력

되는 전압을 직접 4 - 20mA의 전류 신호로 변환하여 전송하는 방식이며 디지털 방식은 입력 전압을 디지털화하여 PC로 전송하는 방식이다.

그러나 아날로그 방식의 온도 전송기는 외부 센서에 따라 현장에서 보상값을 조정해야 하는 사용상의 문제점이 있다.

개발된 지능형 온도 전송기(Smart Temperature Transmitter)는 두 가지 방식을 지원하고 있으며 PC에서 고정밀 온도 계측과 센서에 따른 전송기의 보상값 조정을 원격으로 할 수 있다.

온도 전송기에서 발생하는 대부분의 오차는 아날로그 디지털 변환기의 입력 부분과 변환기 자체에서 발생하게 된다. 아날로그 디지털 변환기 자체의 오차는 변환기로 입력되는 기준 전압의 불안정성으로 발생한다. 변환기 입력 부분의 오차는 주변 온도 변화에 따른 회로 소자의 온도에 의한 특성으로 인해서 발생한다. 온도에 의한 변동은 결국은 아날로그 디지털 변환기의 입력전압에 영향을 미치게 된다.

본 논문은 지능형 온도 전송기에서 온도를 디지털로 변환하는 과정 중 발생하는 오차를 보정하고 보다 신뢰성 있는 변환을 위한 알고리즘 적용과 구현에 관한 논문이다.

본문은 3가지 주제로 다음과 같이 구성된다.

1. 지능형 온도 전송기의 내부 구조
2. 시스템의 불안정으로 인한 변환기의 오차 보상 실험 및 보상 알고리즘.
3. 주변 온도 변화에 따른 입력 신호와 변환기 보상에 관한 알고리즘.

2. 본 론

2.1 지능형 온도 전송기 구조

분산환경의 온도 전송용 센서는 두 가지 종류가 있다. 온도변화에 따라 전압이 변하는 열전대 (Thermocouple)와 저항 값이 변하는 측온 저항체(RTD)가 있다. 측온 저항체인 경우 전압 신호를 얻기 위해서 정전류를 입력 모듈로 흘려 보낸다.

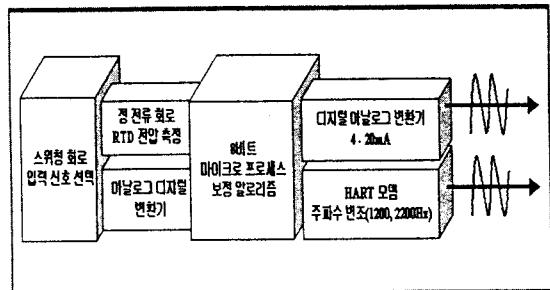


그림 2. 지능형 온도 전송기 내부 구조.

지능형 온도 전송기의 구조는 그림2와 같이 센서의 입력을 스위칭하는 입력 부, 온도 변환과 보정 프로그램을 수행하는 마이크로프로세스 부, 온도 데이터를 전류와 주파수로 변조하여 보내는 출력부로 분류한다. 센서로부터 입력된 전압은 스위칭 회로를 통해서 아날로그 디지털변환기로 입력된다. 변환기는 변환 후 16비트 데이터를 CPU로 출력한다. CPU는 온도 변환과 보정을 수행한 후, 외부 분산 제어 기기로 4-20mA의 전류를 흘려 보내주고 동시에 HART 모뎀을 통해서 1200Hz와 2200Hz로 주파수 변조 후 HART 어댑터가 부착된 PC로 ASCII 데이터를 전송한다.

2.2 온도 전송기 오차 보정 알고리즘 및 실험

온도 전송기의 오차는 아날로그 디지털 변환기에서 발생하거나 전송기 입력 부에서 발생한다. 오차 보상을 위한 실험을 통해서 변환기 오차 보상 및 보정 알고리즘을 제시하고 온도 변화에 의한 오차 보정 알고리즘을 제시한다.

본 실험에서 사용하는 아날로그 디지털 변환기는 16비트 출력 데이터 형식과 시그마 멜타 방식으로 동작을 한다. 변환기의 동작 모드는 양극만을 측정하는 단 방향 측정 모드와 양극과 음극을 측정하는 양방향 측정 모드로 나뉜다. 본 실험은 변환기를 양 방향 측정 모드로 설정하고 샘플링 속도는 125KHz로 한다. 변환기를 통해서 얻은 데이터는 MATLAB을 사용하여 변환기의 특성을 모델링하여 보정식을 구하고 오차는 EXCEL로 변화 폭을 보여 준다.

2.2.1 아날로그 디지털 변환기 오차 및 실험

본 실험은 상온(25 °C)이며 입력 부의 소자는 상온의 특성을 갖는다. 따라서 온도에 의한 입력부 소자의 오차는 없고 오차는 아날로그 디지털 변환기내에서 발생한다. 이때 변환기의 오차는 변환기 초기화시에 참조되는 기준 전압의 변동과 변환기 특성으로 기인한다.

실험은 보상 알고리즘을 적용하기 전과 적용후의 두단계로 진행한다. 두 실험 모두 외부에서 캘리브레이터(Calibrator)의 정 전압을 입력하고 자체 개발한 원도우즈용 PC 모니터링 프로그램으로 변환기의 데이터를 모니터링 한다. 일반적으로 온도 전송기에서는 하드웨어 필터링 또는 소프트웨어 필터링을 사용하여 노이즈에 의한 오차를 제거한다. 하드웨어 필터링은 회로가 복잡해지고 노이즈가 발생이 확률이 증가한다. 따라서 소프트웨어 필터링이 반드시 수반되어야 한다. 소프트웨어 필터링은 산술평균, 이동 평균이 있다. 본 실험에서도 산술, 이동 평균을 사용한다.

(a) 보상 알고리즘이 없는 경우.

하드웨어, 소프트웨어 필터링을 해도 변환기의 변환 특성으로 인한 오차를 줄이기는 어렵다.



그림 3. 보상 전 기준 전압 측정 오차.

그림 3은 변환기로 입력된 기준 전압에 대한 변환기 데이터의 오차이다. 전송기 오차 허용 범위(상한선, 하한선) 밖의 데이터들이 많이 있음을 알 수 있다. 발생한 오차는 온도 측정 대상의 제어 오류를 초래해 심각한 문제를 발생하게 된다.

일반적으로 변환기 오차는 다음과 같이 분류된다.

- 비 선형성으로 인한 오차

비 선형성으로 인한 오차는 0.0015%로 거의 무시가 된다. 그림4는 변환기 변환 특성이 선형성을 가짐을 보여준다. 그림4의 그래프를 MATLAB을 통해 일차 근사식을 구하면 다음과 같다.

$$\text{일차 근사식 : } Y = a \cdot X + b$$

$$a = 0.04167662717287 * 1.0e+004$$

$$b = 3.27336498777890 * 1.0e+004$$

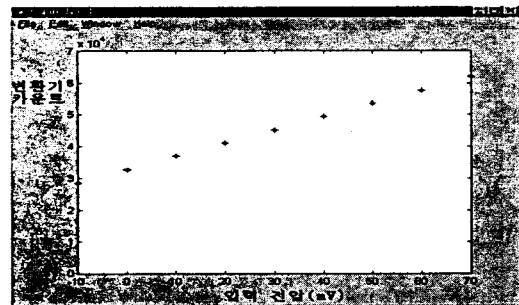


그림 4. 아날로그 디지털 변환기의 선형성.

- 최고치, 최저치, 중간치 설정 오차

온도 전송기 시스템의 전압 불안정으로 인해 변환기의 변환 동작에 기준이 되는 최대치, 최소치, 중간치의 변화를 가져오게 된다. 이런 변화는 같은 입력에 대하여 다른 값으로 변환을 일으킨다. 이 오차가 변환기 오류 중에 큰 비중을 갖는 오차로 본 실험의 보상 알고리즘은 이 오차를 줄이는데 효과적이다.

- 온도 변화에 의한 오차

온도 변화에 따른 최고치, 최소치 중간치의 변화는 본 실험의 항온 조건으로 인해 고려하지 않는다.

(a) 보상 알고리즘을 적용한 경우.

- 기존의 보상 알고리즘

기존의 알고리즘은 전송기의 자가 진단 시스템을 가지고 있어야 한다. 자가 진단 시스템이란 온도에 해당하는 온도 전압 뿐만 아니라 기준 전압이나 공통 전압(Ground Voltage)을 부과적으로 측정하여 항상 시스템의 상태를 파악하는 시스템이다. 전송기는 부착되는 센서의 종류에 따라 냉점 보상이나 정전류 보상을 위한 시스템 내의 다른 전압도 측정할 수 있다. 측정된 시스템의 상태 정보는 변환기의 드리프트 오차를 보정하는 데 사용된다. 변환기가 일차 변환 특성을 가지므로 일차로 보정식을 적용한다.

식1. 일차 보정 방정식

$$Y = \frac{X - Ground}{Reference - Ground} * mVFactor + offset$$

Y : 입력에 대한 보상 전압 mV,

X : 입력 변환 값,

$Ground$: 공통 전압 변환 값,

Reference : 기준 전압 변환값,

mVFactor : 변동이 없을 때 기준 전압에 해당하는 값
offset : 계산 오차 보정값

- 실험에 적용된 보상 알고리즘

변환기가 일차 변환 특성 방정식으로 모델링이 되기 때 문에 식1의 일차 보정식을 사용하는 것은 기준의 알고리즘과 같다. 하지만 기준의 알고리즘으로는 불안정한 전압을 보정하기에 많은 오차가 발생한다. 따라서 기준의 알고리즘을 적용하기 이전에 구간을 나누어 보정 파라미터를 구한다. 구간은 공통 전압과 기준 전압간의 폭을 기준으로 구분하고 보정 파라미터는 실험을 통하여

하기 위해 소프트웨어 필터링을 사용한다.

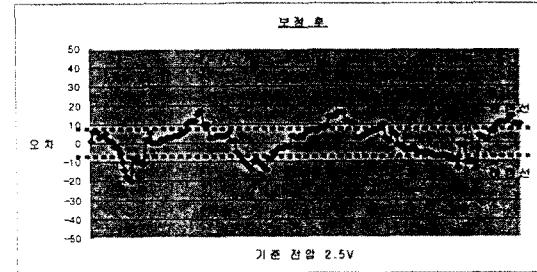


그림 6. 보정 후 기준 전압 측정 오차.

그림 6은 보정 후 오차 허용 범위 밖의 데이터들이 줄어들고 있음을 알 수 있다.

2.2.2 주변 온도 변화에 의한 오차

온도에 의한 오차를 정확히 보상하기는 어렵다. 온도 변화에 의한 오차를 보상하기 위해서는 항온 조에서 반복적이고 많은 실험으로 보상 파라미터를 얻어야 한다. 따라서 시간과 비용이 많이 들게 된다. 본 논문에서는 온도 전송기 시스템의 주요 오차 발생 소자의 온도 특성을 이용한 온도 보상의 방법을 제시한다.

온도 변화에 따른 아날로그 디지털 변환기의 오차는 최고점, 최저점, 중간점의 드리프트 오차가 발생하며 입력 부는 소자의 온도에 따른 특성으로 인해서 센서의 입력 신호가 변형되어 변환기 입력 오차를 초래한다.

온도 변화에 대한 변환기의 오차는 변화된 온도만 구할 수 있으면 변환기 사양을 참조하여 변화된 온도 만큼의 오차를 보상할 수 있다.

(a) 기준의 온도 보상 방법

온도 보상하는 방법은 주변 온도 측정용 센서 더미스터(Thermistor)를 사용하는 방법이 있다. 그러나 더미스터는 변환기의 온도 보상보다는 센서의 냉점 보상에 사용된다. 뉴튼-랩슨법으로 더미스터의 보정식을 구하면 식2와 같다. 식2를 온도 구간 별로 근사 시켜 온도를 구한다.

식2. 더미스터 보정식

$$R = R_0 \exp[B(1/T - 1/T_0)]$$

R : 임의 온도 T에서 저항치, T : 임의 온도[K]

R_0 : 기준 온도 T_0 에서 저항치, B : B상수

(b) 제안한 온도 보상 방법

변환기의 온도에 대한 동작 오차는 전송기 오차 허용 수준과 비교하면 작아서 민감하게 보정을 할 필요는 없다. 따라서 더미스터를 이용하여 변환기의 온도 오차 보정을 할 필요는 없다. 기준의 방법은 많은 구간을 나누고 각 구간마다 정밀하고 반복적인 실험을 해야만 하며 더미스터는 변환기가 소자인 시스템에 반드시 포함되는 소자는 아니며 고가이다.

온도 변화 특성이 적은 소자인 제너 다이오드를 이용한 보상은 구간이 많을 필요 없고 아날로그 디지털 변환기가 소자인 시스템에서는 변환기의 기준 입력 전압을 생성하기 위해 제너 다이오드는 일반적인 소자이며 저가이다. 따라서 아날로그 디지털 변환기가 소자인 시스템에서는 더미스터보다 제너 다이오드로 보상하는 것이 더 효율적이다.

기본적인 방법은 더미스터를 사용한 온도 보상법과 같다. 측정 온도 범위를 설정하고 적당한 구간으로 등간격으로 나눈다. 실험을 통하여 구간 별 일차 근사식을

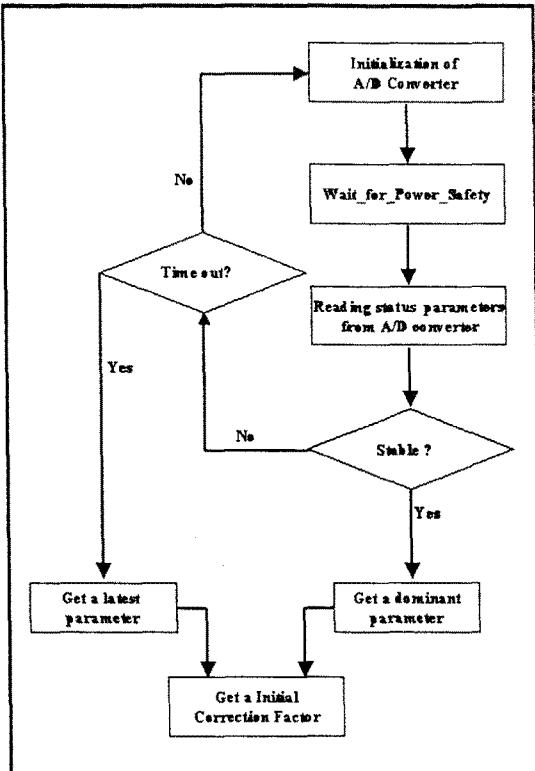


그림 5. 순서도: 아날로그 디지털 변환기

보정 알고리즘의 초기 루틴.

(Procedure AD_Converter_Init. & Correction)

구간마다 각각 값을 알아낸다.

그림 5는 보상 알고리즘의 루틴 중 초기 플로우 차트이다. Procedure AD_Converter_Init. & Correction은 처음에 아날로그 디지털 변환기가 초기화 될 때 기준 전압과 공통 전압을 알기 위해서 전압이 안정화 될 때를 주시하고 있다. 전압이 안정이 되면 변환기 초기화를 다시 하고 이때의 기준 전압과 공통 전압을 측정한다. 두 값의 차이는 보상 파라미터를 얻는 기준이 되고 보상 파라미터는 ROM에 구간 별로 저장이 되어 있다. 그림5의 순서도 다음에 구간별 보정 파라미터 적용 루틴이 있고 동적으로 파라미터를 적용한다.

전송기의 자가 진단 시스템에서 얻은 기준 전압과 공통 전압의 차이로 시스템의 불안정을 판단하게 되고 두 값의 차이를 이용해 구간 별로 보정 파라미터를 구한다. 그리고 노이즈로 인해 시스템 상태를 오판하지 않도록

구한다. 이때 근사식은 전송기의 허용 오차 범위 안에 있도록 한다. 제너 디이오드는 온도에 민감한 소자는 아니나 변환기의 온도에 의한 오차 허용 범위가 넓기 때문에 구간을 더미스터에서 적용되는 많은 온도 간격은 필요하지 않다. 상온 25 °C를 기준으로 20 °C씩 6간격이면 충분이 전송기 오차 허용 범위에 들기 때문에 적은 실험을 할 수 있다. 계산된 근사식에서 단지 20 °C간격의 온도 데이터를 구하여 온도 보상을 한다.

결 론

본 논문은 지능형 온도 전송기 시스템의 구조와 사용되는 분산 환경에 대한 기술과 온도 전송기에서 발생되는 주요 오차를 하드웨어의 불안정성으로 인한 오차와 온도 변화로 인한 입력 부와 변환기에서의 오차로 구분하였다.

하드웨어의 불안정은 기준 전압의 불안정성을 초래했고 기준 전압의 불안정성은 아날로그 디지털 변환기의 오차를 초래했다. 변환기의 오차는 자가 진단 시스템으로 기준 전압과 공통 전압을 감시하면서 보정 파라메터를 조절하는 알고리즘으로 오차를 효과적으로 줄일 수 있었다. 온도 변화에 의한 오차는 소자의 온도 특성을 고려한 방법을 제시했다.

지능형 온도 전송기의 부가가치는 매우 높으며 앞으로 남은 부분은 제안한 온도 보상 방법의 실효성과 신뢰성을 높이기 위해 실험 데이터를 통해서 증명하는 일이다.

(참 고 문 현)

- [1] Richard C.Dorf, "Introduction to Electric circuit", John Wiley & Sons, Inc ,2권 , PP.53-74, 1993
- [2] Glenn Zelniker, "Advanced Digital Signal Processing", Marcel kker, Inc ,1권, PP.425-523, 1994
- [3] Hasan, Kamrul, "Accurate noise compensation technique for the identification of multichannel AR processes with noise", Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2권, PP.401-404, 1995 5
- [4] 이채옥 "디지털 신호처리", 청문각, 1권 , PP.314-325, 1994 7
- [5] John R.Treichler, "Allocation of Adaptivity to Multistage Digital Filters", Proceedings of the 1992 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing ,4권 , PP.489-490, 1992 3