

The Development of Multi-Function Measurement Module for RTD and 4-20[mA] Analog Input

朴鍾讚* · 金炳鎭**
(Jong-Chan Park · Byung-Jin Kim)

Abstract - In this paper, multi-functional measurement module for RTD and 4-20mA Analog input is presented. As you know, In many industry field, RTD has been used for measuring a temperature. Although It have good properties such as wide measurement range, accuracy, the hardware or software compensation methods were applied to better linearity in many applications.

According to this paper, a simply approximation method and various measuring technique are proposed to compensate large lead's resistance influence in RTD temperature measurements. As the experiment and simulation results, it is proved that the proposed method has good performance of measuring temperature. Additionally, with the CAN based communication, remote monitoring and parameter setting functions are realized..

Key Words : RTD(Resistance Thermal Detector), CAN(Control Area Network), SCADA

1. 서 론

산업전반에 걸친 산업화와 자동화가 이루어지고 있는 과정에서 다양한 센서나 트랜듀서가 개발되고 있다. 센서나 트랜듀서의 결과 값을 계측하기 위해서는 다채널 아날로그 입력 모듈이 필요하다. 아날로그 입력 모듈을 통해 속도, 압력, 벨브 위치, 온도, 가속도등 다양한 센서의 출력을 받아들일 수 있다. 이러한 아날로그 입력 모듈은 공장 자동화, 선박, 자동차, 가정용 기기등 산업체 모든 분야에서 사용된다.

아날로그 입력은 대개 4-20[mA] 정전류 입력이나 저항입력을 계측할 수 있는 RTD 모듈로 구성된다. 4-20mA 정전류 입력과 RTD 모듈은 회로 구성이나 보상기법이 상이하여 혼용하여 사용하기 힘들기 때문에 별도의 모듈로 구성한다. 이렇게 두 개의 별도의 모듈을 구입해야 하므로 경제적인 면에서 약점을 갖는다[1][2].

본 연구에서는 아날로그 입력 모듈은 4-20[mA]와 RTD를 혼용해서 사용할 수 있는 범용 아날로그 입력 모듈을 개발하고자 한다. 저가의 마이크로 프로세서를 이용하여 기존의 하드웨어적으로 처리했던 부분을 소프트웨어적으로 처리하여 경제성과 유연성을 증가시키고자 한다. 즉 저역통과 필터나 비선형 보상회로를 소프트웨어적으로 처리하여 하드웨어적인 부담을 줄이게 구성한다.

또한 RTD 온도 측정시에 발생하는 선로 저항과 자체 저항에 의한 오차를 근사화 방법을 이용하여 보상할 수 있는 기법을 개발하여 한정된 메모리를 갖는 저가의 프로세서에도 정확한 저항 측정이 가능하게 구성하고자 한다. 이와 더불어 현장에서 필요한 다양한 결선 방식을 제공하며 실시간성과 신뢰성이 우수한 CAN2.0B 프로토콜을 이용하여 원격에서의 모니터링과 셋팅이 가능하게 구성한다.

2. 산업현장에서의 아날로그 계측

아날로그 입력 모듈은 대개 현장에 연결된 센서나 트랜듀서의 출력 전류를 계측한다. 계측하는 범위는 국제규격인 4-20[mA]인 경우가 일반적이다. 따라서 센서나 트랜듀서는 입력된 신호의 크기에 따라서 4-20[mA]의 정전류 출력을 발생하게 되고 이러한 전류를 정확하게 입력받기 위해서는 입력모듈의 내부 임피던스를 낮게 설계해야 한다. 그러나 입력 임피던스를 낮추면 입력신호가 작아지기 때문에 연산 증폭기로 증폭해야하고 이 과정에서 노이즈 성분도 증폭되어 전체 계측정밀도에 악영향을 줄 수 있다. 이 모든 경우를 감안하여 입력모듈의 구성이 이루어져야한다.

전원이 없는 저항 타입의 트랜듀서인 경우에는 전압을 인가해서 트랜듀서를 거쳐서 뒤돌아오는 전류의 양을 측정할 수도 있다. 이 경우 입력모듈에서 인가되는 전압의 크기는 부하에 상관없이 안정적이어야 하므로 피드백 타입의 입력모듈의 정전압 회로를 구성하는 것이 바람직하다. 또한 저항 타입의 트랜듀서의 내부 문제로 입력전류가 흔들리는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 입력모듈에는 저주파 필터를 사용하는 것이 바람직하다.

온도를 측정하는 방법에는 여러 가지 방법이 있지만 측정범

* 正 會 員 : 烏山大學 電氣시스템制御科 副教授

** 正 會 員 : 현대중공업(주) 기전연구소 선임연구원

接受日字 : 2004年 2月 11일

最終完了 : 2004年 4月 30일

위가 넓고, 정확하고 비교적 선형적이라는 장점 때문에 RTD를 이용한다.

일반적으로 도체에 있어서 전기저항은 온도의 변화에 따라 변화한다. 이러한 특성을 이용하여 단위온도 변화에 대한 저항 변동률을 안다면 변동되는 저항치만으로 해당 온도를 측정할 수 있게 된다. 여기서 단위온도에 대한 저항 변동률은 온도계수라 하며, 온도 증가시 저항치가 증가하면 정의 온도계수 저항치가 감소하면 부의 온도계수라고 한다. 주로 온도측정에 사용하는 금속 재질은 정의 온도계수를 갖고 있으며 이중에서도 온도측정에 사용되는 재질은 백금, 니켈, 동 등이며 재질이 순수한 것일수록 온도계수는 커지고 그 값도 일정해진다.

국제실용눈금에서는 백금의 온도 영역을 $-259.34 \sim 630.74[^\circ\text{C}]$ 로 설정 사용하고 있다. 일반적으로 공업계기용은 0도씨 $100[\Omega]$ 을 기준으로 하고 있다. 규정전류는 $2[\text{mA}]$ 를 사용한다. 니켈은 가격은 싸나 직선성이 떨어짐으로 주로 $-50 \sim 300[^\circ\text{C}]$ 정도에서 사용하고, 동은 값도 싸고 온도특성도 양호하나 비저항이 작으므로 감는 길이가 문제가 되므로 주로 $0 \sim 150[^\circ\text{C}]$ 사이에서 사용되고 주로 발전용 터빈의 온도 측정용으로 많이 사용되고 있다. 이 경우는 주변의 외란을 많이 받으므로 정확한 온도를 측정하기 위해서 전용의 컨버터를 사용하여야 한다.

측은 저항체는 저항 소자 양단에 각 1개의 도선을 연결한 2선식, 도선 저항분을 제거하기 위하여 한쪽에 2개의 도선을 연결한 3선식, 양단에 각 2개씩의 도선을 연결한 4선식으로 분류되며, 도선 수가 많을수록 고 정확도용으로 이용된다. 보통 현장에서는 3선식이 주류를 이루고 있으나 최근 제어장비의 발달에 따른 정확도 향상으로 일부에서는 4선식의 사용이 늘어나고 있으나 회선이 많을수록 선로 저항에 영향을 받지 않아서 정확히 저항을 측정할 수 있는 반면 경제성이 떨어지는 문제점을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 2선과 3선 방식의 RTD를 혼용해서 사용할 수 있는 회로를 개발하고자 한다[3][4][5].

3. 다기능 아날로그 계측 모듈의 구성

3.1 선로저항의 영향을 작게 받는 회로 구성

본 연구에서는 한 개의 모듈에서 최대 16개의 입력을 처리할 수 있는 아날로그 입력 모듈을 구성하였다. 개발된 아날로그 입력 모듈은 다음과 같은 특징을 갖는다. 각 채널에 대해 $4\sim 20[\text{mA}]$ 전류입력과 RTD를 겸용으로 사용할 수 있다. 또한 각 채널 별로 입력에 대한 선로저항 보상을 할 수 있다. 측정된 입력 값은 통신을 통해 사용자에게 전달되며 적당한 인터페이스를 갖고 있어 쉽게 측정값을 확인할 수 있게 한다.

입력모듈은 각 채널마다 RTD입력이나 $4\sim 20[\text{mA}]$ 전류입력 신호를 전압 신호로 바꾼 후에 필터 과정과 신호를 증폭하는 과정을 거친다. 입력부에서 사용자의 선택에 따라서 $4\sim 20[\text{mA}]$ 와 RTD 입력으로 선택할 수 있으며 14비트의 A/D 변환기를 사용하여 정확한 측정이 가능하도록 구성한다. 따라서 그림 1과 같이 각 채널은 $4\sim 20[\text{mA}]$ 전류입력부와 RTD 입력부로 구성되는데 서로의 간섭을 막기 위해서 아날로그 스

위치를 사용하였다. 사용자 메뉴에 따라 입력부가 임의로 선택되게 하기 위해서 프로그램에서 선택할 수 있는 아날로그 스위치를 사용하였다.

또한 신호간의 상호 간섭과 회로 보호를 위해 전원을 분리하였다. 먼저 필드와 선로에서 발생하는 서지나 노이즈를 억제하기 위해서 입력신호를 절연시켰으며 채널 간의 신호간섭을 막기 위해 각 채널의 전원을 분리하였다.

입력 신호에 포함된 계측 노이즈를 저감시키기 위해 저주파 통과 필터를 구성하였다. 저역필터는 $60[\text{Hz}]$ 입력에 대해서는 $85[\text{dB}]$ 정도의 출력 특성을 가지며 $50[\text{Hz}]$ 입력에 대해서는 약 $80[\text{dB}]$ 의 출력특성을 갖게 구성되었다. 또한 소프트웨어적으로 구성된 보상은 필터 출력을 보상할 수 있게 구성한다.

현재 각 채널에 입력된 신호의 크기는 사용자 인터페이스를 통해 쉽게 알 수 있게 구성하였으며 보상값 확인이나 변경이 용이할 수 있게 메뉴를 구성하였다. 또한 CAN 통신을 통해 원격의 사용자에게 측정된 값을 전송할 수 있으며 보상값 변동이나 확인을 원격에서 가능하게 하였다.

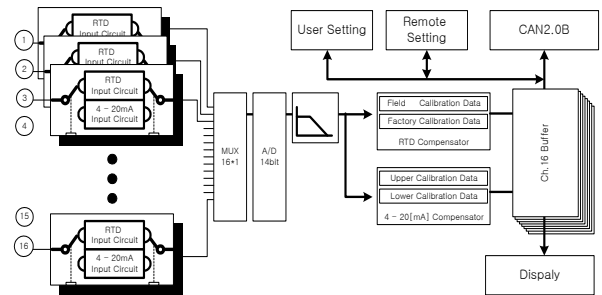


그림 1 제안된 아날로그 입력 모듈의 구성
Fig. 1 Structure of the proposed analog input module

3.2 비선형 근사화 기법의 개발

본 연구에서는 2선식 그리고 3선식 연결이 가능한 RTD를 개발하였다. 입력 범위는 -50 에서 $600[^\circ\text{C}]$ 이며 DIN 43760-1980을 만족하게 구성하였다. 측정오차는 전 범위에서 $1[^\circ\text{C}]$ 이내가 될 수 있게 구성한다.

그림 2는 RTD의 비선형 특성을 나타낸 것이다. 이러한 비선형 특성에 대한 보상을 하드웨어적으로 가능하나 보상회로가 복잡하고 넓은 범위에 대한 보상이 이루어지지 않기 때문에 모든 타입의 RTD에 적용하기 힘들다. 따라서 소프트웨어적인 보상을 주로 사용한다.

소프트웨어적인 보상은 크기 lookup 테이블을 이용한 방식과 근사화 방법이 있다. 먼저 첫째 방식인 lookup 테이블 방식은 다수의 실험을 통해 보상값을 테이블화 시키는 방식으로 보상속도가 매우 빠르고 비선형성이 매우 심할 경우에도 보상이 가능하다는 장점을 갖지만 전 범위에 대한 실험이 이루어져야하며 메모리가 많이 든다는 단점을 갖는다.

두 번째 방식인 RTD의 비선형 곡선을 나타내는 식을 2차 식으로 근사화하고 선로저항에 대한 보정을 식에서 수행하여 실제 값에 가장 가까운 곡선을 찾아내는 방식이다. 이 방식은 비선형성이 매우 심할 경우에는 오차가 크다는 단점을 갖

으나 보정이 용이하고 메모리가 작게 요구되는 단점을 갖는다.

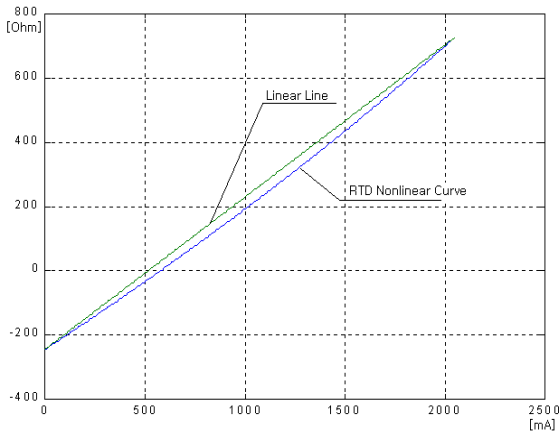


그림 2 RTD의 비선형성

Fig. 2 RTD Nonlinear property

본 연구에서는 제한적인 내부 메모리를 갖는 8비트 마이크로 프로세서를 사용하였다. 따라서 메모리가 적게 들고 현장에서 보상값(calibration factor)을 쉽게 찾을 수 있는 2차 함수로의 근사화 방법을 사용하였다.

2차 함수로 근사화시키기 위해서 현장에서는 먼저 Calibrator나 저항 값을 이용하여 공칭 입력을 인가하고 측정된 값과 공칭 값의 오차를 줄여질 수 있게 계수를 설정한다. 2차 함수로 근사화가 이루어져야 함으로 최소 다른 두개의 온도 입력이 필요하다.

실험을 통해서 얻은 온도에 따라 측정된 전류량을 표시하였고 이를 2차 함수로 근사화시킨 결과를 그림 3에서 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 전구간에서 측정된 RTD 온도(measured RTD temperature)와 근사화하여 구해진 RTD 온도(approximated RTD temperature)가 오차 없이 추종함을 알 수 있다.

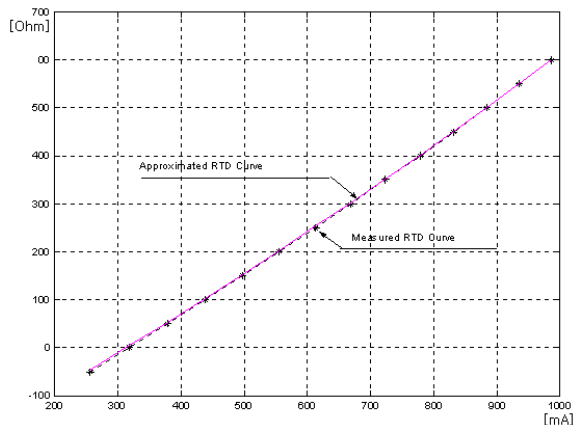


그림 3 RTD 온도 곡선 근사화

Fig. 3 RTD temperature curve approximation

4. CAN통신을 통한 원격감시 시스템구성

4.1 CAN을 통한 통신 서비스

개발된 아날로그 입력 모듈은 CAN 통신기능을 갖추고 있어 입력 데이터를 원격의 서버에 전송하거나 원격에서 필요한 파라미터를 변경하거나 확인할 수 있는 기능을 갖춘다. CAN은 CSMA/NBA(Carrier Sense Multiple Access with Non-destructive Bitwise Arbitration)라는 메시지 전송 메커니즘(mechanism)을 가지고 있다. CAN의 데이터 전송 메커니즘은 IEEE 802.3 CSMA/CD 프로토콜과 유사하다. 즉, 각 노드는 데이터를 전송하기 이전에 버스의 상태를 감지하며, 버스의 상태가 비활성일때 준비된 메시지를 전송한다. CSMA/CD에서는 두 개 이상의 노드가 동시에 메시지를 전송하면 메시지 충돌이 일어나서 전송된 메시지가 모두 손실된다. 그러나 CAN에서는 전송되는 메시지가 11비트의 식별자(Identifier)를 가지고 있으며, 식별자를 통하여 우선 순위가 높은 메시지가 전송되도록 한다. 즉, 두 개 이상의 노드가 동시에 메시지를 전송하면 각 메시지는 서로 식별자를 1 비트씩 비교하여 제일 높은 우선 순위의 메시지는 전송되고 낮은 우선 순위의 메시지들은 전송이 중단된다.

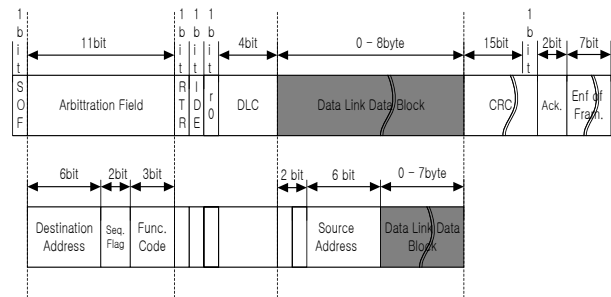


그림 4 데이터 프레임 구성

Fig. 4 Data Frame Format

가. 아날로그 입력 데이터 감시

상단의 서버나 그에 해당되는 데이터 집진장치는 아날로그 입력 모듈과 CAN 통신을 통해서 연결되어있다. 아날로그 입력 모듈은 주기적으로 입력된 각 채널의 데이터를 상단 서버에 전송한다. CAN에서 데이터는 데이터 프레임을 통하여 전송된다. 데이터 프레임은 전송 노드에서 수신 노드로 데이터를 운반하는 프레임으로 최대 8 bytes까지의 데이터를 전송할 수 있다. 본 연구에서 개발된 입력모듈의 전체 전송할 데이터는 38바이트로 6개의 패킷으로 분리(fragmentation)해서 전송되어진다. 물론 상단의 서버나 데이터 집진 장치는 분리된 데이터를 재결합(defragmentation)을 통해 전체 16 채널의 데이터를 취득하게 된다.

나. 아날로그 입력 모듈의 동작상태 감시

아날로그 입력 모듈의 동작상태를 확인하기 위해서 서버는 주기적으로 입력 모듈에게 동작응답 요청 패킷을 전송한다. 전송되는 패킷은 broadcasting되어 모든 카드가 입력되게 되고 각 카드 자신이 동작함을 알리기 위해 응답을 한다. 이

요청 패킷에 응답하지 않는 입력 모듈에 대해서 부동작 상태로 판단하고 서버에서 해당 알람을 발생하여 빠른 조치가 취해지도록 한다. 만약 각 카드가 동시에 동작응답 요청에 응답하면 CAN 통신패킷이 충돌(collision)이 발생되므로 각 카드는 자기의 주소에 비례하는 시간 지연을 가지고 응답하게 된다.

다. 아날로그 입력 모듈의 파라미터 변경 및 확인

아날로그 입력 모듈이 현장에 적용되기 위해서 앞서 언급한 것과 같이 보정과정을 거치게 된다. 보정값의 변경과 확인은 모듈 전면에 있는 키와 디스플레이용 세븐 세그먼트 모듈을 통해 이루어진다. 그러나 아날로그 모듈이 조작자가 접근하기 힘든 위치에 설치되어 있거나 위험한 곳에 있다면 변경과 확인 힘들 것이다. 이러한 상황을 감안하여 통신을 통해서 조작자가 모듈의 각종 파라미터의 변경이나 확인을 할 수 있게 설계하였다[6].

4.2 아날로그 모듈의 원격감시 시스템의 구성

본 연구에서 개발한 원격감시 시스템은 한 CAN 통신버스에 최대 64개의 아날로그 입력 모듈을 연결할 수 있게 설계하였다. 개발된 모듈의 크기를 작게하여 계측하고자하는 부하의 근처에 취부하기 용이하게 구성하였다. 따라서 센서로부터 가까운 거리에 모듈을 설치할 수 있으므로 선로저항의 영향을 작게 받으며 센서선로 포설시 요구되는 노력과 비용을 감소시킬 수 있는 장점을 갖는다.

그림 5는 개발된 모듈이 CAN 통신을 통해 데이터를 전송하는 내용을 CAN 프로토콜 아날라이저(analyzer)를 통해 분석하는 과정을 보여 주고 있다. 통신 제어나 송수신하는 패킷의 내용을 아날라이저를 통해 확인하면서 개발을 진행하였다. 앞서 언급한 것과 같이 아날로그 데이터는 총 38바이트로 6개의 패킷으로 나누어져서 전송된다. 전체 8바이트 중에 첫 바이트를 모듈의 종류(0x08)를 표시하였고 두 번째 바이트가 채널의 정보가 표시되면 이어서 데이터가 전송된다.

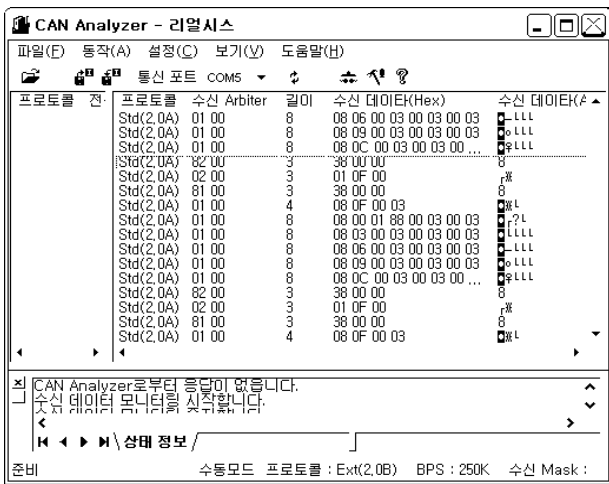


그림 5 CAN 송수신 데이터 패킷 분석

Fig. 5 Analyze CAN data packets

통신을 통해 전송된 데이터는 서버에서 관리된다. 그림 6은 개발된 입력 모듈의 원격 감시를 위한 화면이다. 서버에서는 사용자가 정한 알람(alarm) 정도에 맞춰 입력 데이터를 감시한다. 만약 알람범위를 벗어나는 입력이 수신되는 운영자에게 경보를 발생시켜 조치할 수 있게 한다.

제안된 아날로그 모듈의 원격감시 시스템의 구성도를 그림 7에서 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 필드의 각종 센서에서 발생하는 각종 신호가 모듈에 입력되어 서버로 전송된다. 만약 인터넷을 이용한 원격 감시를 하고자 한다면 웹 서버를 구축하면 용이하게 구현할 수 있다.

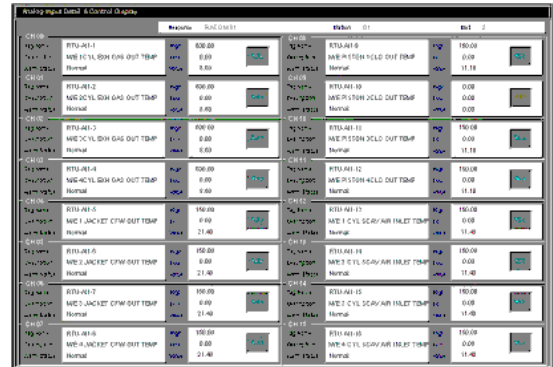


그림 6 감시 프로그램의 구성

Fig. 6 Configuration of monitoring program

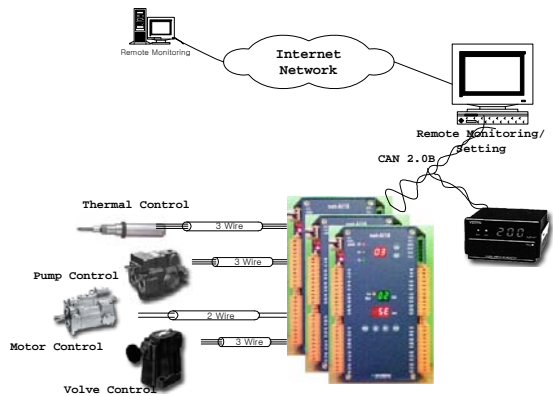


그림 7 원격 감시 시스템의 구성

Fig. 7 Configuration of remote monitoring system

5. 결 론

국내외의 산업 현장에서 센서와 트랜듀서 인터페이스를 위한 아날로그 입력 모듈이 다양하게 개발되고 있다. 특히 PLD나 IED 제조업체는 대부분 독자적인 아날로그 입력 모듈을 갖고 있다. 이와 더불어 센서에 통신기능을 갖추어 원격의 컴퓨터나 장치에 전송하는 인텔리전트 센서가 개발 중이다. 이러한 인텔리전트 센서는 선로에서 발생하는 선로저항의 영향을 감소시킬 수 있으며 선로를 절감할 수 있어 경제적인 면에서도 유리하다.

인텔리전트 센서가 아닌 기존의 센서와 인터페이스를 위해서 앞서 언급한 보상기능과 통신 기능을 수행할 수 있는 아날로그 입력 모듈이 사용되어야 한다. 특히 장거리 통신을 위해 통신 신뢰도가 높은 프로토콜의 사용이 요구되고 있는 추세이다.

본 연구에서 개발한 아날로그 입력 모듈은 다음과 같은 특징을 갖는다. 첫째, 산업 현장에서 사용되는 각종 센서와 트랜듀서의 인터페이스에 용이하다. RTD와 전류입력을 선택적으로 할 수 있는 구조를 채택하므로 하나의 모듈에서 다양한 신호를 처리 할 수 있게 구성하였다.

둘째, CAN통신을 이용하여 원격감시 및 원격 설정 등이 가능하게 하였다. 통신 기술의 발달에 따라 앞으로 개발되는 모든 제품은 통신기능을 갖는 것이 기본 사항이 되고 있다. 이 중에서 산업체에서 많이 사용되는 CAN2.0B 프로토콜은 실시간 통신을 보장하기 때문에 매우 넓게 사용되고 있다.

셋째, 모듈화된 구성으로 설치 및 유지 보수가 용이하다. 기존에 비해 계측하고자하는 대상에 근거리에 위치할 수 있는 이점을 이용하면 센서선로 포설비용 및 보수에 요구되는 비용과 노력이 절감되며, 이와 더불어 구조적인 변화 없이 설비의 추가가 용이하다는 장점을 갖는다.

이와같은 장점을 이용하여 산업 자동화나 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition), DCS(Distributed Control System)등에 적용가능하리라 예상된다.

본 연구는 오산대학 교내연구비 지원에 의한 논문임.

참 고 문 헌

- [1] Srin-Dan GRIGORESCUR, "A Self-heating Method for Lead's Resistance Compensation in Two Wires RTD's Measurement", TUP-2, pp. 174-175.
- [2] F. N. Trofimenkoff and A. E. Nordquist, "Single amplifier resistance bridges with feedback linearization," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-33, pp. 60-63, Mar. 1984.
- [3] Saibal Pradhan and Susanta Sen, "An Improved Lead Compensation Technique for Three-Wire Resistance Temperature Detectors," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 48, No. 5, pp. 903-905, Oct. 1999.
- [4] Carlos A. Dos Reis Filho, "An Integrated 4-20mA Two - Wire Transmitter with Intrinsic Temperature Sensing Capability," IEEE Solid-State Circuits, Vol. 24, No 4, Aug., 1989.
- [5] Chung-Ping Young and J. Devaney, "Digital Power Metering Manifold", *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on* , Vol. 47, Issue 1, pp. 224-228, Feb. 1998.
- [6] 박종찬, 김병진, "CAN 통신을 기반으로한 전력 시스템 자동화 구축", 대한전기학회지, 제52P, 제3호, 2003년 8월.

저 자 소 개



박종찬 (朴鍾讚)

1955년 12월 19日生. 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1988년 同 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 同 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년 ~ 현재 오산대학 전기시스템제어과 부교수.

Tel : 031) 370 - 2674

Fax : 031) 375 - 9601

E-mail : jcpark@osan.ac.kr



김병진 (金炳鎭)

1970년 6월 26日生. 1994년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1996년 同 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 同 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 현대중공업(주) 기전연구소 선임연구원

Tel : 031) 289 - 5223

Fax : 031) 289 - 5115

E-mail : vincent1004@empal.com