

다중채널 A/D 변환 데이터 획득시스템의 개발

A Multi-Channel A/D Data Acquisition System

박 찬 원* 이 민 섭** 반 윤 호***
Park, Chan-Won Lee, Min-Seob Ban, Yun-Ho

Abstract

In precision instrumentation system, an A/D conversion of signal conditioning has some problems.; offset and drift errors with environmental situation.

This paper suggested a development of the Multi-Channel A/D Data Acquisition System and a method of the evaluation and the temperature compensation for the A/D converters with the specific analog and digital circuit including the software.

Also, we have designed a hardware and a software filters with smart algorithm for better signal processing of the proposed system. Software approach was adopted to obtain the stable data from A/D converter.

As shown in our experimental works, the proposed system is expected to be used in the industrial field where a high precision measurement is required.

키워드 : A/D 변환 시스템, 오프셋 전압, 온도드리프트 보정

Keywords : A/D conversion system, Offset voltage, Temperature drift compensation

1. 서론

오늘날 대부분의 측정 장비는 디지털화되고 있으며 이에 따라 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸는 A/D 컨버터의 성능이 중요시 되고 있다. 좀 더 정확한 측정 데이터를 얻기 위해 고분해능의 A/D 컨버터가 요구되고 있으며 반도체 기술의 발달로 인해 여러 업체에서 고성능의 A/D 컨버터를 경쟁적으로 출시하고 있다.

고분해능의 A/D 컨버터의 출현에도 불구하고 실제 적용 시에는 많은 제약이 따르게 된다. 대표적인 요인으로 잡음과 온도변화에 따른 아날로그

증폭과 관련된 능동 및 수동소자의 출력변화, 전원 및 A/D 입력센서의 출력변화, A/D 컨버터 자체의 출력변화 등이다. 원하는 분해능의 출력을 얻기 위해서는 위의 요인들을 제거해 줄 필요가 있다. 이에 대한 해결방안으로는 잡음에 관한 경우 anti-noise filter를 이용하여 온도변화에 따른 출력 오차만큼의 값을 보상하여 줌으로써 출력 값에 대한 신뢰성을 높이는 방법을 이용하고 있다[1].

본 연구에서는 온도 변화에 따른 각종 출력 변화에 의한 A/D 컨버터의 출력의 변화를 보상[2]하기 위한 데이터 획득 시스템 및 시뮬레이션을 통한 보상파라미터를 찾아내는 프로그램의 개발이 목적이다.

측정값은 신뢰성을 위해 동일한 조건에서 여러 번 테스트를 거쳐야 한다. 단일 시스템이면 한 종류의 장치에 대해 여러 번 테스트를 해야 하고 또 다른 동일한 장치에 대해 같은 테스트를 반복하여 테스트 데이터의 신뢰성을 높여야 한다. 하지만,

* 강원대학교 전기전자공학부 교수, 공학박사

** (주)모텍스 기술연구소, 연구원

*** 강원대학교 대학원 전기공학과 석사과정

이 방법은 시간과 경제적인 면에서 많은 비효율성을 내포하게 된다.

따라서 본 연구에서는 서로 다른 A/D변환장치 또는 동일한 장치 여러 개를 동시에 테스트하여 데이터를 획득 및 기록하고, 이 획득된 데이터를 PC를 이용하여 시뮬레이션을 분석하는 방법으로 장치의 선택, 오동작 장치의 조기 판별 및 장치의 신뢰성 판별을 함으로써 자동화 및 생산성 향상에 효율적으로 적용가능하게 하고자 하였다.

2. 시스템 구성도

Multi-channel A/D Data Acquisition System은 크게 하드웨어부와 소프트웨어부로 구성되며, 두 시스템은 RS-232C통신을 이용하여 서로 통신을 통해 제어 및 데이터 수집 과정을 수행하게 된다. 전체 시스템 구성은 그림 1과 같다.

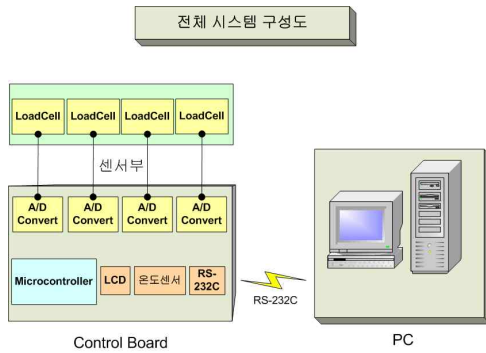


그림 1 전체 시스템 구성도

2.1 Control Board

Control Board는 크게 모든 장치를 제어하는 마이크로컨트롤러부와 각 종류의 A/D 컨버터, 센서부로 구성되어 있다. A/D 컨버터는 ADS1210, ADS1240, ADS1255, CS5532, AD7710이 장착이 가능하도록 설계되었으며, 종류의 판별은 장착 시 그림2와 같은 점퍼조작을 통해 인식할 수 있게 하였다[3].

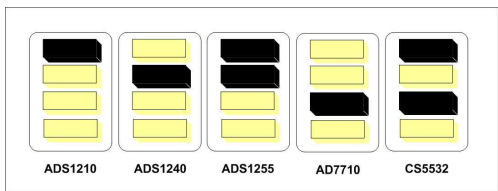


그림 2 컨버터 종류별 점퍼 세팅 방법

마이크로컨트롤러부는 LCD Display를 장착함으로써 Display, RS-232C통신, 온도 센싱, 각 Channel 동작 등을 Control Board 자체적으로 테스트할 수 있게 하였다. 센서 부는 A/D 컨버터 개수만큼의 Load Cell로 구성되어 있다. 그림3은 제작된 전체시스템의 사진이고, 그림 4는 항온조에서 로드셀 센서와 구성하여 시험 중인 사진이다.



그림 3 제작된 전체시스템의 사진



그림 4 항온조에서 로드셀센서와 구성하여 시험중인 사진

소프트웨어는 ①A/D 컨버터 장착여부 및 A/D 종류를 판별하는 모듈, ②통신모듈, ③보드 자체 테스트 모듈, ④A/D 컨버터 제어 모듈, ⑤A/D 데이터 획득 모듈로 구성되어 있다. ①과 ③은 앞서 설명이 되었고 ②는 PC와의 정해진 프로토콜에 따라 통신하기 위한 모듈이며 ④는 각 종류의 A/D 컨버터를 제어하기 위한 모듈이며, ⑤는 전체 및 하나의 Channel에 대한 데이터 수집여부를 판단하여 수행한다. 동작과정은 처음 PC와의 통신연결이 되면 장착된 A/D의 종류와 Channel 번호를 PC측에 전송을 하고 각 A/D 컨버터를 Reset을 시킨 후 PC측의 제어명령을 기다리며 PC측에서 제어명령을 보내면 해당 명령에 대한 작업을 수행한다. 상세한 수행흐름은 그림 5에 나타내었다.

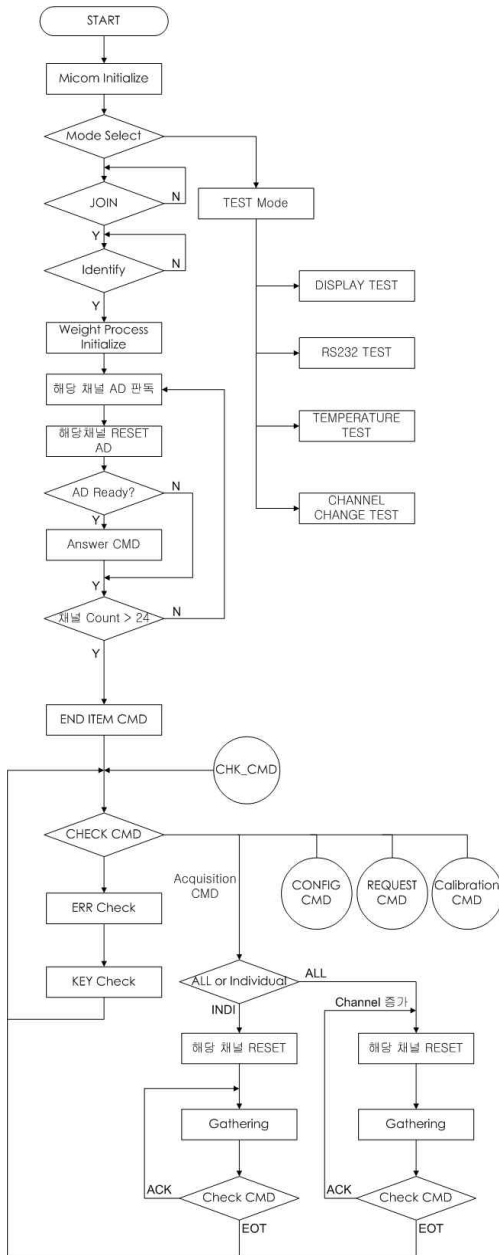
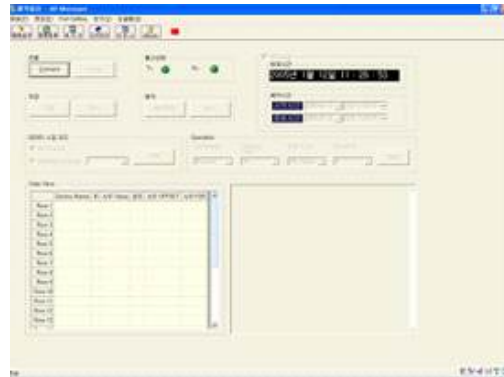


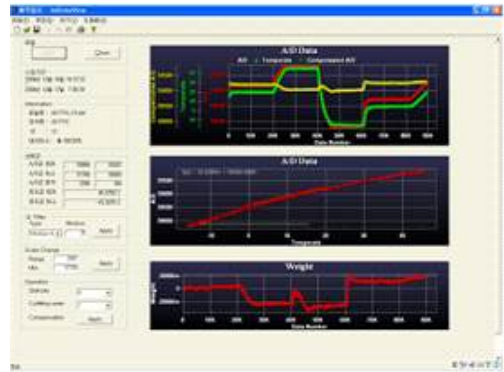
그림 5 Control Board 전체 흐름도

2.2 Software

Software부는 크게 데이터를 수집하는 A/D Manager와 수집된 데이터를 도시화하고 분석하는 A/D Data View로 구성되어 있다. 각 프로그램의 화면 구성은 그림 6과 같다.



(a)



(b)

그림 6 PC 프로그램 Layout : (a) A/D Manager, (b) A/D Viewer

2.2.1 A/D Manager

Multi A/D Control Board와 통신을 통해 원하는 파라미터를 적용하고 A/D 데이터 및 온도 데이터를 수집한다.

(1) 모듈의 구성

① User Interface : 사용자에게 Control board와 통신 및 제어상태를 보여주며 사용자의 입력에 따라 내부 모듈과 상호 작용을 담당하는 부분이다.

② Packet Generator : 사용자의 입력을 받은 컨트롤 메시지를 해당 프로토콜에 맞게 패킷을 생성한다.

③ Event Loop : 메시지를 기다리는 무한루프이다, Interpreter에 의해 분류된 패킷을 해당 패킷 처리 루틴에 따라 처리한다.

④ RS-232C : 제어를 위한 통신 패킷 및 데이터 정보를 위한 통신 패킷을 관리하는 모듈이다.

⑤ Interpreter : Serial Port로 들어온 패킷을 각 용도로 분류하는 모듈이다.

전체 모듈의 구성과 상호관계는 그림 7에 나타내었고, 전체 프로그램 흐름도는 그림 8에 나타내었다.

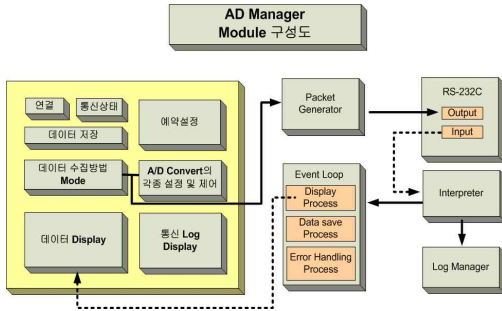


그림 7 A/D Manager 모듈 구성도

2.2.2 A/D Viewer

그림 8은 A/D Manager의 프로그램 흐름도이다. A/D Manager에 의해 얻어진 data를 그래프로 표시하여 시각적으로 온도에 대한 데이터의 경향을 파악하며, 필터 등을 적용하여 온도 보상에 필요한 파라미터를 찾고, 온도 보상 알고리즘을 적용하여 나온 결과에 중량 알고리즘을 적용하여 결과를 확인한다[4].

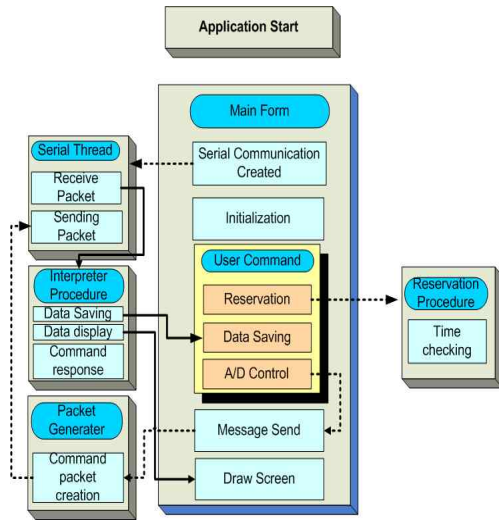


그림 8 A/D Manager의 프로그램 흐름도

(1) 모듈의 구성

- ① 파일 Module : 저장된 데이터를 열어 데이터를 loading하는 역할을 수행한다.
- ② 데이터 정보 Module : 수집기간, 장치 종류, 채널번호, 데이터의 최대 최소값 및 편차, 온도의

최대 최소값 등의 정보를 표시한다.

③ Filter : 잡음 제거를 위한 Low-Pass 필터링을 실시한다. 종류로는 Mean, Median+Mean, Ad Hoc, EWMA, Stability Based, Error Based, Flop Flip, Flip Flop 등의 필터를 적용해 성능이 좋은 필터와 마이크로컨트롤러에 적용 가능한 필터를 선택하게 한다[5][6].

④ Curve fitting 및 보상 Module : 온도-A/D Data의 결과를 이용 1차, 2차, 3차까지의 Curve fitting을 통해 파라미터를 구하고 적용하여 보상된 결과를 확인할 수 있게 한다.

⑤ Data 출력 Module : A/D Data 및 온도 데이터, 보상된 A/D 데이터를 표시한다.

⑥ 온도-A/D 데이터 출력 Module : 시간-A/D 데이터를 온도-A/D 데이터로 변환하며 Curve fitting한 파라미터 값을 출력한다.

⑦ 중량 출력 Module : 보상된 A/D 데이터 값을 이용 중량 알고리즘을 적용하여 결과를 확인한다[7].

전체 모듈의 구성은 그림 9에 나타내었다.

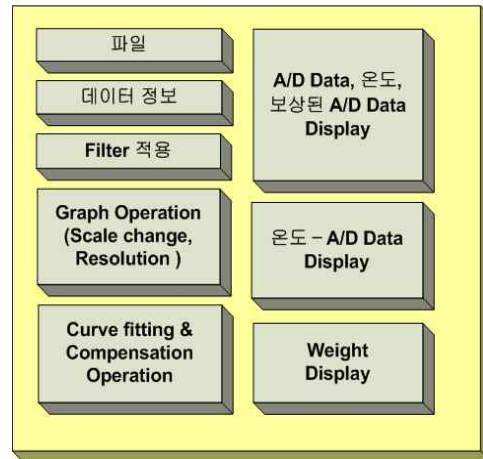
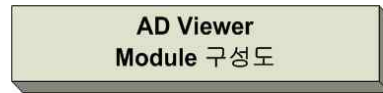


그림 9 A/D Viewer Module 구성도

3. Calibration과 적용된 온도 보상 방법

캘리브레이션에 대한 기본 적용개념은 다음과 같다.

온도에 따른 A/D 출력 값을 그래프로 나타낸 것이 그림 10이다. (a)는 raw A/D 출력 값이고 (b)는 (a)를 1차 curve fitting 한 결과이고 (c)는

(a)-(b)+ Offset $t=20$ 한 결과이다.

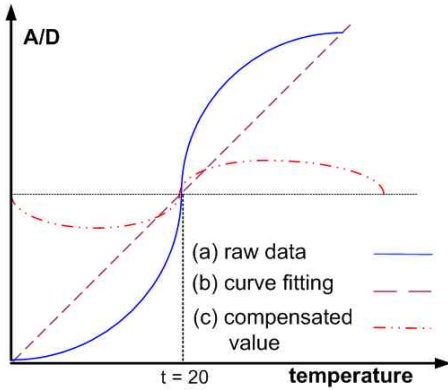


그림 10 온도 보상 기본 개념

그림 10에서 보면 실제로 정상동작을 위해서는 상온 $t=20^{\circ}\text{C}$ 에서의 A/D 출력 값이 온도변화와 상관없이 모든 온도범위에서 일정하게 유지 되어야 하지만 실제로는 온도에 따라 값이 변한다. 따라서 온도변화의 경향에 가장 근접한 함수를 찾아내고 실제 A/D 출력 값(a)에서 해당 온도 시에 온도에 따른 A/D 값(b)을 뺀 다음 20°C 때의 A/D 출력 값을 더하면 보상된 A/D 출력 값(c)은 20°C 근처의 값을 가지게 된다.

본 연구에서는 온도에 따른 drift의 효과를 감소시키기 위해 여러 A/D 컨버터중 상온에서 유효 bit수가 좋고 온도에 대한 선형성이 좋은 AD7710과 ADS1255로 테스트하였다. 온도에 따른 drift 값은 해당 온도에서의 오프셋으로 간주할 수 있으므로 위에서 설명한 방법을 이용 실제 A/D 출력에서 해당 온도의 오프셋 값을 제거하는 방법을 택하고 2가지 다른 방법으로 접근하였다.

첫 번째 방법은 A/D 출력 값에서 온도에 해당되는 오프셋을 제거하는 방법이고, 두 번째 방법은 오프셋 레지스터의 값을 해당 온도에 맞게 변화시켜 출력을 일정하게 하는 방법이다. AD7710은 첫 번째 방법을 적용하였고 ADS1255는 두 번째 방법을 적용하였다. 위의 두 방법의 기본 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 무부하시 $-15^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ 의 온도구간에서 A/D 출력 값 또는 System Calibration을 통해 오프셋 레지스터의 값을 구한다.
- ② 잡음을 제거하기 위해 ①의 결과에 Low-Pass 필터링을 수행한다.
- ③ 온도별로 A/D 출력 값이나 오프셋 레지스터 값을 정렬한다.
- ④ 같은 온도에 해당되는 A/D 출력 값 또는 오프셋 레지스터 값의 평균을 구한다.

셋 레지스터 값의 평균을 구한다.

⑤ 온도 - A/D 출력 값 또는 온도 오프셋 레지스터 값의 그래프를 구한다.

⑥ ⑤의 결과를 이용 1차 curve fitting을 수행한다.

⑦ ⑥의 결과를 이용 A/D 출력 값에서 오프셋 값을 빼거나, 오프셋 레지스터의 값을 변경하여 출력 값은 항상 일정한 수준을 유지하게 보상한다.

위의 알고리즘을 간단하게 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$AD' = AD_c - (aT + b) \quad (1)$$

여기서 AD' 는 보상된 AD 출력 값이고 AD_c 는 현재 AD 값이며, a 는 온도에 대한 AD 변화량의 기울기이며, b 는 zero 오프셋이다.

4. 실험 및 결과

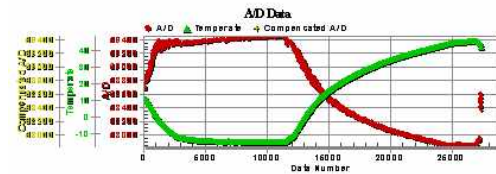
4.1 A/D변환 결과로부터의 오프셋값의 감산

그림 11에 AD7710에 대한 온도 보상과정을 나타내었다.

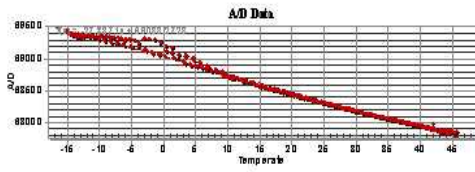
그림 11의 (a)는 $-15^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ 구간에서의 A/D 값을 측정된 결과이고, (b)는 (a)의 결과를 온도- A/D 출력 값으로 다시 그리고 curve fitting한 결과로 $y = -27.8x + 69038$ 의 값을 얻었다. 여기서 y 는 해당 온도에서의 오프셋 값이고 x 는 해당 온도이다.

실제 적용 온도 범위는 항온조의 가동시 진동 및 스위칭 조작시 잡음의 영향을 배제하기 위해 일반 환경에서 온도범위 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 에서 테스트 하였다.

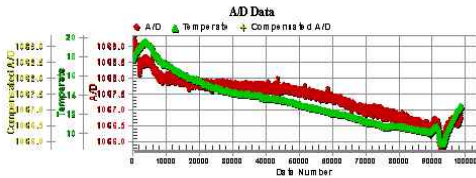
(c)는 온도보상을 적용하지 않은 것으로 A/D 출력 값이 온도의 방향에 따라 같이 이동하는 것으로 보인다. (d)는 온도보상을 적용한 것으로 온도가 하강해도 A/D 출력 값은 일정한 수준을 유지하는 것을 확인할 수 있다.



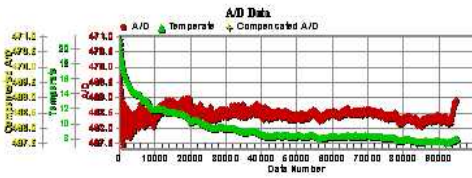
(a) 시간에 대한 온도 및 A/D 값



(b) 온도-A/D 값



(c) 보상을 적용하지 않은 경우



(d) 보상을 적용한 경우

그림 11 AD7710의 온도 보상 과정

4.2 옵셋 레지스터에 필요 옵셋을 적용

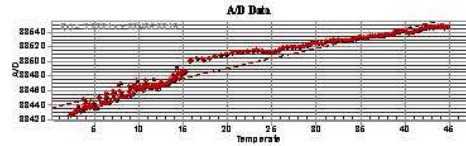
이 방법은 4.1의 방법과 개념상으로 동일하지만 변화되는 값이 옵셋 레지스터 값이다. 간단히 수행 방법을 살펴보면 다음과 같다.

- ① A/D Conversion을 수행한다.
- ② A/D Conversion을 중지한다.
- ③ 현재 온도를 읽는다.
- ④ 현재 온도에 대한 옵셋 레지스터값을 계산한다.
- ⑤ 옵셋 레지스터에 ④에서 계산된 값을 적용한다.
- ⑥ A/D Conversion을 다시 시작한다.
- ⑦ ①에서 ⑥과정을 반복한다.

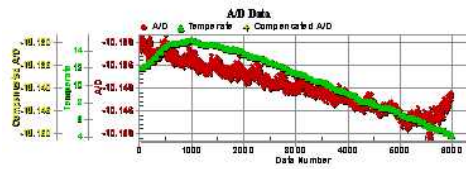
이 방법은 4.1의 방법에 비해 옵셋 레지스터에 값을 변경해야 하므로 하드웨어적으로 부하가 더 큰 단점이 있다. 실험 결과를 그림 12에 나타내었으며, 실험 환경은 4.1과 동일하며 결과도 온도보상이 이루어짐을 알 수 있다.



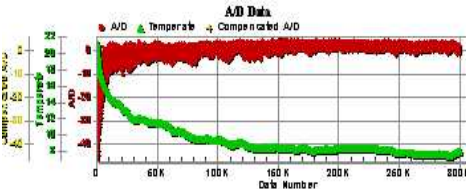
(a) 시간에 대한 온도 및 A/D 값



(b) 온도 - Offset Register 값



(c) 보상을 적용하지 않은 경우



(d) 보상을 적용한 경우

그림 12 ADS1255의 온도 보상 과정

5. 결론

본 연구에서는 Multi-Channel A/D 데이터 획득 시스템의 제작 및 온도 보상을 위한 파라미터를 구해 적용할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 이로 인해 동일 시간 내 여러 종류의 A/D 데이터를 동시에 취득이 가능하여 테스트 시간의 단축을 이룰 수 있고, 각 A/D Converter의 성능 비교, 온도에 대한 특성 및 온도 보상을 위한 파라미터를 구해 적용함으로써 최적의 A/D Converter를 선별할 수 있다. 또한 이 결과를 이용하여 사전에 불량 혹은 자격미달의 A/D Converter 및 Load Cell을 제거함으로써 불량상태를 초기에 진단해 생산성을 향상시킬 수 있게 하였다.

현재 이 시스템은 RS-232C 통신만 가능해 테스트 공간에 직접 가거나, 결과 파일을 복사를 통해 다른 시스템에서 확인함으로써 편별이 가능하다.

이런 단점을 극복하기 위해 향후 Ethernet 통신

을 이용하여 Server/Client 개념을 도입하여 중앙에서 모든 데이터를 모니터링하며, 불량 및 자격미달 A/D Converter를 판별해내는 시스템을 구축함으로써 검사 과정을 자동으로 수행함으로써 효율을 극대화 할 수 있는 시스템의 개발이 향후 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] 박찬원, 민남기, “능동 회로에 의해 온도 보상된 이중 빔 로드 셀의 개발”, *대한전기학회 논문지*, Vol 44, No. 8, pp. 1057-1062, 1995
- [2] Stephen D., "Interfacing : A Laboratory Approach Using the Microcomputer for Instrumentation, Data Analysis and Control", University of California, Berkeley, Prentice Hall, 1990
- [3] National Semiconductor Corporation, "Linear Data Book 2", Rev. 1, 1988
- [4] Roland E. Thomas, Albert J. Rosa, "The Analysis and Design of Linear Circuits", Prentice Hall, 1997
- [5] Robert F. Coughlin, Robert S. Villanucci, "Introductory Operational Amplifiers and Linear ICs", Prentice Hall, pp. 249-285, 1990
- [6] Berlin, H. M., "OP-amp. Circuits and Principles", SAMS, 1991
- [7] Ono, T, "Dynamic Weighing of Mass", *Instrumentation and Automation*, Vol. 12, No. 2, 1984