

정밀 계측 신호처리를 위한 A/D 변환 구현

An A/D Conversion of Signal Conditioning for Precision Instrumentation Use

박 찬 원* 주 용 규**
Park, Chan-Won Joo, Yong-Kyu

Abstract

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

This paper suggests a method of reducing the offset voltage and the drift error from the A/D conversion hardware using analog signal switching technique with specific operational amplifier circuits.

Also, we have designed a hardware active filter and a software digital filter with Auto Zero Tracking algorithm for better signal process of the our proposed weighing system. Software technique was performed to obtain the stable data from A/D converter.

As a result of 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, 드리프트 보정

Keywords : A/D conversion system, Offset voltage, Drift compensation

1. 서론

1 디지털 당 수 μV 수준의 미소 신호의 경우 노이즈와 구별하여 신호를 검출하고 증폭해서 A/D 변환하여 디지털 데이터로 표시하고자 할 때 증폭 회로 및 기타 회로에서 OP-Amp의 오프셋 전압과 드리프트 특성에 의한 영향이 안정된 A/D 변환에 치명적인 장애 요소로 작용한다.[1]

본 논문에서는 보다 정밀한 계측 신호처리를 위해 아날로그 신호를 디지털 데이터로 변환하는데 있어서 상시적인 장애요소인 A/D 변환 인터페이스의 오프셋 전압과 드리프트보정에 대한 개선 방법에 대한 연구 결과를 보이고자 한다.

본 연구에서 사용된 아날로그신호를 변환하기

위한 센서로는 증량 센서인 로드 셀을 사용하였다. 로드 셀의 신호는 μV 레벨의 차동전압이므로 이를 증폭하여 A/D변환기의 분해능에 맞추기 위해서는 수십에서 수백 배의 증폭이 필요하다. 증폭기는 CMRR이 우수한 계장용 증폭기를 사용하였으며, 증폭회로에 사용된 OP 앰프의 특성상 온도 드리프트와 오프셋 전압에 의한 문제가 발생되고 장기적인 시간경과에 의한 드리프트 문제점이 발생하게 된다. 최근에 반도체 기술의 발달로 아주 낮은 오프셋 전압과 드리프트 특성을 가진 OP 앰프가 소개되고 있어 이를 이용할 경우 성능향상에 도움이 되지만 가격이 비싸며 더욱 정밀한 성능을 요구할 때 추가적인 보상방법이 필요하다.[1]~[3]

본 논문에서는 아날로그 입력신호를 주기적으로 교차시켜 증폭하고 sample and hold 회로에 입력 시킴으로서 오프셋 전압의 영향을 상쇄시키는 방법을 제안하였고, 입력 라인을 주기적으로 단락시킴으로서 드리프트의 영향을 보정하였다.

* 강원대학교 전기공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 전기공학과 석사과정

마이크로프로세서를 이용하여 데이터 안정화 처리 알고리즘으로 Auto Zero Tracking과 처리데이터의 안정화 및 보정용 디지털 필터를 구현하기 위한 소프트웨어를 개발하였다.

본 논문은 원격지 제어시스템 구성 시 정밀 계량을 위하여 필요한 A/D 변환기 인터페이스에서 오프셋 전압을 보상하는 방법으로 적용이 가능하며, 이 결과는 정밀 계측 시스템에서 실용적이며 광범위한 활용이 기대된다.

2. 하드웨어 구성 및 동작

2.1 시스템의 개요

시스템은 크게 아날로그 부분과 디지털 부분으로 나누어진다.

아날로그 부분은 센서의 입력을 받아들여 증폭하고, 제안된 방법으로 오프셋 전압과 드리프트를 제거하기 위한 입력신호의 교차를 위한 스위치 및 입력을 단락시키기 위한 스위치, sample & hold 회로 및 저역 통과기, 그리고 A/D 컨버터로 구성된다.

디지털 부분은 메인프로세서와 스위치 클럭발생 회로, 온도센서, 디스플레이 유닛으로 구성된다.

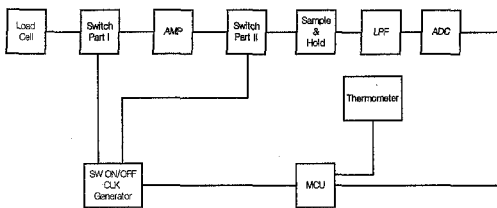


그림 1. 시스템 블록도

2.2 입력신호의 증폭

실험에서 사용한 센서의 출력은 차동 전압으로 수 μV 에서 수 mV 범위이므로 저주파의 필요한 신호와 고주파의 불필요한 잡음을 구별하기 힘들어진다. 입력된 신호를 증폭하기 위한 그림 2의 증폭회로는 정밀급 OP-Amp 2개를 사용한 계장용 차동증폭 회로로서 직류 증폭에는 거의 이상적인 특성을 가지며 고 정확도의 증폭에 필수적인 동상 신호 제거비(CMRR)가 우수하며 고 입력 임피던스를 갖는다. 증폭부의 이득은 $1 + \frac{2R_f}{R_s}$ 이며, 센서 출력 등의 미소 신호를 AD변환이 가능한 신호로 증폭시키는 역할을 한다. 사용한 R_s , R_f 는 온도 상수가 동일한 페어저항(pair resistance)를 이용하였으므로 온도 변화에 따른 증폭을 변화가 거의 없다고 가정한다.[4][5]

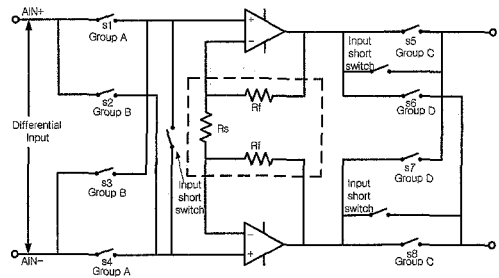


그림 2. 아날로그 스위칭 회로와 증폭회로

2.3 아날로그입력 신호의 스위칭

(1) 스위칭 회로

A/D 변환시 증폭 회로의 오프셋 전압 값을 보정하기 위하여 입력을 S1, S2, S3, S4를 이용하여 주기적으로 교차를 시켜준다. 그림 2에서 보듯이 S1, S4가 동시에 온 되고, 다음 주기에 S2와 S3가 온 된다. 그 결과 동작점을 중심으로 $A \in P$, $A \in N$ 신호가 주기적으로 교차 증폭되고 증폭기의 출력 부분에 2차 스위치 부분을 두어 항상 일정한 방향의 $A \in P$, $A \in N$ 가 되도록 한다.

증폭시 OP앰프의 오버슈트를 통과 시키지 않도록 하기 위하여 다음단의 스위치 부분은 첫 번째 스위치타이밍에 대하여 스트로보기능을 갖도록 타이밍을 조절 하였다.

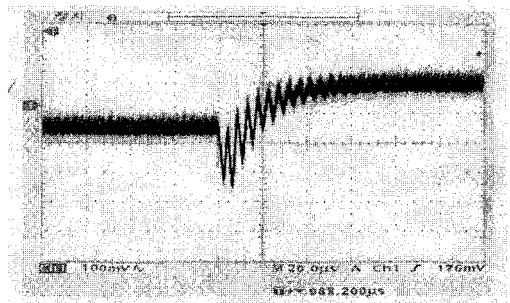


그림 3. 증폭기의 오버슈트 (20 μs /div)

그림 3은 증폭기의 오버슈트의 파형을 보여준다. 그림에서 보듯이 오버슈트의 시간은 약 40 μs 정도이므로 첫 번째 스위치의 통전 뒤 이 기간 이상의 시간 지연 뒤에 두 번째 스위치를 온 시키면 안정된 출력을 얻을 수 있다. 구현된 스위치 클럭 신호는 1차 스위치의 온 시간은 1000 μs , 2차 스위치는 500 μs 로 설정하였다. 먼저 1차 측이 온 된 후 500 μs 가 지난 후 2차 측을 온 시키는 방법을 이용하여 증폭기의 오버슈트를 제거하였다. 이 클럭의

주파수는 실험을 통하여 결정하였다.

(2) 입력 단락 회로

입력 신호를 주기적으로 교차시키는 것과 별도로 일정시간을 주기로 증폭 회로의 입력을 단락시키고 A/D 변환하여 소프트웨어적으로 기억하여 드리프트 성분을 신호성분에 디지털적으로 감산하는 보상방법이다.[6][7] 온도에 따른 시스템의 영점 이동에 대한 값을 구할 수 있다. 그 결과 계측 증영점 이동에 의한 영향을 최소화 시킬 수 있다.

2.4 Sample and Hold

그림 4는 오프셋 전압을 보상하기 위한 sample and hold 회로와 저역통과기 회로를 보여준다.

스위치에 의해 교차된 입력 신호를 증폭하면 OP앰프에 의한 오프셋 전압을 포함하게 된다. 신호는 이상적인 동작점을 중심으로 증폭되어야 하나 이 전압에 의해 동작점이 이동하게 되고 오차를 포함한 입력 값이 된다. Sample and hold 회로를 이용하여 이것의 영향을 제거한다.

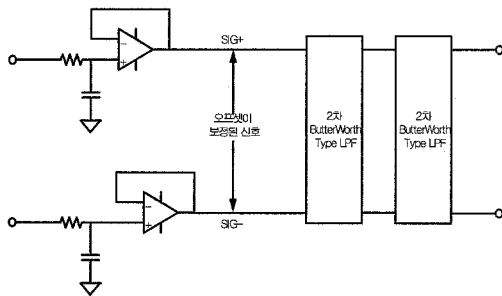


그림 4. Sample & Hold 및 저역통과기

양의 방향으로 증폭된 전압을 입력한 후 아날로그 스위치를 오프시키고 다시 음의 방향으로 증폭된 전압을 다시 입력시킨다. 스위치 오프시 회로가 오픈 되므로 커패시터의 방전은 없는 것으로 가정한다. 임의의 크기의 오프셋 전압을 증폭된 신호가 포함하고 있었다면 common mode로 측정하였을 때 양의 방향과 음의 방향으로 증폭된 값의 차이는 오프셋 전압의 2배가 된다. 그러나 sample and hold 회로의 입력은 항상 일정한 방향으로 인가되고 입력 전압이 증폭을 만큼 증폭된 값에 오프셋 전압이 한 번은 더해지고 한 번은 감해지므로 그 평균값은 증폭된 신호의 크기가 된다. Fig. 5는 PSpice 시뮬레이션의 결과로서 voltage follow 회로의 출력을 측정하였다. 이때 입력 신호는 13mV와 10mV로서 두 신호의 DIV(Differential Voltage) 값은 3mV이다. 그 결과 예상했던 증폭된 신호보다는 적은 출력을 보였으나 회로상의 $A \in P, A \in N$

이 구별되는 것을 확인 할 수 있었다.

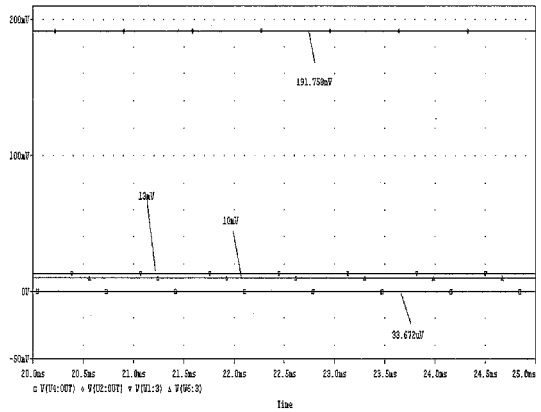
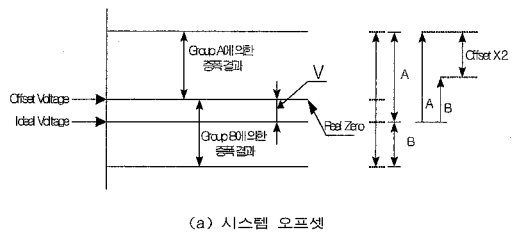
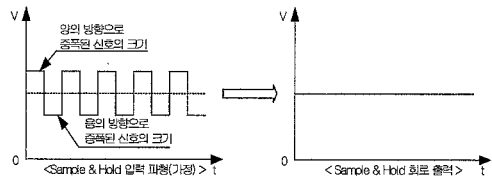


그림 5. Sample and Hold 회로의 PSpice 시뮬레이션 결과



(a) 시스템 오프셋



(b) 오프셋 전압의 검출과 보정

그림 6. 시스템 오프셋의 보정

본 논문에서 이용한 오프셋 제거 방법 외에 기존의 방법으로는 소프트웨어적인 방법과 온도에 따른 look up table을 이용하는 방법이 있다. 그러나 이 두 가지 방법은 많은 데이터를 읽거나 저장하고 있어야 하므로 메인 프로세서와 메모리에 대한 부담을 준다.[8]

2.5 스위치 클럭 발생회로

아날로그 입력 신호를 주기적으로 증폭부와 펄

터부에 교차시키면서 입력하기 위해 74HC4066 아날로그 스위치를 이용하였다. 각 스위치 마다 스위칭을 위한 클럭 신호는 74HC74를 이용하여 구성하였다.

1차 스위치를 온 시키는 시그널이 출력되면 증폭기에 입력이 인가된다. 짧은 시간이지만 OP앰프의 출력은 상태가 바뀔 때마다(H to L, L to H) 오버슈트가 발생하게 된다. 1차와 2차의 스위치가 동시에 온 된다면 이 신호도 함께 A/D 변환이 될 것이고, 그 값은 결과 데이터가 큰 편차를 보이면서 흔들리는 잡음으로 나타난다. 그러므로 1차 스위치가 온 된 후, OP앰프의 출력이 안정될 때까지 기다린 후 2차 스위치를 온 시킨다. 그러나 오버슈트는 사라진 대신 스위치의 온/오프에 의한 잡음이 발생하고 결과에 영향을 주게 된다. 이 잡음은 저역 통과기와 메인 프로세서의 데이터 안정화 알고리즘을 통하여 제거시킨다.

MC74HC74의 출력 파형은 Transistor Array인 LB1213M를 통하여 디지털 논리 값에서 아날로그 값으로 바뀐다. 이중 두 파형을 wired-OR 회로를 이용하여 1, 2차 스위치의 시간적인 차이를 구현하였다. 그림 8은 스위치 클럭 신호에 대한 PSpice 시뮬레이션을 한 결과이다. MC74HC74는 상승 에지에서 출력 인에이블이 되므로 입력된 클럭 주파수를 2분주한다.

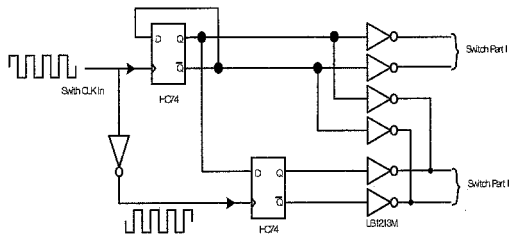


그림 7. 아날로그스위치 클럭 발생회로

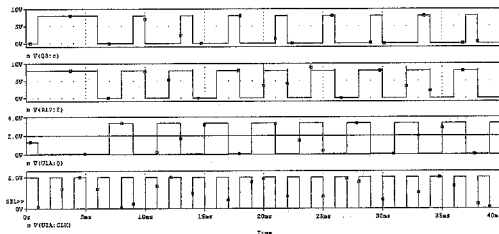


그림 8. 스위치 클럭 신호의 PSpice 시뮬레이션 결과

두 번째와 세 번째 파형을 wired-OR 회로를 통

하여 2차 스위치의 클럭 신호인 첫 번째 파형을 얻을 수 있었다. 네 번째 파형은 클럭 발생기에 입력되는 클럭 신호의 파형이다.

3. 소프트웨어의 구성 및 동작

하드웨어를 이용하여 오프셋 전압과 잡음을 제거하였으나 전원 및 기계적인 진동, 스위치 클럭에 의한 잡음 등은 아직 완전히 제거 되지 않았으며 가산기 회로의 OP앰프의 오프셋 전압 등은 아직 남아있는 상태이다.

소프트웨어가 담당해야할 부분은 변화하는 데이터를 필터링할 수 있는 디지털 필터를 설계하고, 영점 상태의 데이터를 인식하여 이미 정의 된 값과 비교하여 초기 카운트 값을 재조정하는 부분, 계측 된 데이터를 이용하여 디스플레이에 사용할 변환 테이블, 계측기가 영점 상태로 유지될 경우 주변온도 및 여러 환경에 대해 변화하는 카운트 값을 초기 치로 만들어주는 auto zero tracking 등이다. 그림 9는 실험에 사용된 소프트웨어의 구성을 보여준다.

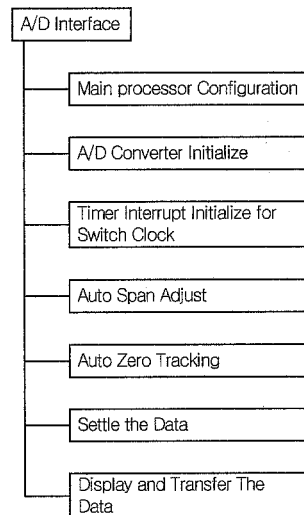


그림 9. 소프트웨어의 구성

3.1 데이터 안정화 알고리즘

설정 값에 의해 A/D 변환 결과에서 유효한 데이터 비트의 수는 약 20비트가 된다. 그러나 그 값은 $\Delta\Sigma$ -변환의 특성상 하위 몇 비트는 유효하지 않으므로 안정화 알고리즘을 적용한다. 프로그램은 입력된 데이터를 우측으로 4-bit shift 시키고, 디지털 필터인 7-점 이동 평균 필터를 이용하는 방법으로 구현하였다.

3.2 Auto Zero Tracking

정확한 계측을 위해서는 영점이 일정해야 한다. 만약 영점에 대한 A/D 값을 고정시켜 둔다면 온도 및 시스템의 장기적 드리프트 변화와 같은 외부적인 요인에 의한 A/D 결과 값의 변화에 따라 초기 값의 변동이 발생하게 된다. 그러므로 표시 변화 범위 내의 값만큼의 미세한 변화가 계속될 경우 이를 영점으로 계속 추적해 가야한다. 이것을 소프트웨어적으로 구현한 것이 auto zero tracking 이며, 그 흐름을 그림 10에 나타내었다.[9]

계측이 이루어지지 않을 경우 A/D 변환 결과 값은 영점에 대한 카운트 값을 나타낸다. 만약 영점에 대한 카운트 값이 변화하지 않고 안정적이라면 문제가 되지 않으나 변화가 발생하였을 경우 적절한 결과를 나타내야 한다. 계측에 의한 변화라면 그 결과 값을 표시하도록 하면 되고, 영점의 이동에 대한 것이라면 그 값을 따라가도록 해야 한다.

그림 10 에서 보듯이 새로 읽은 카운트 값과 현재 영점의 값을 비교하여 일정 범위 내에서 변화하였을 경우 계속 그에 해당하는 값이 반복되면 그 값을 영점으로 교체한다. 잡음이나 일시적인 진동(spike)에 의한 변화라면 그 값은 무시되어야 한다.

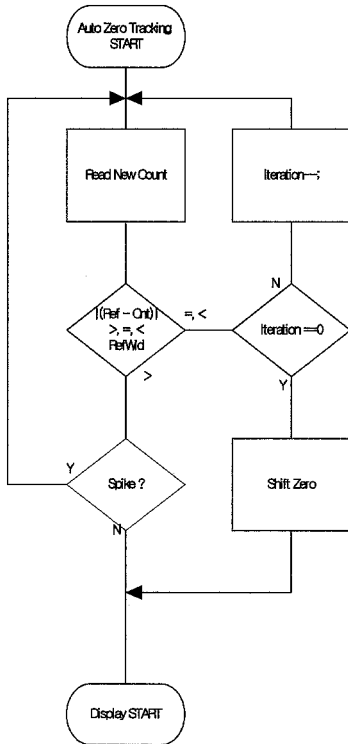


그림 10. Auto Zero Tracking

3.3. 계측값의 표시

카운트 값을 읽은 후 안정화 및 여러 가지 알고리즘을 거친 뒤 디스플레이 장치로 계측값의 표시를 한다. 디스플레이 장치로는 LCD형 VFD를 이용하였다. 중량 표시는 카운트 값을 그대로 이용하지 않고 변환 테이블을 이용하였다. 0g을 나타내는 초기치를 8000카운트로 정의 하고, 최대치를 15kg으로 예상하였으므로 풀 스펬의 값은 53000으로 하였다.

시스템 부팅 후 안정된 첫 데이터를 초기 카운트 값과 대응되도록 하였으며 1-digit에 해당하는 카운트 값이 변화하였을 경우에만 디스플레이 된 데이터가 변할 수 있도록 하였다. 다음 식은 A/D 변환 데이터와 중량 테이블과의 관계를 계산하는 것을 나타낸다.

$$y = Data_{ADResult} - InitialData_{AD} \quad (1)$$

$$x = FullScale\ Weight \times \frac{y}{Full\ Count} \quad (2)$$

식 (1), (2)에서 얻은 결과 값을 디스플레이 장치를 통하여 표시하고, 사용된 A/D 변환 결과 값과 함께 PC로 전송한다.

4. 실험 결과

입력 신호를 주기적으로 교차시켜주기 위한 스위치 클록의 주파수를 결정하기 위하여 스위치 온 시간에 대한 실험을 하였다. 사용된 OP앰프의 주파수 특성이 약 4kHz 이상의 입력 주파수에 대해서는 출력이 대하여 정확한 값을 보장하지 않는 것으로 관찰되었다.

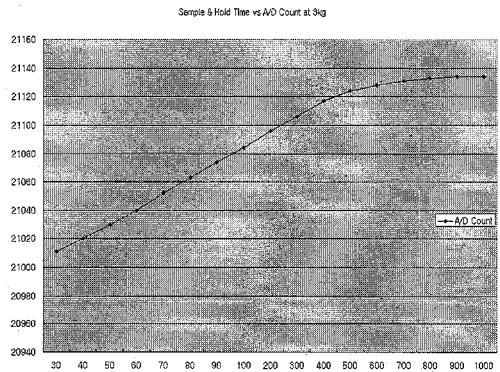


그림 11. 스위치 온 시간(μs)과 A/D 변환 결과(count) 값의 관계

입력 신호를 교차시키기 위한 클럭의 주파수를 알아보기 위하여 스위치가 ON 되어 신호를 통과시켜주는 시간에 따라 actual zero의 카운트 값이 어떻게 변화 하는지 실험을 통하여 알아보았다. 스위치 온 시간을 $30\mu s$ 에서 $1000\mu s$ 까지 변화 시키면서 카운트 값의 변화를 확인하고, 그 결과 그림 11과 같은 그래프를 얻을 수 있었으며, 약 $900\mu s$ 이상의 시간동안 스위치를 온 시켜주었을 때 오차의 값이 적정 수준 이내로 감소함을 알 수 있었다.

또한 온도 테스트를 통하여 스위치 온 시간과 actual zero 카운트 사이의 관계를 확인하기 위하여 상온에서 고온, 저온에서 상온사이에 변화하는 온도 감도를 측정하였다. 그 결과 그림 12와 같은 온도 감도 그래프를 얻을 수 있었으며, 스위치가 온 되는 시간이 $900\mu s$ 정도일 경우 매우 안정적인 변환결과 값을 얻을 수 있었다.

온도 감도의 테스트에서는 안정화 알고리즘을 거치지 않은 데이터의 평균값을 이용하였다.

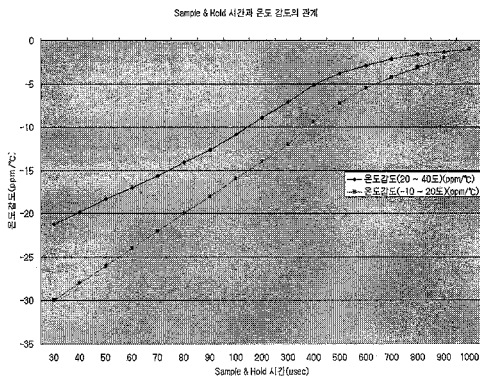


그림 12. 스위치 온 시간과 온도 감도의 관계

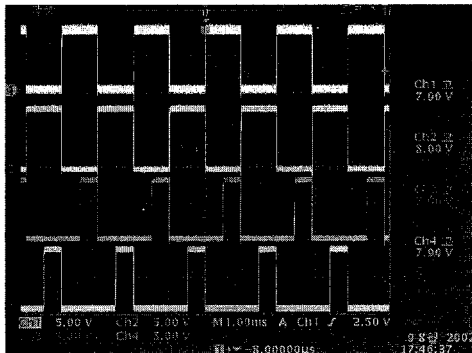


그림 13. 스위치 클럭 신호

Sample and hold 회로를 이용하지 않고 A/D 변환을 하였을 경우 출력 데이터가 안정적이지 못

하고, 오차 범위내로 수렴되지 못하는 것을 보았다. 그러나 이 회로를 이용하여 입력신호를 교차시켜 주었을 경우 매우 안정적인 결과를 얻을 수 있었다. 전자와 후자의 실험에서 소프트웨어 필터는 동일하게 적용하였다. 그림 14, 15는 각각에 대한 실험 결과 데이터이다.

센서에서 나오는 신호를 증폭기를 통하여 증폭하는 중 일정 시간을 주기로 하여 증폭기의 입력을 단락시킨 후 그때의 카운트 값을 온도의 변화를 주면서 실험 하였다. 이때 다른 소프트웨어는 실행하지 않았으며 입력 신호의 단락과 A/D 변환 결과 값의 표시에 관한 것만 동작 시켰다. 그림 16은 1초마다 이 알고리즘을 수행하였을 경우 드리프트 보정 시간은 약 7초에 가깝게 나타났으며, 그림 17은 온도를 90분 동안 $0^{\circ}C$, $10^{\circ}C$, $-10^{\circ}C$ 로 변화시키면서 측정한 카운트 값의 오차에 대한 그래프로서 간간이 큰 오차가 발생하였다.

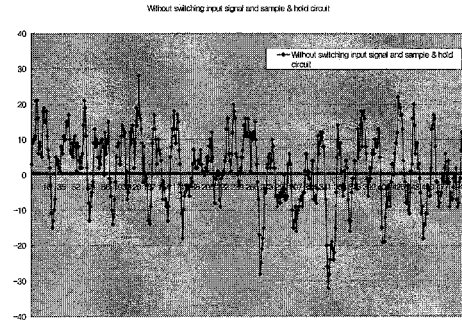


그림 14. sample and hold 회로를 사용하지 않았을 경우의 A/D 결과 값

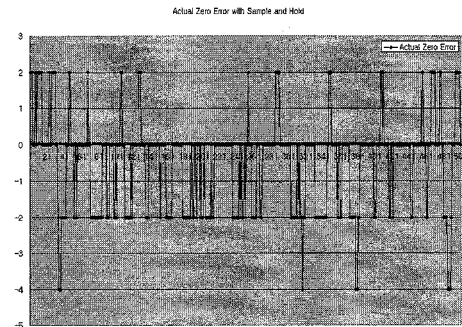


그림 15. sample and hold 회로를 사용하였을 경우의 A/D 결과

그러나 입력 신호의 교차 알고리즘을 적용하고

입력 신호 단락 알고리즘은 적용하지 않았을 경우 actual zero의 값은 온도에 따라 드리프트가 발생하였다. 한편 동일한 조건에서 입력을 주기적으로 단락시키고 그때의 변환 결과 값을 읽어 오차가 발생할 경우 보정해 주었을 때 actual zero의 오차는 현저히 줄어들었음을 알 수 있었다.

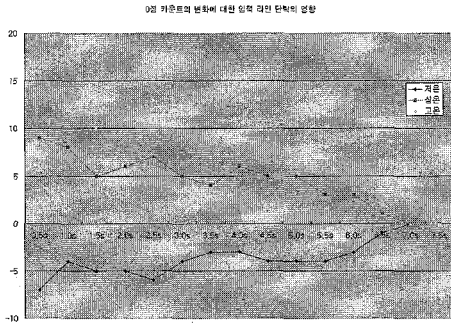


그림 16. 드리프트 보정 시간

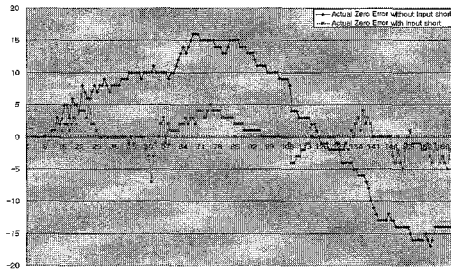


그림 17. 입력 신호 단락 알고리즘의 영향

5. 결론

본 논문에서는 정밀계측용 A/D변환을 구현하기 위하여 기존의 아날로그회로에서 상시적으로 문제가 되고 있는 오차요인들을 마이크로프로세서를 이용하여 아날로그 스위치를 제어하여 오프셋 전압이 sample and hold 회로에서 보상될 수 있도록 하였으며, 주기적인 입력 단락을 통하여 드리프트의 영향으로 발생한 데이터를 소프트웨어를 이용하여 보상할 수 있도록 하였다. 따라서 데이터 안정화를 위한 알고리즘을 간소화 시킬 수 있었다.

개발된 소프트웨어는 계측 시 기준 영점을 유지하기 위한 Auto Zero Tracking, 순간적인 임펄스 입력과 입력 데이터의 변화를 완화 시켜주기 위한 소프트웨어 필터를 이용하였다. 이러한 하드웨어와 소프트웨어를 이용하여 안정된 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 16비트의 분해능을 사용하였으나 이를 바탕으로 그 이상의 분해능을 이용할 수 있는 정밀 계측에 대한 연구가 계속될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 이 결과를 이용하여 정밀 아날로그 센서신호 계측에 관련된 여러 분야에 활용이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 박찬원 외, "싱글 칩 마이크로프로세서에 의한 프로그래머블 2중적분형 A/D 컨버터 개발", 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, pp.35-337, 1993, 11
- [2] Robert F. Coughlin, Robert S. Villanucci, "Introductory Operational Amplifiers and Linear ICs", Prentice Hall, pp. 249-285, 1990
- [3] National Semiconductor Corporation, "Linear Data book 2", Rev. 1, 1988
- [4] Berlin, H. M., "OP-amp. Circuits and Principles", SAMS, 1991
- [5] Roland E. Thomas, Albert J. Rosa, "The Analysis and Design of Linear Circuits", Prentice Hall, 1997
- [6] 박찬원, 안광희, "계량설비용 디지털 출력 로드셀의 개발", 한국조명 전기설비학회 논문집, Vol.11, No.1, pp114-122, 1997. 2
- [7] 박찬원, 민남기, "능동 회로에 의해 온도 보상된 이중 빔 로드 셀의 개발", 대한전기학회 논문지, Vol 44, No. 8, pp. 1057-1062, 1995
- [8] Stephen D., "Interfacing : A Laboratory Approach Using the Microcomputer for Instrumentation, Data Analysis and Control", University of California, Berkeley, Prentice Hall, 1990
- [9] Ono, T, "Dynamic Weighing of Mass", Instrumentation and Automation, Vol. 12, No. 2, 1984