

## Load Cell Noise 제거를 위한 Digital Load Cell 에 대한 연구

이영진\* 이흥호\*  
충남대학교 전기공학과\*

### A study on a digital load cell for the removal of load cell noise

Lee, Young-Jin\* Lee, Heung-Ho\*  
Dept. of Electrical Eng. Chungnam National Univ.\*

**Abstract** - Noise reduction and a simplification of a precision measurement system has been performed by changing analog output mode of a load cell into digital output mode. Usually, analog output signal of a few  $\mu\text{V}$  from a load cell are amplified by amp and acquired by A/D converter. If the distance from a load cell to a DAS(Data Acquisition System) increases, more noise signals are mixed. So, a microprocessor has been integrated into a load cell so that the amplification and A/D conversion of output signals could be done in close proximity to the load cell for the reduction in mixing of noise. Obtained data from the load cell like this manner are transferred to a computer with digital values(of TTL level). To simplify the configuration of a multi-channel DAS, RS-485 communication system has used for data transfer

### 1. 서 론

로드셀은 탄성체가 외력을 받았을 때 생기는 로드셀 감지부의 탄성 변형을 감지부 표면에 부착된 스트레인 게이지의 저항 변화를 측정함으로써 힘의 크기를 전기적인 신호로 검출할 수 있는 장치이다. 이러한 로드셀은 지금까지 해상 구조물, 대형 기계 구조물, 토목 구조물 등의 하중 감지 소자로서 산업 현장에 광범위하게 사용되어져 왔다. 또한 자동제어 및 실험 설비에서 미세한 힘을 측정하는 정밀 측정 소자로서 널리 사용되어진다. 이와 같이 로드셀의 응용 범위가 확대될 수록 사용 목적 및 설치 환경에 적합한 형태 및 크기의 로드셀이 필요하게 되며 Data 습득시 주변 환경의 영향을 최소화 할수 있는 DAS(Data Acquisition System) 구성 또한 중요한 사항 중의 하나라 할 수 있다. 본 논문에서는 아날로그의 로드셀의 신호를 shield cable로 전송할 때 주변 노이즈의 유입이 용이하여 정밀도와 안정도에 영향을 주게 되는데 이를 방지하기 위하여 아날로그 증폭부와 one-chip 마이크로 프로세서로 제어되는 A/D 변환부를 로드셀에 장착하여 변환된 디지털 데이터를 RS-485형식의 쌍방향 직렬 통신을 구축함으로써 host(PC) 측 명령어에 의해 구동될 수 있도록 하였다.

### 2. 본 론

위의 기능을 구현하기 위해서 디지털 방식 로드셀은 로드셀부, 증폭 및 A/D 변환부, Host PC의 S/W부로 구성되며 이를 연결하기 위한 통신부가 추가된다. 전체적인 블록 선도는 그림 1에 나타내었다. 개별 구동을 위해 unipolar 전원을 사용하여 전원 공급이 이루어지도록 하였다. 과도한 증폭시 신호가 왜곡되는 현상을 방지하기 위해 증폭을 작게 하고 A/D 변환의 기준 전압으로 2.5V의 낮은 전압을 사용하였다. 또한 자동 offset 조절을 하기 위해 one-chip 마이크로 프로세서에서 D/A 변환기를 제어하였다. RS-485 직렬 통신을 통해 host(PC) 측 명령어에 의해 초기화 및 offset조절이 가능하게 하였다.

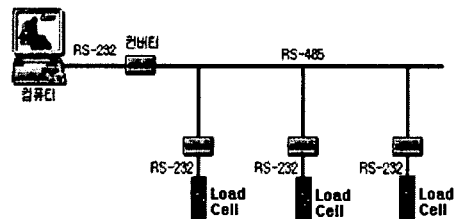


그림 1 전체 시스템 구성도

#### 2.1 로드셀 회로 구성

one-chip 마이크로 프로세서를 로드셀에 탑재하였으며 그 내부 구성도는 그림 2와 같다. 통신은 컨버터를 사용하여 RS-232 to RS-485하여 다수의 로드셀의 신호를 하나의 PC에서 계측이 가능하게 하였다.

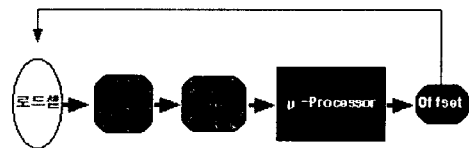


그림 2 로드셀 내부 구성도

로드셀의 Bridge 회로 구성은 일반적으로 그림 3과 같이 구성되는데 부하가 없는 평형 상태에서 출력은 다음식 1과 같다.

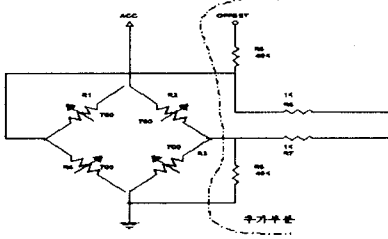


그림 3 로드셀 Bridge 회로

$$V_{out} = -\left\{ \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right\} V(1)$$

따라서 이 회로가 초기에 평형을 이루고 출력이 없는 상태가 되기 위하여서는 Bridge 회로 구성하는 저항들 사이에 다음 식2와 같은 관계가 성립되어야 한다.

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \text{-----}(2)$$

회로에 사용되는 전원은 unipolar 전원으로 양방향의 힘을 계측하기 위해서 기준 전압을 사용하여 그 절반의 값을 "0"으로 인식하도록 하였다. 따라서 외력의 영향이 없는 상태에서 평형 상태를 깨뜨려야 하며, 평형 상태를 깨뜨리기 위해 외부에 고정 저항 R6을 병렬로 추가하였다. 이로써 외력이 없는 평형 상태에서 출력 Vout은 negative 신호가 된다.

### 2.2 아날로그 증폭 및 A/D 변환

로드셀의 수  $\mu V$  레벨의 전압을 증폭하여 A/D 변환기의 분해능에 맞추기 위해서는 수백 배의 증폭을 필요 하는데 증폭기 이득의 온도 드리프트와 경년변화, 오프셋 전압 등이 문제가 된다. 이와 같이 신호가 왜곡되는 것을 줄이기 위하여 증폭을 최소화하고 A/D 변환기의 분해능을 최대한 활용하기 위해서 A/D 변환기의 reference 전압으로 2.5V의 저전압을 사용하였다. 증폭용 앰프는 아주 낮은 오프셋 전압과 드리프트 특성을 가진 Analogue Device사의 AMP04를 사용하였고 증폭부 회로도도 그림 4와 같다.

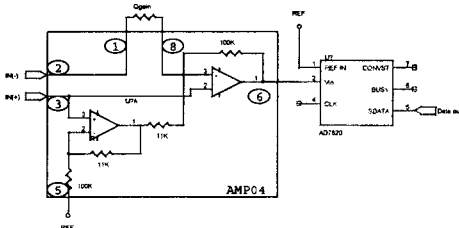


그림 4 증폭부 회로도

OP앰프 AMP04의 출력 Vout은 다음 식3과 같다.

$$Gain = 100K\Omega / R_{GAIN} \text{ (Gain=400)}$$

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times Gain + V_{REF} \text{-----}(3)$$

출력 범위를 0 ~ 2.5V 범위가 되도록 하기 위하여 AMP04 REF단자에 2.5V를 인가하였기 때문에 초기 출

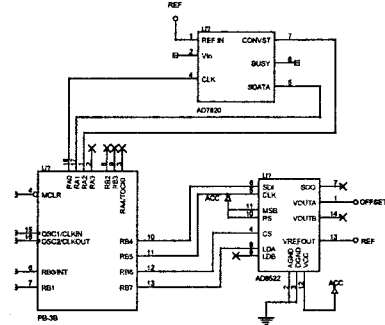


그림 5 A/D 변환 및 OFFSET 조절

력 전압은 약 1.25V 범위가 되도록 하여야 한다. 따라서 Gain을 400으로 하였을 때 평형 상태의 출력  $\Delta V = 0.0031V$ 가 되어야 한다. A/D 변환 소자로는 Analogue Device사의 AD7895-2를 사용하였다. A/D 변환기의 변환 전압 범위는 0 ~ 2.5V이고, 12비트의 분해능을 가지며 serial 방식으로 Data를 출력한다. 또한 로드셀 출력의 offset 조절이 자동으로 이루어 질 수 있도록 하고, 회로 전체의 기준이 되는 reference 전압으로 2.5V를 얻기 위해서 12비트의 분해능을 갖고 있으며 고정된 2.5V 출력을 제공하는 D/A 변환기 AD8522를 사용하였다. 마이크로 프로세서와 A/D 변환기 그리고 offset 조절용 D/A 변환기의 회로도 를 그림 5에 나타내었다.

### 2.3 실험 및 고찰

로드셀과 Data Acquisition System이 약 40m의 거리를 유지하고 있는 상태에서 기존의 아날로그 방식과 디지털 방식을 사용하여 static 상태에서 부하가 없는 경우와 부하를 가한 경우의 데이터를 각각 취득하여 상호 비교를 수행하였다. 상호 비교를 위해 동일한 로드셀을 가지고 실험을 실시하였다. 로드셀과 실험 모습을 그림 6에 나타내었다.

아날로그 방식에서 증폭용 앰프는 프로컴사의 DC strain 앰프 PCA-17를 사용하고, A/D 변환용 DAQ Board로는 NI사의 PCI-MIO-16XE-10을 사용하였다. 또한 신호 라인에서 혼입되는 노이즈를 최소화하기 위하여 shielded twist paired 케이블을 사용하였다. PC에서 사용된 계측용

test program은 GUI에 입각하여 VC++를 사용하여 제작되었으며 데이터를 실시간으로 보여주는 그래프 기능과 로드셀의 영점 설정, 그리고 data 저장 기능을 갖고 있다. 계측용 화면을 그림 7에서 보여주고 있다.

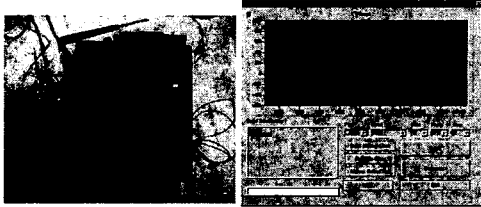


그림 6 실험 모습    그림 7 Data 계측화면

RS-485 통신을 이용하여 통신속도 9600bps data bit 8비트로 하였으며, sampling rate가 50Hz일 때 100초 동안의 data에 대한 평균값, 최대값, 최소값, 표준편차를 구하였으며 부하가 없을 때 결과를 table 1과 그림8(좌측 기준, 우측 개선)에서 나타내고, 부하가 가해진 경우의 결과를 table 2와 그림 9(좌측 기준, 우측 개선)에 나타내었다.

Table 1 부하가 없는 경우

구분	기존의 방식	개선된 방식	비고
평균	0.7703	0.9860	
최대	0.7839	1.1030	
최소	0.7558	0.9188	
표준편차	0.0053	0.0061	



그림 8 부하가 없는 경우

Table 2 부하가 있는 경우

구분	기존의 방식	개선된 방식	비고
평균	1.4665	1.6072	
최대	1.7479	1.9238	
최소	1.4339	1.5048	
표준편차	0.5104	0.7304	



그림 9 부하가 있는 경우

table에서 나타난 것과 같이 기존의 방식과 비교를 하여 보면 평균값을 기준으로 하여 최대값과 최소값의 분포가 기존의 방식보다 많이 감소한 것을 알 수 있다. test에서 이러한 결과를 얻을 수 있는 것을 감안하면 제품으로 제작을 하였을 경우 더 좋은 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 정밀한 힘을 측정하기 위한 로드셀을 열악한 환경에서 사용할 때 noise를 제거하기 위하여 소형 마이크로프로세서를 로드셀과 일체화하여 실험을 실시하였다. 로드셀과 Data Acquisition System과 40M의 거리를 두고 실험하는 과정에서 아날로그 방식과 디지털 방식 모두 초기에 접지를 하는 방법에 따라 신호의 안정도에 많은 영향을 주었으며, 계측한 data를 비교한 결과 개선된 방식으로 계측한 신호가 안정된다는 것을 알았다. 또한 기존의 Data Acquisition System 구성을 위한 비용을 감안할 경우 개선된 방식인 디지털 방식의 경우 저렴한 비용으로 system을 구성할 수 있다. 앞으로 다분력계에 대한 matrix 계산 프로그램 등을 마이크로프로세서에 추가하여 다분력 로드셀에 적용하면 다분력계에서 발생하는 상호 간섭을 마이크로프로세서에서 직접 LCD 등을 통해 보여줌으로써 PC등 복잡한 system 없이 간단하게 사용이 가능할 것으로 생각된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Malvino, "Electronic Principles(fifth edition)", 1986
- [2] 노병욱, "Sensor and Computer measurements" 1994
- [3] Mike Blaszczak, "Professional MFC with Visual C++", 2000
- [4] MicroSoft press, "VC++ version 5.0.", Manual, 1998
- [5] Phillips/Nagle, "Digital Control System Analysis and Design" 1995
- [6] 이상길, "OP 앰프 응용 회로 집", 월간전자기술, pp.18 ~ 88, 1998년 7월