

디지털 로드 셀 개발

배인호*, 박흥준*, 박찬원**, 민남기***
 *(주)카스, **강원대학교, ***고려대학교

Development of Digital Load Cell

In Ho Bae*, Heung Joon Park*, Chan Won Park**, Nam Ki Min***
 *CAS, **Kangwon National University, ***Korea University

Abstract - 본 논문에서는 디지털 로드 셀의 국산화 결과를 보고한다. 개발된 로드 셀의 특성은 다음과 같다. A/D분해도: 20 bit, 변환속도:100 Hz, 정도: < 0.02% R.O., 반복특성: < 0.01% R.O. 사용온도범위: -20~80℃, 온도특성: < 0.03% R.O./10℃, 진단기능: 자체내장, 자체보정기능: 온도, 편심오차, 크리프 보정기능 내장, 보호회로: surge lightening.

1. 서 론

로드 셀은 저울과 같은 직접적인 하중 측정 외에 배합기, 포장기, 분류기 등의 산업부분, 엘리베이터, 자동차, 운송장비 등의 시스템 응용, 교량 스트레스 측정 등 매우 넓은 분야에 응용되고 있다. 실제 응용분야가 실외 환경이 많고 원거리 감시와 시스템 자동화 측면이 중요함에도 불구하고, 현재 주로 사용되고 있는 아날로그 로드 셀은 낮은 신호레벨로 인한 노이즈 문제 등 출력신호의 특성상 장거리 전송이 곤란하고, 전원공급과 신호측정에 상대적인 어려움이 있다. 특히 다중 로드 셀 시스템의 경우 센서의 임피던스 부정합, 원거리 감시문제 등 여러 적용상에 문제가 있다.

이에 반해 디지털 로드 셀은 디지털 신호를 출력신호로 하여 노이즈 등에 강하고 임피던스 정합과 무관하고 사용이 편리한 디지털 인터페이스를 제공하며, 원거리에서의 센서 제어가 가능하다. 또한 센서보상, 자체진단 등의 스마트센서 기능을 갖고 있어 독립적인 작업수행이 가능하게 한다. 디지털 로드 셀은 원거리 계측, 시스템 자동화 등에 활용될 수 있으며 컴퓨터 등과 쉽게 연결되어 사용될 수 있으므로 현재 여러 분야에서 아날로그 로드 셀을 빠르게 대체해 가고 있다. 세계적으로는 디지털 로드 셀의 시장규모가 계속 확대되고 있으며, 관련업체의 참여도 늘고 있고, 관련 특허 등의 지적재산권이 해외 선발업체들에 의해 선점되고 있다. 따라서 디지털 로드 셀의 제작·양산기술의 조기확보와 빠른 시장진출은 자체적인 국내 기술 확보뿐만 아니라 수입대체, 해외시장진출 등에 매우 큰 의미를 갖는다.

본 논문에서는 디지털 로드 셀의 국산화한 결과를 보고한다.

2. 탄성체 설계 및 제작

디지털 로드 셀은 크게 탄성체, 스트레인 게이지, 그리고 발생 신호를 처리하는 전자부로 구성되어 있다. 이제 가지의 구성 요소 중에서도 탄성체는 제품의 특성을 원천적으로 결정한다는 측면에서 중요성을 갖고 있으며 최적설계를 위한 변수의 도출은 설계 품질의 향상은 물론 제품 품질의 향상에 결정적인 역할을 한다.

일반적인 로드 셀의 형상은 크게 세 가지로 분류 할

수 있는데, 지금까지의 요소 설계기술을 바탕으로 가장 널리 사용되고 있는 binocular형과, 고하중 로드 셀에 사용되는 Canister형 탄성체에 대해서 상용 프로그램으로 FEM해석을 하였다.

그림 1은 binocular형에 대한 응력해석결과, 변형률의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 인장응력을 받는 곳은 붉은색으로, 압축응력을 받는 곳은 파란색으로 표시된다. 오른쪽에 표시된 색상에 대한 수치는 주어진 하중에 대한 변형률(strain)을 나타내며, 이 값을 이용하여 로드 셀의 출력 값을 시뮬레이션할 수 있다. 실제로 로드 셀의 주어진 Capa에 대한 출력 값 설계는 수식에 의해 특정위치의 변형률을 계산한 후 FEM 해석을 통해 하중에 대한 변형률을 시뮬레이션을 통해 신뢰성을 검증하여 설계한다. 또, 현재 상업용 제품에서 가장 널리 사용 중인 binocular 형 로드 셀에 박막 스트레인 게이지를 적용하기 위해서 게이지를 상하면에 위치시키는 고전적 방법에서 탈피하여 한면에만 스트레인 게이지를 적용하면서도 기존제품의 특성을 유지, 개선할 수 있는 설계 변수를 도출하고자 한다.

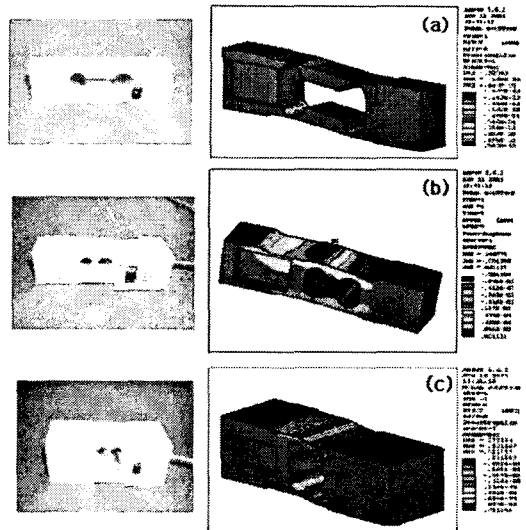


그림 1 Binocular형 탄성체의 응력 해석 결과 및 개발된 디지털 로드셀 사진

그림 2는 Canister형 탄성체에 대한 FEM 해석 결과이다.



그림 2 Canister형 탄성체의 응력해석 결과

3. 전자회로 모듈 개발

디지털 로드 셀을 구성하는 전체 회로는 각 기능과 성능을 기본적 개념으로 분리하여 성능확인 및 개선, 모듈 대체가 용이하도록 설계하였다. 특히 전원과 외부 인터페이스, 제어부 등을 하나의 PCB에, 그리고 다른 하나에 A/D부를 실장하여 실제 PCB 단계에서 모듈 분리를 구현하였다. PCB단계에서의 모듈 분리는 PCB크기를 소형화 시켜 내장형 디지털 로드 셀 구현을 용이하게 하고 서로 독립적인 회로 변경이 가능케 된다.

전체 회로내의 각 기능별 모듈은 다음과 같다. 디지털 로드셀 구성은 전원부, 통신부, 센서부, 메모리, 제어유닛, A/D변환부로 이루어지며, 자체의 전원공급을 위한 2선의 전원 입력선과 외부 호스트와의 통신을 위한 4선의 통신선으로 외부와 연결된다.

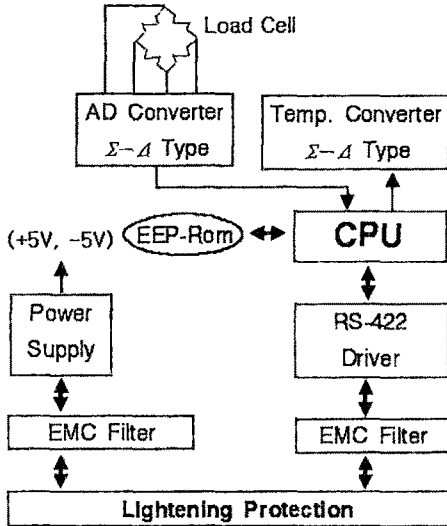


그림 2 디지털 로드 셀의 구성도

3.1 통신부

디지털 로드 셀의 출력신호는 디지털 신호이다. 따라서 호스트와 출력신호 이외의 각종 제어신호들의 통신이 가능하며, 여러 로드 셀이 묶여 하나의 시스템을 구성하는 경우에도 아날로그 로드 셀 시스템과 다른 통신 규약 측면에서의 고려가 필요하다. 미세 수준의 아날로그 출력에 비해 일단 디지털 값으로 바뀐 신호는 노이즈에 대해 상대적으로 강하게 된다. 또한 단순한 센서 출력 신호 이외에도 호스트와 여러 종류의 다른 정보를 교류할 수 있어 시스템의 유지 및 보수 편리, 응용분야 확충과 같은 여러 가지 장점이 있다. 디지털 로드 셀은 하나의 호스트에서 여러 센서와 동시에 연결되는 방식을 취하며

이런 방식으로 인하여 로드 셀의 신호종류의 판별과 여러 로드 셀 간의 신호원 확인 등이 고려되어야 한다. 직렬통신선은 로드 셀 간에 공유될 수 있으나 동시에 두 로드 셀이 통신선을 점유할 수 없다. 이를 해결하기 위해 호스트 통신제어가 필요하며 호스트는 로드 셀들의 고유 번호(ID)를 이용하여 선로점유를 제어한다. 로드 셀과 호스트 사이의 통신은 일반적인 직렬통신을 사용하며 앞에 논의된 신호원 구분과 신호종류 판별을 위해 통신 스트림 형식(stream format)이 필요하다. 직렬통신은 일반적으로 78bit의 바이트 단위로 데이터를 전송하며 마이크로 컨트롤러나 컴퓨터의 직렬통신에는 통신속도에 제한이 있다. 즉 통신선로의 대역폭이 정해져 있다. 따라서 통신 스트림의 포맷을 어떻게 결정하는가는 통신 정보량(속도)에 큰 영향을 주게된다. 만약 신호전송에 있어 이진코드를 사용하게 되면 데이터 크기를 줄여 데이터 전송속도 측면에서 잇점이 있으나 특정코드를 제어 코드로 사용하거나 신호해석, 에러 검출등이 복잡해지는 단점이 있다. 반대로 아스키(ascii) 코드를 사용하는 경우는 데이터 크기가 늘어나는 단점은 있으나 많은 문자 코드를 제어코드에 사용할 수 있으므로 데이터 전송에 있어 유연성을 크게 늘려준다. 또한 추가적으로 디지털 신호의 왜곡을 검사하고 복구할 수 있는 에러검사 코드도 고려되어야 한다. 디지털 로드셀 개발 과정에서는 아스키 코드를 사용하여 로드셀간의 id와 신호종류 구분, 실제 데이터등으로 구성되는 간단한 포맷을 적용하였다. 그리고 원거리 통신이 가능해야 하고, 일반 개인용 컴퓨터와 쉽게 연결시키기 위해 RS422방식(Master-Slave)의 직렬통신을 사용하였다.

3.2 제어부

제어부는 하나의 제어 유닛과 이를 구동하는 프로그램으로 구성되며 ADC, 온도, 외부 호스트와의 통신, EEPROM, 전원공급 등을 제어한다. ADC를 보정하고 변환명령을 내리고 디지털 데이터를 받아오는 대부분의 일들이 제어 유닛에 의해 처리된다. ADC에서 받은 데이터에 각종 보상 알고리즘과 추가적인 필터링을 적용하여 안정된 데이터로 가공하는 것도 제어 유닛에서 처리된다. 외부 호스트와 RS-422통신으로 연결되므로 외부 호스트의 통신 제어를 받게 되며 다른 외부 명령들도 직렬 통신을 통해 디지털 로드 셀로 전달된다. 이러한 명령의 해석과 최종적인 센서출력 데이터들의 전송도 담당한다. 제어 유닛은 회로 모듈의 크기와 성능을 고려하여 89C51RC2 (Philips사) 원 칩 프로세서를 사용하였다. 자체적으로 내부에 32KByte의 플래시 메모리로 구성된 프로그램 메모리와 512Byte 크기의 데이터 메모리를 가지고 있으므로 외부 메모리의 추가 설치가 필요 없고 외부의 EEPROM(93C66)을 사용함으로써 변경된 파라미터를 전원공급 여부에 상관없이 유지할 수 있도록 설계하였다.

3.3 환경문제 대응

디지털 로드 셀은 옥외 환경에서 사용되는 경우가 많기 때문에 번개나 Surge등의 전기적인 충격에 약하다. 이에 대한 방지대책으로 TVS(Transient Voltage Suppressor)부품인 SDC15, SR05(Semtech)를 사용하여 외부의 전기적인 충격으로부터 회로를 보호하였다. SDC15는 전원라인의 surge에 대한 보호이고 SR05는 로드 셀의 전원과 신호라인 간에 보호를 위한 부품이다. 또, 운용 중에 통신라인을 타고 들어오는 surge에 대해서 로드 셀과 운용 시스템 모두를 보호해야 할 필요가 있다. 이러한 통신 라인상의 surge protection은 다음과 같은 별도의 부품을 신호라인과 접지 사이에 설치하면 간단하게 해결 할 수 있다

3.4 디지털 로드 셀 알고리즘

온도 보정, 직선 보정, Scale 보정 등의 보정기능,

스파크 제거 및 평균 필터링 알고리즘, 자체진단기능, 네트워크 프로토콜 등이 포함된다.

4. 디지털 로드 셀 응용 시스템 개발

본 연구 개발에서의 응용 시스템은 디지털 신호 수신 및 로드 셀의 동작제어, 통신선 제어 등을 담당하는 아날로그 로드 셀 시스템의 인디케이터에 대응하는 프로그램이다. 특히 초기에는 디지털 로드 셀 컨트롤러 개발에 있어 로드 셀의 동작 확인, 알고리즘 테스트, 신호특성 해석 등 개발도구의 역할이 요구되고, 상품화하는데 있어서는 응용 프로그램 자체적으로 여러 개의 디지털 로드 셀을 제어하고 부가적인 기능들을 포함 개발하였다.

디지털 로드 셀은 기존 아날로그 로드 셀의 인디케이터 역할을 컴퓨터로 대체할 수 있다. 별도 개발된 전용 디지털 로드 셀 인디케이터를 사용할 수 있으나 응용분야의 다양화와, 이에 대한 빠른 대응을 위해 범용의 퍼스널 컴퓨터를 활용하여 소프트웨어 기반의 호스트 시스템을 구축할 경우 인터넷 활용 등 저 비용으로 컴퓨터가 가지고 있는 다른 자원들의 활용이 수월해진다. 본 연구 개발에서는 이를 위해 기본적인 호스트 시스템 개발을 병행하여 향후 상품화에 대비한 라이브러리 개발, 소프트웨어 패키지 등을 준비하였다.

디지털 로드 셀을 응용방식별로 나누어보면 첫째 개별 센서로 사용될 수 있고, 두 번째 여러 로드 셀을 시스템으로 구축하여 합성신호를 모니터링 할 수 있고, 세 번째로 여러 로드 셀 각각을 동시에 모니터링 할 수도 있다. 본 연구개발에서는 이들 세 가지 응용을 모두 지원하는 호스트 시스템을 구축하고 실제 다중 디지털 로드 셀 시스템 응용을 구현하였다.

디지털 로드 셀의 파라미터 설정 내용을 읽어 오거나 설정 내용을 변경하여 디지털 로드 셀에 적용하고 가공되지 않은 순수한 디지털 로드 셀 출력 값을 관찰할 수 있는 감시창이다. 동시에 제어할 수 있는 로드 셀은 4개로 설정되어 있으나 설정을 변경하여 많은 숫자의 로드 셀의 제어가 가능하도록 되어있다. 감시창은 다시 각 로드 셀에 대응되는 인디케이터 창과 모든 로드 셀의 시간에 따른 출력이력을 감시할 수 있는 스크프 창으로 구성된다. 인디케이터 창은 다시 파라미터 정보제공 모드와 센서 출력 값 감시모드 두 모드로 동작된다.

#01~#04로 대응되는 디지털 로드 셀의 ID를 표시하는 창이 인디케이터 창이며 첫 번째 창은 출력 값 감시모드로 동작되어 ID와 내부 최소표시분해도, A/D 변환 속도 등의 기본적인 설정 파라미터 정보와 로드 셀의 센서 출력 값을 표시하고 있다. 두 번째 창은 파라미터 정보제공 모드로 동작하여 ID, 제품번호(S/N), 모델명, 용량, 용량단위, 내부 필터링에 사용되는 버퍼크기, 변환속도, 디지털모듈의 펌웨어 버전 등의 디지털 로드 셀의 파라미터 정보를 제공하고 있다.

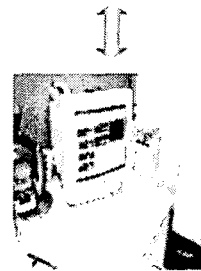
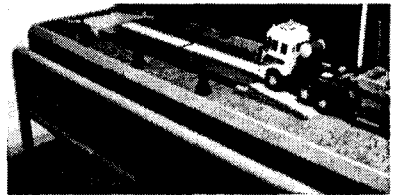
디지털 로드 셀의 개발에 있어 로드 셀의 동작 확인, 알고리즘 테스트, 신호특성 해석 등 개발도구의 역할이 요구된다. 이러한 기능의 확보와 빈번한 갱신, 기능 추가 등이 고려되었던 퍼스널 컴퓨터 소프트웨어가 가장 편리한 도구가 될 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 개발된 디지털 로드 셀은 아날로그 로드 셀이 사용되고 있는 분야에는 모두 적용가능하다. 특히 실의환경에서 원거리 감시와 시스템 자동화 측면이 많이 부합되는 시스템에 사용할 때는 아날로그 로드 셀에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 현재 온도변화와 낙뢰와 같은 주위 환경 조건에 능동적인 대체가 가능하기 때문에 계량의 정밀도에서 많은 장점이 있다. 또 자체 보정 기능을 보유하고 있기 때문에 현장에서 적용이 간편하여

고용량 시스템으로의 적용 시, 많은 장점을 가질 수 있다. 일반적으로 석유화학 공장과 계량 플랜트 업체 등의 호퍼 스케일, 탱크 스케일에 사용되고 있으며, 차량의 무게를 계량하는 트럭스 케일과 같은 시스템에 사용되고 있다. 당사에서는 개발된 디지털 로드 셀 상품화의 첫 번째 적용분야로서, 차량 무게를 계량하는 트럭 스케일을 목표로 Canister형 디지털 로드 셀과 응용 시스템의 상품화를 진행하고 있다.

Multi 디지털 로드셀 응용시스템



HOST(PC Program)
최대 32개의 디지털
로드셀 관리

그림 3 디지털 로드 셀 응용 시스템 예

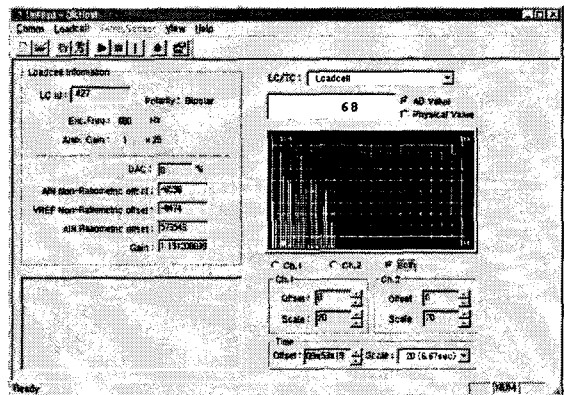


그림 4 컨트롤 시스템

본 논문은 산업자원부에서 시행한 산업기반기술개발사업(공장 자동화 센서개발)의 기술개발결과입니다.