

디지털 로드셀을 이용한 WIM 시스템의 개발

Development of WIM System Using Digital Loadcell

박 찬 원^{*} 전 찬 민^{**} 박 흥 준^{***}
Park, Chan-Won Jeon, Chan-Min Park, Heung-Joon

Abstract

In this study, a signal processing and related techniques for development of a weight measuring system using a digital loadcell which is able to satisfy the important properties of WIM (weighing-in-motion) system have been investigated.

A fast and high accurate signal processing of the digital load cell sensor for weighing-in-motion system is presented A/D conversion system is constructed to realize a stable A/D conversion and signal processing algorithm using DSP and microprocessor A new technique for vibration and measuring speed of the system is also investigated. The proposed method was applied to the actual design and the experimental results showed good performance of the weighing speed and stability.

키워드 : 디지털 로드셀, 동하중시스템
Keywords : Digital Loadcell, WIM system

1. 서론

최근의 물류산업의 급속한 발전으로 인하여 많은 수의 질량을 빠르고 정확하게 연속적으로 측정할 필요성이 늘어남에 따라 원료의 절감 및 인건비 등의 절약을 위한 질량의 자동 측정 기술이 요구되고 있다

로드셀은 저울과 같은 직접적인 하중 측정 외에 배합기, 포장기, 분류기 등의 산업부문, 엘리베이터, 가동차, 운송장비 등의 시스템 응용, 교량 스트레스 측정 등 매우 넓은 분야에 응용되고 있다 실제 응용분야가 실외환경이 많고 원거리 감시와 시

스템 자동화 측면이 중요함에도 불구하고, 현재 주로 사용되고 있는 아날로그 로드셀은 낮은 신호레벨로 인한 노이즈 문제 등 출력신호의 특성상 장거리 전송이 곤란하고, 전원공급과 신호측정에 상대적으로 어려움이 있다 특히 다중 로드셀 시스템의 경우 센서의 임피던스 부정합, 원거리 감시문제 등 여러 적용 상에 문제가 있다[1][2][3]

이에 반해 디지털 로드셀은 디지털 신호를 출력 신호로 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 작업수행을 가능하게 한다. 디지털 로드셀은 원거리 계측, 시스템자동화 등에 활용될 수 있으며 컴퓨터 등과 쉽게 연결되어 사용될 수 있으므로 현재 여러 분야에서 아날로그 로드셀을 빠르게 대체해 가고 있다[4][5]

한편 로드셀을 하중센서로 이용하는 WIM

* 강원대학교 전기공학과 교수, 공학박사
** 강원대학교 대학원 전기공학과 석사과정
*** (주) 카스 기술 연구소

(Weighing-In-Motion)시스템은 이동하는 물체의 하중을 측정하는 시스템으로, 무게에 따라서 제품을 점검, 구분, 분류를 하는데 사용되며, 전체 생산 라인에서 중요한 역할을 수행한다. 즉, WIM 시스템은 작업자가 생산품의 무게를 검토하는 기존의 과정을 대신해 자동화된 라인 상에서 이미 설정된 무게 값을 비교 확인하는 과정을 수행하기 때문에 효율성에서 매우 우수하다. 또한 기능 면에서도 포장물의 무게를 단순 측정하거나, 이미 설정한 상한, 하한 무게 구간과 비교하여 포장무게를 하한, 정량, 과량으로 생산 라인에서 동적 계량상태로 분류 할 수도 있기 때문에 공장자동화에 적합하다 [6][7][8].

이러한 WIM시스템에 사용되는 로드셀은 기본적으로 전기적, 기계적인 노이즈성분에 많이 노출되는 환경에서 사용되므로 고분해능을 얻기 위해서는 기존의 아날로그 로드셀 방식으로는 기술적인 한계가 있다[9]~[12]. 이에 본 연구에서는 먼저 디지털 로드셀을 개발하고 경쟁력 있는 국내의 제품들의 성능을 분석·비교하여 보다 저렴하고 고성능의 WIM 시스템을 개발하였다.

2. 디지털 로드셀의 설계 및 제작

2.1 탄성체 수감부의 개발

디지털 로드셀은 크게 탄성체, 스트레인 게이지, 그리고 발생 신호를 처리하는 전자부로 구성되어 있다. 이 세 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 로드셀의 형상은 크게 세 가지로 분류할 수 있는데, 지금까지의 요소 설계기술을 바탕으로 가장 널리 사용되고 있는 binocular형과, 고하중 로드셀에 사용되는 Canister형 탄성체에 대해서 상용 프로그램으로 FEM 해석을 하였다.

그림 1은 binocular형의 로드셀 탄성체 수감부에 대한 응력해석결과, 변형률의 분포를 나타낸 것이다. 오른쪽에 표시된 색상에 대한 수치는 주어진 하중에 대한 변형률(strain)을 나타내며, 이 값을 이용하여 로드셀의 출력 값을 시뮬레이션할 수 있다. 실제로 로드셀의 주어진 용량에 대한 출력 값 설계는 수식에 의해 특정위치의 변형률을 계산한 후 FEM 해석을 통해 하중에 대한 변형률을 시뮬레이션을 통해 신뢰성을 검증하여 설계하였다

2.2 전자회로 모듈 개발

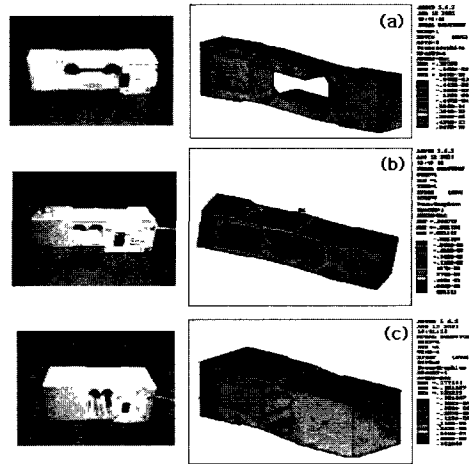


그림 1 Binocular형 탄성체의 응력 해석 결과 및 개발된 디지털 로드셀 사진

디지털 로드셀을 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 로드셀 구현을 용이하게 하고 서로 독립적인 회로 변경이 가능케 된다.

전체 회로내의 각 기능별 모듈은 그림 2와 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.

2.3 통신부

디지털 로드셀의 출력신호는 디지털 신호이다. 따라서 호스트와 출력신호 이외의 각종 제어신호들의 통신이 가능하며, 여러 로드셀이 묶여 하나의 시스템을 구성하는 경우에도 아날로그 로드셀 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 로드셀은 하나의 호스트에서 여러 센서와 동시에 연결되는 방식을 취하며 이런 방식으로

인하여 로드셀의 신호종류의 판별과 여러 로드셀 간의 신호원 확인 등이 고려되어야 한다.

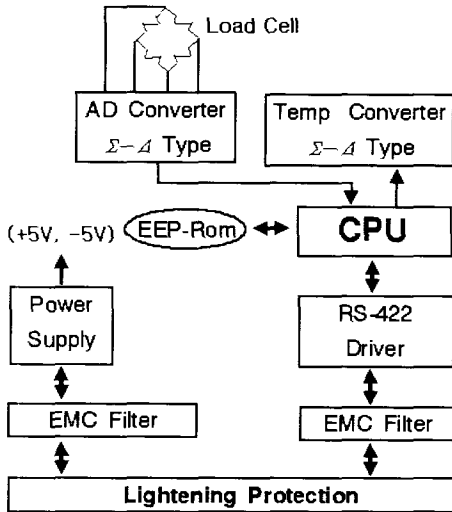


그림 2 디지털 로드셀의 구성도

직렬통신선은 로드셀 간에 공유될 수 있으나 동시에 두 로드셀이 통신선을 점유할 수 없다. 이를 해결하기 위해서 통신제어가 필요하며 호스트는 로드셀들의 고유 번호(ID)를 이용하여 선로점유를 제어한다. 로드셀과 호스트 사이의 통신은 일반적인 직렬통신을 사용하며 앞에 논의된 신호원 구분과 신호종류 판별을 위해 통신 스트림 형식(stream format)이 필요하다. 직렬통신은 일반적으로 7~8bit의 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 주게 된다. 만약 신호전송에 있어 이진코드를 사용하게 되면 데이터 크기를 줄여 데이터 전송속도 측면에서 이점이 있으나 특정코드를 제어코드로 사용하거나 신호해석, 에러 검출 등이 복잡해지는 단점이 있다. 반대로 아스키(ascii) 코드를 사용하는 경우는 데이터 크기가 늘어나는 단점은 있으나 많은 문자코드를 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 데이터 등으로 구성되는 간단한 포맷을 적용하였다. 그리고 원거리 통신이 가능해야 하고, 일반 개인용 컴퓨터와 쉽게 연결시키기 위해 RS422방식의 직렬통신을 사용하였다.

2.4 제어부

제어부는 하나의 제어 유닛과 이를 구동하는 프로그램으로 구성되며 ADC, 온도, 외부 호스트와의 통신, E²PROM, 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 직렬통신을 통해 디지털 로드셀로 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(93C46)을 사용함으로써 변경된 파라미터를 전원공급 여부에 상관없이 유지할 수 있도록 설계하였다.

2.5 환경문제 대응

디지털 로드셀은 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 보호로 사용되고 SR05는 로드셀의 전원과 신호라인 간에 보호를 위한 부품으로 사용되었다. 또, 운용 중에 통신라인을 타고 들어오는 surge에 대해서 로드셀과 운용 시스템 모두를 보호해야 할 필요가 있다.

2.6 디지털 로드셀 소프트웨어 알고리즘

온도 보정, 직선 보정, Scale 보정 등의 보정기능, 노이즈 제거와 자동영점회기(Auto Zero Tracking) 및 평균 필터링 알고리즘, 자체진단기능, 네트워크 프로토콜 등이 포함된다.

소프트웨어는 기본적으로 A/D 변환을 위한 하드웨어적인 타이밍 제어와 A/D변환 데이터의 전송과 영점조정, auto span adjust, 직선보정 알고리즘 등의 정밀 calibration을 하기 위한 프로세스와 로드셀의 용량, span, 직선 보정 데이터 등을 저장하기 위한 메모리의 제어로 구성된다.

그림 3은 로드셀신호처리의 주요 소프트웨어의 흐름도를 예로 보여준다.

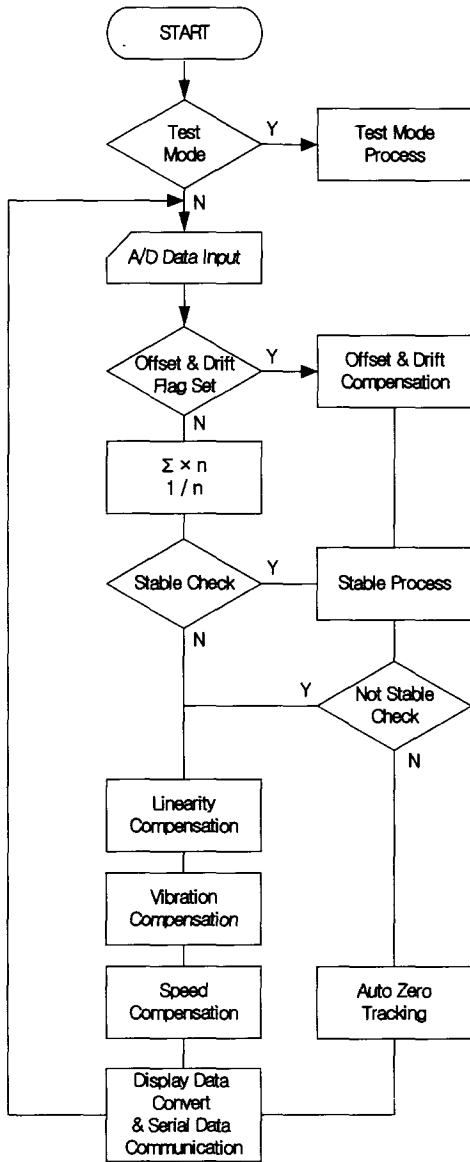


그림 3 신호처리 소프트웨어의 주요흐름도

3. WIM 시스템의 구성

그림 4는 WIM 시스템의 구성을 나타낸 것으로, 일반적으로 측정 인디케이터 및 제어부, 인입부, 계량부, 선별부, 센서부로 구성된다. 인입부는 진입하는 계량물을 정렬하여 계량부로 진입하기 전에 일정한 간격을 유지시켜주는 역할을 하며, 계

량부는 인입부를 통해 전달된 계량물을 로드셀(아날로그 형 및 디지털 형)을 통해 무게 계량을 완료하여 선별부로 전달해주는 역할을 한다. 또한 선별부는 계량부를 통과한 제품의 과량, 정상, 미량을 선별하여 분리해 주는 역할을 한다. 그리고 이러한 모든 과정의 입·출력은 측정 인디케이터 및 제어부로 이루어진다.

인입부로 들어오는 물체가 계량부 위를 지날 때 계량부 입구의 광센서의 빛을 차단하면 물체의 무게 신호는 마이크로컴퓨터에 전송되고 무게 컴퓨터에 사전에 입력되어진 상한, 하한 무게 범위에 대해 판정된다. 만약 물체가 상한, 하한 무게를 벗어나면 선별기에 의해 제품 라인에서 제외되고, 물체가 정상이면 다음 공정으로 진행된다.

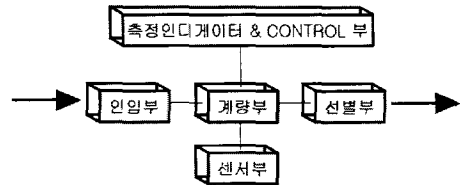


그림 4 WIM 시스템의 구성도

3.1 기계부 시스템의 구성

기계부분은 공급장치, 하중판, 배출이송, 선별장치로 구성된다. 인입 장치의 목적은 저울 하중판 위에 제품 또는 용기의 적합한 공간과 시간을 유지하기 위함이며 동적계량 관정 시간에 하중판 위에 단지 한 개의 물건이 공급되도록 해야 한다. 인입 장치 설계의 선택은 상품 또는 용기의 크기, 형상, 공간과 속도에 의존한다. 인입 장치는 일반적으로 5가지가 있으며, 벨트, 체인, 타이밍 스크루, 로터리 타이머, 측면 이송 장치가 있다.

WIM 시스템에서 계량부와 측정부는 WIM의 기계적인 장치에서 가장 중요하다. 만약 계량부가 계량물 보다 작으면 계량물은 불안정하게 되고, 중량값은 흔들리며, 또한 구조물에 간섭을 받게 되어 계량값은 정밀도와 신뢰성이 떨어지게 된다. 이상적인 계량 상태는 안정성이 유지되고, 주변의 잘 조절된 통풍 장치를 가지고 있어 온도와 습도가 조절되어지고 있는 계량부 위에 계량물이 들어오는 것이다. 그러나 불행하게도 지금의 생산라인의 대부분은 이러한 이상적인 상황과는 거리가 멀며, 액체와 같이 자체의 진동을 가지고 있는 제품들이 이송되거나, 정전기를 품은 제품들이 이송되면서 안정적인 무게 값에 많은 영향을 주고 있다. 또한 주변은 항상 온도, 습도와 공기 흐름이 변화가 심해 많은 불안정한 요소들이 많아서 더욱더 열악한 상황이다. 부가적으로 생산라인의 제품 생산 속도

는 제품이 계량부를 지나갈 수 있는 최대 수량에 따라 제한되므로 계량과 이송에 충분해야한다. 결국 WIM 시스템의 계량과 신뢰성은 공급 측의 상품 취급 문제뿐만 아니라 계량부와 선별부의 배출도 중요하다.

선별기의 분리 기구물 형태는 용기의 형태, 속도와 조건에 따라 다르다. 고속 선별장치에는 center gate and drop-through의 두 개의 기본적인 형태가 있다. 즉각적인 모드에서 광센서가 차단되었을 때에 분리 장치는 즉각적으로 움직이고 다음 분리를 위하여 선별하는 시간 동안에 되돌아와서 분리 위치에서 대기하고 있다 그림 5는 개발된 고속 선별부의 사진이다. 저속 선별장치로는 5가지 종류가 있다. 밀어내기, 쓸어내기, 평행 문, 공기포 불어내기, 자석을 이용(MFD:magnetic flow director)한 분리 장치가 그것이다 저울 위에 상품이 올라가는 동안에 상품이 분리 지역에 도착되면 선별 장치가 동작하기 위해서 시간이 필요하다.

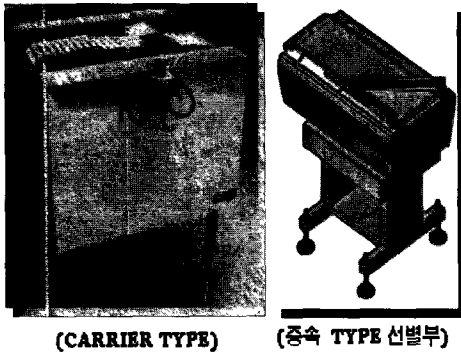


그림 5 고속 선별부

3.2 전자부

그림 6에 표시한 시스템의 전자부분은 마이크로 컴퓨터와 연속 제어를 갖는 계량부로 구성되어 있다

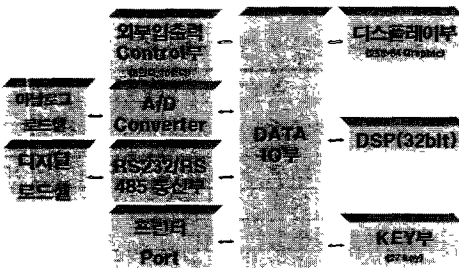


그림 6 WIM 시스템의 전자부 구성도

WIM 시스템의 핵심 부분은 무게 감지 소자와

이를 신호처리하는 회로이다. 이것은 계량물을 지지하고 감지소자가 무게에 따른 신호를 발생시키며 마이크로 컴퓨터에 의해 처리한다. 본 개발된 시스템은 24비트 시그마델타형 고속 A/D컨버터를 사용하였으며 개발된 디지털 값을 중앙값으로 환산하고 각종 노이즈와 안정화 필터 알고리즘을 수행하기 위해서 32비트 DSP를 사용하였다

그림 7은 개발된 메인 PCB의 외관이며, 32bit DSP 적용, 100가지의 계량 품목 데이터 저장, Analog 로드셀 변환 400Hz, Digital 로드셀 통신 기능 내장, 진동 알고리즘 내장, 256*64 그래픽 VFD 표시, 프린터 연결 가능 등의 특징을 갖고 있다.

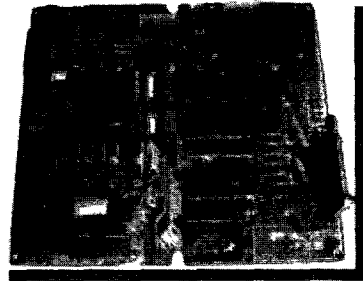


그림 7 main PCB 시제품

그림 8은 외부입력신호(센서입력, 8개)와 외부출력신호(250VAC접점출력, 16개)를 처리하는 I/O PCB이다.

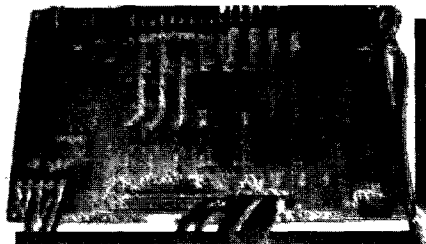


그림 8 IO PCB 시제품

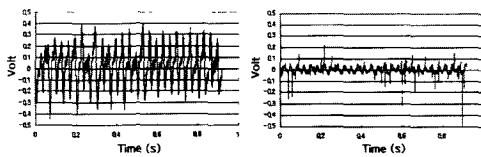
4. WIM 시스템의 보상

동적 상태에서 진동과 속도는 계량오차를 발생하는 중요한 요인이며, 이들을 보상하지 않으면 경밀도를 확보할 수가 없다 본 연구에서는 이를 위하여 진동보상과 속도보상을 구현하였다

4.1 진동 보상

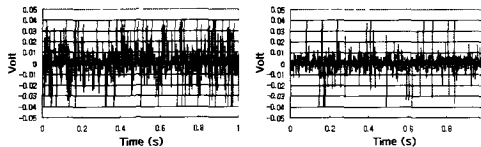
진동보상의 목적은 진동을 최소화하여 고속에서

도 안정된 시스템을 구현하는 것이다. 이를 위해, 먼저 실험적 방법으로 실제 기구물의 진동원인을 규명하고, 다음 ANSYS용 수치 해석적 모델을 적용해 동하중 측정 시스템의 진동특성을 규명하여, 두 데이터의 비교분석을 통해 진동결과를 도출한 후, 최종적으로 피에조 효과를 이용해 보상을 실시하여 진동을 최소화하였다. 피에조 효과를 이용해서 진동제어를 수행할 때에는 피에조를 센서와 액추에이터로 사용하였다. 이때 피에조 센서의 신호에 상용전원주파수의 노이즈 성분이 많이 포함되므로 저역통과필터를 부가하여 전원노이즈를 제거하였다. 그림 9는 피에조 센서를 이용한 전원 노이즈 제거 결과를 나타낸 것이다.



(a) 필터링 전 (b) 필터링 후
그림 9 피에조 센서의 전원 노이즈 제거

피에조 액추에이터를 이용한 진동제어 실험을 하였다. 구조물의 진동신호를 제어부를 통해 취득하였다. 이 신호에서 변위와 속도를 계산하여 속도 보상제어기를 설계하였다. 속도보상 제어기는 다음 단계의 신호의 크기를 미리 예측하여 적절한 제어력을 가할 수 있기 때문에 본 시스템과 같은 고속으로 구동되는 시스템에 적용하여 좋은 제어 성능을 낼 수가 있다. 실제 실험에서는 제어력의 이득을 튜닝하여 시스템의 최적 이득을 얻어내서 진동제어를 수행하였다. 그 결과는 그림 9와 같으며, 제어후의 신호는 제어전의 신호보다 RMS값이 약 0.617배 정도로 크기가 줄어들었음을 알 수 있다.



(a) 제어 전 로드셀 신호 (b) 제어 후 로드셀 신호
그림 10 피에조 액추에이터를 이용한 진동제어 결과

표 1은 진동 보상만 실시하였을 경우 측정결과이다. 계량은 크기, 130x70x 140 mm, 무게 55g의 물체가 사용되었다. 속도가 증가할수록 정밀도가 향상됨을 알 수 있다.

표 1 진동보상만 적용 시 측정결과

벨트속도	보상전		보상후	
	최대계량횟수	정밀도	최대계량횟수	정밀도
10M/MIN	25개	0.05%	25개	0.05%
20M/MIN	50개	0.1%	50개	0.05%
30M/MIN	80개	0.1%	80개	0.1%
40M/MIN	110개	0.2%	110개	0.1%
50M/MIN	150개	0.3%	150개	0.2%
60M/MIN	200개	0.3%	200개	0.2%

4.2 속도 보상

계량속도의 증가는 진동과 더불어 계량 오차를 발생하는 중요한 요인 중 하나이다. 일반적으로 속도가 빨라질 경우 계량물은 실제 중량보다 작은 중량을 나타내게 된다. 이러한 현상은 빠른 속도로 이동하면서, 계량물에 양력이 작용하여 발생한다. 따라서, 동적 계량에서 계량의 오차를 줄이기 위해서는 양력에 의한 영향을 무시할 수 있도록 속도를 줄이는 방법이 가장 좋은 방법이 될 것이다. 속도보상은 일차로 실험적 방법으로 실제 계량오차를 분석하고, 실험적 결과를 통한 보상 알고리즘 추출한 후, 학습 알고리즘의 적용하여 속도 보상을 실시하였다 이때, 적절한 보정상수를 사용자가 사용조건에 알맞게 설정하여 사용할 수 있도록 하였고, 또한, 보다 사용상의 편의를 고려하여, 자동으로 보정상수를 계산하여 적용할 수 있는 알고리즘을 내장하였다. 이 알고리즘은 계량 물의 정적상태 중량을 알고 있을 때, 속도와 관계없이 계량 물을 10회 연속 계량하여, 정적중량과 10회 계량한 평균값의 오차를 보정 상수에 적용하는 방법으로 사용자는 보다 쉽게 사용할 수 있다.

표 2는 진동보상과 속도보상을 동시에 적용한 경우 시험 결과이다. 진동만 보상하였을 때와 비교하면 약 100%의 정밀도 향상을 가져옴을 알 수 있다.

표 2 진동보상과 속도보상 적용 시 측정결과

벨트속도	보상전		보상후	
	최대계량횟수	정밀도	최대계량횟수	정밀도
10M/MIN	25개	0.05%	25개	0.05%
20M/MIN	50개	0.1%	50개	0.05%
30M/MIN	80개	0.1%	80개	0.05%
40M/MIN	110개	0.2%	110개	0.1%
50M/MIN	150개	0.3%	150개	0.1%
60M/MIN	200개	0.3%	200개	0.15%

5. 결론

본 연구에서는 계량점에서 A/D변환을 수행하여 디지털 출력을 생성하는 디지털 로드셀 시스템을 개발하여 이를 노이즈와 진동상태가 열악한 동하중 측정 시스템에 적용함으로써 측정 데이터 취득의 안정성을 확보하였으며 동하중 계량에서 진동 및 속도 보정 성능을 동시에 얻을 수 있었다 개발된 디지털 로드셀은 아날로그 로드셀이 사용되고 있는 분야에는 모두 적용 가능하다. 특히 실외환경에서 원거리 감시와 시스템 자동화 측면이 많이 부합되는 시스템에 사용할 때는 아날로그 로드셀에 비해 많은 장점을 가지고 있다 현재 온도변화와 낙뢰와 같은 주위 환경 조건에 능동적인 대체가 가능하기 때문에 계량의 정밀도에서 많은 장점이 있다 또 자체 보정기능을 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 트럭 스케일과 같은 시스템에 사용되고 있다

본 연구에서는 이와 같은 특징과 성능을 갖는 디지털 로드셀을 이용하여 저가의 고성능의 WIM 시스템을 국산화하였으며, 적용분야는 파자류 같은 단품 제조라인 후단에서 불량품의 출하방지, 자동차 가스켓 등과 같은 산업용 부품라인에서 불량품 선별, 미분가루 또는 작은 알갱이를 담고 있는 포대 계량, 화장품 등과 같은 액체원료의 동적 계량, 전자회사서 포장된 BOX 제품의 결품 선별 등에 보다 정밀하고 신속한 계량을 위하여 사용이 기대된다

참 고 문 헌

- [1] W.J.Tompkins and G Webster, *Interfacing Sensors to the IBM PC*. Prentice-Hall Inc, 1988.
- [2] 小島之夫, "ヒーム形 로드 셀의 非線型特性," 日本機械學會論文集 57卷 540號, pp 2746-2768, 1991
- [3] Joseph T.Kung, Regan N. Mills, and Hae-Seung Lee, "Digital Cancellation of Noise and Offset for Capacitive measurement, vol. 42, NO. 5, OCT. 1993
- [4] 박찬원, 민남기, 능동회로에 의해 온도 보상된 이중 범 로드셀의 개발, 대한전기학회 Vol 44, No.8, pp. 1057-1062, 1995
- [5] C Maeda and R Masuo, "Electric type shipboard scale (New system by measuring oscillating period of the scale system)", ACTA IMEKO, pp.215-222, 1988.
- [6] Woo-Gab Lee, Jin-Wan Chung, and Kwang-Pyo Kim, "Development of speed accuracy for mass measurements in check weighers and conveyor belt scales", *Advanced Measurement of Force and Mass*, pp.23-28, 1994.
- [7] Masao, Osawa, "New technology in weight control with check-weighers and automatic combination weighers" . 91' *Advanced Techniques in automation (Korean)*, Seoul, 1991
- [8] T Ono, and J. Sun. "Relative dynamic compensation of linear measuring instrument". *Proceedings of JSME ICAM '93*, pp. 14-14,1993.
- [9] C Couto, J Higinio. "Intelligent signal processing for ratiometric data acquisition A low cost solution for load cells". *Proceedings of IMEKO TC-4*, Brussels, Belgium, 1994
- [10] W.J.Shi, "Dynamic frequency compensation for transducers". Ph.D Thesis, University of Southampton, 1992
- [11] A Tavares, J higinio, C Couto "Calibration of a multi-load cells weighing system based on neural networks". *ICSPA'95*, Boston, USA., 1995.
- [12] T. Ono, Y. Fujioka. and Jianxin. Sun. "Novel method of weighing data-processing under floor vibration" . Proc. IMEKO TC3/APME'98, pp 303-309, September 1998