

자동 계량 콘베어 설비에서의 중량센서 신호처리에 관한 연구

(A Study on Signal Processing of Weighing Sensor
for Automatic Weighing Conveyor Installation)

朴贊元*

(Chan-Won Park)

요 약

콘베어 계량대 위에서 이동간 계량은 A/D변환된 데이터의 신속하고 안정된 처리가 요구된다. 또한 중량의 측정에는 다른 센서와 달리 여러가지 고려요소가 많이 있다. 본 연구에서는 자동계량 콘베어 설비에서 보다 신속하고 안정된 계량데이터를 얻기 위한 신호처리 방법을 제안한다. 먼저 콘베어 계량대에서의 로드셀중량센서신호의 특성을 분석하고 시뮬레이션과 실측으로 고유진동주파수를 구하여 저역 통과 필터를 설계하였으며, A/D변환 회로를 구성하여 A/D변환된 데이터의 안정화처리 알고리즘을 싱글칩 마이크로프로세서를 이용하여 구현하였다. 제안된 방법을 이용하여 실제 제작하여 실측해 본 결과 계량 속도와 A/D변환의 안정성에서 만족스러운 결과를 얻었다.

Abstract

A high speed and stable A/D conversion data process is required to weigh a mass on moving conveyor weighing platter. Moreover, in the measurement of weight, many design factors should be considered, which is different from the other sensors. This paper presents a new method to obtain more stable and faster automatic weighing A/D conversion data process. At first, the characteristics of Load Cell signal on conveyor weighing platter are analyzed. And then a low pass filter is designed by using the result of natural frequency from the simulation and measurement. Next, A/D conversion circuit is constructed to realize a stable A/D conversion data process algorithm using single chip microprocessor. Finally, the proposed method is applied to the real design, and that experimental results showed good performances on the weighing speed and A/D conversion stability.

1. 서 론

급속한 산업의 발전으로 인하여 다수의 질량을

*正會員: 江原大 電氣工學科 副教授·工博

接受日字: 1994年 3月 18日

빠르고 정확하게 계속 측정할 필요성이 늘어남에 따라 원료의 절감 및 인건비의 절약을 위해 질량의 자동 측정이 요구되고 있다. 이와 같은 추세에 따라 지시 방법을 디지털 형태로 할 수 있고 그 정보를 마이크로 프로세서와 컴퓨터에 인터페이스 시킬 수 있도록 전자적인 신호를 내는 중량 측정용 변환기가 개발되어 종전의 기계 비임 구조의 중량 측정 장치를 이용하던 방식보다 계량 속도가 현저히 증가하여 콘베어 설비에서도 자동 계량이 가능하게 되어 이에 따른 유통, 물류 산업에의 파급효과는 자못 크지 않을 수 없다.

변환기 위에 놓여진 물체의 무게에 의하여 변환기에 일어나는 역학적 변화에 비례하여 전기적인 신호를 내는 기구를 기본 원리로 하는 변환기 중 접착 저항스트레인 게이지(strain gauge)^{1, 2)}를 쓴 로드셀(load cell)³⁾은 약 십 여년 전부터 전자 저울용 변환기로 쓰여지기 시작했으며 작은 크기로서 폭넓은 질량 측정을 가능케 하고 내구성이 강하고 정밀도가 좋으며 디지털 시스템에 인터페이스 가능한 등 응용이 쉬운 장점이 있어^{4, 5)} 지금에 이르러서는 일상생활 및 유통, 공업용, 실험용에 이르기까지 다양한 전자적 질량 측정기는 거의 모든 로드셀을 사용하고 있다. 이에 따라 유통 및 생산, 검사 설비에서 콘베어 라인 상에서의 보다 정확하고 신속한 자동 계량 설비가 요구되고 있는데 대부분 수입의 고가품에 의존하고 현재 국내 설계 및 생산 기술은 거의 전무한 실정이다.^{6, 7)} 이에 관한 연구로서 Auslander등에 의한 자동계량에 관한 실험적 연구가⁸⁾ 있는데 자동 계량의 개념과 그에 관한 weighing 알고리즘은 주목할만 하나 실험의 대상이 정지형의 계량대를 사용하였고 낮은 분해능의 프로토타입의 센서를 이용한 관계로 실용적으로 현장에서의 이용에는 미흡한 점이 많이 있다.

또한 대부분의 계량이 정지 상태에서 수직으로 작용하는 중력 하중에 의해서만 계량하는데 비해 신속하고 정밀도를 요구하는 자동 계량에서는 피계량물이 이동중 정확한 계량 데이터가 얻어질 것이 요구된다.

따라서 이에 대한 센서 신호의 분석과 진동에 대한 필터의 설계 그리고 A/D변환된 데이터의

안정화 처리는 하드웨어와 소프트웨어 두 가지의 복합적 고려 요소에 의해 구현이 가능하다.

본 연구에서는 보다 고정밀이고 속도가 빠른 자동계량 시스템에 실제로 이용이 가능하게 하는 것에 설계의 주안점을 두고 자동 계량 콘베어 설비에서의 중량센서 신호의 A/D변환의 안정화를 해결하기 위해 먼저 중량센서 신호의 특성을 분석하고 계량부의 진동에 대한 빠른 응답을 구현하기 위한 필터의 설계 그리고 A/D변환 데이터의 S/W적인 안정화 처리 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 콘베어 상의 계량 신호의 특성.

콘베어 위에서의 계량은 보다 빠른 속도로 정확히 계량될 것이 요구되므로 정지 상태가 아닌 이동 중에 계량의 A/D변환이 이루어져야 한다. 이때 그림 1과 같이 피계량물의 질량은 양력을

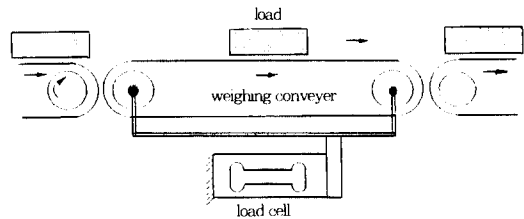


그림 1. 콘베어 계량대.

Fig. 1. Conveyor weighing scale platter.

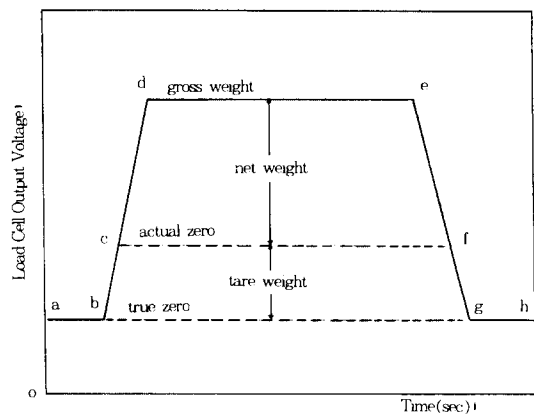


그림 2. 계량 신호의 특성.

Fig. 2. Characteristics of weighing signal.

받을 정도의 고속이 아닌 한 이동 속도에 관계없이 센서에 가해지는 하중은 정지상태의 중량과 같으나 피계량물이 콘베어 계량대위에 올려질 때와 계량대를 벗어날 때의 과도 기간과 이동 시 진동에 대한 특별한 처리가 요망된다. 또한 그림 2와 같이 중량센서로부터 감지한 아날로그 신호를 A/D변환할 때는 다음과 같은 몇 가지 특성이 있다. 즉,

1) 영점은 로드셀 브리지 저항의 초기 불균형 및 온도에 따른 탄성체의 열 수축 팽창으로 계속적으로 변한다. 즉 드리프트와 크리프(creep)특성을 갖는다.¹⁾

2) 중량의 측정은 센서 출력 신호의 절대값이 아니라 직전의 값에 대한 상대적인 변위의 값만이 의미를 갖는다.

3) 하중이 가해지고 있는 상태에서는 안정 시간 경과 후는 디스플레이 되는 데이터의 흔들림이 있어서는 안되며 새로이 인가되는 하중에는 즉시 응답하여야 한다.

4) 중량을 제거했을 때 센서의 히스테리시스와 크리프특성에 대한 보정과 안정된 영점으로서의 신속한 귀환이 요구된다.

또한, 피측정물이 용기에 포장되어 계량이 되는 경우 net weight(淨重量)만을 표시하여야 하므

로 실제의 영점은 그림 2의 true zero에서 actual zero점으로 이동하게 된다. 따라서 이들은 소프트웨어적으로 내부에서 기억하여야 할 필요가 있다.

이때 앞서 언급한 바와 같이 계량대 위에 물체가 올려져서 이동하여 제거될 때까지는 초기와 마지막 부분에 다소 진동이 생기는데 먼저 이 진동에 대한 해석과 이를 최소로 하여 깨끗한 파형을 A/D변환기에 넘겨주는 필터의 설계가 선행되어야 한다.

3. 계량부의 진동 해석과 필터의 설계

필터의 설계에서 차단 주파수를 결정하기 위해서 계량부의 진동 해석에 의한 센서 신호의 특성을 분석하기 위하여 시뮬레이션과 실측에 의한 방법을 병행하였다. 로드셀의 하중에 대한 진동 해석은 일본 TOYO Intelligence Co. Ltd의 FEMAS (Finite Element Method Assist System)와 SAP (Structural Analyze Program for Static & Dynamic Response of Linear System)을 사용하였으며, 시뮬레이션에 사용된 컴퓨터는 미국 Digital Equipment Co. (DEC)의 VAX6340기종으로 32Bit/4CPU로써 OS는 VAX/VMS를 이용하였다.

그림 3은 시뮬레이션 프로그램의 modal analysis²⁾의 결과로 상하 방향의 18Hz의 진동이 가장 세게 나타났으며 피계량물의 이동 방향인 93Hz의 진동에서도 피크가 검출되었다. 물론 실제 계량대(platter)를 제작할 때는 그 크기와 형상에

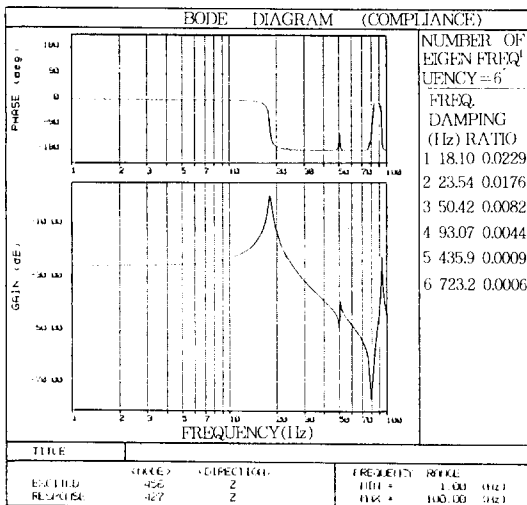


그림 3. 로드셀의 모달해석 출력

Fig. 3. Modal analysis output of load cell.

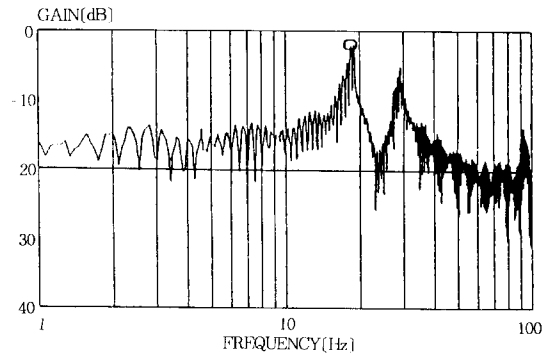


그림 4. 로드셀 신호의 FFT 측정결과.

Fig. 4. FFT measurement result of load cell signal.

따라 주파수가 바뀌므로 본 연구에서는 실험의 편의상 30kg type의 로드셀과 계량대 사이즈(200mm×400mm)를 기준 대상으로 하였다. 더 큰 용량의 계량의 경우는 피계량물의 운반 시 관성으로 인하여 콘베어 자체의 이동 속도를 크게 하기 어려운 점으로 볼 때 오히려 A/D변환 속도의 제한에 대한 여유가 있으므로 계량대가 클수록 여러 가지 처리가 쉬워진다.

또한 그림 4는 HP3562A FFT analyzer로 측정 한 고유 진동 주파수로 앞서의 시뮬레이션 결과와 비교해 볼때 최대 피크가 나타나는 고유 진동수는 일치하였으나 28Hz 부근에서 새로운 피크가 나타났는데 이는 실측의 경우 로드셀에 부착된 스트레인게이지의 변위방향으로만 최대의 감도를 나타내는 관계로 3차원 전체에 걸쳐 해석한 시뮬레이션의 결과와는 다소 다르게 나타난 것으로 해석된다. 이상의 결과로 설계하고자 하는 Low Pass Filter(LPF)의 차단 주파수를 응답 속

도와 위상특성을 고려하여 여유를 잡아 10Hz부근으로 결정하였다.

그림 5는 설계된 LPF로써, Butterworth형⁽¹⁰⁾의 특성을 가지며 감쇄특성을 높이기 위해 2단으로 구성하였고 1단의 전달 함수H(s)와 차단 주파수fc는 다음 식으로 계산된다.

$$H(s) = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \frac{1}{S^2 + \left[\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} \right] S + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (1)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2)$$

따라서 여러 가지 크기의 계량대의 경우 고유 진동수가 변화하면 (2)식의 R과 C값을 변화시켜 간단히 조절할 수가 있다. 본 실험에서는 fc를 10Hz이내로 하여 R1=R2=50kΩ, C1=0.22μF, C2=0.47μF값으로 하였다.

그림 6은 설계된 LPF의 주파수특성과 위상특성을 SPICE 시뮬레이션한 결과이다.

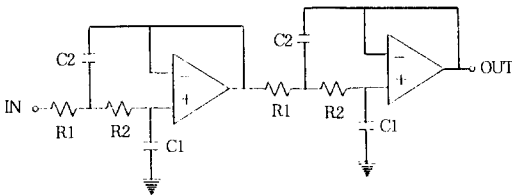


그림 5. 설계된 저역 통과 필터회로.
Fig. 5. Circuit of proposed low pass filter.

LOW PASS FILTER

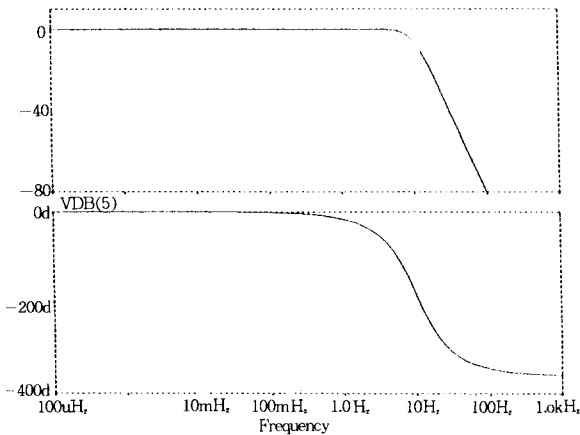


그림 6. 저역 통과 필터의 SPICE 시뮬레이션 결과.
Fig. 6. SPICE simulation result of low pass filter.

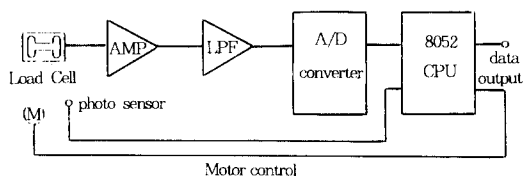


그림 7. 하드웨어의 구성도
Fig. 7. Block diagram of hardware.

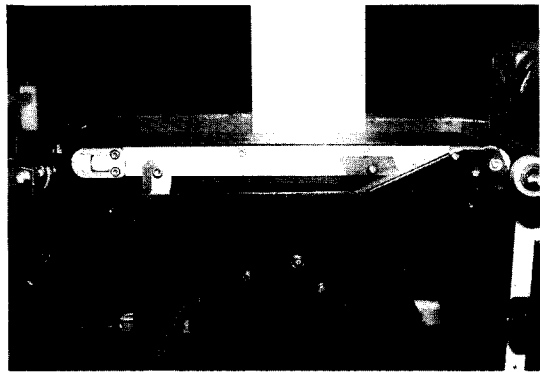


그림 8. 제작된 콘베어 계량부의 사진.
Fig. 8. Photo of constructed conveyor weighing scale.

4. 하드웨어의 구성

그림 7은 하드웨어 구성도를 보여준다. 로드셀의 출력 신호는 최대 하중시 인가전압 1V당 2mV정도의 출력이 발생하므로 정밀 저 오프셋 OP앰프를 이용하여 대략 100배정도 DC증폭한다. 이때 증폭 회로는 로드셀의 임피던스 변화가 이득에 영향을 미치지 않는 완전 평형 instrumentation형의¹⁰⁾ 증폭 회로를 이용, 증폭된 신호는 LPF를 거쳐 출력 신호의 고유 진동수와 잡음이 제거된 신호로써 A/D변환기에 가해지게 되는데 A/D변환기는 로드셀의 분해능과 A/D변환 안정화하는 알고리즘을 수행하기에 충분한 데이터의 샘플링이 가능하여야 하므로 분해능 12Bit와 샘플링 속도 20 time/sec이상의 것이 요구된다. 일반적으로 2중 적분형이 많이 쓰이나 본 연구에서는 향후 버전업을 고려하여 최신의 ASAHI KASEI의 델타 시그마형의 CS5506을 사용 하였다.¹¹⁾

A/D변환기로 부터 출력된 데이터는 마이크로

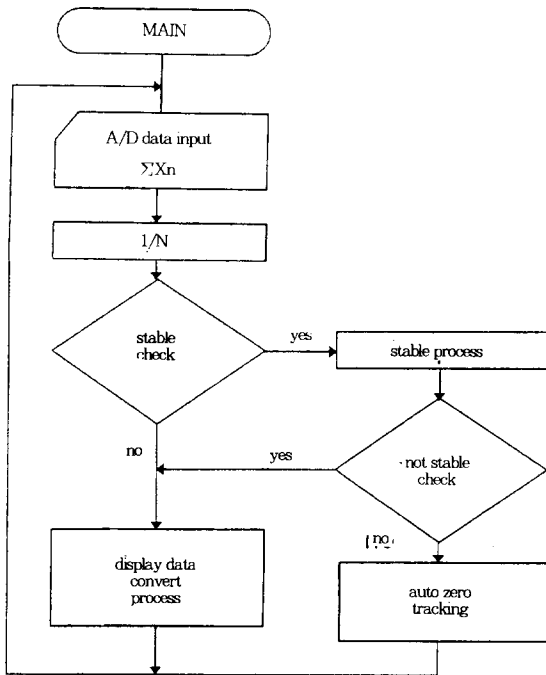


그림 9. 소프트웨어 프로그램 흐름도.
Fig. 9. Flowchart of software program.

프로세서에 입력되어 데이터의 안정화 처리 알고리즘을 수행하여 안정된 데이터를 디스플레이하거나 다른 시스템으로 전송하게 된다. 본 연구에서는 내부에 씨리얼 통신 기능을 가진 인텔사의 8052 싱글칩 마이크로 프로세서를 이용하였다. 또한, 8052 CPU의 인터럽트 기능을 이용하여 콘베어 계량대위에 동시에 2개 이상의 피계량물이 올려지지 않도록 콘베어 측면에 광센서를 장치하여 원활한 반송제어기능도 수행하도록 하였다. 그림 8은 제작된 콘베어 계량부의 사진이다.

5. 소프트웨어의 구성

아무리 정밀한 하드웨어로 A/D변환을 잘해도 여러 가지 요인으로 인하여 최종디지털로 변환된 데이터는 주기적 혹은 불특정적으로 진동하거나 크리프해 간다. 이와 같은 현상은 로드셀의 특성뿐 아니라 아날로그 관계의 모든 소자, 그리고 전원 회로, 기계적 진동 등 실로 모든 곳의 원인에 기인하므로 안정된 데이터의 처리를 위하여 소프트웨어 알고리즘이 필요하다.

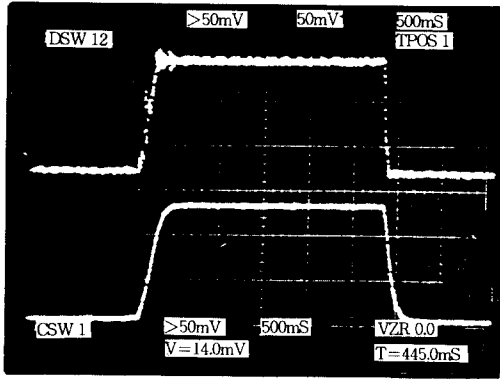
그림 9는 메인 프로그램의 소프트웨어 처리의 흐름도이다.

계량대를 통과하는 동안 A/D변환된 데이터들은 계속 마이크로 프로세서로 입력되는데 먼저 최초에 마이크로 프로세서의 내부 RAM영역에 n개의 A/D데이터 공간을 확보하여 두고 FIFO식으로 시프트 하면서 새로운 데이터를 항상 갱신시킨다. 이 n개의 데이터를 합산하여 1/n을 취하면 평균치가 되므로 일단 평균화된 데이터로서 다음 처리에 들어간다. 앞서 설명한 바와 같이 계량물이 완전히 올려질 때와 제거될 때 로드셀에 천이 신호가 발생하게 되는데 이 기간과 완전히 올려진 후 제거될 때의 기간에는 소프트웨어적으로 구별하여 데이터를 처리해 줄 필요가 있다. 즉, 그림 2에서 b~d와 e~g기간은 천이 기간이므로 A/D변환된 카운트 값이 not stable check루틴에서 ±50 카운트 이상 변화 하였을 때 not stable flag을 설정하고 A/D변환기가 샘플링한 순간의 데이터가 바로 유효한 표시 데이터가 되도록 처리한다. d~e기간 중에는 stable check루

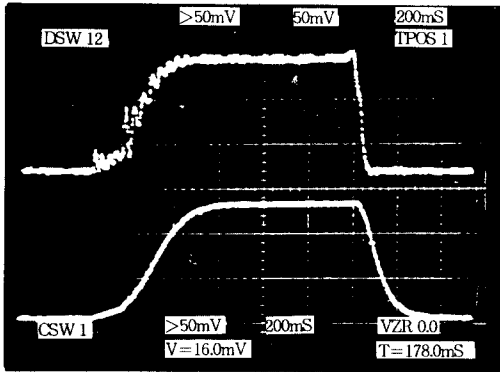
틴에서 안정 횡수를 체크하여 안정 범위 내(± 2 count)에서 일정 기간 만큼의 미소한 변동은 자동보정을 하면서 전회에 읽어 들인 데이터 값으

로 유지해 주는 알고리즘을 가하여 안정된 데이터 표시가 가능하도록 해준다. 이때 A/D변환된 카운트 수와 실제 표시되는 중량 표시와의 관계는 3000분의 1의 정밀도로 하였을 때 A/D변환 카운트의 최대 구간(span)은 15000카운트로서 5:1의 비율로 즉, 5 count=1 digit로 하여 최소 중량 표시 1 digit내에서 ± 2 카운트가 변환해도 실제 표시되는 중량은 변화하지 않으므로 더욱 안정된 중량 표시가 가능하게 된다.

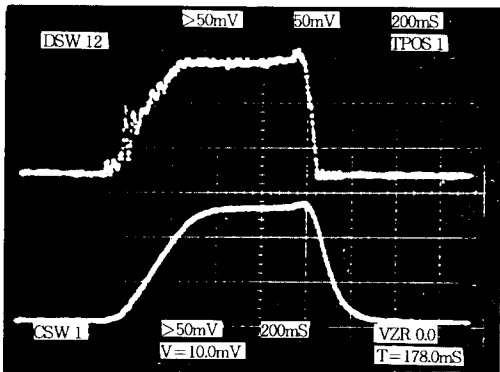
그림 2에서 a~b와 g~h기간은 영점 보정기간으로 로드셀의 히스테리시스특성이나 크리프특성 그리고 온도에 의한 드리프트 영향을 소프트웨어적으로 보정해 주어야 한다. 즉, 일정기간 내에서 안정된 상태에서 미소하게 조금씩 변화하는 A/D값은 영점의 드리프트로 판단하고 직전값에 대해 ± 1 카운트씩 보정해 나간다. auto zero tracking처리에서는 이 기간 중에 지속적으로 읽어 들인 A/D 카운트 값의 직전값과 현재 값을 비교하여 그 변화가 일정 기간 지속적으로 변화해 나가는 것인지 순간적인 변화에 그치고 원래대로 돌아온 것인지를 판단하여 끊임없이 영점의 보정을 자동적으로 수행한다. 이 때 변화된 값이 최초 전원 on시에 읽어 들인 초기 영점값보다 일정범위 이상(± 200 카운트)계속 변화한 경우는 로드셀이나 A/D변환 회로의 고장일 확률이 높으므로 이때는 auto zero tracking루틴을 탈출하여 에러메시지를 내도록 한다.



(a) 3.0초



(b) 1.0초



(c) 0.8초

그림 10. 계량물의 통과시간에 따른 로드셀 신호와 LPF 후의 신호 파형.

Fig. 10. Waveforms of load cell signals and LPF outputs during passing time of a mass.

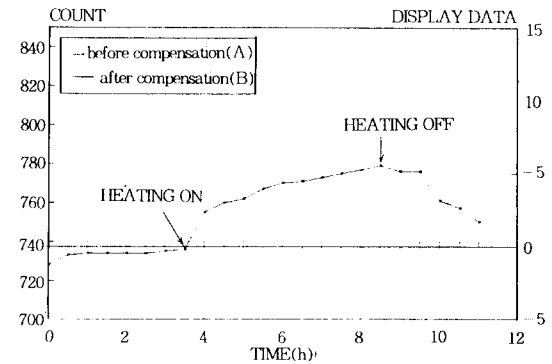


그림 11. 소프트웨어 보상 전후의 온도 드리프트 시험의 실험 결과.

Fig. 11. Experimental result of temperature drift test of before and after software compensation.

이렇게 함으로써 중량의 표시는 A/D변환 카운트 값의 절대값이 아니라 지속적으로 수정된 영점으로부터의 변위값이 실제의 중량 표시로 나타나게 되므로 보다 안정되고 정밀한 중량 데이터가 얻어지게 된다. 실제로 3000분의 1정도의 정밀도를 유지하기 위해서는 로드셀의 온도 드리프트나 OP앰프의 오프셋 드리프트에 의한 영향이 상대적으로 크게 나타나므로 이 부분의 적절한 소프트웨어 처리는 대단히 중요하다.

이렇게 얻어진 중량 데이터는 바로 표시 소자에 의해 디스플레이 되거나 통신 포트에 의해 차기 시스템으로 전송되어 필요한 사양에 따라 여러 가지로 응용될 수 있다.

6. 실험 결과

그림 10은 피계량물이 계량대 위의 통과 시간이 각각 3.0초, 1.0초, 0.8초의 경우 OP앰프 출력단의 전압 파형과 LPF 후단의 전압 파형을 디지털 측정형오실로스코프로 관찰한 것이다.

사진에서 보는 바와 같이 계량대 위에 피계량물이 올려지는 순간과 제거되는 순간에 다소의 진동 파형이 관찰되었으며 LPF를 통과한 신호는 어느 정도 진동이 제거된 것으로 나타났다.

그림 11은 고안한 소프트웨어를 평가하기 위하여 강제적으로 로드셀의 온도 드리프트를 발생시켜 auto zero tracking이 완전하게 수행되는지를 평가해 본 것으로 최초 전원을 인가한 상태(730 A/D카운트)에서 영점이 안정되기를 기다렸다가 로드셀 가까이에서 히터로 가열하여 강제로 A/D 카운트값이 상승하도록 하였다. 12시간에 걸쳐 시험해 본 결과 최대 50 A/D카운트의 범위 내에서 중량 표시 디스플레이 데이터는 "0"을 유지함으로써 고안한 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

또한, 제작된 장치는 중량표시 정밀도 3000분의 1로 피계량물의 크기에 따라 다소 차이가 있으나 분당 40~75개의 처리 속도로 만족할 만한 성능을 유지하였다.

7. 결론

자동 계량 콘베어 설비에서 보다 신속하고 안정된 계량 데이터의 신호처리 방법을 제안하였

중량센서 신호의 특성을 분석하고 계량부의 진동에 대한 빠른 응답을 구하기 위한 필터를 설계하였으며 A/D변환된 데이터의 여러 가지 불안정 요소를 소프트웨어 데이터 처리 알고리즘을 제시하여 안정된 중량 표시가 가능하도록 하였다.

본 연구의 결과는 종래의 정지 간의 계량이 아닌 콘베이어 상에서 이동 중에도 신속하고 정확한 계량이 가능하므로 속도를 요하는 생산 현장이나 물류 시스템에의 응용이 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) Mills Dean & Richard D. Douglas, 'Semiconductor and Conventional Strain Gauges', Academic Press, 1962, pp45~75.
- 2) 渡邊 理, ひずみゲージとその應用 Ch.2, 日刊工業社, 1987.
- 3) 高橋 清, セソサエレクトロニクス, 昭晃堂 1984, p.241.
- 4) Willis J. Tompkins & G. Webster, 'Interfacing Sensors to the IBM PC', Prentice-Hall Inc., 1988, pp250-268.
- 5) Joseph H. Carr, 'Sensors and Circuits', Prentice-Hall Inc., 1993, pp.1-37.
- 6) 조남선, '로드셀의 설계 및 응용', 국립공업시험원 기술보고 85-2, 1985, pp71-117.
- 7) 정광화, '디지털저울의 정밀도 향상을 위한 전기적 변환기의 성능검사 및 개선점 연구', 공업진흥청, 1984.
- 8) David M. Auslander, Paul sagues, 'microprocessor for measurement and control', McGraw-Hill, 1984, pp93-116.
- 9) 竹内芳業, 'メカトロニクスの應用', 養賢堂, 1990, pp84-97.
- 10) Robert. F. Coughlin, 'Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits', Prentice-Hall, ch. 8, ch.12, 1990.
- 11) ASHAHI KASEI, 'Semiconductor data book', cs 5506 A/D converter, 1991.

◇ 著 者 紹 介 ◇



박 찬 원 (朴贊元)

1955년 7월 10日生. 1978年 高麗大 電氣工學科 卒. 1982年 高麗大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1986年 高麗大 大學院 電氣工學科 卒(博士). 1991年~1992年 日本 ISHIDA SCALES Co. Ltd. R & D Center, Invited Engineer. 1987年~現在 江原大學校 電氣工學科 副教授.