

광 센서에 기반한 동하중의 측정 및 잡음 감소

신 대 정[†] · 나 승 유^{**} · 김 진 영^{***}

요 약

동하중 측정 데이터에 추가되는 여러 가지 종류의 오차로 인하여, 신뢰할 수 있는 하중을 구하기 위해 측정 오차를 감소시키는 적절한 방법이 필요하다. 과도한 진동으로 인해 발생하는 측정 오류는 쉽게 제거하기 어렵다. 이러한 오류를 최소화하기 위하여 측정 장치 혹은 측정 대상의 수직 운동과 상호 관계가 전혀 없는 광 센서 시스템을 이용한다. 여러 가지 시료들의 흐름률을 광 센서를 이용하여 측정함으로써 로드셀을 이용한 부정확한 측정 부분을 보완한다. 동하중 측정시 발생하는 잡음 감소를 확인하기 위하여 모형 트레일러 시스템을 사용하며, 제안된 방법이 효과적임을 확인한다.

키워드 : 동하중, 광센서, 잡음 감소

Photo Sensor Based Measurement and Noise Reduction of Dynamic Weights

Daejung Shin[†] · Seung You Na^{**} · Jin Young Kim^{***}

ABSTRACT

Due to various types of errors added to dynamic weight measurement data, proper methods to reduce measurement errors are required to produce reliable weights. It is very difficult to reduce the measurement error due to excessive oscillation of the system. To cope with parasitic types of errors in real systems, information provided by the photo sensors are utilized and combined in such a way to reduce the measurement errors of load cells. In addition to four channels of load cells from a model trailer, photo sensors are used to obtain the information to compensate the error induced from vertical movement of the vehicle due to the variation of ground level. A model trailer system is run to verify the effectiveness of the proposed method to reduce noise of dynamic weight measurements.

Key Words : Dynamic Weight, Photo Sensor, Noise Reduction

1. 서 론

정지 상태에서 수직으로 작용하는 중력 하중에 의해서만 계량되는 정지 하중 측정에 비해 동하중의 측정은 보다 정확하고 신속한 측정 방법이 요구된다. 하중 측정 장치 자체가 진동하거나 작용 하중이 변화하고 진동하는 등의 가혹한 환경에서 정확하고 빠르게 하중을 측정하기 위한 많은 시도가 이루어지고 있다. 대표적인 응용 분야가 수확하는 곡물의 하중을 실시간으로 측정하는 곡물수확지도(yield mapping)^[1] 작성이다. 수확된 곡물의 하중은 트레일러 위의 상자 모양의 컨테이너에 담기고, 컨테이너의 하중을 직접 측정하여 수확된 곡물의 하중을 실시간으로 측정한다.

컨테이너에 담긴 곡물의 하중은 정적인 상태에서 아주 정확하게 측정할 수 있다. 하지만 트레일러가 정지된 상태가 아닌 이동하고 있는 상황에서 곡물의 하중을 측정해야 할 필요가 있다. 정밀한 수확지도를 작성하기 위해서는 수확 작업 중에 수초마다 수확량을 측정해야 한다. 트레일러와 그 위에 장착된 컨테이너 고유의 복잡한 동특성뿐만 아니라 가다 서다 하는 트레일러의 운동 특성, 수확 장소의 다양한 지형의 변화 등 비선형적인 모든 조건을 모델링 하는 것은 아주 복잡하고 어려운 일이다. 이러한 이유로 Wheeler^[2] 등은 트레일러를 기반으로 한 곡물수확지도 시스템을 제안하기도 하였다. Krumpelman과 Sudduth^[3]는 이러한 복잡한 동특성과 환경을 모델링하지 않고 추가로 기준 로드셀을 설치하여 간접적으로 가속도를 측정하고, 단순한 저역 통과 필터링을 이용하여 진동에 의한 성분을 제거하였지만 여전히 진동에 의한 요동이 과도하였다. 이는 직접적인 가속도를 측정하지 못하였으며 가속도와 하중과의 관계를 정확히 분석해 내지 못했기 때문이다.

곡물수확지도 뿐 아니라 다양한 산업 현장에서 동적 환경

※ 본 연구는 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음. (R12-2004-3-5)

† 준 회원 : 전남대학교 전자공학과 박사과정

** 종신회원 : 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

*** 정 회원 : 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 부교수

논문접수 : 2005년 2월 3일, 심사완료 : 2005년 5월 30일

에서 정하중을 정확히 측정해내기 위한 다양한 시도가 이루어져 오고 있다. 적응 필터링 방법^[4]을 사용하거나, 이차 동적 모델을 출력 신호에 적합 시키는 비선형 회귀 방법^[5]을 사용하여 가해진 하중을 예측하여 빠르고 정확하게 하중을 측정하는 다양한 방법들이 제안되어 왔다. 이러한 방법들은 하중이 이상적인 계단 신호라고 가정하고 진동 등 모든 동적 모드는 없는 것으로 가정한다. 반면 Bahar^[6]는 인공 신경 회로를 사용하여 실험적으로 얻어진 데이터를 이용해 진동의 영향을 포함하여 가해진 하중을 예측하였다. 또한 Lingman^[7]은 가속도와 속도를 측정하고 Kalman filter를 이용하여 주행 중인 자동차의 하중과 도로의 기울기를 추정하려는 시도를 하였다.

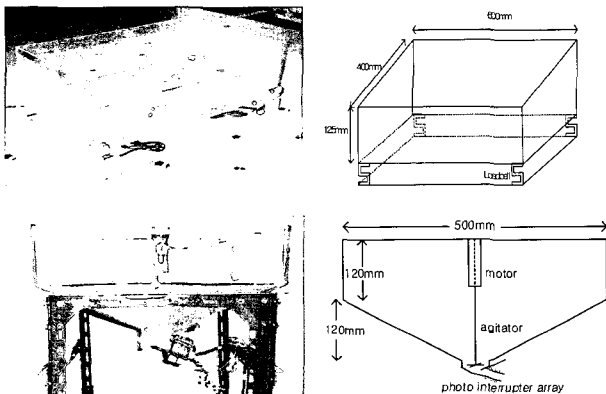
나승유^[8]등은 컨테이너 하부의 정중앙에 가속도 센서를 장착하여 로드셀이 받는 컨테이너의 진동을 직접적으로 측정하고, 측정된 가속도와 전체 동하중의 관계를 시간 영역에서 파악한 후 진동에 의한 성분을 직접 제거하는 방법을 사용하였다. 하지만 가속도 센서의 제한된 해상력과 강한 외란으로 인하여 큰 진동에 대한 측정 오류를 완전히 제거할 수 없었다.

본 논문에서는 곡물 시료의 흐름을 광 센서를 사용하여 측정함으로써, 진동과 전혀 무관한 하중을 측정하고 로드셀에 의해 측정된 하중의 오류를 감소시키는 방법을 제안한다.

2. 하중 측정 시스템

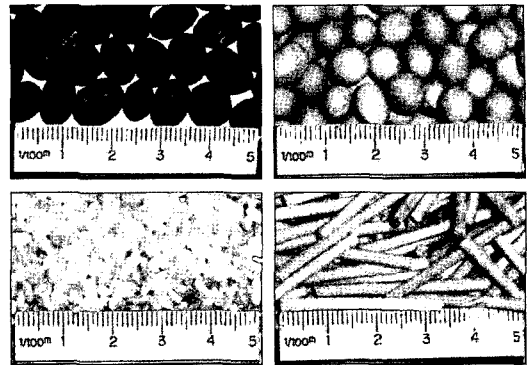
2.1. 실험 장치

하중 공급 장치에서 공급되는 다양한 시료의 하중을 4개의 로드셀이 장착되어 있는 하중 측정 장치에서 측정한다. (그림 1)은 하중 측정 장치와 하중 공급 장치를 보여준다.



(그림 1) 하중 측정 시스템과 하중 공급 장치

실험 장치는 자동차에 실려 실제 운행하면서 변화하는 하중을 실시간으로 측정한다. 시간에 따라 공급되는 시료의 양이 변화하며, 측정 환경이 정적인 상태가 아니기 때문에 측정 중에 많은 외란이 도입된다. 가혹한 동적인 환경에서 하중을 정확히 측정하기 위해서는 측정 시스템에 도입된 다양한 형태의 외란을 보상할 수 있는 새로운 방법이 필요하다. 실험에 사용한 실제 시료를 아래 그림에 보인다.

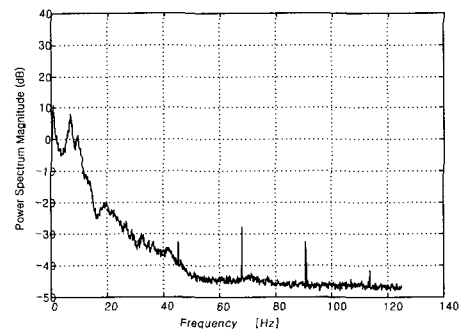


(그림 2) 실험에 사용된 시료

하중을 측정하기 위해 사용된 로드셀은 다셀(dacell)사의 범용 모델 UU 로드셀이다. 미약한 로드셀 신호를 증폭하기 위하여 고정밀 증폭기인 MAX4194를 사용하였으며, 데이터 수집 및 전송을 위해서는 TI사의 MSP430F149를 사용하였다.

컨테이너를 포함한 관심 하중을 동적인 상황에서도 정확히 측정하기 위하여 시스템의 기본적인 특성을 분석한다. (그림 3)은 차량이 움직이는 상태에서 시스템의 주파수 특성을 분석한 그림이다. 차량의 속도, 지형의 형태에 따라 차량의 진동이 달라지고, 이 진동과 직접적인 연관을 가지는 하중이 변화한다.

크게 들출되거나 함몰된 불규칙적인 지형을 자동차가 통과할 때 발생하는 4Hz 이하의 비교적 변화가 느리게 나타나며, 조밀하면서 울퉁불퉁한 불규칙적인 지형을 통과할 때 발생하는 4-10Hz의 약간 빠른 하중의 변화가 보인다.



(그림 3) 운행 상태에서 로드셀 출력의 PSD

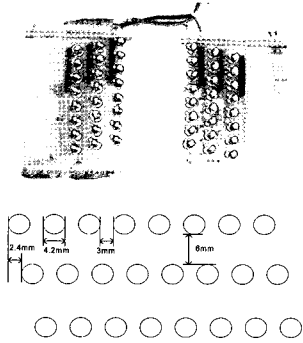
2.2 광 센서 모듈

광 센서를 이용하여 수확되는 곡물의 양을 측정하는 방법^[1]은 Yield map에서 자주 사용된다. 하지만 광 센서를 사용하는데 있어, 발광-수광 소자 간의 일대일 대응조차 확인되지 않고, 인접 소자들 간의 간섭을 최소화하지 못하여 좋은 성능을 보이지 못하였다. 본 논문에서는 광 센서를 사용하여 최적의 성능을 보이도록 광 센서 모듈을 배치한다.

실험에서 검은 콩, 황색 콩, 쌀, 짧게 잘려진 대나무 등 4가지 시료의 흐름을 광 센서를 이용하여 감지하는 데 사용된다. 광 센서는 로드셀에 비하여 진동이나 외부 충격에 영향이 없기 때문에, 진동이나 외부 충격에 의한 측정 오류로 인한

하중의 부정확한 측정을 보상하는 정보로 사용될 수 있다. (그림 4)에 실험에서 사용한 광 센서 모듈과 규격을 보인다.

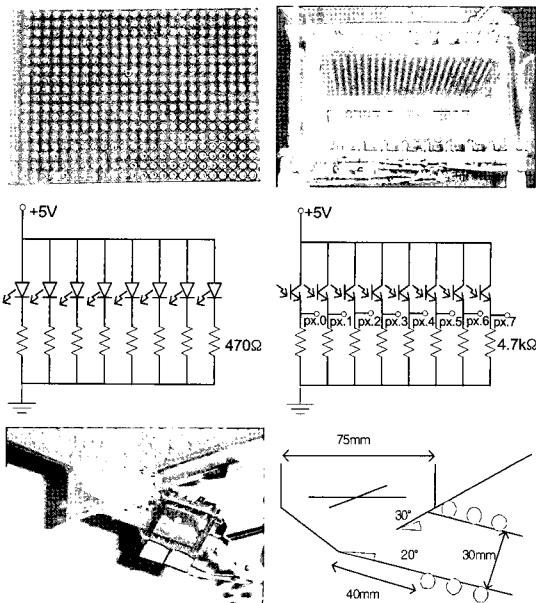
실험에서 사용한 kodenshi사의 적외선 발광 다이오드 (G-310)와 포토트랜지스터(ST-310)를 사용하였다. G-310이 방출하는 최대 감도의 파장은 940nm이고, ST-310이 감지하는 파장은 750~1050nm이다. 이는 태양광의 적외선에 해당하는 파장이며, 자연광에 의한 영향을 최소화시키기 위하여 빛을 차단시키고 실험을 하였다.



(그림 4) 광 센서 모듈

발광 소자에서 방출되는 적외선의 영향 범위는 $\pm 5^\circ$ 이다. 이는 하나의 발광 소자가 대응하는 단 하나의 수광 소자뿐 아니라 인접한 수광 소자에도 영향을 미칠 수 있는 충분한 각도이다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 발광부와 수광부 사이에 (그림 5)와 같이 슬릿을 사용하여 발광 소자가 수광 소자에 일대일로 대응하도록 하였다. 광 센서를 사용하는 일부 방법이 좋은 성능을 보이지 못한 이유 중의 하나가 개개의 발광-수광 소자 사이의 정확한 일대일 대응이 확인되지 못하기 때문이다.

8개의 발광 소자를 3mm 간격으로 배치시키고 이와 2.4mm



(그림 5) 슬릿이 장착된 광 센서 모듈

어긋나게 제 2열, 3열의 발광 소자를 배치하였으며, 이와 정확히 대응하도록 수광 소자를 배치하여 구성함으로써 소량의 시료가 통과하더라도 감지 장치가 누락하는 경우를 최소화시키도록 하였다. 또한 통과하는 시료의 속도를 감소시켜 감지를 누락하는 경우를 최소화 하도록 통과면을 20° 로 하였으며, 수광 소자를 아래쪽에 위치시켜 작은 크기의 시료 하나가 여러 개의 수광 소자에 영향을 미치는 경우를 최소화 시켰다. 광 센서의 출력을 로드셀과 같은 매 4msec의 주기로 MSP430의 디지털 입력 기능을 이용하여 읽어 들인다.

3. 광 센서를 이용한 하중 측정

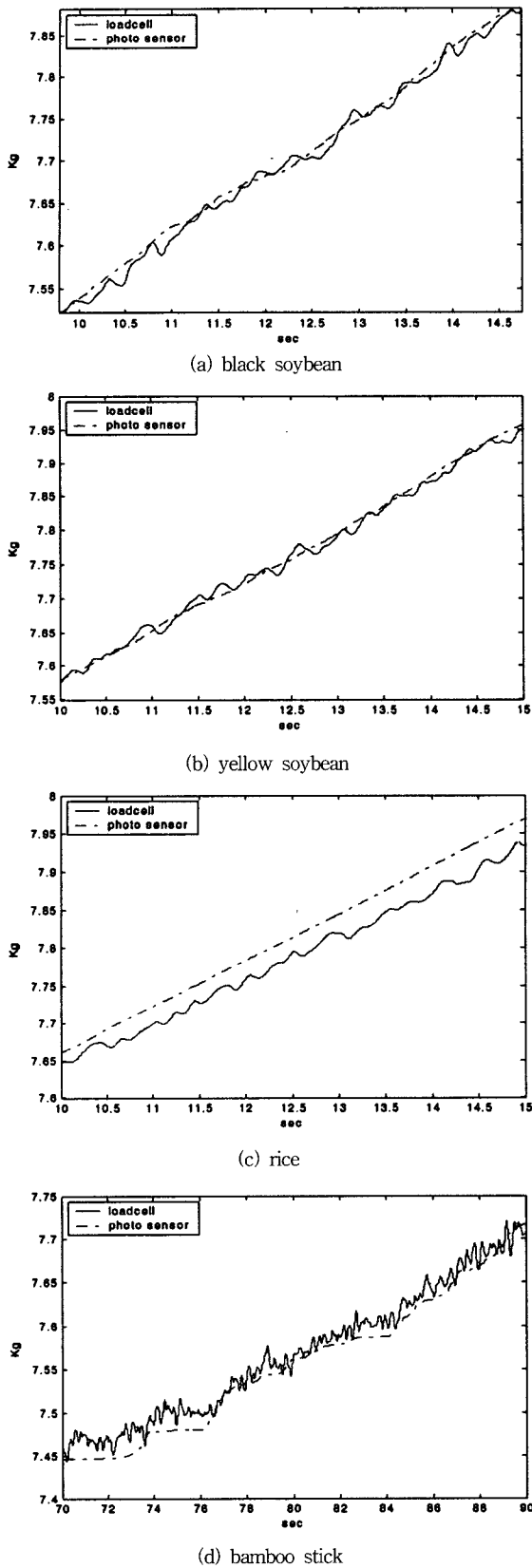
광 센서를 이용하여 외부의 진동이나 충격이 전혀 없는 정적인 환경에서 다양한 흐름률에 따른 로드셀을 이용한 측정 하중과 광 센서를 이용한 측정 하중을 (그림 6)에 보인다. 검은 콩과 황색 콩은 광 센서 소자 하나의 크기보다 크면서 동시에 다른 소자에 영향을 미치지 않으며 자연스러운 흐름을 보인다. (그림 6)의 실제 동하중 측정시 정확한 측정 하중을 알아 내는 것은 아주 어렵기 때문에 (그림 6)의 결과를 기준 데이터로 하여 진동이 포함된 실험 결과와 비교한다. <표 1>은 정적인 상태에서 광 센서 출력을 하중으로 환산한 결과와 로드셀을 이용하여 측정한 결과 사이의 상관 관계를 나타낸다. 단순한 저역 통과 필터링만으로 얻어진 결과와 이동 평균을 이용하여 얻은 결과 모두 광 센서를 이용하여 얻어진 하중 값과 거의 근사함을 <표 1>의 상관 계수로부터 알 수 있다.

<표 1> 정적인 상태에서 각 시료에 대한 상관 계수

| materials | C.C. | filtered mass | moving average |
|----------------|------|---------------|----------------|
| black soybean | | 0.9976 | 0.9978 |
| yellow soybean | | 0.9987 | 0.9988 |
| rice | | 0.9996 | 0.9996 |
| bamboo stick | | 0.9922 | 0.9942 |

시료의 흐름률은 시료의 모양, 밀도, 수분 함량 등에 따라 달라지므로, 광 센서에 의해 측정된 시료의 흐름률과 실제 하중 증가의 가장 좋은 선형적인 관계를 이용하기 위하여 과거의 광 센서 데이터들의 OR 연산이 사용된다. 실험에 의하면 가장 좋은 과거 데이터의 수는 24개이다. 광 센서의 측정값과 로드셀의 측정값 사이에 고려해야 할 또 하나의 파라미터는 시간 지연이다. 광 센서에서 감지된 후 상당 시간 경과 후 로드셀로 측정이 가능하기 때문이다. 로드셀 데이터의 소프트웨어 처리 및 사용되는 디지털 필터의 영향을 포함하여 실험적으로 약 100번의 샘플링 시간에 해당하는 400msec의 시간 지연이 발생하며, 이는 컨테이너에 시료가 쌓일수록 시간은 줄어들게 된다.

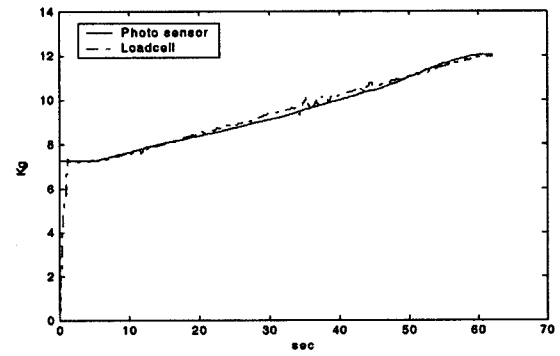
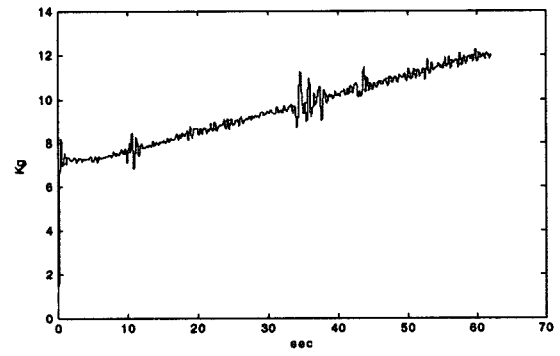
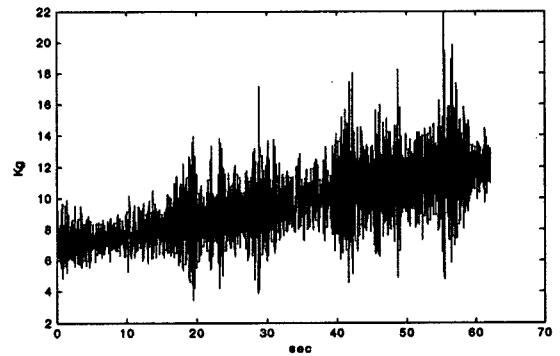
검은색 콩, 황색 콩, 쌀, 짧게 잘려진 대나무 등 총 4가지 형태의 시료를 이용하여 실험을 하였다. 시료 표면의 색깔에 따라 발광 소자의 적외선의 반사 정도에 따른 차이를 두기



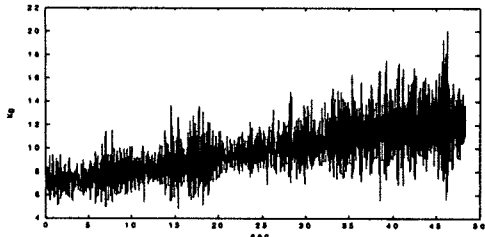
(그림 6) 네가지 시료에 대한 로드셀과 광 센서의 측정 하중

위하여 검은 색과 황색 콩을 시료로 선택하였으며, 수광 - 발

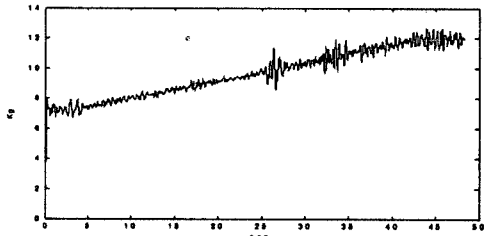
광 소자의 크기보다 훨씬 작은 경우도 적절한 실험 결과를 보이는지 확인하기 위하여 반투명하며 크기가 작은 쌀을 시료로 선택하였다. 또한 크기가 작으면서 2개 이상의 광 센서에 동시에 영향을 미칠 수 있는 시료를 선택하기 위하여 작은 크기로 잘린 가느다란 대나무를 시료로 선택하였다. 총 4개의 시료에 대한 로드셀로 측정된 동하중의 원데이터, 4Hz 저역 통과 필터링한 데이터, 300 샘플 이동 평균을 취한 데이터, 광 센서의 출력을 변환한 데이터를 (그림 7)~(그림 10)에 보인다. 전체 실험은 모형 실험 장치를 자동차에 싣고 흙으로 된 운동장의 굴곡 있는 부위에서 행해졌다. 또한 실험중 영향을 미칠 수 있는 강한 햇빛의 영향을 최소화하기 위하여 광 센서 모듈을 검은 색 종이로 감쌌으며, 자동차의 내부를 검은 색 암막으로 감싸 차량의 위치 변화에 따른 태양광의 영향을 최소화 하였다.



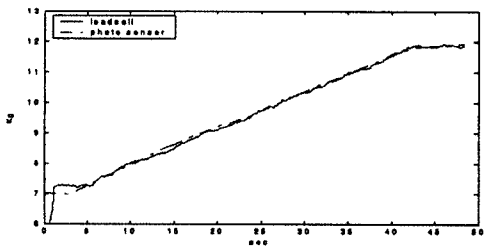
(그림 7) 검은 콩의 실험 결과



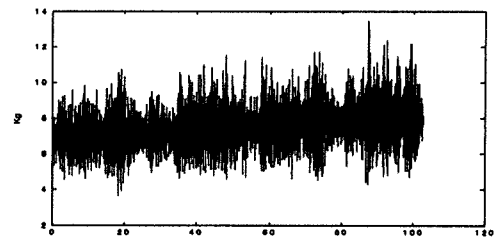
(a) dynamic mass



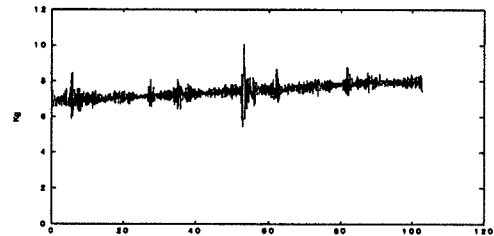
(b) filtered mass



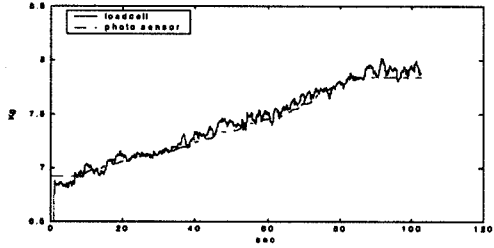
(c) comparison of moving average and photo sensor data
(그림 8) 황색 콩의 실험 결과



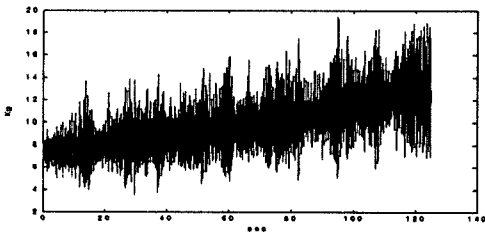
(a) dynamic mass



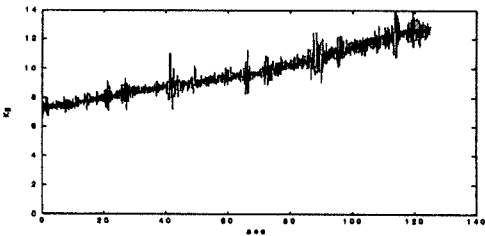
(b) filtered mass



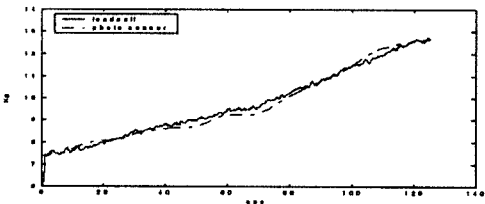
(c) comparison of moving average and photo sensor data
(그림 10) 대나무의 실험 결과



(a) dynamic mass



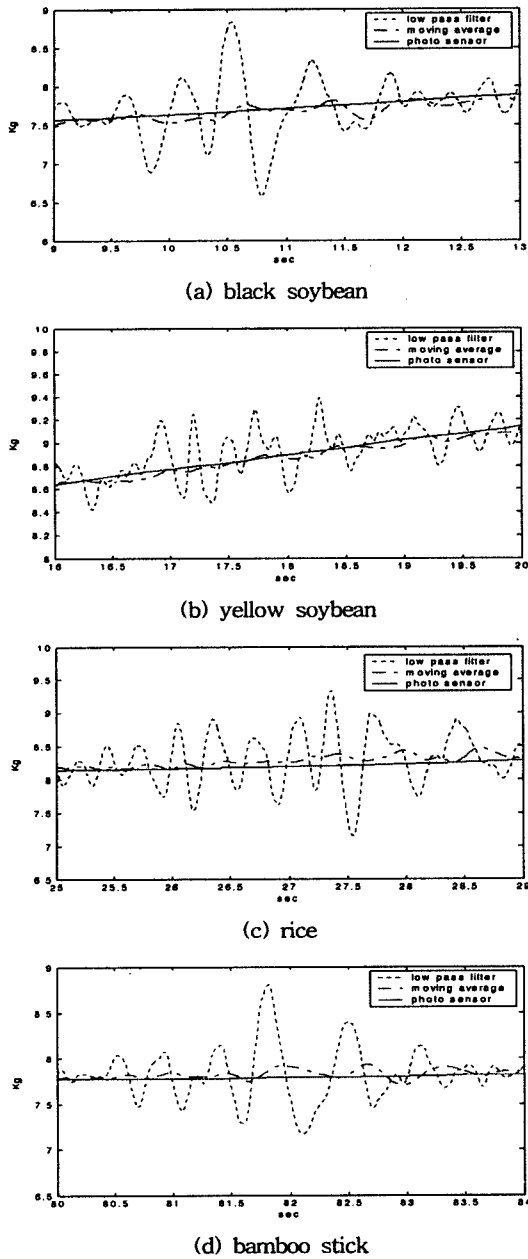
(b) filtered mass



(c) comparison of moving average and photo sensor data
(그림 9) 쌀의 실험 결과

불규칙한 노면을 자동차가 주행하기 때문에 측정되는 원데이터는 과도한 진동에 의한 잡음 성분이 존재한다. 단순한 필터링 방법을 이용하여 하중으로 변환한 경우와 과거 300 샘플의 이동 평균을 하중으로 변환한 경우, 그리고 광 센서를 이용하여 측정한 흐름률을 하중으로 변환한 경우의 상세 예를 (그림 11)에 보인다. 지역통과 필터링을 사용한 하중 데이터는 동적인 상태에서 과도한 진동 성분을 적절히 제거할 수 없으며, 이동 평균을 이용한 데이터 역시 그 크기는 작지만 진동 성분을 완전히 제거할 수 없다. 반면 광 센서를 하중으로 변환하는 경우 측정된 동하중에서 도입된 과도한 진동 성분에 의한 잡음이 전혀 나타나지 않음을 알 수 있다. 시간에 따라 작용 하중이 변화하고, 과도한 진동이 가해지는 동적인 상황에서 하중 측정 시스템에 정확한 작용 하중을 가해 주고 측정하는 것은 아주 어렵다. 본 논문에서 측정하고 제시한 데이터의 참 값을 정확히 표현하는 것은 아주 어려우며, 이런 이유로 정확한 측정 오차를 계산하는 것 또한 매우 어렵다.

정확한 측정 오차를 대신하기 위하여 <표 1>에 보인 진동이 없는 정적인 환경에서 측정된 작용 하중과 광 센서를 사용한 작용 하중 사이의 상관 계수를 측정하여 둘 사이의 상관 관계가 아주 크다는 것을 확인하였다. 반면, 측정 시스템 자체에 과도한 진동 잡음이 가해지는 동적인 상황에서 로드셀로 측정된 하중에는 진동에 의한 잡음 성분이 직접적으로 도입된다. 하지만, 하중 투하 장치에서 투하되는 각 시료의 흐름률을 측정하는 광 센서는 진동에 의한 잡음 성분의 영향과는 무관하다.



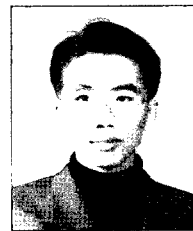
(그림 11) 지역 통과 필터, 이동 평균, 광 센서를 이용한 하중 변환의 상세 비교

4. 결 론

복잡한 동적 환경에서 하중을 측정하기 위하여 동하중과 광 센서 데이터의 특성을 분석하였다. 로드셀을 이용한 동하중의 측정은 지역 통과 필터를 통과 하더라도 진동 성분에 아주 취약하며, 이로 인해 정확한 하중 값을 측정하기 어렵다. 또한 지역 통과 필터링된 값의 이동 평균 또한 진동 성분이 감소하게 되지만 여전히 존재하게 된다. 본 논문에서는 측정 하중 오류의 직접적인 원인이 되는 진동과 충격에 대해 전혀 무관한 광 센서를 이용하여 변화하는 하중 측정을 위한 하나의 데이터로 사용할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] S. Blackmore and C. Marshall, "Yield Mapping; Errors and Algorithms," 3rd International Conference on Precision Agriculture, 1996
- [2] P. N. Wheeler, R. J. Godwin, C. D. Watt and B. S. Blackmore, "Trailer based yield mapping," 1st European Conference on Precision Agriculture, 1997
- [3] M. J. Krumpelman and K. A. Sudduth, "Design and analysis of a grain weighing system," 2000 ASAE Annual International Meeting, 2000.
- [4] W. Q. Shu, "Dynamic weighing under non-zero initial conditions." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 42(4), pp.806-811, 1993
- [5] M. Danaci and D. H. Horrocks, "A nonlinear regression technique for improved dynamic weighing." Proceedings of the European conference on Circuit Theory and Design, Istanbul, Turkey, pp.507-510, August, 1995.
- [6] H. B. Bahar and D. H. Horrocks, "Dynamic weight estimation using and artificial neural network," Artificial Intelligence in Engineering, pp.135-139, 1998
- [7] P. Lingman and B. Schmidtbauer, "Road slope and vehicle mass estimation using Kalman filtering", Proc. of the IAVSD Symposium 2001, Copenhagen
- [8] 나승유, 신대정, "가속도 센서에 기반한 동하중의 측정 및 잡음 감소", 한국센서학회논문지, 13-1, pp.1-11, 2004.



신 대 정

e-mail : djshin71ha@hotmail.com
 1996년 전남대학교 전자공학과(공학석사)
 1996년~현재 전남대학교 전자공학과 박사학위과정
 관심분야: 지능제어, 뉴로퍼지 시스템, 신호처리



나 승 유

e-mail : syna@chonnam.ac.kr
 1977년 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1986년 미국 University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사, 박사)
 1987년~현재 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
 관심분야: 지능제어, 뉴로퍼지 시스템, 신호처리



김 진 영

e-mail : beyondi@chonnam.ac.kr
 1986년 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 서울대학교 전자공학과(공학석사)
 1994년 서울대학교 전자공학과(공학박사)
 1994년~1995년 한국통신 소프트웨어 연구소
 1995년~현재 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학과 부교수
 관심분야: 신호처리, 음성인식, 음성합성, 멀티모달 MMI