

가속도 센서에 기반한 동하중의 측정 및 잡음 감소

나승유[†] · 신대정

Acceleration Sensor Based Measurement and Noise Reduction of Dynamic Weights

Seung You Na[†] and Dae Jung Shin

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. To cope with parasitic types of errors in real systems, information provided by the various sensors is 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 trailer, an accelerometer is 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. Experiments show that the processed error magnitudes of less than 20 g can be obtained for 10 Kg experimental loads.

Key Words : dynamic weight, accelerometer, noise reduction

1. 서 론

하중 측정 장치가 진동하거나 작용 하중이 진동하는 등의 가혹한 환경에서 정확하고 빠르게 하중을 측정하는 것은 산업 현장이나 기타 여러 응용문제에서 널리 요구되는 사항이다. 정지 상태에서 수직으로 작용하는 중력 하중에 의해서만 계량되는 정지 하중 측정에 비해 동하중의 측정은 보다 정확하고 신속한 측정 방법이 요구되고 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 한다. 트레일러와 그 위에 장착된 컨테이

너 고유의 복잡한 동특성 뿐만 아니라 가다 서다 하는 트레일러의 운동 특성, 수확 장소의 다양한 지형의 변화 등 비선형적인 모든 조건을 모델링하는 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 환경에서 정하중을 정확히 측정해내기 위한 다양한 시도가 이루어져 오고 있다. 적응 필터링 방법^[4]을 사용하거나, 이차 동적 모델을 출력 신호에 적합시키는 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 회로망을 사

전남대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University)

[†]Corresponding author: syna@chonnam.chonnam.ac.kr

(Received : September 8, 2003, Accepted : October 24, 2003)

용하여 실험적으로 얻어진 데이터를 이용해 진동의 영향을 포함하여 가해진 하중을 예측하였다. 또한 Lingman^[7]은 가속도와 속도를 측정하고 Kalman filter를 이용하여 주행중인 자동차의 하중과 도로의 기울기를 추정하려는 시도를 하였다.

본 논문에서는 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 제거한다.

2. 본 론

2.1. 실험 장치

실험에 사용한 하중 측정 장치를 그림 1에 보인다. 4개의 로드셀을 사용하여 컨테이너와 컨테이너 위에 놓여진 하중을 측정한다. 실험 장치는 자동차에 실려 실제 운행하면서 변화하는 하중을 실시간으로 측정한다.

2.1.1. 로드셀

탄성체를 당기거나 밀면 변형이 일어나고 이 때 줄거나 늘어나는 양을 스트레인이라 한다. 미세한 변형량을 측정하기 위해 전기적으로 브릿지 회로를 사용한다. 하중이 가해지면 그 크기에 비례하여 전기적 출력이 발생하는 스트레인 게이지(strain gauge)식의 로드셀을 사용하였다. 금속 탄성체에 점착되어진 스트레인 게이지

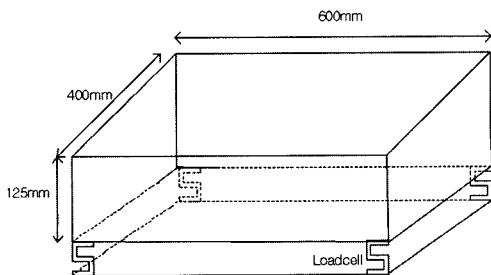
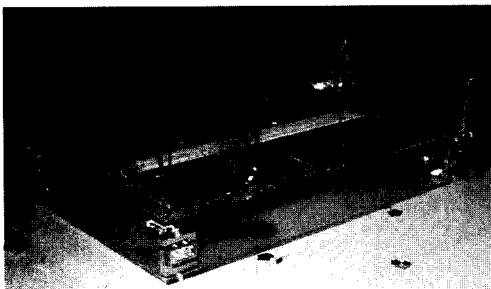


그림 1. 하중 측정 시스템
Fig. 1. Experimental model weighing system.

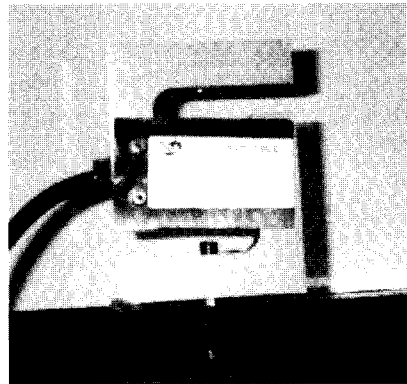


그림 2. 로드셀
Fig. 2. Loadcell.

지는 그 탄성체에 하중을 가했을 때 탄성체의 스트레인을 스트레인 게이지의 저항 값의 변화로 나타내며 가해진 하중의 크기에 비례한 전기적 출력 신호를 얻는다.

그림 2에 실험에서 사용된 다셀(dacell)사의 범용 모델 UU 로드셀을 보인다. 압축/인장 동시 측정 가능하며 최대 허용 하중은 10 Kg, 0.03%의 오차율을 가진다. 최대 허용 하중이 가해졌을 때 1V의 구동 전압에 대하여 2.0 mV의 출력 전압을 갖는다. 허용되는 구동 전압은 10 V 이하이며 본 실험에서는 3.3 V를 사용하였으며, 로드셀의 최대 출력 전압은 $2.0 \text{ mV/V} \times 3.3 \text{ V} = 6.6 \text{ mV}$ 이다.

2.1.2. 가속도 센서

이동하는 차량에 장착될 실험 장치는 컨테이너와 물체의 하중을 정확히 측정하기 위해서 컨테이너 하부 정중앙에 수직 방향 가속도를 측정할 수 있도록 가속도 센서를 설치하였다. 로드셀에 직접 영향을 주는 컨테이너의 진동을 측정하여 차량의 고유한 진동과 지면의 변화로 인한 진동의 영향을 고려하여 동하중의 오차를 보상한다.

사용된 가속도 센서와 회로도를 그림 3에 보인다. 아

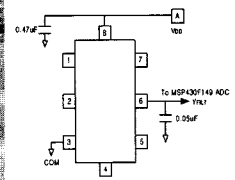
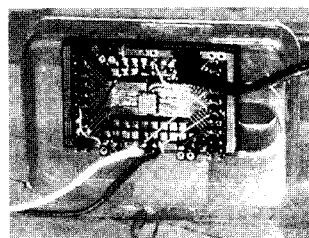


그림 3. 가속도계와 회로도
Fig. 3. Accelerometer and its circuit.

날로그 디바이스사의 MEMS형 2축 가속도 센서인 ADXL202JE를 사용하였다. 사용자가 듀티 사이클의 주기를 조정 가능하며 디지털/아날로그 출력을 선택해서 사용할 수 있다. +3.0 V에서 +5.25 V 사이의 단일 전원을 구동 전원으로 사용하며 최대 측정 가능한 가속도는 $\pm 2g$ 이다. 평형 상태에서 구동 전압의 절반 크기의 출력을 보이며, +2g에서 구동 전압, -2g에서 0V의 출력을 보인다. 실험에서는 로드셀에 가해주는 구동 전압과 같은 3.3V를 사용한다.

2.1.3. 증폭기

구동 전압을 +3.3V를 사용하기 때문에 로드셀은 최대 +6.6mV의 아주 작은 출력 전압을 가진다. 로드셀의 출력을 읽어 들여 디지털화하기 위하여 고정밀 증폭기인 MAX4194를 이용한다. +2.7V에서 +7.5V 사이의 단일 구동 전압으로 동작하며, 증폭 오차는 0.01%이며, 증폭률은 단일 저항 R_G 만으로 조정된다. 증폭율을 결정하기 위하여 크기 100Ω 인 정밀 금속 피막 저항을 사용하였으며 증폭률 $G = 1 + 50k\Omega/R_G = 1 + 50k\Omega/100\Omega = 501$ 이다. 증폭기 출력 전압은 이론적으로 최소 하중에서 0V, 최대 하중에서 3.3V를 갖는다. 그림 4에 증폭기 모듈과 회로도를 보인다.

2.1.4. MSP430F149를 이용한 데이터 수집 및 전송 장치

MSP430F149는 3.3V 단일 전원으로 동작하며, 2개의 내장 16비트 타이머, 8채널 12비트 A/D 컨버터, 2개의 USART(universal serial synchronous/asynchronous communication interfaces) 포트를 갖는 16비트 RISC 아키텍처 마이크로컨트롤러이다. MSP430F149

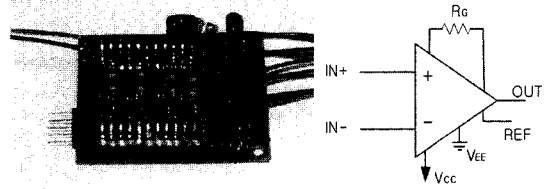


그림 4. 증폭기 모듈과 회로도
Fig. 4. Amplifier module and circuit.

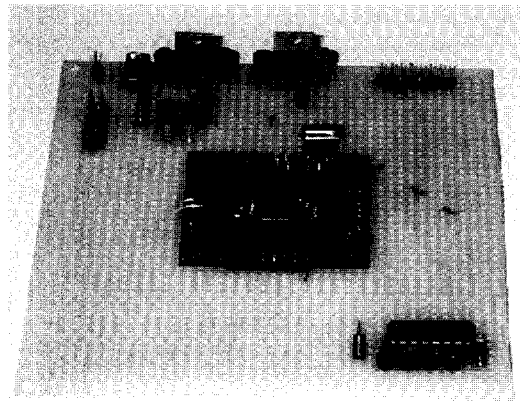


그림 5. MSP430F149를 이용한 8 채널 데이터 수집, 전송 시스템

Fig. 5. 8-channel data collection/transmission system using MSP430F149.

를 이용한 8채널 데이터 수집 및 전송 시스템을 그림 5에 보인다. 최대 3.3V의 출력을 가지는 4개의 로드셀

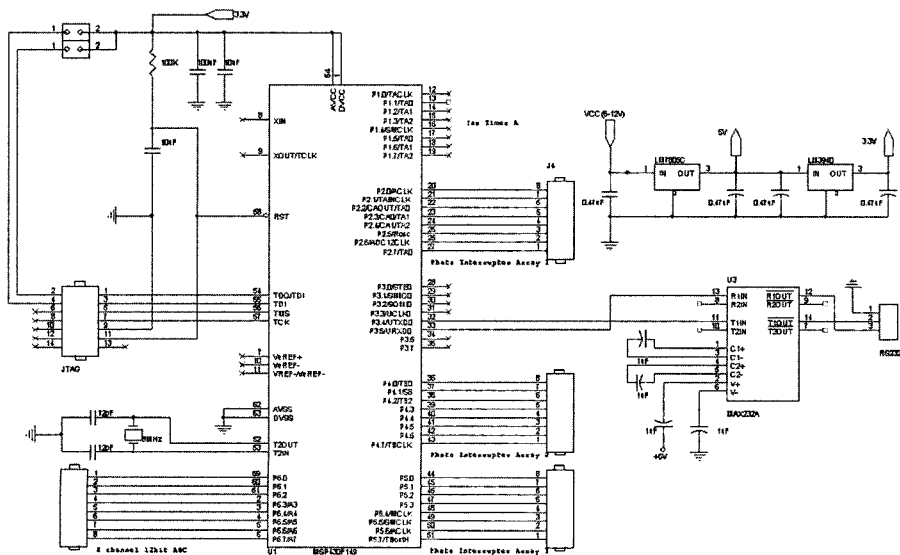


그림 6. MSP430F149 기반 데이터 로그, 전송 유닛의 회로도
Fig. 6. MSP430F149 based data log and transmission unit.

증폭단의 증폭기 출력과 하나의 온도 센서, 수직축의 가속도를 측정하고 직렬 포트를 이용해 데이터를 전송하기 위하여 사용된다. 전체 샘플링 시간 $1/250 \text{ sec} = 4 \text{ msec}$ 동안 각 채널을 $2 \mu\text{sec}$ 주기로 순차적으로 샘플링하며 나머지 시간 동안 데이터를 처리하여 PC로 전송한다. 회로도를 그림 6에, PC측에 전송된 데이터를 화면에 보여주고 처리하는 로그 프로그램을 그림 7에 보인다.

2.2. 시스템 분석

2.2.1. 정지 상태에서 시스템의 특성 분석

컨테이너를 포함한 관심 하중을 동적인 상황에서도 정확히 측정하기 위하여 시스템의 기본적인 특성을 분석한다. 자동차의 시동이 켜져 있고 정지된 상태에서 가속도와 로드셀 출력의 PSD(Power Spectrum Density)를 그려 보면 그림 8과 그림 9와 같다. 차량의 고유한 진동으로 인해 20 Hz 이하의 저주파 영역의 신호

가 관측되고 자동차 고유의 특성으로 파악되는 22.7 Hz의 고조파 성분의 잡음이 존재하는 것을 알 수 있다.

그림 10과 11은 컨테이너의 무게를 제외한 로드셀의 시간 영역 출력이며, 자동차의 진동으로 인해 일정한

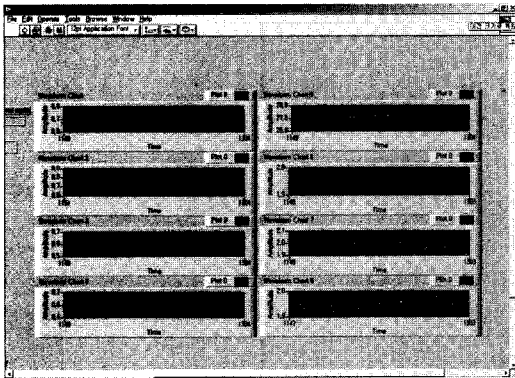


그림 7. 8 채널 데이터 로그 프로그램
Fig. 7. 8-channel data log program.

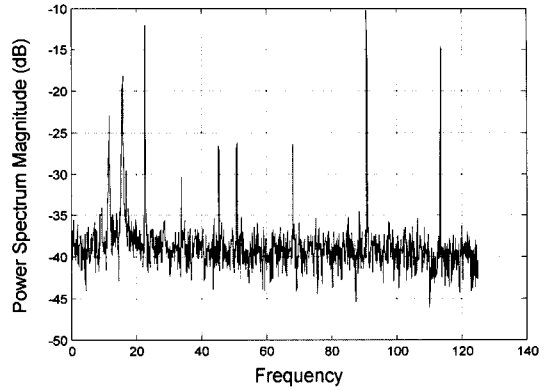


그림 9. 정지 상태에서 수직 가속도의 PSD
Fig. 9. PSD of vertical accelerometer while not moving.

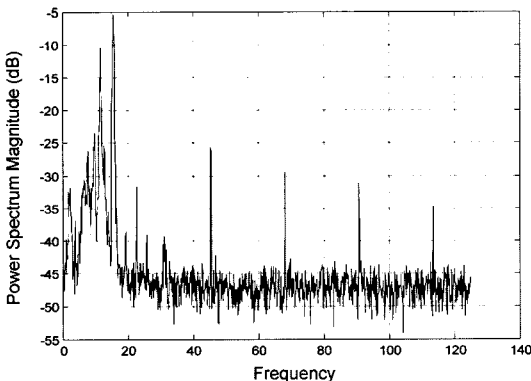


그림 8. 정지 상태에서 로드셀 출력의 PSD
Fig. 8. PSD of loadcell while not moving.

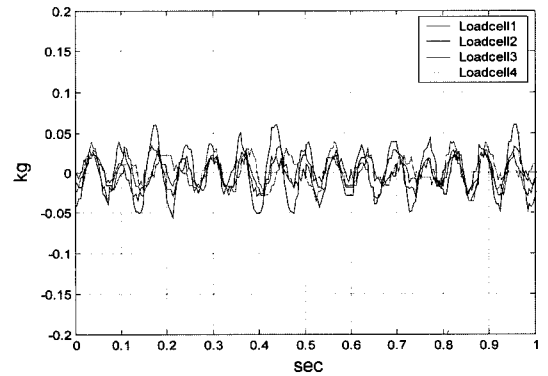


그림 10. 정지 상태에서 로드셀 출력
Fig. 10. Loadcell signal while not moving.

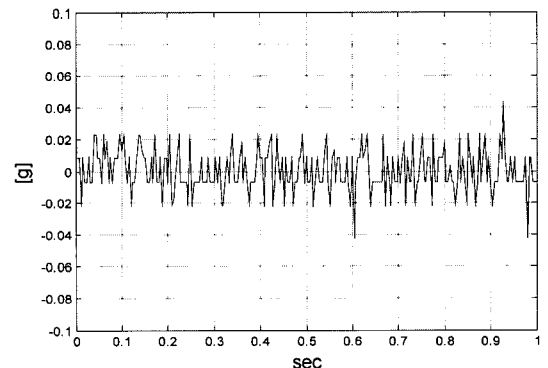


그림 11. 정지 상태에서 수직 방향 가속도
Fig. 11. Vertical accelerometer signal while not moving.

표 1. 정지 상태에서 각 로드셀에 가해지는 평균 하중
Table 1. Mean load of each loadcell while not moving

Loadcell1	Loadcell2	Loadcell3	Loadcell4	Total
1.687 Kg	1.198 Kg	1.406 Kg	1.817 Kg	6.108 Kg

표 2. 하중-출력 전압 변환표
Table 2. Load-output voltage of each loadcell

하중	Loadcell1	Loadcell2	Loadcell3	Loadcell4
0 Kg	0.0328V	0.0448V	0.0347V	0.0304V
1 Kg	0.3769V	0.3852V	0.3796V	0.3816V
2 Kg	0.7109V	0.7189V	0.7074V	0.7134V
3 Kg	1.0310V	1.0509V	1.0454V	1.0497V
4 Kg	1.3692V	1.3956V	1.3381V	1.3562V
5 Kg	1.6999V	1.7276V	1.7867V	1.8154V
6 Kg	2.0306V	2.2146V	2.1854V	2.2123V
7 Kg	2.3518V	2.5506V	2.5196V	2.5443V
8 Kg	2.7749V	2.8764V	2.8427V	2.7935V
9 Kg	3.1266V	2.9877V	2.9408V	2.7943V
10 Kg	3.2150V	2.9884V	2.9431V	2.7949V

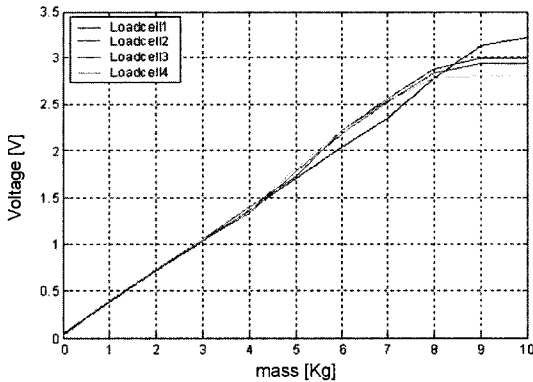


그림 12. 하중-전압 곡선
Fig. 12. Load-voltage curves.

주파수로 진동한다. 정지 상태에서 얻어진 각 로드셀에 가해진 빈 컨테이너의 하중을 표 1에 보인다. 각 로드셀의 측정된 하중에서 아래의 정지 상태에서 측정된 평균 하중을 뺀 관심 하중 자체만을 측정한다. 실험에서 사용된 4개 로드셀의 특성을 알아보기 위해 실제 하중을 1 Kg 단위로 증가시키며 측정한 로드셀-증폭기 쌍의 출력을 표 2의 하중 - 출력 전압 특성 데이터로 보인다. 실제 측정되는 로드셀 - 증폭기 쌍의 출력 전압은 표 2를 이용하여 적절한 하중으로 변환된다. 표 2의 결과를 그림 12에 보인다.

2.2.2. 운행 상태에서 시스템의 특성 분석
차량의 속도, 지형의 형태에 따라 수직 방향 가속도

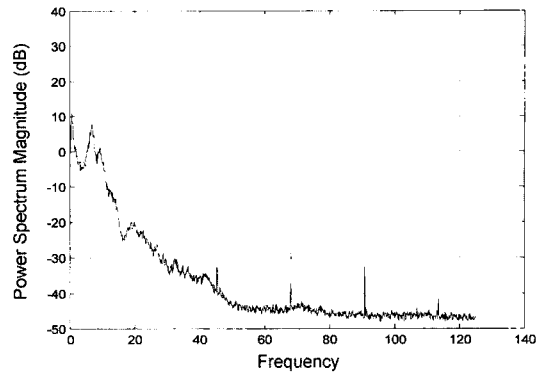


그림 13. 운행 상태에서 로드셀 출력의 PSD
Fig. 13. PSD of loadcell output while moving at v = 20 Km/h.

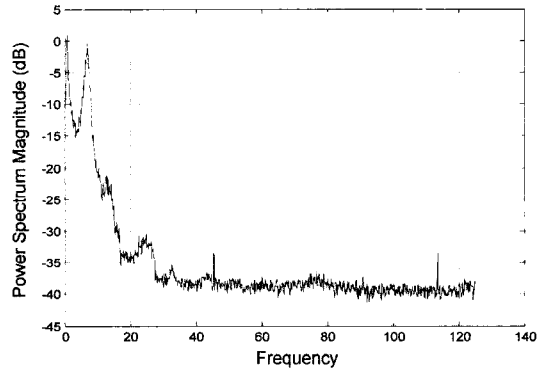


그림 14. 운행 상태에서 수직 가속도의 PSD
Fig. 14. PSD of vertical accelerometer while moving at v = 20 Km/h.

가 달라지고, 이 가속도와 직접적인 연관을 가지는 하중이 변화한다. 가속도는 같은 형태의 지형이라도 차량의 속도에 따라 변화하므로 지형의 패턴에 의한 가속도의 크기를 생각하는 것 보다는 가속도 자체를 고려하는 것이 더 간단하고 직접적인 하중의 변화와 관계를 쉽게 알아낼 수 있다.

그림 13과 그림 14는 운행 중인 상태에서 측정된 로드셀의 출력과 동시에 측정된 수직 방향 가속도의 PSD를 도시한 것이다. 크게 돌출되거나 함몰된 불규칙적인 지형을 자동차가 통과할 때 발생하는 4 Hz 이하의 비교적 변화가 느린 가속도 성분과 그로 인한 하중의 변화, 조밀하면서 울퉁불퉁한 불규칙적인 지형을 통과할 때 발생하는 4 - 10 Hz의 약간 빠른 가속도 성분과 그로 인한 하중의 변화가 보인다. 시간 영역에서의 각 로드셀의 하중 신호와 가속도 센서의 신호를 그림 15와 그림 16에 보인다.

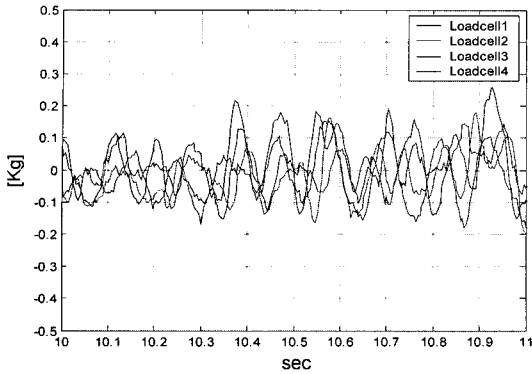


그림 15. 운행 상태에서 로드셀 출력
Fig. 15. Loadcell signals while moving at v = 20 Km/h.

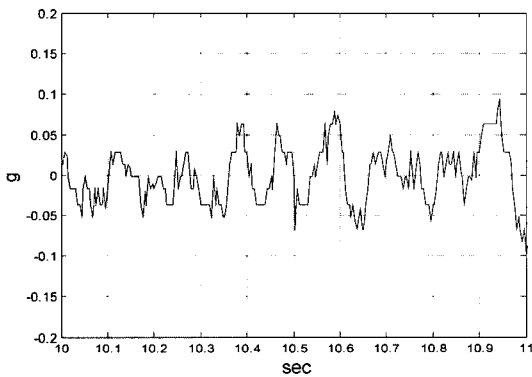


그림 16. 운행 상태에서 수직, 전후 방향 가속도
Fig. 16. 2-axes accelerometer signals while moving at v = 20 Km/h.

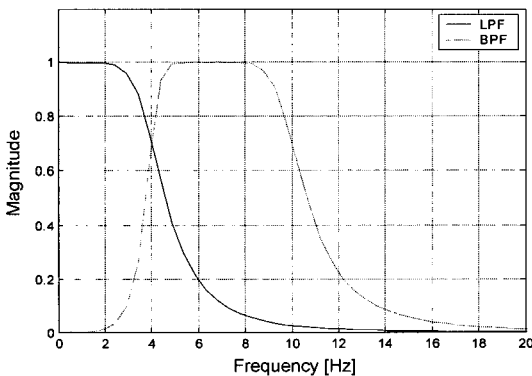


그림 17. 4차 Butterworth 저역/대역 통과 필터
Fig. 17. 4-th Butterworth low/band pass filter.

2.2.3. 시스템 해석을 위한 필터

2.2.2에서 주파수 특성을 통해 얻어진 두 부분의 주파수 영역에 따라 그림 17의 특성을 보이는 디지털 4차 Butterworth 필터를 사용하였다. 저역 통과 필터의

차단 주파수는 4 Hz이며, 대역 통과 필터의 주파수 대역은 4 - 10 Hz 이다.

필터 출력 $y(n)$ 은 $a(1)*y(n)=b(1)*x(n)+b(2)*x(n-1)+...+b(nb+1)*x(n-nb)-a(2)*y(n-1)-...-a(na+1)*y(n-na)$ 이며, 필터 계수는 matlab을 이용하여 얻는다.

2.2.4. 기본 데이터 구성을 위한 시스템 분석

동하중 추정을 위해 하중 0, 2, 4, 6 Kg에 대하여 자동차를 운행하면서 얻어진 10분 분량의 데이터를 분석한다. 각 채널에 대하여 초당 250개의 샘플을 취하므로 각 채널의 데이터는 150000개 이다. 각 관심 하중에 대한 로드셀 4개의 출력을 모두 더한 전체 하중과 수직 방향 가속도를 2.2.3에서 얻어진 두 개의 Butterworth 필터에 통과시킨다.

그림 19의 저역 통과 필터를 통과시킨 신호는 변동 가능한 실제 관심 하중과 지형의 변화에 따른 진동으로 인한 하중의 변화를 표현한다. 반면 그림 20은 빠르게 변화하는 지형 및 자동차 고유의 진동에 의한 성분을 포함하며 고주파 영역의 잡음을 제거된다. 어느 경우든 동하중은 필터링된 수직 방향 가속도와 직접적인 관계를 가지며 대역 통과 필터를 통과한 전체 하중과 가속도는 일정한 비를 갖는다.

실험적으로 얻어진 각 하중에 대한 증폭률, 저역 통

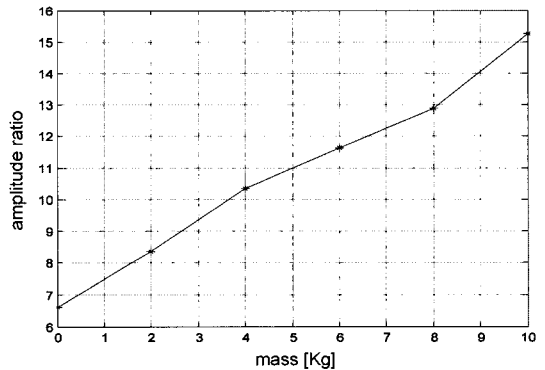


그림 18. 하중-증폭률 곡선
Fig. 18. Load-amplification ratio curve.

표 3. 하중-증폭률, 평균값 변환표

Table 3. Load-amplification ratio and mean values

하중	증폭률	평균값(LPF)	평균값(BPF)
0.0 Kg	6.6323	0.0011	3.9836×10^{-5}
2.0 Kg	8.3553	2.0358	2.1736×10^{-5}
4.0 Kg	10.3414	4.0259	4.7049×10^{-6}
6.0 Kg	11.6383	6.0361	3.4594×10^{-6}

과 필터링된 하중의 평균값, 대역 통과 필터링된 하중의 평균값을 표 3에 보이며 하중과 증폭률과의 관계를 그림 18에 보인다. 증폭률을 수직 가속도에 곱하여 저역 통과 필터링된 하중에서 뺄 값의 평균값은 실하중과 거의 같은 크기이다. 이러한 이유로 인해 여러 실시간 곡물 하중 측정 시스템에서 실제 하중 데이터를 저역 통과 필터링하여 진동에 의한 영향을 줄이는데 사용한다¹¹⁾. 실시간 처리를 위하여 대량의 데이터가 아닌 소수의 실시간 데이터를 이용하여야 하는 실제 시스템에서 시스템의 진동에 따른 하중의 정확한 변화를 측정하려면 진동의 영향에 의한 성분을 제거하여야 한다.

이러한 이유로 Krumpelman¹³⁾은 가속도 측정을 위해 일정 크기의 하중을 곡물의 무게와 상관없이 측정

하여 간접적으로 가속도를 측정하여 진동에 의한 무게의 변화를 제거하는 방법을 사용하였다. 대역 통과 필터링된 데이터에 대하여는 거의 0에 가까운 평균값을 보인다. 표 3을 동하중 분석을 위한 기초 데이터로 이용한다.

저역/대역 필터링된 주파수 대역의 전체 하중과 표 3에 보여지는 증폭률을 필터링된 가속도 성분에 곱한 결과가 직접적인 관계가 있음을 그림 19와 그림 20에 보인다. 하지만 미지의 하중에 대하여 적은 양의 데이터를 기반으로 한 평균값을 이용하면 그림 19의 경우와 같이 가속도의 변화가 느리며 크기가 큰 경우 전체 평균값과 큰 차이를 보이며 표 3에 보인 기본 데이터의 성능을 보장할 수 없을 것이다. 그림 21 - 그림 26 (실선: 하중, 점선: 가속도)에 2, 4, 6 Kg의 실하중에 대

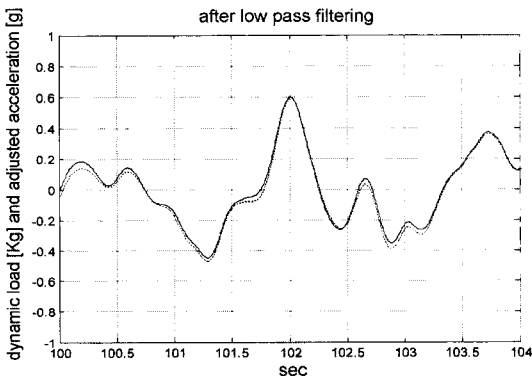


그림 19. 실하중 0 Kg에서 저역 통과 필터링된 전체 하중과 조정된 가속도

Fig. 19. Low pass filter outputs of total load and adjusted vertical acceleration (0 Kg).

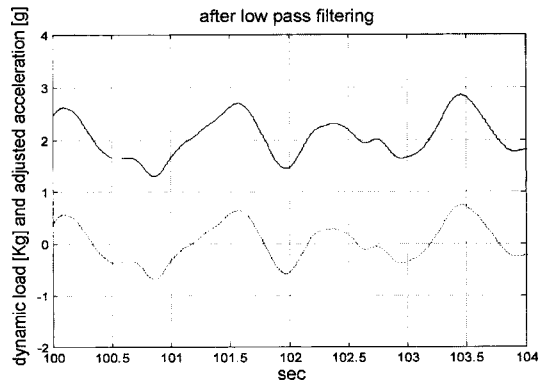


그림 21. 실하중 2 Kg에서 저역 통과 필터링된 전체 하중과 조정된 가속도

Fig. 21. Low pass filter outputs of total load and adjusted vertical acceleration (2 Kg).

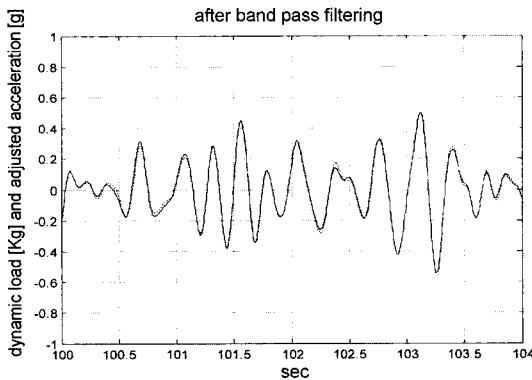


그림 20. 실하중 0 Kg에서 대역 통과 필터링된 전체 하중과 조정된 가속도

Fig. 20. Band pass filter outputs of total load and adjusted vertical acceleration (0 Kg).

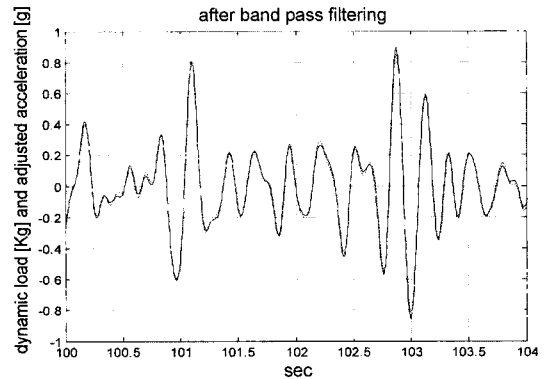


그림 22. 실하중 2 Kg에서 대역 통과 필터링된 전체 하중과 조정된 가속도

Fig. 22. Band pass filter outputs of total load and adjusted vertical acceleration (2 Kg).

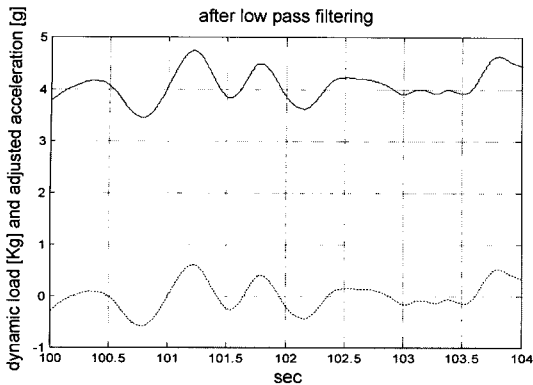


그림 23. 실험중 4 Kg에서 저역 통과 필터링된 전체 하중과 조정된 가속도

Fig. 23. Low pass filter outputs of total load and adjusted vertical acceleration (4 Kg).

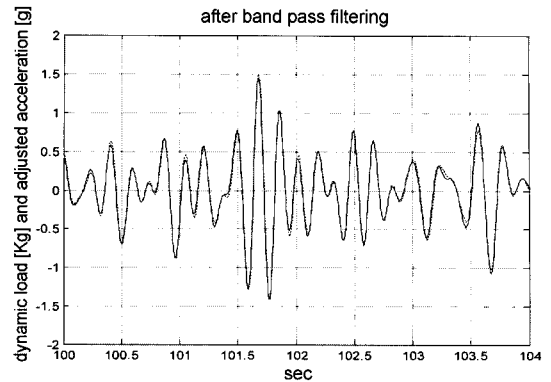


그림 26. 실험중 6 Kg에서 대역 통과 필터링된 전체 하중과 조정된 가속도

Fig. 26. Band pass filter outputs of total load and adjusted vertical acceleration (6 Kg).

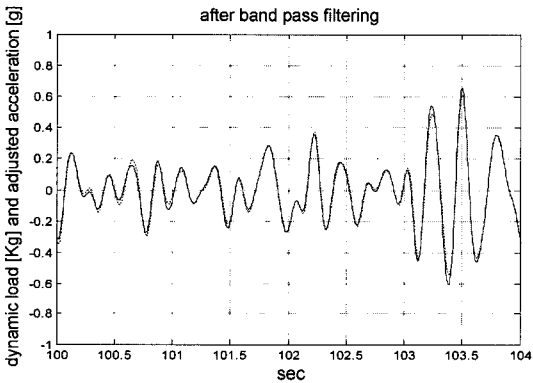


그림 24. 실험중 4 Kg에서 대역 통과 필터링된 전체 하중과 조정된 가속도

Fig. 24. Band pass filter outputs of total load and adjusted vertical acceleration (4 Kg).

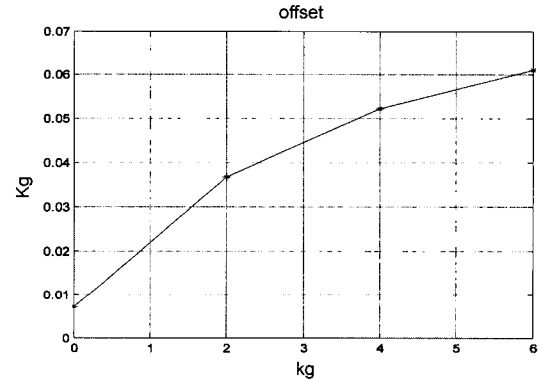


그림 27. 각 하중에서의 오차(offset)

Fig. 27. Errors of loads.

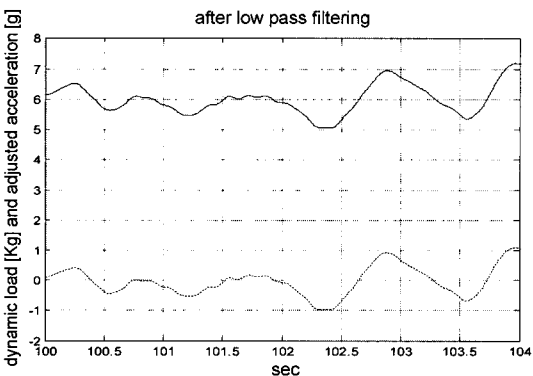


그림 25. 실험중 6 Kg에서 저역 통과 필터링된 전체 하중과 조정된 가속도

Fig. 25. Low pass filter outputs of total load and adjusted vertical acceleration (6 Kg).

하 기본 데이터를 구하는 과정에서 보이는 가속도와 증폭률과의 관계를 보인다. 저역 통과 필터를 통과한 전체 하중과 일정한 증폭률이 곱해진 가속도의 차이는 표 3에 보이는 바와 같이 실험중 값과 거의 비슷하다. 실제 측정된 기본 데이터에서 그림 27에 보이는 것과 같은 오차가 발생하며 이는 최종 하중 추정을 위한 옵션으로 이용한다.

3. 실험 결과

2.2.4의 실험 결과에서 얻어진 기본 데이터를 이용하여, 그림 28의 흡퍼를 이용하여 1 Kg의 하중을 약 19 초 동안에 일정한 증가율을 유지하며 증가시키는 데이터를 실시간으로 분석한 결과를 보인다. 과거 300개의 샘플을 이용하여 실시간으로 동하중으로부터 진동에 의한 잡음 성분을 제거한다. 추론 절차는 아래와 같다.

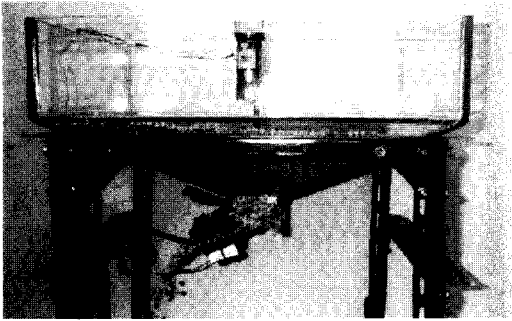


그림 28. 홉퍼
Fig. 28. Hopper.

추론 절차

1. 300개의 샘플을 이용하여 저역 통과 필터를 통과한 동하중의 이동 평균값 $\text{mean}\{m_{LPF}(t)\}$ 을 구한다.
2. 얻어진 평균 동하중을 표 2 하중-증폭률 데이터로 근거로 보간법을 이용하여 증폭률(K_{app})을 구한다.
3. 저역 통과 필터를 통과한 동하중 $m_{LPF}(t)$ 에서 가속도에 증폭률 K_{app} 를 곱한 값 $K_{app} \times a_{LPF}(t)$ 를 빼서 차량의 저주파 진동에 의한 영향을 제거하여 진동 성분이 보상된 하중 $M_{LPF}(t)$ 를 구한다.

$$M_{LPF}(t) = m_{LPF}(t) - K_{app} \times a_{LPF}(t)$$

4. 진동 성분이 보상된 하중 $M_{LPF}(t)$ 의 이동 평균값을 실제 하중으로 한다.
- 그림 29에 측정된 동하중을 보인다. 하중 0 Kg에서 1 Kg 단위로 5 Kg까지 하중을 일정한 비율로 증가시키며, 실험 장치를 자동차에 싣고 거친 환경에서 주행하면서 얻어진 데이터를 분석하였다. 대역/저역 통과 필터링된 그림 31, 33의 데이터를 기반으로 조정된 가속

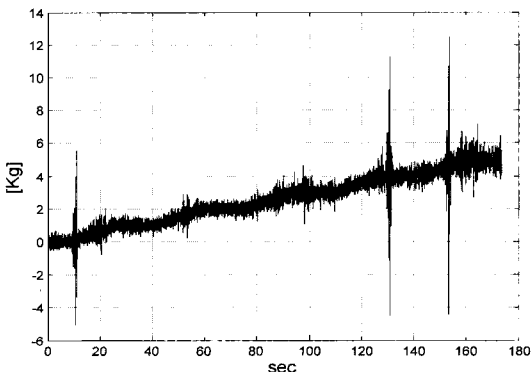


그림 29. 동하중
Fig. 29. Dynamic load.

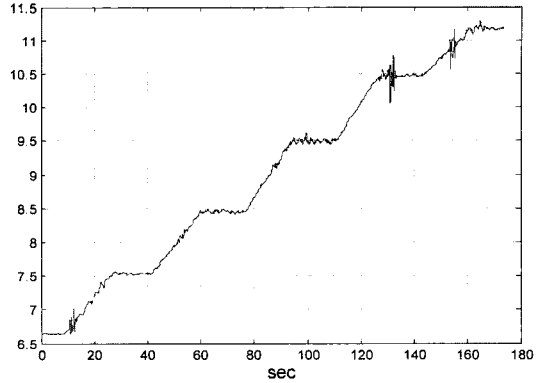


그림 30. 증폭률
Fig. 30. Amplification ratio.

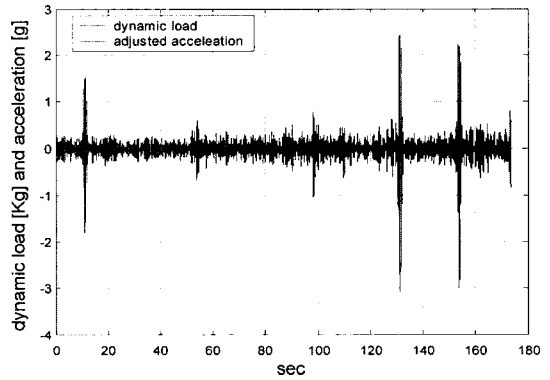


그림 31. 대역 통과 필터링된 하중과 조정된 가속도
Fig. 31. Band pass filtered mass and adjusted acceleration.

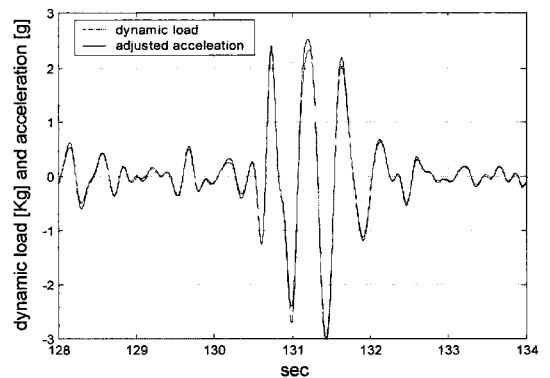


그림 32. 대역 통과 필터링된 하중과 조정된 가속도
Fig. 32. Band pass filtered mass and adjusted acceleration.

도와 측정된 하중 사이의 증폭률을 구하여 그림 30의 증폭률 곡선을 구한다. 그림 32는 그림 31의 일정 부분을 확대한 것이다. 동하중의 수직 가속도 성분의 영향을 제거하기 위하여 그림 33의 두 신호의 차를 얻으

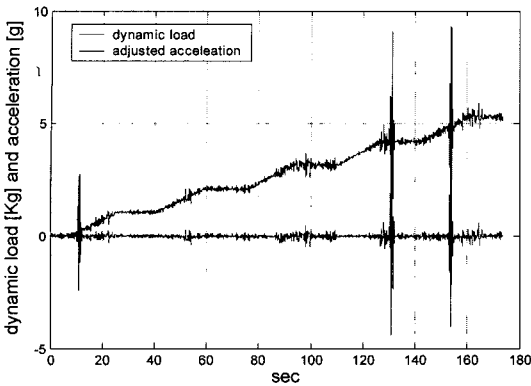


그림 33. 저역 통과 필터링된 하중과 조정된 가속도
Fig. 33. Low pass filtered mass and adjusted acceleration.

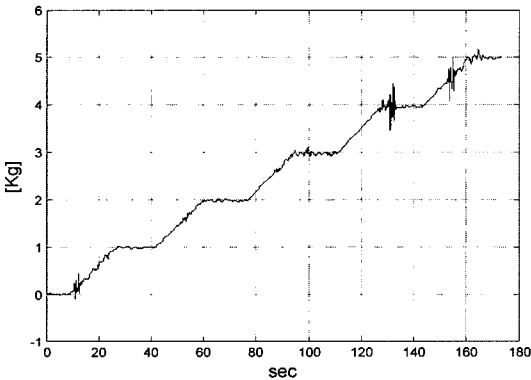


그림 34. 가속도 성분이 제거된 하중
Fig. 34. Mass (removed vertical acceleration).

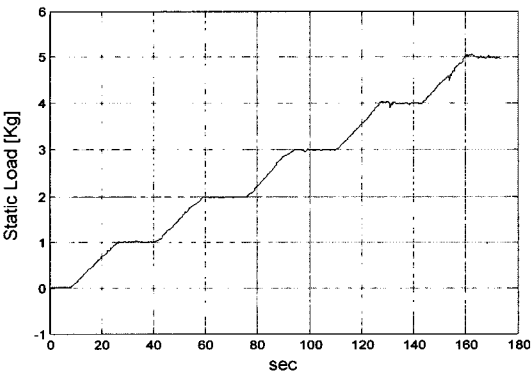


그림 35. 정하중
Fig. 35. Static load.

며, 그림 34에 도시한다. 그림 34의 이동 평균값이 각 시각의 정하중을 보여주는 그림 35가 된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음(R12-1988-032-08004-0).

4. 결 론

복잡한 동적 환경에서 하중을 측정하기 위하여 동하중과 가속도 데이터의 주파수 특성을 분석하였다. 저역 대역 통과 필터를 통과한 진동 성분을 포함한 동하중 데이터는 가속도와 직접적인 관련이 있다는 사실을 보였으며 이를 수치적으로 비교하기 위하여 일정 하중 구간에서 가속도 증폭률을 계산했다. 구해진 증폭률은 진동에 의한 동하중의 잡음을 정확하게 제거하는 하나의 수단이 될 수 있음을 밝혔다.

참고 문헌

- [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*, vol. 42, no. 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. Schmidbauer, "Road slope and vehicle mass estimation using Kalman filtering," Proc. of the IAVSD Symposium 2001, Copenhagen.



나 승 유

- 1954년 5월 1일생
- 1977년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1986년 미국 University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사,박사)
- 1987년 ~ 현재 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
- 주관심 분야 : 지능제어, 뉴로퍼지 시스템, 신호처리



신 대 정

- 1972년 11월 23일생
- 1996년 전남대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1996년 ~ 현재 전남대학교 전자공학과 박사학위과정
- 주관심 분야 : 지능제어, 뉴로퍼지 시스템, 신호처리