

다축 화물자동차의 축하중을 이용한 화물중량측정기 설계 및 구현

한정열, 유수엽, 김기수
호서대학교 벤처대학원 첨단기술공학과
호서대학교 벤처대학원 컴퓨터 응용공학과
전화 : 041- 540-5891 , 핸드폰 019 - 240 - 8051

Design and Implementation of weight scaler of loading for multi-axles

Jung-yul Han, Soo-yeub Yoo*, Ki-soo Kim
Dept. of Innovative Industrial Technology, Hoseo University,
*Dept. of Application of Computer Technology, Hoseo University
E-mail : hanjungyul@hotmail.com

Abstract

This paper is reporting the whole process of developing a weight measuring scaler of truck and trailer system for static and dynamic condition. The sensors attached on the top of springs each wheels. Acquisition and data processing performs accurate data extraction from noise environment, filtering and estimation. Weight information was highly distorted with noise and perturbation. Hence the perturbation was classified several categories and evaluated for accurate signal extract.

The final products supply accurate and easy readable data of load weight for truck. It supplies total weight as well as loading condition of each axle.

It is expected that it give the information to the truck operator of proper amount loading and safe condition to drive with it.

I. 서론

화물을 운반하는 자동차내의 축에 인가되는

부하를 측정하는 필요성이 제기되는 것은 자동차의 안전은 물론 도로의 파손방지와 함께 환경보호문제로 그 총 중량이 제한되고 있으나, 축의 중량을 측정할 수 있는 외국산의 '축중기'의 가격이 차량가격에 비하여 매우 비싼 이유로 그 보급이 늦어지고 있기 때문이다. 현재는 외국산 고가의 화물차에만 부착하여 국내에서 보급되고 있는 실정이다.

본 논문은 이러한 시장의 요구에 부응하고 한국의 실정에 걸 맞는 장비를 개발하여 각 자동차의 안전과 자동차의 수명을 늘리는데 일조함은 물론, 도로 파손 등 사회 간접 자원을 보호하며 대기오염의 주요 요인 중 하나로 꼽히는 과적에 의한 공해를 줄이는데 필요 하리라 여겨진다.

II. 축중기 설계

2.1 축중기의 기본 기능 및 측정 규격

본 논문에서는 단순한 화물의 무게 측정 외에 다음과 같은 여러 복합 기능을 갖는 축중기 시스템을 제안 하였다.

- (1) 각 축마다 인가되는 하중을 표시함.
- (2) 각 축의 하중이 좌우 한쪽으로 쏠림을 감지함.
- (3) 운행 중에 연속적으로 하중을 측정 보고함.

기본적인 기능은 기존의 data acquisition system의 기본 구조와 유사하나, 실용성을 높이기 위하여 보다 발전된 반도체칩을 사용하여 SOC(System On a Chip)의 개념으로 하드웨어를 구성하였고, 대부분의 기능을 소프트웨어로 구현하여 시스템을 고집화 시켰다.

기지에서 제공하는 기본 기능은 국내 교통법에서 제한하는 총 하중 40톤과 축하중 10톤(윤하중 5톤)을 기준으로 설계 되어있다. 이러한 기준으로 화물차의 적재를 제한하도록 오퍼레이터가 실시간으로 인지할 수 있게 시스템을 구성하는 것이 필요하다.

2.2 축중기의 구성

이 축중기의 구성은 그림 1과 같다.



그림 1 축중기 구성도

시스템의 각 바퀴의 지시스프링에 스트레인 게이지 센서를 부착하여 한 곳에서 그 센서의 변화량을 감지하도록 한다. 스트레인 게이지는 한 지점에서 직교하는 형태로 2개씩 부착하여 온도에 대한 안정성을 취하는 한편, 스프링의 피로누적 등 경년 변화에 대비하여 시스템을 구성한다. 이 센서로부터의 입력은 아날로그 필터 및 증폭기를 통하여 외부로부터 오는 신호를 차단하며, 스트레인게이지의 미세한 검출신호를 증폭한다. 이 아날로그 신호처리부는 aliasing filter 역할도 하고 있다.

아날로그 신호처리에서 증폭되고 직류전압의 오차가 최소화 되어진 신호는 Analog-digital 변환회로에서 디지털로 바뀌며 이 특정된 신호는 디지털 신호 처리부에서 정밀하게 신호와 잡음을 분리하는 작업을 실시한다.

신호와 잡음의 신호 처리하는 과정에서 실제로 필요한 데이터를 추출하여 화물차 오퍼레이터에게 필요한 데이터를 디스플레이 시키며 이때 축하중과 윤거하중 및 총 하중을 표시함은 물론 이 하중의 국내법 저축여부에 따라 그 예시도 하여준다. 이러한 일련의 과정은 화물차 오퍼레이터에게 보다 편안하고 안전한 화물차 운전 조건을 구성하는 기준을 제시할 수 있으며 이 기준이 더 나아가, 엔진 및 기기를 정격 이내로 구동하여 환경오염 요인을 대폭 감소시킬 수 있다.

2.3 축중기의 측정오차 요인 분석

(1) 평지에서 동작 상태

좌우로 편중되거나 앞뒤로 편중되어 화물을 싣는 경우가 많이 있다. 그림 2와 같은 경우 각 축에는 그중량이 불균일하게 전달된다. 이 불균일한 부하조건에서 총중량은 일정하게 된다. 이 불균일하게 하중이 인가되어있는 상태에서는 각 바퀴 쪽에도 불균일하게 하중이 인가된다. 이 경우 전체 하중은 이 위에서 어느 곳에 있더라도 각각의 반발력(F1,F2,F3,F4)은 총하중(F0)과 같고 각 바퀴의 하중비는 인접한 사각형의 역비례 관계이다.

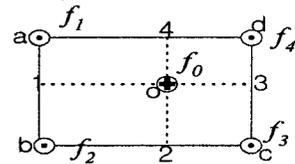


그림 2 하중의 위치와 반발력
(2) 경사면에서 상태분석

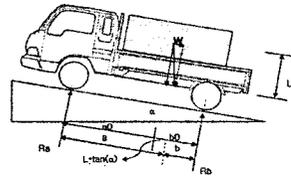


그림 3 경사면에서의 하중변화

차량이 정지상태일 때, 축중기의 오차는 피할 수 없는 요인이 된다. 이 경우에 무게 중심이 이동하는 효과가 각 바퀴의 부하상태를 축중기에서 관측되어 트럭 운전자에게 알려준다.

(3) 요철이 심한곳에서 측정

바닥에 요철이 있는 곳에서 오차 발생은 이론적으로 동일하게 되나 현재 실험을 통해 1축에 10cm 높이의 나무토막 위에서 측정한 값과 평탄한 면에서 측정한 값을 비교해 보면 표 1과 같이 오차를 가진다.

	1축 나무 위	1축 나무아래
1축	5.41ton	5.42ton
2축	3.31ton	3.15ton
3축	2.17ton	1.89ton
합	10.89ton	10.46ton

표 1. 요철이 심한 곳에서 무게 측정

(4) 규칙적 진동이 있는 곳에서 측정

엔진의 피스톤왕복에 의하여 일정한 진동이 발생되고, 이러한 진동은 차체를 통해 판스프링에 전달된다.

스프링의 스트레인 값을 하중으로 환산하는 축중기에서는 큰 문제점이라고 할 수 있다. 따라서, 이 신호를 LPF(저역통과필터)를 설계하여 신호를 필터링 해 측정한다.

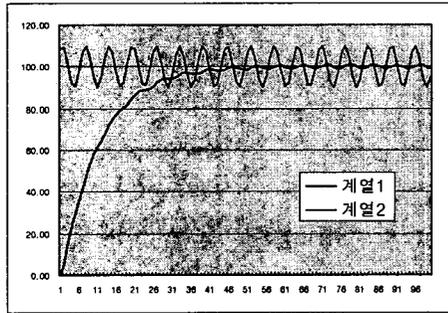


그림 4 주기적인 신호를 필터링

(5) 커브길에서运行时 측정오차

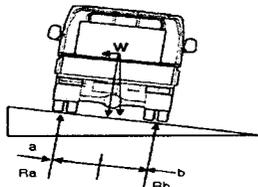


그림 5 커브길 회전

이 경우도 경사면과 같이 축중기에 오차를 유발한다. 차량이 경사면을 따라 등속도 회전할 때 등속도의 크기에 따라 평면상태일 때 보다 하중변화가 생기게 된다. 여기에서 총 하중은

$$W_s = \sqrt{F^2 + W^2} \quad \text{----(1)}$$

와 같다.

(6) 가 감속시의 영향

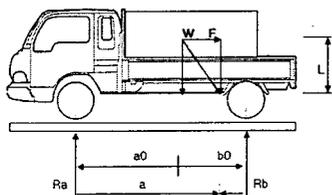


그림 6 가감속중 집중하중의 변화

차량이 출발할 때나 멈출 때, 질량 W인 물체에 힘

F가 발생하고, 물체의 가속도(a)가 생겨서, 운동 제2법칙으로부터 $F = Wa$ 가 성립된다. 물체의 관성력은 물체의 수직 하중점을 변화함으로써, 각각 축의 하중 값에 영향을 준다. 수직 하중점 변화거리는

$$s = L \frac{F}{W} \quad \text{----(2)}$$

이고, Ra와 Rb의 합은 일정하다.

III. 축중기 구현

1. 축중기 구현

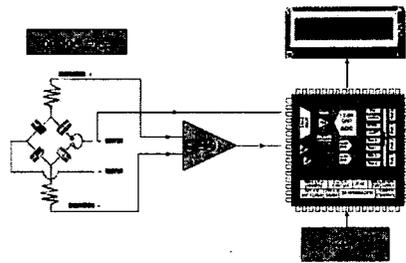


그림 7 시스템 구성도

축중기 구현은 마이크로프로세서, LCD, Op Amp, Key, 스트레인게이지로 된 Bridge 회로로 구성되어 있다.

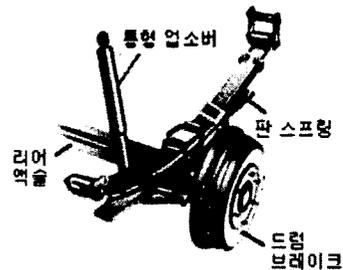


그림 8 스트레인게이지 부착위치

스트레인게이지의 부착은 각 바퀴에서 측정되는 하중 신호에 따라 일정하게 신호를 검출할 수 있도록 부착위치에 유의해야 한다.

2. 스트레인게이지의 측정원리

* 측정 대상물에 strain이 발생하면 strain gauge의 base를 경유해서 저항선에 strain이 전해져 온다. 발생한 strain에 해당하는 저항변화와 strain의 관계는 다음식 3과 같이 되며 이 값을 전압으로 변환하여 원하는 물리량을 얻게 된다. 즉 세로축 방향으로 인장외력을

가하면, 인장응력과 변형율이 발생한다. 이때 가로방향으로는 작용하는 응력이 없지만 가로방향 변형이 발생한다. 식 (3)에서 나타낸 이 비를 푸와송의 비라 한다. 이 관계는 그림 9와 같이 표시된다.

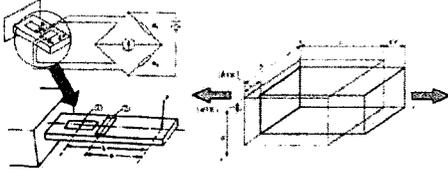


그림 9 스트레인 발생시 인장과 응축 관계도

$$\Delta e = \frac{E(1+\frac{a}{b}\nu)}{4} K\varepsilon \quad \text{---- (3)}$$

ν = 푸와송의 비

Poisson's ratio : 세로방향과 가로방향 변형율이 비

* 스트레인의 전압변환

외부환경(지열, 판스프링의 온도변화)에 따라 온도의 변화가 그림 10과 같이 비선형적으로 존재하므로, 연속으로 데이터를 얻어야 할 경우 측정대상이 열적 변형으로 인해 추가된 응력 값을 얻게 될 것이기 때문에 그 만큼의 절대치의 차를 알 수가 없다. 따라서 외부 더미 게이지를 사용한 브리지 회로를 그림 11과 같이 구현하면 온도에 의한 스트레인게이지의 변화 값을 최소로 줄일 수 있다.

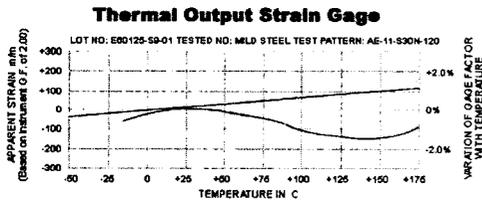


그림 10 온도에 따른 스트레인 게이지의 특성

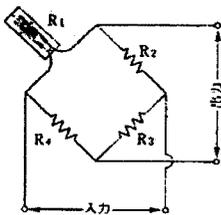


그림 11. 스트레인의 검출 회로

이때 검출 전압은 스트레인에 비례하게 된다. 즉 길이가 늘어나므로

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R/R}{K} \quad \text{.....(4)}$$

이다. 그림 11의 브리지 회로에서 검출 전압은 평형 상태의 불균일 전압이므로 출력은

$$e = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E \quad \text{.....(5)}$$

로 된다. 즉 이를 간략화 시키면

$$\Delta e = \frac{\Delta R}{4R} E = \frac{E}{4} K\varepsilon \quad \text{.....(6)}$$

가 된다.

IV. 현장시험과 보정

1. 현장시험

시험 및 교정 방법은 다음과 같이 하였다.

- ① 화물 없이 공차일 때, 무게와 스트레인을 측정한다.

	1축	2축	3축
ADC	A1	A2	A3
Strain	0	0	0

표 2. 시험 및 교정 시 무부하 값

- ② 화물을 가득 올린 후, 무게와 스트레인을 측정한다.

	1축	2축	3축
ADC	B1	B2	B3
Strain	E1	E2	E3

표 3. 시험 및 교정 시 최대부하 값

1축 무게 산정식

$$\text{무게} = \frac{(E1 - A1)}{E1} \times \text{측정스트레인} + A1 \quad \text{.....(7)}$$

2축 무게 산정식

$$\text{무게} = \frac{(E2 - A2)}{E2} \times \text{측정스트레인} + A2 \quad \text{.....(8)}$$

3축 무게 산정식

$$\text{무게} = \frac{(E3 - A3)}{E3} \times \text{측정스트레인} + A3 \quad \text{.....(9)}$$

이 관계를 그림으로 표시하면 그림 12와 같다.

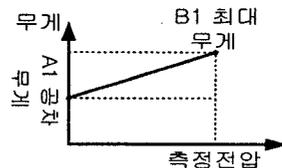


그림 12. 교정 시에 측정 전압

표4는 본 교정 과정 중의 차량 적재함에 화물을 5ton씩 증가 시키면서 각각의 축의 하중 값을 스트레인으로 검출하고 이를 디지털 변환할 때 그 값을 ADC값과 Strain 값을 비교하여 표시한 값이다.

무게	1축		2축		3축	
	ADC	Strain	ADC	Strain	ADC	Strain
0	1057	0	1417	-2	1005	-4
5	1195	205	1547	198	1195	203
10	1289	409	1689	409	1307	397
15	1436	600	1820	612	1429	581
20	1551	789	1942	804	1564	819
25	1660	980	2058	1000	1679	1002
30	1756	1138	2145	1136	1756	1134

표4. 각축에 대한 스트레인과 ADC 값의 측정값

이 값을 그래프로 나타내면 그림 13, 14, 15와 같이 표시된다. 이를 직선 보간 하면 그림 13, 14, 15와 같이 비례관계 그래프를 구할 수 있다.

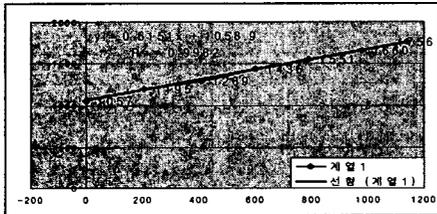


그림 13. 1축에 대한 스트레인과 ADC 값

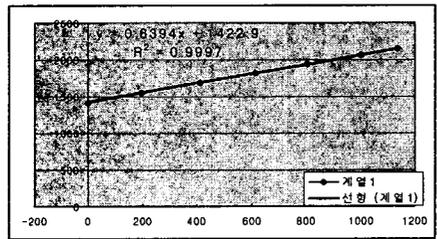


그림 14. 2축에 대한 스트레인과 ADC 값

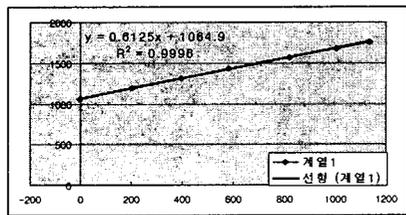


그림 15. 3축에 대한 스트레인과 ADC 값

2.보정

위 실험결과를 무게와 ADC값으로 변환하면, 아래의 식으로 표시할 수 있다.

실험결과에 따른 차량의 무게 산정식 (단위 : kg)

$$1\text{축 무게} = 23.493 \times \Delta\text{ADC} + 5360 \dots(10)$$

$$2\text{축 무게} = 24.707 \times \Delta\text{ADC} + 3180 \dots(11)$$

$$3\text{축 무게} = 23.771 \times \Delta\text{ADC} + 2180 \dots(12)$$

V. 결론

운송수단의 발달과 함께, 차량이 대형화되고 있는 요즘 Infrastructure(교량, 도로 등)의 유용성과 잔존수명의 관리를 위하여, 과적차량의 통행을 제한하고 있다. 현재 이 측정기 가격이 고가이므로 보급형 측정기를 개발하였다.

개발 후 여러 오차 요인을 분석하고 이를 실험으로 검증하여 실용적인 측정기를 구현하였다.

본 논문의 실험 환경은 평탄한 도로(경사각 10° 이하)에서 차량이 정지 상태일 때와 운행중(70km/h)인 경우 실험으로 그 측정값을 비교했다. 실험결과 정지 상태의 오차는 총 하중이 30톤일 경우 ±0.083%이고, 운행 시에는 오차가 ±0.33% 미만이었다. 이 경우 계량소의 기기보다 정밀하지는 않지만 법에서 규정하는 허용치보다는 충분히 정밀하다.

본 논문에서 보여주는 측정기는 현장에서 합리적이고 경제적인 계량 방법에 의해 국가적인 차원에서 도로의 파손을 감소시키는 등 기간 투자물에 대한 유지관리에 일조 할 수 있으며, 공해발생을 저감 및 안전 운행에 도움이 되리라고 여겨지며, 과적으로 인한 여러가지 문제의 해결에 도움이 된다고 사료된다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] 손병기 편저, "센서 공학," 일신사, p.234~247, 1996년 3월
- [2] Barrie W.Jervis "Digital Signal Processing" p.374~490
- [3] 流寬熙, 鄭昌柱, 高學均, 崔在甲, 劉壽男 "농업기계 요소의 스트레인 게이지 응용에 관한 연구", 한국농업기계학회지, p.41~43
- [4] 허 유 "Strain Gauge의 원리와 응용", 韓國纖維工學會誌 p.119