

상용차량의 정확한 하중 측정을 위한 겹판스프링의 이력특성 모델링 기법 개발

Development of Modeling Method of Hysteretic Characteristics for Accurate Load Measurement of Trucks

서명국^{1*} · 바트바야르 엔크바트² · 신희영¹ · 이호연¹ · 고재일²
 M. K. Seo^{1*}, E. Batbayar², H. Y. Shin¹, H. Y. Lee¹ and J. I. Ko²

Received: 30 Mar. 2021, Revised: 28 Apr. 2021, Accepted: 11 May. 2021

Key Words : Truck(상용차), Load Measurement(하중 측정), Onboard Scale(탑재형 자중계), Leaf Spring(겹판 스프링), Hysteretic Characteristics(이력 특성)

Abstract: In recent years, the demand for an onboard scale system which can directly monitor load distribution and overload of vehicles has increased. Depending on the suspension type of the vehicle, the onboard scale system could use different types of sensors, such as, angle sensors, pressure sensors, load cells, etc. In the case of a vehicle equipped with leaf spring suspension system, the load of the vehicle is measured by using the deflection or displacement of the leaf spring. Leaf springs have hysteresis characteristics that vary in displacement depending on the load state. These characteristics cause load measurement errors when moving or removing cargoes. Therefore, this study aimed at developing an onboard scale device for cargo vehicles equipped with leaf springs. A sectional modeling method which can reduce measurement errors caused by hysteresis characteristics was also proposed.

1. 서 론

과적 운행은 차량의 제동거리를 증가시키고, 급정지 및 곡선 주행 시에 무게 중심을 불안정하게 하여 사고 위험도를 높인다. 또한, 과적은 도로 및 교량 등을 파손하는 주요 요인으로, 도로 구조물의 유지보수 비용을 증가시킨다.

이러한 차량의 과적 운행을 방지하기 위해서 도로 관리자는 고정식 무게 측정 장치(계근대)를 운영하여 단속하고 있고, 차량 운전자 및 관계자는 고정식/이동식 계근대를 사용하여 화물 적재 상태를 점검하고 있다. 하지만, 기존의 장치는 무게 측정을 위해 차량을 설치 지점까지 이동해야 하고, 과적 상태 시 현장

에서 즉시 대응이 어려운 측면이 있다.

이러한 기존 장치의 문제를 해결하기 위하여 차량 이동 없이 직접 차량의 무게 분포 및 과적 상태 등을 모니터링 가능한 탑재형 자중계(onboard scale)¹⁻⁴⁾의 요구가 증가하고 있다.

탑재형 자중계는 차량의 현가장치의 종류와 측정 방식에 따라 다양한 종류의 센서(각도센서, 압력센서, 로드셀 등)를 사용한다.⁴⁾ 겹판스프링 현가장치를 장착한 차량의 경우에는 겹판스프링의 처짐/각도 변위 상태를 이용하여 차량의 하중을 측정한다.

겹판스프링은 가해지는 하중에 따라 처짐 상태가 다른 이력 특성(hysteretic characteristics)⁴⁻⁸⁾을 가진다. 이러한 이력 특성으로 인하여 일부 화물 위치를 옮기거나 하차할 때 하중 측정 오차가 발생하게 된다.

본 연구에서는 겹판스프링을 장착한 5ton급 화물 차량용 탑재형 자중계를 개발하며, 겹판스프링 이력 특성에 의하여 화물 상하차 과정에서 발생하는 오차를 줄일 수 있는 구간별 이력 특성 모델링 방식을 제안한다.

* Corresponding author: seomk@koceti.re.kr

1 Smart Engineering Lab. Korea Constructions Equipment Technology Institute, Gunsan, Jeollabuk-do, 54004, Korea

2 Kiwon Electronics

Copyright © 2021, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

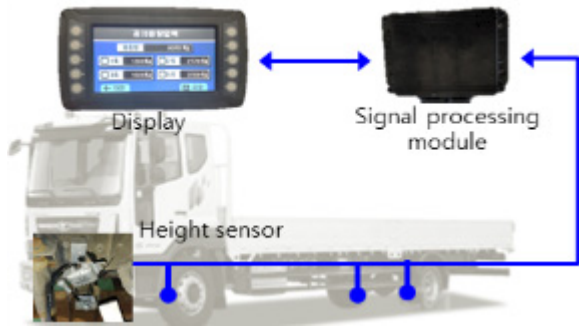


Fig. 1 The configuration of onboard scales

2. 겹판스프링 이력특성 모델링

1단 겹판스프링은 Fig. 2처럼 여러 판이 하나의 묶음으로 되어 있는 형태이며, 2단 겹판스프링은 주 겹판스프링과 보조 겹판스프링으로 구성되어 있다.

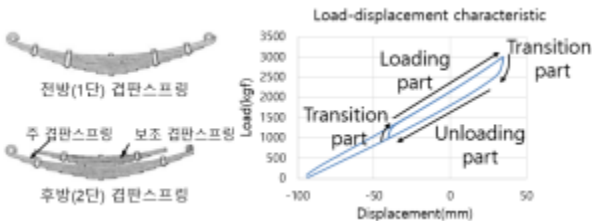


Fig. 2 Leaf springs and load-displacement characteristic

겹판스프링은 구성하는 판의 유연성과 판 간의 접촉력, 마찰력 등 다양한 요소에 영향을 받아 하중이 연속 증가하거나 감소하는 부분에서는 하중과 처짐 사이에 직선형태의 선형적인 특성을 보이지만, 하중이 증가하다 감소하거나 감소하다가 증가하는 과도 구간(transition part)에서는 곡선형태의 비선형 특성을 보인다. 이러한 겹판스프링의 이력특성을 모델링하기 위해 다양한 접근 방식⁹⁻¹⁴⁾이 제안되고 있다.

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{3Pl}{2nbh^2}, \\ \delta &= \frac{3Pl^3}{8nbh^3E}, \\ \delta_1 &= \frac{5(1-\mu)}{5+\mu}\delta, \\ \delta_2 &= \frac{5(1+\mu)}{5+\mu}\delta \end{aligned} \quad (1)$$

기본적인 이력 특성 모델링 방법은 식 (1)처럼 겹판스프링의 판의 상태, 재질 물성 등을 기반으로 겹판스프링의 성능을 모델링하는 방식^{15,16)}이다. 이 방식은 직관적인 변수를 통해 특성 모델링이 가능하다.

하지만, 하중 상태가 변하는 과도 구간은 지원하지 않는다.

여기서, b 는 단면 폭, h 는 판의 두께, P 는 하중, l 은 판의 길이, n 은 판의 장수, E 는 탄성계수를 나타낸다.

수치해석기반의 다물체(multi body) 모델링 방법⁹⁾은 뉴턴-오일러(Newton-Euler)공식을 기반으로 한다. 시험 데이터를 이용하여 구성 파라미터를 최적화하면 1% 이내 오차의 높은 모델링 정확도를 가진다. SAE X-Link 모델링으로 불리는 방법은 겹판 스프링을 3절 링크 모델^{10,11)} 또는 5절 링크¹²⁾로 대체하여 겹판 스프링의 정적 특성과 동적 특성을 구현한다. 이러한 해석적 모델링 방식은 3% 오차 이내 정확한 근사화가 가능하다. 이 밖에도 FEM(finite elements method)¹³⁾과 딥러닝(deep learning) 방법¹⁴⁾이 제시되어 다수 판사이의 이력 특성을 모델링한다.

탑재형 자중계는 겹판스프링의 노후화 및 수리/교체 등 장착 상태가 달라지면 모델링 파라미터의 보정이 필요하다. 보정 작업은 차량 운영 환경과 편의성을 고려하여 차량 운전자가 탑재형 자중계 장치를 통해 직접 수행 가능하도록 지원해야 한다. 기존에 제시된 다물체 모델링, SAE X-Link 모델링, 유한요소 및 딥러닝 기반 방법은 정확한 모델링이 가능하지만 많은 시험 데이터와 상당한 연산이 필요로 한다. 이 때문에 일반 차량 운전자가 직접 보정 작업을 수행할 수 있도록 자중계 시스템을 적용하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 겹판스프링의 이력 특성을 모델링 가능하며, 탑재형 자중계 시스템에 적용 가능한 구간별 모델링 기법을 개발하였다. 구간별 모델링 기법은 겹판스프링의 이력 특성을 구간별로 분리하여 선형 방정식으로 근사화하는 방식이며, 관련 파라미터는 최소한의 측정 데이터와 사용자 입력으로 설정 가능하다.

3. 탑재형 자중계의 구성

선행연구⁴⁾와 마찬가지로 개발한 탑재형 자중계는 겹판스프링 상단의 중심에 연결되어 겹판스프링의 처짐을 각도 변위로 측정하는 하이트센서(Murato)와 측정된 각도로부터 하중을 계산하고 보정 작업을 지원하는 신호처리 모듈, 차량의 하중 정보와 다양한 사용자 인터페이스(GUI)를 제공하는 디스플레이로 구성된다.

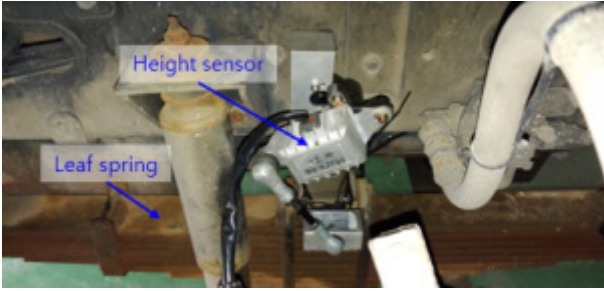


Fig. 3 A height sensor of onboard scale system

하이트센서는 0.01도 정밀도의 각도센서와 금속재질의 링크 2개로 구성되어 있다(Fig. 3). 신호처리 모듈은 ARM Cortex 4M 연산 모듈을 기반으로 CAN 및 시리얼 통신을 지원하며, 하이트센서로 부터 측정된 각도 데이터를 필터링하고, 하중 연산, 보정 작업을 수행한다. 7인치 디스플레이 모듈은 총 하중 및 축 하중 등과 같은 하중 정보와 센서 상태, 설정, 영점 보정 등과 관련한 사용자 인터페이스를 제공한다.

4. 겹판스프링의 이력 특성

4.1 겹판스프링의 부하 시험

본 연구에서는 5ton급 상용차의 전방에 장착되는 1단 겹판스프링과 후방에 장착되는 2단 겹판스프링에 대하여, 하중 상태에 따른 처짐과 각도 변위의 특성을 파악하기 위해서 유압장비를 이용하여 부하 시험을 수행하였다(Fig. 4).

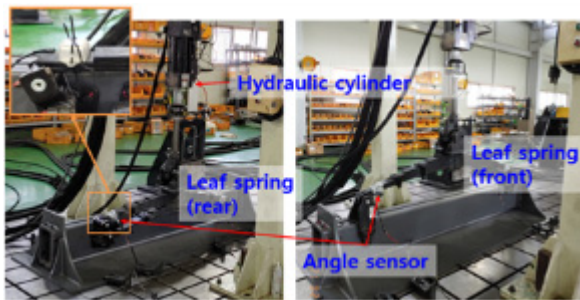


Fig. 4 Load test of leaf springs

부하시험에서 겹판스프링 중심에 가해지는 실시간 하중과 겹판스프링 중심의 처짐 값은 유압장치를 통해 획득하였고, 겹판스프링의 끝단에는 각도 센서를 장착하여 각도 변위를 측정하였다.

먼저, 가해지는 하중 속도가 겹판스프링의 이력 특성에 영향을 주는지 파악하기 위해서 다른 속도(1mm/s, 5mm/s, 10mm/s)로 하중을 0ton에서 2ton, 1ton, 2.5ton, 2.0ton, 3.0ton, 1.0ton, 2.0ton, 0 ton 순으로

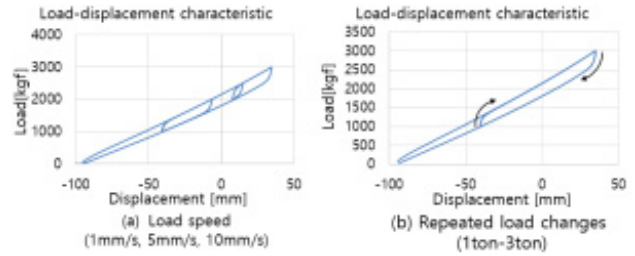


Fig. 5 Load-displacement characteristic of a leaf spring

로 증감하였다(Fig. 5(a)). 그리고 20mm/s 속도로 0ton에서 3ton, 1ton, 3ton, 1ton, 3ton, 1ton, 3ton, 0ton 순으로 하중을 반복 증감하였다(Fig. 5(b)).

시험 결과는 Fig. 5에서 보여준다. 겹판스프링의 이력특성은 하중 속도와 무관하게 동일한 특성이 나타났으며(3개의 데이터가 겹쳐 있음), 과도 구간에서도 곡선 형태의 비선형적인 특성은 속도에 대해서 거의 영향이 없는 것으로 파악되었다.

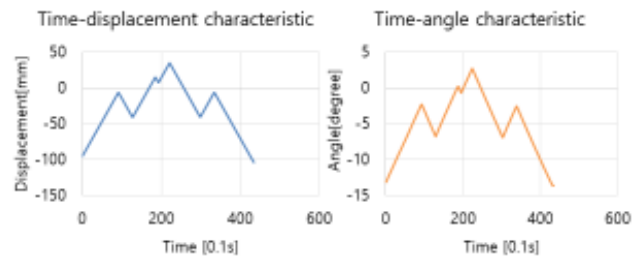


Fig. 6 Load-displacement/angle characteristic of a leaf spring

Fig. 6은 위 시험에서 하중 상태가 달라질 때 일정한 시간 간격으로 측정된 처짐과 각도 변위이다. 선행연구⁴⁾의 분석처럼 하중 상태에 따라 처짐과 각도 변위는 거의 유사한 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다.

1단 겹판스프링과 동일한 방식으로 2단 겹판 스프링에 대해서 1mm/s, 5mm/s, 10mm/s 속도로 0ton에서 4ton, 2.5ton, 5ton, 3.5ton, 6ton, 3ton, 4ton, 0ton 순으로 하중을 증감(Fig. 7(a))하였고, 20mm/s 속도로 0ton, 5ton, 3ton, 5ton, 3ton, 5ton, 3ton, 5ton, 0ton으로 하중을 증감(Fig. 7(b))하면서 처짐 상태를 기록하였다.

Fig. 7에서 보여 주듯이 1단 겹판스프링과 마찬가지로 하중이 계속 증가할 때와 계속 감소할 때 선형적으로 처짐이 일어나고, 하중이 변화하는 과도 구간에서는 곡선 형태의 비선형적인 특성을 보였지만 속도에 대해서는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

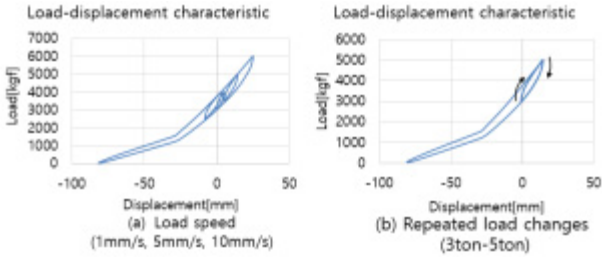


Fig. 7 Load-displacement characteristic of a two-layer leaf spring

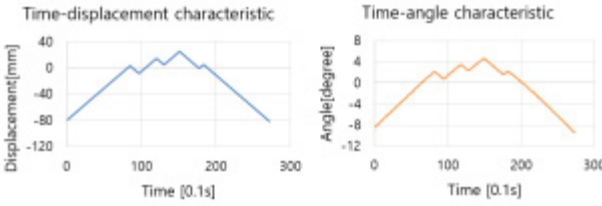


Fig. 8 Load-displacement/angle characteristic of a two-layer leaf spring

4.2 구간별 하중 특성 모델링

겹판스프링은 하중이 연속적으로 증가하거나 감소하는 구간에서는 선형적인 직선 형태를 가지며, 과도 구간에서는 비선형적인 곡선 형태를 가진다(Fig. 9(a)).⁴⁾ 본 연구에서는 Fig. 9(b)처럼 하중-각도 변위 특성을 4개의 구간으로 분리하고, 각 구간을 선형방정식으로 모델링한다.¹¹⁾

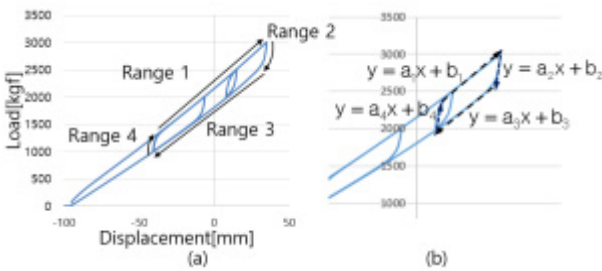


Fig. 9 Characteristic modeling using linear equation

1구간은 하중과 각도가 비례관계를 가진다. 본 연구에서는 이러한 선형 특징을 이용하여 각 바퀴의 겹판스프링에 대해서 하중과 각도 변위 관계를 식 (2)와 같은 선형방정식으로 모델링 하였다. 각 겹판스프링의 모델링 파라미터(a, b)는 공차 시점의 각도(x_0)와 하중(y_0)과 만차 시점의 각도(x_1)와 하중(y_1)을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} a_1x + b_1 &= a_2x + b_2, \\ b_2 &= (a_1 - a_2)x + b_1, \\ b_2 &= (a_1 - a_2)x_{max} + b_1 \end{aligned} \quad (2)$$

2구간은 1구간과 달리 비선형적인 곡선 형태를 취한다. 이러한 곡선 형태는 고차원 방정식으로 정확한 모델링이 가능하다. 하지만, 2구간은 0.5도 이내로 각도 변위가 좁아 측정 데이터 기반으로 모델링 파라미터를 획득하기는 어렵다. 본 연구에서는 과도 구간에서의 이력 특성을 반영하기 위해서 2구간을 식 (2)처럼 선형방정식($y = a_2x + b_2$)을 이용하였다.

Fig. 9(b)를 보듯이 선형 방정식의 기울기 a_2 의 최적화에 따라 2구간의 모델링 오차(과도 구간 곡선과 선형 방정식의 차이)를 최소화할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 10처럼 유압장치를 통해 획득한 겹판스프링의 하중-처짐 데이터의 1구간 지점(P1, P2)과 2구간 지점(P2, P3) 기울기 값을 바탕으로, 2구간의 기울기 값을 1구간의 기울기 값에 상대적인 비율($a_2 = ca_1$)로 추정하였다. 본 논문에서는 전방 1단 겹판스프링에서는 2.4를 후방 2단 겹판스프링에서는 1.5를 각각 적용하였고, 겹판스프링의 하중 특성은 동일한 제품이더라도 노후화 및 장착 상태에 따라 변하기 때문에 각 제품의 초기값을 기반으로 보정이 필요하다.

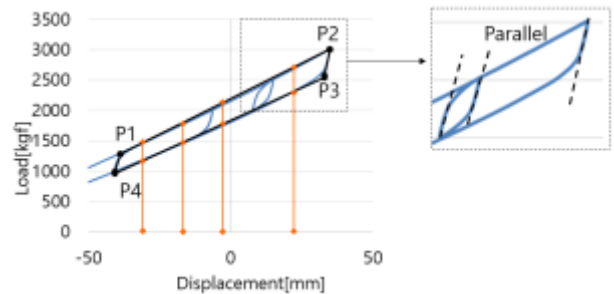


Fig. 10 Characteristic modeling of a 1-layer leaf spring

선형방정식의 파라미터 b_2 은 1구간과 2구간 방정식의 교점을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} a_1x + b_1 &= a_2x + b_2, \\ b_2 &= (a_1 - a_2)x + b_1, \\ b_2 &= (a_1 - a_2)x_{max} + b_1 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, 교점 x_{max} 은 1구간에서 최대 변위 시점으로 1구간에서 하중 감소가 일어나는 이전 시점을 나타낸다. 그리고 2구간 안에서 미세 각도 변화(하중 증/감소)가 일어날 수 있다. 이러한 경우는 2구간 방정식으로 처리하였다.

3구간에서의 이력은 1구간에 비례하는 특성을 이

용하였다(식 (4)).

$$\begin{aligned} y &= a_3x + b_3, \\ y &= c_1(a_1x + b_1), \\ a_3 &= c_1a_1, b_3 = c_1b_1 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 보정값 c_1 은 유압장치를 통해 획득한 겹판스프링의 하중-처짐 데이터에서 동일한 처짐에 대한 1구간에 해당하는 하중(P1과 P2 사이)과 3구간에 해당하는 하중(P3과 P4 사이)을 비교하면 추정하였다(Fig. 10). 본 연구에서는 전방 겹판스프링과 후방 겹판스프링에 대해서 c_1 은 각 0.95와 0.90을 적용하였다. 2구간에서 3구간으로 전환되는 시점은 각 구간의 방정식 교점으로 계산하였다.

$$\begin{aligned} a_2x + b_2 &= a_3x + b_3, \\ x &= \frac{(b_3 - b_2)}{(a_2 - a_3)} \end{aligned} \quad (5)$$

4구간은 2구간과 유사한 특성이 있다. Fig. 10을 보듯이 과도 구간인 2구간과 4구간은 대칭적인 형태¹⁾를 가지고 있기 때문에 본 연구에서는 4구간 모델링 방정식의 기울기(a_4)는 a_2 과 동일하게 처리하였으며, b_4 는 3구간과 4구간 교점을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} a_3x + b_3 &= a_4x + b_4, \\ b_4 &= (a_3 - a_4)x + b_3, \\ b_4 &= (a_3 - a_4)x_{min} + b_3 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 교점 x_{min} 은 3구간에서 최소 변위 시점이다. 2구간과 마찬가지로 4구간 안에서 미세 각도 변화(하중 증/감소)가 일어 날 경우 4구간 방정식으로 처리하였다.

2단 겹판스프링의 과도 구간은 1단 겹판스프링과 비교해 완만한 기울기를 가지고 있다(Fig. 11). 이를 보다 정확하게 근사화하기 위해서 2구간과 4구간을 각 2개 세부 구간으로 분리하여 모델링 가능하다. 과도 구간을 세부 구간으로 분리할 경우 분리시점에

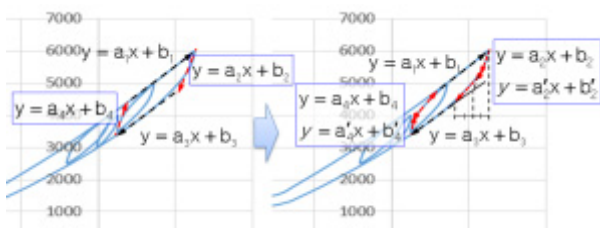


Fig. 11 Characteristic modeling at transition parts

대한 설정이 필요하며, 본 연구에서는 과도 구간 대한 분리 기법은 적용하지 않았다.

후방 겹판스프링의 경우 하중에 따라 주 겹판스프링과 보조겹판스프링이 적용되는 시점이 다르다. 본 연구에서는 선행 연구⁴⁾처럼 일정 하중 이상(주 겹판스프링과 보조 겹판스프링이 같이 운용되는 구간)에 대해서만 구간별 모델링 기법을 적용하였다.

요약해서, 구간별 겹판스프링 이력 특성 모델링 방식은 총 4개의 선형 방정식과 8개의 파라미터로 구성할 수 있다. 8개의 파라미터 중에 공차시점과 만차시점 데이터를 이용하여 파라미터(a_1, b_1)은 계산되고, 겹판스프링의 특성 값으로 사용자가 입력하는 파라미터(c, c_1)으로부터 a_2, a_3, b_3, a_4 가 계산되며, 나머지 파라미터(b_2, b_4)는 프로그램 상에서 자동 계산된다. 즉, 제안하는 모델링 방식은 공차와 만차(화물 적재 상태)시의 하중과 각도 측정값으로 모델링 파라미터를 획득할 수 있다.

5. 성능 시험

탑재형자중계의 하중 측정 정확도를 검증하기 위해서 겹판스프링(1단-전방, 2단-후방)을 장착한 6.5ton 차량(공차 시 8.3ton)을 대상으로 하였다. 적재 화물로는 0.7ton, 2.7ton, 5ton 중량물(육면체 형태)과 판스프링 테스트 지그 두 개(0.48ton, 0.45ton)를 이용하였다(Fig. 12). 참조용 하중은 10ton급 이동식 축중계(로드셀 기반)를 이용하여 측정하였으며, 하중 측정은 선행연구⁴⁾처럼 정밀보정과 영점보정을 수행한 후 진행되었다.



Fig. 12 Load measuring test

먼저, 동일한 하중 조건에서 하중이 균일하게 측정되는 지를 파악하기 위해서 5ton 중량물을 뒷바퀴 축으로부터 각각 0.5m, 1.0m, 1.5m 위치에 상차한 후, 같은 위치에서 들어 올리고 내리고를 반복하면서 하중을 측정하였다.

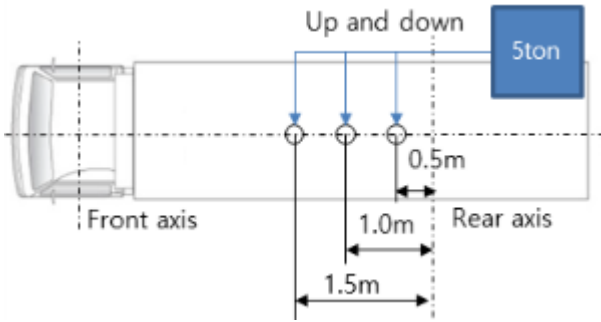


Fig. 13 Load test under the same conditions

시험 결과, 측정 하중은 9kg ~ 150kg 오차(총 하중 대비 0.57%)가 발생하였으며(Fig. 13, Table 1), 이러한 오차는 겹판스프링의 이력 특성이 하중 증감 시에 불규칙하게 작용하여 발생하는 것으로 볼 수 있다.

Table 1 Result of load measuring test 1

Test	Load cell(kg)	Onboard scale(kg)	Absolute error	
			kg	%
1	13,255	13,193	62	0.47
2		13,186	69	0.52
3		13,405	150	1.13
4		13,396	141	1.06
5		13,246	9	0.07
6		13,230	25	0.19
Mean error			76	0.57

두 번째 시험에서는 0.7ton, 2.7ton 중량물의 위치를 고정한 후 5ton 중량물의 위치를 앞, 뒤, 좌, 우로 변경하고, 임의 위치에 0.48ton, 0.45ton 중량물을 적재하였을 때 하중을 측정하였다(Fig. 14와 Table 2). 실험 결과에서 하중 측정 오차는 61kg ~ 350kg 발생하였고, 총 하중 대비 평균 1.15% 오차를 보였다(선행 연구⁴⁾와 유사한 결과).

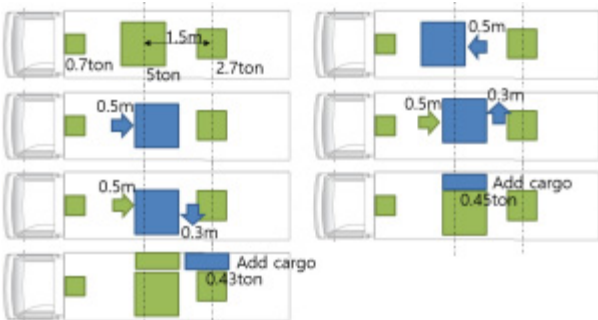


Fig. 14 Changing position of heavy loads

Table 2 Result of load measuring test 2

Test	Load cell(kg)	Onboard scale(kg)	Absolute error	
			kg	%
1	16,680	16,512	168	1.01
2	16,680	16,575	105	0.63
3	16,680	16,414	266	1.59
4	16,680	16,486	194	1.16
5	16,680	16,619	61	0.37
6	17,145	16,926	219	1.28
7	17,629	17,279	350	1.99
Mean error			195	1.15

세 번째 시험에서는 본 연구에서 제시한 구간별 겹판스프링의 이력특성 모델링 기법의 성능을 검증하였다. 시험은 5ton, 2.7ton, 0.7ton 중량물을 각각 다른 위치에 적재하고, 크레인으로 들어 올리는 방식으로 하중을 감소시켜, 하중 감소 시 측정 정확도를 분석하였다. Fig. 15와 Table 3을 보면 선행연구(하중이 증가하는 1 구간 특성만을 이용)⁴⁾ 모델링 방법의 경우, 측정 오차는 212kg ~ 988kg(평균 6.36% 오차)까지 나타났다.

반면에 본 연구에서 제시한 4 구간 분리 기법을 이용한 방법에서는 오차가 50kg ~ 391kg 나타났으며, 평균 오차는 1.76%를 보였다. 비록 첫 번째 중량물

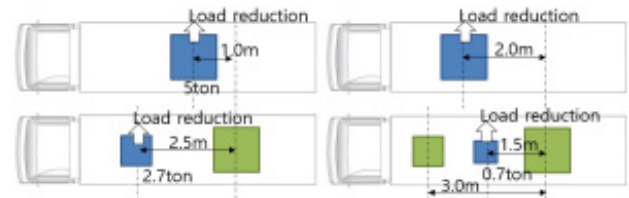


Fig. 15 Load reduction test

Table 3 Result of load measuring test 3

Initial load (kg)	Reduced load (kg)	Onboard scale (kg)		Absolute error (kg(%))	
		1 range	4 ranges	1 range	4 ranges
13,255	10,225	11,213	10,335	988(9.7)	110(1.1)
	9,760	10,541	9,710	781(8.0)	50(0.5)
13,255	12,420	13,142	12,222	722(5.8)	198(1.6)
	8,820	9,631	8,492	811(9.2)	328(3.7)
15,945	15,135	15,768	14,943	633(4.8)	192(1.3)
16,685	16,390	16,602	15,999	212(1.3)	391(2.4)
Mean error				691(6.36)	212(1.76)

반복 상하차 시험과 두 번째 위치변경 시험과 비교해 하중 측정 정확도는 낮아졌지만, 선행 연구⁴⁾와 비교해 정확도가 크게 향상된 것을 확인할 수 있다. 이는 하중 감소 시 나타나는 이력특성을 반영한 결과로 분석된다.

5. 결론

본 논문에서는 겹판스프링을 장착한 5ton급 상용차량을 대상으로 지상의 계근대로 이동 없이 실시간으로 차량의 하중을 측정할 수 있는 탑재형 자중계를 개발하였다. 하중 상태에 따라 처짐(각도)변위가 달라지는 겹판스프링의 이력특성을 모델링하기 위해서 본 논문에서는 구간별 모델링 기법을 제시하였고, 구간별 모델링 기법 적용으로 선행연구에서 부정확한 측정 결과를 보이는 하중 감소 구간에서도 평균 오차 2% 이하의 높은 정확도로 하중을 측정할 수 있었다.

구간별 이력 특성 모델링 기법이 안정적으로 작동하기 위해서는 하이트센서로부터 들어오는 값의 노이즈를 최소화해야 한다. 차량 주행 중 하중 측정 시험에서 엔진 진동과 주행으로 인한 충격은 구간 설정에 오류를 발생시켜 정확한 하중 측정이 불가능하였다. 향후 연구에서는 주행 중 하중 측정이 가능하도록 차량의 진동에 강인한 데이터 필터링 기법에 관련한 연구를 수행할 계획이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 재원 지원을 받아 수행되었습니다. (P0006210, 5톤급 상용차량의 하중분포 측정과 원격 모니터링이 가능한 탑재형 자중계 개발)

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

1) M. K. Seo et al., "Development of an Onboard Scale for Measuring the Load of 5 ton Vehicles," KSFC Conference S1-1, pp.23-24, 2020.

2) J. W. Kim, Y. B. Jho and Y. W. Jung, "An Effectiveness Analysis of Commercial Vehicle's Loading Pattern and Prevention of Overloading with On-board Truck Weight Sensors," The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol.17, No.6, pp.153-172, 2018.

3) H. B. Gil and S. G. Kang, "Characteristics of Heavy Vehicles Using Expressway Networks Based on Weigh-in-motion Data," Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No.5, pp.1731-1740, 2013.

4) M. K. Seo et al., "Development of Onboard Scales to Measure the Weight of Trucks," Journal of Drive and Control, Vol.18 No.1 pp.9-16 Mar. 2021.

5) Z. WU, Y. Xiang and C. Liu, "Influence of Suspension Hysteresis Characteristics on Vehicle Vibration Performance," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2020.

6) B. Kadziela et al., "Validation and Optimization of the Leaf Spring Multibody Numerical Model," Archive of Applied Mechanics, Vol.85, pp.1899-1914, 2015.

7) J. Zhang et al., "Dynamic Analysis of a Vehicle with Leaf Spring Based on the Hysteresis Model," International Journal of Vehicle Performance, Vol.4, No.3, pp.282, 2018.

8) W. K. Moon and C. K. Song, "Hysteretic Characteristics of Leaf Springs in Commercial Vehicles," The Korean Society of Automotive Engineers, Vol.16, No.2, pp.99-105, 2008.

9) B. Kadziela et al., "Validation and Optimization of the Leaf Spring Multibody Numerical Model," Archive of Applied Mechanics, Vol.85, No.12, pp.1899-1914, 2015.

10) B. Ekici, "Multi-response Optimization in a Three-link Leaf-spring Model," International Journal of Vehicle Design, Vol.38, No.4, pp.326-346, 2005.

11) W. K. Moon and C. K. Song, "Hysteretic Characteristics of Leaf Springs in Commercial Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.16, No.2, pp.99-105, 2008.

12) G. Rill et al., "Leaf Spring Modelling for Real Time Applications," In the 18th IAVSD-Symposium

- in Atsugi, 2003.
- 13) A. C. Reddy, M. V. Sagar and G. S Babu, “Optimal Design of Automobile Leaf Spring Using Finite Element Analysis,” International Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol.7, No. 2, pp.87-94, 2012.
- 14) C. J. Kat, L. Johrendt and S. Els, “Methodology for Developing a Neural Network Leaf Spring Model,” Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing, Vol.12, No.12, pp.94-113, 2017.
- 15) <https://engineershelp.tistory.com/379>
- 16) J. Reimpell, H. Stoll and J. Betzler, The Automotive Chassis: Engineering Principles, Butterworth-Heinemann, 2001.