한국소음진동공학회 2008년 추계학술대회논문집, pp.600~601

차량 동하중 측정방법

The algorithm for weigh-in-motion

박영진† · 이상문* · 전용권* · 정태호* · 박성수** · 이경형**

Youngjin Park, Sangmoon Lee, Yonggwon Jeon, Taeho Jung, Seongsu Park, Kyounghyoung Lee

1. 서 론

우리 경제가 선진화 되면서 물류산업의 성장이 두드러지고 있는 가운데 화물차량이 물류교통의 핵심적인 역할을 담당하고 있다. 현재 국내 도로법 상에는 총하중 40ton 초과 또는 축하중 10ton 초과 시, 운행제한(과적) 단속 대상이 되고 있는데 적재중량을 초과해 화물을 싣고 운송하는 과적차량이 많다보니 여러 분야에 걸쳐 문제를 발생시키고 있다.

과적으로 인한 피해로는 첫째, 교량에 치명적인 영향을 주게 된다. 40ton 화물차가 50ton을 싣고 지나가는 경우, 교량수명이 약 36개월 단축되고 이를 금액으로 환산하면 전국적으로 약 10조원에 해당하는 금액이다. 둘째, 도로포장이 파손된다. 차량 1대의 축하중이 1ton만 초과하여도 승용차 11만대가 지나갔을 때와 같은 정도로 도로포장을 파손시키게 된다. 따라서 보수에 필요한 비용이 평상시보다 2.5배 더 많아 진다. 셋째, 교통사고 발생 시, 치사율이 높다. 교통사고를 발생시킨 차량 중 중차량이 차지하는 비율은 4% 에 불과하나, 전체 교통사고 사망자중 중차량에 의한 사망자는 12.5% 에 달해 사고 시, 치명적이다.

위와 같은 문제로 인해 과적차량 단속에 대한 관심이 증가하고 있는 가운데 과적차량의 도로 불법진입 차단을 위해서 공사 및 건설현장(도로법 개정에 따른 설치 의무화)에서는 이동식 축중기가 사용되고 있다. 그러나 기존의 이동식 축중기는 차량이 정지한 상태에서 하중을 측정하는 정적 하중 축중기이므로 공사현장에서 차량이 동시에 빠져나가는 경우, 시간지연 등의 문제가 발생하여 동적인 상태에서 하중측정(weigh in motion)이 가능한 축중기가 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 차량의 동하중이 측정이 가능한 이동식 축중기의 개발이 목적이며, 축중기의 하드웨어 설계와 개발된 축중기의 성능시험 데이터로부터 동하중을 추정하는 방법에 대해서 소개하고자 한다.

† 교신저자; 정회원, 한국과학기술원
E-mail : yjpark@kaist.ac.kr
Tel : (042) 350-3036, Fax : (042) 350-8220

* 한국과학기술원

** 주식회사 카스(CAS)

2. 본 론

2.1 구조 설계

동하중 축중기의 구조는 플랫폼, 로드셀, 패드로 구성된다. 구조설계에 있어서 무게감소와 측정오차 감소에 중점을 두었다. 기존 축중기의 플랫폼 높이를 40mm에서 20mm로 줄였고, 낮아진 플랫폼에 적합한 로드셀을 개발하였다. 낮아진 플랫폼으로 인해 차량진입 시, 충격으로 인한 동하중 측정값의 오차를 줄일 수 있었으며, 또한 32kg에서 23kg으로 무게를 줄일 수 있었다.

정하중 축중기와 다르게 고무로 된 패드를 동하중 축중기 전방에 6m, 후방에 3m를 설치하였다. 차량 진입 시, 발생되는 진동요소를 줄여 측정 오차를 줄일 수 있도록 하였다. 측정 오차 감소에 대한 내용은 2.2 신호처리에서 설명하도록 하겠다.

2.2 신호 처리

개발된 동하중 축중기로부터 얻은 데이터로부터 동하중 값을 얻는 방법과 인버스 모델링(inverse modeling)을 통하여 오차를 줄이는 방법에 대하여 기술한다.

실험은 차량의 진입 속력 4km/h, 8km/h, 11km/h, 16km/h 에 대하여 수행하였으며, 데이터 처리 후, 동하중 값이 참값의 5%의 오차 수준을 만족하는 것을 목표로 하였다.

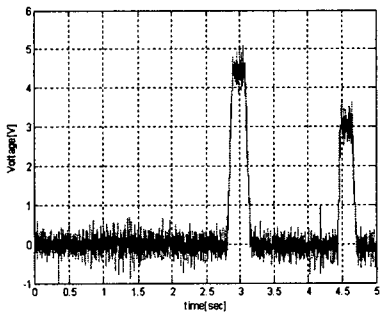

Fig.1 A raw data of WIM signal

Fig.1에서처럼 차량이 동하중 축중기를 지나가게 되면 처음 진입 시, 과도구간이 생기다가 일정구간 정상상태를 보이고, 축중기를 통과하며 다시 과도 응답을 보인다. 이 때, 정상상태의 값을 취하여 차량의 무게를 추정한다. 차량이 지나가지 않을 경우 받은 노이즈 신호를 주파수 영역에서 분석한 뒤, 노이즈 및 하중 값에 영향이 적다고 판단되는 60Hz 이상의 성분을 동하중 측정 신호에서 필터링을 한 뒤, 동하중을 추정하게 된다.

동하중 추정 성능평가 시, 사용된 방법은 차량의 바퀴가 지나가게 되는 축중기의 길이 540mm 에 대해서 20mm 간격으로 정하중을 측정한다. 이 무게 값을 참값으로 동하중 축중기로부터 시간 축으로 받은 값에 속력을 곱한 값을 비교하여 오차를 판단하였다.

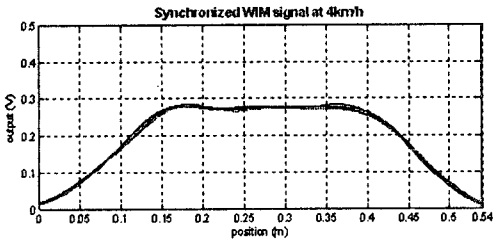

Fig.2 Synchronized WIM signal at 4km/h

Fig.2에서처럼 동하중 신호를 정하중 값과 비교를 하였다. 이에 세 가지 경우에 대해서 성능을 비교하여 보았다.

첫 번째로 동하중 축중기의 높이를 40mm에서 20mm로 낮추었을 경우이다.

Table 1 Experimental results of 40mm and 20mm

	40 mm	20 mm
4 km/h	12 %	2.1 %
8 km/h	13.8 %	6.6 %
11 km/h	14.2 %	10.8 %
16 km/h	19.4 %	15.2 %

Table 1에서처럼 플랫폼의 높이를 줄였을 경우, 오차가 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 20mm의 높이의 경우, 4km/h에서는 목표로 하는 5%의 오차 범위를 만족하였지만 나머지 경우에서는 만족하지 못하였다. 목표를 만족하기 위한 방법으로 두 가지 방법을 생각하였다. 우선 동하중 축중기 전면과 후면에 패드를 설치하는 것이다. 전방에 6m, 후방에 3m를 설치하여 차량 진입 시, 발생되는 진동요소를 줄여 측정 오차를 줄일 수 있도록 하였다.

Table 2 Experimental results of using leveling pad

	with pad	without pad
4 km/h	1.3 %	2.1 %
8 km/h	5.4 %	6.6 %
11 km/h	5.7 %	10.8 %
16 km/h	5.6 %	15.2 %

Table 2에서처럼 패드를 사용하지 않았을 경우와 사용하였을 경우를 비교해보면, 패드를 사용하였을 경우 목표오차 범위 내에 들어오는 것을 확인하였다.

다음으로 신호처리 과정에서 기준 값을 인버스 모델링(inverse modeling)을 이용하여 구한 뒤, 이 값을 기준으로 성능을 평가하는 것이다. 모델은 쿼터카(quarter car model)모델을 사용하였다. 정하중 값과는 다르게 쿼터카가 축중기를 지나갈 때 정상상태에서 보이는 응답이 실제 실험값과 더욱 유사하므로 오차를 줄일 수 있다.

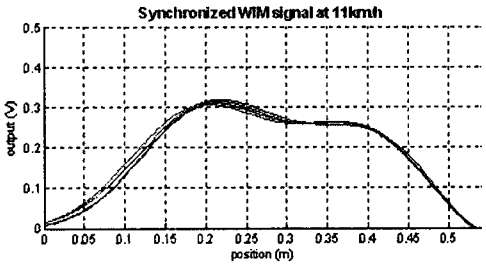

Fig.3 Synchronized WIM signal at 11km/h

Fig.3에서처럼 11km/h로 축중기를 지나갈 때, 정상상태 구간이 Fig.2의 4km/h의 경우처럼 일정하지 않다. 이로 인한 오차가 발생하게 되는데 이를 위의 인버스 모델링을 통하여 보정을 해주게 된다.

Table 3 Experimental results after compensation

	성능향상	
4 km/h	1.0배	성능향상 = 보정전 오차(%) / 보정후 오차(%)
8 km/h	1.0배	
11 km/h	2.0배	
16 km/h	2.2배	

Table 3에서 패드를 사용하지 않은 경우에 대해서 인버스 모델링을 적용하면 최대 2.2배 성능이 나아지는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 이동식 동하중 축중기의 구조 설계 및 신호처리를 통한 동하중 추정 방법을 소개하였다. 동하중 측정 시, 패드를 사용하여 5% 오차범위의 성능을 얻을 수 있었고, 패드를 사용하지 않는 경우에서는 저속(5km/h)에서만 5%오차범위의 성능을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 주식회사 카스(CAS)의 이동식 동하중 축중기 개발 사업 연구 결과 중 일부입니다. 지원에 감사드립니다.