

고속축하중측정시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안 연구

Development and Application of the High Speed Weigh-in-motion for Overweight Enforcement

권순민 Kwon, Soon-min
서영찬 Suh, Young-chan

정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 (E-mail : soonmini2@ex.co.kr)
정희원 · 한양대학교 교통공학과 교수 (E-mail : suhyc@hanyang.ac.kr)

ABSTRACT

Korea has achieved significant economic growth with building the Gyeongbu Expressway. As the number of new road construction projects has decreased, it becomes more important to maintain optimal status of the current road networks. One of the best ways to accomplish it is weight enforcement as active control measure of traffic load. This study is to develop High-speed Weigh-in-motion System in order to enhance efficiency of weight enforcement, and to analyze patterns of overloaded trucks on highways through the system. Furthermore, it is to review possibilities of developing overweight control system with application of the HS-WIM system. The HS-WIM system developed by this study consists of two sets of an axle load sensor, a loop sensor and a wandering sensor on each lane. A wandering sensor detects whether a travelling vehicle is off the lane or not with the function of checking the location of tire imprint. The sensor of the WIM system has better function of classifying types of vehicles than other existing systems by detecting wheel distance and tire type such as single or dual tire. As a result, its measurement errors regarding 12 types of vehicle classification are very low, which is an advantage of the sensor. The verification tests of the system under all conditions showed that the mean measurement errors of axle weight and gross axle weight were within 15 percent and 7 percent respectively. According to the WIM rate standard of the COST-323, the WIM system of this study is ranked at B(10). It means the system is appropriate for the purpose of design, maintenance and valuation of road infrastructure. The WIM system in testing a 5-axle cargo truck, the most frequently overloaded vehicle among 12 types of vehicles, is ranked at A(5) which means the system is available to control overloaded vehicles. In this case, the measurement errors of axle load and gross axle load were within 8 percent and 5 percent respectively. Weight analysis of all types of vehicles on highways showed that the most frequently overloaded vehicles were type 5, 6, 7 and 12 among 12 vehicle types. As a result, it is necessary to use more effective overweight enforcement system for vehicles which are seriously overloaded due to their lift axles. Traffic volume data depending upon vehicle types is basic information for road design and construction, maintenance, analysis of traffic flow, road policies as well as research.

KEYWORDS

WIM(Weigh-in-motion), wandering, overweight, overweight enforcement

요지

경부고속도로 건설을 기점으로 급격한 경제성장을 이룬 우리나라 고속도로는 현재 신규도로의 건설사업 물량이 둔화되면서 기존의 도로망을 효율적으로 활용하고 최적의 공용성 유지가 필요한 시점이 되었다. 최적의 공용성 확보를 위해 교통하중을 가장 적극적으로 통제하는 방법은 과적단속이다. 본 연구에서는 과적단속의 효율화를 위해 고속축하중측정 시스템을 개발하고 이를 통해 국내 고속도로로 과적화물차 행태 분석을 실시하며, 본 시스템을 활용한 과적단속시스템 개발 가능성에 대하여 검토하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구에서 개발한 고속축하중측정 시스템은 차로당 2조의 루프센서와 2조의 축중센서, 2조의 윈더링센서로 이루어져 있다. 특히 윈더링센서는 차량의 좌우 타이어의 위치 판독이 가능하여 과적단속 시스템으로 활용시 차로의 이탈유무를 판독할 수 있으며, 윤거 측정 및 윤형식(단륜/복륜) 구분이 가능하여 차종을 구분함에 있어서 기존 차종분류 시스템보다 세분화된 분류가 가능하며 12종 차종분류 시 오분류 비율이 매우 낮은 장점을 가지고 있다. 본 시스템에 대한 검증시험 결과 모든 시험조건에 전체평균오차가 축하중 15% 이내, 총하중 7% 이내로 나타났다. COST-323에서 제시하고 있는 WIM 등급기준에 따르면 사회기반시설 설계와 유지관리 및 평가목적으로 사용가능한 B(10) 등급으로 나타났으며, 과적이 가장 문제되는 5축 카고 화물차에 대한 분석결과는 축중량 오차 8%, 총중량 오차 5%로 단속가능 수준인 A(5)등급으로 나타났다. 고속도로의 차종별 중량분석 결과 12종 분류기준에서 5종, 6종, 7종, 12종 차

량이 하중기준을 초과하는 비율이 가장 높게 나타났으며, 주로 가변축을 장착한 차량으로 축조작에 의한 축하중 과적비율이 매우 높게 나타나 이러한 차량에 대한 실효성 있는 과적단속기법이 필요한 것으로 판단된다. 도로교통분야에 있어서 차종별 교통량 자료는 도로의 계획과 건설, 유지관리, 교통류분석 및 도로행정에 필요한 기본 자료이며 각종 연구에 필요한 기초자료로 활용되어지는 필수적인 요소이다.

핵심용어

고속축중계, 원더링, 과적단속 시스템, 과적

1. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

1969년 경부고속도로 건설을 기점으로 급격한 경제성장을 이룬 우리나라는 고속도로의 역사가 벌써 40년을 넘어서고 있다. 이제는 점차 신규도로의 건설사업 물량이 둔화되면서 기존의 도로망을 효율적으로 활용하고 최적의 공용성을 유지할 수 있도록 요구되고 있다. 고속도로에서 포장, 교량 등 도로구조물의 공용성 저하에 가장 크게 영향을 끼치는 기본 요소 중의 하나는 교통하중이다. 이를 효율적으로 통제하고 관리하는 것이 고속도로를 효율적으로 활용하는 기본이 된다.

교통하중을 가장 적극적으로 통제하는 방법은 과적단속이다. 국도의 경우 주요 간선도로 및 교량부에서 과적검문소를 운영 중이며, 이중 27개소는 고속축중계 시스템을 활용하여 과적혐의차량 유도시스템을 운영 중이다. 고속도로의 경우에는 모든 영업소 입구 축중차로의 축중계를 통해 화물차의 하중을 실시간 검측하고 있으며 과적차량 발견 시 이를 즉각 통제하여 고속도로 진입 억제를 유도하고 있다. 그러나, 최근에 들어 가변축을 장착한 3축 이상의 화물차량이 증가하면서 국도는 물론 고속도로에서도 영업소 진입이후 축조작에 의한 과적행위 발생빈도가 높아지고 있는 실정이다. 해외의 경우에는 프랑스, 네덜란드를 비롯한 유럽연합 국가들과 미국, 일본 등 세계 각국에서 고속축중계를 이용하여 다양한 방식으로 과적단속(또는 과적혐의차량 유도)을 시행하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 고속축중계(HS-WIM ; High speed Weigh-in-motion)를 활용하여 무인-무정차 고속축하중측정 시스템을 개발하고 이를 통해 국내 고속도로 과적화물차 행태 분석을 실시하며, 본 시스템을 활용한 과적단속 시스템 개발 가능성에 대하여 검토하는 것을 목적으로 하였다.

1.2. 연구의 범위

현재 국내에 설치되어 있는 고속축중계는 국도 27개소 구간에서 과적혐의차량 유도용으로 운용중인 것과 한국도로공사 도로교통연구원의 시험도로에 설치된 연구용 1개소가 있다. 본 연구에서는 도로교통연구원의 고속축중계를 이용하여

과적단속 시스템으로 활용 가능하도록 하드웨어 및 소프트웨어를 구성하고, 과적단속 시스템을 통하여 중하중교통량의 운행패턴을 분석하여 이를 주변 고속도로 영업소 진입 축중차로의 화물차 정보와 비교분석함으로써 고속도로에 존재하는 축조작 화물차량의 운행패턴을 분석하였다.

1.3. 해외사례

WIM(Weigh-in-motion)을 적극적으로 도입 및 연구하고 있는 나라는 유럽연합(EU)과 미국, 일본 등이며, 최근에는 한국을 비롯한 중국, 홍콩, 태국, 대만 등 아시아 주요국가에서도 많은 관심과 연구가 활발히 진행 중이다.

1.3.1. 유럽연합(EU)

유럽의 경우 COST(Co-Operation Study in the filed of Technical research)-323 Action을 중심으로 프랑스, 네덜란드 등 총 15개의 회원국과 관계기관, 센서생산업체 등이 참가하는 대규모의 프로젝트를 시행하여 WIM 시스템 적용의 기초가 될 만한 연구 성과를 제시하였다.

1.3.2. 미국

미국은 중대형 차량의 장거리 통행이 많은 만큼 중량자료 수집에 있어 170년의 역사를 가지고 있다. FHWA(Federal Highway Administration)을 비롯한 대부분 주의 교통국들은 WIM네트워크를 구축하여 하중관련 정보를 조사 및 가공하여 통계치를 구축하고 있으며 특히 AADT와 등가단축하중(ESAL; Equivalent Single Axles Load)을 중심으로 정보를 제공하고 있다.

1.3.3. 일본

일본에서는 지난 10여년간 고속 WIM을 이용하여 과적단속을 시행하기 위한 연구를 꾸준히 수행해 왔으며, 지난 2008년부터 본격적으로 고속 WIM을 이용한 과적단속을 시행하여 최근 2009년 3월에는 전국 38개소 지점으로 확대하여 운영 중이다.

2. 본론

2.1. WIM 개요

WIM이라 함은 Weigh-In-Motion의 약자로 이동 중인 차량의 축하중을 측정하는 장치를 일컫는다. 흔히 우리가 알고 있는 고속도로 영업소의 축중계 또한 (저속)WIM에 해당되며 측정 가능 속도에 따라 저속축중계(LS-WIM ; Low speed WIM)와 고속축중계(HS-WIM ; High speed WIM)으로 구분된다. 사용되어지는 축중센서의 특성에 따라 대표적으로 벤딩플레이트(Bending plate) 형식, 피에조일렉트릭(Piezo electric) 형식, 피에조세라믹(Piezo ceramic) 형식, 피에조퀼츠(Piezo quartz) 형식이 있다(그림 1 참조). 벤딩플레이트 형식은 주로 저속축중계시스템에 사용되어지고, 피에조형식은 고속축중계 시스템에 사용되어진다. 다음의 표 1은 종류별 특징을 비교한 것이다.

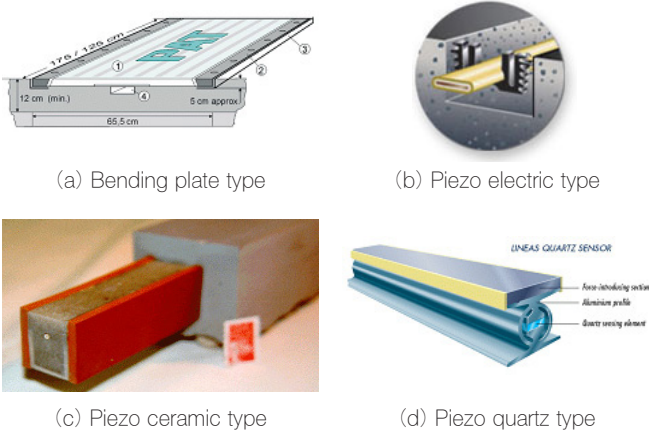


그림 1. 대표적인 WIM 센서 형식

표 1. 센서 형식별 WIM의 특성 비교

종류	특징	적용 사례
벤딩플레이트 (Bending Plate)	- 중저속에 유리한 구조 - 시공 및 표정에 따른 유지관리 복잡	- 영업소 - 이동식 축중기
피에조 일렉트릭 (Piezo Electric)	- 가격 저렴 - 온도 및 충격오차 심함	- 교통정보 시스템 (AVC)
피에조 세라믹 (Piezo Ceramic)	- 가격 중저가 - 온도 및 충격오차 심함	- 대부분의 국도 - 과적단속 시스템
피에조 퀼츠 (Piezo Quartz)	- 가격 고가 - 온도 및 측방충격영향 매우 적음	- 시험도로 - 광안대교 - EU 국가 활발히 적용

2.2. 한국도로공사 고속축중계시스템

한국도로공사에서는 2002년 12월 중부내륙고속도로에 건설된 편도 2차로의 시험도로에서 시험도로를 통행하는 교통의 누적하중을 측정하여 이를 도로포장 공용성자료분석의 기본 정보로 활용하기 위한 목적으로 고속축중계를 설치하였

다. 당초의 목적은 과적단속과는 무관하게 연구용으로 설치하였으며 각 차로별로 루프센서 2조, 피에조퀼츠(Piezo quartz) 센서 2조로 구성하였다(그림 2 참조).

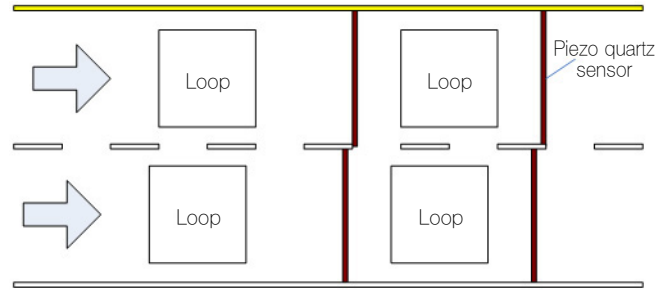


그림 2. 기존의 고속축중계 시스템 개략도

2.3. 과적단속 기능 추가를 위한 고속축중계 시스템 개선

본 연구에서는 기존의 고속축중계 시스템을 과적단속 시스템으로 활용하기 위하여 다음과 같은 요소들에 대한 개선점을 검토하였다.

- 단속가능한 수준의 하중오차율
- 세부적인 차종분류 기능
- 단속회피차량에 대한 판독

고속축중계 센서는 도로표면에 설치하여 주행 중인 차량에 대해 축을 감지하고 동시에 축중을 측정하게 할 수 있는 센서이다. 피에조 퀼츠 센서의 경우에는 피에조 일렉트릭이나 피에조 세라믹 계열의 센서에 비해 비용이 고가라는 단점이 있지만 현존하는 축중계 센서 중에 매우 정확한 정밀도를 가지고 있으며 구조적으로 수직압력에만 반응하도록 설계되어 있어 신호파형이 비교적 안정적으로 나타난다. 피에조 퀼츠 센서의 축하중 산정방법은 다음의 그림 3과 같이 신호파형에서 특정 트레시홀드(Threshold)값 이상인 레벨의 신호파형에 대한 면적을 구하여 축하중으로 환산한다. 즉, 그림 3에서 면적은 t_1 에서 t_2 까지 적분을 통해 구한다.

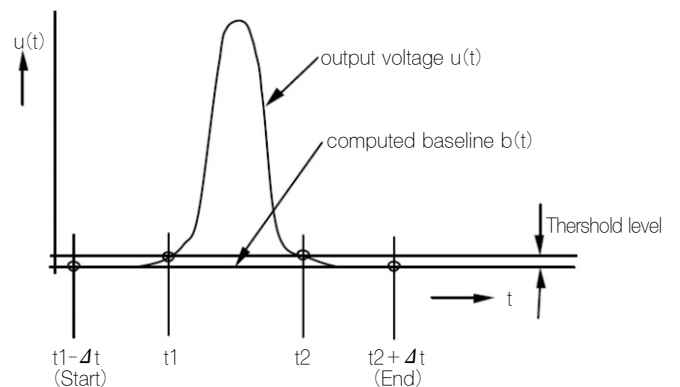


그림 3. 축하중 산정법

이산신호 적분식

$$Area = \int [u(t) - b(t)] \quad (1)$$

t_1 에서 t_2 까지 샘플링 된 수집데이터에 대한 면적계산은 다음과 같이 할 수 있다.

$$Area = \sum [u_i - b_i] \quad (2)$$

여기서, i : 샘플번호

파형의 면적이 계산되었으면 다음 수식으로 축하중을 계산한다.

$$W = \left(\frac{V}{L_s}\right) \times A \times C \quad (3)$$

여기서, W : 축하중, V : 차량속도,
 L_s : 센서의 폭, C : 교정계수

본 연구에서는 측정하중의 오차를 최소화하기 위하여 기존의 축중계 시스템에 대한 하중 검증시험을 실시하였다. 검증 시험을 통해 얻은 결과를 바탕으로 교정계수를 추정하여 축중계 시스템을 교정할 수 있다. 또한, 그림 3과 같이 적분을 통해 하중을 계산하므로 고속주행 중 획득한 신호파형이 최대한 실측값에 유사하도록 하기 위하여 샘플링 레이트를 4kHz로 상향조정하였고 트레시홀드값을 고정값을 사용하지 않고 사용자가 조정 가능하도록 하여 중하중 대역에서 적절한 트레시홀드값을 찾아 사용할 수 있도록 하였다. 또한, 과적단속기능을 부여하기 위하여 표 2와 같이 과적하중 발생시 처리방법을 설정하였다.

표 2. 과적하중 발견시 처리방법

항 목	내 용
트리거 이벤트	<ul style="list-style-type: none"> - 하드웨어적인 트리거 신호 발생 - 카메라 설치시 셔터신호로 사용가능 - 경고 신호로 사용가능 - 카메라 위치와 차량길이에 따른 시간차를 고려하여 출력
통신 이벤트	<ul style="list-style-type: none"> - 유선/무선 통신으로 이벤트 내용 전송 - 원격지에서 과적차량 모니터링 가능

2.4. 원더링 시스템 구축

축하중측정 시스템이 과적단속기능을 완벽히 수행하기 위해서는 하중에 대한 정확도 이외에도 기본적으로 차중에 대한

구분이 명확하여야 하며, 더불어 차로를 이탈하는 차량에 대한 판독이 가능하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 기능을 갖추기 위하여 원더링 개념을 도입하여 하드웨어를 개선하였다. 즉, 차량이 차로를 주행하는 동안 횡방향으로 어느 지점을 통과하는지를 판독하는 기능이다. 이러한 원더링 시스템은 차선으로부터 횡방향으로 이격된 거리를 측정하는 기능 이외에 차륜의 형태(단륜/복륜)구분이 가능하여 차종을 분류함에 있어 기존의 차종구분법 보다 좀 더 세분화된 구분이 가능하도록 하는 기능을 가지고 있다. 원더링 시스템은 차로별로 2개의 축감지 센서를 45° 사선으로 배치하여 주행차량의 좌우측 각 타이어의 위치 판독, 윤거측정, 단륜/복륜 구분을 명확히 할 수 있다. 본 시스템에서는 기존의 8종이나 11종 차종구분보다 좀더 세분화된 12종 차종분류법을 따라 구분하였다. 12종 차종분류는 2006년 국토해양부(당시, 건설교통부)에서 제안한 12종 통합 차종분류 가이드를 기준으로 하였다.

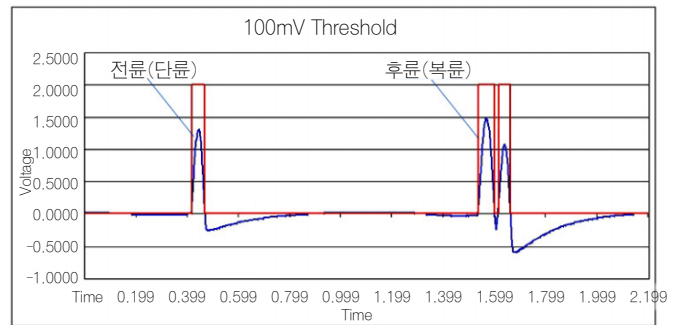


그림 4. 원더링 센서에 의한 단륜/복륜 신호파형 특성

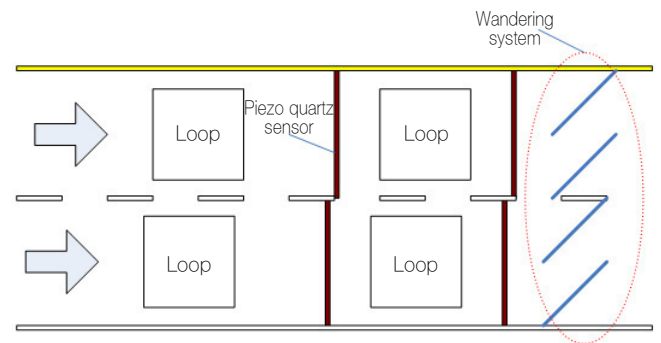


그림 5. 원더링 시스템이 추가된 고속축중계 시스템

2.5. 과적단속 시스템 초기모델 개발

본 연구에서는 향후 과적단속 또는 과적혐의차량 유도용으로 활용하기 위한 목적으로 과적단속 시스템을 개발하였다. 앞서 설명한 축하중측정 시스템에 차량번호인식시스템을 구축하여 고속주행에서 측정가능한 무인-무정차 축하중측정 시스템을 구축하였다. 본 시스템에서 획득되는 자료는 차량의

축하중, 총하중, 속도, 12종 차중분류에 따른 차중, 횡방향주행패턴(원더링) 및 기본적인 차량정보들이 추출된다. 또한 번호 인식카메라 연동을 통해 과적화물차 발견시 차량의 번호, 전면영상, 과적 및 총과적 발생량 등을 추출할 수 있도록 프로그램을 구성하였다. 현재 본 시스템은 중부내륙고속도로 시험도로 상에 설치되어 있으며 연구활동을 위하여 시험도로를 차단하는 기간을 제외하면 상시 운용된다. 다만 현재 제도적 단속력은 갖추고 있지 않다.

다음의 그림 6은 무인-무정차 축하중측정 시스템을 이용한 과적단속 시스템 초기모델에 대한 개념도이다.

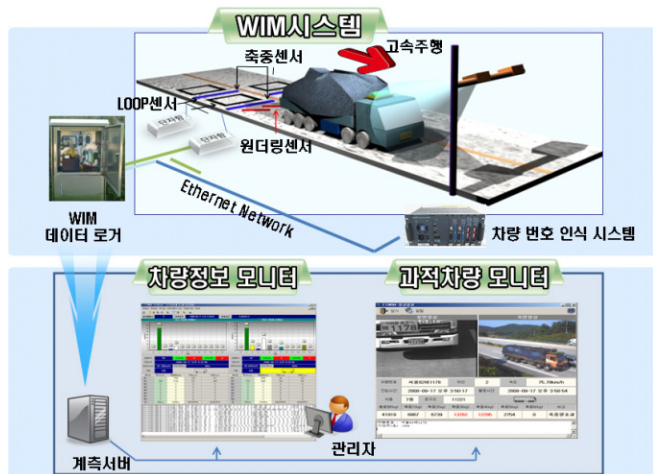


그림 6. 과적단속 시스템 초기모델 개념도

2.6. WIM 성능등급표

European WIM Specification(2001)에서 제시한 WIM 시스템의 각 하중별 정확도 등급 정의에 대해 간략히 소개하고자 한다. 아직 국내의 등급 기준이 확립되지 않았으므로 여기서 소개하는 정확도 등급에 따라 본 연구에서 개발한 시스템의 정확도에 대한 객관적이고 정량화된 평가를 내리고자 한다.

2.6.1. 정의

정확도 등급은 일반적으로 계산 하중의 정적 하중에 대한 상대오차의 신뢰구간 폭의 반으로 정의한다(δ). 이러한 구간에서 요구되는 최소 신뢰 수준을 π_0 로 정의하는데 이는 측정 환경 및 시험 조건에 따라 변한다. 정확도 검사 시 다음과 같은 4가지의 판정기준이 고려되어지고 각각의 오차는 임의적이고 독립적이며 정규 분포를 한다고 가정한다. ① 총중량, ② 단축의 하중, ③ 그룹축의 하중, ④ 그룹내 축중량, 여기서 ④의 기준은 경우에 따라서는 제외될 수도 있다. 아래의 표 3은 정확도 등급의 허용오차($\delta\%$)를 나타낸다.

요구되는 신뢰 수준 π_0 가 영향을 받는 측정 환경 및 시험

표 3. 정확도 등급의 허용오차(δ in %)

Criteria (Type of measurement)	Domain of use	Accuracy Classes : Confidence interval width δ (%)						
		A(5)	B+(7)	B(10)	C(15)	D+(20)	D(25)	E
1. gross weight	>3.5 t	5	7	10	15	20	25	>25
axle load	> 1 t							
2. group of axles		7	10	13	18	23	28	>28
3. single axle		8	11	15	20	25	30	>30
4. axle of a group		10	14	20	25	30	35	>35

조건은 크게 3가지로 나눌 수 있다. (a) 시험 기간과 환경적 기후 조건, (b) 시험에 사용된 화물 트럭의 수와 하중 경우 그리고 속도 수준, (c) 샘플 수, 이러한 것들을 종합해 보면 시험 조건의 반복성이 높아질수록 요구되는 신뢰도 수준이 높아지고, 샘플 수가 많아질수록 요구되는 신뢰도 수준도 높아진다. 왜냐하면, 통계적인 불확실성이 줄어들기 때문이다.

위의 내용을 정리하면 다음과 같은 3가지의 environmental repeatability/reproducibility conditions이 정의되어진다.

- (I) repeatability : 시험이 하루 또는 연속되지 않은 수 일간 수행되어지는 경우
- (II) limited reproducibility : 연속된 수일 또는 수 주간 수행하는 경우
- (III) full reproducibility : 적어도 일년에 걸쳐 연속된 수 일 또는 수 주간 수행하는 경우

또한, test measuring condition은 다음과 같은 4가지로 나누어진다.

- (r1) full repeatability : 한 대의 차량으로 동일 속도, 하중, 주행위치로 수회 통과하는 경우
- (r2) extended repeatability : 한 대의 차량으로 다른 속도 및 하중으로 주행위치를 조금씩 변화해가며 수회 통과하는 경우
- (rr1) limited reproducibility : 2대에서 10대 사이의 차량으로 각각 수회씩 서로 다른 속도와 하중의 조합으로 주행위치를 조금씩 변화해 가며 통과하는 경우
- (rr2) full reproducibility : 10대에서 수백 대에 이르는 차량으로 실제 교통 흐름과 같이 시스템을 한 번씩 통과하는 경우

2.6.2. 등급분류

COST 323(1997)에 의하면 WIM 시스템의 주요 요구사항과 적용은 통계적인 정확성에 따라 분류되어지며, 다음과

같은 정확성의 수준에 따라 요약된다.

- 통계적 목적 : 화물 수송수단의 경제적, 기술적인 연구와 도로, 교량의 일반적인 교통류 평가를 위한 통계적 데이터 수집(δ 가 20~30% 수준 : D+(20) 또는 D(25) 등급)
- 사회기반시설과 사전 선택 : 도로와 교량의 교통류, 설계 및 유지관리의 상세 해석과 차량의 정확한 분류, 그리고 단속을 위한 사전선택(δ 가 10%에서 15~20% 수준 : B(10) 또는 C(15) 등급)
- 법적 제재 : 단속과 산업적 응용목적으로 현재는 정적 계량 또는 저속 시스템만이 WIM 이러한 조건에 부합하고 있다. 그러나 다른 분야에서의 많은 노력이 추진되고 있다.(δ 가 5~10% 수준 : A(5) 또는 B+(7) 등급)

정확도 등급에 따른 응용목적은 다음과 같다.

A(5) : 법적 하중 제한의 단속이나 다른 특별한 필요에 의한 법적인 목적으로 사용가능한 수준

B+(7) : 특별한 경우의 법적 하중 제한의 단속목적으로 사용가능하나 단속기관의 특별한 동의가 있어야 한다. 과적 축 또는 차량의 효과적인 사전 선택목적으로 사용가능한 수준

B(10) : 사회기반시설 설계와 유지관리 또는 평가 시, 과적 축 또는 차량의 사전 선택 시 사용가능한 수준

C(15) 또는 D+(20) : 1~2톤의 등급 폭을 갖는 하중 히스토그램의 결정을 위한 자세한 통계학적 연구와 차량의 정확한 분류, 사회기반시설 연구와 피로 평가시 사용가능한 수준



(a) 정적하중측정(3축덤프)



(b) 주행시험(4축덤프)



(c) 하중적재장면(5축 카고)

그림 7. 시험장면

3. 하중 검증시험

3.1. 시험 방법 및 조건

본 연구에서는 과적단속 시스템 초기모델에 대한 측정 하중 검증시험을 실시하였다. 시험은 3축 덤프트럭, 4축 덤프트럭, 5축 카고트럭을 이용하여 실시하였으며, 먼저 정적 축하중 측정계를 이용하여 정지상태의 축하중을 측정 후 공차, 만차, 과적하중에 대하여 약 30km/h 이하에서부터 100km/h정도까지 다양한 속도대역에서 동적 주행시험을 실시하였다. 각 시험차종별 하중조건은 다음의 표 4~표 7과 같다. 5축 카고트럭의 경우 3축이 가변축이므로 시험조건을 가변축을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때를 각각 적용하였다.

표 4. 3축 덤프트럭 시험차량 적재중량 제한(kg)

3축 덤프	1축 중량	2축 중량	3축 중량	총 중량
공차	5,000	4,180	4,080	13,260
정량	6,020	8,720	8,820	23,560
과적	5,600	12,020	12,240	29,860

표 5. 4축 덤프트럭 시험차량 적재중량 제한(kg)

4축 덤프	1축 중량	2축 중량	3축 중량	4축 중량	총중량
정량	6,930	6,680	7,380	7,080	28,070
만차	8,850	9,720	10,710	10,560	39,840

표 6. 5축 카고트럭 시험차량 적재중량 제한 (kg)
(가변축 사용 안함, 총축수 4축)

5축 카고	1축 중량	2축 중량	3축 중량	4축 중량	텐덤축	총 중량
공차	4,210	3,870	5,820	5,680	11,500	19,580
과적	5,940	6,000	11,650	11,060	22,710	34,650

표 7. 5축 카고트럭 시험차량 적재중량 제한 (kg)
(가변축 사용함, 총축수 5축)

5축 카고	1축 중량	2축 중량	3축 중량	4축 중량	5축 중량	총 중량
만차	4,720	4,660	8,200	8,690	8,550	34,820

3.2. 시험결과

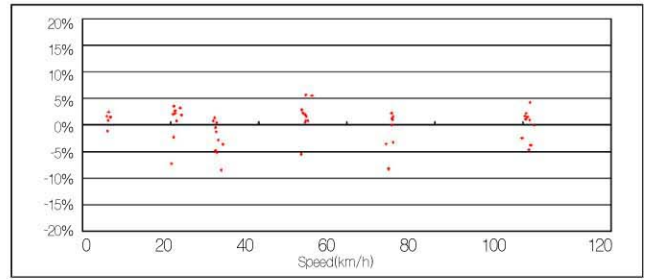
시험차종 3종, 속도조건 5레벨 이상, 3가지 하중조건 등을 적용하여 각 조건별로 적어도 10회 이상 동일한 시험을 실시하여 총 300여회 가량 주행시험을 실시하였다. 정확도는 정적 측정된 각 축하중 값에 대한 동적측정 축하중의 크기 차이를 비교하였다. 표 8은 주요 조건별 정적하중에 대한 동적하중측정값의 평균오차 비교 결과이다. 전반적인 시험 결과를 보았을 때 각 조건별로 축중량의 경우 평균오차가 10% 미만, 총중량의 경우 7% 미만으로 나타났다. 이 수치는 본 시스템을 과적단속 시스템으로 활용하였을 경우 과적함의 차량을 유도하는 목적으로 활용하기에 적합한 수준이라 할 수 있다. 다음의 그림 8과 표 9는 여러 가지 조건 중 5축 카고트럭의 과적하중에 대한 시험결과를 보여주고 있다.

표 8. 주요 조건별 평균오차

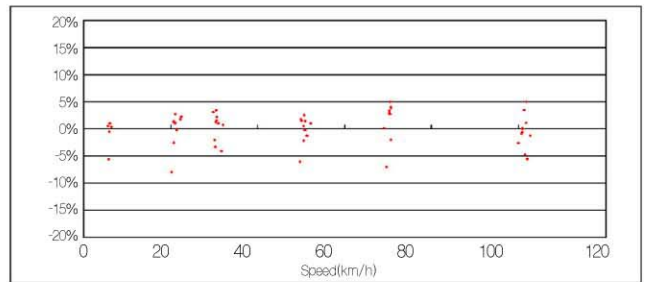
화물차 특성	하중조건	축중량 평균 오차	총중량 평균 오차
3축 덤프	공차	5.0%	1.2%
	만차	9.4%	4.7%
	과적	8.5%	6.5%
4축 덤프	공차	3.3%	1.2%
	만차	3.7%	0.9%
5축 카고	만차	5.9%	3.7%
	과적	5.2%	3.7%

표 9. 축하중 측정 결과값 (5축카고 과적하중 시험)

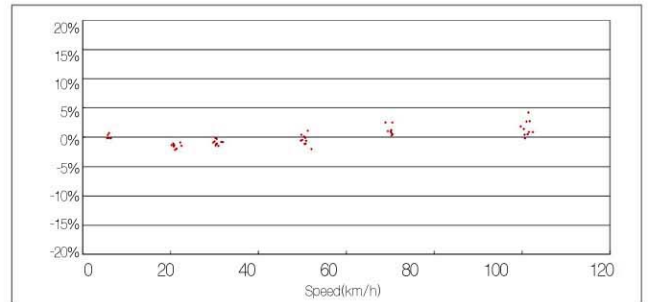
	측정값(톤)					
	총중량	축1	축2	축3	4축	텐덤축
평균	33.38	5.92	5.92	11.13	10.40	21.54
정적계중값	34.65	5.94	6.00	11.65	11.06	22.71
오차	-1.27	-0.02	-0.08	-0.52	-0.66	-1.17
백분율	-3.7%	-0.4%	-1.3%	-4.4%	-5.9%	-5.2%



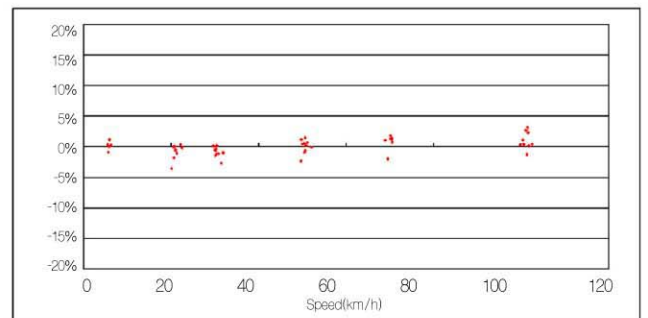
(a) 1축 속도별 축중 오차



(b) 2축 속도별 축중 오차



(c) 텐덤축(3,4축) 속도별 축중 오차



(d) 총 중량 오차

그림 8. 축하중 측정 결과 그래프(5축카고 과적하중 시험)

표 10과 표 11은 위에서 기술한 COST 323 기준의 성능 등급표이다. 표 10은 가장 문제가 되고 있는 5축카고 과적 차량을 대상으로 실험한 결과에 대한 성능등급표이다. 보는 바와 같이 총중량 오차 5%, 축중량 오차 8%로 최상위 A(5) 등급으로 판명되었다.

표 11은 모든 시험차량에 대한 실험 전체 측정 결과에 대

한 등급표이다. 결과는 총중량 오차 7%, 축중량 오차 15%로 B(10) 등급으로 판명되었다. 하지만 과적차량 단속을 위한 WIM 시스템의 성능등급은 표 10의 등급 수준의 성능을 나타낼 수 있다.

표 10. 축하중 측정 결과 성능등급표 (COST 323)
(5축카고 과적하중 시험)

SYSTEM Entity	Number	Mean (%)	STDV (%)	π_0 (%)	Class	δ (%)	δ_{min} (%)	π (%)	Accepted class
gross weight	53	0.02	1.28	94.8	A(5)	5.0	2.8	99.9	A(5)
group of axles	53	0.02	1.38	93.6	A(5)	7.1	3.0	100.0	
single axle	106	0.01	3.12	95.5	A(5)	8.0	6.5	98.0	
axle of group	159	0.02	1.68	95.7	A(5)	10.0	3.6	100.0	

표 11. 실험 결과 성능등급표 (COST 323)

SYSTEM Entity	Number	Mean (%)	STDV (%)	π_0 (%)	Class	δ (%)	δ_{min} (%)	π (%)	Accepted class
gross weight	744	-0.36	3.14	94.8	B+(7)	7.0	6.8	96.8	B(10)
group of axles	744	-0.98	4.26	93.6	B+(7)	10.0	9.5	97.3	
single axle	1203	1.09	6.40	95.5	B(10)	15.0	14.0	97.6	
axle of group	1641	-1.17	5.76	95.7	B+(7)	14.0	12.7	98.0	

4. 고속도로 과적행태 분석

본 시스템의 기능을 개선하고, 앞선 검증시험 결과에 따라 과적단속, 또는 과적혐의차량 유도용으로의 활용가능성을 확인한 바, 실제 고속도로에서 운행 중인 일반 화물차량을 대상으로 운행 중 과적행태에 대한 분석을 실시하였다.

4.1. 고속도로 중하중 교통량의 주행 행태 분석

먼저, 실제 고속도로에서 주행하는 화물차의 적재중량을 분석하기 위하여 중부내륙고속도로 마산방향 평일 72시간 교통량 약 6만여 대를 대상으로 차종별 축하중 및 총하중 기준 초과 비율을 분석하였다. 우리나라의 과적기준은 축중량 10톤, 총중량 40톤으로 제한하고 있으며, 단속의 경우 허용오차범위 10%를 고려하여 축중량 11톤, 총중량 44톤을 기준으로 단속하고 있다.

다음의 표 12에서 보는 바와 같이 허용기준 및 단속기준 초과에 대체로 높은 비율을 차지하는 차종은 5, 6, 7, 12종 차종들이었으며 특히 7종 5축 카고트럭의 비율이 가장 높게

나타났다. 7종의 경우 과적단속기준은 초과하지 않았으나 허용기준을 초과하는 비율은 상당히 높게 나타난 것으로 보아 화물적재 시 기준에 최대한 맞추어 100% 만차하는 경우가 상당히 많다는 것을 알 수 있다.

표 12. 고속도로의 차종별 중량 분석
(중부내륙 마산방향의 실 예)

차종	총대수	허용기준초과*		단속기준초과**	
		대수	비율	대수	비율
1종	38452	1	0.0%	0	0.0%
2종	4871	14	0.3%	3	0.1%
3종	4279	1	0.0%	0	0.0%
4종	5593	14	0.3%	5	0.1%
5종	2889	49	1.7%	15	0.5%
6종	1154	106	9.2%	40	3.5%
7종	1149	396	34.5%	51	4.4%
8종	101	0	0.0%	0	0.0%
9종	774	1	0.1%	0	0.0%
10종	47	2	4.3%	0	0.0%
11종	1548	81	5.2%	2	0.1%
12종	233	40	17.2%	16	6.9%

* 허용기준 : 축중량 10톤, 총중량 40톤

** 단속기준 : 축중량 11톤, 총중량 44톤

4.2. 고속도로 주행화물차 과적유형 분석

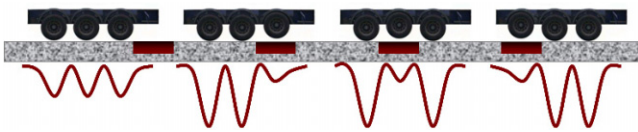
차종별 중량 분석결과를 바탕으로 실제 화물차들의 과적행태를 분석하였다. 분석기준은 중부내륙고속도로에 설치되어있는 본 고속축중계 시스템에서 축하중 기준 8.5톤을 초과하는 하중이 하나 이상 측정된 3축 이상의 화물차량을 대상으로 하였으며, 측정된 화물차의 영업소 진입시 하중상태를 확인하기 위하여 인근 영업소의 축중차로 진입 화물차 하중정보와 비교분석하였다. 대상기간은 평일 약 72시간 동안 중부내륙고속도로 마산방향을 주행한 차량을 대상으로 하였다. 분석결과 다음과 같은 과적화물차량들이 발견되었으며 거의 대부분이 가변축을 이용한 과적으로 나타났다. 영업소를 통과하는 고속도로에서 이러한 과적운행이 발생하는 이유는 화물차량이 영업소를 진입할 때에는 대부분 가변축을 사용하고 있기 때문에 그 당시는 과적이 발생되지 않은 상태이므로 단속제한에 해당되지 않으나 진입 이후 가변축 조작을 통해 과적행위를 시작하는 것이므로 이러한 화물차들의 영업소 진입을 억제하는 것이 사실상 불가능하기 때문이다.

과적 유형은 다음과 같이 크게 3가지 유형으로 정리되어진다. 그림 10~그림 13은 본 시스템에서 추출된 각 유형별 실제 사례이다.

- 과적유형 1 : 가변축 조작(들어올림)을 통한 축과적 발생
- 영업소 진입 시 가변축을 내려 기준을 초과하지 않은 상태로 운행
- 영업소 진입 후 가변축을 올려 인접 축으로 하중이 전가되어 축과적 발생

- 과적유형 2 : 가변축의 유압을 조정하여 축과적 발생
- 영업소 진입 시 가변축을 내려 기준을 초과하지 않은 상태로 운행
- 영업소 진입 후 가변축의 유압을 감소시켜 가변축의 축하중은 낮아지고 인접 축으로 하중이 전가되어 축과적 발생

- 과적유형 3 : 가변축 조작 및 유압조정을 통한 총과적 발생
- 2개 이상의 가변축을 장착한 화물차
- 영업소 진입 시 2개 이상의 가변축을 들거나 유압을 조정하여 순차적으로 축중계량을 하는 축의 하중을 인접 축으로 전가시켜 각각의 축하중을 저평가되도록 조작하는 방법
- 각 축의 하중이 저평가되므로 전축을 합산하는 총중량이 실제보다 낮게 측정됨



① 정상주행 ② 1축 조정 ③ 2축 조정 ④ 3축 조정

그림 9. 가변축 조작 개념도



그림 10. 정상주행 화물차



그림 11. 가변축 조정(3축 들어 올림)에 따른 축과적 발생 화물차



그림 12. 가변축 유압조정(3축 유압 감소)에 따른 축과적 발생 화물차

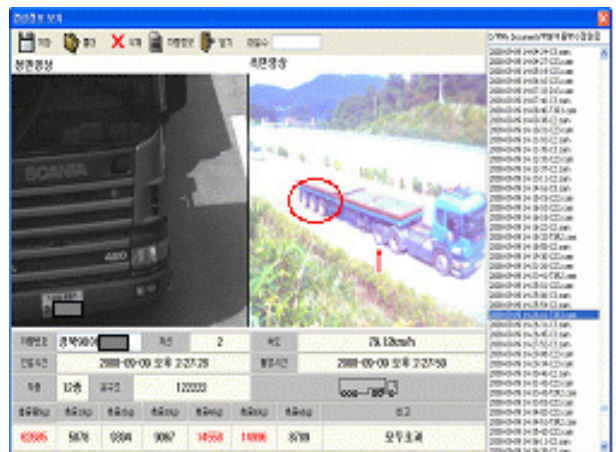


그림 13. 다수의 가변축을 이용한 축과적 및 총과적 사례

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 고속축중계를 이용하여 무인-무정차 축하중측정 시스템을 개발하여 이를 과적단속 또는, 과적혐의차

량 유도용으로 활용하기 위한 목적으로 과적단속 시스템 초기 모델을 구축하였다. 현재 국내의 과적기준은 축중량 10톤, 총중량 40톤이며, 단속기준은 허용 오차범위 10%를 감안하여 축중량 11톤, 총중량 44톤으로 제한하고 있다. 본 시스템의 하중측정값을 검증한 결과 각 시험 조건별 전체평균오차가 축하중의 경우 15% 이내, 총하중의 경우 7% 이내로 나타났다.

COST 323에서 제시한 성능등급표의 등급은 사회기반시설 설계와 유지관리 또는 평가의 목적으로 사용가능한 B(10)등급으로 보정기법을 사용하여 보완하면 직접단속이 가능한 B+(7)등급으로의 상향조정이 가능하므로 기술적으로는 단속기능을 갖추고 있는 것으로 판단된다. 다만, 이를 실용화하기 위해서는 법적, 제도적 검토를 신중히 하여 적용시 단속 효용성을 갖도록 뒷받침하여야 할 것이다.

본 시스템이 실제 과적단속시스템으로 활용된다면 고속도로에서 축조작에 의한 고의과적 회피현상을 근본적으로 차단할 수 있으며, 특히 개방식 구간과 같이 과적단속이 모호한 구간에서의 과적단속 실효성을 확보할 수 있을 것이다. 이는 곧 과적화물차 진입억제를 통해 고속도로 포장, 교량 등 도로구조물의 공용수명 증가와 대형사고 감소 효과를 기대할 수 있다.

단속의 경우 현재의 허용범위 10% 이내에서 오인식율을 0%에 가깝게 하여야 하므로, 하중측정값에 대한 정확도 향상이 기술적으로 가장 중요한 과제이다. 따라서, 향후 연구방향을 실제 과적화물차의 하중 및 속도대역에서 오차율을 최

소화하는 방안에 대한 연구가 필요하다. 예를 들면, 시스템 적용구간의 일정 구간에 대한 노면 평탄성 기준 수립, 축중센서 인스톨 충전제에 대한 내구성 검토, 주기적인 보정기법 및 유지관리기법 개발 등이 이에 해당된다.

참고 문헌

Bernard Jacob, "Weigh-in-motion of Road Vehicles", *Proceedings of the Final Symposium of the project WAVE (1996-99)*, Paris, May 6-7, 1999.

International Conference on Heavy Vehicles Paris 2008, "*Heavy Vehicle Transport Technology (HVT10) and Weigh-In-Motion(ICWIM5)*", May 19-22, 2008 Paris, France.

LCPC, Bernard Jacob, "COST 323 : Weigh-in-motion of Road Vehicles (WIM-LOAD)", *Final Report of the COST323 action*.

TRANSPORT RESEARCH, "Weigh in Motion of Road Vehicles", *2nd European Conference Lisbon*, 14/16 September 1998, Pre-proceedings.

TRANSPORT RESEARCH, "Weigh in Motion of Road Vehicles", *Final Report (1993-1998)*.

WAVE, "Weigh-in-motion of Axles and Vehicles for Europe", *Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, General Report*.

접 수 일 : 2009. 8. 20
 심 사 일 : 2009. 8. 23
 심사완료일 : 2009. 11. 17