

고속축중기를 활용한 과적단속시스템의 과적 억제효과 분석

Overloading Control Effectiveness of Overweight Enforcement System using High-Speed Weigh-In-Motion

권순민 Kwon, Soon-min
정영윤 Jung, Young-yoon
이경배 Lee, Kyung-bae

정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (E-mail: soonmini2@ex.co.kr)
한국도로공사 교통처 교통안전팀장 (E-mail: jeongyy@ex.co.kr)
정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 (E-mail: kblee6078@ex.co.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The aim of this study is to analyze overloading control effectiveness of enforcing overweighted vehicles using HS-WIM (High-Speed Weigh-in-Motion) at main lane of expressway.

METHODS : To analyze the weight distribution statistically, HS-WIM system should have an appropriate weighing accuracy. Thus, the weighing accuracy of the two HS-WIM systems was estimated by applying European specifications and ASTM (American Standards for Testing and Materials) for WIM in this study. Based on the results of accuracy test, overweight enforcement system has been operated at main lanes of two expressway routes in order to provide weight information of overweighted vehicle in real time for enforcement squad. To evaluate the overloading control effectiveness with enforcement, traffic volume and axle loads of trucks for two months at the right after beginning of the enforcement were compared with data set for same periods before the enforcement.

RESULTS : As the results of weighing accuracy test, both WIM systems were accepted to the most precise type that can be useful to apply not only statistical purpose but enforcing on overweight vehicles directly. After the enforcement, the rate of overweighted trucks that weighed over enforcement limits had been decreased by 27% compared with the rate before the enforcement. Especially, the rate of overweighted trucks that weighed over 48 tons had been decreased by 91%. On the other hand, in counterpoint to decrease of the overweighted vehicle, the rate of trucks that weighed under enforcement limits had been increased by 7%.

CONCLUSIONS : From the results, it is quite clear that overloading has been controlled since the beginning of the enforcement.

Keywords

HS-WIM, overweight enforcement system, weighing accuracy, overloading control effectiveness

Main Author : Kwon, Soonmin, Senior Researcher
Expressway Research Office, Expressway & Transportation
Research Institute, Korea Expressway Co, 50-5, Sancheok-ri,
Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 445-812, Korea
Tel : +82.31.371.3367 Fax : +82.31.371.3479
email : soonmini2@ex.co.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 논문개요

본 연구의 목표는 김천 및 선산 지역에 설치된 고속도로

무인과적단속시스템의 가동 전·후의 4종 이상 화물교통량 중량 분포 통계비교를 바탕으로, 고속축중기를 이용한 고속도로 본선 과적단속의 과적 억제효과를 분석하는

데 있다. 고속측중기는 포장 표층에 매설된 센서의 반응을 통해 고속주행 중인 차량의 축중량을 실시간으로 계측하며 정지 상태 중량 측정값과의 계측오차가 필연적으로 발생한다. 따라서 중량 데이터의 통계 결과가 유의성을 갖기 위해서는 고속측중기의 중량검측 정확도 평가가 선행되어야 하기 때문에 본 연구에서는 해외의 고속측중기 성능 등급 기준을 적용하여 운영 중인 고속측중기의 중량 검측 정확도를 평가하였다. 그 결과, 두 지역의 고속측중기 모두 최상위 등급의 정확도를 확보한 것으로 평가되어 중량 데이터의 통계적 활용 목적은 물론 직접적인 과적단속이 가능한 등급으로 분류되었다. 정확도 평가 결과를 바탕으로 이동단속반과 연계하여 본선 과적단속을 실시하였으며 단속에 따른 과적 억제효과를 분석하기 위해 단속 시작일 직전 2개월과 단속 직후 2개월의 화물차량 교통량 및 중량 데이터를 통계 분석하여 비교하였다.

1.2. 연구배경

과적은 화물 등을 차량이 적재할 수 있는 정량보다 초과하여 싣는 행위를 일컫으며 차량 및 도로구조물의 수명 단축에 직접적인 영향을 준다. 또한 무리한 하중 적재는 차량의 조작 응답성을 떨어뜨려 대형 교통사고의 위험을 증가시킨다. 과적 단속은 이러한 과적으로 인한 피해를 줄이기 위해 과적차량의 운행을 직접적으로 통제하는 방법으로, 국내의 경우 도로법 제 59조 및 도로법 시행령 제 55조(차량의 운행제한), 도로법 제 60조(적재량 측정 방해행위의 금지)에 근거하여 과적단속을 실시하고 있다.

현재 국내 과적단속 기준은 도로의 등급이나 차량의 형식 등에 차등 없이 총중량 40톤 또는 축중량 10톤의 운행 제한 기준 (Weight Limits for Driving; WLD) 을 두고 있으며 중량 측정기기의 허용오차 10%를 감안하여 총중량 44톤 또는 축중량 11톤 초과 차량에 대하여 고발하고 있다. 고속도로의 경우, 국토해양부 차종분류 상 4~12종에 해당하는 차량은 영업소 진입 시 축중차로를 통과하여 중량계측 후 본선으로 진입하도록 하고 있다. 하지만 일부 화물차량의 가변축 조작, 유압잭 또는 랜딩기어 설치 등 다양한 방법에 의한 과적행위 및 단속회피 행위가 지속적으로 발생하고 있는 실정이다.

Table 1에 정리한 바와 같이 연평균 고발실적은 약 0.07%로 과적차량 예상대수 대비 매우 저조한 실정이며 가장 큰 원인으로는 축중패드(단패드) 및 유인 단속으로 인한 한계를 들 수 있다. 축중패드가 노출되어 있어 가변축 또는 기타 불법장치의 조작으로 축 별 중량을 고발 기준 이하로 조절이 용이하며, 과적을 위한 불법장

치가 차량 하체에 설치되어 있어 육안 선별이 어려운 경우가 대부분이다.

Table 1. Records of Overweight Enforcement in Highway

Year	2005	2006	2007	2008	2009
No. of weighed vehicles	47,080,268	44,392,754	48,178,233	36,599,260	35,884,071
No. of enforced vehicles	27,297	27,793	29,140	27,972	28,070
rate of enforced vehicles (%)	0.058	0.063	0.060	0.076	0.078

따라서 한국도로공사에서는 기존 단패드 형태의 축중 패드를 다중패드 형태로 교체하는 한편, 고속측중기 (HS-WIM, High-Speed Weigh-in-Motion)를 고속 도로 본선에 설치하여 주행 중인 화물차량의 중량을 실시간으로 무인 검측하여 과적단속에 활용하고 있다. 고속측중기를 이용한 과적단속시스템은 과적차량 발생 시 차종, 축중량, 총중량, 차량 번호, 단속구간 통과시각 등 단속에 필요한 기본정보를 과적 이동단속반에 제공한다. 제공된 정보를 바탕으로 이동단속반이 과적차량을 추적, 2차 중량 검측하여 고발 기준 초과 시 과태료 부과, 축조작 등 중량 측정행위 방해 시 고발 조치하고 있다.

이러한 과적단속의 최종적인 목적은 상습적으로 행해지고 있는 과적행위에 대한 경각심을 일깨워 전반적인 과적차량 감소를 유도함에 있다. 따라서 고속측중기를 이용한 과적단속 전과 단속 후의 교통량 및 중량 분포의 직접적인 비교는 고속측중기 설치로 인한 해당 지역 과적 감소율의 정량적 평가가 가능하여 과적 억제효과와 평가지표로 이용할 수 있으며, 향후 고속측중기의 확대 적용을 위한 근거자료로 활용이 가능하다.

2. 고속측중기를 이용한 과적단속시스템

2.1. 시스템 개요

과적단속시스템은 루프검지기, 윈더링센서 및 고속측중기, 영상촬영용 카메라, 정보표출용 VMS (Variable Message Sign), 제어기로 구성되어 있다. 과적차량 선별 흐름은 Fig. 1과 같이 과적차량 통과 시 차량 길이 및 운행속도를 고려하여 카메라에 트리거 신호를 보내며 차량 영상 중 차량번호판을 인식하여 VMS 표출 또는 서버로 전송하는 방식이다.

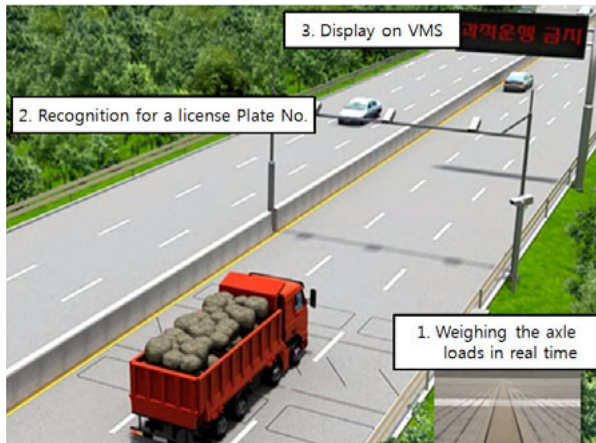


Fig. 1 Overview of Overweight Enforcement System

중량 측정을 위한 센서는 피에조 퀴츠(Piezo-quartz) 타입 센서를 사용하여 Fig. 2와 같이 신호 파형의 면적을 적분으로 계산하며, 적분면적(중량)의 정확도를 향상시키기 위해 샘플링 간격을 4kHz로 향상시켰다(Kwon et al., 2009).

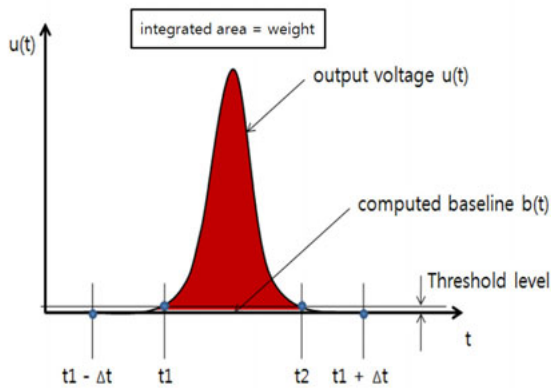


Fig. 2 Weight Calculation of Piezo-quartz Sensor

또한 Fig. 3과 같이 1차로 당 2열의 원더링 센서를 선으로 설치하여 정확한 차종분류 및 차로이탈 여부를 파악할 수 있도록 구성하였다.

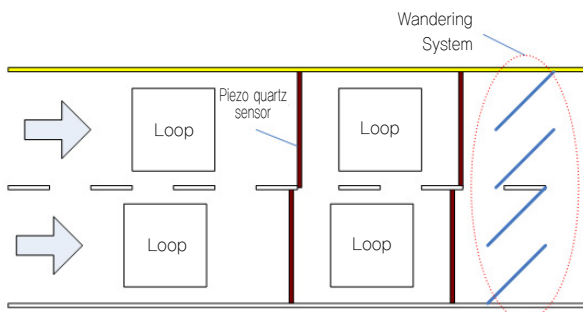


Fig. 3 Sensors Arrangement of Overweight Enforcement System(Kwon et al., 2009)

2.2. 현장 적용

2012년 6월 현재, 고속도로 본선 상에 설치된 과적단속시스템은 3개소이며 세부사항은 Table 2와 같다.

Table 2. Overweight Enforcement Systems on Expressway

Region	Route	Location	Installed year	No. of lanes	Use
Waegwan	No.1	Waegwan IC ~ Kimcheon JC	2010	4	Researching& Enforcing
Kimcheon	No.1	Kimcheon JC ~ Kimcheon IC	2010	3	Enforcing
Seonsan	No.45	Kimcheon JC ~ Seonsan IC	2010	2	Enforcing

시스템 설치 후 약 1년간의 안정화 작업을 거쳐 2012년 1월부터 김천, 선산 지역의 과적단속시스템을 가동하여 과적 이동단속반과 연계한 과적단속에 시범 적용하였다. 무인과적단속시스템은 현재 직접적인 과적단속을 위한 제도적 단속력을 갖추지 못했기 때문에, 이동식 축중기(법정계량기)를 이용하여 2차 검측을 실시하고 있다.

2.3. 고속축중기 성능 평가

2.3.1. 해외 WIM 성능 등급 판정 기준

과적단속시스템의 과적억제효과를 분석하기 위해서는 하중데이터의 유효성이 확보되어야 하며, 이는 고속축중기의 중량 검측 정확도 평가가 선행되어야 함을 의미한다.

국내의 경우, 고속축중기의 성능을 평가할 수 있는 객관적인 기준이 마련되어 있지 않은 실정이며, 본 연구에서는 유럽연합에서 WIM 등급 기준으로 활용되고 있는 "COST 323 European WIM Specification"과 미국 "ASTM E 1318"을 참조하여 고속축중기의 중량검측 정확도를 평가하였다.

가. COST 323

COST 323 등급 판정 기준은 현재 유럽연합이나 국제기구의 공식기준이 아님에도 불구하고 가장 널리 사용되고 있는 WIM 기준이다(B. Jacob 외, 2012). Table 3은 COST 323의 WIM 성능등급 판정 기준을 나타낸 것이다.

국내 과적단속 기준은 총중량(1)과 단축중량(3, 4)이며 각 항의 정확도를 모두 만족시키는 범위 내에서 가장

Table 3. Width of the Accuracy Classes (LCPC, 1999)

Criteria	Confidence interval width δ (%)						
	A(5)	B+(7)	B(10)	C(15)	D+(20)	D(25)	E
1. Gross weight	5	7	10	15	20	25	>25
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

높은 등급을 부여하는 방식이다. 평가방법에 따라 요구되는 신뢰도가 각기 다르며, 평가방법에 의해 결정된 신뢰도 내에서 총중량 허용오차 5% 이내, 단축중량 허용오차 8% 이내를 기록할 경우 A(5)등급으로 분류됨을 의미한다. 또는 총중량 허용오차 5%, 단축중량 허용오차 8% 이내를 모두 만족시키는 신뢰도 구간을 계산하여 평가방법에 의해 제시된 신뢰도보다 높은 신뢰성을 나타낼 경우 A(5)등급으로 분류할 수 있다. 신뢰도에 영향을 주는 평가방법의 변수는 다음과 같다.

(1) 환경재현성

I : 1~2일 내 몇 시간동안 실시되는 평가

II : 1달 내 1~4주에 걸쳐 실시되는 평가

III : 1년 이상 실시되는 평가

(2) 반복성

r1 : 차량 1대가 동일 하중, 속도, 지역을 수 회 통과

r2 : 차량 1대가 다양한 하중, 속도, 지역을 수 회 통과

R1 : 2~10대의 차량이 다양한 하중, 속도, 지역을 수 회 통과

R2 : 10~200대의 차량이 실제교통흐름에 따라 통과

본 연구에서는 상기 절차에 따라 김천 및 선산 고속측중기의 COST 323 등급을 분류하였으며 Table 4의 B(10)이상 등급을 확보할 경우 하중데이터의 유효성을 확보한 것으로 간주하였다.

나. ASTM E 1318

ASTM의 WIM 등급 구분은 Type I~IV까지 총 4단계로 구분되어 있으며 Type I~III은 고속측중기, Type IV는 저속측중기의 허용오차를 제시하고 있다. 고속측중기의 Type 승인을 위한 측정항목별 허용오차값을 Table 5에 정리하였다.

ASTM 기준은 COST 323과 달리 운하중에 대한 허용오차 기준값을 제시하고 있다. COST 323의 시험방법에 따른 신뢰도가 95% 이상을 기록할 경우, COST 323의 A(5) 등급기준이 ASTM의 Type III 등급기준보다 엄격한 것을 알 수 있다. ASTM에서 제시하고 있는 각 등급별 용도 및 적용범위를 Table 6에 정리하였다.

Table 4. The Main Applications of WIM with the Accuracy Classes(LCPC, 1999)

Accuracy Classes	Applications
A(5)	Legal purposes such as enforcement of legal weight limits
B+(7)	Enforcement of legal weight limits in particular cases with a special agreement of the legal authorities
B(10)	Accurate knowledge of weights for; i) infrastructure design, maintenance or evaluation ii) pre-selection of overloaded axles or vehicles iii) vehicle identification based on the loads
C(15) D+(20)	Detailed statistical studies, determination of load histograms with class width of one or two tonnes
D(25)	Weight indications required for statistical purpose, economical and technical studies, standard classifications of vehicles according to wide weight classes (e.g. by 5t)

Table 5. Functional Performance Requirement for HS-WIM Systems(ASTM, 2002)

Function	Tolerance for 95% Probability of Conformity		
	Type I	Type II	Type III
1. Wheel Load	±25	-	±20
2. Axle Load	±20	±30	±15
3. Axle-Group Load	±15	±20	±10
4. Gross-Vehicle Weight	±10	±15	±6

Table 6. The Main Applications of WIM with the Type Classes(ASTM, 2002)

Types	Applications
Type I	Designed for installation at a traffic data-collections site (Vehicle Speed = 16~130km/h)
Type II	Designed for installation at a traffic data-collections site (Vehicle Speed = 24~130km/h)
Type III	Designed for installation at weight enforcement system (Vehicle Speed = 16~130km/h)

2.3.2. 고속축중기 성능 등급 평가

고속축중기의 중량 검측 정확도에 따른 등급을 분류하기 위해 시험차량 3대를 이용하여 법정계량소 및 고속축중기에서의 중량을 검측하였다. 2011년 9~12월 사이 4회의 평가 시험을 실시하였으며, 시험차량의 종류 및 주행횟수에 따라 생성된 데이터 개수는 Table 7과 같다.

Table 7. Summary of Weighting Accuracy Test

Test Vehicles	Two 5-axle rigid trucks and A 5-axle semi-trailer with tandem		
Loads	Gross weight		34~37t
	Axle load		6~12t
No. of Data	Kimcheon	Gross weight	109
		Axle load	447
	Seonsan	Gross weight	68
		Axle load	284

콘크리트 분동을 이용하여 시험차량에 하중을 재하하였으며, 법정계량기에서 총중량 및 축별 중량을 측정, 기록한 후 고속축중기 설치 지역을 통과하여 생성된 중량데이터를 비교하였다. 시험 모습을 Fig. 4에 나타내었다.



Fig. 4(a) Scene of the Static Weighing Operation using Truck-Scale Weighing Machine



Fig. 4(b) Scene of Test running for weighing in Motion Axle Loads on Main Lanes of the Expressway

축중량 과적을 모사하기 위하여 5축 카고트럭은 가변 축을 들어 올려 총 4축 상태에서 중량을 측정하였다. 법정계량기에서 측정된 정지하중값을 기준으로 고속축중기에서 측정된 동적하중값의 상대오차를 Eq. (1)과 같이 계산하였다.

$$x_i = \frac{(Wd_i - Ws_i)}{Ws_i} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, Ws_i = 법정계량기 하중측정값

Wd_i = 고속축중기 하중측정값

각 데이터의 상대오차 계산 결과, 김천, 선산 고속축중기 모두 총중량 상대오차 $\pm 5\%$, 축중량 상대오차 $\pm 10\%$ 미만으로 분석되었으며 결과를 Table 8에 나타내었다.

Table 8. Relative Frequency Distribution of the Relative Error for the HS-WIM Systems

Relative Error (x_i)	Relative Frequency Distribution (%)			
	Kimcheon		Seonsan	
	Gross weight	Axle load	Gross weight	Axle load
0 ~ 1	53.2	28.0	47.1	24.3
1 ~ 2	30.3	26.8	35.3	25.7
2 ~ 3	11.9	16.6	16.2	16.5
3 ~ 4	3.7	13.9	1.5	15.1
4 ~ 5	0.9	7.2	0.0	7.0
5 ~ 6	0.0	3.4	0.0	5.3
6 ~ 7	0.0	2.5	0.0	3.5
7 ~ 8	0.0	1.1	0.0	1.4
8 ~ 9	0.0	0.7	0.0	0.7
9 ~ 10	0.0	0.0	0.0	0.4
10 ~ 11	0.0	0.0	0.0	0.0
11 ~ 12	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	100	100	100	100
Mean (μ)	0.14	0.04	0.24	0.35
Standard Deviation (σ)	1.46	2.82	1.36	3.07

상대오차 데이터는 Fig. 5와 같이 정규분포를 형성하며 정규분포의 특징 상, 데이터 분포 시 $\mu \pm 3\sigma$ 범위 내에 들어올 확률이 99.72%이다. 따라서 김천 고속축중기 중량오차의 경우, 총중량은 $-4.2 \sim 4.5\%$, 축중량은 $-8.4 \sim 8.5\%$ 범위를 벗어날 확률은 0.28%로 볼 수 있으며, 선산 고속축중기는 총중량 $-3.8 \sim 4.3\%$, 축중량 $-8.9 \sim 9.6\%$ 의 중량오차 범위를 벗어날 확률이 마찬가지로

지로 0.28%임을 알 수 있다.

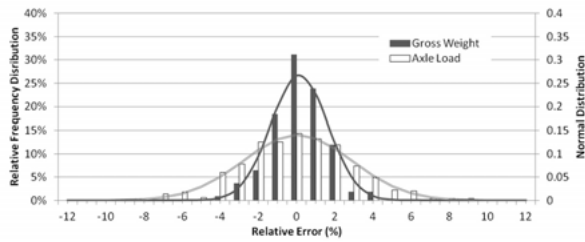


Fig. 5(a) Distribution of Relative Errors(Kimcheon)

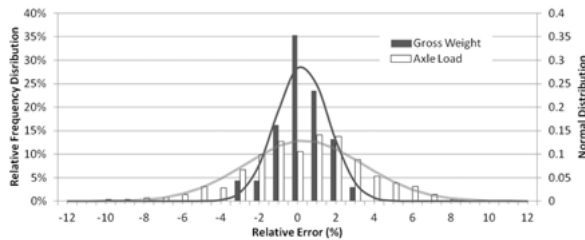


Fig. 5(b) Distribution of Relative Errors(Seonsan)

COST 323 등급판정은 앞서 언급한 바와 같이 시험 조건에 따라 신뢰수준이 구분되며 본 연구에서 수행한 시험방법과 가장 유사한 시험조건의 신뢰도를 적용하여 Table 9와 같이 WIM 등급을 판정하였다.

Table 9의 π_0 는 시험환경(환경재현성, 반복성) 수준에 따라 A(5)등급의 허용오차 δ 를 만족시키기 위한 최소 신뢰수준을 나타내며, π 는 표본집단의 데이터 수, 평균, 표준편차 등 시험결과를 바탕으로 모집단이 δ 값 이하의 오차를 나타낼 확률을 추정한 신뢰수준 값을 나타낸다. 따라서 $\pi > \pi_0$ 조건을 만족할 경우 해당등급으로 판정이 가능하기 때문에 김천, 선산 고속축중기 모두 A(5) 등급의 WIM으로 판정되었다. 또한 이 결과는 Table 5에서 제시하고 있는 ASTM의 Type III WIM의

95% 신뢰구간 내 허용오차 기준을 만족시키기 때문에, 본 연구의 목적인 교통하중 데이터 수집 및 활용은 물론 직접적인 과적단속이 가능한 수준의 WIM 시스템으로 분류되었다.

3. 과적단속시스템의 과적억제 효과 분석

과적단속시스템의 과적 교통량 억제효과를 분석하기 위하여 단속시점인 2012년 1월 16일을 기점으로 단속 전 2개월 및 단속 후 2개월의 화물교통량을 비교하였다. 두 지역의 고속축중기에서 측정된 전체 화물교통량 중 차량 운행제한 기준인 총중량 40톤 또는 축중량 10톤 이상을 기록한 화물차량의 비율과 중량분포를 바탕으로 분석을 실시하였다.

3.1. 단속 전 과적실태 분석

3.1.1. 차종 별 과적교통량

단속 전 2달 기간 동안 고속축중기 설치지역을 통과한 4종 이상 화물차량 대수는 김천 지역 280,974대, 선산 지역 407,269대로 집계되었다. 각 지역별 전체 화물교통량 대비 운행제한 기준을 초과한 차량의 비율과 운행제한 기준의 110% (총중량 44톤, 축중량 11톤) 이상을 초과하여 고발 대상인 차량의 비율을 차종별로 구분하여 Fig. 6에 나타내었다.

두 지역의 차종 별 구성률은 2축 및 3축 화물차량인 4종과 5종 화물차량이 전체 화물교통량의 50% 이상을 차지하는 것으로 나타난 반면, 9종과 11종으로 분류되는 4~5축 2단위 풀 트레일러 형식의 차종은 전체 화물교통량의 1% 미만의 낮은 비율을 보였다. 과적비율이 높은 차종을 선별하기 위하여 해당 차종의 전체 교통량

Table 9. Classification Results of WIM Systems by COST 323

(Test Conditon : Environmental Repeatability II, limited Reproducibility R1)

SYSTEM Entity		Number	Mean (%)	Std deviat (%)	π_0 (%)	Class	δ (%)	δ_{min} (%)	π (%)	Accepted class
Kim cheon	gross weight	109	0.14	1.46	93.7	A(5)	5.0	3.0	99.8	A(5)
	group of axles	120	0.64	2.09	93.9	A(5)	7.1	4.5	99.8	
	single axle	207	-0.65	2.62	94.5	A(5)	8.0	5.6	99.5	
	axle of group	240	0.64	2.86	94.6	A(5)	10.0	6.0	99.9	
Seon san	gross weight	68	0.24	1.36	93.0	A(5)	5.0	2.9	99.9	A(5)
	group of axles	80	0.23	1.90	93.3	A(5)	7.1	4.0	99.9	
	single axle	124	0.49	2.95	93.9	A(5)	8.0	6.2	98.6	
	axle of group	160	0.24	3.17	94.2	A(5)	10.0	6.6	99.7	

중 과적 차량이 차지하는 비율을 비교하였으며 그 결과를 Fig. 7에 도시하였다.

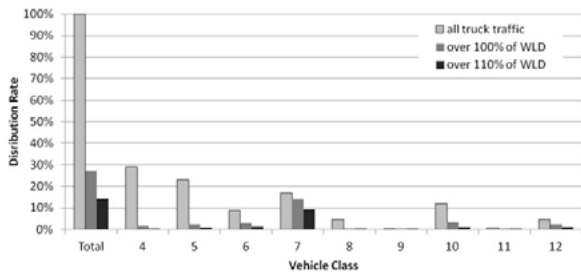


Fig. 6(a) Distribution Rate with Vehicle Class before the Enforcement(Kimcheon)

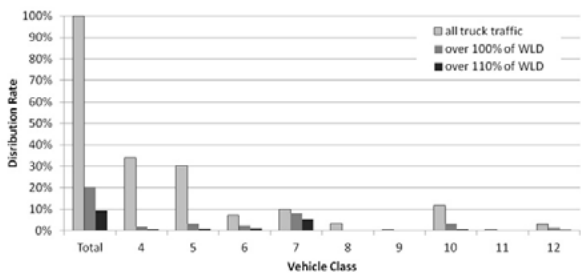


Fig. 6(b) Distribution Rate with Vehicle Class before the Enforcement(Seonsan)

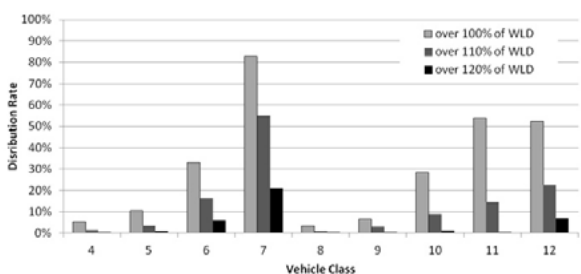


Fig. 7(a) Distribution Rate Overweighted Trucks with Vehicle Class before the Enforcement (Kimcheon)

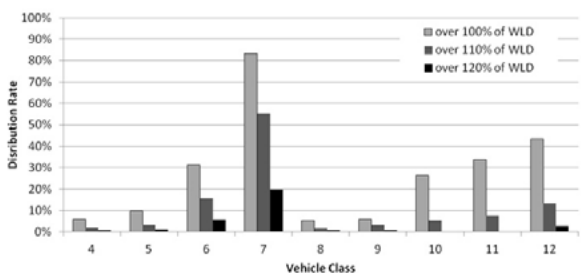


Fig. 7(b) Distribution Rate Overweighted Trucks with Vehicle Class before the Enforcement (Seonsan)

두 지역의 차종별 과적비율 양상은 매우 유사한 것으로 나타났으며 특히 7종 화물차량의 과적비율이 가장

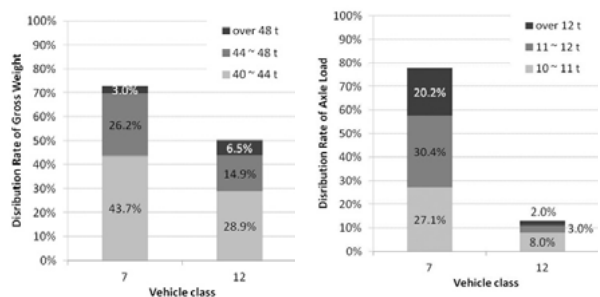
높게 분석되었다. 두 지역을 운행한 7종 화물차량의 80% 이상이 운행제한 기준을 초과하여 통행하였으며, 고발 기준을 초과한 차량의 비율은 50% 이상으로 집계되었다. 또한 총중량 48톤 또는 축중량 12톤을 초과하여 운행제한 기준의 120%를 초과한 과적차량도 20%에 달해 타 차종에 비해 7종 화물차량의 과적실태가 가장 심각한 것으로 분석되었다.

트랙터와 트레일러로 구성된 2단위 차량 중에는 6축 세미 트레일러인 12종 화물차량이 가장 높은 과적 비율을 보였다. 특히 김천 지역을 통행한 12종 화물차량 중 50% 이상이 과적 기준을 초과하여 운행하였으며, 고발 대상인 차량의 비율도 20% 이상으로 나타나 선산 지역보다 김천 지역의 과적비율이 다소 높은 것을 알 수 있다.

3.1.2. 과적차량의 중량 분포

3.1.1절을 바탕으로 본 연구에서는 국토해양부 통합 12종 차종분류 상 7종과 12종에 해당하는 화물차량의 과적비율이 높은 것으로 판단하였으며, 두 차종에 대하여 운행제한 기준을 초과한 차량을 대상으로 총중량과 축중량의 세부 분포를 집계하였다.

Fig. 8은 김천 지역, Fig. 9는 선산 지역 고속축중기의 데이터이며 전반적으로 유사한 양상의 중량 분포를 보였다. 단속 전 7종 화물교통량의 약 30%는 총중량 고발 기준인 44톤을 초과하여 운행하였으며 약 50%의 차량은 축중량 고발 기준 11톤을 초과하여 운행한 것으로 나타났다. 특히 축중량 12톤을 초과한 차량의 비율도 전체 7종 화물교통량의 20%에 달하는 것으로 나타나 전반적인 과적 양상은 축중량 초과인 것으로 나타났다. 반면 12종 화물차량은 약 13~21%의 차량이 총중량 44톤을 초과하여 운행하였고, 축중량을 11톤 이상 초과하여 운행한 차량은 5% 이하로 나타나 전반적인 과적양상이 총중량 초과임을 알 수 있다.



(a) Gross Weight

(b) Axle Load

Fig 8. Load Distribution of Overweighted Vehicles (Kimcheon)

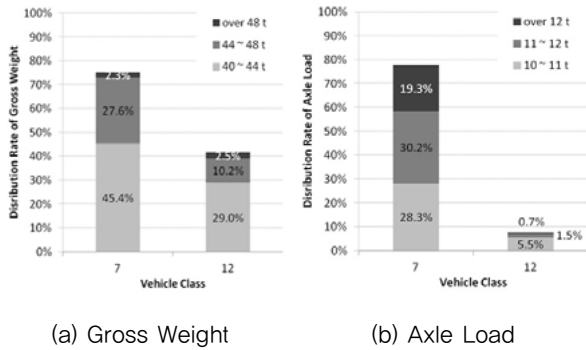


Fig 9. Load Distribution of Overweighted Vehicles (Seonsan)

Fig. 10은 단속 전 두 지역의 7종 및 12종 화물차량의 평균 총중량을 통계한 결과이다.

두 지역의 노선이 다름에도 불구하고 차량 1대당 평균중량값은 매우 유사하게 나타나 목적지에 따른 적재중량 특이점은 거의 없는 것으로 판단된다. 7종 화물차량은 두 지역 평균 41.7톤의 총중량으로 주행한 것으로 나타났으며, 12종 화물차량은 두 지역 평균 약 38.7톤의 총중량으로 각 노선을 운행한 것으로 나타났다. 고발 기준인 44톤 이상의 총중량을 기록한 12종 화물차량의 평균 중량은 두 지역 평균 47.5톤으로 나타났으며, 48톤 이상의 총중량을 기록한 차량들의 평균은 53.4톤으로 집계되어 앞서 언급한 바와 같이 12종 화물차량의 총중량 과적실태가 심각한 것으로 분석되었다.

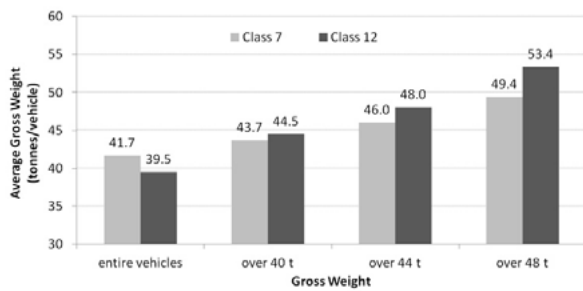


Fig. 10(a) Average Gross Weight per Vehicle (Kimcheon)

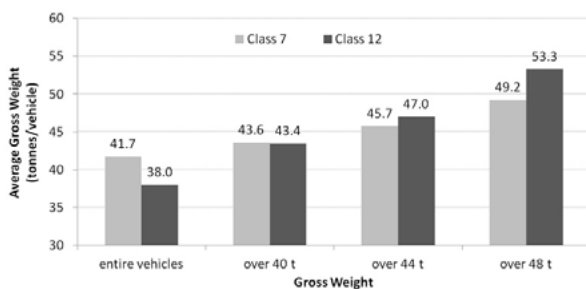


Fig. 10(b) Average Gross Weight per Vehicle (Seonsan)

7종 및 12종 화물차량의 1대당 평균 중량값이 높은 원인은 가변축 조작에 따른 것으로, 차량 대부분 1~2개의 가변축이 있어 적재중량에 따라 가변축을 사용하고 있기 때문이다. 5축 1단위 차량인 7종 화물차량의 경우 화물을 적재하지 않은 경우나 비교적 가벼운 화물을 적재하였을 경우 1개의 가변축을 들어올려 4축 상태로 운행이 가능하며 이 경우 과적단속시스템 상 6종 화물차량으로 분류된다. 마찬가지로 6축 2단위 세미 트레일러인 12종 화물차량은 1~2개의 가변축을 들어 올려 주행할 경우 과적단속시스템 상 8종 또는 10종 트레일러로 분류되기 때문에 7종이나 12종 화물차량으로 분류되는 차량들은 대부분 일정 중량 이상의 화물을 적재한 경우로 추정할 수 있다.

3.2. 단속 후 과적 위반 비율 감소 현황 분석

단속 시점 후 2개월 동안 4종 이상 화물교통량은 김천 지역 246,061대, 선산 지역 389,894대로 집계되었으며, 두 지역의 차종 구성 비율, 차종별 과적비율 및 중량 분포 등이 유사하게 통계되어 두 지역의 평균값을 바탕으로 단속 전 대비 과적감소율을 분석하였다. 단속 후 차종별 구성률을 단속 전과 비교하여 Table 10에 정리하였으며 전반적인 양상이 단속 전과 유사함을 알 수 있다.

Table 10. Traffic Changes with the Enforcement

Vehicle Class	4	5	6	7	8	9	10	11	10	Total
Before Enforcement(%)	31.9	27.3	7.9	12.6	3.8	0.4	11.7	0.6	3.7	100 (688,243)
After Enforcement(%)	30.7	27.8	7.4	13.4	4.1	0.4	12.0	0.7	3.7	100 (635,955)
Variation	-1.3	0.4	-0.5	0.7	0.2	-	0.3	-	-	-

과적 단속 전·후의 과적교통량 비율을 Fig. 11에 비교하였다. 단속 후 운행제한 기준을 초과한 화물교통량의 비율은 20%로 집계되었으며, 고발 기준을 초과한 화물교통량 비율은 8%를 기록하였다. 교통량으로 환산할 경우, 단속 전에 비해 운행제한 기준 초과 차량은 12%, 고발 기준 초과 차량은 27%, 운행제한 기준의 120%를 초과한 차량은 42%의 교통량이 감소한 것으로 나타났다. 특히 총중량 48톤 이상의 교통량은 단속 전 0.55%에서 단속 후 0.05%로 약 91%가 감소하였다.

Fig. 12는 총중량 40톤 이상을 기록한 7종과 12종 화물차량을 대상으로 총중량 범위에 따른 차량 구성비율을 단속 전 데이터와 비교한 결과이다. 7종 화물차량 중

총중량 40톤 이상의 화물차량 비율은 단속 전 74%에서 단속 후 69%로 낮아졌으며, 44톤 이상 차량 비율도 단속 전 약 30%에서 단속 후 약 14%로 낮아졌음을 알 수 있다. 반면 40~44톤 범위의 차량 비율은 단속 전에 비해 약 10% 증가하였으며, 이는 단속 전 총중량 고발 기준인 44톤 이상으로 운행하던 과적차량의 상당수가 단속 후 44톤 미만으로 운행하였음을 의미한다.

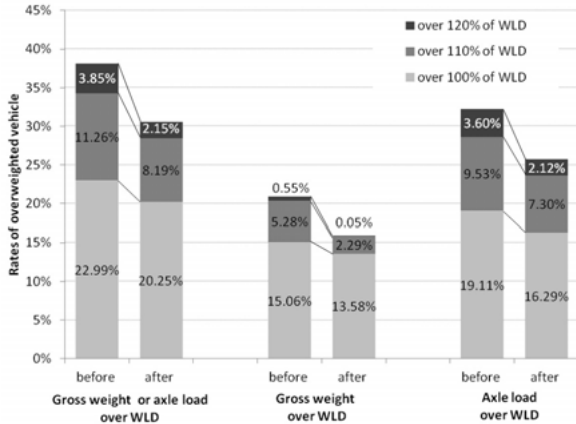


Fig. 11 Changes of Overweighted Vehicle Rates with the Enforcement

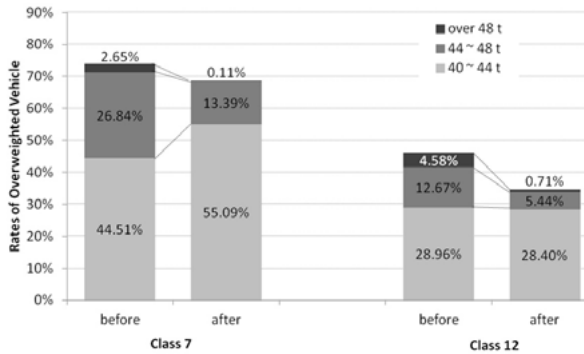


Fig. 12 Changes of Composition Rates for Gross Weight with the Enforcement

단속 전 12종 화물차량 중 총중량 40톤 이상을 기록한 차량 대수의 비율은 46%였으나 단속 후 35%로 낮아졌으며 특히 총중량 48톤 이상의 차량 비율은 0.7%로 집계되어 단속 전 동일 조건 교통량에 비해 85%가 감소하였다. 40~44톤 범위의 차량 비율은 단속 전과 큰 차이가 없음을 알 수 있으며 이는 총중량 과적 차량 중 일부가 노선을 변경하여 운행하였거나 Table 10의 7종 화물차량과 같이 교통량이 일부 증가한 차종으로 화물이 분산되었을 것으로 추정된다.

Fig. 13은 7종과 12종 화물차량의 축중량 분포 변화를 나타낸 그래프이다. 단속 전 전체 7종 화물차량의 약

20%에 달했던 12톤 이상의 축중량을 기록한 차량비율이 단속 후 10.4%로 낮아져 실제 교통량은 약 47% 감소하였으며, 축중량 고발 기준값인 11톤 미만의 축중량 차량 비율은 단속 후 증가하는 양상을 보였다. 12종 화물차량의 단속 후 축중량 분포는 단속 전에 비해 전반적으로 감소하였으며 단속에 따른 총중량 감소가 축중량 감소에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

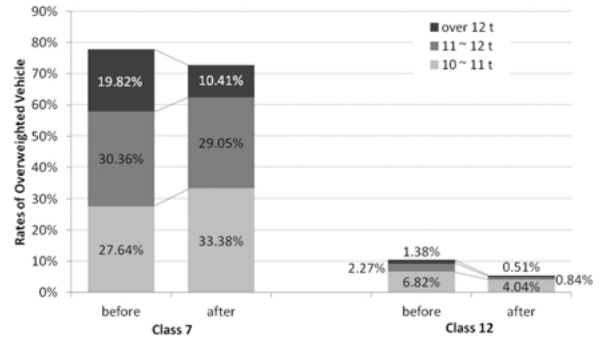


Fig. 13 Changes of Composition Rates for Axle Load with the Enforcement

다음 Table 11은 단속 전·후 각 2개월 동안 4종 이상 전체 화물교통량, 7종 및 12종 화물차량의 총중량을 누적한 결과이다. 단속 전 전체 화물차량의 총중량 누적값은 15,304,071톤이며 그 중 48톤 이상으로 통행한 차량들의 중량합계는 191,382톤으로 약 1.3%를 보인 반면, 단속 후에는 0.1%의 비율로 감소하여 91%의 감소

Table 11. Changes of the Cumulative Gross Weights with the Enforcement

Classification	Before enforcement		After enforcement		Rate of percent change	
	tons	%	tons	%		
Class 7	all	3,629,972	100.0	3,459,990	100.0	0.0%
	under 40 tons	820,253	22.6	970,344	28.0	+24.1%
	40~44 tons	1,632,552	45.0	1,974,407	57.1	+26.9%
	44~48 tons	1,063,360	29.3	510,723	14.8	-49.6%
	over 48 tons	113,807	3.1	4,516	0.1	-95.8%
Class 12	all	983,889	100.0	870,901	100.0	0.0%
	under 40 tons	467,292	47.5	525,829	60.4	+27.1%
	40~44 tons	307,937	31.3	278,479	32.0	+2.2%
	44~48 tons	146,608	14.9	57,781	6.6	-55.5%
	over 48 tons	62,052	6.3	8,811	1.0	-84.0%
Entire truck traffic	all	15,304,071	100.0	13,970,614	100.0	0.0%
	under 40 tons	10,803,014	70.6	10,301,038	73.7	+4.5%
	40~44 tons	2,828,367	18.5	3,014,981	21.6	+16.8%
	44~48 tons	1,481,308	9.7	639,399	4.6	-52.7%
	over 48 tons	191,382	1.3	15,196	0.1	-91.3%

율을 보였다. 전반적인 양상은 총중량 고발 기준인 44톤을 기준으로, 전체 화물차량 중 44톤을 초과한 화물차량의 중량합계 비율은 단속 전에 비해 감소하였으며, 44톤 미만의 화물차량 중량합계 비율은 단속 전에 비해 증가한 것을 알 수 있다. 특히 7종과 12종 화물차량의 경우, 40톤 미만으로 운행한 차량의 총중량 누적 비율은 단속 전에 비해 20% 이상 증가하여 과적단속시스템 운영으로 인해 과적차량의 운행이 억제되고 정상 적재차량의 운행이 증가한 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 과적단속 방법의 문제점을 보완하고 단속효율성을 향상시킬 수 있는 과적단속시스템을 간략히 소개하였다. 고속축중기는 주행 중인 차량의 축중량을 실시간으로 계산하여 제공해야 하기 때문에 중량데이터의 정확도 및 신뢰도가 중요하며, COST 323과 ASTM의 등급평가 결과를 바탕으로 고속축중기의 성능을 검증하였다. 또한 연구목표인 과적단속시스템 운영으로 인한 과적억제 효과를 분석하기 위해 고속축중기가 설치된 고속도로 2개 노선의 단속 전·후 각 2개월의 교통량 및 축중량 데이터를 통계하여 비교하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 축중량 데이터의 유효성을 확보하기 위해 2종의 시험 트럭을 이용하여 고속축중기의 등급을 평가한 결과, 김천, 선산 지역의 고속축중기 모두 COST 323의 A(5) 등급 및 ASTM E 1318의 Type III 등급을 확보하였으며, 해당 등급은 모두 데이터 통계 목적은 물론 직접적인 과적단속이 가능한 등급으로 판정되었다.
2. 단속 전 2개월의 화물교통량 및 축중량 데이터를 바탕으로 단속 전 각 노선의 차종 별 과적 실태를 분석한 결과, 두 노선의 과적비율은 유사하였으며 7종과 12종 화물차량의 과적비율이 타 차종에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 7종 화물교통량의 약 30%, 12종 화물교통량의 약 17%는 총중량 44톤 이

상으로 운행하였으며 특히, 7종 화물교통량의 50%는 고발 기준인 축중량 11톤 이상으로 운행한 것으로 나타났다.

3. 두 지역의 단속 후 2개월의 화물교통량을 단속 전 데이터와 비교하여 고속축중기를 이용한 과적단속의 과적억제효과를 분석하였다. 그 결과, 전체 화물교통량 대비 고발 기준값 이상으로 주행한 교통량은 단속 전에 비해 27% 감소하였고, 운행제한 기준의 120%를 초과한 교통량은 42% 감소하였다. 특히 총중량 48톤을 초과한 차량의 비율은 단속 전 대비 91%의 감소율을 보였다.
4. 4종 이상 전체 화물교통량의 총중량을 누적하여 단속 전·후를 비교한 결과, 전체 총중량 누적값 대비 44~48톤 범위로 운행한 차량들의 총중량 누적값의 비율은 53% 감소하였으며, 48톤 이상의 총중량 누적값 비율은 단속 전에 비해 약 91%가 감소하였다. 반면 총중량 고발 기준인 44톤 미만으로 운행한 차량의 중량 합계 비율은 단속 전에 비해 증가하였으며 이는 과적단속시스템이 전반적인 과적중량 감소를 유도하고 과적차량 운행을 억제하는 것으로 나타났다.

References

ASTME 1318, 2002, *Standard Specification for highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods*, American Society for Testing and Materials International.

Bernard Jacob and Hans van Loo, 2012, *Standardization of Weigh-In-Motion in Europe, 6th International conference on Weigh-In-Motion*, Dallas, US.

LCPC, 1999, *COST 323 : Weigh in Motion of Road Vehicles, Final Report of the COST 323 Action*, Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, France.

Kwon, Soon-min, Suh, Young-chan, 2009, Development and Application of the High Speed Weigh-in-motion for Overweight Enforcement, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 42, 69~ 78

(접수일 : 2012. 8. 7 / 심사일 : 2012. 8. 13 / 심사완료일 : 2012. 8. 24)