

# 고속 축중기를 이용한 고속도로 과적 시범단속 시행효과 분석

## An Effectiveness Analysis of Pilot Enforcement for Overweight Vehicles(Trucks) using High-Speed Weigh-In-Motion System

최 윤 혁\*

(Yoon-Hyuk Choi)

(Korea Expressway Corporation  
Research Institute)

권 순 민\*\*

(Soon-Min Kwon)

(Korea Expressway Corporation  
Research Institute)

박 민 석\*\*\*

(Min-Seok Park)

(Korea Expressway Corporation  
Research Institute)

### 요 약

한국도로공사에서는 2012년 1월 16일부터 5월 31일까지 고속 축중기를 이용하여 경부선 195.0k(김천)과 중부내륙선 119.5k(선산) 구간에서 과적 시범단속을 실시하였다. 본 연구에서는 이를 활용하여 과적 시범단속 시행 전과 후, 각 8주의 교통량 및 평균 총중량 비교를 통해 과적단속의 실제적인 효과를 분석하고자 하였으며, 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 과적 시범단속 전후의 교통량 및 총중량 변화를 분석한 결과, 교통량은 시행 전과 후의 차이가 없었지만, 총중량은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 화물 교통량이 줄어서 총중량이 줄어든 것이 아니라, 시범단속을 통해 총중량이 감소함을 의미한 것으로 과적단속의 효과가 있음을 알 수 있다. 둘째, 시행 전과 후의 주별 총 교통량 및 평균 총중량 추이를 분석한 결과, 과적단속 시작을 기점으로 급격하게 감소했다가, 다시 점차 증가하는 추이를 보이고 있었다. 이는 시범단속에 대한 풍선효과로, 향후 지속적인 과적단속이 필요함을 알 수 있다. 다만, 본 연구는 시범단속 기간에 대한 연구로 향후 장기간 교통량 및 총중량 변화에 대한 분석과 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

핵심어 : 화물차, 과적단속, 고속도로, 시행효과, 고속축중기

### ABSTRACT

On January 16 to May 31, 2012, Korea Expressway Corporation was carried out a pilot overweight enforcement using high-speed weigh-in-motion at Gyeongbu expressway 195.0k (Gimcheon) and Jungbunaeryuk expressway 119.5k (Seonsan). In this study, it is attempted to analyze the practical effect of high-speed weigh-in-motion by comparing the average total weight and traffic volume of eight weeks before and after the these overweight enforcement, respectively. The main results are as follows: First, the result of analysis of the change in average total weight and traffic volume, it was found that it did not differ after as in previous traffic volume, and the total weight is reduced. This means that the total weight is not reduced by decreasing freight traffic, but by decreasing the total weight. Therefore, it can be seen that there is an effect of pilot overweight enforcement using high-speed weigh-in-motion. Second, the average total weight and total weekly traffic volume decreased rapidly starting from the start of the overweight enforcement, but there was showing a tendency to increase gradually again.

**Key words** : Truck, Overweight Enforcement, Expressway, Effectiveness, High-Speed Weigh-In-Motion(WIM)

† 본 논문은 대한교통학회의 제69회 학술대회에 발표되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

\* 주저자 및 교신저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원

\*\* 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원

\*\*\* 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원

† Corresponding author : Yoon-Hyuk Choi(Korea Expressway Corporation Research Institute), E-mail : yhchoi76@ex.co.kr

† Received 9 November 2015; reviewed 11 December 2015; Accepted 31 March 2016

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

과적 화물차는 차량의 제원에 의거한 적재 중량을 초과하여 무거운 화물을 싣고 다녀서 도로와 교량을 파손시키는 주범이다. Korea Expressway Corporation(2012)에 의하면 국내뿐만 아니라 2007년 미국 I-35교 30명 사망, 파키스탄 카라치교 10명 사망, 베트남 하우강교 55명 사망 등 다른 국가에서도 과적차량에 의해 발생하는 사고가 점점 심각해지고 있는 실정이다[1]. 동 보고서에서는 과적차량은 고속도로에서 위협적인 존재가 되고 있을 뿐만 아니라 과적차량으로 인한 피해를 경제적 가치로 환산하면 연간 손실비용이 324억원에 달함을 밝히고 있으며, 과적 화물차 1대가 지나가는 것은 승용차 39만대가 다니는 것과 맞먹으며, 과적차량 등 대형화물차의 사망사고 유발 비율은 승용차의 4배 이상을 차지한다고 밝히고 있다[1].

고속국도는 현재 모든 영업소 입구에서 고정식 축중기, 이동식축중기 등을 이용하여 지속적으로 전수 단속하고 있으나 차량개조를 통한 축조작 적발 실적은 미비한 실정이다. 고속국도의 고정식축중기는 대부분 저속축중기로 단패드와 다중패드로 구성되어 있으나, 단패드는 패드가 1열 밖에 없어 차축 들기, 유압잭 장착, 랜딩기어 장착, 슬라이드장착 등 다양한 차량개조를 통한 축조작 적발이 어렵다. 이를 보완하기 위해 설치한 3열 다중패드 또한 대형 화물차량의 축조작을 적발하기에는 한계가 있다. 실제 5, 6축 차량을 동원하여 축조작 시험을 실시한 결과 5축 화물차의 경우 3축의 압력조정으로 3열 다중패드는 2.35톤, 단패드는 최대 8.8톤의 중량 감소가 가능한 것으로 확인되었다. 따라서 고속국도의 경우 저속축중기의 축조작 차량 적발 한계에 따라 고속축중기에 의한 무인 고속 단속체계 수립이 필요하다. 따라서 화물차의 과적단속은 반드시 필요하며, 보다 효율적인 과적단속을 위한 다양한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 고속 주행환경에서도 중량 검측이 가능하여 기존 저속 축중기

에 비해 효율적으로 화물차의 과적단속이 가능한 고속 축중기를 이용한 고속도로 과적 시범단속 시행효과를 분석하고 시사점을 도출하고자 한다.

## II. 기존 사례 및 문헌고찰

Yang(1992)은 고속도로 대형자동차 운행 실태 및 교통사고 요인분석과 대안에 관한 연구에서 고속도로 상에서 발생하는 교통사고의 특성을 인적, 차량적, 도로 및 환경적 요인을 대형자동차 교통사고를 중심으로 심층 분석에 대한 해결방안을 제시하였다[2]. Lee(1995)는 과적차량의 실태와 상부구조에 미치는 영향에 관한 연구에서 고속도로 및 일반국도의 교량 구조물의 하중 초과차량에 의한 실제 응력을 검토, 도로교시방서에서 제시하는 일반 표준트럭 하중과의 응력을 비교 분석하였다[3]. Han and Choo(2000)은 화물자동차운송의 과적 차량 단속체계 개선방안 연구에서 우리나라의 화물자동차 운송현황과 향후의 운송추이, 과적차량운행 원인과 영향 그리고 과적단속 체계와 현황 등 현장의 문제점에 대한 개선방안을 제시하였다[4]. Lee(2003)는 화물자동차 과적차량 처벌 개선방안 연구에서 과적차량의 운행을 완전히 근절시킬 수 있는 처벌체계의 개선방안을 제시하였으며 하중초과차량 처벌의 재구성 요소에 대한 전반적인 실태를 분석하고 이를 통하여 문제점을 도출하고 그에 따른 개선방안을 제시하였다[5]. Kwon and Seo(2009)는 고속 축하중 측정 시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안 연구에서 과적단속의 효율화를 위해 고속 축하중 측정 시스템을 개발하고 이를 통해 국내 고속도로 과적 화물차 행태 분석을 실시하며, 동 시스템을 활용한 과적단속시스템 개발 가능성에 대하여 검토하였다[6]. Kwon et al.(2010)는 과적단속을 위한 고속 축중기 시스템의 성능향상 방안 연구에서 고속 축중기(HS-WIM : High speed Weigh-In-Motion)를 활용하여 무인·무정차 과적단속시스템을 개발하기 위한 고속 축중기 시스템의 성능향상 방안을 제시하였다[7]. Kwon et al.(2012)는 고속 축중기를 활용한 과적단속시스템의 과적 억제효과분석에서 고속 축중기는

주행 중인 차량의 축 중량을 실시간으로 계산하여 제공해야 하기 때문에 중량데이터의 정확도 및 신뢰도가 중요하며, COST 323과 ASTM의 등급평가 결과를 바탕으로 고속 축중기의 성능을 검증하였다[8].

전술한 것과 화물차의 과적으로 인한 사회적 비용 때문에 외국에서는 고속 축중기를 이용한 과적 단속체계를 운영해오고 있지만, 아직 국내에서는 이와 관련된 연구가 부족한 실정이다. WIM의 성공적인 도입과 운영을 위해서는 센서 개발, 관련 시스템 구축, 축하중 성능검증 등도 필요하지만, WIM 시스템을 통해서 실제 과적차량들이 얼마나 줄었는지, 실제 차량들의 하중이 얼마나 줄었는지를 확인하는 것이 보다 더 중요하다고 할 수 있다. 그러나 기존 연구에서는 과적에 의해 포장에 미치는 영향 등에 관한 연구, WIM 검지기 자체의 성능평가 등 제한적인 분석이 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 WIM을 통해 과적단속이 시행됨에 따라 실제적으로 화물차 교통량, 총중량 등이 시행 전과 후로 어떻게 변화하였는지를 분석하여 통계적으로 WIM을 통한 과적단속의 시행효과와 가능성을 분석하고자 하였다. 특히 본 연구는 고속 축중기를 이용한 시범단속의 시행 전후의 효과를 분석하였으므로 향후 본 연구를 통해 고속 축중기의 확대 적용에 기여할 것으로 판단된다.

### Ⅲ. 연구의 범위 및 방법론

#### 1. 연구의 범위

한국도로공사에서는 2012년 1월 16일부터 5월 31일까지 고속 축중기를 이용하여 경부선 195.0k(김천)과 중부내륙선 119.5k(선산) 구간에서 과적단속을 시범적으로 실시하였다. 연구의 시간적 범위는 시범 과적단속을 시행하기 전 2011년 11월 21일에서 2012년 1월 15일까지, 시행 후 2012년 1월 16일에서 3월 11일까지, 시행 전과 후 각각 8주간의 기간이다. 분석은 일단위와 주단위(week)로 시행하였다. 연구의 공간적 범위는 시범 단속구간인 경부고속도로 195.0k(김천, 서울방향)와 중부내륙고속도로 119.5k

(선산, 여주방향)로 선정하여 분석을 실시하였다.

현재 고속도로의 과적 단속은 입구영업소에서 저속 축중기를 통해 시행되고 있다. 축중기에서 과적으로 검출된 차량은 과적으로 고발되고 고속도로 진입이 금지된다. 본 시범기간 동안은 고속 축중기에서 측정된 중량정보를 전방에 설치된 VMS를 통해 제공하고 과적여부를 명시하였다. 과적의심 차량은 이동단속반에 의해 휴게소 혹은 줄임컷터 등 중량을 재 검측할 수 있는 공간으로 안내되고, 재검측 이후 고발되었다.

#### 2. 연구의 방법론

분석을 위해 WIM 데이터를 이용하였으며, 제공되는 정보 중 분류된 차종과 교통량 그리고 총중량 정보를 추출하여 분석하였다. 분석에 앞서 WIM 데이터의 정확도에 대한 논란이 있을 수 있으며, 본 연구에서는 Kwon et al.(2012) 연구에 제시된 결과를 준용하도록 한다. 동 연구에서는 한국도로공사에서 운영하고 있는 고속축중기의 법정계량기 대비 상대오차를 계산하고 WIM의 중량 검측 정확도에 따른 등급을 분류하기 위해 시험차량 3대를 이용하여 법정계량소 및 고속축중기에서 중량을 검측하였다. 2011년 9월에서 12월 사이 4회의 평가 시험을 실시하였다. 시험방법은 콘크리트 분동을 이용하여 시험차량에 하중을 재하 하였으며, 법정계량기에서 총중량 및 축별 중량을 측정, 기록한 후 고속축중기 설치지역을 통과하여 생성된 데이터와 비교하였다. 분석 결과, 총중량은 상대오차  $\pm 5\%$ , 축중량은  $\pm 10\%$  미만으로 분석되었으며, 이를 COST 323 등급판정 기준에 의해서 평가하면 A(5) 등급으로 판정되었음을 밝히고 있다[8].<sup>1)</sup>

WIM자료의 차종구분은 국토교통부의 12종 차종 분류를 준용하고 있다. 국토교통부 12종 차종 중에서 화물차는 3종 이상에 해당된다. 그러나 3, 4종 차량은 소형 화물차이고 교통량은 많으나 40톤 이상의 짐을 실을 수 없어, 과적단속의 효과를 오관할 수 있으므로 이는 분석대상에서 제외하였다. 따라

1) 자세한 내용은 Kwon et al.(2012) 참조

<Table 1> Comparison of average gross vehicle weight(gvw) and total traffic volume by Truck type (Before and after)

(Unit : vehicle/day, kg/vehicle, %)

			Truck type								
			5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Gimcheon	Traffic volume	Before (A)	59,887	22,694	43,794	12,450	730	31,244	1,847	12,235	184,881
		After (B)	53,658	18,510	41,929	11,492	666	27,780	1,760	10,971	166,766
		Variation rate (B-A)/A	-10.4%	-18.4%	-4.3%	-7.7%	-8.8%	-11.1%	-4.7%	-10.3%	-9.8%
	Ave. Gross weight	Before (A)	19,455	27,524	41,526	16,738	22,211	34,451	37,606	45,095	30,576
		After (B)	19,144	27,658	40,901	16,301	19,981	32,152	36,213	37,727	28,760
		Variation rate (B-A)/A	-1.6%	0.5%	-1.5%	-2.6%	-10.0%	-6.7%	-3.7%	-16.3%	-5.9%
Seonsan	Traffic volume	Before (A)	113,442	27,286	36,707	11,884	1,637	43,490	2,037	11,192	247,675
		After (B)	106,997	24,368	35,394	12,342	1,380	41,436	2,113	10,395	234,425
		Variation rate (B-A)/A	-5.7%	-10.7%	-3.6%	3.9%	-15.7%	-4.7%	3.7%	-7.1%	-5.3%
	Ave. Gross weight	Before (A)	25,082	38,674	50,251	18,601	21,533	42,452	32,698	37,867	33,665
		After (B)	19,084	26,762	40,398	17,808	20,888	31,878	30,715	36,345	26,175
		Variation rate (B-A)/A	-23.9%	-30.8%	-19.6%	-4.3%	-3.0%	-24.9%	-6.1%	-4.0%	-22.2%

서 본 연구에서는 5종부터 12종 까지, 중·대형 화물차종에 한하여 비교 분석을 실시하였다.

주요 분석내용은 다음과 같다. 첫째, 화물차종별 과적단속 시행 전·후의 총 교통량 및 평균 총중량을 비교하였다. 둘째, 시행 전·후를 각각의 변수로 설정하여 T-Test 검증을 실시하였다. 셋째, 화물차종별 과적단속 시행 전·후의 교통량 및 평균 총중량의 변화 추이를 주별로 분석하였다.

#### IV. 분석결과

##### 1. 시행 전후 비교

화물차종별로 과적단속 시행 전·후의 총 교통량 및 평균 총중량을 비교하였다. 비교 결과는 <Table 1>과 같다. 과적단속 시행 전 대비 시행 후를 비교한 결과, 교통량과 총중량 모두 감소한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 김천과 선산 모두 동일하게 나타났다. 김천의 경우 시행 후에 9.8% 교통량이 감소하였고, 선산의 경우 5.3% 교통량이 감소하는 추이를 나타내고 있다. 총중량의 경우도 마찬가지로 김천과 선산 모두 과적단속 시행 전보다 시행 후에 감소하는 추이를 나타내고 있다. 김천의 경우 약 5.9% 총중량이 감소하였고, 선산의 경우 약 22.2% 총중량이 감소하는 추이를 나타내고 있다. 과적단속 전후 김천과 선산의 교통량 변화율은 유사하나 총중량 변화율은 큰 이유는 김천의 경우 주

로 대구경북권역에서 움직이는 차량으로 과적단속에 덜 민감하지만, 선산을 이용하는 차량은 대구경북권에서 수도권으로 이동하는 차량으로 과적에 민감하게 반응한 것으로 판단된다.

차종별로 살펴보면 교통량은, 김천의 경우 6종 화물차가 -18.4%로 변화폭이 가장 컸고, 7종 화물차가 -4.3%로 변화폭이 가장 작았다. 선산의 경우 6종 화물차가 -30.8%로 변화폭이 가장 컸고, 9종 화물차가 -3.0%로 가장 변화폭이 작았다. 김천의 7종, 12종, 선산의 7종, 10종 차량은 과적 시범단속 이전의 평균 총중량이 40톤을 넘어 이들 차량의 대다수가 과적을 하고 있음을 알 수 있다. 전반적으로 김천보다는 선산을 이용하는 차량의 총중량이 높은 것으로 나타났는데, 이는 전술한 것과 같이 선산은 주로 장거리를 이동하는 차량이 많아 중량이 김천보다 상대적으로 높은 것으로 보인다. 또한 장거리 화물 이동의 특성상 과적이 많은 것으로 판단된다.

도로법에 의하면 화물차의 총중량 허용기준은 40톤이나, 10%의 오차율을 적용하여 실제로는 44톤을 초과하는 차량이 과적으로 적발된다. 따라서 시범단속 이전에 7종과 12종의 차량의 평균 총중량이 44톤에 육박하고 시범단속 이후에도 40톤에 이른다는 이야기는 대부분 차량이 만차 운행하고 있으며, 다수의 차량이 과적 운행하고 있음을 알려준다. 특히 김천의 12종, 선산의 7종은 각각 45톤에서 약 50톤에 이르던 총중량이 WIM을 이용한 시범단속 이후 모두 40톤

<Table 2> T-test Result

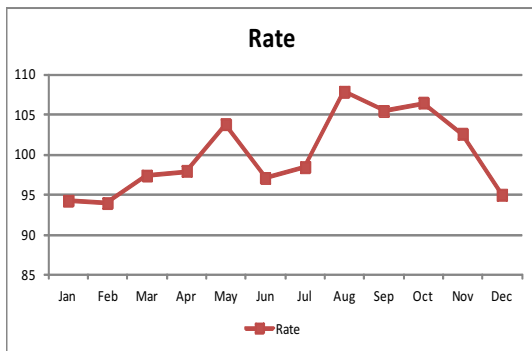
		Levene's test		T-test			
		F	p-value	t	df	p-value	mean difference
Gimcheon	Traffic volume	0.935	0.036	1.046	109.000	0.298	1901.753
	Ave. Gross weight	4.079	0.046	2.128	109.000	0.036*	12666.638
Seonsan	Traffic volume	21.198	0.000	-3.486	91.323	0.066	-1553.105
	Ave. Gross weight	37.273	0.000	4.122	52.933	0.000*	84505.245

Note) \* : Significant at a level of p-value 0.05

이하로 떨어져 시범단속의 효과가 매우 크다는 것을 직관적으로 알 수 있다. 따라서 결과적으로 WIM을 통한 과적단속이 효과적이라고 판단된다.

그러나 <Table 1>의 분석결과를 자세히 살펴보면, 교통량과 총중량이 모두 감소하여 일각에서 우려하는 것처럼 WIM을 이용한 과적단속의 효과가 적재량 감소의 효과보다는 교통량 감소의 효과가 크다는 반론 역시 제기할 수 있다. 과적차량이 WIM이 설치된 구간만을 우회하여 통행한다는 것이 바로 그것이다.

다만 본 연구의 시간적 범위는 11월에서 3월까지로 월별 교통량 변화를 고려한다면 시범단속 이전인 11월에서 1월 교통량이 시범단속 이후인 1월에서 3월 교통량보다 많은 것은 당연하다. <Fig. 1>에서 보는 바와 같이 일반적으로 고속도로 교통량은 10월에 가장 많다가 급격히 감소하며 익년 1월에는 가장 적고 이후 서서히 증가하는 패턴을 보인다. 1월의 교통량은 평균적인 교통량을 100으로 봤을 때 약 94.2에 불과하며, 11월은 약 102.5에 해당된다. 따라서 이 같은 패턴을 고려할 경우 시범기간 전후의 교통량 변화는 당연한 것으로 판단되나, 이에 대한 통계적인 분석이 필요하다.



<Fig. 1> Changes of monthly traffic volumes on Expwpy

T-test는 t분포를 사용한 검정의 방식으로, 두개의 정규분포에 따르는 모집단  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ ,  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 에서 추출된 표본자료로부터, 모평균  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ 가 같은가 아닌가를 검정하거나, 하나의 정규 모집단에서 추출된 표본 자료로부터 계산되는 표본평균이 모평균에 같은가 아닌가를 검정하는 등에 사용된다.

본 연구에서는 과적단속 시행 전·후의 교통량 및 총중량의 감소여부의 통계적인 검증을 위해 T-test를 실시하였다. 고속도로를 이용하는 화물차량은 정기적으로 특정한 지역을 운행하는 경우도 있지만, 부정기적인 화물수송이 더 많으므로 본 연구에서는 독립표본으로 가정하여 분석을 시행하였다. 과적단속 시행 전과 후, 교통량과 총중량에 대한 변화를 T-test로 검증하였으며, 결과는 <Table 2>와 같다.

T-test에 앞서 실시간 등분산 검증결과 김천과 선산 모두 등분산으로 판정되지 않았다. 이는 전술한 것과 같이 계절 요인과 과적 시범단속 등에 의해서 교통량과 총중량의 변화가 커 발생된 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 등분산이 아닌 분포에서의 T-test를 시행하였고, 그 결과 김천의 경우 교통량은 동일하지만, 총중량은 동일하지 않은 것으로 판정되었다. 선산도 김천과 마찬가지로 교통량은 동일하지만, 총중량은 동일하지 않은 것으로 판정되었다. 즉, WIM을 이용한 과적단속을 통해 총화물교통량은 차이가 없었지만, 총중량은 감소했다고 볼 수 있다. 이는 WIM을 통한 과적단속의 긍정적인 효과를 나타낸 것이라 할 수 있다. 왜냐하면 일각에서 우려하고 있는 WIM을 통한 과적단속의 부정적 측면은 과적차량이 WIM이 설치된 구간만을 우회하여 통행한다는 것이다. 그러나 본 분석을 통해 확인된 화물차량의 통행패턴은 WIM을 통해 화물차의 전체적인 통행량은 통계적으로 유의미한 변

화가 없지만, 총중량에서는 유의미한 변화가 있다는 것이다. 즉, 화물 교통량이 줄어서 평균 총중량이 줄어든 것이 아니라, 시범단속을 통해서 그 효과가 나타났다는 것이다. 다만 본 분석에서는 T-test 시행 시 양측검정을 시행하였으며, 이는 중량 측면에서는 줄어든다는 것은 단측 검정이 맞으나, 교통량은 증가하거나 감소할 수 있으므로 전체적인 측면에서 변화를 고려한다는 측면에서 양측 검정을 시행하였다.

## 2. 차종별 비교

과적단속 시행 전·후로 교통량 및 총중량이

감소하였지만, 교통량은 통계적으로 차이가 없고, 총중량은 차이가 있는 것으로 나타났다. 단 <Table 3>처럼 이 추세는 차종별로 차이가 있는 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 이러한 차종별 변화를 확인하기 위해 T-test를 세부적으로 시행하였다. 김천의 경우 교통량은 6종을 제외하고는 모두 교통량의 변화가 없는 것으로 나타났으며, 총중량은 6종과, 10종, 12종은 변화가 없고, 나머지는 변화가 있는 것으로 나타났다. 특히 평균 총중량이 40톤을 넘었던 7종의 경우 시범단속 전후의 총중량 차이가 통계적

<Table 3> T-test Result by vehicle type

		Levene's test		T-test				
		F	p-value	t	df	p-value	mean difference	
Gimcheon	Traffic volume	5	1.344	0.249*	1.101	109.000	0.273	469.05357
		6	0.384	0.537*	2.334	109.000	0.021*	412.22727
		7	1.002	0.319*	0.296	109.000	0.767	137.83182
		8	0.879	0.350*	0.964	109.000	0.337	107.00779
		9	0.013	0.908*	0.927	109.000	0.356	8.33961
		10	0.808	0.371*	1.257	109.000	0.212	528.37662
		11	2.839	0.095*	0.374	109.000	0.709	10.80357
		12	0.859	0.356*	1.052	109.000	0.295	228.11299
	total	0.935	0.036	1.046	109.000	0.298	1901.753	
	Ave. Gross weight	5	2.518	0.115*	2.510	109.000	0.014*	443.89085
		6	1.193	0.277*	0.594	109.000	0.554	175.63811
		7	57.101	0.000	2.136	70.054	0.036*	478.68872
		8	0.957	0.330*	3.355	109.000	0.001*	523.90211
		9	0.921	0.339*	2.293	109.000	0.024*	2114.73555
10		3.378	0.069*	1.234	109.000	0.220*	1777.60255	
11		0.177	0.675*	3.028	109.000	0.003*	1298.79865	
12		3.361	0.069*	1.358	109.000	0.177	5853.38162	
total	4.079	0.046	2.128	109.000	0.036*	12666.638		
Seonsan	Traffic volume	5	4.845	0.030	-0.098	103.606	0.922	-16.33036
		6	129.567	0.000	-11.593	59.202	0.000*	-1430.56981
		7	6.483	0.012	5.304	94.666	0.000*	249.53036
		8	93.708	0.000	-10.064	62.314	0.000*	-419.30086
		9	108.694	0.000	-14.653	56.840	0.000*	-193.51321
		10	142.832	0.000	17.859	52.120	0.000*	795.47513
		11	141.867	0.000	-14.979	54.234	0.000*	-714.94786
		12	100.477	0.000	13.616	54.793	0.000*	175.91055
	total	21.198	0.000	-3.486	91.323	0.066	-1553.105	
	Ave. Gross weight	5	44.112	0.000	3.499	52.378	0.001*	4974.64321
		6	13.510	0.000	1.956	52.020	0.056	26629.25651
		7	21.641	0.000	2.445	52.040	0.018*	11291.14605
		8	6.130	0.015	1.321	52.055	0.192*	16818.20678
		9	0.366	0.546*	0.927	106.000	0.356	709.47757
10		16.667	0.000	2.165	52.022	0.035*	12769.89014	
11		0.064	0.800*	1.236	105.000	0.219	498.40048	
12		12.949	0.000	2.073	52.094	0.043*	9580.10224	
total	37.273	0.000	4.122	52.933	0.000*	20128.481		

Note) \* : Significant at a level of p-value 0.05

으로 유의한 것으로 나타나 WIM을 이용한 시범단속의 효과가 있는 것으로 나타났다. 선산의 경우 교통량은 5종을 제외하고는 모두 교통량의 변화가 있는 것으로 나타났으며, 총중량은 6종, 8종, 9종, 11

종은 변화가 없고, 나머지는 변화가 있는 것으로 나타났다. 김천과 마찬가지로 평균 총중량이 50톤에 육박했던 7종이 시범단속 전후 총중량 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

<Table 4> Comparison of weekly traffic volume by truck type (Gimcheon, Before and after)

(Unit : vehicle/week, %)

		Truck type								
		5	6	7	8	9	10	11	12	total
Before	2011-11-Fourth week	7,759	2,732	5,761	1,614	83	4,003	232	1,606	23,790
	2011-11-Fifth week	7,586	2,829	5,746	1,545	82	3,776	229	1,475	23,268
	2011-12-First week	7,407	2,701	5,658	1,558	112	3,932	219	1,582	23,169
	2011-12-Second week	7,442	2,926	5,454	1,597	78	3,972	212	1,626	23,307
	2011-12-Third week	7,380	2,973	5,068	1,660	103	4,011	231	1,474	22,900
	2011-12-Fourth week	6,594	2,817	4,751	1,505	90	3,643	215	1,387	21,002
	2012-1-First week	7,608	2,566	5,702	1,409	80	3,819	252	1,547	22,983
	2012-1-Second week	8,111	3,150	5,654	1,562	102	4,088	257	1,538	24,462
Total (A)		59,887	22,694	43,794	12,450	730	31,244	1,847	12,235	184,881
After	2012-1-Third week	6,849	2,585	4,705	1,399	82	3,520	234	1,388	20,762
	2012-1-Fourth week	4,608	1,533	3,579	1,113	58	2,685	164	1,015	14,755
	2012-1-Fifth week	8,489	2,856	6,327	1,613	100	4,367	267	1,644	25,663
	2012-2-First week	7,309	2,676	5,475	1,661	97	3,746	227	1,460	22,651
	2012-2-Second week	7,162	2,403	5,626	1,590	83	3,624	241	1,485	22,214
	2012-2-Third week	7,161	2,510	5,855	1,637	88	3,728	221	1,554	22,754
	2012-2-Fourth week	6,600	2,151	5,551	1,461	82	3,151	207	1,295	20,498
	2012-3-First week	5,480	1,796	4,811	1,018	76	2,959	199	1,130	17,469
Total (B)		53,658	18,510	41,929	11,492	666	27,780	1,760	10,971	166,766
Variation rate (B-A)/A		-10.4%	-18.4%	-4.3%	-7.7%	-8.8%	-11.1%	-4.7%	-10.3%	-9.8%

<Table 5> Comparison of weekly average gross vehicle weight(gvw) by truck type (Gimcheon, Before and after)

(Unit : vehicle/week, %)

		Truck type								
		5	6	7	8	9	10	11	12	total
Before	2011-11-Fourth week	20,591	29,187	43,881	17,811	24,133	34,795	39,808	41,440	31,027
	2011-11-Fifth week	20,587	29,741	43,849	17,683	24,047	34,697	39,752	41,629	31,076
	2011-12-First week	19,398	27,646	41,339	16,595	21,537	32,767	37,691	39,504	29,354
	2011-12-Second week	18,702	27,016	40,103	16,225	20,872	31,752	36,855	38,189	28,340
	2011-12-Third week	18,712	26,148	40,006	16,222	21,751	31,238	36,109	37,574	27,807
	2011-12-Fourth week	18,901	26,621	40,609	16,404	21,319	31,717	36,811	38,284	28,365
	2012-1-First week	19,186	27,247	40,711	16,290	22,937	31,640	37,320	38,737	28,846
	2012-1-Second week	19,432	26,790	41,281	16,638	21,616	46,344	36,542	85,029	34,062
Total (A)		19,455	27,524	41,526	16,738	22,211	34,451	37,606	45,095	29,914
After	2012-1-Third week	19,507	27,187	41,494	16,612	21,732	32,982	37,237	39,033	29,049
	2012-1-Fourth week	19,126	27,592	41,057	16,058	12,983	31,703	36,348	37,630	28,823
	2012-1-Fifth week	19,144	28,239	40,500	16,497	21,798	31,760	35,796	37,127	28,737
	2012-2-First week	18,975	27,796	40,678	16,163	19,863	32,131	36,087	37,725	28,616
	2012-2-Second week	19,045	27,081	40,974	16,213	22,807	32,329	36,587	37,879	28,896
	2012-2-Third week	19,021	28,382	40,821	16,413	20,197	32,164	36,242	37,398	29,056
	2012-2-Fourth week	19,071	27,171	40,979	16,333	18,828	32,006	36,513	37,566	28,991
	2012-3-First week	19,307	27,604	40,905	15,961	19,098	32,103	34,806	37,528	29,435
Total (B)		19,144	27,658	40,901	16,301	19,981	32,152	36,213	37,727	28,936
Variation rate (B-A)/A		-1.6%	0.5%	-1.5%	-2.6%	-10.0%	-6.7%	-3.7%	-16.3%	-3.3%

<Table 6> Comparison of weekly traffic volume by truck type (Seonsan, Before and after)

(Unit : vehicle/week, %)

		Truck type								
		5	6	7	8	9	10	11	12	total
Before	2011-11-Fourth week	12,334	3,063	4,306	1,342	273	5,022	223	1,424	27,987
	2011-11-Fifth week	12,628	3,115	4,256	1,340	135	4,948	234	1,315	27,971
	2011-12-First week	15,223	3,477	5,086	1,542	210	5,754	275	1,427	32,994
	2011-12-Second week	14,594	3,657	4,978	1,494	215	5,651	275	1,557	32,421
	2011-12-Third week	14,665	3,725	4,270	1,686	220	5,739	253	1,443	32,001
	2011-12-Fourth week	13,341	3,208	4,032	1,491	169	5,076	222	1,279	28,818
	2012-1-First week	14,857	3,398	4,864	1,324	200	5,338	274	1,298	31,553
	2012-1-Second week	15,800	3,643	4,915	1,665	215	5,962	281	1,449	33,930
Total (A)		113,442	27,286	36,707	11,884	1,637	43,490	2,037	11,192	247,675
After	2012-1-Third week	14,202	3,248	4,118	1,674	198	5,406	249	1,342	30,437
	2012-1-Fourth week	8,504	1,848	2,893	987	179	3,770	155	888	19,224
	2012-1-Fifth week	14,019	3,184	4,388	1,503	161	5,035	234	1,259	29,783
	2012-2-First week	12,394	2,847	4,023	1,427	155	4,619	236	1,086	26,787
	2012-2-Second week	14,046	3,080	4,870	1,823	166	5,411	245	1,450	31,091
	2012-2-Third week	15,084	3,605	5,073	1,877	209	5,851	266	1,515	33,480
	2012-2-Fourth week	14,103	3,361	4,963	1,559	147	5,502	260	1,276	31,171
	2012-3-First week	14,645	3,195	5,066	1,492	165	5,842	468	1,579	32,452
Total (B)		106,997	24,368	35,394	12,342	1,380	41,436	2,113	10,395	234,425
Variation rate (B-A)/A		-5.7%	-10.7%	-3.6%	3.9%	-15.7%	-4.7%	3.7%	-7.1%	-5.3%

<Table 7> Comparison of weekly average gross vehicle weight(gvw) by truck type (Seonsan, Before and after)

(Unit : vehicle/week, %)

		Truck type								
		5	6	7	8	9	10	11	12	total
Before	2011-11-Fourth week	20,020	28,790	42,787	19,025	21,204	33,588	33,043	39,452	27,974
	2011-11-Fifth week	20,109	28,264	42,599	19,049	23,196	33,563	32,830	38,597	27,759
	2011-12-First week	24,531	28,529	42,130	19,171	21,853	42,189	33,228	38,328	31,147
	2011-12-Second week	25,109	28,101	41,257	18,469	21,141	54,520	31,630	37,322	33,362
	2011-12-Third week	31,708	54,048	55,416	18,293	21,445	54,293	32,965	37,015	40,994
	2011-12-Fourth week	31,165	51,878	66,077	18,124	20,701	32,212	33,886	37,007	38,084
	2012-1-First week	26,222	49,966	72,682	18,477	21,677	32,362	32,549	37,843	37,159
	2012-1-Second week	21,153	38,301	41,259	18,327	21,593	52,469	31,804	37,407	32,056
Total (A)		25,082	38,674	50,251	18,601	21,533	42,452	32,698	37,867	33,665
After	2012-1-Third week	19,334	27,325	40,825	18,186	23,351	32,064	31,876	36,912	26,196
	2012-1-Fourth week	18,940	26,579	40,158	17,385	15,814	31,344	31,244	35,893	26,073
	2012-1-Fifth week	18,765	26,312	39,705	17,545	21,027	31,525	31,279	35,558	25,573
	2012-2-First week	18,933	25,988	39,929	17,810	20,918	31,621	31,974	36,076	25,785
	2012-2-Second week	19,027	26,417	40,625	17,666	21,876	32,051	31,945	36,674	26,269
	2012-2-Third week	19,115	26,994	40,528	17,804	21,621	31,846	32,076	36,055	26,245
	2012-2-Fourth week	19,181	26,940	40,526	17,856	20,069	31,925	31,903	36,530	26,420
	2012-3-First week	19,289	27,318	40,684	18,059	22,082	32,386	26,927	36,756	26,695
Total (B)		19,084	26,762	40,398	17,808	20,888	31,878	30,715	36,345	26,175
Variation rate (B-A)/A		-23.9%	-30.8%	-19.6%	-4.3%	-3.0%	-24.9%	-6.1%	-4.0%	-22.2%



### 3. 주별 비교분석

과적 시범단속 시행 전후의 교통량 및 총중량의 변화는 지점별, 차종별로 다양하게 나타났다. 특히 김천과 선산은 교통량 및 하중에서도 서로 다른 분포를 나타냈다. 전술한 것과 같이 등분산 검정결과 김천과 선산 모두 등분산으로 판정되지 않았으며, 이는 계절별 요인과 과적 시범단속에 의해서 교통량과 총중량의 변화가 커 발생된 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 보다 세부적인 패턴을 분석하기 위해 주별 비교 분석을 시행하였다.

김천의 경우, 교통량은 11월 이후에 감소하다가 익년 1월에 11월 수준으로 회복하다가 시범단속 이후에 설 연휴 등과 겹쳐서 10주에는 급격하게 감소했다가 이후 다시 증가했다가 다시 감소하는 추세를 보이고 있다. 이러한 교통량 변화 패턴은 시계열적인 고속도로 교통량 변화 패턴과 매우 유사하다. 총중량은 큰 변화 없이 유지되다가 시범단속 이후에 감소하고 시범단속 기간이 길어지면서 다시 증가되는 추세를 보이고 있다.

선산의 경우, 연말과 설 연휴 등에 교통량이 감소하는 패턴은 유사하지만, 전반적으로 교통량이 증가하는 패턴을 보이고 있다. 이는 시계열적인 고속도로 교통량 변화 패턴과는 상이한 것으로 중부 내륙선에 위치하여 대구경북권에서 수도권으로 향하는 화물이동의 특성이 반영된 결과로 보인다. 총중량도 교통량과 유사하게 시범단속 전에는 꾸준히 증가하다가 시범단속 이후 감소되고 지속되다가 이후 증가하는 패턴을 보인다.

과적단속 시행 전과 후의 교통량 및 평균 총중량을 주별로 분석한 결과는 다음과 같다. 첫 번째로 교통량과 총중량은 과적단속 시작을 기점으로 하여 급격하게 줄었다가 약 2~3주 후 부터는 다시 증가하는 추세를 보였다. 과적단속에 대한 효과가 있었지만, 시범단속으로 인해 다시 그 효과가 감소되는 현상을 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, 총중량의 경우 시범단속 기간의 후반부에는 급격한 증가추세를 보여 지속적인 단속이 필요할 것으로 판단된다. 두 번째로 총중량이 높은 차종은 7종, 11종, 12종

화물차로 나타났다. 국토교통부의 분류기준에 따르면, 7종은 중형화물차, 8종~12종은 대형화물차로 구분되지만, 실제 차종별 총중량은 7종이 가장 높게 나타났다. 7종은 1단위 차량 중 가장 축수가 많은 화물차이며, 11종, 12종은 2단위 차량으로 폴 트레일러 혹은 세미트레일러가 해당된다. 7종, 11종, 12종 화물차의 경우 다른 화물차종에 비해 과적운행의 가능성이 높다는 것을 의미하므로, 이에 대한 대비책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

### V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 WIM을 통해 과적단속이 시행됨에 따라 실제적으로 화물차 교통량, 총중량 등이 시행 전과 후로 어떻게 변화하였는지를 분석하여 통계적으로 WIM을 통한 과적단속의 시행효과와 가능성을 분석하고자 하였다. 특히 일부에서 우려하는 것처럼 WIM을 설치해도 과적차량이 WIM이 설치된 구간만을 우회하여 통행하여 WIM을 이용한 과적단속의 효과가 적재량 감소의 효과보다는 교통량 감소의 효과가 클 수 있다는 점을 착안하여 실제 시범단속이 이루어진 기간 전후의 교통량 및 총중량의 변화량을 분석하고 이에 대한 통계적인 차이를 확인하고자 하였다.

과적단속 시행 전·후 총 교통량 및 평균 총중량을 비교 분석한 결과, 교통량과 총중량이 김천과 선산 모두 과적단속 시행 후에 감소하는 추이를 나타내고 있었다. 이에 대한 T-test를 실시한 결과, 교통량의 경우는 시행 전과 후의 차이가 없는 것으로 분석되었고, 총중량의 경우는 시행 전과 후의 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 화물 교통량이 줄어서 총중량이 줄어든 것이 아니라, 시범단속을 통해 총중량이 감소함을 의미한 것으로 과적단속의 효과가 있음을 알 수 있었다. 따라서 WIM을 통한 과적 시범단속의 효과는 충분한 것으로 판단된다. 다만 이는 고속도로가 일반 국도에 비해 우회가 힘들고, 김천과 선산 각각 한 곳에서만 시범단속을 시행하였고, 또한 WIM을 이용한 시범단속의 홍보효과 등이 복합적으로 작용했을 가능성도 있으므로,

본 효과를 일반적으로 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단되며, 향후 보다 세부적이고 구체적인 분석이 필요할 것으로 보인다.

김천과 선산이 갖는 공간적인 특징 때문에 교통량과 총중량의 변화가 다양하게 나타났다. 과적단속 전후 김천과 선산의 교통량 변화율은 유사하나 총중량 변화율은 큰 이유는 김천의 경우 주로 대구 경북권역에서 움직이는 차량으로 과적단속에 덜 민감하지만, 선산을 이용하는 차량은 대구경북권에서 수도권으로 이동하는 차량으로 과적에 민감하게 반응한 것으로 판단된다. 향후 수송품목, 토지이용패턴, 산업구조 등에 대한 복합적인 분석이 이루어진다면 이에 대한 세부적인 특성을 파악할 수 있을 것으로 판단되며, 이는 WIM 설치 위치 등에도 충분히 영향을 미칠 것으로 판단된다.

시행 전과 후를 주별로 총 교통량 및 평균 총중량 추이를 분석한 결과, 과적단속 시작 일을 시점으로 급격하게 총 교통량 및 평균 총중량이 감소했다가, 다시 점차 증가하는 추이를 보이고 있었다. 이는 시범단속에 대한 풍선효과로 지속적인 과적단속이 필요함을 알 수 있다. WIM에 대한 추가적인 설치가 필요할 것으로 보인다.

교통량은 5종 화물차가 가장 많이 나타났으나, 평균 총중량은 7종 화물차가 가장 높은 것을 알 수 있었다. 특히 선산의 경우 과적단속 시행 이전의 평균 총중량이 50톤에 육박하여 WIM을 통한 과적 단속이 시급한 것으로 나타났다. 전체적으로 총중량이 높은 차종은 7종, 11종, 12종으로, 이들 차종은 다른 화물차종에 비해 과적운행의 가능성이 높다는 것을 의미하므로, 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

다만, 본 연구는 시범단속이라는 특정한 기간에 대한 이루어진 연구로 향후 WIM 설치 전과 후에 대한 장기간의 교통량 및 총중량의 변화에 대한 분석과 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 또한 교통량 및 총중량의 변화는 차종별로 또한 계절별로 다양한 특성을 보일 수 있으므로 이러한 세부적인 패턴을 반영하기 위해 분석을 위해 향후 시계열 분석 및 카테고리 분석 등이 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 고속 축중기를 이용한 과적단속의 시효효과를 직접적으로 분석하였지만, 사회적 비용 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 고속 축중기는 저속 축중기와는 달리 영업소가 아닌 고속도로 본선에 설치되며, 단속 역시 직접 단속이 아니라 재검측에 의한 간접 단속되므로 적정 단속 지점, 단속 체계, 단속 방법 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## REFERENCES

- [1] Korea Expressway Corporation(2012), "Status of overweight trucks on expressway," Korea Expressway Corporation.
- [2] Yang B. D.(1992), "Large car service status and highway traffic accidents Factors Study on the alternative," Hanyang University.
- [3] Lee K. H.(1995), "Overweight vehicles on the status and impact analysis of the superstructure," Korea University.
- [4] Han B. S. and Choo C. Y.(2000), "Study on the Reform Plans for Crackdown system of overloaded vehicles in the Cargo vehicle transportation," *The Journal of Korea Logistics Research Association*, vol. 10, no. 1, pp.47-82.
- [5] Lee S. Y.(2003), "A study on more effective penal actions against cargo vehicles violating load limitations," Chungnam University.
- [6] Kwon S. M. and Seo Y. C.(2009), "Development and Application of the High Speed Weigh-in-motion for Overweight Enforcement," *The Journal of Korean society of road engineers*, vol. 11, no. 4, pp.69-78.
- [7] Kwon S. M., Park H. G., Kim J. W. and Kang K. G.(2010), "Improvement of the High Speed Weigh-in-Motion for Overweight Enforcement," *Proceeding of 10th Conference of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, pp.151-156.

[8] Kwon S. M., Jung Y. Y. and Lee K. B.(2012),  
“Overloading Control Effectiveness of Overweight  
Enforcement System using High-Speed Weigh-In-

Motion,” *The Journal of The Korean Society of  
Road Engineers*, vol. 14, no. 5, pp.179-188.

저자소개



최 윤 혁 (Choi, Yoon-Hyuk)

2006년 10월 ~ 현 재 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원  
2010년 2월 : 아주대학교 건설교통공학과 박사(교통공학전공)  
2003년 8월 : 아주대학교 건설교통공학과 석사(교통공학전공)  
2001년 8월 : 아주대학교 환경도시공학부 교통공학 전공  
E-mail : yhchoi76@ex.co.kr



권 순 민 (Kwon, Soon-min)

1998년 3월 ~ 현 재 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원  
2010년 2월 : 한양대학교 교통공학과 박사(교통공학전공)  
1998년 2월 : 한양대학교 교통공학과 석사(교통공학전공)  
1995년 2월 : 한양대학교 교통공학과 학사  
E-mail : soonmini2@ex.co.kr



박 민 석 (Park, Min-Seok)

1997년 1월 ~ 현 재 : 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원  
2008년 2월 : 한양대학교 토목공학과 박사(구조공학전공)  
1997년 2월 : 한양대학교 토목공학과 석사(구조공학전공)  
1995년 2월 : 한양대학교 토목공학 전공  
E-mail : BMS@ex.co.kr