

WIM 자료를 활용한 화물차량의 축중량 추정 모형 개발에 관한 연구

Development of Truck Axle Load Estimation Model Using Weigh-In-Motion Data

오주삼*

Oh, Ju Sam

Abstract

Truck weight data are essential for road infrastructure design, maintenance and management. WIM (Weigh-In-Motion) system provides highway planners, researchers and officials with statistical data. Recently high speed WIM data also uses to support a vehicle weight regulation and enforcement activities. This paper aims at developing axle load estimating models with high speed WIM data collected from national highway. We also suggest a method to estimate axle load using simple regression model for WIM system. The model proposed by this paper, resulted in better axle load estimation in all class of vehicle than conventional model. The developed axle load estimating model will used for on-going or re-calibration procedures to ensure an adequate level of WIM system performance. This model can also be used for missing axle load data imputation in the future.

Keywords : weigh-in-motion, axle load, truck, overload

요 지

축중계를 통한 화물차량의 축하중 자료는 도로의 설계, 유지관리, 시설물 보호 등의 위해서 필수적인 자료이다. 이와 같은 용도로 고속축중계의 자료는 도로계획, 연구자, 공무원들은 고속축중계 자료를 활용한다. 또한 최근에는 중차량에 대한 단속에도 고속축중계의 자료를 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 일반국도에서 수집된 고속축중계 자료를 활용하여 축하중을 추정하는 모형을 개발하였다. 추정된 축하중 추정 모형은 기존의 평균값을 이용한 방법과의 비교를 통하여 개발된 모형에 대한 비교·평가하였다. 축중량 추정에 있어 기존의 평균값을 적용하는 것보다 회귀모형을 적용하는 것이 모든 차종에 걸쳐서 작은 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 향후 이러한 모형은 현장에서 운영되는 고속축중계의 결측자료 보정, 재보정 여부에 대한 평가 등의 목적으로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 고속축중계, 축중량, 화물차, 과적

1. 서 론

도로를 주행하는 화물차량에 대한 중량자료는 도로의 계획, 포장의 설계, 시설물의 유지관리에 없어서는 안 될 필수적인 자료이다. 화물 차량이 이용하는 도로, 시설물을 관리하는 주체들은 시설물을 보호하고 최적으로 유지하기 위해서 법을 위반하여 과적하는 차량에 대해서 시설물 진입을 거부하거나 벌금을 부과하여 왔다. 이는 축중계(WIM: Weigh-In-Motion)라는 계중장비를 통해서 계측된 화물차량의 축중량과 총중량을 기준으로 실시하고 있다. 이와 같은 차량 중량자료의 수집은 중량계측시의 차량의 속도에 따라서 저속축중계와 고속축중계로 분류되고, 그 기준은 통상 25km/hr를 기준으로 나뉘어 진다. 축중계의 종류에 따라서 중량을 계측하는 방식도 저속일 때는 밴딩플레이트와 로드셀 방식을 사용하고, 고속일 때는 피에조 센서를 활용하게 된다. 국내에서 활

용사례를 살펴보면 고속도로 진출·입로와 고정식 과적검문소에서는 저속축중계가 설치되어 운영되고 있다. 한편, 고속축중계는 통계목적으로 일반국도 주행로에 설치된 경우와 고정식 과적 검문소의 전방에 과적 의심차량 선별용으로 주로 사용되고 있다.

또한 2009년 이후로는 고속축중계의 새로운 활용처로 과적차량에 대해서 직접단속을 목적으로 활용하기 위한 방편으로 고속국도와 일반국도의 본선에 설치되고 있다. 즉, 화물차량의 축중량들을 고속주행 상태에서 계측하고 이들 자료를 근거로 하여 축중량과 총중량 규정을 위반한 과적차량 단속에도 활용하고자 하는 동향이 있다. 이와 같이 고속축중계에서 수집된 축중량을 근거로 과태료를 부과하게 되는 경우, 고속축중계가 정확도를 일정 수준이상으로 유지되는 것이 매우 중요한 사항이다. 시스템 특성상 무인으로 운영되는 고속축중계의 정확도가 일정수준 이상으로 유지되는지를 수

*정회원 · 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 첨단교통연구실 수석연구원 (E-mail : jusam@kict.re.kr)

집된 자료를 근거로 실시간으로 평가할 필요가 있다. 이러한 평가를 통하여 해당 고속측중계를 재 보정해야 하는 시점을 정확히 파악할 수 있게 된다.

향후 이러한 목적으로 달성하기 위해서는 고속측중계에서 수집된 축중량 자료에 대해서 그 정확도를 판정할 수 있는 기준이 필요하다. 이러한 기준은 기대되는 축중량 값과 관측된 축중량 값의 비교를 통해서 가능하게 된다. 이러한 필요성에 근거하여 국토해양부에서 차중분류하는 기준인 12종 분류법에서 화물차량인 3종 이상인 차량에 대해서 차중별 축별 중량을 추정할 수 있는 모형을 개발했다. 모형의 개발은 기존의 고속측중계 자료를 활용했으며, 고속측중계 전체의 70% 자료를 활용하여 차중별 축중량을 추정할 수 있는 모형을 만들고 나머지 30% 자료를 활용하여 평가하고, 평가 결과를 기존의 평균값 적용하는 방식과 비교했다.

2. 기존 연구사례 검토

WIM 기술의 원리는 1950년에 개발되기 시작했으나, 당시에는 센서나 자료처리기술 등이 미비했다. 고속측중계가 장비로 개발된 것은 1952년 미국공로청(United State Bureau of Public Roads)의 Norman과 Hopkins에 의해서이다. 이러한 고속측중계 시스템은 도로 노면에 설치되어 주행 중인 차량의 중량, 속도, 차중 등의 교통 매개변수를 측정할 수 있는 차량 검지기(VDS: Vehicle Detection System)의 한 종류이다.

고속측중계의 필요성을 살펴보면, 과적 차량의 운행은 도로 포장, 교량 등의 기능 손상 요인으로 작용하여 도로 구조물의 수명에 유지에 중대한 지장을 초래한다. 또한 도로 구조물의 보수시기를 단속시켜 유지보수 비용을 증가시키는 등의 문제를 야기한다. 과적차량 단속용 축중계는 과적 차량 운행으로 인해 발생하는 여러 문제점들을 사전에 예방하고 도로 구조물을 보호하기 위하여 운행제한 기준을 초과하는 차량의 통행을 단속하기 위한 시설이다. 자료 조사용 고속측중계 시스템은 일반적으로 중량 위반 차량 단속을 위해 법적 증거로 채택될 정도의 정확성을 가지고 있지 않아도 되지만, 과적 차량 단속 검문소에 설치된 축중계 시스템은 과적 차량에 대한 법적 제재의 근거를 제공하기 위해 중량 측정에 있어 높은 정확도를 가져야 한다.

또한 과적 차량 단속 검문소는 중량 측정을 안전하게 수행하기 위하여 본선과는 분리된 중량 측정 공간이 별도로 확보되어야 한다. 이와 같은 과적 차량 단속용 축중계 시스템은 인력을 동원하여 수동으로 중량을 측정하는 것에 비해 중량 측정에 인력이 필요치 않으므로 인건비가 절약되고 동시에 중량 측정 시 발생할 수 있는 조사요원의 안전사고를 예방할 수 있다. 자료 조사용 축중계로 사용되는 고속측중계 시스템은 과적 단속 검문소 전방에 설치되어 정상 속도로 운행하는 화물차량 중 과적차량이라고 의심이 가는 차량만을 고정식 검문소로 유도하여 계승 함으로써 화물차량의 과적혐의 판단에 이용될 수 있으며, 기타 차량들은 검문소를 통과하게 함으로써, 일반 차량들의 지체를 줄일 수 있다.

국내에서 고속측중계 자료에 대한 수집은 주로 통계분석과 교량과 같은 시설물에 대한 모니터링을 목적으로 수집하

고 분석하여 왔다. 그러나 국제적인 추세와 더불어 국내에서도 고속측중계 자료를 활용하여 직접 과적차량에 대한 단속 목적으로 활용 가능성을 검토하는 차원의 연구가 2009년 이후로 국토해양부, 한국도로공사를 중심으로 이루어지고 있다.

고속측중계를 활용한 과적차량에 대한 무인단속과 관련한 권순민(2009) 연구사례를 살펴보면 한국도로공사에서 기존에는 시험도로에서 고속측중계에 대한 연구결과를 바탕으로 본선 대해서 시험에 들어 갔다. 연구에서는 Quartz 타입의 피에조센서를 활용한 축중계로 실험결과를 살펴보면 각 시험 조건별로 전체평균오차가 축중량의 경우 15% 이내, 총중량은 7% 이내인 것으로 제시하고 있다. 정확도 관련해서 평가 결과를 살펴보면, 3축 덤프 트럭의 경우는 공차와 만차에서 각각 5.0%와 9.4%인 것으로 분석하고 있다. 또한 4축 덤프 트럭의 경우는 공차시 3.3%이고 만차에서는 3.7%인 것으로 분석되었다. 또한 5축 카고 트럭에서는 만차에 5.9%, 과적일 때 5.2%로 차량 종류별로 축중량의 평균오차가 상이하다는 결과를 제시하고 있다. 또한 김주현(2010년)의 연구에 따르면 고속 축중량 측정시스템의 개발 및 평가 관련해서 Quartz 타입의 피에조 센서를 활용한 WIM 개발 장비의 정확도는 총중량은 $\pm 6\%$ 이내, 축중량은 $\pm 10\%$ 인 것으로 제시하고 있다.

고속측중계 관련해서 국내에서는 규정이 정립되어 있지 않으나, 외국의 사례를 보면 고속측중계의 기준과 관련해서 미국의 ASTM(E 1318-02)에서 제시되는 것과 1993~1999년에 걸쳐 수행된 유럽의 연구 프로젝트인 COST323(1999)의 산출물로 제시된 유럽규격서로 구분된다. 두 규격서에서는 사용자 요구사항과 그에 따른 시험 방법들을 상세하게 제시하고 있다.

또한 고속측중계의 보정(Calibration) 관련해서는 McCall & Vodrazka(1997)에서 미국 FHWA의 차중분류 중 Class 9에 속하는 차량의 5축 세미트레일러의 조향축의 평균 축중량(4.0톤~4.9톤)에 대한 지속적인 모니터링을 통한 방법을 제시했다. Dalgleish et al.(1992)는 6개월 마다 재 보정하는 작업이 필요하다고 주장 했고, 지속적인 자동보정 기법들이 Dublin(1990)과 Papagiannakis(1996)에 의해서 제시되었다.

3. 축별 중량 추정 모형 구축

3.1 분석대상 자료

고속측중계에서 수집된 자료는 국토해양부에서 지정한 12개 차중으로 분류되고 차량의 속도, 축간거리, 각 차중별 축중량 등을 포함한다. 본 연구에는 차중별로 각 축의 중량을 추정하는 모형 개발에 있어서 화물차량을 대상으로 하기에 전체 수집된 자료 가운데서 1중(승용 및 승합차량)과 2중(대형버스)을 제외하고 3중 이상 차량을 대상으로 하였다. 12종 분류체계에서 3중 이상에 속하는 차중 구분의 기준은 통상 차량의 축수, 단위 수에 따라서 세분화 되고 보다 상세한 것은 표 1에서 보는바와 같다.

분석대상 자료는 10월달(15일간), 11월(22일간), 12월(8일간)과 같이 3달 동안에 걸쳐서 수집된 43,553대의 3중~12중에 속하는 화물차량을 대상으로 하고 있다. 그러나 이들

표 1. 국토해양부의 차종분류 12종 체계(3종 이상 차량)

차종	분류 기준		대표적 차체 및 차축 배열	평균 축거(cm)*				
	축수	단위		축1-2	축2-3	축3-4	축4-5	축5-6
3	2	1		295	-	-	-	-
4		1		477	-	-	-	-
5	3	1		479	184	-	-	-
6	4	1		230	315	133	-	-
7	5	1		178	358	128	132	-
8	4	2		326	767	140	-	-
9	4	2		187	245	207	-	-
10	5	2		319	140	179	127	-
11	5	2		472	131	589	402	-
12	6	2		320	132	656	131	138

주) *: 고속축중계에서 관측된 값의 평균임.

가운데서 2단위의 연결차량인 9종에 속하는 차량은 관측 대상 차량대수(27대)가 적은 관계로 분석대상에서 제외하였다. 수집된 차종별 전체 자료를 모형구축에 활용하는 자료와 평가에 활용하는 자료를 구분하였다. 자료의 구분은 임의성을 배제하기 위해서 통계 패키지인 SPSS 소프트웨어에서 제공하는 무작위 표본추출 기법을 활용하여 전체의 70%를 선정하여 모형구축 자료로 활용하였고, 나머지 각 차종별 30%의 자료를 모형 평가용에 활용하였다. 이와 같이 구분된 자료는 표 2에서 보는바와 같다.

표 2. 축수별, 차종별 분석대상 차량 현황

축수	차종	전체 차량 대수 (대)	모형 평가용 사례 (30% 적용)
2	3	4,073	1,222
	4	6,263	1,879
3	5	6,279	1,884
4	6	6,561	1,968
	8	3,309	993
	9	27	8
5	7	6,512	1,954
	10	9,630	2,889
	11	204	61
6	12	695	209

차종별 축중량 추정 모형을 만들기 위해서 축중량간의 상관분석을 실시한 결과 축간거리가 가까운 인접 축중량과의 상관계수가 높은 것을 알 수 있다. 축의 기능적으로 연동되는 탠덤축의 경우 2개의 축이 매우 높은 상관성을 보이는 것을 알 수 있었다. 가장 높은 상관계수 값을 보이는 것은 6종 차량에서 탠덤축인 3-4축 사이에는 상관계수가 0.98로 매우 높은 것을 알 수 있다. 10종 차량에서는 1축의 하중은 나머지 축들과의 상관계수는 0.49~0.59로 낮은 것을 알 수 있다. 첫 축을 제외한 나머지 축들의 상관계수는 반대로 0.86과 0.91로 높은 것을 알 수 있다. 또한 11종 차량에서는 2축-3축간의 상관계수가 0.92로 높고 나머지 축들 사이의 상관계수는 작은 값을 갖는 것으로 분석되었다. 12종 차량의 경우는 2-3축, 4-5축은 상관계수가 각각 0.92와 0.85로 높은 반면 나머지 축 사이의 상관계수는 작은 것으로 분석되었다.

3.2 차종별 축별 평균 축중량 산출

앞에서 언급한 바와 같이 기존의 연구에 의하면 현장의 고속축중계의 오류여부를 적재하중 유무에 비교적 변화가 적은 미국 FHWA의 차종분류법 상의 Class 9(국내 차종분류상 10종)에 속하는 5축 세미트레일 차량의 첫 축인 조향축의 평균 중량으로 판단하고 있다. 따라서 본 연구에서도 기존의 각 차종별 평균 축중량과 그 변동성에 대한 지표로 변

표 3. 차종별 축별 상관계수 산출 결과

		축중량1	축중량2	축중량3	축중량4	축중량5	축중량6
3종	축중량1	1.00	0.71	-	-	-	-
	축중량2	0.71	1.00	-	-	-	-
4종	축중량1	1.00	0.74	-	-	-	-
	축중량2	0.74	1.00	-	-	-	-
5종	축중량1	1.00	0.60	0.57	-	-	-
	축중량2	0.60	1.00	0.76	-	-	-
	축중량3	0.57	0.76	1.00	-	-	-
6종	축중량1	1.00	0.86	0.85	0.83	-	-
	축중량2	0.86	1.00	0.77	0.75	-	-
	축중량3	0.85	0.77	1.00	0.98	-	-
	축중량4	0.83	0.75	0.98	1.00	-	-
8종	축중량1	1.00	0.44	0.55	0.57	-	-
	축중량2	0.44	1.00	0.56	0.50	-	-
	축중량3	0.55	0.56	1.00	0.89	-	-
	축중량4	0.57	0.50	0.89	1.00	-	-
7종	축중량1	1.00	0.81	0.07	0.39	0.34	-
	축중량2	0.81	1.00	0.00	0.43	0.34	-
	축중량3	0.07	0.00	1.00	-0.09	-0.14	-
	축중량4	0.39	0.43	-0.09	1.00	0.86	-
	축중량5	0.34	0.34	-0.14	0.86	1.00	-
10종	축중량1	1.00	0.49	0.59	0.53	0.55	-
	축중량2	0.49	1.00	0.91	0.86	0.86	-
	축중량3	0.59	0.91	1.00	0.85	0.85	-
	축중량4	0.53	0.86	0.85	1.00	0.96	-
	축중량5	0.55	0.86	0.85	0.96	1.00	-
11종	축중량1	1.00	0.70	0.72	0.20	0.02	-
	축중량2	0.70	1.00	0.92	0.18	-0.03	-
	축중량3	0.72	0.92	1.00	0.06	-0.19	-
	축중량4	0.20	0.18	0.06	1.00	0.78	-
	축중량5	0.02	-0.03	-0.19	0.78	1.00	-
12종	축중량1	1.00	0.53	0.61	0.15	0.22	0.21
	축중량2	0.53	1.00	0.92	-0.06	0.00	0.00
	축중량3	0.61	0.92	1.00	-0.12	-0.04	-0.05
	축중량4	0.15	-0.06	-0.12	1.00	0.85	0.48
	축중량5	0.22	0.00	-0.04	0.85	1.00	0.53

동계수(Coefficient of Variation, 표준편차/평균*100)를 산출하고 연구의 목적에 활용 가능한지를 검토했다.

고속축중계를 통해서 수집된 축 중량별 변동계수를 살펴보면, 축중량 분담측면에서 보면 전반적으로 조향축인 첫째 축에 분담되는 하중은 다른 축에 비해서 적게 할당되는 것을 알 수 있다. 2축 차량인 3종과 4종에서는 둘째 축이 담당하는 중량은 전체의 약 60%대인 것으로 조사되었다. 2-3축이 탠덤인 5종 차량에서는 둘째 축과 셋째 축의 하중 분배가 전체의 71.4%를 차지하고 각각의 축이 50:50으로 동일하게 배분하고 있는 것을 알 수 있다. 6종 차량의 구조는 1-2축 간의 거리가 가깝고 3-4축이 탠덤축이라는 특징을 반영하여 하중 분배 역시 전체하중을 1-2축과 3-4축이 각각 50:50으로

로 하중을 배분하고 개별 축에서도 50:50으로 분배하는 특징을 보이고 있다. 7종 차량은 5축 차량으로 1-2축이 비교적 가깝게 위치하고 또한 3-4-5축이 근접하는 축구조를 갖는다. 3-4-5축이 전체 중량의 67.5%를 차지하고 하중분배를 볼 때 4-5축은 탠덤 축으로 하중을 50:50으로 배분하고 있다. 트레일러 관련 차종인 8, 10, 12종에서는 트레일러 연결부위가 위치하는 둘째 축에 하중이 많은 분배되는 것을 알 수 있다. 즉, 조향축에 중량이 적게 할당되고 둘째 축에 보다 큰 중량이 할당되고 다시 셋째 축에 하중이 적게 할당되는 형태를 갖는다. 또한 7종 차량과 10종 차량의 조향축인 첫 번째 축의 변동계수가 일반적으로 작은 것을 알 수 있다.

표 4. 차종별 축별 및 총중량 평균 및 변동계수

차종		총중량	축중량1	축중량2	축중량3	축중량4	축중량5	축중량6
3	평균(톤)	3.7	1.5	2.2	-	-	-	-
	변동계수(%)	42.9	31.8	55.2	-	-	-	-
4	평균(톤)	9.1	3.6	5.6	-	-	-	-
	변동계수(%)	36.6	32.5	43.2	-	-	-	-
5	평균(톤)	21.0	6.1	7.5	7.5	-	-	-
	변동계수(%)	26.2	23.8	31.4	32.8	-	-	-
6	평균(톤)	22.2	5.3	5.7	5.5	5.6	-	-
	변동계수(%)	47.2	37.7	35.9	63.7	62.5	-	-
7	평균(톤)	39.8	6.4	6.4	7.2	9.8	9.9	-
	변동계수(%)	9.2	13.1	13.7	25.4	11.5	12.8	-
8	평균(톤)	16.2	4.0	6.7	2.6	2.9	-	-
	변동계수(%)	19.0	16.6	14.7	37.2	36.5	-	-
10	평균(톤)	35.3	5.4	7.5	7.0	7.5	7.9	-
	변동계수(%)	25.6	13.0	27.2	27.5	33.1	32.5	-
11	평균(톤)	39.0	6.3	8.5	8.6	7.9	7.6	-
	변동계수(%)	10.5	15.7	13.7	17.6	12.1	16.5	-
12	평균(톤)	37.6	5.1	6.1	5.5	6.8	7.0	7.1
	변동계수(%)	16.7	14.1	29.2	33.0	26.8	26.2	26.5

3.3 차종별 축중량 추정 모형

차종별 축중량 추정할 수 있는 회귀모형을 구축하였다. 축중량 값을 추정하고자 하는 축을 종속변수로 설정하고 나머지 축중량들을 독립변수로 하는 회귀모형으로 구축하였다. 각 차종별 축중량 추정 회귀모형을 구축 시에 독립변수들 가운데서 단계적 선택방식(Stepwise)을 채택하였다. 아울러 독립변수들 사이의 다중공선성 유·무를 판정하기 위해서 공선성 통계량을 검토한 결과 분산팽창계수(VIF: Variance Inflation Factor)값이 10을 넘는 경우는 다중공선성이 존재하는 것으로 판단하였다. 또한 가능한 복수의 모형들 가운데

서 추정오차와 R²에 큰 차이가 없는 경우는 독립변수의 수가 적은 모형을 선택하였다. 최종 선정된 차종별 축별 추정 모형에 대한 세부사항은 부록으로 첨부하였다. 각 차종별 축중량을 추정하는 수식은 아래의 표에서 보는 바와 같다. 대부분의 모형에서 추정하고자 하는 축의 전방 축과 후방 축을 독립변수로 하는 회귀모형으로 만들어 지는 것을 알 수 있다.

3.4 차종별 축중량 추정 모형의 비교 평가

개발 모형과 기존 방식에 따른 축하중 추정 정확도 평가

표 5. 각 차종별 각 축중량 추정 모형

차종	R ²	수식
3	0.50	축중량1 = 0.90 + 0.28 * 축중량2
	0.50	축중량2 = -0.50 + 1.79 * 축중량1
4	0.53	축중량1 = 1.61 + 0.35 * 축중량2
	0.53	축중량2 = 0.18 + 1.50 * 축중량1
5	0.38	축중량1 = 3.09 + 0.25 * 축중량2
	0.62	축중량2 = 0.58 + 0.59 * 축중량3 + 0.40 * 축중량1
	0.60	축중량3 = 0.61 + 0.69 * 축중량2 + 0.28 * 축중량1
6	0.82	축중량1 = 1.04 + 0.50 * 축중량2 + 0.16 * 축중량3
	0.74	축중량2 = 1.26 + 0.75 * 축중량1 + 0.09 * 축중량3
	0.97	축중량3 = -0.52 + 0.90 * 축중량4 + 0.08 * 축중량2
	0.96	축중량4 = 0.21 + 0.98 * 축중량3
7	0.66	축중량1 = 1.48 + 0.77 * 축중량2
	0.66	축중량2 = 0.38 + 0.79 * 축중량1 + 0.10 * 축중량4
	0.03	축중량3 = 9.52 - 0.23 * 축중량5
	0.76	축중량4 = 1.31 + 0.73 * 축중량5 + 0.21 * 축중량2
	0.74	축중량5 = 0.47 + 0.95 * 축중량4

표 5. 계속

차종	R ²	수식
8	0.36	측중량1 = 2.23 + 0.29 * 측중량4 + 0.13 * 측중량2
	0.34	측중량2 = 4.42 + 0.48 * 측중량3 + 0.27 * 측중량1
	0.80	측중량3 = -0.53 + 0.74 * 측중량4 + 0.14 * 측중량2
	0.80	측중량4 = -0.18 + 0.90 * 측중량3 + 0.19 * 측중량1
10	0.34	측중량1 = 3.89 + 0.21 * 측중량3
	0.86	측중량2 = 0.77 + 0.70 * 측중량3 + 0.24 * 측중량4
	0.87	측중량3 = -1.52 + 0.77 * 측중량2 + 0.50 * 측중량1
	0.92	측중량4 = -0.19 + 0.80 * 측중량5 + 0.18 * 측중량2
	0.92	측중량5 = 0.06 + 0.85 * 측중량4 + 0.20 * 측중량3
11	0.50	측중량1 = 2.33 + 0.46 * 측중량3
	0.86	측중량2 = 0.98 + 0.72 * 측중량3 + 0.17 * 측중량5
	0.83	측중량3 = -1.50 + 1.19 * 측중량2
	0.64	측중량4 = 1.82 + 0.59 * 측중량5 + 0.19 * 측중량2
	0.59	측중량5 = -0.36 + 1.00 * 측중량4
12	0.46	측중량1 = 3.1 + 0.25 * 측중량3
	0.85	측중량2 = 0.67 + 0.91 * 측중량3 + 0.06 * 측중량6
	0.87	측중량3 = -1.71 + 0.85 * 측중량2 + 0.40 * 측중량1
	0.75	측중량4 = 0.80 + 0.86 * 측중량5
	0.76	측중량5 = 0.62 + 0.81 * 측중량4 + 0.12 * 측중량6
	0.30	측중량6 = 1.76 + 0.52 * 측중량5 + 0.33 * 측중량1

는 전체 자료 가운데 모형구축에 사용되지 않은 30%의 자료를 대상으로 하였다. 두 가지 방법에 대한 비교·평가를 위한 지표로는 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 사용했다. 평가지표 산출에서 관측값은 30%에 해당하는 고속측중계에서 실제 계측된 값들을 적용했으며, 추정값으로 방법에 따라 기존 모형과 같이 평균값을 적용하거나 혹은

은 개발 모형과 같이 회귀모형에서 산출되는 값을 적용하였다.

평가 결과를 살펴보면 전체적으로 볼 때 회귀모형을 적용하는 경우가 평균값을 적용하는 경우보다 모든 차종, 모든 축에서 추정오차가 작은 것으로 분석되었다. 축의 수가 3축 이하인 3, 4, 5종 단일차량에서 두 방법 모두에서 타 차종

표 6. 평균값 적용방식과의 비교(단위:MAPE)

	차종	1축중량	2축중량	3축중량	4축중량	5축중량	6축중량	평균
평균값 적용	3	26.3	38.3	-	-	-	-	32.3
	4	32.7	53.3	-	-	-	-	43.0
	5	24.4	35.6	41.1	-	-	-	33.7
	6	34.5	30.2	83.8	80.3	-	-	57.2
	7	11.3	11.4	25.6	11.0	10.9	-	14.0
	8	12.3	11.4	20.4	18.1	-	-	15.6
	10	11.8	32.5	32.1	45.7	45.8	-	33.6
	11	11.5	13.9	17.9	10.3	15.4	-	13.8
	12	10.5	28.9	34.1	31.1	30.9	32.6	28.0
회귀모형 적용	3	19.1	27.8	-	-	-	-	23.5
	4	18.3	28.6	-	-	-	-	23.4
	5	17.3	17.5	19.5	-	-	-	18.1
	6	11.1	13.9	7.8	8.0	-	-	10.2
	7	6.2	6.4	25.7	5.3	4.0	-	9.5
	8	11.5	9.6	12.5	10.7	-	-	11.1
	10	8.6	8.4	8.5	7.6	7.5	-	8.1
	11	6.7	4.5	4.7	5.9	9.0	-	6.2
	12	7.9	9.7	11.6	12.7	12.2	25.1	13.2

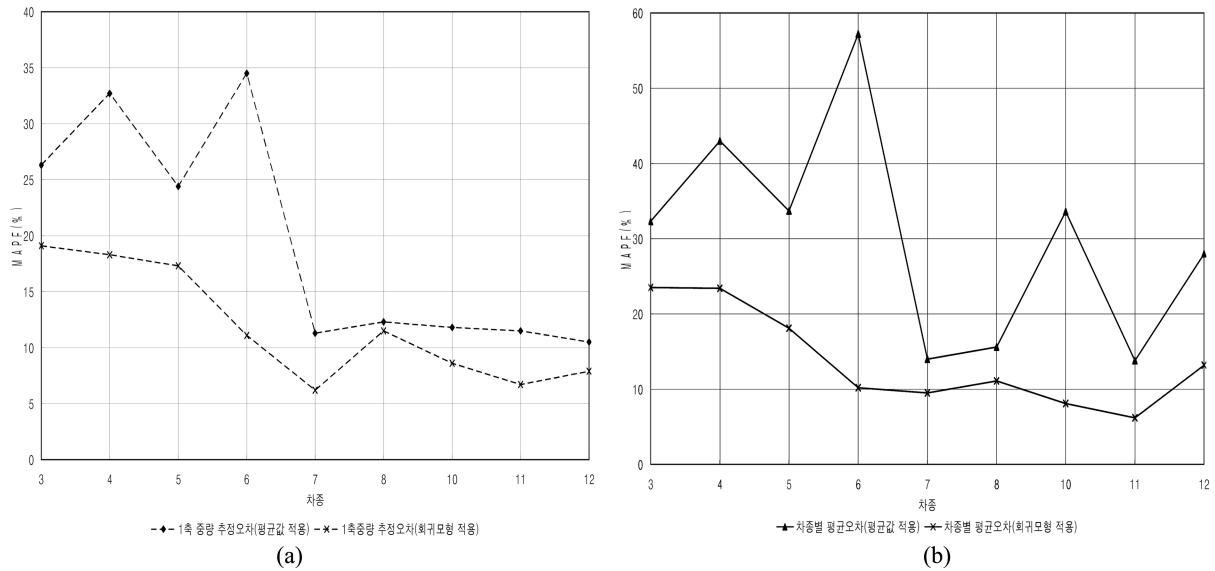


그림 1. (a) 차종별 1축 축중량 추정 오차 백분율(%), (b) 차종별 평균 추정 오차 백분율(%)

보다 추정오차가 큰 것으로 분석되었고, 트레일러 형식의 차량인 10종, 11종, 12종 차량에서 각 축별 추정오차가 작았다.

각 차종별 평균을 보면 11종에서 두 방법 모두에서 가장 작은 오차를 보이는 것을 알 수 있다. 그리고 두 방법 사이의 차가 가장 크게 발생하는 차종은 6종으로 약 47%에 이르는 것을 알 수 있고, 두 방법에 따른 오차가 작은 경우는 7종과 8종인 것으로 분석되었다. 이러한 차이에 대한 원인은 6종의 경우는 회귀모형의 각 축별 중량을 추정하는 모형의 설명력이 0.74~0.97 매우 우수한 모형이기에 평균값으로 적용하는 모형보다 추정오차 감소시키는 효과를 보였고, 7종과 8종 차종의 각 축별 중량 추정모형에서는 각각 0.03~0.74와 0.34~0.80으로 회귀모형에 채택하는 독립변수들이 추정하는 추정치나 평균값을 사용하는 경우나 비슷한 추정오차를 발생시키기 것으로 분석되어 유사한 결과를 보이게 된다. 그리고 차종별로 추정오차가 가장 작은 경우는 회귀모형에 따른 11종으로 6.2%인 것으로 분석되었다.

축별로 비교해 보면 조향축인 첫 축의 경우는 회귀모형 적용에 따른 7종, 11종, 12종차종에서 오차가 비교적 6~7% 수준으로 비교적 작은 것을 알 수 있다. 평균값 적용하는 경우는 7종, 10종, 11종, 12종 차종이 오차가 작은 경우로 10~11% 수준이었다. 2축과 3축 추정에서는 회귀모형에 의한 11종 차종에서 추정오차가 4.5%와 4.7%로 각각 가장 작은 반면, 4축과 5축에서는 회귀모형에 의한 방법을 적용 시 5.3%와 4.0%로 가장 작은 것으로 평가 되었다. 7종 차종에 속하는 차량의 경우는 3축 추정에서 큰 오차로 인하여 기존 모형과 회귀모형 모두 장비 평가나 결측값 보정에 활용하는 것이 적합하지 않은 것을 알 수 있다.

$$MAPE = \sum_{i=1}^N \left| \frac{\text{추정값} - \text{관측값}}{\text{관측값}} \right| * 100 \quad (1)$$

특히 11종 차량에 회귀모형을 적용하는 경우가 각 축에 걸쳐서 일정하게 추정오차가 작은 것으로 판명되어 고속측중계 자료의 결측시 보정이나 정확도 평가시에 활용하는데 유리할 것으로 보인다.

4. 결 론

차량중량 관련 자료는 도로의 설계, 유지관리, 화물물동량 추정 등에 필수적으로 활용된다. 또한 도로를 관리하는 주체들은 관할 도로 및 시설물 보호를 위해서 도로법을 위반하는 차량에 대한 단속활동으로 화물차량의 중량을 계측하는 업무를 수행하고 있다. 이와 같이 다양한 목적으로 수집되는 고속측중계 자료를 활용하여 차종별 차량의 축들을 추정할 수 있는 모형을 개발하였다. 개발된 모형은 기존의 평균값을 활용하여 추정하는 경우와 비교 평가한 결과 회귀모형을 활용하는 것이 모든 차종에서 평균값을 적용하는 방법보다는 추정오차를 작게 할 수 있는 방법임을 알 수 있었다. 회귀모형을 적용하는 경우 각 축별로는 1축, 4축, 5축의 추정에서는 7종 차량이 추정오차가 가장 작았고, 2축과 3축에서는 11종의 차량에서 가장 작았다. 그러나 7종 차량의 경우 3축에 오차가 크게 발생하기에 측중계 장비의 정확도 확보를 재보정의 필요성을 평가시에 하나의 차종 자료를 적용하는 것보다는 축별로 가장 오차를 작게 하는 차종을 적용하는 것이 바람직하다. 일부 모형의 설명이 낮은 모형의 경우 적용시에 유의할 필요가 있다.

이러한 축중량 추정 모형은 향후 다음과 같은 목적으로 활용될 수 있을 것으로 보인다. 첫째, 고속측중계 장비의 정확도에 대한 모니터링 방안으로 운영되고 있는 고속측중계에 수집되는 자료와 개발 모형의 추정 값과의 비교를 통하여 오류를 판정할 수 있는 기준을 마련하는 것이다. 둘째, 통계목적으로 수집하는 일부 자료에서 특정 차종의 특정 축 중량 자료가 결측되는 경우 해당 자료를 활용할 수 없게 된다. 이와 같은 경우 결측된 축중량을 추정 모형을 활용하여 보정하게 되는 경우, 추정 오차를 감안하는 수준에서 활용할 수 있다는 장점이 있다

참고문헌

권순민 외 1인(2009) 고속측중량측정시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안 연구, 한국도로학회 논문집, 한국도로학회, 제11

- 권 4호.
- 권순민 외 1인(2010) 고속도로 무인·무정차 과적단속시스템 개발 현황 소개, **기술정보**, 제12권 2호.
- 김주현(2010) 고속축중량측정시스템의 개발과 평가, **한국도로학회 논문집**, 한국도로학회, 제12권 3호.
- 황의승 외 1인(2010) 온도의 영향에 대한 Weigh-In-Motion 시스템의 차량중량자료 보정기법, **한국도로학회 논문집**, 한국도로학회, 제12권 4호.
- American Society for Testing and Materials (2002) *Standard Specification for Highway Weigh-in-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Method*, ASTM E1318-02.
- COST323 (1999) *European Specification on WIM of road vehicles*, EUCO-COST/323.
- Autoroads (2000) *Weigh-In-Motion Technology*.
- McCall, W. and Vodrazka, Jr. W. C. (1997) *States' Successful Practices Weigh-in-Motion Handbook*, Iowa State University, Ames and Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Ott, W. C. and Papagiannakis, A. T. (1996) *Weigh-in-Motion Data Quality Assurance Based on 3-S2 Steering Axle Load Analysis*, Transportation Research Record 1536.
- Ting Wei and Jon D.Fricker (2003) *Weigh-In-Motion Data Checking and Imputation*, FHWA/IN/JTRP-2003.

(접수일: 2011.3.17/심사일: 2011.6.13/심사완료일: 2011.6.13)