

# 온도의 영향에 대한 Weigh-In-Motion 시스템의 차량중량자료 보정기법

## Calibration Method of Vehicle Weight Data from Weigh-In-Motion System According to Temperature Effects

황 의 승 Hwang, Eui-Seung | 정희원 · 경희대학교 공대대학 토목공학과 교수 (E-mail : eshwang@khu.ac.kr)  
이 상 우 Lee, Sang Woo | 비회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (E-mail : lswassa@naver.com)

### ABSTRACT

The purpose of this study is to develop the calibration method for temperature effects to improve the accuracy of the Weigh-In-Motion(WIM) system for collecting long-term truck weight data. WIM system was installed at a location where the truck traffic volume is high and weight data has been collected from January 2010. In this study, as a calibration measure, the first axle weight of Truck Type 10, the semi tractor-trailer is used based on the fact that the first axle weight is relatively constant, independent of the cargo weight. From this fact, calibration equations are developed from the relationship between the axle weight and the temperature(daily mean, maximum and minimum). Analysis on calibrated weight data shows adequacy of the proposed calibration method. Results of this study can be used to improve the accuracy of the WIM system and to carry out more rational design of pavement and bridge structures.

### KEYWORDS

*weigh-in-motion system, axle weight, temperature, live load model*

### 요지

본 논문의 목적은 장기적인 차량중량자료의 획득을 위하여 설치된 Weigh-In-Motion(WIM)시스템의 정확도를 개선하기 위한 온도 영향 보정기법을 개발하는 것이다. 이를 위해 국내 교통량통계연보에 근거하여 중차량교통량이 많은 지역 중 한 곳을 선정하고 WIM 시스템을 설치하여 2010년 1월부터 차량의 중량자료를 획득하였다. 본 연구에서는 획득한 자료 가운데 5월부터 8월까지의 WIM 자료에 대하여 온도에 따른 영향을 보정하기 위하여 화물적재량에 따른 영향을 가장 덜 받아 상대적으로 일정한 중량값을 나타내는 10종 차량(5축 세미트랙터트레일러)의 첫 번째 축의 중량자료를 이용하였다. 이로부터 일평균, 최대 및 최저기온에 따른 보정식을 개발하였다. 마지막으로 새로 얻어진 차량중량자료를 분석하여 보정방법의 적정함을 나타내었고 재현주기별 극한하중 예측을 통해 보정 전, 후의 자료값의 차이를 비교하였다. 이 연구의 결과는 WIM system으로 얻게 되는 장기적인 차량중량자료의 정확도를 향상시킴으로써 도로포장 설계 및 교량설계를 위한 설계차량활하중모형의 합리적인 선택에 기여할 것으로 판단된다.

### 핵심용어

*weigh-in-motion system, 축중량, 온도, 활하중모형*

## 1. 서론

합리적인 도로포장 및 도로교량의 설계를 위하여 도로상을 주행하는 차량의 중량을 정확하게 파악하는 것이 매우 중요하

다. 특히 총중량과 축중량이 무거운 대형 중차량의 통행특성 및 중량특성은 포장 설계시 사용되는 등가단축하중의 계산과 교량 설계시 사용되는 설계차량활하중모형의 산정에 가장 핵

심적인 자료이며 합리적인 설계값의 산정을 위하여 정확한 자료의 획득이 중요하다. 일반적으로 도로상을 주행하는 중차량의 중량자료 획득은 고정식의 과적검문소를 이용하거나 고속국도의 경우 Toll Gate에서의 중량측정자료를 이용할 수 있으나 중차량의 통행특성에 대한 자료를 확보할 수 없고 계속된 중량값의 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다. 이를 극복하기 위하여 도로의 노면에 센서를 설치하여 고속으로 주행하는 차량의 통행특성 및 중량특성을 획득하는 Weigh-In-Motion(WIM) 시스템이 개발되어 사용되고 있다. 이 시스템은 차량을 정지시키지 않으며 운전자가 인지하지 못한 상태에서 중량이 측정되기 때문에 신뢰성 높은 자료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 반면에 이 시스템은 노면에 설치되는 센서의 차량중량에 대한 응답을 측정하여 중량으로 환산하기 때문에 차량의 진동에 의한 오차가 있으며 시간에 따른 센서의 특성 변화, 온도에 따른 포장체의 변형과 물성변화에 따른 오차가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 WIM시스템으로부터 얻어지는 차량중량자료의 정확도를 향상시키기 위하여 온도에 의한 영향을 분석하고 이를 보정하는 식을 제안하였다. 이를 위하여 국내 교통량통계연보(국토해양부, 2008)에 근거하여 중차량 교통량이 많은 지역 중 한 곳을 선정하고 WIM시스템을 설치하여 2010년 1월부터 차량의 중량자료를 획득하였다. 본 연구에서는 온도에 따른 영향을 보정하기 위하여 화물적재량에 따른 영향을 가장 덜 받는 10종 차량의 첫 번째 축의 중량자료를 이용하였다. 이 방법은 우리나라 차량분류기준상 10종 차량, 즉 5축의 세미트랙터트레일러의 트랙터 앞축의 중량은 적재물의 중량과 상관없이 거의 일정하다는 이론에 근거한 보정방법으로 실제 이 차량의 적재량을 달리하여 측정한 결과 앞축의 중량은 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. 또한 설치된 WIM시스템에 온도센서가 포함되어 있지 않아 시스템 설치현장의 대기온도를 정확히 알 수 없었으므로 현장 인근의 기상청 대기온도자료를 수집하여 분석하였다.

온도자료와 축중량간의 상관관계 분석으로부터 평균기온에 따른 보정식과 하루의 시각에 따른 보정식을 제안하였으며, 새로 보정된 차량중량자료를 분석하여 자료의 적절함을 검증하였다. 한편, 교량설계핵심기술단의 연구(2008)에서 도로교설계기준의 활하중모형을 개발하기 위하여 개발된 방법을 적용하여 재현주기별 극한하중을 예측하였으며 보정 전, 후의 자료값의 차이를 비교하여 보정후의 자료에 대한 분석결과가 이전 연구의 결과와 더 근접하며 합리적임을 검증하였다.

본 연구의 결과를 WIM시스템의 소프트웨어에 내장하여 사용하면 장기적인 차량중량자료의 정확도를 향상시킬 수 있으며, 이에 따라 도로포장 설계 및 교량설계를 위한 설계차량활하중모형의 합리적인 선택에 기여할 것으로 판단된다.

## 2. WIM시스템을 이용한 자료 수집

### 2.1. WIM시스템의 구성

WIM시스템은 센서의 종류 및 구성에 따라 여러 가지 종류가 있는데 본 연구를 위하여 설치된 시스템은 그림 1과 같이 2개의 축중센서(piezo sensor)와 1개의 loop sensor 및 본체(controller)로 구성되어 있다. 축중센서는 특성에 따라 벤딩플레이트(Bending plate)형식, 피에조일렉트릭(Piezo electric)형식, 피에조세라믹(Piezo ceramic)형식, 피에조쿼츠(Piezo quartz)형식 등으로 나누어진다. 벤딩플레이트형식은 주로 저속축중계시스템에, 피에조형식은 고속축중계시스템에 사용된다. 각 형식의 특성은 아래의 표 1과 같다(권순민, 2009, 2010). 본 연구에서는 과적차량의 단속을 하기 보다는 설계축하중모형 또는 교량 활하중모형을 개발하기 위한 연구이므로 축중량의 정밀도는 약간 떨어지지만 설치가 간편한 피에조일렉트릭(Piezo electric) 센서를 설치하였다. loop센서는 차량의 유무와 차량의 길이를 측정하는 역할을 하고 piezo sensor는 차량의 속도, 바퀴의 개수, 하중을 측정하게 된다. 본체에서는 sensor에서 얻은 원시신호를 신호변환기를 통해 의미 있는 실제 데이터로 만들고 저장하게 된다. 이뿐만 아니라 차량길이, 축하중, 축간거리, 차간거리, 저장시간, 차량종류 등의 자료도 얻을 수 있다.

표 1. 센서 종류별 특징

종류	특징	적용 사례
벤딩플레이트 (Bending Plate)	- 중저속에 유리한 구조 - 시공 및 교정에 따른 유지 관리 복잡	- 영업소 - 이동식 축중기
피에조일렉트릭 (Piezo Electric)	- 가격 저렴 - 온도 및 충격오차 심함	- 교통정보시스템 (AVC)
피에조세라믹 (Piezo Ceramic)	- 가격 중저가 - 온도 및 충격오차 심함	- 대부분의 국도 과적 단속 시스템
피에조쿼츠 (Piezo Quartz)	- 가격 고가 - 온도 및 측방충격영향 매우 적음	- 시험도로 - 광안대교 - EU 국가 다수 사용

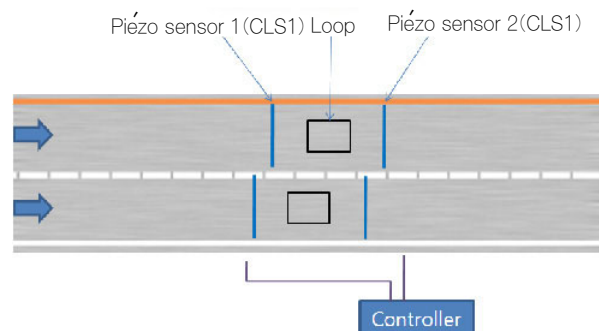


그림 1. WIM시스템의 구성

획득된 자료는 일정한 형식의 자료로 본체안의 저장매체에 저장된다. 국내에서는 WIM시스템의 자료저장형식에 대한 기준이 설정되어 있지 않으므로 도로포장설계 및 교량설계시 이용할 수 있도록, 도착시간정보, 총중량, 축중, 축간거리, 차중 등의 정보가 수집되었으며 표 2에 저장된 차량자료의 예를 보여주고 있다. 저장된 자료는 시스템의 사양에 따라 통신장비를 통하여 즉시 송신되거나 주기적으로 다운로드 될 수 있다.

표 2. WIM시스템에 의하여 수집된 차량자료의 예

저장 시간	속도	차간거리	차종	축수	총축거 (m)	1 축거	2 축거	3 축거	4 축거	총중량 (kN)	1축 중량	2축 중량	3축 중량	4축 중량	5축 중량
10-1-15 21:52	90	0	6	4	7.9	169	488	131	0	169	42	42	43	42	0
10-1-15 22:09	78	0	8	4	9.0	332	441	125	0	76	22	32	16	7	0
10-1-15 22:13	73	351	6	4	7.9	160	495	130	0	109	21	23	30	36	0
10-1-15 22:18	76	0	4	2	4.3	429	0	0	0	47	19	27	0	0	0
10-1-15 22:22	89	0	6	4	6.1	195	277	136	0	370	105	85	95	85	0

## 2.2. WIM시스템의 설치 및 보정시험

포장설계 및 교량 설계의 정확한 차량활하중을 개발하기 위해서는 실제의 차량통행특성을 반영한 장기간의 중차량 자료수집이 매우 중요하다. 이를 위해 교통량통계연보(국토해양부, 2008)를 이용하여 가장 많은 중차량 교통량을 나타내고 ○○번 국도상의 한 지역을 선정하고 시스템을 설치하였다. 그림 2는 센서의 설치모습을 보여주고 있다. 이 도로는 왕복 4차선도로이며 본 연구에서는 시점방향 1,2차로에 WIM시스템을 설치하여 2010년 1월부터 현재까지 계속해서 차량자료를 수집하고 있다.

시스템 설치 후 1월과 4월 두 차례 걸쳐 보정시험을 실시하였다. 이 보정시험은 센서에서 나오는 계량화된 전기적 신호를 중량으로 환산하기 위한 계수값을 구하는 실험으로 임의의 중차량의 중량을 정적 중량측정장치를 이용하여 미리 정확히 계측한 후 다양한 조건에서의 주행실험을 통하여 보정계수를 구하였다(그림 3). 1월의 보정시험은 시스템이 설치된 직후, 센서 설치에 사용되는 에폭시가 완전히 굳기 전에 실시되었기 때문에 그 정확도가 떨어지는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 4월말에 실시된 2차 보정작업 후인 5월부터 8월의 자료에 대해서 분석하였다. 5월 보정값은 1차로 0.074, 2차로 0.1413이다.

## 2.3. 차량 자료 분석

수집된 차량중량자료의 정확성을 검증하기 위하여 2차 보정을 실시한 후인 5월~8월(83일간)의 211,836대의 차량자료를



그림 2. WIM시스템 본체 및 설치된 센서



그림 3. WIM시스템 보정시험

사용하여 분석하였다. 그림 4는 국내의 차량분류기준을 나타낸 것으로 총 12종으로 구분되어 있다(국토해양부, 2007). 그림 5는 차종별 통행빈도를 그린 것으로 승용차 및 승합차를 제외한 중차량 중에서는 10, 6, 7, 4종의 순으로 통행빈도가 나타났다 9종과 11종 차량은 다른 차종에 비해 통행빈도가 아주 작게 나타났다. 이를 통해 10종 차량이 이 지점에서 가장 많이 운행되는 중차량임을 알 수 있었고 ADTT(Average Daily Truck Traffic)가 2552.241대로 중차량, 특히 10종차량의 통행이 매우 빈번함을 알 수 있다. 그림 6은 중차량의 평균 총중량을 월별로 그린 것으로 봄에서 여름으로 계절이 바뀌면서 모든 차종의 평균 총중량이 증가함을 알 수 있다. 이는 산업활동의 계절적 요인에 기인한 것으로 생각될 수도 있으나 모든 차종에서 중량이 증가했으므로 산업활동으로 인한 결과라기보다는 온도의 증가에 따른 영향으로 판단된다. 실제로 포장체에 매설된 WIM시스템의 Piezo센서는 포장체의 온도변화에 따라 응력을 받게 되며 이에 따른 Piezo센서에서의 반응값이 달라지게 된다.



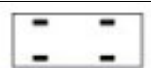
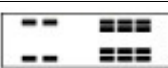






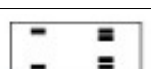



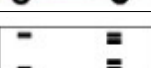
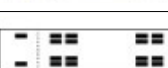
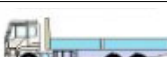

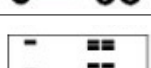



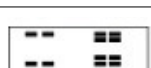
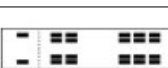
차종	축수	대표 차량	차종	축수	대표차량
		차측 배열			차측 배열
1	2		7	5	
					
2	2		8	4	
					
3	2		9	4	
					
4	2		10	5	
					
5	3		11	5	
					
6	4		12	6	
					

그림 4. 국내 차종분류기준

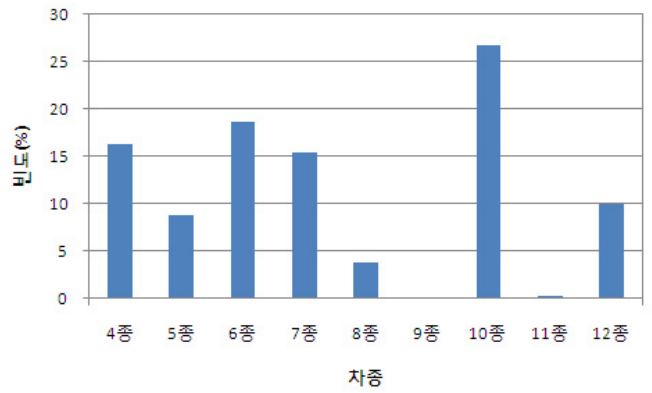


그림 5. 차종별 통행빈도

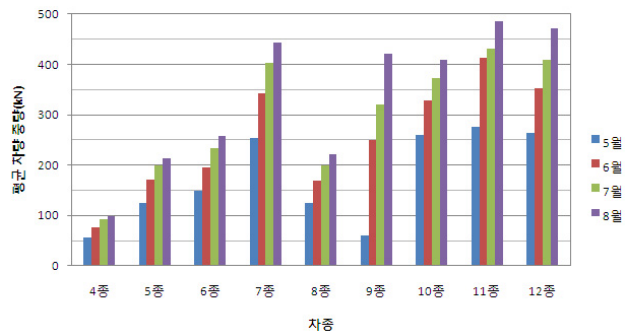


그림 6. 차종별 평균차량중량

### 3. 온도에 따른 보정 기법

#### 3.1. 개요

앞에서 언급한대로 온도에 의한 포장체에서의 응력변화에 따라 WIM센서에서의 차륜 압력에 따른 반응값이 변하게 되고 이에 대한 보정이 필요하게 된다. 온도에 따른 포장체의 응력은 포장체의 평균온도에 따른 인장 또는 압축변형에 의한 효과와 포장체 상하부의 온도구배에 따른 휨변형에 기인한다(남영국, 2004). 이를 정확히 산정하기 위해서는 길이방향의 온도변화와 함께 깊이 방향으로의 온도분포를 구하여야 하므로 여러 개의 온도센서가 설치되어야 하며, 또한 여러 번의 장기적인 보정시험에 의하여 포장체의 온도들과 측정된 중량값과의 관계를 구하여야 한다. 본 연구에서는 포장체의 온도를 측정하지 않고 대기온도를 이용하여 효율성을 높이고 장기간의 보정시험 대신에 거의 일정한 중량값을 보이는 10종 차량, 즉 5축의 세미트랙터트레일러 차량의 앞축 중량을 이용한 보정방법을 개발하였다. 이 방법은 온도센서를 매설할 필요 없이 본체에 온도센서를 설치하여 이용하거나 자료 수집후 인근 기상청의 대기 온도자료를 이용하여 보정할 수 있어 기존의 WIM시스템의 중량자료에 대한 보정이 가능한 장점이 있다. 또한 여러 번의 장기적인 보정시험 없이도 수집된 자료의 분석에 의해 WIM시스

템의 정확성을 검증할 수 있어 장기적인 시스템 운영에 더 적합할 것으로 판단된다.

### 3.2. 10종차량의 일축중량

국내 차량분류기준에 따른 10종 차량은 그림 7과 같이 앞부분의 3축 트랙터가 텐덤축을 갖는 세미트레일러를 끄는 형식의 차량으로 국내 산업물동량 수송에 가장 많이 이용되는 차량형식이다. 이러한 구조 때문에 트레일러 부분에 화물을 적재하더라도 트랙터의 앞축에는 적재량에 상관없이 거의 같은 중량이 배분되게 된다. 이러한 사실을 확인하기 위하여 실제 국내에서 운행되고 있는 10종 차량의 중량을 여러 가지로 달리하여 각 축중을 계측하였다. 계측자료로는 2010년 ○○고속국도와 2006년 국도 ○○번에서 수집한 WIM시스템 자료를 이용하였다. 그 결과는 표 3과 그림 8에 나타내었다. 2010년 자료에서 동일한 10종 차량에 대해 총중량이 144kN에서 411kN인 9대의 차량의 축중을 계측한 결과 일축의 중량은 48kN에서 61kN으로 변화하는데 비해 다섯 번째 축은 19kN에서 89kN까지 변화함을 보여주고 있었다. 또한 2006년 자료에서는 228.3kN에서 504.3kN인 9대의 차량에서 일축중량은 42.2kN에서 60.1kN으로 변화하였다. 이를 통해 다른 축의 중량변화에 비해 일축의 중량변화가 크지 않음을 알 수 있다.

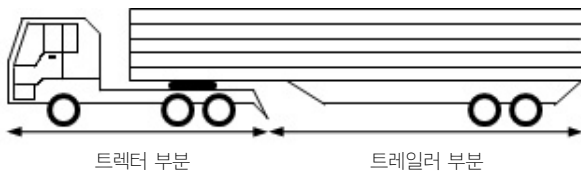
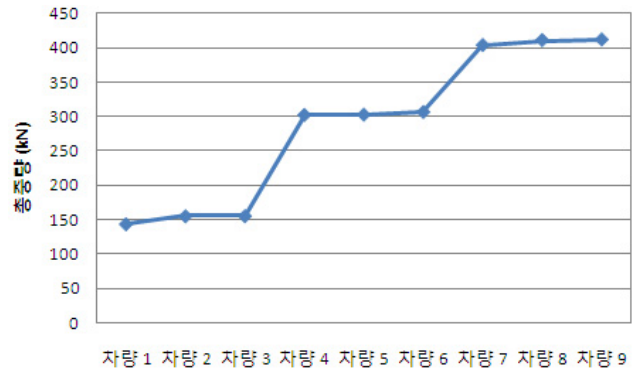


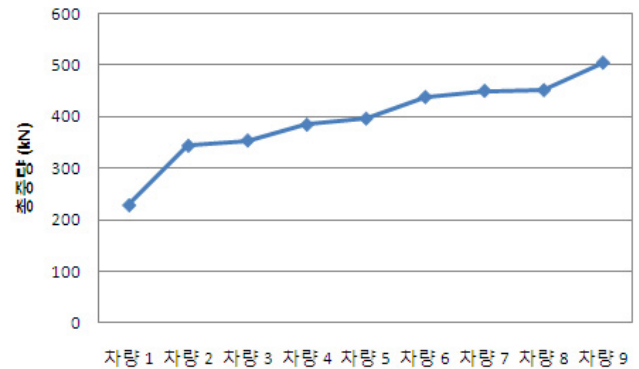
그림 7. 10종 차량의 형태

표 3. 10종 차량의 총중량 및 축중량

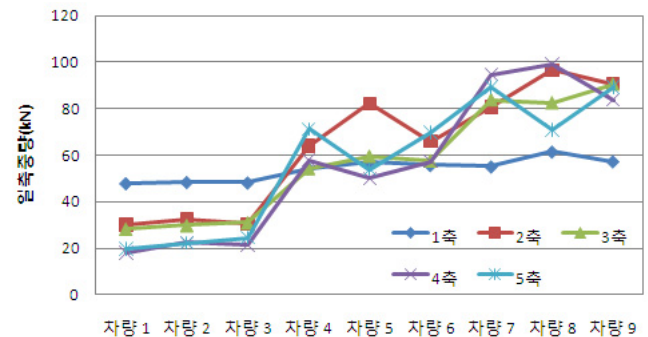
2010년 ○○고속국도 자료					2006년 국도 ○○번 자료						
총중량	1축	2축	3축	4축	5축	총중량	1축	2축	3축	4축	5축
144.0	47.9	30.0	28.4	17.9	19.7	228.3	42.2	53.6	47	47.4	38
155.6	48.4	32.5	30.0	22.5	22.2	343.8	48.6	53.8	41.6	89.7	110.2
155.8	48.2	30.5	31.1	21.4	24.5	353.9	44	46.7	51.6	109.4	102.2
302.3	54.4	64.1	54.4	58.0	71.3	384.5	49.5	48.6	78.7	102.9	104.8
302.7	57.0	82.3	59.6	50.0	53.8	396.4	53.3	57.4	72.3	102.3	111.1
306.4	55.7	65.9	57.7	57.4	69.7	438.1	58.5	57.6	87.9	117.1	117.1
403.4	55.1	80.6	83.8	94.6	89.3	450.2	67.8	80.7	96.8	90	114.8
410.6	61.4	96.6	82.5	99.0	71.0	451.6	61	110	99.3	91	90.4
411.5	57.3	90.7	90.5	83.7	89.2	504.8	60.1	112.7	112.7	102.2	117.1



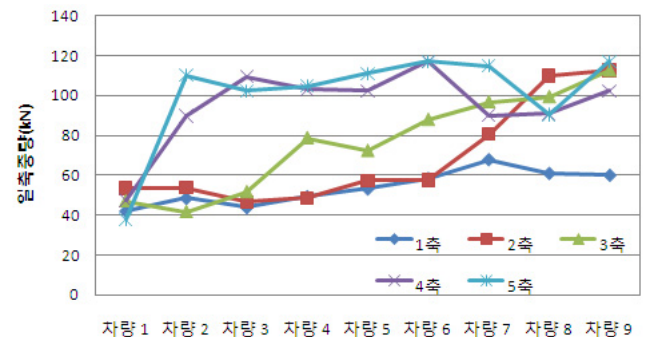
(a) 총중량 (2010년)



(b) 총중량 (2006년)



(c) 축중량 (2010년)



(d) 축중량 (2006년)

그림 8. 10종 차량의 총중량 및 축중량 변화

### 3.3. 온도 보정식 개발

10종차량의 일축중량을 이용한 정확한 온도보정식의 개발을 위해 본 연구에서는 앞에서 설명한대로 국내 한 지점에 설치된 WIM시스템에서의 5월부터 8월까지의 자료를 이용하였다. 산업활동의 특성상 요일별 교통특성의 차이가 발생할 수 있으므로 본 분석에서는 매주 월요일의 자료만을 사용하였다. 대기온도의 자료는 WIM system이 설치된 장소에서 가장 가까운 기상청의 관측자료를 수집하여 이용하였다. 그림 9는 12주 동안의 월요일 10종차량 일축중량의 평균값과 일평균기온을 나타낸 것으로 평균일축중량의 값이 약 32kN에서 최대 70kN까지 증가하며 기온의 변화 양상과 거의 일치함을 알 수 있다. 그림 10은 평균일축중량과 일평균기온과의 상관관계를 나타낸 것으로 상관계수(R)가 0.86으로 나타나 높은 상관관계를 보임을 알 수 있다. 따라서 수집된 자료에서 일축중량의 변화량이 크지 않으며 평균기온과 일축중량간에 상당한 상관관계를 가지고 있기 때문에 WIM시스템에서 측정된 차량중량값의 온도보정에 일축중량의 값을 이용할 수 있음을 확인할 수 있다.

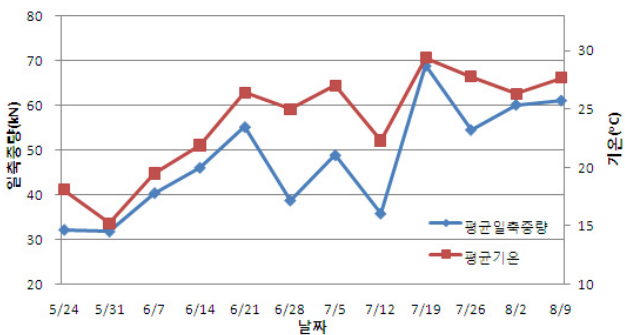


그림 9. 10종의 평균일축중량과 일평균기온

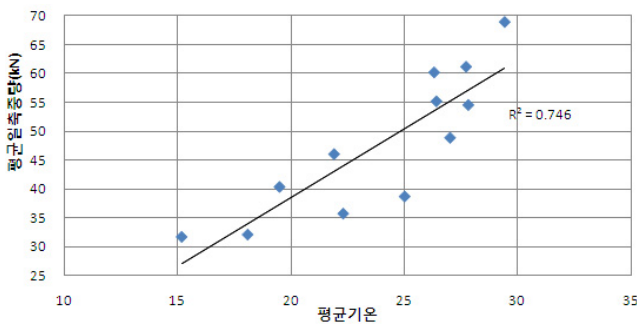


그림 10. 일축중량과 평균기온간의 상관관계

온도에 대한 보정식은 중량보정시험을 한 직후의 값이 정확한 차량중량이라고 가정하고 그날의 평균기온에 대비하여 다른 날의 중량값을 보정하기 위한 보정계수값을 식(1)과 (2)와 같이 계산하였다. 표 4는 해당 날짜의 평균기온과 그날의 10종차량의 일축중량을 나타낸 것으로 기준일 및 기온은 5월 24일의 18.1°C이며 일평균기온간의 비로 계산한 보정계수를 나타

내었다. 보정계수는 1.19~0.65의 값을 나타냈으며 이 보정계수와 일평균기온의 관계를 그림 11에 나타내었다. 일평균기온의 함수로 표현한 보정계수의 식은 식(3)과 같다.

$$\text{평균기온간의 비} = \frac{\text{해당날짜의 평균기온}}{\text{기준되는 날짜의 평균기온}} \quad (1)$$

$$\text{보정계수} = \frac{1}{\text{평균기온간의 비}} \quad (2)$$

표 4. 평균기온과 10종 일축 중량 자료

	5/24	5/31	6/7	6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	7/19	7/26	8/2	8/9
일평균 기온	18.1	15.2	19.5	21.9	26.4	25	27	22.3	29.4	27.8	26.3	27.7
10종 차량의 평균 일축중량	32.2	31.8	40.4	46.1	55.2	38.7	48.9	35.8	68.8	54.5	60.1	61.1
평균 기온간의 비	1.00	0.84	1.08	1.21	1.46	1.38	1.49	1.23	1.62	1.54	1.45	1.53
보정계수1	1.00	1.19	0.93	0.83	0.69	0.72	0.67	0.81	0.62	0.65	0.69	0.65

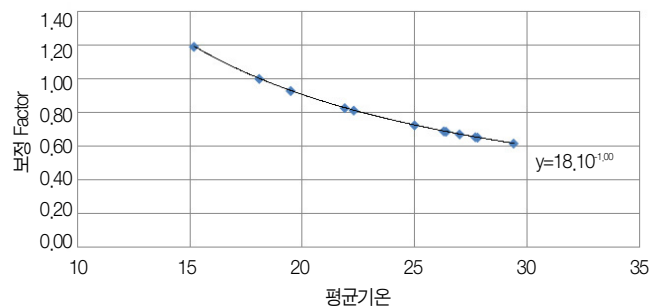


그림 11. 평균기온에 따른 보정식 그래프

$$Y = 18.1X^{-1} \quad (3)$$

여기서, X는 평균기온, Y는 보정계수를 나타낸다.

식(3)은 일평균기온을 고려한 보정식으로 하루 기온의 변화를 반영하지는 못하고 있다. 본 연구에서는 하루의 온도변화에 따른 영향을 고려하기 위하여 기상청에서 수집한 매시간별 온도도를 이용하였다. 표 5는 앞서 일평균기온을 이용한 5월부터 8월까지의 매주 월요일 시간별 기온변화를 나타내고 있다. 이미 일평균기온에 따라 일축중량을 보정하였기에 각 시간별 기온을 해당 날짜의 평균기온으로 나눠서 평균기온간의 비를 얻었고 이를 통해 보정계수를 식(4)와 (5)와 같이 계산하였으며 매시간별 보정계수는 표 6과 같다.

$$\text{평균기온간의 비} = \frac{\text{시간별 기온}}{\text{해당날짜의 평균기온}} \quad (4)$$

$$\text{보정계수2} = \frac{1}{\text{평균기온간의 비}} \quad (5)$$

표 5. 시간별 기온 자료

	5/24	5/31	6/7	6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	7/19	7/26	8/2	8/9
01H	14.7	13.5	18.1	20.2	24.9	24.5	22.1	20.5	25.7	26.1	29.4	24.7
02H	14.6	13.3	17.7	19.9	24.1	24.2	22	20.4	25.6	26	29.3	24.6
03H	14.6	13.1	17.5	19.5	23.8	23.9	22	20.4	25.4	25.6	28.8	24.5
04H	14.5	13.3	17.3	19.2	23.4	23.9	22.1	20.4	25.1	25.5	28.6	23.8
05H	14.5	13.4	16.7	18.8	23.1	23.8	22.3	20.4	25.1	25.2	28.2	23.6
06H	14.6	13.6	16.8	19.1	23	23.1	22.6	20.4	24.9	25.3	28	23.4
07H	15	14.1	18.4	20	23.4	22.3	23.1	21.1	25.7	26	28.3	24.1
08H	16.9	15.5	19.9	21.3	24.8	22.7	23.8	22	26.9	27.3	26.6	25.3
09H	17.8	16.2	20.8	22.4	26.1	23.4	24.2	22.9	28.4	28.1	26.7	26.4
10H	18.6	17	20.9	23.2	27.6	24	25.6	23	30	29.8	27.1	27.6
11H	19.6	17.9	21.4	23.2	28.5	24.7	26.9	23.1	31.2	31.3	27.6	27.6
12H	20.1	17.8	21.7	23.7	27.1	25.1	29.3	23.8	32.3	31.4	27.4	29.5
13H	20.4	17.6	20.7	23.7	29.2	25.3	30.3	23.6	32.6	32.1	27.8	31.5
14H	20	16.6	21.1	24	29.5	25.8	31.5	23.8	33.3	32.8	26.7	31.1
15H	20.5	16.5	21.3	23.8	28.4	26.9	31.5	23.6	34	32.1	26	31.5
16H	21.9	16.2	20.4	25.3	28.7	27.9	31.4	23.3	33.7	31.7	25.4	31
17H	21.5	16.7	20.6	24.9	29.4	27.4	31.4	22.9	33.4	26.9	25.3	30.9
18H	20.4	16.2	20	23.6	29.2	27	31.2	22.7	32.8	26.9	25.1	29.9
19H	19.7	15.4	19.5	22.3	28.8	26.7	30.3	22.4	31.3	26.9	24.5	28.8
20H	19.1	14.8	19.3	21.8	27.6	26.1	28.8	22.3	30.3	26.8	24.3	28.5
21H	18.5	14.4	19.2	21.4	27.4	25.9	28.3	22.3	29.4	26.7	24.2	28.2
22H	18.4	13.9	19	21.1	26.9	25.3	27.7	22.1	28.7	26.6	24.1	27.5
23H	18.4	14	18.9	21.3	26.2	24.8	27.1	22	28.2	26.6	23.9	26.9
24H	17.9	14	18.6	21.4	25.9	24.4	26.7	21.9	27.6	26.5	24	27.8

표 6. 시간에 대한 보정계수2

	5/24	5/31	6/7	6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	7/19	7/26	8/2	8/9	평균 Factor
01H	1.23	1.13	1.08	1.08	1.06	1.02	1.22	1.09	1.14	1.07	0.89	1.12	1.09
02H	1.24	1.14	1.10	1.10	1.10	1.03	1.23	1.09	1.15	1.07	0.90	1.13	1.11
03H	1.24	1.16	1.11	1.12	1.11	1.05	1.23	1.09	1.16	1.09	0.91	1.13	1.12
04H	1.25	1.14	1.13	1.14	1.13	1.05	1.22	1.09	1.17	1.09	0.92	1.16	1.12
05H	1.25	1.13	1.17	1.16	1.14	1.05	1.21	1.09	1.17	1.10	0.93	1.17	1.13
06H	1.24	1.12	1.16	1.15	1.15	1.08	1.19	1.09	1.18	1.10	0.94	1.18	1.13
07H	1.21	1.08	1.06	1.10	1.13	1.12	1.17	1.06	1.14	1.07	0.93	1.15	1.10
08H	1.07	0.98	0.98	1.03	1.06	1.10	1.13	1.01	1.09	1.02	0.99	1.09	1.05
09H	1.02	0.94	0.94	0.98	1.01	1.07	1.12	0.97	1.04	0.99	0.99	1.05	1.01

<표 계속>

10H	0.97	0.89	0.93	0.94	0.96	1.04	1.05	0.97	0.98	0.93	0.97	1.00	0.97
11H	0.92	0.85	0.91	0.94	0.93	1.01	1.00	0.97	0.94	0.89	0.95	1.00	0.94
12H	0.90	0.85	0.90	0.92	0.97	1.00	0.92	0.94	0.91	0.89	0.96	0.94	0.93
13H	0.89	0.86	0.94	0.92	0.90	0.99	0.89	0.94	0.90	0.87	0.95	0.88	0.91
14H	0.91	0.92	0.92	0.91	0.89	0.97	0.86	0.94	0.88	0.85	0.99	0.89	0.91
15H	0.88	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.86	0.94	0.86	0.87	1.01	0.88	0.91
16H	0.83	0.94	0.96	0.87	0.92	0.90	0.86	0.96	0.87	0.88	1.04	0.89	0.91
17H	0.84	0.91	0.95	0.88	0.90	0.91	0.86	0.97	0.88	1.03	1.04	0.90	0.92
18H	0.89	0.94	0.98	0.93	0.90	0.93	0.87	0.98	0.90	1.03	1.05	0.93	0.94
19H	0.92	0.99	1.00	0.98	0.92	0.94	0.89	1.00	0.94	1.03	1.07	0.96	0.97
20H	0.95	1.03	1.01	1.00	0.96	0.96	0.94	1.00	0.97	1.04	1.08	0.97	0.99
21H	0.98	1.06	1.02	1.02	0.96	0.97	0.95	1.00	1.00	1.04	1.09	0.98	1.01
22H	0.98	1.09	1.03	1.04	0.98	0.99	0.97	1.01	1.02	1.05	1.09	1.01	1.02
23H	0.98	1.09	1.03	1.03	1.01	1.01	1.00	1.01	1.04	1.05	1.10	1.03	1.03
24H	1.01	1.09	1.05	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.07	1.05	1.10	1.00	1.04

위의 보정계수2를 통해 대체로 하루 중 오전 9시와 저녁 9시가 그날의 평균기온과 비슷한 기온을 나타냄을 알 수 있었고 새벽 5시에 평균기온과 가장 많은 차이를 보였다. 보정계수2의 값을 시간별로 도시하면 그림 12와 같으며 해당 날짜의 최고, 최저, 평균기온을 이용하여 시간별 변화를 대표하는 식을 나타내면 식(6)과 같다.

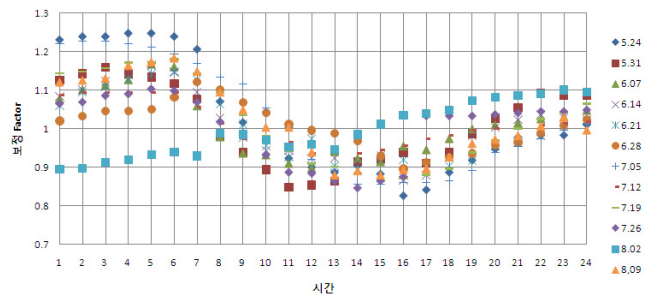


그림 12. 시간별 보정 Factor

$$Y = \frac{T_{avg}(T_{max} - T_{min})}{2(T_{max} \times T_{min})} \sin\left(\frac{\pi}{12}(X + 2.5)\right) + 1 \quad (6)$$

여기서,  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{avg}$ 는 해당날짜의 최고, 최저, 평균기온이고  $X$ 는 시간,  $Y$ 는 보정계수2를 나타낸다.

위에서 평균기온과 시간에 따른 보정계수를 이용한 식을 제안했다. 그러나 이렇게 제안된 식은 얻어진 많은 데이터에 대해 매번 평균기온, 시간별에 따른 보정작업을 해야 하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하고 WIM시스템에서 중량계측시의 온도를 직접 계측하여 자료 수집 즉시 온도 보정을 실시할 수 있도록 하기 위해 본 연구에서는 새로운 보정식을 개발하였다. 이 방법은 본체 내에 온도센서를 설치하여 중량계측과 동시

에 온도를 측정하고 WIM시스템에 내장된 소프트웨어를 이용하여 온도에 따라 쉽게 보정할 수 있다. 이를 위해 식(5), 식(6)을 이용한 첫 번째 경우와 매 시간의 대기온도를 사용한 온도의 비를 이용해서 구한 보정계수 값을 비교하였다. 그림 13은 두 경우에 따라 기온과 보정계수의 관계를 나타낸 것으로 평균기온에 의한 보정계수식과 측정시의 기온에 의한 보정계수식에

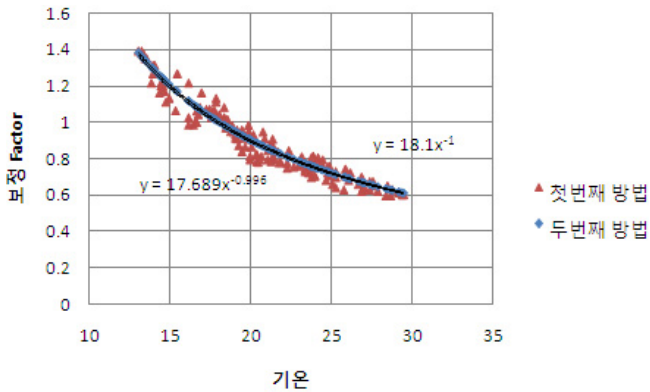


그림 13. 보정방법에 따른 기온과 보정계수와의 관계

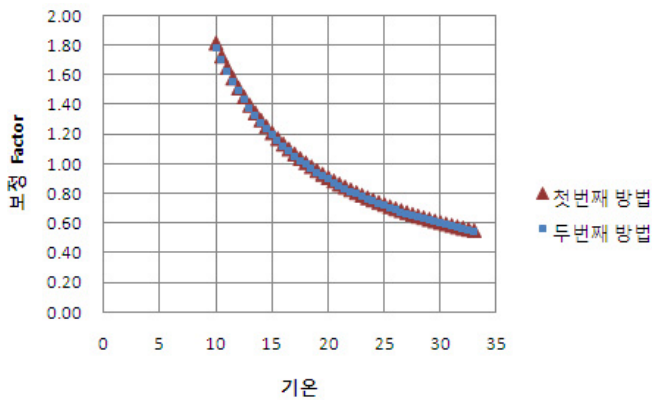


그림 14. 보정방법에 따른 Factor

표 7. 보정방법에 따른 Factor의 차이

기온(℃)	첫번째 방법	두번째 방법	오차(%)
10	1.79	1.81	1.37
12	1.49	1.51	1.29
14	1.28	1.29	1.23
16	1.12	1.13	1.18
18	0.99	1.01	1.13
20	0.90	0.91	1.09
22	0.81	0.82	1.05
24	0.75	0.75	1.02
26	0.69	0.70	0.99
28	0.64	0.65	0.96
30	0.60	0.60	0.93
32	0.56	0.57	0.91
34	0.53	0.53	0.88
36	0.50	0.50	0.86

큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그림 14와 표 7은 두 식의 값을 나타낸 것으로 약 2% 이내의 차이를 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 WIM system에 온도센서의 자료를 바로 식(5)에 적용하여 추가적인 보정작업 없이 정확한 자료를 쉽게 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 자료 보정 결과

### 4.1. 보정식 적용 결과

앞 절에서 언급한 식(3)을 이용해서 해당일의 일평균기온에 따른 보정계수1을 구할 수 있으며 식(6)을 통해 시간에 따른 보정계수2의 값을 얻을 수 있다. 위의 두 계수의 값을 본 연구에서 설치한 WIM시스템의 중량자료에 적용해 보았다. 분석 대상인 5월 20일부터 8월 10일까지의 일평균기온 및 식(3)을 이용한 보정계수1은 표 8과 같다. 표 9는 시간별 보정계수2 중 5월 24일의 계수 값이다. WIM시스템으로 얻은 중량자료는 두 개의 보정계수를 곱하여 보정된 새로운 중차량 중량자료로 변환하였다. 그림 15에서는 보정 전과 후의 평균일축중량의 값을 비교하였다. 보정한 결과 10종 차량 일축중량값의 표준편차가 보정 전 12.3에서 보정 후 4.3로 약 65%정도 줄었음을 확인할 수 있고 일축중량은 평균적으로 35kN 정도의 값을 나타낼 수 있다. 참고로 2010년 ○○고속국도 자료, 2006년 국도 ○○번 자료의 일축하중의 표준편차는 각각 4.8, 8.6이다.

표 8. 평균기온에 따른 보정 Factor

날 짜	5/20	5/21	5/22	5/23	5/24	5/25	5/26	5/27	5/28	5/29	5/30	5/31	6/1
평균기온	24.5	23.2	18.6	15.2	18.1	15	15	13.7	14.7	15.3	14.9	15.2	15.9
보정 Factor	0.74	0.78	0.97	1.19	1.00	1.21	1.21	1.32	1.23	1.18	1.21	1.19	1.14
날 짜	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14
평균기온	17.7	22	21.5	22.1	21	19.5	20.4	20.7	21.9	20.3	21	22.4	21.9
보정 Factor	1.02	0.82	0.84	0.82	0.86	0.93	0.89	0.87	0.83	0.89	0.86	0.81	0.83
날 짜	6/15	6/16	6/17	6/18	6/19	6/20	6/21	6/22	6/23	6/24	6/25	6/26	6/27
평균기온	22.4	27.1	27.2	22.4	23.8	26.8	26.4	27.3	22	24.6	22.3	21.1	24.9
보정 Factor	0.81	0.67	0.67	0.81	0.76	0.68	0.69	0.66	0.82	0.74	0.81	0.86	0.73
날 짜	6/28	6/29	6/30	7/1	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	7/7	7/8	7/9	7/10
평균기온	25	25.4	23.1	23	24.4	23.8	22.5	27	28.9	24.3	23	23.8	25.1
보정 Factor	0.72	0.71	0.78	0.79	0.74	0.76	0.80	0.67	0.63	0.74	0.79	0.76	0.72
날 짜	7/11	7/12	7/13	7/14	7/15	7/16	7/17	7/18	7/19	7/20	7/21	7/22	7/23
평균기온	21.2	22.3	22.1	22.6	23.8	25	27.3	28.5	29.4	29.7	29.9	30.6	29.4
보정 Factor	0.85	0.81	0.82	0.80	0.76	0.72	0.66	0.64	0.62	0.61	0.61	0.59	0.62
날 짜	7/24	7/25	7/26	7/27	7/28	7/29	7/30	7/31	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5
평균기온	28.5	28.7	27.8	29.2	25.8	28.6	30.2	30.8	31	26.3	24.7	29.1	30.9
보정 Factor	0.64	0.63	0.65	0.62	0.70	0.63	0.60	0.59	0.58	0.69	0.73	0.62	0.59
날 짜	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10								
평균기온	31.4	29.1	26.5	27.7	27.4								
보정 Factor	0.58	0.62	0.68	0.65	0.66								



또한 두 가지 보정방법에 의한 차이가 크지 않음도 알 수 있다. 그림 16은 보정 전·후의 차종별 평균총중량값을 비교하였는데 보정 후의 자료가 월에 따라 증가하지 않고 유사한 값을 유지함을 볼 수 있다. 5월 9종의 자료는 자료 측정기간과 자료 수가 적어 신뢰할 수 없는 것으로 판단된다.

표 9. 하루의 시간에 따른 보정 Factor (2010년 5월 24일 경우)

시 간	01H	02H	03H	04H	05H	06H	07H	08H	09H	10H	11H	12H
보정 Factor	1.17	1.20	1.22	1.22	1.20	1.17	1.13	1.08	1.03	0.97	0.92	0.87
시 간	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H	24H
보정 Factor	0.83	0.80	0.78	0.78	0.80	0.83	0.87	0.92	0.97	1.03	1.08	1.13

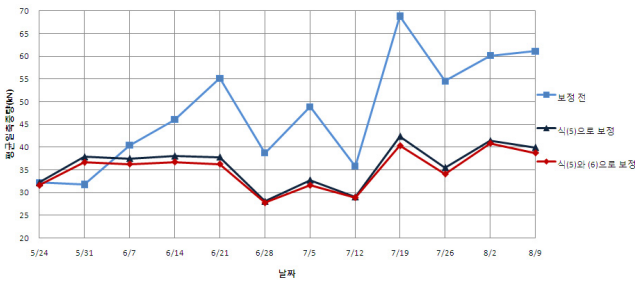
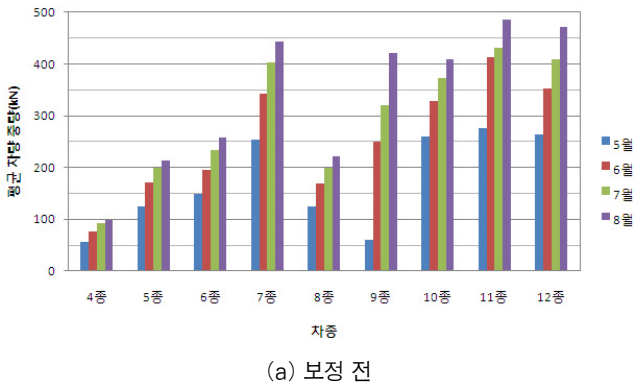
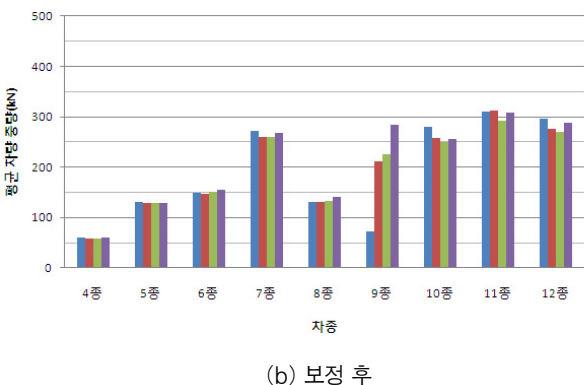


그림 15. 10종 차량의 평균일축중량



(a) 보정 전



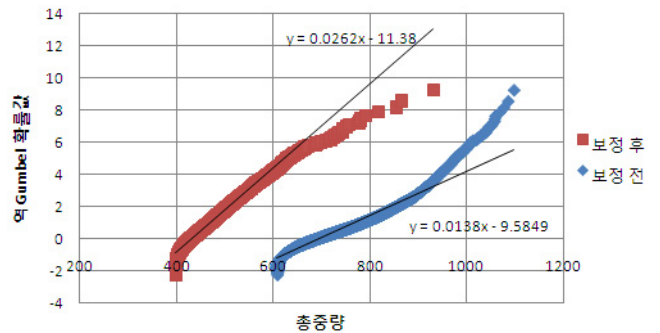
(b) 보정 후

그림 16. 보정 전과 후의 차종별 평균 차량 중량

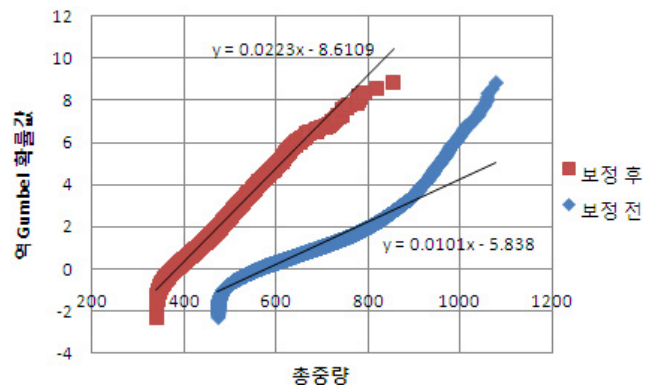
#### 4.2. 보정된 자료를 이용한 극한중량 분석

장기적인 WIM시스템 자료는 교량설계를 위한 활하중모형을

결정하는데 매우 중요한 자료이다. 국내의 도로교설계기준(국토해양부, 2005)에서 규정하고 있는 차량활하중모형은 1970년대 국내 차량자료나 통계적 분석없이 AASHTO(AASHTO, 1992)의 활하중모형을 중량만 33% 증가시켜 결정한 것으로 그동안의 중차량의 다양화 및 대형화, 산업발전에 따른 교통량의 증가 및 교통 특성의 변화 등을 반영하지 못하고 있어 개선이 필요한 실정이다. 2008년에 종료된 교량설계핵심기술연구단의 연구(교량설계핵심기술연구단, 2008)에서는 국내의 여러 종류의 WIM시스템 자료를 분석하여 통계적인 방법을 적용하여 활하중모형을 제안하였다. 이 연구에서는 중차량의 중량 상위 20%의 자료를 확률지에 도시하고 선형추세선을 이용하여 구한 최대극한중량을 활용해 활하중모형을 제안하였다. 교량설계핵심기술연구단의 연구에서는 주로 일주일 내외의 단기간의 자료를 이용하였기 때문에 일평균이온의 변화에 의한 영향은 크지 않으리라 판단된다. 본 논문에서는 교량설계핵심기술연구단에서 사용한 방법을 그대로 이용하고 온도에 따른 보정을 하기 전과 후의 자료를 분석하여 그 결과치인 최대극한중량을 비교해 보았다. 그림 17은 5월부터 8월까지의 차량 중량 자료중 상위 5%, 10%의 자료를 Gumbel 확률지에 도시한 그림이며 선형의 추세선식을 나타내었다. 선형추세선을 이용하여 1년, 5년, 50년, 75년, 100년의 재현주기별 극한중량을 예측하여 표 10에 나타내었다. 그 결과 보정 전,후의 극한중량값이 대략 55%정도의 차이



(a) 상위 5%



(b) 상위 10%

그림 17. 상위 5%, 10% Gumbel 확률지 도시

를 보이고 있어 장기적인 WIM시스템의 자료를 이용할 경우 온도에 대한 보정이 반드시 필요함을 알 수 있다. 같은 방법으로 극한중량을 예측한 교량설계핵심기술연구단의 연구(황의승, 2008) 결과는 1,182 kN으로 표 10의 결과와 매우 유사함을 보이고 있다.

표 10. 재현기간에 따른 극한중량 예측

		상위 5%		상위 10%	
		보정 전	보정 후	보정 전	보정 후
재현기간 1년	역 Gumbel 확률값	13.75		13.75	
	극한중량(kN)	1691	959	1939	1003
재현기간 5년	역 Gumbel 확률값	15.36		15.36	
	극한중량(kN)	1808	1021	2099	1075
재현기간 50년	역 Gumbel 확률값	17.66		17.66	
	극한중량(kN)	1974	1108	2327	1178
재현기간 75년	역 Gumbel 확률값	18.07		18.07	
	극한중량(kN)	2004	1124	2367	1196
재현기간 100년	역 Gumbel 확률값	18.36		18.36	
	극한중량(kN)	2025	1135	2395	1209

## 5. 결론

본 논문에서는 포장설계 및 교량설계시 이용되는 WIM시스템의 중차량 중량자료의 정확성을 확보하기 위한 온도에 대한 보정기법을 개발하고 적절한 보정식을 제안하였다. 이를 위해 기설치된 WIM시스템으로부터 5월부터 8월까지의 WIM시스템 자료를 분석하였고 화물 적재량에 가장 적은 영향을 받는 10종 차량의 첫 번째 축의 중량은 적재량과 상관없이 거의 일정하다는 점을 이용하여 온도와 WIM시스템의 차량 중량 자료간의 상관관계를 밝혔다. 또한 일평균기온에 따른 보정식과 시간대 따른 보정식을 각각 제안하고 각 자료에 적용하여 보정계수가 적용된 차량중량자료를 획득하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. WIM시스템의 중량자료를 분석한 결과, 차종별 축중 및 총 중량값이 달이 지남에 따라 증가하는 경향을 나타내며 온도와 긴밀한 상관관계에 있다. 이는 온도에 따른 포장체의 응력변화에 따라 중량감지센서 반응값의 변화에 기인한 것으로 판단된다.
2. WIM시스템의 차량중량자료의 정확성을 확보하기 위하여 온도에 따른 계측값의 보정이 필요하며 보정계수를 구하기 위해 10종차량의 일축중량이 적재중량과 상관없이 일정하다는 점을 이용할 수 있다. 이를 이용하여 일평균기온 및 일 최대/최저 기온에 따른 보정식을 제안하였다.
3. 제안된 보정식을 사용하여 보정된 WIM시스템 중량자료를

분석한 결과 평균차량중량과 평균일축중량값이 적절한 상태로 보정되었음을 확인할 수 있었다. Gumbel 확률지를 이용하여 재현주기별 극한하중을 예측한 결과 보정 전 자료와 보정 후 자료간에 약 55%의 차이를 나타내며 보정후의 자료가 더 합리적인 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

향후 WIM시스템의 차량중량계측값의 정확성을 향상시키기 위해서 본 연구에서 제안한 보정식을 사용할 수 있으며 WIM시스템의 본체내에 온도센서를 설치하여 중량계측과 동시에 온도를 측정할 경우 WIM시스템에 내장된 소프트웨어를 이용하여 실시간의 정확한 중량자료를 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 교량설계를 합리적인 활하중모형의 개발에도 본 논문의 결과가 유용하게 이용될 것으로 예상된다.

또한 WIM시스템을 과적차량 단속의 도구로 활용하기 위해서는 최고수준의 정확도를 갖는 시스템이 요구되며 이를 위해서는 본 논문의 결과와 함께 포장체의 온도측정과 이를 이용한 보정식에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 초장대교량 사업단 제1핵심과제를 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신사업(08기술혁신E01)에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

## 참고 문헌

권순민, 서영찬 (2009) 고속축하중측정시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안 연구, 2009년도 한국도로학회논문집, 한국도로학회 제11권 제4호, pp69~78

권순민, 박희구, 김지원, 강경구 (2010) 과적단속을 위한 고속축중계시스템의 성능향상 방안 연구, 한국ITS학회 2010년도 춘계학술대회, 한국ITS학회, pp 151~156

교량설계핵심기술연구단(2008). 합리적 설계고도화를 위한 신뢰도 기반 설계기준 개발, 최종보고서.

국토해양부(2008). 2007 도로교통량통계연보. 국토해양부

남영국 (2004). 도로포장공학, 구미서관.

진재헌(2007) Weigh-In-Motion System을 이용한 차량 활하중모형개발에 관한 연구. 석사학위논문. 경희대학교

황의승(2008). 신뢰도기반 도로교설계기준을 위한 활하중모형 개발. 교량설계핵심기술연구단 기술총서

AASHTO (1996), *Standard Specifications for Highway Bridges*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

접 수 일 : 2010. 11. 16  
 심 사 일 : 2010. 11. 16  
 심사완료일 : 2010. 11. 27