

과적단속을 위한 고속축중계시스템의 성능향상 방안 연구

Improvement of the High Speed Weigh-in-Motion for Overweight Enforcement

권순민

한국도로공사 도로교통연구원
선임연구원

박희구

(주)뉴컨스텍
대표이사

김지원

(주)토탈페이브시스템
대표이사

강경구

(주)바이텍코리아
사장

Key Words : 고속축중계, 원더링, 과적단속시스템, 과적

목 차

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적
2. 연구의 범위

II. 한국도로공사 고속축중계 시스템

1. 짐(WIM) 개요
2. 한국도로공사 초기 고속축중계시스템
3. 과적단속을 위한 고속축중계시스템의 개선
4. 원더링시스템 구축
5. 과적단속시스템 초기모델 개발

6. 짐(WIM) 성능등급

III. 하중 검증시험

1. 시험조건 및 방법
2. 시험결과
3. 보정기법 적용

IV. 결론 및 향후 연구방향

참고문헌

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라는 1969년 경부고속도로의 건설을 기점으로 급격한 경제성장을 이루었으며 이와 함께하는 고속도로의 역사는 40년을 넘어서고 있다. 근래 신규도로의 건설사업이 둔화됨으로 인하여 고속도로에 대한 관심이 기존의 도로망을 효율적으로 활용하고 최적의 공용성을 유지할 수 있는 것으로 바뀌고 있다. 고속도로에서 포장, 교량 등 도로구조물의 공용성 저하에 가장 크게 영향을 끼치는 기본 요소 중의 하나는 교통하중이다. 이를 효율적으로 통제하고 관리하는 것이 고속도로를 효율적으로 활용하는 기본이 된다고 할 수 있다.

이러한 교통하중을 가장 적극적으로 통제하는 방법은 과적단속이다. 국도의 경우 주요 간선도로 및 교량부에서 과적검문소를 운영 중이며, 이중 27개소는 고속축중계시스템을 활용하여 과적혐의차량 유도시스템을 운영 중이다. 고속도로의 경우에는 모든 영업소 입구 축중차로의 축중계를 통해 화물차의 하중을 실시간 검측하고 있으며 과적차량 발견 시 이를 즉각 통제하여 고속도로 진입 억제를 유도하고 있다. 그러나, 최근 가변축을 장착한 3축 이상의 화물차량이 증가하면서 국도는 물론 고속도로에서도 영업소 진입이후 축조작에 의한 과적행위 발생빈도가 높아지고 있는 실정이다. 해외의 경우에는 프랑스, 네덜란드를 비롯한 유럽연합 국가들과 미국, 일본 등 세계 각국에서 고속축중계를 이용하여 다양한 방식으로

과적단속(또는 과적혐의차량 유도)을 시행하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 고속축중계(HS-WIM ; High speed Weigh-In-Motion)를 활용하여 무인·무정차 과적단속시스템을 개발하기 위한 고속축중계시스템의 성능향상 연구를 수행하였다.

2. 연구의 범위

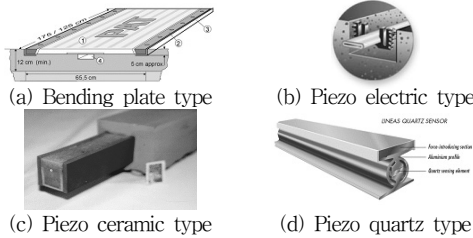
현재 국내에 설치되어 있는 고속축중계는 국도 27개소 구간에서 과적혐의차량 유도용으로 운용 중인 것과 한국도로공사 도로교통연구원의 시험도로 및 동서천 영업소 진입부에 설치된 연구용 각 1개소, 중부내륙고속도로에 1개소가 설치되어 있다. 본 연구에서는 고속축중계를 이용하여 과적단속시스템으로 활용 가능하도록 하드웨어 및 소프트웨어를 구성하고, 과적단속이 가능한 수준의 정확도 확보를 위해 측정오차를 보정할 수 있는 보정기법을 개발하였다.

II. 한국도로공사 고속축중계 시스템

1. 짐(WIM) 개요

WIM이라 함은 Weigh-in-Motion의 약자로 이동 중인 차량의 축하중을 측정하는 장치를 말한다. 흔히 우리가 알고 있는 고속도로 영업소의 축중계는 (저속)WIM에 해당되며 측정 가능 속도에 따라 저속축중계(LS-WIM ; Low Speed WIM) 과 고속축중계(HS-WIM ; High Speed WIM)로 구분된다. 또한, 축중센서의 특성에 따라 벤딩플레이트(Bending plate)

형식, 피에조일렉트릭(Piezo-electric) 형식, 피에조세라믹(Piezo-ceramic) 형식, 피에조퀼츠(Piezo-quartz) 형식으로 나눌 수 있다.(그림 1 참조). 벤딩플레이트 형식은 주로 저속측중계시스템에 사용되어지고, 피에조 형식은 고속측중계시스템에 사용되어진다. 표 1은 측중계 센서의 종류별 특징을 비교한 것이다.



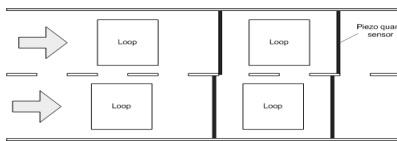
<그림 1> 대표적인 WIM 센서 형식

<표 1> 센서 형식별 WIM의 특성 비교

종류	특징	적용 사례
벤딩플레이트 (Bending Plate)	- 중저속에 유리한 구조 - 시공 및 교정에 따른 유지관리 복잡	- 영업소 - 이동식 측중기
피에조일렉트릭 (Piezo-electric)	- 가격 저렴 - 온도 및 충격오차 심함	- AVC 시스템
피에조세라믹 (Piezo-ceramic)	- 가격 중저가 - 온도 및 충격오차 심함	- 국도과적단속 시스템
피에조퀼츠 (Piezo-quartz)	- 가격 고가 - 온도 및 충격충격영향 매우 적음	- 시험도로 - 광안대교 - EU 국가

2. 한국도로공사 초기 고속측중계시스템

한국도로공사에서는 2002년 12월 중부내륙고속도로에 건설된 편도 2차로의 시험도로에서 시험도로를 통행하는 교통의 누적하중을 측정하여 이를 도로포장 공용성 분석을 위한 기본 정보로 활용하기 위해 고속측중계를 설치하여 자료를 측정하였다. 당초의 목적은 과적단속과는 무관하게 연구용으로 설치하였으며 각 차로별로 루프센서 2조, 피에조퀼츠(Piezo-quartz) 센서 2조로 구성하였다(그림 2 참조).



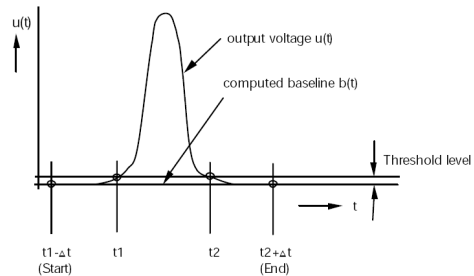
<그림 2> 기존의 고속측중계 시스템 개략도

3. 과적단속을 위한 고속측중계시스템의 개선

본 연구에서는 기존의 고속측중계시스템을 과적단속시스템으로 활용하기 위하여 다음과 같은 요소들에 대한 개선점을 검토하였다.

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

고속측중계 센서는 도로표면에 설치하여 주행 중인 차량에 대해 축을 감지하고 동시에 축중을 측정하게 할 수 있는 센서이다. 피에조퀼츠 센서의 경우에는 피에조일렉트릭이나 피에조세라믹 계열의 센서에 비해 비용이 고가라는 단점은 있지만 현존하는 측중계 센서 중에 매우 정확한 정밀도를 가지고 있으며 구조적으로 수직압력에만 반응하도록 설계되어 있어 신호파형이 비교적 안정적으로 나타난다. 피에조퀼츠 센서의 축하중 산정 방법은 다음의 그림 3과 같이 신호파형에서 특정 경계값(Threshold level) 이상인 신호파형에 대한 면적을 구하여 축하중으로 환산한다. 즉, 그림 3에서 면적은 t1에서 t2까지 적분을 통해 구한다.



<그림 3> 축하중 산정법

이산신호 적분식

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

t1에서 t2까지 샘플링 된 수집데이터에 대한 면적계산은 다음과 같이 할 수 있다.

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

여기서, i : 샘플번호

파형의 면적이 계산되었으면 다음 수식으로 축 하중을 계산한다.

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

여기서, W : 축 하중, V : 차량속도,

L_s : 센서의 폭, C : 교정계수

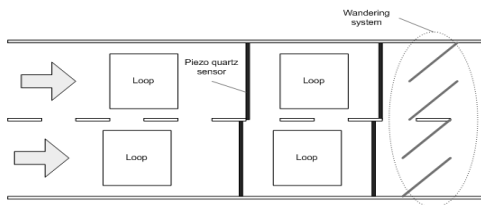
측정하중은 그림 3과 같이 적분을 통해 계산하므로 고속주행 중 획득한 신호파형이 최대한 실측값에 유사하도록 하기 위하여 샘플링 주파수를 4kHz로 설정하였고 경계값을 고정값으로 사용하지 않고 사용자가 조정 가능하도록 하여 중하중 대역에서 적절한 경계값을 찾아 사용할 수 있도록 하였다. 또한, 과적단속기능을 부여하기 위하여 다음의 <표 2>와 같이 과적하중 발생 시 처리방법을 설정하였다.

<표 2> 과적하중 발견시 처리방법

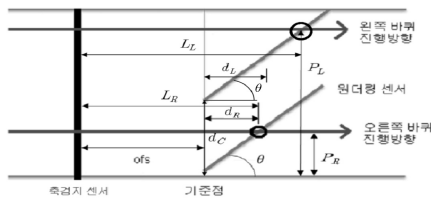
항 목	내 용
트리거 이벤트	- 하드웨어적인 트리거 신호 발생 - 카메라 설치시 서터신호로 사용가능 - 경고 신호로 사용가능 - 카메라 위치와 차량길이에 따른 시간차를 고려하여 출력
통신 이벤트	- 유선/무선 통신으로 이벤트 내용 전송 - 원격지에서 과적차량 모니터링 가능

4. 원더링시스템 구축

고속축중계시스템이 과적단속기능을 완벽히 수행하기 위해서는 하중에 대한 정확도 이외에도 기본적으로 차중에 대한 구분이 명확하여야 하며, 더불어 차로를 이탈하는 차량에 대한 판독이 가능하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 기능을 갖추기 위하여 원더링 개념을 도입하여 하드웨어를 개선하였다. 즉 앞절에서 설정한 세 가지 개선사항을 원더링시스템을 통해 구현하고자 하는 것이다. 원더링시스템은 차선별로 2개의 축감지센서(이하 원더링센서)를 45°사선으로 배치하여 주행하는 차량의 좌측 및 우측 차륜이 차선으로부터 횡방향으로 이격된 거리를 개별적으로 측정할 수 있으므로 윤거를 추출할 수 있고 더불어 차량의 차로이탈여부를 판독할 수 있다. 또한 신호의 특성으로 차륜의 형태(단륜/복륜)구분이 가능하여 차종을 분류함에 있어 기존의 차종구분법 보다 좀 더 세분화된 구분이 가능하다. 본 시스템에서의 차종분류는 2006년 국토해양부(당시, 건설교통부)에서 제안한 12종 통합 차종분류가이드를 기준으로 하였다. 그림 4는 원더링시스템이 연동되어 개선된 고속축중계시스템의 개략도이며, 그림 5는 원더링센서에 의한 차륜의 횡방향 주행위치 판독방법, 그림 6은 원더링센서에 의해 판독되는 단륜과 복륜의 신호파형 특성을 보여주고 있다.



<그림 4> 원더링시스템이 추가된 고속축중계시스템



<그림 5> 원더링 센서에 의한 횡방향 위치 판독방법

$$P_R = d_R \times \tan(\theta) \quad (1)$$

$$P_L = d_C + \{d_L \times \tan(\theta)\} \quad (2)$$

$$d_R = (L_R - ofs) \quad (3)$$

$$d_L = (L_L - ofs) \quad (4)$$

$$wd_i = P_L - P_{R_i} \quad (5)$$

P_R = 오른쪽 바퀴 접지 위치

P_L = 왼쪽 바퀴 접지 위치

d_R = 기준점에서부터 오른쪽 바퀴의 진행거리

d_L = 기준점에서부터 왼쪽 바퀴의 진행거리

ofs = 축감지센서와 원더링센서 간의 이격거리

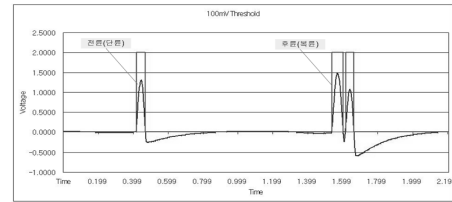
L_R = 축감지센서를 기준으로한 오른쪽 바퀴의 이동거리

L_L = 축감지센서를 기준으로한 왼쪽 바퀴의 이동거리

d_C = 오른쪽 원더링센서 기준점에서 왼쪽 원더링센서 기준점까지의 거리

wd_i = 모든 축의 윤거

i = 축번호



<그림 6> 원더링센서에 의한 단륜/복륜 신호파형 특성

원더링시스템에서 추출되어지는 횡방향 주행위치는 고속축중계에서 측정되는 측정하중을 보정하는 요소로 활용되어지며 이에 대한 기술은 본 논문의 III장에서 자세히 다루었다.

5. 과적단속시스템 초기모델 개발

본 연구에서는 향후 과적단속 또는 과적혐의차량 유도용으로 활용하기 위한 목적으로 과적단속시스템을 개발하였다. 앞서 설명한 고속축중계시스템에 차량번호인식시스템을 연동하여 고속주행 시 측정가능한 무인·무정차 과적단속시스템을 구축하였다. 본 시스템에서 획득되는 자료는 차량의 축하중, 총하중, 속도, 12종 차종분류에 따른 차종, 횡방향주행패턴(원더링) 및 기본적인 차량정보들이 추출된다. 또한 번호 인식카메라 연동을 통해 과적화물차 발견시 차량의 번호, 전면영상 추출, 과적 및 총과적 발생량 등을 도용으로 할 수 있도록 프로그램을 구성하였다. 다만 현재 제도적 단속력은 갖추고 있지 않다. 다음의 그림 6은 고속도로 무인·무정차 과적단속시스템 초기모델에 대한 개념도이다.



<그림 6> 과적단속시스템 초기모델 개념도

6. WIM(W) 성능등급

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

COST 323(1997)에 의하면 WIM 시스템의 주요 요구사항과 적용은 통계적인 정확성에 따라 분류되어진다. COST 323에 나타난 요구사항은 다음과 같이 요약할 수 있다. 아래의 표 3은 정확도 등급의 허용오차(6%)를 나타낸다.

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

정확도 등급에 따른 응용목적은 다음과 같다.

- A(5) : 법적 하중 제한의 단속이나 다른 특별한 필요에 의한 법적인 목적으로 사용 가능한 수준
- B+(7) : 특별한 경우의 법적 하중 제한의 단속목적으로 사용 가능하나 단속기관의 동의가 있어야 한다. 과적 적발 또는 과적 차량의 사전 분류 목적으로 사용 가능한 수준
- B(10) : 사회기반시설 설계와 유지관리 또는 평가 시, 과적 차량의 사전 분류 시 사용 가능한 수준
- C(15) 또는 D+(20) : 1~2톤의 등급 폭을 갖는 하중 히스토그램의 결정을 위한 자세한 통계학적 연구와 차량의 정확한 분류, 사회기반시설 연구와 피로 평가 시 사용가능한 수준

<표 3> 정확도 등급의 허용오차 (δ in %)

구 분	정확도 등급, 신뢰등급별 허용오차 수준 δ (%)						
	A(5)	B+(7)	B(10)	C(15)	D+(20)	D(25)	E
총중량	5	7	10	15	20	25	>25
그룹축중량	7	10	13	18	23	28	>28
단일축중량	8	11	15	20	25	30	>30
그룹축의축중량	10	14	20	25	30	35	>35

III. 하중 검증시험

본 연구에서는 고속측중계시스템의 성능 평가를 위하여 다음과 같은 현장 주행시험을 실시하였다. 먼저 주행시험을 통해 측정된 측정하중에 대하여 WIM 성능평가를 수행하고, 본 연구에서 적용한 윈더링시스템에서 추출되는 횡방향 주행위 치정보와 하중 검증시험 시 추가적으로 획득한 포장체의 내부온도 변화정보를 바탕으로 측정오차 보정기법을 개발하고 이를 검증하였다.

1. 시험조건 및 방법

윈더링시스템 적용을 통한 WIM 성능 개선을 위하여 시험 차량을 이용한 주행시험을 실시하고, 이때 포장체의 온도변화에 따른 하중특성을 분석하고 이를 이용한 측정하중 오차분 석을 실시하고자 시험기간 중의 포장체 깊이별 온도변위를 연속적으로 측정하였다. 다음은 본 연구에서 수행한 시스템 성능검증 현장 주행시험 개요이다.

- 대상구간 : 동처선 영업소 진입부
- 시험차량 : 2차종(4축 화물차, 5축화물차)
- 하중조건 : 정량중량적제
- 속도조건 : 정상주행속도
- 시험회수 : 일일 최대/최소 대기온도 시간대를 포함한 총 5회
- 주행회수 : 차량별 각 10회/시험
- 주행패턴 : 차로내 횡방향 임의(random)주행
- 총샘플수 : 90(총 100회 중 비정상 주행 10회 제외)

2. 시험결과

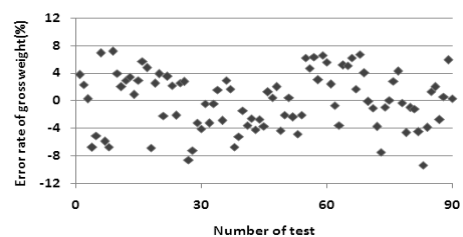
시험 시 측정하중에 대한 오차보정을 위하여 시험차량의 실제하중(정적하중)과 고속측중계시스템에서 측정되어지는 측정량, 총중량 그록 횡방향 주행위치(wandering) 및 포장체 내부온도 등을 측정하였다. 표 4는 시험차량의 정적하중이며 표 5와 그림 7은 정적하중 대비 측정하중에 대한 측정오차 결과를 보여주고 있다. 그림 8은 시험기간 중의 포장체 내부온도 변화 측정결과이다. 본 시험 결과를 COST 323에서 제시하고 있는 WIM 등급으로 나타내면 표 6에서 보는 바와 같이 사회기반시설 설계와 유지관리 또는 평가 시 또는 과적 차량의 사전 분류 시 사용 가능한 수준인 B(10)임을 알 수 있다.

<표 4> 시험차량 정적 계중값 (단위: kg)

시험 차량	축1	축2	축3	축4	축5	합계
4축 차량	9700	9700	9900	10200	-	39500
5축 차량	7140	6980	8620	10050	9770	42560

<표 5> 총중량 측정결과

시스템 측정 결과		Axle1	Axle2	Axle3	Axle4	Axle5	Gross	
Weight (kg)	5axle truck	Average	6882	6613	9377	9964	9491	42327
	truck	St.Dev	316	307	486	418	505	1803
	4axle truck	Average	9753	9422	10378	10163	-	39717
	truck	St.Dev	384	411	460	631	-	1579
Error (%)	5axle truck	Average	-3.6	-5.3	8.8	-0.9	-2.9	-0.5
	truck	St.Dev	4.4	4.4	5.6	4.2	5.2	4.2
	4axle truck	Average	0.5	-2.9	4.8	-0.4	-	0.5
	truck	St.Dev	4.0	4.2	4.6	6.2	-	4.0

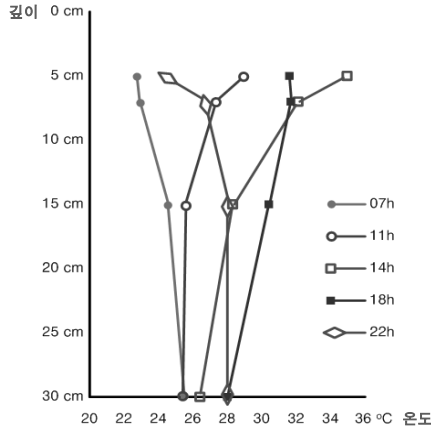


<그림 7> 총중량 측정 오차율

<표 6> 초기 측정값에 대한 WIM 등급

SYSTEM Entity	Number	Mean (%)	Std.Dev (%)	π_0 (%)	Class	δ (%)	δ_{min} (%)	π (%)	Accepted class
gross weight	90	0.00	4.13	94.8	B(10)	10.0	9.0	97.0	B(10)
group of axes	90	1.65	4.40	94.8	B(10)	13.0	10.2	98.9	
single axle	180	-2.82	4.72	95.5	B(10)	15.0	11.7	99.2	
axle of group	225	1.80	6.67	95.7	B(10)	20.0	14.9	99.4	

* π_0 : 최소요구신뢰수준, δ : 허용오차, δ_{min} : 최소허용오차, π : 신뢰수준



<그림 8> 포장체 깊이별 온도 분포

3. 보정기법 적용

WIM 시스템에서 측정된 결과가 실제하중에 근접하도록 하기 위하여 보정기법을 개발하여 적용하였다. 보정기법은 다음과 같은 두 단계 과정을 통해 WIM 시스템에서 내포하고 있는 측정오차를 줄이는 결과를 도출하였다.

(1) 제1단계 : 윈더링 분포에 따른 측정오차 보정

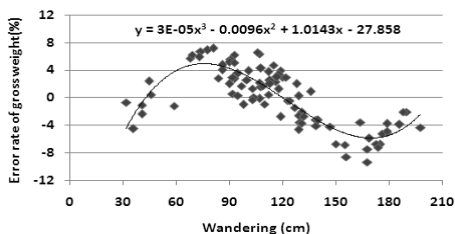
1차적으로 측정된 하중값들은 그림 7에서 보이는 바와 같이 특정한 패턴이 없이 랜덤하게 약 ±9% 대역 내에서 오차를 나타낸다. 하지만 이러한 각각의 개별 데이터를 윈더링 센서를 통해 측정된 각 데이터의 개별 횡방향 주행위치(wandering)에 따라 분포시키면 차량이 차로내에서 주행한 횡방향 위치에 따라 오차가 일정한 패턴을 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 패턴에 대하여 윈더링 위치에 따른 오차율의 추세식을 산정하고 그에 따른 보정함수를 결정할 수 있다.

그림 9는 윈더링 분포에 따른 총중량 오차율을 나타낸 것으로 차량의 횡방향 주행패턴이 'S'자 형태의 3차 곡선으로 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 패턴에 대한 보정함수는 식 4와 같이 나타낼 수 있다. 그림 10은 개별 주행시험 결과값에 대하여 횡방향 주행 이격거리를 반영한 윈더링 보정 후의 총중량 오차율 결과이다. 윈더링 보정 후 전반적인 오차율은 ±6% 대역 이내로 좁혀지는 것을 알 수 있다.

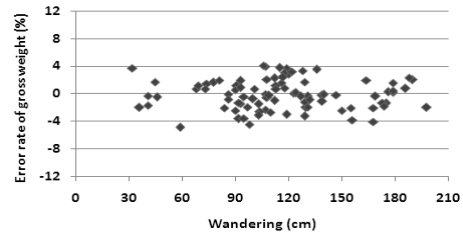
$$y_w = 2.61e - 5x^3 - 9.65e - 3x^2 + 1.014x - 27.858 \quad (\text{식 4})$$

y_w : 윈더링보정계수

x : 우측차선 기준 횡방향 주행이격 거리(cm)



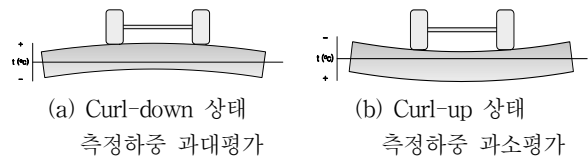
<그림 9> 윈더링 분포에 따른 총중량 오차율



<그림 10> 윈더링 보정 후 총중량 오차율

(1) 제2단계 : 포장체 상하부의 온도차에 대한 측정오차 보정

제1단계에서 보정된 총중량값의 오차율을 측정시점의 포장체 슬래브 상하부 온도차에 따라 분포시킨 후 온도차에 대한 보정계수를 산정하여 측정값을 보정한다. 온도차에 대한 보정은 동일한 하중에 대하여 슬래브 상하부의 온도차에 따른 슬래브의 Curling 거동에 의해 슬래브 상부에 매립되어 있는 센서의 응답이 영향을 받기 때문이다(그림 11 참조).



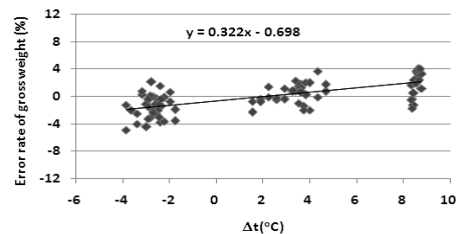
<그림 11> 포장체의 온도거동에 따른 하중재하 특성

그림 12는 슬래브 상하부 온도차에 따른 총중량 오차율을 나타낸 것으로 상부의 온도가 하부의 온도보다 높을수록 선형적으로 과대평가되는 경향을 나타내었다. 이러한 패턴에 대한 보정함수는 식 5와 같이 나타낼 수 있다. 그림 13은 윈더링 보정이 된 이후의 개별 주행시험 결과값에 대하여 슬래브 상하부 온도차(Δt)에 따른 영향을 반영한 온도차 보정 후의 총중량 오차율 결과이다. 슬래브 상하부 온도차에 대한 보정 후 총중량 오차율은 전반적으로 ±5% 대역 이내로 좁혀지는 것을 알 수 있다.

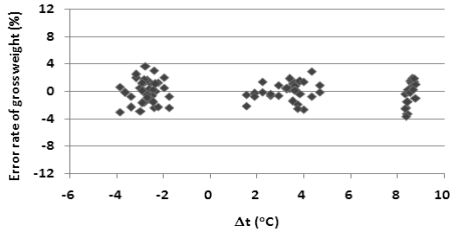
$$y_t = 0.32x - 0.6984 \quad (\text{식 5})$$

y_t : 온도보정계수, x : 상하부 온도차(°C)

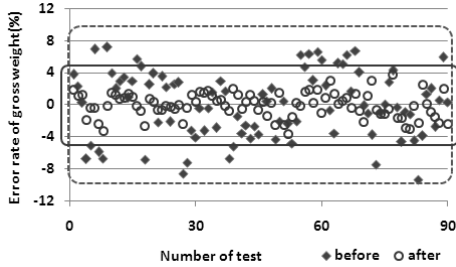
이와 같이 고속측중계시스템에서 측정된 측정값에 대한 윈더링 분포 보정과 슬래브 상하부 온도차 보정을 수행한 결과 그림 14에서 보이는 바와 같이 ±9% 대역에 분포하던 오차율을 약 ±5% 대역으로 좁힐 수 있음을 확인하였다. 표 7은 보정기법을 적용한 이후 결과에 대한 COST 323 WIM 등급을 보여주고 있다.



<그림 12> Δt에 따른 총중량 오차율



<그림 13> Δt 보정 후 총중량 오차율



<그림 14> 보정 전후의 오차율 비교

<표 7> 보정기법 적용 후의 WIM 등급

SYSTEM Entity	Number	Mean (%)	Stddeviat (%)	π_0 (%)	Class	δ (%)	δ_{min} (%)	π (%)	Accepted class
gross weight	90	-0.10	1.55	94.8	A(5)	5.0	3.4	99.7	B+(7)
group of axles	90	1.63	2.29	94.8	A(5)	7.1	5.9	98.4	
single axle	180	-2.85	2.68	95.5	A(5)	8.0	7.8	96.1	
axle of group	225	1.93	5.47	95.7	B+(7)	14.0	12.5	97.7	

IV. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 고속축중계시스템을 무인·무정차 과적단속 시스템으로 활용하기 위한 목적으로 윈더링시스템 기반의 고속축중계시스템으로 그 성능을 개선하였다. 그 결과 기본적인 단속장비로서의 기능을 위해 요구되는 세부적인 차중분류 기능과 단속회피차량에 대한 판독 기능을 구현하였으며, 횡방향 주행위치 및 포장체 내부온도 변화에 따른 측정하중 오차의 보정기법을 개발하여 기존의 고속축중계에서 내포하고 있던 측정오차범위를 좁혀 단속가능한 수준의 하중오차율을 확보할 수 있음을 검증하였다.

COST 323에서 제시하고 있는 WIM 시스템의 등급기준으로 통계적으로 활용 가능한 수준(B(10)등급)의 WIM 시스템을 보정기법을 통하여 단속이 가능한 수준(B+(7)등급)으로 한 단계 향상되는 효과를 검증하였다. 이는 고속축중계시스템의 정확도 향상이라는 측면에서도 중요한 의미를 가지지만, 고속축중계를 과적단속시스템으로 활용하고자 할 경우 측정값의 정확도를 향상시킴으로써 단속 결과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다는 점에서 그 의미를 둘 수 있다. 즉 기존 B(10)등급의 고속축중계시스템을 윈더링센서와의 연동을 통해 보완하여 직접단속이 가능한 B+(7)등급으로의 상향조정이 가능하므로 기술적으로는 단속기능을 갖추고 있는 것으로 판단된다. 다만, 이를 실용화하기 위해서는 법적, 제도적 검토를 신중히 하여 적용 시 단속 효용성을 갖도록 뒷받침하여야 할 것이다.

본 시스템이 실제 과적단속시스템으로 활용된다면 도로 본선 상에서 교통의 흐름을 방해하지 않고 과적차량을 검측하는 것이 가능해지므로 기존에 저속 또는 정지 상태에서 검측하던 방식에서 측정방해행위로 이루어지던 축조작 등에 의한 고의과적회피현상을 근본적으로 차단할 수 있으며, 특히 고속도로의 개방식구간과 같이 과적단속이 불가능한 구간에서 단속 실효성을 확보할 수 있다. 이는 곧 과적화물차 진입억제를 통해 고속도로 포장, 교량 등 도로구조물의 공용수명 증가와 대형사고 감소 효과를 기대할 수 있다.

단속의 경우 현재의 허용범위 10%이내에서 오인식율을 0%에 가깝게 하여야 하므로, 하중측정값에 대한 정확도 향상이 기술적으로 가장 중요한 과제이다. 따라서, 향후 연구방향을 실제 과적화물차의 하중 및 속도대역에서 오차율을 최소화하는 방안에 대한 연구가 필요하다. 예를 들면, 시스템 적용구간의 일정 구간에 대한 노면 평탄성 기준 수립, 축중센서 설치에 필요한 충전제에 대한 내구성 검토, 주기적인 보정기법 및 유지관리기법 개발 등이 이에 해당된다.

감사의 글

본 논문은 한국도로공사 도로교통연구원의 「고속도로 이용의 효율성 증대를 위한 고속축하중 측정시스템 개발」 연구의 일환으로 도출된 결과입니다.

참고문헌

1. Bernard Jacob, "Weigh-in-motion of Road Vehicles", Proceedings of the Final Symposium of the project WAVE (1996-99), Paris, May 6-7, 1999.
2. International Conference on Heavy Vehicles Paris 2008, "Heavy Vehicle Transport Technology (HVT10) and Weigh-In-Motion(ICWIM5)", May 19-22, 2008 Paris, France.
3. LCPC, Bernard Jacob, "COST 323 : Weigh-in-motion of Road Vehicles (WIM-LOAD)", Final Report of the COST323 action.
4. TRANSPORT RESEARCH, "Weigh in Motion of Road Vehicles", 2nd European Conference Lisbon, 14/16 September 1998, Pre-proceedings.
5. TRANSPORT RESEARCH, "Weigh in Motion of Road Vehicles", Final Report (1993-1998).
6. WAVE, "Weigh-in-motion of Axles and Vehicles for Europe", Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, General Report.
7. 권순민, 서영찬, "고속축하중측정시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안", 2009. 한국도로회 논문집
8. 권순민, 서영찬, "윈더링센서를 이용한 차중분류기법 개발", 2009. 대한교통학회 논문집