

시험도로 고속측중계의 설치 및 운영현황

Installation and Operation of Weigh-In-Motion in the KHC Test Road

김형배* · 이재훈** · 권순민*** · 이광호****

Kim, Hyung Bae · Lee, Jea Hoon · Kwon, Soon Min · Lee, Kwang Ho

1. 서 론

현재 시험도로에는 고속측중계가 1조가 설치되어 있으며 설치 목적은 시험도로 구간을 지나는 교통량의 누적통과량을 차종별로 인식하고 각 차종별 축하중 분포를 확인하기 위함이다. 이 밖에도 차량통과 시 윈더링 효과 등을 고려하여 교통하중이 포장에 미치는 파손영향을 보다 정확하게 정량화 하는 부수적인 효과도 본 고속측중계를 통하여 얻고자 하고 있다. 현재 시험도로 고속측중계는 11종의 차종구분, 차축중량, 전체중량, 통과속도, 축간격, 차량간격, 차량통과 주행선(wandering) 등의 정보를 측정할 수 있다. 위의 정보들은 자동 계측시스템을 통하여 실시간으로 저장되어 포장의 장기공용성과 통과교통량의 상관관계를 분석하는 기초자료로 활용될 예정이다. 현재 설치된 고속측중계는 최대 통과 축하중을 13톤으로 가정하여 적정 설치되어있다. 고속도로 영업소의 진입시 축중량 11톤 이상인 차량은 통제가 이루어지고 있으므로 과적차량의 계측 오차문제는 크지 않을 것으로 판단된다. 현재 설치된 고속측중계의 허용 통과속도는 200km까지이고 약 5%이내의 정확도로 축중량 및 전체중량의 측정이 가능하다. 또한, 축중기 부근에서 차선을 변경하여 주행선과 추월선에 한쪽 바퀴씩 걸쳐서 주행하는 경우에는 오류가 발생하여 역시 누적통과교통량에 고려되지는 않는다. 본 논문에서는 현재 시험도로에서 운영중인 고속측중계 구성 및 운영현황을 간략하게 언급하고자 한다.

2. 시험도로 고속측중계 개요

2.1 설치목적

지금까지 국내에 도입한 고속측중계 장비들은 주로 차량 구분, 차종별 통행량 자료 수집, 통행 속도 분포 자료 수집 등 교통공학의 관점에서 교통량 자료의 수집에 사용되어왔다. 그러나, 본 시험도로에 설치된 고속측중계는 교통공학의 관점이 아닌 포장공학의 관점에서 필요한 자료의 획득을 위하여 활용할 계획이다. 구체적으로 포장체 손상을 고려한 새로운 차종분류체계수립 및 축하중 분포 자료, 차량 속도 등 각종 기본자료 제공은 물론이고 일별, 월별, 계절별 교통하중 추세의 변화에 대한 분석을 통한 포장설계법의 교통하중 입력변수 정량화, 교통하중의 윈더링 효과분석 및 과적차량의 고속도로 주행에 따른 포장 누적손상 분석 등을 위한 연구 목적으로 활용하게 된다. 이렇게 고속측중계를 활용하여 얻어지는 교통하중 관련 연구결과는 시험도로 포장계측 및 공용성 분석을 통한 포장 구조해석 및 공용성 모형 검증 결과와 함께 한국형 포장설계법에 핵심자료로 적용되어 국내 포장설계의 새로운 기준으로 사용될 것이다.

2.2 고속측중계 종류별 분석

위에서 언급하였듯이 시험도로 고속측중계의 자료는 한국형, 포장설계법 개발과 관련하여 가장 핵심적인 검증자료를 제공하여야 한다는 대단히 중요한 역할 때문에 자료의 신뢰성 및 정확성이 그 무엇보다도 중요하다. 따라서, 시험도로에 최종 설치하기 이전에 가장 정확하고 신뢰성 높은 고속측중계 사양을 선정하고자 기존에 국내외에서 사용중인 다양한 고속측중계 형식에 대한 광범위한 장단점 분석을 실시하였다.

* 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 (E-mail: kimhyun3@freeway.co.kr)
** 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 (E-mail: ranian74@freeway.co.kr)
*** 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 (E-mail: soonmini@freeway.co.kr)
**** 한국도로공사 도로교통기술원 연구개발실장 · 공학박사 (E-mail: LKH@freeway.co.kr)



고속측중계(WIM) 사양은 일반적으로 하중을 측정하는 센서의 종류에 따라 다음과 같이 구분한다.

○ 벤딩 플레이트(bending plate)

: 벤딩 플레이트 센서를 사용하는 WIM은 변형률 게이지를 이용해 차량 하중에 의해 발생하는 플레이트의 변형률을 측정하여 가해지는 하중을 측정한다.

○ 로드 셀(load cell)

: 로드셀 방식의 WIM은 재하판에 부착된 로드 셀(load cell)을 이용하여 가해지는 힘을 직접적으로 측정하는 방식이다.

○ 피에조일렉트릭(piezoelectric)

: 피에조일렉트릭 방식의 WIM은 압력이 가해지면 전하가 발생하는 재료를 센서로 이용하여, 차량이 통과시 발생하는 전하를 측정한 후 이를 다시 하중값으로 변화시키는 방식의 장비이다. 이 방식의 WIM 장비에는 피에조세라믹 케이블(piezoceramic cable) 형태의 센서가 주로 사용된다.

아래의 <표 1>에서 보는 바와 같이 여러 종류의 WIM 장비 중에서 피에조일렉트릭(piezoelectric)방식이 저렴한 장비 가격과 설치의 용이성, 저렴한 관리비용 등의 이유로 가장 널리 사용되고 있다. 그러나, 정확성이 95% 신뢰수준에서 ±15% 정도로 다른 방식에 비하여 낮으며, 수명 또한 4년 내외로 짧은 것이 문제점이다.(Rob Bushman, Andrew J. Pratt, 1998)

표 1. 센서 형태별 WIM 개요 (Rob Bushman, Andrew J. Pratt, 1998)

	피에조 일렉트릭	벤딩 플레이트	싱글 로드 셀
정확도(95% 신뢰수준)	±15%	±10%	±6%
예상 수명	4년	6년	12년
초기 설치비	\$9,000	\$21,500	\$48,700
연간유지비	\$4,750	\$6,400	\$8,300

2.2 Quartz식 센서를 적용한 고속측중계 개요

위에서 언급한 고속측중계 형식들의 장단점을 극복하고자 하는 노력에서 시험도로에서는 유럽의 WAVE (Weighing in motion of Axles and Vehicles for Europe) 프로젝트 연구팀에서 추진하고 있는 Quartz 센서를 적용한 고속측중계를 적용하였다. Quartz식 센서는 피에조세라믹 케이블(piezoceramic cable) 형태의 센서를 내장한 피에조일렉트릭(piezoelectric)방식의 WIM 장비가 지니고 있는 문제점들을 개선한 새로운 방식의 WIM으로서 Quartz식 센서는 전하를 발생시키는 재료로 수정(Quartz)을 사용한다. 시험도로에서는 Quartz식 센서를 장착한 WIM 장비는 스위스의 KISTLER사에서 생산하는 LINEAS Weigh-In-Motion Sensor Type 9195C를 채택하였는데 성능개요를 살펴보면 다음과 같다.

○ 정확도

: LINEAS Weigh-In-Motion Sensor Type 9195C은 ±3%의 높은 정확성을 갖는 것으로 알려져 있다. 이러한 높은 정확성은 전하를 방출하는 Quartz 자체가 전기적으로 역학적으로 매우 안정적인 형태를 취하고 있기 때문이다. 아래의 <그림 1>에서 보는 것처럼 LINEAS Weigh-In-Motion Sensor Type 9195C는 구조상 교통 하중에 의한 수직압만 받도록 설계되어 있어, 측압에 의한 데이터의 오류 발생 가능성을 줄이도록 되어있다.

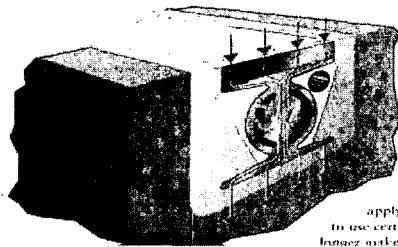


그림 1 LINEAS의 하중전달구조



미국의 Connecticut주 교통국에서는 1997년 Quartz식 센서를 이용한 WIM 장비를 LTPP-SPS 구간에 설치하여 그 성능을 평가하는 시험을 수행하였다. 4개 차로에 Quartz식 WIM을 설치하여 정확도 및 내구성을 평가한 결과 일반적으로 1~2 %의 낮은 에러율을 가진 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다(Donald A, Larsen, 1999). 2000년 Minnesota주의 Mn/ROAD에서 로드 셀 방식의 WIM과 Quartz식 WIM에 대한 비교 시험이 이루어졌다. <그림 2>에서 보는 바와 같이 정확도에 있어서 Quartz식 WIM의 경우는 오차율이 5% 이내로 매우 정확하게 나타나 로드 셀 방식의 WIM 보다 훨씬 좋은 성능을 보이는 것으로 나타났다. 또한, <그림 3>에서 보는 것처럼 속도에 대한 민감도 Quartz식 WIM이 뛰어난 안정성을 보이는 것으로 나타났다.(Maggi Chalkline, 2002)

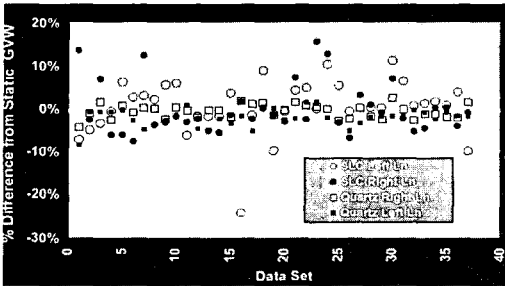


그림 2 WIM 장비별 정확도-Mn/ROAD

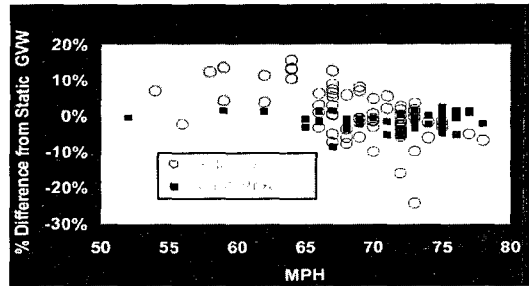


그림 3 WIM 장비별 속도 민감도 - Mn/ROAD

○ 내구성

: COST 323 프로젝트에서는 1997년에 WIM 장비에 대한 CET(cold environment test)를 수행하였다. 이 연구는 연중 기온이 -35℃ ~ +25℃에 이르는 스웨덴에서 SNRA(The Swedish National Road Administration)의 주관하에 수행되었다. 연구 결과는 다른 WIM 장비에 비해 LINEAS의 계속 결과는 매우 안정적인 것으로 나타나 극심한 기온차에 대한 우수한 안정성이 입증됐다.(Sophie JEHAES, 1999)

○ 유지관리의 기타

: 이 외에 LINEAS Weigh-In-Motion Sensor Type 9195C은 포장의 재질과 거의 동일한 패드가 상부에 설치되어 포장의 마모와 거의 동일하게 변형이 일어나며, 패드를 갈아낼 수 있도록 되어 있어 평탄성 유지가 용이하다. 따라서, <그림 5>에서 보는 바와 같이 센서와 포장층의 단차로 인하여 발생하는 오차를 최소화할 수 있다.

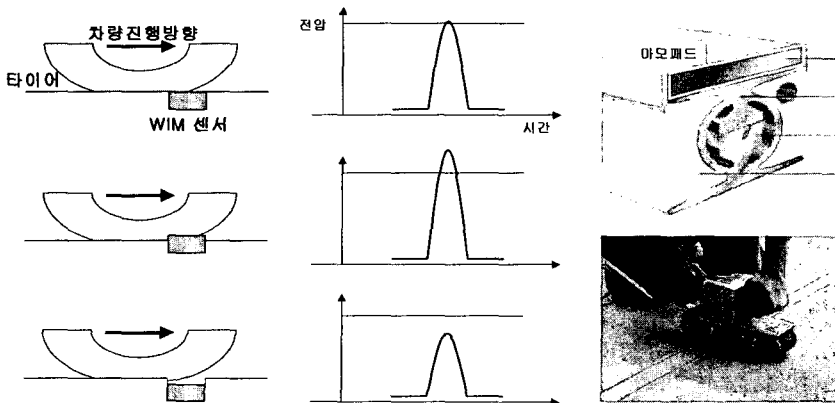


그림 4 단차에 의한 오차와 LINEAS의 단차 수정 방법

2.3 시험도로 고속측중계 구성

고속측중계는 <그림 5>에 보이는 것처럼 차선별로 4.1m 이격되어 설치된 두줄의 측중기(P11, P12 & P21, P22)와 전방 루프(L11, L21), 중간 루프(L12, L22) 및 윈더링 측중기(WP1, WP12 & WP21, WP22)로 구성된다. 또한 주행선과 추월선 사이의 고속측중계 및 루프는 약 40cm 가량 이격되어 설치되었다. 이렇게 이격되어 설치한 이유는 추월선의 고속측중계 및 루프에서 나오는 전선들이 주행선의 센서들을 피해서 설치되도록 하기 위해서이다. 각 계측부분의 역할을 설명하면 다음과 같다. 전방루프는 차량이 진입시에 고속측중계 관제기에 차량진입 신호를 보내는 역할을 한다. 두줄의 측중기는 차축의 중량을 측정하고 차축의 통과시간 차이를 토대로 속도를 산정하는 역할을 한다. 중간루프는 두줄의 측중계 위로 하중이 주행할 경우 자장을 확인하여 동일 차량의 하중인지 여부를 확인하는 역할을 한다.

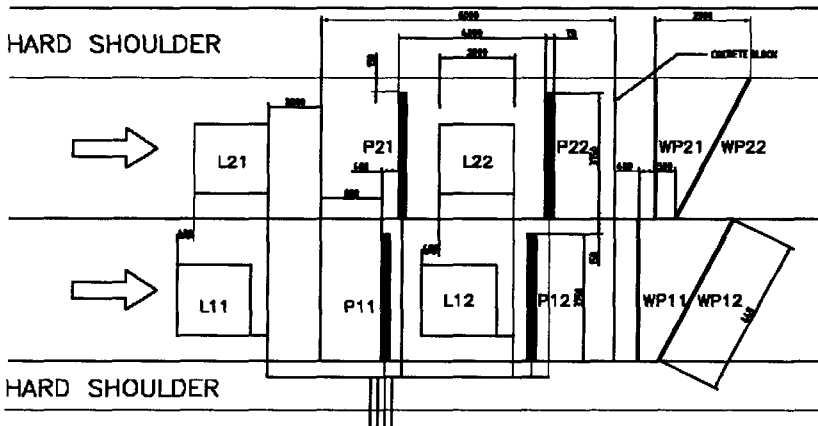


그림 5 시험도로 WIM 배치도

차종 분류는 축간격, 차량의 앞뒤, 오버행의 길이 등을 토대로 미리 작성되어 운영프로그램에 내장되어 국내에서 운행되는 모든 차종의 형태 DB와 비교하여 판단한다. 현재 고속측중계 운영프로그램은 11종으로 차종을 분류한다.

3. 고속측중계 측정값 교정

3.1 교정을 위한 시험개요

Quartz식 센서를 적용한 고속측중계를 시험도로에 설치한 후 측정값의 보정을 위한 시험이 실시되었으며 그 개요는 다음과 같다.

- 사용차량 : 총중량 5,450kg 2축 및 총중량 13,050kg (공차) ~ 25,270kg (만차) 3축 트럭
- 적용속도 : 20,30,50,70,80 km
- 시험절차

- 차량의 정적 데이터 측정

교정에 투입되는 차량의 정적인 데이터-차량의 총중량, 각 축의 중량, 축타입, 축간 중심간 거리-를 3회 반복 측정하여 평균값을 차량의 정적데이터로 간주한다.

- 주행 차량의 동적 데이터 측정

정적 데이터를 알고 있는 차량을 20 ~ 80km/h의 속도로 1, 2차선을 5회 이상 반복 주행한다. 각 주행마다 차량의 속도를 WIM시스템을 이용하여 측정한다.

- 교정값 설정

WIM 시스템에서 측정한 동적 데이터와 정적 데이터를 정확히 기록한 후 동적 데이터와 정적 데이터간의 error value의 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 계산하여 표준편차의 범위가 WIM시스템의 full-scale error 범위 내가 되도록 교정값을 설정한다.



여기서,

$$d = \frac{(C - R)}{R} \times 100 \tag{1}$$

d : WIM시스템에서 측정된 동적데이터와 정적데이터 간의 error value (%)

C : WIM시스템에서 측정된 dynamic weight

R : Static weight

· 확인 시험

변경된 교정값을 설정하고 교정값 설정에 이용되었던 동일 차량을 5회 반복 주행하면서 WIM 시스템의 측정 오차가 요구 에러 범위 이내가 되는지 확인한다.

3.2 시험결과

그림 6은 3축 트럭을 공차상태로 37번 주행시켰을 때 실제 정적 계량한 차량 무게와 고속측중계에 교정값을 적용하여 얻은 동적 측정무게 사이의 차이를 나타내고 있다. 그림에서 보면 정적 계량 무게와 동적 측정무게 사이의 오차는 최대 5%를 넘지 않고 있음을 알 수 있다.

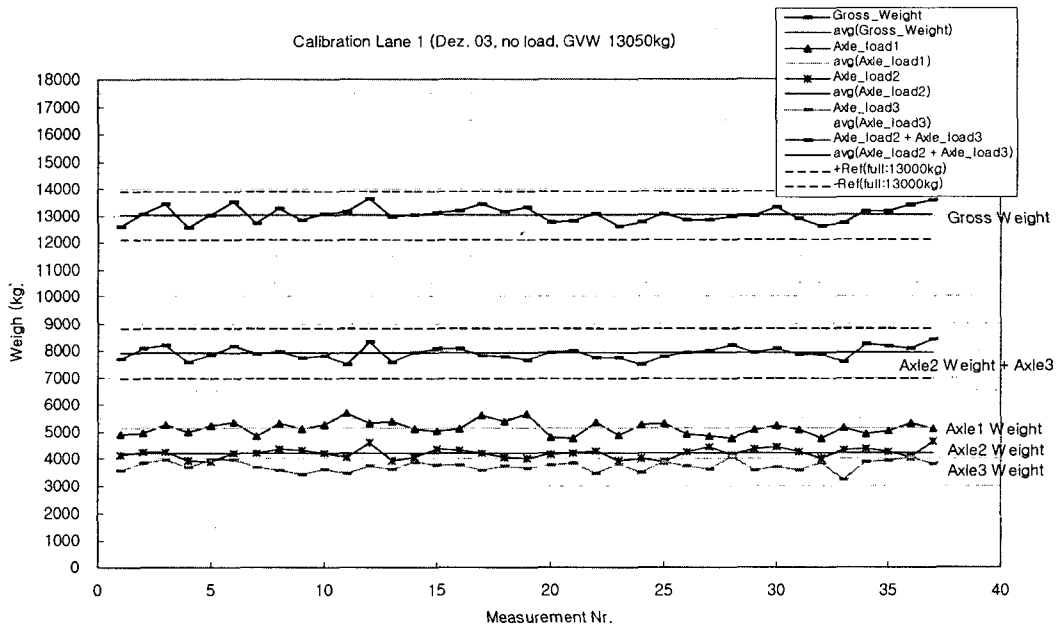


그림 6 교정작업 후 고속측중계 측정결과의 오차변위 (1차로, 3축트럭 총중량 13.050kg)

표 2는 시험차량 주행시 교정시험을 통하여 얻어진 교정값을 적용할 때 발생하는 오차율들을 정리하여 나타내고 있다. 교정 후 다양한 시험트럭 주행경우에 대하여 최대 오차율이 6.68%로 나타나는 것으로 보아 시험도로의 교통량 축하중 관련 분석자료들의 신뢰성은 상당한 수준에 이를 것으로 기대된다.



표 2 고속축중계 교정결과 요약

교정차량 및 차로		오차율			
		총중량(%f.s.)	1축(%f.s.)	2축(%f.s.)	3축(%f.s.)
만차 (2축,no load)	1차선	max : 2.02 min : 0.04 average : 0.77	max : 1.65 min : 0.05 average : 0.60	max : 1.44 min : 0.01 average : 0.41	.
	2차선	max : 2.72 min : 0.03 average : 0.92	max : 1.89 min : 0.01 average : 0.59	max : 1.80 min : 0.01 average : 0.50	.
공차 (3축,no load)	1차선	max : 4.48 min : 0.02 average : 1.74	max : 4.26 min : 0.08 average : 1.54	max : 3.27 min : 0.00 average : 1.13	max : 3.73 min : 0.03 average : 1.16
	2차선	max : 5.73 min : 0.09 average : 2.24	max : 4.50 min : 0.11 average : 1.76	max : 3.18 min : 0.01 average : 1.47	max : 3.05 min : 0.13 average : 1.43
만차 (3축,full load)	1차선	max : 6.68 min : 0.01 average : 3.25	max : 4.01 min : 0.33 average : 1.46	max : 4.31 min : 0.08 average : 1.55	max : 3.04 min : 0.02 average : 1.35
	2차선	max : 4.88 min : 0.65 average : 2.71	max : 2.08 min : 0.01 average : 0.90	max : 4.09 min : 0.18 average : 2.27	max : 3.94 min : 0.11 average : 1.90

4. 고속축중계 운영 프로그램

본 절에서는 고속축중계 운영 프로그램의 활용에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

4.1 주화면

운영 프로그램을 실행시키면 <그림 7>과 같은 화면이 나타난다. 메인 화면의 기능은 각 차로로 통행하는 차량의 속도, 총중량을 그래프로 표시하여 관리자가 주행하는 차량의 정보를 한눈에 파악할 수 있도록 한다. 또한 그래프 하단의 표에 각 차로로 주행한 차량의 속도, 차종, 축수, 총중량, 축별 중량, 축타입 등 각종 개별차량데이터를 표시함으로써 주행하는 차량에 대한 상세한 정보를 제공한다.

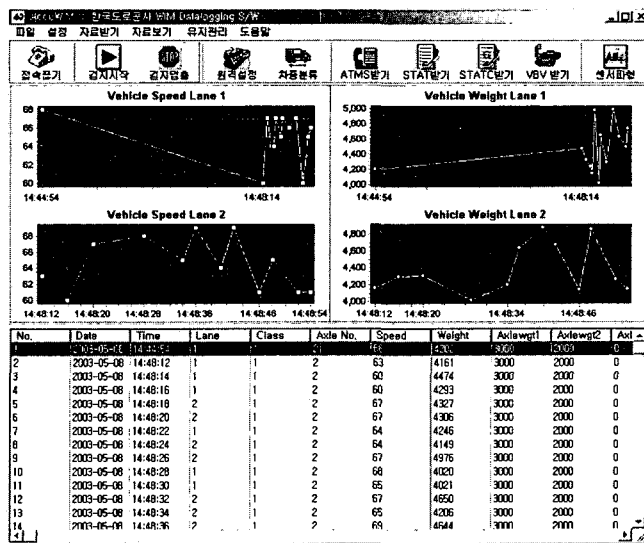


그림 7 고속축중계 운영 프로그램의 주화면



4.2 개별차량자료 보기

측중계 제어기로부터 다운로드받은 개별차량자료를 읽어들이어 관리자가 파일에 저장된 각종 개별차량자료를 볼 수 있도록 한다(<그림 8> 참고). 개별차량자료에 저장되는 항목은 차로, 차종, 주행속도, 축수, 축중량, 총중량, 축타입 및 타입별 중량 등이다. 상단의 표에는 개별차량자료 파일에 저장된 모든 차량의 정보를 표로 정리해서 보여주며 마우스로 해당 차량을 선택하면 하단에 상세하게 해당차량의 정보를 표시한다.

Vbr No.	Detect Time	Lane	Axle No.	Axle Type	VClass	Speed	Len
1	2003-01-21 14:00:01	1	2	SI-SI	2	72	850
2	2003-01-21 14:00:01	1	2	SI-SI	2	72	845
3	2003-01-21 14:00:08	1	2	SI-SI	2	71	843
4	2003-01-21 14:00:11	1	2	SI-SI	2	72	853
5	2003-01-21 14:00:13	1	2	SI-SI	2	72	848
6	2003-01-21 14:00:17	1	2	SI-SI	2	72	859
7	2003-01-21 14:00:20	1	2	SI-SI	2	72	856
8	2003-01-21 14:00:23	1	2	SI-SI	2	72	853
9	2003-01-21 14:00:26	1	2	SI-SI	2	72	850
10	2003-01-21 14:00:29	1	2	SI-SI	2	72	890
11	2003-01-21 14:00:33	1	2	SI-SI	2	72	896
12	2003-01-21 14:00:36	1	2	SI-SI	2	72	863
13	2003-01-21 14:00:39	1	2	SI-SI	2	72	850
14	2003-01-21 14:00:42	1	2	SI-SI	2	72	862
15	2003-01-21 14:00:45	1	2	SI-SI	2	72	856
16	2003-01-21 14:00:48	1	2	SI-SI	2	72	848
17	2003-01-21 14:00:52	1	2	SI-SI	2	72	851
18	2003-01-21 14:00:54	1	2	SI-SI	2	72	845
19	2003-01-21 14:00:58	1	2	SI-SI	2	72	851
20	2003-01-21 14:01:01	1	2	SI-SI	2	72	856
21	2003-01-21 14:01:04	1	2	SI-SI	2	72	845
22	2003-01-21 14:01:07	1	2	SI-SI	2	72	856

Axle No.	VClass	Axle Type	Speed (km/h)	Length (cm)	Weight (kg)
2	2	SI-SI	72	845	5425

Axle Weight		Axle Space		Type Axle	
Axle1	2690 kg	Axle5	0 kg	Axle sp 1-2	331 cm
Axle2	2735 kg	Axle6	0 kg	Axle sp 2-3	0 cm
				Axle sp 5-6	0 cm
				Axle sp 6-7	0 cm
				Axle sp 7-8	0 cm

그림 8 개별차량자료 보기

4.3 축중계 데이터 검색

제어기에 저장된 통계자료 및 개별차량정보는 주기적으로 축중계 데이터베이스에 저장된다. 데이터베이스에 저장된 통계자료 및 개별차량자료는 일시, 차로, 차종, 축종류, 총하중 등의 조건으로 검색할 수 있다(<그림 9> 참고). 검색된 데이터는 오른쪽의 표에 표시되며 메뉴에서 엑셀로 저장하기를 선택하면 마이크로소프트사의 엑셀파일(*.xls)로 저장된다. 저장된 엑셀파일을 이용하여 관리자는 다양한 통계분석에 필요한 기초자료를 얻을 수 있다.

VbrVbrs_Time	Lane_Number	Speed_Number	VehicleCategory_Num
2003-04-16 11:46:42	1	10	
2003-04-16 11:46:44	1	10	
2003-04-16 11:46:45	1	10	
2003-04-16 11:46:45	1	10	
2003-04-16 11:46:46	1	10	
2003-04-16 11:46:46	1	10	
2003-04-16 11:46:47	1	10	
2003-04-16 11:46:47	1	10	
2003-04-16 11:46:47	1	10	
2003-04-16 11:46:47	1	10	

그림 9 축중계 데이터 검색



5. Wandering 측정 시스템

기존의 축하중 특성분석과 관련한 교통하중에 관한 연구는 모든 교통하중이 도로를 주행할 때 차륜이 동일한 주행선을 지나는 것으로 가정하고 등가 단축하중 환산계수 등을 추정하였으나 실제 주행상황에서는 모든 차량의 주행선은 일정 변동폭을 가지고 있으며 이것을 교통하중의 wandering이라 한다. wandering 폭은 일몰전후별, 차종별, 계절별로 차이가 클 것으로 판단되기 때문에 교통하중 정량화를 위한 연구시 이러한 주행조건별 wandering 변화는 반드시 고려되어야 한다. 시험도로에는 이러한 wandering 효과를 검증하기 위한 별도의 센서가 고속축중계 시스템과 연계되어 설치되어 있다. 구체적으로 살펴보면 그림 10과 같이 전륜이 피에조 센서를 통과한 지점에서 오른쪽 차선으로부터의 거리 즉, h_1 과 h_2 를 측정하는 방식이며 θ 는 현장시험을 통해 55° 로 정하였다. 이 피에조 센서의 신호는 기존 고속축중계의 신호와 동시에 처리되어 WIM 운영 프로그램에서 통합조회 및 통계분석이 가능하다. 현재 wandering 측정 시스템은 130km 속도로 주행시 최대 10cm 오차 범위에서 측정이 가능하다.

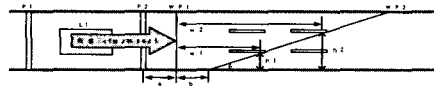


그림 10 Wandering System 개요

6. 결론 및 향후 연구과제

시험도로에 설치되어 있는 고속축중계 (WIM)은 기존의 도입된 것들과는 달리 교통공학적 관점에 치우친 자료획득에서 벗어나 포장공학 특히, 포장설계법 개발에 필요한 기초자료를 충분히 수집할 수 있도록 시스템 및 운영프로그램이 제작되었다. 본 고속축중계로부터 얻어지게되는 차종 및 축 종류별 하중 분포 자료, 일별, 월별, 계절별 교통하중 추세의 변화자료, 교통하중의 윈더링 자료 및 고속도로 주행 과적차량 자료등은 한국형 포장설계법 개발을 위한 교통하중 정량화를 위한 연구에 긴요하게 활용될 것으로 기대된다. 또한, 시험도로의 자체 연구계획에 따라 수행예정인 시험도로 포장단면의 공용성분석, 구조해석 모형 검증, 과적차량에 의한 포장손상 영향 정량화등의 세부연구에 중요한 자료를 제공하게 될 것이다.

참고문헌

1. Rob Bushman, Andrew J. Pratt "Weigh In Motion Technology - Economics and Performance", NATMEC, 1998
2. Donald A, Larsen, "Second Interim Report on the Installation and Evaluation of Weigh-In-Motion Utilizing Quartz-piezo Sensor Technology", Connecticut DOT Office of Research and Material, 1999
3. Maggi Chalkline, Mn/ROAD Traffic, Proceedings of Second Annual Mn/ROAD Workshop, Minneapolis, Minnesota, Feb. 2002
4. Sophie JEHAES, Tests of WIM system in cold climates, Proceedings of the Final Symposium of the Project WAVE : Weigh-in-motion of Road Vehicles, Paris, May 6-7, 1999
5. 한국도로공사 도로교통기술원 "시험도로의 건설 및 운영에 관한 연구" 최종보고서, 2002