



차량 원더링 계측을 위한 사선센서 적정 설치각도 결정

Determining the Appropriate Installation Angle of Skewed Sensor to Measure Vehicle Wandering

오 주 삼*
Oh, Jusam

장 경 찬**
Jang, kyung Chan

김 민 성**
Kim, Min Sung

장 진 환**
Jang, Jin Hwan

Abstract

This paper proposed the appropriate installation angle of skewed sensors for measuring vehicle wandering data, which are collected to figure out the location of dynamic weight of a moving vehicle on roadways. We developed a device using tape-switch sensors and a computer program and collected vehicle wandering data with the device and probe vehicles. As a result, the steeper the skewed sensor was installed, the lower the error was shown. However, we could not collect proper data when a skewed sensor was set up higher than 30° due to tandem axle. Therefore, this study suggested the appropriate angle of skewed sensors as a degree of 20° to 25° for gathering wandering data.

Keywords : wandering, tread, lateral position, wheel path, tape-switch sensor

요 지

차량의 동적하중이 도로상에 작용하는 위치를 계측하기 위한 원더링 계측용 사선센서의 적정 설치각도를 제안하였다. 이를 위해서 테이프스위치 센서를 이용하여 원더링 계측용 장비를 개발하였고, 개발된 장비와 실험차량을 이용하여 평가용 자료를 수집하였다. 수집자료 분석 결과, 사선센서의 설치각도가 커질수록 원더링 수집자료의 오차가 감소하였고, 이러한 오차의 감소는 통계적으로도 의미가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 사선센서를 30° 이상으로 설치할 경우, 탠덤축의 제원상의 이유로 인해 오류자료가 수집되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 국내 차량제원 등을 종합하여 원더링 계측용 사선센서의 적정 설치각도를 20° ~25° 로 제안하였다.

핵심어 : 원더링, 윤거, 차량마취계측, 테이프스위치센서

1. 배경 및 목적

일반적으로 도로를 주행하는 차량들은 동일한 주행궤적을 갖지 않는다. 즉, 도로, 교통 및 운전자 특성에 따라서 좌측 혹은 우측으로 치우쳐서 주행한다. 이러한 차량의 주행특성을 원더링(wandering)이라고 하는데, 이러한 원더링은 도로포장의 공용성에 큰 영향을 미친다. 이로 인해 최근의 AASHTO(2002)의 포장설계법에 따르면

원더링 현상을 설계 요소로 포함시키고 있으며 준비중에 있는 한국형 포장설계법(2006)에서도 반영을 하고 있다.

차량주행이 포장면에 미치는 영향을 해석하기 위해서는 차량의 동적하중과 더불어 동적하중이 작용하는 위치와 접지면적이 계속되어야 한다. 차량의 동적하중은 일반적으로 축중계(Weigh-In-Motion, WIM)로 계측되며, 국토해양부에서는 전국의 일반국도에 대해서 37지점에 WIM을 설치하여 동적하중 자료를 수집하고 있다.

* 정회원: 한국건설기술연구원, 첨단도로교통연구실, 선임연구원

** 정회원: 한국건설기술연구원, 첨단도로교통연구실, 연구원



그러나 이러한 동적하중의 포장면에 대한 작용위치에 관련해서는 자료수집이 거의 진무한 실정이다. 또한, 동적하중의 작용위치를 측정하기 위해서는 주행 중인 차량의 좌우 바퀴 위치(원더링) 측정이 필수적이다.

현재까지 시행된 좌우 바퀴 위치에 대한 계측방법으로는 크게 세 가지 방법으로 구분할 수 있다. 첫째, 포장면에 스케일을 그려두고 차량통과 시 동영상 촬영하고, 향후 정지영상을 통해서 바퀴의 위치를 측정하는 방법이 있고, 둘째, 주행 중인 차량의 거리계측 레이저를 활용하여 계측하는 방법이 있으며, 셋째, 축 감지(axle detecting) 센서를 수평 및 사선(斜線)으로 설치하여 실시간으로 측정하는 방법이 있다.

본 연구는 상기의 방법 중에서 셋째 방법에서 원더링 수집자료 오차를 최소화할 수 있는 사선센서(skewed sensor)의 설치 시 적정 설치 각도를 결정하고자 하였다. 이를 위해서 이미 알고 있는 차량제원 상의 윤거(輪距)와 장비가 수집한 사선센서 각도별 윤거 자료를 비교 분석하여 적정 설치각도를 결정하고자 하였다.

또한 각도에 따른 장비의 정확도 평가에서 원더링 자료 수집장비의 정확도 평가를 윤거 계측 정확도의 평가를 통해서 하고자 하는 이유는 두 가지로 정의해 볼 수 있다. 첫째, 본 연구에서 사선센서를 활용한 장비로 수집한 원더링 자료와 윤거 자료는 동일한 로직을 통하여 산출된다. 즉, 차량윤거의 산출시 오차 정도와 원더링 자료 산출시 오차는 동일한 정도로 발생된다고 볼 수 있다. 둘째, 원더링 자료의 경우 현장에서 실시간으로 계측 자료이기 때문에 참값 수집이 용이하지 않다. 그러나 윤거의 경우는 차량모델을 알면 차량제원 상 값으로 참값이 존재하기 때문에 비교가 용이하다. 이와같은 이유로 인하여 원더링 자료 대신 윤거자료를 이용하는 것이 논리적으로 타당하다고 판단하였다.

평가과정에서는 설치각도에 따른 조건별로 단일축에서 윤거 산출시의 정확도와 탠덤축에서 윤거산출시의 정확도 측면에서 평가를 실시하였으며 평가지표로는 제원상의 값과 계측 값과의 차이에 따른 오차정도와 짝진 표본에 대한 평균의 차에 대한 검정을 통하여 자료의 정확도를 평가하였다.

본 연구의 결과는 향후 포장설계법의 개선, 유지관리

전략 수립 등의 목적으로 수집하게 되는 원더링 자료의 계측시에 사선센서 설치에 필요한 적정각도를 제시하고자 한다.

2. 기존 연구사례 고찰

도로를 주행하는 차량 바퀴의 궤적, 차로 내의 바퀴 접지위치를 측정하기 위한 다양한 해외연구 사례가 있었다. Kasahara(1982)는 포장면에 스케일을 그려두고 차량이 지날 때 비디오카메라를 통하여 동영상 촬영하고 정지프레임을 통하여 육안으로 차량의 바퀴위치, 차종 등에 관한 자료를 수집하였다. 정지영상에서 차량의 바퀴가 스케일 위에 정확하게 일치하는 경우가 아니면 자료획득하기가 쉽지않고 또한 오차가 발생될 여지가 있다. 실시간으로 원더링 자료를 획득이 어려운 방법이다. Buiter et al.(1989)은 20mm 간격으로 120개의 스위치를 부착한 얇은 매트를 도로 포장면에 부착한 후 차량이 매트 위를 통과할 때 타이어에 의해서 압력이 가해진 스위치 자료를 활용하여 차량궤적의 위치와 타이어 폭을 계측하였다. 이러한 방법의 경우 자료의 정확도가 20mm 이하로 얻기 어렵고 차량 바퀴와 접하는 면적이 넓은 관계로 내구성 유지에 어려움이 따른다. Nicholas J Hornyak et al.(2007)은 횡방향으로 설치한 181.8cm 피에조 센서 2개와 30° 사선으로 설치한 212.1cm 피에조 센서 1개를 이용하여 최외곽 차로를 주행하는 차량의 오른쪽 바퀴위치를 계측하였다. 장점으로는 실시간으로 원더링 자료의 수집이 가능하고 매트를 활용하는 방식과 달리 장비의 정확도에 대한 제약이 없다.

국내에서는 김낙석 외 3인(2007)의 통계적 분석법을 활용한 도로용 원더링 장비개발 연구에서 포장면 눈금자에 의한 수동계측, 거리형 레이저 센서를 이용한 이격거리 계측, 사선(45°)과 수평으로 설치한 피에조 센서 등을 이용하여 주행차량의 원더링을 계측하였다.

기존 연구에서 피에조 등의 사선센서를 이용하여 주행차량의 원더링을 계측하기 위해서 사선센서의 각도를 30°, 45° 등 두 가지 각도를 주로 이용했지만, 사선센서의 설치 각도에 대한 수집자료의 정확도를 평가하기



위한 연구는 전문한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 테이프스위치 센서를 이용하여 주행차량의 윤거 및 윈더링을 보다 정확하게 계측하기 위한 사선센서의 적정 설치각도를 제안하고자 한다.

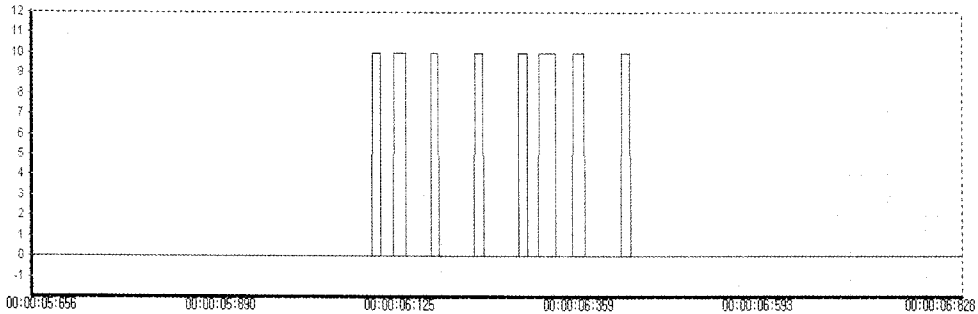
3. 자료 수집

3.1 자료수집 장비 개발

본 연구에서는 윈더링 자료의 수집 시 활용할 수 있는 축 감지 센서 가운데서 테이프스위치 센서를 활용하였다. 축 감지 센서로는 통상 피에조(piezo)센서가 많이 활용되지만 피에조의 경우 도로 매설형 설치방식이기 때문에 센서 시공 후 탈부착 및 설치각도변경이 어렵다. 따라서 여러 조건별로 가설할 수 있는 노면 탈부착식으로 자료수집이 용이한 테이프스위치(tape switch)를 활용하였다. 테이프스위치 센서는 차량바퀴가 센서위에 있을 때만 검지

신호를 발생시키기 때문에 본 연구의 실험에서 구하고자 하는 자료를 편리하게 수집할 수 있기 때문이다. 또한 기존의 피에조 센서(piezo sensor)와 달리 신호가 on-off 신호를 활용하기 때문에 임계값 설정이 유리하다. 테이프스위치 센서는 독립 전원장치가 없기 때문에 제어기에서 전원을 부여한 후 바퀴접촉시마다 전기적인 신호를 얻을 수 있도록 하였고, 정해진 수속에 의해 주행차량의 축거, 윤거 및 윈더링 자료를 산출하였다.

〈그림 3〉과 같이 3m 간격으로 설치된 2개의 수평 센서(Tape1, Tape2)와 1개의 사선 센서(Tape 3) 위를 차량이 통과하면 센서 반응시간에 따른 검지 파형이 나타난다. 예를들면, 〈그림 1〉에서 2축 차량의 경우 8개의 파형이 나타난다. 〈그림 1〉의 왼쪽부터 1번째 파형은 통과차량의 첫 번째 축(2륜)이 Tape1을 통과한 파형이고, 2번째 3번째 파형은 첫 번째 축의 좌, 우 2개의 바퀴가 각각 Tape3를 통과한 파형이며, 4번째 파형은 두 번째 축이 Tape1을 통과한 파형이다. 5번째 파형부터는



〈그림 1〉 2축 차량의 축별 검지파형

수집 프로그램 분석 프로그램

Index	TimeA_1	TimeA_2	TimeB_1	TimeB_2	TimeC_1	TimeC_2	TimeD_1	TimeD_2	속도	윤폭	축계수	오른쪽거리	1-2축	2-3축	3-4축	분류
0	6.085	6.270	6.214	6.399	6.112	6.159	6.295	6.337	84.08	1894	2	1096	4313	0	0	0
1	10.895	11.091	11.031	11.227	10.927	0.000	11.123	11.169	79.44	1715	2	3526	4323	0	0	0
2	30.499	30.744	30.732	30.979	30.522	30.615	30.762	30.848	46.26	2074	3	521	3156	1313	0	0
3	68.414	68.526	68.544	68.656	68.449	68.496	68.562	68.598	82.87	1475	2	1401	2578	0	0	0
4	73.354	73.520	73.485	73.653	73.378	73.422	73.544	73.582	81.99	1737	2	961	3789	0	0	0
5	78.506	78.625	78.641	78.760	78.525	78.565	78.645	78.685	80.00	1550	2	739	2656	0	0	0
6	83.018	83.140	83.160	83.283	83.040	83.082	83.152	83.203	75.78	1538	2	784	2675	0	0	0
7	93.785	93.889	93.912	94.016	93.813	93.851	93.917	93.953	85.01	1532	2	1150	2446	0	0	0
8	103.025	103.155	103.171	103.301	103.052	103.094	103.152	103.219	74.06	1486	2	969	2662	0	0	0
9	113.495	113.591	113.664	113.760	113.512	113.562	113.678	0.000	63.62	2158	4	502	1695	2916	1321	0
10	119.957	120.131	120.111	120.286	119.977	120.027	120.150	120.193	70.03	1657	2	694	3382	0	0	0
11	130.922	131.100	131.088	131.266	130.941	130.997	131.119	131.175	65.08	1745	2	585	3211	0	0	0
12	176.326	176.432	176.461	176.567	176.353	176.392	176.461	176.498	80.00	1479	2	1046	2354	0	0	0
13	186.472	186.772	186.656	186.957	186.499	186.561	186.791	186.851	58.62	1809	2	620	4685	0	0	0
14	194.831	194.939	194.952	195.060	194.849	194.893	194.956	194.987	89.30	1469	2	763	2662	0	0	0
15	203.542	203.663	203.677	203.799	203.579	203.617	203.699	203.733	79.72	1454	2	1401	2678	0	0	0
16	207.023	207.206	207.183	207.366	207.062	207.108	207.241	207.286	67.56	1493	2	1264	3421	0	0	0

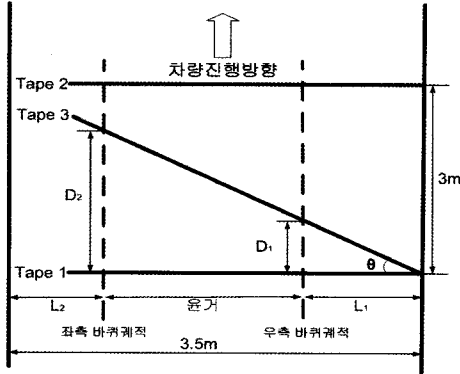
데이터 분석: TAPE SWITCH 각도 30, 진입-진출 이동시간 274, 이전 차량 <<, 다음 차량 >>, 현재 차량 시간 0분 6초, 분석데이터 저장 918

인터럽트[0.468750ms] 감도[0] 입력코드[태핑 스위치] 센서거리(3.0M) 데이터 수집 시간 [2008년 04월 11일 16:55:40] COM1 38400bps

〈그림 2〉 주행차량 관련 계측자료 예



Tape1, 3과 동일한 순서로 Tape2, 3에 통과차량의 차측 및 차륜이 검지된 파형을 나타낸다.



〈그림 3〉 윤거 및 윈더링자료 계측을 위한 테이프스위치 센서 설치도

〈그림 2〉는 〈그림 1〉의 검지 파형과 식 (1)~식 (7)에 의하여 주행차량의 속도, 축거, 윤거 및 윈더링(오른쪽 거리, L1) 자료를 개별차량 단위로 산출한 결과이다. 〈그림 3〉에서 통과차량의 속도는 Tape1, Tape2를 통과한 첫 번째 축의 검지 시간차를 이용하여 식 (1)과 같이 산출하고, 축거는 산출한 속도와 Tape1의 축별 검지 시간차를 통해 식 (2)와 같이 산출한다.

$$V = \frac{3.0}{(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

$$\text{축거} = V \times T_{12} \quad (2)$$

여기서 V = 속도(m/sec)

T1 = 차량 첫 축의 Tape1 검지 시간(sec)

T2 = 차량 첫 축의 Tape2 검지 시간(sec)

T₁₂ = 차량 축별 Tape1 검지 시간차(sec)

한편, 식 (1)에서 산출한 속도와 차량 첫 축 우측 바퀴의 Tape1과 Tape3의 통과 시간을 통하여 Tape1 - Tape3 거리(D1)를 식 (3)과 같이 산출하고, 이렇게 산출한 D1과 tanθ 값을 이용하여 우측 여유폭(L1)을 식 (4)와 같이 구할 수 있다. 동일한 방법을 차량 첫 축 좌측 바퀴에 적용할 경우 식 (5)~식 (7)에 의하여 통과차량의 윤거 및 좌측 여유폭을 산출할 수 있다.

$$D_1 = T_{13} \times V \quad (3)$$

$$\text{우측여유폭}(L_1) = \frac{D_1}{\tan(\theta)} \quad (4)$$

$$D_2 = T'_{13} \times V \quad (5)$$

$$\text{윤거} = \frac{D_2}{\tan(\theta)} - L_1 \quad (6)$$

$$\text{좌측여유폭}(L_2) = \text{차로폭} - (\text{윤거} + L_1) \quad (7)$$

여기서

T₁₃ = 차량 첫 축 우측바퀴의 Tape1-Tape3 통과 시간(sec)

T'₁₃ = 차량 첫 축 좌측바퀴의 Tape1-Tape3 통과 시간(sec)

D₁ = 차량의 첫 축 우측바퀴의 Tape1-Tape3 통과 거리(m)

D₂ = 차량의 첫 축 좌측바퀴의 Tape1-Tape3 통과 거리(m)

3.2 사선센서 설치 각도에 따른 윤거 오차의 이론적 고찰

일반적으로 차량 검지센서의 오차는 계통오차(systematic error)와 우연오차(random error)로 나누어진 다(ISO, 1995). 이 중에서 계통오차는 식 (8)과 같이 센서의 주사율(또는 분해능, sampling rate), 검지영역 길이, 차량 속도의 함수 관계로 나타난다.

$$e = \frac{w}{d/v} \times 100 \quad (8)$$

여기서 e = 검지 오차(%),

w = 검지 센서의 주사율(s)

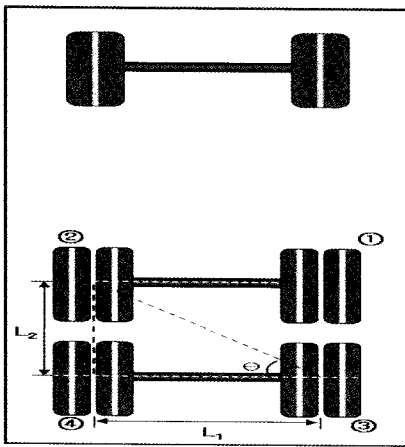
d = 검지 센서의 검지영역 길이(m),

v = 차량 속도(m/s)

또한 본 연구에서 개발한 장비의 사선센서가 수집하는 통과 차량의 축 및 바퀴 파형이 〈그림 1〉과 다를 경우, 식 (3)~식 (7)의 제대로 적용되지 않기 때문에 오류 자료를 수집할 가능성이 있다. 〈그림 3〉과 같이 설치된 사선센서를 통과하는 차량 바퀴의 검지순서는 〈그림 1〉과 동일하다고 가정한다. 그러나 축거가 짧고 사선센서 설치각도가 클 경우에는 〈그림 1〉의 검지순서가 만족되지 않는다.

국도해양부 차종 분류 기준에 따르면 1종 승용차량의 최소 축거는 2,345mm(마티즈)이고, 5종 이상 화물차량의 최소 축거는 1,350mm(덤프트럭 탠덤 축)이다. 따라서 본 연구에서는 최소 축거를 가지고 있는 5종 화물차량

(탠덤 축거 1,350mm, 윤거+타이어폭 2,430mm)을 이용하여 사선센서 최대 설치각도를 살펴보았다. <그림 4>는 5중 화물차량의 탠덤 축(tandem axis)과 센서 설치도를 나타낸 것이다. <그림 4>에서 사선센서 설치각도(θ)가 \tan^{-1} (축거/윤거)보다 같거나 클 경우 사선센서의 검지순서는 1 \Rightarrow 3 \Rightarrow 2 \Rightarrow 4로 변경되게 된다. 따라서 사선센서의 설치 각도가 θ 탠덤축의 바퀴배열에 따른 각도보다 작아야 한다. 5중 화물차량의 탠덤축의 제원값에 대한 θ 값은 29.05° 이기 때문에 5중 화물차량 윤거 측정을 위한 사선센서의 설치 각도는 30° 미만이어야 한다. 이럴 경우 신호의 순서는 <그림 4>에서 보는바와 같이 단일축의 축검지 순서와 동일한 1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 3 \Rightarrow 4로 수집하게 된다.



<그림 4> 5중 화물차량의 탠덤 축의 바퀴배열과 좌·우바퀴의 점지면까지의 거리

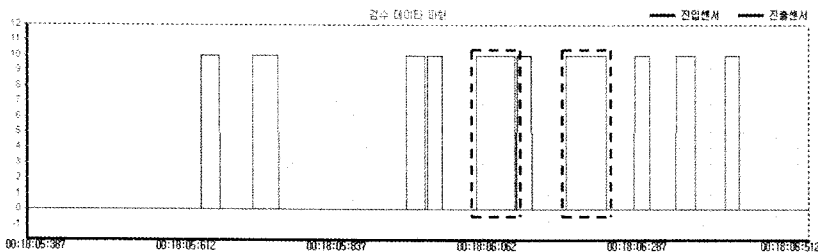
현장에서 사선센서를 30° 로 설치한 후, 5중 화물차량의 탠덤 축에 대한 자료를 수집한 결과는 <그림 5>와 같다. 그림에서 점선 부분은 탠덤 축의 좌우측 바퀴가 Tape 1, 3 센서를 동시에 통과해서 나타난 파형이다. 물론 이 경우 식 (3)~식 (7)에 의한 통과 차량의 윤거 산출은 불가능하게 된다.

또한 개발한 장비에 대한 사선센서 설치각도별 계통오차를 산출하였다. 본 연구에서 사용한 테이프스위치 센서의 주사율은 0.0004초이고, 속도를 구하기 위한 검지영역 길이는 3m이며, 차량 속도는 40kph로 설정하였다. 이러한 여러 조건 하에서 2축 차량과(평균 윤거 1600mm) 3축 차량(5중 화물차량, 윤거+타이어폭 2,430mm)의 사선센서 설치각도별 이론적인 계통오차는 <표 1>과 같이 산출되었다.

<표 1> 차량 축 수별 사선센서 설치 각도별 윤거의 계통오차

설치 각도	차량 축 수	
	2축	3축
10°	3.8%	4.6%
20°	1.9%	2.3%
30°	1.3%	-
40°	1.0%	-

<표 1>에서 3축 차량은 30° 이상의 사선센서 설치 각도 하에서는 오류자료가 발생되기 때문에 2축 차량과 달리 10° 와 20° 조건 하에서만 분석하였다. 분석 결과, 사선센서의 설치각도가 커질수록 계통오차는 작아지는데, 그 이유는 식 (8)에서 알 수 있듯이 사선센서의 설치각도가 커질수록 검지영역 거리가 길어지기 때문이다.



<그림 5> 사선센서 30° 설치시 5중 화물차량의 탠덤 축 검지 파형 예



여기서 유의할 점은 <표 1>의 분석 결과는 개발된 장비에 대한 이상적인 조건하에서의 이론적인 오차일 뿐, 실제 현장에서 자료를 수집할 경우에는 차량이 차로 중앙으로 주행하지 않는 등의 다양한 요인에 의해 우연오차가 발생되기 때문에 실제 관측 오차는 이보다 클 것으로 사료된다.

3.3 센서설치 및 자료수집

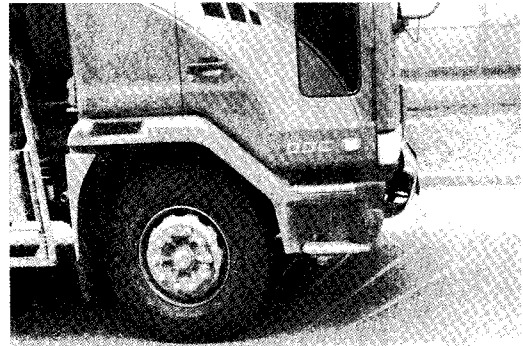
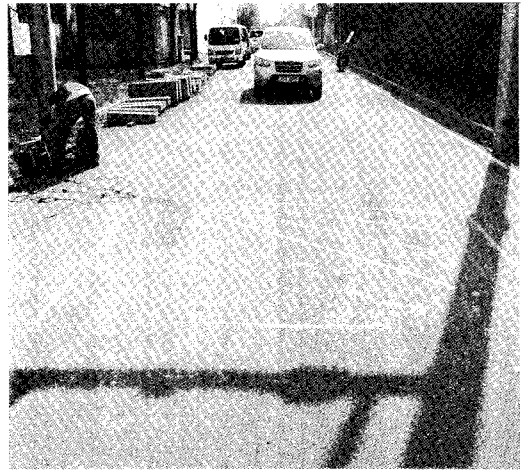
사선센서 설치 각도에 따른 운거 오차를 확인하기 위하여 한국건설기술연구원 내의 중장비 주행성능 시험장 도로(폭 3.5m)에 사선센서를 10°~40° 까지 10° 간격으로 설치하고 실험차량(2축, 3축 차량)을 운행하였다. 단, 3축 차량은 전술한 바와 같이 탠덤축의 제원 상의 이유로 인해 10°, 20° 에서만 실험하였다.

실험차량은 차량진행에 따라 수평-사선-수평의 테이프스위치 센서를 지나게 된다. 3m 간격의 수평으로 설치된 2개의 테이프스위치 센서의 검지신호 시간차를 통해 속도 및 축거가 계산되고, 사선으로 설치된 센서의 검지신호 시간차를 통해 차량의 운거 및 좌우 여유폭이 산출된다.

<그림 6>에서 보듯이 실험에 사용된 2축 차량은 뉴싼 타페(운거 : 1,615mm)와 쓰렌토(운거 : 1,580mm)였고, 3축 차량은 15톤 덤프(대우상용차) 화물차(운거 : 2,101mm)였으며, 실험 차량별 실험 횟수 및 구성비는 <표 2>와 같다.

<표 2> 자료수집에 사용된 차량 축별 총실험 횟수 및 구성비(%)

구분	실험 횟수	구성비(%)
승용차(2축)	225	80.1
트럭(3축)	56	19.9
전체	281	100.0



<그림 6> 각도별 센서 설치 및 실험차량

두 종류의 실험차량을 이용한 실험의 결과에 의하면 <표 3>에서와 같이 2축 차량의 운거는 각도에 따라서 운거오차백분율은 2.8%~4.6%의 오차가 발생하는 것을 알수 있다. 또한 3축 차량의 운거오차백분율은 10° 일 때 6.6%이고 20° 일때 9.3%가 발생하는 것을 분석되었다. 앞에서 언급한 계통오차(2축 : 1.0%~3.8%, 3축 : 2.3%~4.6%)보다는 큰 값이다. 그 이유는 전술 한바와 같이 자료 수집시 제반 원인으로 발생하는 우연오차부분이 더해지는 것에 기인한다.

그러나 사선센서의 설치각도가 커질수록 검지영역 길이가 길어지기 때문에 전체 계측값에 대한 오차가 차지하는 부분은 감소하게 된다.

4. 설치각도에 따른 자료평가

4.1 차량 제원상의 운거와 관측운거의 비교 분석

〈표 3〉 차량 축 수에 따른 사선센서 설치 각도별 윤거 오차

구분	설치 각도	주행 회수(회)	관측윤거 평균(mm)a	표준편차b	변동계수 (b/a *100)	제원윤거-관측윤거 의 평균(mm)c	윤거오차백분율(c/a*100)의 평균
2축 차량	10°	78	1,558	67.04	4.30	72.71	4.67
	20°	81	1,562	39.72	2.54	51.17	3.28
	30°	23	1,552	35.12	2.26	46.41	2.99
	40°	43	1,553	46.00	2.96	44.87	2.89
3축 차량	10°	26	1,921	76.43	3.97	180.27	9.38
	20°	30	1,975	45.51	2.30	131.87	6.68

4.2 윤거 오차에 대한 통계적 검증

도로상 주행차량의 윤거 및 워더링 측정을 위한 사선센서의 적정 각도를 결정하기 위해서 사선센서 설치 각도별로 산출한 윤거 오차의 평균에 대한 동일성 여부에 대한 검정을 실시하였다. 2축 차량의 경우에는 실험조건인 4가지 각도(10°, 20°, 30°, 40°)별로 자료를 수집했기에 이들 각 집단간에서 발생한 오차값에 대한 평균들 사이에 차가 통계적으로 유의한 여부에 대해서 분산분석을 실시하였다. 그리고 3축 차량의 경우에는 2가지 각도(10°, 20°)별로 자료를 수집했기 때문에 두 집단간 오차 평균의 차이가 유의한가에 대한 t-검정을 각각 실시하였다.

2축 차량의 윤거 오차의 평균에 대한 분산분석의 경우에는 〈표 4〉와 같이 F비가 6.98(F 기각치 : 2.65, 유의수준 5%)로 나왔기에 사선센서 설치 각도별로 측정된 윤거 오차의 평균값들은 유의한 것으로 분석되었다.

3축 차량의 윤거 오차 t-검정(단측 검정)의 경우에는 〈표 5〉와 같이 t값이 2.83(t 기각치 : 1.67, 유의수준 5%)으로 나왔기 때문에 3축 차량에서 사선센서 설치 각도별로 측정된 윤거 오차의 평균값에는 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 즉, 설치각도에 따라서 윤거의 정확도에는 차이가 발생된다는 것을 의미한다.

〈표 4〉 2축 차량 사선센서 설치 각도별 윤거 오차의 평균 대한 분산분석

인자의 수준	관측수	제원윤거-관측윤거 의평균(mm)	오차의 분산
설치각도 10°	78	72.71	1,720.92
설치각도 20°	81	51.17	982.76
설치각도 30°	23	46.41	1,210.26
설치각도 40°	43	44.87	2,102.43

변동의 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F 비	F 기각치
처리	30,913	3	10,304	6.98	2.65 (유의수준 5%)
잔차	326,060	228	1,475		
계	356,972	231	-		

〈표 5〉 3축 차량 사선센서 설치 각도별 윤거오차에 대한 t-검정

	10도 설치시 절대윤거오차	20도 설치시 절대윤거오차
평균	180.27	131.87
분산	6,075.48	2,335.36
관측수	26	30
자유도	54	
t 통계량	2.83	
t 기각치 (단측 검정)	1.67(유의수준 5%)	



5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 최근 포장설계에서 심도있게 부각되고 있는 주행차량의 윤거 및 윈더링 계측을 위한 축 감지 사선센서의 적정 설치 각도를 실제 현장실험을 통해서 산출하였다. 테이프스위치 센서와 자료수집 프로그램을 이용하여 장비를 개발하였고, 장비평가에는 2축 차량(쓰렌토, 뉴싼타페)과 3축 차량(15톤 덤프트럭)을 활용하였다.

평가결과를 살펴보면 2축 차량의 경우에는 10°, 20°, 30°, 40°로 사선센서를 설치하여 자료를 수집하였고, 3축 차량의 경우에는 10°, 20°로 사선센서를 설치하여 자료를 수집하였다. 수집자료 분석 결과, 2축 차량의 경우에는 40°의 각도에서, 3축 차량의 경우에는 20° 각도에서 윤거계측에서 최소의 오차가 발생하였다. 그리고 탠덤축의 경우에는 30° 이상의 각도로 사선센서를 설치할 경우, 신호 발생순서의 역전 혹은 신호의 중첩으로 인한 오류자료를 발생시키는 것으로 판명되었다.

또한 사선센서 설치 각도별 윤거 오차가 통계적으로 유의한가에 대한 검정을 실시한 결과, 2축과 3축 차량 모두에서 윤거 오차의 평균이 다르다는 결론을 도출하였다. 실제 현장실험을 통해 측정된 값의 오차는 우연오차의 영향으로 이론적인 계통오차보다 크게 나타났지만, 검지영역의 길이가 커질수록 오차가 감소한다는 기본 가정은 만족시키는 것으로 나타났다.

상기의 연구 결과성과는 두 가지 나뉘볼수 있는데 첫째는 사선센서의 적정 각도를 제시하는 것이고 둘째는 윈더링 계측장비의 정확도 평가에서 윤거라는 제원상의 참값을 활용하여 해당 장비의 정확도를 확인해 볼수 있다는 점이다. 적정 각도의 제시 측면을 볼 때, 축 종류별 윤거 및 윈더링 산출을 위한 사선센서의 적정 설치 각도를 20°~25°로 하는 것이 바람직하다. 그러나 본 실험에서는 20°~30° 사이의 각도에 대한 구체적인 현장실험을 수행하지 않았기 때문에 향후 제시하는 각도는 최적값이라 보다는 적정값을 제시하는 것이다. 향후 설치각도를 보다 세분화하여 실험하는 경우 최적의 사선센서 설치각도를 제시할 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

1. 건설교통부(2006), 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구.
2. 김낙석, 박창우, 박현식, 김주열(2007), 통계적 분석법을 활용한 도로용 윈더링 장비개발, 재난정보학회 논문집 제3권 제1호, 재난정보학회, pp. 5~20.
3. 김낙석, 정진훈, 이재훈, 박창우(2006), 윈더링 장비를 적용을 통한 아스팔트 포장 거동 특성 연구, 대한토목학회 논문집 제26권 제1D호, 대한토목학회, 2006, pp. 89~94.
4. 오주삼, 김종훈(2006), 단일 센서를 활용한 차량속도 추정 에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회 제 26권 제3D호, 대한토목학회, pp. 461~467.
5. 한국건설기술연구원, 한국도로공사, 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, 2006.7
6. Buijter, R., W. M. H. Cortenraad, A.C. van Eck, and H. van Rij(1989), Effects of Transverse Distribution of Heavy Vehicles on Thickness Design of Full-Depth Asphalt Pavements, *Transportation Research Record 1227*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
7. FHWA(1990), Traffic Detector Handbook, 2nd edition.
8. ISO(1995), Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, International Organization for Standardization, p. 41.
9. Kasahara, A. (1982), Wheel Path Distribution of Vehicles on Highway, Proceeding of the International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norway, pp. 413~420.
10. Nicholas J. Ohrnyak, James A Grovetti, David E. Newman, Jay P. Schalbelski(2007), Perpetual Pavement Instrumentation plan for the Marquette Interchange Project Phase 1 Final Report, WHRP.

접 수 일 : 2008. 5. 9

심 사 일 : 2008. 5. 9

심사완료일 : 2008. 8. 11