

원더링 장비 적용을 통한 아스팔트 포장 거동 특성 연구

A Study on Behavioral Characteristics of Asphalt Pavements using Wandering Measurement Devices

김낙석 · 정진훈 · 이재훈 · 박창우

Kim, Nakseok · Jeong, Jin-Hoon · Lee, Jae-Hoon · Park, Changwoo

Abstract

Premature failures in pavements are frequently reported due to rapid increase in traffic volume, heavy vehicles, and high temperature in the summer. Based on this concept in mind, Korea Highway Corporation established the Test Road Operation Center to estimate the pavement performance. To evaluate the pavement performance effectively using the field data, wandering is an important topic in pavement analysis. In this study, portable wandering system was developed and analyzed to investigate the pavement responses due to the dynamic truck passes, and analyzed the wandering to dynamic load test. The test results revealed that the advantages of laser devices were noticeable compare to the other measuring ones. To understand the behavioral characteristics of pavements using the wandering measurement devices, dynamic truck tests were conducted in the field. Test results showed that the effects of wandering on asphalt pavement were significant. The data analysis using this wandering effect is considered as an important tool in performance analysis of asphalt concrete pavement.

Keywords : portable wandering system, pavement performance, wandering, dynamic load test

요 지

오늘날 도로포장은 중차량의 증가와 고온현상으로 인하여 도로파손이 급격하게 증가하고 있다. 이러한 이유로 한국도로공사에서는 시험도로운영센터를 설립하였으며, 여기서는 실제 도로에서의 상황을 모사하여 현장적용성이 우수한 데이터를 얻어 포장의 장기공용성 예측을 보다 효율적으로 하고자 하는 것이다. 본 연구에서는 장기공용성 예측을 위하여 원더링 장비를 개발하고자 하였으며 이를 적용, 동적하중 재하시험을 실시하였다. 이를 통해 아스팔트 도로포장의 거동 특성을 파악하였다. 결과적으로 원더링을 적용하여 아스팔트 포장의 거동 특성을 해석한 결과 전 층 단면에서 영향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 원더링을 적용한 포장의 장기공용성 예측은 기존의 연구방법보다 정확한 예측이 가능할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 휴대용 원더링 시스템, 포장공용성, 원더링, 동적하중 재하시험

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 도로포장에 있어 급격한 산업화로 인해 도로의 신설 및 유지 보수가 대두되고 있다. 이는 중차량 및 교통량의 증가로 인한 필연적인 것으로 도로분야 연구는 점차 새로운 기술의 개발 및 도로선진국의 기술 습득이 우선시되고 있는 실정이다. 이에 맞추어 한국도로공사에서는 시험도로 연구센터를 설립 운영에 이르게 되었다. 시험도로의 설립목적은 현장의 상황이 적용된 데이터를 얻기 위함이며 이러한 현장적용성 문제를 보정하기 위해서는 다양한 접근 방법이 있는데 원더링도 이 중 하나이다. 원더링은 차량의 주행이격거리 변동성을 말한다. 과거의 적용사례를 보면 외국의 사례나 문헌

(Alavi, 2000; Buiter, 1993; Metcalf, 1998)에서는 차량의 주행 행태는 단지 정규분포를 따른다고 가정만 되어 있을 뿐, 그 외 세부적인 사항은 별 언급이 없는 상태이다. 그러나 실제 차량의 주행 행태는 차로 폭, 차체 폭, 주행속도, 운전자의 성향에 영향을 받으며 다양한 분포의 형태(강민수, 2002)로 나타내어진다고 사료된다. 따라서 포장 공용성 예측을 위한 예측데이터 획득 시 주행 행태에 따른 오차 보정이 필요하다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 본 연구에서는 정확한 아스팔트 포장의 거동 특성분석에 활용될 수 있는 원더링(wandering : 차량 주행의 수평방향 분산) 시스템을 연구하게 되었다. 또한, 본 연구에서는 현장 적용성이 우수한 데이터 획득과 이것을 활용한 도로포장의 거동 특성 결과도 제시하고자 한다.

*정희원 · 경기대학교 토목환경공학부 부교수(E-mail: nskim1@kyonggi.ac.kr)

**정희원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원(E-mail: jjeong@freeway.co.kr)

***한국도로공사 도로교통기술원 연구원(E-mail: ranian74@freeway.co.kr)

****경기대학교 토목환경공학부 석사(E-mail: pcw2811@kyonggi.ac.kr)

1.2 연구내용 및 방법

본 연구는 한국도로공사에서 시범 운영하고 있는 시험도로 내에서 개발하고 있는 휴대용 윈더링 시스템을 연구하는데 있다. 따라서 도로의 장기 공용성을 예측하고자 하는데 있어 윈더링 시스템의 필요성과 시스템의 활용방안을 제시할 것이며, 기존 윈더링 측정방식인 수계측 판정 방식을 비교 분석하여 자체 개발 중인 휴대용 윈더링 시스템의 우월성을 입증하는데 있다. 이를 위해 휴대용 윈더링 시스템의 개발 과정 및 통계적 분석 과정, 그리고 현장에서의 적용사례를 예로 들어 기존 계측 데이터 획득과 윈더링 적용시의 데이터 획득의 차이점을 비교 분석할 것이다. 그래서 휴대용 윈더링 시스템이 현장적용 시 계측 시스템과의 연관성 및 상호작용을 분석하고자 한다.

2. 윈더링 측정

2.1 휴대용 윈더링 시스템

윈더링(wandering)이란, 차량 주행의 수평 방향 분산을 의미하며 주행 행태에 따라 다양한 값을 나타낸다. 본 연구에서 다루고자 하는 휴대용 윈더링 시스템은 휴대가 편리하게 하여 지점별 윈더링 측정이 가능케 하고자 하며 또한 실시간 보정을 통하여 원활한 데이터 획득을 도와 포장의 장기 공용성 예측 연구를 하는데 보다 정확한 분석을 제공하고자 한다.

휴대용 윈더링 시스템은 피에조 센서 측정방식과 레이저 센서 측정방식을 연구하였다. 휴대용 윈더링 시스템은 지표면에 설치 후 바로 실시간으로 데이터를 획득할 수 있는데 가장 큰 장점이 있다. 설치된 센서에서 주행하중이 통과하면, 미리 입력된 차량제원을 이용하여, 차량의 진출입속도와 윈더링이 실시간으로 컴퓨터에 저장된다. 이는 기존의 방법들이 가지고 있던 단점들을 상당 부분 보완한 것이다.

2.2 피에조 센서 측정방식

피에조 센서 측정방식은 종래의 비디오 판정 방식, 수계측 판정방식과는 다른 실시간 계측 방식이다(피에조반응을 이용한 방식으로 전기적 방식). 이것은 센서와 연결된 컴퓨터에 실시간으로 차량 주행의 이격거리를 송신, 저장되는 방식이다. 윈더링 시스템의 구성은 윈더링 측정센서, 연결케이블, 데이터 로거, 휴대용 컴퓨터로 구성되어 있다.

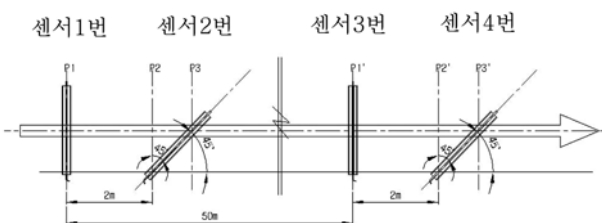


그림 1. 피에조센서 개략도

위 그림 1에서와 같이 피에조 센서 측정방식은 수직센서와 경사센서의 위상차로 주행하중의 위치를 추적하며, 그 수직센서와 경사센서(45°)의 거리로 주행속도를 알 수 있는 방식이다. 설치 시 길어깨(아래방향)쪽을 기준으로 거리를 측

정하였으며 1번과 3번 센서는 속도를 2번과 4번 센서는 이격거리를 측정하는데 사용되어진다. 식 (1)~(5)는 피에조 센서 측정방식이 차량 주행 시 행하여지는 윈더링 산출근거이다. 피에조 센서 측정방식은 진입지점과 진출지점을 구분하여 각각 센서를 설치하여 위상차 및 지점 거리로 윈더링을 측정한다.

$$\begin{aligned} \text{진입속도} &: \frac{(\text{측거})}{(\text{1번 센서피크인터벌})} = (\text{속도})\text{m/s} \\ &= 3.6 \times (\text{속도})\text{Km/H} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{진출속도} &: \frac{(\text{측거})}{(\text{3번 센서피크인터벌})} = (\text{속도})\text{m/s} \\ &= 3.6 \times (\text{속도})\text{Km/H} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{주행속도} &: \frac{(\text{윈더링센서거리})}{(\text{1번센서3번센서피크인터벌})} = (\text{속도})\text{m/s} \\ &= 3.6 \times (\text{속도})\text{Km/H} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{진입지점 변위} &: \\ \text{진입속도} \times (\text{센서2의 첫피크} - \text{센서1첫피크}) - 2\text{m} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{진출지점 변위} &: \\ \text{탈출속도} \times (\text{센서4의 첫피크} - \text{센서3첫피크}) - 2\text{m} \end{aligned} \quad (5)$$

그림 2와 그림 3은 피에조 센서를 도로포장 표면에 설치한 모습이다. 그림 2에서 센서 앞에는 고무판과, 그 고무판 중앙으로 청색선이 있는데 이는 수계측을 측정하기 위하여 설치한 것이다.

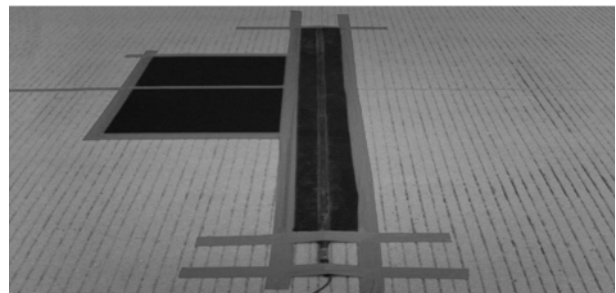


그림 2. 수직방향 설치 예



그림 3. 경사방향 설치 예

2.3 레이저 센서 측정방식

레이저 센서 측정방식은 피에조 센서 측정방식과는 달리 초기 설치가 매우 용이하게 되어 있다. 초기 설치 시 레이저 센서의 지점 확인이 이루어지면 이후 레이저 센서가 주행 차량이 통과할 때 레이저의 반사를 통하여 이격거리 및 속도를 측정하는 시스템이다.



그림 4. 레이저 센서

그림 4의 경우 레이저 센서의 모습이다. 본 연구에서는 윈더링 측정을 하기 위하여 최적의 모델을 디자인 한 것이다. 그림 5의 경우 레이저 센서 시스템이다. 그림에서 알 수 있듯이 로거에 케이블이 연결되어 있으며 이를 휴대용컴퓨터가 분석 저장하는 것이다. 자동화 계측이 아닌 이상 시험도로 내에서 운영되어지고 있는 계측시스템은 그림 5의 시스템 구조를 가진다.

그림 6은 레이저 센서 측정방식의 개략도 이다. 그림에서 알 수 있듯이 주행 차량이 레이저 1번 센서를 통과 하면 측정된 윈더링과 통과 속도(앞 축과 중간축의 측정 간격을 통한 값)를 알 수 있으며 마찬가지로 레이저 2번 센서도 1번 센서와 같은 방법으로 측정이 된다. 윈더링은 앞축(전륜)을 기준으로 측정하였다.

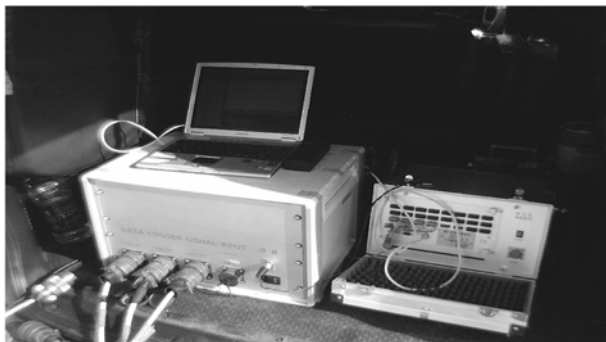


그림 5. 데이터 로거

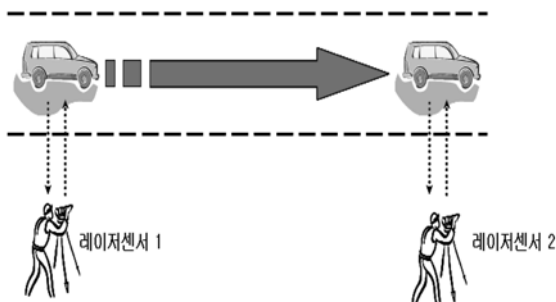


그림 6. 레이저 센서 측정 개략도

2.4 기타 측정방식

수계측 측정방식은 앞서 설명한 휴대용 윈더링 시스템과는 달리 측정자 2인이 1조로 운영되어지며 매 주행 차량이 계측 지점을 통과할 때마다 측정하는 방식이다. 이 방식은 측정하고자 하는 지점에 간단한 장비와 인력만 사용하여 측정하는 방식이다. 수계측 측정방식은 측정방법이 저립하고 간편하다는데 장점이 있으나 측정자의 오차로 인해 정밀하지

못한 데이터가 획득 될 수 있는 단점을 가지고 있다. 또한 비취자국이 선명하지 못했을 경우는 시험을 재시도 해야 하는 어려움이 있다. 비디오 측정방식은 도로 인근에 비디오 캠코더를 설치하여 차량의 주행 행태를 측정하는 방식이다. 이는 수계측 방식과는 달리 설치된 캠코더가 인력을 대신하여 주행 행태를 측정하고 이후 캠코더를 수거하여 분석하는 방식이다. 비디오를 통한 윈더링 분석 시 사용되어지는 모니터의 화면 굴곡으로 인해 차로 중심에서 멀어질수록 오차가 커지고 차량의 그림자로 인해서 하중이 닿는 부분을 정확히 측정하기가 어렵다. 따라서 차로 중심에서 떨어진 차량의 중심을 측정 후 각 차량의 제원을 참고하여 윈더링을 측정함으로써 오차를 최소화 할 수 있다.

3. 통계적 분석

3.1 윈더링 검정

휴대용 윈더링 시스템의 현장 적용 전에 수계측 치와 휴대용 윈더링 시스템을 검정이 필요한데 이를 위해 통계적 분석을 실시하였다. 통계적 분석에는 다양한 분석방법이 있는데 본 연구에서는 검정을 위해 두 모집단의 평균 차에 대한 추론을 하였으며, 검정방법은 다음과 같다. 수계측과 피에조 센서, 수계측과 레이저 센서의 평균 차에 대한 추론을 위해서는 두 모집단으로부터 독립적으로 추출된 표본을 이용하는 방법(김두섭 등, 2000; 박범조, 2004)을 사용하였다.

그 결과는 표 1에 나타내었다. 각각의 윈더링을 통해 얻어진 검정 결과치는 레이저센서1이 가장 우수한 것으로 나타났으며 다음으로 레이저센서2, 피에조센서 순으로 나타났다.

표 1. 센서의 검정결과

속도	30km/h	비고
피에조	0.5196	=1.96
레이저1번	0.0809	=1.96
레이저2번	-0.2407	=1.96

위의 표 1에서와 같이 수계측을 통한 검정결과에서 레이저 센서 측정방식은 오차범위내의 값을 보이므로 현장 적용성에 있어 문제가 없을 것으로 사료된다.

3.2 적합도 검정(R^2)

통계적 분석으로는 수계측과 각각의 센서 데이터가 유사하다는 것을 알 수 있었지만 보다 정확한 판단을 위하여 적합도 검정을 하였다. 적합도 검정을 함으로서 획득한 데이터가 이론적으로 적합한지를 증명하고자 한 것이다. 표 2는 본 논문에서 사용된 피에조센서와 레이저센서에 대한 적합도 검정결과를 나타내고 있다.

검정결과 R^2 는 둘 다 매우 높게 나타나 적합도가 우수한 것으로 나타났다. 그러나 통계적 분석과 적합도 검정을 비교

표 2. 센서의 적합도 검정

속도	R^2
피에조 센서	0.9418
레이저 센서	0.9719

하면 피에조 센서보다 레이저 센서의 값이 우수한 것으로 나타나 현장 적용성은 레이저 센서가 뛰어난 것으로 사료된다. 레이저 센서의 경우 데이터를 얻기 위한 조건이 까다로워 본 시험도로 내에서는 적용성이 우수할 것으로 사료되나 실제 일반도로에서의 경우는 피에조 센서를 사용해야 할 것으로 사료된다.

4. 아스팔트 포장에서의 윈더링 효과

4.1 시험 적용 단면(A5)

동적하중 재하시험은 시험도로 구간에서 아스팔트 포장단면 A5에서 실시하였다. 표 3에 나타난 바와 같이 A5의 경우 표층은 13mm 일반밀입도로 배합설계가 되었으며 동상방지층이 시공되어 있다. 그림 7은 A5아스팔트 포장재료에 대한 아스팔트 포장단면을 나타내고 있다.

동적하중 재하시험은 실제 차량 주행 시 하중의 영향을 보기 위함이며 이를 위해 적용되어진 윈더링 측정 시스템은 레이저 센서 측정방식을 적용하였다. 시험에 사용된 차량은 덤프트럭(6축, 3축, 도로교통량 통계연보, 2001)을 사용하였다. 또한 현장에서 타이업 압력과 축하중을 맞추었다. 축하중은 1륜당 2.5ton 내외로 나타났다. 그리고 축하중 측정 이전에 실시한 타이어압력 측정에 있어서 타이어 압력을 일괄적으로 통일 시켰다. 1륜 당 압력수치와 축하중은 표 4와 같다.

4.2 시험 적용 계측기

현재 시험도로 내에 설치되어 있는 계측기는 변형률계, 토압계, 온도계, 동결심도계, MDD 등이 설치되어 계측이 이

표 3. A5 아스팔트 포장 재료

A5	구분	두께	사용재료
	표층	5cm	13mm
	중간층	7cm	19mm
	기층	18cm	25mm
	보조기층	30cm	Aggregate
	동상방지층	40cm	Soil

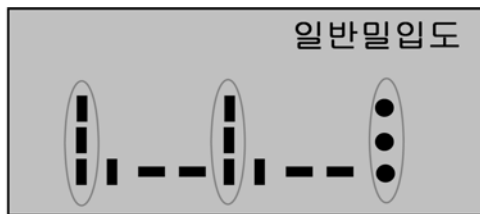


그림 7. 아스팔트 포장 단면

표 4. 차량 타이어별 압력

구분	압력(psi)	축하중(kg)
전 륜	130	2780~2580
후 륜(중간축)	100	2200~2380
후 륜	130	2240~2320

루어지고 있다. 그러나 본 연구에서 시행한 동적하중 재하시험에서는 변형률계, 토압계, 온도계만이 적용되었다(A5 단면). 변형률계의 경우 주행방향으로 횡방향, 종방향 설치뿐만 아니라, 깊이별(층별)로도 설치되어 있다(표 3 참조). 변형률계 설치 개소는 24개소이다. 토압계의 경우 기층과 보조기층에 설치되어 있고 변형률계와 마찬가지로 깊이별과 횡방향으로도 설치되어 있으며 설치 개소는 6개소이다. 온도계는 표층, 중간층, 기층에 25mm 간격으로 설치 되어있으며 설치개소는 8개 이다.

4.3 동적하중 재하시험 방법

동적하중 재하시험을 하기위하여 사용된 차량은 덤프트럭이며, 공하중으로 시험을 실시하였다. 또한 아스팔트 포장은 온도에 민감하기 때문에 시험 시 온도는 25°C로 고정하였으며 우천 시는 시험을 중단하였다. 이는 포장의 거동특성을 파악하기 위하여 제한된 조건에서 시험을 실시하고자 하기 때문이다. 본 시험의 경우 윈더링 측정시험과 유사하지만, 윈더링 측정치의 결과와 동시에 지중에 매설된 변형률계, 토압계의 계측 값을 동시에 받는 것이 다르다. 이는 실제 아스팔트 포장 해석 시 윈더링에 따른 포장의 거동을 분석하고자 하는 것이다.

동적하중 재하시험은 표 5와 같은 조건과 방법으로 실시하였다. 그리고 가능한 동일 조건에서 시험을 실시하기 위하여 13시~18시 사이에 시험을 하였는데 이러한 것은 온도에 민감한 아스팔트 포장의 특성과 빛의 강약으로 인한 레이저의 오차방지 때문에 동일 조건하에서 시험을 한 것이다. 실제 시험 중 앞서 말한 조건에 충족되지 않을 경우는 시험을 중지하였다.

또한 속도별로 시험을 실시할 때는 중속→저속 순으로 하였는데 이는 탄성의 성질을 보이는 콘크리트 포장과는 달리 아스팔트 포장은 점탄성 거동을 보이기 때문에 속도에 민감한 반응을 보여서 이와 같이 실시한 것이다.

4.4 동적하중 재하시험 결과

본 연구에서는 아스팔트 포장의 거동특성을 분석하기 위하여 동적하중 재하시험을 실시하였으며 결과는 다음과 같다. 시험은 길어깨에서 슬래브방향으로는 +20cm 이격을 주었으며, 슬래브 중앙에서 길어깨 방향 쪽으로는 -20cm~+40cm 까지 이격거리를 주어 다양한 윈더링을 보고자 하였다. 시험 결과 깊이별로 표층, 중간층, 기층상부, 기층하부는 아스팔트 변형률계로 분석하였으며, 보조기층과 동상방지층은 토압계로 분석하였다. 현장에 매설되어 있는 아스팔트 변형률계는 층별로 6개소가 설치되어 있으나 윈더링 해석에 용이한 층별 3개소만(no.4, no.5, no.6)을 이용하였으며 토압계의 경우 6개소(층별 3 개소) 모두 이용하였다.

4.4.1 해석결과(표층, 중간층)

동적하중 재하시험 결과 표층부는 그림 8에서와 같이 나타났다. 매설 계측기 중심으로 갈수록 압축을 보이며 최대 압축응력은 -220.0을 보이는 것으로 나타났다. 또한 계측기 중심에서 이격거리가 증가할수록 압축이 감소하면서 인장으로 변화를 보이는데 그 경계가 되는 범위는 $\pm 30 \sim \pm 50 \text{cm}$ 에서 나타나며, 최대인장응력 발생 지점은 87.77cm에서 20.99로 나타났다.

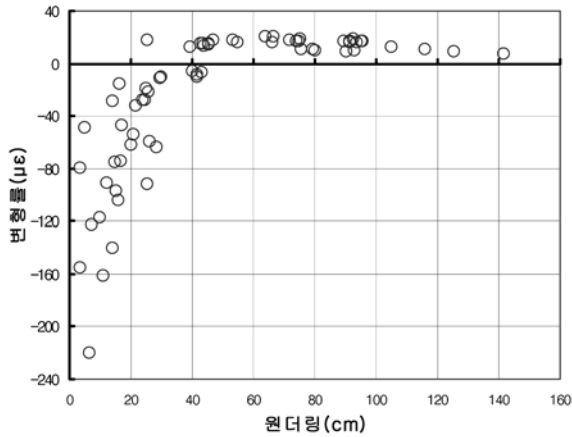


그림 8. 원더링과 변형률의 관계(표층)

중간층에 대한 원더링과 변형률의 관계는 그림 9에 나타난 바와 같다. 매설 계측기 중심으로 갈수록 압축응력이 증가하는데 최대 압축응력은 -131.54을 보이는 것으로 나타났다. 또한 표층과 비슷한 거동을 보이는데 이는 표층과 중간층이 하나의 층으로 일체화 되어 이러한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 표층과 중간층의 경우 측정지점을 벗어날수록 인장변형률로 이동하는 것을 알 수 있다. 또한 변형의 경계가 생기는 것을 알 수 있는데 이는 아스팔트 포장 내부에서 전단이 발생하여 아스팔트 포장 파손의 중요한 요소로 판단되어진다.

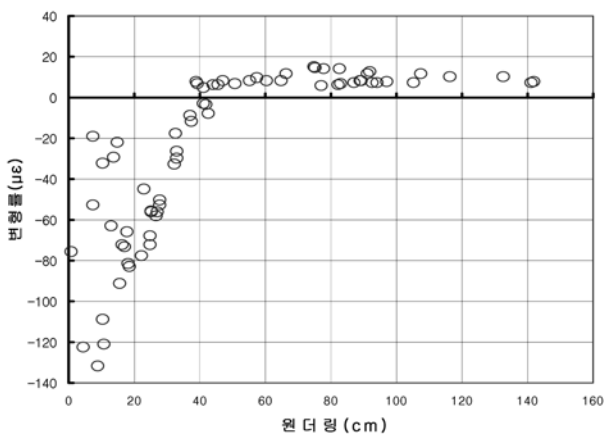


그림 9. 원더링과 변형률의 관계(중간층)

4.4.2 해석결과(기층상부, 하부)

동적하중 재하시험 결과 기층상부는 그림 10에서와 같이 나타났다. 앞서 해석된 표층과 중간층과는 달리 기층상부는 매설계측기 중심에 나타난 압축변형률의 값이 감소한 것으로 나타났으며 전반적으로 인장과 압축의 차도 감소한 것으

로 나타났다. 최대압축변형률은 -52.83으로 나타났다. 경계범위는 70cm 부근에서 나타나 표층, 중간층에 비해 분산된 것을 알 수 있다.

기층하부에 대한 원더링과 변형률의 관계는 그림 11에서와 같이 나타났다. 매설 계측기 중심으로 갈수록 인장을 보이며 최대 인장응력은 79.59을 보이는 것으로 나타났다. 기층하부의 경우 표층, 중간층, 기층상부와는 다르게 변형률의 분포가 역방향으로 나타났다. 이는 기층하부는 인장변형률이 주된 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4.4.3 해석결과(보조기층, 동상방지층)

본 연구에서 보조기층과, 동상방지층은 토압계로 계측 값을 측정하였다. 그 결과는 아래 그림 12, 그림 13에 각각 나타내었다.

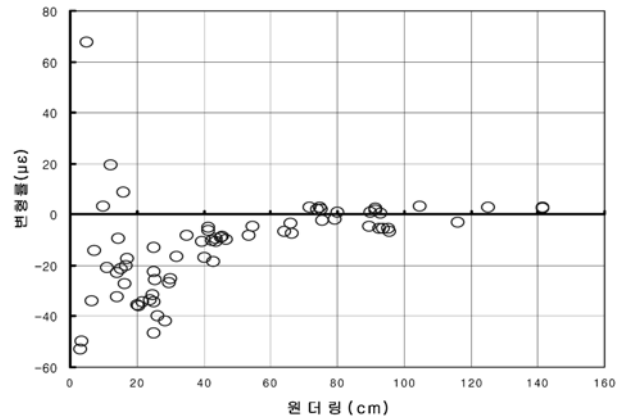


그림 10. 원더링과 변형률의 관계(기층상부)

그림 12와 그림 13에서 알 수 있듯이 보조기층과 동상방지층은 토압계로 측정을 한 값이다. 따라서 압력(kpa)으로 측정이 되었으며 계측기 중심에서 이격거리가 커질수록 측정값은 감소하는 것으로 나타났다.

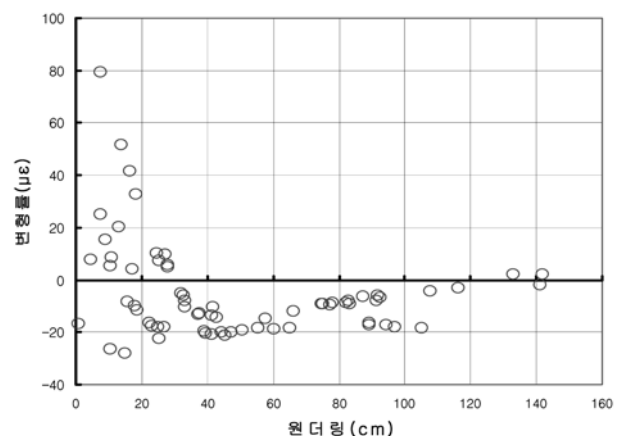


그림 11. 원더링과 변형률의 관계(기층하부)

해석결과 원더링이 아스팔트 포장 거동에 영향을 끼치는 것을 확인 할 수 있었다. 동적하중 재하시험결과 원더링과 하중의 관계는 층별로 다른 결과를 나타내었다. 이는 실제 원더링이 아스팔트 포장 거동에 많은 영향을 끼치는 것을 미루어 짐작할 수 있다. 또한 시험결과 인장과 압축의 경계

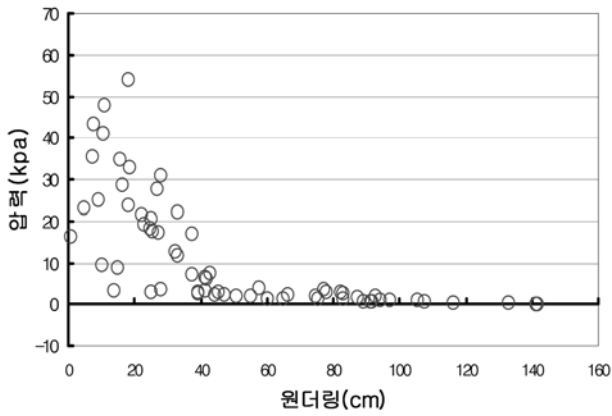


그림 12. 원더링과 토압의 관계(보조기층)

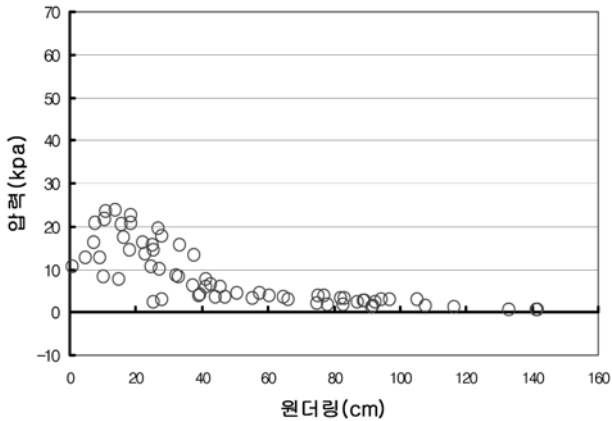


그림 13. 원더링과 토압의 관계(동상방지층)

지점의 발생을 확인 할 수 있었으며 이는 실제 주행도로에서 발생하는 소성변형과 균열의 해석 시 적용에 도움이 될 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 원더링 장비 적용을 통한 도로포장 거동특성 연구는 원더링 장비 개발뿐만 아니라 이를 통해 아스팔트 포장의 거동특성을 파악하는데 있으며, 그 결론은 아래와 같다.

1. 원더링을 측정하기 위한 방법 중 레이저 측정방식의 우수함이 증명되었다. 이는 수계측과 피에조 센서, 수계측과 레이저 센서의 통계적 분석을 통하여 알 수 있는데 검정 통계량의 결과로는 피에조 센서 측정방식과 레이저 센서 측정방식 모두 기각되지 않았지만, 적합도 검정에서 레이저 센서 측정방식이 우수한 것으로 나타났다. 또한 원더링

측정방식의 기준이 되었던 수계측의 경우 레이저 센서 측정방식으로 인해 오차가 있다는 것을 알 수 있었다.

2. 동적하중 재하시험을 통한 아스팔트 변형률계 해석결과 표층과 중간층의 경우 비슷한 양상을 보였으며 기층의 경우 상부층(표층, 중간층)과는 달리 계측지점의 중심으로 갈수록 인장을 보이는 것으로 나타났다. 이는 아스팔트 포장이 주행하중에 따른 반응을 보인 것으로 판단된다. 또한 원더링 적용을 통하여 인장과 압축의 경계지점 범위와 깊이별로 변화 양상을 예측할 수 있게 되었다. 이러한 것은 실제 도로에서 차량 주행 시 발생되어지는 소성변형 또는 균열 해석에 있어 적용할 수 있을 것으로 사료된다.
3. 보조기층의 경우 예측했던 결과와 달리 토압이 다소 차이가 발생하였는데 이는 하중의 간섭으로 인해 나타난 것으로 사료된다. 따라서 추가적으로 변형과 균열 연구 시 원더링을 적용하려면 실제 주행하중이 지면에 깊이별로 미치는 영향분포를 연구해야 할 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 원더링이 아스팔트 포장거동 특성에 영향을 미치는 것을 확인하였으나 적용단면의 한계와 현장여건으로 인하여 포장의 거동 특성을 분석하고 대안을 제시하는 데는 다소 무리가 있다. 따라서 추후 거동 특성을 분석하기 위해서는 다양한 포장단면, 포장조건에 따라 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 강민수(2001) 차량 Wandering의 포장손상 저감 정량화 연구. 석사학위논문, 한양대학교.
- 김두섭, 강남준(2000) 회귀분석 기초와 응용. 나남출판사.
- 박범조(2004) 현대통계학 이론과 활용. 시그마프레스.
- 건설교통부(2001) 도로교통량 통계연보.
- 박창우(2005) 원더링 장비 적용을 통한 도로 포장 거동 특성 연구. 석사학위논문, 경기대학교.
- Alavi, S., Mactutis, J., Ott, W., and Ashmore, C. (2000) Evaluation of Wheel Wander on Accumulation of Pavement Distress, *14th Engineering Mechanics Conference*, The University of Texas at Austin.
- Buiter, R., Cortenraad, W. M. H., Van Eck, A.C., and van Rij, H. (1993) Effects of Transverse Distribution of Heavy Vehicles on Thickness Design of Full-Depth Asphalt, *Transportation Research Record* 122, pp. 66-74.
- Metcalf, C., Coetzee, N. F., Nokes, W., Monismith, J., and Mahoney, J. (2000) Full-Scale Accelerated Pavement Testing : Current Status and Future Directions, *Transportation in the New Millennium*.

(접수일: 2005.9.27/심사일 2005.10.28/심사완료일: 2005.10.28)