

포장 도로면 평가 장비 개발에 관한 연구

김석원, 김호성  
중앙대학교 전자전기공학부

The study of the evaluating equipment development for the surface of the road pavement.

Seok-Won Kim, Hoseong Kim  
School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

**Abstract** - 본 논문은 그루빙(grooving), 타이닝(tinning), 텍스처(texture) 등의 포장 도로의 표면 상태를 고성능의 레이저 변위센서를 사용하여 정밀하게 측정하고, 측정된 표면 상태를 객관적으로 평가하는 장비 개발에 관한 논문이다. 본 논문에서는 실제 평가 장비 차량을 만들기에 앞서 전체 시스템을 설계하고, 실내에서 차량과 도로의 모사 장비를 만들어 실험하였다.

본 실험에서는 오실로스코프와 DAQ(Data Acquisition) 보드를 사용하였다. LabView로 신호처리 프로그래밍을 하여 컴퓨터 화면에 GUI 형태로 나타내었다. 측정 데이터는 컴퓨터의 저장 공간에 저장하여 후처리를 가능하게 하였다. 또한, 실제 평가 장비 차량에 장착하게 될, GPS(Global Positioning System) 시스템으로부터 실시간으로 평가 장비 차량의 이동거리 데이터를 얻었다. 실험 결과 차량이 80km/h로 주행할 때 도로 표면 타이닝의 폭과 깊이가 평균 9.67% 오차를 보였으며, 이동거리는 0.03%이내의 오차를 보여 만족할 만한 결과를 얻었다.

1. 서 론

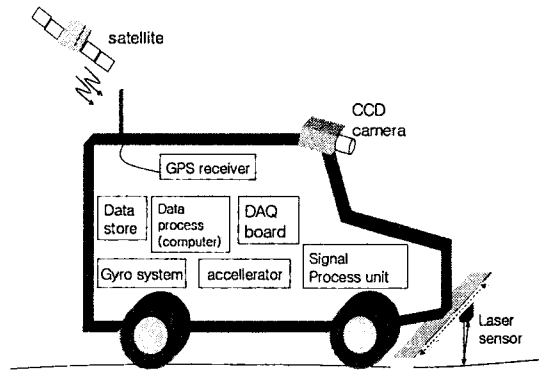
지금까지 국내에서 도로의 저소음 표면처리에 관한 연구는 진행되어 왔지만, 정장 도로의 유지 보수 관리 차원에서 도로의 표면 상태를 평가하고 관리하는 장비 개발은 전무하였다. 따라서 본 논문의 포장 도로 표면 평가 장비 개발은 포장 도로면의 평가 기준 수립의 기반 마련에 필수적이고, 이를 바탕으로 도로의 표면 처리 기술을 접목시켜 포장 도로를 설계함으로써 포장 도로의 저소음, 장수명화에 대한 실효성을 높일 수 있다. 국내외 포장 도로면 평가 방법은 Sand patch method, Water flow method 등이 있고, 평가 장비는 Texture beam, Texture van, Tire Gauge, 레이저 센서를 이용한 장비로는 ARAN(Automatic Road Analyzer), ROSAN (ROad Surface ANalyzer)이 있다.

도로 유지보수 분야의 관심이 증대되는 국내의 현실성을 감안하면 본 포장 도로면 평가 장비의 개발은 매년 증가하는 포장 도로 평가 장비 수입의 대체 효과를 기대할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 포장 도로의 표면 상태를 평가하는 장비를 만들어 그 성능을 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 평가 장비 전체 시스템

[그림 1]은 평가 장비 차량 전체 시스템을 모식화한 것이다. 레이저 센서와 가속도계에서 출력되는 아날로그 신호를 DSP(Digital Signal Processing)에서 분석 가능한 디지털 신호로 변환시켜준다. 이후 차량 자체의 진동은 텍스처 평가를 인식하는 레이저 변위 센서에 심각한 오차를 유발하므로 측정에 대한 정밀도를 높이기 위하여 진동 주파수와 레이저 주파수 신호를 분리하여야 한다.



[그림 1] 평가 장비 차량 시스템

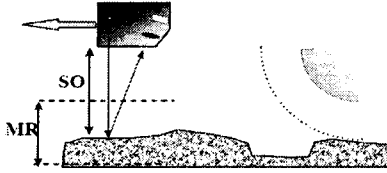
이 작업을 수행하는 것이 필터링(filtering) 작업이다. 이 필터링 작업은 필터 설계 시 필터 각 요소의 계수를 결정해야 하는데, 그러기 위해서는 적용 알고리즘에 기초한 DSP 기법을 사용하여 두 신호의 상관관계가 전혀 없을 때까지 신호에 적용하여 계수를 변화시킬 수 있다.

그로 인해 순수하게 텍스처의 평가에 의한 신호만을 분리함으로써 텍스처의 깊이, 폭 그리고 형상 등을 정밀하게 파악하게 된다. 본 논문에서는 연구 목적에 가장 적합하게 레이저 센서와 가속도계의 스펙(Spec)을 결정하고 소프트웨어 설계 시스템을 구현하였다.

2.2 레이저 변위 센서

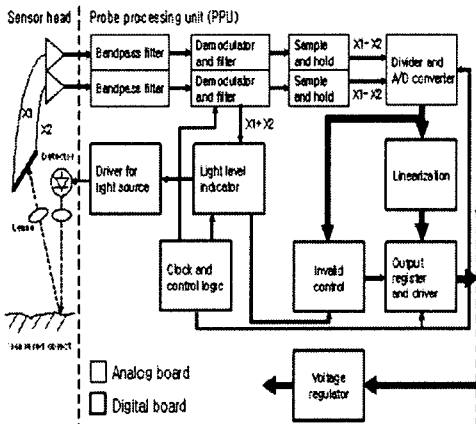
포장 도로의 표면을 측정하고, 평가하기 위한 센서는 주위의 여러 가지 변화하는 상황에서도 그 성능을 유지할 수 있는 신뢰성이 필요하다. 차량이 빠른 속도로 주행하면서 나타나게 되는 자연광 변화, 도로 표면의 색과 밝기, 도로의 습한 정도, 새로 시공한 아스팔트 노면, 그리고 그 시간 그 지역의 기상 상태와 습도, 시간에 대한 영향이 있다. 이러한 여러 가지 상황에서 센서는 신뢰할 만한 데이터를 얻을 수 있어야 한다. 본 연구에서 선정된 변위센서는 [그림 2]에 보이는 바와 같이 약 467.0mm의 기준거리 (SO: stand off)에서 128mm (-0%/+2.4%)의 변위(MR: measurement range)를 측정할 수 있다. 다시 말하면 본 연구의 레이저 센서는 차량에 장착된 변위센서로부터 약 467.0mm (±5.0mm) 거리를 기준으로 약 ±64mm의 변위를 측정한다. 변위센서의 sampling 주파수는 최대 64kHz이고, 대역폭은 20kHz이다. 변위센서 레이저 빔의 크기는 0.55mm이고, 파장은 655nm의 붉은색 영역이다.

변위센서 시스템의 신호 흐름은 아래 [그림 3]에서처럼 sensor head 부의 레이저와 PSD(Position Sensitive Detector)에 의해 최대 64kHz의 업데이트 주파수로 텍스처의 변위를 측정하고, sampling 과정을 거쳐 변위에 대해

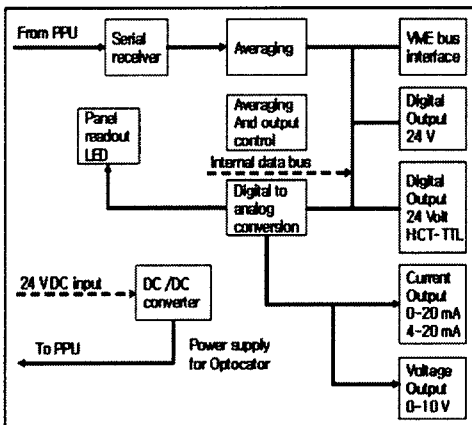


[그림 2] 변위센서의 사양

출력 값을 내보낸다. 이 값은 [그림 4]의 인터페이스 보드로 입력된다. 이 보드는 입력된 serial 데이터를 16-bit 디지털 데이터로 변환한다. 이 디지털 값은 인터페이스 보드에서 아날로그 값으로도 변환된다. [그림 4]의 인터페이스 보드의 주요 기능은 데이터를 평균화(average)하는 것이다. 인터페이스 보드는 아날로그 값(10V 범위)과 디지털(5V, 24V, 12bit) 값을 출력한다. 이 출력 값은 컴퓨터의 DAQ 보드로 입력되어 signal processing 과정을 거치게 된다. 이때 DAQ 보드의 sampling rate 를 적절하게 결정하는 것이 매우 중요하다. 이렇게 얻은 데이터는 LabView, VC++, Matlab 등의 소프트웨어 알고리즘에 의해 최종 결과 데이터가 된다.



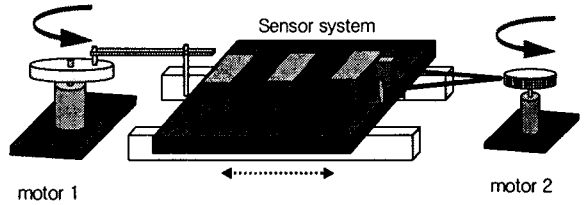
[그림 3] PPU (Probe processing unit)



[그림 4] Interface board

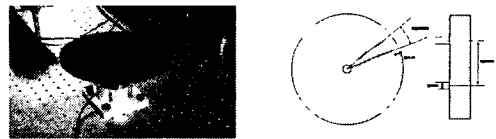
### 3.1 실내 실험

변위 센서를 차량에 장착하여 실제로 포장 도로면의 상태를 측정하기 전에 변위 센서의 성능과 분해능(Resolution)을 알아야 할 필요가 있다. 이를 위해 실내 실험실에서 실제와 같은 상황의 실험 모형을 제작하여 실험하였다.



[그림 5] 실내 실험 모형

[그림 5]는 실내 실험 모형은 크게 세부분으로 나눌 수 있다. 왼쪽의 Motor 1 은 차량 진동 모사 장비이고, 가운데 부분은 차량 모사 장비이다. 그리고 오른쪽의 motor 2 는 포장 도로면 모사 장비이다. 가운데 차량 모사 장비는 레일 위에 판이 있고 판 위에는 레이저 변위 센서 시스템이 있다. 레일과 판 사이에는 바퀴가 있어서 왼쪽의 motor 1 에 의해 가운데의 차량 진동 모사 장비가 좌우로 진동한다. 이 상황에서 차량 모사 장비에 있는 레이저 변위 센서는 오른쪽에 포장 도로면 모사 장비에 레이저를 쏘고, 받아서 변위를 측정한다. motor 2 의 포장 도로면 모사 장비는 타이닝 패턴을 만들어 빠른 속도로 회전시킴으로써 차량이 빠른 속도로 주행하는 상황을 모사하였다.

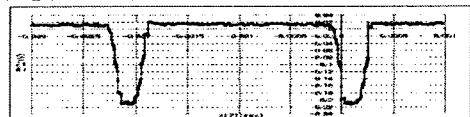


[그림 6] 포장 도로면 모사 장비 (motor 2)

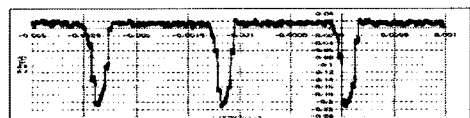
[그림 5]의 실내 실험 모형에서 오른쪽의 포장 도로면 모사 장비는 [그림 6]과 같이 제작하였다. 이것은 실제 포장 도로면의 횡방향 타이닝을 표현했으며, 타이닝과 타이닝 사이의 간격은 25mm이고, 타이닝의 폭과 깊이는 각각 3mm, 3mm이다. 그리고 직경은 약 100mm 이다.

### 3.2 실내 실험 결과

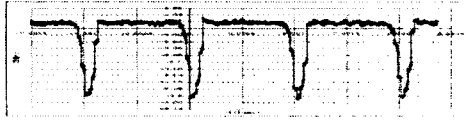
아래 [그림 7~11]의 데이터는 [그림 5]의 실내 실험 모형의 실험 결과이다.



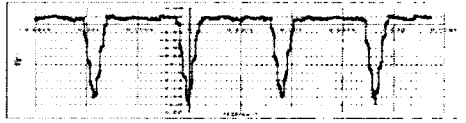
[그림 7] 36km/h 주행



[그림 8] 60km/h 주행

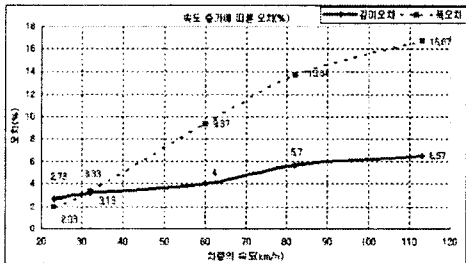


[그림 9] 80km/h 주행



[그림 10] 113km/h 주행

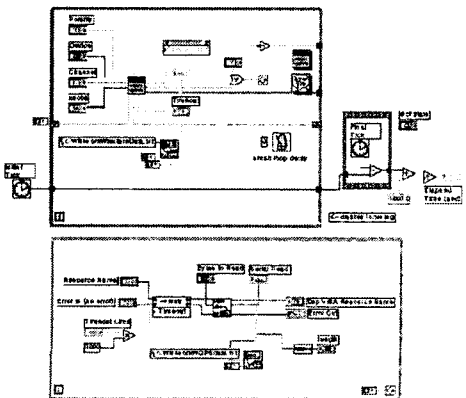
차량의 속도가 증가 할수록 타이닝 패턴이 삼각형모양으로 변형되는 것을 확인할 수 있다. [그림 6]의 실제 제작한 포장 도로면 모사 장비의 타이닝 모양과 오차는 아래 [그림 11]에 나타내었다.



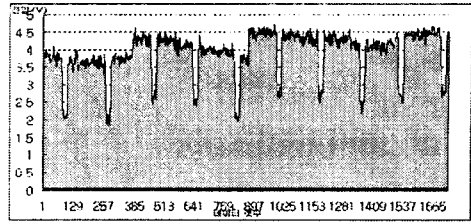
[그림 11] 속도 증가에 따른 오차(%)

타이닝 폭에 대한 오차가 차량의 속도가 60km/h일 때 까지 10% 내로 유지되지만, 차량의 속도가 60km/h이상으로 증가 하면 오차가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면에 속도가 100km/h 이상 증가해도 타이닝의 깊이 오차는 크게 증가하지 않았다.

지금까지의 변위센서 실내실험 데이터는 오실로스코프 파형의 출력파형이었다. [그림 13]은 노트북 컴퓨터에 DAQ 보드를 설치하고 LabView로 프로그래밍([그림 12]) 하여 얻은 타이닝 패턴이다. 차량의 진동 성분으로 인해 전체적으로 작은 저주파 신호가 섞여 있는 것을 볼 수 있다.

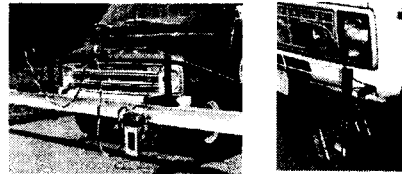


[그림 12] LabView 프로그래밍

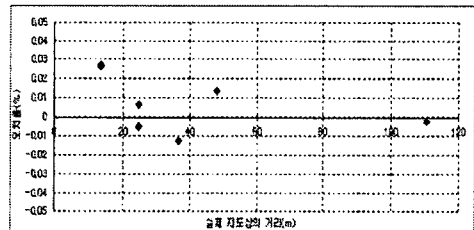


[그림 13] LabView로 측정된 타이닝 패턴(차량진동성분포함)

[그림 14]는 차량의 앞 범퍼에 레일(rail)을 달고, 변위센서가 이 레일에 장착되어 차량의 주행 방향을 기준으로 좌우 방향으로 움직이면서 포장 도로면의 텍스처를 측정할 수 있는 시스템이다. 이와 같이 차량이 주행하면서 변위센서가 좌우로 움직이면, 좌우로 움직이지 않고 측정하는 상황과 비교하여 포장 도로면에 대해 더 입체적인 데이터를 얻을 수 있다.



[그림 14] 변위센서의 장착



[그림 15] 실제 거리에 대한 GPS 거리 계산 값의 오차

[그림 15]는 두 지점 사이의 실제 지도상의 거리와 GPS의 위도, 경도 데이터에 의해 계산된 거리 사이의 오차를 나타낸 그래프이다. 오차율이 0.03% 이내로써 실제 지도상의 거리와 계산 값이 거의 일치한다. 따라서 GPS 시스템을 평가 차량에 장착하여 실시간(1.0sec 간격)으로 이동거리와 차량의 위치정보를 얻을 수 있다.

### 3. 결 론

레이저 변위센서를 이용하여 포장 도로 표면 평가 장비 제작하기 위한 실험을 하였다. [그림 5]의 실험모형을 제작하여 실험하였으며 실험결과 타이닝 패턴에 대해 [그림 11]과 같은 결과를 얻었다. 그리고 DAQ (data acquisition) 보드와 LabView를 이용해서 컴퓨터로 데이터를 입력받아 처리하고, 저장하였다. GPS로부터 위도와 경도 데이터를 얻어 실시간으로 차량의 이동거리와 위치정보를 얻었다. 이 결과를 바탕으로 실제 평가 장비를 실시 설계하고 제작한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1]KOAC WMD en NPC (Netherlands Pavement Consultants) (www.koac wmd.nl)
- [2]U.S. Department of transportation Federal Highway Administration, pavement technology (www.fhwa.dot.gov)