

**레이저 변위센서와 GPS를 이용한 위치기반 실시간 도로표면 측정 시스템에 관한 연구**

황선덕\*, 김호성

중앙대학교 전자전기공학부

**The Study on the location-based realtime measurement system for the road surface using Laser Displacement Sensor and GPS**

Seon Deok Hwang\*, Hoseong Kim

School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

**Abstract** -본 논문은 포장도로의 표면 상태를 고성능의 레이저 변위 센서를 사용하여 정밀하게 측정하고, GPS(Global Positioning System)를 사용하여 측정 위치 데이터를 획득하는 도로 표면 측정 장비 개발에 관한 논문이다. 본 연구에서는 전체 시스템을 설계하고, 차량 주행을 모사한 실험 모형을 제작하여 실내 실험을 실시하였으며, GPS 단말기로부터 실시간으로 위치 신호를 수신하여 도로면 데이터와 연동할 수 있도록 하였다. 그리고 평가 차량의 전면에 레일(rail)을 장착하여 레이저 변위 센서가 좌우로 왕복운동이 가능하도록 하였으며, 레일을 작동시킨 상태에서 도로면을 측정해 보았다.

실험 모형의 측정 결과는 차량이 80km/h로 주행할 때 도로 표면 타이닝(tinning)의 폭 오차 3.24%, 깊이 오차 5%였다. 차량이 정지된 상태에서 레일을 작동시켜 요철을 측정하였을 경우 레일 방향에 대한 폭 오차는 0.07%였다.

**1. 서 론**

국가 산업의 급속한 성장으로 인적, 물적 교류가 활발해지자 이를 뒷받침하기 위한 도로의 신규 및 확장사업이 지속적으로 진행되고 있다. 이와 함께 차량이 대형화 및 고속화됨에 따라 소음 문제와 제동 거리 연장에 따른 안전 문제가 중요시 되고 있다.

포장도로의 표면 상태는 차량 주행에 관련된 소음과 미끄럼 저항에 관계가 있다. 표면 상태를 정확히 측정하여 소음 및 미끄럼 저항과의 연관 관계를 도출해냄으로써 포장도로의 실효성을 높일 수 있다. 더불어 도로의 유지 보수 관리 차원에서 도로의 표면 상태를 평가하고 관리하는 기능이 추가된 장비 개발이 필요하다.

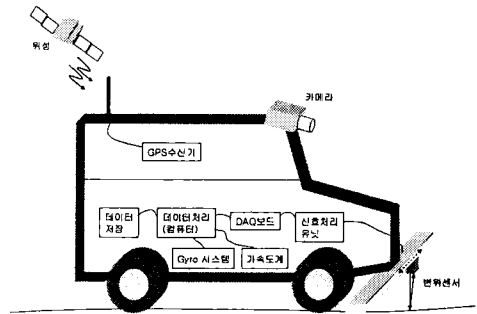
따라서 본 논문에서는 포장도로의 표면 상태를 평가하는 장비를 만들어 그 성능을 검토하고자 한다.

**2. 본 론**

**2.1 전체 시스템**

그림 1은 평가 장비 차량 전체 시스템을 모식화한 것이다. 좌우 왕복 운동하는 레이저 변위 센서로 도로 표면을 측정한다. 이 데이터에는 차량의 진동, 차량의 속도 변화, 도로면의 평탄성 변화가 모두 포함되어 있는 값이므로 가속도계와 자이로(Gyro)시스템에서 얻은 값과 함께 데이터를 신호 처리함으로써 순수한 도로 표면만의 데이터 값을 추출해낸다. 이렇게 얻어진 데이터는 GPS 단말기에서 얻은 위치 정보와 동기화되어 저장된다.

본 논문에서는 이에 사용되는 레이저 변위 센서의 성능을 평가하였으며, 도로 표면에 대한 데이터와 위치 정보 데이터를 동기화할 수 있도록 시스템을 구축하고 프로그래밍 하였다. 또한, 레이저 변위 센서를 좌우 왕복시킨 상태에서 데이터를 수집하고 이를 분석하였다.

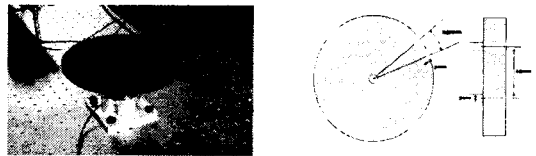


[그림 1] 시스템 차량

**2.2 레이저 변위 센서 성능 평가**

레이저 변위 센서로 측정된 포장도로면 측정 신호를 노트북 컴퓨터에 장착된 National Instrument 사의 DAQCard (Data Acquisition Card, DAQ-6062E)로 수집한 후 LabVIEW로 신호처리 및 분석하였다.

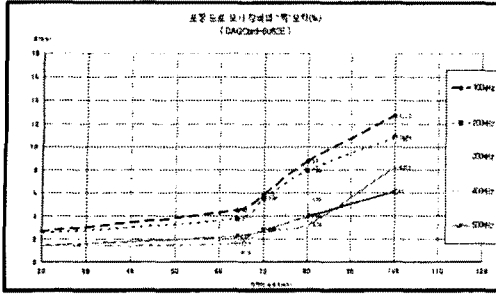
아래 그림 2와 같이 포장 도로면을 모사한 장비를 이용하여 성능 평가를 실시하였다. 모형의 구조는 실제 포장 도로면의 횡방향 타이닝을 표현했으며, 타이닝과 타이닝 사이의 간격은 25mm이고, 타이닝의 폭과 깊이는 각각 3mm, 3mm이다. 그리고 직경은 약 100mm이다.



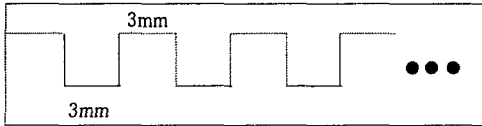
[그림 2] 포장도로면 모사 장비

실험 결과에 따르면 깊이에 대한 오차는 110km/h 이하에서 6.5% 이하로 나타났다. 이로써 깊이 오차가 차량의 속도에 크게 좌우되지 않음을 확인하였다. 반면 폭에 대한 오차는 70km/h 이하에서는 3% 이하의 오차를 보이지만 그 이상의 속도에서는 오차가 크게 증가함을 아래 그림 3에서 확인할 수 있다. 또한, DAQ Card의 샘플링 주파수를 300kHz 미만으로 설정시 폭 오차가 커짐을 확인하였다.

폭 오차가 차량 속도 70km/h 이상에서 또 샘플링 주파수 300kHz 미만에서 증가하는 이유는 레이저 변위 센서에서 얻은 데이터를 처리하는 장치의 주파수가 최대 32kHz이기 때문이다. 그 근거는 다음과 같다.



[그림 3] 차량 속도 증가에 따른 폭 오차 (%)



[그림 4] 주기가 6mm인 타이닝 모사

포장도로면 모사 장비의 타이닝 주기는 25mm이지만 3mm 폭에 대한 오차를 구하고 있으므로, 그에 부합되는 주파수를 구하기 위해서는 위 그림 4와 같이 6mm의 주기를 갖는 타이닝으로 간주하고 주파수를 구해야 한다. 해당 속도에 따라서 타이닝의 한 주기가 반복되는 주파수는 다음 표 1과 같다.

$$\text{주파수(Hz)} = \frac{\text{속도(mm/s)}}{\text{거리(6mm)}}$$

속도(km/h)	주파수(kHz)	속도(km/h)	주파수(kHz)
50	2.3	90	4.2
60	2.8	100	4.6
70	3.2	110	5
80	3.7	120	5.6

[표 1] 주기 6mm 타이닝의 속도에 따른 주파수

샘플링 이론에 따르면 본래 주파수의 10배 이상으로 샘플링 하여야 본래 파형을 작은 오차로 측정할 수 있다. 즉, 한 주기가 6mm인 타이닝을 32kHz의 샘플링 주파수로 측정을 하려면 타이닝이 3.2kHz 이하의 주파수로 진행하여야 한다. 다시 말해 타이닝을 측정하는 차량이 70km/h 이하의 속도로 주행하여야 한다는 것이다. 그 이상의 속도로 진행할 경우 폭 오차가 증가하게 된다.

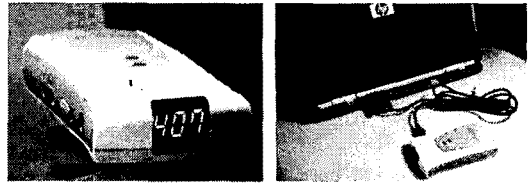
또한 32kHz의 주파수로 받아들여지는 데이터를 컴퓨터로 수집하기 위해서는 300kHz 이상의 샘플링 주파수를 갖는 DAQ card 를 사용해야 한다. 앞에서 언급한 샘플링 이론과 동일한 이유로 본래 주파수의 10배 이상으로 샘플링 하여야 본래 파형을 작은 오차로 복조해낼 수 있기 때문이다.

### 2.3 위치 데이터 획득

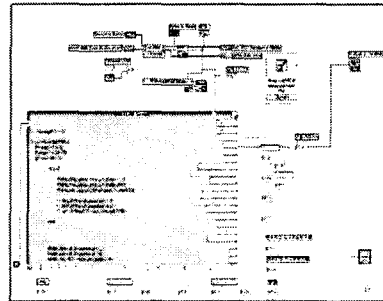
본 연구에서는 GPS 단말기가 위성으로부터 수신한 위치 데이터를 노트북 컴퓨터의 시리얼 포트에 입력받고 National Instrument사의 LabVIEW로 프로그램 하여 현재 지점의 위치정보(위도, 경도)와 출발점으로부터 현재 지점까지의 이동거리를 계산했다.

본 연구에서 사용한 GPS단말기는 주식회사 인텔링스의 '로드메이트 골드' 이다 (그림 5). 대다수의 GPS장치들이 데이터 전송에 있어서 국제 표준인 NMEA0183 프로토콜을 사용하고 있다. NMEA는 National Marine Electronics Association의 약자로, 해양관련 장비의 인터페이스 프로토콜의 표준으로 사용되고 있다. 대다수의 GPS장치처럼 본 연구에서 사용한 GPS 단말기도 NMEA 0183 프로토콜을 사용하고 있다. 필요한 정보를

얻기 위해서는 NMEA Sentence중에서 \$GPGGA로 시작하는 Sentence를 사용하여야 한다. 그림 6은 이동 거리 계산을 위한 LabVIEW 프로그램이다.



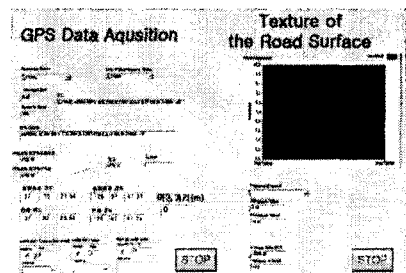
[그림 5] GPS 단말기 설치



[그림 6] GPS data processing Block diagram

### 2.4 도로면 데이터와 위치 데이터 연동

레이저 변위센서를 이용하여 측정한 포장도로면 측정 프로그램과 GPS 시스템을 사용하여 구현한 위치획득 프로그램을 최종적으로 LabVIEW를 이용하여 하나의 시스템으로 완성하였다. 따라서 향후 평가 장비 차량이 포장 도로 위를 주행하면서 실시간으로 위성으로부터 위치 신호를 수신하여 위치기반의 실시간 도로 표면 측정 시스템을 구현할 수 있게 하였다. 다음 그림 7은 GPS 위치 데이터와 도로면 측정 데이터를 사용자가 노트북 컴퓨터의 화면상에서 직접 확인하고, 동시에 데이터를 저장할 수 있는 GUI (Graphic User Interface) 화면이다.



[그림 7] GPS와 도로 텍스처 측정 GUI 화면

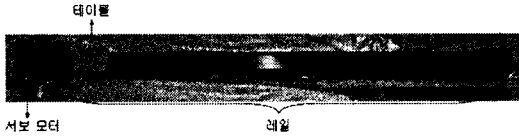
### 2.5 레이저 변위 센서 차량 장착

평가 차량의 실시 제작 시에 레이저 변위센서를 차량의 앞부분에 장착하는 과정에서 아래 그림 8처럼 레이저 변위 센서가 차량의 주행 방향에 대해서 좌우로 이동할 수 있는 액추에이터를 장착하여 포장 도로면에 대한 2차원 데이터 획득이 가능하도록 준비하였다.



[그림 8] 레이저 변위 센서의 장착

액추에이터는 아래 그림 9와 같이 서보 모터, 레일, 테이블(table)로 나눌 수 있다.



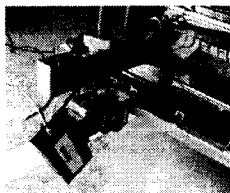
[그림 9] 액추에이터

서보 모터는 모터의 한 종류로서 일반적인 모터의 역할을 수행한다. 테이블은 서보 모터의 힘에 의해 레일 위를 움직인다. 그러므로 평가 차량에 레일을 장착했다고 했을 때, 실제 레일의 역할을 수행하는 부분은 바로 액추에이터의 레일 부분인 것이다. 또한, 실제 왕복 운동이 이루어지는 부분은 테이블이다. 테이블에 레이저 변위 센서를 부착하여 레이저 변위 센서의 좌우 왕복 운동을 가능케 한다.

장착된 액추에이터의 크기는 1935 \* 158 \* 88(H) mm이며, 테이블이 실제로 움직일 수 있는 동작 범위는 1500mm이다. 또한 테이블은 모터가 한 바퀴 회전 할 때 57.14 mm를 진행하게 된다. 모터의 최대 회전수가 1,000rpm이므로, 테이블은 최대 0.95m/s의 속도까지 움직일 수 있다. 그리고 테이블이 이동할 수 있는 최장 길이인 1.5m를 최대 속도로 진행한다고 했을 때 소요되는 시간은 1.6초이다.

레이저 변위 센서는 레일 위에서 좌우 왕복 운동을 하여야 한다. 그러므로 레이저 변위 센서는 레일 위에서 좌우 왕복 운동을 하는 액추에이터의 테이블에 고정되게 된다. 이를 위하여 아래 그림 10과 같은 고정물을 사용하였다.

레이저 변위 센서는 약 467mm의 기준거리 (SO : stand off)에서 128mm의 변위(MR : Measurement Range)를 측정할 수 있다. 즉, 변위 센서로부터 약 467mm 거리를 기준으로  $\pm 64\text{mm}$ 의 변위를 측정한다. 그러므로 레이저 변위 센서를 레일에 부착할 시에 기준 거리, 467mm를 맞추어 주어야 한다. 이를 해결하기 위하여 아래 그림 10과 같이 레이저 변위 센서가 고정되는 부분이 상하로 움직일 수 있도록 나사 구조의 봉을 이용하였다. 그리고 나사 봉의 위, 아래에 위치한 너트로 봉의 회전을 방지하였다.



[그림 10] 레이저 변위 센서 고정

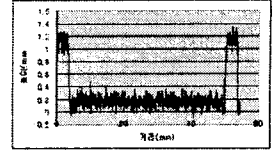
### 2.5.1 초기화(Calibration)

레이저 변위 센서를 가동시킨 후 여러 가지 상황을 설정하고 그에 따라 인터페이스 보드에서 알맞은 출력이 나오는지를 확인하였다. 여러 가지 상황이란 시동의 커짐과 꺼짐, 레일의 작동과 무작동, 도로면에 요철 형성(그림 11), 외부 힘에 의한 차체 진동 등의 요소를 조합하여 다양한 경우의 수에 대해 실험하고 측정된 값을 아래 그림 13에 나열하였다. 도로면 요철 형성을 위해 사용된 재료의 두께는 1.1mm이다(그림 12). 이와 같은 실험에서 데이터를 정확히 획득함으로써 평가 차량을 주행시키며 실제 포장도로에서 데이터를 수집하기 위한 초기화를 하였다.

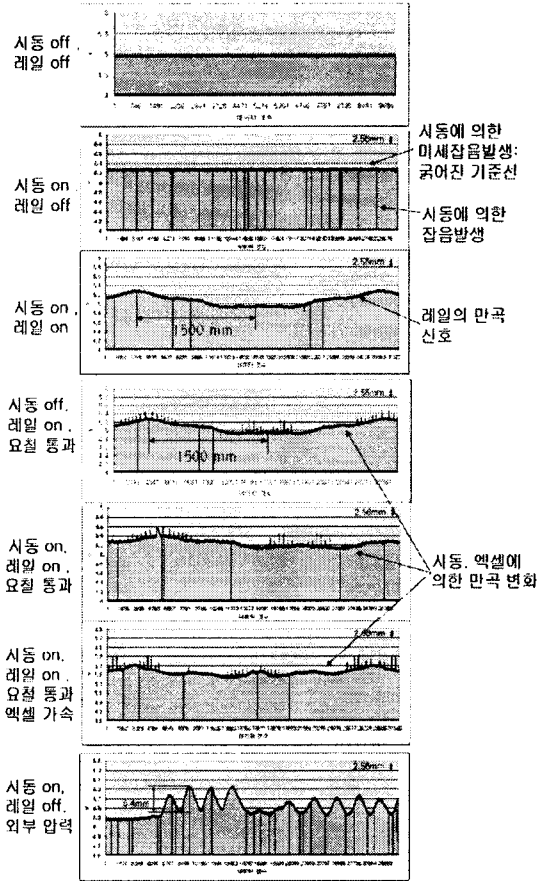
실험 결과 레일 방향에 대한 쪽 오차는 0.07%였다.



[그림 11] 도로면 요철 형성



[그림 12] 요철 2개 측정 결과



[그림 13] 측정 결과

## 3. 결 론

레이저 변위 센서 시스템을 구축하고 성능평가 하였다. 그리고 GPS 시스템으로 위치데이터를 획득하여 출발점으로부터 현재 지점까지의 이동거리를 계산하였다. 도로 표면 측정 데이터는 GPS 시스템으로부터 획득한 위치 데이터와 동기화하여 데이터베이스화 하였다. 그리고 LabVIEW를 이용하여 도로 표면 측정 데이터와 GPS 위치 데이터를 동시에 제어할 수 있는 위치 기반 실시간 도로면 측정 시스템을 구현하였다. 최종적으로 평가 차량의 앞부분에 차량의 주행 방향에 대해서 좌우로 왕복할 수 있는 레일을 장착하였으며, 레이저 변위 센서가 포장 도로면을 측정할 수 있도록 초기화하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] KOAC WMD en NPC (Netherlands Pavement Consultants) ([www.koac-wmd.nl](http://www.koac-wmd.nl))
- [2] U.S. Department of transportation Federal Highway Administration, pavement technology ([www.fhwa.dot.gov](http://www.fhwa.dot.gov))
- [3] 김석원 외 1명, "포장도로면 평가 장비 개발에 관한 연구", 대한건설학회 하계학술대회 논문집, pp.2011~2013, 2004. 7.