

레이저 변위센서를 이용한 도로 표면 요철의 측정

김해중*, 김호성, 박주한
 중앙대학교 전자전기공학부

Measurement of road tining using Laser displacement sensor

Hyejoong Kim, Hoseong Kim, Juhan Park
 School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

Abstract - 본 논문은 그루빙(grooving), 타이닝(tining), 텍스처(texture) 등의 포장도로의 표면 상태를 차량에 장착된 고성능의 레이저 변위센서를 사용하여 주행 중에 정밀하게 측정하는 도로 표면 측정 장비 개발에 관한 논문이다. 본 논문에서는 전체 시스템을 설계 및 시험제작 하였으며, 차량 주행을 모사한 실험 모형을 이용한 실내 실험 및 시험도로에서의 실제 도로 표면 측정 실험을 실시하였다. 실내 포장도면 모사장비를 이용한 실험 결과 타이닝 폭 오차 2%, 깊이 오차 4%(60km/h)를 얻었으며, 실외에서 차량에 레이저 센서를 장착 후 측정한 실험에서는 폭 오차 3.24%, 깊이 오차 5%(50km/h)가 측정되었다. 이러한 실험 결과를 토대로 시험도로 상의 실제 도로 표면 측정 실험에서는 25mm, 18mm, 26mm, 그리고 임의의 간격의 횡 방향 및 종 방향 타이닝을 측정하였고 이를 확인하였다.

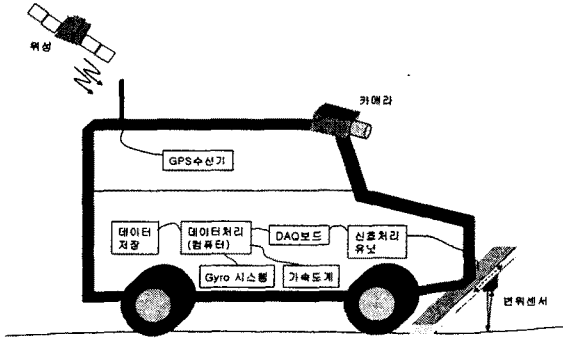
1. 서 론

국내 산업의 발전과 더불어 각 지역 간의 인적, 물적 자원의 교류가 활발해지면서 그 증가가 되는 도로망의 신규 개발 및 기존 도로의 유지보수 역할이 매우 중요하게 되었다. 또한 보다 쾌적한 생활환경을 중요시하는 근래 분위기에 맞추어 도로 표면 상태에 따른 소음 및 안전 문제 역시 새로운 도로 개발에 있어서 중요하게 고려해야 하는 부분이 되었다. 그러나 이와 같은 포장 도로 표면에 대한 관심이 증대되는 상황에도 불구하고, 현재 이러한 도로 표면의 상태를 측정 및 분석하는 기술과 장비는 대부분이 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서 개발된 장비는 매년 증가하는 수입의 대체 효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 포장 도로면의 평가 기준 수립의 기틀을 마련하고 이를 통한 포장도로의 저소음, 장수명화에 대한 실효성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

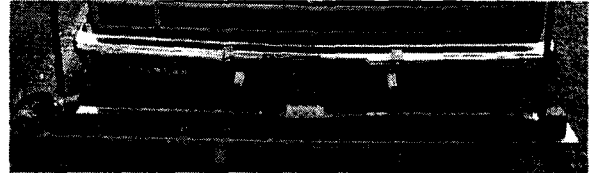
2. 본 론

2.1 도로 표면 측정 시스템

그림 1은 도로 표면 측정 차량의 전체 시스템을 모식화한 것이다. 평가 차량의 진행과 함께 차량 앞부분의 레이저가 작동하여 좌우로 왕복운동을 하며 도로 표면을 측정하게 된다. 이때 측정되는 데이터는 차량 자체의 진동 및 차량과 레이저 속도 변화에 따른 오차 요인을 포함하고 있으므로, 컴퓨터 상에서의 데이터 처리과정(LabVIEW)을 통해 순수한 도로 표면만의 데이터를 추출하게 된다. 이때 추출된 데이터는 실시간으로 차량 내부의 컴퓨터 화면을 통해 도로 표면 상태를 나타내는 물론이고, GPS 단말기를 통해 얻은 위치 정보와 동기화 되어 저장되게 된다.

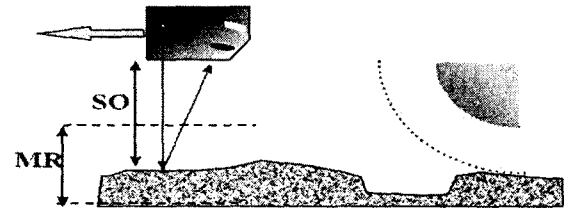


<그림 1> 도로 표면 측정 시스템 차량



<그림 2> 평가 차량 전면의 레이저 장착

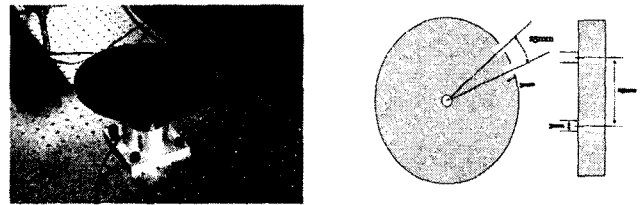
2.2 레이저 변위 센서



<그림 3> 센서의 기준 거리와 변위 거리

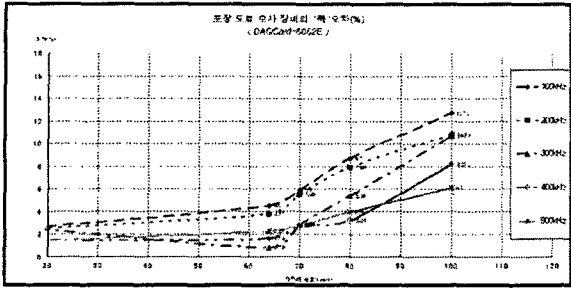
본 연구에서 선정된 변위센서는 그림 3에 보이는 바와 같이 약 467.0 mm의 기준거리 (SO: stand off)에서 128mm(-0%/+2.4 %)의 변위(MR: measurement range)를 측정할 수 있다. 즉, 본 시스템에서는 차량에 장착된 변위센서로부터 약 467.0mm (±5.0mm) 거리를 기준으로 약 ±64mm의 변위를 측정한다. 이때 변위센서의 샘플링 주파수는 최대 64kHz이고, 대역폭은 20kHz이며, 변위센서 레이저 빔의 크기는 0.55mm, 파장은 655nm의 붉은색 영역이다.

2.3 포장도로면 모사장비의 측정



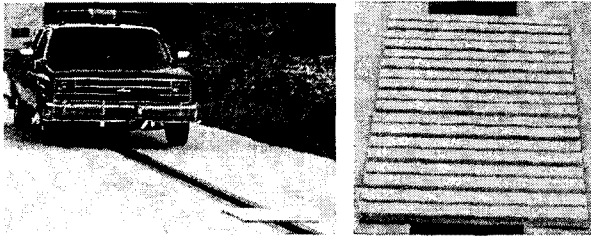
<그림 4> 포장도로면 모사 장비

그림 4는 실내에서 각각의 속도에 따른 레이저 변위 센서의 성능을 평가 해보기 위한 포장도로면 모사장비이다. 모형의 구조는 실제 포장 도로면에서의 횡 방향 타이닝을 표현했으며, 타이닝과 타이닝 사이 간격은 25mm, 타이닝의 폭과 깊이는 각각 3mm, 3mm로 설정하였으며 원형 모사장비의 직경은 100mm이다. 실험 결과에서 깊이에 대한 오차는 110km/h 이하에서 6.5% 이하로 측정되었고, 따라서 깊이 오차가 차량의 속도에는 크게 좌우되지 않음을 확인할 수 있었다. 반면 폭에 대한 오차는 70km/h 이하에서는 3% 이하의 오차를 보이지만 그 이상의 속도에서는 오차가 크게 증가함을 확인할 수 있었다. 또한, DAQ Card의 샘플링 주파수를 300kHz 미만으로 설정했을 경우 역시 오차가 커짐을 확인하였는데, 이는 샘플링 이론에 따라 측정하고자 하는 신호 주파수의 10배 이상으로 샘플링 하여야 정확한 측정이 이루어지는 조건을 만족시키지 못하기 때문이다. 그림 5에 속도에 대한 폭 오차의 변화를 나타내었다.



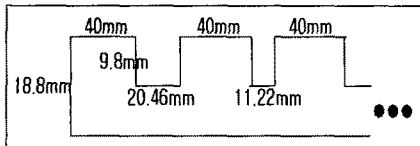
〈그림 5〉 차량 속도에 대한 폭 오차(%)

2.4 주행 중 타이닝 모사장비의 측정

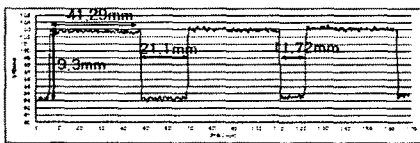


〈그림 6〉 주행 중 타이닝 모사장비 측정 실험

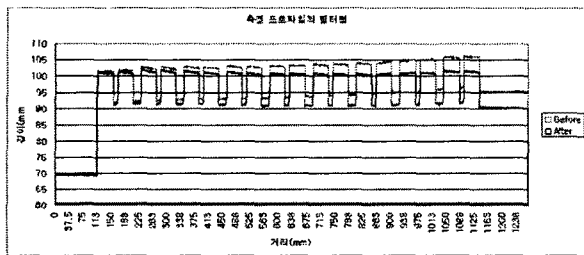
실제 차량의 주행 중 측정되는 타이닝의 정확도를 분석하기 위해 그림 6과 같은 타이닝 모사장비를 이용하여 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 타이닝 모사장비는 그림 7과 같이 각각 20.46mm와 11.22mm의 타이닝 구간이 40mm 간격으로 반복되며 구현되어 있으며, 이를 직접 레이저 변위 센서를 통해 측정한 결과 50km/h 주행 시 그림 8과 같이 폭 오차가 4.5%, 깊이 오차가 5%로 측정이 되었다. 한편, 이때 차량 자체의 진동으로 인한 노이즈 성분은 고주파 통과 필터(LabVIEW)를 이용하여 그림 9와 같이 제거할 수 있었다.



〈그림 7〉 타이닝 모사장비



〈그림 8〉 실제 측정된 모양



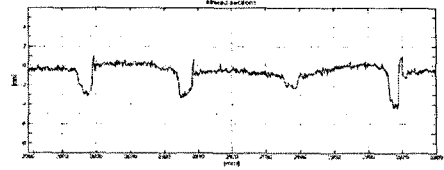
〈그림 9〉 고주파 통과 필터를 이용한 노이즈 성분 제거

2.5 실제 시험 도로면의 측정

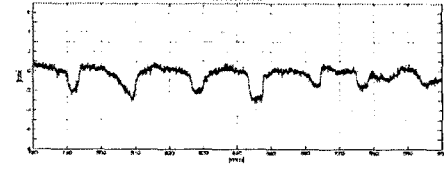
실내 포장도면 모사장비 측정 실험과 실제 주행 중 타이닝 모사장비의 측정을 통해 레이저 변위 센서의 정확도를 확인하였다. 따라서 이러한 결과를 토대로 각각 여러 간격의 요철들이 횡 방향 또는 종 방향으로 일정하게 구현된 시험도로 표면을 직접 측정하여 도로 표면 측정 장비의 실제 도로면에서의 사용 가능 여부를 확인하였다.

시험 도로는 크게 4개의 구간으로 나누어서 1구간은 횡 방향 25mm 간격, 2구간은 종 방향 18mm 간격, 3구간은 종 방향 26mm 간격, 그리고 4구

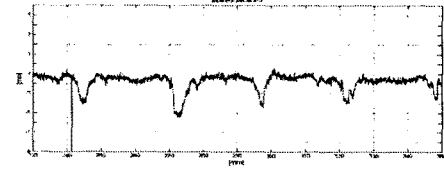
간은 임의의 간격의 타이닝을 두고 실험에 임하였으며, 실험 후 측정된 결과를 그림 10~13에 정리하였다.



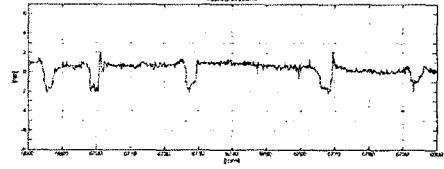
〈그림 10〉 구간 1, 횡 방향 25mm 간격 타이닝



〈그림 11〉 구간 2, 종 방향 18mm 간격 타이닝



〈그림 12〉 구간 3, 종 방향 26mm 간격 타이닝



〈그림 13〉 구간 4, 횡 방향 임의의 간격 타이닝

3. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 고속주행(최대 70km/h)을 하며 timing 등의 도로표면 상태를 정밀 측정할 수 있는 차량을 실험 및 제작하고, 그 가능성을 확인하였다.

측정차량 제작에 앞서 실내에서 포장도면 모사장비와 실제 콘크리트 시편 측정 실험을 통해 레이저 변위 센서의 calibration을 실시하였다. 또한 GPS 시스템으로부터 위치 데이터를 획득하여 이를 도로 표면 측정 데이터와 동기화하여 데이터베이스화 하는 방법을 연구하였으며, 차량 앞부분에는 레이저 변위 센서의 좌우 이동을 위한 레일을 장착하여 보다 넓은 범위의 도로 표면을 측정할 수 있도록 하였다. 최종적으로 시험도로 상에서 여러 횡 방향, 종 방향 타이닝을 측정하였으며 그 성능을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 도로 표면 측정차량의 실용화를 위해서는 주행속도가 측정 결과에 미치는 영향의 정밀 분석 및 timing의 spatial Fourier Transform 분석이 필요하다. 또한, spatial frequency와 소음의 상관관계 도출이 수행되어야 하며, 장거리 주행 측정 시에는 대용량 저장장치가 필요할 것으로 생각된다.

[참고 문헌]

- [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)
- [3] 박홍복 "LabVIEW 7.0 입문"
- [4] 곽두영 "컴퓨터 기반의 제어와 계측 "LabVIEW"
- [5] LMI Technologies Inc. (www.lmint.com)