

고무차륜형식 경량전철 노면요철 측정시스템 개발

Development of Road Surface Irregularity Measurement System for Rubber Tired AGT

*홍재성¹, #이안호¹, 류상환¹, 이은규²
 *J. S. Hong¹, #A. H. Lee(ahlee@krii.re.kr)¹, S. H. Ryu¹, E. K. Lee²
¹ 한국철도기술연구원 경량전철시스템연구단, ²(주)우진산전

Key words : Rubber Tired AGT(Automatic Guideway Transit), Road Surface Irregularity Measurement System

1. 서론

국가 R&D 사업으로 한국형 표준 고무차륜형식 경량전철이 1999년에 시작하여 2005년까지 개발완료되어 현재 경산시험선에서 시험중에 있다. 2량1편성(K-AGT 1)으로 개발된 고무차륜형식 차량은 현재 13만 킬로미터 이상 주행시험을 계속하고 있으며 2008년 10월에 새로 투입된 새로운 2량1편성(K-AGT 2)차량과 함께 현재는 영업운전과 동등한 조건으로 신호시험등을 수행중에 있다. 경산 시험선은 건설당시 오직 시험만을 목적으로 하였기 때문에 주행면을 현장타설로 제작하였으며 곡선부에 캔트가 없어 주행시 승차감이 좋지 않은것이 사실이다. 주행면을 육안으로 관찰하면 별 문제가 없지만 기기등을 통해 자세히 관찰하면 많은 요철이 있어 승차감에 악영향을 끼치는 요소로 파악되었다. 승차감 개선을 위해 노면 및 안내궤도에 대한 정확한 계측 및 분석이 이루어져야 필요성이 제기되었으며, 이러한 계측을 통해 얻어지는 데이터를 개발 시스템의 설계에 피드백 시킴으로써 시스템의 성능을 향상시켜 향후 건설될 경량전철 시스템의 기술적 기준으로 제시될수 있기 위해서 노면요철 측정시스템을 개발하게 되었다.

2. 측정시스템 원리

승차감은 차량이 운행중에 발생하는 지수이기 때문에 실제 주행 상태에서 노면을 측정할 수 있는 방법이 필요하게 되었으며 이러한 동적 측정 시스템인 AEIPR(Accelerometer Established Inertial Profiling Reference)는 가속도 센서를 이용하여 기준 변위를 측정함으로써 측정 장치의 이동이 가능한 특징을 가지고 있다. AEIPR를 이용한 도로면 측정 개념을 보다 구체적으로 표현하면 그림 1과 같이 차량에 별개의 바퀴를 장착하여 노면을 측정함으로써 노면의 미세한 부분까지 측정할 수 있을 정도로 충분히 작은 바퀴를 이용하여 바퀴와 차량사이의 변위센서(LVDT)를 통해 상대 변위를 측정하고 기준 변위는 변위센서 윗부분에 장착된 가속도 센서를 이용한다. 진행방향 거리는 설치된 속도센서를 이용하여 시간 영역을 거리 영역으로 환산함으로써 측정될 수 있다.

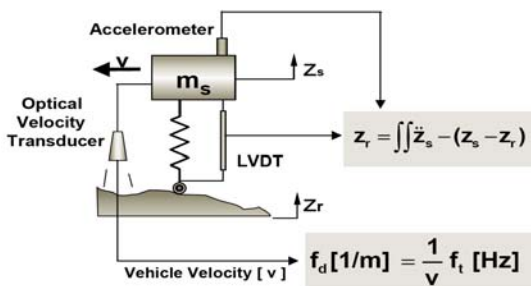


Fig. 1 AEIPR Modeling

AEIPR 방법에 있어 가속도 센서를 통해 얻어지는 차체의 수직 가속도 성분은 이중 적분을 통해 기준 높이로 변환되며 이러한 기준높이는 도로면 생성에 있어 중요한 정보로 작용된다. 그러나 적분기의 특성상 초기치(initial condition)를 알지 못하면 적분오차가 발생하여 이중 적분할 경우 큰 오차를 갖게 된다.

일반적으로 도로면을 측정하기 위해서는 기준변위(a reference elevation), 상대 변위(a height relative to the reference), 진행방향 거리(a longitudinal distance)의 세 가지가 중요한 요소이다. 각 신호의 측정 방법은 정적인 방법과 동적인 방법으로 크게 나눌 수 있는데 도로면 측정 방법 중 정적인 방법은 기준 변위가 일정한 값을 가지고 있는 방식으로 Rod 및 Level method, Fixed base-line method와 Dipstick method가 많이 사용되어 왔으며, 해외에서도 많은 장비가 실용화되고 있다.

Fig. 2 기준변위를 일정 변위로 고정된 상태에서 Rod나 Detective wheel을 이용하여 상대 변위를 측정하는 방법이고,

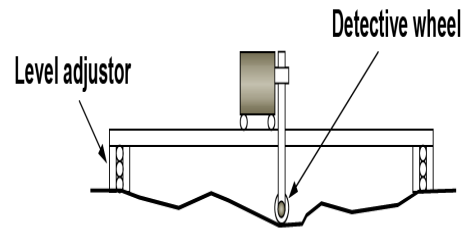


Fig. 2. Fixed base-line method

Fig. 3은 일본의 유리카모메에서 사용되고 있는 3M PROFILE METER이다. 위치 변위센서에 Quarter-Car 모델을 사용하여 노면의 요철을 측정하는 장치이다. 측정 결과는 데이터 레코더에 의하여 기록이 되며, 표준편차 방식에 의하여 데이터를 분석하고 평탄성을 해석한다.



Fig. 3 3M Profile Meter for Yurikamome

3. 노면요철 측정시스템 개발

도로면의 요철 및 형상을 측정하기 위한 센서를 선정할 경우 사용조건, 운용 환경, 측정 형태 등을 고려해야 한다. 일반적으로 도로면의 평탄성을 측정하기 위한 센서로는 표 2에서 보듯이 여러 가지 센서들이 사용된다. 접촉식 위치 센서는 자기장의 미세한 변화를 감지하여 위치를 감지하는 방식으로 노면에 측정용 바퀴를 이용하여 도로면의 형상을 검출하는 장치이며, 아날로그 기록계로 변화량을 기록하게 된다.

초음파 센서는 초음파를 이용하여 진동자를 발견시켜 물체에서 반사되는 음파의 시간을 계산하여 측정거리를 계산하는 방식으로 산업용으로 많이 사용되고 있으나, 도로 측정용으로는 샘플링 속도가 너무 낮기 때문에 사용이 기피되고 있다.

레이저 방식의 센서는 빠른 샘플링 속도와 정밀한 분해능을 갖고 있고 사용이 편리하기 때문에 산업의 발달과 더불어 응용분야가 급격히 늘고 있다. 경량전철은 고무차륜 방식으로 일정폭

을 가진 콘크리트로 제작된 선로를 운행하게 되며, Fig. 4와 같이 경북 경산에 2.4km의 시험선로가 있다. 시험 선로의 주행 노면은 600mm의 콘크리트 블록 위에 250mm의 고무타이어가 주행하게 되며, 좌우로 구성되어 있다. 주행 노면을 측정하기 위해서는 상용화된 평탄성 측정기의 사용이 불가하며, 시험 선로에 적합한 시스템을 개발해야 한다. 또한 개발된 시스템은 노면의 형상, 요철, 단차, 안내케도의 평탄성 등을 측정해야 한다.



Fig. 4 Road Surface and Guide Rail

노면형상 측정시스템은 측정 차량, 레이저 라인 스캐너 센서(Laser line scanner sensor), 레이저 변위 센서(Laser displacement sensor), 자이로 센서(Gyro sensor), 엔코더(Encoder), 데이터수집장치(Data acquirement system)로 구성되며, 노트북 컴퓨터에 탑재된 측정 및 분석 소프트웨어에 의하여 노면 형상을 처리한다. 측정에 사용된 레이저 센서는 레이저 변위 센서와 레이저 라인스캐너 센서를 나타내었다. 주행 노면은 스캐너 센서에 의하여 측정 포인트를 측정하고, 안내 케도는 변위 센서를 사용하여 측정하게 된다. 자이로 센서는 선로의 구배 및 곡선, 좌우 전후의 경사를 측정한다. 엔코더는 측정 차량의 바퀴에 센서를 부착하여 차량의 이동속도를 측정하게 된다.

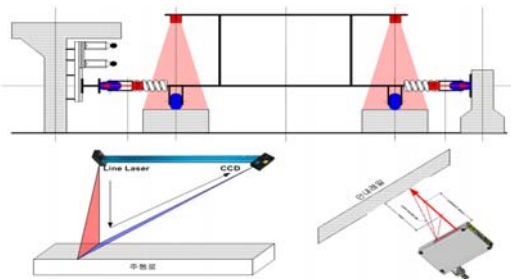


Fig. 5. Composition of Measurement System

레이저 스캐너 센서의 감지 불능 거리가 높기 때문에 노면에서 멀리 떨어진 위치에 센서를 취부하게 된다. 좌우 주행 노면을 동시에 측정하기 위하여 2개의 센서가 사용된다. 안내케도에 대한 측정은 레이저 변위 센서를 사용하고, 좌우 측면 방향으로 2개의 센서를 사용한다.

노면형상 측정시스템에 탑재된 센서에 의하여 측정된 데이터의 처리 프로세스는 Fig 6에 나타내었다. 측정된 데이터는 데이터 습득 장치에 의하여 저장되고, 네트워크 케이블에 의하여 노트북 컴퓨터로 전송되어 측정된 파형에 대하여 데이터베이스화 하고 분석하고 평가하게 된다.

주행 거리 측정을 위해 부착된 엔코더 센서는 회전축의 각도를 전기적인 신호(펄스)로 변환하여 출력하는 센서로써 차량의 이동에 따라 펄스를 발생시키는데 이를 측정하여 타이어의 직경과 엔코더 센서의 각도로 이동거리를 계산한다.

만약 1회전당 1,024번의 펄스가 나오는 엔코더를 직경 600mm 인 타이어 차축에 부착하면, 최소단위 약 2mm(3.14 x 60cm / 1.024 = 0.2cm) 단위로 이동거리를 측정할 수 있다. 따라서 측정 소프트웨어에서는 측정차량을 주행하며 실제 엔코더의 펄스당 주행로 노면 및 안내레일, 자이로 센서 등의 데이터를 확보하여

측정 거리별 각 센서의 데이터를 동기화 할 수 있다.

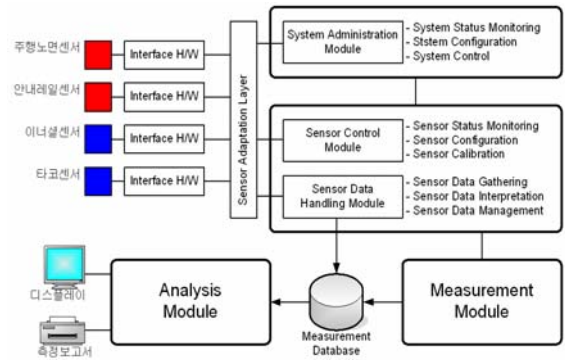


Fig. 6 Data Processing

분석 소프트웨어에서는 측정차량의 주행에 따른 각 측정지점의 데이터를 바탕으로 측정 시작점의 주행노면의 중단 평탄성 데이터와 차량 기울기 데이터를 초기 값으로 각 측정지점의 데이터를 가감하여 각 지점의 차이 값을 데이터베이스화 한다.

따라서 측정 구간의 전체적인 종구배는 각 지점의 차이 값을 Fig.7과 같은 방식으로 계산하여 전 노선의 구배 경사를 형상화 할 수 있다.

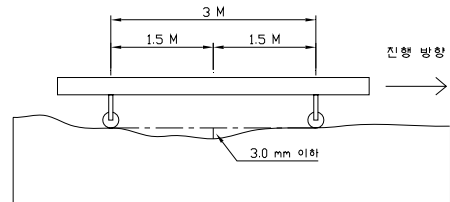


Fig. 7 Up-Down Irregularity Estimation

4. 결론

본 논문에서는 고무차륜 경량전철의 시험선로에 대한 주행 노면의 상태 및 안내케도의 평탄성을 측정하기 위한 시스템의 구성과 데이터 처리 프로그램에 대하여 기술하였으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 고무차륜 경량전철이 운행되는 특수한 시험선에서 시험선로의 주행면과 안내케도에 대한 요철을 측정할 수 있는 노면 측정시스템을 구성하였다.
- 2) 정밀 레이저 변위 센서 및 라인 스캐너 센서, 엔코더 센서, 자이로 센서를 이용하여 측정된 데이터를 바탕으로, 주행거리 측정, 주행노면의 횡단 및 중단 평탄성 측정, 노선의 선형 측정, 노선의 종구배 측정, 안내케도의 평탄성 측정이 가능하게 되었다.
- 3) 모든 측정 데이터는 데이터베이스화 하여 측정 후 End-User가 측정 결과를 분석할 수 있게 되었다.
- 4) 고무차륜 경량전철의 시험선로의 정확한 상태를 파악하고 보완함으로써 주행 안전성과 승차감을 향상시키는데 기여할 수 있고, 차후 경량전철에 대한 시험선로 및 정밀 측정이 요구되는 선로 및 구조에 대하여 정확한 측정을 할 수 있게 됨으로써 그 활용도가 클 것이라 판단된다.

측정된 노면에 대한 자료를 기반으로 노면 형상에 대한 각종 지수(IRI, RN, 표준편차 등)를 계산하고, 차량의 주행 성능과 부품의 성능 향상 및 설계를 위한 시험 선로의 형상에 대하여 데이터베이스화 및 표준화 등의 연구를 수행함으로써 측정 자료를 이용한 차량 개발의 체계적인 연구가 가능할 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 한국철도기술연구원에서 발주한 “고무차륜형식 경전철 노면요철 측정시스템 설계 및 구축 기술용역”에 대해 (주)우진산전이 용역을 수행한 결과보고서에 대한 내용을 다루었습니다.