

운행 열차의 운중측정을 위한 계측장비 개발

A simple measurement system for train vehicle load

방춘석* 이준석**
Bang, Choon-seok Lee, Jun S.

ABSTRACT

Long term measurement data on the bridge response caused by moving loads are fundamental ingredient to the development or improvement of the new bridge design. In addition, proper establishment of the systematic analysis and diagnosis together with the maintenance system become the essential procedure to the effective repair/reinforcement/retrofit of not only the high speed but also the conventional railway bridges. Therefore, the real time health monitoring system on the important railway bridges should be enhancing the proper maintenance of the structures. The main objective of this study is, therefore, to develop a monitoring device including Weigh-In-Motion (WIM) function and the emphasis is place on the easy and economic installation of the developed system in the field condition.

1. 서 론

열차하중조건 및 교량응답에 대한 장기적인 원천자료의 확보는 철도교량에 대한 해석 및 설계 기술개발의 필수적인 기초자료가 되며, 따라서 신설되는 고속철도 교량뿐만 아니라 노후 철도교량에 대한 효과적인 보수/보강/개량기법의 개발을 위하여 과학적인 분석체계 및 진단시스템의 구축이 선행되어야 한다. 이와 아울러 교량구조물의 사고예방과 효과적인 적정 보수·보강에 필요한 유지관리시스템의 필요성이 대두되고 있다. 따라서 향후 국내 기존철도, 고속철도 및 도시철도 구조물의 과학적인 전산관리 시스템 운영시 교량구조물의 실시간 모니터링 및 원격진단시스템이 반드시 도입되어야 한다. 그러나 기술 및 시스템의 해외 도입에 따른 기술종속이 예견되고 있으며 고장 및 사고 등과 같은 돌발상황에 신속히 대처하기 위해서는 계측에 대한 보다 근본적인 기법 개발과 기술의 자립이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 상기와 같은 현황을 바탕으로 철도교량 및 운행열차 운중을 측정하기 위한 계측시스템을 개발하는데 그 목적을 두고 있다.

현재까지 일부 장대교량 및 특수교량 형식에 대하여 모니터링 시스템 및 자료관리 시스템이 도입되어 있으며, 유지관리의 중요성이 대두됨에 따라 구조물 완공 직후 및 설계단계에서부터 유지관리에 대한 대책을 수립하고 있는 추세에 있다. 국내 철도교량의 경우 기존선의 고속화 및 KTX

* 한국철도기술연구원 철도토목연구팀, 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 철도토목연구팀, 책임연구원, 정회원

의 직결은행 등과 같은 급격한 열차운행환경변화에 직면하여 있으나 이에 대한 원천자료의 확보가 매우 부족하여 보수/보강/개량에 외국기술 및 자문에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 도로 교통과는 달리 철도 교량구조물 고유의 하중조건을 고려하기 위한 측정항목 및 진단체계가 시급하며 단순 전산관리 체계로는 과학적인 효율성 향상이 매우 어렵게 된다. 국외의 경우 대부분 개발국에서는 대부분의 화물운송이 도로 및 철도에 의하여 이루어지고 있다. 운송량의 급속한 증가 및 대형차량의 크기와 수가 증가하면서 교량이나 도로포장에 안정성 문제가 대두되고 있는 실정이다. 이런 중량 하중에 대한 새로운 요구사항이 발생하게 되었으며, 구조물 건설시 또는 기존 구조물의 유지관리시 차량하중에 대한 정밀한 정보가 요구되고 있는 실정이다. 이를 위하여 현장에서 직접 측정 및 차중을 측정하기 위한 시스템이 개발되었으며, 그 중 대표적인 것인 WIM 시스템이라고 할 수 있다. 이에 대하여 미국 연방도로국 (Federal Highway Administration)에서는 Successful Practice Weigh-in Motion Handbook (1997)을 발간하게 되었으며, weigh-in-motion 기술에 대한 실질적인 참고자료를 제공하고 있다. 또한 유럽의 경우, European Commission (2001)에 의하면 도로 차량에 대한 WIM 시스템은 과적차량의 관리, 도로구조물 설계 및 유지관리 및 차량 및 축하중의 관측을 위하여 기본이 된다고 하였다. COST 323 Final Reprot (1999)은 유럽의 Weigh-in-Motion의 시험에 대한 현장선정, 설치, 작동, 검증 및 평가에 대한 일반적인 사항 및 상세한 권고 사항을 수록하고 있다. 이동중인 차량의 축중 및 총중량을 예측하기 위한 tape switches를 고려할 수 있으며 이 장치를 부착한 교량에 대해 WIM 시스템이 개발된 바 있고 (Fred, 1979), 단순 콘크리트 슬래브 교량에 적용하였다. 캐나다 Manitoba에서는 교통 하중 및 환경조건에 따라 포장 성능을 평가하기 위하여 WIM 데이터를 수집하였으며 (Zhi, et. al, 1999), 수년간 수집된 데이터를 이용하여 차량 축 간격 및 차량 속도 등에 대한 오차를 산정할 수 있었다.

이와 같이 국·내외적으로 모니터링 및 유지관리를 위한 계측 및 분석에 대한 연구를 활발히 수행 중에 있으며, 열차의 주행하중에 대한 계측방안 및 반복적인 차량의 하중에 의한 구조물의 안정성 검토를 위한 피로수명 설계기법 등이 모색 중에 있다. 또한 계측 자료에 대한 DB구축을 통하여 구조물의 거동에 관한 장기간의 데이터를 효율적으로 관리/분석하고 있는 상황이다. 그러나 철도 교량인 경우에는 열차하중에 대한 개근 장치 시스템의 일부에만 적용되고 있는 실정이며 구체적으로 철도교량에 적합한 계측 및 분석을 위한 H/W 및 S/W는 그 개발실적이 미비하다. 따라서 시급한 운중 하중 선정 및 계측 데이터의 이용방안에 대하여 중점적인 연구 및 교량의 시간 이력응답을 이용한 분석기법을 철도교에 적합하게 개발하여야 할 필요성이 증대되고 있다.

2. 계측시스템

오늘날 자동 계측시스템은 매우 효능이 좋고 경제적인 컴퓨터 기반으로 발전되었다. 이런 컴퓨터 기반에 근거한 해법에 있어서 계측용 장비 구성성분은 현장에서 요구되는 샘플링 속도 및 분해능(resolution)에 따라 결정된다. 샘플링 속도가 커질수록 분해능이 떨어지기 때문에 적용에 있어서 두 가지 모두를 만족할 수 있는 구성성분을 최적화시키는 것도 하나의 과제가 될 수 있다. 이런 계측장비의 구성성분이 요구되는 이외에도 자료분석 등은 컴퓨터에 따라 수행된다. 따라서 고성능 프로세서의 컴퓨터만으로는 원만한 계측을 수행할 수 없게 된다. 또한 동시에 전기통신 및 멀티미디어 산업의 진전은 아날로그-디지털 변환의 속도와 해상도를 증가시키게 되었다. 이런 복합적인 발전으로 인한 적절한 계측을 위하여 앞에서 언급한 정보를 바탕으로 적절한 장비 시스템을 구축해야만 한다. 일반적으로 계측장비의 구성은 그림 1과 같이 3가지로 구분할 수 있다.

우선 센서에서 들어오는 신호를 측정하기 위한 계측장비를 구성하기 위하여 기본적인 모듈이

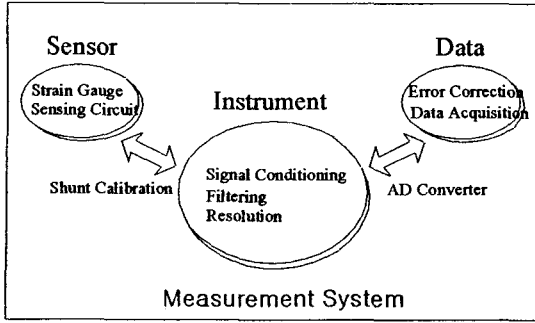


그림 1. 계측시스템의 개요도

정된 계인을 포함한다. 또한 1.6kHz lowpass 여파기 (filter) 및 전위차계(potentiometer)가 장착되어 있으며 단일모드의 2.5V 가진원이 내장되어 있다. 모듈 내부의 회로도도 그림 3에 나타내었다.

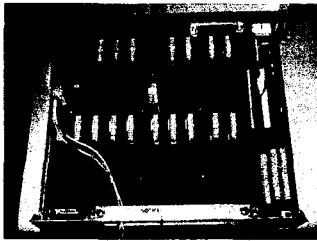


그림 2. 사용한 보드/모듈

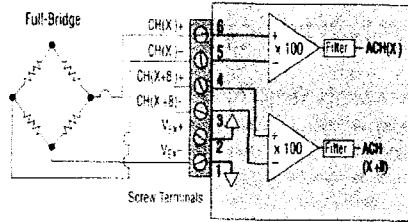


그림 3. 모듈의 회로도

상기 가진원은 42mA까지 제공할 수 있으므로 두 개의 120Ω 짜리 변형률 브리지를 조정할 수 있다. 한편 H/W적으로 출력신호의 밸런싱을 하기 위해서는 각 모듈 상부에 있는 나사를 조정하여 0 볼트를 조절할 수 있으며, S/W적으로 밸런싱하는 방법도 있을 수 있다.

데이터를 수집하기 위하여 사용한 장치는 그림 4와 같은 PCMCIA 방식이며, 가격이 비교적 저렴하고 성능이 우수하다. 이 장치는 plug and play 표준과 호환되고 노트북에 카드를 꽂거나 시스템을 시작할 때 자동적으로 인식된다. 사용한 데이터 수집 장치의 사양은 앞에서 기술한 사항을 고려하고 본 과업에 필요성에 맞추어 조립하였으며 표 1에 간략하게 나타내었다.

표 1. 사용한 DAQ 카드의 사양

Bus	Realtime	Analog Inputs	Sampling Rate(s)	Input Resolution	Input Range (V)
PCMCIA	x	16SE/8DI	20kS/s	16 bits	±10

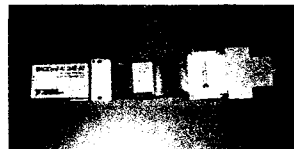


그림 4. DAQ card (DAQCard-AI-16XE-50)

본 연구에서는 PCMCIA 방식의 데이터 수집장치를 이용하여 노트북에 연결하여 데이터를 처리하도록 구성하였다. 따라서 휴대용 컴퓨터를 이용한 계측 시스템을 만들기 위하여 가장 중요한 점은 빠른 속도의 데이터처리 시스템이며, 시스템 수준정도를 이행하기 위하여 프로세서는 데이터를 RAM에 전송하는 작업에 부하를 주어서는 아니 된다. PCI bus 및 이 제품은 132 Mbites/s의 높은 속도로 데이터를 처리하게 된다.

본 연구에서는 센서부에서 들어오는 신호를 처리하기 위한 일련의 프로그램을 개발하였으며 계측장비 제작에 사용된 DAQ 카드와 호환이 되도록 작성하였다. 이를 위하여 기본적으로 사용한 언어는 Visual Basic이며, MDI 체계에 의해 그림 5와 같이 주화면 (main windows)과 주메뉴를 구성하였다. 여기서, 주 화면과 주 메뉴가 1대 1 대응하면 다수의 주 메뉴가 동시에 표시되지 못하므로 주 화면은 주 메뉴에서 실행되는 화면들을 상속시켜 자신의 내부에 표시하도록 구성하였으며 그림 6과 같다.

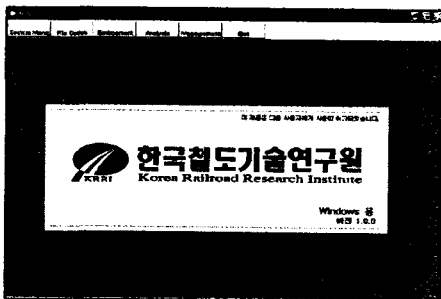


그림 5. 신호처리 프로그램의 주화면

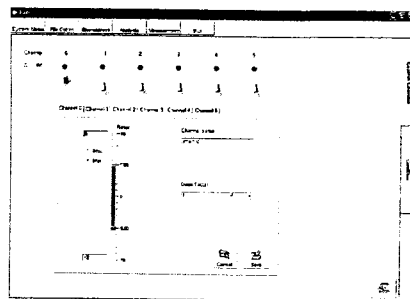


그림 6. 시스템 메뉴의 활성화창

메뉴 내에는 다음의 세부 메뉴를 구성하여 설정값을 수정할 수 있도록 하였으며 그림 7에 활성화창을 보여주었다. 이 사양은 수집된 신호 데이터에 대한 여과장치의 기능을 수행하며, Butterworth lowpass filter 기법을 이용하여 개발하였다. 또한 현장에서 받은 신호에 대한 동적 분석을 위하여 FFT 분석에 대한 사양을 추가하여 작성하였다. 앞에서 신호 센서부의 설정값과 환경을 설정한 후 측정을 수행하기 위한 메뉴이며, 데이터를 저장하지 않고 시험을 할 수 있고 잘못 입력된 환경값을 이 메뉴에서도 수정할 수 있도록 하였다. 따라서 들어오는 입력 신호의 크기에 따라 최대 및 최소 값을 자동 또는 수동으로 변경하여 신호의 상태를 바로 파악할 수 있다. 이 메뉴의 활성화창은 그림 8과 같다.

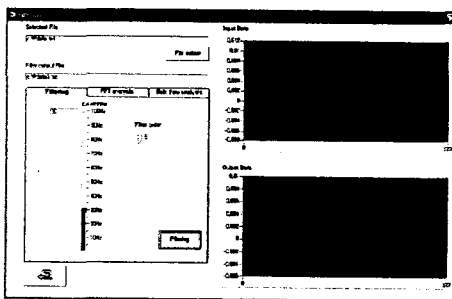


그림 7. Analysis 활성화창

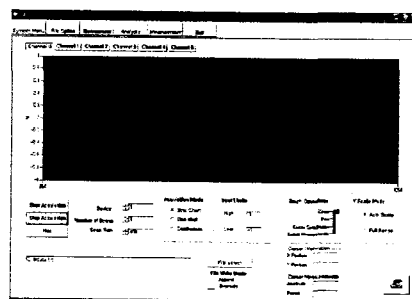


그림 8. Measurement 활성화창

3. 실험결과 예

본 장에서는 센서의 신호를 처리하기 위하여 개발한 H/W와 S/W의 성능시험을 위하여 기존 데이터로거에서 수집된 신호 특성을 비교·검토하였다. 이를 위하여 센서의 방식은 그림 9와 같이 스트레인 게이지 4개를 한 조로 구성한 측정방식을 이용하였다. 이 방식은 그림 10과 같이 전단력을 이용하여 열차의 윤증을 계측할 수 있는 방법이다(加藤,1999).



그림 9. 윤증측정 센서

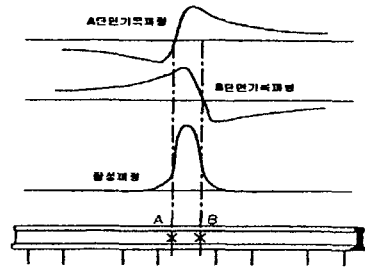


그림 10. 윤증측정 방법

먼저 계측센서의 보정값을 얻기 위하여 윤증검정기를 이용하여 각 1ton씩 유압을 증가하여 5ton까지 검측값을 보정하기 위한 예비실험을 수행하였다. 이 결과 그림 11에서 보듯이 선형의 회기분석식을 얻을 수 있었으며, 이를 통하여 계측값의 보정계수를 선정할 수 있다.

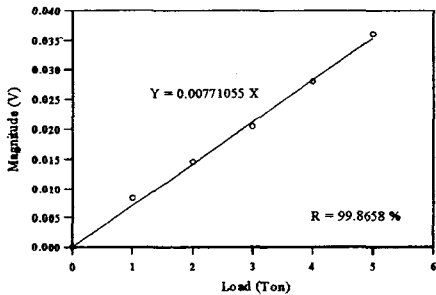


그림 11. 윤증검증값의 회기분석식 다.

반복적인 열차하중에 대한 신호를 분석하기 위하여 콘크리트 슬래브 레도를 제작한 후 실제 레도에 센서를 부착하여 그림 12와 같이 실험을 수행하였다. 콘크리트 슬래브 레도는 압축강도가 400kg/cm² 이며 체결장치 및 침목은 한국철도기술연구원에서 개발한 신모델이다.

하중 재하는 그림 14와 같이 정현파를 5Hz로 가진하였



그림 12. 모형실험 전경

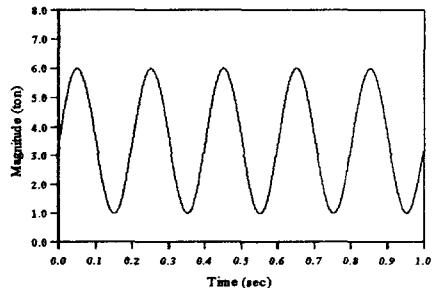


그림 13. 하중재하 형상

신호분석을 위하여 기존 장비 및 개발한 장비를 함께 측정하므로써 비교 검토하였다. 기존장비 및 개발한 장비에 대한 처리 결과 각각 그림 14 및 그림 15와 같으며 FFT 분석 결과 가진력과 결과값이 동일하게 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

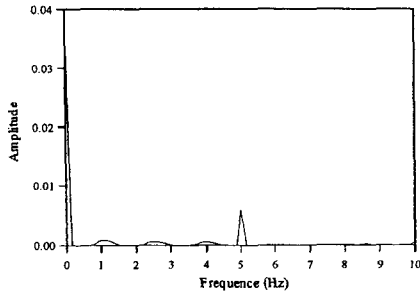


그림 14. 기존장비에 의한 FFT 분석

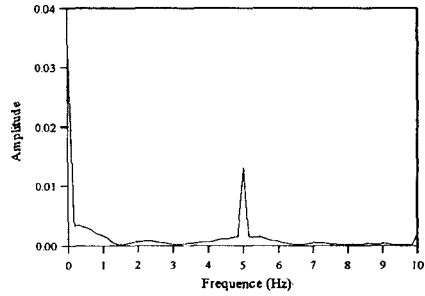


그림 15. 개발한 장비에 의한 FFT 분석

4. 결론

본 과업은 철도교량을 운행하는 열차의 윤증을 측정하기 위한 계측시스템의 개발에 관한 연구로서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 운행열차의 윤증을 측정하기 위한 시스템 구축방안을 마련하였으며 이를 바탕으로 관련 H/W 및 S/W와 기본적인 DB에 대한 설계 및 제작을 하였다.
2. 개발된 시제품은 변형롤계로부터 나오는 신호를 증폭하고 여과기를 거친 다음 AD 변환기를 사용하는 극히 일반적인 방법을 사용하였으나 기존 제품에 비해 훨씬 저렴한 비용으로 개발하였다는 장점이 있다.
3. 열차의 윤증 계측시 윤증검증기에 의한 선형성의 calibration을 얻을 수 있었으며, 모형실험을 통하여 신호의 FFT 분석결과 기존의 장비와 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

향후 개발된 시제품의 개선방안 및 개발된 S/W의 안정화 작업 및 시각적 개선을 도모할 예정이며, 개발되는 윤증측정 시스템은 저렴한 비용으로 소기의 목적을 달성할 수 있을 것이다. 또한 이를 이용하여 일반철도 및 고속철도뿐만 아니라 지하철 및 경량전철 등의 구조물에도 적용이 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 加藤 武, 矢澤 英治 (1999), "輪重・横壓の地上測定", 新線路, Vol. 33, pp33-35.
2. COST 323 Management Committee (1999), "Weigh-in-Motion of Road Vehicles", Final Report, COST Transport, Europe.
3. European Commission (2001), "Weigh-in-motion for Axles and Vehicles for Europe", Weigh-in-motion of Axles and Vehicles for Europe, RTD Project, RO-96-SC, 403.
4. Fred, M. (1979), "Weigh-in-Motion System using Instrumented Bridges", Transportation Engineering J. of ASCE, Vol. 105, pp233-249.
5. U.S. Department of Transportation (1997), "States' Successful Practices Weigh-in-Motion Handbook", FHA, Iowa State University.
6. Zhi, X., Shalaby, A., Middleton, D. and Clayton, A. (1999), "Evaluation of Weigh-in-motion in Manitoba", Can. J. Civ. Eng., Vol. 26, pp655-666.