

로드 프로파일 재현 소프트웨어 개발

류신희*(조선대 대학원), 정상화(조선대), 김우영(조선대 BK계약교수), 나윤철(조선대원)

Development of Road Profile Realization Software

Sinho Ryu(Graduate School, Chosun Univ.), Sanghwa Jeong(Chosun Univ.), Wooyoung Kim(Chosun Univ.), Yooncheol Na(Graduate School, Chosun Univ.)

ABSTRACT

In the recent day, fatigue life prediction techniques play a major role in the design of components in the ground vehicle industry. Full scale durability testing in the laboratory is an essential of any fatigue life evaluation of components or structures of the automotive vehicle. Component testing is particularly important in today's highly competitive industries where the design to reduce weight and production costs must be balanced with the necessity to avoid expensive service failure. Generally, multi-axial road simulator is used to carry out the fatigue test and the vibration test.

In this paper, the algorithm and software to realize the real road profile are developed. The validity of the software are verified by applying the belgian road, the city road, the highway, and the gravel road. The results of the above experiment show that the real road profiles are realized well after 10th iteration.

Key words : Multi-axial Road Simulator(다축 로드 시뮬레이터), Servo Valve(서보밸브), Hydraulic Actuator(유압 액츄에이터), Iteration(반복작업), Frequency Response Function(주파수 응답함수), Gravel Road(자갈로)

1. 서론

다축 로드 시뮬레이터를 이용한 차량 시뮬레이션중 휠이 받는 4가지 요소인 연직 하중(vertical force), 전후 하중(longitudinal force), 제동 하중(brake force), 횡 하중(lateral force)을 동시에 복합적으로 재현하는 다축 시뮬레이션(multi-axial simulation)은 차체의 내구강도 뿐만 아니라 현가 장치, 차축 등의 내구강도도 평가할 수 있다.¹⁾ 다축 로드 시뮬레이터는 차량이 주행 중에 받을 수 있는 4가지 요소의 하중을 재현시키는 방법에 따라 여러 가지 방법이 제시되고 있는데 국외의 자동차 메이커에서는 전 차량의 가진 시뮬레이터를 개발하여 활용하고 있고,²⁾ MTS Co.와 Schenck Co.는 1960년대부터 가진 로드 시뮬레이터를 개발하여 현재 6자유도 16채널의 다축 로드 시뮬레이터를 개발하였다.³⁾

다축 시뮬레이션을 위해서는 3축 동시구동 소프트웨어 개발영역, 로드 프로파일 재현소프트웨어 개발영역 그리고 3축 로드 시뮬레이터의 링크부 설계 및 해석영역으로 나누어 각각 상호연관성을 가지고 개발되어야 하는데, 본 논문에서는 로드 프로파일 재현 소프트웨어를 개발하였고, 기아 자동차의 내구로(belgian road), 대우자동차의 도시로(city road), 고속도로(highway), 자갈로(gravel road)등의 신호를

입력하여 실제 실험을 수행함으로써 로드 프로파일 재현 소프트웨어의 타당성을 검증하였다. 이 과정에서 실험차량의 현가장치와 타이어가 비선형이기 때문에 초기 구동화일에 대한 응답신호는 요구되는 신호와 차이가 발생하였는데 이 오차는 반복 개선작업을 통하여 최소화시키면서 응답신호가 요구신호에 일치하도록 반복작업을 되풀이하였다.

본 논문은 데이터 구현과 입/출력 시험상태들을 실시간으로 구현할 수 있도록 설계하여 소재 및 부품의 개발에 일조할 것으로 기대되며, 외국의 몇몇 업체들로부터 수입해왔으나 프로그램상의 문제로 아직 활용도가 미진한 시험기에도 활용도가 높을 것으로 예측된다⁴⁾.

2. 다축 로드 시뮬레이터의 구성

다축 로드 시뮬레이터는 유압 액츄에이터에 X축, Y축, Z축방향으로 하중, 변위, 주파수 등의 입력변수를 주어 복합적인 재현시험을 할 수 있도록 설계되었으며, Fig.1은 다축 시뮬레이터의 구성도이며, 다축 시뮬레이터는 크게 유압원(hydraulic unit), 제어장치(control unit), 데이터 처리장치, 항온조(chiller) 및 액츄에이터(actuator)로 구성되어 있다.

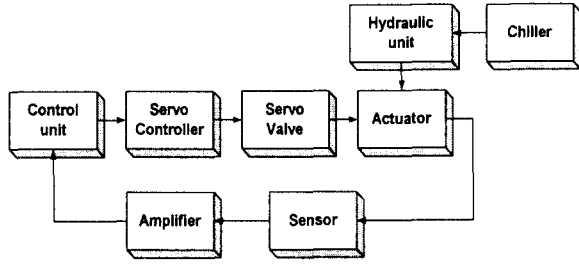


Fig.1 Configuration of Multi-axial Simulator

시험기에 정확한 시험조건을 주기 위하여 액추에이터의 움직임은 센서로 측정하였고, 폐루프로 구성된 제어장치는 PC를 제어본체로 하며 프로그램에 따라 시험조건을 설정하여 제어기에 입력하며, 서보밸브를 시험조건에 따라 제어한다. 또한, 설정치의 백업기능, 한계치 설정, 반복횟수 조절기능과 최초의 설정진폭이 시편의 변형에 의해 변화하는 경우나 유압원의 이상시에 시험기를 정지할 수 있는 기능이 갖추어져 있다.

3. 재현 알고리즘과 소프트웨어

3.1 초기 가진 입력신호의 개선 알고리즘

입력신호 개선과정은 가진 입력 신호 $x_k(t)$ 를 실제로 유압 액추에이터에 가하여 출력신호 $y_k(t)$ 를 얻는다. 그리고 이 신호와 실제 시험을 통해 특정한 신호 $y_d(t)$ 를 비교하여 그 차이 $\Delta y_{dk}(t)$ 를 구하면 다음 식과 같다.

$$\Delta y_{dk}(t) = y_d(t) - y_k(t) \quad (1)$$

이 신호와 실제 시험을 통해 측정한 신호 $y_d(t)$ 를 비교하여 그 차이가 기준치 이하이면 개선과정을 끝내고 가진 입력 신호를 저장하여 이 신호는 실제 시험에 필요한 입력 신호가 된다. 그러나 두 비교신호의 차이가 기준치를 넘는 경우에는 비교신호의 차 $\Delta y_{dk}(t)$ 로 부터 다음 단계의 개선 입력신호를 계산하는데 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta Y_{dk}(f) = F[\Delta y_{dk}(t)] \quad (3)$$

$$\Delta X_{k+1}(f) = H_{xy}^{-T}(f) \Delta Y_{dk}(f)$$

$$\Delta x_{k+1}(t) = x_k(t) + \Delta x_{k+1}(t) \quad k=0, 1, 2, \dots$$

전달함수는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{xy}(f) = \begin{Bmatrix} H_1(f) \\ H_2(f) \end{Bmatrix} \quad (4)$$

3.2 재현소프트웨어

다축 로드 시뮬레이터는 비선형 특성을 가지고 있으므로 이를 실제 신호로 재현시키기 위해서는 반복적인 입력개선 작업이 필요하다. 시뮬레이터를 구동하기 위해 상용 소프트웨어인 LabView 5.1을 사용하였고, 유압 액추에이터에 입력되는 가진신호와 출력신호를 이용한 시스템의 특성을 나타내는 주파수 응답함수의 결정과 역주파수 응답함수를 이용하여 입력신호를 결정하는 모듈, 그리고 반복개선과정은 LabView에서는 구현하기 어려운 부분이기 때문에 Visual C++을 이용하여 프로그래밍한 다음 출력결과를 LabView 프로그램에 링크하여 해석하였다. 개발된 구동프로그램의 하드웨어는 National Instrument사의 PXI-1000B를 기반으로 하였다.

Fig. 2는 LabView 소프트웨어의 화면구성을 나타낸 것이고, Fig. 3은 프로그램의 블록선도이다.

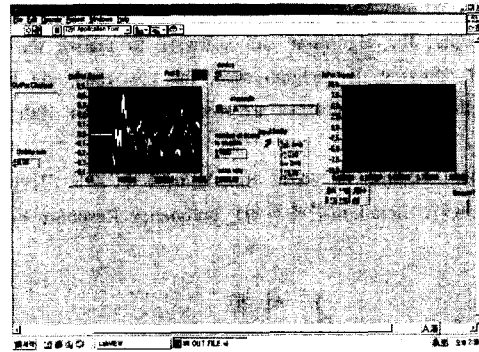


Fig. 2 Monitoring display of LabView software

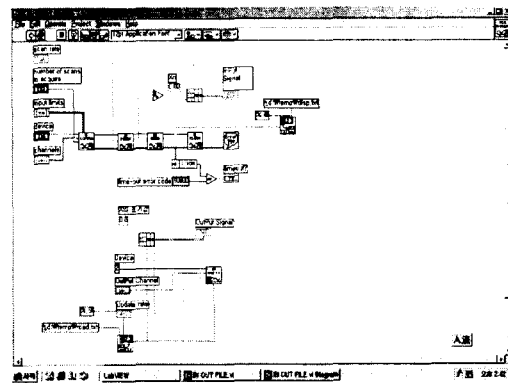


Fig. 3 Block diagram of LabView software

4장 실험내용 및 고찰

실험용 차량의 실험부위에 가속도계와 스트레인게이지를 부착하여 주행한 시험로의 노면 데이터는 테이프 레코더에서 수집되며, PC에서 아날로그 신호를 디지털화 시킨다. 여기에서 짧은 시간에 차량에 손상을 주기 위하여 신호를 분석, 불필요한 부분을 제거한후 악조건을 내포한 신호로만 구성된 초기 구동화일을 편집한다.

타이어 접촉면에 가해지는 노면신호와 휠부의 응답신호와의 차이를 규명하기 위한 전달함수인 주파수 응답함수를 구하는 과정은 화이트 노이즈를 기준입력으로 주어 주파수 응답함수를 구하였고, 출력되는 값은 실제 측정위치인 현가장치 축부분의 휠에 가장 가까운 위치로 하여 오차를 최소화하였다. 초기 구동화일은 주파수 응답함수의 역변환에 의하여 구하였으며, 계산된 결과는 시험차량과 최대한 근사하게 현가장치에 입력하였고, 서보컨트롤러의 증폭기이득을 조절하여 근사치를 유도하였다. Fig. 4는 로드 시뮬레이터에 현가장치를 부착한 사진이다.

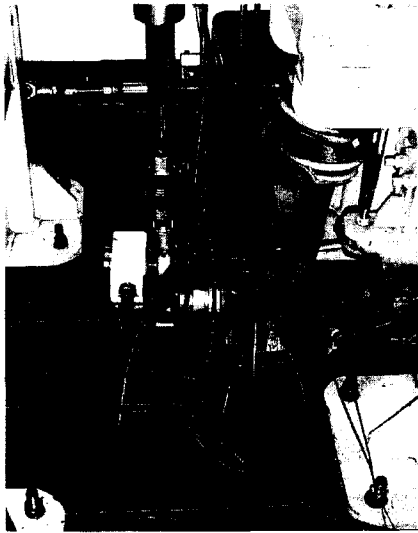


Fig. 4 Experimental figure for road profile realization

전달함수와 스펙트럼의 계산은 주파수 분석기를 이용하였고 출력센서로는 가속도계를 이용하였다. 실험차량의 현가장치와 타이어가 비선형이기 때문에 초기 구동화일에 대한 응답신호는 요구되는 신호와 차이가 발생하였는데 이 오차는 반복 개선작업을 통하여 최소화 시키면서 응답신호가 요구신호에 일치하도록 반복작업을 되풀이 하였다. 개선된 출력값을 시뮬레이터에 입력하여 기아자동차의 내구로(belgian road), 대우자동차의 도시로(city road), 고속도로(highway), 자갈로(gravel road)와 비교함으로써 시뮬레이터의 추종성과 반복 개선작업의 정확성을 판별하였다.

5장 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 반복 개선작업이 수행되지 않은 경우의 그래프이며 구하고자 하는 기준 노면데이터와 반복 개선작업이 안된 데이터와의 오차가 극명하게 나타남을 알 수 있다. Fig. 6은 다섯 번째 반복 개선작업의 결과로 구하고자 하는 데이터와 비교했을 때 끝점의 부분에서도 추종함을 알 수 있는데, 다섯 번의 반복 개선작업의 결과로도 구하고자 하는 데이터의 근사치를 유도해 낼 수 있음을 확인하였다.

Fig. 7은 반복 개선작업의 횟수에 따라 개선된 데이터와 기준 노면데이터의 오차신호의 차이를 나타낸 결과값으로 열 번에 걸쳐서 반복된 경우의 오차신호는 1%대로 일직선에 가까운 값으로 나타났다. Fig. 8은 반복 개선작업에 따른 오차를 노면데이터의 종류별로 비교한 것으로서 반복 개선 알고리즘을 이용한 결과 노면의 종류에 따라 차이는 있으나, 열번이하의 개선작업으로 수렴됨을 알 수 있다.

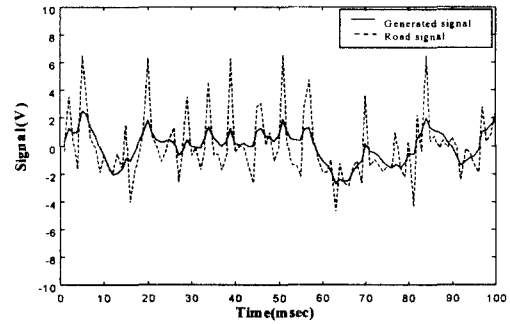


Fig. 5 Comparison between generated signal and road signal at no iteration

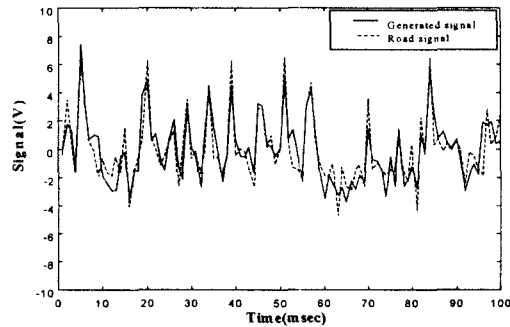


Fig. 6 Comparison between generated signal and road signal at 5th iteration

6. 결론

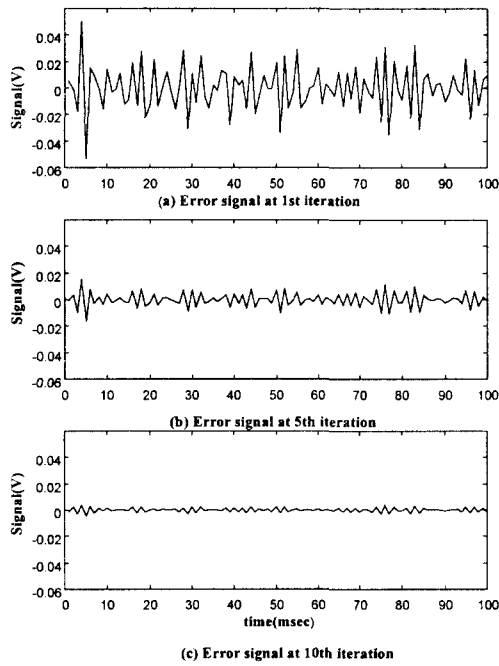


Fig. 7 Errors between generated and road signal at various iteration

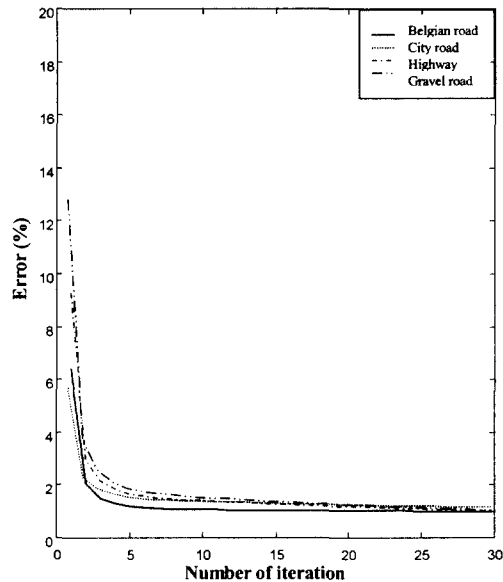


Fig. 8 Error history between generated and road signal according to various road conditions

가진신호 생성 알고리즘을 바탕으로 생성된 가진신호를 시뮬레이터에 입력하여 현가장치를 가진시킨후, 출력된 응답신호를 받아 재현성을 평가하여 가진신호를 개선하였으며, 개선된 가진신호를 다시 입력하여 응답신호의 재현성이 만족될 때까지 반복 개선작업을 수행하고, 요구하는 출력데이터를 입력하여 다축 로드 시뮬레이터를 가진시켜 동특성을 비교하여 본 결과는 다음과 같다.

첫째, 시뮬레이터의 추종성능은 노면데이터를 재현하기에 충분하였으며, 출력값은 실제 노면데이터와 비교하였을 때 재현성능이 뛰어난 것을 알 수 있었다.

둘째, 반복 개선작업은 적용한 가진 신호생성 알고리즘을 이용하는 경우 열번째에 에러가 1% 이내로 수렴하였으며 그때의 출력값은 비선형적인 요소가 내포된 노면 데이터를 추종하는데 충분하였다.

셋째, 재현한 실험결과는 더미 휠에 부착하여 링크부의 거동범위를 제어하여야 하지만 로드 프로파일 재현 소프트웨어를 이용한 기존 노면데이터의 입력결과만으로도 정확한 출력값을 얻을 수 있었으며, 추후 링크부의 설계·해석을 바탕으로 보완된 시뮬레이션이 이루어진다면, 현재의 결과값보다 개선된 출력값을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. K. D. Zell, "Overview of Advanced Road Simulation Techniques", SAE Inc. pp.1-10, 740946, 1974
2. B.K. Barrowcliff, R.E. Ehlert, "Full Scale Road Simulated Endurance Test", SAE Inc., 680184, pp.1-8, 1968
3. "Labtronic 8800 Controller, Structural Test Control System", IST Inc. Instron Schenck Testing Systems
4. D.H. Weir, S.M. Bourne, "An Overview of the DRI Driving Simulator", SAE Paper 950173, 1995.
5. 정상화, 류신호, "A Study on Operational Software Development and Calibration of 3-axis Vibration Testing Device", 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp.234-239, 1999
6. 정상화, 류신호, "A study on Displacement Load Calibration of Multi- Axis Simulator", 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp.591-594, 2000
7. 정상화, 김재열, 류신호, "다축 제어용 가진기의 구동소프트웨어 개발 및 보정에 관한 연구", 자동차공학회, Vol.9, No.2, pp.143-151, 2001