

다축 로드 시뮬레이터의 노면 프로파일 재현 소프트웨어 개발

Realization Software Development of Road Profile for Multi-axial Road Simulator

정 상 화*, 류 신 호**, 김 우 영***, 양 성 모****, 김 택 현*
Sanghwa Jeong, Sinho Ryu, Wooyoung Kim, Sungmo, Yang, Taekhyun Kim

ABSTRACT

Full scale durability test 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, hydraulic 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 operation software for simultaneously controlled multi-axial road simulator is developed and the input and output data are displayed window based PC controller in the real time. Furthermore, the software to generate 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.

주요기술용어 : Road profile(노면 데이터), Belgian road(내구로), Gravel road(자갈로), FRF(주파수 응답함수) Multi-axial road simulator (다축 로드 시뮬레이터), Hydraulic actuator(유압 액츄에이터)

1. 서 론

차량, 항공기 그리고 각종 기계 구조물에 대한 진동 평가나 설계를 위한 실제 실험은 비용

이나 실험 환경 등에 있어 많은 제한을 받게 된다. 그러므로 실제 운동조건과 같은 환경을 제공하는 다축 로드 시뮬레이터는 설계나 평가에 있어 대단히 편리하면서도 경제적인 이점을 제공하여 준다. 일반적으로 자동차의 경우 설계에서부터 개발, 실험에 이르기까지 막대한 비용이 소모되고 있다.¹⁾ 최근 자동차의 신제품 수명 사이클이 짧아짐에 따라 제품 생산비용의 절감뿐

* 회원, 조선대학교 기계공학부
** 회원, 조선대학교 대학원 기계공학부
*** 회원, 조선대학교 항공조선공학부
**** 회원, 전북대학교 기계항공시스템공학부

만 아니라 제품 설계시간을 줄일 수 있는 방법이 선호되고 있다. 자동차의 실차 실험을 통해 알 수 있는 자동차의 진동 특성을 그와 유사한 환경을 제시해 줄 수 있는 다축 로드 시뮬레이터로 그와 같은 실험을 대체할 수 있다면 다축 로드 시뮬레이터의 개발은 그 응용면에서 상당히 큰 이점이 있다고 하겠다.^{2,4)}

국외의 연구동향을 살펴보면, 60년대 말부터 70년대 초반을 기점으로 하여 실차에 대한 내구성 테스트를 본격적으로 시작하였는데, 68년에 Ford Motors의 B.K. Barrowcliff와 R.E. Ehler⁵⁾는 단축 유압액추에이터를 이용하여 실차에서 측정된 노면데이터를 LAB 재현실험을 통하여 구현하였으며, FIAT의 E. Franchini⁶⁾등은 전체 차량에 대한 시뮬레이션을 하였다. 다축 로드시뮬레이터에 대한 연구가 본격화되면서 GM의 B. W. Cryer, P. E. Nawrocki와 MTS Co.의 R. A. Rund⁷⁾는 노면응답과 시뮬레이터의 응답을 비교하고 정리하였고, P. J. Pertersen과 G. Weiβberger⁸⁾는 내구성 해석과 동특성에 대한 개념 전체 차량의 실험을 통하여 검증하였다. 현재 실시간 차량 시뮬레이터는 시각/음향시스템, 운동시스템 및 제어 힘 로딩시스템을 포함하는 시뮬레이터를 개발하기 위한 연구⁹⁾가 진행중이지만 유압 액추에이터를 실제 노면조건과 일치하게 입력신호로 주어 다축 시뮬레이션을 위한 시뮬레이터의 설계와 기구학적 해석, 그리고 다축 로드 시뮬레이터의 동특성에 대한 연구는 아직 기대에 미치지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 로드 프로파일 재현 소프트웨어를 개발하여 내구로(bel-gian road), 도시로(city road), 고속도로(highway), 자갈로(gravel road)의 신호를 입력하였고, 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 개선과정 알고리즘을 이용하였다.

2. 다축 로드 시뮬레이터의 구성

다축 로드 시뮬레이터는 액추에이터를 가진 시키면서 X축, Y축, Z축방향에 하중, 변위, 주파수 등의 입력변수를 주어 복합적인 실험을 할 수 있도록 설계되었으며, Fig. 1은 다축 로드 시뮬레이터의 구성도이다.

다축 로드 시뮬레이터는 크게 유압원(hydraulic unit), 제어장치(control unit), 데이터 처리장치, 항온조(chiller) 및 액추에이터(actuator)로 구성되어 있다. 본 시스템에 사용된 유압 액추에이터는 서보밸브를 장착한 복동 실린더 부착 액추에이터이며 주어진 하중과 변위를 전달할 수 있도록 설계·제작되었다. 시스템의 오동작으로 인하여 액추에이터 내부의 피스톤이 급격히 하강하여 헤드커버와 충돌할 때 유압 액추에이터가 파손되는 것을 방지하기 위해 유압 액추에이터 상하내부에 쿠션장치가 설치되었다. 또한, 피스톤의 위치감지 및 시스템 제어를 위한 피드백 정보를 전달하는 변위센서(LVDT)와 하중센서(load cell) 그리고 고장이 생길 경우 수리를 원활히 하기 위한 니이들 밸브, 전기적 입력신호에 비례하여 정확하게 액추에이터에 유량을 공급하는 서보밸브로 구성되어 있다. 서보밸브는 현재 널리 사용되고 있는 노즐 플래퍼 방식의 2단 서보밸브를 사용하였다.

유압원은 내구성을 고려하여 설계되었으며, 6마력의 기어모터를 사용함으로써 펌프의 회전수를 낮게 하여 펌프의 수명을 향상시켰으며, 오일탱크를 유압펌프의 하부에 설치하여 펌프

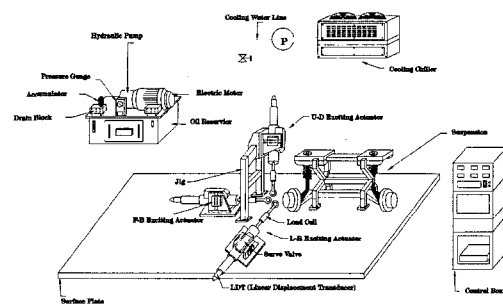


Fig. 1 Configuration of multi-axial road simulator

에 추가되는 압력이 없도록 하였고, 공기의 출입이 없도록 설계되었다. 최대 작동압력은 250 kg/cm^2 이며, 토출량은 57.8 l/min 이다. Fig. 2는

설계된 다축 로드 시뮬레이터의 유압회로이다.

서보 컨트롤러(SVC-100)는 증폭기이득을 정적 및 동적 성분의 미세조정이 가능하도록 10레벨의 포텐시오미터가 사용되었고, 각 축을 독립적으로 하중 및 변위의 데이터 결과를 입력받을 수 있도록 제작하였다. 또한, 가진시 발생하는 변위 혹은 하중데이터는 액추에이터에 부착된 변위센서 및 하중센서에 의하여 검출되며, 이것을 피드백 신호로 사용하여 PC로부터 입력되고 있는 신호와의 편차가 0이 될 때까지 액추에이터를 작동하게 되므로 액추에이터는 입력신호에 따라서 정해진 동작을 하게 된다.

다축 로드 시뮬레이터 특성상 오랜시간의 운전이 가능하기 위해서는 고압으로 인한 온도상승의 문제를 해결할 수 있는 항온조의 채택이 필수적이다. 또한, 적정온도인 $40 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 온도를 시험 기간내에 일정하게 유지할 수 있는가가 항온조의 관건이라고 할 수 있다. 다축 로드 시뮬레이터에 사용된 항온조는 공냉식으로서 압축기는 반밀폐형 왕복동식을 사용하였고, 응축기는 공냉식 파형플레이트 환 튜브를 채택하였다.

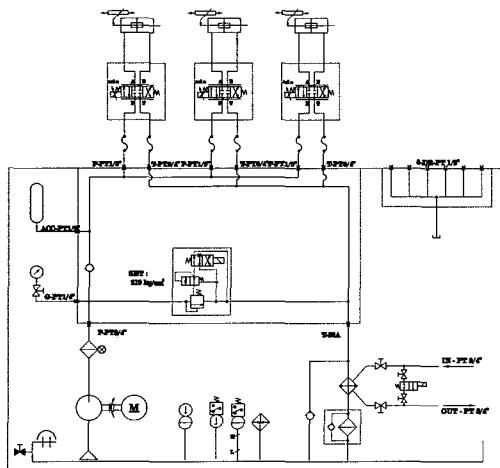


Fig. 2 Hydraulic circuit of multi-axial road simulator

3. 로드 프로파일 재현 소프트웨어

3.1 가진 신호생성 알고리즘

가진신호 생성 알고리즘은 시스템의 동적 특성에 대한 구체적인 해석을 하지 않고도 신호처리 기법을 이용하여 실제 상황에서 측정된 신호나 원하는 함수 형태의 신호를 다축 로드 시뮬레이터에서 재현하기 위한 것이다. 컴퓨터에서 만들어진 가진신호를 유압 액추에이터로 보내 실험대상을 가진시킨후, 실험대상에 부착된 센서로부터 응답신호를 받아 컴퓨터에서 응답신호의 재현성을 평가하여 가진신호를 개선하며, 개선된 가진신호를 다시 입력시켜 응답신호의 재현성이 만족될 때까지 이와 같은 반복 개선작업을 수행하게 된다. 초기 가진신호는 주파수 응답함수 $H_{XY}(f)$ 와 출력 $Y(f)$ 가 주어질 때, 입력 $X(f)$ 는 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} X(f) &= H_{xy}^{-T} \cdot Y(f) \\ Y_d(f) &= F[y_d(t)] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $Y_d(f)$ 는 구하고자 하는 출력신호이다. 식(1)을 이용한 초기 입력신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_0(f) &= H_{XY}^{-T} \cdot Y_d(f) \\ x_d(t) &= F^{-1}[X_d(f)] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $x_d(t)$ 는 구하고자 하는 입력신호이다. 식의 계산은 재현하고자 하는 주파수 영역 내에서만 계산을 하며, 그 이상의 주파수에서는 $X_0(f)$ 를 0으로 하였다. 그리고 주파수 응답함수의 역변환 과정에서 특이성을 방지하고 $X_0(f)$ 가 너무 커지는 것을 방지하기 위해서 $H_{XY}(f)$ 의 최소 크기를 일정값 이상으로 하였다. 또한, 이 계산과정에서도 $x_0(t)$ 가 프레임 단위로 계산되므로 가중치 함수를 이용한 데이터의 연결과정이 필요하다. 만일, 시스템이 선

형특성만 갖는다면 위에서 구한 $x_0(t)$ 로 가진 했을 때 시스템에서 바로 $y_d(t)$ 를 얻을 수 있지만 실제 시스템은 비선형 특성이 강하므로 처음에 구한 $H_{XY}(f)$ 가 시스템을 완전하게 표현한다고 볼 수 없으므로, $x_0(t)$ 에 의한 출력신호와 $y_d(t)$ 와는 차이가 있게 된다. 따라서 입력 및 주파수 응답 함수의 개선 작업이 필요하다.

입력신호 개선과정은 크게 두 부분으로 나누어진다. 가진 입력 신호 $x_k(t)$ 를 실제로 유압 액츄에이터에 가하여 출력신호 $y_k(t)$ 를 얻는다. 그리고 이 신호와 실제 실험을 통해 특정한 신호 $y_d(t)$ 를 비교하여 그 차이 $\Delta y_{dk}(t)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta y_{dk}(t) = y_d(t) - y_k(t) \quad (3)$$

그리고 이 신호와 실제 실험을 통해 측정된 신호 $y_d(t)$ 를 비교하여 그 차이가 기준치 이하이면 개선과정을 끝내고 가진 입력 신호를 저장하여 이 신호는 실제 실험에 필요한 입력신호가 된다. 그러나 앞에서의 두 비교신호의 차이가 기준치를 넘는 경우에는 비교신호의 차 $\Delta y_{dk}(t)$ 로부터 다음 단계의 개선 입력신호를 계산하는데 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta Y_{dk}(f) = F[\Delta y_{dk}(t)] \quad (4)$$

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

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

전달함수는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{xy}(f) = \begin{Bmatrix} H_1(f) \\ H_2(f) \end{Bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $H_1(f)$ 은 과소평가(under-estimated)로 구해지는 주파수 응답함수이고, $H_2(f)$ 는 과대평가(upper-estimated)로 구해지는 주파수 응답함수이다. Fig. 3은 입력신호 개선과정에 대한 흐름도이다.

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 액츄에이터에 입력되는 가진신호와 출력신호를 이용한 시스템의 특성을 나타내는 주파수 응답함수의 결정과 역주파수 응답함수를 이용하여 입력신호를 결정하는 모듈, 그리고 반복개선과정은 Lab-View에서는 구현하기 어려운 부분이기 때문에 Visual C++을 이용하여 프로그램한 다음 출력결과를 LabView 프로그램에 링크하여 해석하였다. 개발된 구동프로그램의 하드웨어는 National Instrument사의 PXI-1000B을 기반으로 하였다.

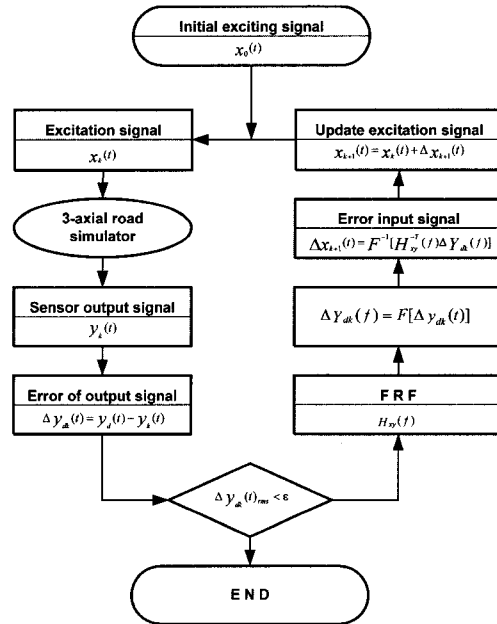


Fig. 3 Algorithm for updating the input excitation signal

LabView는 그래픽 기능이 탁월한 프로그램으로서 사용하기 쉬우며 개발기간을 단축할 수 있다는 큰 장점이 있다. 또한, DAQ 보드를 이용하여 프로그램을 개발하는 경우에는 상당히 편리하다는 장점을 가지고 있다. Fig. 4는 LabView 소프트웨어의 화면구성을 나타낸 것이고, Fig. 5는 프로그램의 블록 선도이다. 본 소프트웨어는 입·출력 채널을 다 채널로 구성하여 다중 입/출력 시스템에서 동시에 화면에 구현하며, 데이터를 저장할 수 있도록 하였고, 입력신호의 주파수분석 결과에 따라 입·출력의 샘플링 속도를 초기화하여 입력되게 프로그램 함으로서 분해능을 향상시켰다. LabView에서 입·출력되는 데이터는 동시에 주파수 분석기에 연결되며, 데이터가 실시간으로 저장될 수 있도록 링크하여 입·출력의 스펙트럼과 전달함수를 다중창을 이용하여 상호 비교함으로써 측정 데이터의 사전판단이 가능하도록 하였다.

4. 실험방법

실험용 차량의 실험부위에 가속도계와 스트레인게이지를 부착하여 주행한 실험로의 노면 데이터는 테이프 레코더에서 수집되며, PC에서 아날로그 신호를 디지털화시킨다. 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 실험차량과 최대한 근사하게 현가장치에 입력하였고, 서보컨트롤러의 증폭기이득을 조절하여 근사치를 유도하였다. Fig. 6은 다축 로드 시뮬레이터에 현가장치를 부착한 사진이다. 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 반복

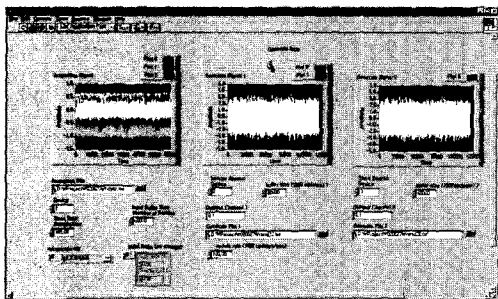


Fig. 4 Monitoring display of LabView

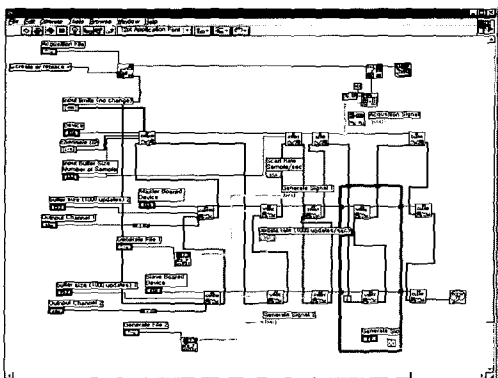


Fig. 5 Block diagram of LabView



Fig. 6 Experimental figure for road profile realization

작업을 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.

5. 실험결과 및 고찰

가진 신호생성 알고리즘은 시스템의 동적특성에 대한 구체적인 해석을 하지 않고도 신호처리방법을 이용하여 실제 상황에서 측정된 신호와 원하는 함수형태의 신호를 다축 로드 시뮬레이터에서 재현하기 위한 것으로 본 실험에서는 내구로의 노면데이터를 특성값이 잘 나타나는 부분만 편집하여 로드 시뮬레이터에 입력신호로 주어 현가장치를 가진하였다. Fig. 7은 기아자동차에서 측정된 노면데이터를 시뮬레이터로 입력하여 출력받은 데이터로서 노면데이터의 스펙트럼 결과이다. 그래프에서 x 축은 주파수대역을 나타내며, y 축은 그때의 출력값을 로그 스케일로 나타낸 것이다. 현가장치의 특성에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되는 50Hz 이상의 데이터는 노면데이터에서 필터링되어 나타나지 않으며, 출력받은 데이터는 전 주파수대에 걸쳐서 고르게 특성값이 나타나지만, 10Hz 영역에서 집중적으로 나타남을 알 수 있다. Fig. 8은 Fig. 7의 데이터를 시뮬레이터에 입력하여 현가

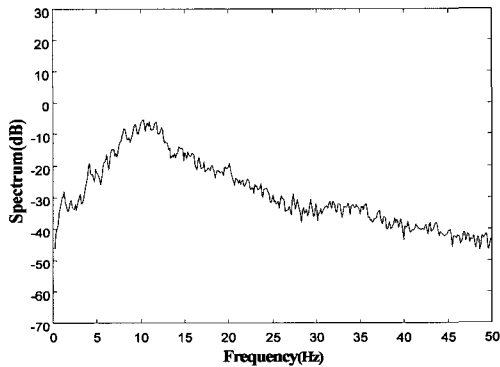


Fig. 7 Auto spectrum of road profile

장치 축부근의 동일한 위치에서 가속도계를 부착하여 출력받은 결과값의 스펙트럼이다. 스펙트럼의 형태는 노면과 비교하여 볼 때 10Hz 영역에서 집중되는 형태를 보이나 10Hz이하에서는 스펙트럼 결과가 다소 차이를 보였다.

Fig. 9는 화이트 노이즈를 시뮬레이터에 입력한 데이터와 현가장치에서 출력받은 데이터의 전달함수의 결과로서 전달함수의 크기를 나타내었다. 출력결과 20Hz이상에서 큰 차이는 없으나, 20Hz미만의 결과값은 상대적으로 차이가 있음을 알 수 있는데 현가장치의 특성이 고려되어야 하는 부분이 20Hz이하인 것을 알 수 있다. Fig. 10은 전달함수의 위상을 나타낸 것으로서 위상 역시 20Hz이하에서 고려되어야 함을 보여준다. 그래프 앞쪽의 수직선은 DC신호 성분이 전달함수에 영향을 준것으로 보인다. 기준 노면

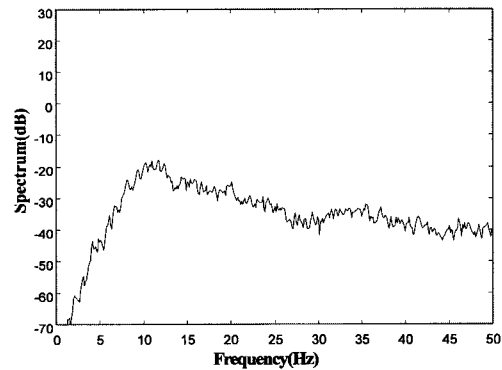


Fig. 8 Auto spectrum of accelerometer output

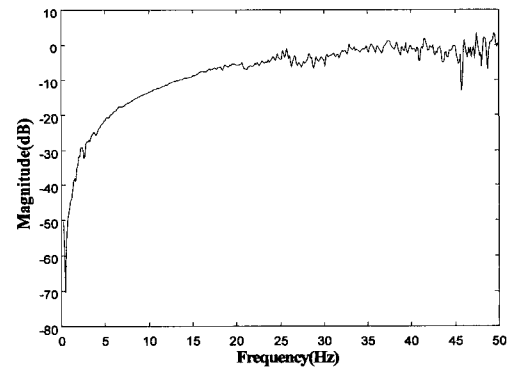


Fig. 9 Magnitude of transfer function of multi-axial road simulator

데이터와 출력데이터는 유압 액추에이터의 비선형성으로 인하여 실제 노면데이터로 재현시키기 위해서는 반복적인 입력 개선작업이 필요하다. 이를 위해서는 Visual C++로 프로그램한 입력재현 알고리즘을 바탕으로 기준 노면데이터와 출력신호간의 분산오차의 비를 결정하여 그 과정을 반복해야 한다.

Fig. 11은 반복 개선작업이 수행되지 않은 경우의 그래프이며 구하고자 하는 기준 노면데이터와 반복 개선작업이 안된 데이터와의 오차가 극명하게 나타남을 알 수 있다. Fig. 12는 한번의 반복 개선작업을 통하여 구하고자 하는 데이터와 비교한 그래프로써 반복개선작업이 안된 경우와 비교했을 때 많은 차이가 있지만 데이터 오차가 끝점에 남아있으며, 한번의 반복 개선작

업에 의한 결과는 만족스러운 결과값이 아님을 알 수 있다. Fig. 13은 다섯번째 반복 개선작업의 결과로서 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. 14는 반복 개선작업을 실행한 열번째의 결과로서 비선형적인 요소가 많은 노면데이터를 고려할 때 가까운 값으로 추종되었다고 할 수 있다. 반복 개선작업은 횟수를 반복할 수록 요구하는 데이터와의 오차가 더욱 작아질 것으로 판단하였으나, 그 차이는 아주 작았다.

Fig. 15는 반복 개선작업의 횟수에 따라 개선된 데이터와 기준 노면데이터의 오차신호의 차이를 나타낸 결과값으로 열 번에 걸쳐서 반복된

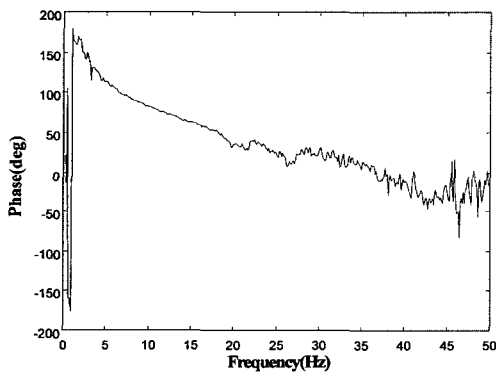


Fig. 10 Phase of transfer function of multi-axial road simulator

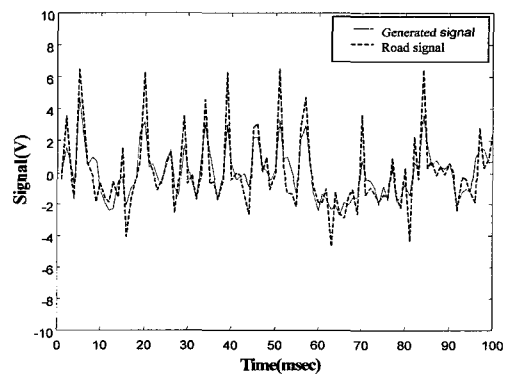


Fig. 12 Comparison between generated signal and road signal at 1st iteration

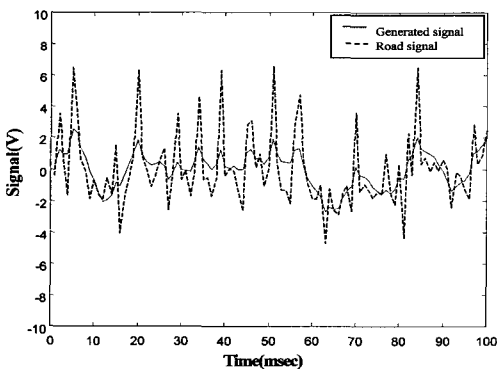


Fig. 11 Comparison between generated signal and road signal at no iteration

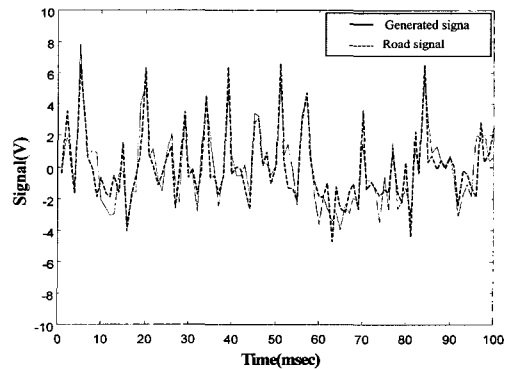


Fig. 13 Comparison between generated signal and road signal at 5th iteration

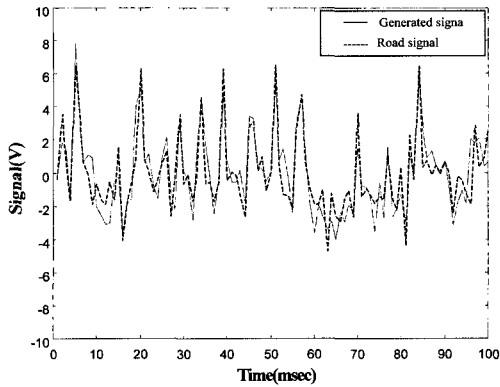


Fig. 14 Comparison between generated signal and road signal at 10th iteration

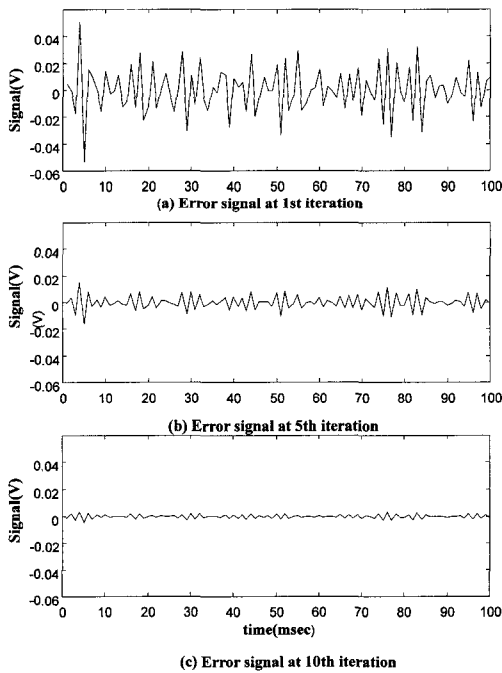


Fig. 15 Errors between generated and road signal at various iteration

경우의 오차신호는 1%대로 일직선에 가까운 값으로 나타났다. Fig. 16은 반복 개선작업에 따른 오차를 노면데이터의 종류별로 비교한 것으로서 반복 개선 알고리즘을 이용한 결과 노면의 종류에 따라 차이는 있으나, 열번이하의 개선작업으로 수렴함을 알 수 있다.

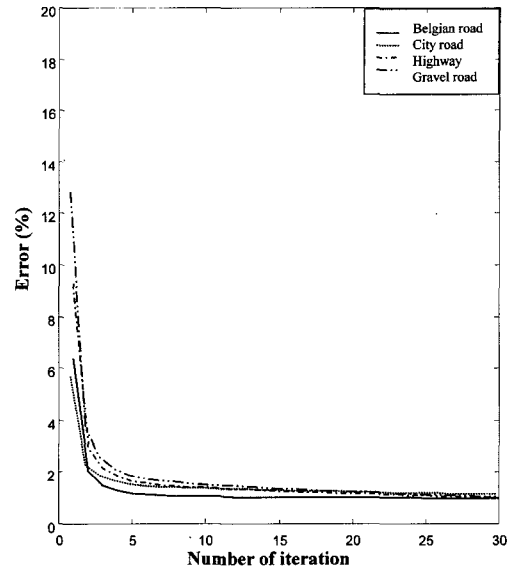


Fig. 16 Error history between generated and road signal according to various road conditions

5. 결론

가진신호 생성 알고리즘을 바탕으로 생성된 가진신호를 시뮬레이터에 입력하여 현가장치를 가진시킨후, 출력된 응답신호를 받아 재현성을 평가하여 가진신호를 개선하였다. 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, 개발된 소프트웨어의 추종성능은 노면 데이터를 재현하기에 충분하였으며, 출력값은 실제 노면데이터와 비교하였을 때 재현성능이 뛰어난을 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 프로파일 재현 소프트웨어를 이용한 기준 노면데이

터의 입력결과만으로도 정확한 출력값을 얻을 수 있었으며, 추후 링크부의 설계 · 해석을 바탕으로 보완된 시뮬레이션이 이루어진다면, 현재의 결과값보다 개선된 출력값을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2001년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었습.

참 고 문 헌

- 1) D. H. Weir, S. M. Bourne, "An Overview of the Driving simulator," SAE 950173, 1995.
- 2) J. R. Ellis, "Vehicle Handling Dynamics," MEP, pp.89-91, 1994.
- 3) W. R. Garrott, P. A. Grygier, J. P. Chrstos, K. Salaani, "Methodology for Validating the National Advanced Driving Simulator's Vehicle Dynamics(NADSdyna)," SAE 970562, 1997.
- 4) D. H. Weir, S. M. Bourne, "An Overview of the DRI Driving Simulator," SAE 950173, 1995.
- 5) B. K. Barrowcliff, R. E. Ehlert, "Full Scale Road Simulated Endurance Test," SAE 680184, 1968.
- 6) E. Franchini, C. Rossi, P. Filippa, "Full-Scale Laboratory Testing," SAE 730649, 1973.
- 7) B. W. Cryer, P. E. Nawrocki, R. A. Lund, "A Road Simulation System for Heavy Duty Vehicles," SAE 760361, 1976.
- 8) J. Petersen, G. Weißberger, "The Conception, Description, and Application of New Vehicle Endurance Test System at AUDI NSU," SAE 820094, 1982.
- 9) 이승준, 김영삼, 최동찬, 조준희, 이운성, 김정하, "차량시스템 개발 및 운전자 인자연구를 위한 실시간 차량시뮬레이터의 개발," 한국자동차공학회논문집, 제7권 제7호, pp. 250- 257, 1999.
- 10) 정상화, 김재열, 류신호, "다축 제어용 가진기의 구동소프트웨어 개발 및 보정에 관한 연구," 자동차공학회논문집, 제9권 제2호, pp.143-151, 2001.