

## 다축 시뮬레이터의 변위-하중 보정에 관한 연구

정상화(조선대 기계공학과), 류신희\*, 신현성, 김상석, 박용래(조선대원)

A study on Displacement-Load Calibration of Multi-Axis Simulator

S. H. Jeong(Chosun Univ.), S. H. Ryu, H. S. Shin, S. S. Kim, Y. R. Park  
(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 structure 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, 3-axis durability testing device is used to carry out the fatigue test.

In this paper, The operation software for simultaneously driving 3-axis vibration testing device is developed and the displacement of the 3-axis actuator is separately calibrated by LDT. Moreover, the input and output data are displayed in windows of PC controller with real time.

**Key Words :** Multi-axis simulator(다축 시뮬레이터), Servo valve(서보밸브), Hydraulic actuator(유압 액츄에이터), Compensation coefficient(보정계수), Division coefficient(분할계수), Fatigue limit(피로한도)

### 1. 서론

고도화, 전문화되어가는 현대 산업기술의 진보에 힘입어 새로운 금속재료, 반도체, 섬유강화 복합재료, 고분자 플라스틱 재료 등의 신소재와 첨단기술 재료들이 개발되고 재료 또는 부품에 대한 기대등이 높아짐에 따라 소재 및 부품시험은 고도의 기술이 필요하며 한층 더 중요시되고 있다<sup>1)</sup>.

기계 또는 구조물을 설계할 때 가장 필요한 것이 강도이며, 최근에는 동적강도에 많은 관심을 가지고 연구됨에 따라 피로(fatigue), 충격(impact)등이 더욱 부각되는 상황이다. 반복 피로하중을 받는 부재는 축방향 회전각, 하중범위의 변수, 두께에 따른 매개변수 등 많은 인자의 영향과 제품에 대한 내구성(durability), 안전성(safety)이 중요한 부분을 차지하고 있다. 특히, 국외의 자동차 수입국에서 자동차 부품의 3차원 내구성 시험자료를 요구하고 있는 상황에서 이들 주요부품을 측정·분석할 수 있는 시험기의 개발은 필수불가결하며, 보다 실제 시스템과 동일한 조건의 실험을 하기 위

한 다축제어용 시뮬레이터의 소프트웨어 개발이 요구되고 있다<sup>1)</sup>.

본 논문에서는 자동차용 구조부품인 현가장치의 경우처럼 피칭, 롤링, 바운싱이 고려되어야 하는 부재들과 볼조인트처럼 유연하게 다각도로 회전하는 부재들의 하중, 피로 및 내구성을 시험하기 위하여 전후방향(Y축), 좌우방향(Z축), 상하방향(X축)의 다축 시뮬레이터(3DVTD)를 이용하여 복합적인 요소와 변수들을 입력하며 원하는 출력 데이터만을 도출할 수 있도록 동시 3축을 제어할 수 있는 프로그램을 개발하여 가진시의 하중과 변위의 출력값을 출력하여 비교검증하였다<sup>2),3)</sup>. 또한, 데이터 구현과 입/출력 시험상태들을 실시간으로 구현할 수 있도록 설계하여 소재 및 부품의 개발에 일조할 것으로 기대되며, 프로그램상의 문제로 아직 활용도가 미진한 시험기에도 활용도가 높을 것으로 예측된다<sup>4)</sup>.

## 2. 다축 시뮬레이터의 구성 및 소프트웨어

### 2.1 다축 시뮬레이터의 구성

다축 시뮬레이터는 액추에이터를 요동, 회전시키면서 X축, Y축, Z축방향에 하중, 변위, 주파수 등의 입력변수를 주어 복합적인 피로시험을 행할 수 있도록 설계되었으며, Fig.1은 다축시뮬레이터의 구성도이다.

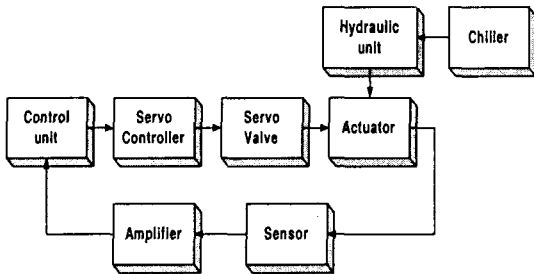


Fig.1 Configuration of 3DVRT

### 2.2 구동 소프트웨어

PC에서 보내어진 입력신호는 D/A 보드를 거쳐서 서보밸브로 보내어지며, 일정한 파형의 입력신호를 받는 액추에이터의 실린더를 구동시키게 된다. 각 축에 부착된 변위센서와 하중센서의 측정신호는 A/D 보드와 컨트롤러에 장착된 액정표시기(LED)로 전달되며, 또다른 신호는 출력되는 데이터를 검증하기 위하여 부착된 센서에서 독립적으로 측정되어 증폭된 다음 오실로스코프로 보내어지며, 출력신호를 PC에서 데이터베이스화 할 수 있도록 구성되었다.

## 3. 실험방법

본 실험에서는 다축시뮬레이터의 구동소프트웨어에 대한 신뢰성 평가에 초점을 맞추었으므로 X축, Y축, Z축을 무부하에서 구동하였다. 각각의 축에는 사인파형의 일정한 반복신호를 주었고 주파수는 측정센서의 한계치인 0.5~12.0Hz까지로 설정하였다. Table 1은 시험에 사용된 센서들의 사양이다.

Table 1 Specification of 3DVRT sensor

Item	Model	Spec.	Maker
Load cell	LRT-1T	±1,000kg <sub>r</sub>	NTS
Load cell	LUH-2TF	±2,000kg <sub>r</sub>	KYOWA
Linear Displacement Transducer	LDT-200	±100mm	MTS
Linear Displacement Transducer	DLT-200AS	±200mm	KYOWA
Servo valve	J076-103	38 l /min	MOOG
Servo Controller	SVC-100		DUX CO.
Strain Amplifier	YA-506A	5KHz	KYOWA
Oscilloscope	9310A	400MHz	LeCroy

### 3.1 변위실험

출력신호는 액추에이터에 직접 부착되어 실린더의 움직임을 감지하는 변위센서와 컨트롤러의 변위센서(S-CON100), 그리고 보정을 위하여 독립적으로 부착된 센서(DLT-200AS)에서 오실로스코프로 받아 비교검증하였다.

초기위치와 진폭범위는 서보컨트롤러에서 조정이 가능하며, 출력신호는 ±10.0볼트, 초기위치는 출력신호가 0이 되는 지점으로 설정하였고, 각 축당 주파수별로 최대 변위까지 실험하였다. 액추에이터의 정적 변위는 각 축마다 약간의 차이가 있으며, X축이 ±80.75mm, Y축 ±80.0mm, Z축이 ±81.0mm이다.

### 3.2 하중실험

유압은 각축마다 210 kg<sub>r</sub>/cm<sup>2</sup>으로 일정하게 설정하였고, 유온은 40℃에서 유지되도록 항온조를 셋팅하였다. 출력신호는 액추에이터에 직접 부착된 하중센서(LRN 1T, 2T)에서 검출되며, 주시험 대상인 현가장치의 경우 수직방향(X축)의 하중이 가장 크므로 허용하중이 Y축, Z축의 2배인 하중센서가 사용되었다.

또한, 부착된 하중센서의 출력신호를 보정하기 위하여 센터가 일치하는 지그를 설계, 제작하여 그 위에 하중센서(LUH-2TF)를 부착하였다. 초기위치와 출력범위 역시 서보컨트롤러에서 조정이 가능하며, 초기위치는 출력신호가 0이 되는 지점으로 설정하였고, 각 축을 최대하중이 걸리도록 서보컨트롤러를 조정하여 실험하였다. 액추에이터에 걸리는 정하중(static force)은 X축이 ±1484.4 kg<sub>r</sub>이며, Y축, Z축이 ±1213.8 kg<sub>r</sub>이다.

## 4. 실험결과 및 보정

### 4.1 변위 보정결과

출력신호는 일정한 사인파형의 입력신호를 구동 소프트웨어에서 보내어 출력받은 결과를 검증하기 위하여 액추에이터에 부착된 변위센서의 출력값(A/D)과 독립적인 변위센서를 부착하여 실험한 결과값(Cal)을 Fig.2, Fig.3, Fig.4에 나타내었다. X축과 Y축, Z축의 변위 측정결과는 3축 모두가 실험데이터들이 유사한 형태로 나열됨을 알 수 있다. 여기서 증폭기이득(amp-gain)은 변위를 조절하기 위하여 서보컨트롤러에 부착되어 있는 게이지의 가능범위이며, 정지위치인 0.0부터 최대 변위인 10.0까지 1.0단위로 측정하였다.

Fig.2의 데이터에서 0.5Hz에서 3.0Hz까지의 변위는 최대 변위에서도 선형적으로 증가함을 보여주고 있으며, 인장과 압축에서 오차가 없었다. 또한, 반복횟수에 따른 오차도 없었다. 설정 주파수를 5.0Hz로 높여줌에 변위는 다소 불안정해지며, 10Hz이상의 주파수에서는 그 값이 현저히 감소함을 알 수 있다. Fig.3과 Fig.4도 유사한 형태의 변위를 가지나 X축에 비하여 적은 변위를 가짐을 알 수 있다. 최대 주파수 허용변위는 X축이 12Hz에서 ±15.5mm이며, Y축은 ±18.0mm, Z축은 ±19.2mm이다. 독자적인 변위센서(Cal)는 최대 변위가 ±200mm이고, 가능 주파수대가 10.0Hz이므로

다축 시뮬레이터의 실험범위는 10.0Hz에서 각 축의 최대변위까지로 하였다. 또한, 출력신호는 액츄에이터의 최대 길이에 비례하여 환산하였다. 실험결과 3축 모두 10Hz이하에서 거의 유사한 형태의 데이터값을 나타내며, Y축, Z축은 근사한 데이터값이 도출됨을 확인하였다.

Fig. 5는 X축 액츄에이터의 동특성을 나타낸 것인데 실제 출력된 12Hz까지의 데이터를 토대로 최소자승법에 의해 구한 결과이다. 액츄에이터의 성능은 X축이 설정 주파수 45Hz까지 구현이 가능한 것으로 판단되나 액츄에이터의 추종성능이 인장측에서 구현이 되지않은 것을 알 수 있다. 본 시뮬레이터의 가능주파수 범위는 30Hz이며 그때은 진폭은 약  $\pm 0.853\text{mm}$ 로 판단된다. Fig. 6과 Fig. 7은 Y축과 Z축의 동특성을 나타낸 것으로 Y축보다는 Z축이 추종성능이 우수하며, Y축은 20Hz에서  $\pm 4.9\text{mm}$ , Z축은 30Hz에서  $\pm 3.5\text{mm}$ 임을 확인하였다.

#### 4.2 하중 보정결과

Fig. 8, 9, 10은 X축과 Y축, Z축의 각 주파수별 하중 보정결과이며 3축 모두 증폭기이득을 높여줌에 따라 유사한 형태의 곡선을 보임을 알 수 있다.

Fig. 8은 X축의 하중 보정결과로서 측정된 주파수는 0.5~12Hz이며 값에 다소의 차이를 보이는 3Hz에서 12Hz까지로 나타났다. 각 주파수대별로 Cal 축과 A/D 축의 값은 동일한 값을 유지하며 증가함에 미루어 볼 때 인장하중과 압축하중의 값들은 일치함을 확인하였다. 또한, 주파수를 높여줌에 따라 인장측과 압축측에서 하중값이 30  $kg_f$  정도로 다소 증가하였으며 최대 증폭기이득은 DY-60이다. 12Hz에서 최대 임계하중은 인장이 1492.4  $kg_f$ , 압축이 1453.6  $kg_f$ 로 가진속도와 지그의 유격을 고려할 때 비교적 유사한 값을 유지함을 알 수 있었다.

Fig. 9와 10은 Y축과 Z축의 결과이며, 같은 실린더 단면적을 갖는 액츄에이터이므로 측정결과 역시 Cal 축과 A/D 축에서 거의 동일한 데이터를 얻을 수 있었다. 증폭기이득을 높여줌에 따라 각 축들은 점진적으로 증가하며, 최대 증폭기이득은 DY-50임을 알 수 있다. 두 축 모두 인장과 압축하중의 측정결과를 증폭기이득을 증가시킴에 따라 다소 변화 있으며, 특히, 인장하중시 입력주파수를 높여줌에 따라 하중에 변화가 있음을 알 수 있었다. 12Hz에서 최대 임계하중은 Y축의 인장이 1272.5  $kg_f$ , 압축이 1296.91  $kg_f$ 이며, Z축은 인장이 1227.3  $kg_f$ , 압축이 1208.9  $kg_f$ 로 측정되었다.

#### 5. 결론

다축 시뮬레이터의 구동소프트웨어를 개발하여 신뢰성을 평가하여 본 결과 각 축의 변위는 30Hz의 주파수대까지 데이터 구현이 가능하였으며 3Hz이하의 주파수대에서는 반복정밀도가 0.1%로 아주 양호하였고, 5Hz에서 7Hz까지는 증폭기이득을 높여줌에 따라 다소 정밀도가 떨어짐을 알 수 있었다. 또한, 10Hz에서

12Hz의 범위에서의 반복정밀도는 좋지않으나 구동 소프트웨어상의 오류로 인한 것이라기 보다는 유압 액츄에이터가 설정 주파수대를 추종하지 못하는 데 따른 성능한계로 보여진다. 다축 시뮬레이터의 성능한계를 나타내는 변위가 각 축에 따라 약간의 차이는 있으나 주파수 12Hz에서 X축  $\pm 15.5\text{mm}$ , Y축  $\pm 18.0\text{mm}$ , Z축  $\pm 19.2\text{mm}$ 로 비교적 양호한 동특성을 나타냄을 알 수 있었다.

하중은 변위와 달리 출력값은 선형이 아니며 최대 임계하중까지 액츄에이터가 추종함을 알 수 있었고, 인장측과 압축측의 일관성을 확인하였다. 또한, 고정 지그의 완전한 설계가 이루어진다면 주파수대별로 다소의 증가폭은 크게 향상시킬 수 있을 것으로 보인다. 최대하중은 X축이 약  $\pm 1450\text{kg}_f$ , Y축이 약  $\pm 1280\text{kg}_f$ , Z축이  $\pm 1250\text{kg}_f$ 로 측정되었다.

하중은 각각의 축 모두 최대 임계하중까지 증폭기이득을 나누어 조절이 가능하였으며, 출력하중의 데이터베이스화로 추후 있게될 실험에서 그 활용성이 증대될 것으로 보인다.

#### 참고문헌

1. "Fatigue design handbook", AE-10, Society of Automotive Engineers, Inc. pp.1~13.
2. D. Bastow, G.P.Howard, "Car Suspension and Handling" Society of Automotive Engineers, INC., pp.6~8, 1993.
3. 가야바공업주식회사, "Automotive Suspension", 에드텍, pp.57~63, 1997.
4. J.A. Bannantine, "Fundamentals of Metal Fatigue Analysis", Prentice Hall, pp.12~19, 1990.
5. 8 channel Analog Out board User's manual, AXIOM Co. Ltd. pp.2~5.
6. AX5622B DA&C Board User's manual, AXIOM Co. Ltd. pp.3~27

#### 후기

본 논문은 산업자원부지정 부품산업테크노센터의 보유장비를 이용하여 연구하였습.

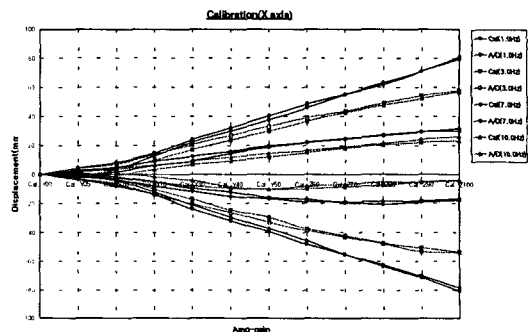


Fig.2 Displacement in X axis Actuator

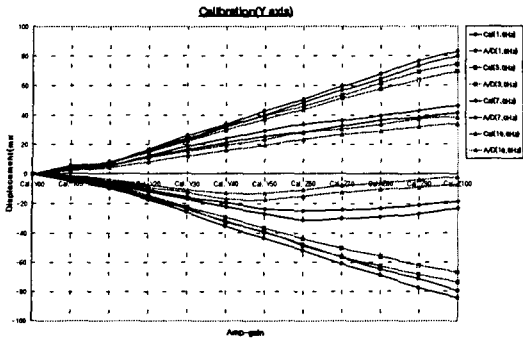


Fig.3 Displacement in Y axis Actuator

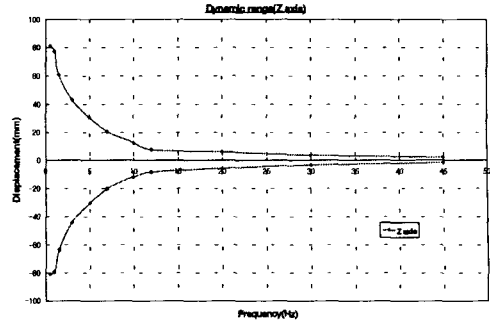


Fig.7 Dynamic range in Z axis Actuator

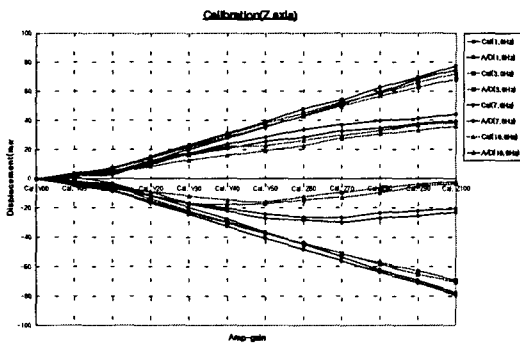


Fig.4 Displacement in Z axis Actuator

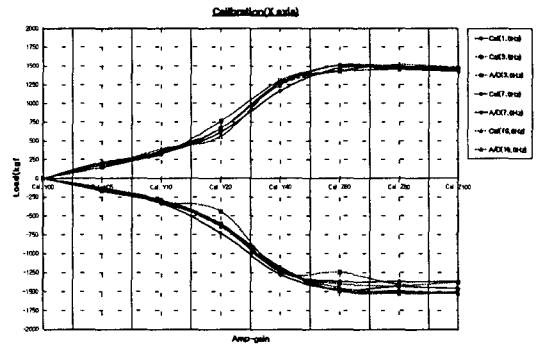


Fig.8 Load of X axis Actuator

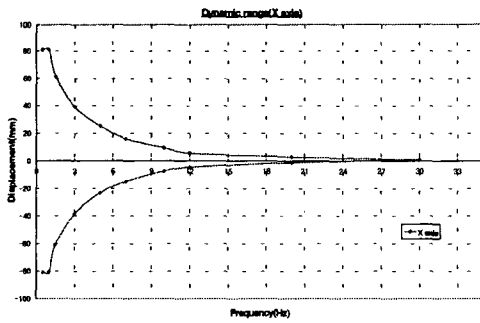


Fig.5 Dynamic range in X axis Actuator

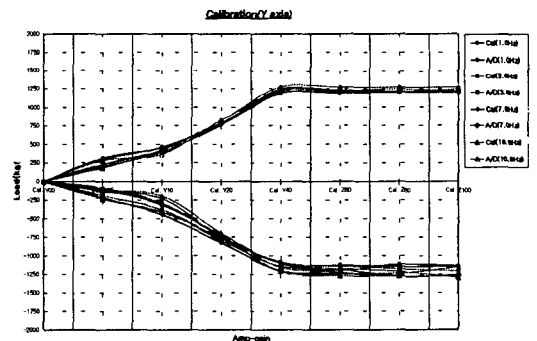


Fig.9 Load of Y axis Actuator

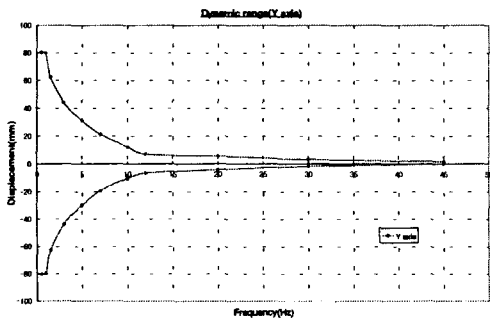


Fig.6 Dynamic range in Y axis Actuator

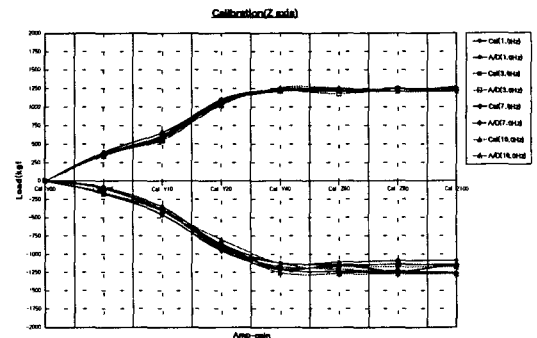


Fig.10 Load of Z axis Actuator