

# 서보 모터를 이용한 지진 모사용 소형 진동대 설계

## Design of Small-sized Earthquake Simulator using Servo - Motor

민 경 원\*    호 경 찬\*\*    황 성 호\*\*

Min, Kyung-Won    Ho, Kyoung-Chan    Hwang, Sung-Ho

---

### Abstract

This study is focused on the design and performance test of an earthquake simulator using stepping motor. Stepping motor, which controls the motion accurately with generated pulses is applied to the earthquake simulator. Earthquakes like El Centro and Taft are used as inputs to the earthquake simulator. First, the number of pulses are calculated and sent to pulse generator. Then, the generator controls the simulator according to the pulse signs. It is shown that the measured signals from the simulator are in very good agreement with input signals of scale-downed earthquakes of El Centro and Taft. This simulator will be used for the experimental study of small-scaled building structures with tuned mass dampers under earthquakes

---

### 1. 서론

진동제어장치를 설치한 건축 및 토목 구조물의 제진성능을 분석하기 위해서는 진동대를 이용한 실험적인 방법이 일반적이다. 따라서 이러한 실험을 수행하기 위해서는 진동대 시스템이 기본적으로 필요하며 건물 모형과 진동제어장치를 설계, 제작하여야 한다. 진동대 시스템으로는 실험구조물에 가해지는 외력을 지지할 수 있는 반력벽(strong wall)과 반력상(strong floor) 그리고 외력을 발생시키는 정적·동적 유압가력장치(actuator), 1축 또는 2축진동대와 진동대 및 진동대를 제어할 수 있는 제어장치 등이 필요하다. 이러한 진동대 시스템은 기본적으로 지진에 의한 구조물이나 부재의 파괴 및 피로 실험과 같은 구조체의 내력에 관한 실험을 위한 것으로서 실제 지진파를 모사할 수 있으며 실험 크기의 구조체도 가진시킬 수 있는 성능을 가지고 있어야 한다. 따라서 이러한 진동대 시스템을 완비하기 위해서는 위에서 지적한 바와 같이 반력 구조물, 진동대, 가력장치, 제어장치 등에 관한 초기 경비가 많이 필요하며 이후 시스템을 유지하는 운영비가 많이 필요하게 된다. 따라서, 이러한 고성능의 진동대를 이용하기 위해서는 경제적인 비용이 따르게 되어

---

\* 인천대학교 건축공학과 교수, 정희원

\*\* 인천대학교 건축공학과 석사과정

제어장치의 개발과 진동대 실험에 제한이 되고 있다. 그러나, 본 연구의 목적은 건물의 사용성에 지장을 주는 과도한 진동을 감소시켜 주기 위한 부가의 제어장치의 제어 성능을 분석하기 위한 경제적인 진동대를 구축하는데 있다. 제어장치의 성능을 검증하기 위해서는 건물 모형에 제어장치를 설치하고 지진 및 바람 하중을 가하여 응답의 특성을 분석하는 실험적인 방법이 진행되어야 하며 지진 모사(earthquake simulation)를 통한 진동대 실험이 필수적이다. 그러나 제어장치의 성능 실험은 건물 또는 부재의 파괴실험 및 피로실험과 같은 구조체의 내력에 관한 실험이 아니라 건물의 사용성(serviceability)을 향상시켜 주기 위한 실험이며, 제어장치의 개발이 우선적이므로 건물과 제어장치가 실제구조물이 아닌 축소모형으로 실험이 진행되며, 축소모형에 따라 진동대의 가진 크기도 축소가 된다. 그리고 제어장치의 변화에 따른 반복실험이 진행되므로 잦은 진동대 이용이 요구된다. 내력실험과는 달리 강진에 의한 건물 응답의 감소가 목적이 아니라, 중진 또는 약진 그리고 바람과 같은 진동의 크기가 작지만 하중의 주파수 성분이 건물의 고유주파수 대역과 유사하여 상대적으로 건물의 진동이 크게 나타나고 상시적으로 흔들려 사용성의 문제가 되는 곳에 설치된다. 따라서 진동대에 의한 지진모사가 우선적으로 진동수 대역이 맞아야 한다. 또한 실험 크기의 제어장치를 개발하기 위해서는 우선적으로 축소모형을 제작하여 성능을 실험하여야 한다.

## 2. 진동대 설계조건

진동대를 구동하기 위한 가력장치(actuator)로는 유압기, 공압기와 전동기가 있다. 유압기는 가압된 유체의 압력을 이용하며, 일반적으로 고압이 사용되기 때문에 큰 힘을 낼 수 있다. 공압기는 유압기와 흡사하나 작동 유체가 공기라는 점이 다르다. 이상과 같은 가력장치는 나름대로의 장점이 있으나 장치를 만들기 위해선 압력펌프, 서보밸브, 액츄에이터 등 설치 비용과 운영 관리비가 많이 든다는 단점이 있다.

본 연구는 건물모형에 진동제어장치를 설치하였을 때의 건물의 진동특성을 조사하는 것이 주목적이므로 건물모형의 크기가 작더라도 상관없이, 지진의 크기를 축소시켜 사용하여도 무방하다. 따라서 경제적이고 제작하기가 용이한 전동기를 이용한 가력장치를 택하기로 한다. 전동기의 종류로는 스텝모터(steping motor), 유도전동기, 서보모터(servo motor) 등이 있으나 지진과 같은 불규칙한 파를 정확히 구현하기 위해서는 모터에 가해지는 신호의 수에 따라 모터의 회전을 제어하는 스텝 모터를 선택하기로 한다.<sup>1)</sup> 스텝 모터는 펄스신호로 모터를 제어하기 때문에 제어가 용이하며 오차의 누적이 없어서 정확하다. 반면에 모터의 특성상 고속에서는 적은 힘을 발생하는 것이 단점이다. 진동대는 사용하는 모터의 작동모드와 회전수 및 최대발생토크에 따라 최대발생속도 및 가속도 등이 결정되므로 사용될 진동대의 사양과 구동을 결정한 후, 이에 따라 스텝모터의 종류와 크기를 결정하여야 한다. 본 연구에서의 진동대 제작의 목적은 제어장치를 건물에 설치하여 진동대 실험을 통하여 제어성능을 분석하기 위한 것이다. 이 때 진동대가 갖추어야 할 조건은 특정한 주파수 특성을 지닌 하중을 정확히 구현하며, 진동실험에 많이 사용되는 지

진기록 테이터를 시간영역에서 묘사하여 주파수 특성도 만족하여야 한다는 것이다. 따라서 진동대가 가진되는 지진의 진동수 성분은 정확히 묘사가 되어야 하며, 축소된 건물모형과 제어장치의 중량을 움직일 수 있는 가진력을 발생시켜야 하며 유지관리가 용이해야 한다.

진동실험시 이용이 많이 되고 있는 El Centro 지진파는 가속도 기록이 0.02 초 간격으로 되어있다. 스테핑모터는 펄스신호로 모터의 회전을 제어하므로, 1 초당 모터에 가할 수 있는 펄스의 수를 조정하여 펄스의 변화에 따른 진동대의 가속과 감속을 조정하여 El Centro 지진파를 묘사할 수 있어야 한다. 실험 모형에 이용이 되는 3층의 철골형 축소 건물모형과 진동제어장치의 질량을 최대 200kg 으로 하였으며 진동대의 최대 발생 가속도는 El Centro 지진파의 최대 가속도인 360cm/sec<sup>2</sup>을 1/20 으로 축소하여 18cm/sec<sup>2</sup>으로 설계 조건을 정하였다. 기타 진동대 바닥판의 크기와 진동대의 최대 이동변위에 대한 조건은 다음 표 1 에 나타나 있다.

표 1. 진동대 설계조건

진동대 허용 구조체 질량	200 kg
최대 발생 가속도	18 cm/sec <sup>2</sup>
진동대 바닥판 크기	600 × 600 mm
최대 이동변위	±200 mm

회전운동을 하는 스테핑모터의 제어는 컴퓨터에서 보내는 제어신호로써 이루어진다. 이러한 제어신호는 펄스형태로서, 이 신호를 받아 스테핑모터는 회전운동을 하며, 기어장치를 거쳐 궁극적으로는 진동대가 직진 왕복운동하는 것이다. 본 진동대는 다음 그림 1 과 같이 볼나사와 기어를 이용하여 모터의 회전운동을 직진운동으로 바꾸는 방식을 택하였다.<sup>2)</sup> 이 때의 설계치수는 1 회전당 이동거리를 나타내는 볼나사(리드스크류)의 피치(P)는 1cm, 기어비는 1 : 3 을 사용하였다. 기어비를 1 : 3 으로 사용한 것은 스테핑모터가 고속에서 발휘하는 힘이 적기 때문에 토크를 키우기 위한 방법이다.

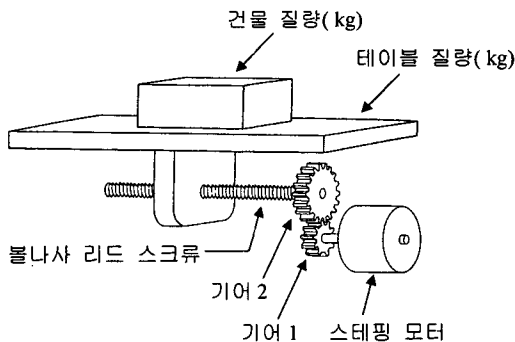


그림 1. 볼나사와 기어를 이용한 진동대 구동 방식

### 3. 스텝핑 모터의 원리

원하는 진동대의 왕복운동을 산정하기 위해서는 지진파의 특성을 파악하고 이에 해당되는 스텝핑모터와 펄스신호를 설계하여야 한다. 따라서 지진파의 자료에 따른 시간간격 당의 응답차이에 대한 펄스신호의 개수를 계산한 다음, 그 결과를 신호발생기를 사용하여 펄스를 발생시켜 스텝핑모터가 구동하게 되는 것이다. 신호발생기에 의하여 발생되는 신호는 다음과 같은 2 종류이다.<sup>3)</sup>

- 모터의 회전 방향(정회전 또는 역회전 방향)을 지정하는 정역신호
- 모터를 회전시키기 위한 펄스신호

이번 연구의 목적은 El Centro 지진파와 같은 매우 불규칙한 특성을 가지는 진동파를 진동대로 모사하는데 있으므로 다음 그림과 같은 가속도로 측정된 El Centro 지진파의 특성과 이에 따른 펄스신호를 분석하기로 한다.

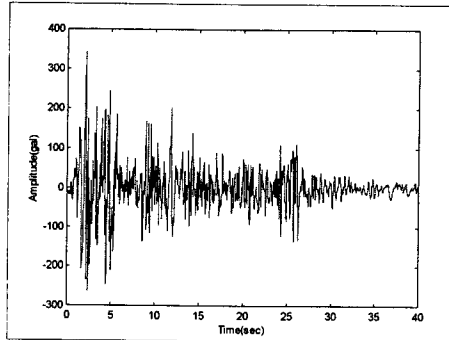


그림 2. El Centro 지진파

El Centro 지진파는 간격이 0.02 초로 되어 있으며 0.02 초 간격에서의 변화가 매우 크다. 따라서 시간에 따라 급격히 변하는 진동파를 묘사하기 위하여 매시간 다른 크기의 신호를 발생시켜 모터를 회전시켜야 한다.

다음 그림은 지진파를 묘사하기 위하여 신호를 몇 개 발생시켜야 하는지에 관한 문제를 나타낸 것이다.

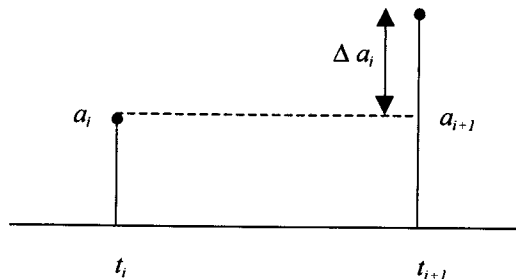


그림 3. 시간 간격에 따른 진동 가속도의 차

$t_i$ 와  $t_{i+1}$ 는 시간 간격을 의미하며,  $a_i$ 와  $a_{i+1}$ 는 시간에 따른 가속도를 의미한다. 진동대가 가속도의 차이만큼 직진이동을 하기 위해서는 해당되는 만큼의 신호를 이러한 시간간격 내에 발생시켜야 한다. 다음 그림은 스텝모터를 회전시키기 위한 펄스신호의 보기이다. 이러한 펄스신호는 컴퓨터가 제어하는 펄스신호발생기(pulse generator)를 통하여 모터로 전해진다. 레벨 H에서 레벨 L로 강하할 때 모터의 회전이 일어난다. T는 대기시간이며 T를 변화시키면 펄스의 발생주기가 빨라지기 때문에 모터의 회전속도가 변한다. 따라서 간격 T가 긴 펄스를 주면 모터는 천천히 돌고, 짧은 펄스를 주면 빨리 회전한다. 그림에서 H에서 L로 변화할 때 하나의 수직강하가 있기 때문에 하나의 펄스신호가 가해지고 신호의 주기를  $T_d$ 로 정의할 수 있다.( $T_d$ 는 스텝 모터의 회전속도에 관계되므로 모터의 성능을 말하며,  $T_d$ 의 최소치는 결정되어 있다.)<sup>4)</sup>

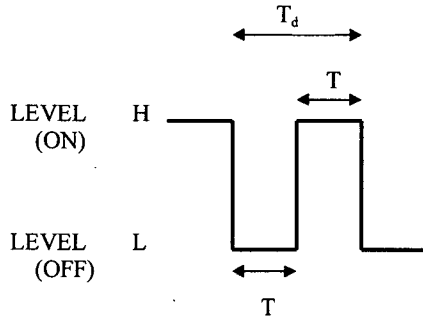


그림 4. 펄스 신호의 구성

건축구조진동의 경우 El Centro 지진이 범용적으로 쓰이기 때문에, 이러한 지진을 기준으로 펄스의 개수를 산정하였다. El Centro 지진 자료의 시간 간격이 0.02 초 이므로  $T_d$ 가 결정되면  $0.02/T_d$ 의 수만큼 펄스의 최대 발생 개수가 산정된다

#### 4. 진동대 모터 설계

위의 표 1에 나타나 있는 진동대 설계조건인 진동대 허용 구조체질량 200kg을 최대 발생 가속도  $18\text{cm/sec}^2$ 로 구동시키기 위해서는 모터의 회전력인 토크가 제대로 구현되어 진동대를 왕복운동시켜야 한다. 이러한 모터의 토크는 모터의 성능을 의미하며 그림 1에서와 같이 모터의 관성모멘트 외에 진동대, 건물모형, 볼나사, 기어 등에 관련된 부하 관성모멘트를 파악해야 하며 모터의 회전가속도와 진동대의 직진가속도와와의 관계를 알아야 요구되는 모터의 설계 토크를 구할 수 있다.<sup>2)</sup> 스텝모터는 입력되는 펄스신호의 수에 비례하여 회전하므로 초당 발생하는 펄스신호의 수 (pulse per second)에 따라 회전속도가 변하게 된다. 따라서 시간간격  $\Delta t$ 에 펄스신호 수가  $f_1$ 에서  $f_2$ 로 변한다면 모터의 회전가속도  $\ddot{\theta}$  (rad/sec<sup>2</sup>)는 다음과 같이 표현된다.

$$\ddot{\theta} = \frac{\pi (f_2 - f_1) \theta_s}{180 \Delta t} \quad (1)$$

윗 식에서  $\theta_s$  는 1 펄스당 모터의 회전각인 스텝각을 의미한다. 그리고, 모터의 회전가속도는 볼나사와 기어비에 의하여 다음 식과 같이 진동대의 직진가속도  $\ddot{\delta}$  로 변환이 된다.

$$\ddot{\delta} = \frac{p_s n_1}{2\pi n_2} \ddot{\theta} \quad (2-1)$$

식 (2-1) 를 다시 정리하면,

$$\ddot{\theta} = \frac{n_2 2\pi}{n_1 p_s} \ddot{\delta} \quad (2-2)$$

윗 식에서 기호는 앞에서 설명한 것과 같이  $p_s$  는 볼나사(리드스크류)의 피치를 의미하며,  $n_1/n_2$  은 기어비로써,  $n_1$  과  $n_2$  은 각각 모터와 진동대에 연결된 기어의 이빨수를 나타낸다. 이 때,  $\theta_s$  는 지진의 정밀한 묘사를 위해서  $0.36^\circ$  를 사용하기로 한다. 위에서 가정한 설계값인  $p_s = 1 \text{ cm}$ ,  $n_1/n_2 = 1/3$  와 진동대의 설계최대가속도인  $18 \text{ cm/sec}^2$  을 대입하면 모터의 회전가속도  $339.3 \text{ rad/sec}^2$  가 유도된다. 이렇게 구한 회전가속도가 발생할 때의 순간최대펄스속도는  $60,000 \text{ [PPS]}$  에 해당하며, 순간최대펄스속도는 연속속도  $[\text{RPS}]$  에서 볼 때, 모터의 성능을 결정하는 중요한 역할을 한다. 이 때의 연속속도의 값은  $60 \text{ [RPS]}$  에 해당한다. 위와 같이 진동대의 직진가속도와 모터의 회전가속도와의 관계를 파악하였으므로, 그림 1 과 같은 진동대 시스템의 등가관성모멘트인  $J_{eq}$  를 산정하여 모터의 토크  $T_M$  는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$T_M = J_{eq} \ddot{\theta} \quad (3)$$

진동대 시스템의 등가관성모멘트  $J_{eq}$  는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$J_{eq} = J_1 + \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 J_2 + (m + M) \left( \frac{p_s n_1}{2\pi n_2} \right)^2 \quad (4)$$

위에서  $J_1$  은 모터의 관성모멘트,  $J_2$  는 볼나사 및 진동대에 관련된 기어의 관성모멘트이며,  $m$  과  $M$  은 각각 건물모형과 진동대의 질량이다.

본 연구에서 초기설계용으로 가정한 진동대의 채원인  $m = 200 \text{ kg}$ ,  $M = 40 \text{ kg}$ ,  $n_1/n_2 = 1/3$ ,  $p_s = 1 \text{ cm}$  와 일반적인 모터의 관성모멘트로  $12 \text{ kgcm}^2$  을 적용하였으며 볼나사의 직경과 밀도는 일반적인 값인  $2.4 \text{ cm}$  와  $0.00785 \text{ kg/cm}^3$  로 설정하여 등가관성모멘트  $J_{eq}$  인  $12.61 \text{ kgcm}^2$  를 구하였다.

따라서 위에서 구한 진동대의 직진가속도  $18\text{cm/sec}^2$ 에 해당되는 모터의 회전가속도  $339.3\text{ rad/sec}^2$ 와 진동대 시스템의 등가관성모멘트  $12.61\text{kgcm}^2$ 을 식 (3)에 대입하여 요구되는 모터의 토크는  $0.43\text{Nm}$ 를 구할 수 있다. 위와 같은 등가관성모멘트에 의한 토크 외에 진동대와 구조체의 중량과 불나사, 기어의 기계적인 운동에 의한 시스템의 마찰 부하에 따른 부하토크  $T_L$ 을 다음 식을 이용하여 고려하여야 한다.

$$T_L = \frac{n_1}{n_2} \frac{\mu W}{2\pi\eta} P_S \quad (5)$$

윗 식에서  $\mu$ 는 마찰계수로  $0.1 \sim 0.3$ ,  $\eta$ 는 기어효율로  $0.85 \sim 0.95$ 의 값을 가지고 있다. 마찰계수와 기어효율로 각각  $0.2$ 와  $0.9$  그리고  $W$ 는 진동대와 건물모형의 중량으로  $240\text{kg}$  중을 적용하여 부하토크  $0.28\text{Nm}$ 를 유도하였다. 따라서, 요구되는 모터의 총 토크는 모터의 토크  $T_M$ 와 부하토크  $T_L$ 를 합한  $0.71\text{Nm}$ 이다.

이렇게 구한 모터의 토크와 앞의 식(2-2)에서부터 구한 순간최대펄스속도를 가지고, 모터의 성능을 결정한다. 즉, 순간최대펄스속도가  $60,000[\text{PPS}]$ 일때, 다시 말하면 연속속도가  $60[\text{RPS}]$ 일 때,  $0.71\text{Nm}$  이상의 성능을 가지는 모터를 선정하면 된다. 이러한 방법으로 일본 Mycom 사의 모터인 ups55 모델을 선정하였다. ups55의 펄스신호의 주기는 Full step 인 경우는  $20 \times 10^{-6}$ 초이며, Half step 인 경우는  $10 \times 10^{-6}$ 초로서, 본 논문에서는 스텝각을  $0.36^\circ$ 를 사용하였으므로, Half step 인 경우에 해당하므로 최대 초당  $100,000$  개의 펄스를 받을 수 있다.

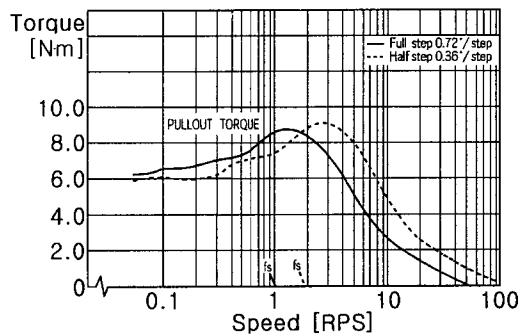


그림 5 ups55 모델의 속도 대 토크 그래프

위의 그림 5는 ups55 모델의 연속속도와 토크의 관계를 나타내는 그림으로  $60[\text{RPS}]$ 에서 최대 토크  $0.8\text{Nm}$ 까지 구현할 수 있으므로, 위의 설계토크인  $0.71\text{Nm}$ 를 만족하며 그 이상의 여유분은 안전율의 개념으로 파악할 수 있다. 이 모델의 관성모멘트는  $9\text{kgcm}^2$ , 펄스당 회전각인 스텝각은  $0.36^\circ$ 이다.<sup>9)</sup>

## 5. 진동대 검증 실험

위와 같은 방법으로 설계 제작된 진동대는 다음 사진 1 과 같으며 진동대의 동적 특성을 구하기 위하여 광대역의 주파수 특성을 지니는 무작위 진동파를 입력으로 하여 진동대를 구동하여 가속도계로 측정된 출력을 분석하였다. 무작위 진동파는 0 ~ 50Hz 의 대역을 가지며 Matlab 을 이용하여 발생시켰으며 30 개의 백색잡음인 무작위 진동파를 가하여 구한 진동대의 출력을 평균하여 다음 그림 6 와 같이 주파수 대역에서 나타내었다. 이렇게 구한 전달함수는 입력은 속도이며 출력은 가속도이므로 전달함수의 그래프는 1 차함수의 증가 그래프를 보여야 한다. 그림 6 에서와 같이 주파수가 증폭되는 부분이 없으므로 진동대의 동적 특성에 의한 진동의 왜곡 현상은 무시할 수 있다. 이때 그림 5 에서 40Hz 이후에는 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 선정된 모터의 성능을 이론적으로 계산할 때 최초펠스간격속도가  $10 \times 10^6$  초로서 연속속도인 RPM 으로 환산시 최대 6000RPM 에 해당한다. 6000RPM 은 초당 100 회전으로 100Hz 에 해당한다. 그러나, 위의 그림 5 에서 보는 것과 같이 고속으로 갈수록 토크가 급속히 떨어지는 것을 볼 수 있으며, 진동대가 급속한 정·역 방향으로의 전환으로 인해서 모터의 성능상 40Hz 이상의 진동수는 모사할 수 없기 때문이다. 또한 진동수 5Hz 인 가속도 사인파 입력을 주어 진동대의 출력과 비교한 것이 다음 그림 7 에 나타나 있어 진동대 시스템의 정확도를 확인할 수 있다.

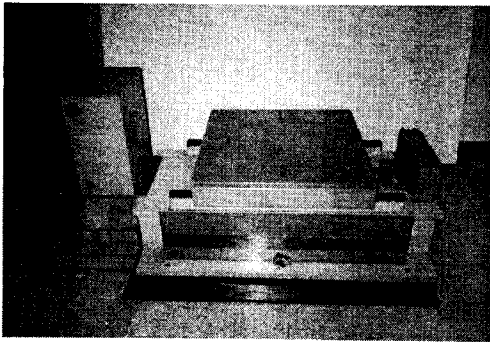


사진 1. 진동대 전경

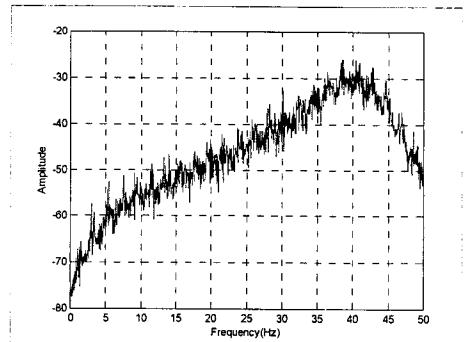


그림 6 진동대의 전달함수

마지막으로 진동대의 신뢰성을 검증하기 위하여 크기가 축소된 El Centro 지진파와 Taft 지진파를 입력으로 하여 진동대로 출력된 지진파 결과를 다음 그림 8-11 에 나타냈으며, 입력과 진동대의 출력을 시간 영역과 진동수 영역에서 비교한 것으로써 양쪽 모두 매우 유사한 것을 알 수 있어 진동대의 정확도를 알 수 있다. 지진파는 모두 가속도의 값으로 되어 있으나 스테핑모터는 속도모터이기 때문에 지진파를 1 회 적분한 속도값을 진동대의 입력으로 이용하였다.



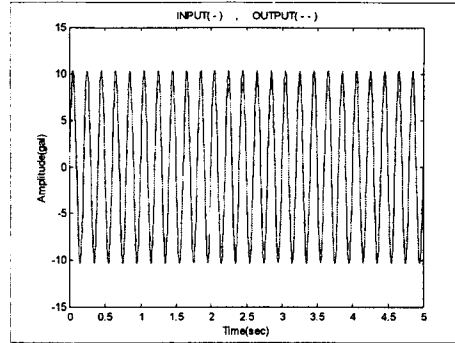
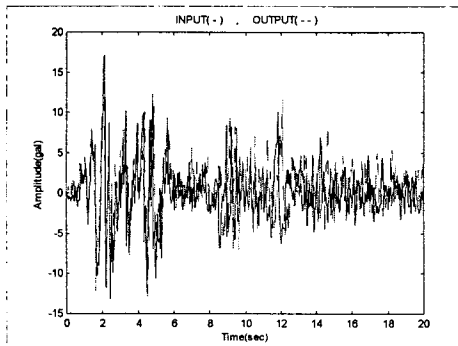
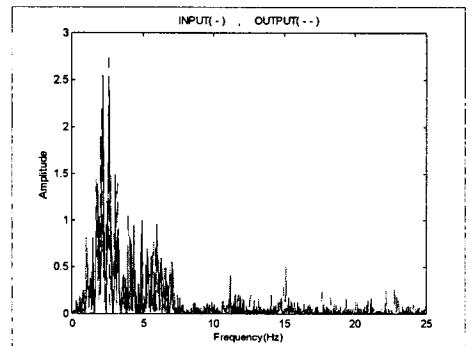


그림 7 조화하중에 따른 입력과 출력 비교

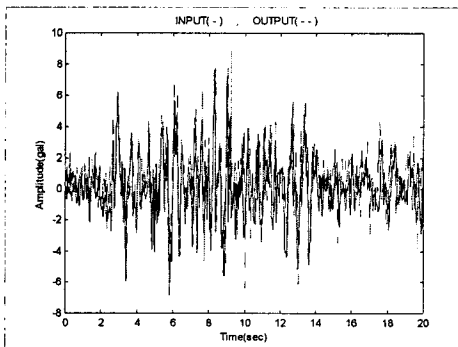


시간영역

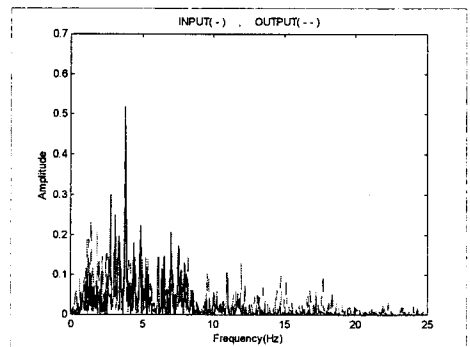


진동수영역

그림 8-9 El Centro 지진파의 입출력 비교



시간영역



진동수영역

그림 10-11 Taft 지진파의 입출력 비교

본 진동대의 설계 최대 가속도가  $18\text{cm/sec}^2$ 로 설정되어 있으므로 위에서 적용한 El Centro 지진파와 Taft 지진파는 모두 크기를 1/20로 축소하여 입력으로 사용하였다. 따라서 축소된 지진파의 최대 크기가 El Centro 지진파와 Taft 지진파가 각각  $18\text{gal}(\text{cm/sec}^2)$ 과  $9\text{gal}(\text{cm/sec}^2)$ 이다. 또한 3절에서 설명한 바와 같이 스테핑모터의 성능 중에서 펄스신호를 받을 수 있는 최소 주기  $T_d$ 가 정해져 있는데, 본 모터의 경우  $10 \times 10^{-6}$ 초이다. 따라서 지진파 자료의 시간 간격인 0.02초 사이에 최

대 2000 개의 펄스 신호를 모터에 가할 수 있게 되는 것이다. 다음 그림 11 은 1/20 로 축소된 El Centro 지진파를 모사하기 위하여 계산이 된 0.02 초의 시간 간격당 펄스신호의 수를 나타낸 것이다. 펄스신호의 수가 최대치인 2000 개 보다 작아 모터가 무리없이 작동할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

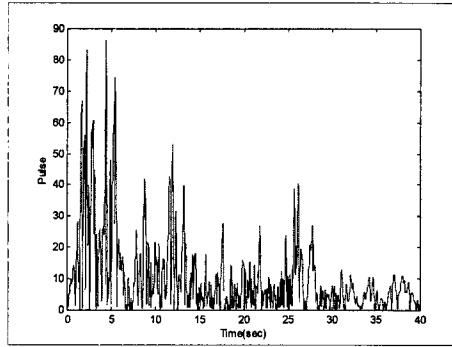


그림 12 El Centro 지진파 모사를 위한 펄스 신호의 수

## 6. 결론

건물모형에 진동제어장치를 설치하였을 때의 건물의 진동제어특성을 파악하기 위한 진동대를 설계, 제작하여 성능을 검증하였다. 축소모형의 실험이며 상시 진동에 의한 사용성 향상을 위한 진동제어장치의 적용이므로 진동대가 나타낼 수 있는 가진력의 크기를 축소시켜 경제적이고 제작하기가 용이한 스테핑 모터를 가진장치로 택하였다. 입력지진파 변화의 크기를 불나사와 기어를 이용하여 모터의 회전운동을 변화시켜 진동대의 직진운동으로 구현하는 방식을 사용하였으며 설계조건인 진동대의 허용구조체의 중량과 최대발생가속도를 설정하여 모터의 성능을 구하였다. 입력지진파로 축소된 El Centro 지진파와 Taft 지진파를 이용하였으며, 진동대의 진동을 계측하여 그 특성을 비교한 결과는 매우 비슷하여 진동대의 정밀성을 나타내고 있다. 이와 같은 스테핑모터를 이용한 진동대를 사용하여 진동제어장치를 설치한 축소건물의 제어실험을 효과적으로 수행할 수 있으리라 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 STEPI 의 지진대응기술 개발과제의 소과제 일부로 수행되었으며, 과학기술부 및 유니슨산업(주)의 연구비지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. “스테핑 모터의 활용기술”, 도서출판 세운, 1993.
2. Katsuhiko Ogata, “System Dynamics”, 2<sup>nd</sup>ed. 1992, Prentice Hall.
3. “스테핑 모터의 제어회로 설계”, 도서출판 세운, 1996.
4. 정형일 외 5 인, “스테핑 모터를 이용한 진동대 설계 및 검증 실험”, 대한 건축학회 1996 년도 추계학술 발표대회 논문.
5. “Mycom 제어기기 카타로그”, 마이컴주식회사, 1996.