

스테핑 모터를 이용한 진동대의 설계 및 구현

정 형일

최 재훈

홍 규장

쌍용건설(주) 기술연구소, 연구원

쌍용건설(주) 기술연구소, 주임연구원

쌍용건설(주) 기술연구소, 책임연구원

Design and Implementation of Shaking Table using Stepping Motor

Jeong, Hyung-Il
SSICT Researcher

Choi, Jai-Hoon
SSICT Junior Researcher

Hong, Kyu-Jang
SSICT Principal Researcher

ABSTRACT

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

기는 가압된 유체의 압력을 이용하며, 일반적으로 고압이 사용되기 때문에 큰 힘을 낼 수 있다. 공압 구동기는 유압 구동기와 흡사하나 작동 유체가 공기라는 점이 다르다. 이상과 같은 구동기는 나름대로의 장점이 있으나 장치를 만들기 위해선 압력 펌프, 서보밸브, 액츄에이터 등 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

본 연구는 건물 모형에 동조질량감쇠기를 설치하였을 때의 건물의 진동 특성을 조사하는 것이 주목적이므로 건물 모형의 크기가 작더라도 상관이 없으며 지진의 크기를 축소시켜 사용하여도 무방하다. 따라서 경제적이고 제작하기가 용이한 전동기를 이용한 구동기를 택하기로 한다. 전동기의 종류로는 스텝핑 모터(steping motor), 서보모터(servo motor) 등이 있으나 제어방법이 신호의 수에 따라 모터의 회전제어가 가능한 스텝핑 모터를 선택하기로 한다.

1. 서 론

본 연구는 건물에 지진하중이 작용을 할 때 동조 질량감쇠기를 설치하여 진동 저감을 파악하기 위한 진동대의 제작과 성능 검증에 관한 것이다. 따라서 제작되는 진동대는 지진파 같은 불규칙한 특성을 가지고 있는 시간 영역에서의 하중을 묘사하여야 하며 주파수 영역에서의 특성을 만족하여야 한다. 현재 지진파로 이용이 많이 되고 있는 것은 El Centro 및 Taft 지진파이다. 따라서 이와 같은 지진파를 묘사하는 진동대를 설계, 제작하여 추후 건물 모형과 감쇠기와의 진동특성 관계 및 진동 저감에 대하여 실험 분석하는 데 본 연구의 목적이 있다.

2.2 스텝핑 모터와 신호발생기

스텝핑 모터를 이용하여 원하는 진동대의 왕복운동을 구하려면 지진파의 특성을 이해하여 이에 해당하는 펄스 신호를 설계하여야 한다.

원하는 지진파의 자료가 컴퓨터로 입력이 되어 시간 간격 당의 응답차이에 대한 펄스신호의 갯수를 계산한 다음 그 결과를 신호발생기에 의하여 펄스를 발생하게 하여 스텝핑 모터가 구동하게 되는 것으로 신호발생기에 의하여 발생하는 신호는 다음과 같은 2종류이다.

- 모터의 회전 방향(정회전 또는 역회전 방향)을 지정하기 위한 정역신호
- 모터를 회전시키기 위한 펄스 신호

2. 본 론

2.1 구동기의 선택

진동대를 구동하기 위한 구동기(actuator)로는 유압, 공압 구동기와 전동기가 있다. 유압 구동

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

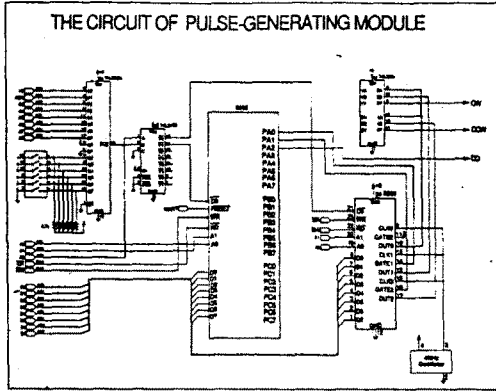


그림 1. Pulse-Generating Module 회로도

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

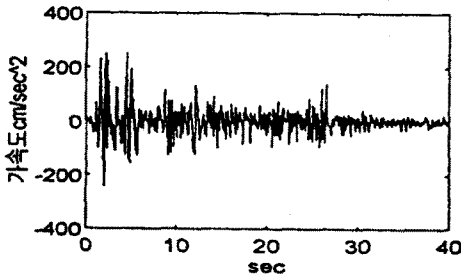


그림 2. El Centro 지진파

다음 그림은 지진파를 묘사하기 위하여 신호를 몇 개 발생하여야 하는 문제를 나타낸 것이다.

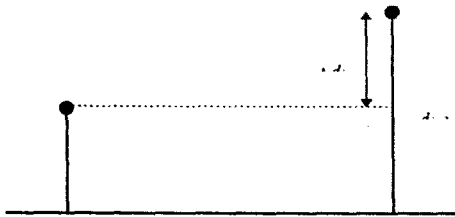


그림 3. 시간간격에 따른 진동변위의 차

t_i 와 t_{i+1} 는 시간간격을 의미하며 d_i 와 d_{i+1} 는 시간 간격에 따른 변위를 의미한다. 진동대가 변위의 차이 Δd_i 만큼 직진 이동을 하기 위해서는 해당되는 만큼의 신호를 이러한 시간 간격내에 발생시켜 모터를 회전시켜야 한다.

다음 그림은 스테핑 모터를 회전시키기 위한 펄스 신호의 보기이다.

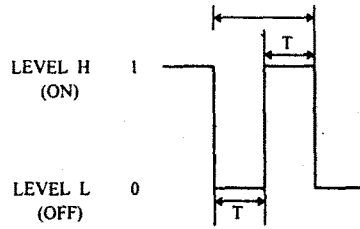


그림 4. 펄스 신호의 구성

여기서 T_d 는 주기, T 는 대기시간이다.

El Centro 지진 자료의 시간 간격이 0.02초이므로 이러한 시간에 다음과 같은 신호의 발생 개수가 산정되어 모터를 회전시켜야 한다.

$$\frac{\Delta t_i}{T_d} = \frac{0.02}{20 \times 10^{-6}} = 1,000 \text{ 개}$$

따라서 이러한 발생 신호의 개수를 이용하여 직진 이동하는 거리의 최대치를 산정하고 이것을 기준으로 하여 지진파의 축소를 하는 것이다.

위 식에서 $T_d = 20 \mu\text{sec}$ 로 정한 것은 본 진동대에 적용한 스테핑 모터의 성능을 고려한 것이다.

El Centro 지진의 경우 T_d 2초에 최대 신호발생수(1000개에 안전율 0.6을 곱한 600개)를 이용하여 안정된 진동대의 거동을 유지하려면 El Centro 지진을 축소하여야 한다. 그 이유는 스테핑 모터가 안정된 거동을 하기 위해선 급격한 신호 갯수의 변화가 있으면 안되기 때문이다.

시간간격에 따른 응답차이가 크면 해당되는 신호발생수가 증가하게 되고 또한 매시간 간격마다 신호 발생수의 변화가 심하면 모터가 0.02초당 회전이 매우 급격하게 변하므로 모터의 안정적 거동을 위협받게 된다.

본 연구에서 택한 스테핑 모터는 하나의 신호로 0.36도 회전하게 되어 있으며 3:1비율의 기어를 이용하므로 궁극적으로 한 신호로 0.12도 회전하게 되는 것이다. 따라서 3000개의 신호를 주어야 모터가 한 회전을 하는 것이다. 본 진동대의 직진 운동의 거리는 한 회전당 10mm로 설계되었기 때문에 한 신호당

$10 \text{ mm} / 3000 \text{ 개의 신호} = 0.0033 \text{ mm}$ 의 직진운동을 하는 것이다.

본 연구의 관심은 진동의 주파수 특성에 따른 분석이므로 진동의 진폭은 작게 결정하여도 상관없이 오히려 작은 값이 구조물의 변형에 따른 부가적인 진동 영향을 감소시킬 수 있으므로 바람직하다.

2.3 진동대 검증 실험

스테핑 모터를 이용한 진동대는 다음 사진과 같다.

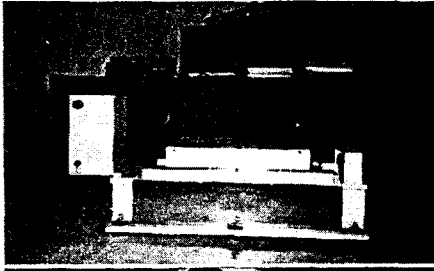


사진1. 진동대 전경

진동대의 검증을 위하여 다음과 같은 파에 해당되는 신호를 발생하여 진동대에 가속도계를 부착시켜 측정한 값과 비교하였다.

- 1/20축소된 El Centro 지진파

지진파는 모두 가속도의 값으로 되어 있으나 스텝핑 모터의 제어는 변위로 가능하기 때문에 지진파를 2회 적분한 변위 값을 진동대의 입력으로 이용하였다. 다음 그림은 입력파와 진동대에서 측정된 파의 비교를 시간 영역과 진동수 영역에서 나타낸 것이다.

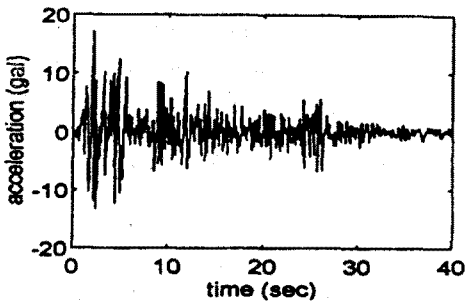


그림5. El Centro 지진 입력파 (NS 성분, 1/20 축소)

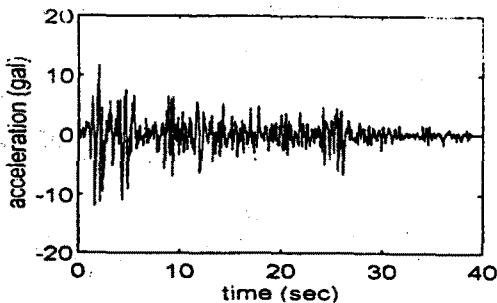


그림6. 진동대 출력파

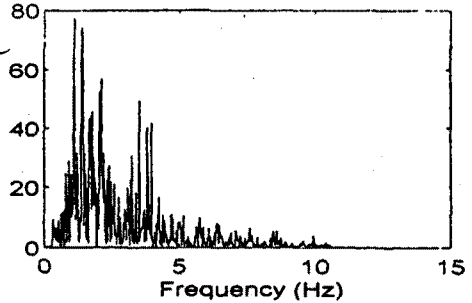


그림7. El Centro 지진 입력의 PSD

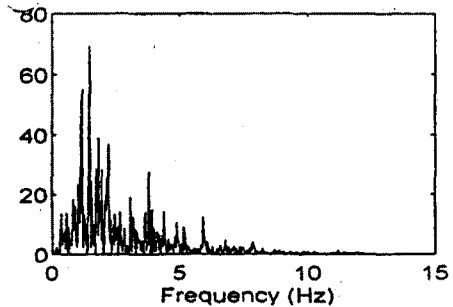


그림8. 진동대 출력 PSD

진동대에서 측정된 각각의 지진파는 실제 입력된 지진파와 거의 비슷한 것으로 나타났다. 시간영역에서는 물론 진동수 영역에서의 특성이 서로 비슷하여 스텝핑모터에 의한 진동대 제작은 만족스러운 것으로 여겨진다.

3. 결 론

본 진동대의 목적은 지진파의 크기보다는 특성을 묘사하여 축소 건물모형과 여기에 설치된 질량감쇠기의 진동성능을 파악하는데 있으므로 축소된 지진파를 입력파로 하였다. 진동대는 스텝핑 모터를 이용하여 제작하였으며 신호발생기를 사용하여 입력지진파에 대한 신호를 계산하여 모터를 제어하는 방법을 적용하였다. 진동대의 진동을 측정하여 그 특성을 비교한 결과는 매우 만족스러운 것으로 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] 스텝핑 모터의 활용기술, 도서출판 세운, 1993.
- [2] Mari Paz, "Structural Dynamics, Theory and Computation", 3rd ed. 1991.