

프레스 광전자식 방호장치의 충격진동 저감

최 승 주

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
(2011. 3. 24. 접수 / 2011. 9. 24. 채택)

Shock and Vibration Reduction of the Opto-Electronic Protective Device for the Press Machine

Seung-Ju Choi

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA
(Received March 24, 2011 / Accepted September 24, 2011)

Abstract : The vibration and shock of the opto-electronic protective device was induced mechanical failure or fail to work correctly. In order to identify the exciting frequency components of vibration and shock, vibration signals are measured and analyzed from the mechanical power press. In addition, the modal test for the opto-electronic protective device was performed to investigate the dynamic characteristics. Some FEM simulations were carried out and then anti vibration mount was made for opto-electronic protective device. Based on the results of simulations, some kind of rubber mounts were tested to demonstrate the reduction of vibration and shock. It was verified by the test that a considerable amount of vibration and shock were reduced.

Key Words : press machine, opto-electronic protective device, vibration

1. 서론

프레스에 부착되어 있는 광전자식 방호장치는 정밀한 기기로, 방호장치의 기능을 수행하기 위해서는 투광부와 수광부 또는 반사판이 정확하게 마주 보고 있어야 한다. 또한 2009년에 개정된 방호장치 의무안전인증고시에서는 IEC 규격을 반영하여 유효구경각(Effective Aperture Angle)이 1.5 m 내에서 5° 이하여야 하는 등 관련 규정이 강화되었다.

따라서 프레스 작업 시 발생하는 진동에 의해서 방호장치의 위치에 변동이 생긴다면 광정렬로부터 이탈하게 되어 방호장치의 오작동으로 인해 프레스를 작동할 수 없게 된다. 실제 현장에서는 이런 문제가 발생한다면 방호장치의 광축을 재 정렬하기 보다는 무효화하는 경우가 많아 재해를 예방할 수가 없게 된다¹⁾.

또한 진동으로 인하여 광전자식 방호장치에서 고장이 발생하는 경우도 많은데, 지난 연구에 의하면 광전자식 안전장치가 1년 이내에 발생하는 초기고장률이 63%로 매우 높은 것으로 조사되었다.

고장 발생의 원인으로 55%가 진동에 의한 것으로 나타났으며 주요 고장 발생부위도 투광부 내부의 납땀이 진동에 의해 탈락하는 것이 대부분인 것으로 나타났다²⁾. 그러나 이런 문제가 오래전부터 알려져 있었으나 관련 연구는 거의 없었다.

본 연구에서는 광전자식 방호장치의 진동을 저감하기 위한 것으로 광전자식 방호장치가 프레스의 진동에 견딜 수 있는 구조를 모색하고자 하였다. 이를 위해 외부 가진에 대한 분석을 하였다. 그리고 기존 광전자식 방호장치의 동특성을 파악하는 실험을 하고 그 결과를 토대로 기본 구조를 유한요소로 모델링 하여 구조적 특성과 동적 특성을 파악하였다. 또한 유한요소해석으로 개선안을 도출하고 실험적 방법을 통해 검증하였다.

2. 광전자식 방호장치의 가진원 분석

2.1. 이론적 배경

프레스의 가진력은 수학적으론 질량 m 인 물체가 어떤 높이에서 자유낙하 할 때, 질량 M 인 물체의 진동응답으로 표현할 수 있다. 이 때 시스템의 운동

방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f \quad (1)$$

질량 M 의 거동은 초기속도가 있는 자유감쇠 진동계로 취급될 수 있으므로, 전달되는 힘은 위상을 고려하면 다음과 같이 표현된다.

$$F_t = \frac{V_0 k}{\omega_d} e^{-\zeta\omega_d t} \left\{ (1 - 2\zeta^2) \sin\omega_d t + 2\zeta\sqrt{1 - \zeta^2} \cos\omega_d t \right\} \quad (2)$$

충격진동에 의한 구조물의 일반적인 주요 인자는 초기에 전달되는 충격하중의 크기와 진동의 지속시간으로 앞에서 언급한 바와 같이 프레스의 진동이 초기속도를 갖는 자유진동 시스템이라고 가정한다면 프레스의 과도응답의 최대 크기와 입력 가속도의 최대값의 비가 충격진동을 평가하는 데 중요한 물리량이 된다. 프레스의 진동이 광전자식 방호장치로 전달되는 것으로 일반적으로 감쇠율은 매우 작으므로 그 전달률은 식 (3)을 만족한다고 할 수 있다.

$$TR = \frac{1}{|1 - r^2|} \quad (3)$$

따라서 시스템의 고유진동수를 낮추면 충격 진동의 전달률이 작아지게 된다³⁾.

2.2. 가진원 측정 실험

앞에서 언급한 바와 같이 프레스 가공작업에서 발생하는 진동은 충격에 의한 자유진동 시스템으로, 그 형태는 Fig. 1과 같다. 측정위치는 방호장치

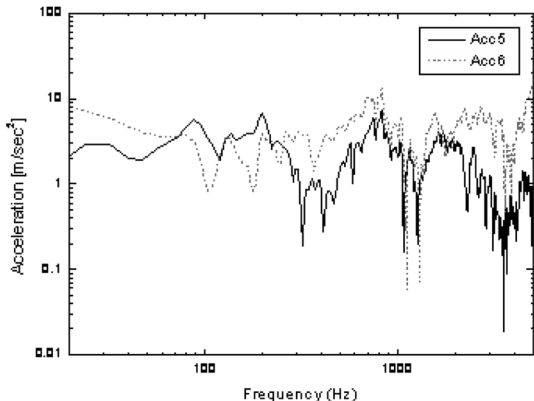


Fig. 1. Frequency response function of the excitation force.

접합부와 가까운 금형 앞 쪽의 볼스터에서 측정된 값으로, 공작물의 두께 등과 관계없이 유사한 형태의 주파수 스펙트럼을 얻었다. 이를 살펴보면 10~4,000 Hz에 이르는 넓은 주파수 영역의 진동이 발생되고 있는 Impulse의 진동 패턴임을 알 수 있다⁴⁾. 이에 따라 본 연구에서 광전자식 방호장치의 가진원은 일반적인 충격 진동으로 고려하고 진행하였다.

3. 기존 광전자식 방호장치의 분석

광전자식 방호장치의 진동 성능 개선을 위해 기존의 광전자식 방호장치의 동특성을 파악하는 것이 필요하다. 연구 대상인 광전자식 방호장치는 Table 1과 같으며 이 방호장치는 앰프를 내장하고 있는 반사식으로 유효작동거리가 짧은 단점이 있지만 가격이 저렴하여 소규모 사업장에서 주로 사용되고 있는 저용량 프레스에 설치되는 모델이다.

기존의 광전자식 방호장치의 진동특성을 파악하기 위해 Fig. 2와 같이 모드 실험을 통해 시스템을 분석하였다. 모드 실험의 경계조건은 설치 방법에 따라 30°로 설치한 상태에서 볼트를 이용하여 고정하였다. Roving Hammer 방법으로 한 점에 3축 어댑터를 이용하여 3축의 가속도를 측정하고 가진점을 옮겨가며 총 10개의 포인트에서 측정하였다.

Table 1. Specifications of opto-electronic protective device

Model	SK-QA6000A
광원	적외선 LED
검출거리	0.4-4 m
광축수	6
검출폭	200 mm
중량	투광기 : 1,425 g 반사판 : 800 g 거치대 : 2,000 g

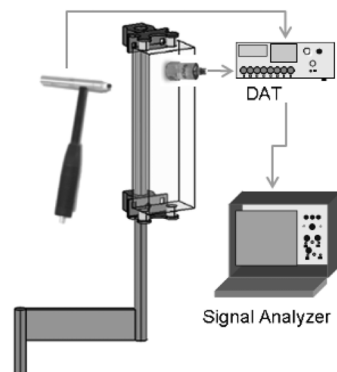


Fig. 2. Modal Test를 위한 구성.

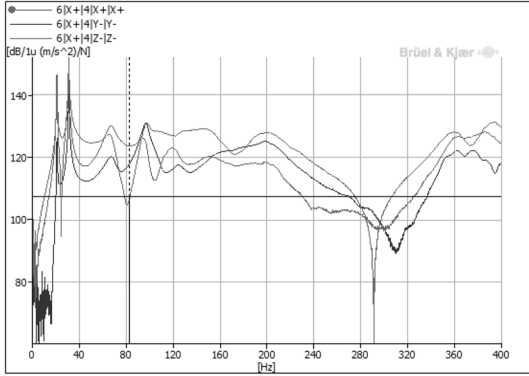


Fig. 3. Frequency response function on top corner of device.

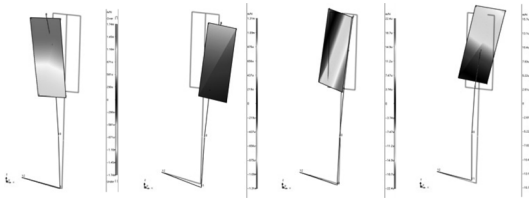


Fig. 4. Mode Shapes of the current opto-electronic protective device.

Fig. 3은 광전자식 방호장치의 윗부분에서 좌우 방향으로 측정한 주파수응답함수이며, 모드 실험의 결과를 중첩하여 구한 모드 형상은 Fig. 4와 같다.

그 결과를 확인해보면 1차 고유진동수는 21.0 Hz(전후 벤딩), 2차 고유진동수는 31.1 Hz(좌우 벤딩), 그리고 3차 고유진동수는 70.0 Hz(틸팅)로 나타났다. Fig. 3의 주파수응답함수를 살펴보면 2차 고유진동수에서 최댓값(Peak value)이 가장 크며 방호장치의 설치 형태를 고려해 볼 때, 작업 중 발생하는 진동에 의해 방호장치가 회전 방향으로 움직임이 발생할 가능성이 큼을 알 수 있다.

4. 유한요소해석을 활용한 설계변수 도출

광전자식 방호장치의 유한요소모델을 수립하고 Simulation을 통해 진동을 저감할 수 있는 설계변수를 도출하고자 하였다. 우선 유한요소모델이 실제 모델과 개연성이 있는가를 실험결과와 비교 검토하였다. Fig. 5는 기존 광전자식 방호장치의 유한요소모델을 보이고 있다. 이 유한요소모델을 가지고 LS-Dyna를 이용하여 모드 해석을 한 결과를 Table 2에 나타내었다.

해석 결과와 앞의 실제 모델의 실험결과가 고유진동수와 모드 형상이 대부분 일치하여 Fig. 5의 모델은 실제 모델과 개연성을 갖는 것으로 판단된다.

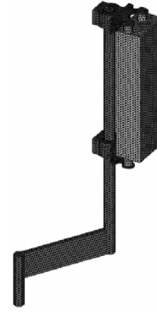


Fig. 5. Finite element model of opto-electronic protective device.

Table 2. Results of the finite element model analysis

Number	1st	2nd	3rd	4th
Real model	21.0	31.1	70.0	97.4
Finite element model	22.9	33.0	69.2	98.9

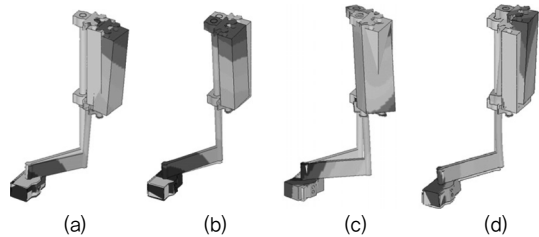


Fig. 6. Mode Shapes of the new finite element model at (a) 7.34 Hz, (b) 7.97 Hz, (c) 49.1 Hz and (d) 56.5 Hz.

Fig. 5의 유한요소해석 모델을 가지고 새로운 광전자식 방호장치의 설계변수를 도출할 수 있다.

유한요소해석을 통해 시스템의 고유진동수를 낮추기 위해 접합부에 방진 마운트를 설치하였고 해석을 수행한 결과는 Fig. 6과 같다.

해석 결과의 모드 형상을 보면 기존의 모델과 경향은 비슷하나 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 1차, 2차 모드의 경우 전후, 좌우의 벤딩 모드였으나, 개선 후에는 방진패드의 영향으로 강제 모드에 가깝다. 방진패드의 강성에 의해 모든 고유진동수가 기존에 비해 낮아지는 진동 절연 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

5. 시제품 제작 및 실험 검증

시중에서 유통되는 몇 종류의 고무를 이용하여 방진 마운트를 설치하고 실험을 수행하였다. 실험을 수행한 고무 재료는 NBR(Acrylonitrile butadien, nitrile rubber), CR(chlorobutadien, neoprene), EPDM

Table 3. Experimental results by kind of rubber

Material	1st	2nd	3rd	4th	Peak Value
CR	19.0	67.1	78.5	109.9	129.9dB (@67.1Hz)
EPDM	17.5	20.8	66.8	87.6	134.4dB (@17.5Hz)
NBR	16.5	20.9	66.5	78.0	129.6dB (@16.5Hz)
Silicone	7.0	9.25	58.6	63.1	131.6dB (@63.1Hz)
VITON	19.5	67.4	77.88	114.0	129.3dB (@67.4Hz)

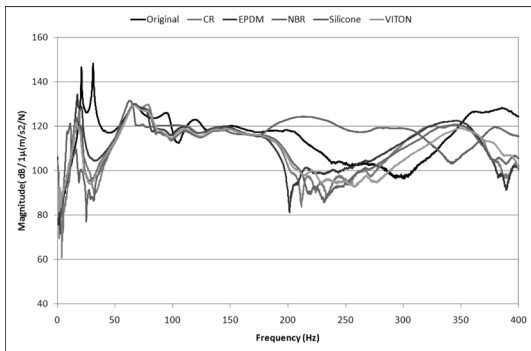


Fig. 7. Frequency response functions by kind of rubber.

(Ethylene-propylene-diene), VITON, 실리콘이었으며 각 재료의 시험 결과는 Table 3과 Fig. 7에 나타내었다.

특히 실리콘의 경우 1차, 2차 고유진동수가 대폭 낮아졌으며, 최대 Magnitude가 4차 고유진동수에서 발생하였다. 또한 VITON은 고유진동수의 변화는 거의 없었으나 최댓값(Peak Value)이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이런 결과로 볼 때, 광전자식 방호장치를 설치할 때, 고무 마운트를 사용함으로써, 구조의 고유진동수를 낮추어 진동 절연의 효과를 얻을 수 있으며, 고무 자체의 감쇠 효과 등을 통해 진동의 최댓값에서 약 18 dB의 진동 저감 효과를 얻을 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 광전자식 방호장치의 진동을 저감하기 위하여 유한요소해석을 활용하여 설계변수를 도출하고 시제품을 제작해 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 광전자식 방호장치에 대한 가진원은 프레스 가공에 의한 것으로 10~4,000 Hz의 넓은 주파수대역에서 진동이 발생하고 있어, 광전자식 방호장치의 진동을 저감하기 위해선 가진주파수의 회피보다는 시스템의 고유진동수를 낮추어야 한다.

2) 광전자식 방호장치는 좌우 벤딩이 발생하는 모드에서 가장 큰 Magnitude를 가지며, 이에 따라 프레스 가공작업에서 발생한 진동에 의해 광축이 오정렬될 가능성이 높다.

3) 광전자식 방호장치의 마운트로 실험한 고무 재료 중에서, Silicone이 고유진동수가 가장 낮아졌으며, VITON은 감쇠효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 그러나 각 고무들은 기계적 특성이 다르고 내구성 및 크리프율이 다르기 때문에 적절하게 재료를 배합하여 사용하는 것이 좋을 것이다^{5,6)}.

참고문헌

- 1) 신운철, 정원제, 최승주, “프레스 위험기계 · 기구 구조개선 개발 연구”, 산업안전보건연구원, 2009.
- 2) 윤상용, “위험 기계류 안전장치의 수명 예측을 위한 내환경적 영향평가”, 산업안전보건연구원, pp. 32~43, 2001.
- 3) 정정교, 박진일, 박해동 등, “타공형 방음벽 프레스의 방진대책”, 한국소음진동공학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp. 656~661, 2001.
- 4) 이광길, 박재석 등, “고소음발생기계류의 소음저감을 위한 공학적 대책연구(III) -프레스 블랭킹작업소음 저감을 중심으로-”, 산업안전보건연구원, pp. 40~43, 2005.
- 5) Rivin, E. I., “Passive Vibration Isolation”, ASME Press, pp. 235~538, 2003.
- 6) Lemieux M. A. and Kilgoar P. C., “Low Modulus, High Damping, High Fatigue Life Elastomer Compounds for Vibration Isolation”, Rubber Chemistry and Technology, Vol. 57, pp. 792~803, 1984.