

## 타공형 방음벽 프레스의 방진대책

### Vibration Control of Press for soundproof barrier

°정정교\*, 박진일\*, 박해동\*, 김두훈\*

°Jeoung Jeoung-Kyo\*, Park Jin-II\*, Park Hae-Dong\*, Kim Doo-Hoon\*

#### 요약문

생산 현장의 진동환경은 부품생산활동과 관련된 공정변수중 대표적인 것으로 기계 부품 생산의 품질 및 생산품의 불량률에 큰 영향을 미치며 또한 주변으로 전파된 진동은 우수한 진동환경을 요하는 다른 생산장비에 나쁜 영향을 미치기도 한다. 본 연구의 대상은 공장의 이전으로 인한 환경변화에 의해 발생한 타공형 방음벽 생산 프레스의 진동을 제어하기 위해 바닥의 진동 가속도 레벨을 측정하고 DIN 5140에 제시된 기준에 적합하도록 방진 시스템을 설계하였으며 그 결과 방진전과 비교하여 약 20 dB 가량의 바닥 진동 가속도 레벨이 감소하였다.

#### 1. 서론

생산 현장의 진동환경은 부품생산활동과 관련된 공정변수중 대표적인 것으로 기계 부품 생산의 품질 및 생산품의 불량률에 큰 영향을 미치며 또한 주변으로 전파된 진동은 우수한 진동환경을 요하는 생산장비에 나쁜 영향을 미치기도 한다. 생산 설비에서는 여러 가지의 진동 요인이 있으며 이중 프레스에 대한 충격하중의 경우는 과도 응답 특성을 나타낸다. 충격하중을 발생시키는 기계에 대한 진동 대책은 기계에서 발생하는 진동의 조건에 따라 달라지게 된다. 통상적으로 기계에서 발생하는 진동이 어느 정도 허용된다고 가정하면, 4 - 6 Hz 이상의 속도로 작업되는 기계의 경우에는 시스템을 유연하게 만들어 진동을 저감하고 반대의 경우에는 시스템의 강성을 높여 진동을 저감하도록 설계를 한다.<sup>[1]</sup>

즉, 프레스의 방진대책은 먼저 적용대상의 기계의 특성을 충분히 고려하여, 기계 자체의 성능을

우선적으로 보장해야하고, 기계가 발생시킨 가진력이 바닥을 통해 주위로 전달되는 것을 최소화 되도록 진행되어야 한다.

본 연구는 공장의 이전으로 인한 환경변화에 의해 발생한 타공형 방음벽 생산 프레스 진동제어를 목표로 건축물에서의 진동 절연 장치의 설계 기준 및 충격하중을 받는 시스템의 특성에 대해 이론적으로 접근하였고 탄성재질을 이용하여 진동절연을 하였을 경우와 하지 않았을 경우의 바닥의 가속도를 비교함으로써 실험적으로 진동 저감 효과에 대해 기술하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 방진 평가 기준의 선정

충격 진동은 크게 두 가지 부류로 분류된다. 첫 번째는 기초부의 운동이 전달되는 경우로 철도차량의 궤도 및 비행기 착륙 기어 등에 작용하는 충격이 이에 해당하고 두 번째 부류는 기계 자체에서 생성되는 진동이 기초부로 전달되는 경우로 왕복동 프레스, 자유낙하 해머 등이 있다. 여기서 다루고자 하는 것은 두 번째 부류로 프레스에서

\*유니슨산업(주) 유니슨기술연구소

발생하는 충격하중의 바닥전달을 차단하는 것을 목적으로 한다. 진동 방진의 방법에 대해서 크게 분류한다면 발생원의 대책, 전파경로 대책, 수신점 대책으로 나눌 수 있으며 발생원 대책은 구체적으로 진동 발생기구를 교체, 수리, 혹은 다른 기구로 대체함으로써 줄일 수 있는 방법과 기초로 전달되는 힘을 감소시키는 방법이 있으며 전파경로 대책은 차단구멍, 방진구 완충지역 등을 통해 전달파를 차단하거나 거리감쇠 효과로 진동을 저감하는 것을 말하며 수신점 대책은 건물구조 개조 등으로 진동을 저감시킨다. 우선 방진재료를 이용하여 진동 전달력을 감소시키고 감소된 값이 구조물에 미치는 영향을 충분히 줄일 수 없다면 전파 경로 차단 및 구조물 개조의 진동 대책을 수행할 수 있으며 이때에는 성능 개선대 비용의 검토가 어느 정도 이루어져야 한다. 타공형 방음벽 생산 프레스는 얇은 타공판을 고속으로 생산하기 때문에 타공시 발생하는 충격 소음 및 진동이 주기적으로 발생한다. 따라서 일시적인 진동에 대한 기준이 아닌 지속적인 진동에 대한 허용 기준을 사용한다.

표 1. 진동량에 대한 인체의 지각 정도<sup>[2]</sup>

지각 정도	가속도 (mm/s <sup>2</sup> )	속도 (mm/sec)
	1-10 Hz	10-100 Hz
지각하지 못함	10	0.15
약간지각	40	0.4
확실히 지각	125	2.0
짜증을 일으킴	400	6.4
불쾌하고 지속되면 고통스러움	1000	16.0
해를 끼침	1000 이상	16.0 이상

표 2. 지속적인 진동에 대한 건물의 허용진동속도 (DIN 5140 -PART 3 1986년 개정판)<sup>[3]</sup>

건물의 등급	I	II	III
건물의 형식	상업 혹은 산업용 건물	주거용 건물 연립주택, 단독주택, 아파트	진동예민 구조물 취약건물, 문화재
건물의 허용 진동속도 $V_R$	$\leq 5$ mm/sec (0.2 in/sec)	$\leq 5$ mm/sec (0.2 in/sec)	-
※ 측정위치는 구조물 기초이며 10Hz 이하의 진동에 반응하는 허용진동속도이다.			

표1과 표2는 인체가 인지하는 진동량의 정도 및 지속적인 진동에 의한 건물의 허용진동속도를 기준으로 나타내었다. 건물에 대한 허용진동속도보다 인체가 지각하는 진동의 레벨이 작다. 그러므로 인체가 진동을 약간 지각하는 정도인 10 -100 Hz 사이에 0.4 mm/sec 이하 1-10 Hz 사이에 40 mm/sec<sup>2</sup> 안에 진동레벨이 들어오도록 방진시스템을 설계하고자 한다.

## 2.2 이론적 배경

타공형 방음벽 프레스에서 발생하는 진동은 다음의 요인에 의해 발생하게 된다.

- 프레스와 금형의 1차 충격량
- 프레스와 금형의 2차 충격량
- 타공후 금형내 스프링에 의한 복원 충격

저속의 단조용 프레스의 경우 50~60 rpm으로 대단히 저속이기 때문에 공기 스프링을 사용하더라도 고유진동수를 운전주파수 이하로 맞추기가 어렵다. 그러나, 프레스에 있어서 진동은 충격파형에 의한 것임으로 운동 회전주파수는 10 ~15 Hz 이기 때문에 방진재로서 공기스프링을 사용할 때, 고유진동수를 1.5~2.5 Hz 정도로 선정한다면 방진저감 효과를 얻을 수 있다.

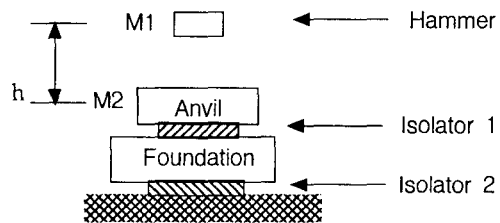


그림 1. 충격 진동의 개념도

프레스의 가진력은 그림 1과 같이 충격 진동시스템에서 질량  $M_1$  인 물체가 높이  $h$ 에서 자유낙할 때, 질량  $M_2$  물체의 진동응답으로 표현할 수 있다. 이 때 시스템의 운동 방정식은 식 1과 같이 표현된다.

$$M_2 \ddot{x} + C \dot{x} + Kx = f \quad \text{식 1}$$

질량 ( $M_2$ )의 거동은 초기 속도가  $V_0$ 로 주어지는 자유 감쇠 진동계로 취급될 수 있으며 식 2 와 같이 표현된다.

$$y(t) = \frac{V_0}{\omega_d} e^{-\zeta\omega_n t} \sin \omega_d t \quad \text{식 2}$$

이 때,  $M_2$ 의 초기 속도는 운동량 보존의 법칙에 의해 식 3과 같이 표현된다.

$$V_0 = \frac{M_1 V_1}{(M_1 + M_2)} \quad \text{식 3}$$

또한 기초로 전달되는 힘은 위상을 고려하면  $F_t = ky + c\dot{y}$  의 관계식에 따라 다음과 같이 표현된다.

$$F_t = \frac{V_0 k}{\omega_d} e^{-\zeta\omega_n t} \{ (1 - 2\zeta^2) \sin \omega_d t + 2\zeta \sqrt{1 - \zeta^2} \cos \omega_d t \} \quad \text{식 4}$$

충격 진동에 의한 구조물 및 바닥의 진동의 주요한 인자는 초기에 전달되는 충격하중의 크기와 진동의 지속시간이다. 이 때 앞서 고찰한 바와 같이 질량  $M_2$ 의 진동이 초기 속도를 가지는 자유진동 시스템이라고 장비의 과도 응답의 최대 크기와 입력 가속도의 최대값의 비가 충격진동을 평가하는 데 중요한 물리량이 된다. 각 시스템에 대하여 응답의 최대 가속도와 입력 가속도의 비를 그래프로 표현한 것을 충격 스펙트럼이라고 하며 그림 2 와 같이 표현된다.<sup>[4]</sup>

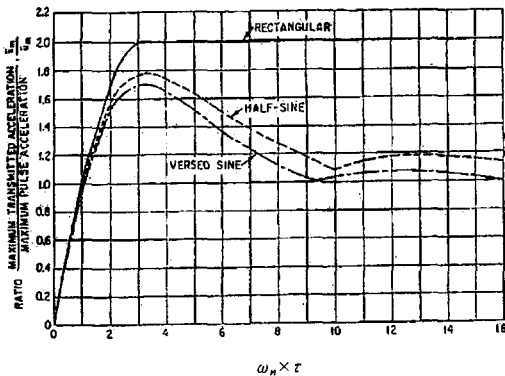


그림 2 충격 스펙트럼

$T/T_n$  값이 작은 경우는 식 5를 만족한다. 주로 충격하중의 시간 지속 시간이 시스템의 고유 주기보다 충분히 작으므로 대부분의 시스템이 식 5를 만족한다고 할 수 있다.<sup>[5]</sup>

$$\frac{F_r}{F_0} = 1.27\pi \frac{T}{T_n} \quad \text{식 5}$$

따라서 시스템의 고유진동수를 낮추면 충격 진동의 전달율에 이득을 얻을 수 있다.

### 2.3 프레스의 사양 및 진동 특성

타공형 방음벽 프레스는 왕복운동에 의해 회전운동을 직선운동으로 변환하여 두께 1.5 mm, 폭 50mm 의 철판을 연속적으로 타공하는 장치이다. 프레스의 형상은 그림 3과 같고 사양은 표 3에 정리하였다. 프레스의 정상상태는 90 rpm 이고 회전운동을 왕복 직선운동으로 변환하여 프레스 압력을 발생시킨다.

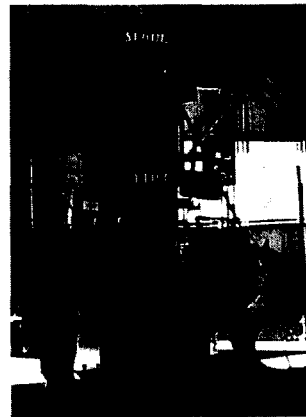


그림 3 프레스의 형상

표 3. 타공형 방음벽 프레스 사양

항목	사양	항목	사양
Capacity	110 ton	Bed to floor	900 mm <sup>2</sup>
rpm Variable	50	Motor main	11×4 kw×p
DIE height	450 mm	Motor slide adjust	0.4×4
Cushion capacity	13 tonf	Motor slide adjust	0.4×4

장비의 무게는 13 ton 이며 최대 110 ton의 힘을 발생할 수 있다. 회전 운동을 왕복 직선 운동으로 변환하였을 때, 발생하는 힘과 관성력은 식 6과 같이 표현되며 여기서는 고정 지지된 바닥구조물의 응답과 바닥의 동적 강성을 측정하여 프레스의 충격하중을 추정하는 방법을 택하였다.

$$F_x = m_p r \omega^2 \left( \cos \omega t + \frac{r}{l} \cos 2\omega t \right) \quad \text{식 6}$$

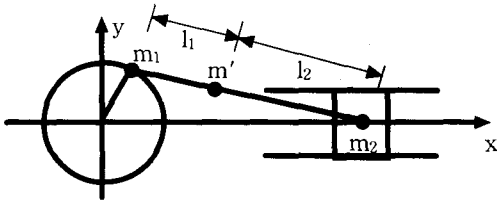


그림 5 왕복 운동과 직선운동의 관계

그림 6는 타공판의 금형을 나타낸다. 약 150개의 작은 타공을 한번에 찍을 수 있도록 설계되어 있다.

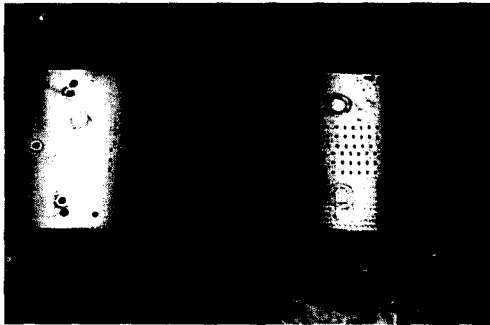


그림 6. 타공 금형

힘 변환기를 부착한 충격해머로 공장 바닥을 가진하고 가속도계를 이용하여 충격 지점과 인접한 바닥의 가속도를 측정하여 바닥의 진동 특성을 파악하였다. 이 때 사용된 힘변환기는 B&K 8201 이고 가속도계 Dytran 3191A이며 그 사양은 표 4와 같다. 프레스가 설치된 바닥의 모빌리티를 그림 7에 나타내었으며 콘크리트 바닥의 두께는 약 30 cm 이다. 10 - 100 Hz 사이에 주파수 응답함수가 0.3 (mm/s<sup>2</sup>)/N 정도의 비교적 평탄한 특성을 나타내고 있다.

표 4. 장비 사양

힘 변환기		가속도계		
B&K 8201		Dytran	3191A	3100B
최대힘	~ 16 kN	감 도	519.29 mV/m/s <sup>2</sup>	100 mV/m/s <sup>2</sup>
주파수	~ 20kHz	주파수	0.1~1kHz	0.5~3kHz

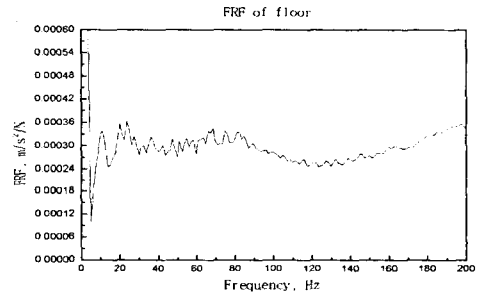
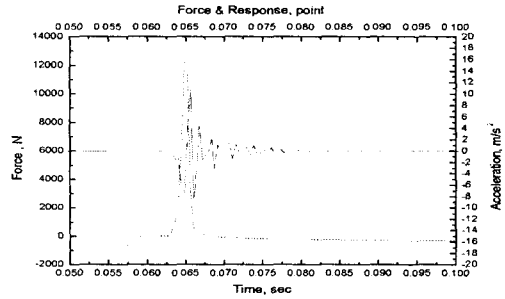
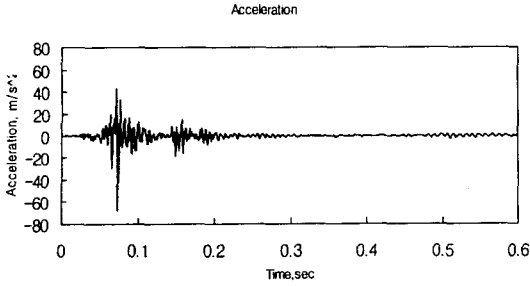
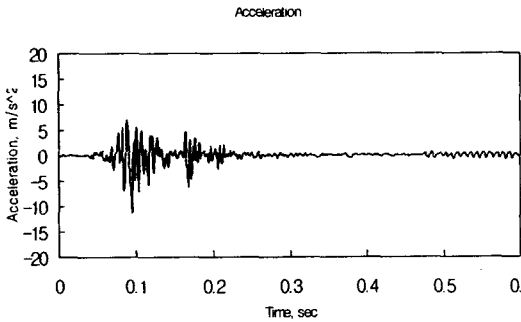


그림 7 바닥의 진동 특성

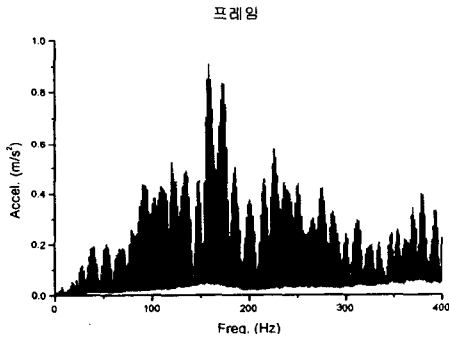
방진대책전 운전시의 프레임과 바닥에서의 가속도를 그림 8에 나타내었다. 프레스가 설치되는 프레임의 가속도를 측정하였고 바닥 응답의 측정 위치는 프레스 인근 및 2, 4, 8 m 떨어진 위치이며 수직진동 가속도를 측정하였다. 방진 대책전의 가속도 최대치와 오버울값을 정리하여 표 6에 나타내었다. 프레임의 가속도 스펙트럼에서는 26.75 Hz 에서 110 mm/s<sup>2</sup>, 38.75 Hz : 190 mm/s<sup>2</sup>로 충격시간이 비교적 짧게 나타났으며 바닥 스펙트럼은 26.75 Hz 성분이 70mm/s<sup>2</sup>, 38.75 Hz 성분이 90 mm/s<sup>2</sup>로 비교적 높은 주파수 성분임을 알 수 있다. 바닥의 진동 오버울값은 1,370 mm/s<sup>2</sup>으로 표 1에 나타난 진동지각 정도로는 바닥 진동은 사람이 확실히 느낄 수 있는 정도의 레벨이며 바닥의 균열 등 건물에 영향을 줄 수 있을 정도의 레벨로 진동하고 있다.



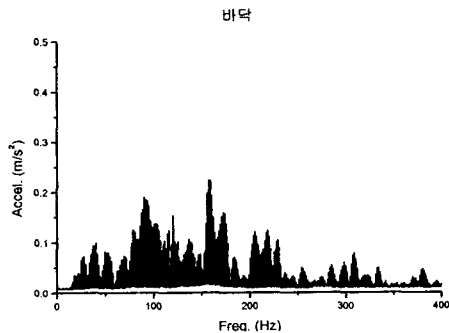
(a) Frame, time



(b) Floor, time



(b) frame



(c) Floor

그림 8. 방진대책전의 프레스의 진동특성

## 2.4 방진대책 후, 프레스의 진동특성

2.2 절의 식 5와 같이 방진 시스템의 고유진동수를 낮추기 위해 아래 사양과 같은 탄성패드를 이용하였다. 방진패드의 크기는 정방형의 가로 및 세로가 50 mm 이고 두께가 19 mm 이며 정격하중 100 kgf를 가했을 때 정적 처짐이 3 mm 발생한다.



그림 8. 탄성패드

표 5. 방진재료의 특성

Dimension	Capacity, kgf	Rated Deformation	Durometer
50×50×19	100	3 mm	60±5

사용된 방진패드의 설치는 88개의 패드를 설치하여 실험한 결과와 88개의 패드를 두 층으로 겹쳐 설치한 두 경우에 대해 프레스 운전시의 진동 가속도를 측정하였다. 여기서 시스템의 고유진동수는 7.48 Hz에서 5.29 Hz 류 변하며 식 5에 따르면 전달되는 힘의 최대 값이 약 30 % 정도 감소됨을 예측할 수 있다.

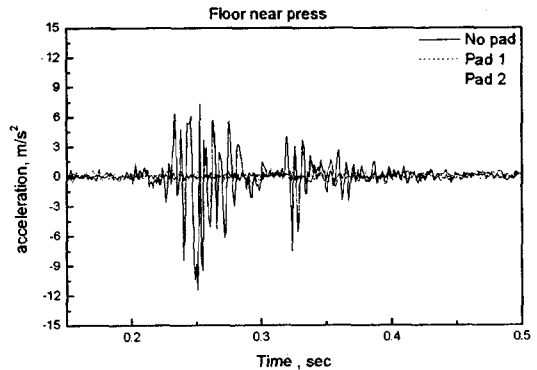


그림 9 방진대책 전후의 바닥 가속도 그래프

그림 9 및 표 6은 방진대책을 한 후와 하기전의 가속도 값을 비교하여 나타내고 있다. 방진재를 사용하여 프레스의 진동을 박진한 후, 시간영역에서는 프레임에서의 최대 가속도 및 바닥의 최대

가속도 값 모두가 감소하였다. 프레스 프레임에서의 변위값은 20~40 % 증가하였으며 이는 변위에 기여하는 주파수 성분이 저주파이기 때문에 시간 영역에서의 가속도 최대치의 경향과 차이가 있다고 판단된다. 바닥에서는 거리에 따라 대책전의 가속도 값의 15 % 이하의 수준으로 줄어들었다.

표 6. 방진대책 전후의 가속도 값

Time peak, 단위 : gal ( cm/s<sup>2</sup> )

Measurement Location	No Pad	PAD 1	PAD 2
Frame	11646.0	8851.9	8458.3
Floor(A)	1259.3	206.0	82.5
Floor(B)	1522.7	169.66	133.3
8 m	37.5	5.32	2.53

### 3. 결 론

본 연구에서는 DIN 5140에 따라 건물에 유해하지 않은 정도의 가속도 레벨과 인체가 지감하는 진동 레벨과 비교 하여 고찰하여 보았으며 타공형 방음벽 생산 프레스의 충격 특성을 실험하고 충격에 의한 바닥의 진동을 허용 가속도 내에 들도록 고무 패드를 설치하여 20 dB 정도의 진동 레벨 저감의 효과를 보았다.

### 참고문헌

1. Hugo Bachmann, Warter J. Ammann, "Vibration Problems in Structures", 1994, pp43-46
2. 한국고속철도건설공단, "고속철도 환경소음기준 및 진동 기준에 대한 연구", 1995, pp 9
3. DIN 5140-PART 3, "Structural Vibration in Building"
4. Cyril M. Harris, "Handbook of machine foundation", pp 31.26
5. 한국소음진동공학회, "소음진동편람", pp301~339