

## 실린더 벽면 치수변화에 따른 변형이 충격흡수장치 감쇠계수에 미치는 영향

한근조(동아대 기계공학과), 안찬우(동아대 기계공학과), 안성찬(동아대 대학원  
기계공학과), 심재준(동아대 대학원 기계공학과), 김성윤(동아대 대학원 기계공학과)

### The Effect of Impact Absorbing System Deformation According to the Variation of Cylinder Wall Dimensions on Damping Coefficient

G. J. Han(Mech. Eng. Dept., Dong-A), C. W. Ahn(Mech. Eng. Dept., Dong-A), S. C. Ahn(Mech. Eng. Dept.,  
Dong-A), J. J. Sim(Mech. Eng. Dept., Dong-A), and S. Y. Kim(Mech. Eng. Dept., Dong-A).

#### ABSTRACT

Many malfunctions take place in container crane spreader due to impact. So we designed a hydraulic impact absorbing equipment to absorb the impact and we studied the change of damping coefficient with respect to the variation of dimensions of oil-cylinder wall. When we design the dimension of hydraulic cylinder wall considering the displacement on the wall, the value of it over 20mm didn't affect the damping coefficient

**Key Words** : Container crane spreader (컨테이너 크레인 스프레더), Impact absorbing system(충격흡수장치), Damping coefficient(감쇠계수), Hydraulic cylinder(유압실린더)

#### 1. 서론

1990년 우리나라의 연간 컨테이너 처리 물동량은 2,348(천)TEU였다. 선박 건조 기술 발전에 따라 컨테이너 수송선의 선적 능력이 지난 10년 동안 1.5배 이상 증가하였으며, 우리나라는 경제성장으로 인한 수출입 물동량 증가로 부산항의 1999년 컨테이너 처리 실적은 7,540(천) TEU로 급격하게 증가하였다. 하지만 부산항의 경우 2000년 연간 컨테이너 처리 능력은 4,253(천)TEU에 불과하였으며, 앞으로 더욱 늘어날 컨테이너 물동량을 처리하기에는 부족한 실정이다. 항만의 처리능력을 높이기 위해서는 컨테이너를 운반하는 스프레더의 성능향상이 필요로 되어진다. 스프레더를 이용하여 컨테이너를 운반할 경우 스프레더와 컨테이너 사이에 발생하는 충격력은 스프레더 고장의 직접적인 원인이 되며, 이것은 곧 작업능률 저하로 이어진다. 스프레더의 충격력을 줄이기 위하여 스웨덴 BROMMA社는 스프레더 충격부에 유압 Absorber를 장착하였고, 싱가포르의 RAM社는 충격부에 방진고무를 장착함으로써 충격력을 감소시켰다.

RAM社와 같이 충격부위에 장착된 방진고무는

한 방향의 충격력만을 흡수 할 수 있으며, 충격흡수율 또한 크지 않다. 그러나 유압 Absorber는 양방향 충격을 흡수 할 수 있으며, 약 40%의 소음감소와 100%에 가까운 충격흡수율을 보인다.

본 연구에서는 스프레더용 1자유도계 충격흡수장치를 구상하여 유압실린더의 치수변화가 감쇠계수에 미치는 영향을 살펴보았다. 이상적인 감쇠값을 유도한 후 유한요소 프로그램인 ANSYS 5.6을 이용하여 벽면치수에 따른 직경의 변화를 관찰하였다. 그리고 직경변화가 전체 감쇠계수에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

#### 2. 1자유도계 유압실린더의 감쇠계수

##### 2.1 1자유도계의 지배방정식

스프레더와 컨테이너 사이에 발생하는 충격력  $F$ 는 100,000N으로 충격 작용시 시간에 따른 반력을 고려한 것이다. 질량  $m$ 은 9.8N으로 피스톤 로드의 질량이다. 스프레더용 1자유도계 충격흡수장치에서 이상적인 감쇠를 위해서 스프링상수는

$k=399,970\text{N/m}$ , 감쇠계수  $C=200,000\text{N}\cdot\text{mm/sec}$ 를 유도하였으며 지배 방정식은 식 (1)과 같다.

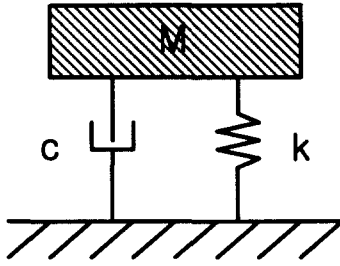


Fig. 1 Schematic diagram of impact absorbing system with 1 DOF

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \quad (1)$$

## 2.2 감쇠계수의 정의

일반적인 대쉬포트의 감쇠계수 ( $C_g$ )는 다음 세가지 정의에 의해서 수식으로 유도될 수 있다.

- 1) 유체의 미소체적에 작용하는 힘의 합은 일정하다.
- 2) 오리피스를 통과한 유체량과 피스톤이 움직인 체적은 같다.
- 3) 피스톤이 일정한 속도  $v_0$ 로 하강할 때 충격력은  $F = cv_0$ 이다

Figure 2와 같이 오리피스와 대쉬포트 모두 가지는 형상의 감쇠계수 ( $C_i$ )는 오리피스 직경  $d_o$ , 실린더 벽면과 피스톤과의 간격을  $d_g$ 로 두고, 위의 식들을 조합하여 유도할 수 있다.

대쉬포트의 감쇠계수는 다음과 같이 구하여 진다.

$$C_g = \frac{3\pi\mu LD^3}{4d^3} \left(1 + \frac{2d}{D}\right) \quad (2)$$

오리피스를 가지는 충격흡수장치의 감쇠계수 역시 다음과 같이 구하여 진다.

$$C_o = 4\pi\mu L \frac{D^4}{d^4} \quad (3)$$

Fig.2의 오리피스와 대쉬포트를 동시에 가지는 경우의 감쇠계수는 다음 식과 같다.

$$C_i = \frac{\pi D^2 \mu L}{4} \left[ \frac{192}{16\pi D d_g^3 + 3\pi d_o^4} \right] \times \left[ \frac{d_g}{2} + \frac{\pi}{4} (D_i^2 + d_o^2) \right] \quad (4)$$

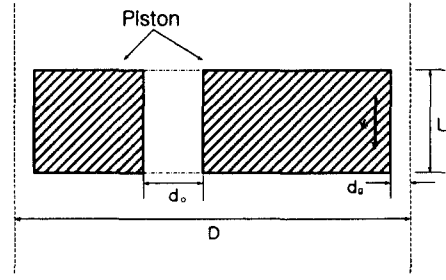


Fig. 2 Schematic diagram of piston in hydraulic cylinder

## 3 유한요소해석

### 3.1 해석모델과 해석방법

실린더 벽면 두께에 따른 감쇠계수의 영향을 살펴보기 위하여 a~h, 총 8가지의 두께 t를 가지는 실린더 형상을 모델링하여 해석을 수행한 후, 실린더 내벽과 피스톤사이에 발생하는 틈새 변위를 구하였다. 실린더 벽면과 밀면을 두께 t로 두었으며 각각의 모델에 대한 치수를 Table 1에 나타내었고, Figure 3과 같이 실린더의 내측 반경방향을 70mm, 높이를 137mm로 고정하였다.

Table 1. The dimension of cylinder wall thickness

Model	a	b	c	d	e	f	g	h
t (mm)	2	6	10	14	18	22	26	30

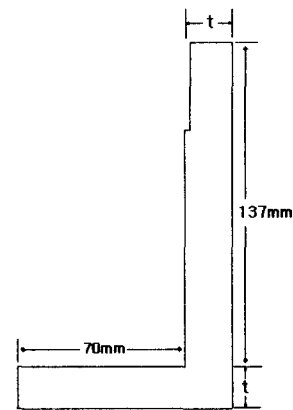


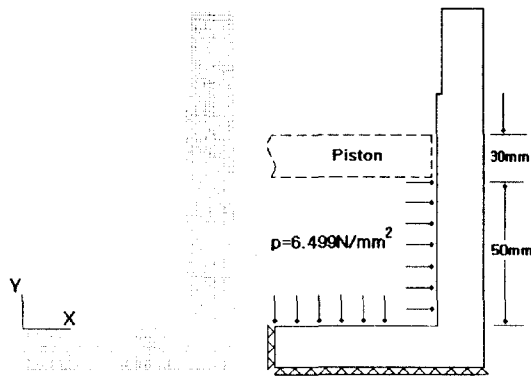
Fig. 3 Axisymmetric section of hydraulic cylinder

실린더는 일반적으로 사용되는 탄소강 S45C를 선정하였으며, 물성치는 영계수(E)는 210GPa, 포와송비( $\nu$ ) 0.29이다. 유압작동유는 내마모성과 윤활성

이 좋은 광유계 유압유로 점성계수  $0.0040\text{N}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  이다.

### 3.2 경계조건 및 하중조건

해석에 사용된 모델은 실린더 밀면 상단을 원점으로 하여 단면형상을 모델링하여 축대칭 경계조건을 부과하였으며, 실린더 밀면 부분은 y방향 자유도를 구속하였다. 적용 하중은 실린더 안쪽면 중 밀면 전체와 벽면의 피스톤 스트로크 구간에 충격시 실린더 내부 압력인  $6.499\text{N}/\text{mm}^2$  을 적용하였다. 사용한 요소는 4절점 2자유도 평면요소이며, 요소 한변의 크기는 2mm를 넘지 않도록 하였다. Figure 4(a)는 모델의 메쉬된 형상이며 Figure 4(b)는 하중을 적용한 형상이다.



(a) meshed shape (b) boundary condition

Fig. 4 Meshed shape and boundary condition of model

## 4. 해석결과 및 고찰

### 4.1 피스톤과 실린더 벽면 사이의 변위 ( $d_g$ )

모두 8가지의 실린더 벽면 치수  $t$ 에 관한 해석을 수행한 후 벽면에서의 평균 수평 변위를 Table 2와 Figure 6에 나타내었다. 각 변위는 절점의 x방향 변위를 평균한 값이다. Figure 5는 각 모델에서 발생하는 x축 변위를 나타내었다. Model a~d까지의 변위는 Figure 5에서와 같이 큰 값의 변화를 볼 수 없었으며 그 이상의  $t$ 값에서는 큰 변화 값을 볼 수 없었다.  $t$ 가 2, 6mm일 때 변위가 음수가 되는 구간이 나오며, 즉 실린더의 벽면이 안쪽으로 휘어지는 형상이 되어 실린더와 피스톤에 문제를 발생시킬 수 있다. 평균 수평변위는 Figure 6에서와 같이 치수  $t$ 가 증가할수록 변위값이 감소함을 알 수 있다.

Table 2 The average horizontal displacement and damping coefficient of each model

model	a	b	c	d	e	f	g	h
$d_g$ ( $10^3\text{mm}$ )	4.57	3.51	2.96	2.49	2.13	1.85	1.64	1.47
$C_t$ ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{mm}$ )	199.49	199.51	199.52	199.53	199.53	199.54	199.54	199.54

$d_g$  : gap between the wall and piston

$C_t$  : total damping coefficient

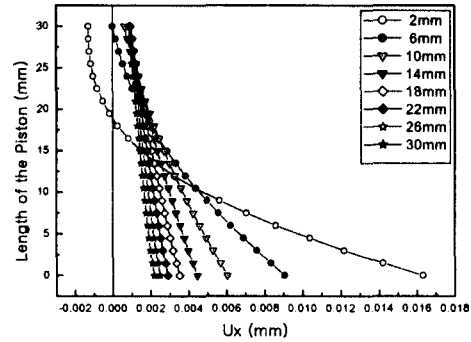


Fig. 5 Horizontal displacement( $U_x$ ) with respect to the variation of cylinder dimension

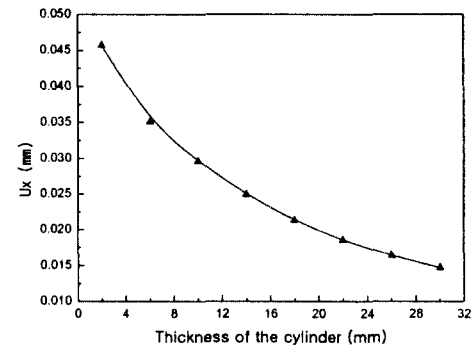


Fig. 6 Average horizontal displacement( $U_x$ ) with respect to the variation of cylinder dimension

### 4.2 전체감쇠계수( $C_t$ )의 변화

피스톤 직경  $D=140\text{mm}$ , 피스톤의 높이  $L=30\text{mm}$ , 유압작동유의 점성  $\mu = 0.4\text{N}\cdot\text{s}/\text{mm}^2$ , 원하는 감쇠계수를  $C = 200\text{N}\cdot\text{s}/\text{mm}$  일때 식(3)에 의해서 오리피스만을 가지는 유압실린더의 오리피스 직경  $d_o$  는 2.67mm로 유도되어진다.

$$\begin{aligned}
 d_o &= \sqrt[4]{4\pi\mu L \frac{D^4}{C}} \\
 &= \sqrt[4]{4\pi \times 70^{-9} \times 30 \times \frac{140^4}{200}} \\
 &= 2.67 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{4}$$

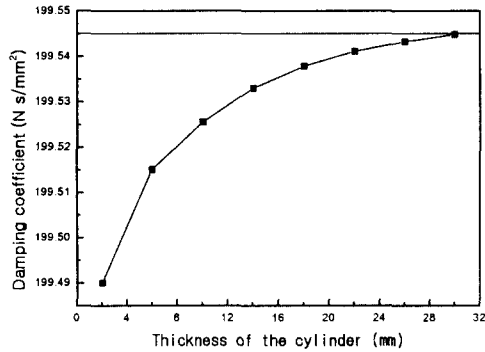


Fig. 7 Total damping coefficient change with respect to the variation of cylinder wall thickness

벽면의 치수변화에 따른 감쇠계수의 영향을 살펴 보기 위해 식(4)에서 구하여진 오리피스 직경  $d_o=2.67\text{mm}$ 와 피스톤과 벽면 사이의 변위  $d_g$  변화를 식 (3)에 대입하면 Figure 7과 같은 감쇠계수 변화 값을 얻을 수 있다.

Figure 7에서는 감쇠계수 값이 벽면 치수  $t$ 에 따라  $C_c$ 의 감쇠계수 값에 수렴함을 알 수 있다. 벽면 치수  $t=18\text{mm}$ 이하에서의 감쇠값은 큰 변화를 보이지만 18mm 이상의 치수 값에서는 감쇠값이  $0.015\text{N}\cdot\text{s}/\text{mm}^2$  정도의 변화를 나타내었다. 즉 18mm 이상의 벽면치수는 감쇠계수에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

### 5. 결론

유압실린더의 벽면 치수의 변화가 감쇠계수에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 모두 8가지 모델에 대해 유한요소해석을 수행한 후 오리피스만을 가지는 유압실린더의 감쇠계수와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 벽면치수가 커질수록 피스톤과 실린더 사이의 변위는 감소함을 알 수 있었다. 즉 감쇠계수  $C_c$ 의 값은 이상적인 감쇠값  $C = 200\text{N}\cdot\text{s}/\text{mm}$ 에 수렴함을 보인다.

2. 벽면치수  $t$ 가 2와 6mm에서는 피스톤 위쪽에서 벽면이 안쪽으로 휘어지는 형상이 되어 피스톤과 실

린더에 과도한 마모를 유발시킬수 있으므로 2와 6mm의 치수는 적당하지 않음을 알 수 있었다.

3. 실린더 내부의 압력이 6.499N/mm 고려하여 유압실린더의 벽면 치수를 결정할 경우 그 값은 18mm 이상의 값에서 감쇠계수에 미치는 영향이 거의 없다

### 참고문헌

- 1 "해운통계요람", 한국해양수산개발원, 2000.
2. A. C. Ugural, "Stresses in plates and shells," McGraw-Hill Ltd., 1981.
3. Goong Chen, Jianxin Zhou, "Vibration and Damping in Distributed Systems," Vol. I, CRC Press, 1993.
4. Boris G. Korenev, and Leonid M. Reznikov, "Dynamic Vibration Absorbers," Theory and Technical Applications, John Wiley & Sons Ltd., 1993.
5. Peterson R. R., "Hydraulic Applied to the Automobile Suspension,," Proceedings of the National Conference of Industrial Hydraulics, Vol., 7, 1953.
6. K. N. Jr. Morman, "A Model for the Analysis and Simulation of Hydraulic Shock Absorber," Ford Modtor Co., Research Staff Report, 1983.