

다단계 감쇠계수를 갖는 2자유도계 충격흡수장치의 충격해석

김성윤*(동아대 대학원 기계공학과), 심재준(동아대 대학원 기계공학과),
한동섭(동아대 대학원 기계공학과), 안성찬(LG-OTIS),
한근조(동아대 기계산업시스템 공학부), 안찬우(동아대 기계산업시스템 공학부)

Impact Analysis For a 2-DOF Shock Absorbing System with Multi-Step Damping Coefficient

S. Y. Kim*(Mech. Eng. Dept., Dong-A), J. J. Shim(Mech. Eng. Dept., Dong-A),
D. S. Han(Mech. Eng. Dept., Dong-A), S. C. Ahn(LG-OTIS),
G. J. Han(Mech. & Ind. Syst. Eng. Div., Dong-A), C. W. Ahn(Mech. & Ind. Syst. Eng. Div., Dong-A)

ABSTRACT

Many malfunctions take place in container crane spreader due to impact. So we designed a 2DOF hydraulic impact absorbing system with multi-step damping coefficient and studied the effect of orifice's interval and damping coefficient. The damping coefficient of upper piston was found to be 180 N · s/m, and the orifice's interval to be 9mm, the max reaction force and the average reaction force might be lowest. Compared with a general 2-DOF impact absorbing system, the max reaction force reduced by 46%, and average reaction force reduced by 5%.

Key Words : Container crane spreader (컨테이너 크레인 스프레더), 2-DOF hydraulic impact absorbing system (2자유도계 충격흡수장치), Multi-step damping coefficient (다단계 감쇠계수), Reaction force (반력)

1. 서론

선박 건조 기술의 발전과 우리나라의 경제성장으로 인한 수출입 물동량의 증가로 부산항의 2001년 컨테이너 처리 실적은 7,900(천)TEU로써 홍콩과 싱가포르에 이어 세계 3위의 처리실적을 올렸다. 그러나 항만 생산성에서는 시간당 처리능력이 약 47TEU로 고베항(日本)의 처리능력인 87TEU의 54%에 불과한 실정이며, 다른 세계주요항만에 비해 선석당 처리량이 높아 매우 혼잡한 항만으로 나타났다. 이러한 부산항의 컨테이너 처리능력 부족을 해결하기 위해서는 신항만을 건설하고 컨테이너 처리 효율을 높여야 하지만, 높은 비용과 항만건설 기간 등의 제약으로 단기간에 문제를 해결하기에는 어렵다. 단기간에 문제를 해결하기 위해서는 컨테이너 처리 효율을 높여야 하며, 이를 위해 스프레더의 성능향상이 필요하다. 그러나 스프레더를 이용하여 컨테이너를 운반할 경우 스프레더와 컨테이너 사이에 발생하는 충격력은 스프레더 고장의 직접적인 원인이 되며,

고장시간의 증가로 인한 작업능률 저하로 이어진다.

스프레더의 충격력을 줄이기 위해 스웨덴 B社は 스프레더 충격부에 유압 충격흡수장치를 장착하였고, 싱가포르의 R社は 충격부에 방진고무를 장착함으로써 충격력을 감소시켰다. 본 연구에서는 이전 연구를 기본으로 다단계 감쇠계수를 갖는 2자유도계 충격 흡수장치를 구상하였으며, 상부 피스톤의 초기 감쇠계수 및 다단계로 변화하는 감쇠계수 값을 구하였다. 그리고 유한요소 프로그램인 ANSYS 5.7을 이용하여 실제 충격력 작용을 고려한 충격해석을 실시 최대 반력을 비교해 보았다.

2. 충격흡수장치를 통한 충격해석

2.1 2자유도계 충격흡수장치

스프레더와 컨테이너 사이에 발생하는 최대 충격력 F는 충격시 발생하는 반력으로 충격 시간동안 나타나는 최대 반력이다. 이러한 충격력을 줄이기 위해 구상한 2자유도계 충격흡수장치는 실제 작동환경

을 고려하여 5,000kg의 질량을 0.2m 높이에서 자유 낙하 시켰을 경우 최소의 반력을 보이는 감쇠 값과 스프링 상수 값을 구하였으며, 상부피스톤(Piston 1) 9kg, 하부피스톤(Piston 2) 4.5kg으로 두었다. 상부 피스톤과 하부 피스톤 각각의 감쇠계수 값과 스프링 상수 값을 Table 1에 나타내었고, 2자유도계의 지배 방정식은 다음과 같다.

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 + k_1(x_1 - x_2) = F \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 + k_2 x_2 = k_1(x_1 - x_2) \quad (2)$$

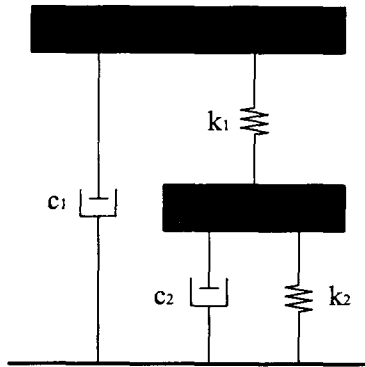


Fig. 1 Schematic diagram of 2-DOF impact absorbing system

Table 1 2-DOF impact absorbing system

Piston 1 (Upper Piston)	m_1	9kg
	c_1	350 kN·s/m
	k_1	315 kN/m
Piston 2 (Lower Piston)	m_2	4.5kg
	c_2	303 kN·s/m
	k_2	447 kN/m

2.2 다단계 감쇠계수를 갖는 충격흡수 장치

상부 피스톤의 감쇠계수 값이 다단계로 변화하는 모델에 대한 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 다단계 감쇠를 위해 상부 피스톤 부에 세 단계로 오리피스를 위치시켜 상부 피스톤이 낙하하며 높이가 변함에 따라 하부피스톤에 의해 오리피스가 막히게 되어 감쇠계수가 변화하게 된다. 이 때 세 단계로 변화하는 감쇠값을 c_0 로 두었다. 하부 피스톤의 감쇠계수와 스프링 상수, 상부 피스톤의 스프링 상수를 2자유도계 충격흡수장치와 동일한 값으로 책정하였으며, 상부 피스톤의 초기 감쇠계수 값과(c_1') 오리피스의 감쇠값은(c_0) 다음과 같이 정하였다.

$$c_1 = c_1' - 3c_0 \quad (3)$$

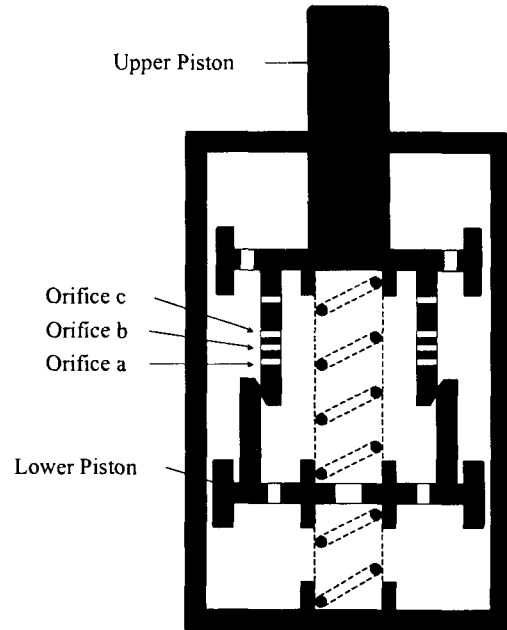


Fig. 2 Schematic diagram of 2-DOF shock absorbing system with multi-step damping coefficient

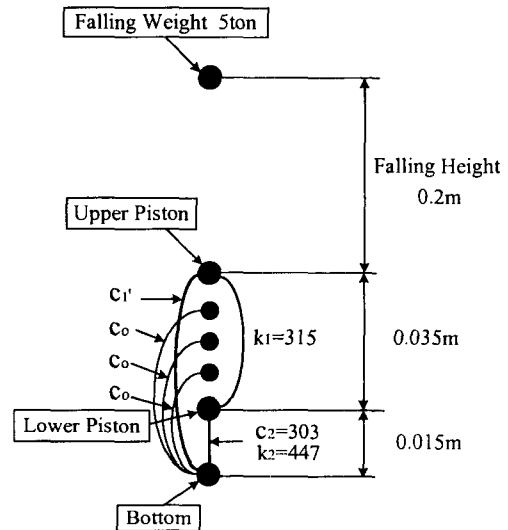


Fig. 3 Schematic diagram of shock absorbing system for impact analysis

3. 결과 및 검토

3.1 상부피스톤의 감쇠계수값(c_1')

본 연구에서 사용한 c_1' 의 값은 최적의 반력 현상을 보이는 값을 찾기 위해 해석을 수행한 후 180 k N·s/m 으로 결정하였다. Fig. 4(a)와 Table 2에 나타

넨 바와 같이 c_1' 의 값을 170 kN·s/m 이하의 값으로 결정할 경우 최대 반력은 낮게 나타나지만, 충분한 충격 흡수를 보이지 못하였으며, 190 kN·s/m 이상의 값에서는 최대 반력이 180 kN·s/m 인 경우보다 약 5% 높은 값을 보였다. 이 값을 식(3)에 대입하면, c_0 의 값은 56 kN·s/m 로 결정할 수 있으며, Table 3에 다단계 감쇠계수를 가지는 2자유도계 충격흡수장치의 감쇠계수 값과 스프링 상수값을 나타내었다.

Table 2 Max reaction force and time with respect to three damping coefficients (c_1')

c_1' (N·s/m)	Time(s)	Reaction Force(kN)
170	0.2156	432.063
180	0.2046	442.055
190	0.2046	466.173

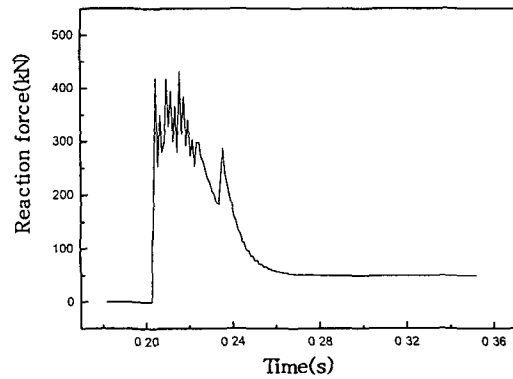
Table 3 2-DOF impact absorbing system with multi-step damping coefficient

Piston 1 (Upper Piston)	m_1	9kg
	c_1'	180 kN·s/m
	c_0	56 kN · s/m
	k_1	315 kN/m
Piston 2 (Lower Piston)	m_2	4.5kg
	c_2	303 kN·s/m
	k_2	447 kN/m

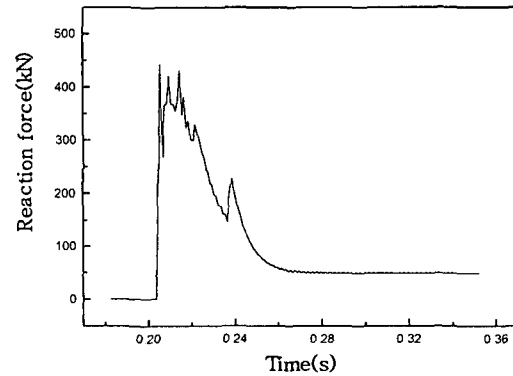
3.2 오리피스스의 위치 선정

오리피스스의 간격을 선정하기 위하여 오리피스스 간격 변화에 따른 8가지 모델에 대한 해석을 수행하여 최대 반력과 이때의 시간 및 평균 반력을 비교하였다. 오리피스스의 위치는 하부 피스톤과 오리피스 a, 오리피스 a와 b, b와 c 사이를 높이를 같게 하여 Table 4에 나타낸 바와 같이 3~10mm 사이로 변화시켰다. Table 4에서 나타낸 최대 반력 값을 비교해 보면 오리피스스 간격이 5~9mm 사이의 경우 442 kN으로 최소가 됨을 알 수 있었으며, 이러한 5가지 모델에 대한 평균 반력값은 8~9mm 모델에서 257 kN으로 최소가 됨을 알 수 있었다. Fig. 5에 나타나있는 8~9mm 두가지 모델에 대하여 반력 형상을 비교하면 9mm의 값이 8mm 모델과 보다 조금 더 균일한 반력 형상을 보이고 있음을 알 수 있다.

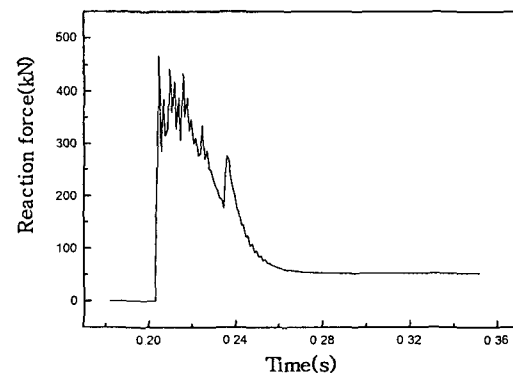
일정한 감쇠값을 가지는 2자유도계 충격흡수 장치와 상부피스톤의 감쇠값이 다단계로 변화하는 모델에 대한 반력을 비교해 보면, Fig. 6에 나와 있는 바와 같이 최대 반력의 경우 811 kN·s/m에서 442 kN·s/m로 46% 감소됨을 알 수 있었다.



(a) 170 N · s/m



(b) 180 N · s/m



(b) 190 N · s/m

Fig. 4 Reaction force change for three different damping coefficients with respect to impact time

Table 4 Max Reaction force and average reaction force change with respect to each orifice's intervals

Orifice's Intervals(mm)	Time(s)	Reaction Force(kN)	Average Force(kN)
3	0.2306	469	258
4	0.2046	488	258
5	0.2046	442	258
6	0.2046	442	258
7	0.2046	442	258
8	0.2046	442	257
9	0.2046	442	257
10	0.2066	543	261

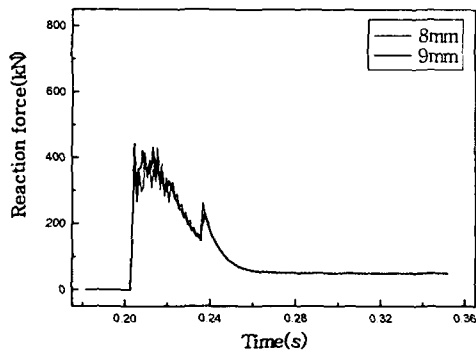


Fig. 5 Change of reaction force with respect to orifice's interval

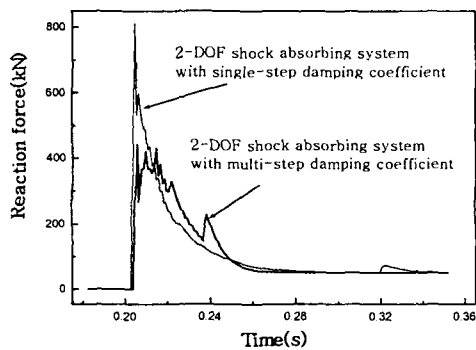


Fig. 6 Reaction force of 2-DOF shock absorbing system of single step and multi-step damping coefficient (orifice's interval 9mm)

4. 결론

상부 피스톤의 감쇠값이 다단계로 변화하는 2자유도 충격흡수장치의 상부 피스톤의 초기 감쇠값

과 오리피스의 간격을 변화시켜 최소 반력값을 나타내는 모델을 선정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 충돌 초기 반력은 상부 피스톤의 초기 감쇠값이 작을수록 낮아지지만, 일정이하의 감쇠값에서는 최대 반력이 충돌 초기가 아닌 이후의 피크점에서 나타난다. 적합한 충격흡수를 위하여 c_1 '의 값을 180 kN/s/m로 결정하였고, 이상의 값에서는 최대 반력이 5%이상 높아졌다.

2. c_1 값을 180 kN/s/m, c_0 값을 56 kN/s/m 로 결정한 후 오리피스 간격을 변화시켜 해석을 수행한 후, 반력은 5~9mm 모델에서 최소로 나타났으며, 평균 반력을 고려할 경우 8,9mm 모델에서 최소 반력이 나타났다.

3. 8~9mm 모델의 반력 형상을 살펴보면(fig. 5), 9mm 모델에서 8mm 모델보다 조금 더 균일한 형태를 보이며, 최소 반력을 보이는 모델은 $c_1=180$ kN/s/m, $c_0=56$ kN/s/m, 오리피스 간격 9mm로 결정할 수 있다.

4. 일정한 감쇠계수를 가지는 2자유도계 충격흡수 장치와 비교할 경우 앞서 결정한 모델은 최대 반력은 46%, 평균 반력은 5%정도 줄어 들을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한근조, 안찬우, 심재준, 한동섭, 김성윤, "스프레더용 충격흡수장치를 통한 충격해석," 한국정밀공학회, 춘계학술대회논문집, 2002.
2. S. S. Rao, "Mechanical Vibrations" Addison - Wesley Publishing Co., pp., 41~43, 1995
3. A. D. Dimarogonas and S. Haddad "Vibration for Engineers" Prentice-Hall International, Inc., pp., 82~84, 1996.
4. Goong Chen, Jianxin Zhou, "Vibration and Damping in Distributed Systems," Vol. I, CRC Press, 1993.
5. Boris G. Korenev, and Leonid M. Reznikov, "Dynamic Vibration Absorbers," Theory and Technical Applications, John Wiley & Sons Ltd., 1993.
6. Peterson R. R., "Hydraulic Applied to the Automobile Suspension.", Proceedings of the National Conference of Industrial Hydraulics, Vol., 7, 1953.