

스프레더용 충격흡수기의 시스템 변화에 따른 최적설계

서진*, 홍도관, 김동영(동아대 대학원 기계공학과),
안찬우, 한근조(동아대 기계산업시스템공학부)

The Optimum Design according to System Variation of Impact Absorber for Spreader

J. Seo, D. K. Hong, D. Y. Kim(Mech. Eng. Dept., Dong-A Univ.),
C. W. Ahn, G. J. Han(Mech. & Ind. Syst. Eng. Div., Dong-A Univ.)

ABSTRACT

On this study, the dynamic response of vibration absorber was operated by finite element analysis and this paper proposed the optimum value of spring constant and damping coefficient for three types of impact absorber. Also the reaction force of piston which is the objective function was proposed by the optimum design and the model which has the optimum value among the reaction forces was shown.

Key Words : Impact absorber(충격흡수기), Spreader(스프레더), Vibration analysis(진동해석), Reaction force(반력), Optimum design(최적설계)

1. 서론

현재 항만을 통한 수출입 물동량은 거의 대부분 컨테이너를 사용하여 처리하고 있으며, 이에 따라 항만하역 장비인 스프레더의 수요가 증대할 것으로 기대되는데, 스프레더가 컨테이너와 체결시에 트윈스트 락과 컨테이너 코너캐스팅부에 충격이 발생하게 된다. 이로 인해 트윈스트 락, 단자의 핀, 폴리퍼 등 여러 부품들의 손상과 그에 따른 스프레더의 수리와 충격으로 인한 소음으로 작업자의 작업능률을 떨어뜨려 하역생산성 저하와 자동항만화를 저해하게 된다. 따라서 항만하역 효율의 증대를 위해 스프레더의 취약부분인 트윈스트 락에 대한 보호 및 효과적인 충격흡수기 개발의 필요성이 요구되어진다.

Egle⁽¹⁾은 충격진동흡수기에 관한 연구를 하였고, Reyvrouck과 Peterson 등은 자동차의 충격흡수기^{(2)~(4)}에 관한 연구를 하였다. Chen과 Zhou⁽⁵⁾ 등은 이산계의 진동과 감쇠에 관한 연구를 수행하였으며, Boris⁽⁶⁾등은 동흡진기에 관하여, Masri와 Ibrahim⁽⁷⁾ 등은 정적 랜덤가진에 대한 충격댐퍼의 응답에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 크레인 스프레더용 충격흡수기의 세가지 모델(model)에 대하여 각각의 메카니즘에 충격이 가해졌을 때의 동적응답을 해석하였다. 또한, 질량, 스프링, 감쇠의 구조로 된 충격흡수기 모델에 대해 제한된 stroke를 정적변수로 하고, 설계변수를 스프링상수와 감쇠계수로 하여 피스톤의 반력을 목적함수로 최적설계를 수행하였으며, 세가지의 충격흡수기 모델에 대하여 최적의 스프링상수와 감쇠계수 및 반력의 크기를 제시하였다.

2. 충격흡수기

2.1 충격흡수기의 세가지 모델

충격흡수기는 총 세가지의 모델로 나누어 해석을 수행하였는데, 1자유도계 충격흡수기인 모델 I과 2자유도계인 모델 II, 그리고 모델 II를 변형시킨 2자유도계 충격흡수기 모델 III을 비교하였다.

2.1.1 충격흡수기 모델 I

Fig. 1은 질량, 스프링, 감쇠를 각각 1개씩 가지고 있는 가장 기본적인 1자유도 충격흡수기의 모델을 나타낸다.

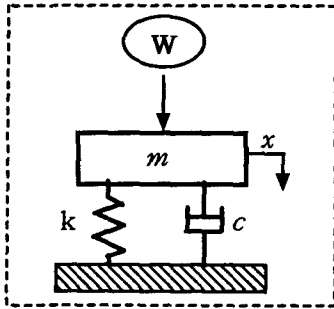


Fig. 1 Model I of impact absorber

2.1.2 충격흡수기 모델 II

Fig. 2는 질량, 스프링, 감쇠를 각각 2개씩 가지고 있는 2자유도계의 충격흡수기이다.

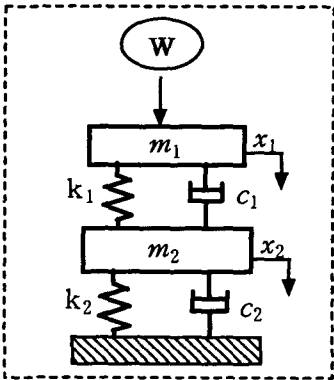


Fig. 2 Model II of impact absorber

2.1.3 충격흡수기 모델 III

Fig. 3은 각각 2개의 질량과 스프링, 그리고 감쇠를 가지는 2자유도계 모델이지만 모델 II와는 달리 감쇠를 고려해 볼 때 두 질량이 서로 영향을 주지 않는 구조로 되어있다.

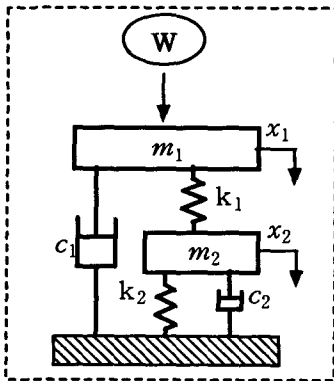


Fig. 3 Model III of impact absorber

2.2 충격흡수기 모델에 따른 운동방정식

Fig. 1의 1자유도 모델의 경우 운동방정식은

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

이고, Fig. 2의 2자유도 모델의 운동방정식은 다음과 같다.

$$m_1\ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) = W \quad (2)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + c_2\dot{x}_2 + k_2x_2 - c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_1(x_2 - x_1) = 0 \quad (3)$$

또한, Fig. 3은 2자유도 모델로서 운동방정식은

$$m_1\ddot{x}_1 + c_1\dot{x}_1 + k_1(x_1 - x_2) = W \quad (4)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + c_2\dot{x}_2 + k_2x_2 = k_1(x_1 - x_2) \quad (5)$$

이 된다.

3. 치수최적설계

Minimize :

$$F(x) = RF(\text{Reaction force}) \quad (6)$$

Subject to :

In case of model I

$$\frac{x_{\max}}{x_{al}} - 1 \leq 0 \quad (7)$$

In case of model II & model III

$$\frac{x_{1\max}}{x_{1al}} - 1 \leq 0, \quad \frac{x_{2\max}}{x_{2al}} - 1 \leq 0 \quad (8)$$

식 (6)의 $F(x)$ 는 목적함수로 최소화 기준이 되는 반력을 나타내고, 식 (7)에서 x_{al} 은 모델 I의 상태변수인 x (piston)의 허용변위를 나타내며, 스프레더의 구조를 고려하여 충격흡수기 변위를 0.05 m로 제한하였다. 식 (8)의 x_{1al} , x_{2al} 은 모델 II, III의 상태변수인 x_1 (piston 1), x_2 (piston 2)의 허용변위를 나타내며 각각 0.05 m, 0.0125 m로 제약조건을

설정하였다. 이때 x_{max} , x_{1max} , x_{2max} 는 매 반복 회의 최대변위이다.

4. 유한요소해석

4.1 유한요소 해석

4.1.1 유한요소 모델링

모든 모델링과 해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 5.6 에서 이루어졌으며, 해석에는 Combination, Contact 요소를 사용하였다. 해석시 고려된 모든 모델의 초기조건을 Table 1~2에 나타내었으며, 모델 II와 모델 III의 경우는 초기조건을 동일하게 적용하였고, 스프레더가 받는 5 ton의 충격하중과 낙하높이를 실제 조건을 적용하여 과도해석(Transient analysis)을 수행하였다.

Table 1 Initial condition of model I

Item list	Description
Weight(W) (ton)	5
Drop height (m)	0.2
Maximum stroke (x) (m)	0.05

Table 2 Initial condition of model II and model III

Item list	Description	
	model II	model III
Weight(W) (ton)	5	5
Drop height (m)	0.2	0.2
Maximum stroke (x_1) (m)	0.05	0.05
Maximum stroke (x_2) (m)	0.015	0.015

4.1.2 경계조건 및 하중조건

충격흡수기의 경계조건은 스프레더 부분과 체결되는 부분을 완전고정으로 하였다.

또한, 모델 I의 경우에는 하부 부분과 피스톤의 연결부위를 Combination 요소를 사용하였으며 모델

Table 3 Initial parameters of models

Item list	Initial	Lower	Upper	
Model I	m (kg)	13.5	-	-
	k (kN/m)	300	100	10,000
	c (kN·s/m)	250	10	10,000
Model II & III	m_1 (kg)	9	-	-
	m_2 (kg)	4.5	-	-
	k_1 (kN/m)	300	100	10,000
	k_2 (kN/m)	450	100	10,000
	c_1 (kN·s/m)	250	10	10,000
	c_2 (kN·s/m)	50	10	10,000

II와 III의 경우 피스톤과 피스톤, 피스톤과 하부부분을 각각 Combination 요소를 사용하였다. 하중조건으로는 상부 피스톤 부분에 수직방향의 충격력을 가하여 해석을 수행하였으며, Table 3에는 충격흡수기의 질량, 스프링상수, 감쇠계수를 나타내었다.

5. 결과 및 고찰

5.1 모델에 따른 충격흡수기의 응답

5.1.1 모델 I의 응답

충격흡수기 모델 I은 Table 1에서와 같이 초기조건을 주고 질량 m 에 하중을 가하여 해석을 수행하였다. Table 4에 반력을 최소화하는 최적의 스프링상수와 감쇠계수를 나타내었으며, 또한 최적 조건일 때의 최적 반력값을 나타내었다. Fig. 4는 충격하중이 가해질 때 충격흡수기 모델 I의 반력을 시간-하중 그래프로 나타내었다. 충격하중이 가해진 후 약 0.2 sec에 최대반력이 발생하였다.

Table 4 The optimum result of model I

Design value	Optimum
k (kN/m)	665.01
c (kN·s/m)	217.66
State value	Optimum
x (m)	0.05
Objective function	
RF(Reaction force) (kN)	418.232

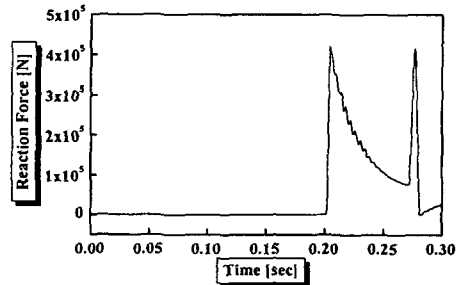


Fig. 4 Reaction force of model I

5.1.2 모델 II의 응답

충격흡수기 모델 II는 Table 2에서와 같이 초기조건을 주고 질량 m_1 에 충격하중을 가하여 해석을 수행하였다. Table 5에 반력을 최소화하는 설계변수인 최적의 스프링상수와 감쇠계수를 나타내었으며, 또한 최적의 조건일 때의 목적함수인 최적 반력값을 나타내었다. Fig. 5에는 충격하중이 가해질 때 충격흡수기 모델 II의 반력을 시간-하중 그래

프로 나타내었으며, 충격하중이 가해진 후 약 0.2 sec에 최대 반력이 발생하였다. 0.2~0.3 sec 사이에 반력값이 모두 비슷하게 발생하였다.

Table 5 The optimum result of model II

Design value	Optimum
k_1 (kN/m)	315.03
c_1 (kN·s/m)	353.69
k_2 (kN/m)	447.35
c_2 (kN·s/m)	302.5
State value	Optimum
x_1 (m)	0.05
x_2 (m)	0.015
Objective function	
RF(Reaction force) (kN)	390.38

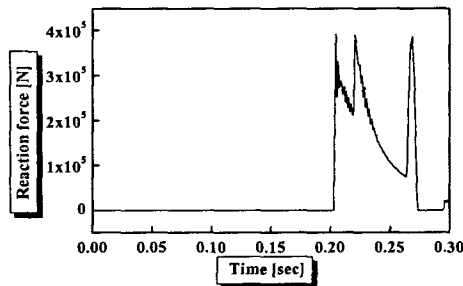


Fig. 5 Reaction force of model II

5.1.3 모델 III의 응답

충격흡수기 모델 III는 5.1.2와 같은 방법으로 해석을 수행하였으며, Table 6에 반력을 최소화하는 설계변수인 최적의 스프링상수와 감쇠계수 및 최적 조건일 때의 목적함수인 최적 반력값을 나타내었다. Fig. 6에는 충격하중이 가해질 때의 모델 III의 반력을 시간-하중 그래프로 나타내었으며, 충격 후 0.2 sec에 최대 반력이 발생하였고, 0.2~0.3 sec 사이의 반력이 모두 비슷하게 발생하였다.

Table 6 The optimum result of model III

Design value	Optimum
k_1 (kN/m)	233.96
c_1 (kN·s/m)	222.26
k_2 (kN/m)	576.45
c_2 (kN·s/m)	742.68
State value	Optimum
x_1 (m)	0.05
x_2 (m)	0.015
Objective function	
RF(Reaction force) (kN)	469.7

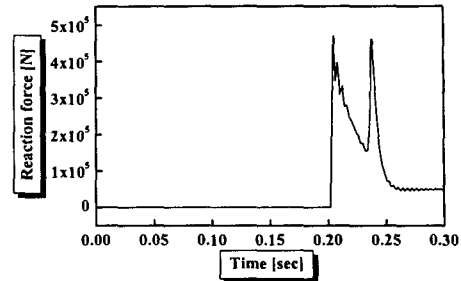


Fig. 6 Reaction force of model III

6. 결론

본 연구에서는 모델 I, II, III에 대해 스프링상수와 감쇠계수를 설계변수로 하고 제한된 변위를 상태변수로 하였으며 목적함수인 반력을 최소화하는 최적화를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모델 I, II, III에 대하여 반력이 최소가 되는 스프링상수와 감쇠계수를 각각 구하여 제시하였다.
2. 모델 I, II, III의 반력 중 모델 II의 반력이 가장 작게 나타났으며, 그 다음으로는 모델 I, 모델 III의 순으로 나타났다.

참고문헌

1. Egle, D. M., "An Investigation of an Impact Vibration Absorber," MS Thesis, Tulane University, New Orleans, LA, 1962.
2. K. G. Reyvrouck, Duym S. W. and G. V Baron, "Physical Modeling of the Hysteretic Behaviour of Automotive Shock Absorbers," SAE International Congress, Detroit, Michigan, February 24-27, 1997.
3. Peterson R. R., "Hydraulic Applied to the Automobile Suspension," Proceedings of the National Conference of Industrial Hydraulics, Vol., 7, 1953.
4. Hoffmann, H. J., "Effectiveness of Shock Absorbers on Vehicles," Automobiltechnische Zeitschrift, Jahrg. 60. Heft 10, Seite 289, Oktober, 1958.
5. Goong Chen, Jianxin Zhou, "Vibration and Damping in Distributed Systems," Vol. I, CRC Press, 1993.
6. Boris G. Korenev, and Leonid M. Reznikov, "Dynamic Vibrations Absorbers," Theory and Technical Applications, John Wiley & Sons Ltd, 1993.
7. S. F. Masri and A. M. Ibrahim, "Response of the Impact Damper to Stationary Random Excitation," Journal of The Acoustic Society of America, Vol. 53, pp. 85-94, 1985.