

## 실험계획법을 이용한 스프레더용 충격흡수기의 최적설계

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

### Optimum Design of Impact Absorbing System for Spreader by Using a Design of Experiments

Y. H. Noh\*, 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

This paper deals with the impact analysis of the impact absorbing system consist of one degree of freedom and two degree of freedom damping-spring system in spreader to increase efficiency of it. It shows the optimum damping coefficient and spring constant of impact absorbing system using for crane spreader and the optimum condition of impact absorbing system causing certain contact impulse. In the optimal model, the contact impulse is reduced 98.57 percent and 92.22 percent respectively.

**Key Words** : Contact impulse(충격량), Impact absorbing system(충격흡수기), Design of experiments(실험계획법), Table of orthogonal array(직교배열표), Spreader(스프레더), Optimum design(최적설계), S/N ratio(신호 대 잡음비)

#### 1. 서론

현재 세계화, 정보화로 인해서 물류환경의 대량화와 고속화가 요구되어지고 있다. 항만을 통한 수출입 불동량은 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, 돈 플리퍼 헤드, 실린더 마운팅 캠 등 여러 부품들의 손상과 그에 따른 스프레더의 수리와 충격으로 인한 소음으로 작업자의 피로감을 가중시키고 작업능률을 떨어뜨려 하역생산성 저하와 자동항만화를 저해하게 된다. 따라서 항만하역 효율의 증대를 위해 스프레더의 취약부분인 트윈스트 락에 대한 보호 및 효과적인 충격흡수기<sup>(1)</sup> 개발을 통한 충격흡수에 따른 소음감소로 쾌적한 하역 작업 환경조성의 필요성이 요구된다. Egle<sup>(2)</sup>은 충격진동흡수기에 관한 연구를 하였고, Chen과 Zhou<sup>(3)</sup> 등은 이산계의 진동과 감쇠에 관한 연구를 수행하였으며, Boris<sup>(4)</sup> 등은 동흡진기에 관하

여, Masri와 Ibrahim<sup>(5)</sup> 등은 정적 랜덤가진에 대한 충격댐퍼의 응답에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 크레인 스프레더용 충격흡수기의 메카니즘 설계 및 충격흡수기를 개발하기 위하여 1, 2 자유도 두 가지의 형태로 제안하였으며 각각의 경우에 실험계획법의 통계적인 방법으로 직교배열표를 반복 사용하여 최적화를 수행하는 알고리즘을 사용하였다. 각 모델에 대한 스프링 상수와 감쇠계수를 변수로 하여 스프레더와 컨테이너 사이의 충격량을 분석하였으며, 충격흡수기의 효과를 분석하기 위하여 충격흡수기가 장착되지 않은 경우도 고려하였다. 스프레더와 컨테이너의 체결 시 충격을 최소화 할 수 있는 충격흡수기의 설계변수인 최적의 감쇠계수와 스프링 상수를 구하고자 하였다.

#### 2. 충격흡수기

##### 2.1 충격흡수기 모델

충격흡수기는 1, 2 자유도 모델로 하였으며 Fig 1에서와 같이 스프레더가 컨테이너와 충돌할 때 직

접 충돌이 일어나는 접촉부 4군데에 장착되어 있으며, 스프레더와 컨테이너의 물성치는 Table 1에 나타내었다.

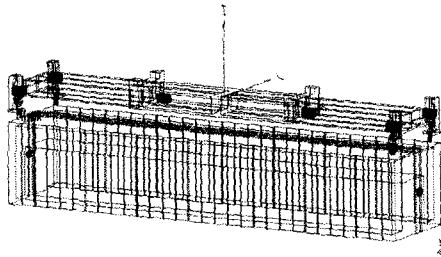


Fig. 1 Model of container and spreader with impact absorbing system

Table 1 Mechanical properties

Mechanical property	Description
	Steel-ANSI 304
$\alpha$ [ $1/mm^3$ ]	7.800e-6
E[GPa]	193.0
$\nu$	0.29

### 2.1.1 충격흡수기 Model I

Fig. 2는 각 1개의 질량, 스프링, 감쇠를 갖는 1 자유도 충격흡수기 모델을 나타내며, 해석의 초기조건은 Table 2에 나타내었다.

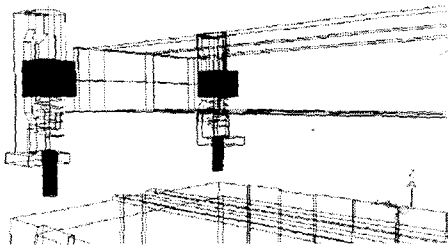


Fig. 2 Model I of impact absorbing system

Table 2 Initial condition of model I

Item list	Description
Spreader weight(ton)	10
Drop height(m)	0.2
Max. stroke(m)	0.3

### 2.1.2 충격흡수기 Model II

Fig. 3은 각 2개의 질량, 스프링, 감쇠를 갖는 2 자유도 충격흡수기 모델을 나타내며, 해석의 초

기조건은 Table 3에 나타내었다.

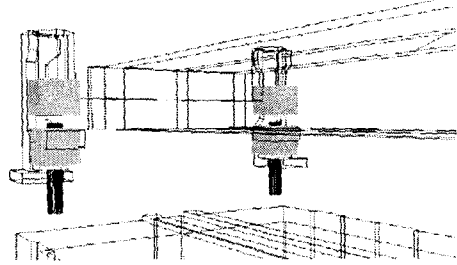


Fig. 3 Model II of impact absorbing system

Table 3 Initial condition of model II

Item list	Description
Spreader weight(ton)	10
Drop height(m)	0.2
Max. stroke of up(m)	0.15
Max. stroke of down(m)	0.15

## 2.2 S/N비를 이용한 민감도해석

다구찌는 성능 특성의 종류에 따라 여러 가지의 신호 대 잡음비를 정의하였고, 이차식으로 주어지는 품질손실함수(quality loss function)로부터 유도된 값으로서 성능의 평균과 산포를 동시에 고려하는 척도라고 할 수 있다. 충격력과 충격량은 작으면 작을수록 좋은 망소특성(smaller-the-better type) 분석에 준하여 실행하고, 신호 대 잡음비는 다음과 같다.

$$S/N = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 동일한 인자 수준조합에서의 반복 측정 회수이며,  $y_i$ 는 그 때의 각각의 해석값이다.

### 2.2.1 직교배열표

직교배열표는 재현성, 바람직한 최적조건 결정 및 안정성에 대한 평가와 함께 인자간에 교호작용을 기술적으로 생각하여 무시될 수 있는 것을 주효과와 교락(confounding)시켜 실험의 크기를 줄일 수 있는 방법이다. 먼저 인자와 수준수를 고려한 적절한 직교배열표를 선택하고 설계변수의 후보값들 중에서 초기 설계값을 기준으로 수준값을 선정하여 행렬실험을 실시한다. 평균분석을 통해서 최적해를 구하고 행렬실험의 각 행의 결과와 비교하여 우수한 해를 최적해로 선정한다. 직교배열표는  $L_{18}(2^1 \times 3^3)$ 을 사용하였고 1, 2 자유도 모델의 스프링 상수와 감쇠계수를 3수준 인자(factor)로 하였

다. 초기 실험에서 각 인자의 최적의 수준을 찾은 다음, 수준값의 범위를 좁히면서 직교배열표를 반복적으로 사용하여 S/N비가 가장 큰 최적의 수준을 찾았다.

### 2.3 MSC.visualNastran을 이용한 해석

모든 해석은 MSC.visualNastran에서 수행하였고, 해석조건은 configuration tolerance를 position은 0.01 m, orientation은 1 degree로 하였고, integrator의 알고리즘은 Kutta-Merson, integration step은 0.001 sec로 하였다.

#### 2.3.1 Kutta-Merson 알고리즘

$$\begin{aligned}
 y &= f(y, t) \\
 y_0 &= y(t) \\
 y_1 &= y_0 + \frac{1}{3} hf(y_0, t) \\
 y_2 &= y_0 + \frac{1}{6} hf(y_0, t) + \frac{1}{6} hf(y_1, t + \frac{1}{3} h) \\
 y_3 &= y_0 + \frac{1}{8} hf(y_0, t) + \frac{3}{8} hf(y_2, t + \frac{1}{3} h) \\
 y_4 &= y_0 + \frac{1}{6} hf(y_0, t) - \frac{3}{2} hf(y_2, t + \frac{1}{3} h) \\
 &\quad + 2 hf(y_3, t + \frac{1}{2} h) \\
 y_5 &= y_0 + \frac{1}{6} hf(y_0, t) + \frac{2}{3} hf(y_3, t + \frac{1}{2} h) \\
 &\quad + \frac{1}{6} hf(y_4, t + h) \\
 y(t+h) &= y_5
 \end{aligned}$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 충격흡수기를 장착하지 않은 모델

충격흡수기가 장착되지 않은 경우 충격량을 Fig. 4에 나타내었다. 이 모델의 경우 충격량이 5050(N·s)로 아주 크게 나타났다.

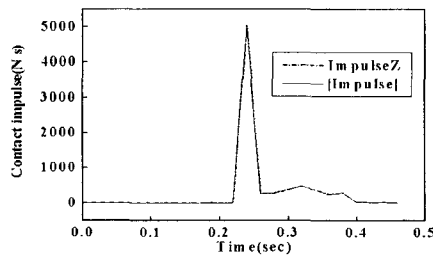


Fig. 4 Contact impulse of spreader without impact absorbing system

### 3.2 충격흡수기를 장착한 모델

#### 3.2.1 충격흡수기 Model I

충격흡수기 모델 I은 Table 1에서와 같이 초기 조건을 주고 충격흡수기를 장착한 스프레더를 컨테이너에 자유낙하시켜 해석을 수행하였다. 1 자유도 모델로서 스프링 상수와 감쇠계수를 각각 3수준으로 하는 혼합직교배열표  $L_{18}(2^1 * 3^7)$ 을 이용하여 각 인자의 최적의 수준을 찾은 다음 범위를 좁히면서 직교배열표를 반복적으로 사용하여 최적의 수준을 찾았다. 결과는 Fig. 5, 6 그리고 Table 4에 나타내었다.

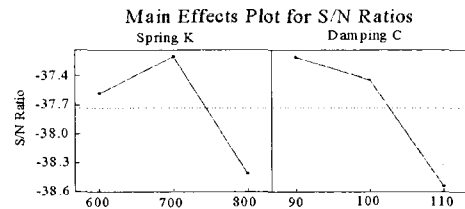


Fig. 5 Illustration of factor effect for impact absorbing system model I

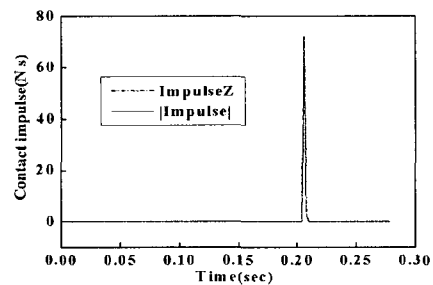


Fig. 6 Contact impulse of spreader with impact absorbing system model I

Table 4 The optimum result of model I

Design variables	Optimum
k(kN/m)	700.0
c(kN·s/m)	90.0
Contact impulse(N·s)	72.00

#### 3.2.2 충격흡수기 Model II

충격흡수기 모델 II는 Table 3에 나타낸 초기 조건을 주고 충격흡수기를 장착한 스프레더를 컨테이너에 자유낙하시켜 해석을 수행하였다. 최적수준의 결정은 모델 I과 동일한 방법을 사용하였다. 결과는

아래 Fig. 7, 8과 Table 5에 나타내었다.

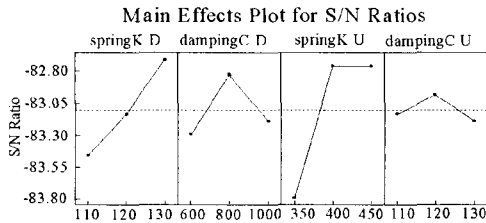


Fig. 7 Illustration of factor effect for impact absorbing system model II

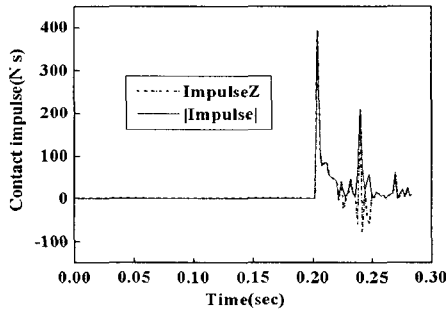


Fig. 8 Contact impulse of spreader with impact absorbing system model II

Table 5 The optimum result of model II

Design variables	Optimum
$k_{up}$ (kN/m)	130
$c_{up}$ (kN·s/m)	800
$k_{down}$ (kN/m)	450
$c_{down}$ (kN·s/m)	120
Contact impulse(N·s)	393

### 3.3 모델 충격량 비교

충격흡수기를 장착하지 않은 모델과 1 자유도와 2 자유도의 충격흡수기를 갖는 모델 I, II의 경우에 대하여 최적의 스프링상수와 감쇠계수에서의 충격량을 Table 6에 나타내었다.

Table 6 The optimum result of models

Model	Contact impulse
Without impact absorbing system	5050(N·s)
Model I	72(N·s)
Impact reduction ratio(%)	98.57
Model II	393(N·s)
Impact reduction ratio(%)	92.22

## 5. 결론

본 연구에서는 모델 I, II에 대해 스프링상수와 감쇠계수를 설계변수로 하여 적절한 식교배열표를 선정하여 각 변수의 최적수준을 찾았으며, 목적함수인 충격량을 최소화하는 최적화를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 충격흡수기 모델 I, II에 대하여 충격량이 최소가 되는 스프링상수와 감쇠계수를 제시하였다.
2. 충격흡수기를 장착되지 않은 경우와 비교하여 충격흡수기를 장착한 모델 I, II가 각각 충격량이 98.57%와 92.22%가 줄어들었다.
3. 스프레더에 적당한 충격흡수기를 장착할 경우 충격으로 인한 문제점들이 해결되어 작업능률이 매우 향상될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 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, Rebruary 24~27, 1997.
2. Egle. D. M., "An Investigation of an Impact Vibration Absorber," MS Thesis, Tulane University, New Orelanes, LA, 1962.
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 Vibrations Absorbers," Theory and Technical Applications, John Wiley & Sons Ltd, 1993.
5. 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.