

# 충격 및 바운스 특성 향상을 위한 HEV-Relay의 설계

고윤기<sup>†</sup>·조상순\*·허 훈\*·이상엽\*\*·박홍태\*\*·오일성\*\*

## Design of HEV-Relay to Improve Impact and Bounce Characteristics

Younki Ko, Sangsoon Cho, Hoon Huh, Sangyoeb Lee, Hongtae Park, Ilsung Oh

**Key Words:** Relay(개폐기), Impact(충격), RSM(반응표면법), FEM(유한요소해석)

### Abstract

A HEV-relay plays a significant role as a mechanical switch which determines the operation of a gasoline engine or an electric motor in a hybrid electric vehicle (HEV). The HEV-relay has critical two problems in the operating process. First, the unstable current can occur in the operating process of the HEV-relay due to the severe bounce between moving and fixed electrode. Second, noises occur due to impact between electrodes in HEV-relay. In this research, spring properties such as stiffness and initial compression force, and electrode shape are designed to reduce the bounce time and noises caused by impact between moving and fixed electrode. The operating process of HEV-relay is simulated using LS-DYNA3D as explicit finite element code. The optimum spring properties are determined using the response surface method (RSM) as the design methodology, and the electrode shape is newly designed through the modifying the stiffness of moving and fixed electrode.

### 1. 서 론

차량의 증가로 인한 사회적인 문제로 대두된 대기오염의 심각성은 차량 제조사로 하여금 유해 배기가스 배출을 줄인 친환경 저배기 자동차 개발에 박차를 가하도록 하였다. 이에 따라 하이브리드 자동차(HEV)의 개념이 간접적 해결책으로 등장하였으며, 차량제조 회사들은 경쟁적으로 하이브리드 자동차 개발에 몰두하고 있다. 이러한

하이브리드 자동차는 핵심 부품 중 하나인 HEV-Relay의 개폐과정을 통하여 전기모터를 구동시키고 엔진의 동작을 제어하여 차량에 적절하고 안정적인 동력을 공급하는 역할을 할 뿐 아니라 불필요한 동력은 발전기를 이용하여 다시 배터리 팩에 충전시켜 차량의 효율을 극대화시키는 역할을 하는데 기여한다. 일반적으로 HEV-relay는 수 msec내에 작동과정을 완료하기 때문에 relay 내부의 접점의 접촉 시 발생하는 충격에 의하여 충격소음이 발생하며 접점이 바운싱(bouncing)하는 현상이 나타난다. 접점간의 충격소음은 HEV-Relay의 엔진 소음의 감소로 그 주변 장치의 소음 문제가 대두되면서 해결되어야 할 문제점으로 나타나게 되었다. 또한 접점의 바운스 현상은 relay의 오작동 및 접점 사이에서 발생하는 아크(arc)에 의한 제품 수명 단축 및 고열

---

† 회원, 한국과학기술원 기계항공시스템학부  
E-mail : koyk@kaist.ac.kr  
TEL : (042)350-3262 FAX : (042)350-3210

\* 한국과학기술원 기계항공시스템학부

\*\* LS산전 전력연구소

---

에 의하여 접점이 붙는 용착현상을 발생시키기도 한다. 이러한 현상은 접점의 접촉 시 필요한 접촉 조건을 만족시키면서 개선해야 하기 때문에 설계 과정에서 어려움이 발생한다. 본 연구에서는 설계 기준을 만족하면서 relay의 접점간의 충격 소음 및 바운스 특성을 향상시킬 수 있는 최적화 설계 기법을 제한하고자 한다.

## 2. HEV-Relay의 형상 및 구조

HEV-relay는 그림1에서 보는 바와 같이 크게 제품을 보호하는 케이스, 고정 접점, 가동 접점, 고정 코어, 가동 코어, 접압 및 복귀 스프링, 샤프트, 솔레노이드부로 구성된다. 솔레노이드에 의한 자기력은 가동 코어를 상향으로 이동하게 하여 복귀 스프링을 압축하면서 가동 접점을 포함한 가동부를 1mm 가량 움직인다. 이 작동 과정에서 가동 접점과 고정 접점이 접촉을 이루게 되면 외부 전원에 의한 통전과 접압 스프링의 압축이 시작된다. HEV-Relay는 단힘 과정에서 고정 및 가동 접점에 충분한 접압력을 부과하기 위하여 접압 스프링을 0.7mm 압축하게 된다. 단힘 과정이 완료되고 차량이 관련 기능을 수행한 후 솔레노이드에 전원을 차단하여 relay가 열림 상태가 되도록 한다. 이때 열림 상태로 진행하기 위한 힘은 단힘 과정에서 압축된 두 스프링의 복원력이 된다.

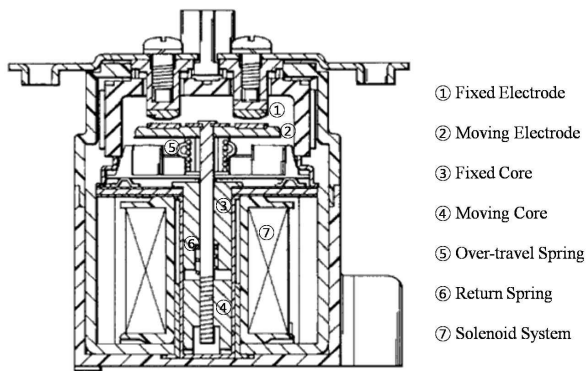


Fig. 1 Structure of HEV-Relay

## 3. 구조 최적화 설계

HEV-Relay에서 발생하는 충격소음 및 바운스를 저감하기 위한 방법으로 구조의 설계 개선을 통한 설계 최적화 방법이 제안된다. 소음의 방음이나 차음은 relay의 구조 및 작동 특성 상 적용이 어렵기 때문에 소음저감 연구는 설계 개선을 통하여 소음의 원천인 충격력을 감소시키는 방향으로 진행될 필요가 있다. 본 연구는 이러한 필요성을 바탕으로 HEV-Relay의 주요 작동 기저인 접압 및 복귀 스프링의 최적화 및 접점의 설계 개선을 통한 충격력 개선을 달성되도록 연구를 진행하였다.

### 3.1 규정 속도 구현을 위한 스프링 최적화

HEV-Relay의 바운스 특성을 결정하는 요인은 그림2에서 나타나는 바와 같이 접점의 질량, 접압, 복귀 스프링의 물성 그리고 솔레노이드(solenoid)에 의하여 relay의 가동부에 작용하는 흡입력으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 설계 과정의 단순화를 위하여 접점의 질량과 흡입력은 고정되어 있다고 가정하고 접압(over-travel) 및 복귀(return) 스프링의 물성, 즉 스프링 상수와 초기 압축량을 설계변수로 결정하였다. 일반적으로 접압 스프링의 초기 압축력은 relay의 용량에 따른 접점의 반발력을 고려하여 결정되기 때문에 접압 스프링의 초기 압축량도 결정된 값으로 가정하였다. 그러므로 HEV-Relay의 설계를 위한 설계변수는 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

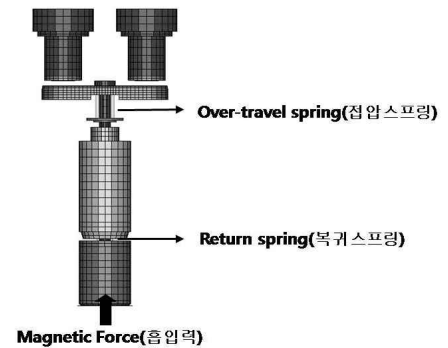


Fig. 2 Parameter of HEV-Relay for spring optimization

$$\begin{cases} x_1 = f_{return} & (N) \\ x_2 = k_{return} & (N/mm) \\ x_3 = k_{over} & (N/mm) \end{cases} \quad (1)$$

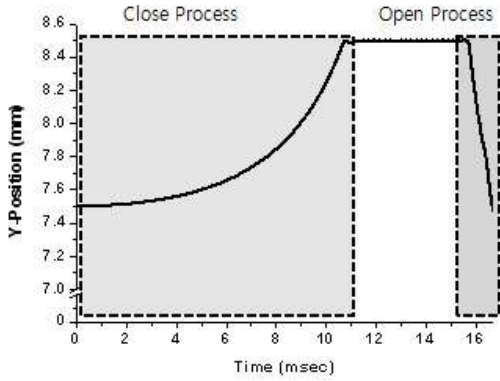


Fig. 3 Displacement of the moving electrode

HEV-Relay의 개폐과정에서 가동부 접점의 거동은 그림3에서 도시한 바와 같이 크게 닫힘 과정과 열림 과정으로 나누어지며 두 과정에 대한 가동접점의 변위를 그림과 같이 대략적인 궤적으로 나타낼 수 있다. 닫힘 과정에서 가동접점이 고정접점과 접촉하기 직전까지의 가동부 접점의 거동은 복귀 스프링의 물성에 의해서만 결정되며 열림 과정에서 접점의 거동은 복귀 스프링과 접압 스프링의 물성이 동시에 영향을 받아 결정되게 된다. 따라서 복귀 스프링은 HEV-Relay의 닫힘 과정을 통하여 설계될 수 있으며, 접압 스프링은 닫힘 과정에서 설계된 복귀 스프링의 결과를 통하여 열림 과정에서 설계될 수 있다. 각 과정에 대하여 유한요소 해석을 수행한 후 가동부의 속도 및 작동 시간을 통하여 설계될 수 있도록 목적변위 선도를 그림 4에 도시하였다. 반응

표면을 구성하기 위하여 닫힘, 열림 과정에 대한 목적함수 및 제한조건을 구성하였다. 닫힘 과정에 대하여 목적 변위 선도와 설계점에서 계산된 변위 선도간의 면적차를 최소화하기 위한 목적함수를 구성하여 수식 2에 나타내었으며, 열림 과정의 경우 목적 속도치와 설계점에서 계산된 가동접점의 변위로부터 최대 이송거리의 40% 구간에서 평균속도를 측정하여 이 차이가 최소화 되도록 목적함수를 구성하여 수식 3에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \text{Find } \tilde{x} &= [k_{return}, F_{return}] \\ \text{Minimize } y &= \left( \frac{A_{trial} - A_{target}}{A_{target}} \right)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Subject to } & 0.314 \text{ N/mm} \leq k_{return} \leq 0.65 \text{ N/mm} \\ & 1.5 \text{ N} \leq F_{return} \leq 2.5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Find } \tilde{x} &= [k_{over}] \\ \text{Minimize } y &= \left( \frac{v_{trial} - v_{target}}{v_{target}} \right)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Subject to } 8.560 \text{ N/mm} \leq k_{over} \leq 19.960 \text{ N/mm}$$

### 3.1.2 복귀 스프링의 설계

반응표면법을 이용한 스프링의 최적 설계를 수행하기 위하여 설정된 설계영역 내에서 CCD(Central Cubic Design) 방법을 이용하여 표1과 같이 9개의 설계점을 결정하였다. 결정된 각 설계점에 대하여 유한요소 해석을 수행한 후 가동 접점에 대한 변위를 측정하였다. 측정된 변위에 대하여 목적 함수를 계산하였으며, 수식 4에

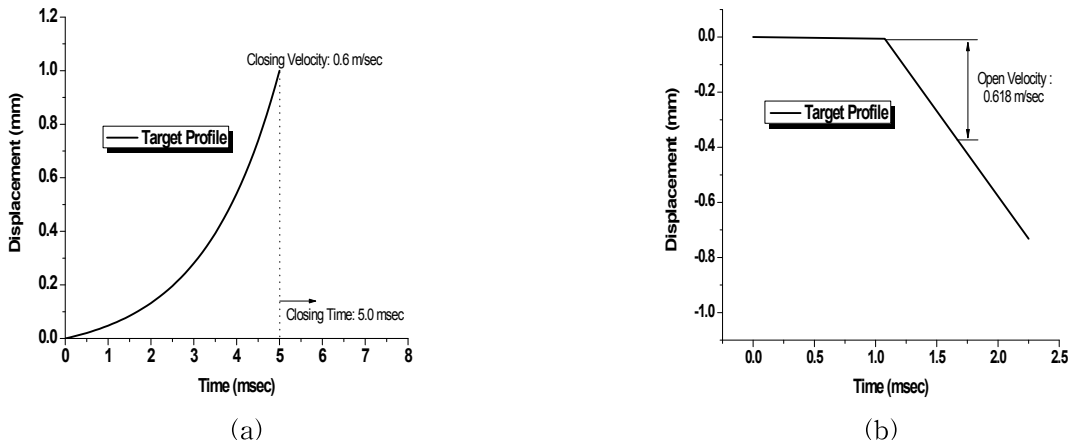


Fig. 4 Objective function for spring design: (a) Close Process; (b) Open Process

서 나타나는 바와 같이 회귀함수(Regression Model)를 이용하여 반응표면을 구성하였다. 구성된 반응표면을 이용하여 최적 설계점을 계산하였다. 수식5에 계산된 최소점을 나타내었다. 그림 5(a)는 각 설계점과 최적 설계점에 대한 유한요소 해석결과로서 가동점점의 단힘 과정 변위를 나타내고 있다. 최적 설계에서의 단힘 과정 변위가 목적 변위 선도에 근사되고 있음을 확인할 수 있다.

### 3.1.3 접압 스프링의 설계

열림 과정에서 접압 스프링을 설계하기 위하여 사용된 설계점은 표 3에 나타내었다. 해석 조건은 단힘 과정에 대하여 수행한 유한요소 해석에

**Table 1** Design points for optimization of return spring

Run	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	Run	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>
1	1.5	0.314	6	2.5	0.482
2	1.5	0.650	7	2.0	0.314
3	2.5	0.314	8	2.0	0.650
4	2.5	0.650	9	2.0	0.482
5	1.5	0.482			

$$Area = \beta_0 + \beta_1 F_{return} + \beta_2 F_{return}^2 + \beta_3 k_{return} + \beta_4 k_{return}^2 + \beta_5 F_{return} k_{return} + \beta_6 F_{return} k_{return}^2 + \beta_7 F_{return}^2 k_{return} + \beta_8 F_{return}^2 k_{return}^2 \quad (4)$$

$$F_{return} = 1.9318779 N, \quad (5)$$

$$k_{return} = 0.333621 N/mm$$

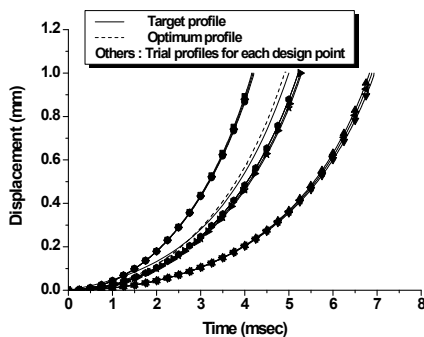
사용된 물성조건과 단힘 과정을 통하여 압축된 스프링의 변형에너지를 초기 조건으로 적용하여 해석을 수행하였다. 각 설계점에서 계산된 가동부의 변위 선도, 목적 변위 선도를 이용하여 목적 함수를 계산하였으며, 수식 6에 나타난 회귀함수를 바탕으로 반응표면을 구성하였다. 구성된 반응표면으로부터 수식 7과 같은 최적 설계점을 계산하였으며, 목적 속도를 갖는 변위 선도와 유한요소해석으로 얻어진 최적 설계점의 변위 선도를 그림 5(b)에 도시하였다. 결과에서 나타내는 바와 같이 최대 이송거리의 40%구간에 측정된 열림 속도가 목적 속도와 비교적 정확하게 일치하는 것을 확인하였다

**Table 2** Design points for optimization of over-travel spring

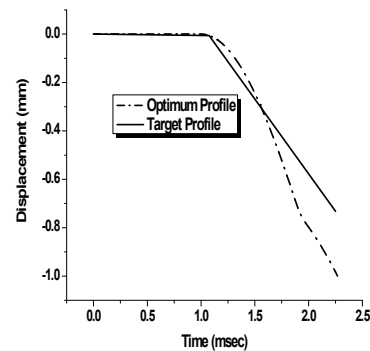
Run	x <sub>3</sub>	Run	x <sub>3</sub>
1	8.560	5	16.160
2	10.464	6	18.061
3	12.352	7	19.96
4	14.256		

$$Area = \beta_0 + \beta_1 F_{return} + \beta_2 F_{return}^2 + \beta_3 k_{return} + \beta_4 k_{return}^2 + \beta_5 F_{return} k_{return} + \beta_6 F_{return} k_{return}^2 + \beta_7 F_{return}^2 k_{return} + \beta_8 F_{return}^2 k_{return}^2 \quad (6)$$

$$k_{over} = 19.4869 N/mm \quad (7)$$



(a)



(b)

**Fig. 5** Displacement profile for target and optimum points of the moving part : (a) close process; (b) open process

### 3.2 충격특성 향상을 위한 접점 설계

HEV-Relay의 단힘 과정에서 발생하는 충격력을 감소시키기 위한 방법으로서 고정접점 및 가동 접점의 설계 개선을 수행하였다. 그림 6는 고정접점과 가동접점의 진동 모드와 변위를 개략적으로 나타낸 그림이다. 그림 6에 나타난 바와 같이 두 접점은 접촉 시 발생하는 충격력에 의하여 각각의 고유진동수로 진동하게 된다. 고정접점은 단순 스프링-질량 시스템으로서 작용하는 충격력 방향으로 일정 주기로 진동하게 되며 가동접점은 크게 두 가지 진동 모드를 보인다. 첫째는 그림 6에 나타난 바와 같이 접압 스프링에 의하여 가동접점 자체가 점선을 따라 진동하는 모드이며, 둘째는 충격력에 의하여 가동접점이 그림의 실선과 같이 점선을 따라 굽힘 모드로 진동하는 모드이다. 진동역학에 의하여 두 개의 질량-스프링 시스템의 경우 두 질량의 크기와 스프링의 강성이 같으면 같은 주기로 진동한다는 결과를 쉽게 유추할 수 있다. 본 연구에서는 이를 바탕으로 위 그림에서 나타나는 고정 및 가동 접점 시스템에 이를 적용하여 접촉으로 발생하는 충격력 및 진동을 최소화 하고자 한다. 이를 위하여 고정접점의 강성과 질량을 변화시켜 두 접점이 동일한 고유진동수를 갖도록 하였다. 고정접점의 강성을 변화시키기 위하여 고정접점에 접시스템(Spring)을 구조적으로 추가하였으며 질량을 조절하여 가동접점이 고유진동수와 일치하도록 하였다. 개선된 구조의 형상은 그림 7에 도시하였으며, 모드해석을 통하여 계산한 3.0mm 두께를 갖는 가동접점의 고유진동수는 10,108Hz이며, 형상이 개선된 고정접점의 고유진동수는 10,102Hz로서 두 접점의 고유진동수가 거의 일치하는 것을 확인하였다.

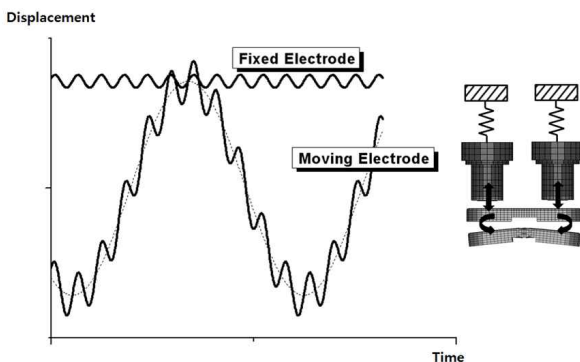


Fig. 6 Vibration characteristics of electrodes

### 4. 통합적 구조 최적화

본 논문에서는 앞장의 결과를 통합하여 HEV-Relay의 최적화된 구조를 제안하였다. 그림 8은 개선 전 접점 구조와 최적화된 스프링 물성을 적용한 유한요소 모델을 나타내고 있다. 개선된 모델의 바운스 및 충격 특성에 대한 개선 효과를 알아보기 위하여 유한요소 해석을 수행하였다. 유한요소 해석 결과로서 그 특성을 그림 9, 10에 도시하였다. 그림 9은 단힘 과정에서 가동 접점의 변위를 나타내고 있다. 결과에서 나타난 바와 같이 기존 모델에 비하여 통합 모델의 가동 접점이 규정속도를 만족하는 것확인할 수 있으며, 바운스 특성 또한 향상되고 있는 것을 측정할 수 있다. 이를 정량적으로 파악하기 위하여 측정 결과를 그림 10에 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 충격에 의한 바운스 특성은 기존 모델에 비해 70%이상 개선되었으며, 접점의 첫 번째 접촉에 대한 충격력은 기존 모델에 비하여 10~15% 감소된 것을 확인할 수 있다.

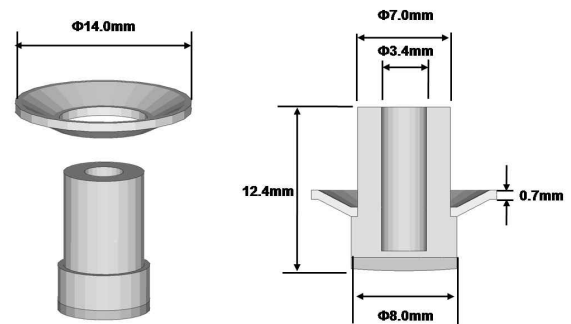


Fig. 7 Detail design for electrode optimized model



Fig. 8 Shape of integrated optimum design

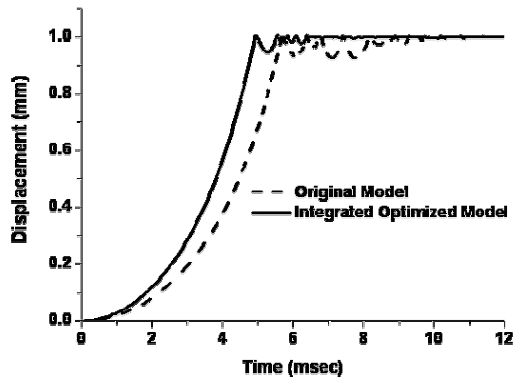


Fig. 9 Displacement for integrated optimum design

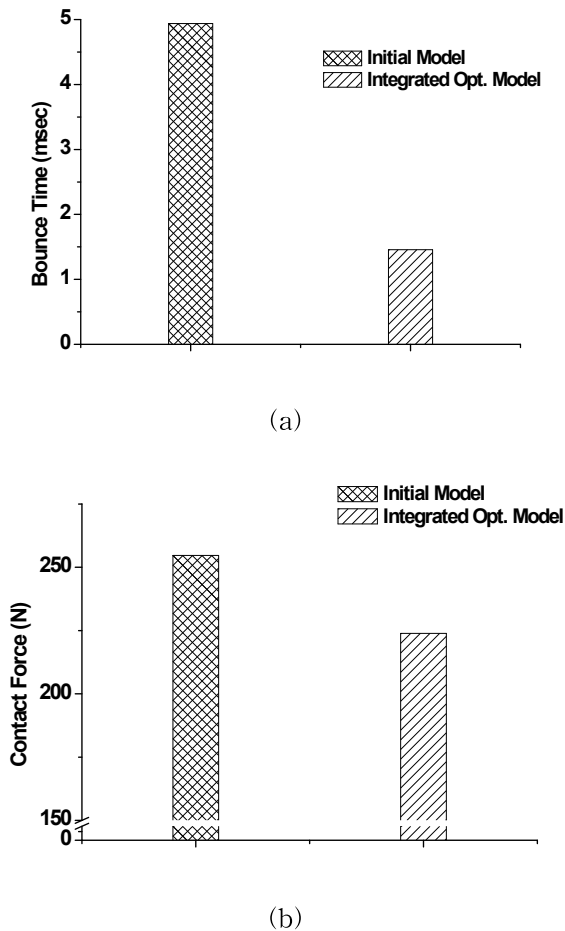


Fig. 10 Bounce and impact characteristics for integrated optimum design: (a) Bounce time; (b) Contact force

## 5. 결론

본 논문에서는 HEV-Relay의 충격 및 바운스 특성 향상을 위하여 스프링 및 접점의 재 설계 과정을 수행하였다. 접점 간 접촉 시 발생하는 충격 특성에 대하여 스프링의 물성 및 접점의 형상 변화에 따른 영향을 확인하고 충격력을 변화를 관찰하였으며, 스프링 설계 최적화와 접점 설계 기법을 제시하였다. 반응표면법을 이용한 스프링 최적설계 기법으로 relay의 단힘 과정에서 arc의 발생과 작동 반응시간을 고려한 최소 목적 변위 속도를 갖는 접압 및 복귀 스프링을 설계하는 방법으로서 이는 규정속도의 구현 뿐만 아니라 충격 소음 감소를 위한 설계과정에 효과적으로 적용될 수 있다. 접점의 충돌 시 충돌거동을 고려한 접점 설계 기법은 가동접점의 바운스 특성을 크게 향상시켰으며, 접촉 시 발생하는 충격력을 감소를 통하여 소음 특성 향상을 나타낼 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- (1) J. H. Lim, J. H. Song, H. Huh, W. J. Park and I. S. Oh, 2002, "Parameter study of impact characteristics for a vacuum interrupter considering dynamic material properties", *KSME*, Vol. 26, No. 5, pp. 924-931.
- (2) David A. Peters, 1997, "Optimum Spring-Damper Design for Mass Impact" *SIAM REV.*, Vol. 39, No. 1, pp.118-122.
- (3) J. M. Lifshitz and H. Kolsky, 1964, "Some Experiments on Anelastic Rebound", *J. Mech. Phys. Solids*, Vol. 12, pp. 35-43.
- (4) 조상순, 탁성준, 이석원, 김영근, 김병욱, 문기림, 이내욱, 윤석중, 1998, "VI를 이용한 RMU의 바운스 현상에 관한 연구", *LS산전 논문집*.
- (5) 고윤기, 조상순, 허훈, 김영봉, 박홍태, 오일성, 2007, "충격특성 향상을 위한 반응표면법을 이용한 HEV-Relay의 스프링 설계", 2007 자동차부품연구원 통합위크샵.