

# 고전압 DC 릴레이의 소음 저감에 관한 연구

## Study on the Noise Reduction of the High Voltage DC Relay

이경호† · 김영봉\* · 박홍태\* · 손진우\*

Gyeong Ho Lee † · Yeong Bong Kim\* · Hong Tae Park\* · Jin Woo Son\*

**Key Words** : DC Relay(직류 릴레이), Contact Spring(접압스프링), Impact(충격)

### ABSTRACT

국내외의 자동차 메이커는 고효율, 저공해 자동차 개발에 집중하고 있으며, 그 방법으로 하이브리드 자동차가 최우선시 되고 있다. 하이브리드 자동차의 배터리 팩을 구성하는 핵심 부품 중 하나인 고전압 직류 릴레이는 주행 중 엔진 구동력을 보조하는 구동모터에 전기 에너지를 공급하는 배터리의 출력을 개폐하는 기기이다. 고전압 직류 릴레이의 개폐 동작시 발생하는 소음은 자동차 운전 중 실내로 유입되어 운전자의 승차감을 떨어뜨리는 요인이 되므로 릴레이의 개폐 동작시 발생하는 소음 저감을 위한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 페로(ON) 동작시 발생하는 소음 저감을 위해 소음원인 충격력을 감소시키기 위한 이중 접압스프링 구조를 제안하였으며, 소음 저감 성능평가를 수행하였다. 먼저 정확한 충격해석을 위해 고전압 직류 릴레이의 최소 동작 전압인 5.9V부터 상시 인가 전압인 12V까지 총 6개의 전압레벨에서 릴레이의 전자력을 측정하였으며, 기존 접압스프링 구조와 이중 접압스프링 구조에 관하여 외연적 탄소성 유한요소 프로그램인 LS-DYNA를 사용하여 충격해석을 수행하였다. 고전압 직류 릴레이의 소음원인 가동전극과 고정전극에서 발생하는 일차 충격력과 가동철심과 고정철심에서 발생하는 이차 충격력을 비교, 평가하였다.

### 1. 서 론

유가 급등과 환경규제 강화로 연비가 우수하고 유해 배출가스를 줄인 자동차를 원하는 소비자들의 요구가 급증하면서, 세계 자동차 업계가 고효율, 친환경 저배기 자동차 개발에 박차를 가하고 있다. 이에 따라 석유엔진과 전기모터를 번갈아 사용하는 하이브리드 자동차(HEV; Hybrid Electric Vehicle)가 간접적 해결책으로 등장하였다<sup>1)</sup>.

하이브리드 자동차는 엔진과 고전압 배터리, 인버터, 전동기로 구성되는 전원 동력으로 구성되기 때문에 유효공간 확보를 위하여 전자장비의 설치 공간 최소화, 경량화가 요구된다. 다른 한편으로 기존의 12V 자동차 전원보다 높은 고전압 직류전원으로 전력을 공급하기 때문에 안전성과 신뢰성이 요구되며, 배터리에서 높은 고전압 전원을 공급하고, 차단하는 직류 고전압 릴레이에 관한 연구가 필요하다<sup>2)</sup>.

직류 고전압 릴레이는 개폐과정을 통하여 전기모터를 구

동시키고 엔진의 동작을 제어하여 차량에 적절하고 안정적인 동력을 공급하는 역할을 할 뿐 아니라 불필요한 동력은 발전기를 이용하여 다시 배터리 팩에 충전시켜 차량의 효율을 극대화 시키는 역할을 하는데 기여한다. 직류 고전압 릴레이는 교류와 달리 자연 전류영점(零點)이 존재하지 않는 직류에서 작용하기 때문에 아크를 신속히 소호하기 위한 아크 소호 구조에 관한 연구<sup>3),4)</sup>와 직류 고전압 릴레이의 개폐과정에서 접점의 접촉 시 발생하는 충격에 의한 접점의 바운싱(bouncing) 및 아크 발생에 미치는 영향인자에 관한 연구<sup>5)</sup> 등이 진행 중이다. 직류 고전압 릴레이는 운전 중 자동차의 주행 요건에 따라 수시로 작동되며, 이로 인한 소음은 주행 중 실내로 유입되어 운전자의 승차감을 떨어뜨리는 요인이 된다. 따라서 운전자의 승차감을 향상시키기 위한 직류 고전압 릴레이의 소음 저감에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 직류 고전압 릴레이의 페로(ON) 동작 시 발생하는 소음을 줄이기 위한 이중 접압스프링 구조를 제안하였다. 먼저 직류 고전압 릴레이에 전류 인가 시 발생하는 릴레이의 전자력을 측정하였다. 측정된 릴레이의 전자력과 외연적 탄소성 유한요소 프로그램인 LS-DYNA를 사용하여 접압스프링 구조에 따른 직류 고전압 릴레이의 페로과정 시 발생하는 충격력을 비교 및 평가하였다.

† LS산전 전력연구소  
E-mail : ghlee@lsis.biz  
Tel : (043) 261-6518, Fax : (043) 261-6629

\* LS산전 전력연구소

## 2. 고전압 DC 릴레이 구성 및 작동원리

고전압 직류 릴레이는 그림1에서 보는 바와 같이 크게 고정전극, 가동전극, 샤프트, 복귀 및 접압스프링, 전원 개폐시 발생하는 아크를 소호하기 위한 아크 소호부 그리고 가동전극을 제어 신호에 따라 이동 시킬 수 있는 조작부로 구성된다. 조작부는 자기회로를 구성하기 위한 플레이트, 요크, 고정철심과 가동전극을 움직이기 위한 전자력을 갖는 가동철심, 여자권선으로 구성된다. 여자권선에 전원을 인가하면 전자력이 형성되며, 이 전자력은 가동철심을 상향으로 1 mm 가량 이동시켜 복귀스프링을 압축시키며 샤프트 및 가동전극을 이동시킨다. 이 과정 중에 가동전극과 고정전극이 접촉을 하게 되면 외부 전원에 의한 통전과 접압스프링의 압축이 시작된다. 고전압 직류 릴레이의 안정적인 통전을 위하여 가동전극과 고정전극에 충분한 접압력을 부과하여야 하며 이를 위해 접압스프링을 0.7 mm 압축하게 된다. 폐로(ON) 과정이 완료되고 차량이 관련 기능을 수행한 후 여자권선에 전원을 차단하여 릴레이가 개로(OFF) 상태가 되도록 한다. 이때 개로 상태로 진행하기 위한 힘은 폐로 과정에서 압축된 복귀 및 접압스프링의 복원력이 된다.

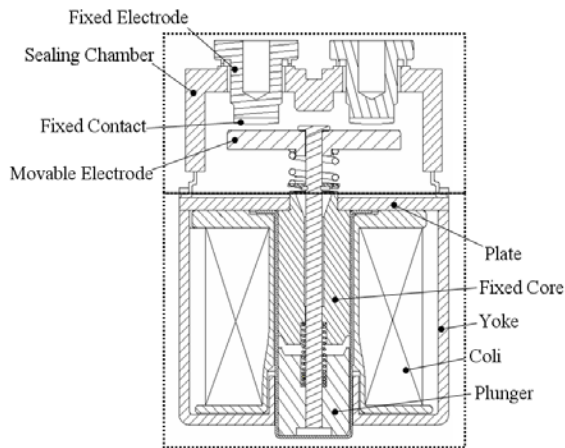


Fig. 1 고전압 DC 릴레이 기본 구조

## 3. 고전압 DC 릴레이의 충격해석

### 3.1 고전압 DC 릴레이의 전자력 측정

고전압 직류 릴레이의 폐로(ON) 과정의 작동 여부는 투입력인 릴레이의 전자력과 부하로 작용하는 복귀 및 접압스프링의 복원력에 의해 결정된다. 가동전극과 고정전극이 접촉하기 이전에는 복귀스프링의 복원력이 부하로 작용하며, 접촉 이후에는 복귀 및 접압스프링의 복원력이 부하로 작용하게 되는데, 릴레이의 전자력이 복귀 및 접압스프링의 복

원력보다 상위에 위치해야만 릴레이의 폐로 과정이 완료되게 된다. 복귀 및 접압스프링의 설계 및 고전압 직류 릴레이의 정확한 충격해석을 위해서는 실제 릴레이에 작용하는 전자력 측정이 필요하다. 본 연구에서는 레이저 변위 센서 및 힘 센서를 사용하여 릴레이의 인가 전원에 따른 릴레이의 전자력을 측정하였다. 릴레이가 폐로되는 최소 전압인 5.9V, 6.0V, 6.5V, 7.0V, 7.5V 및 상시 인가 전압인 12V 총 6개의 전압에서 릴레이의 전자력을 측정하였다. 각각의 전압에서 시험을 통해 얻은 가동철심과 고정철심 사이의 간격에 따른 릴레이의 전자력 곡선을 그림2에 나타내었다.

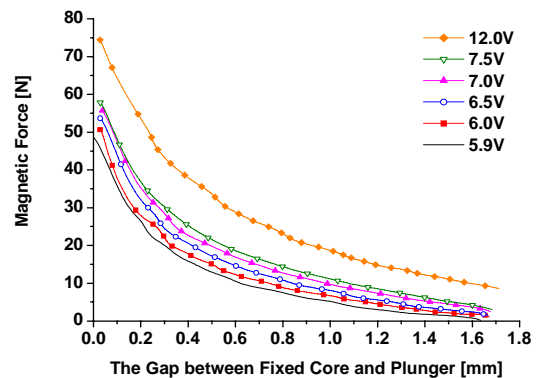


Fig. 2 인가전압에 따른 릴레이의 전자력

### 3.2 고전압 DC 릴레이의 소음원

폐로(ON) 과정에서 가동철심이 상향으로 이동하게 되면 가동전극과 고정전극에서 일차 충돌이 발생하고 이후 가동철심과 고정철심에서 이차 충돌이 발생하게 된다. 이러한 충돌에 의한 소음은 주행 중 실내로 유입될 수 있으며, 실내 정숙성을 해치는 요인이 될 수 있다.

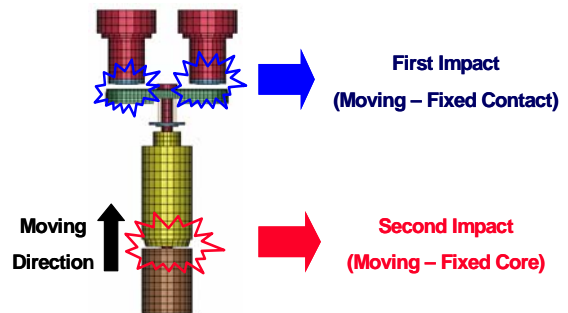


Fig. 3 폐로과정의 소음원

LS-DYNA를 사용하여 기존 모델의 폐로과정에 관한 충격해석 결과 최소 동작 전압인 5.9V에서 일차 충돌 때 최대 0.1657 KN의 충격력이, 이차

충돌에서는 최대 1.4042 KN의 충격력이 발생하였다. 두개의 충격력을 비교해 보면 이차 충돌에서 일차 충돌보다 약 8.5배 높은 충격력을 나타내었으며, 이차 충돌에 의한 소음이 더 크게 나타난다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 이차 충돌에 의한 소음을 저감하기 위해, 이차 충돌에 가장 영향을 많이 미치는 접압스프링의 구조를 변경하여 충격해석을 수행하였으며 일, 이차 충격력을 비교, 평가하였다.

### 3.3 고전압 DC 릴레이의 접압스프링 구조

그림4에 나타낸 가동철심 이동거리에 따른 복귀 및 접압스프링 선도를 보면 일차 충돌 직전까지는 복귀스프링이 작용하며, 일차 충돌 이후부터 이차 충돌까지는 복귀 및 접압스프링이 작용하는 것을 볼 수 있다. 폐로과정 중 스프링의 복원력이 부하로 작용하므로 충격력을 감소시키기 위해서는 부하로 작용하는 스프링의 복원력을 크게 하여야 한다. 하지만 복귀 및 접압스프링의 복원력이 릴레이의 전자력을 상회하게 되면 고전압 직류 릴레이의 폐로작용이 발생하지 않으므로 스프링의 복원력을 높이는 데 한계가 있다.

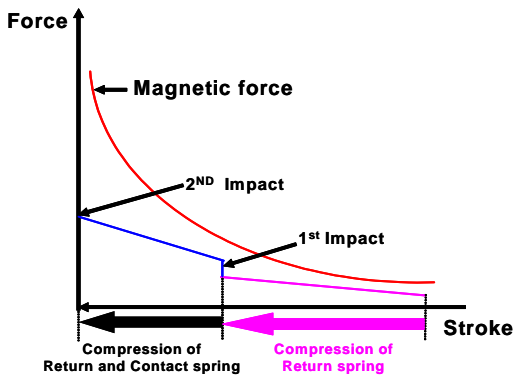
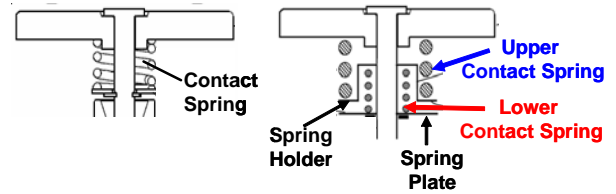


Fig. 4 가동철심 이동거리에 따른 스프링 선도

그림4의 전자력 선도의 특성상 가동철심의 이동 거리에 따라서 전자력의 변형이 적은 전반부보다는 변형이 많은 후반부에 작용하는 스프링 설계가 용이하며, 최적화된 접압스프링의 설계가 필요하다. 또한 스프링의 선형적인 특성상 최종적으로 작용하는 스프링의 복원력에 한계가 있으므로, 최종 스프링 복원력을 높일 수 있는 방법이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 그림5(b)에 나타낸 이중 접압스프링 구조를 제안하였다. 이중 접압스프링 구조는 스프링 상수값이 큰 상부 접압스프링, 스프링 상수값이 작은 하부 접압스프링, 스프링 홀더 및 스프링 받침대로 구성된다. 접압스프링의 초기 압축시

에는 상부 및 하부 접압스프링의 직렬연결에 의해 식(1)에 나타낸 등가 스프링 상수값을 가지고 접압스프링이 압축을 하며, 스프링 홀더와 스프링 받침대의 접촉이 일어난 후에는 상부 접압스프링만 압축을 하게 되므로 식(2)에 나타낸 등가 스프링 상수값을 가지고 접압스프링이 압축을 한다.



(a) Original Model (b) CASE 2 and CASE 1

Fig. 5 접압스프링 구조

$$k_{eq} = \frac{k_{upper} \cdot k_{lower}}{k_{upper} + k_{lower}} \quad (1)$$

$$k_{eq} = k_{upper} \quad (2)$$

이중 접압스프링 구조에서는 그림6에 나타낸 CASE2와 같이 전자력 선도를 따라가는 스프링 선도를 나타내게 되며, 이차 충돌지점에서 기존 접압스프링 구조보다 큰 스프링 복원력을 가지는 장점이 있다. 이중 접압스프링 구조의 성능 확인을 위해 기존 접압스프링 구조와 접압스프링의 초기 복원력을 증가시킨 CASE1, 이중 접압스프링 구조를 적용한 CASE2에 대하여 충격해석을 수행하여 일, 이차 충격력을 비교, 평가하였다. 그림6에 각각의 스프링 선도를 나타내었으며, 표1에 접압스프링 사양을 나타내었다.

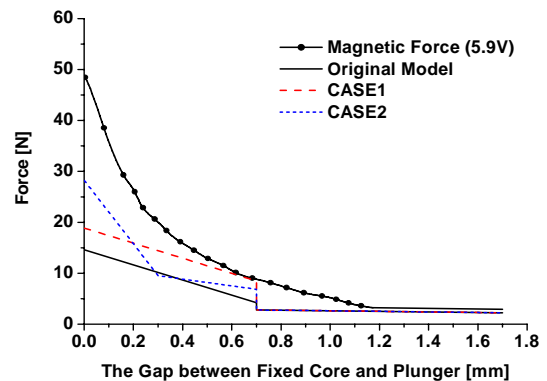


Fig.6 스프링 선도

table 1. 접압스프링 사양

	스프링 상수 [kgf/mm]	초기길이 [mm]	조립길이 [mm]
Original Model	1.4546	5.4	5.3
CASE 1	1.4546	5.7	5.3
CASE 2	upper	4.2595	4.8
	lower	1.3224	3.5

### 3.4 고전압 DC 릴레이의 충격해석

고전압 직류 릴레이가 폐로(ON)되는 최소 전압인 5.9V일 때 작용하는 릴레이의 전자력과 외연적 탄소성 유한요소 프로그램인 LS-DYNA를 사용하여 기존 접압스프링 구조 및 이중 접압스프링 구조에 관하여 충격해석을 수행하였다.

일, 이차 충돌지점에서의 최대 충격력을 그림7과 그림8에 각각 나타내었다. 일차 충돌지점에서의 최대 충격력을 비교해 보면 CASE1의 경우 0.2037 KN, CASE2는 0.1659 KN으로 기존 모델보다 CASE1은 22.9%, CASE2는 0.1% 증가하였다. 이는 접압스프링의 초기 복원력의 영향으로 판단되며, 접압스프링의 초기 복원력이 클수록 일차 충돌지점에서 충격력이 커짐을 알 수 있다. 일차 충돌지점에서의 충격력의 증가로 일차 충돌시의 소음이 증가할 것으로 판단된다. 이차 충돌지점에서의 최대 충격력을 비교해 보면 CASE1은 5.8%, CASE2는 7.7% 감소하였으며, 접압스프링의 최종 복원력이 클수록 충격력이 감소함을 알 수 있다. 이차 충돌지점에서의 충격력의 감소로 소음은 감소할 것으로 판단된다. 이중 스프링 구조를 적용한 CASE2의 경우 기존 모델보다 일차 충돌에서 충격력이 0.2 N 증가하였으며, 이차 충돌에서는 108 N 감소하였다. 일, 이차 충돌지점에서의 충격력의 증, 감소량을 비교해 보았을 때 이중 접압스프링 구조의 경우 기존 접압스프링 구조보다 소음 저감이 이뤄질 것으로 판단된다.

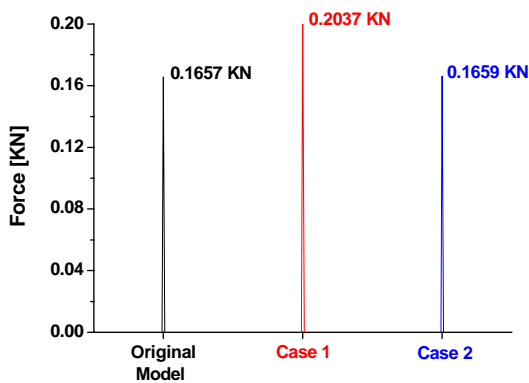


Fig. 7 일차 충돌지점에서의 충격력

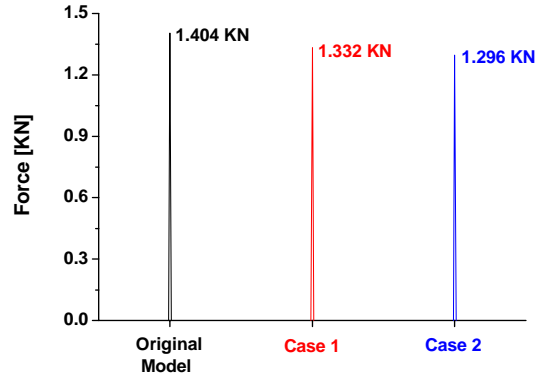


Fig. 8 이차 충돌지점에서의 충격력

충격해석에서 폐로 과정이 완료된 후 가동전극과 고정전극 사이에 발생하는 접압력을 표2에 나타내었다. 표2를 보면 CASE2의 접압력이 18.60 N 으로 가장 높았으며, CASE1의 접압력이 14.57 N, 기존 모델이 10.69 N으로 가장 낮았다. 이는 배터리의 높은 고전압을 구동모터에 안정적으로 공급하는 통전능력과 직결되며, 접압력이 높은 CASE2 (이중 접압스프링 구조)가 통전능력이 우수하다고 판단된다.

Table 2. 가동전극과 고정전극 사이의 접압력

	Contact Force [N]
Original Model	10.69
CASE 1	14.57
CASE 2	18.60

### 3.5 접압스프링 복원력 측정

각 경우의 소음 저감 성능평가를 위해 기존 접압스프링 구조 및 이중 접압스프링 구조를 제작하였으며, 아크 소호부와 조작부 결합 전 압축길이에 따른 접압스프링의 복원력을 측정하였다. 복원력 측정 시 초기 힘센서와 시료 접촉시 발생하는 충격력을 방지하기 위해 인장기를 사용하여 저속으로 접압스프링을 압축시켰으며, 힘센서와 레이저 변위센서를 사용하여 압축길이에 따른 접압스프링 복원력을 측정하였다. 그림9에 시험구성도를 나타내었으며, 그림10에 접압스프링의 복원력 측정시험 결과를 나타내었다. 초기 복원력이 기존 모델은 2.09 N인 반면, CASE1은 5.90 N, CASE2는 3.14 N으로 증가하였으며 이는 일차 충격력이 증가할 것으로 판단된다. 접압스프링의 최종 압축 길이인 0.7 mm에서의 복원력을 비교해 보면 CASE1은 12.30 N, CASE2는 20.63 N으로 기존모델보다 CASE1은 25.6%, CASE2는 110.7% 증가하였다. 이는 이차 충격력의 감소 및 가동전극과 고정전극

의 접압력을 상승 시킬 것으로 판단된다. CASE2의 경우 0.3 mm 지점에서 복원력 선도가 변함을 관찰하였으며 이 부분에서 스프링 홀더와 스프링 받침대의 접촉이 발생하였음을 알 수 있다.

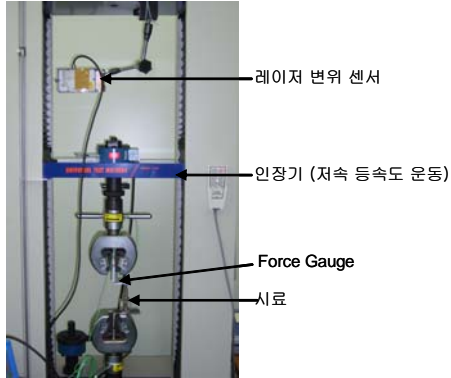


Fig. 9 접압스프링 복원력 측정 시험구성도

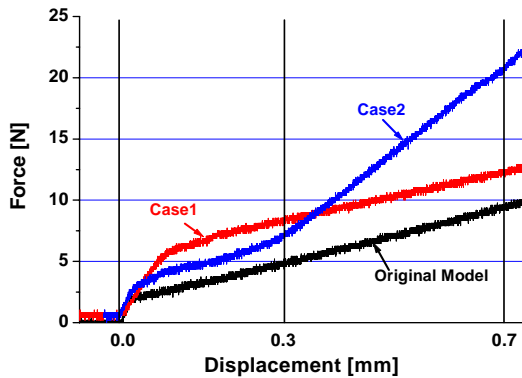


Fig. 10 접압스프링 복원력 측정시험 결과

#### 4. 결 론

본 연구에서는 고전압 직류 릴레이의 폐로(ON) 동작 시 발생하는 소음 저감을 위해 이중 접압스프링 구조를 제안하였으며, 충격해석을 수행하여 소음의 원인인 일, 이차 충격력을 비교, 평가하였다. 접압스프링의 초기 복원력이 클수록 일차 충돌지점에서의 최대 충격력이 증가하였으며, 접압스프링의 최종 복원력이 클수록 이차 충돌지점에서의 최대 충격력은 감소하였다. 이중 접압스프링 구조에서는 기존 접압스프링 구조보다 일차 충격력이 0.2 N 증가하였으나 이차 충격력은 108 N 감소하였다. 일, 이차 충격력의 증, 감소량을 비교해 보았을 때 이중 접압스프링 구조의 경우 기존 접압스프링 구조보다 소음 저감이 이뤄질 것으로 판단된다. 향후에는 기존 접압스프링 구조 및 이중 접압스프링 구

조를 적용한 고전압 직류 릴레이에 대한 소음 측정 시험을 수행하여, 이중 접압스프링 구조의 소음 저감 성능평가가 수행되어야 한다. 또한 충격해석 결과와의 비교를 통해 충격력과 소음 저감과의 영향에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 유영면, 2005, "하이브리드 자동차", 국회도서관보 제42권 제12호 통권 제320호, pp.40~44.
- (2) H. K. Cho, H. T. Park and I. S. Oh, 2007, "High Voltage DC Relay for Hybrid Electric Vehicle", 자동차 기술통합 Workshop 논문집, 자동차부품연구원.
- (3) H. K. Cho, 2006, "Improving the DC Magnetic Contactor Performance by Increasing Magnetic Driving Force Acting on the Arc Column using a Permanent Magnet", Ph. D Dissertation, Department of Electrical Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea.
- (4) H. K. Cho, E. W. Lee and J. H. Jeong, 2005, "DC Arc Extinction Using External Magnetic Field in Switching Device", KIEE International Trans., Vol.5-B, No.4, pp.306~311.
- (5) Y. K. Ko, S. S. Cho, H. Huh, Y. B. Kim, H. T. Park and I. S. Oh, 2007, "Spring Design of HEV-Relay Using Response Surface Method to Improve Impact Characteristics", 자동차 기술통합 Workshop 논문집, 자동차부품연구원.
- (6) 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.
- (7) 조상순, 탁성준, 이석원, 김영근, 김병욱, 문기립, 이내옥, 윤석중, 1998, "VI를 이용한 RMU의 바운스 현상에 관한 연구", LS산전 논문집.