

# 하이브리드 자동차용 계전기 모듈의 소음저감에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Noise Reduction Method of HEV-relay Module

서재용<sup>1</sup>, 김원진<sup>2,✉</sup>  
Jae Yong Seo<sup>1</sup> and Won Jin Kim<sup>2,✉</sup>

<sup>1</sup> 계명대학교 대학원 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Keimyung Univ.)

<sup>2</sup> 계명대학교 기계자동차공학과 (Department of mechanical & Automotive Engineering, Keimyung Univ.)

✉ Corresponding author: wjkim@kmu.ac.kr, Tel: 053-580-5970

Manuscript received: 2010.5.3 / Revised: 2010.7.21 / Accepted: 2010.8.10

*In this paper, the noise of HEV(hybrid electric vehicle)-relay module during the turn-on and turn-off switching is experimentally analyzed and an effective method is proposed to reduce the impact noise. First, enclosure methods of 100A relay part with urethane and silicon are tested to find out a better material to isolate the noise. This result shows that the urethane is a better for the noise isolation of relay, so the relays enclosed by urethane are installed in the relay module. Second, the noise of HEV-relay module is analyzed experimentally to identify the noise generation mechanism. From this result, it is found that the vibration transmitted to battery pack through bolt generates the structural borne noise with the frequency band of 200~2000 Hz, which is more serious when the switch is turned off. Finally, the direction of switching and the joint structure are modified in order to isolate the vibration transmitted to battery back. Both methods are very effective to reduce the switching noise.*

Key Words: Impact Noise (충격 소음), Relay (계전기), Vibration Isolation (진동절연)

### 1. 서론

하이브리드 전기자동차는 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 안정성과 신뢰성이 요구되며, 배터리에서 높은 고전압 전원을 공급하고, 차단하는 직류 고전압 계전기에 관한 연구가 필요하다.<sup>1</sup>

계전기는 개폐과정을 통하여 전기모터를 구동시키고 엔진의 동작을 제어하여 차량에 적절하고

안정적인 동력을 공급하는 역할뿐만 아니라 불필요한 동력은 발전기를 이용하여 다시 배터리 팩에 충전시켜 차량의 효율을 높이는 역할을 한다. 계전기는 자동차의 주행 요건에 따라 수시로 작동되며, 고전압 배터리와 모터제어기 사이에 장착되어 개폐과정 중에 충격소음을 발생시킨다. 자동차 엔진 소음의 감소로 계전기의 충격소음은 상대적으로 하이브리드 전기자동차의 주요 소음으로 분류되며, 승차자에게 불쾌감을 유발하는 요인이 된다. 따라서 승차자들의 안락감을 향상시키기 위한 계전기의 소음저감에 관한 연구가 필요하다.<sup>2</sup>

충격 및 바운스 특성 향상을 위한 하이브리드 전기자동차-계전기(HEV-relay)의 설계에 관한 연구

에서는 충격소음 및 바운스 특성을 향상시킬 수 있는 최적화 설계기법이 제안되었고, 고전압 DC 계전기의 소음저감에 관한 연구에서는 직류 고전압 계전기의 폐로 시에 발생하는 소음을 저감하기 위한 이중 접압스프링이 제안되었다.<sup>3,4</sup>

현재 하이브리드 차량의 배터리 팩에 체결되는 계전기 모듈(PRA : power relay assembly)은 폐로와 개로 시에 각각 63.3, 69.2 dBA 수준으로 소비자 요구수준인 60 dBA 보다 크다. 따라서 계전기 단품의 밀폐와 배터리 팩으로 전달되는 진동을 절연하는 방법을 도출하여 적용함으로써 폐로와 개로 시의 소음을 60 dBA 이하로 저감하고자 한다.

2. 소음 현상 분석

2.1 계전기 단품의 소음 특성 평가

계전기가 작동하면서 단자(contact)들과 코어(core)들이 서로 부딪히게 되고, 이로 인해 계전기의 내부에서 충격력이 발생하게 된다. 이 충격력에 의해 가진된 본체가 진동하면서 주변으로 소음을 방사하게 된다. 계전기의 작동은 폐로와 개로 과정으로 나눌 수 있으며, Fig. 1 의 (a)와 (b)에 각각 나타내었다.

계전기의 폐로과정은 내부의 코일에 전류가 흐르면서 시작된다. 이 코일의 전류로 인한 유도자기장에 의해 코어부분은 자성을 가지게 된다. 이때 고정코어(fix-core)와 이동코어(moving-core) 사이에는 인력이 작용하게 되는데, 이 힘으로 샤프트와 이동코어가 위로 올라가면서 상부의 고정단자(fix-contact)사이를 통전시키게 된다. 고정단자와 이동단자(moving-contact)가 서로 부딪히고 난 후에도 이동코어는 고정코어와 부딪힐 때까지 윗방향으로 운동하게 된다. 이때 계전기 내부에서는 단자 사이의 충돌과 코어 사이의 충돌이 연속해서 발생하여 소음을 유발시킨다. 계전기의 개로과정은 코일에 전류가 흐르지 않아 고정코어와 이동코어 사이의 작용인력이 소멸되면서 복원 스프링에 의해서 샤프트(shaft)는 원래 자리로 복귀하게 되고, 이때 스프링 홀더(spring holder)가 고정코어와 충돌하면서 충격소음을 발생시킨다.<sup>5</sup>

100 A 계전기 단품을 대상으로 소음을 저감하기 위하여 Fig. 2, 3 과 같이 계전기 단품을 실리콘(silicon)과 우레탄(urethane)을 사용하여 밀폐하였다. 이때, 전기적 특성에 영향을 미치지 않도록 Fig. 4

와 같이 계전기를 플라스틱으로 케이싱(casing)하였다. 소음측정은 계전기 단품의 상단으로부터 30cm 위치에서 소음을 측정하였고, 그 결과를 Table 1 과 Fig. 5 에 나타내었다. 실리콘으로 밀폐한 경우에는 폐로와 개로 시에 각각 4.7, 6.9 dB 의 소음저감 효과가 나타났고, 우레탄으로 밀폐한 경우에는 9.9, 8.8 dB 의 소음저감 효과가 나타났다. 두 재료 모두 2000 Hz 이상의 소음을 효과적으로 차단하는 것으로 판단되며, 실리콘보다 상대적으로 밀도가 높은 우레탄이 소음저감 효과가 우수한 것을 알 수 있다.

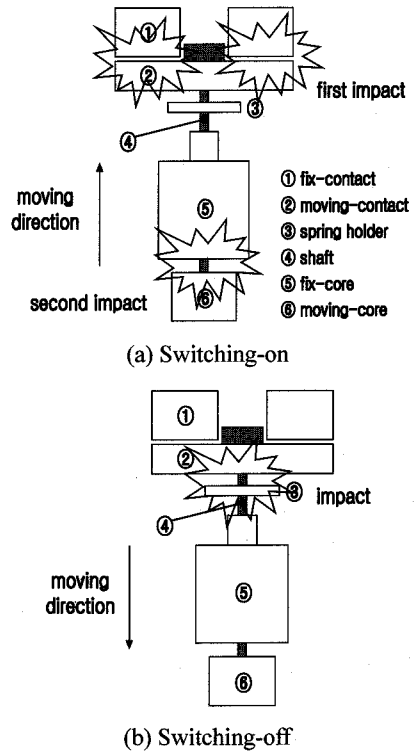


Fig. 1 Impact mechanism of the 100 A relay

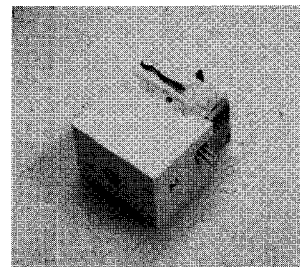


Fig. 2 Photograph of the silicon enclosure

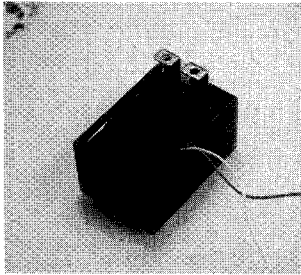


Fig. 3 Photograph of the urethane enclosure

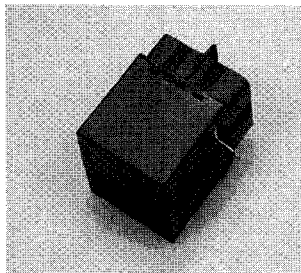
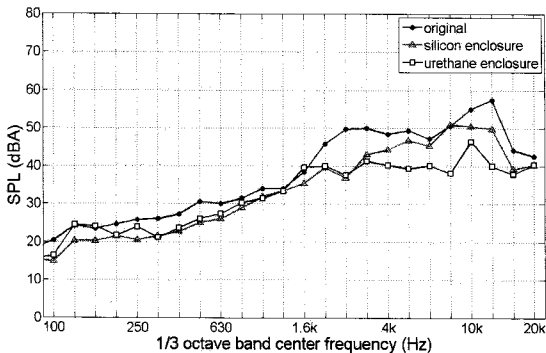


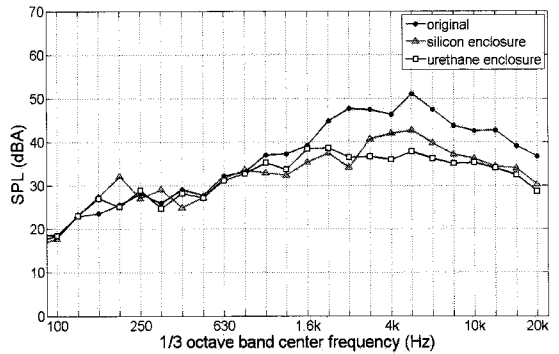
Fig. 4 Photograph of casing of the 100 A relay

Table 1 Comparison of noise levels for enclosure materials

enclosure material	switching-on		switching-off	
	overall level [dBA]	reduction Level [dB]	overall Level [dBA]	reduction Level [dB]
original	61.7	-	56.7	-
silicon	57.0	4.7	49.8	6.9
urethane	51.8	9.9	47.9	8.8



(a) Switching-on



(b) Switching-off

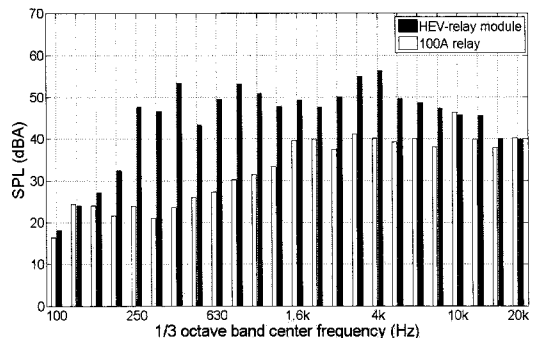
Fig. 5 Noise levels of the 100A relay for enclosure materials

2.2 실사용 계전기 모듈의 소음 특성 분석

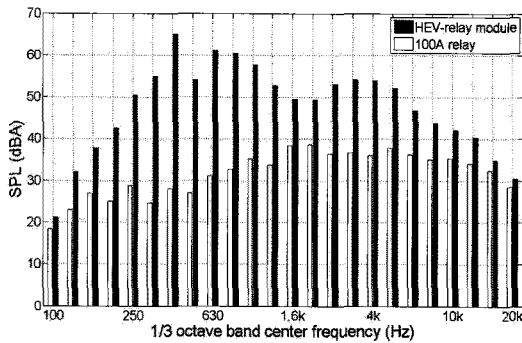
실사용 계전기 모듈의 방사소음은 크게 계전기 단품의 방사소음, 계전기 모듈의 방사소음, 배터리 팩에 의한 방사소음으로 나눌 수 있다. 100 A 계전기 2 개와 10 A 계전기 1 개로 구성된 실사용 조건의 계전기 모듈을 대상으로 소음 특성을 분석하였다.

소음저감 효과가 우수한 우레탄으로 밀폐한 계전기 단품을 적용한 계전기 모듈을 실제 차량용 배터리 팩에 체결하여 소음을 측정하였다. 소음은 단품시험에서와 마찬가지로 계전기 모듈의 상단으로부터 30cm 위치에서 측정하였고, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 계전기 단품과 비교하여 200~4000 Hz 의 소음성분이 크게 증가하였고, 특히 개로 시의 소음 레벨이 크게 증가하였다.

따라서 실사용 계전기 모듈에서 발생하는 200~4000 Hz 의 소음에 대한 소음 발생원 규명 및 저감 대책이 필요하다.



(a) Switching-on



(b) Switching-off

Fig. 6 Noise levels of the 100 A relay and the HEV-relay module

### 3. 소음 발생원 규명

본 절에서는 계전기 모듈 자체에서 발생하는 소음과 배터리 팩으로 전달되는 진동에 의해 발생하는 구조진동음이 전체 소음에 미치는 영향도를 평가하기 위하여 다음의 두 가지 방법을 각각 적용한 후에 소음을 분석하였다.

#### 1) 계전기 자체의 소음저감 방법

Fig. 7 의 (a)와 같이 계전기 모듈의 상·하부 덮개에 방진고무를 부착함으로써 덮개로 전달되는 진동을 차단하였고, Fig. 7 의 (b)와 같이 계전기의 내부공간을 솜으로 채워 공동공진(cavity resonance)을 방지하였다.

#### 2) 배터리 팩으로 전달되는 진동절연 방법

배터리 팩과 계전기 모듈은 4 개의 볼트로 체결된다. 볼트 통하여 배터리 팩으로 진동이 전달되기 때문에 Fig. 8 과 같이 볼트를 제거하였다.

이상의 두 가지 방법을 각각 적용한 경우에 대한 소음측정 결과를 Table 2 와 Fig. 9 에 나타내었다. 계전기 모듈 자체의 방사소음 저감방법을 적용한 경우에는 페로와 개로 시에 각각 2.2, 2.4 dB 의 소음이 저감되었다. 배터리 팩으로 전달되는 진동절연 방법을 적용한 경우에는 페로와 개로 시에 각각 4.5, 6.4 dB 의 소음이 저감되었고, 페로와 개로 시 모두 200~2000 Hz 의 소음이 크게 감소하였다. 특히 개로 시에 소음저감 효과가 우수하다.

이상의 결과에서 실사용 계전기 모듈에서 증폭되는 200~2000 Hz 의 소음은 배터리 팩으로 전달되는 진동에 의해 주로 발생하는 것으로 판단된다.

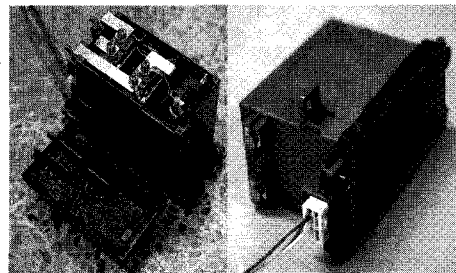
소음원의 발생기구를 분석해 보면 100 A 계전

기 단품의 작동 충격력은 2000 Hz 이상의 고주파소음을 발생시키고, 이때 발생된 진동은 계전기 모듈로 전달되어 페로와 개로 시에 각각 250~400, 3150~4000 Hz 의 소음을 증폭시킨다. 그리고 계전기 모듈의 진동은 볼트를 통하여 배터리 팩으로 전달되어 200~2000 Hz 의 소음을 증폭시키는 것으로 판단된다.

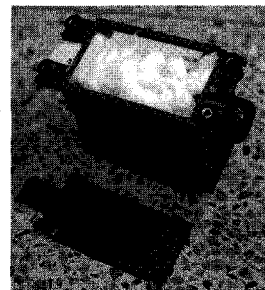
따라서 실사용 계전기 모듈 소음은 200~2000 Hz 의 소음이 우세하기 때문에 배터리 팩으로 전달되는 진동을 절연하면 소음저감 효과가 클 것으로 판단된다.

Table 2 Comparison of noise levels for isolation methods

isolation method	switching-on		switching-off	
	overall level [dBA]	reduction level [dB]	overall level [dBA]	reduction level [dB]
original	63.3	-	69.2	-
modified relay module	61.1	2.2	66.8	2.4
no bolting	58.8	4.5	62.8	6.4



(a) Isolating the vibration



(b) Eliminating the cavity resonance

Fig. 7 Photograph of the modified relay module

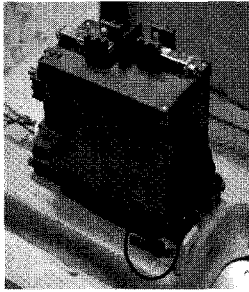
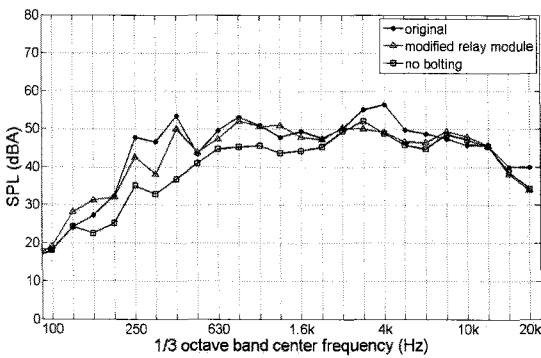
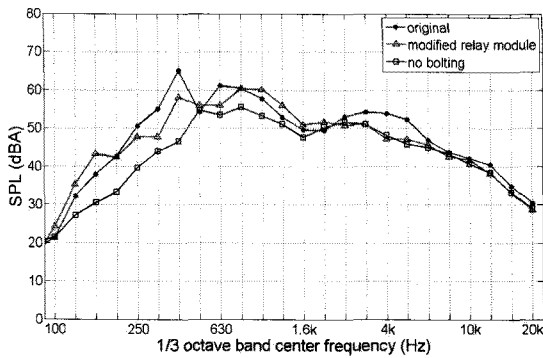


Fig. 8 Photograph of the relay module without bolting



(a) Switching-on



(b) Switching-off

Fig. 9 Noise levels of the HEV-relay module for isolation methods

4. 소음저감 대책

배터리 팩으로 전달되는 진동은 200~2000 Hz 영역의 소음을 발생시키므로 진동을 절연하기 위하여 계전기 모듈과 배터리 팩의 체결 방법을 개선하고, 계전기 단품의 작동방향을 수평으로 변경하였다.

첫 번째로 계전기 모듈과 배터리 팩의 체결 방

법 개선에 있어서는 Fig. 10 과 같이 강성이 큰 고무와 철심으로 구성되어 있는 기존의 체결 구조를 Fig. 11 과 같은 진동절연 구조로 개선하였다. 즉 강성이 큰 고무를 상대적으로 강성이 작고 진동절연이 우수한 우레탄폼(urethane-foam)으로 대체하고, 고무 내부의 철심을 제거하였다. 그리고 볼트와 배터리 팩이 직접 접촉하지 않도록 체결 구조를 변경하였으며, 기존의 체결 구조의 강도를 유지하기 위하여 동일한 체결력으로 배터리 팩과 계전기 모듈을 체결하였다. 우레탄폼은 전류통전에 의한 열화현상으로 물성치가 변하거나 소음특성이 변할 수 있다. 하지만 차량용 배터리 팩과 계전기 모듈이 체결되는 부분은 절연되어 있기 때문에 우레탄폼을 진동절연체로 사용하더라도 계전기 모듈의 소음특성에 영향을 미치지 않을 것이라고 판단된다.<sup>6</sup>

개선된 체결 구조를 적용한 계전기 모듈의 소음측정 결과를 Fig. 12 에 나타내었다. 체결 구조를 변경한 경우의 전체 소음 레벨은 폐로와 개로 시에 각각 58.9, 60.2 dBA 이었고, 소음저감 효과는 각각 2.2, 6.6 dB 로 나타났다. 2000 Hz 이하의 소음이 크게 감소하였으며, 개로 시의 소음저감 효과가 상당히 우수하였다. 따라서 개선된 체결구조는 배터리 팩으로 전달되는 진동을 효과적으로 절연하는 것으로 판단된다.

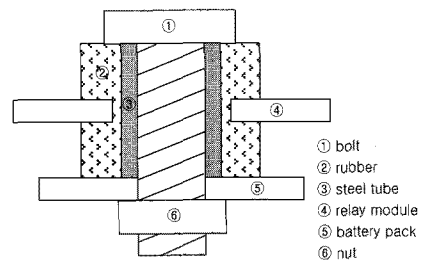


Fig. 10 Original joint structure

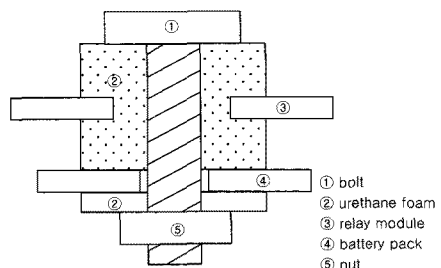


Fig. 11 Modified joint structure

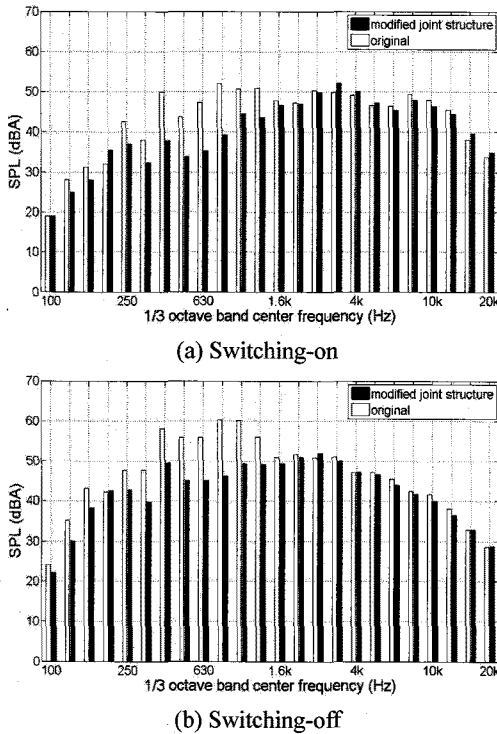


Fig. 12 Noise levels of the HEV-relay module for the joint structure

두 번째로 100 A 계전기 단품의 스위치 작동에 의한 수직방향의 충격력을 저감하기 위하여 계전기 단품의 작동방향을 수직에서 수평방향으로 변경하는 방법을 적용하였다. 계전기 개폐과정 중에 발생하는 충격력은 중력보다 크기 때문에 계전기 작동방향을 변경하더라도 전류 차단특성에는 영향이 없을 것이라고 판단된다.

계전기 단품의 작동방향 변경을 적용한 계전기 모듈의 소음측정 결과를 Fig. 13 에 나타내었다. 100 A 계전기 단품의 작동방향을 변경한 경우의 전체 소음 레벨은 폐로와 개로 시에 각각 60.0, 60.9 dBA 이고, 소음저감 효과는 각각 1.1, 5.9 dB 로 나타났다. 폐로와 개로 시에 각각 1600, 3150 Hz 이하의 소음이 주로 저감되었고, 개로 시의 소음저감 효과가 상당히 우수한 것을 알 수 있다. 따라서 계전기 작동방향을 변경은 배터리 팩으로 전달되는 진동을 효과적으로 저감한 것으로 판단된다.

최종적으로 이상의 두 가지 방법을 동시에 적용하여 소음을 평가한 결과를 Fig. 14 에 나타내었다. 체결 구조의 개선과 100 A 계전기 단품의 작동방향 변경을 동시에 적용한 경우의 소음 레벨은

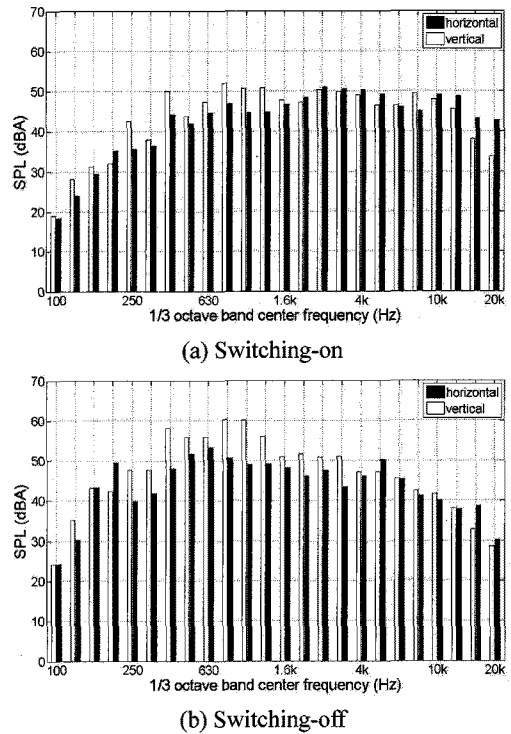


Fig. 13 Noise levels of the HEV-relay module for different switching direction

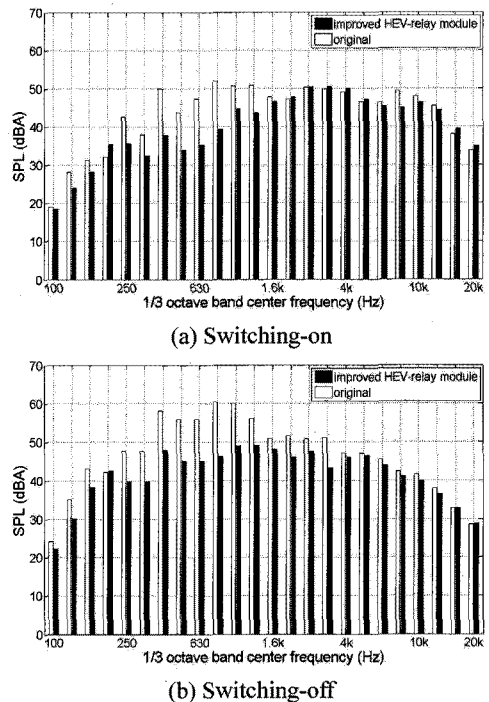


Fig. 14 Noise levels of the improved HEV-relay module

페로와 개로 시에 각각 58.5, 58.5 dBA 이고, 소음저감 효과는 각각 2.6, 8.3 dB 로 나타났다. 페로와 개로 시에 2000 Hz 이하의 소음이 상대적으로 크게 저감되었고, 개로 시의 소음저감 효과가 상당히 우수한 것을 알 수 있다.

이상의 결과에서 개선된 계전기 모듈은 배터리 팩으로 전달되는 진동을 효과적으로 절연하여 페로와 개로 시의 소음을 60 dBA 이하로 저감하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 하이브리드 전기자동차에 장착되는 계전기 모듈의 충격소음 발생기구를 규명하고 소음저감 대책을 수립하였다. 하이브리드 전기자동차용 계전기 모듈의 소음을 저감하기 위한 주요한 실험 방법 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 계전기 단품의 방사소음을 줄이기 위하여 실리콘과 우레탄으로 밀폐하였다. 두 재료 모두 2000 Hz 이상의 고주파소음을 저감하는데 효과적이지만, 우레탄이 실리콘보다 소음저감 효과가 우수하였기 때문에 우레탄으로 밀폐한 계전기 단품을 계전기 모듈에 적용하였다.

2) 실사용 계전기 모듈에서 증폭되는 200~4000 Hz 의 소음원을 규명하기 위하여 계전기 모듈의 진동절연 및 내부 공간 제거와 체결용 볼트를 제거하는 방법을 제안하여 소음을 분석하였다. 체결용 볼트를 제거하였을 때 200~2000 Hz 의 소음이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 볼트를 통하여 배터리 팩으로 전달되는 진동에 의한 구조진동음이 실사용 계전기 모듈의 주요 소음원으로 규명되었다.

3) 배터리 팩으로 전달되는 진동을 절연하기 위하여 체결 구조의 개선과 100 A 계전기 단품의 작동방향 변경 방법을 제안하여 적용하였다. 두 가지의 방법을 모두 적용한 계전기 모듈은 배터리 팩으로 전달되는 진동을 효과적으로 절연하므로 구조진동음을 크게 저감할 수 있었으며, 페로와 개로 시의 소음 레벨이 60 dBA 이하 조건을 만족하였다.

## 참고문헌

1. Cho, H. K., Park, H. T. and Oh, I. S., "High Voltage DC Relay for Hybrid Electric Vehicle," Workshop of Korean Automotive Technology Institute, 2007.

2. Lim, J. H., Song, H., Huh, H., Park, W. J. and Oh, I. S., "Parameter study of impact characteristics for a vacuum interrupter considering dynamic material properties," Transaction of Korea Society Mechanical Engineers, Vol. 26, No. 5, pp. 924-931, 2002.
3. Ko, Y. K., Cho, S. S., Huh, H., Lee, S. Y., Park, H. T. and Oh, I. S., "Design of HEV-Relay to Improve Impact and Bounce Characteristics," Proceeding of Autumn Conference of Korea Society of Mechanical Engineers, pp. 491-496, 2008.
4. Lee, G. H., Kim, Y. B., Park, H. T. and Son, J. W., "Study on the Noise Reduction of the High Voltage DC Relay," Proceedings of Autumn Conference of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 788-792, 2007.
5. Kim, K. H. and Kim, Y. H., "Modeling impact force and transfer function for reducing relay impact noise," Proceedings of Autumn Conference of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 646-649, 2008.
6. Lee, C. M. and Lee, J., "Vibration and Radiated Noise Analysis of Plate Covered with Damping Material," Transaction of Korea Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 317-322, 2002.