한국소음진동공학회 2008년 추계학술대회논문집, pp.646~649

릴레이 충격 소음 저감을 위한 충격력과 전달함수 모델링

Modeling impact force and transfer function for reducing relay impact noise

김구환* · 김양한**
Koo-Hwan Kim and Yang-Hann Kim

Key Words: Transfer function(전달함수), Impact noise(충격 소음), Relay(릴레이)

ABSTRACT

This study deals with mechanism of relay operation and modeling of transfer function between impact force and sound pressure due to the impact force in order to reduce relay noise. A collision between a moving-contact and fix-contact produces impact noise. Therefore impact noise of relay is determined by not only excitation force but also transfer function from impact force to noise. In this study, we find mechanism of relay operation, make impact force model and measure characteristic of relay noise. And also we find transfer function of relay noise.

1. 서 론

하이브리드 차에서 내부의 고전압 배터리와 모터제어기 사이에 장착되는 릴레이는 순간적으로 켜지고 꺼지면서 충격소음을 발생시키고, 이는 하이브리드 차량의 승차감을 저해시키는 요인이 된다. 따라서 릴레이의 충격소음을 줄이는 방법에 대한 연구가 필요하다.

릴레이의 충격음 저감을 위해서는 먼저 충격소음을 발생시키는 원인을 찾아야 한다. 릴레이가 작동하면서 Fig.1 의 단자(contact)들과 코어(core)들이 서로 부딪히게 되고, 이로 인해 릴레이의 내부에서 충격력이 발생하게 된다. 이 충격력에 의해 가진된 본체가 떨면서 주변에 소음을 방사하게 된다. 이렇게 소음이 방사되는 과정은 크게 내부의 충격에 의한 가진, 이에 의한 릴레이 표면의 진동, 이 결과 방사되는 충격소음으로 나눌 수 있다. 결과적으로 릴레이에서 발생하는 소음은 릴레이 내부의 충격력과 이 충격력이 소음으로 전달되는 전달함수에 의해 결정된다고 할 수 있다.
본 연구에서는 릴레이 작동메커니즘을 확인하고, 릴레이 시스템의 전달함수를 파악하기 위해 소음의 원인이 되는 가진력을 모델링하고, 소음의 주파수특성을 확인하였다. 이를 통해 릴레이가 켜질 때의 충격력과 소음 사이의 전달함수를 구했다.

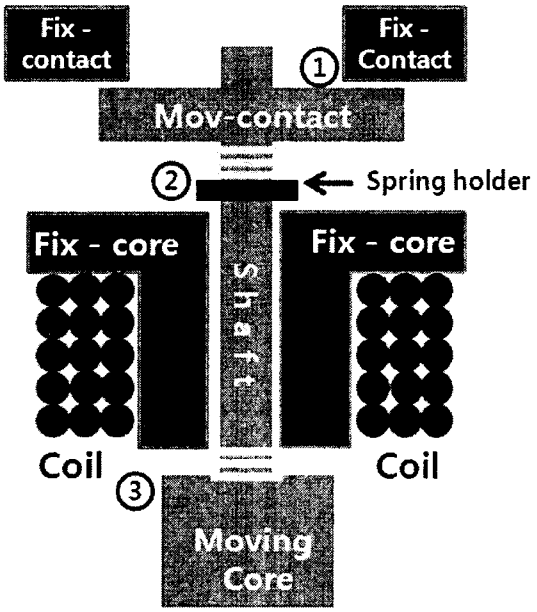


Fig.1 Diagram of relay

2. 릴레이의 작동 구조

릴레이는 외부에서 받은 전류를 통해 내부의 접촉단자를 이동시켜 회로를 연결하고 끊는 역할을 한다. 릴레이가 켜지는 과정은 내부의 코일에 전류가 흐르면서 시작된다. 이 코일의 전류로 인한 유도자기장에 의해 코어부분은 자성을 띄게 된다. 이때 고정-코어(fix-core)와 이동-코어(moving-core)사이에는 인력이 작용하게 되는데, 이 힘으

* 한국과학기술원 기계공학과
E-mail: kh-kim@kaist.ac.kr
Tel: (042) 350-3060, Fax: (042) 350-8220
** 한국과학기술원 기계공학과

로 샤프트와 이동-코어가 위로 올라가면서, 상부의 고정 단자(fix-contact)사이를 통전시키게 된다. 고정-단자와 이동 단자(moving-contact)가 서로 부딪히고 난 후에도 이동-코어는 고정-코어와 부딪힐 때까지 계속 위로 올라가게 된다. 이때 릴레이 내부에서는 단자(contact)끼리의 충돌에 의한 충격력(Fig.1 의 ①)과 코어(core)끼리의 충돌에 의한 충격력(Fig.1 의 ②)이 연속해서 발생한다.

위의 과정과는 반대로 꺼질 때는 코일에 전류가 흐르지 않아 고정-코어와 이동-코어 사이의 인력이 없어지면서, 복원 스프링에 의해서 샤프트(shaft)는 원래 있던 자리로 되돌아 가게 되고, 이때 스프링 홀더(spring holder)가 고정-코어와 충돌하게 되면서 충격력(Fig.1 의 ③)이 발생해 릴레이를 가진하게 된다.

3. 단자에서의 충격력 모델링

3.1 단자 형상 모델링

릴레이의 내부는 밀폐되어 있고, 또 그 크기가 작기 때문에 실제로 내부 부품끼리의 충돌에 의한 충격력을 직접 측정하기에는 어려움이 있다. 여러 충격력 중 EV-100 릴레이에 대해서 켜질 때 이동-단자와 고정-단자의 형상을 모델링 하고, 이를 상용 해석 프로그램인 LS-DYNA 를 사용해 단자끼리 충돌 시 발생하는 충격력을 계산했다.

3.2 충격력 해석 결과

실제 릴레이의 단자와 경계조건을 맞추기 위해 Fig. 2 와 같이 고정-단자의 삼각부분이 움직이지 않도록 경계조건을 주었다. 위쪽의 고정-단자를 고정한 상태에서 아래쪽의 이동-단자를 20mm/s 로 이동시켜 시간이 변함에 따라 두 물체가 충돌하면서 발생하게 되는 충격력을 구하였다. 두 물체의 영률과 밀도는 실제 릴레이에서 사용되는 재료와 동일한 구리의 성질을 이용했다.

Fig. 3 은 단자 사이에서 발생하는 충격력의 시간에 따른 변화를 나타낸 그림이다. 충돌하는 순간 14kN 정도의 강한 충격력이 발생하고, 이후에 이동-단자가 고정-단자에 접촉한 상태로 진동하기에 뒤쪽에 5kN 정도의 힘이 발생하게 된다.

Fig.4 충격력을 주파수 영역에서 나타낸 그림이다. (a)는 푸리에 변환을 통해 주파수 영역에서 나타냈고, (b)는 (a)의 결과를 1/3 octave band 로 합쳐서 나타낸 결과이다. 대부분의 힘 성분들이 주로 100Hz 에서 1kHz 사이의 저주파영역에 있고, 고주파영역으로 갈수록 그 크기가 작아진다.

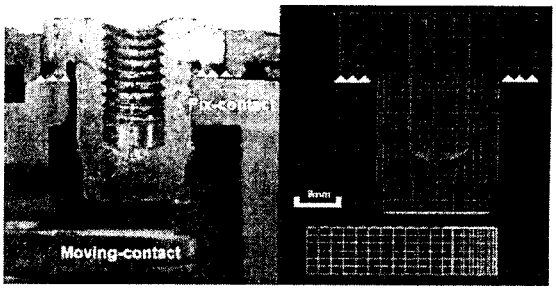


Fig.2 Modeling of two contacts in a relay

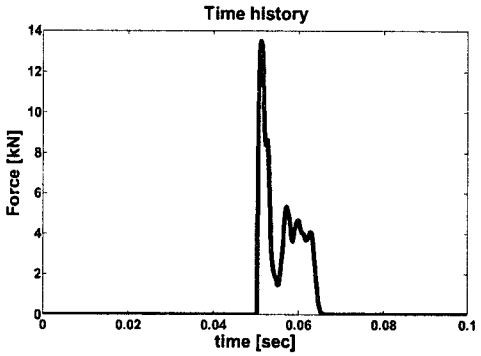
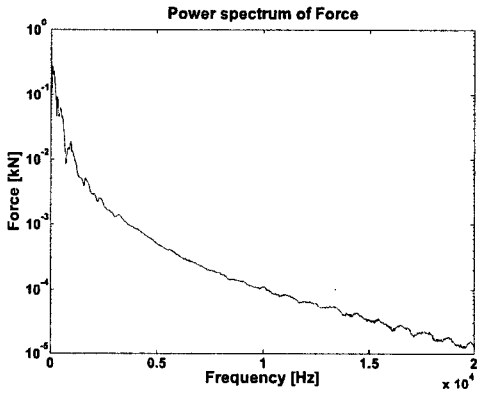
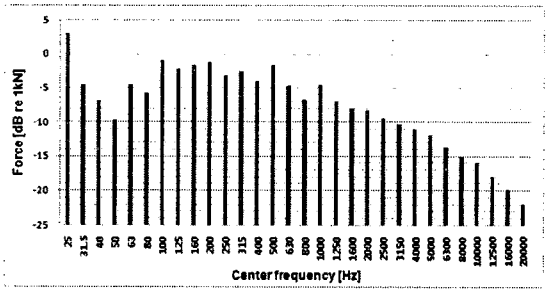


Fig.3 Time curve of impact force



(a)



(b)

Fig.4 Frequency spectrum of impact force.

4. 릴레이의 소음 특성 파악

4.1 측정 방법

무향실(3.6m×3.6m×2.4m, cut-off frequency 100Hz)내에 부드러운 판을 깔고, 그 위에 릴레이를 상태에서 켜고, 끄는 동안 소음을 측정했다. 이때 마이크의 위치는 릴레이 상부에서부터 앞, 옆, 위쪽 방향으로 30cm 떨어진 위치에서 측정을 했다. 측정에 사용된 장비들은 ISO 규격에 맞는 것을 선정하였다.

4.2 측정 결과

릴레이가 켜질 때와 꺼질 때 각각 5 회씩 측정하여 주파수영역에서 평균을 내었다. Fig. 6 은 Fig. 5 의 3 번 위치에서 측정된 음압을 나타낸 결과다. Fig 6 (a)와 (b)는 각각 릴레이가 켜질 때와 꺼질 때 발생하는 음압을 시간영역에서 나타낸 그림이고, Fig 6. (c)와 (d)는 각각 (a)와 (b)의 음압레벨의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

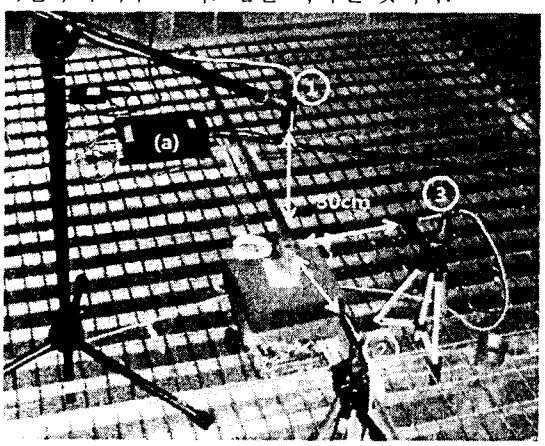


Fig.5 Measurement setup of relay noise. ①,②,③ B&K 4165 microphone ; B&K 2639 pre-amplifier; (a)B&K NEXUS Conditioning amplifier; Analyzer HP 35670A

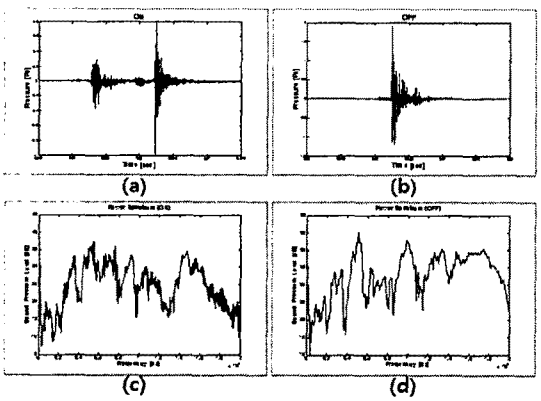


Fig.6 Impact noise of relay

Relay 가 켜질 때는 두 개의 연속된 충격소음이 발생하게 되고, 꺼질 때는 한 개의 충격소음이 발생함을 알 수 있다. 이 측정된 릴레이 소음의 주파수 별 성분을 알기 위해 파워스펙트럼을 했다. 측정된 충격소음 신호의 최대 peak 값을 중심으로 0.125 초 길이로 자른 후 푸리에 변환을 통해 음향 파워의 스펙트럼을 구했다. 이 0.125 초는 ISO 규격에 의해 소음노출레벨(sound exposure level) 배경소음의 크기가 충격소음의 크기에 비해 10dB 이상 작아야 하고, 충격소음에 의해 발생한 음압 파워의 90%를 포함하는 길이를 만족한다.

릴레이에서 발생한 소음은 Fig. 6 (c), (d)와 같이, 모든 주파수 영역에서 났다. 이를 각 주파수 영역별로 경향성을 살펴보기 위해 1/3 옥타브 밴드 스펙트럼을 확인했다.

Fig. 7 에서 알 수 있듯이, 릴레이 소음의 대부분은 3000Hz 이상의 고주파영역에서 나타남을 알 수 있다. 또 충음압레벨은 켜질 때 일 때 62.17dB, 꺼질 때 70.06dB 로 릴레이가 꺼질 때 더 큰 충격소음이 발생했다.

5. 전달함수 모델링

5.1 릴레이에서의 전달 함수

릴레이 소음을 유발시키는 충격력과 이때 발생한 소음 사이에 전달함수를 Fig.8 처럼 구성할 수 있다. 이 전달함수를 수학적으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$H(f) = \frac{S_{pf}(f)}{S_{ff}(f)}. \qquad (1)$$

여기서 $S_{pf}(f)$는 충격력과 음압 사이의 상호스펙트럼(cross power spectrum)을 나타내고, $S_{ff}(f)$는 충격력의 자기스펙트럼(auto power spectrum)을 나타낸다. 여기서 우리가 사용한 충격력은 실제로 측정된 값이 아니라, 모델링과 해석을 통해 얻어낸 값이므로 $S_{pf}(f)$의 위상은 어떤 물리적인 의미를 가지고 있지 않다. 결국 전달함수의 게인(gain)값만 중요하다. 이를 관찰하려면 식(1)은 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$|H(f)| = \frac{|S_{pf}(f)|}{S_{ff}(f)}. \qquad (2)$$

이를 이용해 Fig. 5 의 세 측정점에서 릴레이 내

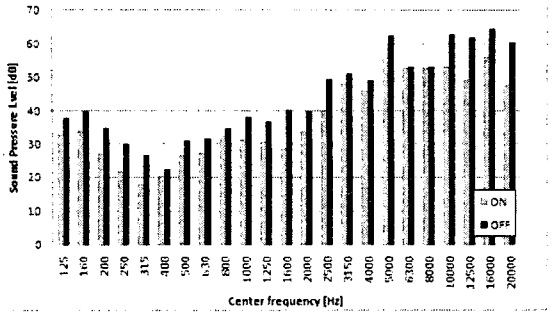


Fig.7 1/3 octave band spectrum

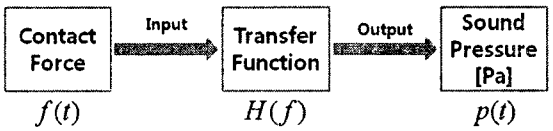


Fig.8 Diagram of relay system

부의 충격력과 각각의 음압 사이의 전달함수를 구할 수 있다.

5.2 전달 함수 모델링 결과

3 장에서 구한 릴레이가 켜질 때의 내부에 발생하는 force 와 4 장에서 측정한 음압으로 식(2)를 통해 본 연구에 사용된 EV-100 Relay 의 충격력에 대한 소음의 전달함수를 구했다.

Fig 9 에서 알 수 있듯이 5kHz 이하의 주파수에서부터 충격력과 소음 사이의 게인 값이 줄어드는 것을 알 수 있다.

6. 결론

지금까지 내부 가진력부터 최종적으로 발생하는 충격소음까지 릴레이의 소음이 발생하는 과정 중에서 충격력 부분과 릴레이의 충격소음에 대해서 알아보았다.

충격력의 경우 접촉자의 물리적인 크기 때문에 직접 측정하는데 어려움이 있다. 따라서 실제 릴레이 내부 부품과 같은 크기와 물리적 특성을 가진 유한요소모델을 사용하여 그 힘을 추정하였다.

릴레이의 소음은 릴레이가 켜질 때와 커질 때 그 형태가 다르게 나타나는데 꺼질 때 소음의 음압파워레벨이 더 컸다. 릴레이 소음은 충격소음으로 가청영역 안에 대부분의 주파수성분을 가지고 있었다. 그리고 켤 때와 끌 때 모두 3000Hz 이상의 고주파 성분의 영향이 더 컸다.

마지막으로 충격력과 측정한 소음을 바탕으로 릴레이 시스템의 전달함수 릴레이가 켜질 때의 전달함수를 모델링하였다. 그 결과 저주파 영역에서는 충격력에 대한 릴레이 소음 게인이 작게 나타났다.

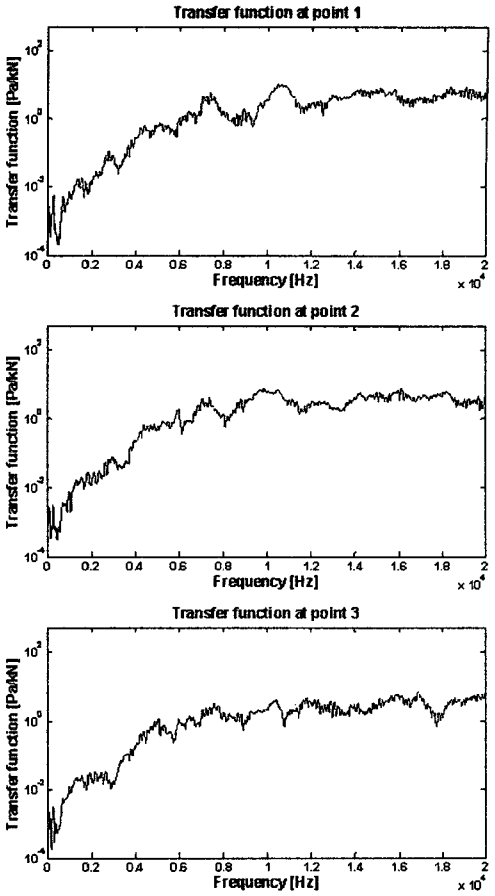


Fig.9 Transfer function of EV-100 Relay

후 기

본 연구는 LS 산전과 진행하는 연구과제 "공학적 접근 방법을 통한 전력기기 소음 저감 연구 (GB10190)"의 일환으로 수행되었습니다. 또 연구에 도움을 주신 한국과학기술원 CSMD Lab 의 허훈 교수님과 석사과정 학생 임성준씨께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

(1) S. Raghunathan, H.D. Kim and T. Setoguchi, 1998, "Impulse noise and its control", Progress in Aerospace Science, Vol. 34,Issues 1-2, 2 January 1998, Pages 1-44.

(2) ISO 10843, "Acoustics-Methods for the description and physical measurement of single impulses or series of impulses"

(3) KS C IEC 61810-7, " 전기기계용 올 오어 나싱 계전기 제 7 부: 시험 및 측정 절차"

(4) 김양한, 2005, *음향학 강의*, 청문각.

(5) J. S. Bendat and A. G Piersol, 2000, *Random data*, Wiley Interscience.

(6) Y. Tokita, 1961, "Vibration of a plate and sound radiation generated by an impulsive force", Journal of the physical society of Japan, Vol. 16, No. 5, May, 1961