

전동차 브레이크 스켈 소음 현상에 대한 연구

Study on the phenomena of brake squeal noise in rail vehicle

양용준**

김성결*

박영일*

Yang, Yong-Joon

Kim, Seong-Keol

Park, Yeong-Il

ABSTRACT

There are two types of noises in running the rail vehicle. The one is periodic by electric motors, dehumidifiers, and dusting machines. And the other is aperiodic squeal noise by the frictions between the wheels and the rail or the disks and pads. The periodic noises in rail vehicle have been reduced by changing DC motors to AC motors with silencers, and by improving the lubricants. However, almost nothing relating a periodic noise has been studied.

In this paper, the experimental methods were applied to understand phenomena of the squeal noise, which was occurred by the friction variation due to aperiodic stick and slip with low repeatability in the process of dry friction of the disk and the pad when a rail vehicle was being braked. By the experimental acoustic test, it was found the specific frequencies relating the squeal noise. And by modal testing, it was measured the resonant frequencies in the disk and the pad-plate which were the components of the braking system, and in the whole braking system, and it was found the specific frequencies having the effects on the squeal noise.

1. 서론

전동차는 컴퓨터의 발전과 대전력 반도체의 개발로 인하여 운행방식은 초기의 저항 제어방식에서 마이크로 프로세서를 이용한 IGBT 제어방식과 프로그램방식으로 전동차가 운용되는 발전을 하였으며, 기술발전과 더불어 전동차를 이용하는 승객의 삶의 질도 향상되어

* 서울산업대학교 교수, 정회원

** 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 학생회원

쾌적한 전동차내 환경과 소음제한에 대한 충족요구도 증대되고 있다.

전동차가 운행 중에 발생하는 소음은 주기적으로 발생하는 전동기 소음, 제습기 방출 소음, 집진장치 접촉 소음이 있으며 비주기적으로 발생하는 소음은 차륜과 레일 사이에서 발생하는 스컬 소음 그리고 제동할 때 디스크와 라이닝 패드 사이에서 발생하는 스컬 소음으로 크게 구분된다. 전동차의 소음 중에서 주기적인 소음은 전동기의 형식을 DC 모터에서 AC 모터로 변경하고 소음기를 부착하여 소음 원을 줄이고 윤활제를 개선하여 접촉 소음을 개선하였지만 비주기적인 소음에 대해서는 연구가 거의 이루어지지 않고 있다.

비주기적인 소음 중에서 차륜과 레일 사이에서 발생하는 스컬 소음은 전동차 내의 승객들이 소음에 노출되고 선로 조건과 차륜의 상태에 따라 발생되므로 그 발생원을 연구하는 것에 많은 어려움이 있다고 알려져 있고 제동시 디스크와 라이닝 패드 사이에서 발생하는 스컬 소음은 역사 내의 승객들이 소음 원에 직접 노출되고 심할 경우 전동차에 승차하고 있는 승객들에게 영향을 주어 승차감을 저하시키는 원인이 되고 있다.

본 연구에서는 제동 시 발생하는 스컬 소음을 저감 시키는 단계 중 가장 기초적인 원인을 규명하는 것을 목적으로 한다. 제동 시 발생하는 스컬 소음은 이론적인 방법으로 원인을 규명하는 것과 실험적인 방법으로 원인을 규명하는 방법이 있다. 두 가지 방법 중 실험에 의한 방법으로 제동 시 발생하는 스컬 소음을 해석하려 한다. 이 연구는 제동 시 발생하는 스컬 소음을 개선하는 기초적인 연구이다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 소음

스컬 소음은 서울시 지하철공사 3호선 대우 효포 전동차를 대상으로 수서차량사무소에서 두 가지 장비를 이용하여 측정하였다. 실험 해석을 위하여 영국 Diagnostic Instruments사의 DI-2200 Portable Real Time FFT Analyzer, B&K사의 마이크로폰 4155, 마이크로폰 전원공급장치 Type 2804 등을 사용하였고, 소음을 분석하기 위하여 SONY사의 PC204Ax Recorder를 사용 하였다. 측정위치는 전동차가 들어오는 검사교 입구이고 마이크로폰 측정높이는 지면에서 0.7m, 레일에서 0.6m 거리에서 측정하였다. 측정 대상은 디스크 제동방식을 채용하고 있는 운전차와 부수차를 그림1, 2와 표1, 2같이 측정 하였다.

2.2 진동

진동실험은 디스크, 패드, 브라켓, 라이닝 어셈블리로 나누어서 Maxwell 의 상반정리를 적용 충격 해머와 가속도계로 주파수 응답함수와 주파수 스펙트럼함수를 측정하였다.

진동실험은 실험실에서는 연한(soft) 탄성체(고무튜브)로 고정하여 실험 하였고 대차에 조립된 상태에서는 대차축을 크레인에 지지한 후 실험하였고 대차 틀은 우드블록으로 지지한 후 진동실험을 수행 하였다. 진동 실험 장치는 충격 해머 Type 8202, 가속도계 Type 4371, NEXUS(DC 증폭기), 4 채널 입력 모듈 Type 3022, 인터페이스 Type 2825 그리고 모달 해석을 위해 Pulse 프로그램을 사용 하였다.

2.2.1 디스크

가전을 위하여 사용한 충격 해머는 힘 변환기가 부착된 형태로 충격에 의해 넓은 주파수 대역의 진동을 발생시키며 충격 해머 팁을 스틸과 플라스틱을 사용하여 측정 하였다.

진동 측정을 위하여 사용된 가속도계는 12[kHz]까지 측정이 안정적인 가속도계로 빌랍(Bee Wax)으로 고정시켜 측정 하였다. 진동실험은 대형구조의 디스크 1/2 과 대차축에 조립된 디스크를 대상으로 그림 4~6 과 같이 진동실험을 하였다.

2.2.2 패드

패드는 디스크에 직접적으로 접촉되는 부분으로 디스크 보다 일 발산을 원활하게 하기 위하여 홈이 있는 구조이고 디스크와 접촉 면적이 크다. 본 연구에서 사용된 패드는 여섯 조각의 레진계 마찰체를 백 플레이트에 각각 세 부위씩 국부용접 되어 있다. 백 플레이트에 가속도계를 부착하고 패드 전부분을 대상으로 그림 7 과 같이 진동실험을 하였다.

2.2.3 브라켓

브라켓은 패드를 대차 제동 장치에 결합시키기 위하여 연결 역할을 하는 부품이다. 시험에 사용된 브라켓은 상단부위를 대차에 고정된 핀에 삽입하고 하단부위를 볼트로 체결하는 구조이다. 전부분을 대상으로 그림 8 과 같이 진동실험을 하였다.

2.2.4 라이닝

라이닝은 패드와 브라켓 사이에 방진 고무 판을 삽입하여 조립한 조립체로 디스크에 직접 접촉하여 제동력을 발생 시킨다. 브라켓에 가속도계를 고정하고 그림 9 와 같이 진동실험을 하였다.

표 1. DI-2200 연결도

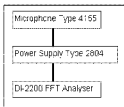


그림 1. DI-2200소음측정

표 2. Recorder 연결도



그림 2. Recorder소음측정

표 3. 진동측정 연결도

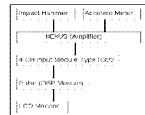


그림 3. 라이닝 어셈블리 진동측정



그림 4. 실험용 디스크



그림 5. 디스크 진동실험



그림 6. 조립된 디스크 진동실험



그림 7. 실험용 패드



그림 8. 실험용 브라켓



그림 9. 실험용 라이닝

3. 실험 결과

3.1 소음 실험

서울시 지하철공사 3호선 전동차는 전, 후진 4-notch(Notch)와 상용제동 7 스텝(Step), 비상제동, 보안제동, 수용제동으로 구성되어 있다. 디스크 제동방식은 제동을 체감하는 기초적인 장치인 디스크가 대차축에 2 세트(set) 조립되어 차판과 같은 운동을 하며 운전실 제동핸들 조작 시 라이닝 조립체와 상호 작용에 의해 제동작용을 한다. 본 연구에서는 수용제동을 제외한 3 가지 제동방식에서 동일하게 작용하는 디스크 제동력을 대상으로 스텝 소음을 측정하였다. 스텝 소음은 전동차의 제동력이 작용될 때의 속도가 10[km/h] 이하, 제동 3 스텝으로 전환되는 제동작용 말기, 제동압력이 2[kg/cm²]에서 주도적으로 발생되고 전동차 정차를 위한 제동압력이 낮아지면 스텝 소음 발생 빈도가 줄어들어 스텝 소음이 속도와 관련된 것을 알 수 있었다.

그림 10~12 은 속도 곡선과 시간 변화에 따른 스텝 소음 크기 및 스텝 소음 주파수 분석을 한 그림으로 대략 0.8kHz, 1.6kHz, 3.15kHz 부근의 주파수가 크게 나타나고 있다. 스텝 소음 주파수가 디스크의 3.3kHz 부근의 진동주파수와 라이닝 어셈블리의 0.8kHz, 1.6kHz 부근의 주파수와 동일한 부분에서 진동주파수를 발생하는 것을 알 수 있다.



그림 10. 제동스텝별 속도곡선

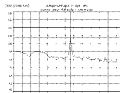


그림 11. 스텝 소음 발생

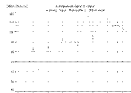


그림 12. 스텝 소음 발생 주파수

3.2 진동 실험

3.2.1 디스크

디스크 진동실험은 실험실과 현장(지축차량 사무소)에서 측정하였다. 조립되기 전 상태의 진동 실험 결과와 조립된 상태의 진동 실험 결과는 조립되기 전 상태의 공진주파수(3kHz)보다 가운데를 대차축에 조립한 상태의 공진주파수 (3.3kHz)가 약간 높게 분포하고 있는 것을 확인하였다. 진동주파수가 특정 주파수 대역에서 고정되어 있지 않고 여러 대역(0.918kHz, 2.9kHz, 3.6kHz, 4.2kHz 부근)에서 넓게 분포되고 있는 것을 그림 13~16 에서 보여주고 있다.

3.2.2 패드

패드 진동 실험 결과는 진동주파수가 저주파대역(220Hz)에서 주도적으로 형성되고 350Hz, 850Hz, 1.36kHz 부근에서도 공진주파수가 그림 17 와 같이 분포되고 있다.

3.2.3 브라켓

브라켓 진동 실험 결과는 3.3kHz 에서 주도적으로 공진주파수가 형성되고 1.36kHz, 2.1kHz, 2.9kHz, 3.65kHz 부근에서도 공진주파수가 그림 18 와 같이 분포되고 있다.

3.2.4 라이닝

라이닝은 패드와 브라켓 사이에 방진고무를 삽입하여 조립한 구조이기 때문에 가진에 대한 진동이 흡수되어 진동실험 결과 220Hz 부근에서 주도적으로 공진이 생기는 것을 알 수 있고 556Hz, 861Hz, 1.68kHz 부근에서도 공진주파수가 그림 19 에서 알 수 있었다. 대차에 조립된 라이닝 어셈블리는 242Hz, 365Hz 부근에서 공진이 생기는 것을 알 수 있었고 주파수 응답함수로 측정했을 때 0.8kHz, 1.6kHz, 2.2kHz, 3.15kHz, 4.1kHz 부근에서 공진이 생기는 것을 그림 20, 21 에서 알 수 있었다.

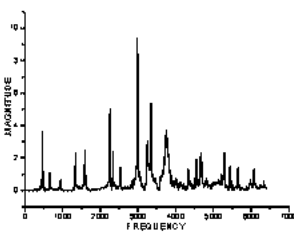


그림 13.디스크 진동실험

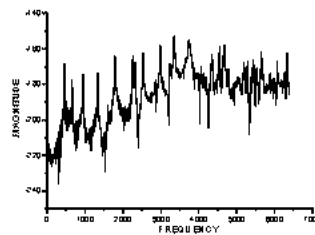


그림 14.디스크 진동실험 FRF

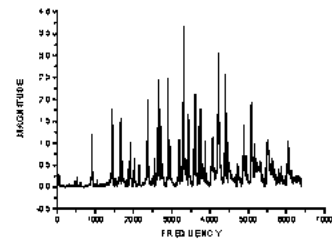


그림 15.실제 디스크 진동실험

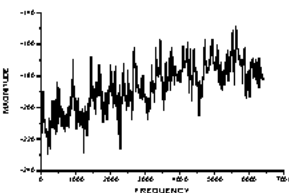


그림 16.실제 디스크 진동실험 FRF

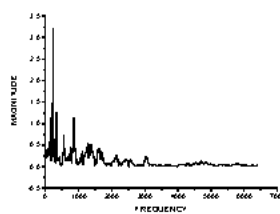


그림 17.패드 진동실험

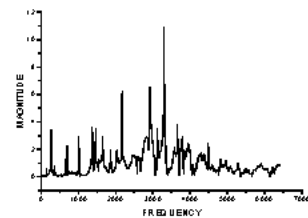


그림 18.브라켓 진동실험

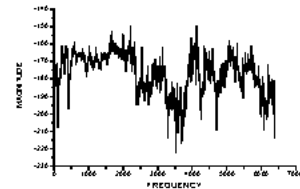
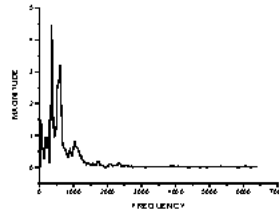
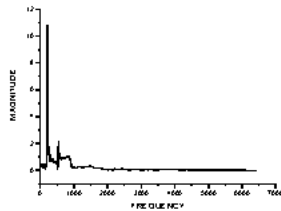


그림 19.라이닝 진동실험 그림 20.라이닝 어셈블리 진동실험 그림 21.라이닝 어셈블리 FRF

4. 결론

전동차 제동시 발생하는 스킵 소음을 측정하고 제동 부품의 진동실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 스킵 소음 측정 결과 서울 지하철 3 호선 대우 쇼퍼 전동차의 스킵 소음 주파수는 0.8kHz, 1.6kHz, 3.15kHz 부근에서 발생하는 것을 알 수 있었다.

(2) 스킵 소음 주파수는 제동부품의 공진주파수와 일치하는 것을 알 수 있었고 이로 인하여 스킵 소음은 디스크와 라이닝 패드의 고체 마찰과정에서 마찰력의 변화에 의한 재현성이 작고 비주기적인 STICK/SLIP 현상으로 발생하는 것을 알 수 있었다.

(3) 제동 감속도의 급격한 변화에 의하여 스킵 소음 발생빈도가 높아지고 특정한 속도 이하(10[km/h])에서 일정한 압부력 (2[kg/cm²])에서 스킵 소음 발생 빈도가 높아 지는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 서울대학교 부설 정밀기계설계공동연구소, 1995, 브레이크 스킵 노이즈 개선에 관한 연구 pp1~139
2. 김재철, 문경호, 유원희, 지하철 스킵소음에 관한 연구, 한국철도학회 논문집, 제6권 제3호 2003, pp209~ 214
3. Masaaki Nishiwaki, 1989, Brake Squeal, 自動車技術, No.12, Vol.43, pp88~97
4. 김재철, 2000, 차륜/레일의 전동음 저감방안 연구, 한국철도기술연구원, pp55~133
5. 이현목, 2003, 철도차량용 제동 디스크의 열균열 현상에 관한 연구, 서울산업대학교 철도기술대학원 졸업논문, pp3~26
6. 이장무, 1994, 모달해석의 이론과 응용, 서울대학교 공과대학 기계설계학과
7. 유정훈, 한상훈, 이종수, 윤덕현, Brake Moan Noise 소거를 위한 Brake Pad 위상최적화의 GA 적용