

# 철도차량용 추진인버터의 스위칭주파수 가변에 따른 견인전동기 소음저감 사례 분석

## Example Analysis of Noise reduction by variable switching frequency of propulsion inverter for rolling stock

조윤호†                      정은성\*                      김철호\*\*                      최종목\*\*\*  
Cho, Yun-Ho                  Chung, Eun-Sung              Kim, Chul-Ho                  Choi, Jong-Mook

---

### ABSTRACT

This paper analyzes the noise reduction of traction motor for rolling stock. Nowadays, rolling stock becomes a attractive transportation as a friendly environment transportation. And this paper showed that vibration noise of motor coil by inverter switching frequency. That noise has influence on passenger. It is important that noise reduction for passenger in the rolling stock. In this paper, it shows that effect of variable switching frequency of propulsion inverter for noise reduction.

---

## 1. 서 론

현재 철도차량은 고유가와 환경오염 등의 영향을 가장 적게 받으며 이런 요인에 대한 대안으로 가장 적절한 교통수단이 될 수 있을 뿐만 아니라 그 중요성 또한 더욱 부각되고 있는 상황이다. 또한 승객들은 이런 철도차량을 이용함에 있어 더 빠르고 편안한 열차를 이용하기 바라는 건 당연한 일이다. 이를 위해서 철도차량 관련 업종에 근무하는 인력들은 이런 승객들의 기대에 부응 할 수 있도록 각고의 노력을 기울여야 할 것이다. 그럼 이런 승객들이 요구하는 더욱 빠르고 편안한 기준은 어디에 맞출 수 있을까. 우선 빠르다고 하면 단순히 속도적인 측면을 생각할 수 있고 그로 인해 고속철도와 같은 빠른 차량이 개발되었다. 편안함이라는 기준은 여러 가지 측면이 있는데 승차감, 소음, 승객 탑승 밀도 등등 여러 가지가 있을 수 있다. 이 중에서 본 논문은 소음이라는 측면을 생각해 보고자 한다. 소음의 원인도 여러 가지가 있지만 여기에서는 차량의 추진과 제동에 관계된 추진제어장치와 견인전동기의 원인으로 인한 소음에 대해서 언급하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 시스템 구성 및 소개

본 논문에서는 서론에 언급한 대로 열차의 소음 중 열차의 추진과 제동을 담당하는 추진인버터와 견인전동기에서 발생하는 소음에 대해서 논의하고자 한다. 특히 본 논문에서는 실제 프로젝트를 수행하면서 시험을 통해 발생한 소음과 그 원인 그리고 해결방안을 사례를 통해 제시한다.

---

† 책임저자 : 비회원, 현대로템주식회사, 전장품개발팀, 연구원  
E-mail : yhcho98@hyundai-rotem.co.kr  
TEL : (031)596-9125 FAX : (031)596-9766  
\* 비회원, 현대로템주식회사, 전장품개발팀, 책임연구원  
\*\* 비회원, 현대로템주식회사, 전장품개발팀, 수석연구원  
\*\*\* 비회원, 현대로템주식회사, 전장신호연구담당, 이사

우선 본 논문에 제시되는 사례는 중국 프로젝트이며 추진제어인버터의 경우 현대로템에서 설계 및 제작하였으며 전인전동기의 경우 설계는 현대로템에서 제작은 중국 모터 업체에서 제작하였다.

본 논문에 적용된 추진제어 시스템은 그림 1과 같다. 1대의 추진제어인버터는 가선으로부터 DC 1500V 입력받아 시스템의 보호를 위한 Line Breaker와 Filter Reactor를 거쳐 인버터 커패시터에 DC 1500V를 충전한다. 이 충전된 전압을 IPM(Intelligent Power Module) 소자로 구성된 PEM(Power Electric Module)을 이용해 DC를 AC로 변환하여 출력전압을 형성하게 되고 200kw정격의 3상 유도전동기 4대를 구동하게 된다.

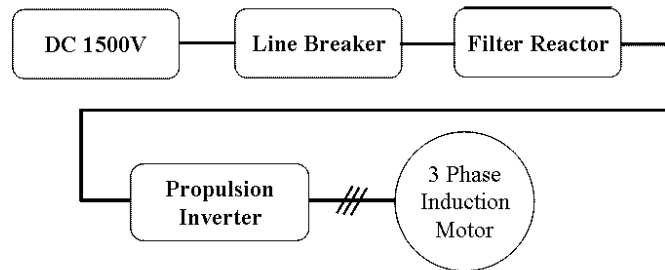


그림1. 인버터 시스템 개략도

## 2.2 소음 발생원인과 영향

본 시험에서 발생된 소음은 전동기 측에서 발생한 소음으로 역행 초기와 제동이 끝나는 시점 근처에서 발생하였다. 물론 추진제어인버터에서 발생하는 스위칭 소음도 있으나 이는 시험을 통해 철도차량의 소음기준을 만족하는 수준이므로 특별히 문제가 되는 소음은 아니다. 하지만 전동기 측에서 발생하는 소음은 기존에는 발생하지 않았던 새로운 유형의 소음이었으며 또한 특정 속도 영역에서 발생하는 고주파의 소음이었다. 여기서 특정 속도 영역이라 함은 출발 직후와 제동 완료 직전(5km/h~25km/h 범위)의 영역을 말한다. 이 때 발생하는 소음레벨의 측정결과는 아래 그림 2와 같다. 발생 시간은 그림에서 보는 것처럼 역행 초기와 제동 완료 직전에 약 5~7초 가량 소음이 발생한다.

만약 소음이 전 구간에 걸쳐 고르게 높게 나타난다면 이는 모터 자체의 결함으로 볼 수 있겠지만 특정한 영역에서만 고주파의 소음이 발생함으로 일정 기준이 없어 모터 자체의 결함으로 보기도 어려운 상황이다. 또한 이 영역을 실제 차량에서 가정했을 경우 차량이 역을 출발한 직후와 차량이 역에 들어와서 정차하기 직전임을 가정 할 수 있다. 그럴 경우 이 때 발생하는 소음은 탑승한 승객들에게도 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라 역 플랫폼에서 대기하고 있는 승객들에게 더 큰 영향을 미칠 수 있다. 이는 승차감에 영향을 줄 수도 있고 또한 지속적인 소음의 영향으로 인해 기관사에게도 피해를 줄 수 있다.

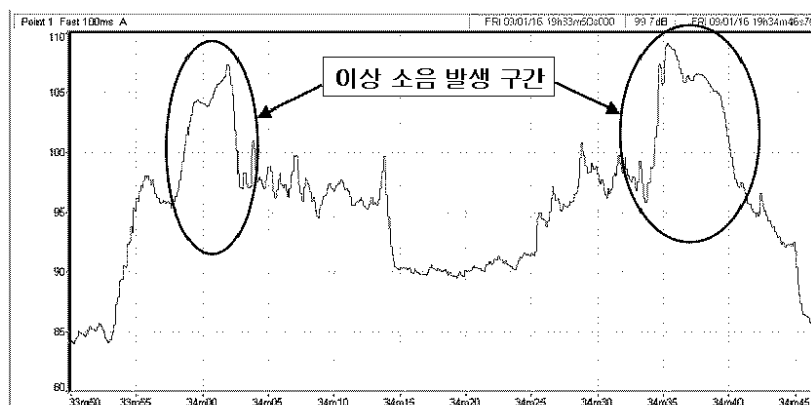


그림 2. 소음 개선 전 측정 결과 1

소음이 발생하는 패턴에 대해서 분석해 보면 그림 3에서 보는 것처럼 전동기의 운행 패턴에 따라 소음의 발생 패턴도 정해지는 것을 볼 수 있고 앞에서 언급한 출발 직후와 제동 완료 직전의 영역에서 약 1100Hz의 주파수 대역을 나타내는 소음패턴이 특히 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 소음이 심하게 발생하는 영역에서의 주파수를 파악한 결과 추진제어인버터 스위칭 주파수의 약 2배 대역의 소음이 심하게 발생하는 것을 알 수 있었다. 이는 전동기 내부에 있는 모터의 코일류가 인버터의 스위칭에 의해 기계적으로 떨리는 현상으로 발생하는 소음으로 파악하고 그 해결책을 적용하여 소음을 감소시킬 수 있었다.

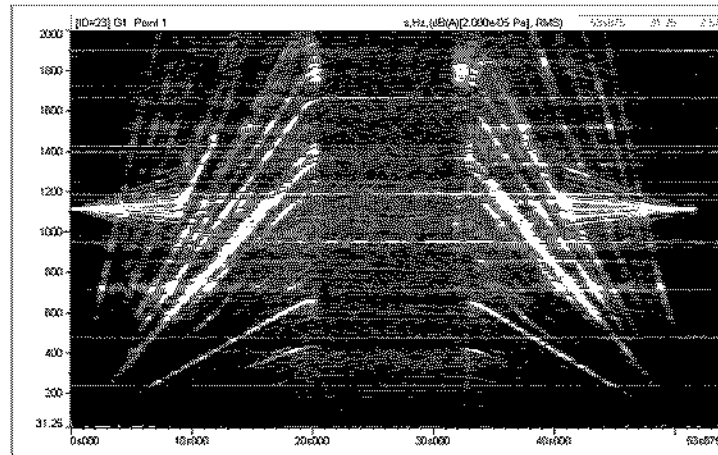


그림 3. 소음 개선 전 측정 결과 2

그림 4는 그림 3의 측정된 결과의 소음 크기의 변화를 나타내고 있다. 역시 마찬가지로 1100Hz대역의 소음 레벨이 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

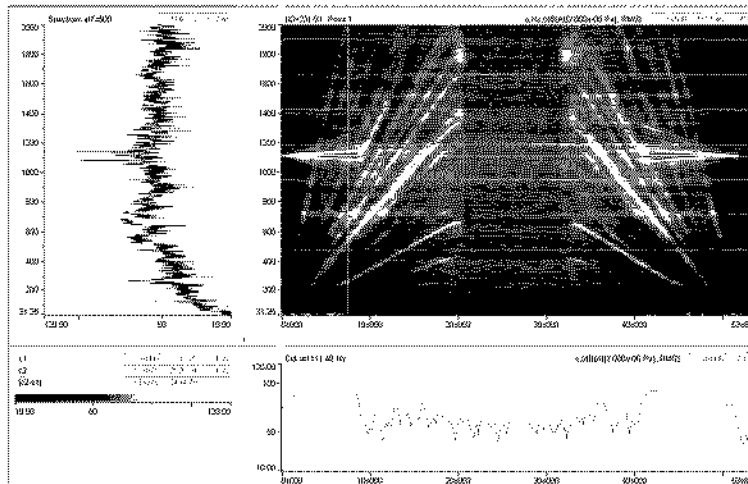


그림 4. 소음 개선 전 측정 결과 3

### 3. 소음 저감 방안

본 시험에서 제기된 소음 문제와 관련하여 근본적으로 리액턴스 성분을 갖는 코일류는 주파수에 대해 일정한 특성을 보이게 된다. 주파수에 대해 임피던스가 변하기도 하고 이번 시험에서처럼 떨림 현상이 발생하기도 한다.

이 시험과 관련하여 사용된 모터에 대해 특성을 검사해 본 결과 전기적인 특성에는 변화가 없는 것으로 나타나 모터 코일류를 다시 제작하는 방법보다 모터 코일류의 진동에 의한 소음을 감소시키는 방안을 모색하였다. 그 결과 인버터 스위칭 주파수가 일정한 영역에서 모터 코일류에 기계적인 떨림이 발생하여 소음을 일으킴에 따라 이를 막고자 스위칭 주파수를 똑같은 영역에서 일정하게 고정하는 것이 아니라 일정한 패턴으로 스위칭을 가변 시키는 방법을 적용하였다. 이로 인해 모터 코일류가 인버터의 일정한 스위칭 주파수로 인해 일정한 떨림을 갖는 것을 막고 소음을 저감시킬 수 있게 되었을 뿐만 아니라 제어적인 측면에서도 코일류의 진동이 인버터의 제어에 좋지 않은 영향을 미치던 것을 막을 수 있었다.

또한 모터 코일류의 스위칭에 따른 소음발생에 대해 추가적인 고려 사항은 모터 제작사의 제작 노하우와 재질등에 따른 코일류의 특성이 바뀔 수 있다는 것이고 이에 대해 기계적으로 코일류를 다시 제작하는 것이 아니라 제어적인 측면에서 보완이 가능하다는 것을 아래의 그림들에서 확인 할 수 있다.

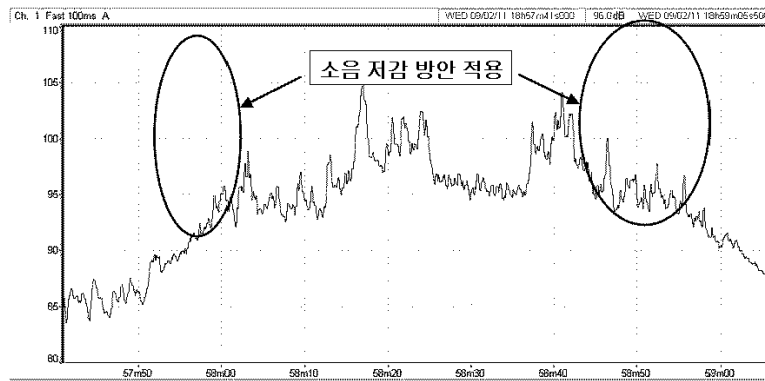


그림 5. 소음 개선 후 측정 결과 1

그림 5는 추진제어인버터의 스위칭을 가변시킴으로써 저감되는 소음특성을 측정한 결과이다. 그림 5에 표시된 부분이 그림 2에 표시된 부분에 비해 현저히 소음 크기가 떨어지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 6은 그림 3에 비해 특정 주파수의 소음 크기가 크게 줄어 든 것을 확인 할 수 있으며 그림 7에서 소음의 크기가 감소된 정도와 레벨을 확인 할 수 있다. 그림 4의 하단부에 나타난 파형에서 역행초기와 제동완료시까지의 소음레벨이 그림 7에서 확연히 낮아졌을 뿐만 아니라 크기 또한 일정 영역을 넘어 서지 않음으로써 소음 특성이 개선된 것을 알 수 있다.

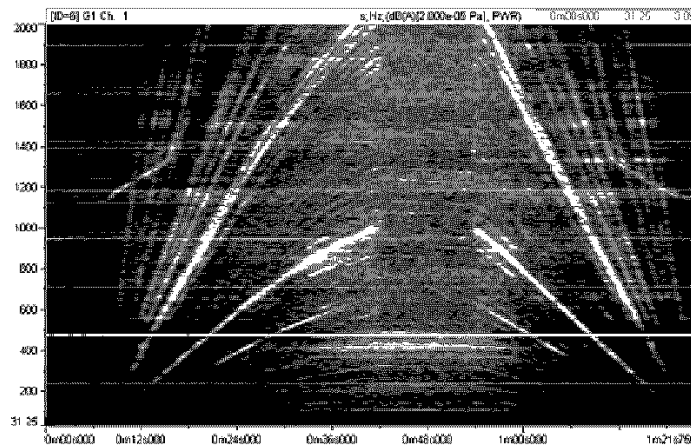


그림 6. 소음 개선 후 측정 결과 2

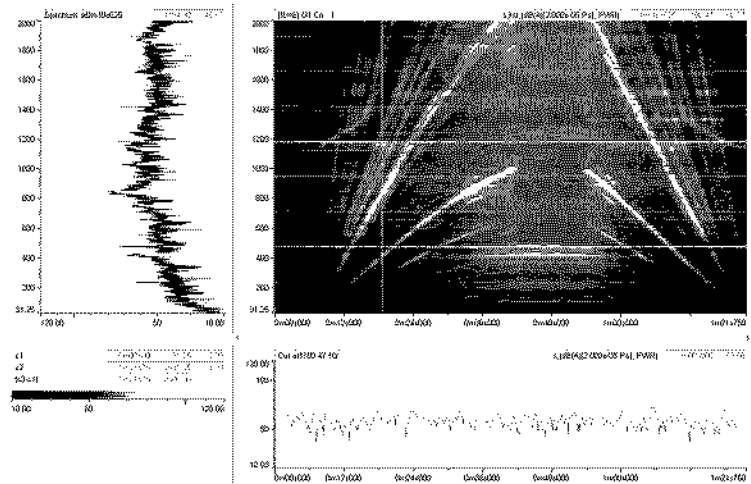


그림 7. 소음 개선 후 측정 결과 3

#### 4. 결 론

본 논문에서는 차량 승차감의 요건 중 하나인 소음에 대해서 살펴보았다. 특히 기계적 마찰음이 아닌 전기적인 스위칭으로 인한 코일류의 진동으로 발생하는 소음에 대해서 그 현상과 원인을 제시하였고 추진 제어 인버터의 스위칭 주파수를 가변함으로써 소음이 저감되는 결과를 도출하였다. 또한 이런 과정을 통해 스위칭 주파수에 대한 코일류의 진동 특성을 파악하여 미리 대처 할 수 있는 방안을 마련해야겠다.

마지막으로 이번 논문에서는 스위칭주파수와 그에 따른 소음 발생 현상을 제시하고 소음에 대한 추가적인 원인에 대해 인식하는 계기를 마련하였다.

#### 참고문헌

1. 김규철, (2003), "철도 소음/진동에 관한 이야기", 한국철도학회지, 제6권 제3호, pp.19-24.