

전동차 주행시 소음저감 방안에 관한 연구

A Study on the reduction noise level of subway running train

소진섭* (한국철도공사) · 유양하* · 김치태* · 이상배*

So, Jin-Sub Yu, Yang-Ha Kim, Chi-Tae Lee, Sang-Bae

Key Words : electric rail car(전동차), running(주행), noise reduction(소음저감), wheel/rail interaction(차륜/레일상호작용)

ABSTRACT

Recently as the well-being diffuse and the living standard improves. People's demand for an environment lifestyle is gradually on the rise. The major source of the subway running train is rolling noise generated by the surface condition of wheel and rail. In this study, we research trends on the reduction noise level. Further-more, special traffic Ubiquitous helps to environment technical development.

1. 서론

철도차량은 대중 교통 수단으로써 그 중요성이 매우 증대되고 있으며, 차량의 경량화 및 고속화의 흐름속에 철도를 이용하는 승객은 안정성, 정시성을 중요하게 생각하였는데, 최근에는 생활수준향상과 함께 웰빙문화의 급속한 확산으로 개인과 가족에 대한 건강인지도 높아졌고, 환경부의 다중이용시설의 실내공기질 유지관리기준이 강화와 더불어 철도차량 실내의 공기와 진동 소음저감에 대한 쾌적성이 새로운 주요 요인으로 평가받고 있다.

철도차량 중 전동차를 대상으로 주행시 발생하는 소음원을 알아보고, 차륜과 레일에 관계되는 소음연구 동향을 파악하고, 이에 대한 소음저감 방안으로는 무엇이 있는지 분석을 통하여 향후 급행 전동차의 운행과 전국 전철화 사업의 지속적인 추진과 관련하여 소음과 진동의 물리적 인자에 대한 기술적 접근을 통한 전동차 및 광역전철 특수교통용 유비쿼터스 환경기술 적용에 필요한 기술사양 검토 자료로 활용하고자 한다.

2. 소음기준

국내의 소음기준은 1994년 11월 21일 총리령 제473호로 공포되어 2000년 1월 1일부터 시행되었다. 공포일 이후에 준공되는 철도는 2010년 1월 1일부터 한도를 적용하는 것으로 되어 있다. 국내의 진동기준은 peak-level치를 측정하여 측정횟수만큼 산출 평균한 값을 대표값으로 사용하고 있다.

표 1 우리나라의 철도소음기준 단위:Seq(1H) dBA

대상 지역	한 도			
	2000.1.1~ 2009.12.31.		2010.1.1 부터	
	주간	야간	주간	야간
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경 보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50미터이내지역	70	65	70	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미도시지역	75	70	75	65

1. 주간 : 06:00~22:00, 야간 22:00~06:00

2. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의함

3. 정거장은 적용하지 아니하며, 철교는 2010.1.1일부터 적용

4. 총리령 제474호 소음·진동규제령시행규칙중개정령의 시행일(09.11.21) 이후 준공되는 철도에 대하여는 2010.1.1부터의 한도를 적용

† 한국철도공사 철도연구개발센터
E-mail : sojin71@hanmail.net
Tel : (042)619-3991, Fax : (042)619-4915

* 한국철도공사 철도연구개발센터

3. 전동차 소음원

전동차 소음원은 차륜과 레일의 접촉에 의해서 발생하는 차륜과 레일의 접촉소음, 차량에 전력을 공급하는 팬터그래프와 가선의 접촉음, 주행하는 차량의 표면에서 공기 동력학적 메카니즘에 의해서 발생하는 공력소음이 있으며, 전인전 동기의 구동에 의한 소음, 차체 구조물의 진동에 의한 소음, 실내 에어컨이나 환기팬에 의한 소음 등이 있다.

이 중 차륜과 레일의 접촉에 의해서 발생하는 소음이 주요 소음원으로 알려져 있으나, 주행구간, 차륜과 레일담면의 마모형태, 요철상태, 레일의 분기기 등에 따라 소음의 발생 메커니즘이 다양하고 복잡하게 나타난다.

차륜과 레일의 접촉소음으로 평음과 충격음, 스킨음으로 크게 나눌 수 있다. 평음은 달리는 바퀴와 레일에서 작은 규모의 거칠음에 의해 발생하는 음으로, 크기는 주로 바퀴와 레일면의 거칠음의 함수이다. 충격음은 레일의 이음부의 틈새 위부분과 레일면 위가 벗겨지고 부서진 곳에서 발생하는 음이다. 스킨음은 차륜이 곡선 궤도를 주행할 때 공진에 의해서 발생하는 소음으로, 직선 주행시는 2축 대차에서 차축은 평행하게 설치되어 있다가 곡선 주행시 차축이 반경방향과 어긋나 차륜이 레일 상부에서 측면으로 미끄러짐이 발생하여 곡률반경이 작을 경우 플랜지 접촉이 발생한다. 이때 차축의 방향이 잘못되고 바퀴의 이동거리가 달라 주행방향으로 미끄러짐이 발생되고 측면으로도 미끄러짐이 발생하는데 이러한 미끄러짐 발생시의 스틱-슬립 현상이 차륜에 공진현상을 일으켜 스킨소음을 발생시킨다.

지하철 주행시 동적 레일응력은 동적 운중에 의한 레일응력보다 대체적으로 15% 증가, 방진재 기능상실시의 동적 레일응력은 현저히 증가, 레일구조에 의한 실내 소음의 차이는 일반적으로 5-10dB의 소음 수준 증가 한다고 하며, 차륜과 레일 담면의 거칠기가 차륜과 레일을 가진하여 차륜과 레일의 진동이 소음으로 방사, 차량속도에 3승에 비례해서 증가하며, 레일표면에 파상형의 이상마모가 있을 때 10dB 까지 증가한다고 한다.

4. 소음저감방안

레일 표면과 차륜이 접촉되어 발생하는 소음·진동은 레일 표면의 평탄성 및 거칠기에 따라 크기에 영향을 주며, 레일을 연마함으로써 소음·진동이 현저히 감소되어 쾌적한 승차감 제공과 소음·진동으로 인한 민원을 해소, 지하철 소음·진동 문제는 자갈도상이나 콘크리트도상에 관계없이 소음·진동의 발생원인 레일면과 차륜 담면의 관리로부터 출발하여야 작은 비용으로 큰 효과를 볼 수 있다.

4.1 국내의 소음·진동 저감효과

분당선 수내 ~경자간 1km구간에 대하여 레일연마전·후의 소음레벨을 측정('03.8월)결과, 열차속도가 40km/h에서 차량내부 4dB 와 승강장 6.7dB 저감되었고, 열차속도가 60km/h에서는 차량내부 3.1dB 와 승강장 4.2dB 저감된 것으로 나타났다.

서울지하철의 레일연마사례를 보면, 1,2호선에서 연마전·후비교 결과 2.8dB 저감되었고, 3,4호선에서는 4.6dB저감된 것으로 나타났다고, 인천지하철은 레일연마 시행('03.10-12월)결과, 약 6dB 감소한 것으로 나타나 소음저감효과가 있음을 알 수 있다.

4.2 국외의 소음·진동 저감효과

일본 RTTI 2004년 4월호에 의하면, 레일연마 전후에 주파수별로 소음레벨 측정 자료를 분석한 결과를 보면 소음저감효과가 매우 큰 것으로 나타났다.

프랑스 국철 보고서에 따르면, 소음 조사를 위해 0.2mm의 레일 파고(波高)위를 열차가 시속 140km로 통과하는 장소에서 조사한 결과를 보면 Corrugation과 단파마모의 악영향으로 소음레벨은 12dB정도 악화되는 경우가 있는 것으로 나타났다.

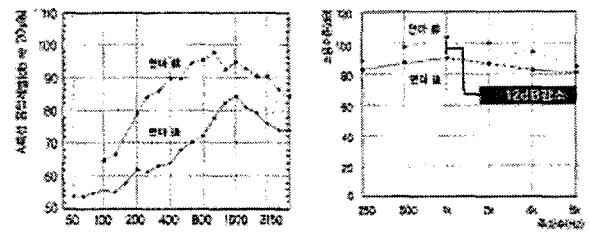


그림 1. 일본 RTTI와 프랑스 소음저감분석

이와 같이 레일의 표면 거칠기는 진동음과 차량의 진동에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다. 소음 저감을 위한 대책으로써 레일의 중량화, 장대화 및 레일 용접시 품질확보, 궤도 부설시의 품질확보, 터널 측벽의 흡음재 설치, 저진동 궤도시스템의 채택, 궤도의 진동 차단(방진방음매트 등), 궤도 구조개선(체결구조, 강성, 질량 등), 레일의 주기적 연마와 레일 표면 조도관리 등이 있다.

차륜삭정은 유지보수(정기/일상검수)중에 발생 빈도가 가장 많은 차륜의 불량원인으로는 차륜찰상을 들 수 있다.

소음 저감을 위한 대책으로써 이상 마모된 레일에 대하여 연삭하여 표면거칠기를 관리하고, 대차의 차륜에서도 레일 접촉부위 즉, 담면에서 발생하는 수십mm 깊이의 불규칙 마모와 가속 및 제동시의 차륜 미끄러움에 의하여 소음레벨이 많이 증가되므로 마모된 차륜에 대한 차륜 삭정과 차륜의 미끄러움 방지 장치가 필요하다. 그 외 방음차륜(Resilient & Damping Wheel), 상하흡음판 부착, 차체 Skirt 구조개선, 차량의 이중 흡음형 차체 채택이나 창문유리의 두께조정 및

패킹계의 개량, 차륜 담면의 구배변경, 집전장치의 개량 등이 있다.

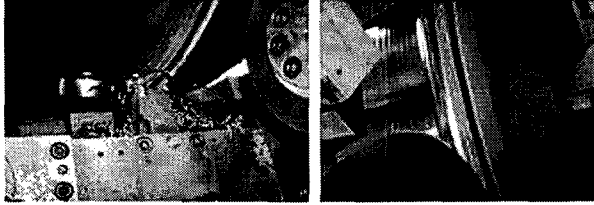


그림 2. 차륜담면 식정

현재 국내 전동차 운행구간의 방진에트나 흡음판의 설치는 매우 미흡하거나, 없으며, 일부구간의 터널에서는 벽부위에 흡음판을 설치하여 소음저감을 하고 있다. 다만, 고속철도 운영선의 교량에 방음에트를 적용하여 시험 진행중이다.

아래의 그림은 자갈도상밀 매트와 침목용의 매트를 보여주고 있다.



그림3 자갈도상밀 매트와 침목용 매트(주)등일고무 제품

5. 결론

전기동차의 주행시 소음은 차륜 및 레일 담면의 상태에 따라 크게 영향을 받으며, 체계적인 유지보수를 위해 차륜삭정 시행 및 종합적인 DB구축을 시행하고 있으며, 레일 및 침목밑에 고무매트를 깔아 진동흡수 및 방진과 관련된 부품을 적용한 소음저감을 계속적으로 추진하고 있다. 철도차량은 속도경쟁력의 대폭적인 향상과 인간 환경 중심적 교통수단으로서의 역할을 다하기 위해 차체 구조물의 경량화, 객차와 객차사이의 연결부분의 틈사이의 밀폐(머드플랩 설치), 출입문의 틈새 밀봉, 스크린도어 설치 등이 진행되고 있지만, 향후에도 지속연구 개선과 보강이 이루어져야 한다고 본다.

후 기

향후 철도를 이용하는 승객의 입장에서 쾌적한 실내공간을 제공을 위한 유비쿼터스적 환경교통수단의 전동차 및 광역전철 철도환경시스템 구축을 위해 철도진동에 대한 꾸준한 연구가 지속적으로 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

- (1) 이성욱, 이종득, "고속철도 강교량의 변위제어 설계 및 진동", 한국강구조학회지, Vol.5 No.4, 1993
- (2) 김연준, "전동차 실내 소음 저감을 위한 차체 구조에 관한 연구" 연세대학교 공과대학원 석사학위논문, 2002
- (3) 황홍환, "저소음차륜의 지하철 차내소음 저감 효과", 동국대학교 산업기술환경대학원 석사학위논문, 1999
- (4) 김재철 등, "차륜/레일의 전동소음 저감방안 연구" 기존선 고속화 기술개발(KRRI 연구 00-42), 한국철도기술연구원, 2000.12.
- (5) 박영수, "전동차 실내 소음 저감방안에 관한 연구", 서울시립대학교 산업대학원 석사학위논문, 1997.
- (6) 배동영외 4인, "지하철 운행에 따른 진동 특성에 관한 연구", 한국소음진동공학회 논문집 제11권 제2호, pp.249-256, 2001.
- (7) 정병훈, 김창용, 손충렬, "지하철에 의한 지반진동 실태조사와 진동저감 대책", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp.169-176, 1993.
- (8) 이석진, "지하철 진동으로 인한 지반진동의 전파특성에 관한 연구", 경희대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
- (9) 이기승, "콘크리트도상 방진침목케도의 역학적 특성과 동특성에 관한 연구", 경기대학교 대학원 박사학위논문 1996.
- (10) 양신추, 김만철, "저진동·저소음 궤도기술 개발", 한국철도기술, 2000.5월호
- (11) 이희현, "차륜, 레일 상호작용을 고려한 슬래브 궤도의 진동해석", 전산구조공학회지, 제17권, 제1호, 1994.
- (12) 은희준, "철도소음:특성과 방지대책", 대기환경학회지, 제35권, 제10호, 1995
- (13) 문경호, 유원희, 김재철, "지하철 스퀘소음에 관한 연구", 한국철도학회지, 2003.
- (14) 유원희, 문경호, "서울지하철 곡선부소음 저감을 위한 실험적 연구", 대한환경공학회, 2003.
- (15) 기득서, "전기동차 소음방사 특성에 관한 연구", 서울산업대학교 철도기술대학원 석사학위논문, 2001.
- (16) 김정옥외 "레일연마의 효과 및 경제성분석" 한국철도선로기술협회, 2004.7
- (17) 환경부, "소음진동규제법시행규칙 제37조 별표10 (총리령 제92호 일부개정 2000.5.4)