동력분산형 고속철도의 실내외 소음저감기술 연구
Study on the Noise Reduction Techniques of the High-Speed EMU

홍윤혁* 김정태** 김정수***
Yun H., Hong Jeung T., Kim Jung-Soo, Kim

ABSTRACT

Noise pollution from a high speed train has been a serious social issue nowadays. Especially when a train speed exceeds 350 km/hr, an aerodynamic noise level has been known to be increased drastically. In this paper, explained were the studies on the noise reduction and engineering approaches to estimate and analyze influences of noise. Based on this study, it is estimated to apply results to development of trains and expected to accomplish futuristic technology by devising noise prediction of high speed EMU and measures to reduce noise on a design phase.

1. 서 론

동력원이 각각의 차량에 분산되어 설계되는 고속철도는 차량의 내, 외부, 환경소음의 특성이 현재 운행되고 있는 차량과 상이한 결과를 보여줄 것으로 예상되고 있다. 동력장치인 모터소음원이 차량 전, 중, 후 각각에 위치에 있고, 대차의 구조도 변경되어 차륜/레일 소음발생특성이 변화하기 때문이다. 여기에, 시속 350 Km가 넘는 구간에서는 속도향상에 따른 소음발생정도가 급격히 증가하여 공력기인소음의 영향이 구조기인소음보다 커지는 구간에 해당된다. 따라서 본 연구에서는 차량의 설계개발단계에서 소음의 영향을 예측하고 분석할 수 있는 공학적 접근방법을 연구하고, 소음의 피해를 최소화할 수 있는 소음방지대책에 대한 검토연구를 수행한다.

2. 연구개발의 목표

본 연구는 동력 분산식 철도차량이 고속 주행시 발생되는 차실 내외부소음, 레일주변의 환경소음에 대한 영향을 예측 평가하는 연구를 수행한다. 주행구간의 영향은 평지의 개구부 구간 및 터널구간 각각에 대한 영향분석을 목표로 하며 연구과정에서 차량의 대차상부위치와 차량중앙부분등에 대한 소음분석을 수행한다. 분석과정에서는 소음예측 상용프로그램을 사용하여, 모델링, 해석, 결과도출, 결과에 대한 검토 및 분석 연구 등을 수행한다. 또한, 설계차량에 대한 소음방지대책을 제시하고 소음저감효과를 도출한다. 방지대책 수립 전, 후의 결과를 비교분석하여 설계에 반영함을 연구목표로 한다.

* 홍익대학교, 대학원 기계공학과, 정회원
E-mail : stained81@naver.com
TEL : (02)320-1113 FAX : (02)320-1113
** 홍익대학교, 기계시스템디자인공학과, 정회원
E-mail : jeungk11@yahoo.co.kr
TEL : (02)320-1467 FAX : (02)320-1113
*** 홍익대학교, 기계시스템디자인공학과, 정회원
E-mail : apolllo11@hanmail.net
TEL : (02)320-1471 FAX : (02)320-1113

3. 연구개발 내용 및 추진 일정

3.1 연구개발 내용

본 연구는 5개년동안 수행되는 일정으로 앞서 연구개발 목표에서 언급되었던 목표하는 내용에 대한 세부적인 연구 내용은 아래와 같이 5개의 분야로 정리할 수 있다. 또한 제시된 분야의 내용에 대한 연차별 상세 계획에 대한 내용 또한 아래와 같다.

(i) 소음원 특성 분석

분산식 철도차량은 우선적으로 대차의 구조변화가 예상되므로 새로운 차륜/레일소음발생원 특성을 고려하여야 한다. 분산되는 모터의 설치위치로 인한 동력원 소음특성 역시 새롭게 고려되어야 할 요소이다. 특히, 주행속도가 시속 350 km를 초과하는 구간에서는 공력소음의 영향이 기하급수적으로 증가한다. 본 연구에서는 소음발생원의 주파수특성, 속도의존성 등에 대한 연구와 함께, 소음예측 모델링방법에 대한 연구를 중점적으로 수행한다. 음압, 음향파워 특성에 대한 연구도 포함된다.

(ii) 구조물 차음성능연구

고속철도차량 객실의 바닥, 측면(유리창), 상부의 주요 다층 차음재의 음향성능을 해석하기위한 전용 프로그램을 개발한다. 예측 시 차량의 설계도면 자료를 사용하는 것을 목표로 한다.

(iii) 차실 내외부, 환경소음예측 및 분석.

고속철도가 주행 시 개구부, 터널부 통과시의 소음을 예측 평가하는 연구를 수행한다. 예측과정에서 상용프로그램을 활용, 차량외부와 내부에 분포되는 소음도를 도출한다. 연구결과는 차량의 대차상부, 중앙부, 그리고 철도변 환경에 대한 소음도 영향평가로 나타나게 된다.

(iv) 소음방지대책검토

시속 350 kM 이상의 고속 주행시 나타나는 소음은 공력소음 등의 영향으로 기존의 차량설계방법만으로는 문제가 있을 것으로 예상되고 있다. 소음방지방안 각각에 대하여 저감효과를 해석적으로 도출한다. 도출된 결과의 비교후 현실적으로 적용 가능한 소음 방지 대책안을 제시코자한다.

(v) MATLAB 기반의 고속철도소음예측 코드개발

연구결과물은 MATLAB을 기반으로 하는 코드로 작성되며, 산업체 연구현장에서 차량의 설계변수를 간략히 모델링하고, 재료의 구조물은 차음재 dB를 사용하도록 한다. 예측코드는 대차상부, 차량중앙부 위치에서 실내/외 소음을 제시토록 개발된다.

다음 표 3.1은 위의 5가지 내용에 대한 연차별 주요 연구내용을 정리한 내용이다. 1차년도와 2차년도는 1단계 과정으로 주로 실내외 환경소음 예측 및 소음 전달경로 분석의 내용과 함께 차음해석을 위한 모델링 기법 제시를 위한 연구 기간이며 3차, 4차년도는 1,2차년도의 내용을 구체화 시키면서 소음예측, 전달경로 분석 기법의 구체적인 적용 및 차음 해석의 전용 프로그램의 검증 등의 내용을 토대로 연구를 진행할 계획이다. 또한 마지막으로 5차년도에는 실제 차량을 이용한 실험 분석을 통하여 연구되었던 내용에 대한 검증 및 개선사항을 도출하여 보완 마무리 하는 것에 초점을 맞추었다.

표 3.1 연차별 연구개발 목표와 주요 연구내용

단계	연도	연구목표	주요 연구내용
1단계	1차 연도	- 분산형 열차의 소음 특성 파악 (열차내·외부 및 터널 개활지 등) - 차량구조별 차음성능을 결정하는 인자 분석 - 해석 모델 구성	▪ 소음원 특성 파악 - 차륜/레일 기계소음, 공력소음, 견인모터 - 공조 시스템의 특성 ▪ 열차 주행 속도/주차수 대역특성 파악 - 해외의 최신 해석 - 컴퓨터 시뮬레이션모델 - 실험기법을 파악. ▪ 차량모델링작업 -Sysnoise 또는 Raynoise 모델 ▪ 객실 차음 구조의 차음성능 인자도출
	2차 연도	- 실내외 소음 전달경로 분석 및 영향 예측 - 차량편성에 대한 열차내·외부 소음분포도 예측	▪ 음원 분포 모델링및 수정 ▪ 차량형태 모델링보완 ▪ 주행여건(개구, 터널) 모델링 ▪ 차량외부 소음도 해석/예측 ▪ 차량구조의 차음해석 모델링 ▪ 차실내부소음도 예측
2단계	3차 연도	- 소음저감 대책 및 기여도 제시 - 열차편성에 대한 소음 해석	▪ 차량내부소음도 평가 - 대차상부 - 차량중앙 ▪ 차량외부 음원별 기여도 분석 - 바닥면/측면/상부면 등 ▪ 차량구조별 차음성능 DB 확장 - 적층재 등의 효과
	4차 연도	- 예측결과와 비교 분석 (구성품, 단차시험 단계) - 개선안 도출	▪ 소음원 저감을 위한 해석 기법을 완성하고 설계 개선안에 적용 - 차륜, 레일, 트랙의 소음감소 방안. - 고체전달음 차단을 위한 방진 및 구조설계. - 소음 방사 감소를 위한 shielding효과. ▪ MATLAB 응용 프로그램완성 - 상용프로그램과 공동 사용 가능한 시제프로그램개발 ▪ 환경소음영향의 예측 및 평가
3단계	5차 연도	▪ 소음방지대책 검증/개선사항도출 - 시험 및 결과분석 - 설계 성능과 시험결과에 따라 대책수립	▪ 실차주행실험분석 및 개선방안도출. ▪ 차량 실차실험지원. ▪ 소음측정데이터 정리 및 취합 ▪ 소음방지대책과 영향보완.

3.2 연구개발 추진 일정

다음 표 3.2는 5개 연도의 세부사항 별 과제 추진 계획에 대한 일정을 나타내고 있다.

표 3.2 연도별 주요 과제 추진 현황

일련번호	연구내용	추 진 일 정 (연도별)																				비중 (%)
		1단계								2단계								3단계				
		1차 연도				2차 연도				3차 연도				4차 연도				5차 연도				
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
1	실내/실외/환경소음 예측 및 저감을 위한 소음원특성 연구	▬																				
2	소음원 특성 파악 및 최신 해외동향 파악		▬	▬																		
3	차량구조별 차음성능을 결정하는 물리적 인자파악		▬	▬	▬																	
4	차음해석을 위한 모델링 기법 제시			▬																		
5	해석 모델 구성				▬																	
6	연차보고서작성				▬																	
7	차실외부 소음분석 및 영향 예측					▬																
8	차량구조재 소음전달경로 분석 및 영향 예측						▬															
9	차음재 구조 유형별 차음 성능해석						▬	▬														
10	차량편성에 대한 소음 분포도 예측						▬	▬	▬													
11	연차보고서 작성								▬													
12	소음방지기법의 적용과 예측									▬	▬											
13	실차에 대한 소음에너지분포의 기여도 및 민감도 평가										▬	▬										
14	열차편성에 대한 소음 해석										▬	▬										
15	연차보고서 작성												▬									
16	예측결과와 비교분석													▬	▬							
17	소음방지 개선안 도출														▬	▬						
18	Matlab 기반 고속철도 실내외 소음해석 통합 프로그램 구축													▬	▬	▬						
19	연차보고서 작성																▬					
20	실차실험 및 소음평가																	▬				
21	설계성능과 시험결과에 따라 대책 수립																		▬	▬		
22	종합보고서 작성																				▬	

4. 연구결과의 활용방안 및 기대성과

고속철도의 실내외 소음 저감 방안 연구는 설계단계에서의 실내외 소음 예측 및 저소음화 대책을 수립함으로써 연구 결과를 차량 개발에 활용할 수 있을 것으로 예측된다. 또한 그 기대성과 및 파급효과는 기술적인 측면과 사회 경제적 측면에서 다음과 같이 정리할 수 있을 것이다.

(1) 기술적 측면

· 시속 400km급 분산식 고속전철에 대한 소음분야의l 기반기술을 개발
· 고속철도 운영과정에 발생할 수 있는 환경소음의 피해를 해결
· 항공, 자동차, 선박 및 관련된 많은 산업분야에서의 소음기술 상승효과
· 저소음 고속전철기술을 이용한 교통소음 기술적 예방
· 철도/전철의 정온화로 쾌적한 철로변 생활환경의 조성
· 소음분야의 교육과 인재양성

(2) 사회·경제적 측면

· 국내 철도/전철의 정온화 및 제품 고부가 가치화
· 고속전철기술 자립화를 통한 선진국과 경쟁하는 지위도달
· 개발된 소음기술의 국내 산업화를 통한 무역수지 개선 및 국제경쟁력 향상
· 국내 소음 관련 산업의 육성발전과 다양화에 기여
· 첨단 고속전철 소음기술의 자립화를 통한 국민의식의 선진화
· 철도/전철의 정온화로 쾌적한 철로변 생활환경의 조성
· 소음분야의 교육과 인재양성

5. 결론

고속전철 실내소음은 쾌적한 승차환경을 결정짓는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 시속 350 km이상의 고속으로 주행하는 고속전철은 시속 200 km미만으로 주행하는 일반 철도차량과 비교하여 매우 복잡하고 다양한 소음특성을 보임으로써 고도의 소음저감기술을 요구한다. 우리나라 고속전철의 경우 운행구간의 상당 부분이 교량과 터널로 이루어질 수밖에 없는 지형적 여건 때문에 평야를 주행하는 경우와 비교해 보면 쾌적한 실내 환경을 유지하는데 매우 불리한 소음여건에 해당된다. 더욱이 우리가 현재 보유하고 있는 철도기술 내지 전철기술의 수준은 아직은 선진국형 고속전철을 개발하는데 크게 미흡하다. 특히 공력소음 영향에 대한 연구는 아직 국내외적으로도 초기연구단계에 있어, 향후 연구 수행해야 할 내용이 많이 남아 있다.

고속전철 실내소음문제, 특히 터널 내 통과시의 소음도 수준은 고속전철의 속도향상과 직결되고 있다. 아울러 고속철도 주변에 거주하는 주민에 대한 정온한 생활권 보호도 점차 사회문제로 대두되고 있다. 따라서 빠른 고속전철에 대한 인간의 욕구가 지속되는 한 저소음 설계기술의 개발 필요성 역시 증대될 것이다. 또한, 국내외 고속전철사업의 밝은 전망에 따라 고속전철 저소음 설계기술에 대한 전망도 매우 밝으며, 본 사업과 같은 연구 개발과제가 산학연간의 유기적인 협조체제 속에서 성공적으로 수행된다면 머지않아 관련 기술의 선진화가 달성될 것으로 전망된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과차세대고속철도기술개발, 실내외소음저감기술과제)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 차세대 고속전철 시스템 개발 분산형 차량성능 및 운용기반기술개발 실내외소음저감기술 연구개발계획서

[2] 인하대학교, 1998, 진동소음해석 및 저감기술개발, G7 연차보고서

[3] 한국고속철도건설공단, 1995, 고속철도 환경소음기준 및 진동기준에 대한 연구: 환경기준 및 방음대책편

[4] Pelton, H. K., 1993, Noise Control Management, Van Nostrand Reinhold, N.Y

[5] 정경렬, 김상헌, Christian Hoffman, 2000, 한국형 고속전철의 실내외 소음설계 검토

[6] 김정태, 전형욱, 1998, 철도차량의 내부소음 예측에 관한 연구

[7] 이동호, 황재호, 2000, 고속전철 표면 공력소음 Level 검토, 서울대 G7과제 보고서

[8] 김관주, 양윤석, 1999, 한국형 고속전철의 전동소음 예측에 관한 연구

[9] 김석현, 박정철, 김종년, 2000, "철도차량용 알미늄 압출재의 음투과손실", 한국소음진동공학회 논문집, 10권 4호,662-668.

[10] 김석현, 장호식, 김정헌, 2002, “철도차량용 알미늄 압출재의 국부진동 모드특성”,한국철도학회논문집 제4권 3호,pp87-93.

[11] 김운경, 김정태, 김관주, 김석현, 2003, “허니콤 구조물의 차음특성에 관한 연구”, 한국소음진동공학회 논문집, 13권 1호 2003.