

도시철도 시스템 소음의 예측 및 평가방안에 관한 고찰

A study on the Prediction and Evaluation for the Urban Railway Systems

고재현*†, 박수중*, 전서탁**, 이연근***

Jae-Hyun Ko*†, Soo-Choong Park*, Seo-Tak Jeon**, Yun-Geun Lee***

Abstract Because of the change of environment by the large scale compound processes that various systems are put together with in case of construction of urban railway, Construction causes a lot of complaints by the noise of construction site and train driving after the opening. The purposes of system engineering noise control are to predict the noise while operating the train and to identify the management process & requirements. Also, It is defined technique, procedures, a means used to noise management activity of a relevant project.

In this paper, We will present about the train driving noise prediction and evaluation plans of the advance influence evaluation step to be the one of noise management items.

Keywords : System engineering, Noise, Prediction, Evaluation

초 록 도시철도의 건설은 다양한 시스템이 결합되는 대규모의 복합공정으로서 환경변화를 수반하기 때문에 공사장 소음 및 개통 후 열차운행에 따른 소음에 의해 많은 민원을 유발하게 된다. 시스템엔지니어링 측면에서의 소음 관리는 도시철도 운영 중에 발생 가능한 소음을 사전 예측하여, 요구되는 관리수준을 충족하기 위한 이슈사항 관리절차 수립 및 요구사항 확인에 그 목적이 있으며, 해당 프로젝트의 소음 관리활동에 사용되는 기법, 절차, 수단을 정의하게 된다. 본 논문에서는 시스템 차원의 소음 관리 항목 중 하나인 사전 영향평가 단계의 열차 운행 소음 예측 및 평가 방안에 관하여 기술하고자 한다.

주요어 : 시스템엔지니어링, 소음, 예측, 평가

1. 서 론

도시철도를 이용하는 승객은 삶의 질 향상에 따른 욕구 증가에 의해 보다 나은 안락함을 요구하게 되며 도시철도 운영기관은 이러한 고객의 요구사항(Needs)을 반영하여 소음을 저감하기 위한 다양한 저감대책을 시행하고 있다. 하지만 이러한 저감대책은 시스템 교체 및 보강에 대한 비용증가를 수반하게 되며 비용대비 효과 또한 미비한 것이 사실이다.

따라서, 건설단계에서의 소음 관리는 준공 후 운영에 이르기까지 고려되어야 하며 이는 고객의 요구사항을 충분히 반영할 수 있도록 정확한 예측이 선행되어야 한다.

† 교신저자: 서울메트로 철도사업처 국내사업팀(ineehyun@seoulmetro.co.kr)

* 서울메트로 철도사업처

** 서울메트로 신사업지원센터

*** 서울메트로 궤도신호처

2. 본 론

2.1 도시철도 소음 환경

열차운행 시 발생하는 소음의 발생원은 차량을 기준으로 실내/실외, 터널/개활지에 따라 소음에 기여하는 비중이 다르게 적용된다. 통상 지하구조물이 많은 도시철도 차량의 열차 운행시 Fig.1, Fig.2와 같이 다양한 소음원과 전달경로가 있음을 확인할 수 있다.

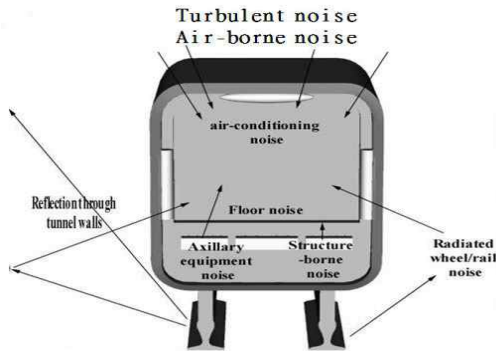


Fig. 1 Sources and paths of car interior noise

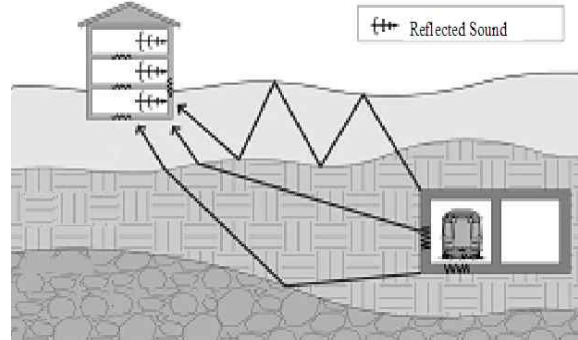


Fig. 2 Sources and paths of car exterior noise

실내소음에 기여하는 차량분야의 주요 소음원은 크게 차륜과 레일의 접촉소음(이하 “전동음”)과 견인전동기, 구동기어 등으로 나눌 수 있으나 터널을 운행하는 차량의 실내소음은 터널 폐 공간에서 발생하는 반사파로 인하여 개활지를 운행하는 동일 속도의 차량 대비 더 큰 소음을 유발하게 된다.

최용운[1]은 차량이 터널 주행 시 차륜/레일 소음이 구조전달에 의해 실내 소음에 직접적으로 미치는 영향은 상대적으로 적으며 터널의 측벽, 바닥 등 벽면에 반사되어 유입되는 소음과 차체의 사이드실(Side Sill)에서 회절된 음이 유입되는 음이 더 큰 영향을 미친다 하였으며 김효산 등 [3]은 서울2호선 지하구간과 지상구간의 열차 운행시 실제 소음 측정을 통하여 지하구간의 소음이 2.9dB(A) 높음을 증명하였다.

2.2 소음 관리 V-Cycle

소음관리에 대한 시스템엔지니어링(이하 “SE”) 접근방식은 설계단계부터 검증단계를 거쳐 시운전에 이르기까지 소음 관리 각 업무를 포함하는 Life-Cycle 관리절차에 의한다. 일반적인 Life-Cycle의 범위는 KS C IEC 62278에서 정의하는 순차적인 절차로서 개념단계에서 폐기처분에 따르는 총 13개 단계를 거치게 되며, 이를 SE 관리활동에 적용되는 V-Cycle을 통해 관리체계를 구축한다.

소음에 대한 요구사항 확인은 실제 영업열차 운행시의 소음 측정을 통해 요구된 목표치의 달성 유무를 확인할 수 있다. 하지만 V-Cycle은 최종적인 요구사항의 확인 시험 뿐만 아니라 Fig.3과 같이 개념 단계에서부터 프로젝트 Life-Cycle의 개별 활동을 통해 도시철도 시스템의 다양한 단계에서 검증 활동이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

따라서, 입찰 시 프로젝트 별 소음 요구사항 및 관련법규의 기준을 만족하기 위해 V-Cycle은

Life-Cycle 내 검증(Verification) 및 확인(Validation) 업무에 효과적이라 할 수 있다. 여기서 확인의 목적은 검토 대상 시스템이 제작 단계 중 그리고 설치 후 모든 측면에서 요구사항을 만족함을 보여주는 것이며, 검증의 목적은 시스템 요구사항 달성을 위해 각 서브시스템에 할당된 요구사항을 만족함을 증명하는 것이다.

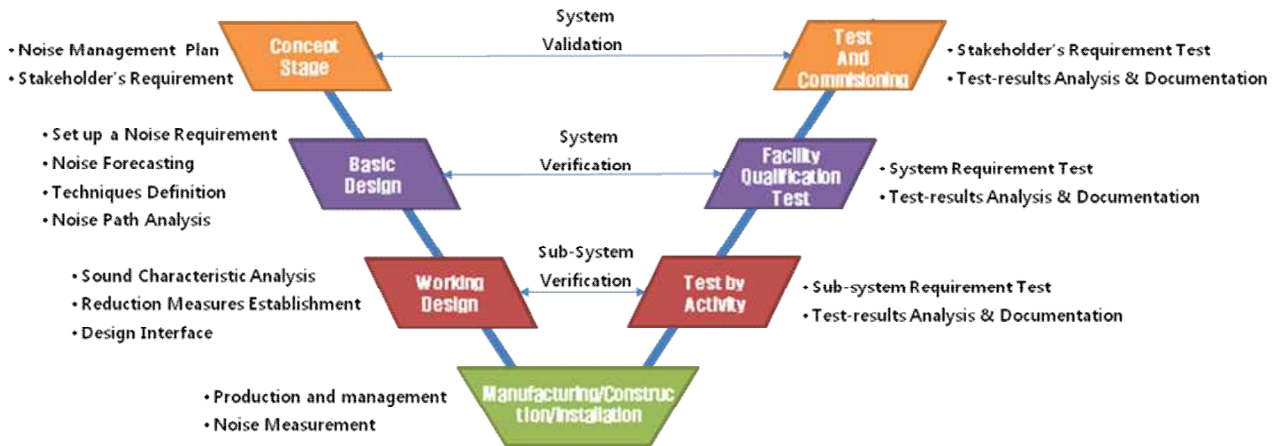


Fig. 3 Noise process v-cycle

2.3 소음 예측 및 평가

2.3.1 개요

운영시를 고려한 건설단계에서의 소음 예측은 통상 환경영향평가의 소음 예측결과를 기반으로 하고 있으며, 소음 예측은 소음전파 모델링에 따른 데이터베이스를 활용하여 예비 계산을 시행 하게 된다. 이는 차량 실내 및 실외 소음(지반 전달 소음 포함) 예측시에도 적용이 되며, 차량 소음 성능조건(운행최고속도, 차륜 형식 등)에 따른 유사차종 데이터베이스 및 궤도/지반 종류에 따른 도시철도(지하철) 운영사례 데이터베이스가 활용된다. 이러한 데이터베이스는 예측식 및 예측프로그램에 의한 시뮬레이션 결과의 비교자료로서 활용이 되며, 예측결과의 신뢰성 확보 차원에서 보다 중요한 의미를 가지게 된다. 따라서 충분한 수의 데이터베이스를 확보하는 것이 무엇보다 중요하다.

2.3.2 관리항목의 설정

일반적으로 도시철도 운영 시 차량의 실내소음은 도시철도차량표준규격의 차량시스템 성능 규격을 따르게 되며, 지상/지하, 철제/고무(경전철)에 따라 각각의 달성 기준치가 적용된다. 소음 관리항목은 시스템 소음에 기여하는 서브시스템 항목으로 세분화 되며, 소음원을 규제하는 소음원 관리 항목과 전파 경로에 따른 관리 항목으로 구분한다.

차량시스템의 소음관리기준은 관리계획 수립시기에 확정이 되며 서브시스템 관리항목은 개념설계 단계에서 확정이 된다. 차량 실내 소음에 기여하는 서브시스템 관리기준은 실내 소음 영향 평가 단계에서 수 차례의 시뮬레이션을 통해 결정이 되며 소음 관련 자문기관(개발사) 및 차량 공급사의 소음 관리자는 보유하고 있는 다양한 소음관련 데이터베이스를 활

용하여 차량의 소음에 직접적으로 영향을 미치는 부품단위의 사양을 결정하게 된다. 부품단위 사양 정의의 목적은 소음원의 차음/흡음 전략을 통한 소음수준 감소 및 타 소음원과의 기여도를 조절하기 위함이다. 차량의 부품단위 소음원은 견인전동기, 구동기어, 주변압기, HVAC, 인버터 등이다.

전파 경로에 대한 관리 항목 정의의 목적은 차체를 구성하는 구성품에 대한 정의이며, 소음원의 직접/반사 소음을 차단 또는 흡음하여 차량의 실내 소음 요구사항을 만족하기 위함이다. 차체 구성품의 관리항목 또한 개념설계 단계에서 식별이 가능하며, 일반적으로 소음 관리 측면에서 관리되는 구성품은 플로어, 측벽, 창문, 갭웨이 부분, 출입문, 천장 등이다.

차량의 실외 소음(지반 전달 소음 포함)에 있어서 가장 중요한 소음원은 전동음이다. 전동음의 소음 레벨은 국내 프로젝트의 경우 102~109 dB(A)을 적용하며 차량의 중량 차이에 따라 loss factor를 고려하여 최대 소음도의 차이가 발생한다. 전동음은 감가속 및 최대 주행시에 따라 각각의 소음레벨이 예측되어야 하며, 실외소음에 기여하는 타 서브시스템의 소음 기여도도 고려된다.

2.3.3 예측 및 평가 절차

상기 정의된 관리항목을 토대로 열차 운행시 수용가능한 소음원의 파워레벨 및 적정한 실내 소음 환경 구현을 위해 필요한 차체 구성품의 투과손실, 민원 예상지점의 소음도 등을 예측하게 되며 관련 인터페이스 분야는 차량/궤도/노반 이다.

과거에는 소음을 예측하는 방법으로서 예측하고자 하는 곳과 비슷한 소음 환경의 현재 운행중인 차량의 소음을 측정해서 예측하거나 예측식에 의해 음향파워레벨을 가정한 후 거리 감쇠에 의해 소음을 예측하였으나 이는 한계성을 가지고 있으며 부정확한 예측의 경우에는 소음 필요성능 미확보 및 불필요한 소음대책으로 과설계가 발생할 수 있다.

외국의 경우 소음전파 모델링에 대한 활발한 연구로 인해 다양한 데이터베이스를 구축하고 있으며 국내의 경우에도 다양한 소음 예측 프로그램을 병행하여 소음 환경을 구현하고 있다. 예측 및 평가 절차는 Fig.4와 같다.

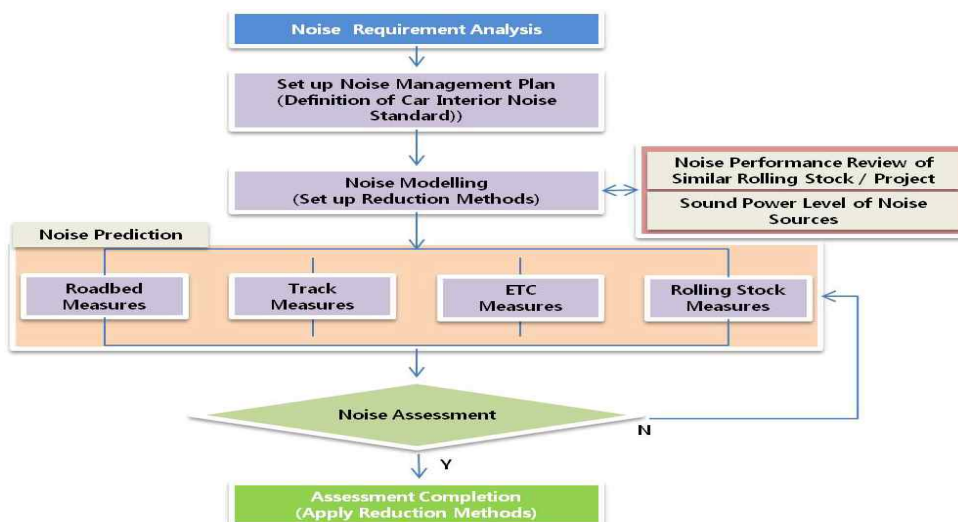


Fig. 4 Noise prediction and assessment process

소음 모델링시에는 자갈/콘크리트 도상, 단선/복선 터널, 최고 운행 속도에 따라 입력값이 달라지며 해석시 입력되는 소음원의 크기 및 차체의 차음 성능은 유사 차종 및 유사 프로젝트 수행을 통해 얻어진 데이터베이스를 활용하게 된다. 특히 콘크리트 도상에 대한 가정식 궤도 형식에 따른 소음 기여도를 고려해야 하며 이는 환경영향평가의 보완사항으로 거론되기도 한다. 서울메트로 운행노선(터널 BOX)의 궤도유형에 따른 소음도 측정 결과는 다음과 같다.[5]

Table 1 Noise level of track type

Division	Elastic Fastening B type	Elastic Fastening E type	Sleeper Floating P type
Noise level (dB(A))	72.8	73.6	75.6
Radius of curvature (m)	260	250	250
Service speed (km/h)	58	57	58

전동음의 예측은 통상 유럽철도연구원의 TWINS를 활용하며 차량 제원과 궤도의 제원을 입력값으로 하여 레일, 침목, 차량 등의 음향파위레벨 등의 예측값을 결과물로 얻는다. 궤도 형식 및 이에 따른 구성품은 차량과의 인터페이스를 통해 경제성을 고려하여 전동음을 최소화하기 위한 방향으로 설계된다.

상기 Fig.3과 같이 소음관리에 대한 SE 적 접근은 소음 관리항목의 예측값을 통해 설계된 소음원 및 구성품 사양에 대해 시험을 통한 검증(Verification)을 하는데 있다. 이는 예측값의 평가절차로서 활용되며 검증은 부품 단위에서 조립품 단위까지 단계적으로 시행되며 최종 인증단계인 시운전까지 지속된다. 소음원 검증은 소음 영향평가 단계에서 선정된 관리항목의 소음 발생 정도를 측정하는 것이며 차체 구성품의 검증은 사전 선정된 관리항목의 차음 성능 등을 테스트 하는 것으로 출입문 및 플로어 등 각 항목은 공기기인/구조기인 소음의 영향에 따라 주로 수행하는 시험항목을 다르게 한다. 본 검증을 통한 예측값의 신뢰성을 확인하며 소음 예측 및 평가 절차를 마무리 한다.

3. 결 론

본 논문에서는 도시철도 운영시 발생가능한 소음민원과 관련하여 건설단계에서 고려되어야 하는 소음 예측의 항목 및 절차에 대하여 연구하였다. 열차 운행과 관련된 소음은 서브시스템의 설계/제작/설치/시공 전 단계에 걸쳐 관리되어야 하며 예측을 위한 시뮬레이션은 프로젝트의 성공적 소음성능 보증을 위해 충분한 정보가 입력되어야 한다.

본 연구를 통하여 향후 경량전철건설 소음예측활동의 신뢰성이 향상되어지길 기대해본다.

후 기

본 논문은 플랜트엔지니어링 원천기술개발사업의 “경량전철시스템 및 운영고도화를 위한 시스템엔지니어링 적용 기술 개발” 과제의 일환으로 작성되었습니다.

참고문헌

- [1] Y.W. Choi (2009) A study on the improvement of sound transmission loss and the experimental prediction method of interior noise for subway train, Ph.D Thesis, Seoul National University of Science and Technology
- [2] E.H. Bae (2005) The Study on Prediction and analysis of the High-Speed Rail Transit Noise, M.S Thesis, Yeungnam University
- [3] H.S. Kim, C.H. Lee, K.E. Kim, K.C. Lee, et al.(2008) A Study on Noise Characteristics in the Running Train of the Urban Railway, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 93-99
- [4] K.R. Chung, K.T. Kim, B.H. Lee.(2003) Noise Assurance Plan in the Project for Design a New Rolling Stock, *Journal of Sound and Vibration*, pp. 542-548
- [5] Seoulmetro. (2007) Noise measurement results and analysis report.