

## 고가철교 방음터널 효과검증

김형두\*

(논문접수일 2008. 4. 21, 심사완료일 2008. 6. 4)

### The Verification on Effect of Sound Absorption Tunnel for Elevated Railway

Hyung-doo Kim\*

#### Abstract

The source of wayside noise for the train are the aerodynamic noise, wheel/rail noise, and power unit noise. The major source of railway noise is the wheel/rail noise caused by the interaction between the wheels and rails. The Structure borne noise is mainly a low frequency problem. The train noise and vibration nearby the elevated railway make one specific issue. The microphone array method is used to search sound radiation characteristics of elevated structure to predict the noise propagation from an elevated railway. In this paper, the train noise and structure borne noise by train are measured. From the results, we investigated the effect on the sound absorption tunnel for elevated railway.

**Key Words** : Elevated Railway(고가철로), Equivalent Noise Level(등가소음도), Sound Absorption Tunnel(방음터널), Train Noise(철도소음), Structure Borne Noise(고체전파음)

### 1. 서론

1960년대 이후 국가 경제규모가 급속히 늘어남에 따라 사회, 경제활동 영역의 확대에 수송에 대한 수요는 지속적으로 증가되고 있으나, 기존의 철도와 고속도로 등 주요 교통시설은 이미 포화 상태에 이르렀다. 따라서 1980년대에 이르러 철도산업의 중요성은 재인식되기 시작하였다. 이러한 현상은 보다 빠르며 정확한 수송 및 이동성 요구의 증가에 대처하기 위한 움직임이었다. 실제적으로 150년이 넘게 지속된

철도의 개념은 최근에 고속철도, multi-current power engine 그리고 하상 터널과 같은 빠른 기술적 진보를 가져왔다. 철도의 건설은 교통 애로 개선, 운송시간 단축으로 지역개발, 공로교통의 전환에 따른 유류절감과 대기오염 물질의 감소 등으로 사회전반에 막대한 공헌을 해왔다. 생활수준이 향상될수록 의식주에 대한 기본적인 욕구만족으로부터 쾌적한 환경에 대한 욕구가 점점 더 커지게 되었다. 이러한 욕구는 상품에 대한 가치 판단에서도 중요한 척도로 작용하게 된다. 철도와 같은 운송수단의 경우, 소음문제는 차량 내의 승차

\* 동국대학교대학원 건축공학과 (khd4064@naver.com)  
주소: 100-715 서울시 중구 필동3가 26번지

환경 뿐만 아니라 철도가 통과하는 주변지역의 환경문제와도 관련된 복합적인 영향력을 가진 사항이라 할 수 있다. 또한 철도의 소음과 진동으로 인한 공해는 선로 주변 주민으로부터 불평, 불만, 소송 등을 유발시켜 차량 교통수송에 대한 대안으로서 대두되고 있는 철도교통 수송에 대한 대중의 지지를 감소시키고 있다. 철도와 관련된 소음문제 중에서 철도 차량 내의 실내 소음문제는 차량의 상품가치와 관련하여 국제 경쟁력 제고 차원에서, 차량운행으로 야기되는 환경 공해 문제는 인근 지역의 민원발생의 소지를 해결한다는 차원에서 체계적이고 장기적으로 고려해야 할 사항이다.

철도소음은 공기역학적 소음, 차륜과 레일의 상호작용에 의한 전동소음과 고가구조음으로 나눌 수 있다. 열차의 속도한계에 의해 재래철도의 주소음원은 전동음이라고 알려져 있으며, 전동음에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 또한 전동음을 주소음원으로 하여 철도소음에 대한 예측모델을 제시하고, 철도소음의 전파특징에 대한 연구가 다수 이루어졌다<sup>(1,2)</sup>. 또한 근래에는 고가선로에 대한 고가진동음에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>(3-7)</sup>.

한편, 본 연구에서는 국내 고가철교에 거의 설치되어 있지 않은 방음터널에 대한 효과를 파악하고 앞으로 설치가 예상되는 고가철교 방음터널에 대한 설계 자료를 확보하기 위한 기초연구를 수행하였다.

## 2. 고가선로 인근 소음

### 2.1 철도소음의 특성

철도 운행에 따라 발생하는 소음은 기관차에서 발생하는 소음과 객차에서 발생하는 소음의 2개의 음원으로 구성된

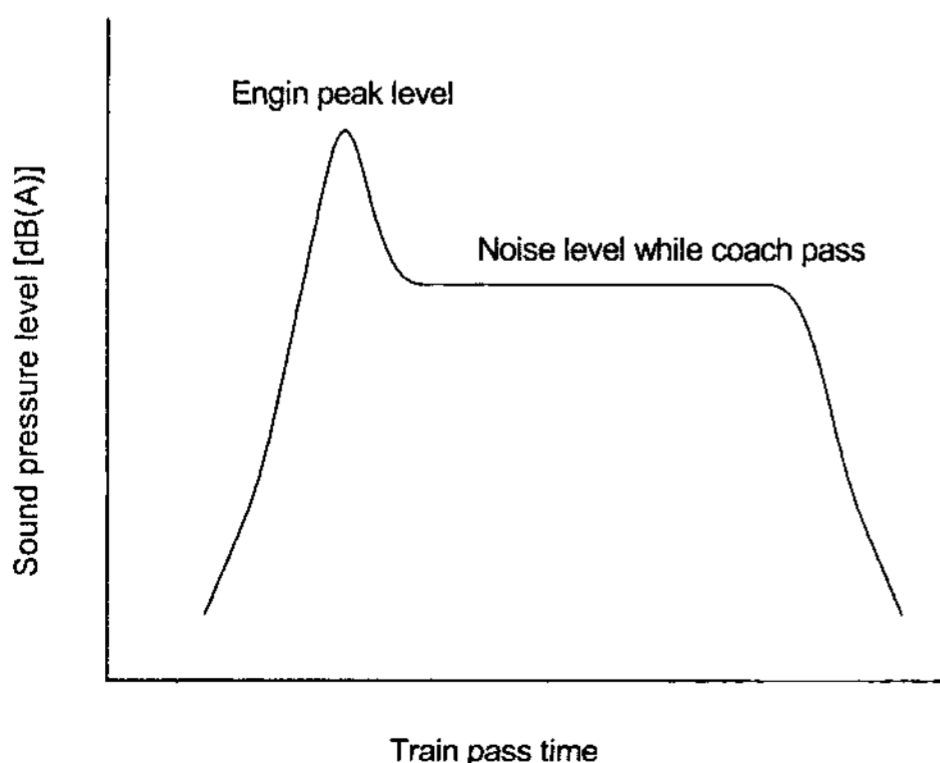


Fig. 1 An example of train noise in time domain

다. Fig. 1은 시간 변화에 따라 청감을 보정한 소음레벨의 변동을 보인 것이다. 철도소음의 평가에는 일반적으로 등가소음레벨  $L_{eq}$ 가 적용되며 등가소음은 열차 통과시 최대 소음레벨, 노출시간, 운행빈도 등에 의하여 결정된다.

### 2.2 열차와 고가철교의 소음발생기구

철도소음에는 차륜과 레일의 접촉에서 발생하는 바퀴/레일 소음이 있고, 열차에 전력을 공급하는 판토틀라프 시스템에서 발생하는 소음과 달리는 열차의 표면에서 공기역학적 메커니즘에 의해서 발생하는 공력소음이 있으며 이외에도 전동기 등 추진장치와 각종 보조 장치의 소음 발생원을 들 수 있다. 이들 여러 소음 발생원은 열차의 속도에 따라서 그 중요도가 변하는 것은 일반적인 현상이다. 차체 표면에서 공력소음은 열차속도가 낮을 때는 문제가 되지 않지만 속도가 증가할수록 발생소음의 크기가 커져서 열차 속도가 250~300km/h 정도에 이르게 되면 모든 소음을 압도하는 지배적 소음이 된다고 알려져 있다<sup>(8)</sup>. 반대로 전동기 등 추진 장치와 각종 보조 장치의 소음은 고속에서는 다른 소음에 비하여 상대적으로 중요도가 떨어지지만 저속에서는 차륜/레일 소음과 유사한 중요도를 갖는 것으로 간주되고 있다. 따라서 철도의 주요 소음발생원으로 취급되고 있는 바퀴/레일 소음과 차체 공력소음, 구조진동음 등이 있다.

우리나라의 경우 많은 콘크리트 고가철교가 존재한다. 고가철교에서 열차 통과시 레일의 진동은 트랙과 고가철교와 같은 구조물로 전파된다. 콘크리트 구조물의 진동으로 인하여 발생하는 소음을 구조 진동음(structure noise)이라 정의한다. 구조 진동음의 주파수의 특성은 일반적으로 전동음에 비하여 저주파수 대역이고 나타나고 슬래브 트랙과 밸라스트 트랙(ballast track)의 구조진동음의 A-특성 음압레벨의 차이는 거의 나타나지 않는 것을 발견하였다. 즉, 1,000Hz 이하의 주파수에서 슬래브 트랙(slab track)과 밸라스트 트랙(ballast track)은 같은 탄성을 가진 스프링과 같이 거동한다. 연마되지 않은 레일에서 고가 구조 진동음은 25m 떨어진 지점에서는 약 70~75dB(A)로 측정된다(열차속도가 200km인 경우). 연마를 하면 약 65dB(A)까지 저감시킬 수 있다. 밸라스트 트랙(ballast track)의 경우 밸라스트와 교가상판 사이에 밸라스트 매트(약 30mm)를 설치하여 약 10dB(A)정도 저감 할 수 있는 것으로 측정되었다<sup>(9)</sup>.

## 3. 실험장치 및 방법

방음터널이 설치된 고가철로를 통과하는 열차의 소음을 측정하기 위해서 선로 중앙으로부터 소음원, 고가선로 밑 지

반 1.5m 지점, 고가선로로부터 25m 지점의 거리에서 동시 측정하였다. 본 연구에 이용된 측정장비 구성도는 Fig. 2와 같다.

소음측정은 소음계(B&K 2260B)를 이용하였으며, 마이크로폰 보정기(piston phone, B&K 4224)를 이용하여 보정하였다. 소음계는 지상 1.5m 이상, 주변 구조물 3m 이상에 위치하도록 하였다. 소음신호의 기록은 디지털 기록기(Sony PC208Ax)를 이용하여 다채널을 동시에 저장하였고, 각 채널에 대한 마이크로폰의 종류, 감도(sensitivity), 이득 등을 부가적으로 기록하여 실험을 분석할 때 이용하였다. 기록된 신호는 A-보정(A-Weight)등 별도의 필터(filter)를 사용하였다. 소음신호 분석은 실험실에서 주파수 분석기(B&K 2034)를 이용하여 스펙트럼 분석을 하고, 분석기에 나타난 데이터는 GPIB(general purpose interface bus)를 이용하여 개인용 컴퓨터에 저장하였다.

선로로부터 가장 가까운 마이크로폰은 열차소음원의 크기를 파악하기 위한 것으로 이 값을 이용하여 선로로부터 멀리 떨어진 곳까지 소음이 전파되는 양상을 비교할 수 있다. Photo. 1은 방음터널 설치 후 고가철교의 전경이고 Fig.

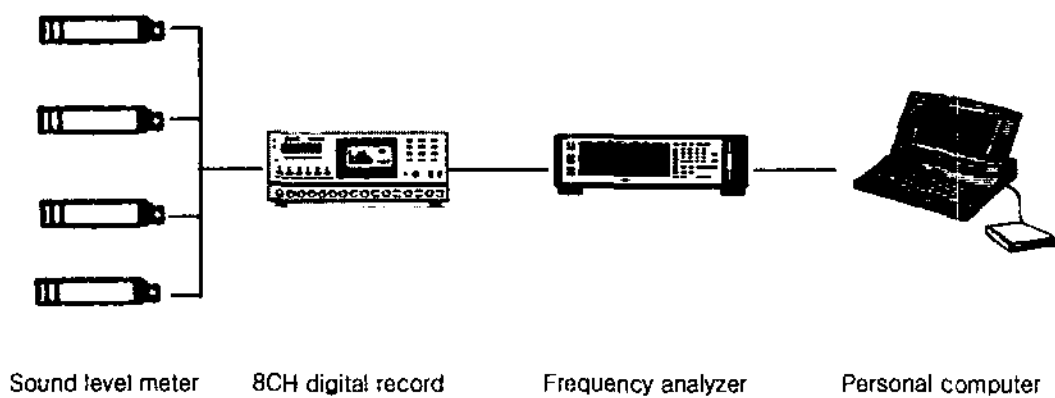


Fig. 2 The schematic diagram of measurement apparatus



Photo. 1 The scene of sound absorption tunnel on the elevated railway

3은 방음터널 설치에 의한 소음저감 효과를 파악하기 위한 측정지역이다.

### 3.1 소음평가

철도소음은 등가소음도(equivalent noise level :  $L_{eq}$ )가 적용되며 등가소음은 열차 통과시 최대소음레벨, 노출시간, 운행빈도 등에 의하여 결정된다. 등가소음도란 소음의 에너지 평균레벨, 즉 임의의 측정시간 동안의 변동 소음 에너지를 시간적으로 평균하여 상용대수를 취해 10을 곱한 값으로 정의한다. 본 연구에서는 1시간 등가소음도를 측정하여 고가선로에 방음터널 설치전후의 효과를 파악하였다. 이를 위해 주·야간 암소음과 현행법<sup>(10)</sup>에 의한 1시간 등가소음도를 측정하였으며 암소음과 1시간 등가소음도를 방음대책 전과 비교하였다. 암소음과 1시간 등가소음도는 전라선 고가철교 인근 아파트 102, 104동 20층에서 측정하였으며, 각 동마다 선로와 가장 근접한 거리에 소음계 설치하였다. 소음을 측정하기 전에 보정기를 이용하여 소음계의 정상 작동 여부를 확인한 후 측정하였다. 방음대책 후 열차운행으로 인한 소음이 전라선 고가철교 인근 아파트에 미치는 영향과 방음터널 적용구간의 적합성 여부를 평가하기 위하여 선로변과 아파트 사이의 거리가 가장 가까운 아파트 102동과 104동 5층, 10층, 15층, 19층, 20층 등에서 소음을 측정하여 주파수 분석을 실시하였다. 방음터널 개구부의 회절감쇠 효과를 파악하기 위하여 방음터널로부터 25m 떨어진 지점에서 방음터널 개구부의 폭(2m, 3m, 4m)에 대한 영향을 조사하였다.

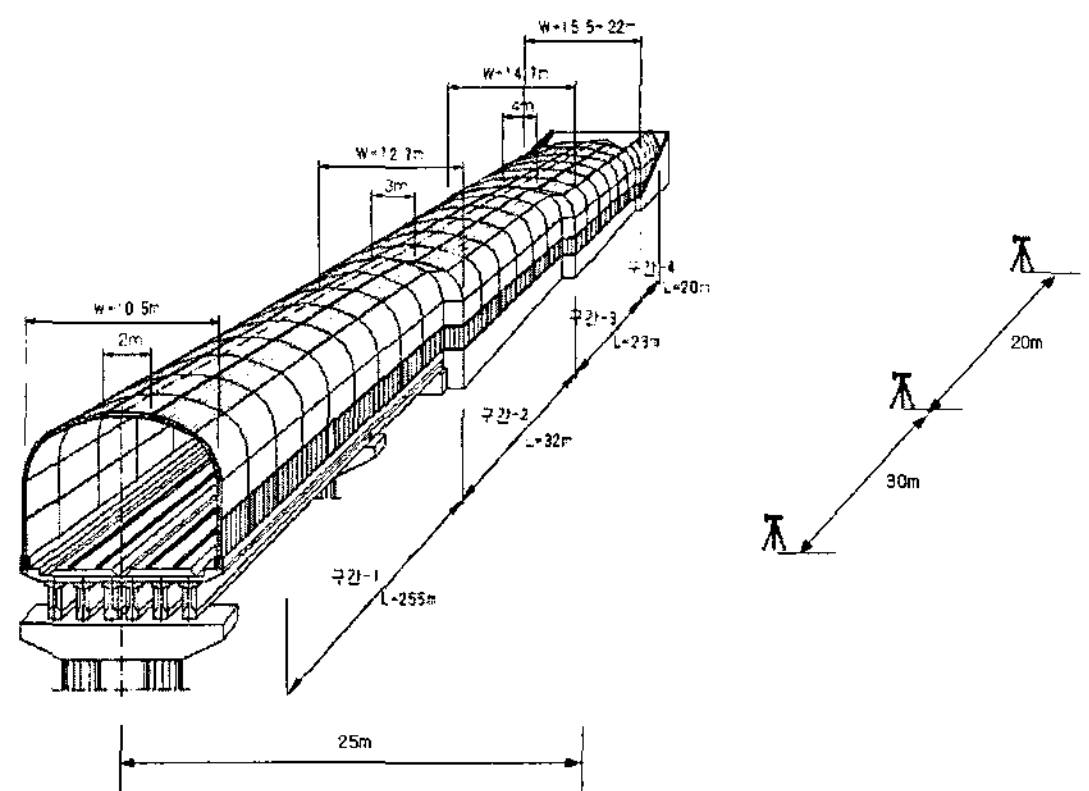


Fig. 3 Countermeasure of train noise nearby elevated railway by sound absorption tunnel

### 3.2 진동평가

열차의 정상운행으로 인한 소음 중 고체 진동음에 영향을 조사하기 위하여 주·야간 암진동과 현행법에 의한 1시간 등가진동도를 측정하였다. 고가철교 인근 아파트 104동 14층에서 소음과 진동을 동시에 측정·분석하였으며, 방음터널 표면에 최대한 가까이 소음계를 설치한 후 방음터널 표면에서 방사되는 고체 진동음을 측정·분석하였다.

## 4. 측정결과 분석

### 4.1 고가선로의 소음 측정결과

방음대책 후의 주·야간 암소음(background noise)을 측정결과, 주간 51.1~53.2dB(A), 야간 47.0~50.3dB(A)로 방음 대책 전 측정결과인 주간 52.0~58.0dB(A), 야간 44.0~51.0dB(A)과 유사한 결과를 보이고 있었다. 또한, 현행법에 의한 주·야간 1시간 등가소음도 측정결과는 Table 1과 같다.

특히, Fig. 4, 5에서는 방음대책 공사 전·후, 주·야간 1시간 등가소음도를 비교한 것으로 102동의 경우 주간 11.4dB(A), 야간 8.5dB(A), 104동의 경우 주간 11.2dB(A), 야간 11.7dB(A)의 소음레벨이 저감되었음을 알 수 있었다. 또한, 향후 철도 소음에 관한 현행법이 강화되어 주·야간 1시간 등가소음도가 각각 5dB(A)씩 감소된 주간 65, 야간 60dB(A)를 적용하여도 측정결과의 소음레벨이 법규에서 제시한 소음 규제치 이내임을 알 수 있었다. 철도소음은 순간적이고 반복적인 특징이 있어 열차가 민원지역을 통과할 때의 순간최대소음도를 측정한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 보는바와 같이 방음대책 전·후 순간최대소음도는 102동의 경우 16.9dB(A), 104동의 경우 17.1dB(A)이 저감되었음을 알 수 있었다.

고가철교에 방음터널을 설치한 후 아파트 높이별 소음저감 효과를 조사한 결과, 102동에서는 19층의 소음레벨이 가장 높았고 15층, 10층 순으로 소음레벨이 높았으며, 104동에서도 14층, 10층, 5층 순으로 소음레벨이 높았다. 아파트의 높이가 높아지면 소음레벨이 높아졌는데, 이는 방음터널

Table 1 The measurement results of Leq nearby elevated railway

	102 dong dB(A)	104 dong dB(A)	Regulation dB(A)	reduction effect dB(A)	No. of passing trains
day	54.3	54.4	70	11.2~11.4	2~5
night	55.8	51.2	65	8.5~11.7	

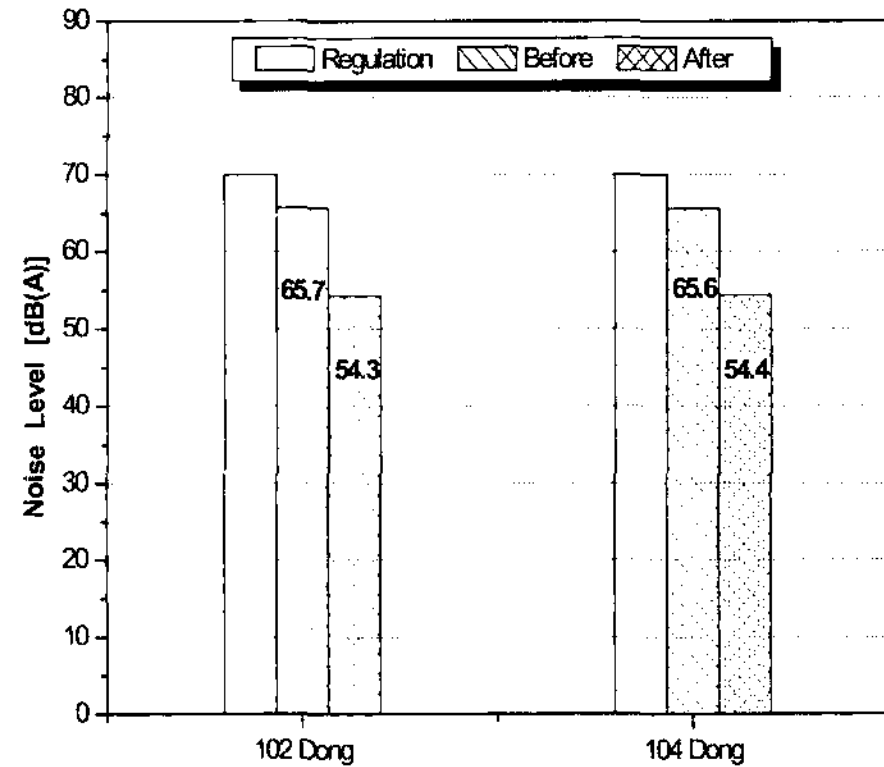


Fig. 4 Measurement data of Leq at the day time

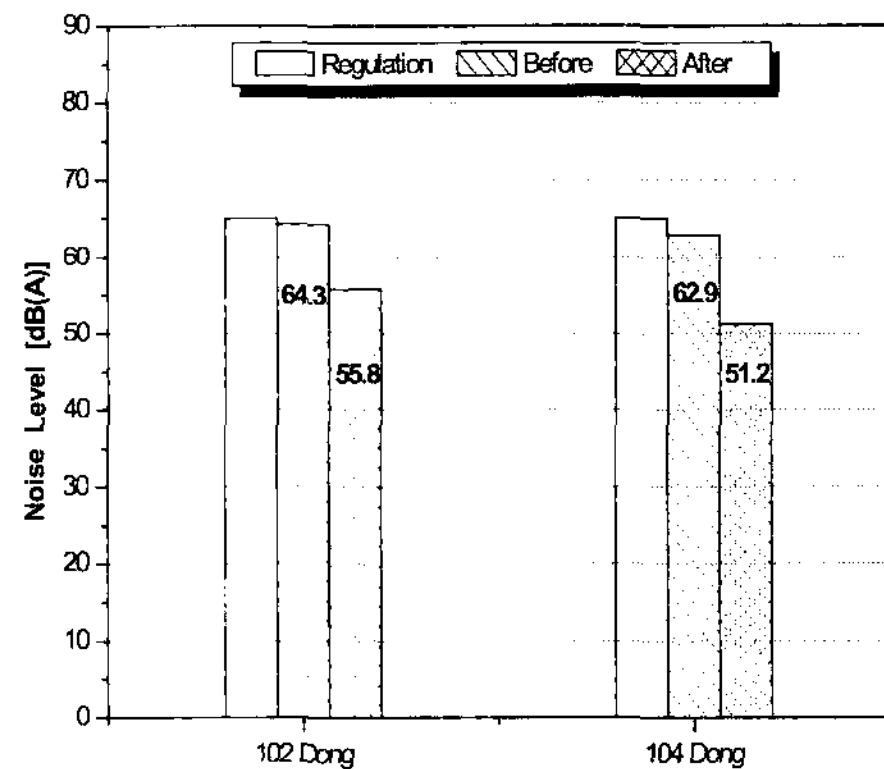


Fig. 5 Measurement data of Leq at the night time

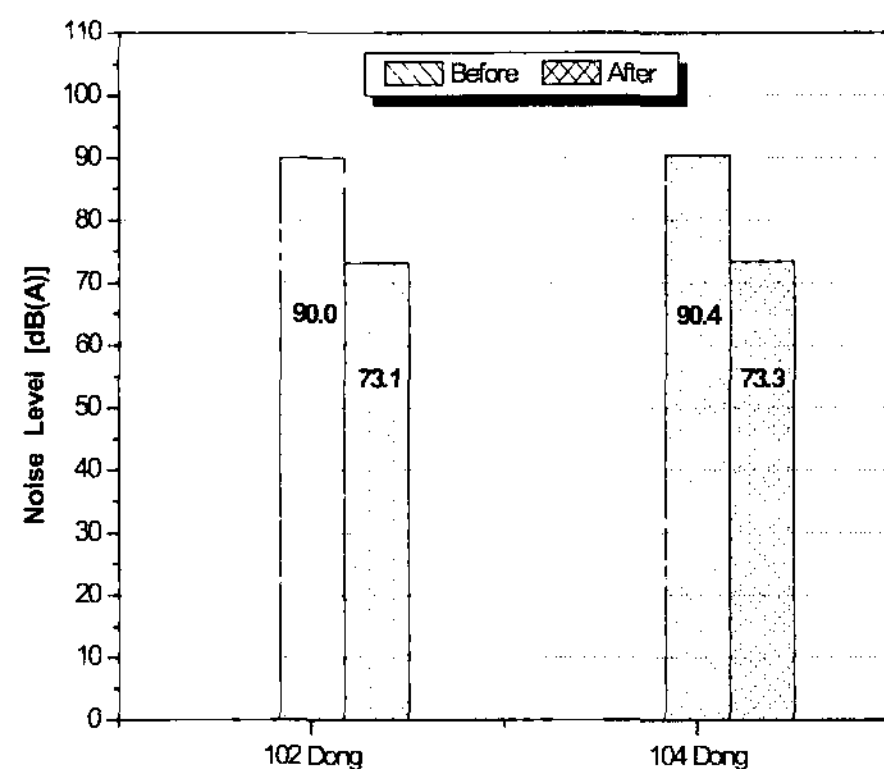


Fig. 6 The effect of instant maximum noise level

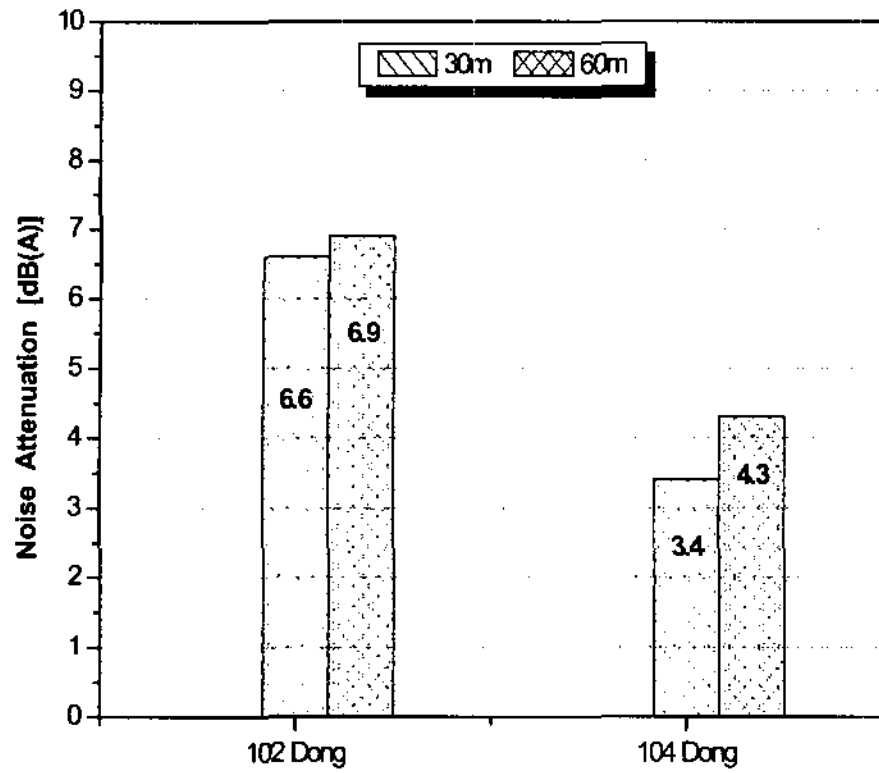


Fig. 7 The effect of the extension of the elevated railway by sound absorption tunnel

사이의 개구부로 소음에너지가 누수되는 현상과 열차 통과 시 고가철교의 진동에 의한 고체전파음 영향인 것으로 판단된다. 또한, 고가철교 방음터널 개구부 중심으로부터 25m 떨어진 지점에서 소음레벨을 측정·분석한 결과, 개구부 사이가 커지면 소음레벨이 약간 증가하는 것을 알 수 있었으며 그 차이가 1dB(A) 이내임을 알 수 있었다. 개구부 사이 거리에 대한 영향을 정확한 판단하기 위해서는 개구부 중심으로부터 25m 떨어진 지점에서 측정 높이를 증가하면서 측정하여야 하나 실제로 방음터널 인근 아파트의 경우에는 대부분의 세대가 방음터널 개구부의 사이가 2m 떨어진 지점에 위치하고 있어 더 이상 개구부에 대한 영향을 검토하지 않아도 될 것으로 판단된다.

Fig. 7은 방음터널 연장으로 인한 소음저감 효과를 분석한 결과이다. 102동의 경우 방음터널을 60m 연장하면 6.9dB(A), 104동의 경우 4.3dB(A)의 저감효과가 있을 것으로 예상된다.

#### 4.2 진동에 의한 고체전파음 측정결과

Fig. 8~10은 열차 통과시 102동 15층과 104동 14층에서 측정한 진동가속도레벨과 고체전파음의 주파수 분석결과를 실내소음 평가척도(NC: Noise Criteria)와 비교한 결과이다. 102동과 104동에서의 암진동은 30dB(V) 이내이었으며, Fig. 8에서 보는바와 같이 열차 통과시 102동에서의 진동가속도레벨은 50.4dB(V), 104동에서의 진동가속도레벨은 47.1 dB(V)로 철도진동에 관한 현행법 이내임을 알 수 있었다. 그러나 104동 14층에서 창문을 닫고 열차 통과시 공기를 통해 전달되는 공기전파음을 차단한 후 진동에 의한 고체전파

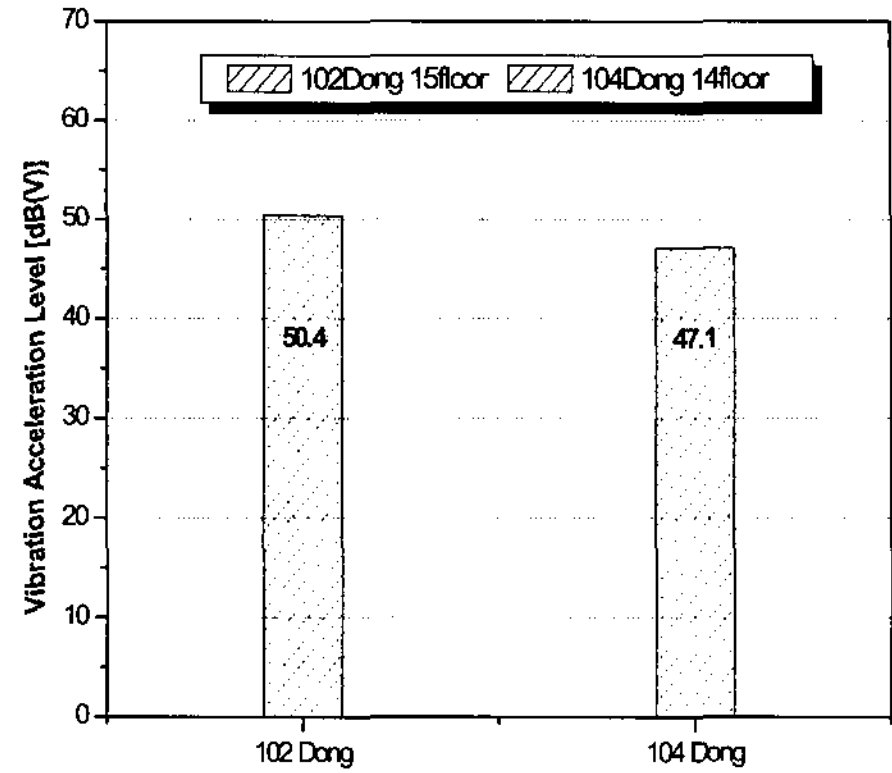


Fig. 8 The vibration level when the train passes

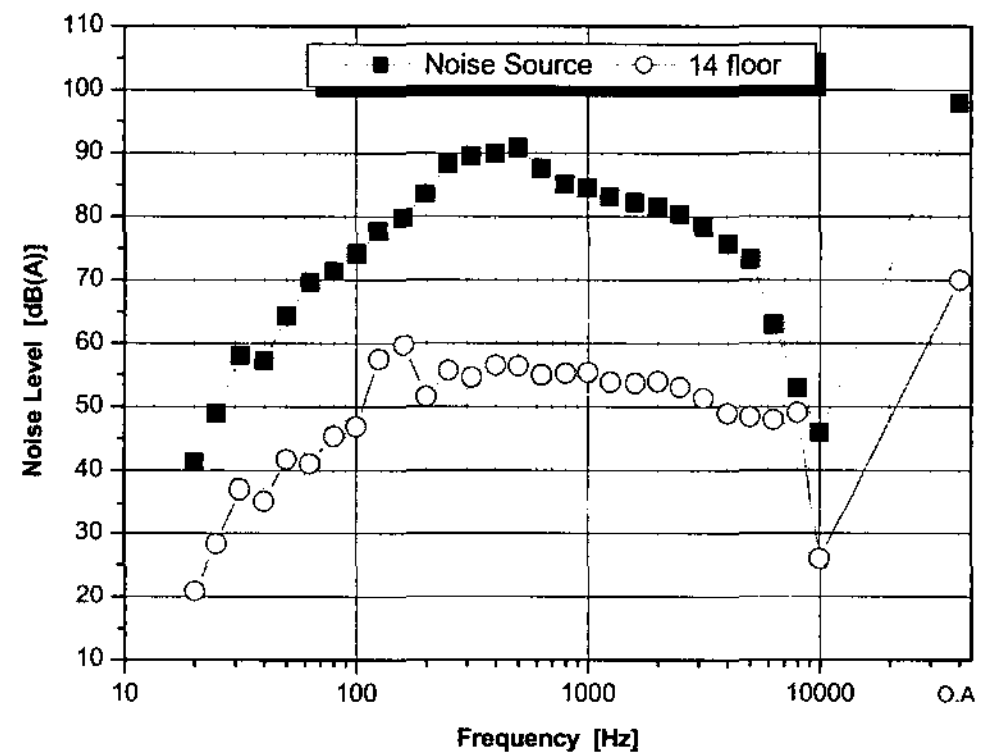


Fig. 9 Measured data of structure-borne noise when the train passes

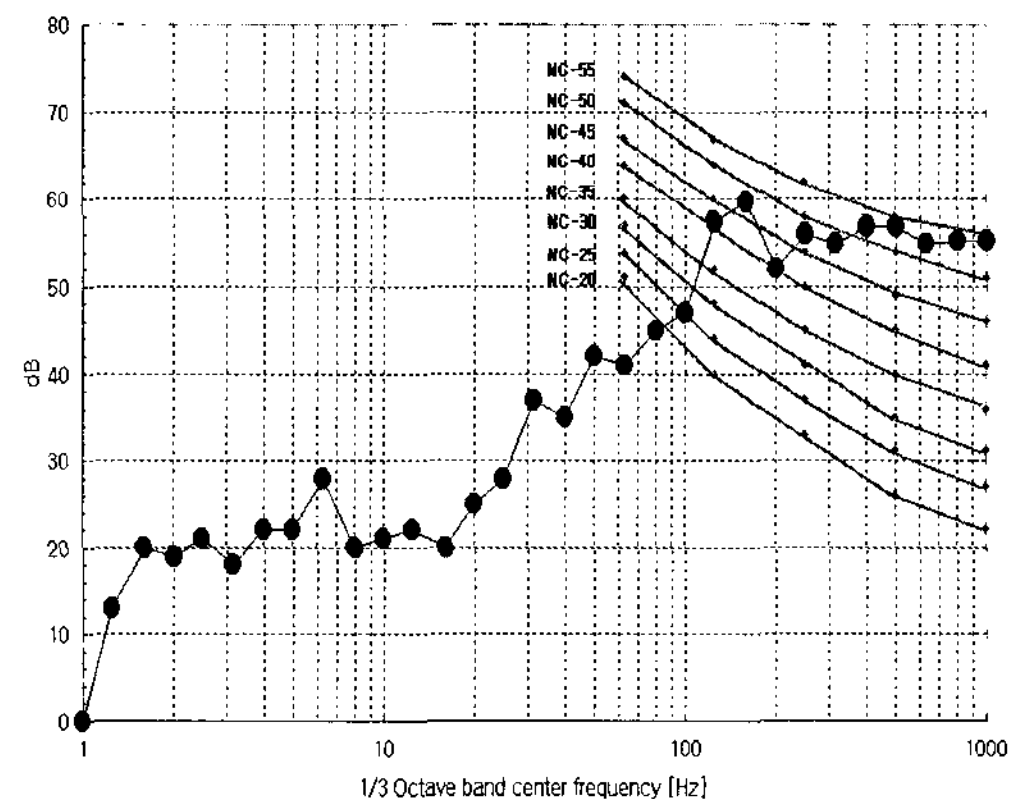


Fig. 10 The comparison between structure-borne noise and NC

음을 측정하여 분석한 결과를 실내소음 평가기준과 비교한 결과 NC-50을 상회하고 있었다. 본 연구에서 측정된 지역의 경우에는 열차 통과시 진동은 현행법에 의한 규제치 이하임에도 불구하고 열차 진동에 의한 고체전파음의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

## 5. 결론

고가철교 방음터널 설치 전·후 인근 지역에서의 방음효과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 구하였다.

- (1) 방음터널 설치공사로 현행법에 의한 1시간 등가소음도 및 순간최대소음도가 대폭적으로 저감되었다.
- (2) 소음측정의 기준 지점인 고가철교 중심으로부터 25m 떨어진 지점에서 개구부(2~4m 사이의 경우)의 영향을 조사한 결과, 개구부 폭의 증가로 인한 소음레벨의 변화는 큰 차이가 없다.
- (3) 방음터널 연장의 효과를 예측한 결과, 방음터널을 연장하면 저감효과가 있다. 그러나 측정된 소음을 주파수 분석해 보면 공기를 통해 전달되는 공기 전파음보다는 진동에 의한 소음 주파수가 대부분인 점을 고려할 때 방음터널을 연장하여도 구조 진동음은 크게 저감되지 않은 것으로 판단된다.
- (4) 고가철로 열차 통과로 인해 발생하는 기관음과 전동음 등은 방음터널의 설치로 많이 저감되었음을 알 수 있었으나 진동에 의한 소음은 저감되지 않은 것으로 판단된다.

따라서, 고가철교 방음터널 설치시 진동에 의한 고체전파음 저감을 위해 고가철교에 방진재를 설치하면 더 효과가 있을 것으로 예측된다.

## 참고 문헌

- (1) Jang, S. P., Kang, G. D., and Seo, S. B., 1993, "Environment Noise and Vibration of Train," *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 3, No. 3, pp. 220~230.
- (2) Kim, S. H., Lee, S. Ch., and Kim, J. H., 1993, "A study on the Characteristics of Vibration Propagation in Seoul subway line 2,3," *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 3, No. 1, pp. 47~55.
- (3) Kim, J. T. and Eun, H. J., 1996, "Highspeed Train : Sound Power and Noise Propagation Characteristics," *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 6, No. 3 pp. 349~355.
- (4) Kim, J. T., 1996, "Noise Propagation Characteristics for Highspeed Train in Outdoor," *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 6, No. 3 pp. 73~74.
- (5) Hwang, C. H. and Jeang, S. S., 1996, "Prediction Technique of Train Noise," *Korea Railroad Research Institute Technical report*, KRIS-95-147-IR.
- (6) Kim, J. C., Koo, D. H., and Moon, K. H., 2002, "Analysis on Wayside Noise generated by Korea Train Express," *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 12, No. 9 pp. 668~673.
- (7) Joo, J. S., 1995, "Prediction of Train Noise Propagation from a Level Road," *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 5, No. 2, pp. 111~115.
- (8) Krylov, V. V., 2001, *Noise and vibration from high-speed train*, Thomas Telford Ltd, 1 Heron Quay, London E14 4JD.
- (9) Hwang, S. K., 1998, "A study on the Effective Reduction Methods for Railroad Noise and Vibration," *Korea Railroad Research Institute Technical Report*, KRIS-98-153-IR.
- (10) Ministry of Environment, 2005, "A Study on the Comprehensive Countermeasures of Life Noise Reduction," *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering Technical Report*, pp. 74.
- (11) Kim, B. S., Chang, I. D., Rhee, B. G., and Mun, S. D., 2007, "An Analytical study on Torsional Excitation Force of an Engine and Propeller Shaft," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 3, pp. 1~17.
- (12) Kim, B. S., 2005, "A Study on Vibration Characteristics of Automobile Al-alloy Wheel," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 14, No. 3, pp. 122~127.