

## 한국형 고속철도에서 방사되는 소음분석

### Analysis on Wayside Noise Generated by Korean Train Express

김 재 철\* · 구 동 회\* · 문 경 호\*\*

Jae Chul Kim, Dong Hoe Koo and Kyeong Ho Moon

(2002년 3월 18일 접수 ; 2002년 7월 23일 심사완료)

**Key Words** : Korean Train Express(한국형 고속철도), Wayside Noise(연변소음), Rolling Noise(전동음), Aerodynamic Noise (공력소음)

#### ABSTRACT

The sources of wayside noise for the high-speed train are the aerodynamic noise, rolling noise and power unit noise. We should know the major source to control noise radiated from train. In this paper, we present the test results on the wayside noise and the vibration of the rail/sleeper during the passing of Korean Train Express (KTX). It turns out that the major noise sources for KTX are the rolling noise and power unit noise at 300 km/h. Generally, the noise attenuation with distance is independent of train speed. However, the test results show that in the near field the noise levels decrease by about 5~6 dB(A) per doubling of distance at speed in the range of 50~120 km/h and about 3~4 dB(A)/d.d at 300 km/h.

#### 1. 서 론

현재 철도는 타 교통수단과의 경쟁력 확보를 위해서 철도차량의 고속화에 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력의 결과로서 프랑스, 독일 및 일본 등과 같은 철도 선진국에서는 300 km/h급의 고속철도를 개발하여 운행 중에 있으며, 국내에서도 프랑스의 TGV를 도입하여 2004년 개통을 목표로 현재 한국형 고속철도를 건설 중에 있다. 그러나 철도차량의 속도증가는 급격한 소음 및 진동의 증가를 유발하여 민원을 초래하고 있기 때문에, 철도선진국에서도 저감방안에 많은 노력을 기울이고 있다.

철도차량 주행 시 발생하는 소음은 크게 차륜과 레일에 의한 전동음(rolling noise), 차량의 동력장치에

의해서 발생하는 소음, 공력소음(aerodynamic noise) 등으로 분류된다. 이러한 소음원은 주행 시 차량의 속도와 종류에 따라 전체소음에 미치는 기여도가 다르게 나타나며, 일반적으로 차량의 속도가 250 km/h~300 km/h이하의 영역에서는 전동음의 영향이 크게 나타나지만, 속도가 증가할수록 공력소음의 영향이 점차 커진다.

현재 철도차량의 소음저감 대책방안으로 방음벽 등이 많이 사용되고 있지만, 차량의 전두부와 판토틀라프 등과 같이 차량상부에서 발생하는 공력소음을 차단하기가 어렵기 때문에 고속철도차량을 개발하는 철도선진국에서는 공력소음과 전동음의 기여도를 분석하여 공력소음에 대한 저감대책을 세우고 있다. 예를 들면, 일본 신간선의 경우 판토틀라프 커버와 차량상부를 평탄하게 하여 공력소음을 줄였으며, 현재는 속도향상을 위해 저소음 판토틀라프 개발을 계획하고 있다.<sup>(1)</sup> 그리고 프랑스 TGV-A의 경우에는 300 km/h 이상의 속도영역에서부터 공력소음의 영향이 커지는 것을 파악하여,<sup>(2)</sup> 향후 속도증가 시 공력소음에 대한 저감계획을 세우고 있다.

† 책임저자, 정회원, 한국철도기술연구원

E-mail : jckim@krri.re.kr

Tel : (031) 461-8531, Fax : (031) 461-8561

\* 정회원, 한국철도기술연구원

\*\* 정회원, 한국철도기술연구원

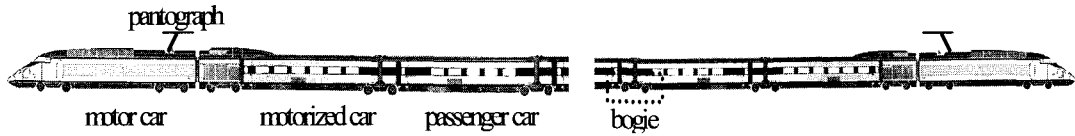


Fig. 1 Model of test train

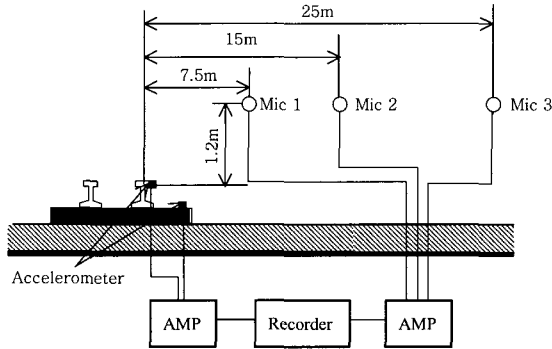


Fig. 2 Microphone and accelerometer locations

따라서, 본 논문에서는 현재 최고속도 300 km/h로 시험운행 중에 있는 한국형 고속철도차량의 소음저감 대책방안을 위해서 소음, 레일 및 침목의 진동을 측정하여 외부소음에 가장 크게 영향을 미치는 소음원을 분석하였으며, 또한 차량 속도증가에 따른 근거리 영역에서 소음의 거리 감쇠량을 분석하였다.

## 2. 시험방법

본 시험은 현재 시험운행중인 한국형 고속철도 차량1편성(20량)을 대상으로 차량 주행 시 외부소음과 레일 및 침목의 진동을 측정하였다.

Fig. 1은 시험운행중인 한국형 고속철도의 모델로서 객차와 객차사이가 대차로 연결되어 있으며, 새마을호와 같이 동일한 동력차가 앞뒤에 부착되어 있다.

Fig. 2는 외부소음 및 레일과 침목의 진동 측정의 개략도이다. 소음 측정용 마이크로폰(B&K, Type 4189)은 근거리에 대한 거리별 감쇠효과를 파악하기 위해서 레일담면으로부터 높이 1.2m, 중앙으로부터 7.5m, 15m, 25m떨어진 곳에 설치하였으며, 또한 레일과 침목에 대한 진동을 측정하기 위해서 레일담면 측면부와 침목 중앙부에 3축가속도계(B&K, Type 4321)를 설치하여 레코더(Sony SIR 1000)에 기록한 후, 분석(LMS)하였다.

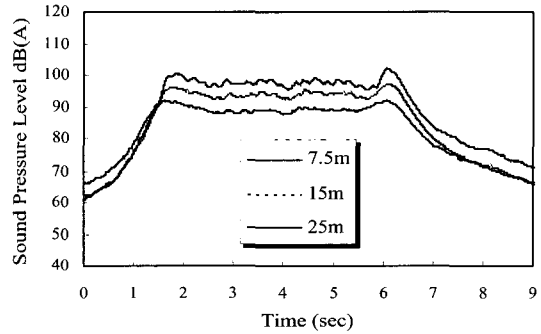


Fig. 3 Wayside noise for KTX at speed 300 km/h

## 3. 시험 및 분석결과

### 3.1 소음진동 시험결과

Fig. 3은 고속철도 차량이 300 km/h의 속도로 주행 시 7.5m, 15m 및 25m거리에서 측정한 시간변화에 대한 음압레벨을 나타내고 있다. 음압레벨의 변화는 전두부와 후두부에서 크게 나타나고 있으며, 중간부분에 작은 피크가 존재하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 레일과 침목에 대한 수직방향과 수평방향의 진동레벨을 나타내고 있다.

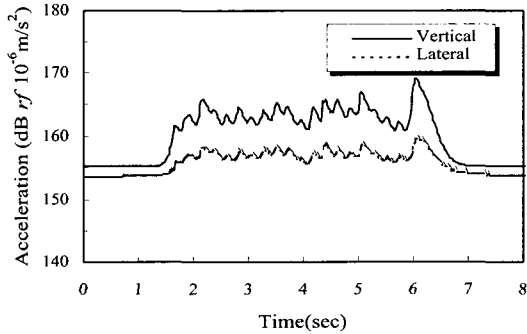
레일의 진동레벨은 수평방향에 비해서 수직방향의 진동레벨이 약 7~8 dB정도 크게 나타나고 있으나, 침목에 대한 수직방향과 수평방향의 진동레벨은 거의 동일한 수준인 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 레일과 침목사이에 방진패드가 삽입되어 수직방향의 진동레벨이 감쇠 된 것으로 생각된다.

### 3.2 소음원 분석

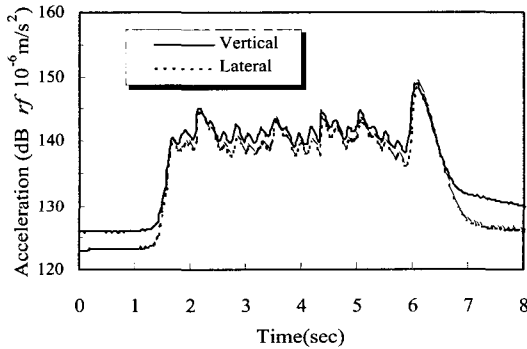
전절에서 측정한 시험결과를 이용해서 고속철도차량에서 방사되는 소음 가운데 가장 크게 영향을 미치는 소음원을 분석하였다.

Fig. 5는 3.1절의 Fig. 3과 Fig. 4의 결과에서 7.5m 거리의 소음레벨과 레일에 대한 수직방향의 진동레벨을 비교한 결과이다.

전두부의 소음을 제외하고 소음의 변화형태가 레일 진동의 변화형태와 상당히 일치한다. 따라서 전두부의 소음은 모터소음 혹은 공력소음의 영향으로 생각되며, 중간부분의 작은 피크는 차량하부에서 발생하는 공력 소음보다 전동음의 영향이 큰 것으로 생각된다. 특히 후두부의 커다란 소음은 레일의 진동레벨이 급격히



(a) Rail



(b) Sleeper

Fig. 4 Acceleration level of rail and sleeper for KTX at speed 300 km/h

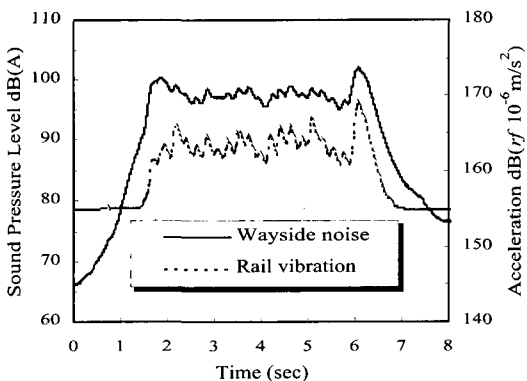


Fig. 5 Comparison of rail vibration and wayside noise at 7.5 m

커지면서 전동음이 영향을 미친 것으로 판단된다. 만약 전동음의 영향이 전두부와 동일하다면 전두부의 소음과 동일한 수준이 되었을 것으로 생각된다.

Fig. 5에서 차량 후미부의 급격한 진동은 고속철도 차량이 20량으로 구성되어 있기 때문에 다량편성에 의한 후미부의 진동이 커지는 것으로 판단된다.<sup>(3)</sup>

Fig. 6은 프랑스 ALSTHOM사의 객차에 대한 해석결과로서 차체 바닥의 진동 가속도를 나타내고 있다. 이 결과에서 수평방향의 진동레벨은 12번째 차량에서부터 급격히 증가하며, 수직방향의 진동레벨도 후미부에서 점차 증가하는 것을 알 수 있다.

일반적으로 소음원의 증가형태는 식 (1)에서  $n=1$  일 경우 추진장치에 의한 소음,  $n=2\sim3$ 일 경우 차륜과 레일에 의한 전동음,  $n=6\sim8$ 일 경우 공력소음이 주요한 소음원이 된다.

$$SPL = SPL_{ref} + 10 \text{Log}_{10} \left( \frac{V}{V_{ref}} \right)^n \quad (1)$$

여기서,  $V_{ref}$ 는 기준속도를 나타내며,  $SPL_{ref}$ 는 기준속도에 대한 기준음압을 나타낸다.

본 논문에서도 고속철도 차량에서 방사되는 소음에 가장 크게 영향을 미치는 소음원을 파악하기 위해서 차량속도증가에 대한 소음의 증가형태를 분석하였다.

Fig. 7에서 ■은 차량 통과시간에 대한 등가소음레벨의 측정치이고, 실선은 기준속도 50 km/h에 대한 기준음압을 식 (1)에 대입하여  $n=3$ 으로 계산한 결과이다. 대체적으로 소음의 증가형태가 3승에 비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 위의 결과로부터 고속철도 차량의 외부소음은 300 km/h까지 차륜과 레일에 의한 전동음이 전체소음레벨에 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며, 전체소음에 대한 전동음의 기여도가 가장 큰 것으로 판단된다. 그러나, 차량속도가 증

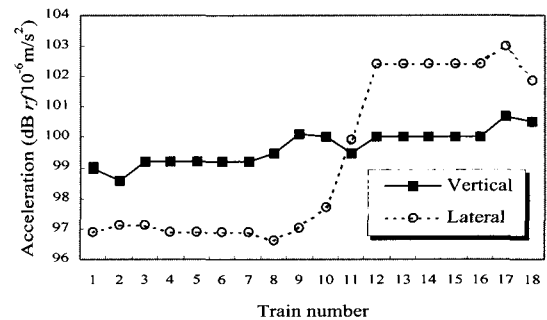


Fig. 6 Calculation result of carbody floor for KTX

가하면 공력소음의 영향이 커지기 때문에 소음레벨은 급격히 증가하여  $n=6\sim 8$ 의 기울기를 나타낼 것으로 생각된다.

일반적으로 차량 주행 시 발생하는 진동음은 차륜과 레일표면의 작은 거칠기에 의해서 차륜, 레일 및 침목이 진동하여 소음으로 방사된다. 따라서 진동음은 차륜, 레일 및 침목으로부터 방사되는 소음으로 구성되며 주파수 영역에 따라 전체 진동음에 대한 각각의 소음기여가 다르다.<sup>(4,5)</sup> 이러한 진동음의 발생 메커니

즘을 토대로 전절에서 측정된 시험결과로부터 차륜과 레일에서 방사되는 소음에 대한 영향을 검토하였다.

Fig. 8은 고속철도 차량이 120 km/h와 300 km/h의 속도로 주행 시 거리 25 m에서 측정된 소음의 주파수 분석결과이다. 차량의 속도가 120 km/h일 경우에는 630 Hz~1250 Hz의 주파수 영역에서 소음이 크게 나타나지만, 속도가 300 km/h로 증가되면서 315 Hz부근과 2500 Hz부근의 주파수 영역이 증가하여 전체소음에 커다란 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 위의 결과와 같이 차량의 속도가 증가함에 따라 전체소음에 기여하는 주파수 영역이 다르기 때문에 차륜의 모드 해석결과 및 레일과 침목에 대한 진동레벨을 분석하여 차륜과 레일에 대한 기여도를 분석하였다.

Fig. 9는 차축 양쪽에 차륜이 부착된 형상을 모델화 하여(절점수 13,261개, 요소 수 11,580개) 해석용 소프트웨어(NASTRAN)를 이용하여 계산한 결과이다. 이 결과에서 379 Hz에서 차축방향과 2505 Hz에서 방사방향에 대한 모드가 존재한다.

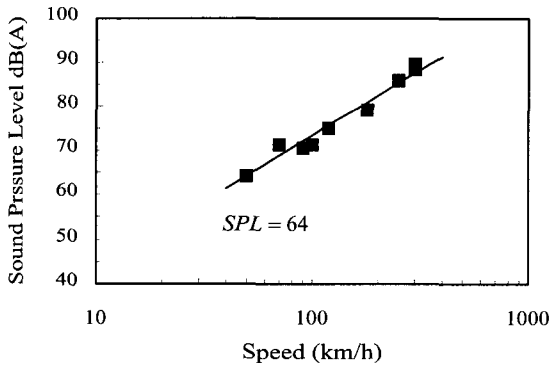


Fig. 7 Noise levels at 25 m against vehicle speed

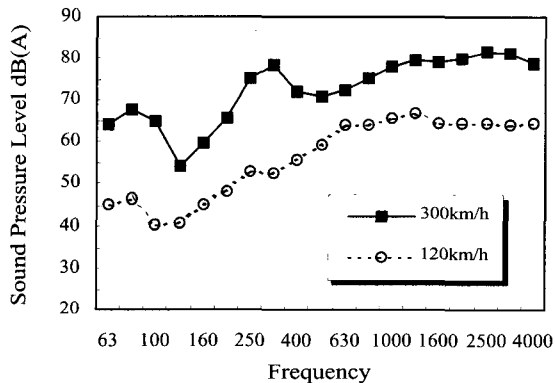


Fig. 8 Wayside noise at 25 m

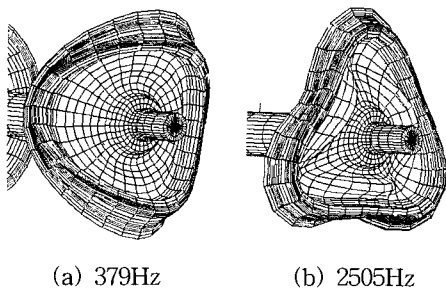


Fig. 9 Mode shapes of wheel for KTX

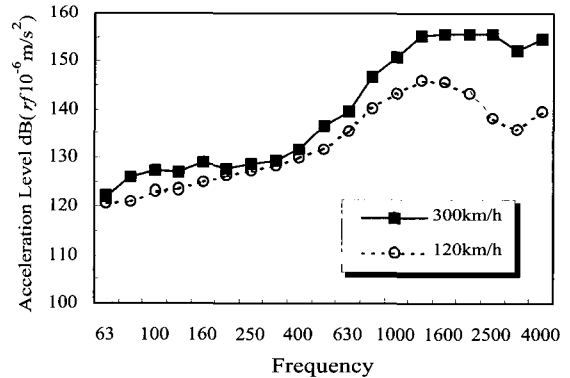


Fig. 10 Rail vibrations for KTX

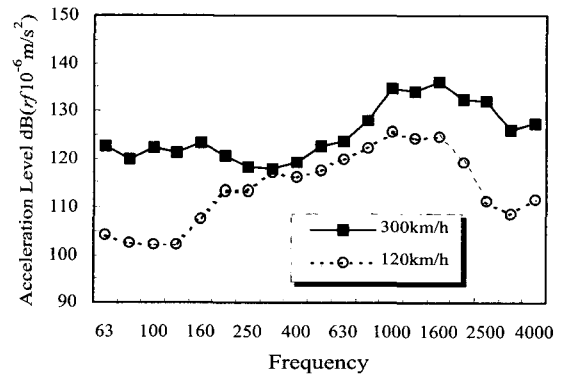


Fig. 11 Sleeper vibrations for KTX

Fig. 10과 Fig. 11은 레일과 침목의 수직방향에 대한 진동레벨의 측정결과이다. 차량의 속도가 120 km/h에서 300 km/h로 증가함에 따라 레일과 침목의 진동이 800 Hz이상의 주파수 영역에서 급격히 증가하고, 침목의 진동레벨은 200 Hz이하의 주파수 영역에서 증가하는 것을 알 수 있다.

따라서 차량의 속도가 증가함에 따라 315 Hz 부근과 2500 Hz 부근의 주파수 영역에서 소음레벨이 커지는 것은 차륜에서 방사되는 소음의 영향으로 판단되며, 1600 Hz이상의 주파수 영역에서 소음레벨의 증가는 레일에서 방사되는 소음의 영향으로 판단된다.

위의 결과에서 고속철도차량이 120 km/h의 속도로 주행 시에는 레일에서 방사되는 소음이 크게 나타나지만, 차량의 속도가 300 km/h로 증가하면 차륜에서 방사되는 소음의 영향이 점차 커져서 레일에서 방사되는 소음과 유사한 수준까지 증가하는 것으로 판단된다.

### 3.3 근거리 영역에서 방사소음의 거리감쇠 특성

본 절에서는 고속철도차량의 근거리 영역에 대한 거리 감쇠특성을 파악하기 위해서 속도증가에 따른 거리 감쇠량을 분석하였다.

Fig. 12는 고속철도차량이 50 km/h~300 km/h 속도로 주행시 거리 7.5m와 15m의 등가소음레벨 감쇠량을 나타내고있다.

이 결과에서 소음원과 관측점까지의 거리가 차량의 길이에 비해서 매우 근접한 근거리영역에서 거리가 2배 증가함에 따라 약 120 km/h이하의 속도영역에서

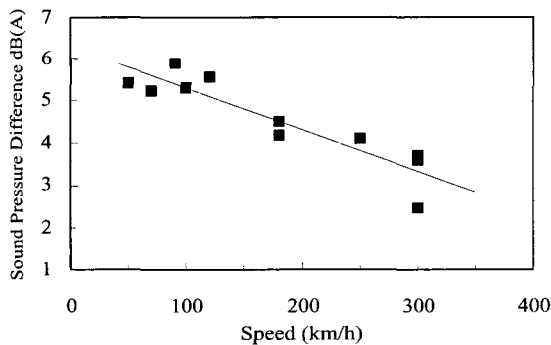


Fig. 12 Noise level attenuation between 7.5 m and 15 m for increasing of train speed

소음 저감량이 약 5~6 dB(A)정도이고, 300 km/h의 속도영역에서는 약 3~4 dB(A)정도의 소음 저감량을 나타내고 있다.

근거리에 대한 소음감쇠특성은 철도차량의 소음원을 점음원이 나열된 형태로 모델화하는 경우 음원에서 관측자의 거리가  $2d/\pi$  ( $d$ :음원간의 거리, 음원방사형태: 이중음원)까지 거리가 2배 증가함에 따라 6 dB(A)의 저감량을 갖는 점음원의 감쇠특성을 나타내고, 그 이상의 거리영역에서는 선음원의 감쇠특성을 나타내는 것으로 알려져 있다.<sup>(6)</sup>

본시험결과에서는 이론적인 거리영역과는 약간의 차이가 있지만, 120 km/h이하의 속도영역에서는 차량으로부터 15m거리까지 점음원의 감쇠특성(-6 dB(A)/d.d)을 나타내고, 차량속도가 300 km/h까지 증가하면 선음원의 감쇠특성(-3 dB(A)/d.d)으로 변화한다. 이러한 변화는 근거리 영역에서 점음원의 감쇠특성을 나타내는 거리영역이 짧아지거나 혹은 없어지는 것으로 생각된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 한국형 고속철도에 대한 외부소음과 레일의 진동을 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 현재 최고속도 300 km/h로 시험운행중인 한국형 고속철도의 외부소음은 공력소음의 영향보다 차륜과 레일에 의한 전동음의 영향이 큰 것으로 판단되며, 전두부의 소음은 동력차량에서 발생하는 모터소음의 영향이 큰 것으로 생각된다. 그러나, 차량의 속도가 증가할수록 공력소음의 영향은 점차 커질 것으로 판단되므로 속도향상 시 공력소음에 대한 저감계획이 필요하다.

(2) 고속철도 차량 주행 시 발생된 전동음은 전체적으로 레일에서 방사되는 소음이 크게 영향을 미친다. 그러나 차량속도가 300 km/h까지 증가하면 차륜의 고유모드와 근접한 315 Hz과 2500 Hz부근의 주파수에서 차륜에 의한 소음의 영향이 크게 나타나는 것으로 생각된다.

(3) 고속철도 차량의 근거리영역에 대한 소음전파 특성은 거리가 2배 증가함에 따라 50 km/h~120 km/h의 속도영역에서 5~6 dB(A)의 감쇠량을 갖는 점음원의 특성을 나타내지만, 300 km/h영역에서는

3~4 dB(A)의 감쇠량을 갖는 선음원의 특성을 나타내는 것을 알았다.

### 후 기

본 시험은 한국고속철도공단의 협조로 수행되었으며 관계자에게 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- (1) 前田, 1997, "철도소음과 공력소음," RTRI Report. Vol. 11, No. 1, pp. 7~16.
- (2) Mauclair, M., B. 1990, "Noise Generated by High Speed Trains," Inter-noise '90, pp. 371~374.
- (3) Fujimoto, H., 1996, "Lateral Vibration and

Its Decreasing Measure of a Shinkansen Train," Vehicle System Dynamic Supplement, Vol. 25, pp. 188~199.

(4) Remington, P., J. 1987, "Wheel/rail Rolling Noise: I Theoretical Analysis," Journal of the Acoustic Society of America, Vol. 81, No. 6, pp. 1805~1823.

(5) Remington, P., J. 1987, "Wheel/rail Rolling Noise: II Validation of the Theory," Journal of the Acoustic Society of America, Vol. 81, No. 6, pp. 1824~1832.

(6) Rathe, E., J. 1977, "Railway Noise Propagation," Journal of Sound and Vibration, Vol. 51, No. 3, pp. 371~388.