Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 4 pp. 2844-2850, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.4.2844
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

# 레일 진동감쇄에 의한 소음방사 특성에 관한 연구

김진호[1], 장동두[1*], 김희규[2]
[1]한국철도기술연구원 스마트역사연구팀, [2](주)모어엔지니어링건축사사무소 구조기술연구소

# A Study of Noise Radiation Characteristics by Rail Vibration Reduction

**Jin-Ho Kim[1], Dongdoo Jang[1*], Hee-Kyu Kim[2]**
**[1]Smart Station Rearch Team, Korea Railroad Research Institute**
**[2]Structural Technology Institute, MORE Engineering & Architecture**

**요 약** 철도의 운행으로 인하여 발생하는 다양한 소음 중 큰 부분을 차지하고 있는 전동소음의 경우 차륜과 레일의 접촉에 의하여 진동과 이로 인한 소음방사가 발생하므로, 레일 진동에 대한 특성과 이로 인한 방사소음과의 상호연관성 및 특성의 파악이 필요하다. 본 연구에서는 레일의 유한요소 모델을 구성하고 경계요소법을 이용하여 진동으로 인해 발생하는 소음방사를 예측하였다. 입력으로는 레일에서의 진동속도 계측치를 이용하였고 소음방사 예측결과를 계측결과와 비교하여 해석기법의 신뢰성을 검증하였다. 또한 레일 감쇄 특성에 따른 소음방사 특성을 주파수 영역에서 검토하여 레일 댐핑재의 적용에 따라 약 3dB(A)의 방사소음 저감 효과가 있음을 확인하였다.

**Abstract** Rolling noise caused by the contact between the train wheels and rails is the main factor of noise generated by the operation of railway, therefore the features of rail vibration and its correlations with noise radiation should be identified. In this study, noise radiation generated from vibration were predicted by utilizing FE model with boundary element method. Noise radiation generated from vibration were predicted by utilizing FE model with boundary element method, and were compared with the measured noise in order to validate the reliability of the analysis method. In addition, the features of noise radiation according to the rail attenuation were examined in the frequency domain, and the noise radiation has been reduced by approximately 3dB(A) with additional rail damping.

**Key Words :** BEM, FE Model, Noise Radiation, Structural Borne Noise, Vibration Reduction

## 1. 서론

대중교통수단으로서의 철도교통이 활성화 되는 반면 빠르고 안락한 철도시스템에 대한 요구도 함께 증가하고 있다. 고속철도의 추가 완공을 눈앞에 두고 있으며 전국 각지에서 경전철을 포함한 신선 및 복선화 추진도 늘어나는 추세이다. 이와 같은 철도교통의 증가는 도심지 구간을 포함하여 시내를 관통하게 되고 철도의 고속화와 증속에 따라 차내소음 혹은 차외로 전파되는 환경소음을 유발하게 되어 진동이나 소음에 대한 민원은 끊이지 않고 있다. 이에 다양한 국내・외 진동 또는 소음저감 대책이 현장에 적용되고 있으나 효용성은 크지 않은 상황이다[1].

철도의 운행으로 인하여 발생하는 다양한 소음 중 큰 부분을 차지하고 있는 전동소음의 경우, 차륜과 레일의 접촉에 의하여 진동이 발생되고 소음방사로 이어진다[2, 3]. 전동소음을 줄이는 방안으로 차륜과 레일에 진동감쇄 성능을 향상 시키는 방법이 많이 사용되고 있다. 대표

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(14RTRP-B072484-02)에 의해 수행되었음.
*Corresponding Author : Dongdoo Jang(Korea Railroad Research Institute)
Tel: +82-31-460-5740 email: ddjang@krri.re.kr
Received February 27, 2015 Revised April 1, 2015
Accepted April 9, 2015 Published April 30, 2015

적인 진동감쇄 성능방안으로 차륜과 레일에 다양한 형태와 성능의 댐퍼를 부착하고 있다[4, 5]. 그러나 댐퍼의 성능과 부착부위 등에 따라 진동저감 효과는 차이를 보이며 이에 따른 소음의 방사량도 다르게 된다. 해외에서 도입되는 레일 댐퍼의 경우 국내 철도차량, 궤도환경 등에 대한 적합성 여부 등의 이유로 인하여 진동 및 소음의 저감효과가 기대에 못 미치고 있고, 이는 국내의 다양한 차량과 궤도구조에 따라 각기 다른 소음과 진동의 특성을 나타내기 때문이다. 따라서 레일 진동에 대한 특성과 이로 인한 방사소음과의 상호연관성 및 특성의 파악이 우선 필요한 것으로 판단된다[6].

본 연구에서는 레일에 대한 FE모델과 궤도에서의 진동속도 계측치를 이용하여 소음 방사량의 해석값을 산출하고 이를 소음 계측치와 비교하여 해석 모델의 신뢰성을 검증하였다. 이후 레일에 댐핑재를 적용하여 감쇄성능을 증대시켰을 경우의 방사소음을 검증 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 예측하였다.

## 2. 레일진동과 소음방사의 수치해석

### 2.1 레일진동에 의한 소음방사 산정

진동에 의한 소음방사량 산출은 해석대상 영역을 둘러싸고 있는 경계면에서 음압 및 표면 속도 두개의 물리량을 이용하여 경계적분방정식에 의거한 경계요소법을 사용하였다. 음장내 임의의 점에서의 음압은 경계에 위치하는 음원들의 영향을 적분한 값으로 산출할 수 있다[7, 8].

주어진 경계면을 기하학적 모사를 위해, 이산화되어 선정된 점들로 음압, 수직속도, 좌표계 등에 대해 식 (1)의 형상함수를 사용하여 근사화 시킨다.

$$\begin{aligned} x_i(\xi) &= \sum N_a(\xi) x_{i\alpha} \\ p_i(\xi) &= \sum N_a(\xi) p_{i\alpha} \\ v_i(\xi) &= \sum N_a(\xi) v_{i\alpha} \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, $\alpha$는 요소의 결점, $N_a(\xi)$는 국부좌표, $(\xi) = (\xi_1, \xi_2)$의 형상함수(constant, 1차, 2차 등)이다.

경계표면에 대한 이산화 전, 후의 체적변화가 크지 않도록 적절한 형상함수 및 절점의 수를 선정하여야 한다. 표면 헬름홀츠 적분방정식(Surface Helmholtz integral Equation)을 이용하기 위하여 경계면의 음압과 입자(표면 진동) 속도를 구하여야 하므로 먼저 두 변수 중에서 알고 있는 하나의 경계조건을 이용하여 다른 경계조건을 구하도록 한다[7]. 이에 음장 내의 계측점을 경계요소 모델의 절점에 위치시켜 식 (1)에 대입하여 정리하면 식 (2)와 같다[8].

$$\begin{aligned} &\sum_{m=1}^{N} \sum_{a} a_{mj}^{a} P_{ma} - (4\pi + \sum_{m=1}^{N} C_{mj}) P_j \\ &= \sum_{m=1}^{N} \sum_{a} b_{mj}^{a} V_{ma} \\ &j = 1, 2, \ldots, L, \quad a = 1, 2, \ldots, 6 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서, $P_j$는 global number j에 의해 표현되는 절점의 음압이며, $L$은 절점의 총 개수, $N$은 요소이다.

또한 $a_{mj}^{a}$, $b_{mj}^{a}$, $C_{mj}$는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} a_{mj}^{a} &= \int_{sm} N_a(\xi) \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{\exp[-ikR_{mj}(\xi)]}{R_{mj}(\xi)} \right) J(\xi) d\xi \\ b_{mj}^{a} &= i\omega\rho \int_{sm} N_a(\xi) \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{\exp[-ikR_{mj}(\xi)]}{R_{mj}(\xi)} \right) J(\xi) d\xi \\ C_{mj}^{a} &= \int_{sm} \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{i}{R_{mj}(\xi)} \right) J(\xi) d\xi \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, $J(\xi)$은 jacobian, $sm$은 요소 $m$의 면적, $R_m(\xi)$은 절점 $J$에서 요소 $m$의 각 절점까지의 거리이다.

식 (2), 식 (3)은 미지수 $\rho$, $v$를 포함하는 $L$개의 선형대수 방정식임을 알 수 있으며, 식 (4)와 같이 간략화 시킨 Kirchhoff -Helmholtz 적분방정식이 되며 레일의 진동에 의해 발생하는 소음방사량을 구하기 위한 경계요소법의 기본식이 된다[8].

$$[A]\{p\}_s = [B]\{v\}_s \tag{4}$$

식 (4)에서 경계에서의 진동속도가 주어지면 좌변은 $\{x\}$가 되므로 식 (5)와 같이 수식화 할 수 있다.

$$\{p\}_s = [A]^{-1}\{x\} \tag{5}$$

식 (5)에서 경계조건을 대입하여 경계에 존재하는 모든 음압과 입자속도를 정하고 나면, 최종적으로 식 (6)으

로부터 음장내의 음압과 속도, 또는 음향 강도를 구할 수 있다 [7].

$$
\begin{aligned}
4\pi P_j &= \sum_{m=1}^{N}\sum_{\alpha} a_{mj}^{\alpha} P_{m\alpha} - \sum_{m=1}^{N}\sum_{\alpha} b_{mj}^{\alpha} V_{m\alpha} \\
4\pi V_j &= \sum_{m=1}^{N}\sum_{\alpha} c_{mj}^{\alpha} P_{m\alpha} - \sum_{m=1}^{N}\sum_{\alpha} d_{mj}^{\alpha} V_{m\alpha}
\end{aligned} \tag{6}
$$

여기서, $a_{mj}^{\alpha}$, $b_{mj}^{\alpha}$, $c_{mj}^{\alpha}$, $d_{mj}^{\alpha}$는 다음과 같이 정의된다.

$$
\begin{aligned}
a_{mj}^{\alpha} &= \int_{sm} N_{\alpha}(\xi) \frac{\partial}{\partial V_{i[mu]}} \left( \frac{\exp[-ikR_j(\xi)]}{R_j(\xi)} \right) J(\xi) d\xi \\
b_{mj}^{\alpha} &= i\omega\rho \int_{sm} N_{\alpha}(\xi) \left( \frac{\exp[-ikR_j(\xi)]}{R_j(\xi)} \right) J(\xi) d\xi \\
C_{mj}^{\alpha} &= \int_{sm} N_{\alpha}(\xi) \triangle_i \frac{\partial}{\partial V_{i[mu]}} \left( \frac{\exp[-ikR_j(\xi)]}{R_j(\xi)} \right) J(\xi) d\xi \\
d_{mj}^{\alpha} &= i\omega\rho \int_{sm} N_{\alpha}(\xi) \triangle_i \left( \frac{\exp[-ikR_j(\xi)]}{R_j(\xi)} \right) J(\xi) d\xi
\end{aligned} \tag{7}
$$

식 (6)과 (7)을 벡터 및 행렬식의 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$
\{p\}_f = [M]_f \{v\}_s + [D]_f \{p\}_s \tag{8}
$$

레일의 진동으로부터 발생하는 소음방사량의 산정은 식 (4) 및 식 (5)로부터 구해진 경계면에서의 음압과 진동속도로부터 음장에 존재하는 임의의 위치에 대한 음압을 식 (8)로부터 구할 수 있다.

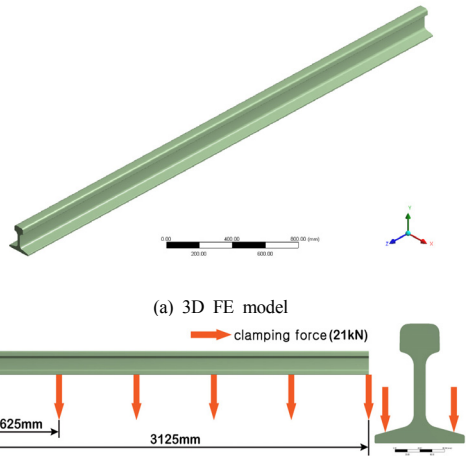
## 2.2 소음방사 시뮬레이션

### 2.2.1 해석 대상 레일모델

궤도에서 레일은 하중의 분산과 전달, 차륜의 횡방향 거동 제한과 원활한 주행면을 형성하고 점착성으로 가속력과 제동력을 분산시킨다. 레일형상은 두부, 복부, 저부와 같이 크게 3부분으로 분류할 수 있고 각 부분은 역할과 기능이 부여된다. 레일의 감쇄기능 추가에 따른 특성을 분석하기 위하여 유한요소모델링과 진동모드 해석을 수행하였다. Fig. 1은 KS 60 레일형상의 3차원 해석모델을 나타내고 있으며 물성치는 Table 1과 같다. 범용의 철도 레일은 레일패드 등의 탄성재 위에 위치하여 체결장치에 의해 침목과 연결된다. 따라서 6개의 침목간격(625mm)을 고려하여 3,125mm의 유한한 길이를 갖는 레일로 가정하였고, 침목이 위치하는 625mm 간격으로 체결력 21kN을 적용하였고 침목위치에 0.23MPa의 탄성을 적용하였다.

Table 1. Properties of Rail

| Spec. | Value | |
|---|---|---|
| Young's Modulus | 200 | [GPa] |
| Poisson's Ratio | 0.3 | [ - ] |
| Density | 7850 | [kg/m$^3$] |




(a) 3D FE model

(b) boundary conditon

Fig. 1. FE model and boundary conditon of rail

진동모드 해석은 22,000Hz대역까지 600개의 진동모드가 산출되었고, Fig. 2는 진동변위가 큰 것으로 판단되는 진동모드를 나타내고 있다. 2차 진동모드는 334Hz로 저주파수 대역으로 레일 두부의 횡방향 변위를 보이고 있으며, 84차, 123차, 129차 고주파수 대역의 모드의 경우 레일 두부에 비하여 복부와 저부의 진동이 큰 것으로 나타났다. 해석결과로 부터 레일 복부 및 저부에 댐핑값을 증가시킴으로서 레일 진동저감에 효율적임을 예상할 수 있다.

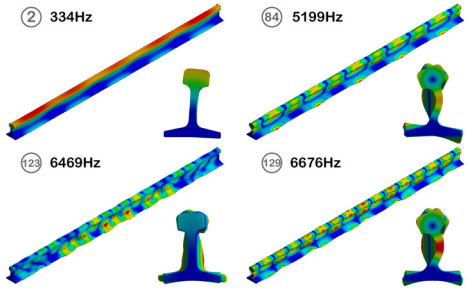



Fig. 2. Vibration mode of rail

### 2.2.2 시뮬레이션

레일이 포함된 궤도에서의 진동에 의한 소음방사에 대하여, 궤도 구조를 유한요소 프로그램을 이용하여 레일, 침목 및 도상을 모델링하였다[Fig. 3]. 또한 궤도구성품의 진동속도 자료를 입력데이터로 사용하고 경계요소법 기반의 프로그램을 활용하여 진동으로 인한 소음방사에 대하여 해석하였다. 진동에 의한 소음방사의 결과를 확인하기 위하여 Fig. 4와 같이 레일의 수직 방향으로 높이 3m, 1m 간격으로 소음예측 영역을 모델링 하였다. 또한 측정 소음과의 비교를 위하여 마이크로폰의 위치와 동일하게 궤도 중앙으로부터 2.5m 떨어진 위치에 0.5m 높이와 1.2m 높이에 예측점(Point 46: 0.5m, Point 45:1.2m)을 정하였다.

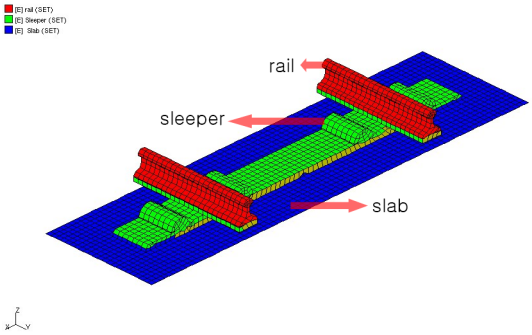



Fig. 3. FE Modeling for track components

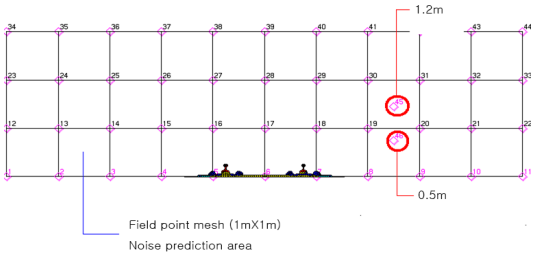



Fig. 4. Prediction points of noise

궤도구성품의 방사소음 예측은 궤도 구성품의 진동속도데이터를 입력하여 해석하였으며 궤도 구성품의 속도 데이터는 궤도구조 특성, 차량특성에 따라 달라진다. Fig. 5에서 나타난바와 같이 영단형 궤도를 대상으로 측정한 레일, 침목 및 슬라브의 진동 가속도 데이터로부터 진동 속도를 산출하여 입력데이터로 사용하였고, Fig. 6은 궤도구간에서 측정한 궤도구성품의 진동 속도를 나타내었다.

Fig. 5. Vibration measurement of track components

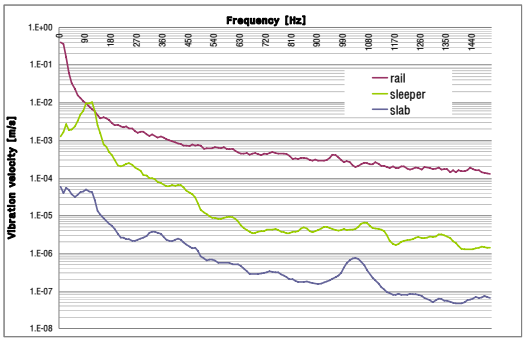



Fig. 6. Measured vibration velocity of track components

레일에 댐퍼를 부착 시 감쇄비가 증가하여 진동의 저감을 예측할 수 있으며, 감쇄비의 변화에 따라 레일 진동량도 변화하게 된다. 따라서 적정한 감쇄비의 선정을 위하여 감쇄비의 변화에 따른 진동특성의 파악이 필요하다. Fig. 7은 댐핑재의 양의 변화에 따른 주파수 대역별 감쇄비를 측정값을 나타내고 있다.

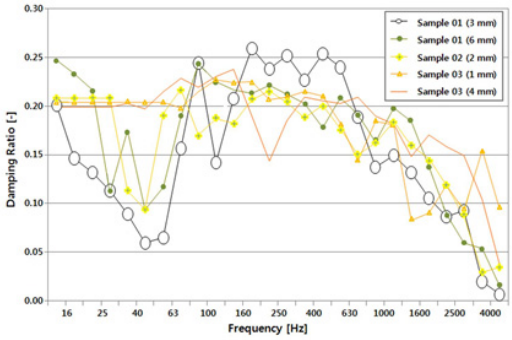



Fig. 7. Damping ratio according to damping material thickness

궤도구조물에서의 움형파워값은 각 궤도구성품에서의 진동속도와 실험적으로 얻어진 방사효율을 이용하여

구한다. 일반적으로 진동하는 구조물의 음향파워를 계산하는 식 (9)와 같다[2].

$$\Pi = \sigma \rho c A \langle \nu^2 \rangle \tag{9}$$

여기서, $\sigma$는 방사계수, $\rho$는 공기 밀도, $c$는 공기중에서 소리의 전파속도, $A$는 구조물 표면적, $\nu$는 표면에서의 속도 평균값이다. 방사효율은 실험 및 경험치을 통하여 얻어진 식 (10)을 이용한다[7].

$$\sigma_\xi = \frac{2}{[1+\{630/f\}^3]} \tag{10}$$

## 3. 결과 분석

### 3.1 궤도구조물 진동에 의한 소음방사 예측

Fig. 8은 레일에 댐핑재를 적용 전/후에 대하여 레일의 진동속도를 나타내었다. 그래프에서 V1은 댐핑재의 적용 전 실측에 의한 진동속도 값이고 V2는 댐핑재를 적용했을 경우 계산에 의한 진동속도 값이다.

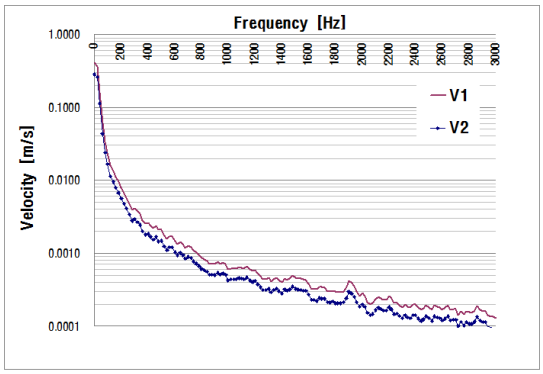



Fig. 8. Vibration velocity of rail with without damping material

궤도 구성품의 진동속도 데이터를 이용한 소음방사 예측 결과는 Fig. 9와 같으며 0.5m와 1.2m 높이에서의 소음도 결과를 1/1옥타브 대역으로 나타내었다.

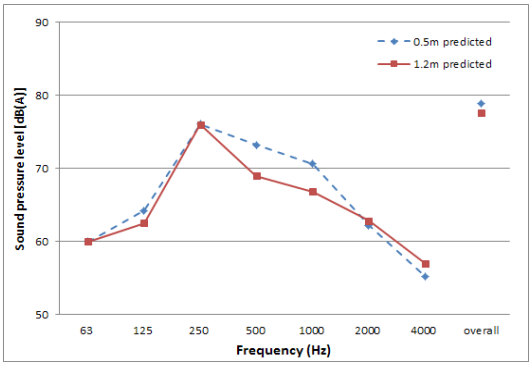



Fig. 9. Sound pressure level without damping material

Table 2는 소음방사의 측정값과 예측값을 비교한 결과로서, Overall 값이 약 7 dB(A) 이내 차이를 보이고 있으나, 250 Hz 이하의 저주파 대역에서는 3 dB(A) 이내의 오차를 보이고 있어 수치해석 방법 및 해석프로그램을 활용한 예측방법에 대한 유용성을 검증을 할 수 있었다. Fig. 10은 궤도구조물의 소음예측영역에서 주파수 대역에 따라 소음방사의 분포 양상을 나타내고 있다.

Table 2. Sound pressure level comparison between measured and predicted. (Unit: dB(A))

| Frequency | 0.5m | | | 1.2m | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | measured | predicted | difference | measured | predicted | difference |
| 63Hz | 57.6 | 60.0 | 2.4 | 57.2 | 60.0 | 2.8 |
| 125Hz | 67.1 | 64.2 | 2.9 | 65.3 | 62.5 | 2.8 |
| 250Hz | 79.0 | 76.1 | 2.9 | 78.7 | 76.0 | 2.7 |
| 500Hz | 83.1 | 73.2 | 9.9 | 82.5 | 69.0 | 13.5 |
| 1000Hz | 81.3 | 70.6 | 10.7 | 81.0 | 66.8 | 14.2 |
| 2000Hz | 81.0 | 62.2 | 18.8 | 80.6 | 62.8 | 17.8 |
| 4000Hz | 75.0 | 55.2 | 19.8 | 74.9 | 57.0 | 17.9 |
| Overall | 87.6 | 78.9 | 8.7 | 87.2 | 77.6 | 9.6 |

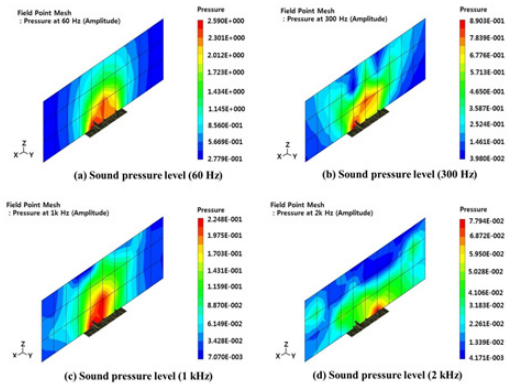
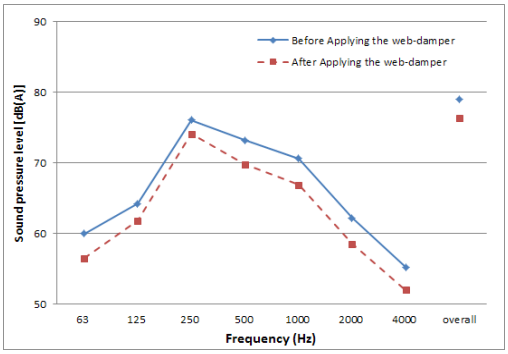


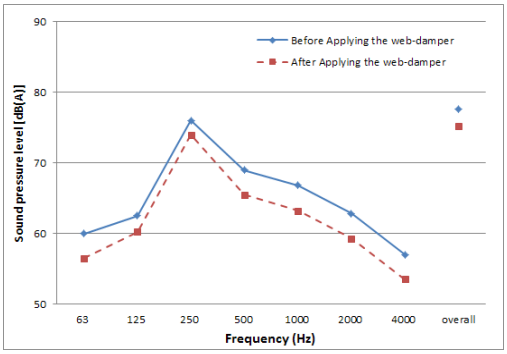

Fig. 10. Sound pressure level without damping material

### 3.2 감쇄비가 증가한 레일의 진동에 의한 소음방사 예측

레일에 댐핑재를 적용할 경우 방사되는 소음레벨 예측 및 저감성능을 고찰하였고, 분석결과는 다음과 같다. 소음저감성능 예측결과, Fig. 11은 0.5m와 1.2m에서의 댐핑재 적용 전·후의 소음방사의 예측값에 대하여 비교한 것으로서, 레일에 댐핑재를 적용한 경우 소음방사 레벨이 약 3dB(A) 저감되는 것으로 나타났다. 또한 1000 Hz 이상의 고주파 대역에서도 소음방사 레벨이 저감되는 경향이 나타났으며, 이는 레일의 진동이 해당 주파수 대역에서도 저감된 특성이 반영된 것으로 보인다.




(a) Predicted the noise level(0.5m)




(b) Predicted the noise level(1.2m)

Fig. 11. Predicted noise radiation reduction level with damping material

## 4. 결론

본 연구는 레일에 댐핑재의 적용에 따른 진동값의 변화와 이로 인한 소음방사에 대하여 예측하고 도출된 특성에 대하여 고찰하였다. 유한요소 모델과 경계요소법을 활용하여 진동으로 인하여 발생하는 소음방사를 예측하였고, 댐핑재의 양에 따른 진동에 대하여 측정값과 비교하여 해석기법의 신뢰성을 검증하고 진동과 소음방사의 주파수 대역별 변화를 분석하였다. 분석 및 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 레일 및 궤도구조에 대하여 유한요소 모델링과 경계요소법을 활용하여 진동의 변화에 따른 소음방사를 예측한 기법을 검증하기 위하여 예측값과 실측값을 비교한 결과 전 주파수 영역에서 유사한 경향을 보였으며 250Hz 이하의 저주파 대역에서 약 3 dB(A) 이내의 오차를 보였다. 따라서 예측에 사용된 기법은 유효함을 알 수 있었다.

(2) 궤도구조의 레일을 포함한 궤도구성품 각각의 실측 진동속도를 입력데이터로 사용하여 예측된 소음방사 값은 댐핑재의 적용에 따라 약 3dB(A) 저감되는 것으로 나타났다. 따라서 레일의 진동저감을 통하여 소음방사 레벨을 낮추는 소음저감 방안이 적정함을 알 수 있었다. 또한 댐핑재의 적용 시 주파수 대역별 진동값의 저감이 소음방사의 경우에도 유사하게 나타났다.

(3) 레일의 3차원 진동모드 해석결과로부터 저주파수 대역에서 레일 두부의 횡방향 변위를 보였고 고주파수 대역의 경우 레일 두부에 비하여 복부와 저부의 진동이 큰 것으로 나타났다. 따라서 레일의 복부 및 저부에 댐핑값의 증가가 레일 진동저감 효과가 큼을 알 수 있었다.

## References

[1] J. H. Kim, “A Study on the prediction of the noise reduction performance according to applying the rail web-damper in curved section”, Proc. of Inter-noise 2014 Conf., 2014.

[2] W. H. You, H. I. Koh, J. H. Park, C. S. Yang, “A Study on the Characteristics of Subway Noise in Curved Line”, Proc. Of The Korean Society of Mechanical Engineers Autumn Conf., pp. 773-778, 2008.

[3] K. J. Kim, J. K. Park, B. S. Kim, J. C. Kim, “An Experimental Study of the Curve Squeal Noise”, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 11, No. 2, pp. 176-181, 2008.

[4] J. H. Kim, K. M. Kim, K. D. Lee, “Study on the Shape Review of Rail Web-damper for Simulation of Rail Vibration Mode”, Proc. Of The Korean Society for Railway Autumn Conf., pp. 2866-2869, 2011.

[5] J. H. Kim, K. D. Lee, K. M. Kim, “A Study on the Noise Characteristics for Each Radius of Concrete Track in Urban Railways and Development for Damping Materials of Rail Dampers”, Proc. Of The Korean Society for Railway Autumn Conf., pp. 149, 2010.

[6] J. H. Kim, G. Y. Kim, N. M. Sun, H. S. Kim, “Development of Noise reduction device for Concrete track in Urban railway”, Korea Institute of Construction & Transportation Technology Evaluation and Planning, 2009 Construction &Trans portation R&D Report, 2009.

[7] J. D. Kim, S. Y. Hong, J. H. Song, “Development of Power Flow Boundary Element Method for 3-dimensional Multi-domain Noise Analysis”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 10, pp. 967-974, 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2011.21.10.967

[8] Y. S. Yang, K. J. Kim, “Prediction of Rolling Noise of a Korean High-Speed Train Using FEM and BEM”, Journal of KSNVE, Vo. 10, No. 3, pp. 444-450, 2000.

**김 진 호**(Jin-Ho Kim) **[정회원]**

- 1993년 2월 : 서울시립대학교 대학원 구조공학 (공학석사)
- 2003년 9월 : UC Davis 토목공학과 (공학박사)
- 2001년 5월 ~ 2003년 2월 : California D.O.T. 연구원
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>
철도토목, 소음・진동

**장 동 두**(Dongdoo Jang) **[정회원]**

- 2003년 2월 : 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 석사
- 2003년 3월 ~ 2007년 7월 : ㈜티이솔루션 연구원
- 2013년 2월 : 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사
- 2014년 4월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>
궤도토목, 진동제어

**김 희 규**(Hee-Kyu Kim) **[정회원]**

- 1995년 8월 : 홍익대학교 대학원 건축구조 (공학석사)
- 2004년 2월 : 홍익대학교 대학원 건축구조 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 2009년 12월 : 소방방재청 국립방재연구소 시설연구관
- 2012년 11월 ~ 현재 : (주)모어엔지니어링건축사사무소 구조기술연구소 소장

<관심분야>
철도역사, 소음진동