

기여도 분석에 의한 전기동차 실내소음 저감대책 연구

A Study on the Interior Noise Reduction of EMU by Contribution Analysis

문경호* 김재철** 유원희***
Moon, Kyeong-Ho Kim, Jae-chul You, Won-Hee

ABSTRACT

Speed-up and mass reduction of EMU(Electrical multiple unit) causes increase of interior noise. One of the best ways to reduce the interior noise is to identify noise sources. In this study, we evaluated interior noise by contribution analysis. This method is to predict the interior noise contribution of carbody by using transfer function between acceleration and sound pressure. The plan of the interior noise reduction based on the test results was also presented.

1. 서론

전기동차는 전차선을 통하여 전기를 수용하여 동력원으로 사용하는 철도차량으로 국내에는 74년 최초로 1호선이 개통되었고 뒤를 이어 2, 3, 4호선, 5, 6, 7, 8호선 등의 신규 노선이 건설되어 현재 수도서울의 교통난 해소에 중추적 역할을 하고 있다. 부산을 시작으로 대구, 인천, 광주, 대전 등 지방도시에서도 나날이 증가하는 교통수요를 충족하기 위하여 전기동차를 주요 교통수단으로 도입하고 있다. 또한 수도권 신도시 건설 및 기존선의 전철화 사업, 수송능력 확충의 필요성 등에 따라 수송수단으로서의 전기동차의 역할은 앞으로 점점 더 커질 것이라 예상된다. 이러한 전기동차의 수송역할이 증가하면서 승차감 및 안락감 향상에 대한 요구가 점차 커지고 있고 차량의 실내소음도 중요한 문제로 대두되고 있다.

차체의 경량화와 철도의 속도향상은 소음진동의 급격한 증가를 야기해 철도경영정책에 상반되는 결과를 초래하고 있다. 이러한 상반된 요구조건을 만족시키기 위해서는 차량의 설계초기단계에서부터 차량에 대한 효율적인 방음방진 대책이 필요하다. 그러나 현재는 제작 전에 음향투과손실을 확인하는 정도이고, 차량 완성 후에 방음방진의 대한 추가적인 대책이 이루어지고 있어 차량 실내소음에 대한 문제점이 발생하면 현실적으로 접근하기 어려우며 방안 대책도 불가능한 경우가 많다.

따라서, 본 연구에서는 향후 차량제작에 효율적인 방음방진의 대책방안을 제시하기 위해 현재 전동차의 실내소음에 대한 기여도·분포도 시험 및 분석을 하였다. 전동차의 실내 기여도 시험은

* 한국철도기술연구원 주임연구원
** 한국철도기술연구원 선임연구원
*** 한국철도기술연구원 책임연구원

차량 내부의 가속도와 음압의 전달함수를 이용하여 차량 내부의 각 부분에서 방사되는 소음을 추정하였으며, 차량 외부에서 직접 유입되는 소음의 기여도를 분석하기 위해서 마이크로폰 격자판을 이용하여 분포도 시험을 하였다. 또한 차량 내부의 각 부분에 대한 방음대책을 세우기 위해서 기여도 시험의 결과를 토대로 각 부분에서 방사되는 소음 저감량에 대한 실내소음의 저감량을 분석하여 가장 효율적으로 대책방안을 세울 수 있는 근거를 제시하였다.

2. 실내소음 기여도 측정

2.1. 실내소음 기여도 측정방법

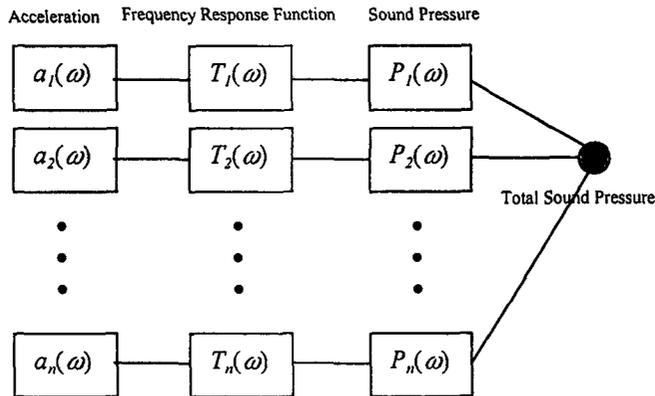
차량내부의 각 부분에 대한 실내소음 기여도 측정은 각 부분에서 방사되는 소음만을 직접측정하기가 불가능하기 때문에 田中⁽¹⁾는 각 부분의 진동레벨과 소음에 대한 기하학적 관계로부터 실내소음을 추정하는 방법을 제안하여 실제 차량의 방음성능을 향상시키는데 유용하게 사용되고 있다^(2, 3).

田中가 제안한 방법은 비교적 정확한 결과를 얻어졌지만 기본적으로 기하음향학 이론과 차량내부의 흡음율 등의 측정이 수반되어 계산과 시험의 복잡함을 피할 수 없어 손쉽게 접근하기가 어렵고 많은 시간이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 田中가 제안한 방법보다 더욱 간편하고 손쉽게 차량 실내소음 기여도를 추정할 수 있는 방법을 제안한다.

일반적으로 차량내부의 가속도는 손쉽게 측정이 가능하므로 차량실내를 몇 개의 미소면적으로 분할하여 그림1과 같이 미소면적의 가속도와 음압과의 전달함수를 이용하여 차량실내의 음압을 추정한다.

전달함수는 차량 정차시 임펄스 해머에 의한 타격가진 등을 통해서 식(1)과 같이 측정할 수 있으며, 가속도는 차량 주행시 미소면적에 가속도계를 부착하여 각 미소면적의 가속도를 동시에 측정한다.



<그림1> 미소면적의 가속도와 음압과의 전달함수

차량 실내음압은 차량 정차시 측정된 전달함수, 차량 주행시 측정된 미소면적의 가속도 및 면적을 식(2)에 대입해서 각 미소면적에서 방사되는 음압 $P(\omega)$ 를 계산하여 더하면 차량 실내음압을 계산할 수 있다.

본 추정방법은 차량외부에서 직접유입되는 소음의 기여도는 파악할 수 없고, 각각의 미소면적의 내부 손실계수가 커서 타격가진시 다른 미소면적에 전달되는 진동이 작다고 가정하였다.

$$\frac{P(\omega)}{a(\omega)_i} = T(\omega)_i \quad (i=1 \sim n) \quad (1)$$

여기서, $P(\omega)$: 차량 실내음압
 $a(\omega)_i$: 구조물의 가속도
 $T(\omega)_i$: 전달함수를 나타낸다.

$$P(\omega) = T(\omega)_i \times a(\omega)_i \times \text{면적}_i \quad (i=1 \sim n) \quad (2)$$

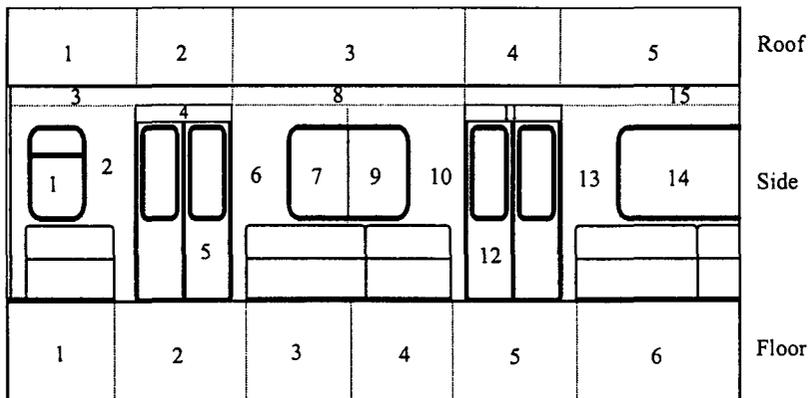
2.2 차량 실내의 분할방법

일반적으로 철도차량의 실내형상은 대칭적인 형상을 갖고 있기 때문에 차량내부의 1/4만을 고려하여 다음과 같이 6개의 영역으로 분할하였다.

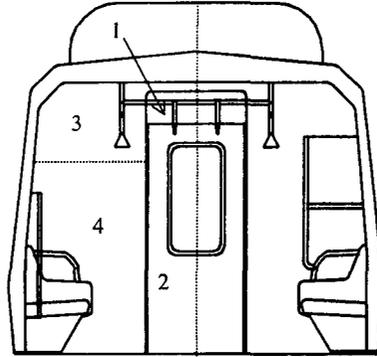
- ① Gangway
- ② Floor
- ③ Roof
- ④ Sidewindow
- ⑤ Sidewall
- ⑥ Sidedoor

또한 위의 6개의 영역에 대해서도 적당한 미소면적으로 분할하여 각 미소면적에 대한 기여도를 추정한다.

그림2는 차량내부의 천장, 측면 및 마루에 대한 분할상태를 나타낸 것이다. 천장의 경우에는 5개의 미소면적, 측면은 측벽, 창문, 출입문을 포함해서 15개의 미소면적으로 분할하였으며, 마루는 6개의 미소면적으로 분할하였다. 또한 그림3은 갱웨이의 분할상태를 나타낸 것으로서 갱웨이를 2등분하여 4개의 미소면적으로 분할하였다.



<그림2> 천장, 측면, 마루의 미소면적



<그림3> 갱웨이의 미소면적

2.3 실내소음 기여도 측정순서

전 절에서 분할한 차량내부의 각 미소면적에 대한 기여도 측정 순서는 다음과 같다.

- (1) 차량 정차시 각 미소면적을 임펄스 해머로 타격가진 하여 가속도와 음압과의 전달합수를 측정한다. 음압은 차량중심에서 1.6m높이의 위치에서 측정한다.
- (2) 차량 주행시 각 미소면적에 대한 가속도와 차량 중심의 실내음압을 측정한다.
- (3) 각 분할면에서 방사되는 음압은 각 미소면적에 대한 전달합수, 미소면적의 가속도 및 면적을 식(3)에 대입해서 계산한다.
- (4) 그리고 각 분할면에서 방사되는 음압을 식(4)에 대입해서 차량중심의 실내음압을 계산한다.
- (5) 식(4)로부터 계산한 실내음압의 결과와 차량 주행시 측정한 결과를 비교하여 본 추정방법의 타당성을 검토한다.

$$P(\omega)_{gangway} = 4 \times \sum_{i=1}^n T(\omega)_{gangwayi} a(\omega)_{gangwayi} A_{gangwayi} \quad (3)$$

여기서, $P(\omega)_{gangwayi}$: 갱웨이에서 방사되는 음압스펙트럼

$a(\omega)_{gangwayi}$: 갱웨이의 미소면적에 대한 가속도스펙트럼

$A_{gangwayi}$: 갱웨이의 미소면적에 대한 면적

i : 갱웨이의 미소면적의 개수를 나타낸다.

$$P(\omega)_{total} = P(\omega)_{floor} + P(\omega)_{roof} + P(\omega)_{door} + P(\omega)_{sidewindow} + P(\omega)_{sidewall} + P(\omega)_{gangway} \quad (4)$$

2.4 실내소음 기여도 측정 결과

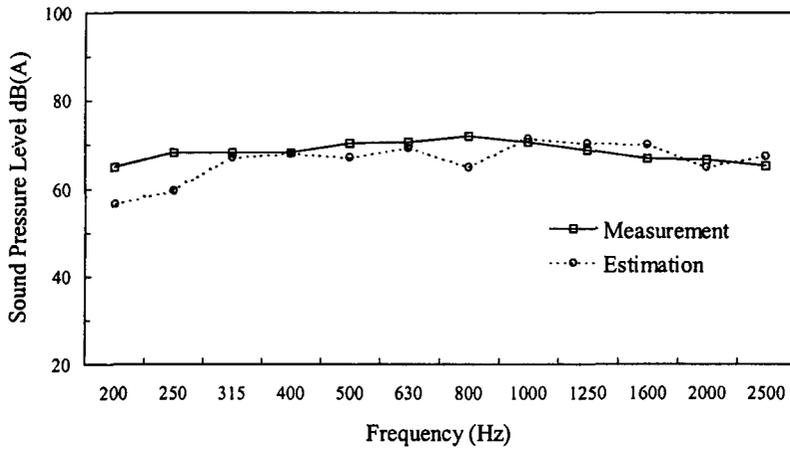
본 기여도 시험은 개할지 구간에서 차량이 75km/h로 정속 주행시 측정하였으며, 시험차량은 판토 그라프가 부착된 모터차량이다.

그림4는 차량 실내소음의 측정결과와 추정결과를 나타낸다.

실선은 차량 주행시 측정한 실내소음이고, 점선은 전달합수와 미소면적의 가속도를 식(3)과 식(4)을 이용해서 계산한 실내소음의 추정결과이다.

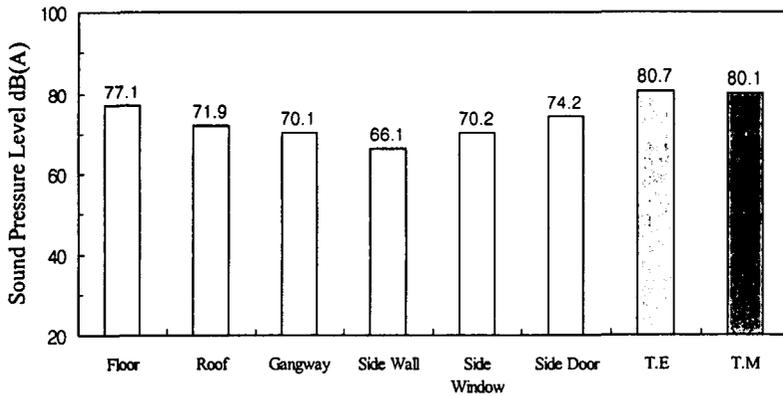
실내음압의 추정결과와 측정결과가 약간의 차이가 있으나, 대체적으로 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 주파수 200Hz~250Hz영역에서 약 8~9dB(A)의 차이가 있는 것은 차량외부에서 갱웨이, 출입문 등을 통해서 유입되는 소음의 영향으로 생각되며, 분포도 시험결과로부터 확인할

수 있다.



<그림4> 차량 실내음압의 측정치와 추정치

그림5는 Overall값으로 각 분할면에 대한 차량 실내소음에 대한 기여도를 나타낸다. 마루, 출입문, 천장의 기여도가 큰 것을 알 수 있다.



T.E : 실내음압 추정치

T.M : 실내음압 측정치

<그림5> 각 분할면의 소음 기여도

위의 결과로부터 마루에서 방사되는 소음의 기여도가 큰 것은 일반적으로 차량과 레일에 의해서 발생하는 전동음과 차량하부의 모터에서 발생하는 소음의 기여도가 가장 크기 때문이다. 그리고 천장에서부터 방사되는 소음의 기여도가 크게 나타난 것은 본 시험에서 판토품이 부착된 차량을 이용하였기 때문에 판토품에 의해서 발생하는 소음이 영향을 미치는 것으로 생각된다.

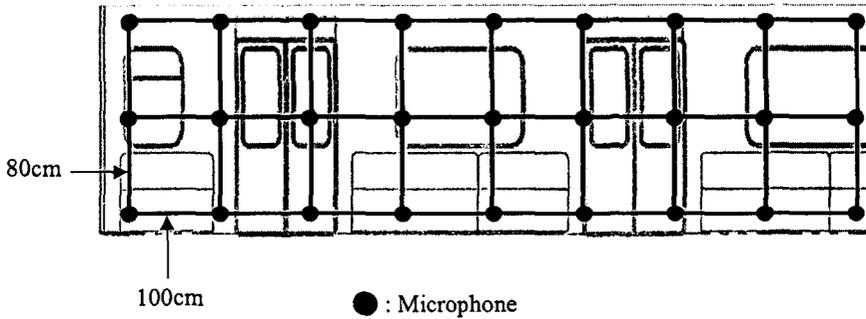
3. 실내소음 분포도 측정

전 절에서 측정된 차량 실내소음 기여도 분석은 차량의 각 분할면에서 방사되는 소음레벨을 분리하여 각 분할면이 차량실내소음에 미치는 기여도를 파악할 수 있으나, 차량외부에서부터 직접 차내에 유입되는 소음레벨은 파악할 수 없기 때문에 본 절에서는 마이크로폰 격자판을 이용하여 차량실내소음의 분포도를 파악하여 차량외부에서 직접 유입되는 소음을 분석하였다.

3.1 실내소음 분포도 측정방법

분포도 시험은 그림7과 같은 격자판을 제작하여 마이크로폰을 격자점에 설치하여 차량이 약 60km/h로 개할지 구간을 정속주행시 차량 측면의 소음 분포도를 측정하였으며 기여도 시험과 동일한 차량을 이용하였다.

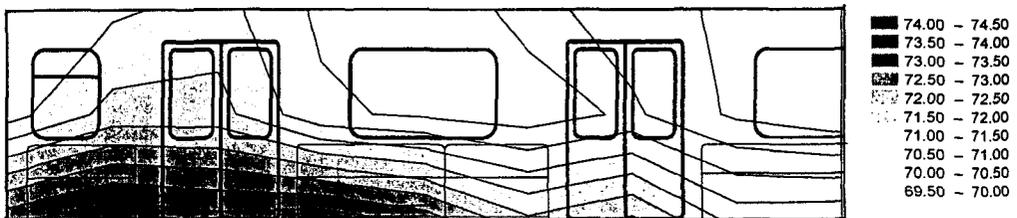
소음레벨은 27개의 마이크로폰(Type 4196)을 격자점에 설치하여 차량측면으로부터 약70cm정도 격자판을 이격시켜 측정하여 레코더(Sony SR-1000)에 저장한 후 분석하였다.



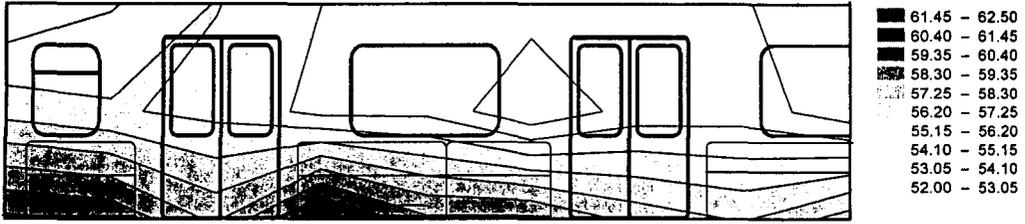
<그림7> 실내소음 분포도 측정용 마이크로폰 격자판

3.2 실내소음 분포도 시험결과

그림8은 차량측면에 대한 소음 분포도 시험결과이다. 그림8(a)는 전주파수에 대한 Overall값을 나타내고, 그림8(b)는 주파수 200Hz에 대한 소음분포도를 나타내고 있다.



(a) Overall



(b) 200Hz

<그림8> 차량 측면의 소음 분포도 측정결과

그림8(a)의 분포도 시험결과로부터 기여도 시험결과와 동일하게 차량의 마루와 출입문의 소음이 크게 나타났으며, 출입문 소음의 경우 출입문에서 방사되는 소음이외에도 차량의부에서 출입문을 통해서 유입되는 소음에 의한 영향이 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 그림8(b)도 위의 결과와 유사하게 나타내고 있지만, 특히 갱웨이로부터 유입되는 소음의 분포가 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

갱웨이로부터 유입되는 소음은 차량의 모터소음으로 생각되며, 이 모터소음이 기여도 시험결과에서 주파수 200Hz~250Hz영역에 크게 영향을 미친것으로 판단된다.

4. 각 분할면의 소음저감에 따른 실내소음 저감효과 분석

각 분할면에 대한 방사소음이 큰 마루, 출입문, 천장에 대해서 각 분할면에서 방사되는 소음을 저감시켰을 경우 실내소음의 저감량을 계산하여 차량 실내소음을 2~3dB(A)정도 저감시킬 수 있는 가장 효과적인 방법을 분석하였다.

표1은 차량 실내소음을 2~3dB(A)저감시키기 위해서 마루, 천장, 출입문, 갱웨이에서부터 방사되는 소음의 저감량을 나타낸다.

<표1> 차량 실내소음 저감을 위한 각 분할면의 저감량 dB(A)

	Floor	Side Door	Roof	Gangway	Reduction Level
Case 1	10	0	0	0	2.1
Case 2	5	2	2	0	2.4
Case 3	2	5	2	0	1.9
Case 4	10	2	2	0	3.2
Case 5	2	10	2	0	2.3
Case 6	5	2	2	2	2.7

그러나 일반적으로 한 개의 분할면에서 방사되는 소음의 양을 10dB(A)까지 저감시키는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 표1의 결과로부터 현실적이고 가장 효과적인 저감방안은 Case 2, 3, 6이다. 따라서 차량 실내소음을 2~3dB(A)저감시키기 위해서는 기여도가 가장 큰 한 개의 분할면에 대한 방음대책보다는 기여도가 가장 커다란 분할면에 대해서 방음대책을 세우면서 동시에 여러 개의 분할면에 대한 방음대책도 고려하는 것이 효과적이다.

5. 결 론

본 연구에서는 차량 내부의 각 분할면에서 방사되는 소음레벨을 분리하여 차량 내부의 기여도를 추정하였으며, 또한 마이크로폰 격자판을 이용하여 차량내부의 소음분포 및 차량외부에서 유입되는 소음을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 차량 실내의 각 분할면에 대한 전달함수와 가속도를 이용하여 실내소음을 추정할 수 있었으며, 이 결과를 이용하여 각 분할면에서부터 방사되는 소음레벨 및 기여도를 분석하였다.
- (2) 차량 실내소음은 마루에서부터 방사되는 소음의 기여도가 가장 크고, 출입문, 천장, 갱웨이와 창문의 순서로 나타났으며, 판토품의 영향으로 천장의 기여도가 크게 나타났다.
- (3) 차량 실내소음을 저감시키기 위한 각 분할면의 대책방안은 기여도가 가장 커다란 마루에 대해 저감대책을 세우면서 출입문, 천장, 갱웨이에 대한 저감대책도 동시 고려하는 것이 현실적으로 가장 효과적인 것을 알았다.

< 참 고 문 헌 >

- (1) 田中 俊光, 1994, 고속차량의 저소음화를 위한 지원요소기술과 응용, J-Rail 94
- (2) 松岡 茂樹 외 5명, 1995, 고속차량에 대한 경량, 고방음 차체구조의 개발, J-Rail 95, pp 361-364.
- (3) 松岡 茂樹 외 5명, 1996, 고속차량에 대한 경량, 고방음 차체구조의 개발(제2보), J-Rail 96, pp 199-202.