

지하철 소음 저감을 위한 방음차륜 적용시험

Test of Low Noise Wheels to Reduce the Subway Noise

유 원희* 김 재철** 한 기홍** 문 경호***
You, Won-Hee Kim, Jae-Chul Han, Ki-Heung Moon, Kyung-Ho

ABSTRACT

The object of this study is to reduce the subway noise by the low noise wheel. The vibro-acoustic reduction was predicted from the FRF difference between low noise wheel and solid wheel by experimental modal analysis. The low noise wheel and solid wheel were compared in viewpoint of car interior/exterior noise. The effect of low noise wheel on the noise of subway train of 6 vehicles was obtained. But, the application of low noise wheel must be reviewed in some aspect.

1. 서론

지하철 차량의 소음에 있어서 가장 중요한 요소는 차륜/레일 상호작용에 의한 소음과 추진장치의 소음이다. 이 소음들은 지하철 차량의 실내 음향환경에 영향을 주고 있다. 트레일러 차량의 경우에는 차륜/레일의 상호작용에 의한 소음이 주된 원인이 되고 있으며, 모터 차량의 경우에는 추진장치에 의한 소음 또한 주된 소음원이 되고 있다. 추진모터와 같은 추진장치의 소음은 기기 자체에서 그 저감대책을 세우는 것이 바람직하나 차륜/레일 상호작용에 의한 소음의 경우는 매우 다양한 방법이 적용되고 있다.

차륜/레일 상호작용에 의한 소음은 크게 세 분야로 나눌 수 있다. 즉, 전동음(Rolling Noise), 곡선부에서의 스킵소음(Squeal Noise) 및 레일담면의 주름에 의한 차륜 하울링소음(Wheel Howling Noise)이 그것이다. 서울의 지하철에는 많은 곡선부가 존재하고 있다. 따라서 스킵소음과 차륜 하울링소음이 상당히 자주 발생하고 있다. 본 연구에서는 차륜/레일의 상호작용에 의한 소음을 줄임으로서 지하철 차량의 차내소음을 감소시키기 위하여 방음차륜의 소음진동저감효과에 대해 연구하고자 하였다. 충격해머를 이용하여 일체차륜과 방음차륜에 대해 실험적 모드해석을 실시하고, 주파수응답함수의 비교를 통하여 방음차륜의 소음진동저감효과에 대해 검토하고자 하였다. 또한 지하철 차량의 한 편성 전체를 방음차륜으로 교체하여 일체차륜이 탑재된 차량과의 소음진동수준을 비교함으로써 방음차륜의 소음진동저감효과를 구체적으로 보여주고자 하였다.

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

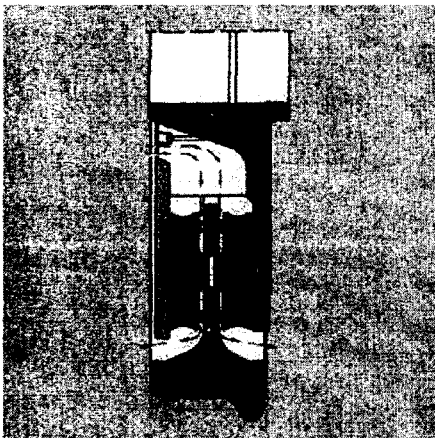
2. 본론

2.1 방음차륜

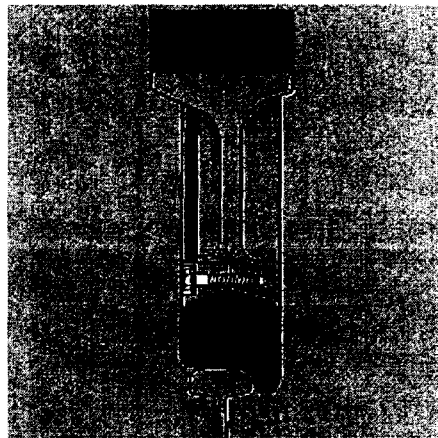
차륜에서 방사되는 소음을 차단하기 위한 목적으로 여러 가지의 특수한 차륜이 개발되어 사용되고 있다. 특히 유럽에서는 1970년대 이후 이루어진 많은 연구를 통하여 특수한 형태의 차륜이 개발되어 사용되고 있으며 이를 탄성차륜, 댐핑차륜 또는 방음차륜 등의 여러 가지 이름으로 부르고 있다. 물론 각각의 명칭은 그 차륜의 음향학적 특성을 고려하여 붙이게 된 것이지만 여기에서는 '방음차륜'이라는 하나의 명칭으로 부르기로 한다. 방음차륜은 특히 추진동력장치의 소음이 충분히 낮을 때 전체소음수준을 상당히 저감시킬 수 있다고 알려져 있다.

서울지하철에 차량에 대한 방음차륜의 소음진동저감효과에 대해서는 몇 편의 연구결과가 발표된 바 있다. 본 연구는 이의 후속적인 연구로서 실험적 모우드해석 결과 및 지하철 차량 1편성 전체를 방음차륜으로 교체하여 실험한 결과에 대해 언급하고자 하였다.

본 연구에서 사용된 방음차륜은 다음과 같다.



(가) 모터차량용 방음차륜



(나) 트레일러차량용 방음차륜

그림 1. 방음차륜의 단면도

2.2 일체차륜과 방음차륜의 실험적 모우드해석

본 연구에서 사용된 지하철 차량용 방음차륜은 그림 1에서 보는 바와 같이 모터차량용 및 트레일러차량용의 두가지가 있다. 이 두가지 방음차륜과 일체차륜에 대하여 실험적 모우드해석을 수행하고 주파수응답함수를 비교함으로써 방음차륜의 소음진동저감효과를 미리 파악해 보고자 한다.

실험적 모우드해석에 사용된 방법은 충격해머를 이용한 충격가진 방법이었다. 차륜은 밧줄을 통하여 천장에 매달리고 양단 자유인 동일조건하에서 충격해머로 가진된다. 그림 2에 실험적 모우드해석을 수행하기 위한 모습을 보여주고 있다. 측정장비는 워크스테이션과 6 채널의 프리앰프로 이루어져 있으며, 충격과 응답은 압전형 힘 변환기와 3축 가속도계를 통해서 습득할 수 있도록 되어 있다. 충격은 차륜의 답면 및 플랜지 등 두 곳에서 가해졌으며 응답은 36 지점에서 3축 가속도계를 통해 얻어졌다. 차륜의 모우드 특성은 LMS CADA-X S/W를 이용하여 분석되었다.

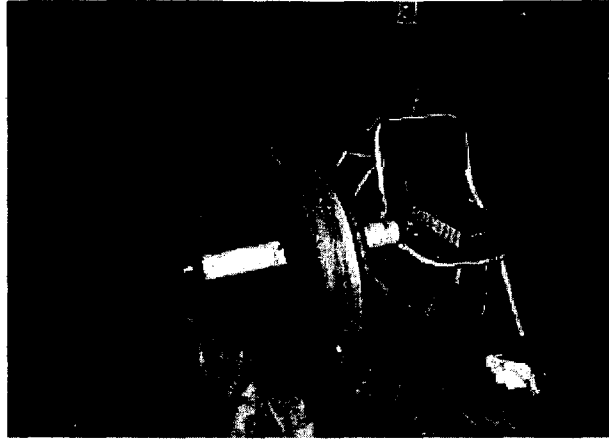


그림 2. 차륜의 실험적 모우드해석을 위한 모습

다음 그림 3은 동일지점에서 얻은 방음차륜과 일체차륜의 주파수 응답함수의 차이를 보여주고 있다. 이 그림으로부터 방음차륜의 고유진동수는 방음차륜이 가지고 있는 댐핑으로 인하여 일체차륜과 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 트레일러차량에 사용된 방음차륜은 2kHz 이상의 주파수범위에서 상당한 진동감소효과를 보임으로서 통상 2~4kHz 범위에서 나타나는 스킵소음을 충분히 차단할 수 있을 것으로 여겨진다. 그러나 모터차량용 방음차륜은 그 기대치가 떨어지고 있다.

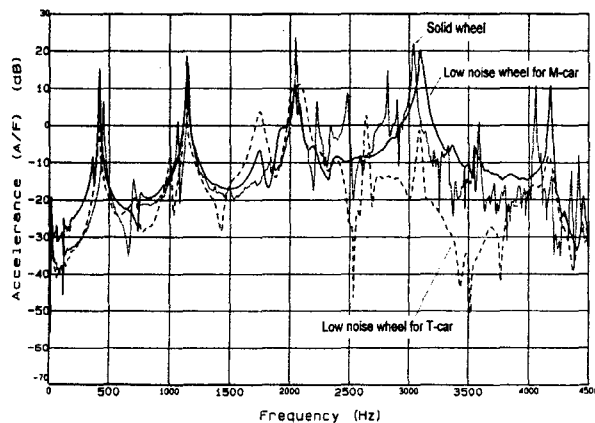


그림 3 차륜의 주파수 응답함수

한편, 본 연구에서는 일체차륜과 방음차륜의 감쇠비(Damping Ratio)을 비교해 봄으로서 방음차륜의 소음진동저감효과를 실차시험 전에 파악해 보고자 하였다. 그림 4에 차륜들의 감쇠비에 대한 비교를 보여주고 있다. 이 그림은 감쇠비를 1차 곡선적합(Curve Fitting)을 실시하여 얻은 그림이다. 이 그림으로부터 트레일러차량용 방음차륜은 2kHz 이상의 주파수 영역에서 차륜의 진동을 효과적으로 감소시켜줄 수 있다. 또한 모터차량용 방음차륜도 동일주파수 영역에서 어느 정도

차륜의 진동을 감소시킴을 알 수 있다. 실질적으로 차륜의 진동은 차륜의 음향학적 특성(음향방사 특성과 직접적으로 관련이 있다. 또한 차륜/레일 상호작용에 의한 소음은 차륜의 음향학적 특성과 관계가 있다. 따라서 방음차륜이 가지고 있는 댐핑특성으로 인하여 차륜의 진동이 줄어들게 되고, 그에 따라 차륜의 음향방사도 줄어들게 되며, 결국은 차륜/레일 상호작용에 의한 소음이 감소됨을 판단해 볼 수 있다.

한편, 그림 5는 참고로 고유진동수 480Hz에서 일체차륜이 가지고 있는 모우드형(Mode Shape)을 보여주고 있다.

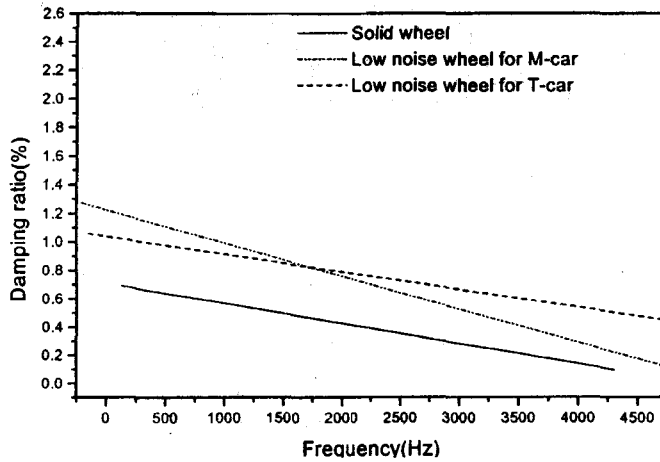


그림 4. 차륜의 감쇠비에 대한 1차 곡선적합 결과

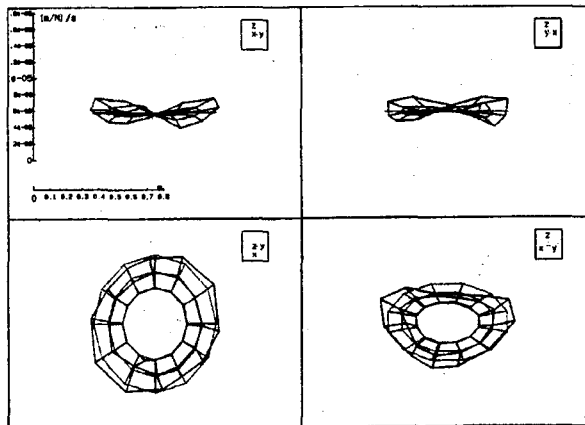


그림 5. 480Hz에서의 일체차륜의 모우드형

2.3 실차시험

실차시험을 위해서 지하철 차량 1편성 전체를 방음차륜으로 교체하고 영업운전 시간표에 준하여 일체차륜 차량과 방음차륜 차량의 소음수준을 비교하여 보았다. 본 연구에서는 단순히 지하철 구간을 운행할 때의 소음수준을 비교하여 보았다.

2.3.1 직선구간에서의 차량하부소음

다음 그림 6은 차량 하부, 차륜과 레일이 접촉하는 근방에서 측정된 소음수준을 나타내고 있다. 전반적으로 상당한 소음수준의 저감효과가 나타나고 있으며 그 저감효과는 4-5dB 이상인 것으로 판단되고 있다. 이 그림은 추진모터소음의 영향이 없는 트레일러 차량에 대해 직선구간에서 측정된 데이터로서 방음차륜의 전동음 저감효과를 잘 설명해 주고 있다.

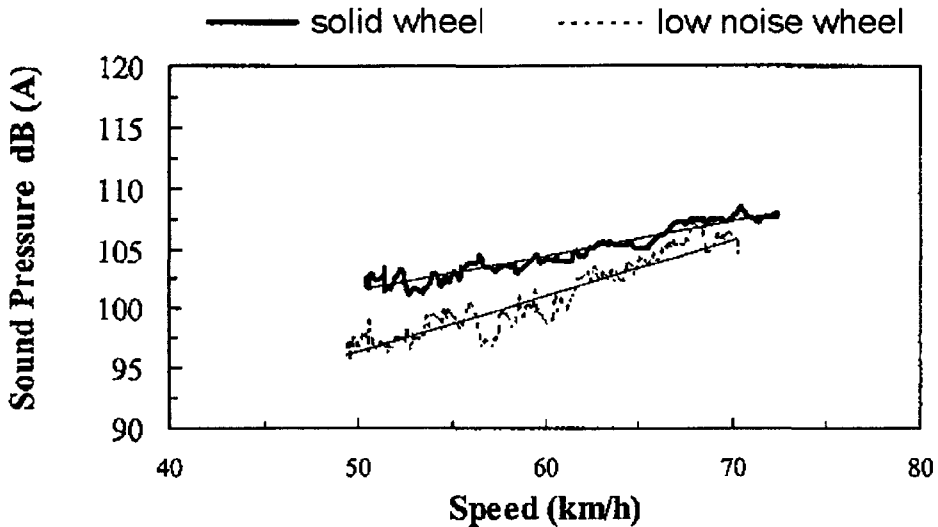
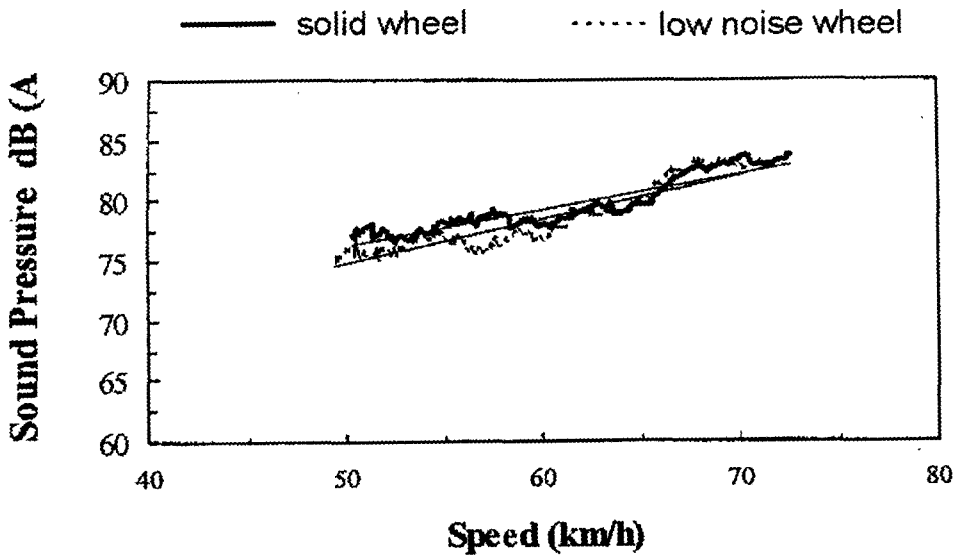


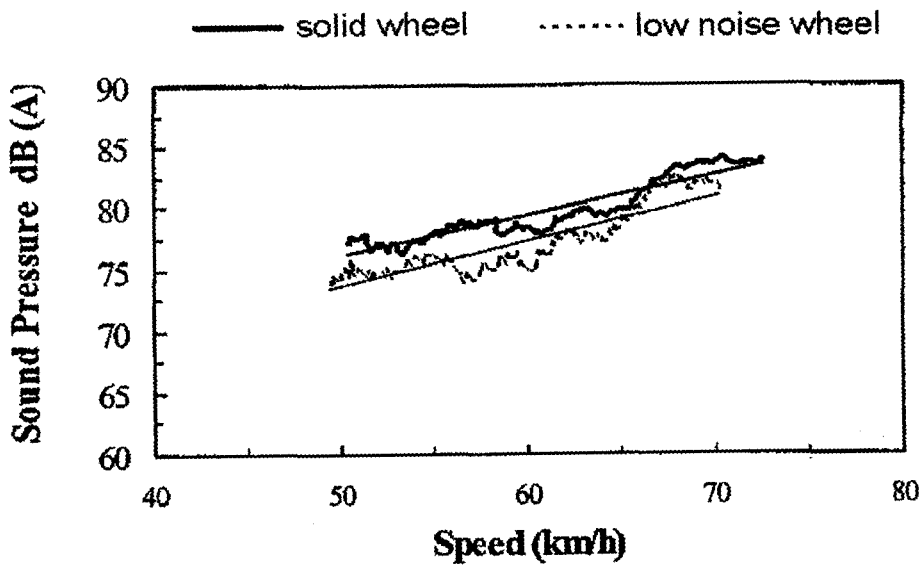
그림 6. 트레일러차량의 차량하부소음 저감효과

2.3.2 직선구간에서의 차내소음수준

다음 그림 7은 지하철 역과 역 사이의 한 구간에 대한 차내소음수준을 비교한 것이다. (가)는 모터차량에 대한 것이고 (나)는 트레일러 차량에 대한 것이다. 이 그림들에서 보는 바와 같이 방음차륜의 효과는 상당히 있는 것으로 판단된다. 트레일러차량의 경우 3-4dB 정도의 소음저감효과를 보여주고 있으며, 모터차량의 경우 1-2dB 정도의 소음저감효과를 보여주고 있다. 모터차량의 경우는 추진모터 및 인버터에서 발생하는 소음의 영향으로 인하여 저감효과가 떨어지고 있거나 구조적으로 모터차량용 방음차륜의 소음저감효과가 떨어지는 것으로 판단된다. 또한, 이 그림은 직선구간으로서 차륜 하울링소음이나 스틸소음의 저감효과보다는 단순히 전동음의 저감효과를 보여주고 있다.



(가) 모터차량에서의 차내소음 저감효과

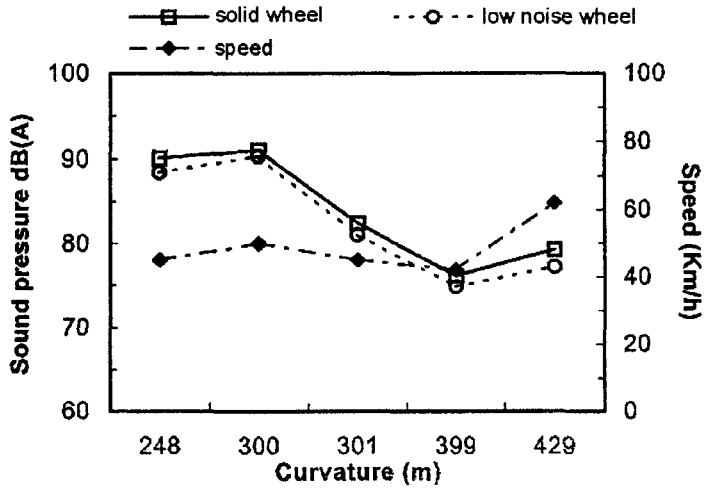


(나) 트레일러차량에서의 차내소음 저감효과

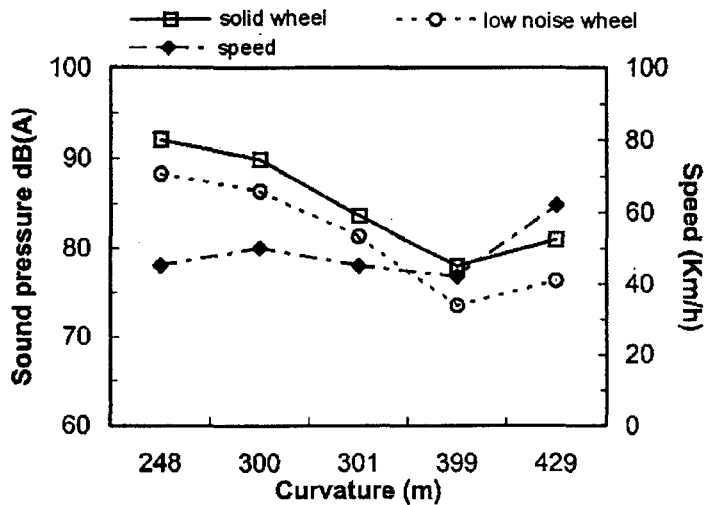
그림 7. 직선구간에서의 방음차륜에 의한 차내소음 저감효과

2.3.3 곡선구간에서의 차내소음 저감효과

다음 그림 8은 곡선구간에서의 곡선반경에 따른 방음차륜의 차내소음 저감효과를 보여주고 있다. (가)는 모터차량에 대한 것이고, (나)는 트레일러차량에 대한 것이다. 차량의 주행속도가 대략 40km/h 정도인 것에 비하여 상당한 소음수준을 보이고 있다. 이는 급곡선부에서 나타나는 스کیل소음 및 차륜 하울링소음에 의한 것으로 판단되며, 이에 대한 방음차륜의 효과는 직선구간에서와 마찬가지로 모터차량보다는 트레일러차량에서 잘 나타나고 있다. 모터차량의 경우 1-2dB, 트레일러차량의 경우 4-5dB 저감됨을 알 수 있다.



(가) 곡선부에서의 모터차량 차내소음



(나) 곡선부에서의 트레일러차량 차내소음

그림 8. 곡선부에서의 방음차륜의 소음진동 저감효과

3. 결론

본 연구결과 방음차륜은 지하철 소음에 상당한 효과가 있음을 알 수 있다. 즉, 전동음은 물론이고, 스킵소음 및 차륜 하울링소음에도 효과가 있다. 그에 따라 차내소음은 물론 차량하부소음에도 효과가 있다. 소음저감효과는 모터차량의 경우 1-2dB, 트레일러차량의 경우는 3-4dB 이상이다.

그러나 방음차륜은 아직 경제성과 차륜담면의 마모 등, 검토되어야 할 분야가 매우 많다. 앞으로 이 부분에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

후기

본 연구는 철도청의 연구비 지원 및 SABWABCO KOREA의 협조로 수행되었으며 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 유원희 외 4인, '방음차륜에 의한 철도차량 소음진동저감 연구', 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.291-298, 1998. 5.
2. 유원희 외 1인, '방음차륜의 소음진동 저감효과 시험', 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp.64-68, 1998.5.
3. 유원희, '방음차륜의 소음진동 저감효과 고찰', 한국소음진동공학회지, Vol.9, No.3, pp.436-442, 1999. Jun.