

방음차륜의 소음진동 저감효과 시험

⁰유 원희*, 문 경호**

Test on the Effect of Elastic Wheel from the viewpoint of Noise and Vibration of Subway Vehicle

W. H. You and K. H. Moon

Key Words : Subway Vehicle(지하철차량), Car Interior Noise(차내소음), Car Body Vibration(차체진동), Practical Test(실차시험), Elastic Wheel(방음차륜)

요 약

본 연구의 목적은 수도권 지하철차량의 소음과 진동에 방음차륜(또는 탄성차륜)이 어느 정도의 효과를 가져오는가를 평가하기 위한 것이다. 실차시험을 통하여 일체차륜이 장착된 차량과 방음차륜이 장착된 차량의 차내소음 및 차체진동을 비교하여 보았다. 그 결과 방음차륜은 지하철차량의 소음과 진동에 효과가 있음을 알 수 있었다. 그러나 실제 적용은 소음과 진동 이외에도 여러 가지 측면에서의 검토가 이루어져야만 가능할 것이다.

1. 서론

차량의 소음진동에 있어서 가장 중요한 요소중 하나는 전동음이다. 전기동차의 전동음은 차내소음은 물론 차외소음에 가장 큰 영향을 미치는 소음원이다. 일반적으로 약 80Km/h 이하의 저속에서는 추진장치의 소음이 가장 큰 소음원이 되고 있으나 80Km/h ~ 250Km/h 에서는 전동음이 가장 큰 소음원이 되고 있다. 이러한 전동음을 저감하기 위하여 1970년대 부터 많은 연구가 이루어져 왔으며 그 결과로 여러 가지 저감대책이 제시되고 있다. 레일 또는 차륜의 요철(凹凸)관리 및 정밀삭정을 통해 차륜/레일 사이의 상호 미세충격에 의한 전동음의 소음수준을 감소시키는 방법이 제시되고 있으며, 보다 현실적이고 적극적인 방법으로서 방음차륜과 같이 차륜/레일 사이의 상호 미세충격에 의한 휠의 진동 및 소음에너지를 흡수함으로써 전동음을 현저히 감소시키는 방법이 제시되어 유럽에서는 실제 적용되고 있다. 방음차륜을 이용한 방법과 더불어 레일의 하부에 고무와 같은 점탄성재료를 이용한 탄성받침을 취부함으로써 차륜/레일의 상호작용에 의한

레도진동을 감소시켜 레일삭정주기를 증가시키고 환경진동 문제를 현저히 감소시키는 방법도 제시되고 있다.

본 연구는 전동음을 저감시키기 위한 하나의 방법으로 일체차륜 대신에 방음차륜을 적용하기 위한 검토단계로서 방음차륜에 의한 지하철차량의 소음진동 저감효과에 대하여 평가하는 것을 목적으로 한다.

2. 방음차륜의 종류 및 효과

앞에서 언급한 바와 같이 중속도 이상에서는 차륜/레일 전동음이 차량내부 및 외부소음의 주된 원인이 된다. 이를 효과적으로 저감하기 위하여 특수한 형태의 차륜이 개발되어 쓰이고 있는데 이를 탄성차륜, 뎀핑차륜 또는 방음차륜등의 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 전체 소음수준을 상당히 저감시킬 수 있다고 알려져 있다.

또한, 방음차륜은 차륜이 곡선을 주행할 때 생기는 날카로운 음을 효과적으로 제어할 수 있으

* 한국철도기술연구원 차량연구부 책임연구원

** 한국철도기술연구원 차량연구부 주임연구원

며 많은 경우 거의 완전히 제거할 수 있다고 알려져 있다. 즉, 지하철과 같이 반경이 짧은 곡선이 많은 구간에서 차륜 회전시 생기는 미끄럼소음을 제어하는 데 아주 효과적이다. 차륜의 소음은 차륜과 차축 사이가 견고하게 연결되어 있기 때문에 곡선 선로상에서 차륜의 주행이 부드럽지 못하게 되고 차륜이 레일 표면에서 횡방향으로 미끄러지면서 계속되는 스틱슬립(Stick-Slip) 과정을 거치면서 차륜의 고유모우드가 여기되어 고체소음(Structure-borne Noise)이 공기소음(Air-borne Noise)으로 변하게 된다. 따라서 차륜의 형상을 변경시키기 보다는 여기되는 고체소음을 제어함으로써 차륜이 갖는 진동에너지를 감소시킬 수 있다. 차륜의 진동에너지의 감소는 동시에 공기소음수준을 감소시키게 된다.

이러한 이론적인 배경을 바탕으로 현재 개발되어 있는 방음차륜은 대체로 크게 2종류로 나눌 수 있다. 첫 번째는 차륜과 레일 사이의 상호작용에 의한 진동이 윤축으로 전달되는 것을 댐핑을 이용하여 감소시키는 것이고, 두 번째는 윤축의 진동자체를 흡진기(Vibration Absorber)를 이용하여 감소시키는 것이다. 제동장치의 종류에 따라 구별되어 사용되고 있으며, 지적재산권의 범위를 회피하여 여러 가지 다른 형태의 차륜이 개발되고 있다. 다음 그림 1은 여러 가지 방음차륜의 단면도를 보여주고 있다.

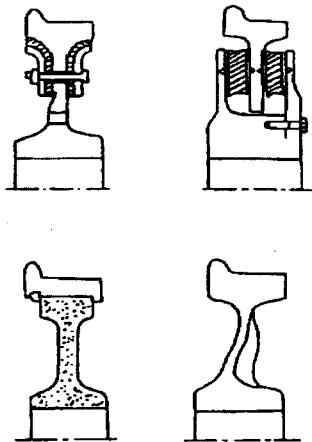


그림 1 방음차륜의 종류

일반적으로 방음차륜의 소음진동 감소효과는 매우 커서 외국의 시험결과 자료에 의하면 차륜에 가까운 지점에서의 소음수준이 일체차륜은 116dB이고 방음차륜은 100dB로서 16dB나 감소되고 있다. 이러한 방음차륜은 직선구간에서는 물론이고 곡선구간에서도 상당한 소음감소효과를 갖고 있기 때문에 짧은 곡선구간이 많은 지하철에서는 물론이고 장거리용 직선구간이 많은 일반철도, 고속철도등에서도 차륜/레일의 진동음을 효과적으로 저감시키기 위하여 점차로 그 적용을 확산시켜가고 있는 추세에 있다. 방음차륜이 소음을 가장 효과적으로 감소시키고 있는 주파수대역은 500Hz 이상이며 어떤 주파수에서는 20dB 이상의 소음감소효과를 가져오기도 한다. 그림 4-10은 1/5모형차륜에 의한 시험을 통해 얻은 차량주행속도와 차륜/레일 진동음 사이의 관계를 나타낸 것이다. 방음차륜은 일체차륜에 비하여 상당히 소음수준이 낮음을 알 수 있다.

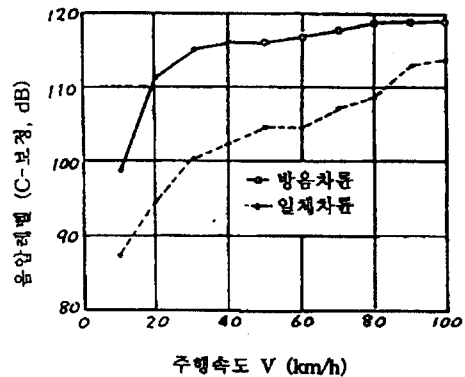


그림 2. 주행속도와 진동음수준과의 관계 (1/5 모형차륜)

3. 방음차륜의 소음진동 저감효과 확인시험의 종류

3.1 실험실 시험

방음차륜이 차량의 소음과 진동 및 궤도진동 등에 미치는 영향을 정밀하게 평가하기 위해서는 우선 일체차륜과 방음차륜의 동적특성 및 음향특성을 평가해 보아야 한다. 일체차륜과 방음차륜의 음향특성을 실험실 수준에서 파악하기 위하여 다음과 같은 시험을 실시한다.

(1) 타격시험(답면상부 중방향, 휠 측면 횡방향)

타격시험의 목적은 두가지가 있다. 첫째는 타격음의 수준을 비교하는 것이고, 다른 하나는 차륜의 진동모우드 특성을 파악하는 것이다. 타격음의 수준을 평가하기 위하여는 목적에 맞는 실험장치를 구성하여 시험을 실시한다. 이 시험에서부터 얻어지는 각각의 차륜에 대한 충격음 및 진동전달합수를 비교함으로써 새로운 차륜의 적용시 소음진동 저감효과를 사전에 대략적으로 파악해 볼 수 있다.

(2) 가진시험

이 시험은 차륜의 고유진동수를 비교하기 위하여 실시된다. 물론 타격시험에서도 어느정도 차륜의 고유진동수가 파악되지만 타격에 의한 시험보다는 가진기를 이용하여 정현파 스위프(Sweep)시험을 시행함으로써 정확한 진동전달합수와 고유진동수 및 비선형성등을 파악할 수 있다. 수평방향의 경우 윤축상태에서 차륜 측면을 수평가진하고 수직진동의 경우 윤축상태에서 차륜 답면을 수직가진함으로써 주파수 분석에 의하여 평가한다.

(3) 차륜회전시험대 시험 (하중 상태로 시험)

이 시험은 차륜에 하중을 가한 상태에서 차륜을 회전시킴으로서 일체차륜과 방음차륜사이의 소음(소음수준 및 주파수 스펙트럼), 동적응력, 진동절연부(고무부)의 온도상승 등을 평가하기 위해 실시된다.

3.2 실차시험

실차시험은 최소한의 차량편성을 기본으로 하여 실시한다. 이는 시운전시의 비용절감과도 관계가 있으며 승객의 탑승이 필요치 않으므로 최소한의 운행가능한 차량편성으로 충분하기 때문이다. 한편, 차륜은 전 차량을 일체차륜이 있는 상태에서 시운전시험을 실시하고 그것을 기본 데이터로 확보한 후, 방음차륜으로 모두 교체하여 일체차륜에서와 똑같은 시험을 실시함이 바람직하다.

(1) 시험구간 및 속도조건

다양한 조건(속도, 궤도상태, 곡선반경, 터널 등)에서 시험을 수행하여 여러 측면으로 새로운 차륜의 소음진동 저감성능을 확인할 필요가 있다.

(2) 측정항목 및 측정위치 (공차 및 영차에서)

시험은 공차시와 함께 영차시에도 실시된다. 영차시는 필요한 만큼의 인공중량을 차량에 선적하여 시험을 실시한다. 이 때 수행되는 시험항목으로는 다음과 같은 것이 있다.

- 차량내부소음
- 차량하부소음
- 궤도근방의 차외소음
- 대차중심부에 해당하는 차체바닥에서의 진동
- 차체 각부의 진동
- 차륜 및 대차 각부의 진동
- 차륜의 횡압 및 수직압

이와 같은 여러 가지 시험들은 시간이력곡선은 물론이고 협대역 및 광대역 주파수분석과 옥타브 밴드분석을 실시하여 분석함이 바람직하다. 또한, 이때 소요되는 센서의 종류 및 수량은 필요한 만큼 충분히 하는 것이 좋다.

3.3 부수 측정항목

상기와 같은 측정항목 이외에도 새로운 차륜으로 교체한 효과에 대하여 충분한 평가를 하기 위한 목적으로 다음과 같은 사항을 수행하는 것이 바람직하다.

- 지반진동
- 지상구조물진동
- 철도연변소음

4. 방음차륜의 소음진동 감소효과 실차 시험 및 고찰

본 연구에서는 방음차륜의 소음진동 저감효과를 확인하기 위하여 우선 실차시험을 실시하였다. 앞에서 언급한 실험실 수준의 일반적인 사항은 실차시험 후 유한요소법 등의 이론적인 방법과 간략한 시험을 통하여 수행할 예정이다.

4.1 시험차량 편성 및 시험방법

시험차량은 현재 지하철에 운행중인 차량 1편성을 택하여 실시되었다. 전체 6량 편성 중 모터장착 차량 1량과 트레일러 차량 1량에 방음차륜이 장착되었으며 나머지 차량에는 일체차륜이 장착되었다. 각각의 차량에 대하여 여러 가지의 시험항목이 결정되었으며 그에 따라 센서의 위치가 결정되었다. 다음 표 2는 시험항목 및 센서의 위치를 보여주고 있다.

표 2. 시험항목 및 센서 위치

시험항목	센서위치	비고
액슬박스진동	액슬박스	상하좌우
대차프레임진동	대차프레임	상하좌우
차체진동	차체바닥	상하좌우
차내소음	차내중앙 1.6m 높이	
차량하부소음	차륜 후부	전동음

시험은 4차량(방음차륜 장착 모터차량, 방음차륜 장착 트레일러 차량, 일체차륜 장착 모터차량, 일체차륜 장착 트레일러 차량) 모두에 센서를 설치하여 동시에 측정할 수 있도록 하였다.

4.2 분석방법 및 결과검토

상기와 같이 측정된 소음진동 신호는 매우 방대한 양을 차지하기 때문에 분석하는 일이 다소 어려워질 여지가 있다. 특히 레일의 이음매를 통과할 때는 차량사이에 충격음의 시간지연이 있게 되며, 저속에서는 모터가 장착된 차량의 경우 모터 자체의 소음으로 인하여 방음차륜의 전동음 저감효과를 평가하기가 매우 어렵게 된다. 따라서 방음차륜의 소음진동 저감효과를 보다 적절히 평가하기 위해서는 다각적인 검토가 있어야 한다. 본 연구에서는 여러 가지 외적인 요인에 의한 영향을 제외하기 위하여 직선구간에서 정상속도로 운행시 주파수분석을 실시하여 보았다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 차체진동

모터 장착 차량은 물론이고 트레일러 차량 모두 방음차륜에 의하여 상당한 진동저감효과를 보이고 있다. 대체로 전체레벨(Overall Level)로 40% 이상의 진동저감효과를 보이고 있다. 그림 3은 65km/h로 운행시 차체바닥 상하진동에 대한 방음차륜의 저감효과를 보여주고 있다. 이러한 결과는 상하진동뿐 아니라 좌우진동에서도 나타나고 있다.

(2) 대차프레임 진동 및 액슬박스 진동

대차프레임 및 액슬박스진동 역시 방음차륜에

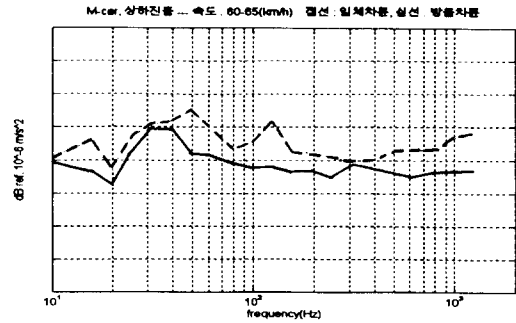


그림 3. 차체바닥 상하진동

의해 진동수준이 많이 감소하고 있다. 대체로 7%~40% 정도 감소하고 있다. 그림 4는 속도에 따른 대차프레임의 수평진동수준 저감효과를 보여주고 있다.

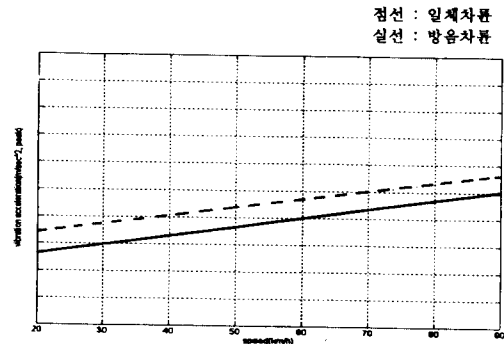


그림 4. 대차프레임 수평진동

(3) 차량하부소음

차량하부소음은 모터가 장착된 차량의 경우 방음차륜에 의한 저감효과가 나타나지 않을 가능성이 매우 높다. 그 이유는 모터 자체의 소음이 전동음보다 높거나 비슷할 경우 전동음이 많이 감소하더라도 전체수준은 많이 감소하지 않기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 트레일러 차량의 하부소음만을 비교하여 보았다. 그림 5는 방음차륜에 의한 트레일러 차량의 하부소음 저감효과를 보여주고 있다.

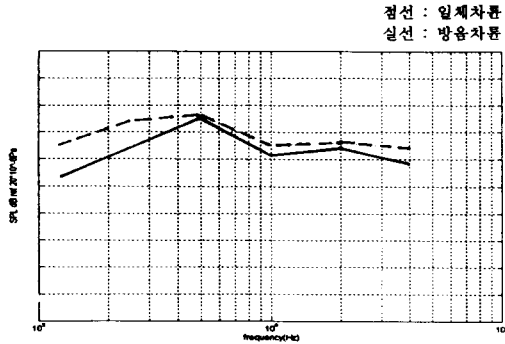


그림 5. 트레일러 차량의 하부소음

(4) 차내소음

차내소음 또한 차량하부의 소음과 같이 모터가 장착된 차량의 경우에는 방음차륜에 의한 저감효과가 나타나지 않을 가능성이 매우 높다. 따라서 차량하부소음과 마찬가지로 트레일러 차량에 대해서만 방음차륜의 저감효과를 분석하였다. 그림 6은 방음차륜에 의한 트레일러 차량의 소음 저감효과를 보여주고 있다. 차량의 속도에 관계없이 방음차륜의 효과가 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.

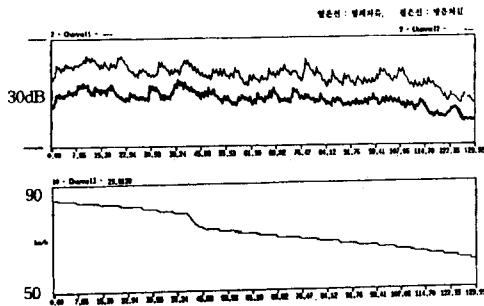


그림 6. 트레일러 차량의 차내소음

5. 결론

본 연구의 목적은 앞에서 언급한 바와 같이 방음차륜의 소음진동 저감효과에 대한 평가에 있다. 본 연구의 결과 방음차륜은 차량의 소음 및 진동에 있어서 대체로 좋은 저감효과를 보이고

있음이 확인되었다. 그러나 이러한 단편적인 결과만을 가지고 방음차륜을 지하철차량에 적용하는 것은 많은 무리가 있으며 본 결과를 토대로 소음진동 이외의 여러 가지 부수적인 시험 및 비용측면의 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 철도청의 연구비 지원으로 수행되었으며 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 도서출판 세화, 1992, 회전기계의 진동소음 : 그 원인과 대책·해석·조사·진단.
2. 帝都高速度交通營團, 騒音・振動對策研究會 報告書.