

레일 도유기에 의한 스켈소음 저감 효과

The Reduction Effectiveness of Squeal Noise through Rail Lubricator

문경호* 김재철** 유원희*** 오일근****
Moon Kyeong-Ho, Kim Jae-Chul, You Won-Hee, Oh il-geun

ABSTRACT

Squeal noise is generated by railway vehicles transversing tight curves. This squeal has always been noticed as one of the most disturbing noise sources of railway systems. At present we cannot predicted squeal noise that is influenced by a large number of dependent parameters. But the application of wheel damping and rail lubrication have successfully reduced wheel squeal. In this study, we measured squeal noise to find out the reduction effectiveness of noise through rail lubricator.

1. 서론

철도차량의 소음원으로는 차륜/레일 상호작용에 의한 전동음, 판토그래프와 가선계의 접촉 메카니즘에 의한 집전소음, 주행하는 차량표면에서 공력학적 메카니즘에 의한 공력소음, 견인전동기 및 엔진 등에 의한 추진장치소음 등으로 구별할 수 있다. 이러한 소음원 중에서 전동차와 같이 저속으로 운행하는 차량의 경우는 전동음⁽¹⁾이 주요한 소음원이 된다. 그러나 급곡선부를 주행할 때 발생하는 스켈소음은 직선구간에서 발생하는 전동음보다 더 거슬리는 소음원의 하나로서 인식되어진다.⁽²⁾⁽³⁾ 이 스켈소음은 곡률반경을 충분히 크게 함으로서 제거할 수 있으나 지하철도선은 현존하는 도로의 지하 또는 고가에 건설되므로 곡률반경을 크게해서 건설하기에는 한계가 있다.

스켈소음은 여러 가지 변수에 의해서 발생한다. 스켈소음에 영향을 미치는 변수를 보면, 차륜뎀핑, 운행속도, 곡선반경, 차륜의 주파수, 레일의 구조, 기타 변수(상대습도, 온도 및 먼지)로 구분할 수 있다. 차륜의 뎀핑을 증가시킴으로써 스틱-슬립 현상을 줄일 수 있고 운행속도는 곡률반경 및 차륜의 하중에 대한 변수로서 슬립 발생과 관련하여 스켈소음에 영향을 준다. 레일 주행표면의 조도는 스틱-슬립 곡선과 경계조건에서의 고유함수(eigenfunction)에 영향을 준다. 그리고 상대습도, 온도 및 먼지 등도 마찰특성에 영향을 주는 요인이다.

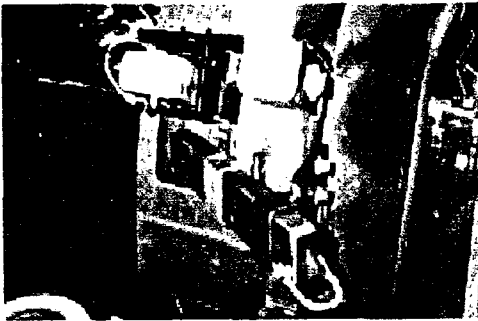
스켈소음을 줄이기 위한 방법을 보면, 차량측면에서 스켈소음을 줄이는 방법과 레일측면에서 줄이는 방법을 생각할 수 있다. 차량측에서 줄이는 방법은 탄성차륜⁽⁴⁾이나 차륜 윤활⁽⁵⁾ 등에 의한 방법이 쓰이고 있으며 레일측에서 줄이는 방법은 레일재질 변경⁽⁶⁾, 레일표면처리, 레일윤활등에 의한 방법이 사용된다. 문제시되는 일부 구간에서 소음을 줄이기 위한 방법으로 레일측에서 줄이는 것이 타당하며 이에 본 연구에서는 레일도유기를 적용하였을 때 스켈소음이 얼마나 저감되는지를 알아보려고 하였다.

* 한국철도기술연구원 차량연구본부 주임연구원
** 한국철도기술연구원 차량연구본부 선임연구원
*** 한국철도기술연구원 차량연구본부 책임연구원
**** 한국철도기술연구원 차량연구본부 수임연구원

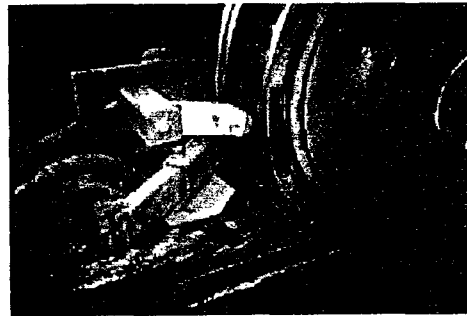
2. 도유기

차륜 플랜지와 레일마모를 줄이기 위해서 도유기를 사용하고 있으며 도유기는 차륜도유기와 레일도유기로 분류할 수 있다. 차륜도유기의 경우, 플랜지에 도유하는 방식과 차륜담면에 도유하는 방식이 있지만 그 쓰임새는 다르게 사용되고 있다. 플랜지에 도유하는 방식은 마찰을 적게해서 레일 측면과 플랜지와의 마모를 줄이는데 이용되는 반면에 차륜담면에 도유하는 방식은 마찰계수를 비교적 높게 하고 스틱-슬립을 줄이는데 사용된다. 예전에는 오일을 떨어뜨리거나 물을 뿌리는 방식의 액체도유방식이 사용되었으나 근래에는 눌러붙는 고체도유방식이 사용되고 있다. 그림 1은 고체도유방식의 차륜도유기를 나타내고 있으며 플랜지 쪽은 낮은 마찰계수인 LCF(low coefficient of friction)를 적용한 것이며 차륜담면은 점착력에 긍정적인 HPF(high positive friction)를 적용한 것이다.

레일도유기인 경우도 차륜도유기와 비슷하게 레일측면을 도유하는 방식과 레일상부를 도유하는 방식이 있다. 그렇지만 차륜과는 달리 고체도유방식을 쓸수 없으므로 액체도유방식이 사용되고 있으며 대부분 곡선부에서 플랜지와 레일측면의 접촉으로 인한 마모를 방지하기 위해서 그림 2와 같은 측면분사방식이 사용되었다. 그러나 최근에는 차륜/레일 간의 소음 및 레일 마모 등을 동시에 줄이려는 의도에서 그림 3과 같은 레일상부 분사방식인 TOR(top of rail)도유기를 새로이 적용하고 있다.



(a)



(b)

그림 1 차륜도유기(고체도유)



그림 2 레일도유기(측면 분사 방식)

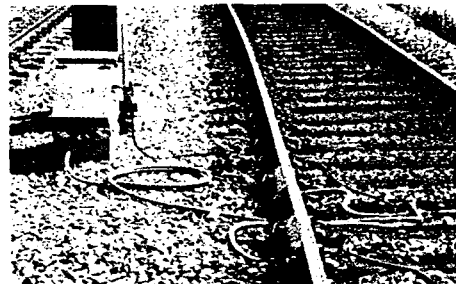


그림 3 레일도유기(레일상부 분사방식)

3. 스킵소음 측정

3.1 측정 개요

스킵소음 측정은 곡선반경이 작고 도유기가 설치되어 있는 구간을 선정하여 측정하였다. 측면

분사방식의 레일도유기는 곡선반경이 200m(R=200)인 서초-방배구간에서 가동전과 가동후를 비교하여 도유기에 대한 효과를 알아보고자 하였다. 레일상부 분사방식의 레일도유기는 당고개-상계(R=180)에 새로이 설치되었으며 설치 전과 후에 대한 스퀴소음을 측정하여 비교하고자 하였다. 또한 도유기가 점착력 등에 어느정도 영향을 미치는지를 알아보기 위해서 레일의 마찰계수도 동시에 측정(K사에서 측정)하였다. 스퀴소음 측정에 사용된 장비는 표 1과 같다. 측정위치는 레일바닥에서 0.7m 높이이고 레일에서 마이크로폰까지의 거리는 지하구간은 1.5m 지상구간은 1.3m이며 그림 4는 지상구간에서의 측정위치를 나타낸다.

표 1 측정에 사용된 장비

측정 및 분석 장비	사 양
Microphone	B&K 4189
Preamplifier	B&K 2671
Tape Recorder	SONY SIR1000
Power Supply	IV60 6-channel ICP Supply
신호분석시스템	LMS CADA-X



그림 4 스퀴소음 측정위치(지상구간)

3.2 측정 결과

서초-방배 구간에서 레일측면 분사방식의 도유기에 대한 가동 전과 후의 소음 수준을 비교한 결과는 그림 5~6과 같다. 가동 전의 경우, 중간에 소음수준이 올라가는 부분이 있지만 전체적인 소음 수준에는 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 그림 7~8은 주파수 분석 결과를 나타낸 것이나 차량의 모드 해석 결과에서 나타난 스퀴소음 주파수⁽⁷⁾인 474Hz, 1199Hz, 2122Hz, 3142Hz, 4197Hz 부근의 주파수가 뚜렷하게 나타나지는 않고 있다. 스퀴소음은 곡선반경이 축간거리의 100배보다 작을 때 발생하는 것으로 알려져 있고 곡선반경이 200m인 서초-방배구간의 경우는 스퀴소음 발생빈도가 낮은 것으로 보인다. 그림 9는 도유기 가동 전과 후의 소음 수준을 비교한 것으로 레일측면 분사방식의 경우, 소음 저감에 큰 효과는 없는 것으로 보인다.

그림 10은 레일상부 분사방식의 도유기를 설치한 당고개-상계구간(R=180)에서 설치 전과 후의 열차 통과시 소음수준을 나타낸 결과이다. 설치 후의 경우가 통과속도는 크지만 소음수준은 낮게 나타나고 있다. 그림 11은 주파수 분석한 결과로서 주파수 전체적으로 설치 후가 소음수준이 내려가고 있지만 스퀴주파수는 여전히 존재하고 있다. 그림 12는 차량 종류를 구분하지 않고 통과하는 모든 차량에 대한 소음수준을 도유기 설치 전과 후를 비교한 것이다. 몇몇 소음이 큰 열차를 제외하면 설치 후가 소음수준이 낮은 것으로 나타나고 있다. 그림 13은 도유기가 설치된 상선과 설치되지 않은 하선에 대한 통과시 소음수준을 비교한 결과이다. 상계에서 당고개로 갔다가 다시 내려오는 차량을 측정된 것으로 차량의 조건은 비교적 균일하다고 볼 수 있고 이 결과로 인하여 레일상부에 도유하는 도유기의 경우는 소음저감에 효과가 있는 것으로 판단된다. 그림 14는 레일 상부에 분사하는 방식의 도유기에 대한 마찰특성을 알아보고자 설치전의 레일상부 및 측면의 마찰계수와 설치후의 레일상부의 마찰계수를 측정된 것이다.(K사⁽⁸⁾) 측정결과, 설치전의 평균마찰계수는

레일상부 0.49, 레일측면 0.21이며 설치 후 레일상부의 마찰계수는 0.37로서 도유기 적용시에 가속 및 제동에 악영향을 미치지 않을 것으로 보인다.

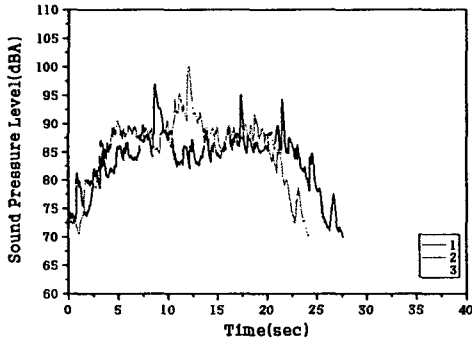


그림 5 도유기 가동 전 소음 수준

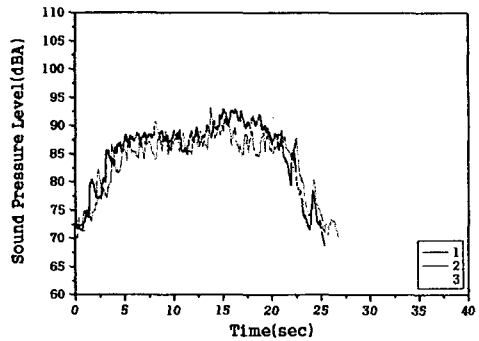


그림 6 도유기 가동 후 소음 수준

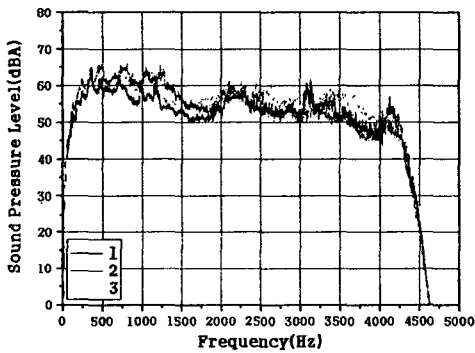


그림 7 도유기 가동 전 소음의 주파수 분석 결과

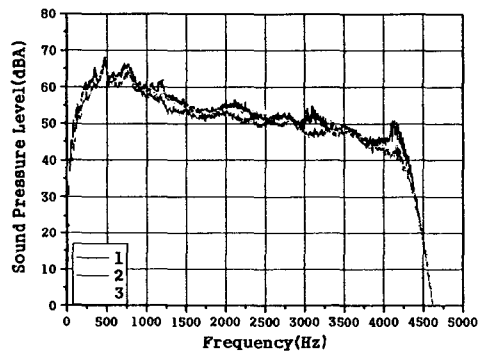


그림 8 도유기 가동 후 소음의 주파수 분석 결과

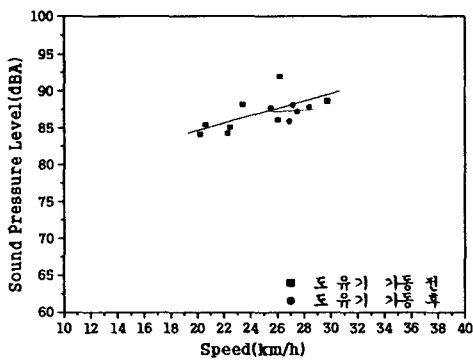


그림 9 도유기 가동 전/후 소음수준 비교

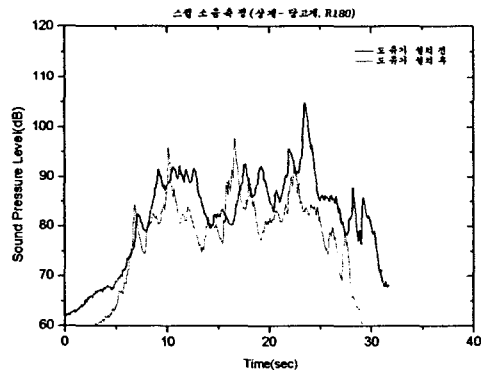


그림 10 도유기(TOR) 설치 전/후의 소음수준

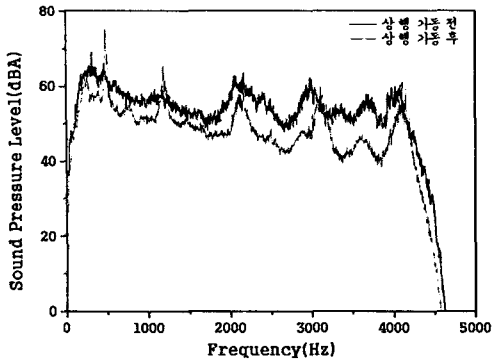


그림 11 도유기(TOR) 설치 전/후 주파수 비교

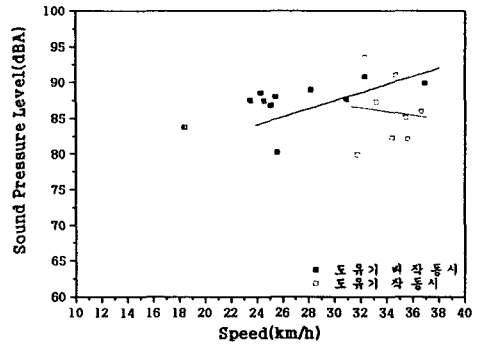


그림 12 도유기(TOR) 설치 전/후 비교

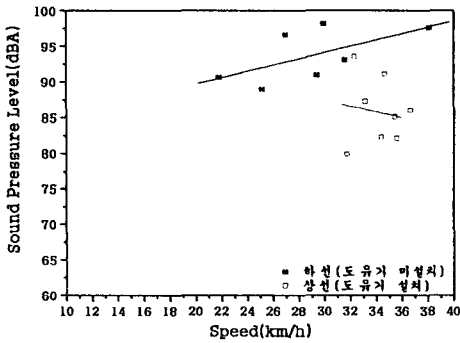


그림 13 도유기(TOR) 상/하선 소음 비교

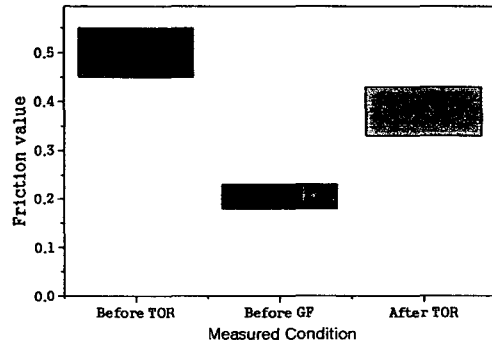


그림 14 마찰계수 비교

4. 결론

레일측면 도유방식과 레일상부 도유방식의 도유기를 도입하여 스킵소음을 측정된 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 레일측면 도유방식의 도유기는 레일마모를 저감시키는데 효과가 있지만 소음저감에는 효과가 적은 것으로 나타나고 있다.

(2) 레일상부도유방식(TOR) 도유기의 경우, 소음을 저감효과가 있는 것으로 보이지만 근본적으로 스킵주파수를 없애는 역할을 하는 것이 아니라 전체적인 소음수준을 떨어뜨리는 역할을 하는 것으로 보인다.

(3) 레일상부도유기 설치후의 마찰계수를 상계-당고개 구간에서 측정된 결과, 평균적인 마찰계수는 0.37로서 가속 및 제동에 미치는 악영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김재철 외 4명, 2000, 차륜/레일의 전동음 저감방안 연구, 한국철도기술연구원 KRRRI 연구 00-42, pp44~78
2. C. J. M. Van Ruiten, 1988, Mechanism of Squeal Noise Generated by Trams, J.Sound.Vib, 120(2), pp245-253.
3. M.J.Rudd, 1976, Whell/Rail Noise-Part II: Wheel Squeal, J.Sound.Vib, 46(3), pp381-394.
4. 김재철 외 2명, 2000, 방음차륜의 소음진동 저감효과에 관한 연구, 한국소음진동공학회, 제10권 제4호 2000, pp629~635
5. James T. Nelson, 1997, Wheel/Rail Noise Control Manual, National Academy Press, pp35~64, pp105~124
6. E.J.M.Hiensch, Two-Material Rail Development to Prevent Rolling Contact Fatigue and to Reduce Noise Levels in Curved Rail Track, INFRA-STAR project
7. 문경호 외 4명, 2002, 국내 전동차 스킵소음에 관한 연구, 철도학회, 추계학술대회논문집(1), pp66~71
8. Marco Santoro, 2002, Noise and Friction Report KELTRACK Trackside Transit, Kelsan Technologies Corporation, ppl~14