

살수를 이용한 철도곡선구간 스퀴소음 저감효과에 관한 연구

Effect of Reducing Squeal Noise at Railway of Curve Section by using the Watering

지해영† 구동회* 전승우**
Hae-Young Ji Dong-Hoe Koo Seung-Woo Jeon

ABSTRACT

The urban railway has been planned not only the subway, but also the elevated railway in Seoul, South Korea. Therefore, it is steadily increasing civil complaints for railway noise passing through that residential district. In this paper, we focused on noise of squeal characteristics induced by interaction between railway vehicle's wheel and rail. Then we selected the point that carried out scattering water droplet to the rail and compared the noise level of the watering test results before and after.

Scattering water test results showed that level of the noise reduced intermittently occurring high frequency characteristics of squeal noise as well as overall noise level.

In the future, we will apply the sensor to the sprinkling system for noise reduction where the place of existing squeal noise is, and make a suggestion of this solution will be more economical, environmental-friendly, and appropriate to reduce the squeal noise occurred by railway vehicle than others.

1. 서 론

국내의 도시철도는 지상구간으로도 설계가 되어있으며 지상으로 통과하는 도시철도에 인접한 주거지에서 소음민원이 지속적으로 제기되고 있는 실정이다[1]. 특히, 스퀴소음이 원인인 구간을 연구대상구간으로 선정하였다. 스퀴소음은 철도소음 중 가장 크고 사람에게 민감하게 들리는 순음특성의 소음으로 곡선구간에서 주로 발생하며 환경소음과 차내 승객들에게도 소음피해를 미치는 것으로 알려져 있다[2]. 현재까지 스퀴소음의 발생 메카니즘의 이론으로 stick-slip모형을 통해 제시된바 있으나[3], 발생 메카니즘 해석 및 제어 등에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있다.

본 연구의 진행은 연구대상구간에서 스퀴소음이 방사되는 소음의 특성을 분석한 후 해당 곡선구간의 약 80m구간을 열차가 통과하기 전 수동적으로 물펌프를 이용하여 레일에 살수를 진행한 후 소음레벨의 저감 효과와 주파수 특성의 변화를 분석하여 살수로 인한 스퀴소음의 저감효과를 제시함이 목적이다.

2. 본 문

2.1 소음측정

(1) 측정지점선정

서울시 도시철도지상구간 중 스퀴소음으로 인해 소음피해를 가장 많이 받는 민원지점을 선정하여 해당 선로 내에서 소음측정을 실시하였다.

† 교신저자 : UST(과학기술연합대학원대학교) KRRI 캠퍼스, 미래첨단교통시스템공학과
E-mail : young0085@krii.re.kr

* KRRI(한국철도기술연구원), 시험인증안전센터, 책임연구원

** UST(과학기술연합대학원대학교) KRRI 캠퍼스, 미래첨단교통시스템공학과

선정된 지점은 4호선 상계~노원 곡선구간 상행선 선로 위 1km 440지점(R=250m)을 선정하였으며, 상·하행선 방향 중 하행선 방향은 스킵소음이 발생하지 않아 연구대상지점에서 제외 하였으며, 스킵소음이 많이 발생하는 상행선 구간만을 측정대상으로 선정하였다. 자세한 측정지점은 다음 그림1에 나타내었다.



그림1. 연구대상지점

(2) 소음측정

소음측정은 위 그림1의 지점에서 소음의 열차별 및 시간대별 소음도 경향성을 파악하기 위하여 자동 소음측정모니터링시스템을 이용하여 철도가 운영되는 시간동안 3일 연속 측정을 하였으며[3], 동일지점에서 인체모형 더미(Dummy)헤드를 이용하여 음원을 녹음하였다. 그리고 1km 440지점을 중심으로 앞·뒤 약 40m씩 총 80m구간을 살수를 수행하기 전과 후의 소음을 측정하였다.

2.2 결과분석

(1) 자동소음측정모니터링시스템 결과분석

자동소음측정모니터링 측정결과는 측정지점에 열차가 통행하는 다량의 소음데이터를 보유함으로써 통과 시 발생하는 소음특성이 열차별 및 시간대별 유형을 파악하기 위해 분석을 실시하였다.

아래 그림2에서 대표적으로 소음이 많이 발생하는 출근시간대인 07:00 ~ 09:00의 결과를 3일간 측정하여 그래프로 나타내었다.

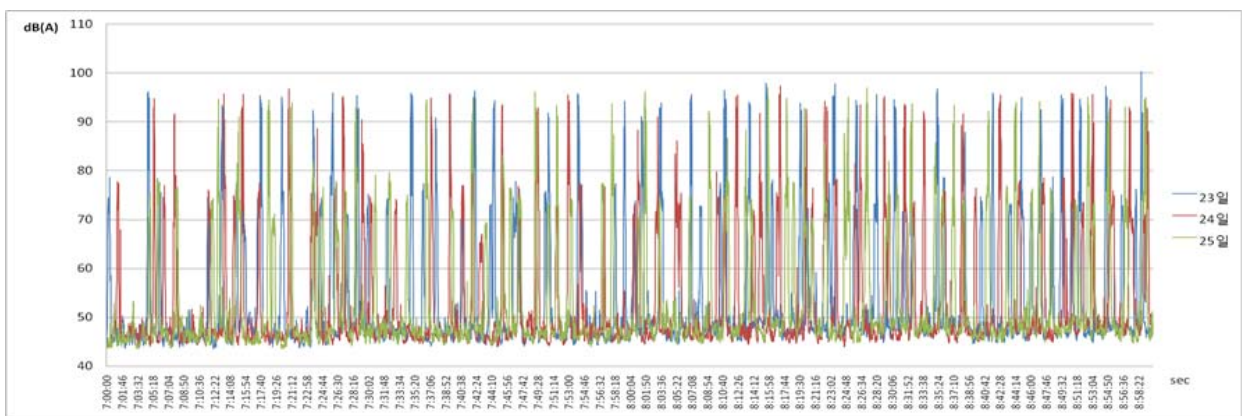


그림2. 자동소음측정모니터링 시간대별 소음도 분석결과(오전 07:00~ 오전 08:00)

위 그림2와 같이 3일간의 소음도의 경향성을 파악한 결과 약간의 차이는 있으나 시간대별 및 열차별 소음도가 비슷한 경향으로 방사되는 것을 확인할 수 있었다. 참고로, 그림2의 그래프에서 90dB(A)가 넘어가는 해당시간의 소음도가 측정지점에서 상행선을 통과하는 열차의 소음도이다.

아래 그림3은 위의 결과에서 비슷한 시간대에 열차가 통과하는 동안의 주파수 분석결과를 일별로 나누어 소노그램으로 나타낸 것이다. 통과 시의 시간은 ISO3095의 Pass by time을 적용하였다[5].

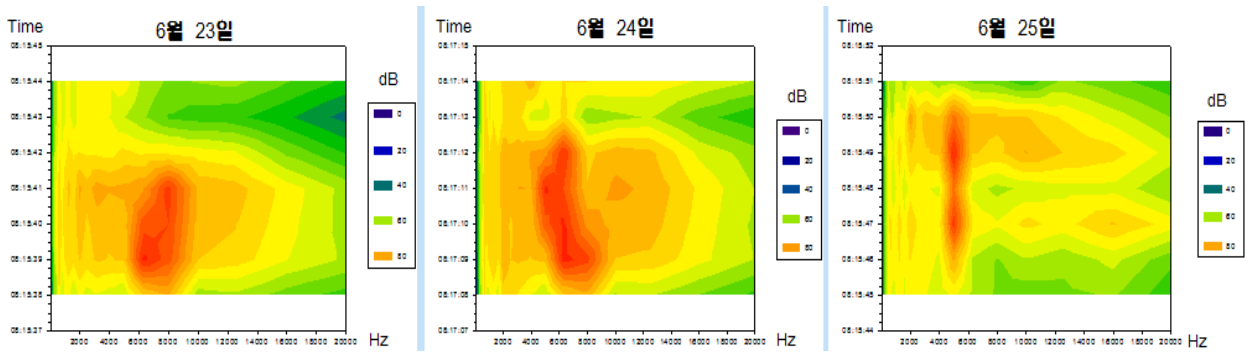


그림3. 자동소음측정모니터링 일별 주파수분석

해당구간 통과 시에 발생하는 주파수특성 분석결과 주요주파수 대역이 4000Hz~10000Hz사이의 고주파 대역인 것을 알 수 있었으며, 스켈소음의 특성이 있는 것으로 파악된다.

(2) 음원분석

더욱 정확하게 열차통과 시 발생하는 스켈소음의 특성을 파악하기 위해 인체모형 더미(Dummy)헤드를 통해 음원을 녹음한 후 열차가 통과 하는 시간(pass by time)동안의 음압파형 및 FFT주파수 분석 결과를 아래 그림4와 그림5에서 나타내었다.

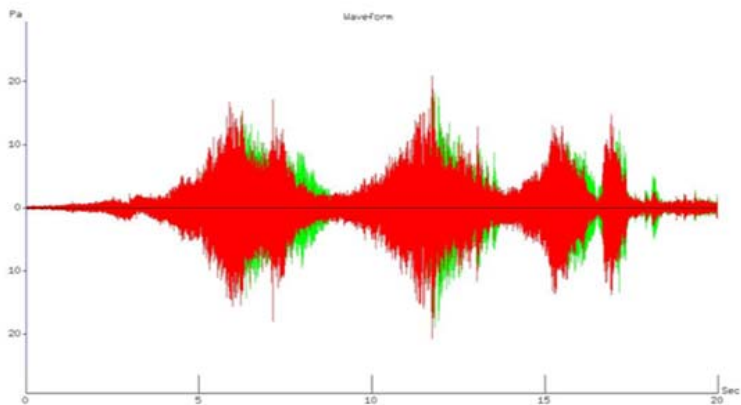


그림4. Pass by time 동안의 시간별 음압레벨

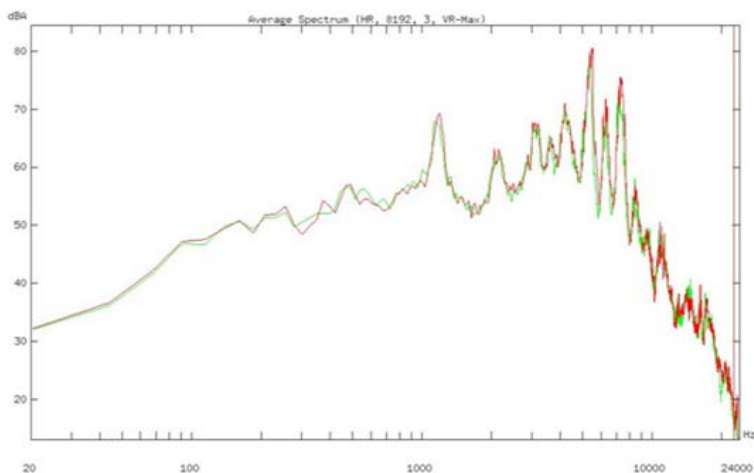
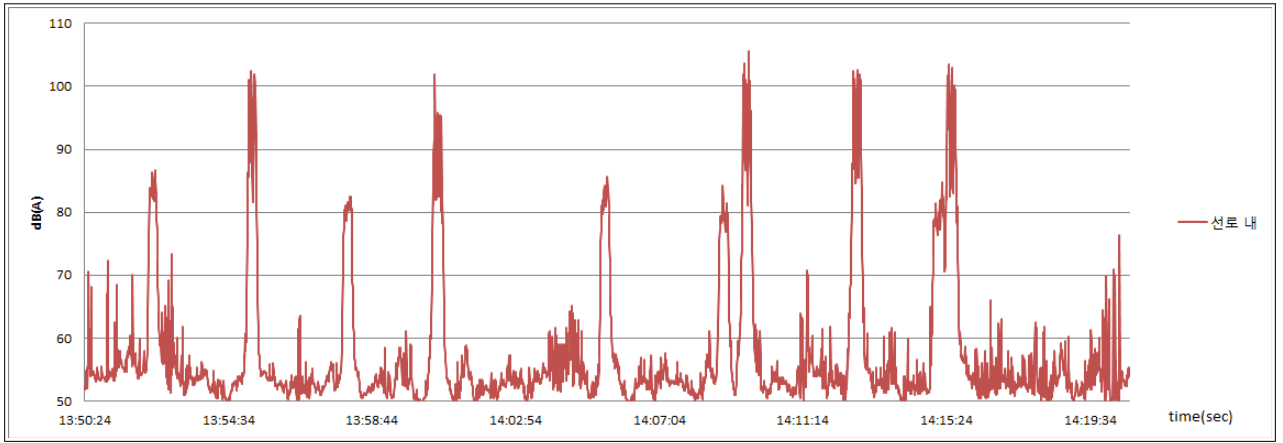


그림5. Pass by time 동안의 FFT 분석결과

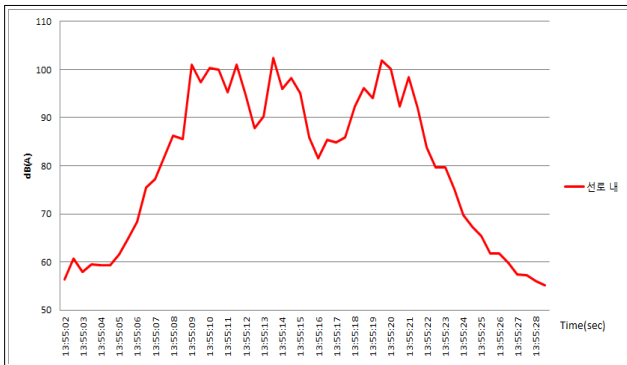
위 그림4의 시간대별 음압레벨 과형과 그림5의 FFT분석결과와 같이 5000Hz~8000Hz의 고주파수 대역의 음이 간헐적으로 발생하는 현상을 알 수 있었다.

(3) 살수전후 소음분석

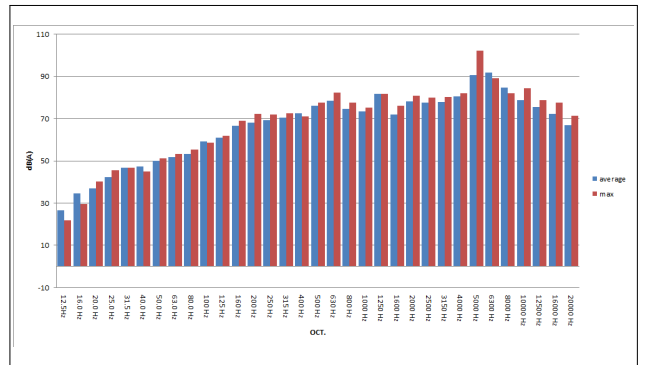
아래 그림6, 7, 8에서 측정지점인 1km 440지점을 중심으로 레일의 곡선구간 앞·뒤 약 50m씩 총 100m의 범위에 살수를 수행하기 전과 후의 소음레벨 및 1/3옥타브 주파수 분석을 실시한 결과를 나타내었다.



살수 전 Time history

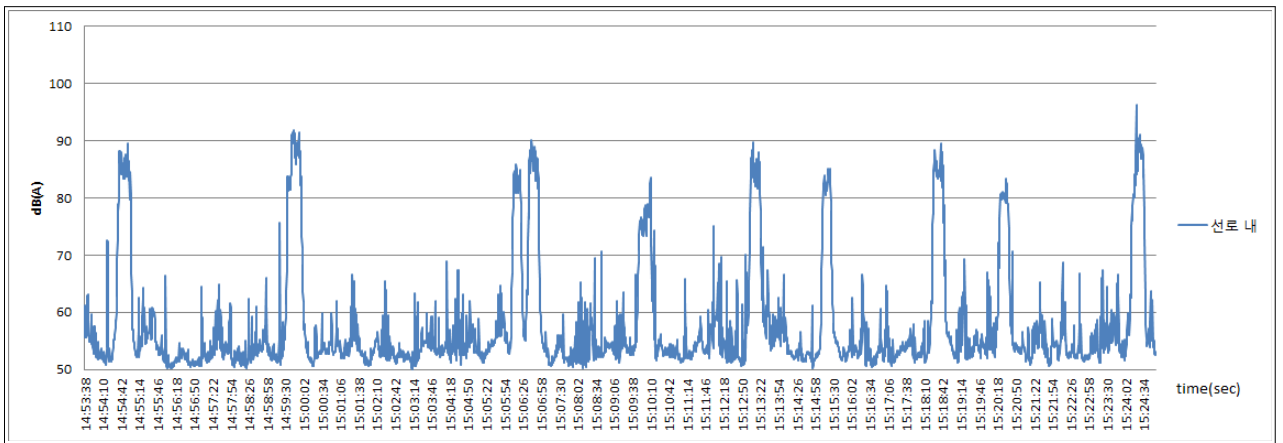


열차 통과 시 소음 (pass by time)

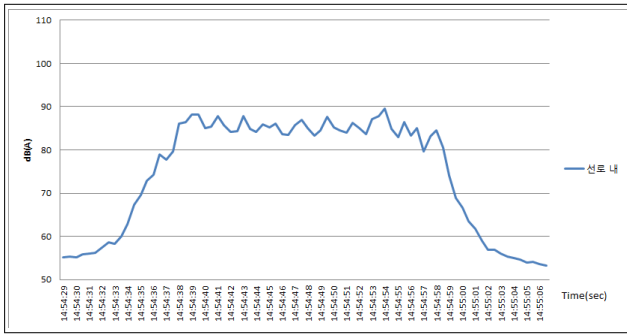


열차 통과 시 1/3옥타브 주파수 특성 (pass by time)

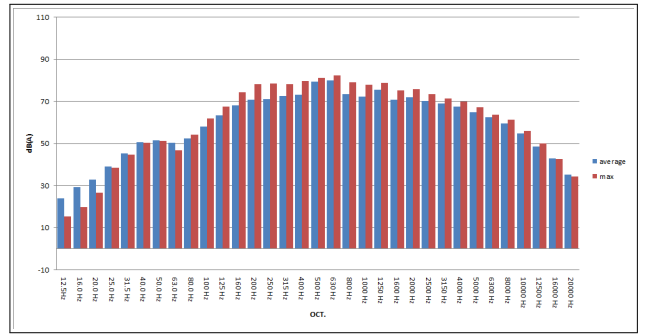
그림6. 살수 전 소음분석결과



내측 레일 살수 후 Time history

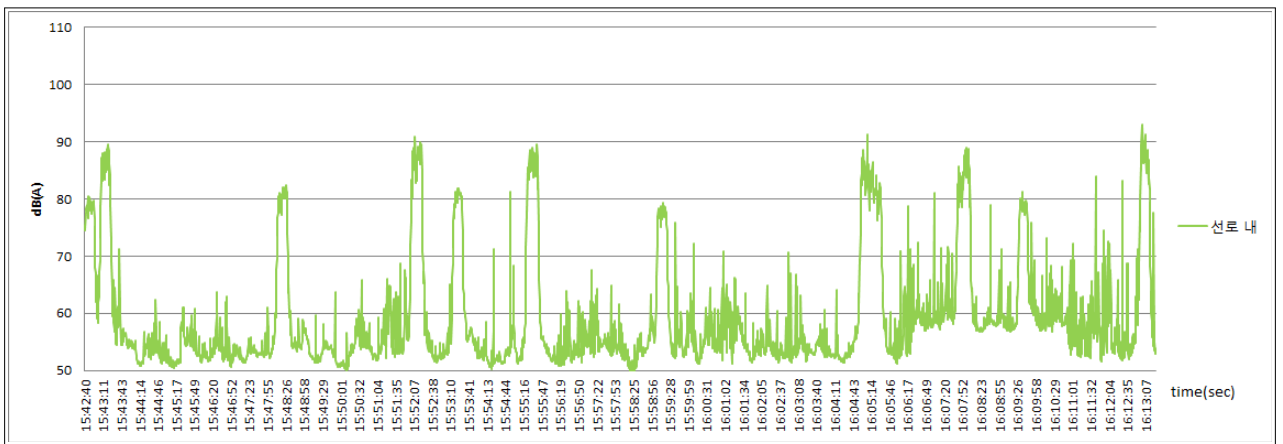


열차 통과 시 소음 (pass by time)

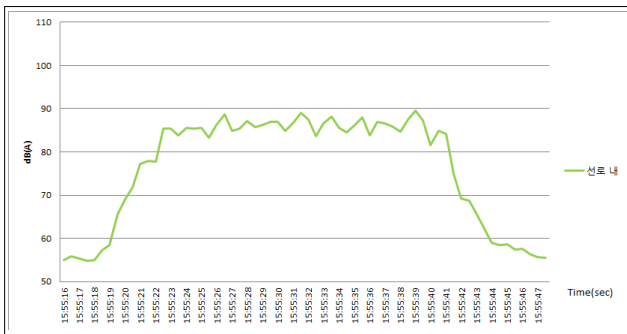


열차 통과 시 1/3옥타브 주파수 특성 (pass by time)

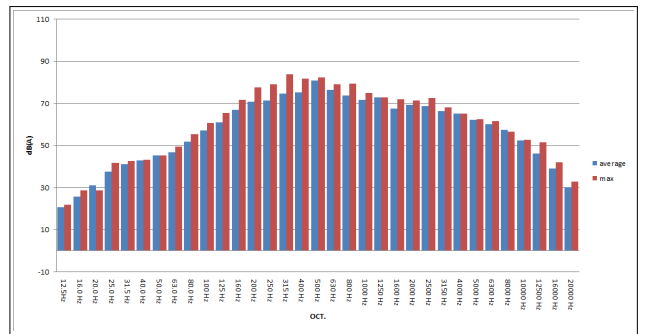
그림7. 레일 내측 살수 후 소음분석결과



살수 전 Time history



열차 통과 시 소음 (pass by time)

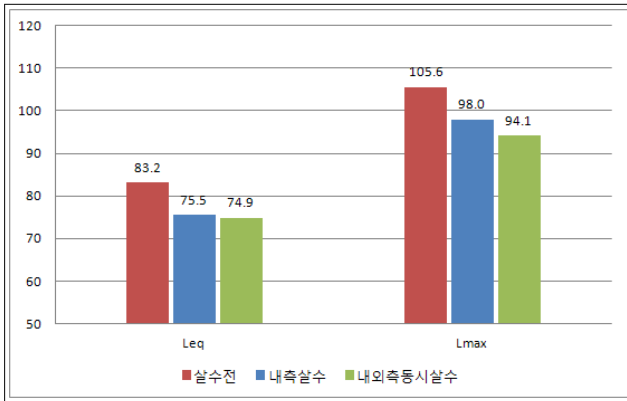


열차 통과 시 1/3옥타브 주파수 특성 (pass by time)

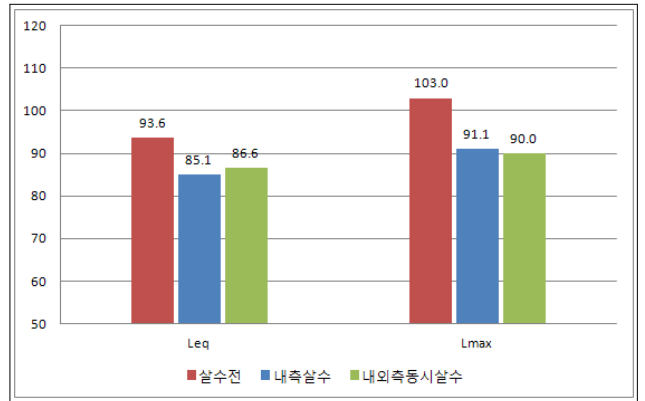
그림8. 레일 내·외측 동시 살수 후 소음분석결과

위 분석결과와 같이 살수를 실시하기 전과 후의 비교결과 전체 소음레벨이 감소한 것을 알 수 있으며, 1/3옥타브 주파수 특성에서 간헐적으로 발생되던 고주파수 대역의 소음도가 현저히 낮아지는 것을 확인 할 수 있다.

아래 그림9는 살수로 인해 저감된 소음도를 등가소음도(L_{eq})와 최고소음도(L_{max})의 비교그래프로 나타내었다.



선로 내 30분 소음측정 결과 비교



열차 통과 시 소음측정 결과 비교

그림9. 살수 전·후 등가소음도 및 최고소음도 비교분석

비교결과 30분 측정 시 살수 전 등가소음레벨(L_{eq}) 83.2dB(A)보다 내측레일 살수 시 -7.7dB(A), 내·외측레일 동시살수 시 -8.3dB(A)의 차이로 저감되는 결과로 나타났으며, 최고소음레벨(L_{max}) 105.6dB(A)보다 내측레일 살수 시 -7.6dB(A), 내·외측레일 동시살수 시 -11.5dB(A)의 차이로 저감되는 것을 알 수 있었다. 열차 한 대 통과 시 발생하는 살수 전 등가소음레벨(L_{eq}) 93.6dB(A)보다 내측레일 살수 시 -8.5dB(A), 내·외측레일 동시살수 시 -7.0dB(A)의 차이로 저감되는 것으로 분석되었으며, 최고소음레벨(L_{max}) 103.0dB(A)보다 내측레일 살수 시 -11.9dB(A), 내·외측레일 동시살수 시 -13.0dB(A)의 차이로 저감되는 것으로 나타났다.

3. 결 론

스킬소음으로 인해 소음피해를 받는 대표구간을 대상으로 열차 통과 시 발생하는 음의 특성을 파악한 결과 4000Hz ~ 10000Hz사이의 고주파 대역의 소음이 간헐적으로 발생한다는 것을 알 수 있었으며, 이러한 특성의 소음을 줄이기 위하여 살수를 실시해 본 결과 전체적인 소음레벨의 저감뿐만 아니라 스킨소음의 특성인 고주파수 대역에서 간헐적으로 발생하는 소음이 현저히 줄어드는 것을 알 수 있었다. 또한, 연구대상구간에서는 스킨소음이 열차가 진행되는 방향의 외측 레일에서는 스킨소음이 발생되지 않으며 내측레일에 살수로 인한 대책만으로 스킨소음을 저감할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

기존에 동일 구간에서 방음벽 및 NR도유기 등 많은 소음저감시설을 설치하였음에도 스킨소음저감에 대한 대책으로는 적합하지 않았다. 그러나 본 연구에서 수동적으로 물펌프를 이용하여 살수실험을 실시한 결과 열차 통과 시 소음도가 7.0dB(A) ~ 8.5dB(A)로 저감되는 연구결과를 보였으며, 이러한 연구결과를 통해 차후 곡선구간에 기존 도유시스템과 비슷한 열차감지 센서를 접목시킨 레일살수시스템을 이용한다면 기존의 저감대책보다 경제적이고 환경적인 스킨소음 저감대책이 될 것이라고 사료된다.

참고문헌

1. 지혜영, “청감실험을 통한 도시철도지상구간 소음 노출-반응에 관한 연구,” 서울시립대학교 공학석사 학위논문, 2010.
2. David Thompson, "Railway noise and vibration :Mechanisms, modelling and means of control," pp.315-316, 2010.
3. 지혜영 외 4명, “도시철도 지상구간 소음관리에 대한 고찰,” 2009년 한국철도학회 추계학술대회, 2009.
4. M. J. Rudd, Wheel/Rail noise-part II: Wheel squeal, J. Sound. vib, 46(3), pp.381-394, 1997.
5. ISO 3095, “Railway applications -Acoustics- measurement of noise emitted by railbound vehicles, 2005.