

부산 도시철도 3호선 차량 곡선부 스퀄 소음 특성 Analysis of Curve Squeal Noise for Busan Metro Line 3

*#안찬우¹, 홍도관², 한근조¹, 강현욱³

*#C. W. Ahn(cwahn@dau.ac.kr)¹, D. K. Hong², G. J. Han², G. J. Han², H. U. Kang³

¹ 동아대학교 기계공학과, ² 한국전기연구원 전동력연구센터, ³ 동아대학교 일반대학원

Key words : Squeal Noise, 1/3 Octave analysis, Active Noise Control, Busan Metro Line 3

1. 서론

능동형 소음저감방식인 ANC(active noise control)기법^{(1)~(4)}을 이용한 차량의 실내소음 저감기술에 적용하는 사례가 많이 보고되고 있다. 이는 주로 차량의 실내에 ANC를 설치하여 저주파 대역폭의 소음을 감소하는 것을 목적으로 하고 있다. 하지만 철도차량에 ANC를 적용한 사례는 거의 전무한 실정이다. 이러한 시스템은 소음원에 대한 해석적 모델링이 어려울 뿐만 아니라 소음원에 대한 주파수 스펙트럼 분석이 힘들기 때문이다. 또한 철도소음은 주로 저주파와 고주파 성분을 모두 포함하고 있으므로 기존의 ANC 기법으로는 기술적 가치에 대하여 그 성능이 매우 만족스럽지 않은 것으로 보고되고 있다.

본 논문에서는 능동소음제어 시스템 기술 개발을 위한 기초측정 연구로 레일의 곡선부 곡률반경에 따라서 레일과 휠의 마찰로 인한 소음원인 스퀄노이즈^{(5)~(9)}가 발생할 때 철도차량 실내에서 발생하는 소음의 주파수 분석을 수행하여 Table 1에 나타내었다. 주파수 분석을 통해서 500 Hz 미만의 저주파 대역에서 ANC 시스템을 적용하여 5 dB 저감된다면 스퀄노이즈가 발생할 때 전주파수 대역에서 음압레벨이 어느정도 저감할 수 있는지에 대한 고찰 및 분석을 수행하였다. 향후 철도차량에서 소음이 유입되는 바닥에 음의 파형을 실시간으로 분석하고 스피커를 통해서 제어음을 발생시켜 음파를 상쇄시키는 패널형태의 ANC 시스템을 개발하는데 있어서 중요한 자료로 활용하고자 한다.

2. 곡선부 스퀄 소음 특성분석결과



Fig. 1 Busan metro line 3 vehicle

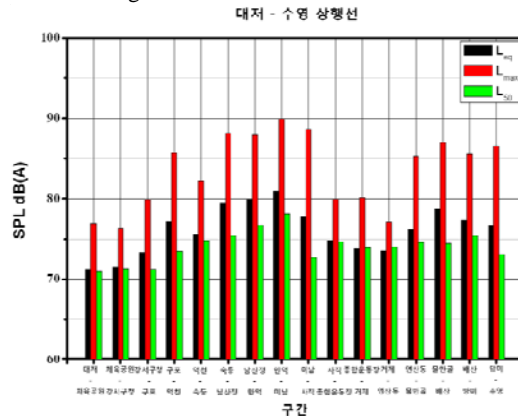


Fig. 2 Equivalent sound level, max. sound level, median sound level of metro line 3

Fig. 1은 부산 도시철도 3호선 차량 모델을 나타내며, Fig. 2는 3호선 전체 운행구간의 차량 실내소음 측정결과를 나타낸다. 대저~체육공원 운행구간에서 등가소음레벨과 시간소음레벨(중앙값)이 가장 최소로 나타났다. 반면에 운행 시간이 가장 긴 만덕~미남 구간은 최대로 나타났다. 대저~체육공원 구간에서는 레일의 곡률반경이 R900, R1200으로 스퀄소음이 큰 문제가 되지 않지만 만덕~미남 구간은 레일의 곡률반경이 R200, R600으로 스퀄소음에 의한 고주파 성분의 소음이 지배적으로 발생하였다. Table 1의 결과는 레일의 곡선부

곡률반경이 가장 작은 구간에서 스킨소음이 지배적으로 발생하고 그 실내 소음을 주파수 분석해보면 고주파 대역의 음압레벨이 저주파 대역의 음압레벨과 거의 비슷하게 발생한다. 하지만 레일의 곡률반경이 R400 이상인 곳에는 레일과 휠의 마찰로 인한 스킨소음의 감소로 인하여 고주파 대역의 음압레벨이 저주파 대역의 음압레벨보다 작게 발생하였다.

곡률반경의 크기가 증가에 따라서 레일과 휠의 마찰이 감소하고 고주파 대역의 음압레벨이 저주파 대역의 음압레벨보다 작게 발생하였다. 패널형태의 ANC 시스템 개발 적용되어 저주파 대역의 소음이 5dB 정도 저감 이 된다면 아래의 식을 이용하여 전주파수 대역에서 음압의 총합을 구할 수 있다.

$$dB_{sum} = 10\log\left(10^{\frac{L_{Low}}{10}} + 10^{\frac{L_{High}}{10}}\right) \quad (1)$$

여기서, L_{Low} , L_{High} , dB_{sum} 는 각각 저주파, 고주파, 전주파수 대역 음압레벨을 나타낸다. Fig. 3은 만덕~미남 구간 (R200)에서 스킨발생 음압을 1/3 옥타브 분석한 결과를 나타낸다.

Table 1 Comparison of ANC effect according to the curvature of rail

Going up Overall (dB/20.0μPa)					
Location	Frequency	Effect			Effect
		Low	High	Whole Band	
만덕→미남	R200	87.4	90.0	91.9	1.2
구포→덕천	R200	86.6	85.5	89.1	2.1
망미→수영	R297	88.2	85.1	90.0	2.6
남산정→만덕	R352	86.6	81.5	87.8	3.2
강서구청 →구포	R400	90.2	81.3	90.7	4.0
만덕→미남	R600	85.9	76.6	86.4	4.1
망미→수영	R800	80.6	68.6	80.8	4.5
배산→망미	R1502	85.0	75.2	85.4	4.2
덕천→숙동	R2100	84.0	70.9	84.2	4.6
망미→수영	R3002	86.1	72.1	86.2	4.7

Unit : dB
 Low frequency : 0 ~ 500Hz
 High frequency : 500 ~ 20,000Hz
 Measuring position : Height 20cm
 Effect : $(L_{Low} + L_{High}) - (L_{Low(-5dB)} + L_{High})$

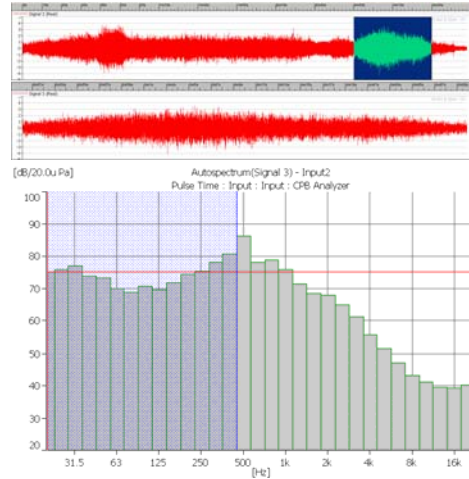


Fig. 3 Octave analysis(Mandeok to Minam, R200)

3. 결론

레일의 곡선부 곡률반경에 따라서 레일과 휠의 마찰로 인한 스킨노이즈가 발생할 때 철도 차량 실내에서 발생하는 소음의 주파수 분석을 통해 저주파의 능동소음제어 시스템 기술적용으로 주파수 전대역 음압레벨을 감소 효과에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과 R400 이하의 곡률반경이 작은 구간에서는 스킨소음이 크게 작용하여 고주파 대역의 음압레벨이 커서 능동소음제어 기술을 통해서 저주파 대역의 음압레벨을 저감 시켜도 주파수 전대역 음압 레벨을 1~2dB 정도밖에 저감 시키지 못하는 것을 확인하였다.

후기

이 논문은 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 유원희, 고효인, 박준혁, 조준호, 양철식, "지하철 곡선부소음의 특성에 관한 연구," 대한기계학회 추계학술대회논문집, 773-778, 2008.
2. 김범수, 김관주, 김상수, 김재철, "철도차량 스킨소음의 발생메커니즘에 관한 실험연구," 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, 1469-1472, 2006.