

휠/레일 소음 저감을 위한 휠 및 레일 설계 변수의 민감도 분석

Sensitivity Analysis of Wheel and Rail Design Variables to Reduce Rolling Noise

김재환*[†], 김병희*, 김종환*, 장형석*

Jaehwan Kim*[†], Byunghee Kim*, Jonghwan Kim*, Hyungsuk Jang*

초 록 철도차량의 주 소음원은 휠/레일 접촉에 의한 구름 소음으로, 휠 및 레일 구성품의 기계적 성질의 조합에 따라 소음도가 달라진다. 본 논문에서는 휠 및 레일의 구성품의 기계적 성질을 주요 변수로 하여 각 변수의 변화에 따른 휠/레일 소음 변화를 해석적으로 검토하였고, UIC 60 레일, 모노블럭 콘크리트 슬리퍼, 슬라브 도상을 베이스로 TWINS를 이용하여 소음해석을 수행하였으며, 해석 결과 설계 변수 변화에 따른 휠 및 레일 구성품(레일, 슬리퍼, 슬라브)의 음향파위레벨 변화를 확인할 수 있었다. 신규 선로 건설 시 이와 같은 해석을 통하여 휠 및 레일 구성품의 기계적 성질의 적절한 조합을 도출함으로써 철도차량의 소음을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 휠/레일소음, 휠/레일 설계 변수, 슬라브 도상, TWINS

1. 서 론

휠/레일 구름 소음은 표면의 거칠기에 의해 가진되어 휠, 레일, 슬리퍼, 슬라브 등의 진동에 의해 발생한다. 가진력은 축 하중과 접촉변형이론으로 설명된다. 특히, 휠과 레일의 탄성 변형에 기인한 접촉면에서 단과장(접촉면의 길이 대비)의 거칠기는 줄어드는데, 이를 저역 통과 필터와 같은 특성을 가지는 접촉면 필터(contact patch effect)라고 한다.[1] 가진력이 휠과 레일에 작용하고, 휠과 레일시스템의 진동 응답과 각 요소의 방사 효율에 따라 휠/레일 구름 소음이 결정된다. 따라서 휠과 레일 구성요소의 기계적 특성에 따라 구름 소음의 크기는 제어될 수 있다.

휠/레일 구성요소의 기계적 성질 변화에 따른 구름 소음 변화를 확인하기 위하여, 모노블럭, 콘크리트 슬리퍼/슬라브 도상을 고려하였으며, 연속 지지 빔 모델(continuous supported beam model)을 적용하여 TWINS(Track Wheel Interaction Noise Software)로 해석하였다.[2]

2. 본 론

2.1 설계 변수 선정

설계변수는 가진력 및 휠/레일 진동시스템에 영향을 줄 수 있는 강성, 댐핑을 고려하였으며, Table 1 은 본 연구에서 고려한 설계 변수를 정리한 것이다.

Table 1 Design Variables Taken into Account.

Components	Variables
Wheel	Roughness, Loss factor
Rail	Roughness, Loss factor
Rail pad	Stiffness, Loss factor
Sleeper	Young's modulus
Slab	Young's modulus

2.2 초기 설계 변수 및 소음 해석 결과

Table 2에 정리된 초기값을 토대로 TWINS 해석 결과는 Fig.1과 같이 100.7 dBA이다.

저주파대역은 레일의 하부구조 소음, 중고주파 대역에서는 레일 소음, 고주파 대역에서는 휠 소음이 두드러지게 나타났고, 전체적으로는 레일 소음이 지배적임을 확인할 수 있었다.

[†] 교신저자: 현대로템 레일솔루션연구소
(jhkim131@hyundai-rotem.co.kr)

* 현대로템 레일솔루션연구소

Table 2 Properties of base track input variables.

Components	Properties	
Rail (UIC60)	Vertical bending stiffness (Nm ²)	6.42×10 ⁶
	Vertical shear coefficient	0.4
	Vertical loss factor	0.02
	Mass per unit length (kg)	60
	Cross receptance factor	-7
	Sign cross spectrum	-1
	Length of track (integration length) (m)	10
Rail Pad (Upper)	Vertical stiffness (MN/m or kN/mm)	208.8
	Vertical loss factor	0.168
Track Pad (Lower)	Vertical stiffness (MN/m or kN/mm)	30.65
	Vertical loss factor	0.168
Sleeper	Sleeper type	Monoblock
	Sleeper spacing (mm)	700
	Track Gauge (mm)	1435
	Young's modulus (Gpa)	37.28
	Density (kg/m ³)	2500
	Poisson ratio	0.2
	Loss factor	0.04
	Total mass (kg)	293
Slab	Width (mm)	2900
	Thickness (mm)	169
	Density (kg/m ³)	2500
	Young's modulus (Gpa)	33.35
	Poisson ratio	0.2

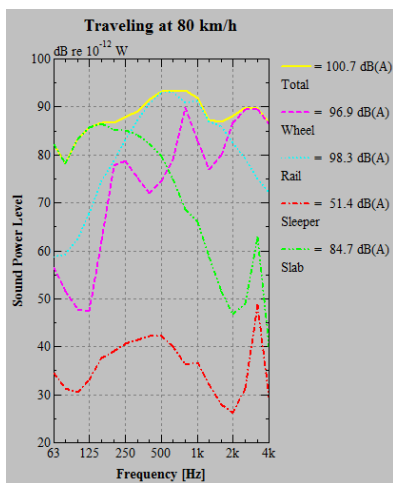


Fig. 1 Wheel/rail sound power level on the basis of initial input values.

Table 3 The results of sensitivity analysis

	Wheel Sound Power	Rail Sound Power	Sleeper Sound Power	Slab Sound Power
Wheel loss factor	--	None	--	None
Rail loss factor	None	--	--	--
Sleeper Young's modulus	None	None	--	--
Slab Young's modulus	None	None	--	--
Rail pad stiffness	None	--	+	+
Rail pad loss factor	None	--	None	--

None: no relation, --: negative relation, +: positive relation

2.2 설계변수 변화에 따른 소음 민감도 분석

휠/레일 거칠기의 대수증가(dB 증가)분은 온전히 휠/레일 음향파워레벨 증가로 반영되었고, 나머지 설계변수들에 대한 결과는 Table 3에 정리하였다.

각 설계 변수들의 변화에 따른 휠/레일 구성요소들의 음향파워레벨은 특정 임계값 이하에서 선형 증가 및 감소현상이 발견되었다.

레일 패드 강성은 지나치게 낮은 경우 레일 소음 증가로 인한 휠/레일 음향파워레벨이 증가할 수 있고, 지나치게 높은 경우 레일 하부 구조 소음/진동이 커져 휠/레일 음향파워레벨이 커질 뿐만 아니라 구조물의 안전성에 문제가 될 수 있다.

3. 결론

휠 및 레일의 기계적 특성 변화를 통하여 휠/레일 방사소음 해석 결과 주요 설계 변수에 따른 휠/레일 방사소음에 유의미한 변화가 있음을 확인하였다. 이러한 방식을 토대로 각 변수들의 최적 조합을 선정함으로써 철도소음 저감에 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] P. J. Remington, (1976) Wheel/rail noise, part I: characterization of the wheel/rail dynamic system, *Journal of Sound and Vibration*, 46, pp. 359-379.
- [2] M.H.A. Jansens, D.J. Thompson, F.G. de Beer, H.W. Jansen and M.G. Dittrich (2013) TWINS Theoretical Manual (ver.3.2), TNO report, MON-RPT-033-DTS-2009-03455.