

# 차륜답면형상 마모에 따른 대차 비선형 임계속도 해석 The Wear Pattern of The Wheel Profile for EMU According to The Mileage

\*#허현무<sup>1</sup>, 유원희<sup>1</sup>, 박준혁<sup>1</sup>, 김민수<sup>1</sup>, 김수현<sup>1</sup>

\*\* H. M. Hur(hmhur@krii.re.kr)<sup>1</sup>, W. H. You<sup>1</sup>, J. H. Park<sup>1</sup>, M. S. Kim<sup>1</sup>, S. H. Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원 주행추진연구실

Key words : wheel profile, wear, critical speed

## 1. 서론

국내 전동차, 기존선 운용 철도차량과 같이 급곡선 구간을 통과하는 빈도가 높은 철도차량은 차륜 플랜지의 과도한 마모 발생이 철도 운영기관의 현안이 되고 있다. 차륜의 과도한 마모는 차륜의 조기삭정, 교체로 인한 유지보수 비용 증가의 문제일 뿐만 아니라 균일하고 안정된 주행성능 확보라는 승객 서비스문제로 귀결된다. 또한 최근에는 차량의 고속화와 더불어 주행안정성 확보관점에서 효율적인 차륜답면관리가 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 차륜답면형상 마모가 차량 주행안정성 영향 미치는 영향을 분석하고자 마모 차륜답면형상 샘플을 대상으로 차량의 임계속도를 분석하였다. 차륜답면형상의 미묘한 형상변화에 대한 영향을 분석하고자 차륜/레일 기하학적 접촉특성 해석을 통한 비선형 임계속도 해석을 수행하였다.

## 2. 해석 조건

차륜답면형상의 마모에 따른 임계속도 해석을 위한 차륜답면형상 마모 샘플로 기존철도차량 및 전동차에 적용하고 있는 3종류의 답면형상을 대상으로 하였다. Table 1은 마모 차륜답면형상 샘플에 대한 차륜 치수 및 등가답면구배를 나타낸다. 여기서 Profile 40은 답면구배 1/40인 원추형 차륜답면을 나타내며 Profile 20은 답면구배 1/20인 원추형 차륜답면을 나타낸다. Profile 20h는 답면구배 1/20인 원호형 차륜답면을 나타낸다. Fig. 1은 마모 차륜답면형상을 비교한 사례를 나타낸다.

차륜답면형상의 치수 분석은 Fig. 2와 같은 차륜 치수 기준을 적용하였다. 등가답면구배 해석과정에서 필요한 입력 파라미터로 레일은 60kg 레일형상을 적용하였으며 궤간 1,435mm, 경좌 1/40을 적용하였다. 또한 차륜은 직경 860mm, 플랜지내면거리 1,354mm를 적용하였으며 등가답면구배 해석 구간은 윤축 횡변위 ±5mm로 하였다[1,2,3].

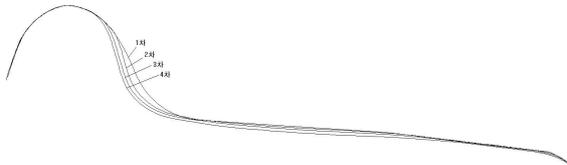


Fig. 1 Example of the wheel wear

Table 1 Worn wheel profile samples

Profile	Sample	Flange thickness (mm)	Flange height (mm)	qR (mm)	Flange angle (deg)	Equivalent conicity
Profile 40	K41	32.93	26.62	10.26	66.65	0.049
	K42	30.11	26.21	7.78	76.92	0.125
	K43	27.70	26.57	5.18	76.80	0.163
	K44	25.35	27.02	4.94	77.10	0.138
Profile 20	R21	33.93	26.94	11.03	63.93	0.067
	R22	32.85	27.29	9.97	70.96	0.117
	R23	31.55	27.90	8.33	73.61	0.171
	R24	30.57	28.32	8.14	71.28	0.151
Profile 20h	H21	35.30	27.47	10.3	70.53	0.395
	H22	34.44	27.47	9.77	71.33	0.216
	H23	33.00	27.84	8.37	75.49	0.197
	H24	31.28	29.42	7.72	76.18	0.240

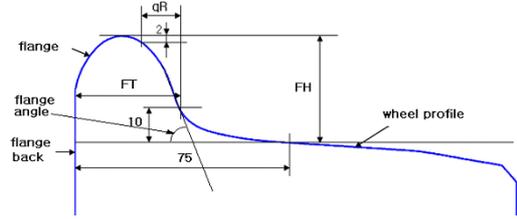


Fig. 2 Wheel profile geometry

임계속도 해석을 위한 동역학 모델로서 Fig. 3과 같이 대차 주행시험기 상에서 대차의 임계속도를 시험 평가하기 위한 구성을 모사하여 모델링하였다. 대차는 2개의 윤축과 1개의 대차프레임 질량으로 구성되며 윤축과 대차프레임간의 연결은 현가요소로 연결된다. 대차 동역학모델의 윤축, 대차프레임은 횡방향과 요방향으로만 운동이 허용되며 그 외 운동은 구속된다고 가정하였다. 또한, 차륜과 궤조들간의 운동은 크리피지와 크립력관계로 표현하였으며 동역학모델의 총 자유도는 12 자유도계이다 [4]. 차륜과 궤조들간의 접촉력 계산과정은 Kalker의 FASTSIM을 수정하여 계산시간을 단축한 Oldrich Polach의 크립력 계산방법을 사용하였다[5]. Fig. 4와 같은 흐름도에 따라 임계속도 해석을 수행하였으며 각 각의 마모 차륜답면형상에 대한 주기해를 구하였다[6].

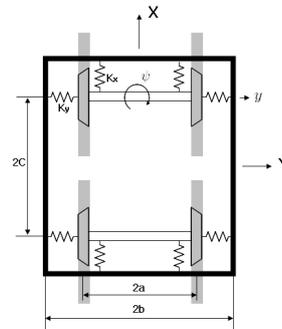


Fig. 3 Bogie model

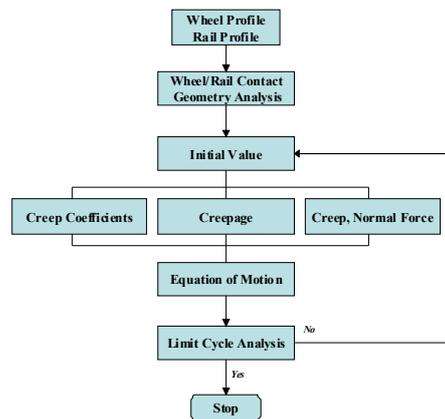


Fig. 4 Flowchart of the critical speed analysis

### 3. 마모 차륜담면형상 임계속도 해석

Profile 40, Profile 20, Profile 20h 차륜담면형상 마모 샘플에 대한 임계속도 해석을 수행하였다. Fig. 5~Fig. 7은 각 차륜담면형상 샘플에 대한 윤추 횡변위 limit cycle 선도를 나타낸다.

Fig. 8은 각 차륜담면형상 마모 샘플에 따른 임계속도를 정리한 표이다. 또한 Fig. 9는 초기 차륜담면형상의 임계속도에 비교하여 마모가 진전됨에 따라 임계속도의 변화를 나타내는 선도이다. 원추형 차륜담면인 Profile 40, Profile 20의 경우 마모가 점차 진전된 차륜담면형상 샘플에 따라 임계속도가 저하하는 경향을 보이고 있다. 반면 원호형 차륜담면인 Profile 20h는 마모가 진전됨에 따라 임계속도는 오히려 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 Table 1의 등가담면구배 해석결과에서와 같이 원추형 차륜담면인 Profile 40, Profile 20의 등가담면구배는 마모가 진전됨에 따라 증가함에 비하여 원호형 차륜담면인 Profile 20h의 등가담면구배는 마모가 진전됨에 따라 감소함에 비롯된 것이라 할 수 있다.

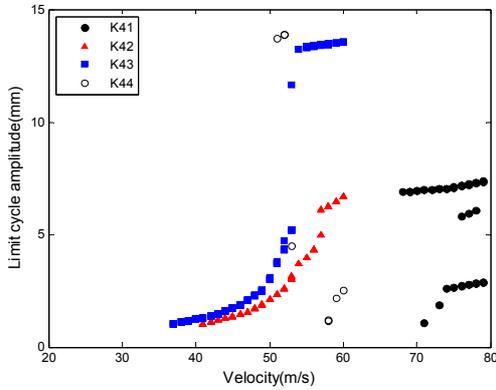


Fig. 5 Limit cycle diagram for the Profile 40

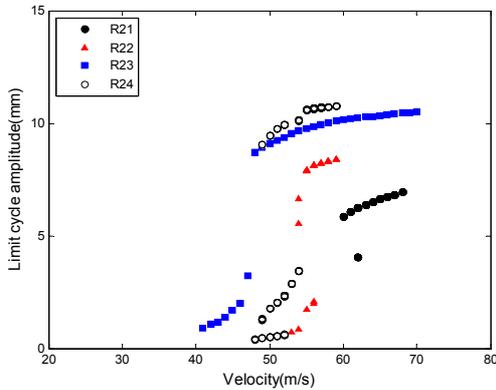


Fig. 6 Limit cycle diagram for the Profile 20

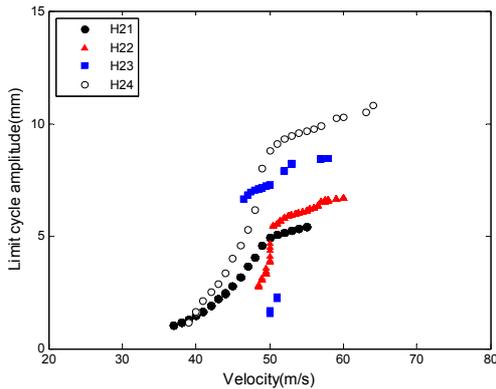


Fig. 7 Limit cycle diagram for the Profile 20h

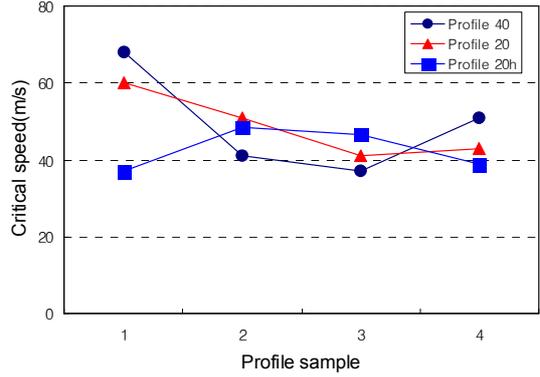


Fig. 8 Critical speed for worn wheel profile samples

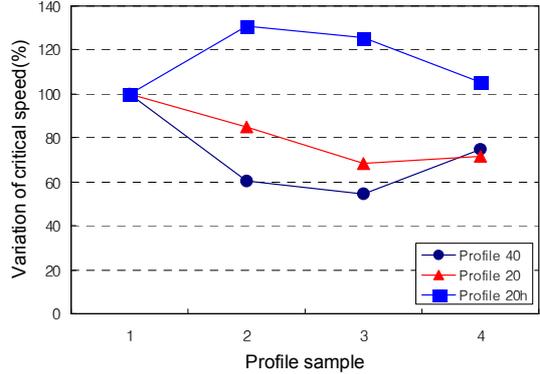


Fig. 9 Variation of the critical speed

### 4. 결론

차륜담면형상 마모가 차량 주행안정성 영향 미치는 영향을 분석하였다. 마모 차륜담면형상 샘플을 대상으로 차량의 임계속도를 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

원추형 차륜담면인 Profile 40, Profile 20의 경우 마모가 진전됨에 따라 등가담면구배는 증가하며 이에 따른 차량의 임계속도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 반면, 원호형 차륜담면인 Profile 20h는 마모가 진전됨에 따라 등가담면구배는 감소하고 임계속도는 오히려 증가하는 경향을 보였다.

따라서 상기 결과는 차량에 적용한 차륜담면형상의 마모 진전에 따라 임계속도에 대한 영향이 상이할 수 있다는 결과를 보여준 연구로서 향후 차륜 유지보수 및 안정된 주행성능 확보차원에서 효율적인 차륜담면관리 방안 도출에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 허현무 외, "기존선 차륜담면형상의 마모패턴 분석", 한국철도학회 춘계학술대회, pp. 651~655, 2003
2. 허현무, 유원희, "고속철도 차륜담면의 마모특성에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제8권 제5호, pp.477-483, 2005.
3. 허현무, "차륜/궤조륜 기하학적 접촉특성에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제9권 제5호, pp.618~623, 2006
4. 허현무 외, "1/5 스케일 축소대차 임계속도에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제10권 6호, 2007
5. Oldrich Polach, "A Fast Wheel/Rail Forces Calculation Computer Code", Vehicle System Dynamics, pp.728~739, 1999
6. J. Zeng, W. H. Zhang, H. Y. Dai, X. J. Wu, Z. Y. Shen, "Hunting Instability Analysis and  $H^\infty$  Controller Stabilizer Design for High Speed Railway Passenger Car", Vehicle System Dynamics, pp.655~668, 1998