

철도차량 조향제어를 위한 차륜담면형상(안) 개발 Development of Wheel Profile for Active Steering of Railway Vehicle

*#허현무¹, 김민수¹

*# H. M. Hur(hmhur@krii.re.kr)¹, M.S. Kim¹

¹ 한국철도기술연구원 주행추진연구실

Key words : wheel profile, steering bogie

1. 서론

곡선구간 주행 시 윤축의 능동 조향 제어를 통한 곡선주행성능 향상을 기하기 위해서는 차륜의 담면형상 개선이 필요하다. 즉 좌우 차륜의 구름반경차를 이용한 조향제어 방식에 있어서 기존의 직선 고속주행에 적합한 차륜담면형상으로는 원하는 구름반경차가 발생하기 전에 플랜지 접촉에 이르기 때문에 조향제어를 수행하기 어렵다. 따라서 곡선구간 주행 시 원하는 구름반경차 발생이 가능한 조향제어에 효율적인 차륜담면형상 개발이 선결되어야 한다.[1]

따라서 본 논문에서는 효율적 능동조향제어를 위한 차륜담면형상(안) 개발 연구를 수행하였다. 설계 요구조건에 부합한 차륜담면형상을 도출할 수 있는 설계 기법을 제시하였다. 설계기법을 적용하여 차륜담면형상(안)을 제시하였으며 동적 성능에 대하여 분석하였다.

2. 차륜담면형상 설계기법

기존의 철도차량에는 Fig. 1과 같은 원추형 1/20 구배 차륜담면형상이나 원추형 1/40 구배 차륜담면형상 그리고 원호형 1/20 구배 차륜담면형상이 적용되고 있다. 원추형 담면의 경우 60g 레일간의 등가담면구배는 0.025와 0.055로서 매우 작아 곡선구간 주행 시 요구되는 구름반경차를 얻기가 어렵다. 원호형 담면의 경우에는 등가담면구배가 0.44로서 매우 높다고 할 수 있다.[2, 3]

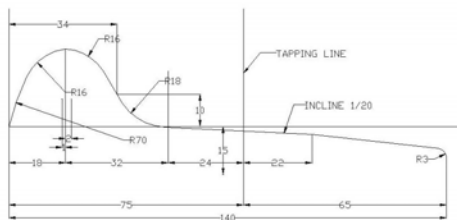


Fig. 1 1/20 wheel profile

한편, 능동 조향제어를 위하여 적절한 등가담면구배는 약 0.2 정도로서 R300의 곡선반경 통과 시 윤축의 횡변위를 약 5~6mm 정도 발생시켜도 곡선주행에 적합한 원하는 구름반경차를 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 등가담면구배 설계 목표를 0.2로 하였으며 Fig. 1과 같은 원추형 1/20구배 차륜담면형상을 기본형상으로 하였다. 제안한 차륜담면형상 설계 기법은 다음과 같으며 흐름도는 Fig. 2와 같다.

- ① 등가담면구배 설계목표치와 레일 단면형상, 초기 차륜담면형상을 입력으로 하고 초기 차륜담면형상의 최적화가 필요한 설계영역을 설정한다.
- ② Fig. 3과 같이 초기 차륜담면형상의 설계영역(·)에 고정설계점(x)을 설정하고 가변설계점(●)을 설정한다.
- ③ 가변설계변수 s_1, s_2 의 Y좌표를 $y_0 \leq s_1, s_2 \leq y_f$ 의 영역에서 일정 증분 간격으로 변화시킨다.
- ④ 고정설계점과 가변설계점 들을 연결하는 spline 곡선을 생성시켜 임시 차륜담면형상을 생성한다.
- ⑤ 임시 차륜담면형상에 대하여 플랜지두께, 플랜지높이와 같은 치수를 해석하고 차륜담면형상에 대한 곡률반경을 해석한다. 또한, 레일과의 접촉점 해석을 수행하여 등가담

면구배를 구한다.

- ⑥ 차륜 치수기준, 레일과의 2점접촉 여부, 등가담면구배 목표치 기준을 비교하여 충족하면 종료하고 그렇지 않으면 ③으로 가서 위 판정기준이 충족될 때까지 반복한다.

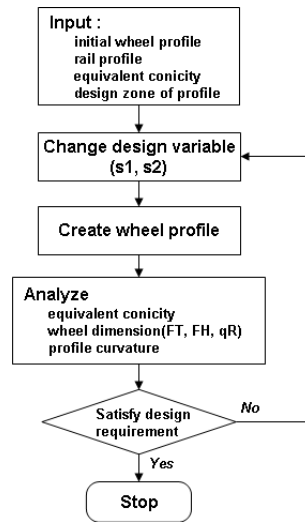


Fig. 2 Flow-chart

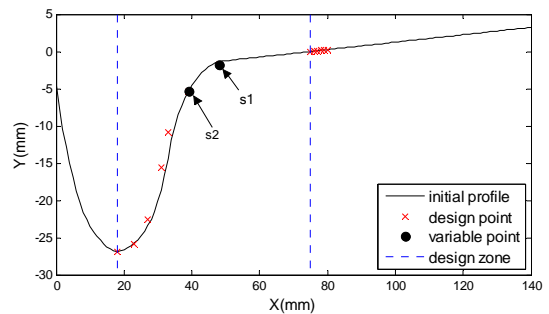


Fig. 3 Design points of the wheel profile

3. 설계안 도출

Table 1과 같은 차륜담면형상 설계에 적용된 설계 변수 값을 적용하여 설계조건을 충족하는 차륜담면형상안을 도출하였다. Fig. 3은 설계변수 s_1, s_2 에 따른 후보 차륜담면형상에 대한 등가담면구배를 해석한 결과이다. 이 결과 중 차륜 치수 조건과 레일과의 2점 접촉이 발생하지 않는 결과를 추출한 것이 그림의 (●)으로 표시되어 있다. Fig. 4는 설계조건을 충족한 결과 중 초기 차륜담면형상과 가장 형상 변화가 적은 담면형상을 나타낸다. Table 2는 새로운 차륜담면형상에 대한 치수 및 등가담면구배 해석결과를 나타낸다.[4]

Table 1 Design values for new wheel profile generation

Parameter	Property
Initial wheel profile	Arc type 1/20 profile
Rail profile	60kg rail

Equivalent conicity	0.2
Flange-back distance	1,354 mm
Constraints of the variable points	$0 \leq s_1, s_2 \leq 1$
Increment of the variable point	0.1 mm

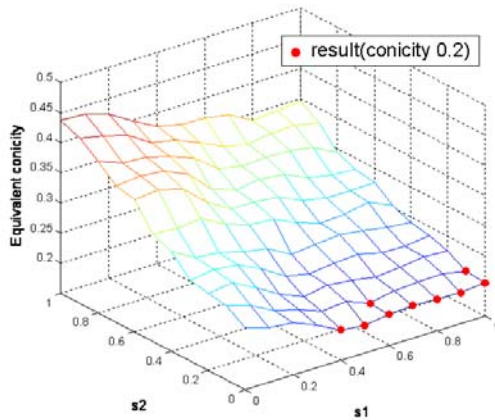


Fig. 4 New wheel profile

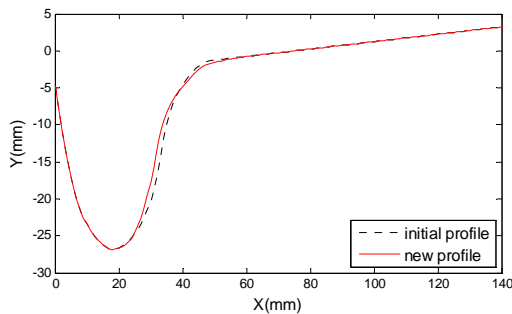


Fig. 5 New wheel profile

Table 2 Characteristics of the new wheel profile

Parameter	Initial profile	New profile
Flange thickness(mm)	35.0	33.6
Flange height(mm)	26.9	26.7
qR	10.1	8.9
Flange gradient(deg)	69.2	69
Equivalent conicity	0.55	0.20

4. 동적성능 해석

도출된 차륜담면형상의 주행안정성 및 곡선주행 시 횡압특성 등을 분석하기 위하여 주행 동특성 해석을 수행하였다. 해석에 적용한 차량은 국내 전동차를 대상으로 하였으며 기존 차륜담면형상 적용시의 동적 특성과 비교하였다. Table 3은 동적 특성 해석 결과를 나타낸다.

Fig. 6은 R300 곡선 주행 시의 외륜 횡압을 해석한 결과이다.

새로운 차륜담면형상의 임계속도는 250m/s 이상으로서 능동 조향대차 적용 대상으로 하고 있는 150km/h급 이하 차량의 속도 범위를 충분히 상회하고 있음을 알 수 있다. R300 곡선구간 주행 시 횡압을 보면 기존 담면형상이 23.2kN임에 비하여 새로운 담면형상은 18.7kN으로서 약 20% 정도 횡압이 저감되고 있으며 탈선계수도 저감되고 있음을 알 수 있다. 또한 유증감소율은 큰 변화가 없으며 전동차나 기존철도 운용 구간에서 적용 중인 50kgN, 60kg 레일과의 접촉 시 기존 담면형상은 50kgN 레일과 2점 접촉이 발생함에 비하여 새로운 담면형상은 2점 접촉 현상이 발생하지 않음을 알 수 있다.

따라서 효율적 능동 조향제어를 위하여 제안된 새로운 차륜담면형상은 설계 조건 및 동적 성능을 충족하고 있고 기존 차륜담면형상에 비하여 향상된 주행성능을 보일 것으로 예측된다.

Table 3 Results of the dynamic analysis

Parameter	Initial profile	New profile
Critical speed(km/h)	320	250
Lateral force(kN)	23.2	18.7
Derailment coefficient	0.44	0.35
Wheel unloading(%)	13.9	13.7
2point contact with 50kgN, 60kg rail	50kgN	-

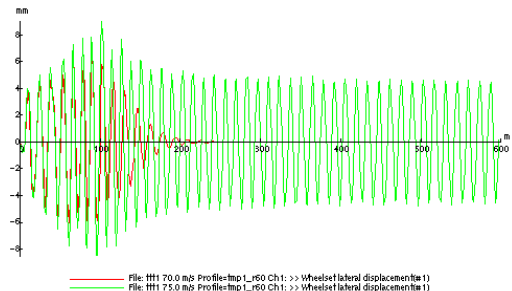


Fig. 5 Result of hunting analysis(new wheel profile)

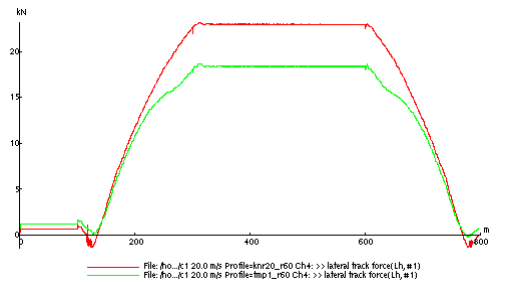


Fig. 6 Lateral force of new wheel profile

5. 결론

효율적 능동조향제어를 위한 새로운 차륜담면형상 개발 연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

설계 요구조건에 부합한 차륜담면형상을 도출할 수 있는 설계 기법을 제시하였다. 새로운 차륜담면형상은 설계 조건을 충족하였으며 충분한 동적 안정성을 나타냈다. 곡선구간 주행 시의 동적 성능은 기존 차륜담면형상에 비하여 우수한 특성을 나타내었으며 특히, 횡압은 약 20% 정도 저감될 것으로 해석되었다.

따라서 제안한 차륜담면형상 설계 기법은 목표로한 설계 조건에 부합할 수 있는 설계안을 도출할 수 있는 효율성을 보였다고 판단된다. 제안된 설계기법은 향후 신조 차량 개발 시, 혹은 기존 차량의 새로운 차륜담면형상 개발 시 유용하게 활용될 것으로 기대한다. 또한, 본 논문에서 제안된 차륜담면형상에 대한 안정성 시험이 추후 진행될 계획이다.

참고문헌

1. 유원희 외, “도시형 친환경 열차대차시스템 개발”, 한국철도기술연구원, pp.231 ~ 289, 2007
2. 허현무 외, “경제적 차륜담면 관리기술 개발”, 철도청, 2004
3. 허현무 외, “기존선 차륜담면형상의 마모패턴 분석”, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.651 ~ 655, 2003
4. 허현무, “차륜/궤조류 기하학적 접촉특성에 관한 연구”, 한국철도학회논문집, 제9권 제5호, pp.618 ~ 623, 2006