

차륜/레일 기하학적 인자의 등가담면구배에 미치는 영향

A study on the influence of wheel/rail geometric parameters to equivalent conicity

허현무* 권성태* 김형진**
Hur, Hyun-Moo Kwon, Sung-Tac Kim, Hyung-Jin

ABSTRACT

The geometric parameters between wheel and rail change wheel/rail contact geometry characteristics, and this influence dynamic behavior of rolling stock. So, the selections of optimum geometric parameters between wheel and rail is important for planning of railway system. In this study, we have analyzed the influence of geometric parameters like wheel flange-back distance, gage, and rail inclination to the equivalent conicity relating dynamic behavior. The analyses show the following results. The widening of wheel flange-back distance increase the equivalent conicity, the widening of gage, rail inclination 1/30 compared with rail inclination 1/40 decrease the equivalent conicity.

1. 서론

철도차량의 직선선로 주행시의 고속주행 안정성은 차량 현가계 구성요소인 스프링, 댐퍼, 부쉬류와 같은 현가계요소 특성에 의하여 결정된다. 또한 차량의 안정성에 영향을 미치는 인자로는 차량이 주행하는 궤도와와의 적합성에 의한 영향이 크며 이에 는 차륜과 레일의 담면형상, 궤간, 차륜내면거리, 레일경과등과 같은 기하학적 접촉특성에 영향을 미치는 인자를 들 수 있다. 이러한 기하학적 인자는 차륜/레일 접촉시 접촉점 위치를 변화시키며 이는 특히 고속주행시 안정성과 관련된 인자인 등가담면구배(equivalent conicity) 특성을 변화시켜 차량의 동적 거동에 영향을 미친다.

따라서, 본 연구에서는 차륜/레일의 기하학적 인자인 차륜내면거리, 궤간, 레일경과의 변화에 따라 차량의 동적 성능과 관련된 등가담면구배 특성에 미치는 영향을 분석하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 국내에서 적용중인 차륜과 레일의 담면형상을 중심으로 각 인자의 변화에 따른 기하학적 접촉특성을 분석하였다.

2. 기하학적 인자의 등가담면구배에 대한 영향 분석

차륜의 내면거리, 궤간의 치수, 레일경과와 같은 기하학적 치수 변화에 의한 차륜과 레일의 접촉특성 영향분석을 수행하였다. 차륜과 레일간의 기하학적 접촉특성 분석에 한정하여, 1개의 차륜과 2개의 차륜으로 구성된 윤축과 좌우 레일로 구성된 해석 모델을 구성하였다. 차륜의 담면형상은 접촉시 윤축의 횡방향 거동에 따른 접촉특성이 연속적으로 나타내는 구배1/20인 원호형 heumann담면으로 하였으며 레일의 두부형상은 국내 기존선 구간의 대부분을 차지하고 있는 50kgN레일을 대상으로 하였다. 접촉해석시 활용한 형상 및 수치는 각 각의 도면에 의거하여 모델

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

일하였다. 차분/레이인 접촉점위치 해석은 자체 개발한 차분/레이인 기하학적 접촉특성 프로그램을 활용하였으며 등가담면구배의 영향을 중심으로 기하학적 특성 변화량 분석하였다. 그림1과 그림2는 본 해석에 적용한 차분 및 레이인 대한 도면을 나타낸다.

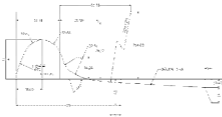


그림1. KNR 1/20heumann profile

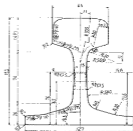


그림2. KNR 50kgN Rail

2.1 등가담면구배

원추형 담면이 아닌 담면형상을 적용한 차분의 경우, 윤측횡변위와 구름반경차의 관계는 선형적이지 않다. 윤측횡변위 y 에 대한 구름반경차의 관계는 그림3과 같다. 이러한 비선형관계로부터 인차함수로 선형화 하여 구한 기울기를 등가담면구배(equivalent conicity, λ_e)라 하며 아래의 식으로 정의한다.

윤측 횡변위에 따른 윤측의 운동변동에 대해서는 weighting function이 부가되며, 통상적으로 weighting function은 정규분포가 활용된다. 등가담면구배 산정시의 정규분포에 적용하는 수치를 예상 들면, 좌우차산 및 레인형상이 대칭이라고 가정할 때 평균(m) 0, 표준편차(σ) 2.5가 통상적으로 적용되며 $\pm 2\sigma$ 의 범위까지 선형화한다. 인차함수의 선형화는 Bootton's method가 적용된다. 볼렌지점측이 발생하지 않는 영역에서 인차함수로 선형화하여 구한다. 일반적으로 레일이 좌우수축, 볼렌지 내면거리를 증가시킬수록, 레일노부를 원평하게 할수록, 레일기울기를 크게 할수록, 차륜 중심저측부를 보강할수록, 차륜과 레일의 접촉반경을 부합함에 따라 등가담면구배는 증가한다고 보고되고 있다.

$$\lambda_e = \frac{1}{2} \int \frac{N(y)(r_R - r_L)}{y} dy$$

여기서, $N(y)$: Weighting Function(Normal distribution)

$r_R - r$: Rolling Radius Difference(mm)

y : Lateral Shift(mm)

등가담면구배는 BRR에 의한 구분을 적용하자면, 통상적으로 "high", "medium", "low"로 구분되며, 다음과 같다.

- low conicity : $\lambda < 0.15$
- medium conicity : $0.15 < \lambda < 0.3$
- high conicity : $0.3 < \lambda$

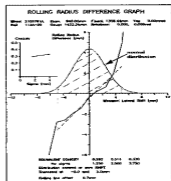


그림3. Equivalent Conicity

2.2 차륜내면거리의 영향

레일경과 1/40, 궤간 1,435mm인 레일에 대하여 차륜내면거리를 1,350~1360까지 변화시키면서 차륜/레일 접촉시의 기하학적 특성을 분석하였다. 그림4~그림6은 차륜내면거리 변화에 따른 차륜/레일 접촉점 분포를 나타낸다. 내면거리 1,356mm일 경우에 비교하여 내면거리가 작아지면 접촉점 분포가 차륜담면부와 레일두정면으로 이동하며, 반대로 내면거리가 커지면 차륜 플랜지부와 레일의 게이지코너부로 집중됨을 알 수 있다.

따라서, 그림7과 같이 윤축의 횡방향 이동에 따른 차륜 구름반경차(rolling radius difference)의 기울기는 윤축 횡변위에 따라 내면거리가 커지면 커지며 작아지면 작아지는 경향을 나타낸다. 또한, 그림8과 같이 차륜 접촉각차(contact angle difference)와 그림9의 윤축 뒹각(wheelset roll angle)의 변화도 윤축 횡변위에 따라 내면거리가 커지면 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다.

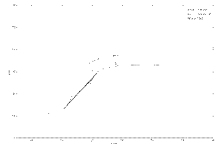


그림4. 내면거리 1,350mm인 경우의 접촉점 분포(궤간 1,435mm)

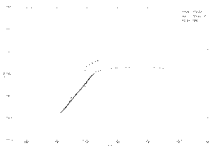


그림5. 내면거리 1,356mm인 경우의 접촉점 분포(궤간 1,435mm)

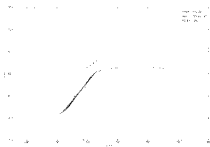


그림6. 내면거리 1,360mm인 경우의 접촉점 분포(궤간 1,435mm)

그림10은 차륜내면거리에 따른 등가담면구배의 영향을 나타낸다. 등가담면구배 산출시 평균(m)은 0, 표준편차(σ)는 1.5 혹은 2.5로 하여 2σ 까지 산출하였다. 등가담면구배 산정영역을 $\pm 3\text{mm}$ 혹은 $\pm 5\text{mm}$ 로 함에 따라 결과가 다소 차이는 있으나 내면거리 증가에 따라 등가담면구배도 증가하는 특성을 나타내고 있다. 이는 앞서 접촉점 분포가 게이지코너부로 이동함에 따라 좌우 차륜반경차가 커짐에 기인한다고 할 수 있다.

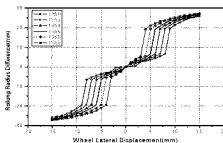


그림7. 차륜내면거리에 따른 구름반경차의 영향

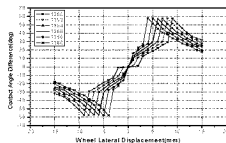


그림8. 차륜내면거리에 따른 접촉각차의 영향

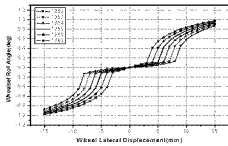


그림9. 차륜내면거리에 따른 유속물각의 영향

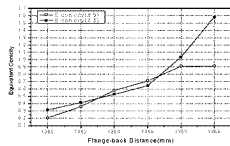


그림10. 차륜내면거리에 따른 등가달면구배의 영향

2.3 궤간의 영향

차륜내면거리가 1,356mm인 유속에 대하여 레일경과 1/40인 레일의 궤간을 1,430~1,445mm의 범위 내에서 변화시켜 차륜/레일 접촉시 기하학적 특성을 분석하였다. 그림11~그림12는 궤간의 치수 변화에 따른 차륜/레일 접촉점 분포를 나타낸다. 표준궤간 1,435보다 작은 경우를 가정한 그림11을 보면 궤간이 작아짐에 따라 차륜플랜지와 레일간의 유간이 작아지며 따라서 유속 횡변위에 따른 차륜/레일 접촉점은 차륜플랜지와 레일게이지코너부으로 분포됨을 알 수 있다. 반면 그림12와 같이 궤간이 커지면 차륜플랜지와 레일간의 유간은 커져서 접촉점은 차륜달면부와 레일두정면으로 이동하여 분포된다.

따라서, 궤간의 감소는 차륜내면거리 증가와 유사한 기하학적 특성을 나타내며, 차륜/레일 접촉시 차륜의 좌우반경차의 기울기를 크게 하여 등가달면구배를 증가시키게 한다. 그림13은 궤간의 변화에 따른 등가달면구배의 영향을 나타내며 궤간의 증가에 따라 등가달면구배는 감소하는 경향을 나타낸다.

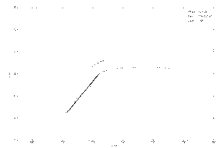


그림11. 궤간 1,430mm인 경우의 접촉점 분포(내면거리 1,356mm)

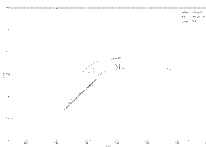


그림12. 궤간 1,440mm인 경우의 접촉점 분포(내면거리 1,356mm)

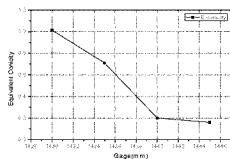


그림13. 궤간에 의한 등가달면구배의 영향

2.4 레일 경과의 영향

차륜내면거리 1,356mm인 유속에 대하여 궤간 1,435mm인 레일의 경과가 변화함에 따른 차륜/레일 접촉시 기하학적 특성을 분석하였다. 그림14는 레일경과 1/40인 경우의 접촉점 분포를 나타내며, 그림15는 레일경과 1/20인 경우의 접촉점 분포를 나타낸다. 차륜/레일 접촉시의 접촉점 분포

를 살펴보면, 레일경과 1/20인 경우가 레일경과 1/40인 경우에 비하여 접촉점이 차륜플랜지부와 레일헤이지코너의 측부로 이동함을 알 수 있다. 이는 차륜과 레일의 접촉시 레일의 부설 기울기에 따라서 기하학적 접촉복성이 변화하고 있음을 알 수 있다.

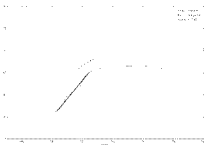


그림14. 레일경과 1/40인 경우의 접촉점 분포

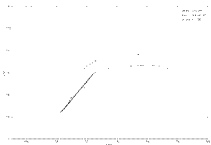


그림15. 레일경과 1/20인 경우의 접촉점 분포

그림16은 레일경과에 대한 등가담면구배의 영향을 분석한 선도이다. 레일경과의 기울기가 작을수록 즉, 레일경과 1/40이 경과1/20에 비하여 내면거리 변화에 따른 등가담면구배 변화가 작음을 알 수 있다. 이는 레일경과의 기울기가 클수록 차륜/레일 접촉시 접촉부에서의 급격한 형상변화를 유발하고, 이는 차륜의 좌우반경차나 접촉각차와 같은 기하학적 파라미터 특성에 큰 영향을 미침을 의미한다.

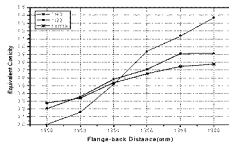


그림16. 레일경과에 의한 등가담면구배의 영향

3. 결 론

상기와 같이 차륜과 레일에 대한 기하학적 인자의 치수 변화에 따른 기하학적 접촉복성 및 등가담면구배에 미치는 영향에 대하여 해석하였다. 해석결과, 차륜내면거리 증가에 따라 등가담면구배는 증가하는 특성을 나타내고 있으며, 궤간의 증가에 따라 등가담면구배는 감소하는 경향을 나타냈다. 또한, 레일경과의 기울기가 작을수록 즉, 레일경과 1/40이 경과1/20에 비하여 내면거리 변화에 따른 등가담면구배 변화가 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

따라서, 차륜/레일간 기하학적 인자의 수치 변화에도 기하학적 접촉복성은 민감하게 변화하므로 차량의 안전된 동적 거동 확보 측면에서 차륜/레일간 기하학적 인자에 대한 최적화 연구가 향후 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Nefzger, "Development of the S1002 Wheel Profiles on the DB Network", ERRI Report DT81(C116)E
2. R. Heller, N.K. Cooperrider, "Users Manual for Asymmetric Wheel/Rail Contact Characterization Program", 1977
3. "Calculation of Equivalent Conicities for the S1002 Wheel Profile on UIC60 Rails", ERRI Report DT54/E
4. 허현무 외, "경제적 차륜담면관리기술 개발 3차년도 최종보고서", 철도청, 2004