

곡선부 플랜지 접촉에 대한 철도차량 주행 특성에 대한 고찰

Running Characteristic Analysis of Railway Vehicle by Wheel/rail contact in Curved track

신유정† · 유원희*

Yu-Jeong Shin, Won-Hee You

1. 서 론

철도차량이 곡선부를 주행하면서 발생하는 힘은 크게 철도차량과 트랙 사이의 동적 상호 작용력과 차륜 profile의 기하학적 형상 및 원심력, 중력에 의한 복원력 사이의 불균형에 의해 발생하는 상호작용력 두 가지로 볼 수 있다. Lateral Force는 차륜과 레일 마모의 주된 원인이며, 큰 Lateral Force와 작은 윤증은 곡선을 주행할 시 차량의 전복을 유발하는 원인이 된다. 이와같은 이유로 곡선 주행시 철도차량의 메커니즘에 관한 연구는 현가장치 설계 뿐만 아니라 열차운행의 효율성과 안전을 위해서도 필요하다. 따라서 본 논문에서는 철도차량의 곡선주행 시 차륜과 레일사이의 접촉특성을 고려한 상호작용력과 1차 현가장치의 강성이 곡선 주행성능 분석에 미치는 영향에 대해 알아보고자 한다.

2. 철도차량의 동적 특성

2.1 철도차량 모델링

철도차량 모델링은 Lateral(횡방향), Yaw(요방향)에 대해 각각 윤축, 대차, 차체에 대해 14자유도로 구성되며, 윤축과 대차는 1차 현가장치, 대차와 차체는 2차 현가장치로 연결되어 있는 구조이다. 윤축 4개, 대차 2개, 차체 1개로 이루어진 각각의 운동방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$m_w(\ddot{y}_{wi} + g\theta_{ci} - \frac{V^2}{R}) = (F_{Lyi} + F_{Ryi}) + (N_{Lyi} + N_{Ryi}) + F_{wyi}$$

$$I_{wz}\ddot{\psi}_{wi} = -I_{wy}(V/r_o)\dot{\phi} + R_{Rxi}(F_{Ryi} + N_{Ryi}) - R_{Ryi}F_{Rxi} + R_{Lxi}(F_{Lyi} + N_{Lyi}) - R_{Lyi}F_{Lxi} + F_{wpi}$$

$$m_b(\ddot{y}_{wi} + g\theta_{ci} \frac{g(\theta_{ci} + \theta_{c(i+1)})}{2} - \frac{(R_i + R_{i+1})V^2}{2(R_i R_{i+1})}) = F_{byj}$$

$$I_b\ddot{\psi}_b = F_{bpj}$$

† 신유정; 한국과학기술대학교 (철도기술연구원 캠퍼스)

E-mail : yjshin@krri.re.kr

Tel: (031) 460-5261, Fax: (031) 460-5299

유원희: 한국철도기술연구원 주행추진연

* 구실

$$m_c(\ddot{y}_c + \frac{g}{4}(\theta_{c1} \sim \theta_{c4})) - \frac{V^2}{4}(\frac{1}{R_{(1 \sim 4)}}) = F_{cyj}$$

$$I_c\ddot{\psi}_c = F_{cpj}$$

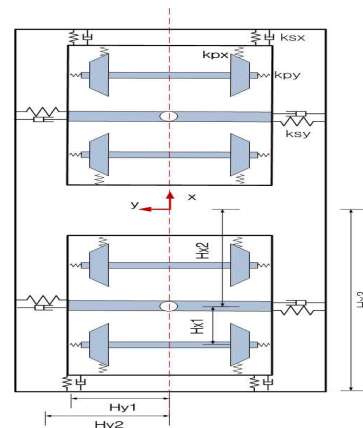


Fig. 1 철도차량 모델을 위한 개략도

$$F_{wyi} = -2k_{py}(y_{wi} \pm H_{x1}\psi_{bj} - y_{bj}) - 2c_{py}(\dot{y}_{wi} \pm H_{x1}\dot{\psi}_{bj} - \dot{y}_{bj})$$

$$F_{wpi} = -2k_{px}H_{y1}^2(\psi_{wi} - \psi_{bj}) - 2c_{px}H_{y1}^2(\dot{\psi}_{wi} - \dot{\psi}_{bj})$$

$$F_{byj} = 2c_{py}(\dot{y}_{wi} + \dot{y}_{w(i+1)} - 2\dot{y}_{bj}) + 2k_{py}(y_{wi} + y_{w(i+1)} - y_{bj}) - c_{sy}(y_{bj} - y_c \mp H_{x2}\psi_c) - 2k_{sy}(y_{bj} - y_c \mp H_{x2}\psi_c)$$

$$F_{bpj} = 2c_{py}H_{x1}(\dot{y}_{wi} - \dot{y}_{w(i+1)} - 2H_{x1}\dot{\psi}_{bj}) + 2k_{py}(y_{wi} - y_{w(i+1)} - 2H_{x1}\psi_{bj}) + c_{px}H_{y1}^2(\psi_{wi} + \psi_{w(i+1)} - 2\psi_{bj}) + 2k_{px}(\psi_{wi} + \psi_{w(i+1)} - 2\psi_{bj}) - 2c_{sx}H_{y2}^2(\psi_{bj} - \psi_c) - 2k_{sx}H_{y2}^2(\psi_{bj} - \psi_c)$$

$$F_{cy} = c_{sy}(\dot{y}_{bj} + \dot{y}_{b(j+1)} - 2\dot{y}_c) + 2k_{sy}(y_{bj} + y_{b(j+1)} - 2y_c)$$

$$F_{cp} = c_{px}H_{x2}(\dot{\psi}_{b1} + \dot{\psi}_{b2} - 2H_{x2}\dot{\psi}_c) + 2k_{px}H_{x2}(\psi_{b1} + \psi_{b2} - 2H_{x2}\psi_c) + 2c_{sx}H_{y2}^2(\psi_{b1} + \psi_{b2} - 2\psi_c) + 2k_{sx}H_{y2}^2(\psi_{b1} + \psi_{b2} - \psi_c)$$

여기서, F_{yi} 와 N_{yi} 는 차륜/레일 사이의 Creep Force와 Normal Force를 각각 나타내며, 아래 첨자 w, b, v 는 각각 윤축(wheelset), 대차(bogie), 차체(carbody)를 나타낸다. 그리고 i 는 윤축의 번호를 나타내고, j 는 대차의 번호를 나타내며, θ 와 R 은 각각 곡선부에서의 cant와 곡선반경과 관련된 파라미터를 나타낸다.

2.2 철도차량 파라미터

철도차량의 곡선주행 반경은 300m, cant는 152mm로 하여 해석하였으며, Table 1은 국내 전동차의 사양을 추정한 값이다.

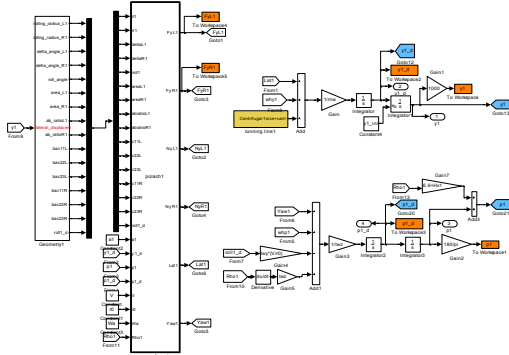


Fig. 2 Wheelset Model of Railway Vehicle(matlab&simulink)

Fig. 2는 전체 모델 중 윤축만 나타낸 것으로 차륜/레일의 기하학적 형상을 고려하여 크립력을 계산한 subsystem을 통해 횡방향과 요방향 운동방정식에 대한 프로그램을 보여준다.

Table 1 Parameter of Railway Vehicle

	Parameter	Value
Carbody	Mass of carbody(kg)	28000
	Yaw moment of inertia of carbody(kgm)	9.0e5
Bogie	Mass of half bogie(kg)	2150
	Yaw moment of inertia of bogie(kgm)	3015
Wheelset	mass of half wheelset(kg)	1687
	Yaw moment of inertia of wheelset(kgm)	1044
	Centered wheel rolling radius(m)	0.43
Primary suspension	longitudinal stiffness(N/m)	6.7e6
	lateral stiffness(N/m)	4.9e6
Secondary suspension	longitudinal stiffness(N/m)	0.167e6
	lateral stiffness(N/m)	0.167e6
Other parameters	Half of truck centre spacing(m)	6.9
	Half of wheelbase(m) - same bogie	1.05
	Half of primary suspension spacing(m)	1.0
	Half of secondary suspension spacing(m)	1.125

2.3 차륜레일 접촉 파라미터

철도차량의 곡선부 주행 시 차륜/레일 접촉 형상을 고려하기 위해 좌, 우차륜의 구름반경, 접촉타원의 장반경과 단반경의 비, 접촉각, 접촉면적의 변화와 같은 파라미터를 윤축

의 횡방향 변위가 $\pm 15\text{mm}$ 씩 이동하여 구한 값으로 Fig. 2는 차륜 반경과 접촉면적 변화를 나타낸 그림이다.

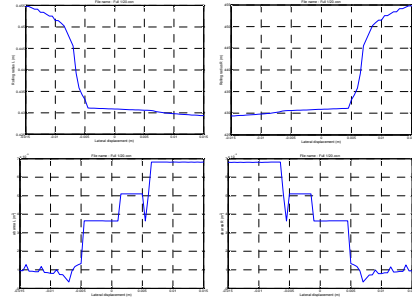


Fig. 3 Wheel/rail contact geometry

3. 해석결과

Fig. 4는 철도차량이 곡선을 주행할 때 좌, 우 차륜의 횡방향 변위를 나타낸 결과이며, Fig. 5는 좌, 우차륜의 반경 변화와 횡방향 크립력을 나타낸 그림이다.

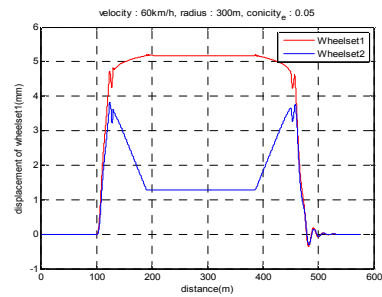


Fig. 4 lateral displacement of wheelset

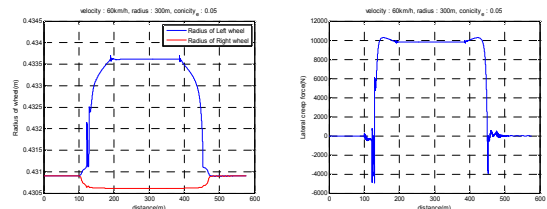


Fig. 5 radius of wheel and lateral creep force

4. 결 론

1차 현가장치의 강성값은 윤축의 yaw 운동에 중요한 영향을 미치며, 이는 곡선 주행 시 spin creepage에도 영향을 미치게된다. 좌, 우 lateral creepage가 같다고 하더라도 lateral creep force는 같지 않은데 그 이유는 lateral creep force 수식에는 spin creepage가 포함되는데 이것의 좌,우가 같지 않기 때문이다. spin creepage는 1차 현가장치의 강성의 영향을 받는 factor이므로 곡선 주행시 차륜/레일의 접촉 특성을 고려하여 해석한다면 현가장치의 강성 변화가 곡선주행에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 특성을 파악할 수 있으리라 예상된다.