

틸팅 차량의 곡선 주로 주행 시 감속에 따른 동적 특성 연구

A Study of Dynamic Behavior in Braking States of Tilting Train.

이진형† · 박태원* · 김영국** · 김석원** · 황철하***

J.H.Lee, T.W.Park, Y.K.Kim, S.W.Kim and C.H.Hwang

Key Words : Motor Fail(모터 고장), Regenerative Braking Force(회생제동력), Disk Braking Force(공기제동력).

ABSTRACT

Tilting train improves a traveling velocity through giving a tilt the car-body without ride comfort deterioration in curve. Dynamic behavior in deceleration will show quite another feature in constant velocity. In this study, we see through the dynamic behavior due to a variation of braking force in Korean Tilting Train. Hence we compose of 3D dynamic model, as well as we check upon the property in service braking condition and unique braking condition with a fault system. This study has the meaning with reference data of developing Korean Tilting Train test traveling.

1. 서 론

국내에서도 국가물류 수송의 경쟁력 향상과 증가되는 교통수요에 부응하기 위해 경부 고속철도의 건설 등 철도의 고속화와 수송량 증대에 많은 관심과 투자가 이루어지고 있다.

특히 경부고속철도의 2004년 개통과 함께 국토의 균형발전과 철도의 경쟁력 제고를 위해, 기존 노선에서의 고속서비스 제공의 필요성이 크게 대두되고 있으며 이를 위하여 곡선 궤도가 많고 구간에 적합한 틸팅 차량을 투입 운행하기 위한 방안이 강구되고 있다. 이미 여러 선진국에서 틸팅 차량의 도입이 확산되고 있으며 최근의 국내에서는 최근의 어려운 경제 환경을 감안, 비교적 적은 투자를 필요로 하는 틸팅 차량을 적용하여 기존 노선의 속도향상을 도모하려는 노력이 기울여지고 있다.

틸팅 철도차량은 곡선부 주행구간에서 차체를 경사시켜 승객이 느끼는 횡가속도를 저감시킴으로써 곡선부의 주행속도를 향상시키는 원리이다. 이러한 틸팅 철도차량의 개발을 위해서는 틸팅 대차의 동특성 모델링을 통한 곡선부에서의 동역학적 특성 해석 및 안전성을 평가할 수 있는 연구가 매우 중요하다. 특히 곡선부에서 차량의 감속 시 모터의 고장에 따른 동적 특성은 일반적인 주행 상황과는 다른 특성을 나타낼 것이므로 이러한 조건에

서의 연구가 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 동역학 해석 프로그램인 DADS⁽¹⁾를 이용하여 견인 및 제동력의 변화에 기인한 틸팅 차량의 거동에 대한 동특성을 살펴보았다. 연구의 진행을 위해 차량의 3 차원 모델을 구성하고 대차 및 틸팅 메커니즘 모델을 구성하여 틸팅 차량의 견인 및 제동 상황을 구현할 수 있는 전체 차량 모델을 구현하였다. 그리하여 견인 및 제동 상황의 시뮬레이션을 통하여 동적 거동 특성을 살펴보았다

2. 동역학 모델링 개요

2.1 틸팅 차량의 동역학 모델링

틸팅 차량의 동역학 모델은 Fig. 1과 같이 구성되어 있다. 차체, 틸팅 볼스터, 대차, 윤축 등의 기본 몸체를 현가 장치 및 링크로 연결한 구조이다.

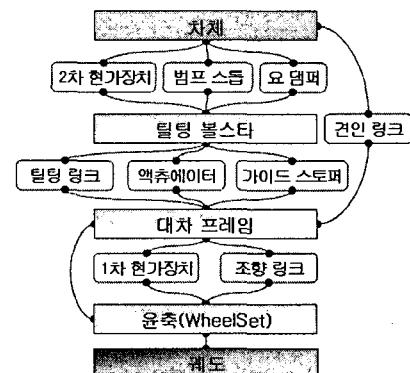


Fig. 1 Outline of tilting train modeling

† 아주대학교 기계공학과 대학원

s-coma@hanmail.net

Tel : (031) 219-2925, Fax : (031) 219-1965

* 아주대학교 기계공학부

** 한국 철도 기술 연구원

*** 아주대학교 기계공학과 대학원

Tabel. 1 Mass of model

구분 (Kg, Kg·m ²)	Bogie Frame	Wheel andAxle	Bolster	Carbody
MCP	Mass	3755	2103	1113
	Roll	1800	1300	420
	Pitch	3800	1300	30
	Yaw	4200	112	420
TC	Mass	2437	1716	1113
	Roll	1200	1200	420
	Pitch	2400	1200	30
	Yaw	3600	112	430
				1733000

Tabel. 2 Property of suspension

구 분	항 목	Mcp	T
1 차 현가장치	종방향 공기스프링 상수 (KN/m)/ea	1400	1400
	횡방향 공기스프링 상수 (KN/m)/ea	3600	3600
	수직방향 공기스프링 상수 (KN/m)/ea	1000	1000
	토션바 등가 강성 (KN-m/rad)	4000	4000
2 차 현가장치	종방향 공기스프링 상수 (KN/m)	180	170
	횡방향 공기스프링 상수 (KN/m)	180	170
	수직방향 공기스프링 상수 (KN/m)	450	400
	안티롤 바 (KN-m/rad)	2800	2800
	요댐퍼 감쇠 상수 (KN/m/s)	150	150
	횡댐퍼 감쇠 상수 (KN/m/s)	30	30

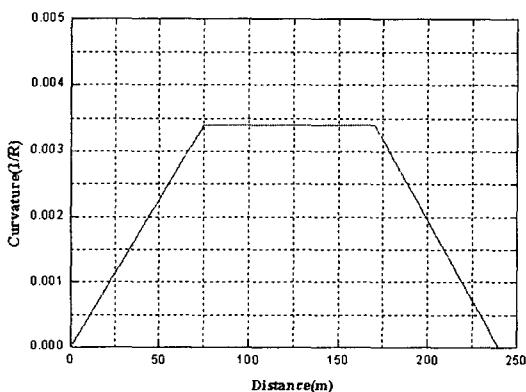


Fig. 2 Curvature of Rail

Table. 1 은 주요 몸체의 질량을 나타내 주며 Table. 2 는 현가장치의 특성을 나타내고 있다.

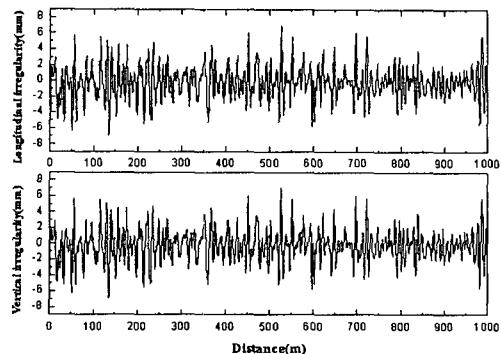


Fig. 3 Rail irregularity

곡선 주로는 Fig. 3 과 같이 곡선 완화부 75m, 본 곡선 장 100m, 곡률 반경 300R, 캔드 100mm 로 모델링 되었다. 레일 불규칙도는 Fig. 3 과 같은 실제 선로의 데이터로 모델링 되었다.

2.2 제동 모델 시나리오

틸팅 열차의 동적 특성을 살펴보기 위해 여러 상황을 부여 하여 시뮬레이션 하였으며 본 연구에서는 가장 큰 관심을 가지고 있는 제동상황에서의 결과 값만을 고려하였다.

Fig.4 와 같은 제동력 선도를 토대로 차량 모델의 휠에 속도에 따른 토크를 입력하여 주행 상황을 구현 하였으며 회생제동, 공기제동 값을 계산한 값이고 단면 제동 값은 고속 전철의 제동 선도를 참고하여 입력하였다.

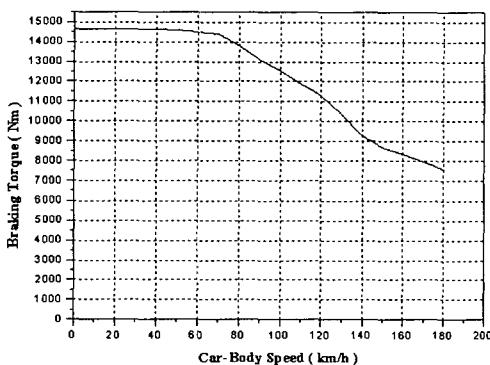


Fig. 4 Braking Force

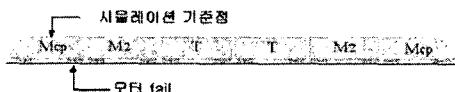


Fig. 5 Formation of tilting train

Tabel. 3 Scenario of braking model

	R300			R1000		
	시간 (sec)	속도 (m/s)	위치 (m)	시간 (sec)	속도 (m/s)	위치 (m)
감 속	10	17.2	212 (완화)	3.36	47.8	164 (본곡선)

Fig.5 에서는 텔링 철도 차량의 편성에 대하여 나타내고 있다. 현재 개발중인 텔링 철도 차량은 6량 1편성으로 되어 있으며, 이 중 견인 전동기는 Mcp 차체와 M2 차체에 각각 4개씩 설치되어 있다. 이 중 첫 번째 차체의 두 번째 대차가 문제를 일으키는 상황이며 위치 및 속도의 기준점은 차체의 CG 점이다. 그 때의 시간과 시뮬레이션 타임 및 위치가 Table. 3에 나타나 있다.

3. 제동 모델 해석결과

3.1 제동 모델 해석결과

모델 해석은 2.2 절에서 언급한 것처럼 곡선 선로에서 제동 시 모터 고장 상황을 시뮬레이션 하였다.

(1) R300 상황에서 제동 시

Fig.6 은 제동 시 고정 모터의 입력 토크를 보여준다. 차체의 속도가 17.2m/s 이하로 떨어지면 입력 토크값이 0 이 되도록 하여 모터의 고장을 구현하였다.

50m/s에서 제동을 하여 속도가 17.2m/s에 달하였을 때 모터가 고장나며 이때의 시간은 10sec, 위치는 곡선완화부의 시작점을 기준으로 212m 이동한 거리이다. 이 거리는 두 번째 완화 곡선부의 위치이다.

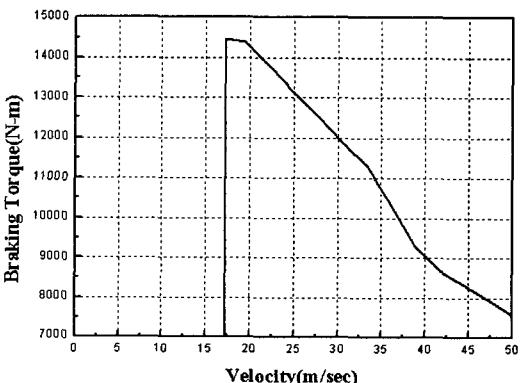


Fig. 6 Input brake torque curve(R300)

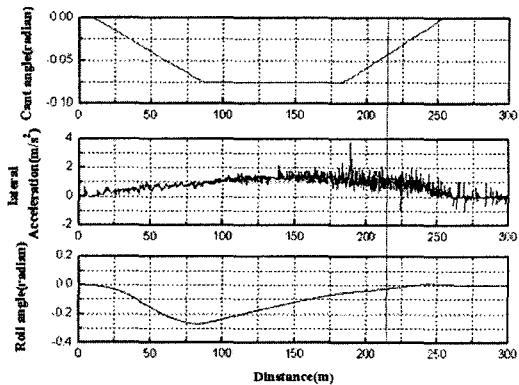


Fig. 7 Data of Carbody

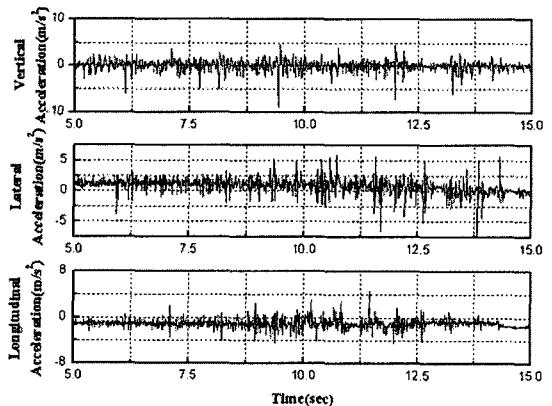


Fig. 8 Acceleration of bogie frame

Fig.7 은 cant angle, roll angle, 횡방향 가속도를 나타내주는 그래프이다. cant angle 및 차체의 roll angle의 값이 -인 것은 진행방향의 왼쪽으로 틀어져서 - 값을 가지게 된 것이다. 모터의 고장이 횡 가속도나 roll방향의 변위에 큰 영향은 미치지 않는 것을 볼 수 있다. Fig.8 을 보면 보기에서도 횡 가속도 및 수직 방향 가속도에 큰 변화는 없으나 진행 방향 가속도에선 약 0.1m/sec^2 커진 것을 확인할 수 있다.

(2) R1000 상황에서 제동 시

Fig.9 는 본 곡선장에서 모터가 고장 났을 시의 제동 곡선이다. 모터가 fail 시까지 이동거리는 164m로 본곡선 장애 해당하는 위치이며 속도는 47.8m/sec 시간은 3.36초이다.

Fig.10 과 Fig.11 에서 보듯이 모터의 고장은 차체와 보기의 횡 가속도나 수직 가속도에는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 보기의 진행 방향 가속도는 모터 고장에 영향을 받으며 모터 고

장 이후 진폭 값이 변화하다 안정되면서 기준 값보다 0.1m/sec^2 캐진 값이 된다. 이는 차체에도 영향을 미쳐 차체 역시 비슷한 가속도 값의 증가를 갖는다.

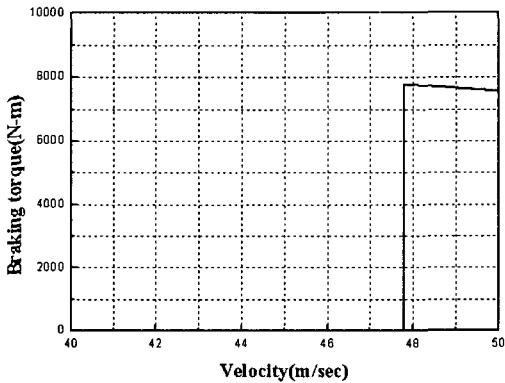


Fig. 9 Input brake torque curve(R1000)

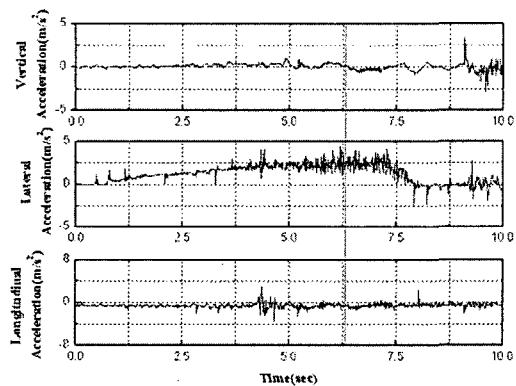


Fig. 10 Acceleration of carbody

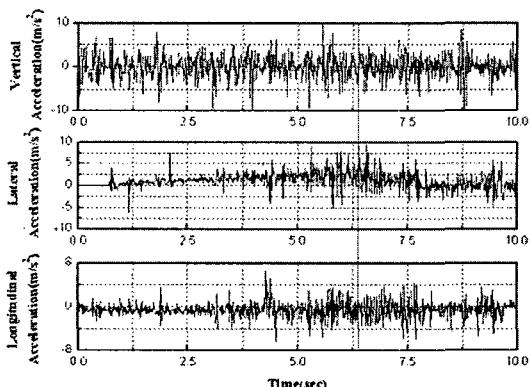


Fig. 11 Acceleration of bogie

4. 결론

이상의 연구를 통하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 털팅 철도 차량의 제동 모델에서 모터의 고장에 기인한 제동력 감소에 따른 차량의 특성에 대해 살펴볼 수 있었다.
- 2) 털팅 철도 차량 모델을 2 가지 조건에서 시뮬레이션 함으로서 차량의 동적 특성 비교를 통해 곡률이 미치는 영향을 알아볼 수 있었다.
- 3) 현재 털팅 차량 시뮬레이션 모델의 정확한 구현을 위해서는 개발 중인 털팅 차량의 정확한 설계 및 물성 자료가 요구된다. 본 모델은 털팅 차량의 실제 모델이 개발 완료된 후 시험 운행의 견인 및 제동 상황에 따른 차량의 평가에 유용하게 이용될 수 있다.

후기

본 내용은 한국철도기술연구원에서 시행하는 철도기술연구개발사업 기존선 속도향상 실용기술 개발의 결과임을 밝힌다.

참고문헌

- (1) <http://www.lmsintl.com>.
- (2) 이남진 등, 2002, "동적 모델에 의한 고속전철의 제동력 시뮬레이션", 제어/자동화/시스템공학 논문집, Vol.8, No.1, pp.46~53.
- (3) 김석원 등, 2004, "시운전시험을 통한 고속철도 차량의 제동 특성에 관한 연구", 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp.212~217.
- (4) 김완두 등, 1944, "고속전철의 제동장치 기술개발" 대한기계학회지, Vol.34, No.6, p.446~453.
- (5) 백남옥 등, 2003, 철도기술총서.
- (6) ViJAY K.Garg, 1984, Dynamics of Railway Vehicle System.