

Vampire를 이용한 경부고속철도 차량의 동적 안정성 해석

Analysis of the Dynamic Stability for the K-TGV Using Vampire Program

박 찬 경* 김 기 환* 홍 진 완* 심 태 응**
Park, Chan-Kyoung Kim, Ki-Hwan Hong, Jin-Wan Shim, Tai-Woong

ABSTRACT

Dynamic stability of a high speed train is very important. This paper presents a dynamic stability analysis of K-TGV using Vampire Program. The analysis of stability on this paper is performed in condition of track irregularity, curved track and strong gust. The critical speed of K-TGV is 140m/s, and it is stable when runs on 7000R(cant 150mm) curved track and on linear track with the body exerted 101kN lateral impulse force.

1. 서 론

고속철도 열차에 있어서 주행 안정성 확보는 매우 중요하며 차량 설계시 안전강도와 함께 우선적으로 고려되어야 한다. 이에 본 연구는 고속철도 차량중 국내 도입 운용예정인 경부고속철도 차량(K-TGV)에 대한 안정성 정도와 고속철도 차량에 적합한 안정성 해석 방향을 제시하고자 한다. 또한, 향후 경부고속전철을 근간으로 하는 G7 사업인 한국형 고속전철 기술개발사업의 차량 동특성 기본 모델로서 본 연구에서 수행한 차량 모델이 사용 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용한 프로그램은 영국 철도연구소에서 개발하여 전세계적으로 널리 사용되는 철도차량 전용 동특성 분석 프로그램인 Vampire를 이용하였다.

2. 모델링

2.1 차량 시스템

본 연구의 차량 모델은 그림1. (a)의 M+ 3T+M으로 구성된 모델(rake)과 (b)의 1량 P차량만으로 구성된 모델(p)로 구성하였다. Rake모델은 M차량 앞 뒤에 일반대차와 차체간 연결을 도모하는 관절대차로 구성되어 관절대차의 동적특성을 살펴보고자 함이며, 이는 보통 5량으로 구성되었을 때 차량과 차량간 피치(pitch)나 요(yaw)에 의한 동적 특성형태가 모두 포함되는 것으로 나타나 있기 때문이며 BR에서도 제안되는 모델 형태이다. 또한 P 모델은 일반대차 2개로 구성되는 동력차 모델로서 일반 철도차량 형태를 하고 있으며, 두 모델에 대한 물성치는 표1.과 같다.

2.2 현가장치 모델링

Rake와 P 모델에 대한 현가요소 특성치는 프랑스에서 제시한 기술이전 자료를 바탕으로 다음과 같이 모델링 하였다. 특성치의 단위는 스프링강성은 MN/m, MNm/rad 댐핑은 MN/(%), MNm/(rad/s)를 사용하였다.

* 한국 철도기술연구원, 정희원

** 한국 철도기술연구원

2.2.1 동력 객차용 대차

동력객차용 대차는 그림2.에서와 같이 1차 현가장치는 안내 스프링과 2중 코일 스프링 및 수직 오일 댐퍼로 구성되며, 2차 현가장치는 에어 스프링, 안티 롤 바, 수직 오일 댐퍼, 수평 오일 댐퍼, 안티 요 오일 댐퍼, 그리고 측면 범프 스톱과 차체와 대차의 연결을 위한 피봇 조인트로 구성되며 각각의 특성치는 표2.와 같다.

2.2.2 관절형 객차대차

관절형 객차대차는 그림3.에서와 같이 1차 현가장치는 2중 코일 스프링, 탄성 조인트, 수직 오일 댐퍼로 구성되며, 2차 현가장치는 에어 스프링, 안티 롤 바, 안티 요 오일 댐퍼, 그리고 측면 범프 스톱과 차체와 대차의 연결을 위한 탄성 조인트로 구성되며 각각의 특성치는 표3.과 같다.

2.2.3 동력차용 대차

동력차용 대차는 그림4.에서와 같이 1차 현가장치는 안내 스프링과 2중 코일 스프링 및 수직 오일 댐퍼로 구성되며, 2차 현가장치는 강철 스프링, 탄성베어링 어셈블, 수직 오일 댐퍼, 수평 오일 댐퍼, 안티 요 오일 댐퍼, 그리고 측면 범프 스톱과 차체와 대차의 연결을 위한 피봇 조인트로 구성되며 각각의 특성치는 표4.와 같다.

2.3 차체간 연결장치 모델링

관절대차에 의해 연결되는 차체간 연결은 그림5.에서와 같이 고정 링(fixed ring)과 이동 링(carrier ring)에 의한 연결장치와 댐퍼 연결장치 요소로 구성되어 있으며 그 모델 특성치는 표 5.와 같다.

2.4 휠/레일 형상 및 궤도 모델링

휠모델은 TGV열차의 NF F 01-112도면에 따라 그림 6.과 같이 모델링하였고, 레일은 그림 7.과 같이 UIC60 레일을 1/20경사를 고려하여 모델링 하였다.

본 연구에 사용된 궤도는 안정성 해석을 위하여 BR에서 제공된 불규칙도에 의한 직선 모델과 경부고속철도 궤도건설 기준에 의한 불규칙도가 없는 곡선 7000R(칸트 150mm)을 사용하였다. 또한 돌풍시의 안정성을 위하여 차체 측면방향으로 101kN의 작용력이 충격력으로 작용할 수 있도록 외부작용력을 모델링하여 사용하였다.

3. 안정성 해석 및 결과

상기 모델링을 이용하여 본연구는 궤도 불규칙에 의한 임계속도를 계산하였으며 경부 고속철도 궤도의 최소곡선 주행시와 및 직선 선로에서의 돌풍시 차량 주행안정성을 해석하였다.

3.1 rake 모델

5량 편성의 rake모델을 이용 궤도불규칙에 의한 임계속도는 레일에 대한 휠의 측면 좌우변위의 수렴정도로서 판단될 수 있으며 그림8.은 140m/s(약 500Km/h)의 주행속도에서 대차와 휠의 좌우변위이며 초기 불규칙에 의한 영향이후 매우 안정화 됨을 볼 수 있다. 그림9.는 경부고속 철도 최소 곡선 반경인 7000R(칸트 150mm)에서의 100m/s로 주행시의 차체, 대차, 휠의 좌부방향 변위이며 그림 10.은 돌풍시 100m/s로 주행하였을 경우 차체, 대차, 휠의 좌우 변위로서 돌풍에 의한 충격이후 매우 안정화 됨을 볼 수 있다. 돌풍에 대한 모델링은 프랑스 이전자료를 참조하여 차체 측면에 101kN의 충격력으로 하였다.

3.2 P 모델

1량 동력차 P모델에 대해서도 rake모델과 동일하게 수행하였으며 그 결과는 그림 11.에서 보는 바와 같이 차체, 대차, 휠에 대해 각각 도시하였다. 상단 좌측 그래프는 궤도불규칙에 의한 임계속도 계산 결과이며 140m/s(약 500km/h)로 rake와 유사하게 나타났으며, 7000R(켄트 150mm)의 곡선주행시와 돌풍시 모두 100m/s의 주행속도에서 안정화 됨을 볼 수 있다.

궤도불규칙 결과에서 대차 및 차체의 좌우변위가 8mm정도 Shift되어 안정화 되는 이유는 궤도불규칙의 좌우 불규칙이 동일한 만큼 Shift되어 있기 때문이며 휠의 경우는 레일에 대한 상대 변위로서 그 영향이 없는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구의 수행결과 경부고속열차는 매우 안정하게 설계되어 있으며 불규칙에 의한 임계속도는 500km/h 정도로서 운행속도 대역에서는 문제가 없을 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 사용한 곡선 주행시와 돌풍에 의한 강한 외부 충격조건으로 실제 주행에 대한 안정성을 살펴보았으며 이는 매우 현실성 있는 접근으로 향후 한국형 고속전철의 안정성 해석에 대한 수단을 제공할 것으로 판단되며, 이외 향후 폭넓은 고속전철의 동특성 연구수행을 기대할 수 있으며, 관련 연구에 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. "경부고속 전철 기술이전 자료"
2. "Vampire Manual PartA, PartB"
3. 홍용기, 박찬경, 김남포외8명, 1996, "대구-부산간 기존선이용 고속철도차량의 주행속도 향상에 관한연구", 철도청 과제수행 보고서
4. 김창호, 황요하, 임진수, 박찬경 외 다수, 1997, "동역학적 설계 및 해석기술", G7 한국형 고속전철 기술 개발 사업 II-1-4과제 1차년도 보고서

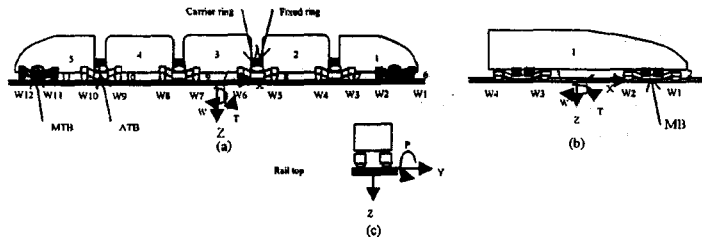


그림 1. 모델 편성 개념도
표1. 질량요소 물성치

모델명	구분	무게중심 좌표 (높이, m)	중량 (kg)	관성 모멘트(Mg-m ²)			갯수
				Ixx	Iyy	Izz	
Rake	M1차체	1.535	42,758	55.57	1643.62	1697.07	1
	T1차체	1.623	25,673	33.36	955.29	955.29	1
	T2차체	1.627	26,373	34.27	981.34	981.34	1
	T3차체	1.623	26,305	34.19	978.81	978.81	1
	M2차체	1.535	42,648	55,425	1639.39	1692.7	1
	M대차	0.56	3,076	2.07	3.26	3.86	2
	T대차	0.56	3,018	2.03	3.2	3.79	4
P	휠셋	0.46	2,104	1.03	0.0008	1.03	12
	P차체	1.72	54,960	59.4	1132.8	1112.9	1
	P대차	0.56	2,420	1,645	2,593	3,068	2
	휠셋	0.46	2,050	1.03	0.0008	1.03	4

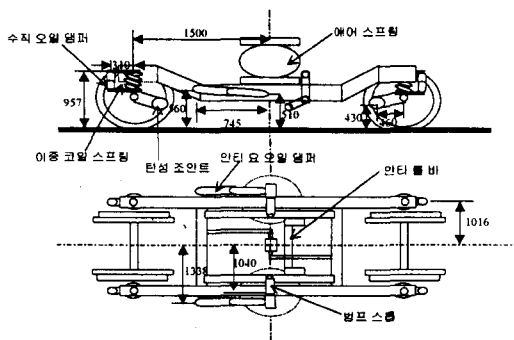


그림2. 동력객차용 대차 개략도

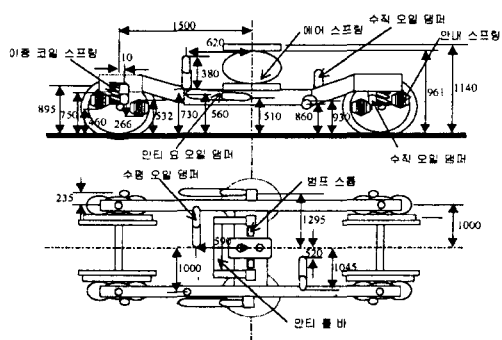


그림3. 객차용 관절대차 개략도

표2. 동력객차용 대차 현가장치 모델 특성치

현가요소	기계적 특성치(MN/m, MNm/rad)						비고 (단위)
	X방향	Y방향	Z방향	T방향	P방향	W방향	
이중코일 스프링			0.535				
탄성조인트	65.0	18.5	65.0	0.0573	0.0072	0.0573	
수직오일댐퍼			0.006				
에어스프링	0.0	0.17	0.303	0.0	0.0	0.0	
안티롤 바				3.78			
수평오일댐퍼		0.03					
안티요오일 댐퍼						0.24	
퍼봇 조인트	0.8	0.01	0.01	1.66	0.0	3.32	
측면 범프 스톱	-80.0	-70.0	-65.0	-50.0	-35.0	0.0	mm
	-35.6	-15.2	-10.5	-3.5	0.0	0.0	KN

표3. 객차용 관절대차 현가장치 모델 특성치

현가요소	기계적 특성치(MN/m, MNm/rad)						비고 (단위)
	X방향	Y방향	Z방향	T방향	P방향	W방향	
이중코일 스프링			0.752				
안내스프링	20	4.5	0.25	0.0	0.0	0.473	
수직오일댐퍼			0.01				
에어스프링	0.0	0.15	0.37	0.0	0.0	0.0	
안티롤 바				3.8			
수직오일댐퍼			0.02				
수평오일댐퍼		0.03					
안티요오일 댐퍼						4.23	
퍼봇 조인트	10.29						
측면 범프 스톱	-70.0	-65.0	-55.0	-45.0	-35.0	0.0	변위(mm)
	-57.4	-24.0	-10.6	-4.0	0.0	0.0	힘(KN)

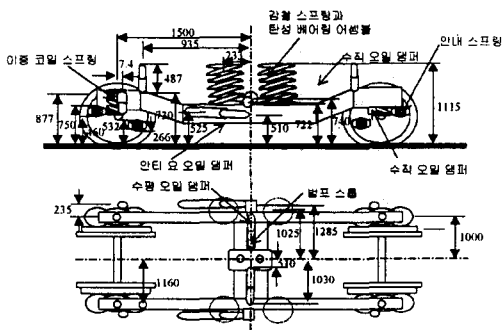


그림4. 동력차용 대차 개략도

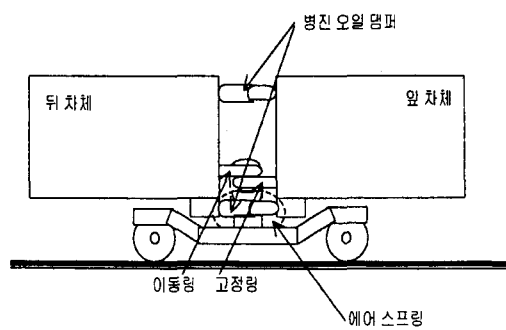


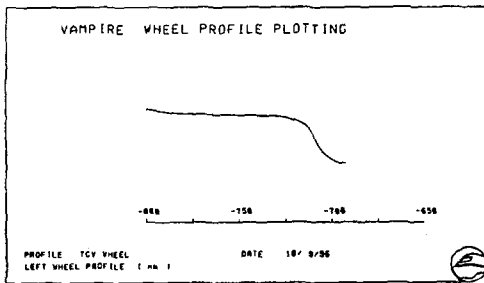
그림5. 차체간 연결장치 개략도

표4. 동력차용 대차 현가장치 모델 특성치

현가요소	기계적 특성치						비고 (단위)
	X방향	Y방향	Z방향	T방향	P방향	W방향	
이중코일 스프링			0.725				
안내 스프링	20.0	4.5	0.25	0.044	0.03	0.473	
수직오일댐퍼			0.01				
강철 스프링							
과 단성 배어필	0.151	0.151	0.634	152.51	10.1	152.51	
수평 오일 댐퍼		0.03					
수직 오일 댐퍼			0.02				
요 오일 댐퍼						4.23	
피봇 조인트	10.29						
측면 링크 스톱	-75.0	-65.0	-60.0	-55.0	-45.0	0.0	mm
	-45.0	-13.0	-5.0	-2.0	0.0	0.0	KN

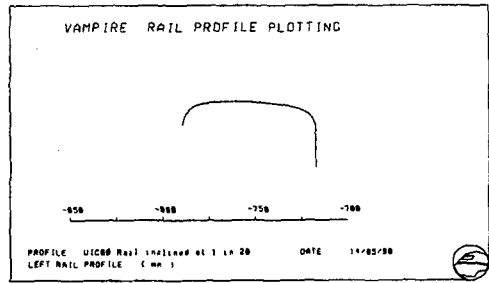
표 5. 차체간 연결장치 모델 특성치

현가요소	기계적 특성치						비고 (단위)
	X방향	Y방향	Z방향	T방향	P방향	W방향	
이동링/고정링 연결장치	45	45	97	2.036	2.036	2.036	
안티힐댐퍼		0.0725					
상부댐퍼	-0.3	-0.001	0.0	0.001	0.3		속도(m/s)
	-14.85	-9.9	0.0	9.9	14.85		힘(KN)
하부댐퍼	-0.3	-0.001	0.0	0.001	0.3		속도(m/s)
	-19.8	-13.2	0.0	13.2	19.8		힘(KN)



VAMPIRE WHEEL PROFILE PLOTTING

그림6. 휠 모델형상



VAMPIRE RAIL PROFILE PLOTTING

그림7. 레일 모델형상

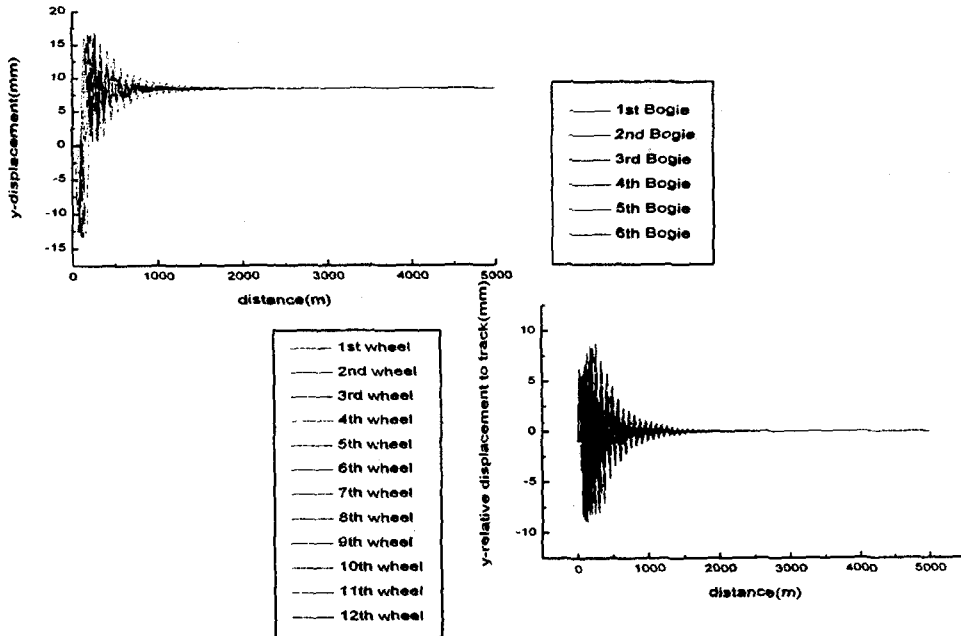


그림 8. 궤도불규칙도에 의한 rake 안정성

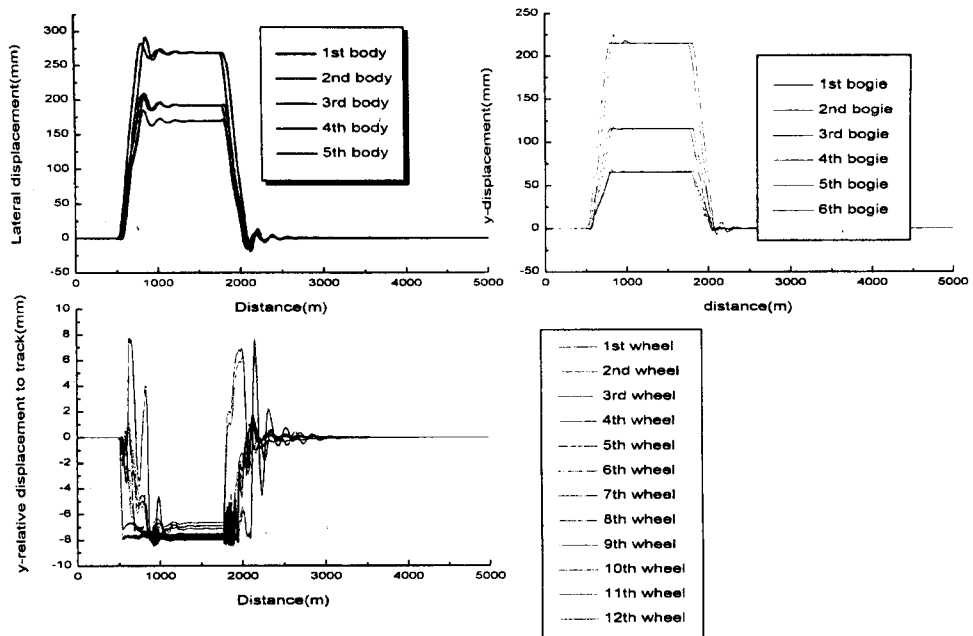


그림 9. 7000R 곡선주행시의 rake 안정성

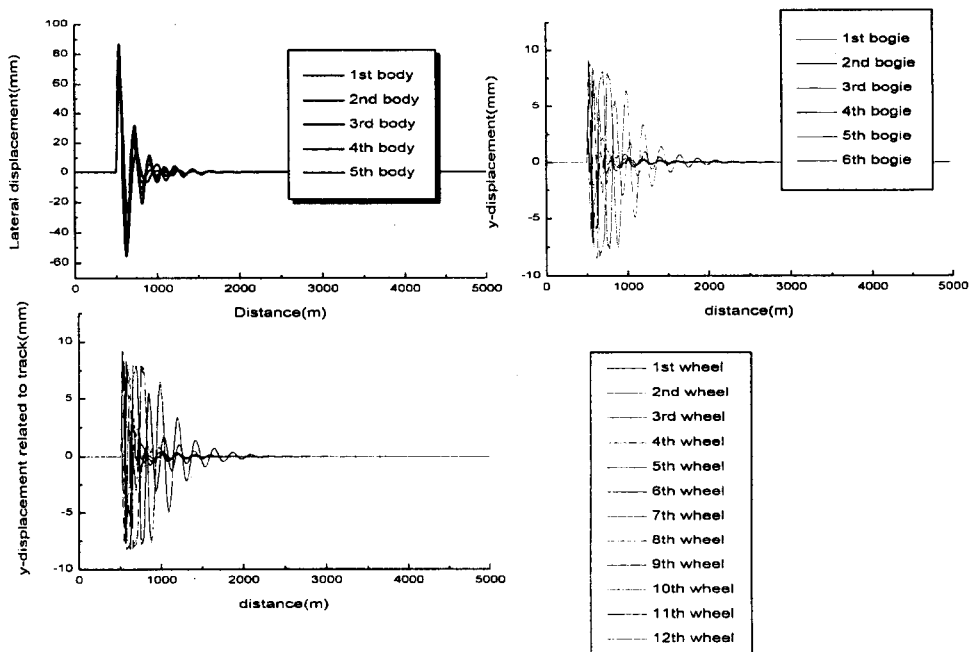


그림10. 돌풍시의 rake 안정성

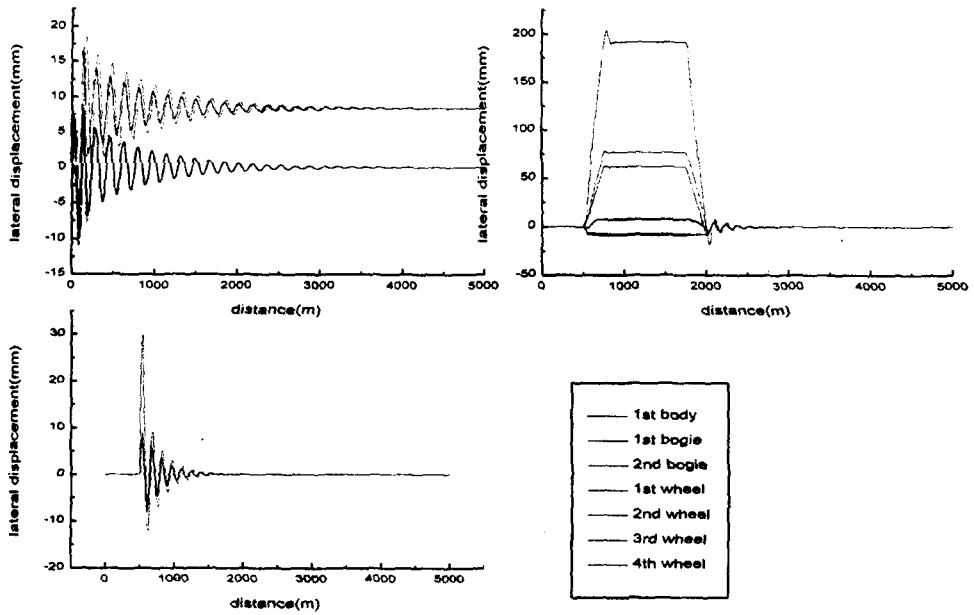


그림 11. 각경우의 P모델 주행안정성

감사의 글

본연구는 G7 한국형 고속전철 기술개발 사업의 지원으로 수행되었으며 관계분께 감사드립니다.