

400km/h 운행 최적 시범구간 선정을 위한 주행성능해석

Running Performance Analysis to Determine Optimal Test-bed Section for the Maximum Speed of 400km/h

정흥채†
Heungchai Chung

엄기영*
Kiyoung Eum

윤장호*
Jang-ho Yun

ABSTRACT

In Korea, the HEMU-400X(High-speed Electric Multiple Unit-400km/h eXpress) has been developed since 2007 and will be operated over 400km/h in 2013. It is necessary to prepare test-bed section in Honam high-speed railroad to take the maximum running speed test for the HEMU-400X developed. In order to determine proper test-bed sections for the maximum speed of 400km/h, TPS(Train Performance Simulation) program with the data of train model, running resistance, traction power and braking capacity was used to analyze the train performances such as locations, speeds and power consumptions by times. In this study, the specifications of the HEMU-400X project and the route conditions of the Honam high-speed railroad under construction were utilized for the TPS program to determine the optimal test-bed sections for the maximum speed of 400km/h.

1. 서론

우리나라는 2013년까지 최고시속도 400km/h이상의 성능을 갖는 동력분산식 차세대 고속열차를 개발하고 있다. 개발된 차량의 최고속도 시험을 위하여 현재 건설 중인 호남고속철도의 일부 구간에 400km/h급 고속철도 인프라시스템 Test-bed를 구축하고자한다. 400km/h급 Test-bed를 구축하기 위해서는 먼저 어느 구간에서 400km/h의 운행이 가능한지 사전예측 작업이 필요하다. 이를 위해서 차량, 주행저항, 견인성능, 제동성능 데이터를 기반으로 TPS(Train Performance Simulation) 프로그램을 사용하여 한 편성의 열차가 일정한 선로구간을 주행하는데 따른 시각별 위치, 속도, 전력소비 등의 제반 성능을 분석하였다. 이 논문에서는 400km/h 운행이 가능한 최적시범구간을 선정하기 위하여 개발되는 HEMU-400X (High-speed Electric Multiple Unit 400km/h eXperimental)의 제원과 건설 중인 호남고속철도 노선조건을 바탕으로 TPS 분석을 수행하였다.

2. 400km/h 운행 최적 Test-bed 구간 선정

2.1 호남고속철도 Test-bed 구축계획

차세대 고속철도기술개발사업을 통해 2011년 말 400km/h급 동력분산형 차세대 고속열차 HEMU-400X 시제차량이 완성되면 2012년부터 경부고속철도 2단계구간에서 신뢰성 및 안전성 시험이 실시될 예정이다. 400km/h의 최고속도 시험을 위하여 정부에서는 현재 건설 중인 호남고속철도 일부구간을 400km/h 운행이 가능한 선로로 건설할 것을 요구하였다. 이후 400km/h 고속철도 인프라시스템의 기획연구가 선행되었고, 2010년 12월부터 4년간 환경소음저감장치, 전차선 궤도노반 등의 400km/h급 인프

† 교신저자, 한국철도기술연구원, 고속철도인프라시스템연구단, 수석연구원
E-mail : hchung@krii.re.kr

* 한국철도기술연구원, 고속철도인프라시스템연구단장, 책임연구원

** 한국철도기술연구원, 고속철도인프라시스템연구단, 선임연구원

라 핵심기술 개발 및 호남고속철도 Test-bed 구축을 통한 성능검증 및 실용화를 목표로 기술개발이 본격적으로 추진되어 오고 있다. 고속철도 인프라시스템 기술개발 사업을 통해서 개발되는 각종 핵심기술들이 2014년 6월까지 Test-bed 현장에 설치되어 호남고속철도 1단계구간인 오송~광주송정구간에 최고속도 400km/h 시험이 가능하게 될 것이다.

2.2 Test-bed 구간 선정을 위한 열차주행성능 해석

400km/h의 최고속도 운행이 가능한 Test-bed 구간을 선정하기 위해서 열차운행성능해석 시뮬레이션 프로그램인 TPS(Train Performance Simulation)를 이용하였으며, 호남고속철도 건설사업 구간 선형조건과 HEMU-400X 차량조건을 입력하여 한 편성의 열차가 일정 선로구간을 주행하는 데에 따른 시각별 위치, 주행속도, 전력소비 등의 제반성능을 분석하였다. TPS 해석조건은 감속 및 가속은 차량의 최대성능 적용, 하기울기 제한속도 400km/h 및 곡선제한속도는 철도건설규칙을 적용, 정거장 구간 제한속도는 호남고속철도 설계속도 350km/h를 적용, 절연구분 장치를 고려한 사 구간(Dead section 10개소)을 적용하였고, 공주역과 정읍역은 무정차 통과하는 것으로 하였다.

식(1)은 차량 운동방정식으로서 시간(또는 거리, 속도)의 함수로 위치, 주행 속도, 사용 전력 등에 대해 계산한다. 열차의 주행을 시뮬레이션하기 위해 열차중량, 속도에 대한 견인력/제동력과 곡선, 열차저항, 차량의 수 및 길이 보조 전기부하 등과 같은 차량 데이터와 선로의 구배, 곡선 반경, 속도제한, 역 위치 등의 주행 선로 데이터와 정차 역, 정차 시간 및 정차 패턴과 같은 운영 데이터가 입력 데이터로 사용되며, 주행 거리, 속도, 시간 및 사용된 추진 및 제동력, 유효 및 무효 전력량 등의 프로파일이 출력된다.

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= V \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{(T - R_r - R_c \pm R_g)}{(1+x)W} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서

- T : 견인력/제동력, N
- R_r : 주행저항, N
- R_c : 곡선저항, N
- R_g : 구배저항, N
- x : 관성계수
- W : 열차중량, kg

차세대고속철도기술개발 사업으로 개발되고 있는 동력분산식 HEMU-400X는 실제영업운전을 위해 구성된 운영편성(6M+2T)과 설계/제작 시험을 위한 시제편성(5M+1T)으로 구분되며 아래 그림 1과 2와 같다. 그림에서 M은 동력을 갖고 있는 차량, TC는 객실과 운전실 기능 그리고 시제편성의 MC는 동력과 운전실 기능을 갖는 차량을 뜻한다. 차세대 고속열차 운영편성과 시제편성에 대한 주요제원은 도표 1과 같다.

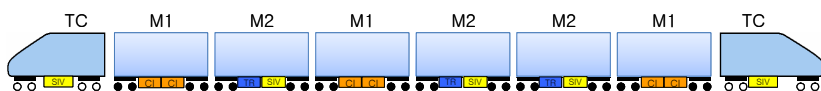


그림 1. 운영편성



그림 2. 시제편성

도표 1. 열차성능 관련 주요제원

제원	운영편성(6M+2T)	시제편성(5M+1T)
최고설계속도	430km/h	430km/h
최대견인력	236kN	187kN
열차길이	197.6m	149.0m
차량폭	3,100m	3,100m
차량높이	3,700m	3,700m
편성중량	416ton 이하	336ton 이하
축 중	13ton 이하	14ton 이하
주행저항	$5528.14+5.56V+0.37V^2$ [N]	$4465.04+4.49V+0.37V^2$ [N]

그림3과 그림4는 각각 견인력과 제동력 곡선을 보여주고 있다.

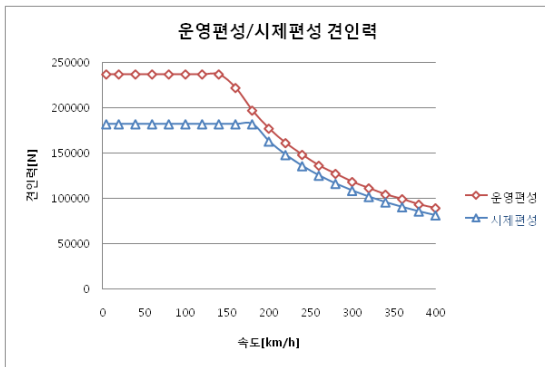


그림 3. 견인력 곡선

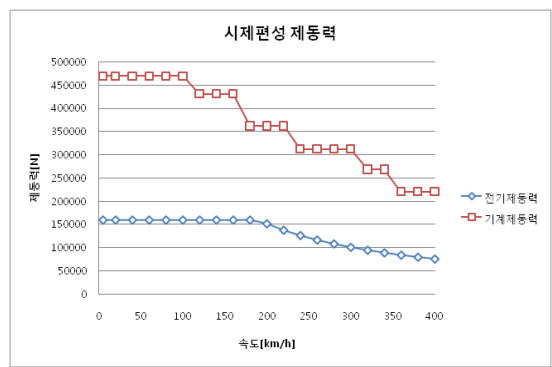


그림 4. 제동력 곡선

도표 2. TPS 입력조건 비교

		한국철도기술연구원 (서영)	한국철도시설공단 (유신)	비고
차량 조건	운행 최고속도	400km/h	400km/h	
	축중	14ton	14ton	
	최대 견인력	187kN	187kN	
	편성	6량 편성	6량 편성	
	견인성능 (0→400km/h)	35.3km	35.3km	
	제동성능	상용 4,230m 비상 3,277m	상용 4,230m 비상 3,277m	
운행 조건	정거장 통과속도	공주 350km/h 정읍 350km/h	공주 330km/h 정읍 350km/h	-공주정거장의 통과 속도를 달리함
	곡선부 속도제한	R=7000, 400km/h	R=7000, 400km/h	
	사구간	5개 변전소	5개 변전소	

2.3 열차주행성능 해석결과

Test-bed 최적구간으로 선정하기 위해서는 각각의 구간이 선로구축물 모니터링 하기에 적합한 구조물을 포함하는지 또는 건설공정과의 연계가 가능 한지 등의 추가적인 검토가 필요하다. TPS 분석결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 호남고속철도건설 사업을 주관하고 있는 한국철도시설공단이 건설목적으로 수행한

TPS 분석결과와 상호 비교 분석을 하였다. 도표 2는 한국철도기술연구원과 한국철도시설공단에서 TPS 분석을 위해 입력한 HEMU-400X 시제차량과 호남고속철도 노선의 데이터로서 TPS 분석자의 경험과 지식을 반영하여 정거장 통과 속도를 달리한 것 외에는 모든 조건이 동일함을 알 수 있다. 도표 3과 4와 같이 TPS 분석을 통해 상행선 4개, 하행선 2개 총 6개 구간이 400km/h의 운행이 가능한 것으로 나타났다.

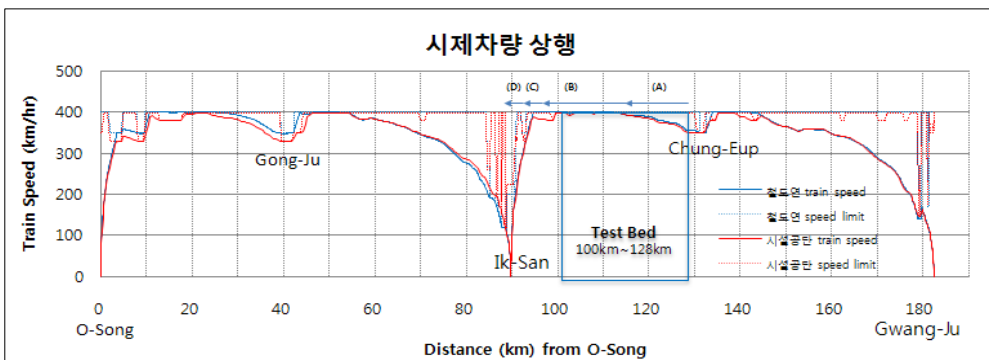
도표 3. TPS 분석결과(호남고속철도 상행선 400km/h 가능구간)

한국철도기술연구원		한국철도시설공단	
400km/h 운행 가능 구간	연장(km)	400km/h 운행 가능 구간	연장(km)
10k680 ~ 25k150	14.5	21k3~23k4	2.1
46k530 ~ 51k600	5.1	47k0~54k1	7.1
94k770 ~ 111k200	16.4	99k5~113k4	13.9
133k890 ~ 142k040	8.2	135k8~138k3	2.5

도표 4. TPS 분석결과(호남고속철도 하행선 400km/h 가능구간)

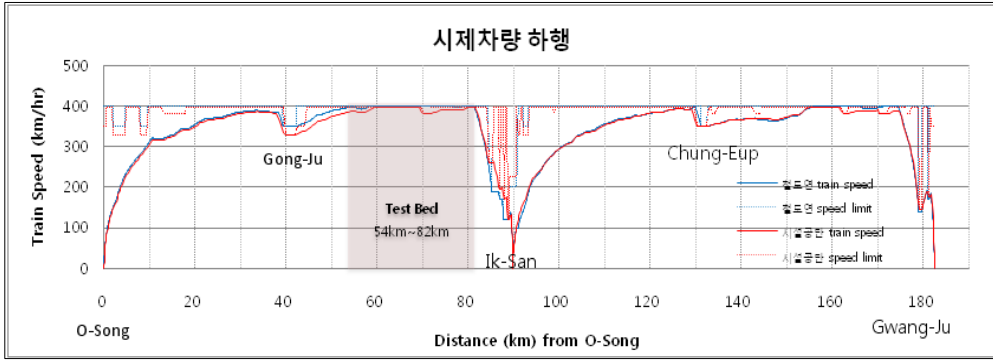
한국철도기술연구원		한국철도시설공단	
400km/h 운행 가능 구간	연장(km)	400km/h 운행 가능 구간	연장(km)
58k500 ~ 81k420	22.9	59k4~69k2	9.8
156k220 ~ 174k540	18.3	155k3~161k4	6.1

철도시설공단과 협의를 통해 선정된 구간 중 토공 및 교량구간이면서 환경소음 저감시설의 설치가 가능하고, 호남고속철도 건설공정과 일정의 연계가 가능하며, 충분한 가속거리를 확보할 수 있는 오송기점 100~128k(28km)를 최적 후보지로 선정하였다(그림 5). 다만 Test-bed 구간 내에는 없지만 Extra-dosed 교량에 대한 정밀 계측이 요구됨에 따라 정지고가교(56k933~66k248)에 별도의 계측장치를 설치하고 전차선은 400km/h가 가능한 상행선 100~128k(28km) 뿐만 아니라 하행선 56~84k(28km)에 설치하는 것으로 검토되었으나, HEMU-400X의 제동거리와 신호시스템을 고려하여 하행선은 오송 방향으로 약 2km 이동한 54~82k(28km) 지점으로 최종 선정되었다(그림 6).



구분	속도(km/h)	구간	거리(km)	
가속	A	350 → 400	132km550 ~ 111km200	21.35
등속	B	400	111km200 ~ 94km770	16.43
감속	C	400 → 350	64km770 ~ 93km440	1.33
감속	D	350 → 0	93km440 ~ 89km805	3.635

그림 5. Test-bed 선정구간(상행선)



구분	속도(km/h)	구간	거리(km)
가속 A	350 → 400	42km290 ~ 58km500	16.21
등속 B	400	58km500 ~ 81km420	22.92
감속 C	400 → 350	81km420 ~ 82km620	1.20
감속 D	350 → 0	82km620 ~ 89km810	7.19

그림 6. Test-bed 선정구간(하행선)

3. 결론

본 논문에서는 차세대 고속철도기술개발사업을 통해 개발되는 400km/h급 동력분산형 차세대 고속열차 HEMU -400X에 대하여 건설 중인 호남고속철도에 400km/h 운행이 가능한 구간을 선정하기위해 열차주행 성능 해석을 수행하였다. 운영편성의 경우 TPS 분석 결과 호남고속철도에서 400km/h 운행이 가능하지 않아, 그림 7과 같이 시제편성에 대해 400km/h가 가능한 Test-bed 최적구간을 선정하였다. 상행선 100~128k(28km)구간에 환경소음 저감장치, 선로구축물 모니터링 시스템 그리고 전차선에 대한 Test-bed 시스템을 구축하고 하행선 54~82k(28km)에는 전차선에 대한 Test-bed 시스템을 구축할 계획이다.

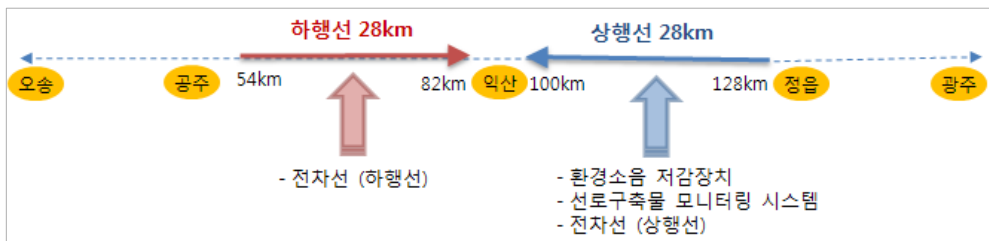


그림 7. 호남고속철도 400km/h Test-bed 구축계획

감사의 글

이 논문은 국토해양부에서 지원한 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발" 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이태형 외, "한국형 고속전철 개발열차 열차성능해석 및 평가" 한국철도학회논문집, 7권, 2호, pp.120-124, 2004.
2. 한국철도기술연구원, "고속철도 인프라 선진화 기술개발 사업 추진계획" 연구보고서, 2010.
3. 한국철도기술연구원, "고속선 운행속도 향상을 위한 인프라 보강방안 수립 기획연구" 연구보고서,

2011.

4. 엄기영 외, “400km/h급 고속철도 인프라 시스템 기술개발” 한국철도기술지, 7권, 2호, pp.32-37, 2011.
5. 엄기영 외, “호남고속철도 Test-bed(400km/h급) 구축계획” 한국철도기술지, 7권, 2호, pp.69-73, 2011.