

# 한국형 고속전철을 활용한 기존선 속도향상 고찰

## Speed Up Test on conventional Line by using Korean High Speed Train(HSR-350x)

김기환\* 박춘수\* 김석원\*

Kim, Ki-Hwan Park, Choon-Soo Kim, Seok-Won

### ABSTRACT

KTX has started commercial service from Seoul to Busan and Mokpo since April 1, 2004. The service line is composed of new-high speed line and conventional line. Before KTX is runs, the maximum operational speed on conventional line was 140km/h. In order to reduce the traveling time, operation speed of KTX must be increased on the conventional line. So, we performed test running with prototype HSR-350x and verification of safety was made in 10% speed-up. Korean High Speed Train HSR-350x) was developed by G7 - R&D project. In this study, in safety aspect, several technical reviews are introduced and the possibility for reduction of traveling time is investigated on the conventional line by using HSR-350x.

### 1. 서론

지난 4월 1일에 1899년 경인선 열차가 개통된 이후 104년 만에 한국철도의 또 다른 기록인 300km/h 한국고속철도(KTX)가 운행되었다. 그러나 KTX는 처음의 계획과 달리, 대구~부산 및 서대전~목포 구간에서는 고속신선이 아닌 기존선을 전철화 및 개량하여 기존 운행속도보다 10% 증속 운행을 계획하였다. 기존선 구간에서 현재의 운행속도를 향상하기 위해서는 전철화 및 개량 구간에 대해 영업운행 이전에 속도 증속에 따른 영향에 대하여 검토가 필요하였다. 따라서, 아래와 같은 목적으로 지난해 11월 19일부터 약 한달 동안 한국형 고속전철 개발차량을 활용하여 시운전을 실시하였다.

- KTX의 기존선 구간 운행 계획에 의거하여 영업 운행 이전에 문제점의 사전 도출 및 대책 마련
- 고속열차의 기존선 구간 증속 운행을 할 때 영업 운행에 필요한 안전성과 신뢰성을 확보하기 위하여 시운전을 통한 차량, 시설, 전기 분야의 시험 및 분석 수행
- 기존선 노선 속도 향상에 따른 단축 운행 시간을 영업 운행에 반영하기 위함

개발열차인 HSR-350x는 KTX와는 가·감속성능, 열차길이 등은 다르나 중량, 대차시스템 등은 유사하며 호환성이 있어 시험결과를 쉽게 추측할 수 있었다. 또한 HSR-350x는 계측시스템이 구비되어 있으며, 완벽한 자체 기술을 확보하여 문제점 발생 시 즉각적인 조치가 가능하였다. 철도청에서 시행한 한국형 고속열차(G7)를 활용한 경부·호남 기존선 속도향상 검증 보고서[1] 중에서 일부분인 "기존선 속도향상에 따른 단축운행시간 분석", "안정성을 확보하면서 노선별, 곡선별 증속결과", "기존선 운행에 따른 차량 및 시설분야 측정결과"에 대하여 본 논문에서 고찰하였다.

\* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단, 정회원

## 2. 본 론

시운전 시험은 영업선로에서 기존의 열차가 운행되고 있는 중간에 실시되었다. 따라서 개발차량으로서는 아직 안정화 시험이 끝나지 않은 상태였으므로 만일 운행 중에 열차의 장애로 인하여 영업열차에 지장을 주지 않기 위하여 각별한 조심을 하였다. 또한 하루에 2회씩 왕복하는 경우에는 시험인원들의 식사는 도시락으로 시험 중에 해결하는 등 어려움이 따랐다. 그러나 기존선에서의 속도향상 시험은 1980년대 이후로 없었기 때문에 모두들 결과에 관심이 높았다.



그림 1. 호남선 일로역 구내에서

### 2.1 운행 시간 측정

기존선 속도향상에 따른 단축운행시간을 구하기 위하여 <표 1>과 같이 기존의 새마을 속도인 최고속도를 140km/h에서부터 출발하여 160km/h까지 10km/h씩 증속하였다. 이때 순간 최고속도는 165km/h까지 기록하였다. 동시에 곡선에서의 속도향상 여부를 파악하기 위하여 운중과 횡압을 측정하여 서대전~익산 구간도 증속이 가능한지에 대하여 분석하였다. 또한 전체적인 속도향상 효과를 극대화하기 위하여 호남선에서의 정거장 통과속도를 경부선과 동일하게 하였다.

서대전에서 목포까지의 소요시간은 최고속도 160km/h로 주행할 경우에는 2개 역에서 정차할 때를 고려하여 최소 2시간 4분이 소요되었다. 그리고 155km/h로 주행할 경우에는 2시간 4분 7초가 소요되었다. 이는 일부 서행구간의 유무에 따라서 시간의 변동은 발생하였다. 또한 160km/h로 주행할 때 경부선에서는 동대구~부산역까지 소요시간은 59분 45초로 1시간 이내에 충분히 운행될 수 있는 것으로 측정되었다.

표 1. 시험 횟수 및 개요

회차	시험 일시	구간	속도
1	2003. 11. 19(수)	서대전-일로	140km/h(새마을 운행속도)
2	2003. 12. 2(화)	서대전-일로	익산남쪽 : 150km/h, 정거장통과 : 140km/h
3	2003. 12. 4(목)	서대전-일로	익산남쪽 : 160km/h, 정거장통과 : 140km/h
4	2003. 12. 18(목)	동대구-부산	1회차 : 150km/h, 2회차 : 160km/h 정거장통과 : 140km/h
5	2003. 12. 30(화)	서대전-목포	익산남쪽 : 160km/h, 정거장통과 : 140km/h
6	2043. 1. 13(화)	서대전-목포	익산남쪽 : 155km/h, 정거장통과 : 140km/h

### 2.2 시험결과

#### 2.2.1 주행 안정성 측정

주행안정성 측정기준은 철도기술연구보[2]에 따라서 탈선계수 및 운중감소율 누적빈도확률에 따라 평가하였으며, 횡압은 타오르기 탈선 및 궤도의 부담력을 고려하여 횡압/운중의 비로서 평가하였다. 또한 서대전에서 익산까지는 곡선반경이 800m 이하의 곡선이 많고, 익산 이남은 목포 근처의 몇 개소를 제외하고는 전구간이 800m 이상인 곡선으로 이루어져 있다. 따라서 서대전~익산 구간과 익산~목포의 두 구간으로 나누어서 분석하였다.

그림 2와 같이 전구간에서 탈선계수 및 운중감소율의 누적빈도는 모두 허용치 이하이나 서대

전~익산 구간에서는 탈선계수의 누적빈도확률이 허용치에 매우 근접하고 있음을 알 수 있다. 그림 3과 같이 휠과 레일 사이에 작용하는 횡압은 두 구간 모두 일부 허용치의 범위를 벗어나는 경우가 있으나, 서대전~익산 구간에서 허용범위를 벗어나는 경우가 빈번하였다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 이 구간에서는 급격한 곡선의 변화가 많은 것으로 추정되었다. 따라서 서대전~익산 구간은 기존의 속도로 운행하는 것이 바람직 할 것으로 판단되었다.

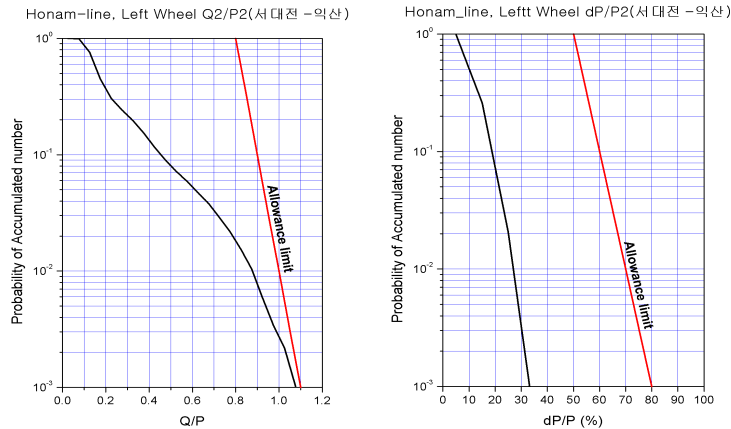


그림 2. 서대전~익산 구간 탈선계수(좌) 및 윤중감소율(우)

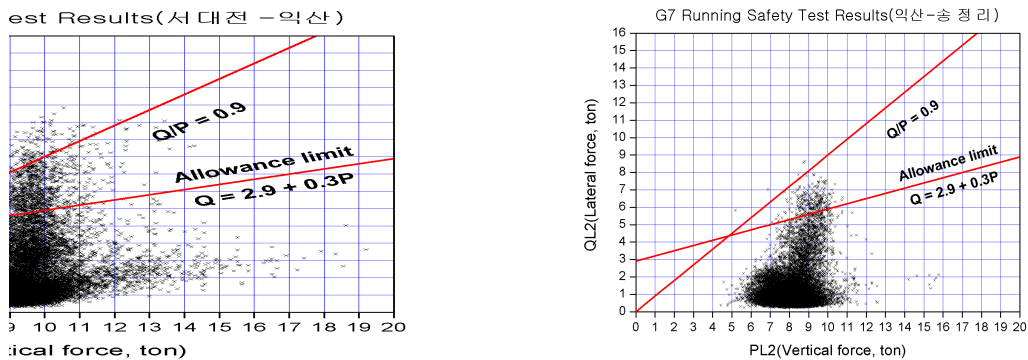


그림 3. 서대전~익산(좌) 및 익산~송정리(우) 구간의 횡압

개발차량인 HSR-350x나 KTX는 고속운행에 맞게 현가장치의 특성이 조정되어 있다. 그러므로 기존선 곡선에서의 추종성은 상대적으로 나쁘다고 판단된다. 개발차량이 400m인 곡선을 통과할 때 차륜과 레일사이의 attack각이 0.215. 이나 새마을호는 0.179. 이다. 또한 개발차량은 1차 현가장치의 진행방향 스프링 상수(Kx값)가 고속주행을 위하여 조정되어 있어 곡선추종성이 상대적으로 낮다. 따라서 곡선에서 횡압이 크게 작용하는 것으로 판단되며, 플랜지 접촉으로 인하여 차륜의 삭정 주기가 빨라질 것으로 판단된다.

### 2.2.2 궤도안정성 평가

궤도는 호남선에서는 직선구간과 곡선 400m에서 측정하였다. 측정지점은 직선은 호남선 하행 25.55km 지점에서 측정하였으며, 그림 4와 같이 곡선은 원정-두계 구간인 호남선 22.35km 지점에서 측정하였다. 이 지점의 궤도구조는 50 Rail과, 목침목으로 경부선 구간에 비하여 열악한 수준이

었다. 그림 5와 같이 경부선 341.6km 지점인 600m의 곡선에서도 궤도측정이 실시되었으며, 이때 궤도구조는 50N Rail, PC침목, 탄성체결구(매립형)로 구성되어 있었다.



그림 4. 호남선 궤도 측정 지점(R=400)

그림 5. 경부선 궤도 측정 지점(R=600)

도표 2. 곡선구간 궤도측정 결과

구분		기준값		개발차량			무궁화
		표준치	참고치	호남선(R=400)	경부선(R=600)		
윤중 [kN]	최대치	300	200	113.50	117.10	117.2	118.9
	최소치	25	35	-	-	-	
횡압[kN]		68	40	52.20	47.60	31.5	43.0
레일수직변위[mm]		4	3	2.34	2.54	1.70	2.85
레일수평변위[mm]		4	3	1.75	2.15	1.14	2.28
침목수직변위[mm]		3	2	1.59	2.21	1.64	2.24
레일저부응력[N/mm <sup>2</sup> ]		100	90	73.14	65.92	109.6	62.25
열차통과속도[km/h]				83.5	84.37	122.45	-

호남선 400m의 곡선구간에서 횡압이 참고치를 넘는 경우가 발생하였으나, 표준치인 68kN 이 하였다. 그러나 경부선에서 측정한 횡압은 기준치 이내였다. 개발차량의 경우 무궁화와 비교하여 횡압은 비슷한 수준이나 레일수직, 수평, 침목수직변위가 더 작은 것으로 나타나고 있다. 그러나 레일의 저부응력은 경부선 및 호남선에서 모두 다소 높게 측정되었다. 따라서 400m 곡선에서의 속도증가는 현행 속도유지가 바람직할 것으로 판단되었으며, 호남선의 궤도구조는 경부선과 같이 개량하는 것이 필요하다.

### 2.2.3 진동평가

차체의 진동가속도는 UIC 518[3]의 Simplified Method를 참조하여 진동가속도 수준으로 판단 하였다. 여기에서는 각 곡선에서 주행안정성 측면에서 차체의 횡가속도는 Max. 6Hz Low Pass Filter를 적용할 경우  $3m/s^2$  이하여야 한다.

그림 6과 같이 호남선에서 측정한 차체의 횡방향 진동가속도는 값은 400m 곡선에서 85km/h로 주행할 때 기준치의 약 50% 이하인  $1.4m/s^2$ 로 측정되었다. 또한 그림 7과 같이 600m 곡선에서는 100km/h로 주행할 때에도  $1.2m/s^2$  정도로 양호한 것으로 측정되었다.

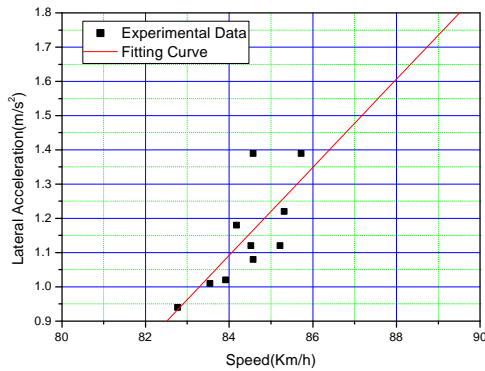


그림 6. 차체 횡가속도(R=400m)

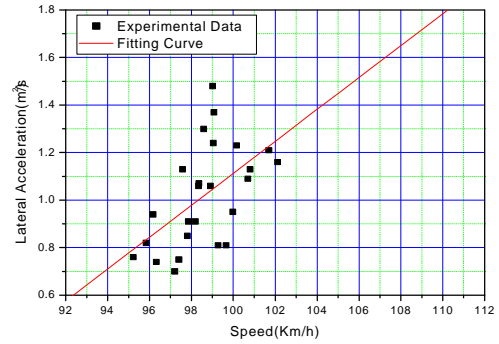


그림 7. 차체 횡가속도(R=600m)

### 3. 결 론

한국형 고속전철 개발열차(HSR-350x)를 이용하여 기존선과의 연계 시운전을 실시하는 것은 연구개발사업뿐만이 아니라 4월 1일 개통을 위하여 매우 의미 있는 일이었다. 1980년대 이후로 국내에서는 속도향상이 없었으므로, 기존의 최고 운행속도인 140km/h에서 10%의 속도향상이 가능한지에 대한 검토는 매우 조심스러운 일이었다. 또한 이러한 노력으로 현재 KTX는 기존선에서 최고속도 155km/h까지 운행하고 있다. 그러나 속도 증속을 위하여 교량의 영향에 대하여는 제외하였으며, 단지 6회의 기존선 시험운행으로서 모든 문제를 해결하고 결론에 도달하기에는 어려운 문제였다. 시험운행 결과를 분석하면 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 차량의 승차감은 KTX 차량과는 다소 차이가 있을 수 있으나, 전 구간에서 양호한 것으로 판단하였다.
- 곡선에서의 차체횡가속도는 차량의 주행안정성 기준이내이며, 충분한 여유가 있으나,
- 400m 곡선에서 궤도측정시에 횡압 및 레일 저부응력이 기준치에 근접하고 있으며, 곡선 600m 이하에서는 탈선계수 및 윤중감소는 기준치 이내이나, 횡압이 기준치를 초과함으로 600m 이하의 곡선에서 속도를 증속하는 것은 무리라고 판단하였다. 따라서, 호남선(서대전~익산 구간) 및 경부선 구간(동대구~부산)은 600R 이하는 기존 속도를 유지하고, 700R 이상은 증속이 가능할 것으로 판단하였다.
- 그러나, 속도 증속으로 인하여 궤도 및 차량의 유지보수 주기는 영향을 받을 것으로 판단하였다.

### 참고문헌

1. 김기환(2004), “ 한국형 고속차량(G7)을 활용한 경부·호남 기존선 속도향상 검증”. 연구보고서
2. 한국철도기술연구소 (1989), “철도기술연구보”, 제23권 1호, pp.198-205
3. UIC Code 518(2003), “Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour-Safety-Track fatigue-Ride quality”