

표정속도 향상을 위한 고속철도 인프라 개선방안 분석

Analysis of High Speed Railroad Infrastructure to increase Scheduled Speed

엄기영[†], 박영곤^{*}, 류성찬^{*}, 서상철^{**}, 김유봉^{**}, 박근영^{**}

Ki-Young Eum[†], Young-Kon Park^{*}, Seong-Chan Ryu^{*}

Sang-Cheol Seo^{**}, Yu-Bong Kim^{**}, Geun-Young Park^{**}

Abstract In Railroad, the improvement of scheduled speed make Korea Railroad have a competitiveness by reducing running time and raising traffic efficiency, and advanced foreign railroad administrations including Korea are continuously pushing ahead with technical development for the improvement. In this study, the influence factors, which make effects on the scheduled speed, were examined in 2 areas in order to improve the scheduled speed of domestic high-speed trains. Improvement for infrastructure has been analyzed by reviewing speed advancement with continuous transition curves on curved passing tracks, and by reviewing the scheduled speed through the analysis of slowdown during long-distance upward gradient running, and finally by considering the effects on the scheduled speed according to in-fill balise installation.

Keywords : Schedule Speed , Transition Curve, Upward gradient, In-fill Balise

초 록 철도에서의 표정속도 향상은 운행시간을 단축시킴으로써 수송효율을 높여 교통기관으로서의 경쟁력을 확보하게 하며, 우리나라를 포함한 해외 선진 철도국들은 표정속도 향상을 위한 기술 개발을 지속적으로 추진하고 있다. 본 연구에서는 국내 고속차량의 표정속도 향상을 위해 표정속도에 미치는 영향인자를 다음과 같은 분야로 나누어 검토하였다. 곡선부 통과 구간 완화곡선 연선에 따른 속도향상에 대한 검토, 장거리 상향구배 주행 중 속도저하 분석을 통한 표정속도 검토 및 인필발리스 설치에 따른 표정속도에 미치는 효과를 감안하여 인프라 개선방안을 분석하였다.

주요어 : 표정속도, 완화곡선, 상향구배, 인필발리스

1. 서론

열차의 속도는 차량성능, 선로규격, 보안설비 등과 관련되며 또한 비용에도 관계되는 것으로, 타 교통기관의 동향과도 병행하여 종합적으로 사정할 필요가 있다. 속도의 종류로는 균형속도, 표정속도, 평균속도, 최고속도, 제한속도 등이 있으며, 시발역부터 종착역까지 정차시분을 고려한 소요시간을 전거리로 나눈 것을 표정속도라 하며, 열차의 속도향상은 표정속도의 향상을 의미한다. 현재 국내외의 철도 선진국들의 경우 선로개량, 차량의 성능향상 및 신호, 통신분야 등의 인터페이스를 통해 표정속도 향상을 위한 기술 개발을 지속적으로 추진하고 있다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 첨단인프라연구단(kyeum@krr.re.kr)

* 한국철도기술연구원 첨단인프라연구단

** (주)서영엔지니어링 철도1팀

해외선진국 중 일본의 경우 전 차량을 2층 객차로 개발하여 승객 수송능력을 최대화 시켰으며, 회생제동을 적용하여 제어 및 추진력의 향상을 위한 기술개발에 주력하고 있다. 또한 프랑스에서는 유도전동기 적용, 제어체계 개선, 다국적 철도망 노선에 대한 적용성 및 운행 적합성 등을 통한 표정속도 향상을 도모하고 있다. 독일에서는 동력 방식을 집중식에서 분산식으로 변경하여 선로의 구배 등 노선조건 및 유지보수성 향상과 축중 감소, 윤축의 경량화를 통한 표정속도 향상의 기술개발을 추진하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 고속차량의 표정속도 향상을 위해 곡선부 통과구간 완화곡선 연신에 따른 속도향상 검토, 장거리 상향구배 주행 중 속도저하 분석을 통한 표정속도 검토 및 인필발리스 설치에 따른 표정속도에 미치는 효과를 분석하였다.

2. 국내외 고속철도의 표정속도 현황분석

Table 1 및 Fig. 1은 국내외 표정속도를 비교한 것이다. 분석 결과 국내 고속철도의 표정속도 비는 평균 48%이고 외국은 최소 65%에서 최대 87.7%로 외국에 비하여 상당히 낮은 수준임을 알 수 있다[1]. 이는 국내 인프라에 대한 설계 최고속도를 350km/h로 규정하고 있기 때문이며, 고속철도의 운영최고속도를 350km/h에서 400km/h로 증속하기 위해서는 철도건설 규칙의 개정이 필요하다. 또한 속도증가에 영향을 미치는 항목들을 도출하여 이에 대한 종합적인 분석을 통한 인프라 개선 방안의 수립이 이루어져야 한다[2].

Table 1 Scheduled speed at home and abroad

구분	노선	거리 (km)	최고속도 (KPH)	운행시간 (h)	표정속도 (KPH)	최고속도대비 표정속도(%)
국내	KTX 경부선	408.5	300	2.67	153	51
	KTX 호남선	404.4	300	2.97	136.2	45
일본	동해도 신칸센	552.6	270	2.63	210	78
	산요 신칸센	644	300	2.68	240	80
	동북 신칸센	713.7	275	3.40	210	76
	쥬우에츠 신칸센	303.6	275	1.60	190	69
	호쿠리쿠 신칸센	117.4	260	0.69	170	65
프랑스	TGV-M	250.0	300	1:02	263.2	87.7
독일	ICE-3	177.0	300	0:58	183	77.8
스페인	AVE	471.0	300	2:20	202	67.3
이탈리아	ETR500	261.0	250	1:35	165	66

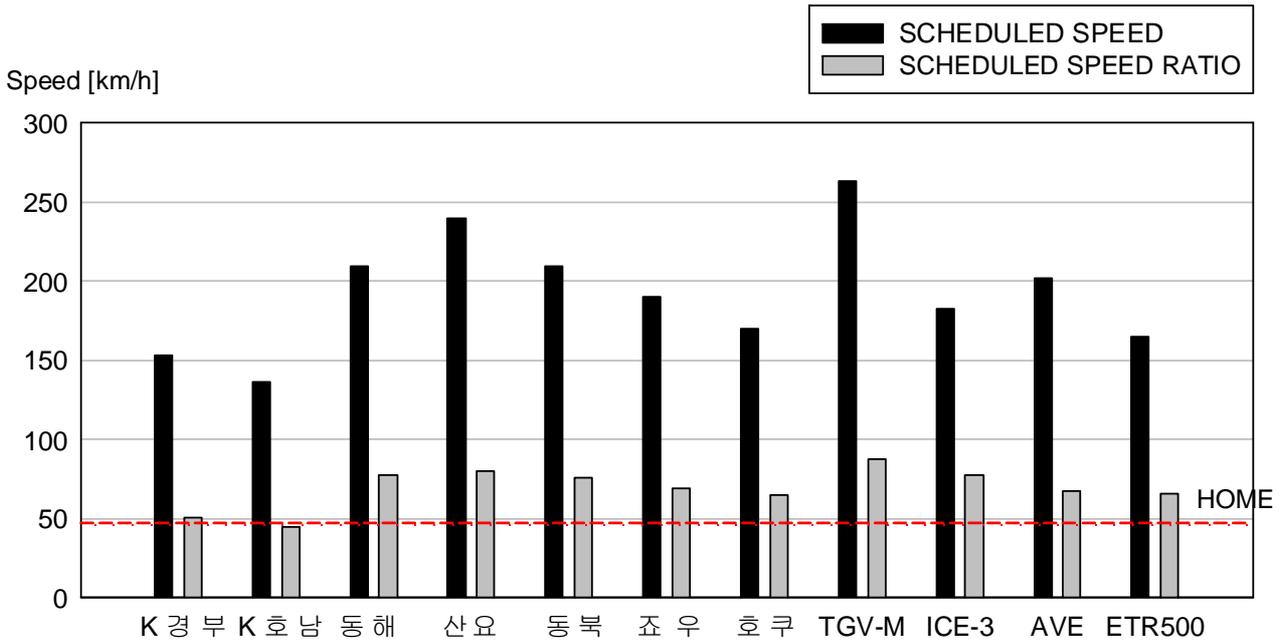


Fig. 1 Comparison of scheduled speed & scheduled speed ratio at home and abroad

3. 표정속도 향상을 위한 영향인자 분석

3.1 곡선부 완화곡선 연신

3.1.1 국내 완화곡선 현황

곡선부 경부고속철도 서울~시흥구간의 완화곡선 연신을 통한 표정속도 향상효과를 분석하기 위하여 다음과 같이 2안의 방법으로 검토를 수행하였다.

- 최대캔트 기준 : 최대캔트(160mm) + 캔트부족량(100mm)감안

철도설계편람에서 규정한 자갈궤도의 최대캔트 및 최대부족캔트량을 감안하여 열차운전 시행세칙의 제한속도를 기준으로 완화곡선 연신에 대해 검토

- 부설캔트 기준 : 현재 부설캔트를 기준으로 캔트부족량(100mm)을 감안
현재 부설캔트를 변경하지 않고 캔트부족량을 자갈궤도의 경우 100mm까지 할 수 있는 규정을 적용하여 완화곡선 연신에 대해 검토

(1) 서울~시흥구간(하선) 완화곡선 현황

서울~시흥구간(하선)의 전체연장은 20.621km이며 이 구간은 기존전철과 병행하는 복복선 구간으로 최소 곡선반경 R=400까지 있으며, 이때 최대 캔트 150mm으로 부설되어 있다.

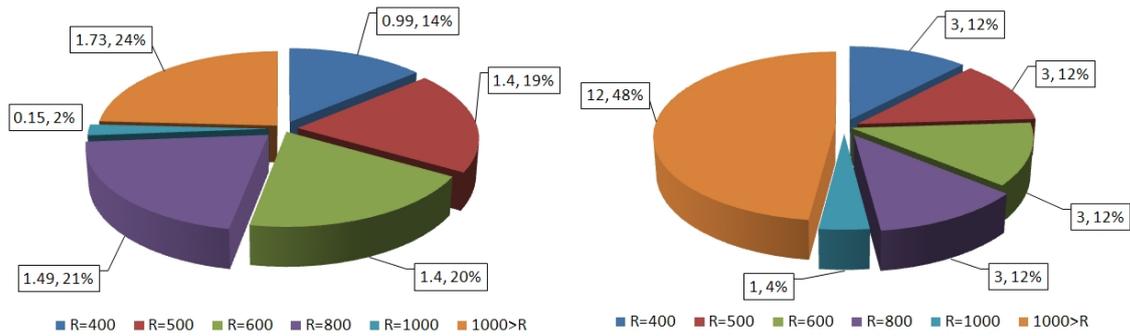


Fig 2 Distribution of extension length(Seoul-Siheung, downward) Fig 3 Distribution of the number of spot(Seoul-Siheung, downward)

Fig. 2, 3은 서울~시흥구간(하선)의 곡선반경별 연장길이 분포 및 개소 수의 분포를 나타낸다. 전체연장 중 곡선구간의 길이는 7.16km로 곡선구간의 선로가 약 11%를 차지하고 있으며, 곡선반경 R=400인 곡선 구간이 14%, R=1000이상인 곡선 구간은 24%이며 곡선의 개소 역시 12개소로 약 48%로 조사되었다.

(2) 서울~시흥구간(상선) 완화곡선 현황

서울~시흥구간(상선)의 전체연장은 20.83km이며 이 구간은 기존전철과 병행하는 복복선 구간으로 최소 곡선반경 R=400까지 있으며, 이때 최대 캔트 또한 150mm으로 부설되어 있다.

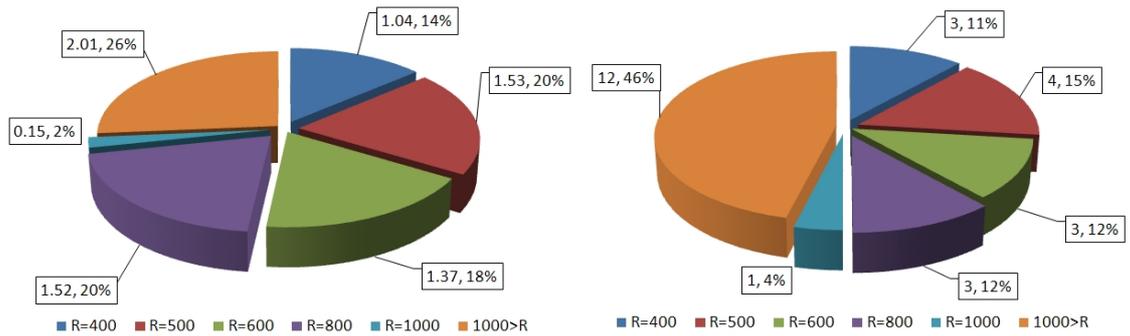


Fig 4 Distribution of extension length(Seoul-Siheung, upward) Fig 5 Distribution of the number of spot(Seoul-Siheung, upward)

Fig. 4, 5는 서울~시흥구간(상선)의 곡선반경별 연장길이 분포 및 개소 수의 분포를 나타낸다. 전체연장 중 곡선구간의 길이는 7.16km로 곡선구간의 선로가 약 27%를 차지하고 있으며, 곡선반경 R=400인 곡선 구간이 14%, R=1000이상인 곡선 구간은 26%이며 곡선의 개소 역시 12개소로 약 46%로 조사되었다.

3.1.2 효과분석

· 최대캔트 기준

38개소 중 곡선통과속도가 3~45km/h상당 증속 가능한 구간 22개소이나, 완화곡선연장이 23m~128m상당 부족한 개소가 31개소로 거의 전 곡선에 대하여 완화곡선 연신이 필요하며, 전 곡선에 대하여 연신이 이루어지면 약 2분 가량의 시간을 절감시킬 수 있다. 그러나 인접선로 및 구조물등과의 인터페이스 등을 고려할 때 현실적으로 선형을

개량하기에는 여러 가지 제약조건이 존재하며, 실제 선형 개량이 가능한 경우에만 증속 효과가 있는 것으로 판단된다.

· 부설캔트 기준

38개소 중 곡선통과속도가 5~45km/h상당 증속 가능한 구간 8개소, 5~20km/h상당 감속되는 구간이 12개소이며, 8m~35m상당 부족한 개소가 14개소에 대하여 완화곡선 연신이 필요하며, 전 곡선에 대하여 연신이 이루어지면 약 1분의 시간을 절감시킬 수 있으며 실제 선형개량이 가능한 경우 일부 구간에서만 증속효과가 있는 것으로 판단된다.

3.2 장거리 상향구배에 따른 속도 저하 구간 분석

3.2.1 장거리 상향구배 현황

장거리 상향구배에 열차 운행 중 속도 저하 구간을 분석하기 위하여 열차성능계산 프로그램 (Train Performance Calculation Program)을 사용하였으며 입력조건 및 검토방법은 Table 2와 같다.

Table 2 Input condition and method

구 분	내 용
정상주행구간	80km
가속수간	허용최고속도에 도달하기 위한 하향구배구간 / 20km(정거장 포함)
허용최고속도	열차운전시행세척에서 정한 고속철도 전용선구간 제한속도 305km/h
시험선구간	검토대상 상향구배별 모델구성(5/ 10/ 15/ 20/ 25 per Mi11)
정상주행구간	50km (속도회복구간)

3.2.2 효과분석

(1) 상향 기울기별 유지 가능속도 분석

설정된 모델에 의해 시뮬레이션을 분석한 결과 다음의 Table 3과 같이 각 상향 기울기별 유지가능 속도가 도출되었다. 그러나 이 결과는 동일한 기울기로 연속되어 있다는 가정이고, 노선 기울기가 상향, 하향으로 굴곡진 형태를 따라 감속과 가속이 불규칙하게 진행되기 때문에 특정기울기의 속도값으로 볼 수는 없다.

Table 3 Sustainable speed by upward gradient

주 행	상향기울기	최종유지가능속도 (km/h)
최고 속도 주행	0 ‰	292.65
	25 ‰	198.55
	20 ‰	214.72
	15 ‰	233.12
	10 ‰	252.20
	5 ‰	272.84

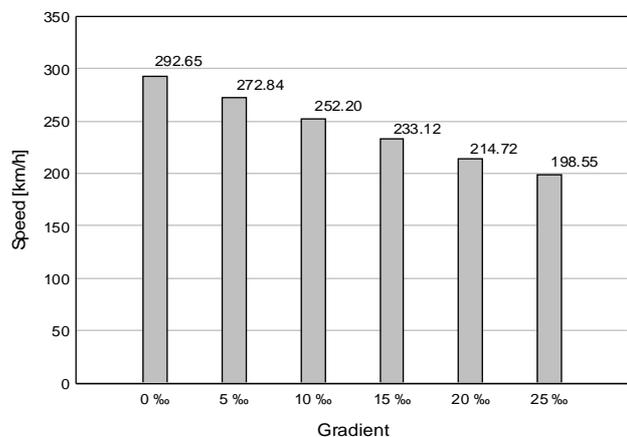


Fig. 6 Sustainable speed by upward gradient

(2) 기울기별 속도감속 상관관계 분석

설정된 모델에 의해 시뮬레이션을 분석한 결과 다음의 Table 4와 같이 각 상향 기울기별 유지280km/h에 도달하는 시간과 거리를 도출하였으며, 이 결과는 향후 노반설계시 여건상 불가피한 경우를 제외하고 상향기울기의 최대거리로 적용하여 표정속도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4 Recommended distances to increase the scheduled speed by upward gradient

구분		주행 중 등판 가속성능 최고속도 목표(280km/h)	
주행	구배	도달시간(min/sec)	주행거리(km/h)
최고 속도 주행	25 ‰	0 / 21	1.789
	20 ‰	0 / 26	2.157
	15 ‰	0 / 34	2.807
	10 ‰	0 / 50	4.106
	5 ‰	1 / 41	8.238

3.3 인필 발리스 설치

3.3.1 인필 발리스 설치 방안

일반철도 구간에서는 신호기 건식 위치가 고정되어 있고, 추가로 신호기를 설치하지 않을 경우 최소운전시격을 단축하기란 곤란하다. 따라서, 정거장의 열차 진·출입과 역간에서 열차의 원활한 운행에 필요한 차상신호시스템의 지상설비 구축 방안을 검토하여, 최적의 시스템 구성 방안이 필요하며, 인필 발리스 설치에 따른 효과는 Table 5와 같다[3].

Table 5 Installation plan of In-fill balise

용도	설치효과
접근궤정취급을 위한 인필(In-fill) 발리스	역구내로 진입 및 진출하는 열차의 안전운행과 열차제동거리 확보를 위해, 열차 진행 경로의 접근궤정 동작 분기 전방에 시작 신호기(장내·출발신호기 등) 설치 위치에 설치한다.
적시 이동권한(MA) 제공을 위한 인필(In-fill) 발리스	ERMS/ETCS 차상신호시스템 차상장치를 탑재한 열차가 최대허용속도로 연속적으로 운전하는 것을 보장할 수 있도록 열차가 상용제동거리(SD : Service Brake Distance)에 도달하기 전에 수행되어야 하는 이동권한(MA)을 즉시에 주기 위해 인필(In-fill) 발리스를 설치한다.
장내신호기 전방에 인필(In-fill) 발리스	장내신호기 전방에 접근궤정과 연계하여 안전성을 향상시키기 위해 2개의 인필(In-fill) 발리스가 필요하며, 1개의 인필(In-fill) 발리스는 폐색신호기와 연계하여 설치한다.
출발신호기 전방에 인필(In-fill) 발리스	출발신호기 전방에 인필(In-fill) 발리스를 설치하여 열차운전성능을 향상하여야 하며, 효율적인 시공을 위해 현장여건을 고려하여 인필(In-fill) 발리스를 설치한다.
승강장 궤도상에 인필(In-fill) 발리스	승강장에 정지하는 열차의 성능 및 안전성은 승강장과 출발신호기간에 인필(In-fill) 발리스를 설치하여 향상하므로 열차가 정지상태에서 선로속도까지 즉시 가속할 수 있도록 조기에 이동권한(MA)을 제공하기 위해 열차가 정차장으로 진입하고 출발신호기가 진행신호를 현시하고 열차가 정지한 동안 출발 열차 진로가 취소된 경우 출발신호기로의 이동권한(MA)을 제공한다.

3.3.2 효과분석

설치되지 않은 부분에 출발신호기를 설치함으로써 인필 발리스의 효과는 열차운행성능을 향상시킬 수 있다. 따라서 대전, 대구, 동대구, 부산 등의 역사에 인필 발리스가 미설치된 부분에 설치하게 되면 표정속도를 약간 향상시킬 수 있다(Table 6).

Table 6 Effect of In-fill balise by additional installation

구분	대전	대구	동대구	부산	합계
하선	9.38초	4.51초	1.71초		15.6초
상선	2.68초	2.68초	2.68	2초	10.04초
			11.48		18.84초

4. 결론

고속철도는 차량, 궤도, 전차선, 신호 등 고속철도시스템을 구성하는 다양한 기술의 복합적인 발전을 필요로 한다. 특히, 고속철도 인프라 기술은 노반, 궤도, 교량, 전차선, 신호시스템 등의 세부기술들의 인터페이스를 통해 종합적으로 성능을 발휘 할 때만이 성능을 발휘할 수 있다. 이러한 400km/h 급의 고속철도 인프라시스템 기술의 확보를 위해서 국내고속철도를 기준으로 하여 표정속도에 영향을 미치는 인자를 분석하였다.

- 곡선부 완화곡선의 연신을 통한 표정속도 향상을 검토한 결과 전 구간이 연신이 가능하며연신할 경우 최소 1분에서 최대 2분까지 시간을 절감할 수 있으나, 실질적으로 인접선로 및 구조물등과의 인터페이스 등을 고려할 때 선형을 개량하기에는 여러 가지 제약조건이 존재한다. 따라서 실질적으로 선형개량 가능한 일부 구간에서만 증속효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

- 장거리 상향구배에 열차 운행 중 속도 저하 구간을 분석한 결과 상향기울기의 최대거리를 향후 노반설계시 표정속도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

- 인필 발리스 설치에 따른 표정속도 향상을 검토한 결과 주요 역사에 인필 발리스가 미설치된 부분에 설치하게 되면 최소 10초에서 최대 19초까지 시간을 절감시킬 수 있으며, 이로 인한 표정속도의 일부 증속효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

고속철도 표정속도 향상을 위한 인프라 기술은 본 연구에서 다루어진 분야 이외에도 더 많은 인자들이 있으며, 표정속도에 영향을 미치는 이러한 인자들을 조사·분석한 결과는 향후 다른 인자들과 추가로 종합하여 고속철도를 증설할 경우 종합계획 수립에 반영될 수 있을 것이다.

후 기

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

참고문헌

- [1] 한국철도기술연구원(2011) 고속철도 인프라 기술개발 총괄 및 인터페이스 연구보고서, 국토해양부, 한국건설교통기술평가원, 연구보고서
- [2] 전력기술연구부 菅原 淳 (2003) 절연구분장치 속도향상 대응책을 고려하다, 일본종합기술연구소
- [3] RTR(2011) Wayside Train Monitoring System – an actual overview, pp.16-25