

# 기존선 전철화에 따른 전차선로의 스피드업관련 기술사항에 대한 고찰

## A Study on technical items in the speed-up of catenary system according to a conventional railway's electrification

안영훈\*

강창호\*\*

Ahn, Young-Hoon

Kang, Chang-Ho

-----  
This paper was reviewed technical items of catenary system for electrification of Gyeongbu(Dongdaegu~Busan) and Honam(Daejeon~Mokpo) conventional Railways. The lines have adopted new technical items in order to connect to Gyeongbu high speed railway.

We can use the technology and experience of Gyeongbu and Honam lines to a new catenary system design up-graded for speed-up of conventional lines and new lines construction

-----

### 1. 들어가는 말

한국의 철도건설은 한동안 침체기에 있다가 철도가 가지고 있는 대량수송, 고속운전, 정시성, 안정성, 환경친화성, 에너지이용효율증대 등의 철도 고유의 장점에 대한 재인식 및 관심이 고조되어 90년대 이후 SOC부문의 투자비용이 팽목할 만한 수준으로 증가추세를 보이고 있다.

철도건설은 일반철도와 고속철도가 건설의 주축을 이루고 있고 사용 에너지원 측면에서 대부분이 전기철도이므로 2005년에는 경부고속철도를 비롯하여 주요 기존 간선철도(경부선, 호남선, 충북선)가 전철화되어 전철화율이 50%(현재는 21.3%)를 상회하게 됨으로서 한국철도는 전기철도시대로 전환될 것이다.<sup>1)</sup> 기존선 속도향상을 위해 전차선로시스템 설계에 적용된 기술사항을 경부선과 호남선 건설과정의 경험과 사례를 중심으로 살펴보고 향후 설계방향을 제시하고자 한다..

### 2. 경부선과 호남선에 적용된 Catenary System 설계기준

#### 2-1. Catenary System 설계기준과 열차최대속도

경부선과 호남선의 전철화가 완료될 경우 KTX(K-TGV)와 신형전기기관차(EL8100대급)가 주력 전기동력차로 운행되게 될 구간의 선로조건은 도표1, 전기동력차의 제원은 도표2, 전차선로시스템의 설계기준은 도표6와 같다. 전차선로시스템의 최고설계속도와 열차의 운행최고속도는 도표3과 같다. 이 양쪽 구간에서 고속철도차량의 표정속도는 현행 새마을호보다는 15~20km/h를 상회할 것으로 예상된다. 그러나 이 속도는 계산과 모의실험에 의해 구해진 것으로 시운전 시험기간동안에 실제 전기동력차량을 투입하여 검증될 예정이다.

고속열차의 최단운행시간은 현행 새마을호의 경부선 운행시간(4시간 10분), 호남선 운행시간(4시간 43분)보다 각각 약 1시간 30분과 1시간 50분이 단축될 것이다.<sup>2) 9)</sup>

\* 철도청 전철건설사업소, 공사팀장, 정희원, 석사, 전기철도기술사

\*\* 철도청 전철건설사업소, 소장, 정희원, 석사,

도표1. 경부선과 호남선의 선로조건

노선 \ 항목	최소곡선반경(R)	최대구배	궤도	차량한계(폭×높이)	건축한계(폭×높이)
경부선	600m이상	12.5/1,000	60kgN레일	3,400×6,000[mm]	4,200×6,450[mm]
호남선	800m이상	12.5/1,000	50kgN레일	3,400×6,000[mm]	4,200×6,450[mm]

도표2. 경부선과 호남선에 운행될 전기동력차 제원

형식		KTX(K-TGV)	신형전기기관차(EL8100대급)
구분			
최대속도		300[km/h]	150[km/h]
기동전인 중량		382[kN], 771.12[ton]	330[kN], 88[ton] 여객 700[ton] 화물 1,740[ton]
선로 조건	최대구배	30/1,000	35/1,000
	최소곡선반경	600[m]	250[m]
	궤간	1,435[mm]	1,435[mm]
	외기온도	-35~+40[℃]	-35~+40[℃]
팬터그래프			
형태	젯트(Z)형 : single arm	젯트(Z)형 : single arm	
접은높이	4,100[mm] : 레일면상	4,310[mm] : 레일면상	

도표3. 전차선로 최고설계속도와 열차운행 최고속도

구분	기존전철구간	동대구~부산	대전~익산	익산~목포
전차선로 최고설계속도	120km/h	160km/h	155km/h	200km/h
열차운행 최고속도	110km/h	140km/h	140km/h	180km/h

이러한 효과가 발휘되는 것은 기존선을 전철화하면서 이 구간을 운행하게 될 전기동력차의 제원상의 특성을 고려하여 기존선로의 안전범위 내에서 열차속도를 충분히 발휘할 수 있도록 전차선로의 최고설계속도를 기존전철구간보다 상당히 Up-grade 했기 때문이다. 이는 고속화에 초점을 맞추어 주요 설계과라미터를 변경했기 때문에 선로개량(Track, 터널, 교량, 선로구조물 포함)을 최소화하면서도 30~70km/h의 속도향상이 가능했다. 전기철도에서의 속도향상은 선로등급이 개량되고 전기동력차량의 속도개발이 이루어지더라도 전기동력차량의 집전장치와 전기공급의 인터페이스를 담당하는 전차선로 시스템이 적용하지 못하면 열차최대속도와 표정속도의 향상은 불가능하다.<sup>4) 6) 8)</sup> 전기철도시대에 있어서 전차선로의 파동전파속도가 열차의 최대운행속도를 제한하는 중요 요인이라는 것은 기존선 전철화 건설방향에 시사하는 바가 크다.

도표4. 고속열차 운행구간별 최단운행시간

구 간	소요시분	누계시간	열차운행최대속도
경부선	서울~대전	50.5분(정차시간 포함)	300km/h
	대전~동대구	51.5분(정차시간 포함)	300km/h
	동대구~부산	61분	140km/h
호남선	서울~서대전	50.5분(정차시간 포함)	300km/h
	서대전~익산	48.8분(정차시간 포함)	140km/h
	익산~송정리	42.6분(정차시간 포함)	160km/h(180km/h)
	송정리~목포	29.0분	160km/h(180km/h)

도표5. 고속철도가 운행될 구간에서의 기존선 비율

서울~부산 : 409.8km				서울~목포 : 408.6km			
기존선	연결선	고속신선	기존선비율	기존선	연결선	고속신선	기존선비율
175.8km	11.9km	221.1km	42.9%	271.2km	4.7km	132.7km	66.4%

도표5에서 알 수 있듯이 고속철도가 운행될 경부선의 운행거리는 409.8km이고 호남선의 운행거리는 408.6km로 차이가 극히 적다. 그러나 각각의 운행구간에서의 기존선 비율은 42.9%(175.8km), 66.4%(271.2km)로 상당한 차이가 있다. 그럼에도 도표4에서 경부선과 호남선구간별 고속열차 최단 운행시간의 누계는 각각 161.5분, 171.9분으로 그 차이는 10분 정도이다. 이것은 고속신선을 제외한 기존선구간에서의 열차운행최대속도가 경부선과 비교할 때 호남선의 운행거리가 비교적 장거리임에도 불구하고 속도향상수준이 훨씬 크기 때문이다.

## 2-2. Catenary System 설계기준에 대한 검토

파동전파속도, 집전성능, 열차의 운행통과속도를 향상시키기 위해 경부선과 호남선 전철화에 적용되었던 가선선종을 중심으로 설계기준을 살펴보면 다음과 같다.

전차선 Cu150㎟와 조가선 Bz65㎟가 처음으로 채용되었다. 프랑스의 TGV가 운행되는 고속신선 구간에서 사용하고 있는 선종으로, 고속철도차량과 직결운행 및 집전용량 확보를 위한 호환성 측면에서 반영되었다.

전차선 Cu150㎟는 단위면적당 파괴하중은 5,316kgf이고 도전율은 98%이며 허용전류(90℃기준)는 533A이다. 조가선 Bz65㎟는 단위면적당 파괴하중은 4,306kgf이고 도전율은 60%이며 허용전류는 263A로 전차선 Cu150㎟가 마모한계에 이르러도 전차선 및 조가선의 합성 연속허용전류가 700A 이상이므로 이 구간의 연장급전에 대한 부하전류의 시뮬레이션 결과 최대전류가 363A이므로 용량상 안전하고 기계적강도, 내식성, 내마모성, 도전성, 인장하중 등의 측면에서 문제점이 없는 것으로 검토되었다.<sup>9)</sup>

전차선 Cu110㎟는 그동안 기존선 전철화에서 장력 1,000kgf(1020.4daN)을 인가하여 사용하였으나 호남선에서는 장력을 증가하여 1,200kgf(1176daN) 인가한다는 특징을 가진다. 도표7은 전차선과 조가선에 대한 선종특성 비교이다.

도표6. Catenary System 설계적용 기준

구 분		경부선(동대구~부산)	호남선(대전~목포)	
가 선 방 식		Simple Catenary	Simple Catenary	
가 선 내 용	전 차 선 높 이	일반 : 5,200mm 터널 : 5,200mm	일반 : 5,200mm 터널 : 5,000mm	
	가 고	일반 : 960mm 터널 : 710mm	일반 : 960mm 터널 : 710mm	
	장 력	전차선	1,400kgf(1372daN)	1,200kgf(1176daN)
		조가선	1,400kgf(1372daN)	1,200kgf(1176daN)
	드 로 퍼 간 격	5m	5m	
최 대 경 간	50m	50m		
가 선 선 종	전 차 선	Cu 150mm <sup>2</sup>	Cu 110mm <sup>2</sup>	
	조 가 선	Bz 65mm <sup>2</sup>	Bz 65mm <sup>2</sup>	
	급 전 선	가 공	ACSR 288(AL233)mm <sup>2</sup>	ACSR 288(AL233)mm <sup>2</sup>
		케이블	CV 200mm <sup>2</sup> ×1C	CV 200mm <sup>2</sup> ×1C
	보 호 선	일 반	ACSR 93(AL58.9)mm <sup>2</sup>	ACSR 93(58.9)mm <sup>2</sup>
터 널		Cu 75mm <sup>2</sup>	Cu 75mm <sup>2</sup>	
구 분 장 치	이 상 용	이중에어섹슨	PTFE절연구분장치	
	동 상 용	에어섹슨(본선) 애자섹슨(건널선)	에어섹슨(본선) 애자섹슨(건널선)	
가 동 브 래 키 트		아연도금강판제	아연도금강판제	
장 력 조 정 장 치	일 반 구 간	일팔, 활차식	일팔, 활차식	
	터 널 구 간	터널내 인류	일팔, 스프링밸런스	
	축 선	일팔, 활차식	일팔, 활차식	
교 차 장 치		Overlap방식	Overlap방식	
평 행 개 소		2경간 Air Joint	2경간 Air Joint	
에 어 섹 손		2경간 Air Section	2경간 Air Section	

도표7. 전차선과 조가선의 선종 특성비교

선 종		단위질량 (kg/m)	파괴하중 (kgf)	전기저항 ( $\Omega$ /km)	도전율 (%)	허용전류 (A)	선팽창계수
전차선	Cu 110mm <sup>2</sup>	0.987	3900	0.1592	97.5	439	$1.7 \times 10^{-5}$
	Cu 150mm <sup>2</sup>	1.334	5316	0.1173	98.0	533	$1.7 \times 10^{-5}$
조가선	Bz 65mm <sup>2</sup>	0.605	4306	0.4474	60.0	263	$1.7 \times 10^{-5}$

열차최대속도를 제한하는 전차선로시스템의 파동전파속도와 무차원비, 팬터그래프의 안정적인 집전성능을 평가하는 지표인 전차선의 압상량을 검토한 결과는 도표8과 같다.

전차선로구간의 Overlap 개소에 필연적으로 설치되어 열차통과속도를 방해하거나 저하시킬 수 있는 이상용 구분장치, 교차장치, 에어섹슨, 에어조인트 등은 이미 유럽과 러시아에서 장기간 사용되어 그 성능과 안정성이 검증된 설비를 속도향상을 위하여 설계에 반영하고 있다.<sup>7)</sup>

도표8. 전차선의 압상량과 이선율

선 종	가선장력 (kgf)	파동전파속도 (km/h)	열차속도 (km/h)	무차원비×100 (%)	정적압상량(mm)		동적압상량(mm)	
					지지점	경간/2	지지점	경간/2
Cu 110mm <sup>2</sup>	1200	393	200	50.9	17.87	53.58	31.26	93.77
Cu 150mm <sup>2</sup>	1400	365	160	43.8	13.78	32.40	41.34	97.28

2-3. Catenary System의 설계변경 사례

일반구간의 장력조정장치가 개별식, 도르래타입으로 설계되었다가 개별식, 활차식으로 검토되다가 최종 시공단계에서는 일괄식, 활차식으로 변경되었다. 이 방식은 경부선 동대구~부산간이 고속철도운행구간이므로 전차선 단선사고시 조가선 단독으로 부담해야되는 전차선 표준장력과 중추의 충격력에 의한 사고예방 측면에서 설계에 반영되었던 사항이다. 개별식, 도르래타입은 프랑스 고속철도에서 사용된 설비이나 국내규격과 자재조달에 문제점이 있고, 개별식, 활차식도 장력에 적합한 규격이 없고 시공상의 불편함과 유지보수상의 문제, 공사비용 증가로 조가선과 전차선을 요크부분을 개량(삼각형⇒직선형)한 기존의 1.5 ton 활차식으로 일괄장력하고 장력추(중추)의 무게를 조정(1.4 ton)하여 장력을 맞추는 쪽으로 시공을 하고 있다.<sup>3)</sup>

일본철도는 규격에 의하면 Bz 65mm<sup>2</sup>의 경우 가선표준장력을 1400kgf으로 하면 허용하중은 1722.4kgf이 되어 여유도는 약1.23로 부적합하나 개별식 장력조정장치를 설치한다는 전제하에서 사용가능하다는 설계당시의 검토와는 일치하지 않는 부분이다. 그러나 SNCF-I는 경부선 동대구~부산간에 일괄식 장력장치를 시설해도 충분히 안정된 집전성능 확보, 유지보수에 유리, 공사비용 저렴, 시공의 용이성, 철도청의 장기간 운영경험, SNCF에서의 사용 안정성 측면에서 문제점이 없다고 기술자문하고 있다.<sup>3) 9)</sup>

터널구간의 장력조정장치는 개별식, 스프링밸런스 사용에서 경부선은 터널내 인류고정으로, 호남선은 일괄식 스프링밸런스 사용으로 변경되었다. 기존선 터널단면적이 협소하여 시공이 곤란한 것이 가장 큰 문제요인이었다. 이에 대하여도 SNCF-I는 터널내의 계절별 온도변화 요인이 적고 스프링밸런스의 설치 및 유지관리가 곤란하므로 터널내 인류방식을 권고하는 자문을 제출하였다.<sup>3)</sup>

2-4. Catenary system의 설계방향

열차운행 최고속도가 110Km/h에서 180Km/h까지의 수준차이로 인해 Catenary system이 상이하게 설계되어 건설이 진행되고 있어 동일선구에서도 일관된 시스템이 적용되고 있지 않다. 또한 기존 전철화된 시스템에 적용되었던 120km/h급의 설계기준과 시설규격에 부분적으로 고속화 기술을 적용함으로써 시공과정에서 많은 문제점들이 나타나고 있어 차량의 최대속도와 관련된 가선시스템과 관련된 부분에서의 설계보완 및 설비개량도 발생하고 있다.

전기철도는 디젤철도처럼 차량속도향상이 곧바로 열차운행시간 단축으로 구현되지 않고 Catenary system의 교체주기는 약 30~40년 정도에 달하므로 이미 건설된 시스템을 속도향상을 위하여 개량하거나 새로운 설비로 교체하는 것은 기술적으로 어려움이 많다. 기존의 설비들을 재활용한다해도 상당한 매몰비용(Sinking Cost)이 발생할 수밖에 없다. 그러므로 전기철도시대의 Catenary system은 시설의 교체주기와 차량속도의 발전 등을 고려하고 고속철도와의 연계성들을 검토하여 설계단계부터 동일선구에는 속도향상이 일관된 가선시스템으로 통일하는 것이 건설비용과 운영 그리고 유지보수 측면에서 유리하다. 이를 위하여 다음의 기술사항들을 연구·검토하여 설계과정에 반영해야 한다.

- 기존선 전철화 설계기준(220~250km/h급)을 정적·동적시뮬레이션으로 검증하여 확립
  - Overlap 구간의 설비별 정확한 세부사양과 적용기준의 설정
  - 속도향상과 집전성능 확보를 위한 드로퍼 간격, 최대 경간, 가고, 전차선 높이에 대한 상세검토
  - 속도향상과 기계화시공에 따른 가동브래킷의 단점보완과 새로운 시계품의 개발
  - 전차선로시스템의 구조물들에 대한 정확한 구조계산 알고리즘의 구축<sup>5)</sup>
  - 시공품질확보를 위한 설비별 세부 시공 허용오차에 대한 적용기준의 설정
  - 상세설계 소프트웨어 개발 및 Shop Drawing의 결과 Feedback 기능 확보
  - 전기동력차량의 모의주행실험 알고리즘과 집전장치 구조해석 프로그램 개발
- 1990년대 이후 고속화에 대한 기술과 경험이 상당부분 축적되어 있으므로 기존선 전차선로시스템을 220~250km/h급으로 설계하여 열차운행 최대속도 200~230km/h를 수용하면 우리나라 철도는 100km/h급과 300km/h급 사이의 중간속도대역 기술과 경험을 보유할 수 있다.

### 3. 맺음 말

호남고속철도건설과 비전철구간으로 남아있는 전라선, 경전선, 동해선, 장항선 등에 대한 전철화와 한반도의 동서를 연계하는 새로운 철도노선의 건설이 계속 추진되면 전철화율은 2010년 89.2%, 2020년 87.9%에 달할 전망이며, 국가계획대로 21세기 국가철도망이 구축되면 고속철도 전용선로보다는 일반 전철선로가 더욱 많은 영업거리를 갖게될 것이다. 기존선 전철화를 확충하여 고속철도의 직결운행 서비스를 확산하는 것은 철도의 Network 구축에 효율적이다. 또한 전기동력차의 표정속도가 현격히 낮아지지 않도록 전차선로의 최고설계속도를 220~250km/h급으로 Up-grade하여 열차운행최대속도를 Speed-up 시키는 방향으로 전철화건설(기존선과 신선포함)을 추진해 나가는 것은 건설비용 측면에서도 바람직하다.

그러므로 기존선에 고속열차를 투입하기 위한 전철화과정에서 검토된 결과들을 하나하나 다시 재검점하고, 경부선과 호남선의 전철화과정의 경험과 사례를 보완하여 정특성·동특성 측면에서 전차선로시스템의 설계요소들을 면밀히 검토하여, 상세 설계S/W를 개발하고 주요 설계파라미터들을 Data Base화하고 검증된 알고리즘을 확립하기 위해서 관련 학계와 연구원, 엔지니어링사들의 설계기준확립에 대한 관심과 정부관련기관의 연구지원이 필요한 시점이다

### 참고문헌

1. 교통개발연구원·한국전기철도기술주식회사·(주)유신코퍼레이션(2002), 철도전철망구축 기본계획
2. 철도청고속철도본부(2001), 호남선 전차선로·전력설비 실시설계보고서
3. 철도청(2001), 고속철도 운영을 위한 철도시설정비사업 및 기존선 전철화사업 기술자문(2-1단계)
4. 대동기술단(2001), 경부선전구간전철화에 따른 Catenary system의 speed-up에 대한 연구
5. 한국철도기술연구원(2000), 고속전차선로 상세설계S/W개발
6. 한국철도기술연구원(2000), 고속화에 대응한 가선구조의 특성 최적화방안,
7. 한국철도기술연구원(1999), 기존선의 고속화를 위한 시스템에 관한 연구
8. 한국고속철도건설공단(1998~99), 기존선 이용에 따른 제반기술연구
9. 철도청건설본부(1999),경부선동대구~부산및대전,대구,부산지구전차선로,전력설비기본및실시설계