

최대 200km/h로 속도 향상된 Catenary system에 적용한 절연구분장치

A study on neutral section device adopted in the catenary system with maximum speed of 200km/h

안영훈*
Ahn, Young-Hoon

강창호**
Gang, Chang-Ho

ABSTRACT

The study is about a neutral section device adopted in the catenary system in connection with KNR's project to electrify the conventional Honam-Line. A neutral section device(PTFE type) adopting into catenary system accepts a train velocity of 200km/h, installed firstly in Korea electric railway system. This study shows technologies and construction cases of the neutral section device.

서론

기존 호남선구간을 전철화(Electrification)하여 2004년 4월부터 고속열차(KTX)를 직결 운행하는 영업을 개시하는 동시에 기존 디젤열차를 신형 전기기관차(EL8100대)로 교체 운행하기 위한 전철화공사를 시행함에 있어서 여러 가지 부문에서 속도향상(Speed-up)을 위한 기술들이 적용되어졌으며, 특히 차량의 팬터그래프계(Pantograph System)와 전차선로계(Catenary System)의 동특성 상호작용 중에 차량의 운전속도(Operation Velocity)를 제약하는 절연구분장치(Neutral section)의 설치가 중요한 문제이다.¹⁾ 당초 호남선 기본계획에서 제시되었던 프랑스 고속철도방식의 이중 절연구분장치를 러시아의 PTFE 절연구분장치로 대체 설계하는 과정에서 호남선 실정에 맞게 절연구분장치의 기술사양을 결정하고 재료를 러시아로부터 도입하여 현장시험 및 시공한 사례를 소개함으로써 향후 기존선 전철화과정에 도움을 주고자 한다.^{7),8),9)}

1. 호남선의 설계조건

호남선은 기존선을 전철화하는 사업 중에서 열차운행속도를 상당히 향상되도록 설계하여 KTX가 호남선에 투입되었을 때 열차의 표정속도를 높일 수 있도록 함으로서 KTX의 운행효율을 높이고자 했다. 이를 위하여 적용된 설계조건은¹⁾ 다음의 도표1, 도표2와 같다.⁵⁾

* 철도청전철건설사업소 공사팀장, 경문대학 겸임교수, 전기철도기술사, 정회원.

** 철도청전철건설사업소 소장.

도표1. 호남선의 선로조건

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

도표2. 전차선로의 최고 설계속도와 최고 열차운행속도

구 분	기존선 전철화구간	호남선 전철화구간	
		대전~익산	익산~목포
최고 설계속도	120km/h	155km/h	200km/h
최고 열차운행속도	110km/h	140km/h	180km/h

2. 절연구분장치의 검토

교류전철화 구간의 이상(異相)전원을 구분하기 위해 변전소(Sub Station) 및 급전구분소(Sectioning Post)의 급전선 인출구 등의 접속개소는 이상전원의 상호접촉을 방지하기 위해 전차선(Contact Wire)을 전기적으로 분리해야 한다. 이런 개소에는 열차의 팬터그래프가 전차선에 접촉된 상태에서 타행 운전으로 통과하면서 전기적으로 분리되도록 절연구분장치를 설치하고 있어 이 장치의 전후방에서 열차의 운행속도가 떨어지는 요인이 되고 있다.^{1),2),3),4)}

현재 철도청에서 기존 사용하고 있는 AC-AC 이상용 FRP 절연구분장치(22m)는 자체의 중량과 재질의 경질화로 집전상 경점으로 작용하여 집전성능이 나빠짐은 물론 팬터그래프 습동판의 마모 촉진과 파손사고의 원인이 되기도 한다. 속도가 향상되면 압상량이 증가하게 되며 이로 인하여 구분장치에 응력이 가해져 피로손상의 위험이 크다. 호남선전철화 구간은 최고 열차운행속도가 180km/h로 절연구간 통과 시 속도제한 없이 원활한 팬터그래프의 접촉상태를 양호하게 유지하기 위해서는 기존선에 적용되어 사용된 FRP제를 사용할 경우에는 절연구분장치의 수명이 단축되고 주기적인 보수점검 등으로 시설의 유지보수관리에 상당한 어려움이 예상되었다. 따라서 열차의 속도향상에 대응할 수 있는 다음의 두 가지 방식이 비교 검토되었다.⁸⁾

가. 이중 절연구분장치

프랑스의 고속철도 전차선로 시스템에 적용하고 있는 이중 절연구분장치(AS→중성구간→AS)의 구조는 절연체를 사용하지 않고 전차선만으로 구성되므로 절연구분장치의 경량화가 가능하다. 즉, 팬터그래프와 전차선간의 상호작용 시 다른 두 개의 이상전원(M상, T상)이 상호 접촉되지 않도록 이상 전원간 무가압 중성구간(Neutral Section ; 47m)을 삽입하고 이 중성구간 양쪽에는 에어섹션(Air section)을 설치하여 팬터그래프가 A상측 전원에서 중성구간으로 이행하는 순간 집전이 중단되지만 무가압 중성구간을 통해 다른 전원측인 B전원 에어섹션 평행구간으로 이행하여 집전하므로서 전기적으로는 순간적으로 단전되나 기계적으로는 완전 연속성으로 습동할 수 있도록 구성되어 있다.³⁾

이 장치는 기능상으로는나 운용 보수상으로 볼 때 시설의 유지보수 간소화에 크게 기여 할 것으로 판단되어 호남선전철화 기본계획에서 한국철도기술연구원(KRRI)이 제시하였으나²⁾ 절연구간을

포함하여 차량의 타행 거리가 약 776m가 필요하게 된다. 그러나 호남선의 경우 절연구간의 설치 위치가 평탄선로인 경우가 드물고 대개 10%의 구배는 물론 곡선개소를 피할 수 없으므로 이 방식의 적용에는 한계가 있다. 즉, 곡선이 많고 구배가 큰 호남선 선로조건에서는 절연구분장치의 길이가 길기 때문에 설치장소를 선정하는데 어려움이 있었다.^{5),7)}

나. PTFE 절연구분장치

최근 유럽을 중심으로 개발되어 차량의 특성에 맞게 제작된 절연 습동부가 PTFE(토프론) type으로 된 절연구분장치가 유지보수성과 속도향상에 적합한 것으로 조사되었다. 이 장치는 러시아 철도기술연구소인 VNIIZhT에서 개발하고, 시베리아와 불가리아, 루마니아 및 헝가리 등지에서 사용되고 있으며 최고 열차운행속도 200km/h에도 아무런 문제점이 없는 AC 25kV용이다. 특히 이 방식은 선로의 구배, 곡선, 캔트 등에 영향을 받지 않고 설치할 수 있는 장점을 갖추고 있어 절연구간 설치개소의 직선거리가 부족하고 곡선반경이 존재하는 장소의 설치에도 유리하여 호남선 전철화구간의 속도향상을 위한 절연구분장치로서 적합할 것으로 예상되었다. PTFE의 특성은 다음과 같다.⁶⁾

- 습동판에 의한 마모 및 환경오염을 방지하기 위하여 절연봉 외피를 PTFE를 사용하여 제작
- 아크 소호(Arc-extinguish)를 위한 아킹 혼의 최적 설계로 고속에서 1초 이하의 아크 소호
- 평균 4kg/m 질량으로 제작하여 경량화

다. 절연구분장치의 특성비교

위에서 검토한 절연구분장치(Neutral Section Device)의 특성비교는 도표3과 같으며, 이 장치들의 개략적인 설치도는 그림1, 그림2, 그림3과 같다.⁸⁾

도표3. 절연구분장치의 특성비교

구 분	FRP제 절연구분장치	이중 절연구분장치	PTFE제 절연구분장치
구 조	단 순	복 잡	보 통
집전특성	- 유연성부족 경점작용 - 집전특성 불량 - 팬터그래프 마모 및 손상 발생	- 곡선,구배개소 설치곤란 (R=600 이상 사용권장) - 집전특성 양호 - 팬터그래프 습동판 보호 - 색손용 차단시 설치필요	- 설치조건이 용이 - 집전특성 양호 - 아크 소호특성 양호 (1초 이하)
최고운행속도	120km/h	300km/h	200km/h
유지보수성	보통	유리	유리
경제성	100%	135%	90%
사용국가	한국(수도권), 일본	유럽, 경부고속철도	러시아, 동구권, 유럽

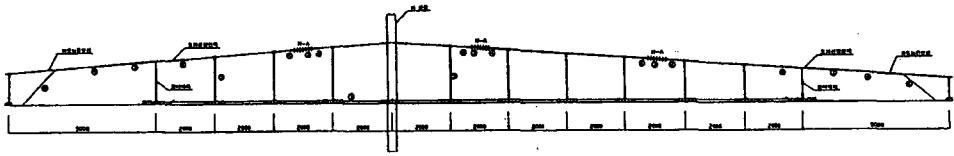


그림1. FRP제 절연구분장치 설치도



그림2. 이중 절연구분장치 설치도

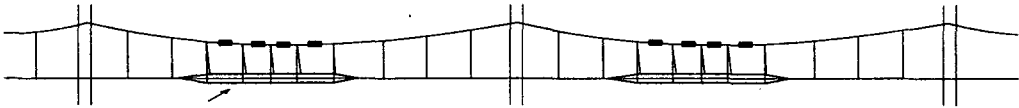


그림3. PTFE제 절연구분장치 설치도

3. PTFE 절연구분장치의 설계

이상 절연구간 통과 시 열차가 notch-off 주행하는 것이 기본이지만, 열차가 모진(notch-on 주행)한 경우를 가정하고 단 팬터그래프(single arm type) 운행시의 PTFE 절연방식의 절연길이를 계산하면 다음과 같다. 열차속도 150km/h 이상에서 아크소호시간이 1초 이하이면 절연구분장치 (Section insulator) 사이의 거리 L을 33[m] 이상으로 설계해야 한다.⁶⁾

$$L = \{42[m/s] \times 1[s]\} - (6.6[m] + 3.3[m]) \approx 33[m]$$

현재 산업선의 전철화 구간에 적용되고 있는 이상용 절연구분장치 사이의 거리(40[m])와 큰 차이가 없으나 통과속도 및 아크 소호능력에서 양호한 특징을 보이고 있으며 PTFE(6.6m)는 곡선당 김금구와 양 전주의 경간 끝에서 1/3 지점 사이에 설치되어야 전차선로 탄성도(elasticity) 측면에서 우수한 집전특성을 발휘할 수 있다.⁶⁾

PTFE 절연장치는 모든 속도에서 1초안에 아크를 소호하는 특성을 가지고 있으므로 절연구간의 길이는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{절연구간길이} = \frac{\text{열차속도}[m/s]}{\text{아크소호시간}[s]}$$

도표4. 절연구간 최저길이

열차속도(km/h)	100	120	140	160	180	200
절연구간 최저길이(m)	28	34	39	45	51	56

4. PTFE 절연구분장치의 시범설치

PTFE(6.6m) 절연구분장치의 자재를 러시아로부터 도입하여 국내에서 처음으로 우리 전차선로 시스템에 맞게 설계하여 호남선 전철화사업구간 현장에 시공하기 전에 영동선의 기존 전철화 구간간의 FRP 절연구분장치(22m)를 PTFE(6.6m) 절연구분장치로 대체하여 시범 설치한 후 전기기관차에 의한 3개월간의 운행기간동안 특성검증을 시행한 결과 성능상에 문제점이 없었다.⁹⁾

- 설치일시 : 2003. 03. 05.
- 설치장소 : 영동선 영주 ~ 문단간 문단 구분소(SP) 이상 절연구분장치
- PTFE(6.6m) 절연구분장치 형상 및 치수

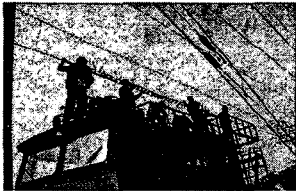
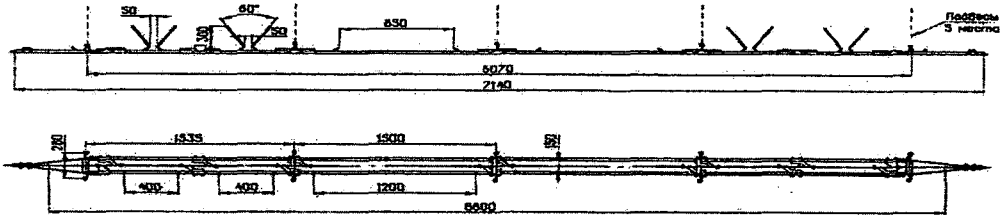


그림4. PTFE 설치



그림5. PTFE 조정

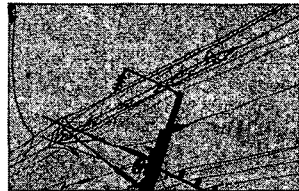


그림6. PTFE 완료

6. PTFE 절연구분장치의 시공

호남선 전철화구간은 EL 또는 KTX가 동시에 운행되는 선로이면서 이 차량의 집전장치는 모두 단 팬터그래프로서 싱글암타입으로 UIC규격을 따르고 있으므로 이들 차량특성에 맞추어 절연구분장치간 간격을 33m이상 유지시키며 인접 지지물과의 경간(Span)을 적정하게 하기 위하여 전주경간을 40m로 설치하는 것을 원칙으로 하였다. 또한 단 팬터그래프 운행시 절연구간의 최저길이를 열차속도에 따라 계산하여 도표4와 같이 정하여 구간별 최고 열차운행속도를 고려하여 시공토록 하였다. 따라서 대전~익산은 140km/h, 익산~목포는 180km/h에 맞도록 시공되었다.

1단계 EL시운전구간으로 시공이 완료된 노안~일로구간에서 2003. 9.1일부터 2003. 9.30일까지 신형전기기관차 8100대에 의해 시운전시에 PTFE 절연장치의 성능상 문제점이 없는 것으로 판명되었다.

결 론

최대 열차운행속도가 180km/h 이상에서 절연구간 통과 시 속도제한 없이 원활한 팬터그래프의 접촉상태를 양호하게 유지하기 위해서는 기존선에 적용된 FRP제를 사용할 경우에는 경점으로 작용하여 감속운전이 필요하고 또한 팬터그래프 습동판의 마모 및 파손의 원인이 될 수 있으므로 이중 절연방식과 PTFE 절연구분장치의 적용에 대하여, 다각도로 검토한 결과 이중 절연방식은 가장 안정된 집전특성을 보이나 선로조건이 곡선이 많고 구배가 큰 호남선에서는 시공상의 문제점이 제기되었다.

따라서 호남선은 러시아에서 개발하여 실용화된 절연구분장치를 적용하여 이상 절연구간을 설계하여 시공하는 것이 현실적으로 최적의 대안이라고 판단되었고 실시설계 및 시공단계의 최종 시스템 결정과정에서 선로조건, 설치위치 및 열차속도 등을 감안하여 기존선 설치시험 및 성능검토를 통하여 시스템 사양을 결정하였다.

현장 시공 후 EL8100대에 의한 시운전에서도 아무런 문제점이 발견되지 않아 기존선의 속도향상을 위한 절연구분장치로서 PTFE type이 현실적으로 적합함이 판명되었다. 향후 PTFE는 기존선을 200km/h로 향상시키고자 하는 철도청의 전철화계획구간에서도 전기적, 기계적 특성면에서 문제점이 없는 우수한 절연구분장치로 사용되어 질 수 있을 것으로 판단되나 시공상의 정밀성과 설치장소의 선정 등에 있어서는 좀더 신중을 기하여야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 小林他(1997), "425km/h 주행시에 있어서 가선·팬터그래프계의 집전성능", 일본전기학회. 산업응용부문 전국대회논문집, pp.131
- 2) 강창호, 안영훈(1998), "전차선로", 철도공무원교육원.
- 3) 유춘상, 주용환, 안영훈, 서동설, 최형근(2000), "고속철도 전차선로", 철도경영연구소원.
- 4) 김시구(2001), "전기철도 절연구분장치의 효율적 운영에 관한 연구", 석사학위논문, 충남대학교.
- 5) 한국철도기술연구원(2001), "호남선 전철화 타당성조사 및 기본계획", 제2권 기술적 검토 및 기본계획. 철도청.
- 6) (주)대동기술단(2001), "경부선 전구간 전철화에 따른 Catenary System의 Speed-up 등에 관한 연구".
- 7) 안영훈(2001), "경부선 전구간 전철화에 따른 Catenary System의 Speed-up에 대한 검토", 철도청 건설본부 전기계획과.
- 8) 서동설(2002), "러시아 PTFE제 절연구분장치 도입추진 현황", 철도청 전기본부 전철전력과.
- 9) 유해출(2003), "절연구분장치 시범설치결과보고", 철도청 북부건설사업소 전기과.