



선로조건에서는 절연구분장치의 길이가 길기 때문에 설치장소를 선정하는데 어려움이 있었다. (그림 2 참조)

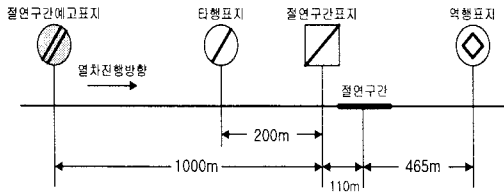


그림 1. 이중 절연구분장치 절연구간 구성

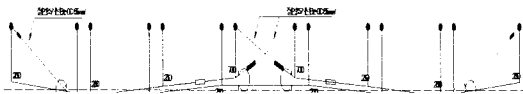


그림 2. 이중 절연구분장치 설치도

## 2.2 PTFE 절연구분장치

최근 유럽을 중심으로 개발되어 차량의 특성에 맞게 제작된 절연습동부가 PTFE(토포론) 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 설치에 적합하다. PTFE 절연구분장치의 특성은 다음과 같다.

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

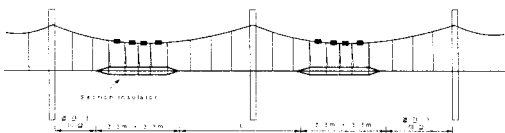


그림 3. PTFE Type 절연구분장치 설치도

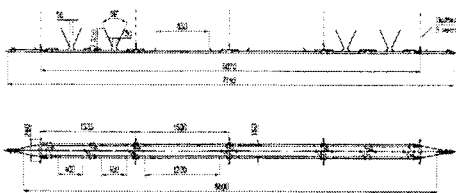


그림 4. PTFE Type 절연구분장치 상세도

## 2.3 FRP 절연구분장치

FRP 절연구분장치(22m)는 자체의 중량과 재질의 경질

화로 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. 기존선 전철화구간은 운행 최고속도가 150km/h 이므로 절연구간 통과시 속도제한 없이 원활한 팬터그래프의 접촉상태를 양호하게 유지하기 위해서는 기존선에 적용되어 사용된 FRP제를 사용할 경우에는 수명이 비교적 짧고 주기적인 보수점검 등으로 시설의 maintenance free에도 역행하는 결과를 초래하게 된다.

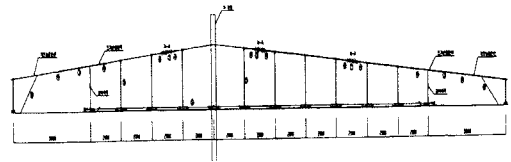


그림 5. FRP 절연구분장치 설치도

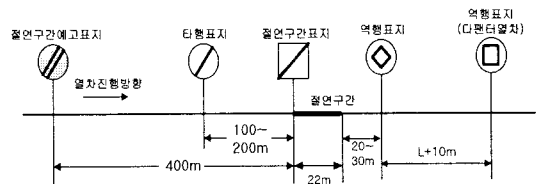


그림 6. FRP 절연구분장치 구성도

## 2.4 절연구분장치의 특성비교

위에서 검토한 절연구분장치(Neutral Section Device)의 특성을 비교하여 보면 표1과 같다.

구분	FRP제 절연구분장치	이중 절연구분장치	PTFE제 절연구분장치
구조	단순	복잡	보통
집전 특성	- 유연성부족 - 경점작용 - 집전특성 불량 - 팬터그래프 마모 및 손상 발생	- 곡선,구배개소 설치곤란 - 집전특성 양호 - 팬터그래프 습동판 보호 - 섹션용 차단시 설치필요	- 설치조건이 용이 - 집전특성양호 - 아크 소호 특성 양호 (1초 이하)
최고 운행 속도	120km/h	300km/h	200km/h
유지 보수성	보통	유리	유리
경제성	100%	135%	90%
사용 국가	한국(수도권), 일본	유럽, 경부고속철도	러시아, 동구권, 유럽

## 3. 기존선 전철구간의 절연구분장치 적용검토

### 3.1 속도특성 및 설치기준

#### 3.1.1 이중절연방식

전기차량이 절연구간 인접역에서 정지하였다가 출발하거나 또는 폐색신호기 앞에 정지한 후 출발하는 경우 그 거리를 약2km로 보고 열차가 이 구간에서 발휘할 수 있는 최고속도로 절연구간 통과속도를 실제 운행선로인 경부선 옥천변전소 부근에 이중오버랩방식의 절연구간이 설치된 것으로 가정하고 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션결과 타행표지 진입속도가 아래 그림7에서와 같이 60.29km/h이고, 타행으로 절연구간을 통과하여 역행표지에 이르렀을 때의 속도는 약 42.55km/h이다.

42.55km/h는 차량이 발휘할 수 있는 조건을 모두 만족했을 때 가능한 속도이며 실제 운행에 있어서는 기관사의 운전습관 등을 고려하여 약 20%정도 감안하면 실제운행속도는 약 34km/h가 되어 절연구간에서 열차가 정지할 수 있다.

그러므로 이중오버랩방식은 차량의 고속운행시 절연구간 방식으로 적합하나 기존선에서의 선로조건 등을 고려할 때 통과속도에 문제가 발생할 수 있으므로 이 방식을 선정할 때는 제반여건을 감안하여 결정할 필요가 있다.

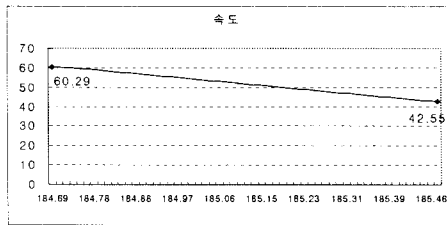


그림 7. 이중절연구분장치 구간 타행운전시 속도특성

### 3.1.2 PTFE 방식

이상(異相) 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.

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

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 곡선당감금구와 양 전주의 경간 끝에서 1/3 지점 사이에 설치되어야 전차선로 탄성도(elasticity) 측면에서 우수한 집전특성을 발휘할 수 있다.

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

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

### 3.1.3 FRP Type

FRP Type 절연구분장치도 이중오버랩방식과 동일한 방법으로 시뮬레이션 한 결과 타행통과속도가 약 60km/h이고 역행표지에 도달하는 속도는 54.6km/h로 운전습관 등을 고려하여 20%를 줄여도 약44km/h로 열차가 통과하는 데는 지장이 없는 것으로 분석되었다.(그림8) 결과 기존구간에 적용하고 있는 이 방식의 절연구분장치는 곡선구간 및 구배에서 사용하는데 문제가 없으나, 고속통과시 장치를 구성하는 부품의 질량이 크기 때

문에 고속주행에서 문제가 있다.

팬터그래프가 절연구간에 진입할 때 전차선이 산모양(山形)으로 구부러지는데 절연구분장치 입구에서는 구부러지는 정도가 특히 커진다.

이것은 절연체 등의 절연구분장치 구성부품의 질량이 크다는 것과 절연체의 굽힘 강성이 크다는 것을 의미한다. 절연체 가까이에 있는 전차선의 경우 팬터그래프가 접근함에 따라 일단 압축이 된 후에 인장 변형이 크게 변하게 된다. 이 인장 변형의 절정치는 열차의 주행속도와 함께 커진다. 이 변형량이 커지면 전차선의 피로가 진행되어 전차선의 수명을 단축하게 된다.

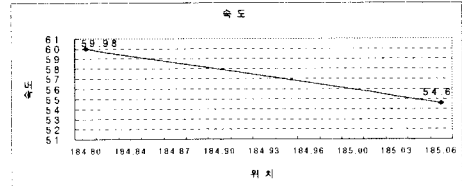


그림 8. RFP 절연구간에서의 타행운전시 속도특성

## 3.2 절연구분장치의 기존선 적용을 위한 기술적 제안

### 3.2.1 PTFE방식

1. 기존 절연구간 길이계산(단 팬터그래프인 경우)

먼저 기존에 우리 나라에서 사용하고 있는 절연구간거리 계산기법을 사용하여 아래와 같이 절연거리를 계산하였다.

현재 운행되고 있는 수도권 전동차와 같이 다중 팬터그래프를 가진 열차(전기적으로 접속된 두 팬터그래프 사이의 거리 : 13m)가 속도 약 70km/h속도로 주행할 때 아크에너지를 2600kVA라고 가정한다면, 소호거리는 아래 식과 같이 8m가 필요하다.

$$2,600[kVA] \times 3[mm/kVA] = 7,800[mm] \approx 8[m]$$

따라서 여유율을 적용하여 두 팬터그래프사이의 거리를 더하면 22m 이상의 절연구간이 필요하다.

2. 아크소호 능력이 있는 색선인슐레이터를 고려한 절연길이 계산(단 팬터그래프인 경우)

열차속도 60km/h 이상에서 아크소호시간이 1초 이하이면 색선인슐레이터 사이의 거리

$$L = \{17[m/s] \times 1[s] + 13[m]\} - \{6.6[m] + 3.3[m]\} \approx 21[m]$$

이상이어야 한다. 그리고, 철도공사 전동차 두 차량의 팬터그래프 사이의 거리(D)가 27m이기 때문에 제한속도 90km/h에서 거리 L이 29m 이하가 되어야 한다.

3. 아크소호 능력이 있는 색선인슐레이터를 고려한 절연길이 계산(단 팬터그래프인 경우)

열차속도 150km/h 이상에서 아크소호시간이 1초 이하이면 색선인슐레이터 사이의 거리

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

이상이어야 한다.

이는 현재 산업선에 적용되고 있는 이상용 절연구분장치(40[m])와 큰 차이가 없으나 통과속도 및 아크 소호능력에서 양호한 특징을 보이고 있다.

PTFE Type를 이용하여 절연구분(Neutral Section)을 하기 위해서는 아래 그림9와 같이 구성할 수 있다.

또한, 절연구분장치는 위 그림에서 보는 바와 같이 양 경간 끝에서 1/3 이상 되는 위치에 설치되어야 전차선로 탄성도(elasticity) 측면에서 유리하기 때문에 양호한 집전성능을 유지할 수 있다.

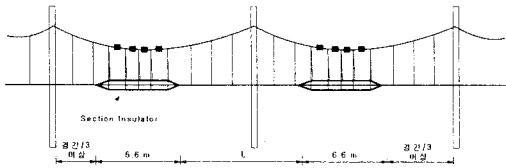


그림 9. PTFE 절연구분장치 설치 일반도

### 3.2.2 FRP Type

이 절연구분장치를 고속구간에서 사용하기 위해서 개량되어야 할 점은

- 절연체의 경량화
- 절연체의 굽힘 강성(剛性) 저감
- 절연체와 전차선을 접속하는 금속부품의 형상 변경
- 애자의 경량화
- 전차선 접속금속부품의 경량화

등이 요구된다.

개발된 고속용 FRP 절연구분장치는 일본 RTRI 연구소 내에서 강도, 내마모성 등의 기초시험 및 주행시험을 실시한 결과 실용성이 확인되어 적용되고 있다.

운용실적을 보면 전차선 변형량의 최대치는 기존형에 비해 20%저감하였고 가설 후에도 절연특성이나 마모 특성이 양호한 것으로 분석되었다.

## 4. 결 론

운행속도가 150km/h 이상에서 절연구간 통과시 속도 제한 없이 원활한 팬터그래프의 접촉상태를 양호하게 유지하기 위해서는 기존선에 적용되어 사용된 FRP계를 사용할 경우에는 경점으로 작용하여 감속운전이 필요하고 또한 팬터그래프 슬롯판의 마모 및 파손의 원인이 될 수 있으므로 고속운전에 적합한 이중 절연방식(AS→중성구간-AS)이나 러시아에서 개발하여 고속구간에 적용하고 있는 PTFE type 절연구분장치, 또는 개량형 FRP type의 적용에 대하여 적극적인 검토와 도입이 필요하다.

이중절연방식은 가장 안정된 집전성능을 보이는 것으로 판단되나 기존선 구간의 전철화인 경우 선로조건이 곡선이 많고 구배가 클 경우 설치상의 문제점이 있을 것으로 예상되므로 이 이외의 대안을 검토할 필요가 있다.

그러나 설계 및 공사 등 최종 시스템 결정과정에서는 선로조건, 설치위치 및 열차속도 등을 감안하여 현장설치시험 및 기술검토를 통하여 시스템 사양을 결정하여 적용하는 것이 바람직하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 小林他, "425km/h 주행시에 있어서 가선·팬터그래프계의 집전성능", 일본전기학회 산업응용부문 전국대회논문집, pp.131, 1997
- [2] 網于光雄, 中村登, 古澤健一: 高速用き電分岐装置の開発, 電氣學會研究會資料 TER-96-24(1996) PP.1~10
- [3] 長澤廣樹 외, "전차선의 고속용 데드섹션", RRR, 제10호(1992) PP.27~32
- [4] 창상훈 외, "경부선 전철화에 따른 Catenary System의 Speed-up 등에 관한 연구". 한국철도기술연구원, 2001
- [5] 창상훈 외, "호남선 전철화 타당성조사 및 기본계획", 제2권 기술적 검토 및 기본계획. 2001