

Insulation Deterioration of AC/DC Section Insulators for Electric Railroad Catenary.

崔圭亨*
(Kyu-Hyoung Choi)

Abstract - While passing through the AC/DC section insulators installed at electric railroad catenary, some electric trains undergo mis-operation of main circuit breaker after AC/DC change-over operation. This paper provides insulation resistance measurements of AC/DC section insulators, which confirm the insulation levels of section insulators are below the standard of insulators. The insulation deterioration and pantograph arrangement on the electric train can produce voltage impression on section insulator which induces mis-operation of main circuit breaker. To mitigate the insulation deterioration of the section insulator installed at underground railroads, the section insulators have been cleaned periodically, but section insulator structure should be modified to make the section insulator performance perfect. Based on the above analysis, effective modification method of AC/DC section insulator is provided..

Key Words : electric railroad catenary, AC/DC section insulator, FRP insulator, insulation deterioration, electric train, pantograph

1. 서 론

전차선 절연구분장치는 교류전기철도의 위상이 다른 전선 접속개소 및 직류구간과 교류구간의 접속개소에 설치되어, 전차선을 전기적으로 절연시켜 구분시킴과 동시에 전동차 집전장치(팬터그래프)가 충격을 받지 않고 통과할 수 있도록 전차선간을 기계적으로 연결시키기 위하여 사용된다[1],[2]. 절연구분장치들은 전차선 전선구간에 비해 기계적 탄성이 작고 단위 길이당 중량이 무겁기 때문에, 팬터그래프 통과시 경점으로 작용하여 기계적 충격을 받게 되고, 또한 주회로를 차단하지 않은 상태로 열차가 진입할 경우(모진)에는 아크가 발생하여 손상을 입는 등, 전차선 구간중에서 취약한 개소로 되고 있다[3],[4]. 특히, 교/직 절연구분장치는 교류전기철도와 직류전기철도의 접속개소에 설치되므로, 이 구간을 통과시 전동차 주회로가 교류에서 직류로 또는 직류에서 교류로 전환되는 기능이 추가로 필요하다. 이를 위해, 일본에서는 수지형 절연재를 사용하여 충분한 길이의 무가압 절연구간을 두어 절연을 확보하는 방식을 채용하고 있으며, 프랑스에서는 공기갭으로 절연구분을 하면서 절연구간 진입 전에 팬터그래프를 자동적으로 강하시켜 통과하고 절연구간 통과후 팬터그래프를 수동으로 상승시켜 운행하는 방식을 사용하고 있다[5],[6].

또한, 러시아에서는 폐쇄형(closed-type) 절연구분장치 2기를 사용하여 충분한 길이의 절연구간을 구성하는 등, 국가별로 고유의 방식들이 적용되고 있다[7],[8].

국내에서는 지하철의 직류 1,500[V]구간과 국철의 25,000 [V] 구간과의 접속개소에 교/직 절연구분장치들이 설치되어 있다. FRP 절연봉을 사용해서 50~70[m]에 달하는 무가압 절연구간을 구성하였고, 절연구간 진입 경보에 의해 기관사가 전동차 주회로의 차단과 교류/직류 전환조작을 하고, 절연구간을 통과한 차량별로 가선전압을 검지하여 주회로차단기를 자동투입하도록 하고 있다[9]. 그러나, 지하구간에 설치된 교/직 절연구분장치에서, 다중 팬터그래프 장착 열차들이 절연구간을 통과할 때 전동차의 주회로차단기 자동투입불량에 의한 운전장애가 발생할 수 있어, 이에 대한 검토가 필요하게 되었다.

본 논문에서는, 지상 및 지하구간에 설치된 교/직 절연구분장치 절연체(FRP 절연봉)의 절연저항을 현장에서 측정하여, 절연체의 오손으로 인한 절연열화상태 및 진행속도를 분석한다. 또한 지하구간에 설치된 교/직 절연구분장치에서 발생하고 있는 전동차 주회로차단기 자동투입 불량현상에 대하여, 교/직 절연구간 통과와 관련이 있는 절연구분장치의 절연특성과 전동차 집전시스템의 구조적 특성의 복합작용으로부터 그 발생원인을 도출한다. 이상과 같은 현장측정 결과 및 장애발생 원인분석을 토대로, 절연구분장치 절연열화 및 이로 인한 장애발생에 효과적으로 대응하기 위한 교/직 절연구분장치 개량방법을 제시함으로써, 국내 고유의 교/직 절연구분장치 운영 및 제작기술 확보에 기여하고자 한다.

* 正 會 員 : 韓國鐵道技術研究院 首席研究員 · .I.博
接受日字 : 2002年 10月 2日
最終完了 : 2002年 10月 15日

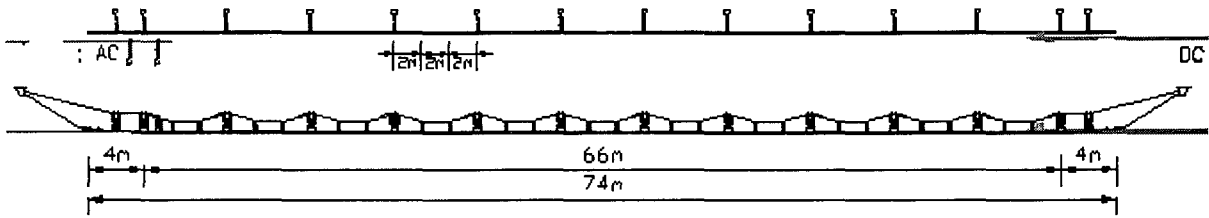


그림 1 지하구간 설치 교/직 절연구분장치 구조도

Fig. 1 Configuration of AC/DC section insulator installed at underground railway

표 1 교/직 절연구분장치 설치현황

Table 1 Installation of AC/DC section insulators

	지상구간	지하구간
설치방식	심플 카테나리 가선방식	브래킷트 방식
절연구간 구성	FRP 절연봉	FRP 절연봉
절연구간 길이[m]	50	66
전차선과의 연결	직접 접속	공기 갭으로 분리
설치개소	서울지하철1호선↔경부선 서울지하철1호선↔경원선	서울지하철1호선 ↔과천선

2. 교/직 절연구분장치 절연열화현상

2.1 장치구성

국내에는 표 1과 같이 교/직 절연구분장치들이 설치되어 있는데, 지상구간과 지하구간에서 각각 서로 다른 구조로 설치되어 있다.

지하구간에 설치된 교/직 절연구분장치에서는, 공간상의 제약 때문에, R-bar 브래킷트에 의한 고정지방식과 함께 조가선에 의한 현수방식을 추가하여 FRP 절연체를 지지하는 특수구조로 되어 있다(그림 1). FRP 절연체는 길이 2[m]의 FRP 절연봉 37개를 직렬로 연결하여 총 74[m]에 달하는데, 양 끝단은 전차선과 공기 갭을 두고 평행하게 설치되며, 이렇게 전차선 구간과 중복되지 않는 순수 절연구간은 66[m]에 달한다. 6[m] 간격(FRP 절연봉 3개)으로 R-bar 브래킷트를 설치하여 지지하고, 이 사이에 2[m] 간격으로 행거(hanger)를 통해 조가선에 현수된다.

2.2 절연저항 측정

그림 2와 그림 3은 각각 지상구간과 지하구간에 설치된 교/직 절연구분장치의 FRP 절연체에서 측정한 절연저항치(30cm당 절연저항치)를 보인다. 또한, 그림 4는 지하구간의 교/직 절연구분장치에 대해 1주일 경과한 후에 재측정한 것으로서, 절연성능이 특히 중요한 양단으로부터 20[m]까지의 구간에 대해서 측정하였다. 이 중에서 특히 시단으로부터 4[m]까지의 구간은, 1주일 전에 세척하여 절연저항을 완전하게 회복

한 다음 재측정하였다. 측정방법은, 1000[V]/2000[MΩ] 절연저항 측정기(YOKOGAWA SG 8302)를 사용하여 30[cm]간격에 대해 측정하였으며, 3회 측정하여 평균치를 취하였다.

FRP 절연봉의 절연저항은 30[cm]당 2,000[MΩ] 이상이 기준으로서[10][11], 표 2는 절연저항 측정치가 FRP 절연체 기준에 미달되는 절연구간의 총연장(절연열화구간 연장)과 절연저항의 평균치를 나타낸다. 이상의 측정결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 교/직 절연구분장치 FRP 절연체의 팬더그래프와의 습동면은 육안으로 확인할 수 있을 정도의 흑색 피막으로 덮여 오손되어 있었으며, FRP 절연체의 대부분 구간에서 절연저항이 절연체 기준에 미달되고 절연기능을 수행하지 못하고 있다.
- (2) 지하구간의 교/직 절연구분장치의 경우에는, 지상구간의 교/직 절연구분장치에 비해 절연열화구간 연장이 길고 절연저항 평균치도 낮게 나타나고 있는데, 이는 지하구간에서 발생하는 분진의 영향과 더불어 지상구간에서와 같은 풍우에 의한 자연세척효과가 없기 때문인 것으로 분석된다.
- (3) 동일한 FRP 절연체를 1주일 간격으로 측정한 결과, 전체적인 절연저항은 저하되었으나, 구간별 절연저항치 분포는 불규칙하게 변동되었다.
- (4) FRP 절연체를 완전히 세척하더라도 일주일 경과후에는 절연체의 기준이하로 절연저항이 다시 저하되는 것으로 나타났기 때문에, 세척에 의한 절연열화 방지대책은 효과적이지 못하다.

표 2 구간별 절연열화상태

Table 2 Insulation deterioration levels by section

절연구분장치 설치개소	절연열화구간 연장[m] (절연저항 평균치[MΩ/30cm])			
	시단~4m	시단~20m	종단~20m	계
지상구간	-	17.3 (95.6)	19.4 (24.6)	36.7 (58.1)
지하구간	3.7 (7.9)	19.1 (6.5)	20.0 (36.5)	39.1 (21.8)
지하구간 (1주일 경과후)	4 (11.3)	20 (14.7)	19.4 (16.4)	39.4 (15.6)

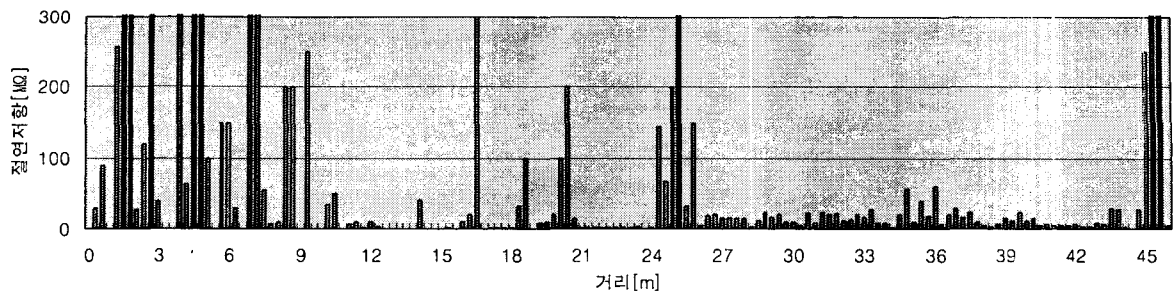


그림 2 지상구간 교/직 절연구분장치의 절연저항 측정치
 Fig. 2 Insulation resistance measurements of section insulator on the ground

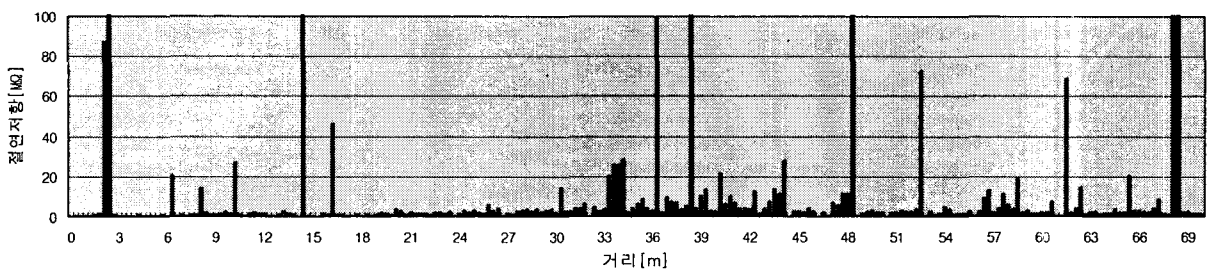


그림 3 지하구간 교/직 절연구분장치의 절연저항 측정치
 Fig. 3 Insulation resistance measurements of section insulator at underground railway

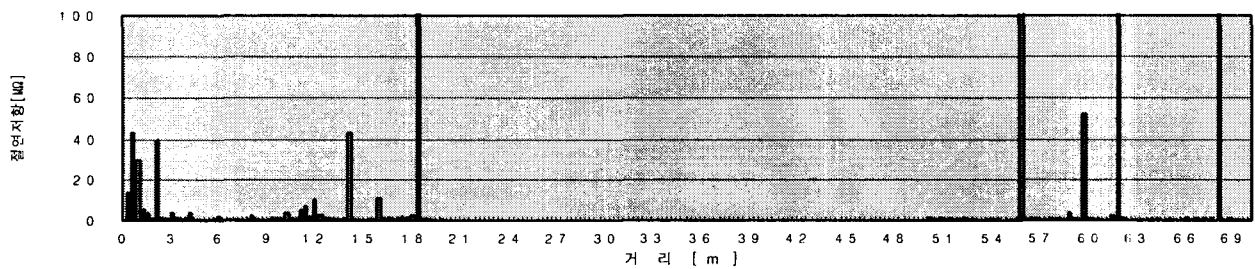


그림 4 지하구간 교/직 절연구분장치의 절연저항 측정치(1주일 경과후)
 Fig. 4 Insulation resistance measurements of section insulator at underground railway(after 1 week)

3. 주회로차단기 자동순차투입 불량현상

3.1 장애현상

교/직 절연구분장치 통과시의 열차운행 및 기기조작순서는 표 3과 같다. 전동차 주회로차단기(MCB : Main Circuit Breaker) 자동순차투입 불량현상은, 그림 5와 같이 전동차 10량 편성에서 팬더그래프를 10기 장착한 열차가 지하구간의 교/직 절연구분장치를 통과할 때에 발생하고 있다. 표 4는 1996년도 상반기의 전체 열차통행량에 대한 주회로차단기 자동투입불량 발생률을 나타낸다.

주회로차단기가 자동투입되지 않을 경우 기관사가 수동으로 투입하여야 하는데, 해당 차량만 주회로차단기를 투입할

표 3 교/직 절연구간 통과시 기기조작순서

Table 3 Operation sequence while passing AC/DC neutral section

열차위치	자동 조작	수동 조작(기관사)
절연구간 통과전	① 무가압구간 진입 인지신호 수신, 부저경보 ④ MCB 차단	② Notch Off, 역행운전 ③ AC/DC 절환기 조작
절연구간 통과중	⑤ 기관사 조작(②,③) 누락시 모진으로 보호회로 동작	-
절연구간 통과후	⑥ 통과완료 차량별로 MCB 자동투입	⑦ Notch On, 역행운전

없고, 전체 차량에 대해 주회로차단기를 차단한 후 재투입하여야 하며, 이 시간동안 열차는 타행운전에 의존하여야 한다

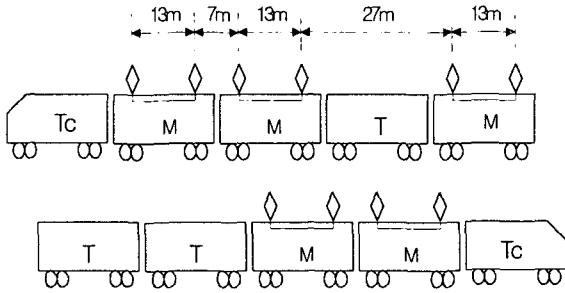


그림 5 열차편성 및 집전장치 배치도
Fig. 5 Train and pantograph arrangement

표 4 주회로차단기 자동투입 불량 발생률
Table 4 Mis-operation rate of automatic MCB closing

열차당 팬터그래프 수	MCB 자동투입불량 발생률[%]		
	DC→AC	DC←AC	계
10기 장착 열차	0.2	0.12	0.18
6기 장착 열차	0	0	0

3.2 원인 분석

그림 6은 교/직 절연구간 통과중(DC→AC 방향)에 전동차에 인가된 전압을 측정 한 사례로써, 무가압 교/직 절연구간내에서 순서적으로 전압이 인가되는 것을 보이고 있다[12]. 이러한 전압 인가 현상의 발생원인은 다음과 같이 분석된다.

(1) 전압 인가 경로 구성

팬터그래프가 2기 장착된 전동차(더블 팬터그래프 차량)에, 이 팬터그래프들은 전동차 지붕위에 13m 간격으로 설치되며 전선으로 서로 연결되어 있다. 또한, 그림 5와 같이 더블 팬터그래프 차량이 연속으로 편성된 열차의 경우, 팬터그래프간 이격거리는 7[m]로 된다.

지하구간 교/직 절연구분장치의 절연저항 측정결과(그림 3)에서 보이는 것처럼, 7[m] 이상의 절연열화구간은 용이하게 발생될 수 있으므로, 가압구간에 진입한 차량의 팬터그래프와 절연구분장치를 통해서 후속 차량의 팬터그래프에 전압이 인가될 수 있다(그림 7). 또한, 절연구분장치를 지지하는 조가선과 행거를 통해서도 전압이 인가될 수 있다.

(2) 전압 인가 지속시간 및 계전기 동작시간

전압 인가 현상의 최대지속시간은, 선행차량의 팬터그래프 연결선이 전차선과 교/직 절연구분장치 접속개소의 공기 갭을 단락시키는 시간이므로, 전동차 통과속도가 각각 40[km/h], 60[km/h]인 경우 다음과 같다.

$$13[m] / (40[km/h] \times 1000[m] / 3600[sec]) = 1.2[sec] \quad (1)$$

$$13[m] / (60[km/h] \times 1000[m] / 3600[sec]) = 0.78[sec] \quad (2)$$

주회로차단기를 투입하기 위한 전압검지 계전기는, 팬터그래프에의 인가전압이 AC 20[KV] 또는 DC 790[V]를 초과하면서 0.2[sec] 이상 지속하면 동작하는 것으로 측정되었다[13].

(3) 전압 인가에 의한 기기 오동작

식(1),(2)에서 보는 것처럼, 절연구간 통과중의 전동차에 전압 인가가 최대 0.78초~1.2초까지 지속될 수 있으므로, 전압검지 계전기가 동작하여 주회로차단기가 투입될 수 있다. 그러나, 이는 일시적인 전압 인가에 의해 주회로차단기가 투입된 것으로서, 인가전압이 소멸되면 주회로차단기는 다시 차단되게 되며, 일단 이러한 투입/차단 동작을 수행한 경우에는 가압 구간에 진입한 후에도 주회로차단기 자동투입이 이루어지지 않게 된다.

이상과 같이, 교/직 절연구분장치 통과시의 주회로차단기 자동투입 불량은, 교/직 절연구분장치를 구성하는 FRP 절연체의 절연열화현상과, 팬터그래프가 연속해서 배치된 전동차 집전시스템 구조가 복합적으로 작용하여 발생된다. 한편, 지상구간에 설치된 교/직 절연구분장치에서는, 더블 팬터그래프 차량이 연속편성된 열차는 운행되지 않고 있기 때문에 주회로차단기 순차투입불량 현상이 발생하지 않고 있다.

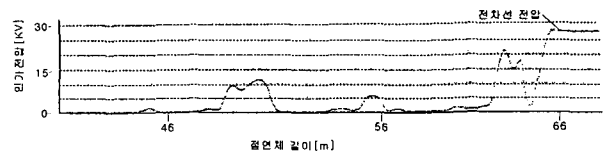


그림 6 교/직 절연구간에서의 전압 인가 측정사례
Fig. 6 Measurement sample of voltage impression to AC/DC neutral section

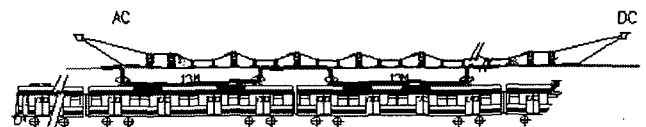


그림 7 절연구간 운행중의 전압 인가 경로
Fig. 7 Voltage impression path through section insulator

표 5 절연구간 통과 열차운행량(팬터그래프 습동량)
Table 5 Train passage through insulation section(Pantograph passage)

소속	구분	열차운행량			팬터 수량	습동횟수	
		평일	토요일	일요일		평일	1주
국철	상선	77	80	68	6	462	3,198
	하선	77	79	65		462	3,174
지하철	상선	71	69	65	10	710	4,890
	하선	71	70	65		710	4,900

4. 교/직 절연구분장치 개량

4.1 절연구분장치 운영현황

수도권 전철구간의 경우 운행밀도가 높고 팬터그래프 장착 수가 많기 때문에, 팬터그래프와 절연구분장치의 습동횟수가 많다. 표 5는 수도권 전철구간의 예로써, 1일 평균 1,154회, 1주에 약 8,080회 팬터그래프가 절연구분장치를 통과하고 있다. 이 수치는 과거 저항제어 차량과 비교하여 3배 정도 증가한 것으로, 이에 비례하여 FRP 절연체의 마모 및 절연열화가 증가하게 된다[14]. 또한, 팬터그래프의 습동판에 포함된 흑연성분은 습동시의 마찰로 FRP 절연체 표면에 부착되어 절연열화를 촉진시키기 때문에, 절연구분장치의 절연열화현상은 근본적으로 피하기 어렵다[15],[16].

표 6 교/직 절연구분장치 세척 전후의 절연저항 측정치
Table 6 Insulation resistance measurements of AC/DC section insulator before and after cleaning

		절연저항[MΩ]							
		시단~2m	시단~4m	시단~6m	시단~8m	중단~2m	중단~4m	중단~6m	중단~8m
1차	세척전	20	20	10	500	80	50	100	100
	세척후	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
2차	세척전	50	80	100	500	80	50	100	100
	세척후	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

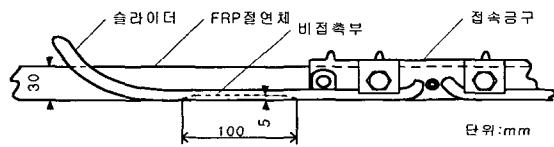


그림 8 절연구분장치 비접촉부의 구조
Fig. 8 Structure of non-contacting spot on section insulator

이상과 같은 교/직 절연구분장치의 절연열화현상 및 이로 인한 주회로차단기 순차자동투입 불량현상에 대한 대책으로,

주기적인 세척 방법이 사용되고 있다. 세척주기는 1개월 단위로 하고 있으며, 샌드 페이퍼로 200~300회 정도 닦아내고 공업용 중성세제로 세정한 다음 실리콘 수지 도료(vernish)를 표면에 얇게 도포하는 방식을 취하고 있다. 표 6은 세척전후의 절연저항을 측정해서 비교한 것으로, 세척효과는 우수하나, 그림 4 및 표 2에서 분석한 것처럼 절연열화 진행속도에 대처하기 곤란하고, 절연체 마모가 촉진되어 수명이 단축된다는 문제가 있다.

이밖에, 전압검지 계전기의 전압 지속 시한을 1.2초 이상으로 연장하는 방식은, 전동차가 절연구간을 통과해 가압구간에 진입했을 때 전압 인가가 그 만큼 지연되고, 이에 따라 전동차에의 전력공급 중단 및 타행운전시간이 연장된다는 문제점이 있다.

4.2 절연구분장치 개량

그림 6의 전압 인가 경로에서, 조가선을 통한 전압 인가를 방지하기 위해서 조가선에 애자를 삽입하고 결이애자형 행거를 사용하도록 한다. 그리고 FRP 절연체를 통한 전압 인가 회로를 차단하기 위해서, FRP 절연체의 팬터그래프와의 습동면에 다음과 같이 절연개소를 설치한다.

4.2.1 절연개소 설치시의 요구사항

- (1) 팬터그래프와의 마찰로 인한 오손을 방지하기 위해 절연개소는 팬터그래프와 접촉되지 않는 구조로 한다.
- (2) 지하구간의 공간적 제약을 감안하여 구조변경을 최소화하고, 개량작업으로 인해 열차운행에 지장을 주지 않도록 한다.
- (3) 교/직 절연구간에서의 모든 전동차 위치에서 전압 인가 회로가 단절되어야 한다.

4.2.2 절연개소의 기본구조 및 설치범위

(1) 절연개소 설치구조

구조변경을 최소화하고 작업을 용이하기 하기 위해서, 절연구분장치에서 일반적으로 사용되고 있는 아킹 혼(arcing horn)과 동일한 구조의 슬라이더(slidebar)를 이용하여 FRP 절연체의 습동면에 팬터그래프와 접촉하지 않는 비접촉부를 형

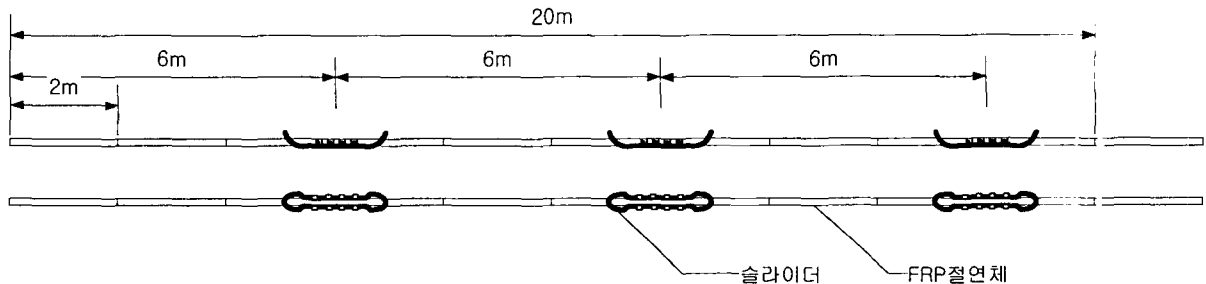


그림 9 절연구분장치에의 절연개소 설치
Fig. 9 Arrangement of insulation spot on section insulator

성함으로써 절연개소로 작용하도록 한다(그림 8)

(2) 절연개소 간격

그림 5와 같이 더블 팬터그래프 차량이 연속적으로 배치될 경우 팬터그래프 사이의 이격거리가 7[m]이므로, 이보다 작도록 한다.

(3) 절연개소 설치 구간의 길이 :

그림 6에 보이는 것처럼, 절연구간 양단으로부터 20[m] 지점까지 전압이 인가될 수 있으므로, 이 구간에 대해 절연개소를 설치한다.

4.2.3 절연구분장치 개량구조

이상과 같은 검토내용과, 6[m]마다 R-bar 브래킷이 설치되는 지하구간 교/직 절연구분장치의 설치구조(그림 1)를 고려하여, 교/직 절연구분장치의 FRP 절연체에 절연구간 양단으로부터 각각 6, 12, 18[m]의 3개소에 슬라이더와 비접촉부로 구성된 절연개소를 추가적으로 설치한다(그림 9). 즉, FRP 절연봉 37개를 직렬로 연결하여 절연체를 구성하고, 이를 브래킷과 가선을 이용해 지지하는 교/직 절연구분장치의 구조는 변경하지 않고, 슬라이더와 접촉금구를 이용한 절연개소를 FRP 절연체에 설치하는 것만으로 개량을 할 수 있다. 이때, 절연개소에서는 FRP 절연봉의 일부가 절삭되어 있기 때문에 팬터그래프와의 습동면이 전기적으로 연결되어 전압이 인가되는 것이 방지되며, 팬터그래프와의 기계적 습동은 FRP 절연체의 측면에 설치한 슬라이더를 통하여 이루어 지도록 함으로써 팬터그래프가 충격을 받지 않고 원활하게 통과할 수 있게 된다.

이와 같이 개량된 교/직 절연구분장치 구조에 대해, 교/직 절연구간을 따라 열차위치를 진행시키면서 전압 인가 경로를 조사해 보면, 모든 열차위치에서 팬터그래프 이격구간내에 항상 절연개소가 삽입되어 전압 인가 경로가 차단되는 것을 확인할 수 있다(그림 10).

제시된 방식은, FRP 절연체의 오손 단절효과가 확실하고, 교/직 절연구분장치 지지구조를 변경시키지 않으며, FRP 절연체를 그림 8과 같이 슬라이더가 장착된 개량형 FRP 절연체로 교체하여 설치하는 정도로 개량작업을 완료할 수 있어 열차운행의 지장을 초래하지 않는다는 장점이 있다. 이와 같은 특성에 따라, 절연체 구조 및 재료가 동일한 지상구간 교/직 절연구분장치 및 교/교 절연구분장치에도 적용이 가능하다.

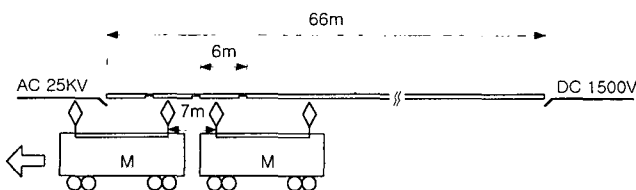


그림 10 절연구분장치 절연개소와 팬터그래프의 위치
Fig. 10 Position of pantographs and insulation spots on section insulator

5. 결 론

전동차의 집전성능 향상을 위해 팬터그래프 탑재수가 증가됨에 따라, 다음과 같이 교/직 절연구분장치에서의 장애발생요인이 증가하게 되었다.

교/직 절연구분장치 절연체의 절연저항 측정 결과, 절연체의 팬터그래프와의 습동면이 오손되어 절연체 기준에 미달되고 있었으며, 특히 지하구간의 교/직 절연구분장치에서 절연저항 저하현상이 크게 나타났다. 또한, 절연체를 완전히 세척한 후 일주일 경과후에 재측정한 결과, 절연체 기준에 미달될 정도로 절연열화가 빠르게 진행된다는 것을 확인하였다.

지하구간의 교/직 절연구간 통과시 전동차 주회로차단기 자동순차투입 불량이 발생하는 현상에 대해서는, 절연구분장치의 절연저항 저하와 전동차 집전시스템의 구조적 특성이 결합되어 절연구간에 순시전압이 인가되기 때문인 것으로 분석되었다.

지하구간의 교/직 절연구분장치 구조 및 FRP 절연체의 재질특성과 더불어, 수도권 전철구간에서의 열차통행량 및 팬터그래프와의 습동횟수 증대로 인해, FRP 절연체의 급속한 절연열화현상은 불가피한 측면이 있다. 이에 대한 대책으로, 주로 FRP 절연체를 세척하는 방식이 취해지고 있으나, 근본적인 대책으로는 절연구분장치 구조를 개량할 필요가 있다. 이에 따라, 지하구간의 공간적 제약을 고려하여 절연구분장치 구조변경을 최소화하면서 개량작업으로 열차운행 지장을 주지 않는 방법으로서, FRP 절연체에 슬라이더를 장착하여 팬터그래프와 접촉되지 않는 비접촉부를 구성하는 방법을 제시하였다. 이와 같은 절연개소를 교/직 절연구간 종단으로부터 6m 간격으로 3개소에 설치함으로써, 절연구간의 전압인가가 완전히 차단될 수 있다는 것을 보였다.

제시한 방식은 지상구간의 교/직 절연구분장치를 포함해, FRP 절연체를 이용하여 절연구간을 형성하는 교/교 절연구분장치에도 적용할 수 있으며, 절연구분장치의 절연성능을 향상시킬 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] JR 교본연구회 공저, “철도기술자를 위한 전기개론 전차선로 시리즈③ 전차선 장치”, 일본철도전기기술협회, 1998
- [2] 철도총합기술연구소편, “전차선과 팬터그래프의 특성”, 연우사, pp.50-51, 1993.
- [3] T.Gobida, “고속열차대응 가선재료설비의 현상”, 철도와 전기기술, Vol.8, No.4, pp.32-34, 1997. 4.
- [4] H.Nagasawa외 3인, “전차선의 고속용 데드섹션”, RRR Vol.10, pp.27~32, 1992. 10.
- [5] A.Sugahara, “A study of reducing strain of contact wire near a dead section”, RTRI Report, Vo. 16, No. 6, pp.15-20, 2002. 6.
- [6] “과천선 건설 전기방식 검토 최종보고서”, 한국전기연구소, 1990. 3.
- [7] J.I.Goroshkov, “Use of polymer materials inelectric railway overheads”, Rail International, pp.7-24,

January 1977.

- [8] 최규형, 이기원, "Closed Type 절연구분장치 적용에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.498-502, 2002. 5.
- [9] "1996년 전기업무자료", 제4호 철도청, 1996.
- [10] 철도용품 표준규격 KRS 2230-3230, "절연사다리차", 철도청, 2001.3.
- [11] 일본공업규격 JIS E2219, "전차선로용 section insulator", 1994. 4.
- [12] "SMSC 과천선 시운전 결과보고서", 대우중공업, 1995. 8.
- [13] "철도청 과천/분당선용 교직 전동차 시운전 보고서", 철도청, 1993. 12.
- [14] 제34회 철도통계연감, 1996. 12
- [15] 철도용품 표준규격 KRS 2240-2441, "전동차 판타그래프 주섭판(동계)", 철도청, 2002. 2.
- [16] 직무전문과정 7-070-086, "전차선 보수(교류)", 철도공무원교육원, 1997. 5

저 자 소 개



최 규 형(崔圭亨)

1958년 1월 31일 생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 Muroran공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 Hokkaido대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국철도기술연구원 수석연구원.

Tel : 031-461-8531

E-Mail : khchoi@krti.re.kr