

전기철도 절연구분장치의 효율적 운용에 관한 연구

박정균*, 최현영, 류형신, 김양모
충남대학교 전기공학과

A Study on Efficient Operation of Dead Section in Electric Railway

Jung-Gyun Park*, Hyun-Young Choi, Hyung-Sun Ryu, Yang-Mo Kim,
Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University

Abstract - In the feeding system of electric railways it is necessary to divide the power lines for either ac or dc system. At this dead section, the system is damaged by the abrupt change of the coming-in power.

This paper present the relationships. Between the feeding system and the trail-cars, and the counter plans to reduce the electrical arc and the breakdown at the dead section

1. 서 론

전기철도는 시간적인 측면에서 볼 때 다른 육상교통에 비하여 속도가 빠르고 효율적이며 대중적인 교통수단이다. 또한 대량 수송을 할 수 있는 이점이 있으며 에너지원이 전기이기 때문에 환경 친화적이다.

전기철도는 안전성, 신속성과 신뢰성을 가져야 한다. 전기철도의 에너지원은 전기이기 때문에 안정적인 공급이 중요한데 전동차에 전력을 공급하는 통로가 되는 전차선로의 신뢰도와 사고에 대한 대비책이 중요시 여겨지고 있다. 또한 여러 전동차가 한정된 선로를 이용하기 때문에 전차선로의 사고는 열차 운행에 심각한 영향을 미치게 한다.^{[2]-[3],[17]}

전기철도의 구분장치는 전차선로의 전력을 공급하는데 있어 변전소간에 전기적인 구분과 사고 발생시에는 사고 발생구간의 제한하는데 큰 역할을 하고 있다. 하지만 전차선로에 대한 기초 기술자료가 부족하고 표준시공과 유지보수 기준상태도 미흡해서 효율적인 관리를 할 수 없어 장애사고 예방에 차질을 빚고 있다.^[3] 특히 구분장치 인입시에 운전자의 부주의나 외부적인 요인들로 전차선과 구분장치 사이에 ARC가 발생하게 된다. 구분장치의 ARC발생으로 인한 사고는 선로에 큰 손상을 가져오며 열차 운행에 커다란 악영향을 끼친다.^{[4]-[6]}

본 연구에서는 전차선로의 구분장치를 사고 요인을 억제하기 위해 새로운 설비를 제안하고 보완하여 안정적이고 신뢰성이 높은 구분장치를 운용하는 방법을 제시하였다.

2. 구분장치의 목적과 문제점

2.1 구분장치의 목적

구분장치는 급전계통에서 전기적·기계적으로 구분하여 전차선에 사고가 발생한 경우 또는 보수 및 점검이 필요할 때 급전 정지구간을 한정하여 다른 구간의 열차 운행에 영향을 주지 않기 위해서 설치한다. 따라서 구분장치가 급전구간을 한정하기 위해서는 운전계통에 대응하여 상·하선별 또는 방면별로, 차량기지나 역구내에서는 본선으로부터 분리하여 계통을 구분하기 위해, 보수 작업 구간을 설정하기 쉽도록 보호 계전기의 사고 검출 능력에 상응할 수 있는 개소에 설비해야 하며 교류 구간

에서는 단순한 구분 절연용만이 아니고 전력 회사의 전원 계통이 다른 위상을 구분할 수 있는 위상구분용으로 설비되어 진다.

전차선로의 급전계통을 전기적으로 구분하기 위해 구분장치는 전기적, 기계적으로 충분한 내력을 가지고 있어야 한다. 특히 pantograph 통과시에 ARC가 완전하게 소멸되고, ARC에 의한 절연 파괴가 없어야 하며, pantograph가 구분장치의 통과시에 동요로 인한 이선율이 적어야 한다. 또한 전차선과 조가선의 기계적 성능과 상호 협조가 이루어지고 그 구간을 운전하는 열차의 속도에 대응할 수 있고 온도변화와 장력에 양호한 특성을 가져야 한다.

[표1] 구분장치의 종별과 사용구분

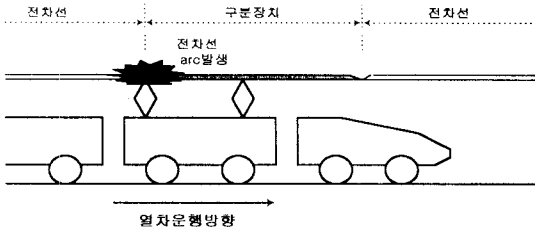
구분	종별	세목	사용 구분	속도[km/h]
전기적 구분	Air Section		동상의 본선 구분용,	120
			흡상 변압기 및 직렬 콘덴서용	
	Section Insulator	에차제	동상 상·하선 및 축선 구분	45
			"	85
			"	85
	Dead Section	수지제	이상 구분 또는 교·직구분	120
비상용			사고시 긴급 구분용	120
기계적 구분	Air Joint	본선 구분	합성 전차선 평행 개소 구분	120
	R-bar Joint Expansion Element	본선 구분	강재 전차선 평행 개소 구분	120

[표1]에서 보면 전기적 구분장치는 종별·특성에 따라 사용 용도가 다르게 된다. Air Section의 경우에는 집전 부분의 전차선에 절연물을 삽입하는 것이 아니고 절연해야 될 부분을 일정 간격을 유지하여 공기의 절연을 이용한 구분장치이고 Dead Section의 경우에는 전차선로에 절연물을 삽입하는 방식으로 교류 구간에서 이상 구분 또는 교·직 구분을 할 목적으로 사용한다. 특히 Dead Section의 절연부분에는 양호한 전기적·기계적인 특성 때문에 FRP를 많이 사용한다.

2.2 구분장치의 문제점

전기적인 구분장치는 전기적으로 구분되어지기 때문에 절연 상태이기 때문에 pantograph가 구분를 진입시에 순간적으로 전력이 공급되지 않게 되는데 전류는 계속 흐르려는 특성 때문에 순시 전압이 절리게 되고 이것은 전차선과 pantograph 사이에 ARC로 나타나게 된다. 또한 수많은 열차의 운행 횟수로 인해 구분장치로 인입부 양단의 부분적인 마모가 생기게 되며 고속철도의 도입으로

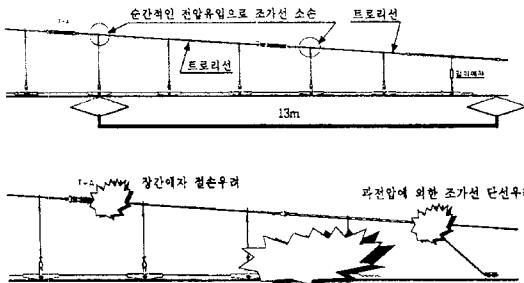
인해 열차의 속도가 증가되고 있다. 이런 열차의 고속운전과 구분장치의 부분적인 마모는 ARC가 더 크게 발생되는 요인이 되는 것이다.



[그림1] 절연 구분 장치에서 ARC 발생 예상도

[그림1]에서 보듯이 열차가 가압상태로 구분장치로 진입할 때 ARC가 발생하게 된다.

이런 관점에서 구분장치에서의 ARC에 대한 대책이 필요하다. 특히 전기적으로 이상 또는 교·직 구분을 하는 절연 구분 장치(Dead Section)에서는 인입시에 Notch off를 실시하여 타행으로 구분장치를 통과하게 된다. 하지만 운전자의 Notch off 미실시 혹은 외부적인 요인 등으로 인해 ARC가 발생되게 된다.



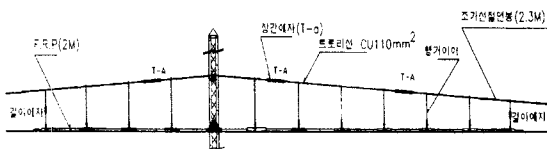
[그림2] Dead Section의 전차선로의 손피 사례

[그림2]와 같이 단전류(斷電流)로 인한 ARC발생은 구분장치의 조가선을 단선시키고 애자물 손상 등의 사고를 유발한다. 이러한 ARC로 인한 사고 발생은 열차운행의 커다란 장애를 가져오게 되는 것이다.

3. 해결 방안

3.1 전차선로의 설비의 보완

사고시에 pantograph가 직접적으로 맞닿는 부분의 전기적인 구분장치는 발생되는 ARC로부터 안정적으로 절연 특성을 가지고 있다.

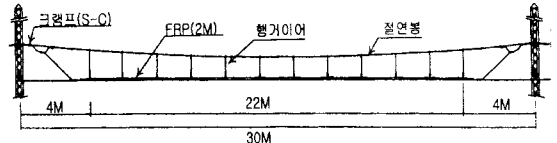


[그림3] Dead Section의 현재 상태

Dead section의 경우 현재 사용하고 있는 pantograph와 맞닿는 부분의 절연부분 FRP소재는 경우 절연내력 3[mm/kva]이고 사고시 발생되는 ARC의 최대 에너지를 2600[kva]로 가정하면 ARC 발생시 전달수 있는 Section의 길이는

$2600[kva] \times 3[mm/kva] = 7800[mm]$ 가 된다.

따라서 double pantograph의 경우 pantograph의 간격 13m를 더하여 약 21m(현재 22m)이면 충분한 ARC절연 내력을 가지는 것이다. 하지만 조가선이나 혹은 애자 장치의 경우에는 절연내력이 절연구분장치의 FRP보다 낮은데 현재 조가선의 애자로 사용되고 있는 장간 애자의 경우는 건조 섬락 전압의 경우에 150[kv]정도 밖에 되지 않아 길이가 2M인 FRP의 건조 내전압인 360[kv]에 크게 뒤진다. 또한 구분장치의 조가선은 전차선의 가압 부분의 조가선과 같이 아연도금 강연선을 사용하기 때문에 ARC에 의해 단선되기 쉽다.



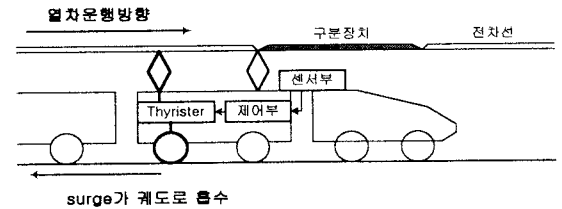
[그림4] Dead Section의 조가선의 보완 설비 구상도

ARC에 의한 설비의 손상을 막기 위해 절연내력을 증대시켜 설비를 보완하는 것이 좋은 방법이라 하겠다. [그림3]과 [그림4]를 비교하여 살펴보면 현재의 조가선의 아연도금강선(공칭단면적 90, 135[mm²])과 장간애자 부분을 절연체인 FRP로 교체하여 절연내력을 증대시켜 ARC로 인한 조가선이나 장간애자의 손상을 방지할 수 있다. 하지만 아연도금강선에서 FRP 교체에 따른 경량화는 조가선의 장력이 약화되어진다. 따라서 현재 절연 구분장치의 중간에 설치되어지던 지지점을 양단으로 설치하여 약화되어진 장력에 대한 보완해야 한다.

3.2 전동차에서 억제 방안

절연물의 설비의 보완은 ARC의 억제하는 수단이 아니라 ARC에 대해 보장하는 것이라 보아야 할 것이다. 즉 ARC를 발생을 억제하기 위해서는 단전류(斷電流)로 인한 surge를 다른 곳으로 흐르게 하는 것이 보다 효과적이다.

Air Section과 같이 Section의 양쪽의 전력이 동상일 경우에는 전동차가 구분장치의 진입시에 사이리스터를 이용 전차선로를 전기적으로 양쪽을 on시켜 surge를 반대편 전차선로로 되돌린 후 사이리스터를 off하는 방식으로 ARC를 억제시킬 수 있을 것이다. 하지만 Dead Section과 같은 이상구분용, 교·직 구분을 목적으로 사용되는 Section은 양단의 전력의 특성이 같지 않기 때문에 Surge를 선로로 되돌리기에 무리가 따른다. 따라서 전원공급의 차이에 맞게 설치할 필요 없이 Surge를 전차케드로 흡수시키는 전동차에 설비가 바람직 할 것이다.



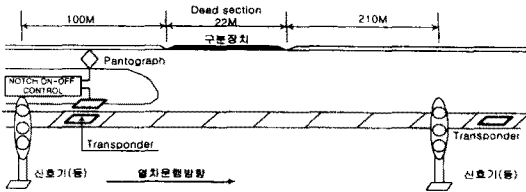
[그림5] Thyristor를 이용하여 ARC억제

[그림5]과 같이 전동차에 ARC를 억제하기 위한 설비를 설계할 수 있다. 여기서 센서부는 구분장치를 감지하여 제어부로 정보를 보내준다. 제어부는 센서부에서 감지한 정보를 판단하여 Thyristor를 on-off 동작을 시킨다. Thyristor부에서는 ARC를 억제하기 위해 surge통로를 만들어 준다. 즉 제어부의 명령에 의해 pantograph가

구분장치로 인입되는 부분에서 Thyristor를 on시켜 surge가 궤도를 통하여 흡수할 수 있도록 하고 pantograph가 구분장치를 통과한 후에는 Thyristor를 off시켜 다시 전차선에서 전력을 공급받을 수 있게 한다. Thyristor는 surge에 대해 충분한 보호를 받기 위해 thyristor 보호용 무유도성 저항을 연결해야 한다.

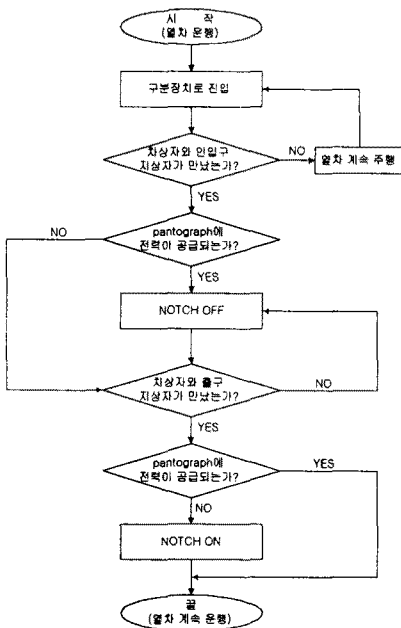
3.3 신호기를 통한 억제 방안

ARC는 전차선로에서 구분장치로 인입시에 갑작스런 전원 공급 중단으로 인해서 발생한다. 따라서 전동차에 공급되어지는 전력을 구분장치의 도달하기 전에 먼저 순차적으로 차단하게 되면 ARC의 발생은 일어나지 않게 된다. 즉 구분장치에 pantograph가 도달하기 전에 자동적으로 전동차를 notch off를 하게 되면 surge는 발생하지 않게 되는 것이다.



[그림6] 신호기(Transponder)에 의한 Automatic notch on-off system 구성도

[그림6]은 전동차가 구분장치로 도달하고 있을 때 Automatic notch on-off system을 보여주고 있는데 Dead section을 예를 들어 구성해 보았다. Dead section을 예를 들어 설명하면 구분장치 100m 전방에 신호등을 설치하여 운자자가 신호등을 인지함으로써 수동적으로 notch off하게 되어 있으며 Dead section 통과후 210m에 앞에 신호등을 설치하여 다시 notch on을 하게 구성되었다. 따라서 수동적인 notch off는 신뢰성이 떨어진다.



[그림7] Automatic notch on-off system 알고리즘

Automatic notch on-off system은 Transponder를 이용하여 전동차에 차상자를 설치하고 궤도바닥은 지상자

를 설치함으로써 전동차에서 구분장치의 통과 전에 정보를 받아 최소한의 거리에 도달 시에 notch off를 한 후 구분장치를 통과한다. 구분장치 통과 후 다시 notch on을 할 때에는 열차의 pantograph 길이를 감안하여 출구 지상자를 설치하여 notch on 시점을 결정하여야 한다. 이런 Automatic notch on-off system은 전동차가 구분장치 통과시 확실한 타행 운전을 할 수 있게 되어 ARC로 인한 사고는 발생하지 않게 된다.

[그림7]은 Automatic notch on-off system의 알고리즘을 구현한 것이다. 구현은 열차의 구분장치의 진입을 시작으로 하여 열차가 구분장치를 완전하게 통과하여 안전하게 운행할 때까지를 범위로 하였다.

이런 방법의 system은 수동적인 방법을 제한하고 자동적인 방법을 구현하여 사고의 원인을 제거하여 구분장치의 신뢰성과 안정성을 크게 할 수 있다.

4. 결 론

앞으로 고속화되고 있는 전기철도의 방향에 맞추어 전차선로의 전력량과 속도는 증가 추세를 보이고 있다. 따라서 구분장치 통과 시에 수동적인 조작은 사고율이 증가 할 것이다.

본 연구에서는 전기철도의 구분장치에 대한 운전자의 부주의나 외부적인 사고에 대한 효율적인 활용을 위해 사고 대책을 본문에서 다음과 같이 제안을 하였다.

- 1) 사고점의 물리적인 강화
- 2) Thyristor를 이용하여 surge를 궤도로 귀환
- 3) Automatic notch on-off system

즉 구분 장치에서의 사고 시에 해결책으로 사고점의 설비가 충분히 조성되어야 함과 동시에 그와 더불어 사고 발생 원인을 근본적으로 해결할 수 있는 방법을 모색해 보았다.

또한 전차선로의 조건에 따라 다르게 설비되어진 구분장치의 특성은 각기 다르고 ARC는 순간적인 양은 크지만 극히 짧은 시간 동안에 이루어지기 때문에 사고에 대한 설비의 신뢰성과 신속성이 선행되어야 하며 그에 따라 적절한 설비를 갖추어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 信號保安協會, "Automatic train stop system", 日本電氣鐵道技術協會, pp7~10,31~69, 1권, 1996
- [2] 권삼영, 김길상, "전차선과 팬터그래프 사이의 동적 상호작용 시뮬레이션", 대한전기학회 하계학술대회, 논문집A, pp455~459, 1995
- [3] 김양수 "전기철도 교/직 절연구분에서의 전동차 운행에 관한 연구", 석사논문, pp10~12, 1999
- [4] 철도청, "절연구분장치 시설기준 수립을 위한 기술협의회 개최결과 및 향후 추진계획"
- [5] Peter H.cole, David M.hall, Michael Y.Loukine and Clayton D.Werner, "Fundamental Constrains On RFID Ragging System" Proceedings of the Annual Wireless Symp, pp291~301, 1995
- [6] 철도청 전기국 "색선개소 장애현황", 철도청, 1999
- [7] 김태수, "전기철도 방식선정 및 성능향상에 관한 연구", 석사논문, pp1~3, 1996