

고속선 신호기계실의 낙뢰에 의한 장애 분석

김용규, 백종현, 양도철
한국철도기술연구원

Analysis on the fault caused by serge in High Speed Line Signaling Room

KIM Yong-Kyu, BAEK Jong-Hyun, YANG Doh-Chul
Korea Railroad Research Institute

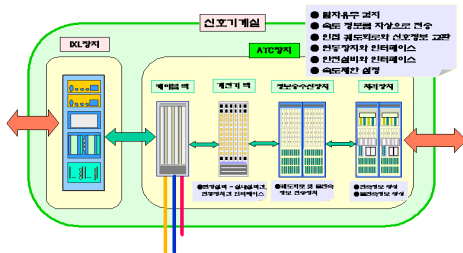
Abstract - 2005년 8월 서울기점 54km에 위치한 고속선 신호기계실에 낙뢰가 발생함에 따라 신호기계실 내부에 설치된 방호스위치 외부회로의 전원공급용 DC/DC 컨버터가 소손되었다. 그 결과, 폐색구간 작업자 보호용 방호스위치, 역구내 작업자 보호용 방호스위치 계전기 낙하가 발생하여 운행중인 고속선 열차의 정지 속도 코드가 차량에 표시되었다. 이후 장애 절차에 따라 장애 유지보수가 완료되었지만, 상행선 7개, 하행선 3개 열차가 17분~58분간 운행 지연되었다. 본 논문에서는 이러한 낙뢰 장애 사고를 분석함으로써 신뢰할 수 있는 신호기계실 낙뢰 피해 방지 방안에 대해 분석하였다.

선로에 공통된 장비를 적용하여 접지한다. 그러나 이러한 시스템은 체계적인 결함을 유발하며, 이를 보수하기 위한 유지 보수 작업을 실행해야 하는 단점을 갖는다.

차폐 변압기는 그림 3과 같은 원리에 의해 구성된다. 임피던스 매칭을 제외한 절연 변압기는 1:1의 비율로 구성된다. 그림 3에서 ①의 경우, 권선의 중성점은 접지망에 연결된다. 그러나 이러한 연결 방식은 2개의 전기 선로 회선에 대한 완전한 분리를 실행할 수 없기 때문에 신호 시스템용으로는 사용할 수 없다. ②의 경우, 변압기의 자화된 스트립은 접지에 연결되며, 차폐 변압기의 역할인 양호한 1차/2차 장애 보호를 실행한다.

1. 신호기계실 낙뢰 보호

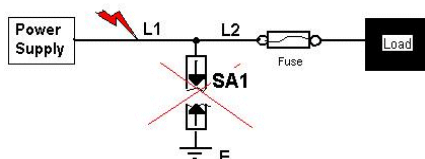
고속철도의 열차제어시스템은 서울-동대구간에 설치된 선로변설비와 광명역 열차집중제어실, 그리고 천안아산역, 대전역, 동대구역을 포함한 8개의 신호기계실 및 8개의 중간기계실로 구성되어 있다.



〈그림 1〉 고속선 신호기계실 구성

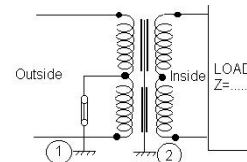
열차의 운행에 연관된 정보를 생성, 전송하는 신호기계실 설비는 대부분 저지압 회로로, 낙뢰 및 과전압으로부터 매우 민감하게 반응한다. 낙뢰 및 과전압으로부터 이러한 전기 설비에 대한 보호 원리는 주로 프랑스 철도청에서 사용하는 규정을 적용하였다. 일반적인 낙뢰 및 과전압으로부터의 전기 설비 보호 장비로는 등전위봉, 서지 피뢰기, 차폐 변압기 등이 가장 많이 사용되고 있다.

고전류 전력을 차단하기 위해서는 일반적으로 서지 피뢰기가 사용된다. 공중 전력망, 특히 저전압 및 고전압 전력 관련 설비의 최상의 낙뢰 유도 장치로 작용한다. 따라서 낙뢰의 충격이 먼 거리에서 발생할 경우에는 전력 공급원이 접지망의 연결에 의해 보호되지만, 신호기계실 근방에 낙뢰의 충격이 인가될 경우에는 안전을 위해 분산해야 할 큰 전기적 에너지의 취급이 매우 중요하기 때문에 고전력 서지 피뢰기를 적용한다. 관련 서지 피뢰기는 낙뢰 전류 유도 이후에도 여전히 선로와 대지 간에 단락 회로를 구성한다.



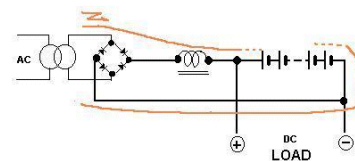
〈그림 2〉 서지 피뢰기의 원리

저전류 전력 차단용 서지 피뢰기는 단독 접지 방식을 보호할 목적으로 사용한다. 이러한 설비는 동일 회로의 경우, 두개의 전기



〈그림 3〉 차폐 변압기 원리

낙뢰 및 과전압으로부터 신호 설비에 공급되는 전반적인 직류 저전압 전력 공급망 보호는 선로와 접지망(등전위봉) 간에 설치되는 서지 피뢰기와 중성점과 접지망 간에 설치되는 서지 피뢰기를 사용하여 보호하며, 전력 관련 외장 케이블 또한 등전위봉에 연결한다. 신호 설비에서 사용할 목적의 직류 회로는 접지망으로부터 절연된 두 개의 전극(+/-)을 갖는다. 이러한 회로에 사용되는 서지 피뢰기와 전압 제한기는 낙뢰 과전압이 사라질 때까지 Vital 회로와 접지망 사이에서 일정한 절연 특성을 유지해야 한다. 아래 그림과 같은 신호 설비에 사용되는 고용량 부동 축전지는 높은 주파수에 대해서도 낮은 임피던스를 갖기 때문에 매우 양호한 낙뢰 충격 흡수기의 역할을 실행할 수 있다. 그러나 고용량 부동 축전지가 없는 경우의 직류 전류 공급은 반드시 (+)극과 (-)극 간에 과전압 제한기를 설치해야 한다.



〈그림 4〉 축전지에 의한 전압원 보호

2. 신호기계실 접지망

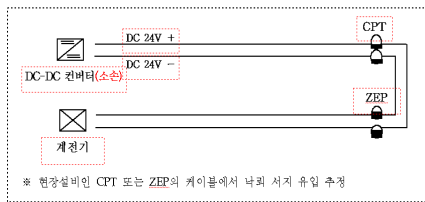
신호기계실 또는 통신실의 접지 케이블에 있어서 외부로 유출되는 케이블은 이들의 외장이 짧은 연결선에 의해 등전위봉에 연결된다. 이를 위해서는 일반적인 보호 지지대의 일부로 주어지는 특수한 케이블 지지대에 외부로 유출되는 케이블을 고정시켜야 한다. 그러나 내부 케이블은 등전위봉에 접지된 공중 금속 도관에 연결한다. 신호 및 통신 케이블을 내포한 신호실 또는 통신실 바닥은 레벨 또는 수평을 조정하기 위해 자유로이 유동 가능한 커버 석판(타일)이 특수 나사 잭에 의해 지지된다. 이때 사용된 나사 잭을 접지망에 연결한다.

접지망은 모든 기계실 또는 랙에 설치된 등전위 접지봉 관련 규정에 부합해야 하며, 공중 전력망, 특히 저전압 및 고전압 전력 관련 요소는 최상의 낙뢰 유도 장치로 작용한다. 만약 신호기계

실의 근처에 낙뢰 충격이 주어질 경우, 분산시켜야 할 큰 에너지는 매우 중요하게 취급해야 하기 때문에, 고전력 서지 피뢰기를 사용해야 한다. 그러나 낙뢰 충격이 먼 곳에서 발생될 경우, 전력 공급원은 접지망 연결에 의해 보호된다. 신호실 근처에 낙뢰 충격이 주어질 경우, 관련 서지 피뢰기는 낙뢰 전류 유도 이후에도 여전히 선로와 대기 사이에서 단락 회로를 구성한다. 직류 전송망 보호를 위해서는 부하와 외부 회로 사이에서 Galvanic 절연을 실행하기 위해 두 개의 Standby 직류 설비를 사용한다. 즉 외부 회로에 대해서는 DC/DC 컨버터를, AC/DC standby 설비의 인접 부근에는 서지 피뢰기를 설치하며, 내부 회로와 외부 회로에 대해서는 각각 분리된 회로를 사용한다. 거대한 낙뢰 전류를 접지로 유도하기 위해 Zn 또는 유도 금속판 선로와 연결된 철 피뢰침을 지붕 꼭대기에 고정함으로써 건물 보호를 시도하였다. 그러나 프랑스 철도청 규정상 신호 시스템에 대해서는 낙뢰 유도 장치를 설치하지 않지만, 신호실이 역 건물에 설치되어 있는 경우에는 이들이 소유한 접지망과 기본적인 접지 매수에 낙뢰 유도 장치를 연결해야 한다.

3. 낙뢰 피해 사례 기술 조사

2005년 8월 서울기점 54km에 위치한 고속선 신호기계실에 낙뢰가 발생함에 따라 신호기계실 내부에 설치된 방호스위치 외부회로의 전원공급용 DC/DC 컨버터가 소손되었다. 그 결과, 폐색구간 작업자 보호용 방호스위치, 역구내 작업자 보호용 방호스위치 계전기 낙하가 발생하여 운행중인 고속선 열차의 정지 속도 코드가 차량에 현시되었다. 이후 장애 절차에 따라 장애 유지보수가 완료되었지만, 상행선 7개 열차, 하행선 3개 열차가 17분~58분간 운행 지연되었다. 우선적인 분석, 검토는 신호기계실의 DC 24V 배전반, ATC 전원 배선도와 전원 공급 배선도를 기본으로 시행하였다.



〈그림 5〉 장애 발생 관련 배선도

현장조사는 낙뢰가 신호기계실에 유입되는 DC/DC 컨버터 출력 단 보안기에 대해 집중적으로 실시하였다.



a) 컨버터 1 컨버터 1 SCR 소손
b) 컨버터 2 24V 전원 인가 시험
〈그림 6〉 DC/DC 컨버터 점검 시험

DC/DC 컨버터의 역할은 주로 서지(Surge)로부터 신호기계실의 기기를 보호하기 위해 설치된 낙뢰 보호용 장비로, 비록 DC/DC 컨버터가 전문가에 의해 판매되지는 않았지만 컨버터 출력 단자가 문제되는 것으로 추정되었다. 또한 현장 조사 결과, DC/DC 컨버터 내부에 보안기가 설치되지 않음으로서 현장으로부터 이상 전압이 유입되어 DC/DC 컨버터의 출력측 SCR 소자가 소손된 것으로 확인되었다. 프랑스철도청은 현재 서지 전압으로부터 안전하게 전기 설비를 보호하기 위해 TGV 복선 및 지중해선 등과 같은 신규 설비에 대해서는 보안기를 추가적으로 내장하도록 규정하고 있다.

DC/DC 컨버터를 보호하고 있는 외부 금속함은 청색 플라스틱 피막(페인트칠)으로 덮여 있었고 역시 플라스틱 피막으로 덮인 금속 선반에 설치됨에 따라 접지망 연결이 불투명한 것으로 확인되었다. 따라서 공동 접지망 구성의 주요 원리는 모든 금속 재질을 접지망에 연결함으로써 등전위를 형성해야 하며, 등전위를 형성하지 않는 경우에는 금속 재질간의 등전위의 품질(質)에 대해 확인할 수 없으며, 최악의 경우에는 접지망으로부터 절연될 위험성을 갖는다. 즉 신뢰성 있는 등전위를 구성할 수 있는 연결 설비를 상호 접속하여 모든 금속부품들을 연결해주어야 한다. 기구함 락의 문 또는 케이블 선로의 전기접속장치 등은 이미 접지 연결이 양호하게 되어 있다. 그러나 선반 위 금속함은 접지 케이블과 볼트로 고정하는 것만으로는 완벽한 전기적인 접점을 확보했다고 보기에는 충분치 않은 것으로 검토되었다.



〈그림 7〉 DC/DC 컨버터의 접지 현황

낙뢰 발생 현장에서 점검한 신호기계실 설비에 있어서 외부에서 유입되는 신호 회로에는 피뢰기가 설치되어 있지 않았다. 여기서 케도 회로와 불연속 정보전송 루프는 자체 방호기를 내장하고 있기 때문에 검토 대상에서 제외한다. 조사 결과, BT 전원 공급이 보호되어 있으며, DC/DC 컨버터의 서지 보호 기능에 의해 나머지 설비로 서지 전압이 확장되어 흐르는 것을 방지할 수 있었다. 만약 +24V/-24V에 피뢰기가 설치되어 있었다면 이번 낙뢰 사고를 충분히 예방할 수도 있었을 것으로 예상되며, 신호기계실에 피뢰기를 설치한다면, 피뢰기의 설치 가능 장소는 DC/DC 컨버터 근방에 위치한 버스 바가 최적임을 확인하였다. 그러나 피뢰기가 서지를 경감시킬 때까지 DC/DC 컨버터 방향으로서의 서지 전압 확장을 지연시키기에는 케이블의 길이가 너무 짧아 배전회로의 임피던스가 충분치 않을 위험이 존재한다. 이러한 조건에서는 DC/DC 컨버터 단자에 직접 서지 보호기를 설치할 수밖에 없을 것으로 판단된다. 참고로 프랑스철도청은 피뢰기와 보호해야 할 장비 간에 충분한 크기의 임피던스를 생성하기 위하여 필요한 케이블의 길이를 최소 1m로 추산하며, 피뢰기에 최대한 짧게 시공하고 가능한 한 직선 선로로 연결되도록 한다(50cm) 신호 계전기에 연결된 외부 회로에 피뢰기를 추가로 설치하는 것은 피뢰기로 인해 불필요한 시간지연을 만들어 낼 우려가 있기 때문에 가능하면 피뢰기를 설치하지 않는 것이 적절할 것으로 조사되었다. 따라서 계전기가 내·외부 회로들 간의 경계선 역할을 하기 때문에 보안기는 반드시 배전 쪽에만 설치하는 것이 적절할 것으로 확인되었다.

4. 결 론

낙뢰 발생시 신호기계실에서 문제가 된 설비에 대해서는 DC/DC 컨버터 출력단자에 서지 보호기를 직접 설치, 서로 다른 금속 재물들에 대한 공동 접지망 실현 및 접지 연결 점검, 결합 발생시 알람 경고 및 컨버터 자동 차단 시스템에 대한 연구, 및 외부로 향한 전원 공급 출발점에 피뢰기 설치 방안 연구 등을 실행함으로써 신호기계실의 낙뢰 피해를 방지하여 열차 운행의 신뢰성을 향상할 수 있을 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 고속선 신호설비 안정화와 성능 개선을 위한 연구 보고서, 2005, 한국철도기술연구원
- [2] SNCF-I, "Analysis report for certain element in Kyung bu HSL TCS", 2005.03.
- [3] 김용규, 류창근, "2×25kV 급전 방식에서의 공동 접지망 적용에 따른 귀선 전류의 영향", 2002년09월, 대한전기학회 논문집, vol. 51B, No 9, pp 509-514, 2002.9
- [4] 이길노 외 3명, "케도회로에서의 공동접지와 단독접지 인터페이스", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2005.
- [5] 김용규 외 3명, "공동 접지망에서의 접지 저항값 시뮬레이션 및 측정", 2006 대한전기학회 하계학술대회