전차선로시스템의 순환전류에 대한 안정성 향상에 관한 고찰

김인철*, 강승욱**
*한국철도공사, **가톨릭상지대학

Considerations in the reliability improvement against Circulation Current in the Catenary System for Electirc Railway of Korea

In-chol Kim, Seung-Wook Kang
Korea Railroad, Catholic Sangji College

Abstract -In these days, Korea Railway apply simple catenary system to general lines and high speed lines of Korea Electric Railway. Circulation Current in catenary system frequently bring undesirable consequences. Namely, the Connector wire has many problems according to a flow of excessive circulation (or traction current) and a sudden rise of temperature on catenary when electric car or locomotive is running in high speed. The occurrence of events by the load increasement do considerable damages to peoples, organizations and systems.

In this paper, we proposed the improved changes on the catenary system of a improvement and change of a messenger wire protector, improvement of connector wire,s institution angle and of a replacement the connector wire with a dropper

A case of Circulation Current continually has broken out in Yongdungpo Electric Office's own bailiwick. By or through the medium of these obstacles, we have further use of many studies and considering countermeasures. Therefore, we have to deal with the question in design and execution of catenary system for High Speed Railway because we will spend a lot of time and more money for maintenance than for construction of that.

1. 서 론

가공전차선로(架空電車線路) 시스템은 전차선(contact wire)을 조가선(messenger wire)에 행거(hanger)나 드로퍼(dropper) 등으로 체결하는 가선방식으로 장거리 간선노선의 전기철도에서 급전시스템을 위한 가선방식으로 전세계적으로 널리 사용되고 있고 고속전기철도에서도 구조 및 소재상의 기술변화가 있기는 하지만 근본적인 형태에 있어서는 큰 변화 없이 고속화를 이루어 내고 있는 가선방식이다. 조가선이 이루어내는 형상에 의해 Catenary System이라고 한다.[1][2] 이 시스템은 궤도를 따라 운행하는데 필수적인 전기공급 수단으로 변전소로부터 높은 전압과 전류를 전차선을 이용하여 흐르게 한다. 전기차의 팬터그래프(pantograph)를 통해 변환 과정을 거쳐 트랙션모터를 구동하여 승객과 화물을 안전하게 실어 나르게 된다. 이렇게 친환경적인 전기철도가 전국적으로 운행되고 있는 시점에서 한정된 궤도상에 증가하는 승객을 수용하기 위해서 열차를 증설하였고 이에 따른 부하증가로 전차선로 상에 순환전류(Circulation Current)로 인한 피해가 발생하였다.3) 우리나라도 1973년 전철개통 후 90년대 초반부터 열차증가에 따른 부하전류 급증으로 순환전류의 문제점이 나타나기 시작하여 피해 사례가 지속적으로 발생하여 이에 대한 연구와 대책이 필요하게 되었다.

본고에서는 영등포전기사무소 관할 구역 내 발생한 전차선로의 순환전류 문제점을 기존 설비의 발생 사고를 통해서 사고발생 요인과 사고유형 그리고 사고방지를 위한 제언을 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 순환전류

커티너리에서 순환전류란 변전소로부터 전류가 급전선, 급전분기장치를 통하여 전기차에 집전되기까지의 사이에 전차선 외의 전건, 가선금구 등에 흐르는 전류를 말한다.[4][5] 전철용 변전소로부터 급전선, 급전분기선, 전차선을 통하여 전기차에 전기를 공급하는 전차선로 경로는 복수의 전선과 전선을 지지하는 금구 등의 부재도체로 구성되어 있기 때문에 아주 복잡한 전류회로를 구성하고 있다. 전차선로의 구성은 그림 1과 같고,

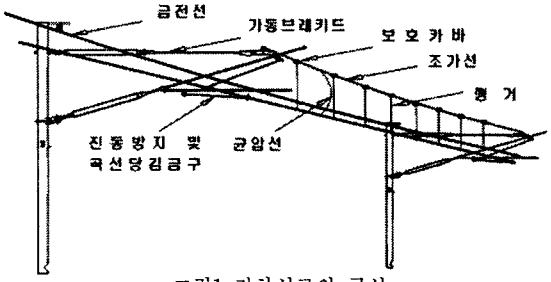

그림1 전차선로의 구성

실제 순환전류가 흐르는 경로는 급전선 → 급전분기장치 → 전차선 → 균압선 → 조가선 → 가동브래킷 → 곡선당김금구 → 행거, 균압선 → 전차선 등 복잡한 회로로 구성된다.

2.1.1 순환전류의 사고 발생 전압

가) 순환전류의 사고는 접촉점의 불완전 접속시 가선진동으로 가선이 서로 접촉할 때, 개방전압(떨어질 때의 전위차)이 수 볼트 이상 되면 아크[Arc]가 발생한다.

나) 조가선, 행거간의 아크 발생전압은 아크 발생전류의 크기에 무관하고 접촉 후 개방할 때 전압이 2.5V 이상인 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 아크 발생에 의한 전선의 융손을 줄이기 위하여 한 개소의 주위에 위치하는 전선 및 금구의 전압분포가 아크 발생전압 이하로 유지하여야 한다.

다) 조가선과 전차선간에 균압선으로 접속되어 있는 회로에서, 전위차는 저항의 관계가 평형조건이 이루어 질 때가 "0"이다.

2.1.2 순환전류의 발생원인

가) 통상적으로 순환전류 장애는 곡선당김금구의 암지지 볼트나 행거, 클램프 등 불완전 접속개소에서 일어

나고 있으며,

나) 곡선당김금구나 행거에서 아크가 발생하는 이유는 전차선과 조가선이에 전압차가 발생하기 때문이다.

다) 그런데 전차선과 조가선 사이가 상대적으로 가까워 선로정수가 거의 같지만, 두 선의 임피던스가 다르기 때문에 변전소로부터 동일한 전압을 받고 전차선과 조가선을 일정 간격으로 접속하는데 전위차가 발생한다.

2.1.3 순환전류의 분포

일반적으로 급전계통회로 해석에서 전차선과 조가선은 병렬회로로 간주한다. 사용된 전차선의 선종은 Cu 110㎟이고 조가선의 선종은 Cdcu 110㎟이다. 이 두 선의 전기저항은 각각 0.1592Ω/㎞, 0.3315Ω/㎞이다.[3]

가)전차선과 조가선의 전류분포는 7:3~9:1 범위로 나타났으며,

나) 전차선과 조가선의 전류분포 비율은 두 전선의 저항값에 비례하였다.

2.1.4 순환전류의 분석 결과

수도권 전철과 KTX의 사용 전차선, 조가선 선종에 따라 전위차분포를 시뮬레이션을 통하여 순환전류 분석 결과 첫째 카티너리 선종에 따라 전위에 대한 차이가 났으며, 둘째 균압선의 간격에 따라 전류분포도가 차이가 났고 셋째 전류분배비에 따라 민감도가 컸다. 는 사실을 알 수 있었다. 그림2는 전차선로의 구성 및 위치를 나타내고 그림3은 전차선과 조가선 그리고 균압선의 등가회로이다.

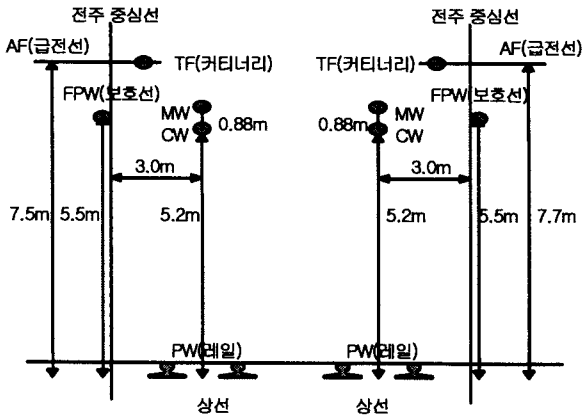

그림2 전차선로의 구성 및 위치

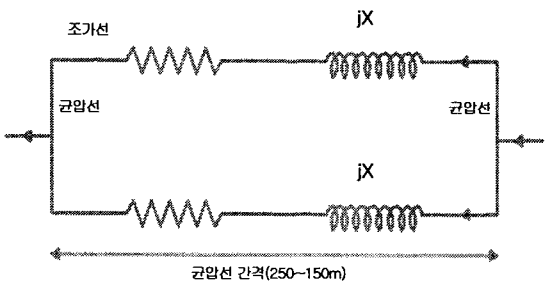

그림3 전차선과 조가선의 등가회로

2.2 장애발생 요인 및 장애유형

전차선로 순환전류에 의한 사고는 전차선로 커터너리가 선방식(Catenary)에서 조가선, 행거 또는 드로퍼, 균압선선, 곡선당김장치, 전선교차개소 등 불완전 접속개소에서 전기차 또는 바람 등에 의한 가선진동에 의해 접촉부의 분리 및 접촉이 반복될 때 아크(Arc)열에 의해 접촉저항이 증대하여 주울(Joule)현상에 의한 온도상승으로 금구류가 용해되고 조가선 등이 소손되어 단선에 이르게 된다.[5][6][7] 순환전류에 의한 장애발생 유형은 다음과 같이 분류할 수 있다.

가) 부식 및 접촉 불량 등에 기인한 접촉저항의 증가로 접촉점에서 전기차가 통과 중 과다한 전류가 흘러 주울 열에 의해 용해된다.

나) 전기차가 통과 중에 진동 또는 바람에 의한 가선의 흔들림으로 해서 가선 및 금구간의 반복적인 접촉으로 아크가 발생, 용해된다.

다) 교차개소 및 복선인 경우에는 전체 전차선로가 복잡한 전류분포를 이루게 되어 전기차가 통과 중에 전류가 한곳에 편중되어 흘러 불완전 접촉개소에서 주울 열에 의해 소손 및 단선에 이르게 된다.

라) 행거이어가 보호카바의 파손 등으로 이탈되어 조가선에 직접 접촉할 때 개방전압이 수 볼트(Volt) 이상이면 아크가 발생, 조가선이 소손되며 순환전류 사고의 대부분은 이런 아크에 의한 용손 이다.

2.3 장애 사례

현재 전차선로에 발생한 전기적, 기계적인 장애사고는 수도권 전철 구간 중 전기차 운행 간격이 비교적 짧은 구간에서 발생 빈도가 높은 것으로 나타났다. 그림5, 그림6, 그림7, 그림8, 그림9, 그림10, 그림11, 그림12는 여러 장애발생 부위의 사례를 보여주고 있다.

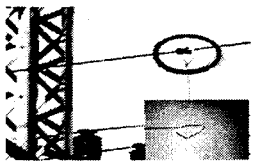

그림5 행거이어의 조가선측 마모

그림6 순환전류에 의한 회전 클립의 전기적 마모

그림7 순환전류에 의한 곡선 당김금구 암지지볼트

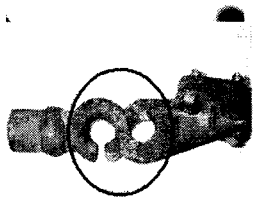

그림8 비임 하스펜선의 진동 방지 금구와 두꺼비형 암지지 클램프가 순환 전류에 의한 전기적마모

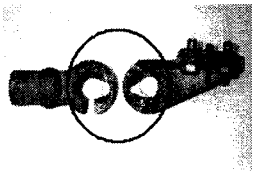

그림9 비임 하스펜선의 진동 방지 금구와 두꺼비형 암지지 클램프가 팬터 그래프 압상에 의한 기계적 마모로 용손

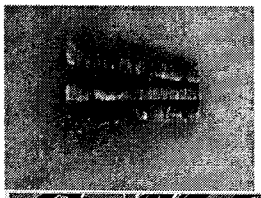

그림10 순환전류와 접촉불량에 의한 저항증가로 접속점에서 전기차가 통과 중 주울열에 의해 아크로 용해

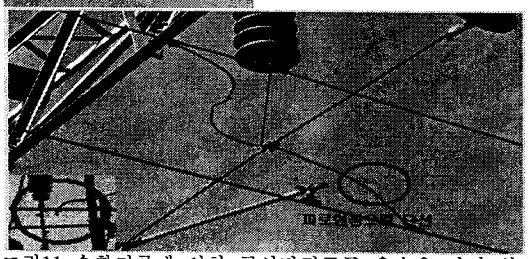

그림11 순환전류에 의한 곡선당김금구 용손을 막기 위해 M-S-T 균압선[Cu 38㎟]을 설치하였으나 기계적인 피로현상으로 단선

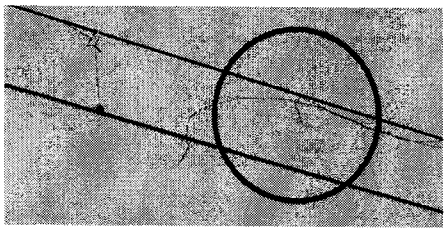

그림11 보호카바 파손으로 행거와 조가선의 불완전접촉, 조가선의 가닥 단선

2.4 기존설비의 사고 방지 대책 제언

전차선로의 순환전류 사고는 금구류의 불완전 접촉에 기인하고 있다. 전선 상호간, 전선과 가선금구, 가선금구 상호 간 불완전 접촉의 상태로 진동해서 붙거나 떨어지거나 할 때 발생하는 아크 에너지에 의해서 금구류가 용해되기 때문에 발생한다. 이와 같은 순환전류 사고를 방지하기 위한 대책으로 다음과 같이 도출하였다.

가)기존의 실패형 보호카바의 개량 또는 개발 교체
나)불완전 접촉금구류 개소(M-S-T 균압선) 설치각도 개선
다)진동이 심한 브래킷 양쪽의 행거이어를 드로퍼로 교체

3. 결 론

행거방식에 설치되어있는 기존의 보호카바는 팬터그래프 습동시 진동으로 인해 회전하여, 파손되고 이탈되어 조가선과의 불완전접촉으로 순환전류가 발생한다. 이로써 조가선이 소손, 단선되는 현상이 일어나고 있으나 새로운 보호카바를 개발하여 이탈 및 파손을 원천적으로 예방할 수 있는 구조가 되도록 해야 한다. 이로써 순환전류 현상이 발생되지 않아 장애에 따른 사고를 예방 할 수 있다. 그리고 브래킷 양쪽의 행거이어 개소는 드로퍼로 체결하여 완전한 접속을 이루어 순환전류의 문제점을 해소하여야 하며 또한 진동으로 인한 조가선 가닥소선을 원천적으로 예방할 수 있도록 해야 한다.

전차선로는 전차선의 안전 및 유지보수 확보 그리고 전기차의 운행에 꼭 필요한 시스템으로서, 고속화에 따른 발생 문제점을 직시하여 해결해 감으로써, 유지보수 비용 절감과 향후 진행될 전철화 사업에 따른 전기철도 기술발전을 위해서 기술 확보가 반드시 필요하다.[8] 향후 산·학·연 관련기관과의 협력을 통해 순환전류 문제에 대한 지속적인 기술 개발이 요구된다. 이는 장기적인 관점에서도 시공단계에서부터 유지보수 비용의 경제성을 고려하여 전차선로는 높은 전압과 전류를 변전소로부터 전기차의 팬터그래프와 접촉을 유지한 상태에서 전기차에 공급하는 매개 역할을 하면서 항상 외부 대기 중에 노출되어 있고 전기차 운행에 다른 전류와 전압의 변동률이 커서 사고가 발생할 가능성이 항시 존재하므로 전차선로의 설계와 시공시 주의 깊게 다루어져야 할 뿐만 아니라 운영상의 문제점을 유지보수 차원에서 세밀히 검토하여 설비를 부분적으로 개량하거나 설계에 피드백 시켜 반영하여야 한다.

[참 고 문 헌]

[1]안영훈 외 4인, "고속철도전철설비", 철도경영연수원, 2000
[2]유춘상 외 4인, "고속철도전차선로(Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ)", 철도경영연수원, 2000
[3]김양수, 유해철, "전기철도공학", 동일출판사, 2004
[4]ALSTOM HOLDINGS/EUKORAIL, "GENERAL ELECTIR IFICATION PRINCIPLES OF SYSTEMS AND EQUIPMEN T", 2000
[5](주)대동기술단, "전차선로 순환전류 사고 방지를 위한 드로퍼 개선방안", 2000
[6]일본철도전기기술협회, "철도기술자를 위한 전기개론", 1990
[7]강인권, "최신전기철도개론", 성안당, 2004
[8]안영훈, "프랑스 고속철도 전차선로 시스템에서 균압선의 문제점", 2001