

프랑스 고속철도 전차선로 시스템에서 균압선의 문제점

The question at issue of connector wire in High Speed Railway Catenary System of France

안영훈*

Ahn, Young-Hoon

ABSTRACT

In these days, SNCF replace the connector wire (M-T type) with a dropper has a equivalent role and function of the one in general lines of TGV, and change the connector wire (T-T-M-M-T-T, T-T-M-M-T type, etc) into a New one has more flexible cable in parallel lines (air section, air joint, etc) of TGV.

The Connector wire has many problems according to a flow of excessive circulation current (or traction current) and a sudden rise of temperature on catenary when electric locomotive is running in high speed.

To solve the question at issue of the connector wire in high speed railway catenary system of France, SNCF return their operating experience in TGV lines to design and execution of catenary system. Therefore, we have to deal with the question in design and execution of catenary system for kyoungbu HSR line because we will spend a lot of time and more money for maintenance than for construction of that

1. 서론

가공전차선로(架空電車線路) 시스템은 전차선(Contact Wire)을 조가선(Messenger wire)에 행거(Hanger)나 드롭퍼(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)}

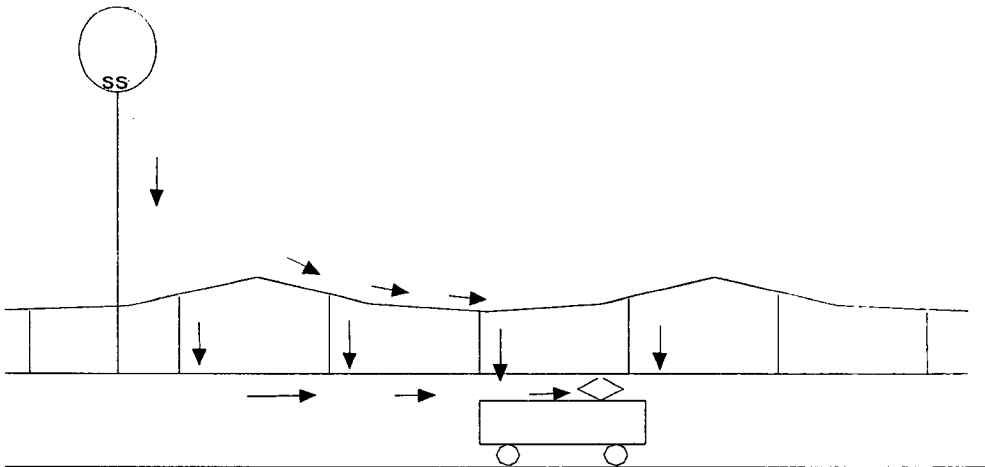
* 철도청 철도건설본부 전기계획과 전철전력팀원, 정희원

Catenary System은 조가선의 종류와 전차선의 종류 그리고 전차선을 조가선에 연결시켜주는 체결요소에 따라 여러 유형이 있으며, 이 커티너리 시스템과 전기차량의 집전장치(Pantograph)는 전기적 기계적으로 중요한 물리적 특성을 상호간에 갖는 Interface System¹⁾을 이루기 때문에 현재 우리 나라에서 공사가 진행 중인 경부 고속철도는 프랑스의 차량기술과 커티너리 기술을 함께 받아들여 공사가 진행되고 있고 일부 시험선 구간(천안~현도) 57.2km은 이미 공사가 완료(92. 6 ~ 99. 10)되어 한국형 고속철도 차량인 KTX가 1999년 12월 26일부터 시험운행 중이다.²⁾

최근 프랑스의 고속철도 노선으로 건설되어 영업운행을 해오고 있는 전노선에서 커티너리의 균압선(Connector wire)을 새로운 타입으로 일부분 교체하는 작업을 진행하고 있고 현재 새롭게 건설중인 TGV-M 노선에서 일반개소는 균압선을 설치하지 않고 전구간에 균압겸용 드롭퍼를 시공하고 있어서 이에 대한 사항을 살펴보고 한국의 고속철도에서는 균압선과 관련하여 재검토할 사항은 없는지를 제기하고자 한다.

2. 커티너리에서 Circulation current의 발생과 Connector wire의 역할

커티너리에서 순환전류(Circulation current)란 변전소로부터 전류가 급전선, 급전분기장치를 통하여 전기차에 집전되기까지의 사이에 전차선외의 전선, 가선금구 등에 흐르는 전류를 말한다.^{3) 4) 5) 10)} 전철용 변전소로부터 급전선, 급전분기선, 전차선을 통하여 전기차에 전기를 공급하는 전차선로 경로는 복수의 전선과 전선을 지지하는 금구 등의 부재도 도체로 구성되어 있기 때문에 아주 복잡한 전류회로를 구성하고 있다. 전차선로에서의 순환전류의 경로를 간단히 나타내면 [그림1]과 같다.

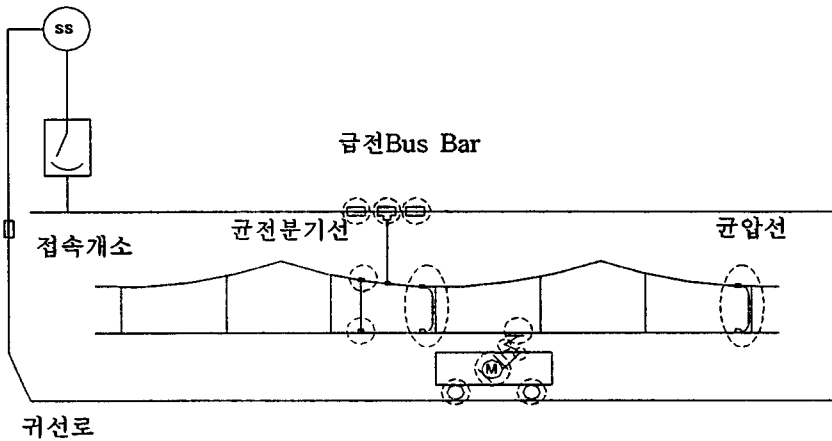


[그림1] 교류전기철도 전차선로에서의 순환전류

전차선과 팬터그래프간의 이상적인 전원공급을 위해 전차선을 일정 높이로 유지하기 위하여 조가선에 행거 또는 드롭퍼로 전차선을 지지하지만 조가선과 전차선의 지지점이 전기적으로 완전한 접속을 이루고 있지 않아서 전기차의 주행시 일어나는 팬터그래프의 압상 또는 가선진동에 의해 불안전 접속부위에서 아크(Arc)가 발생하여 발열로 인한 국부적인 온도상승 및 순환전류 사고 등이 발생하고 있다.^{4) 10) 11)}

[그림2]에서 점선으로 표시된 부위들에서 차량운행 시 온도상승이 급격히 일어나고 있는데 특히 차량의 기동시 과전류 발생으로 인하여 전차선 및 전선류에 발열이 일어나고 심한 경우 전선의 인장저항이 약하여져 전선의 늘어짐이나 끊어짐이 발생한다. 특히 조가선, 균압선, 드롭퍼 등의 케이블에서는 가닥소손이 일어나기 쉽다.

점선으로 표시된 부위에서의 발열은 $W_j = I^2 R t_0$ 로 나타내지는데 이식에서 I[A]의 값이 고속철도에서는 기존 전철화 구간에 비해 무척 큰 값을 가지게 된다. t_0 [S]는 차량이 기동을 시작하여 한 균압선이 설치된 개소에서 다른 균압선이 설치된 개소까지 이동할 때까지의 시간을 의미한다.^{3) 6)}



[그림2] 전차선로에서의 발열 개소

국내에서 순환전류에 의한 사고는 수도권 전철구간 중 전기차 운행간격이 비교적 짧은 구간에서 발생빈도가 높은 것으로 연구되고 있으며⁵⁾, 국외에서는 일본 교류구간에서 순환전류에 의한 장애 및 프랑스의 고속철도 구간에서의 장애 등이 알려지고 있다.

행거나 드롭퍼 등의 불안전 접속에 의한 온도상승 및 순환전류사고를 막기위하여 일정한 간격마다 조가선과 전차선을 균압선(Conection Wire)에 의하여 기계적으로 완전 접속시켜 전기적으로 조가선과 전차선의 전위차를 없애는 균압보상을 하고 있다.⁶⁾ 균압선은 이와 같이 전기적으로 매우 중요한 역할을 담당하고 있으므로 균압선의 설계 및 관리에는 신중을 기하여야할 사항이다.

3. 경부고속철도와 기존 전철화구간의 Simple Catenary System 비교

경부고속 철도에서는 커티너리 시스템 중 가장 단순한 가선구조를 보이고 있는 심플 커티너리 시스템(Simple Catenary System)을 사용하고 있는데 이는 조가선과 전차선 그리고 드롭퍼 및 균압선 등으로 이루어진 가선구조로 프랑스의 전차선로 전문설계 업체인 세젤렉(Cegelec)에 의해 설계되었다. 이 설계는 프랑스의 TGV-A에 적용되었던 기술기준에 한국의 환경요인 즉 계절적인 온도변화와 지역별 풍압 등을 고려하여 설계되었다. 따라서 우리 나라의 기존 전철화 구간인 수도권 전철구간과 산업선 전철구간 그리고 도시철도 등에서 사용하고 있는 심플 커티너리와는 구조 및 재질상 차이를 보이고 있다. 이 시스템들의 세부항목에 대한 비교는 다음의 표1과 같다.

[표1] 경부고속철도와 기존 전철화구간의 Simple Catenary System 비교

세부항목	경부고속철도 Simple Catenary System	기존 전철화구간 Simple Catenary System
조가선	Bz65.4mm ² 연선	Cdcu70 ² 80, St90, St135mm ²
전차선	Cu150mm ²	Cu110 or Cu 170mm ²
드롭퍼	Bz12mm ² 연선	드롭퍼:10mm ² 동연선 행거 : 5 ϕ 스텐레스강봉
균압선	[일반개소] · 최대200m마다 M-T · Cu 26mm ² 연선 [건널선개소와 평행개소] · Cu164mm ² 와 Cu75mm ² 연선 · (T-T)-M-M-T, T-M-M (T-T)-M-M-(T-T) [인류개소] · Cu 104.5mm ² 연선, M-M, T-T	[일반개소] · 250m~350m마다 T-M-T, M-T · Cu 38(35)mm ² 연선 [건널선개소와 평행개소] · Cu 100(95)mm ² 연선 · T-M-M-T [인류개소] · Cu 100(95)mm ² 연선, M-M, T-T
흐름방지장치	조가선에만 설치 Bz65mm ² or St93mm ² 연선	전차선과 조가선에 동시 설치 T-M
표준가고(최소가 고)	1400mm(600mm)	960mm(180mm)
최대경간	60m	50m
전차선높이	5080mm	5200mm
장력	[개별장력] · 도르래식 (1:5) - 조가선 : 14,000 N - 전차선 : 20,000 N	[일괄장력] · 활차식 (1:3, 1:4) : 2ton, 3ton · TTB : 2.8ton [개별장력] · TTB : 1ton, 1.5ton

위의 [표1]에서 일반개소에서 균압선은 한국의 기존 전철화구간에 설치된 균압선이 단면적이 굵고 T-M-T타입으로 체결되어 조가선과 전차선의 균압측면에서 경부고속철도의 M-T균압선보다 안정적이라고 할 수 있다. 그러나 고속열차의 주행이라는 조건을 고려하면 경점(Hard Spot)으로 작용할 소지가 있다. 즉 기존 전철화구간의 T-M-T타입 균압선이 설치된 커티너리에서 고속으로 열차가 주행할 경우에는 균압선 설치개소 부근에서 탄성계수의 변화로 인한 아크 및 이선(離線)이 발생할 수 있다.

4. 커티너리에서 온도상승과 압상에 따른 균압선의 피로도 증가현상

커티너리에서 온도상승의 주요원인은 외기온도 및 일사에 의한 온도상승, 전차선의 부하전류와 저항손에 의한 온도상승, 전선의 접촉지점에서 접촉저항의 증가로 인한 부분적 온도상승 등이다.^{4) 5) 6) 10)} 즉 교류 전기철도 구간에서는 전압이 높고 전류도 적지 않아 부하전류에 의한 자체의 저항손과 팬터그래프와의 접촉에 의한 저항손이 발생하고 여기에다 외기온도 및 일사에 의한 온도상승까지 더해져서 커티너리에서의 온도상승 문제가 발생한다. 전차선은 경동선이 널리 사용되며, 경동선은 온도가 200℃ 상승하면 경화되고 기계적 강도가 반감한다. 전차선의 온도상승 한도는 90℃이고 기타 나전선의 온도상승 한도는 100℃로 정하고 있다.^{4) 5)}

전차선로의 이상적인 조건 중의 하나인 등요가 이루어진다면 차량의 팬터그래프가 전차선과 접촉된 상태에서 운전전류를 집전하며 주행하더라도 이선율은 작은 값을 갖게 될 것이다. 그러나 실제로는 커티너리의 한 경간내에서도 차량의 주행시 전선의 자중이 등분포 되어 있지 않고 지지점의 억제저항이 존재하므로 가선계의 탄성이 균일할 수가 없다. 따라서 심플커티너리 가선의 경우 전주의 지지점 개소와 경간의 중앙 개소는 각각 한경간 내에서 최대 탄성계수(E_{max})와 최소 탄성계수(E_{min})를 갖게 된다.^{5) 11)} 이 두계수 값의 차이가 커질수록 한 경간의 탄성이 비균일하게 되고 전차선의 가선진동을 불규칙하게 만들어 결국은 이선율이 증가되어 아크발생 및 온도상승이 일어난다.

그러므로 커티너리에서는 차량의 주행 시 팬터그래프에 의한 전차선의 압상이 일어나지 않도록 하는 것이 이상적이나 가선구조상 어려우므로 프랑스의 고속철도에서는 경간의 중앙부와 전주의 지지점 사이에 동일한 압상이 일어나도록 한 경간내의 전차선에 Pre-Sag를 두는 동시에 전주의 지지점 개소의 가동브라켓트 하부에 취부되는 진동방지금구의 구조를 개량하여 한경간내에서의 압상량의 비균일율을 상당히 개선하고 있다.^{1) 2) 3)}

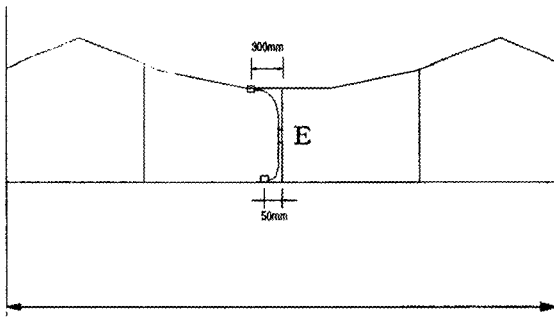
프랑스의 고속철도에서 차량의 고속주행에 의한 전차선의 압상량은 200~400mm 이상으로 실측되고 있어서 조가선과 전차선에 수직으로 체결된 드롭퍼, 균압선 등의 케이블이 차량의 주행통과 시마다 일정한 높이에서 반복적인 기계적 굽힘이 진행되고 있다. 특히 열차 운행이 빈번한 선구인 TGV-N 노선이나 속도가 향상된 고속선구에서의 드롭퍼, 균압선의 기계적이고 반복적인 굽힘운동은 증가할 수 밖에 없어 이에 수반되는 기계적 스트레스에 의해 균압선의 피로도는 증가하는

현상을 보이고 있다. 즉 고속철도의 커티너리는 열차의 고속주행에 따른 운전전류 및 순환전류가 기존 전철화 구간보다 크게 되므로 전선의 접속개소에서 일어나는 온도상승에 의한 주기적인 발열현상과 고속주행에 따른 전차선의 압상에 의해 드롭퍼나 균압선에서의 반복적인 굽힘현상이 복합적으로 어우러져 전선의 피로도를 가중시킨다. 특히 균압선의 피로도가 증가된다.

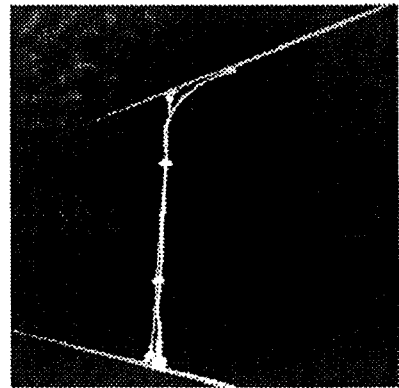
5. 프랑스 고속철도 커티너리의 균압선

5-1. 일반개소의 균압선

고속철도 커티너리의 일반개소에서 균압선은 Cu 26mm의 케이블로서 경간(Span)의 중간에 가장 근접하게 설치되어 있는 드롭퍼에 포박되어져 전차선과 조가선에 체결된다. 조가선쪽에는 슬리브에 의해 압축접속 되고 전차선에는 금구에 의해 볼트접속 된다. 조가선쪽의 접속위치는 상부 드롭퍼 체결금구의 위치로부터 수평으로 300mm 지점이고 전차선쪽의 접속위치는 하부 드롭퍼 체결금구의 위치로부터 수평으로 50mm 지점이다. 이 균압선은 3내지 4경간 마다 설치되어 지는데 2개의 균압선간의 최대 간격은 200m이다. 즉 고속철도의 커티너리에서는 200m마다 경간의 중앙부근에서 M-T간에 균압선으로 기계적인 접속이 이루어져 전기적인 균압이 이루어지고 있는 상태이다.^{1) 2) 3) 9)}



(a) M-T 균압선의 설치위치 및 치수



(b) M-T 균압선 설치상태

[그림3] 고속철도 커티너리 일반개소 균압선 설치

[그림3]은 한 경간에서 전차선로에 M-T 균압선이 취부되어 있는 개략도 및 실물설치 사진이다. 이 개략도에서 E는 균압선을 드롭퍼에 체결하는 고정접속 금구로 전차선로 한 인류구간의 길이에 따라 1개 혹은 2개를 체결하게 된다. 전차선 인류구간이 800m보다 큰 경우에는 접속점이 2개이고 800m 이하인 경우는 접속점이 1개이다. 드롭퍼에 연결하는 접속점이 1개인 경우 접속점의 위치는 드롭퍼의 조가선 체결점으로부터 300mm 지점이며, 접속점이 2개인 경우 상부 접속점의 위치는

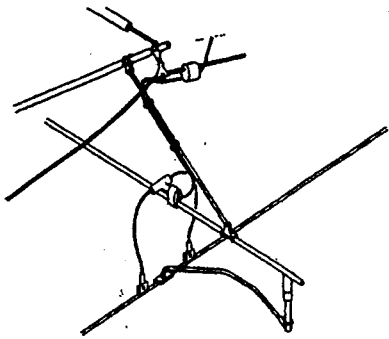
롭퍼의 조가선 체결점으로부터 300mm 지점이고 하부 접속점의 위치는 드롭퍼의 전차선 체결점으로부터 300mm 지점이다. 따라서 접속점이 2개인 경우 드롭퍼에 고정되는 접속금구간의 거리는 균압선이 설치되는 경간 및 가고의 값에 따라 달라지게 된다고 할 수 있다. 또한 전차선로의 한 인류구간의 장력방향에 따라 균압선의 설치방향도 정하여 있어 온도변화에 의한 전차선로의 신축작용에 억제저항으로 작용하지 않게 하고 있다.^{1) 2) 3) 9)}

5-2. 평행개소의 균압선

고속철도 커티너리의 평행개소(에어조인트나 에어섹션 개소) 및 건널선개소에서의 균압선은 한국의 기존 전철화 구간의 평행개소 및 건널선개소에 설치하고 있는 T-M-M-T 타입의 균압선과 유사한 형태를 지니며 같은 역할을 수행하고 있지만 구조상에서 차이가 있고 체결방법도 다르다. 기능면에서 T-M-M-T 타입의 성능을 보강한 구조를 갖는다고 할 수 있다.

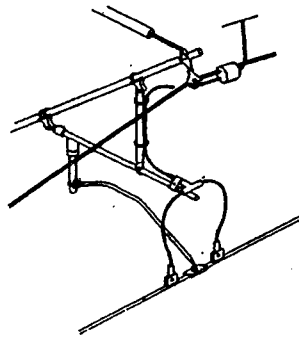
설치면에서 굳이 비교하자면 (T-T)-M-M-(T-T) 타입 혹은 (T-T)-M-M-T 타입을 지지점개소의 가동브래킷에 고정시켜 취부하고 있다. 즉 평행개소 및 건널선개소의 균압선 설치는 반드시 지지물에 취부된 가동브래킷의 파이프를 따라 설치하되 가동브래킷의 종류에 따라 취부방법이 다르다. [그림4]는 가동브래킷의 종류에 따라 균압선의 설치방향을 나타내 주는 도면으로 이 도면에서 압축형은 기존 전철화 구간의 O Type 가동브래킷에 해당되고 인장형은 I Type 가동브래킷에 해당된다.^{3) 9)}

COMPRESSION MOUNTING (EXCEPT TURNOUTS)



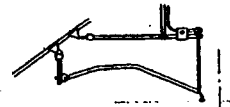
(a) 압축형 가동브래킷의 균압선 설치

TENSION MOUNTING (EXCEPT TURNOUTS)



(b) 인장형 가동브래킷의 균압선 설치

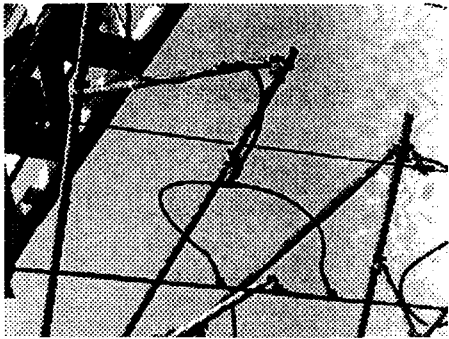
FOR MOUNTING IN REDUCED
LOCATION ADD A
REGISTRATION TUBE
TO SUPPORT THE JUMPER.



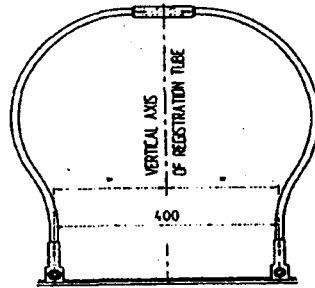
[그림4] 평행개소 균압선의 가동브래킷 종류에 따른 설치방향

또한 한국의 기존 전철화 구간의 균압선과 비교할 때 전차선쪽의 접속부분이 하나 더 있으므로 해서 전차선과 균압선의 완전한 접속 및 순환전류의 분산을 용이하게 하는 동시에 전차선의 압상에 따른 균압선의 굽힘을 완화 시키고 있다. 재질면에서 T-M-M-T 타입이 일체의 동일 단면적을 가지는 균압선으로 단일구성되는데 비해서 (T-T)-M-M-(T-T) 타입 및 (T-T)-M-M-T 타입은 단면적이 다른 2개의 선종을 갖는 3개 혹은 2개의 균압선으로 복합구성되어 진다고 할 수 있다. 즉 T-T 접속용 케이블은 Cu 75mm²의 연선이고 M-M 접속용 케이블은 Cu 164mm²의 연선을 사용하고 있다.

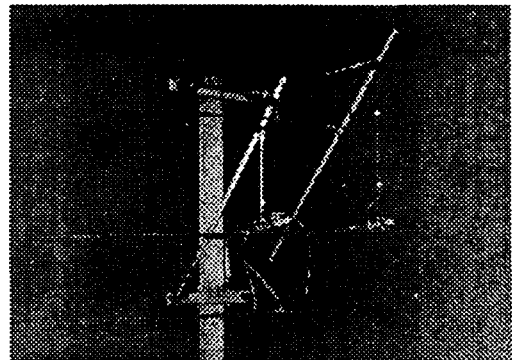
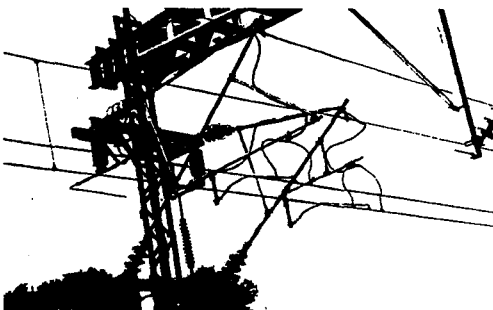
이 두 케이블은 T형 슬리브에 의해 압축접속되어 하나의 균압선으로 복합구성되게 된다. [그림5]는 이것을 사진과 도면으로 잘 보여주고 있다. T-T 접속용 케이블을 전차선과 접속시키는 금구 상호간의 거리는 400mm로서 T형 접속슬리브를 중심으로 좌우 대칭을 이룬다.⁹⁾ 그러나 초기 시공시는 장력방향의 반대 방향으로 100mm의 사전이동(Fluage)을 주어 설치하고 있다. 다음의 [그림6]는 고속철도 커티너리의 평행개소에서 균압선의 전체적인 설치상태를 보여준다.^{9) 9)}



POSITION OF JUMPERS ON THE CONTACT WIRE



[그림5] 평행개소 균압선의 T-T 케이블 상세도면과 설치상태



(a) (T-T)-M-M-(T-T) 타입

(b) (T-T)-M-M-T 타입

[그림6] 고속철도 커티너리의 평행개소 균압선 설치

6. 프랑스 고속철도 커티너리 균압선의 개량 및 교체작업

프랑스는 1981년 고속철도 신선인 TGV-PSE(파리동남선:410Km)노선을 건설하여 상업속도 270km/h로 영업운행을 시작하여 1989년 TGV-A(대서양선:280Km)노선을 건설하여 상업속도 300km/h로 영업운행 속도를 향상시키고 1993년 TGV-N(북유럽선:333Km)노선을 건설하여 상업속도 300km/h로 영업운행을 하고 있으며 2001년 개통목표로 건설하여 시험운행중인 TGV-M(지중해선:295Km)노선은 상업속도 350km/h로 영업운행을 개시할 예정이다. 프랑스는 이러한 일련의 고속철도 건설경험과 운행경험을 통하여 여러 가지 측면에서 기존의 가공전차선로의 커티너리를 기술적으로 소재면에서 향상시켜 고속열차의 주행속도를 높여 왔고 건설비용 및 유지보수라는 측면에서 경제성을 구현시켜왔다.⁹⁾

그러나 고속철도의 커티너리 시스템이 기술적인 면에서 전혀 결점이 없는 가선 시스템은 아니라는 것이 많게는 20년 짧게는 10년여의 운행경험을 통하여 알려지고 있다. 그 중에 하나가 커티너리의 균압선 문제인 것이다. 고속으로 주행하는 차량의 팬터그래프에 의한 전차선의 압상에 따른 균압선의 기계적인 절곡운동과 차량의 팬터그래프에 의한 전차선으로부터의 운전전류 집전 시에 따르는 균압선의 온도상승에 따른 발열 그리고 조가선과 전차선의 접속개소 등에서의 순환전류에 의한 아크발생 및 온도상승 등이 복합적으로 상승작용을 하여 균압선의 피로도가 증가되어 재료의 물리적 성질을 약화시킴으로서 장애가 발생한다는 사실에 직면한 것이다.

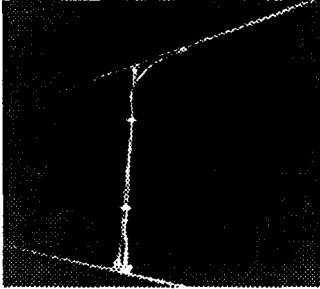
따라서 균압선을 개량하거나 새로운 형태로 대체하지 않으면 고속주행 선구 및 열차 헤드웨이 간격이 좁은 구간에서는 시간이 경과 될수록 동시 다발적으로 빈번한 균압선 장애를 일으킬 수 있다는 기술적 검토하에 전 고속철도 노선에서 균압선의 대체 및 교체작업을 하고 있는 것으로 판단된다.

6-1. 일반개소 균압선의 철거 및 균압드롭퍼로의 대체작업

1993년부터 상업속도 300km/h로 영업운행을 하고 있는 TGV-N(북부선)노선의 경우는 영업운행을 시작한지 만5년이 경과 된 시점부터 드롭퍼 및 균압선 등에서 가닥소손이 발생하기 시작하여 절손장애가 발생한 기록이 있다. 본인이 프랑스 북부선의 연수 중에 고속철도 주간 도보순회 시 가닥소손이 일어난 드롭퍼를 직접 육안으로 발견하여 보고함으로써 야간 작업시 교체한 사례도 있다. TGV-N(북유럽선)노선의 파리~릴 구간은 유로스타와 탈리스 그리고 일반 TGV가 중복되는 구간으로 열차의 속도면에서는 크나큰 차이가 있지만 열차의 운행빈도 측면에서 우리나라의 서울~구로간 기존 전철화 구간과 비슷하다고 할 수 있다.

프랑스의 고속철도 커티너리에서 일반개소에 설치된 M-T 균압선과 드롭퍼는 작업계획에 의해 일률적으로 철거한후 그 자리에 신품 균압드롭퍼를 설치한다. 또한 이 균압드롭퍼 전후의 드롭퍼도 철거하여 균압드롭퍼로 대체한다. 이러한 작업과정은 다음의 [그림7]과 같다. 균압드롭퍼는 균

압선과 드롭퍼의 기능과 역할을 동시에 수행할 수 있는 구조를 가졌고 순환전류에 의한 이중금속간의 전위차를 고려하여 일체 볼트 및 너트를 사용하고 있지 않다. 이것은 더욱이 설치 및 철거 등의 유지보수 측면에서 볼 때 작업을 쉽고 간편하게 할 수 있게 한다.



(a) 경간 중앙의 기존 균압선과 드롭퍼



(b) 기존 균압선과 드롭퍼 철거



(c) 균압드롭퍼의 조가선쪽 체결



(d) 균압드롭퍼의 전차선쪽 체결



(e) 한 경간의 균압선 철거 후 균압드롭퍼×3개 설치

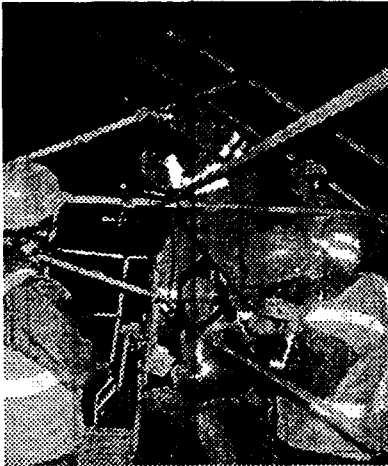
[그림7] 균압드롭퍼의 설치작업

6-2. 평행개소 균압선의 개량 및 교체작업

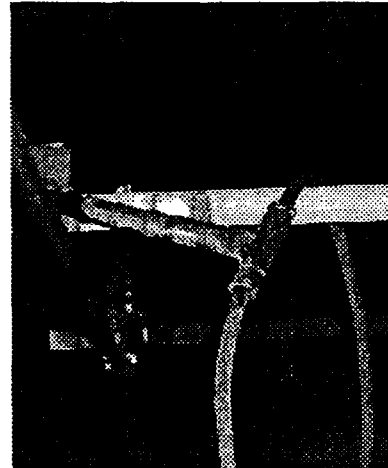
평행개소의 균압선도 일반개소의 M-T 균압선과 마찬가지로 고속주행과 운전전류 집전시의 현상에 의해 피로도가 누적되어 장애가 발생하게 되는데 주로 손상이 일어나는 부분은 T-T 케이블이다. 이는 재질면에서 M-M 케이블보다 단면적이 적고 팬터그래프에 의해 지지점개소의 진동방지 금구가 400mm 압상할 수 있는 구조를 가졌으므로 이에 따른 전차선의 압상시에 주기적인 접힘이 일어나는 케이블은 T-T 케이블이다.

이러한 원인은 기존의 평행개소 균압선이 지지물의 가동브래킷트에 고정되어 설치되어 있으면서 M-M 케이블과 T-T 케이블간은 T형 슬리브에 의해 압축접속 되어져 수평파이프에 고정설치되어 있기 때문이다. [그림8]의 (a)와 (b)를 참조하면 쉽게 알 수 있다. [그림8]은 평행개소 균압선의 교체작업 순서를 보여주고 있다.

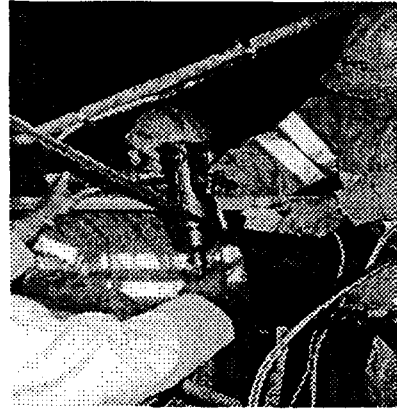
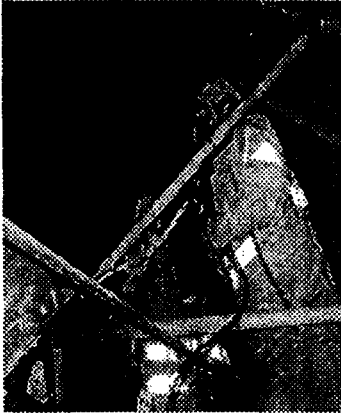
따라서 평행개소의 균압선은 전체를 교체할 필요가 없으므로 손상된 T-T 케이블만 쉽게 교체할 수 있는 구조로 개량하고 T-T 케이블이 전차선의 압상에 의해 기계적 굽힘이 반복적으로 진행되더라도 물리적으로 쉽게 손상되지 않고 수명이 오래갈 수 있도록 케이블의 연선 구조를 개선하고 있다. 종래의 케이블이 한 방향으로 비틀어져 파배기처럼 꼬여져 제작되는데 반해 신형 케이블은 여학생의 머리뿔기와 같은 매듭 위기로 꼬아져 제작되었고 연선의 가닥 숫자를 종래 케이블보다 훨씬 많게 하면서 전체 단면적은 같게 함으로써 외부적인 압력에 훨씬 플렉시블한 특성을 지닌 케이블 된다. 여기에다 T-T 케이블의 교체를 쉽고 간편하게 하기 위하여 T형 슬리브에 의한 압축접속 대신에 M-M 케이블이 연결되는 쪽만 압축접속하고 T-T 케이블의 연결은 금구에 의한 볼트접속으로 개량한 새로운 T형 연결 금구를 개발하여 교체하고 있다.



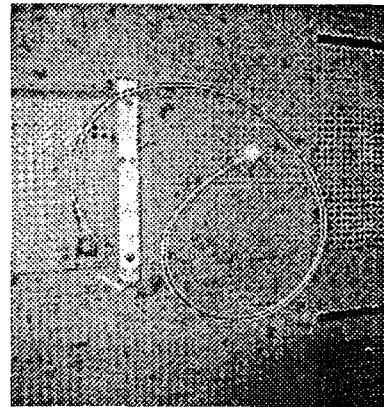
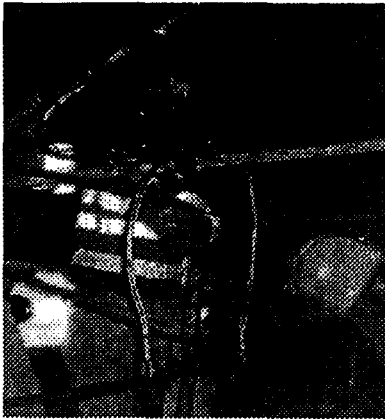
(a) 평행개소 균압선의 M-M과 T-T부분 분리



(b) 구형 T 압축접속 슬리브



(c) M-M 분리부분 슬리브 압축접속 (d) 신형 T 연결금구에 M-M쪽 압축접속



(e) 평행개소 균압선에 신형 T-T케이블 접속

(f) 신형 T-T 케이블

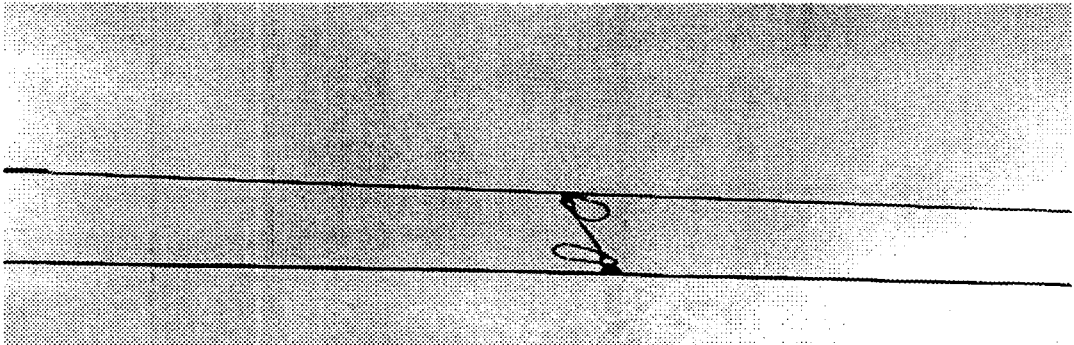
[그림8] 평행개소 균압선의 교체작업

6-3. TGV-M 신설노선 및 독일 ICE 노선 등에서의 균압드롭퍼 사용

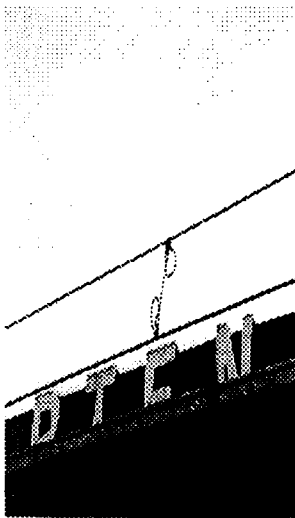
독일, 벨기에, 네덜란드 등의 커티너리에서는 일반개소의 균압선 대신에 이미 균압드롭퍼를 사용하여 순환전류와 드롭퍼 및 균압선의 손상문제를 해결하고 있다. 프랑스에서도 TGV-PSE와 연결시켜 상업속도 350km/h로 영업운행을 시작하기 위해 새로 건설한 TGV-M노선의 커티너리에서는 부분적으로가 아니라 전체 커티너리의 조가선과 전차선의 연결에 드롭퍼와 균압선을 사용하지 않고 균압드롭퍼로 그리고 평행개소에서는 개량된 균압선으로 시공함으로써 일반개소에서는

균압드롭퍼가 드롭퍼의 역할을 하면서 동시에 균압선의 기능을 수행하게 하고 있고 평행개소에서
 는 T-T 케이블의 유연성을 확보함으로써 균압선의 피로도를 감소시키고 있다.

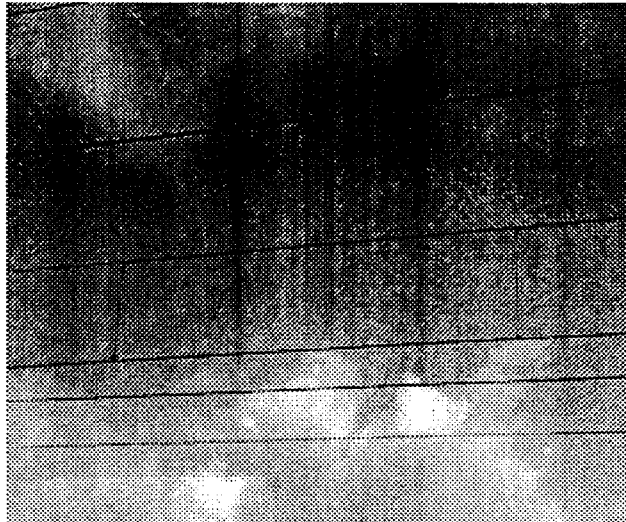
전체 커티너리 측면에서 본다면 200M마다 균압선이 없으므로 경점개소도 줄어들고 조가선과
 전차선을 확실하게 전기적으로 균압시켜 차량의 고속주행시 조가선의 운전전류를 분산하여 전차
 선으로 흐르게 하고 순환전류도 분산시킴으로서 커티너리 가선계의 국부적인 온도상승과 발열도
 줄이고 있다. 따라서 기계적 전기적으로 커티너리 가선계의 기술적 향상을 보이고 있다. 다음의
 [그림9]는 균압드롭퍼의 설치모습이다.



(a) 벨기에 탈리스 노선의 균압드롭퍼



(b) 독일 ICE 노선의 균압드롭퍼

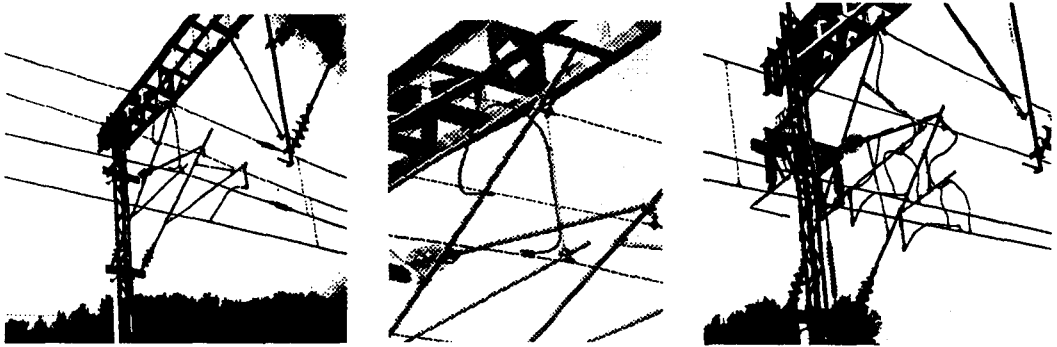


(c) 프랑스 TGV-A 노선의 균압드롭퍼

[그림9] 고속철도 커티너리에서의 균압드롭퍼

6-4. 한국의 고속철도 커티너리에서의 균압선

한국의 경부고속철도 커티너리의 일반개소 및 평행개소에서 균압선은 TGV-A를 기준으로 설계되었으므로 프랑스에서 현재 새롭게 개량하여 사용하고 있는 균압선과는 차이를 보이고 있다. 특히 서울~대전 구간은 호남선이 전철화 되어 고속철도 차량의 연계운행이 2004년부터 실현된다면 프랑스의 TGV-N 노선의 파리~릴 구간처럼 고밀도 운전구간이 되어 운전전류 및 순환전류에 의해 커티너리 가선계에서 온도상승과 발열이 증가될 가능성이 많은 구간이다. 더욱이 경부고속철도 전 노선이 완전히 개통되는 것은 2010년으로 계획되어 있고 이후 적어도 30년 이상을 지속적으로 사용하여야 하는 시설물이므로 경부고속철도의 균압선을 기존 설계대로 시공하여야 하는지를 신중히 검토하여야 한다.[그림10]은 경부고속철도 커티너리의 균압선 설치를 보여주는 사진이다.



(a) 평행개소의 T-M-M 균압선 설치 및 세부

(b) (T-T)-M-M-(T-T) 균압선

[그림10] 경부고속철도 커티너리에서의 균압선

7. 결 론

전차선로는 높은 전압과 전류를 변전소로부터 전기차의 팬터그래프와 접촉을 유지한 상태에서 전기차에 공급하는 매개 역할을 하면서 항상 외부 대기 중에 노출되어 있고 전기차 운행에 따른 전류와 전압의 변동률이 커서 사고가 발생할 가능성이 항상 존재하므로 전차선로의 설계와 시공 시 주의 깊게 다루어져야 할뿐만 아니라 운영상의 문제점을 유지보수 차원에서 세밀히 검토하여 설비를 부분적으로 개량하거나 설계에 피드백 시켜 반영하여야 한다. 그러나 한국에서 건설중에 있는 경부고속철도의 커티너리는 앞서서도 언급한 것처럼 TGV-A에 적용되었던 설계기술을 전수 받아 한국 기술자들에 의해 시공되고 있기는 하지만 시험선 구간(천안~현도) 57.2km 이외에는 아직 커티너리 공사가 시작되지 않은 상태이고 시험선 구간의 커티너리에 설치된 균압선은 프랑스에서 초기 고속철도 노선에 설치되었던 커티너리의 균압선과 동일한 것이다.

경부고속철도는 2004년까지 일부 기존선 구간(동대구~부산)을 전철화하여 우선 개통하기 위하여 공사가 진행되고 있으며 동대구~경주~부산간의 고속신선이 건설되어 경부고속철도 전노선이 완전히 개통되는 것은 2010년으로 계획되어 있다. 특히 기존선을 전철화하여하여 경부 고속철도를 개통하는 2004년에 맞추어 기존의 호남선 역시 전철화하여 고속철도 차량을 호남선에도 투입하여 고속철도노선과 기존선간의 연계수송으로 차량운용 효율성을 높이려는 열차 운영계획을 수립하고 있다.

이런 경우 서울~대전 구간은 호남선과 경부선의 고속철도 차량이 동시에 운행되는 선구로서 고속열차의 헤드웨이 간격이 조밀하게되어 많은 운전전류를 필요로 하게 될 것은 틀림없는 사실이다. 마치 프랑스의 TGV-N 노선 중 파리~릴 구간이나 한국의 수도권 전철노선 중서울~구로 구간과 유사한 경우가 될 것이다. 따라서 현재 프랑스에서 운영중인 고속철도 노선에서와 같이 영업개시 후 커티너리의 교체주기 이전에 빈번하게 균압선을 교체작업 하는 일이 발생되지는 않겠는가 하는 문제를 미리 검토해보아야 한다고 생각한다.

우리로서는 고속철도의 건설과 운영경험이 전혀 없기 때문에 이에 대한 판단을 정확히 내릴 수 있는 입장이 아니더라도 유럽 여러 선진 철도국가의 균압드롭퍼 채택과 프랑스에서 작금에 진행되고 있는 균압선의 부분적 교체와 신선 건설에는 새로 개발된 균압드롭퍼를 채택하고 있는 상황을 살펴볼 때 간과할 문제가 아닌 것 같다.

이러한 측면에서 고속철도를 위한 전차선로의 설계에 대한 기술과 경험이 전무한 한국으로서는 프랑스에서 전수 받은 기술을 우리 현장에 그대로 적용하는 것에만 급급할 것이 아니라 프랑스의 고속철도 운영노선에 일어나고 있는 문제점을 직시하여 타산지석으로 삼을 필요가 있는 것이다. 한국의 경우 시험선 구간 이외의 전구간의 전차선로의 시공까지는 많은 기간이 남아 있으므로 균압선의 문제를 심도 있게 검토해 볼 수 있는 좋은 기회라고 생각된다. 따라서 경부고속철도의 커티너리 균압선 문제는 신중히 재검토해보고 문제점이 있다면 지금이라도 설계변경을 해야 한다.

시공단계에서 문제점이 발견되었을 때 바로 설계변경을 하여 정정하는 것이 장기적인 관점에서 즉 시설물의 총 생애주기(Total Life Cycle) 측면에서나 가치공학(Value Engineering) 측면에서 바람직하다. 철도시설물은 건설비용(Construction Cost)보다 유지보수비용(Maintenance Cost)이 훨씬 많이 드는데도 건설 시에 이러한 문제를 간과하는 경향을 보이고 있다. 프랑스에서 20여년의 경험을 피드백 하여 고속철도 운행노선의 균압선을 교체하고 있고 고속철도가 다니는 노선을 보유하고 있는 유럽의 나라들이 이미 대부분 조가선과 전차선의 가선에 균압드롭퍼를 사용하고 있는 것은 유지보수 비용의 경제성을 고려한 것이라고 판단된다. 특히 평행개소는 일반개소에 비하여 탄성계수가 낮아지고 평행개소의 시중점에서는 탄성계수가 현격히 변화하므로 온도상승과 순환전류의 문제가 상시 발생하여 균압선에 손상을 주기 쉽다. 이러한 문제에 대해서 차량의 속도와 전차선의 압상량 등의 상관 관계를 다각도에서 고려하여 심도 있게 연구하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 안영훈, 유춘상, 주용환, 서동설, 최형근 (2000), “ 고속철도전철설비”, 철도경영연수원
2. 안영훈, 유춘상, 주용환, 서동설, 최형근 (2000), “고속철도 전차선로(Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ)”, 철도경영연수원
3. ALSTOM HOLDINGS/EUKORAIL (2000), “GENERAL ELECTRIFICATION PRINCIPLES OF SYSTEMS AND EQUIPMENT”
4. (주)대동기술단 (2000), “전차선로 순환전류 사고방지를 위한 드롭퍼 개선방안”
5. 김양수, 유해출 (1999), “전기철도공학”, 동일출판사
6. 강인권 (1999), “최신전기철도개론”, 도서출판의제
7. 일본철도전기기술협회 (1998), “철도와 전기기술”,
8. 佐藤芳彦 (1998), “High speed railway of the world”,
9. CEGELEC (1997), “FEEDING AND JUMPERS” 설계도면
10. 한국철도산업기술연구원 (1995), “전차선로 순환전류 발생원인과 대책에 관한 연구”
11. 일본철도전기기술협회 (1990), “철도기술자를 위한 전기개론”,