

1. 송전전압 격상배경

우리나라에서는 1976년 10월 여수-옥천간 190 km의 송전선로를 건설 345 kV로 운전함으로써 장진강제2발전소에서 평양간 200 km, 평양-수색간 200 km의 154 kV 송전선로를 운전하기 시작한지 41년만에 새로운 상위 계통전압을 도입하게 되었다. 그후 전력수요에 부응하기 위하여 345 kV 송전계통을 확장해 나감으로써 현재 약 6,300 km의 회선공장을 운전하고 있다.

최근 우리나라 전력수요의 통계를 보면 판매량의 년평균 성장률이 10% 이상이며 1995년 7월 최대 전력수요는 2,963만 kW에 달했는데 1986년 최대 전력수요 990만 kW와 비교하면 9년만에 약 3배가 됨을 알 수 있다.

한편 장기전력 최대수요 예측에 의하면 2021년에는 7,300만 kW만 kW로 현재의 2~3배가 되며 경인 지역의 최대수요는 전국의 45%를 점하고 있어 1,600만 kW의 부족전력을 다른 지역으로 부터 공급받아야 할 형편이다. 이 부족전력을 수송하기 위하여는 8~10개의 345 kV 송전선로 건설하여야 된다.

이러한 지역간 전력수급 불균형을 해결하기 위하여는 전력수송 설비의 건설을 계속하여야 하나 전력설비에 대한 혐오, 지역발전에 대한 해당지역 주민들의 이해상충에 따른 갈등이 커져가고 있고 각 기관과 지방자치단체의 개발계획이 상호중첩으로 가용입지의 한계성과 제약이 심화되어 가고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위해서는 송전선로 경과지 수를 최소화하고 선로당 수송능력을 대용량화할 필요가 있다. 이와 관련하여 1991년 345 kV 계통전압 우리나라의 기술수준과 기기 국산화 개발, 계통의 안정도 등을 고려하여 불 때 765 kV로 전압을 격상하는 것이 우리나라 전력계통에 적합한 것으로 결정되었다. 우리나라에서는 가용입지의 제약과 선로경과지 확보가 어려워 토지의 이용율을 높이기 위하여는 2회선 765 kV 송전선을 건설하여야 하는데 외국은 모두 1회선 수평배열 지지물로 건설되어 있으므로 외국의 설계 기술을 그대로 적용할 수가 없어서 독자의 기술개발이 요구되어 격상 계통전압이 결정되기 이전인 1984년부터 이에 관련된 기술연구를 시작하였다.

765 kV 송전기술은 캐나다의 Hydro Quebec 전력회사가 Churchill Fall 수력발전소에서 발전된 약 500만 kW 전력을 Montreal 까지(약 700 km) 수송하기 위하여 1965년 공칭전압 735 kV, 최고전압 765 kV 송전선로를 운전하기 시작한 것이 700 kV급 송전선로의 효시(嚆矢)라 생각된다. 그 후 미국 AEP 전력회사는 공칭전압 765 kV 최고전압 800 kV인 송전선로를 1969년 부터 운전하기 시작하였다. 그 후 미국의 뉴욕전력, 남미의 브라질 베네주엘라, 남아공화국에서 AEP와 같은 공칭전압 765 kV 송전선로를 도입 운전하고 있다. 우리나라에서는 하위 계통전압이 미국 AEP와 같이 345 kV 이기 때문에 765 kV를 택하게 되었다.

2. 765 kV 송변전 설비 건설개요

2.1 제 1단계 사업

765 kV 송전선로 제1단계 건설사업은 태안 및 당진화력발전소 전력의 계통연결을 위하여 건설하는 당진화력-신서산-신안성까지의 178 km와 울진원자력 발전소 #3, 4 호기의 계통연결을 위한 신태백-신가평까지의 162 km 등 총선로길이 340 km를 1996년 2월 착공, 1988년 12월 까지 건설할 계획이다. 건설 후 초기에는 345 kV로 운전하다가 4개의 변전소가 준공될 2002년경에는 765 kV로 운전할 계획으로 되어 있다.

2.2 제 2단계 사업

제2단계 사업은 영광원자력 발전소 #5, 6 호기 발전전력을 계통연결하기 위한 신남원-신안성 간의 220 km(2001년 준공), 765 kV 두 선로 연계를 위한 신안성-신가평 간의 80 km(2002년 준공) 및 신규 LNG 발전전력의 계통연결을 위한 석모도-신양주간의 70 km(2004년 준공) 등 총선로 길이가 370 km이다.

3. 전기환경장해 대책설계

송전선로의 도체의 굵기와 조수 및 전선높이는 건설비에 지대한 영향을 주게 된다. 도체 굵기를 가늘게 하고 조수를

적게하면 건설공사비는 적게 되나 송전선 도체 표면에 발생하는 코로나 현상으로 가청소음이 높게 발생하고 라디오, 텔레비전 잡음으로 인하여 일상생활에 불편을 끼칠 우려가 있다. 그러므로 이러한 불편을 일으키지 않도록 전선의 크기를 굵게 선정하여야 된다. 전선의 지상고가 낮으면 선로 밑 도로에서 우산을 쓰고 다니거나 농경지에 일을 할 때 정전유도를 느끼게 된다. 이러한 정전유도를 일으키지 않도록 전선높이를 높게하여야 된다.

미국 AEP 전력회사는 초기 765 kV 송전선로 건설시 현재 우리나라 345 kV 송전선로 도체방식과 같이 Rail(480 mm²) 전선 4도체로 설계하여 운전하여 본 결과 가청소음이 55 dB 이상 발생하여 선로 부근 주민들에게 불평을 주게 되어 이에 대한 대책에 고심하였고 가청소음을 낮추기 위한 연구가 중점적으로 진행되었으며 그 후 건설되는 선로는 전선굵기를 더 크게하여 설계하였다. 이러한 교류 송전선의 코로나 장애는 맑은 날 보다는 비가 오는 경우에 아래쪽에 있는 전선 표면에 맺히는 물방울 부근에 전계가 커지게 되어 코로나가 발생한다. 이를 완화하기 위하여는 전선을 굵게하고 전선 조수를 더 많이 하여야 된다. 우리나라의 환경보호법에 주거지역의 소음규제치가 50 dB(A)로 되어 있기 때문에 우천시 소음을 규제치 이하로 낮추기 위하여는 최소한 345 kV 송전선로에서 사용하고 있는 전선(Rail 480 mm²) 6도체로 설계하여야 된다는 것을 예측프로그램으로 알게 되었다. 이에 대한 확인 실험을 하기 위해서 1984년 부터 1989년 까지 단상도의 시험설비(일명 코로나 케이지)를 이용하여 실험하여 본 결과 예측계산과 비슷한 시험결과를 얻게 되었다. 이의 결과를 시범으로 보여주고 실제의 환경영향 평가를 하기 위하여 전북 고창군 해안가에 1990년부터 그림 1과 같이 지지물 4기, 3경간의 실규모 시험선로를 설계, 건설하기 시작하였다. 이 시험선로의 설계, 건설로 국내에서 처음으로 강관철탑을 개발하여 상용선로에 활용하게 되었고 시험용 변압기 설계기술로 1,500 MVA 765 kV 상용 변압기를 개발할 수 있게 되었다. 금구류는 처음에 외자로 도입하였으나 그 후 국산화로 대체하였다.

또한 1983년 부터 1986년까지 3년간 Rail과 Cardinal(480 mm²) 6도체에 대하여 가청소음, 라디오 및 TV 잡음을 측정하였다. 765 kV 송전선로 경과지를 측량하여 본 결과 평균 경간이 500 m로 처음 예상했던 평균 경간 400 m 보다 길게 되어 지지물 높이를 낮추기 위하여 강도가 큰 Cardinal 전선을 선정하였다.

이 전선에 대한 환경장애량은 다음과 같다.

강우시 가청소음 평균치는 48 dB(A)로 소음기준치 50 dB(A)를 만족하고 있으며 청명시 라디오 잡음으로 47 dB, 강우시 TV 잡음은 14 dB로 잡음에 대한 방송신호 강도비(SNR)가 각각 24 dB와 40 dB의 기준치를 만족하고 있다. 전선의 굵기 선정에 못지 않게 중요한 사항은 전선의 최저 높이이나 초기 345 kV 송전선로 건설시는 기술 기준만에 의하여 지상고를 9 m로 설계, 건설하였으나 도로 횡단이나 농경지에서 정전유도가 발생하여 이의 원인을 규명한 결과



그림 1. 765 kV 2회선 시험선로

지표면 부근의 전계의 크기가 5~7 kV/m로 높게 발생하여 생긴 것으로 판명되었다. 그 후 이를 3.5 kV/m로 낮추기 위하여 지상고를 15 m 가량 높여서 건설하여 본 결과 정전유도 문제가 해소되었다. 765 kV 송전선로도 이 기준을 따라 전선의 최저 높이를 정하면 28 m가 되며 철탑의 평균높이는 95 m가 되었다. 바람이 선로와 지각으로 불 경우 풍소음이 높게 될 우려가 있으므로 2차 사업의 송전선 경과지가 인가부근을 지나는 구간에는 저소음 전선을 사용하기 위하여 이에 대한 연구를 진행하고 있다.

4. 절연설계

765 kV 송변전 설비는 높은 전압과 큰 전류에 견디는 기기를 제작하여야 된다. 절연설계는 계통에서 발생하는 과전압 크기의 해석과 이러한 과전압에 견디기 위한 기기의 절연강도와 조화를 이루어 설계하는 것을 말한다. 절연설계에서 고려하여야 할 사항은 단시간 과전압에 대한 설계, 개폐장치에 대한 설계, 뇌씨지에 대한 설계로 다루어 진다. 전력계통의 고장에 의해서 발생하는 상용주파 단시간 과전압에 대한 설계는 오손등급을 고려하여 애자의 연면거리를 정하여 애자의 개수를 정하는 것이다. 전력계통에 지락사고 발생순간 건전상에 과도적인 씨지가 발생하나 급속히 감쇄하여 수 사이클 이내에 소멸된다. 이 과전압은 그 크기는 작지만 씨지 과전압에 비해 오랜시간 지속하여 상용주파 전압에 대한 절연설계의 중요한 요소가 된다. 디지털 계산 프로그램(EMTP) 해석에 의한 765 kV 예상 계통의 상용주파 과전압 배수는 1.2[p.u] 이하로 검토되었으며 이를 토대로 하여 애자의 수량을 정하였다. 청정지역에서는 300 kN 애자를 사용할 경우 애자련당 30개, 400 kN 애자를 사용할 경우 28개의 애자가 필요하며 오손등급 A지역(0.06 mg/cm²)에서는 44개의 300 kN 애자가 소요된다.

지지물의 소요 공기절연거리의 계통의 차단기 조작에 의한 개폐과전압의 크기에 의하여 정해진다. 765 kV 계통의 개폐과전압을 해석하기 위하여 디지털 계산 프로그램(EMTP)과 아날로그 프로그램(TNA)을 이용하여 765 kV

모델 계통을 해석하여 본 결과 차단써지가 가장 높았으며 2회선 6상중 2상 지락고장을 동시 차단시 1.9[p.u] 이하의 최대과전압이 나타났으며 상간 과전압 배수는 3.5[p.u] 이하로 나타났다. 외국의 경우 송전선로 공장이 길어서 차단기 재투입시에 개폐과전압이 가장 높게 나타나고 있다. 최고 차단써지에 견디기 위한 도체-탑체간의 최고 공기절연거리는 그림2와 같이 옥외충격전압 발생장치를 이용 시험한 결과 4.95 m이며 상간 절연거리는 8.5 m이다.

낙뢰에 대한 설계는 전선이 뇌를 맞지 않도록 가공지선 위치를 정하는 것이고 가공지선이나 첩탑상부에 뇌격을 받더라도 역섬락이 발생하지 않도록 첩탑의 접지저항을 줄이는 설계이다. 765 kV 송전선의 경우 첩탑 높이가 높고 산지경사면을 고려 가공지선을 2조로 하고 가장 긴 암보다 가공지선의 취부된 암의 길이를 1 m 더 길게 하였다. 첩탑의 접지저항은 10[Ω] 이하로 낮추는 것이 낙뢰에 대한 사고율을 줄일 수 있다. 연간 뇌사고율은 100 km선로 공장당 0.3회로 예상되어 345 kV 송전선로 보다 절반 이하로 낮출 수 있다. 우리나라의 765 kV 변전소는 부지를 축소하기 위하여 GIS로 설계하고 있으며 변압기 기준절연계급(BIL)은 2,050 kV, 모선 및 스위치 기어부의 기준절연 계급은 2,250 kV로 정하였다.

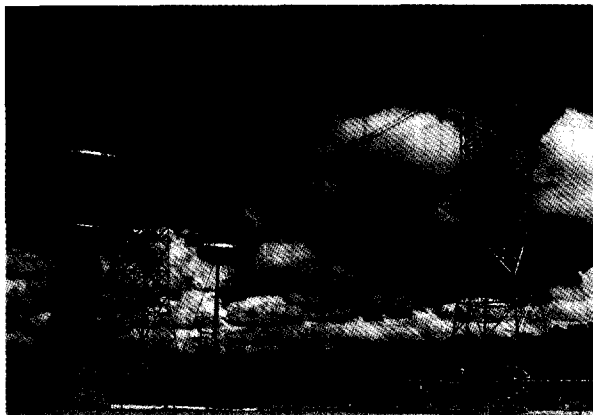


그림 2. 765 kV 송전선 지지물 공기절연거리 시험

5. 765 kV 기기 국산화 개발

765 kV 송변전 기기의 국산화를 위하여 전력연구원에서는 1991년 말 부터 제조회사의 생산기술을 향상시켜주기 위한 국가정책의 일환으로 기기 개발 자금과 기술지원을 하여 강관첩탑, 금구류, 스페이스·댐퍼, 조가식 점퍼장치, 변압기, GIS용 차단부, 분로리액터를 개발 완료하였다.

6. 765 kV 송전선 건설공법 및 건설용 중·장비 개발

765 kV 첩탑은 대형화된 첩탑으로 평균 높이가 95 m이며 국내에서 처음으로 강관 첩탑을 건립하기 때문에 기존의 역 T형 기초방식으로는 산악지 경사면에 건설하기가 매우 어려우므로 기초 폭을 적게하고 깊이를 깊게하는 심형 기초 공법과 산악지 풍화암 이상 지역에서는 암반(Rock Anchor) 기초공법을 개발하여 시행하고 있다.

한편 송전선 건설의 적기준공, 외화절감 및 인력절감과 전력설비의 품질을 높이기 위하여 1994년부터 건설장비 개발을 중소기업 기술지원 육성과제로 첩탑조립 크레인등 10여종을 개발 완료하여 현장에 활용하고 있다.

7. 결 론

세계에서 처음으로 건설되는 765 kV 2회선 송전선로의 설계 및 사업 개요, 기기개발, 공법개발 및 건설장비 개발에 대하여 간단히 소개하였다. 1970년대 345 kV 송전선로 건설때와는 달리 우리 기술로 설계하고 기기개발 하여 초기 사업 부터 국산화 기기를 사용할 수 있었다는 데에 기술개발의 의의가 있다. 2000년대 초 765 kV 송변전 설비를 운용함으로써 전력수급에 원활한 계통운용을 할 수 있으리라 믿는다. 또한 이의 건설을 계기로 우리나라 중전기 사업의 기술향상을 가져왔으며 해외 500 kV 및 765 kV 송·변전 사업에 적극적으로 참여할 수 있는 계기가 되리라고 믿는다. 765 kV 계통운용등 미진한 분야에 대하여는 지속적으로 연구하여야 하고 기기 제작에는 철저한 개발 시험을 거치고 건설에는 정밀한 시공과 공기준수를 위하여 부단히 노력하여야 되리라고 믿는다.

저 자 소 개



김정부(金正夫)

1943년 11월 14일생. 1971년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1971년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력연구원 전력계통연구실 765kV 송변전그룹장. 대한전기학회 종신회원. IEEE 및 CIGRE SC 22 회원