

765kV 송전전압 격상과 국내계통에의 적용

金正夫

한국전력공사 기술연구원 765kV 송전기술연구팀장

1. 세계 각국의 송전전압 추이

1879년 Edison이 전등을 발명하여 전기를 사용한 이래 전세계적으로 전력계통 개발의 추세는 지속적인 경제성장에 따른 전력수요 증가에 대비하여 전원의 대용량화 및 용지 취득난 등으로부터 근래에는 선로당 송전용량을 증대시키지 않으면 안되는 상황에 있다.

그러기 위해서 송전계통은 초고압 및 UHV(Ultra High Voltage)로 되어가고 있다.

세계 각국의 송전계통 개발과정을 보면 1920년대에 미국에서 220kV 계통을 효시로 300kV급(345~400kV) 초고압 계통이 1950년대 초에 미국과 Sweden에서 각각 개발되었고, 500kV 초고압 계통은 1950년대 중기에 소련에서 개발되었고, 미국에서도 곧 500kV 계통을 운전하였다.

그후 유럽계통은 400kV로 연계되고 남미의 베네수엘라, 아프리카, 남아연방 등도 400kV 계통을 도입하였다.

1960년대 중기 이후에 700kV급(700~765kV) 초고압 계통이 캐나다, 소련, 폴란드 및 미국에서

개발되었다. 일본의 경우를 보면 1950년대 초에 275kV 전압을 도입하였고 1973년에는 500kV 계통을 운전하기 시작하였으며 1980년도에 상위 계통전압을 1,000kV로 정하고 집중연구를 수행, 1988년도부터 건설을 착수하여 일부 구간을 완공하여 500kV로 현재 운전중에 있다.

우리나라는 그 당시 대만에 이어 아시아권에서 세번째의 초고압 보유국으로 1976년 154kV 계통 운전 41년만에 345kV를 도입 운전하였다. 그 당시 138kV나 154kV 계통은 345kV로 격상시키고 250~275kV 계통은 500kV로 격상하는 것이 통례였다.

그후 1980년대 인도네시아, 필리핀, 중국, 태국이 500kV 계통을 도입하였다.

1980년도 후반에 와서 소련이 최초로 1,150kV UHV 송전선을 개발하여 운전하였고, 남미의 Brazil, Venezuela, 남아연방공화국이 765kV 계통을 도입하였다.

이밖에 상업운전을 하고 있지 않으나 UHV(1,000~1,500kV) 계통의 연구를 마쳤거나 연구 중인 전력회사는 ENEL(Ente Nazionale Per I

Energia Electrica), 미국의 BPA(Bonneville Power Administration), AEP(American Electric Power), 캐나다의 IREQ(Institute de Recherche d'Hydro Quebec) 등이다.

2. 우리나라 765kV 도입의 필요성

우리 회사는 1976년 여수화력발전소와 옥천간에 종래의 154kV보다 6배의 전력수송 능력을 가진 345kV 초고압 송전선로를 운전하기 시작하였고, 그후 옥천에서 울산 및 서울간에 초고압 송전선로를 완성하고 초고압 시대를 맞이하게 되었으며 이로 인해 대전력 수송이 가능하고 계통운전을 안전하게 유지할 수 있었다.

그후 신규전원 계통병입과 더불어 345kV 계통을 확장하여 1992년말 현재 345kV 송전선로 회선 공장이 약 5,300km, 345/154kV 변압기 용량이 2,700만kVA가 된다.

그러나 전력수요는 연평균 10% 이상 지속 성장하고 중요한 수요지인 경인지역의 수급 불균형은 점차 심화되어 가고 있는 반면 수요지 근처의 전원입지 및 송전선로 경과지 확보난은 가중되고 있는 것이 현재의 실정이다.

우리나라 장기전력 최대수요 예측에 의하면 20~30년후 최대전력은 8,000만kW가 될 전망이며, 현 345kV 설비 확장만으로는 3~4배의 설비가 더 있어야 하나 그렇게 될 경우 계통의 단락용량이 매우 커져서 현 규격의 차단기로는 차단용량이 부족하고, 또한 송전선로 경과지 확보가 어렵고, 대용량의 전력을 신규 전원지로부터 수요지까지 단일선로 또는 2개의 선로로는 수송을 감당할 수 없어 초대형 수송체계를 갖추지 않고서는 원활한 전력공급이 어려울 것이 예상된다.

따라서 현 계통전압, 우리나라의 기술수준과 기기 국산화 등을 고려하여 765kV로 계통전압을 격상하는 것이 우리나라 전력계통에 적합한 것으로 1991년 결정하였다.

765kV 한 선로는 345kV 5개 송전선과 동일한

용량을 가지고 있고, 765kV 변전소는 동일용량의 345kV 변전소와 거의 비슷한 부지를 차지한다. 765kV에 의한 kWh당 송전 비용은 345kV에 비하여 50%밖에 되지 않는 것으로 예상되고 있다.

765kV 2회선 송전선의 송전능력은 20% 안정도 마진을 고려할 때 약 800만kW가 된다.

1차 765kV 건설사업으로 확정된 구간은 서해안 태안, 당진 석탄화력전원에서 서울 근교까지 약 170km, 동해안 원자력 전원지에서 서울 근교까지 150km로 확정되어 있으며 1998년까지 송전선은 건설 완료하여 초기에는 345kV로 운전하고 2002년부터 단계적으로 765kV로 송전하도록 계획되어 있다.

3. 우리나라 765kV 송전기술 개발

우리나라 765kV 송전기술의 연구개발은 한전에서 1979년 미국 Westinghouse사의 기술연수를 시작으로 하여 아래와 같이 3 Step으로 진행되어 왔다고 볼 수 있다.

- 제 1 단계(기초연구) (1979~1980년)
 - 설비 개념설계에 관한 연구: 전기환경장해 대책설계 및 절연설계 등에 관한 기본연구
- 제 2 단계(개발연구) (1984~1989년)
 - 단상 모의설비(Corona Cage)를 이용, 각종 송전선 후보도체를 시험하여 최적도체 선정
 - 지지물 설계
 - 시험선로 부지 확보
 - 시험선로 지지물, 전선, 기기절연 설계 및 변압기 규격 결정
- 제 3 단계(실증연구) (1990~1996년)
 - 최적도체로 시험선로 건설: 기기개발 및 전기환경장해 측정
 - 계통 절연설계 연구: 開閉過電壓 分析器 (TNA) 및 EMTP 利用
 - 지지물의 공기절연 강도시험: 육외 충격전압 발생기 이용
 - 765kV 변압기 등 기기 국산화 개발

3·1 지지물 설계

북남미 대륙 또는 구라파와 달리 우리나라는 가용임지의 제약과 지상권 확보가 어려우므로 토지의 이용률을 높이기 위하여는 765kV 송전선은 2회선으로 건설하여야 하는데 외국은 모두 1회선 수평배열 지지물로 건설되어 있으므로 외국의 설계 기술을 그대로 적용할 수가 없다.

한전 기술연구원에서는 이에 대처하기 위해 '84년부터 본격적인 연구를 시작하여 '89년까지 기본 기술 개발을 완료하고 수직배열 2회선 지지물이 우리나라에 적합할 것으로 판단, '90년부터 실규모 시험선로의 설계 건설을 통하여 강관철탐을 개발하였다.

345kV 이상 송전설비는 반영구적 설비라고 볼 수 있으며 무보수 개념으로 설계하는 것이 일반적인 경향이다.

하중이 많이 걸리는 높은 지지물에 있어서 강관철탐은 재래식 산형강 철탐에 비하여 풍압이 적게 걸리므로 중량이 적고, 단일 부재로 안정성이 높으며 기초 하중이 적게 걸리고 설치공사비가 적어 경제성이 있다. 또한 미관상 좋아 765kV 송전선 지지물로 적합하다.

국내 제작회사는 시험선로를 통하여 강관철탐의 제작과 조립에 좋은 경험을 축적하고 생산기술개발과제로 상용선로의 강관철탐을 개발하고 있으며 '93년중 내하시험과 파괴시험을 하여 개발을 완료할 예정이다.

3·2 전선 설계

송전선로 설계에 있어서 전압이 높아짐에 따라 제일 먼저 고려하여야 될 사항은 선로 주변에 살고 있는 주민들에게 불편을 주지 않는 전기환경장해 대책설계이다.

'60년대 초반 하더라도 초고압 송전선로에 의한 라디오 장애가 가장 큰 문제점으로 고려되었으나 '60년대 후반에 들어와서 500kV 이상의 송전선로

를 운전한 결과 비가 올 때 물방울이 전선 하부에 맺혀 프라이팬에서 나는 소리와 비슷한 소음이 발생하는데 이를 가청소음이라하며, 이 소음이 인근 주민들에게 불편을 주는 경우가 있어서 대책설계가 더 중요하게 되었다. 대책으로는 도체 표면 전계강도를 적게 하기 위하여 전선 크기를 굵게 하고 전선조수를 늘여야 되는데 이는 송전선로 건설공사비에 지대한 영향을 주게 된다.

이에 대한 연구로 단상 모의설비를 이용, 여러 가지 종류의 도체를 모의시험하여 환경소음기준 50dB(A)을 만족하는 전선을 택하도록 한 결과 전선조수는 6조이며 최소 전선 단면적은 480mm² (현 345kV 송전선로에서 사용되고 있는 전선)로 나타나 이 전선으로 시험선로에 가선하고 현재 전압을 인가 시험하여 가청소음, 라디오, TV 잡음을 자연상태에서 자동측정하고 있다.

3·3 송전선 절연설계

765kV 계통의 설비는 전력수송량이 많기 때문에 신뢰도가 높도록 기기 절연설계를 하여야 하고 기기는 내구성이 있어야 한다. 765kV 송전선의 지지물은 높이가 매우 높기 때문에 낙뢰에 대한 직격뢰를 받지 않게 하기 위하여 가공지선은 2조로 하고 차폐각도를 -5°로 하였으며 철탐 역섬락 사고율을 현 설계기준의 1/5 이하로 줄이기 위하여 철탐 탐각 접지저항은 10Ω 이하로 설계하는 것이 바람직하다.

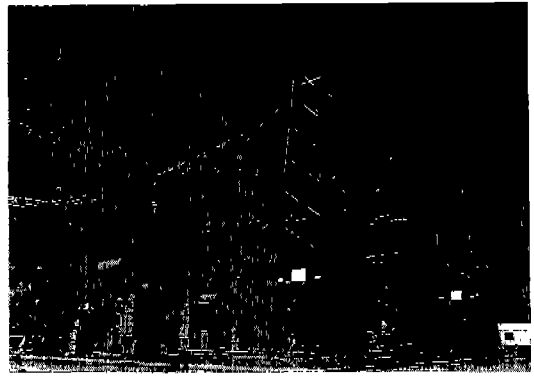
현수애자런 개수는 일선지락 사고시 건전상의 전위상승 계수를 1.2배로 보고 진애오손을 고려 306KN(320×195mm) 애자 33개가 소요되고 있다.

지지물에서 최소 공기절연거리는 개폐과전압에 의해서 정해지며 최대 개폐과전압은 선로길이 200km 이하일 때 1.8p.u로 억제할 수 있고 해발 1,000m 이하의 산지를 통과할 때 대기보정계수를 1.07, 내압치는 섬락전압의 85%로 고려하여 공기절연강도 시험결과를 이용, 최소 공기절연거리를 계산하면 4,400mm가 된다.

3·4 변전기기 절연계급

북남미 대륙에서는 땅이 넓어서 765kV 변전소는 거의가 공기절연식 변전소로 건설하였으나 아프리카의 남아공화국은 GIS로 건설하였다. 우리나라에서도 넓은 부지를 확보할 수 없기 때문에 GIS로 건설하여야 될 것이다. GIS 변전소의 기기정격은 앞으로 연구 검토할 예정이며 여기서는 우선 AEP 공기절연 변전소의 기기정격에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

미국에서 제일 먼저 765kV 계통을 운전한 AEP(American Electric Power)는 765kV 주변압기와 리액터 BIL(표준충격과 절연강도)을 1,800kV로 정하고 제작회사는 처음에 상당한 여유를 두어서 설계하였기 때문에 초기 변압기는 신뢰도가 좋았으나 나중에 발주한 변압기는 원가 절감을 하기 위해서 여유를 줄여서 설계한 결과 변압기 사고율이 높아서 현재에는 BIL을 2,050kV로 높게 정하였고 345kV 축과 중성점축의 BIL도 높였다.



<사진 1> 765kV 시험용 변압기

차단기의 BIL은 2300kV이다. 이 경우 개폐 서지와 충격전압에 대해 변압기와 리액터의 보호를 위하여 각각 피뢰기가 설치되었다. 모선과 선로 개폐의 절연은 2050kV BIL, 선로 개폐기 개방단자의 개폐 서지 절연내력은 1750kV(대지간 파고치)를 택하였다.

모든 기기의 정격운전은 선간 765kV이고 최대

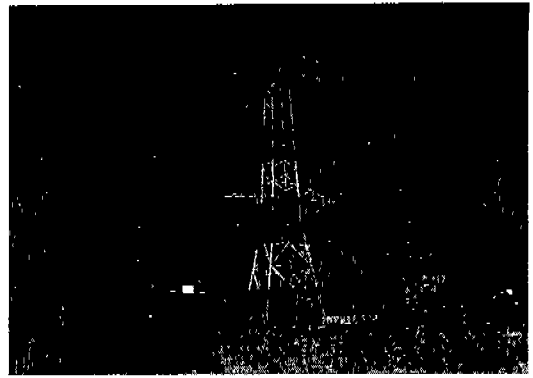
북한의 원자력관계 시설현황

(원자력발전 '93. 8 개공)

시 설	위 치	규 모	현 황
영 변 발전소 1 호	영 변	5천 kW	'86년부터 운전중
영 변 발전소 2 호	영 변	5만 kW	건설중('95년 가동 예정)
방사 화학 시설	영 변	6층 높이	건설중('96년 가동 예정)
핵연료 가공공장	영 변	200~300 t/연	'87년부터 운전중
핵연료 저장시설	영 변		사용중
전자공학연구소	영 변		계측기 개발시설
방사 화학연구소	영 변		'56년 준공
동위원소가공연구소	영 변		'75년 준공
연구용 원자로	영 변		'65년 건설
삼용 발전소	태 천	20만 kW	'96년 완공 예정
김일성종합대학교 (핵물리대학)	평 양	5천 kW	미인계실험 수행
평양원자력연구소	평 양		가속기 연구 수행
우라늄 정련공장	평 천		'82년 가동(폐쇄 예정)
우라늄 정련공장	평 산		'90년 가동
우라늄 광산	순 천 · 박 천		조업중
	신 포		개발중
방사선방호연구소	원 산 · 평 양		'78년 설치

설계 전압은 800kV이다. 최소 상간간격은 10.7m 이고 대지간 이격거리는 6.1m를 기준으로 설계 되었다.

충전부에 사람이 접근하기 쉬운 지역에서의 최소 이격거리는 12.2m가 요구되며 인적이 드문 지역에서는 11.3m가 허용된다. 이격거리는 주수 정극성 개폐과전압에 근거하였으며 대지간 이격 거리는 이례적인 섬락에 대한 보호를 목적으로 12.2m로 증가시켰다.



<사진 2 > 시험선로 전경

4. 실규모 실증시험선로

한전기술연구원은 1993년 4월, 765kV 2회선 실규모 시험선로를 국내기술로 설계, 제작 건설하여 가압시험을 하고 있다.

본 시험설비는 전북 고창 한전 소유 부지에 위치하고 있으며 금년부터 1년간 현재 가선된 도체에 전압을 인가 자동취득된 자료를 입수하여 가청소음, 라디오, TV 잡음 등을 분석할 계획이다.

시험선로는 22.9kV 배전선로로 수전하여 765kV로 가압하는 것으로 설계되어 있으며 국산화율은 70~80%에 달하며 일부 계측기와 애자류를 제외한 시험변압기와 강관철탐 등은 국내 제조회사의 기술진에 의하여 설계, 제작, 건설되었다.

선로는 철탐 4기와 선로공장이 3경간 700m, 전선은 ACSR 480mm² 6조로 가선되었고 3대의 3MVA 단상변압기를 이용, 역상배열로 전압을 가압하고 전압조정 변압기로 전압을 조정하게 되어 있다.

선로 중앙에 4대의 가청소음, 3대의 라디오, TV 잡음 등과 기상측정 센서를 설치, 자동적으로 DATA를 취득, 저장하도록 되어 있다.

5. 기기 개발

현재 제조업 기술향상과 국제경쟁력을 높이기 위하여 한전이 연간 약 200억원씩 지원 생산기술 개발을 유도하고 있으며, 그중 765kV 기기개발

품목은 변압기와 강관철탐 등 5개 과제로서 중전기회사가 개발에 참여하고 있다.

이 분야에서 한전지원이 약 47억원이고 중전기회사들의 부담은 36억원이며 '91년부터 착수하여 '95년말 이전에 완료한다는 계획으로 진행중에 있다.

특히 변압기는 부피가 크고 중량이 무거워, 육로로는 수송상의 장애물이 많을 것으로 예상되며 현장설치에서도 취급장비의 중량제한으로 분할수송이 요구되고 있어 여기에 대한 설계 및 제작이 검토되어야 할 것이다.

6. 결 론

우리나라에서의 765kV 송전 사업추진은 대단위 전원지와 수요지간 장거리 대전력 수송을 위한 선로를 건설하여 전력수송을 원활히 할 뿐 아니라 국내 제작회사들이 기기를 개발하여 전력회사가 사용함으로써 기술개발과 운전경험을 축적하게 되어 외국에 기기 수출의 기반을 마련할 수 있는데 큰 의의가 있다.

이를 위해 장기간의 건설기간을 가지고 설계에서 시공까지 차근차근 기술을 개발하여 가도록 하여야 될 것이다. 2000년대 우리나라가 765kV 송전계통을 운전하게 되면 아시아권에서 전력기술에 있어서는 선진국에 진입하였다고 볼 수 있다.