해외기술

해외
기술

1,000kV 送電의 展望과 技術開發

1. 머리말

최근에 환경문제가 크게 취급되고 있는 가운데 省에너지의 파급효과로 인하여 GNP의 신장에 비해 소비의 신장은 둔화되었다. 한편으로는 電力化率의 상승으로 전력의 신장은 착실히 커졌다. 확대되는 전력을 착실하게 수용가에까지 송전하기 위해서는 送變電設備도 확대하여야 한다.

일본에서는 그림 1과 같이 약 20년에 한번꼴로 송전전압을 승압하여 전력의 신장에 대응하여 왔다. 500kV승압으로부터 20년 이상 경과한 지금 단축용량의 증대에 대한 대응과 안정도 확보면에서 차기전압으로 1,000kV 送電의 필요성이 제창되고 있다.

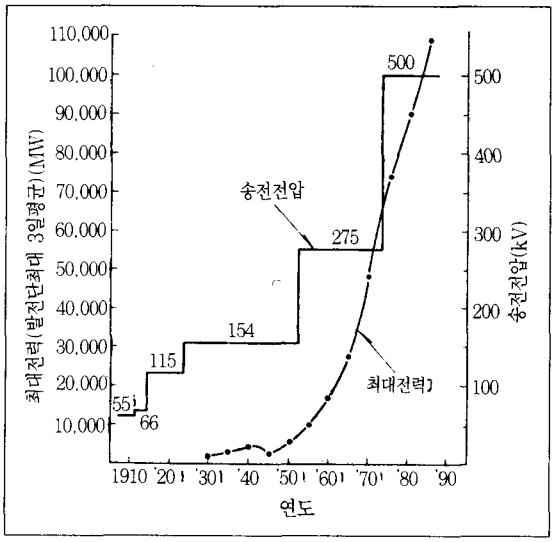
東京電力(株)에서는 21세기초반에의 실현을 목표로 계획을 추진하고 있다. 또 三菱電機(株)는 1,000kV 送電을 우수한 신뢰성·경제성을 가지고 실현하기 위한 機器開發에 협력하고 있다. 東京電力에서는 21세기초반을 가늠하여 福島地區의 대전력을 수송하기 위한 동서 루트 약 110km와 相崎地區의 대전력을 수송하는 남북루트 약 250km의 1,000kV송전계획을 추진하고 있다. 이미 남북 루트의 송전선은 완성하여 현재 500kV로 운전되고 있다. 본고에서는 1,000kV송전을 위한 기술개발의 개요를 소개한다.

2. 1,000kV 技術開發經緯

500kV 송전을 개시한 1973년경부터 中央電力協議會를 중심으로 차기전압에 관한 기초적인 사항의 연구가 시작되었다. 여기서는 최고전압으로서 1,000kV~1,200kV를 대상으로 한 피지빌리티스터디가 이루어졌다. 그 후의 검토는 다음의 2페이즈로 나눌 수 있다 (표 1 참조).

2.1 페이즈 1

1978년부터는 구체적인 대상으로 10GW의 전력을 600km로 걸쳐 송전하는 대전력송전을 검토하기 위하여 電力中央研究所를 중심으로 하는 UHV 송전특별위원회가 발족되었다. 여기서는 交流목표전압의 선정, UHV의 계통해석과 송전선 및 기기개발에 관한 기본적 사고에 대하여 검토·심의하였는데 그 결과 최고전압을 1,100kV로 하고 대지개폐임펄스에 대한 절연배수를 1.6pu 이하로 하는 제안이 있었고 시험전압에 관하여는 複數案이 제시되었다.



〈그림 1〉 일본의 고전압 계통 도입상황

이때 三菱電機에서도 1983년에 걸쳐서 변압기, GIS의 要素모델, 프로토타입器에 의한 검증을 하였다. 또 長期絶緣신뢰성확인을 위하여 V-t, V-N특성과 AC중량에 대하여서도 연구·검토가 이루어졌다.

이어서 1983년부터 1985년까지는 電力中央研究所를 중심으로 UHV교류송전실증시험위원회가 설치되어 赤城시험소내의 시험송전선 등에 의한 송전선의 절연특성과 환경대책기술 등 구체적인 설계상 필요한 제특성에 대하여 실증연구하였다.

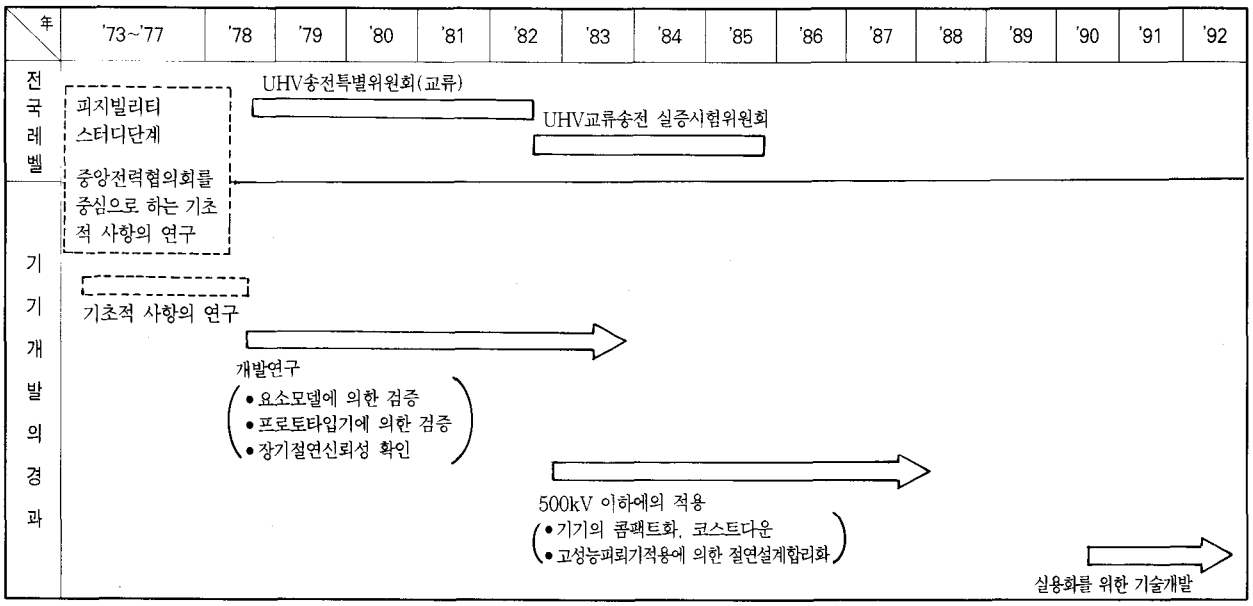
그동안 東京電力사내에서는 사내검토회, 이어서 UHV대책회의에서 1,000kV 송전의 실현을 위한 검토가 진행되고 있었다.

2.2 페이즈 2

1991년부터는 東京電力과 공동으로 三菱電機를 비롯하여 메이커 각사가 변전기기의 실용화를 위한 기술개발을 하고 있다.

구체적으로는 21세기 초반에 1,000kV송전을 실현하기 위해 長期課電通電에 의한 실증시험을 하기로 되었다. 이에 필요한 실증기의 개발을 위한 기기의 기술적 설계·제조·시험이 행해지고 있다. 변전기기의 기술개발에 임해서는 개

〈표 1〉 UHV기술검토의 축적 및 기기개발 경위



해외기술

넘설계로부터 최종설계까지 4단계로 나누어, 각각의 단계에서 기기의 기본설계와 검증을 순서에 따라 시행하였다.

3. 해외의 상황

세계적으로는 1970년대부터 UHV계통에 대한 연구개발을 하여왔으나 현재는 러시아공화국이 운전중에 있으며 이탈리아가 데먼스트레이션용의 변전소를 건설중이다. 기타 국가에서는 기술검토와 일부기기의 개발에 착수하였으나 현재는 검토를 하고 있지 않다.

3.1 러시아의 UHV송전

소비에트연방(당시)은 1985년 세계에 앞서 카자흐스탄-우랄간 497km에서 세계 최초의 UHV교류송전(최고전압 1,200kV)의 영업운전을 개시하였다. 현재도 실제로 영업운전하고 있는 유일한 지역이다. 현재는 약 900km로 연장되었으며 건설중인 것을 합치면 긍장 약 2,500km에 달한다.

3.2 이탈리아의 UHV송전

ENEL(이탈리아 電力公社)은 최고전압 1,050kV송전을 1990년대에 실용화할 것을 이미 1970년대에 계획하여 스웨레트에 시험소를 창설하고 1976년에는 여기에 1km의 시험선을 건설하여 과전시험을 실시하였다. 그 이후 동시험소를 중심으로 UHV에 관한 여러 가지 연구가 시행되어 현재 최종단계에 들어가 있다.

구체적인 UHV 교류송전의 실용화계획은 스웨레트시험소내에 420kV에서 1,050kV로 승압하는 변전설비를 건설하여 긍장 20km의 송전선으로 무부하운전하고, 그후에 송전선을 45km 연장하여 수전측에서 420kV로 강압하여 기존의 420kV송전계통망에 접속한다고 하는 것이었다.

그러나 그후 이탈리아에서는 400kV를 넘는 전압의 송전계통을 도입할 계획은 없어졌고, 장래 다시 UHV도입계획이 부활할른지 어떨지는 에너지대책, 여론의 동향 등 많은 문제가 얽혀 있다.

3.3 기타 국가들

아메리카합중국의 AEP가 1,500kV~1,600kV의 송전선을 1990년대에 도입할 것을 상정하여 1976년에 약 1km의 1,500kV시험선을 시카고 근방에 건설하여 연구개발을 추진하였다. 또 BPA 는 1,200kV송전선을 1990년대초반에 운전개시할 예정으로 라이온즈에서 1,200kV시험송전에 의한 전기환경, 절연문제 등을 모로에서 多導體의 기계력의 문제를 실증시험하였다. 어느 것이나 현재, 전력수요의 신장이 낮기 때문에 적어도 금후 20년간은 UHV송전의 가능성은 없다고 한다.

4. 1,000kV 송전계통의 특색과 변전기기의 구비요건

4.1 계통의 특색

1,000kV계통에서는 500kV에 비하여 다음과 같은 특징이 있으며, 이에 대응하여 많은 대책검토가 행해지고 있다.

(1) 靜電容量이 크다. 또 그 때문에 2次아크電流가 크다. 보호릴레이에서는 정전용량대책을 고려한 방식을 채용하고 있다. 또 2次아크대책으로서는 高速接地開閉器(HSGS) 또는 直附샨트리액터가 검토되었다.

(2) 非撚架送電線이 된다. 그 때문에 불평형전류·전압의 발생이 예측되어 해석검토가 행하여졌다.

(3) 1kV까지의 계측이 요구된다. 그 때문에 전압검출회로의 精度를 0.1%가 되도록 향상을 꾀하였다.

(4) 철탑높이를 억제하기 위하여 절연배수를 1.6pu 이하로 낮게 하고 있다.

(5) 송전선저항치가 낮고 직류전류의 감쇠가 늦다. 零点推移現象,高調波成分의 증대가 염려되어 여러가지 검토를 함으로써 문제점을 해결하고 있다.

4.2 變電機器가 구비하여야 할 요건

위와 같은 특징을 갖는 1,000kV계통에 적용되는 변전기기가 구비하여야 할 조건으로는 다음과 같은 네가지 점을 고려하였다.

(1) 송변전설비에 일관된 最效率絶緣協調體系의 구축

系統過變壓의 억제가 필요하여 고성능산화아연형 피뢰기를 개발,적용토록 하였다. 또 차단기의 저항투입·저항차단방식을 채용하였다. 또한 최신기술을 구사한 기기절연설계의 합리화를 기하였다.

(2) 山岳立地

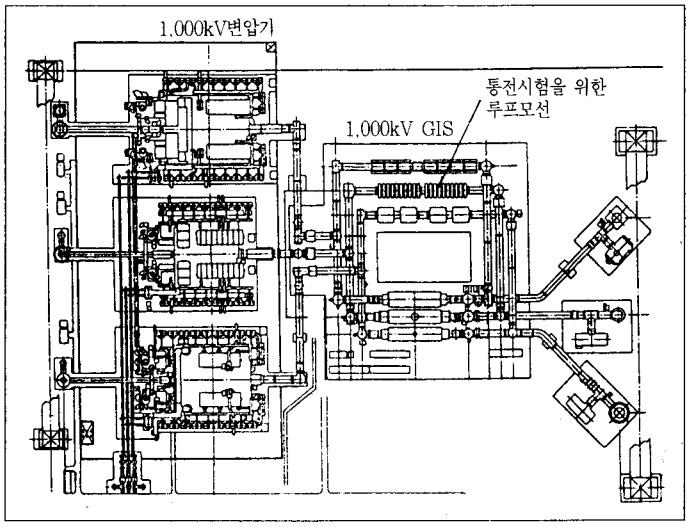
스페이스와 수송면에서 極力콤팩트化를 도모하기 위하여 대형화에 따른 변압기 등의 수송·건설기술의 확립을 기하였다. 여기에는 일본의 철도수송상의 제약이 큰 영향을 미친다.

(3) 高電壓·大容量에 따른 전기적·열적스트레스

500kV기기 이상의 고신뢰성 및 장수명 특성을 확보하기 위하여 검토가 행해졌다.

(4) 조작성·유지보수성

종합적인 감시제어방식의 채용에 의하여 운전의 자동화·유지보수의 省力化지향, 설비의 이상이나 불편의 事前檢知가 채용되었다.



〈그림 2〉 1,000kV 변전기기 실증 시험설비 배치도

5. 1,000kV變轉機器 開發 및 檢證

1,000kV변전기기의 개발에 있어서는 종래의 500kV변전기기의 개발과 크게 달라, 일본의 독자기술을 중심으로 추진할 필요가 있었다. 기기의 개발에 임해서는 요소기술의 개발, 검증기에 의한 기본성능확인, 0號器에 의한 기기성능의 검증을 실시하여 1,000kV 변전기기로서 완성시켰다.

또 동시에 일본 고유의 수송제약, 입지조건, 지진대책, 염해대책 및 계통조건을 고려하여 신중한 기술개발을 도모할 필요가 있다. 이때문에 東京電力에서는 群馬縣의 新榛名변전소구내에 변압기 1뱅크(3,000MVA), GIS 1回線(8,000A), 보호·제어설비 1식으로 된 실증기를 실변전소와 같은 조건으로 설치하여 長期過通電試驗을 하기로 하였다. 현재 三菱電機를 비롯한 메이커 각사와 공동으로 실증시험을 진행시키고 있다.

5.1 試驗設備의 構成

실증시험설비는 3相으로 하였으며 그 배치는 그림 2와 같다. 三菱電機는 그중 중앙의 相을 담당하고 있다. 실증시험에서의 課電은 新榛名변전소의 500kV 모선에 접속하고 실증변압기로 승압한다. 변압기의 통전은 1相2分割한 負荷時탭轉換裝置의 탭差에 의하고 또 GIS의 통전은 그림에 표시하는 루프母線에 설치한 CT의 逆勵磁에 의하여 할 수 있도록 하였다.

5.2 實證器의 基本仕樣

三菱電機製 각 기기의 사양에 관하여는 다음의 논문에서 상술하지만 여기서는 그 기본사양(표 2 참조)과 그 특징 및 사고방식에 대하여 기술한다.

(1) 변압기

철도수송의 제한으로 1相을 2分割한 2탱트 구조(1탱크當

해외기술

〈표2〉 1,000kV실증기의 기본사양

변압기		정격용량	3,000/3MVA×3
		3차용량	1,200/3MVA×3(40%)
		정격용량	1차 1,050 /√3 kV 2차 525 /√3 kV 3차 147 /√3 kV
		1차탭폭	±7%(27점)
		임피던스	18%
		시험전압	LIWV 1차 1,950kV 2차 1,300kV AC √3E 5분
GIS	공통	정격전압전류	1,100kV, 8,000A
		시험전압	LIWV 2,250kV AC √3 E 1분*
	GCB	차단전류 투입차단저항 표준동작책무	50kV 700Ω(투입·차단공용) 투입시저항투입시간:10ms 차단시저항접점지연시간:30ms O-(θ)-CO-1분-CO
	DS	서지억제방식	저항투입방식(500Ω)
	HSGS	전자유도차단 정전유도차단 표준동작책무	3,500A, 600kV 1,000A, 900kV C-(θ)-O
	LA	정격전압 제한전압	826kV 1,620kV(at 20kV)
	부싱	오손내전압 ESDD	762kV 0.03mg/㎠이하

※전후에 1.5E인가. (變壓器:1시간, GIS:30분)(1E=635kV)

용량은 500kV변압기와 같음)로 하고 현지에서 도킹하는 외철형단권변압기를 채용하였다. 500kV변압기와 동일한 體格으로 하기 위하여 高電界部의 완화, 油隙의 세분화, 절연유의 크린化 및 內部組立에서의 크린化를 실시하여 절연거리를 증가시키지 않고 2배의 내전압을 실현함으로써 기기의 콤팩트화를 도모하였다. 또한 공장에서 現地組立性검증을 하여 前室유닛에 의한 防塵管理의 유효성 및 효율적인 현지 작업성을 확인하였다.

(2) GIS

(a) 차단기(GCB)

종래기술의 연장으로는 4点切이 되는 것을 시뮬레이션과 최신기술로 개발하여 2点切을 실현하였다 (500kV차단기의 1点切化를 동시에 실현). 또 개폐서지를 1.6~1.7pu로 억제하기 위하여 저항투입·저항차단방식(저항치는 700Ω)을 채용하였다.

(b) 단로기(DS)

개폐서지를 1.2 pu 정도로 억제하기 위하여 抵抗投入方式(500Ω) 을 채용하였다.

(c) HSGS

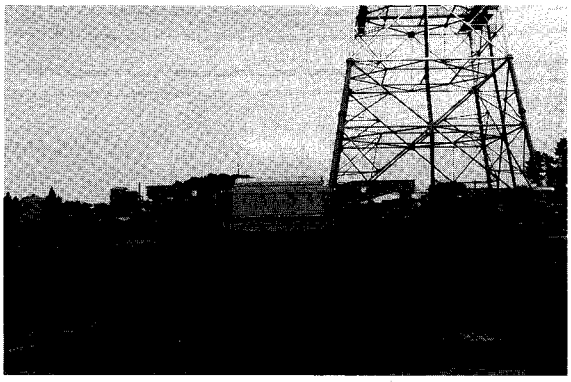
사고전류 차단후 건전상으로부터의 靜電誘導에 의한 사고점의 2次아크를 강제로 消弧시키는 방식을 새로 개발하여 채용하였다. 開閉路사이에서 확실한 투입·개방을 하는 고속성·고품질성이 요구된다. 또 후속 고장시 유도전류에 의하여 전류가 영점을 통과하지 않는 零미스대책으로서 長아크 消弧責務도 있다. 원리적으로는 차단기를 베이스로 하여 개발하였다.

(d) 피뢰기(LA)

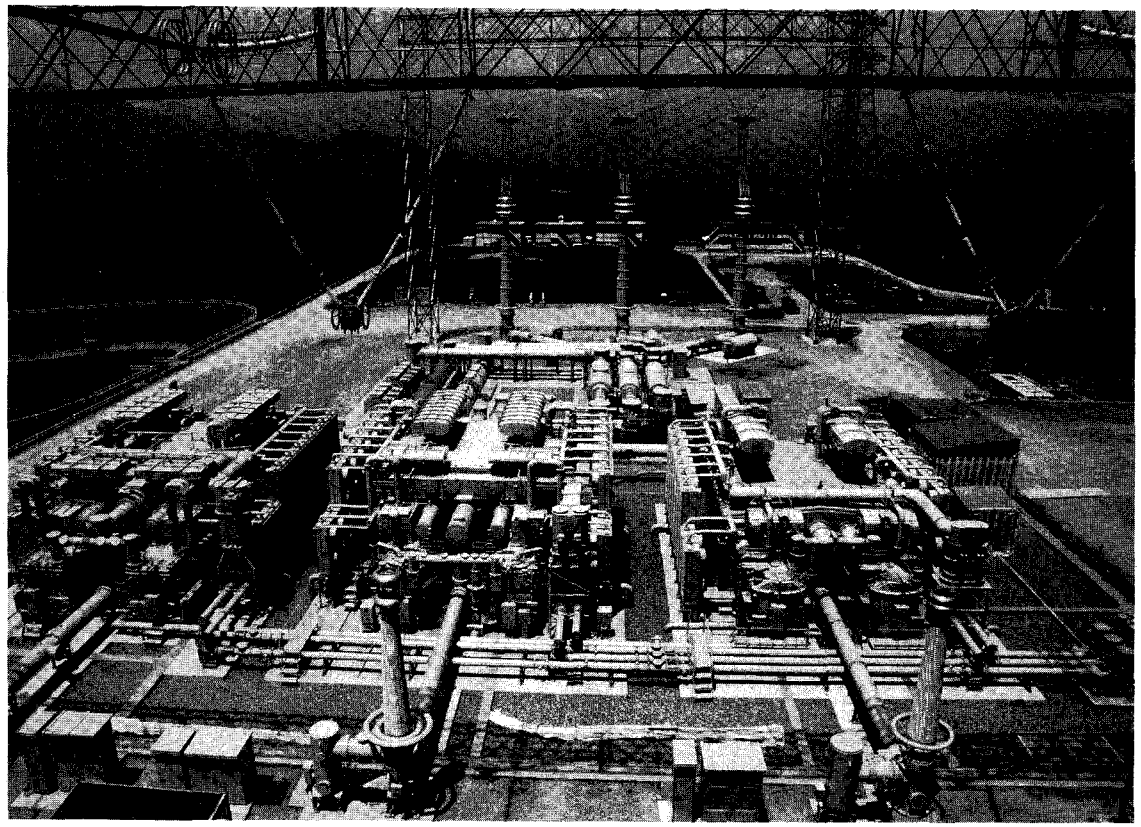
1,000kV 에서는 서지보호레벨을 낮게 억제하여 기기의 소형화를 도모하였으며 그것을 실현케 한 것이 고성능피뢰기이다. 수명특성, 에너지耐量, 전압—전류특성의 平但率의 향상에 따라 높은 전압스트레스트에서의 사용에 견디는 피뢰기를 개발하였다.

5.3 실증시험내용

실증시험에서는 기기의 성능실증뿐만 아니라 大型重量機器의 수송기술(그림 3 참조), 이번에 채용한 새로운 設置工法의 검증, 기기 진단기술 및 유지 보수성 등 변전소로서의 운용면에서의 확인을 계획하고 있다(일부실시 완료). 그림 4에 設置狀態를 표시한다.



〈그림 3〉 1,000kV 변압기실증기의 수송(전경)



〈그림 4〉 1,000kV 변전기실증기의 전경 (500kV측에서)

기기고유의 성능은 기기메이커가 1相씩 담당하여 기기마다 공장에서 검증하였다. 新榛名변전소 구내에서의 실증시험은 공장에서는 검증할 수 없어 시뮬레이션 등으로 검토하고 있다. 3相회로에서의 현상파악과 변전소 전체의 종합성능을 확인하는 중요한 것이 된다. 현재 耐電壓과 通電 등 개개의 시험이 실시되고 있으며 '96년부터는 2년간의 長期課電통전시험이 계획되어 있다.

6. 맺음말

1,000kV송전의 실현은 500kV의 연장선상에 있으며 지금까지 축적되어온 많은 지식을 이용하여 콤팩트化를 기함으로써 실현을 가능하게 하고 있다. 예를 들면 차단기의 遮斷接点數가 4点이어야 할 것을 2点으로 축소한다. 변압기 용량의 증대화의 니즈에 따라 대형화가 진전되고 있다. 송전철탑의 높이를 억제하기 위해서는 절연설계를 500kV와 같이 2.0pu로 하면 송전철탑은 144m로 될 것을 대지절연설계를 1.6pu로 하였기 때문에 100m의 높이로 억제할 수가 있었다. 이것은 어레스터技術의 진보가 크게 공헌하고 있다. 그 외에도 차단시의 아크현상의 詳細시뮬레이션技術, 雷서지 및 개폐서지의 詳細 시뮬레이션 技術, 하드웨어 技術, 크린룸 등의 제조기술이 1,000kV실현에 크게 기여하고 있다.

이 원고는 日本 三菱電機技報를 번역, 전재한 것입니다.
本稿의 著作權은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 大韓電氣協會에 있습니다.