

해외기술

해외
기술

直流送電의 동향과 기술개발

1. 머리말

대용량전원의 원격화에 따른 장거리 대전력송전, 전력유통을 위한 전력회사간의 연계, 공급체통의 확대에 수반되는 단락용량의 증대 등 전력계통의 각종 문제에 대하여 직류기술의 도입사례가 증가하고 있다. 이 직류기술에 대해서는 일본을 포함하는 세계 각지에서 이미 많은 직류송전·직류연계설비가 운전되어 실적을 올리고 있다. 이와 같은 직류기술 적용사례의 증가와 병행하여 교직변환기능의 심장부인 사이리스터와 제어보호설비의 전자제품의 발전에 따라 직류시스템에 요구되는 신뢰성·경제성도 보다 고도화가 요망되고 있다.

이와 같은 배경하에 일본에서도 세계최대급의 대용량직류송전이 계획되고 있으며 이에 앞서 關西電力, 四國電力, 電源開發 및 三菱電機가 공동으로 직류송전용 각종 기기와 제어장치의 개발을 추진하여 왔다. 여기서는 이들의 개발목표, 개발경위, 각종시험에 대하여 그 개요를 기술한다.

2. 전력계통에서의 교류와 직류의 역할

현재, 세계의 전력계통은 발전에서 최종 전력이용까지 전압의 승강압이 용이한 점 등 기본특성을 충족하고 있는 교류가 송배전의 기반을 형성하고 있다.

이와 같은 교류계통이지만 전력수요의 증가에 따라 다음과 같은 한계가 있음이 인식되고 있다. ① 전력계통의 확대에 따라 커다란 루프가 형성되는 등의 경우에 조류의 제어에 제약이 생긴다. ② 전원입지의 원격화에 따라 송전선거리도 증대되어 계통교란에 대한 안정도가 저하하는 경향이 있다. ③ 계통연계로 전력송전용량을 증대시키는 경우, 단락용량의 증가가 차단기의 차단용량을 상회하는 케이스도 나타난다. ④ 무효전력에 의하여 송전선에 흐르는 전류가 커지는 등의 교류독자적인 문제를 무시할 수가 없다.

한편 직류계통은 표 1에 표시하는 것과 같은 특징을 갖고 있다. 직류의 적용에 있어서는 비동기운전이 가능, 무효전력 문제에서의 해방 등 직류의 기본적 특성에 더하여 원래고속 제어에 의존함을 전제로 하는 것이다. 이런 점에서 고속의 조류제어가 가능하며 단락용량을 증가시키지 않고 광역연계를 실현할 수 있는 특성을 살려, 교류계통의 특성을 보완하

〈표 1〉 직류송전의 적용분야와 채용이유

적용분야(프로젝트 예)	채용이유
장거리 대전력송전 · 이타이프, 넬슨리버, · 퍼시픽인터타이	· 철탑을 소형으로 할 수 있고, 송전선건설비가 교류에 비하여 저렴하다. · 송전안정도의 문제가 없고, 송전용량을 크게 할 수 있다.
해저케이블송전 · 英佛연계, 北本연계 · 코트랜드, 페노스칸	· 충전전류보상의 필요가 없다. · 케이블의 열용량분을 통전할 수 있기 때문에 케이블사이즈를 작게 할 수 있다.
비동기연계 · 데이울론, 샤프트케이 · 하이게이트, 에켄리하트 · 佐久間 FC, 新信濃 FC	· 다른 周波 연계 · 안정도문제와 단선용량 증가 등 同期연계가 곤란한 경우의 교류계통간 연계 · 신속한 조류제어

는 역할을 담당할 수가 있게 된다. 전력 계통의 용량확대에 따라 이들의 대책이 필요한 지점도 많아져서 앞으로 직류 관련기술의 채용기회가 한층 많아질 것으로 생각된다. 이와 같은 특징을 살린 프로젝트의 사례를 표 1에 함께 표시하였다.

또 사이리스터에 의한 무효전력제어기술의 활용으로는 静止形무효전력보상장치(Static Var Compensator : SVC) 등도 있어 교류의 특성과 상호보완하기 위한 적용도 앞으로 더욱 확대되어 갈 것으로 생각되고 있다.

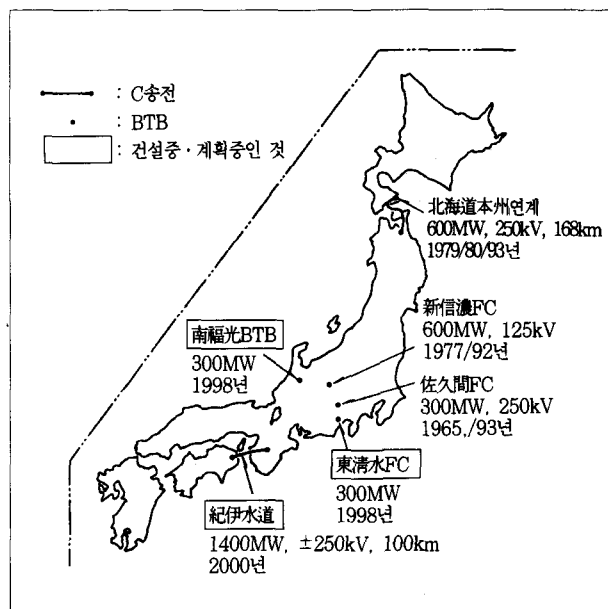
3. 직류송전의 적용

1954년에 스웨덴(本土)과 고트랜드섬간에 세계에서 처음으로 본격적인 직류송전(100kV, 20MW)이 개시된 이래 약 40년이 경과되었다. 그동안 장거리대용량가공 송전선, 해저케이블송전, 주파수변환설비, 비동기연계설비 등으로서 직류기술이 적용되고 있다.

현재 이미 세계에서는 약 50개의 프로젝트, 약 39,000MW의 직류설비가 운전중에 있으며 건설중·계획중인 설비를 합치면 합계 약 60프로젝트, 약 55,000MW에 달하고 있다. 일본에서는 이미 3개소의 주파수 변환설비 및 송전설비가 운전중이다. 이들 일본의 직류설비의 대표적인 프로젝트를 그림 1에 표시한다.

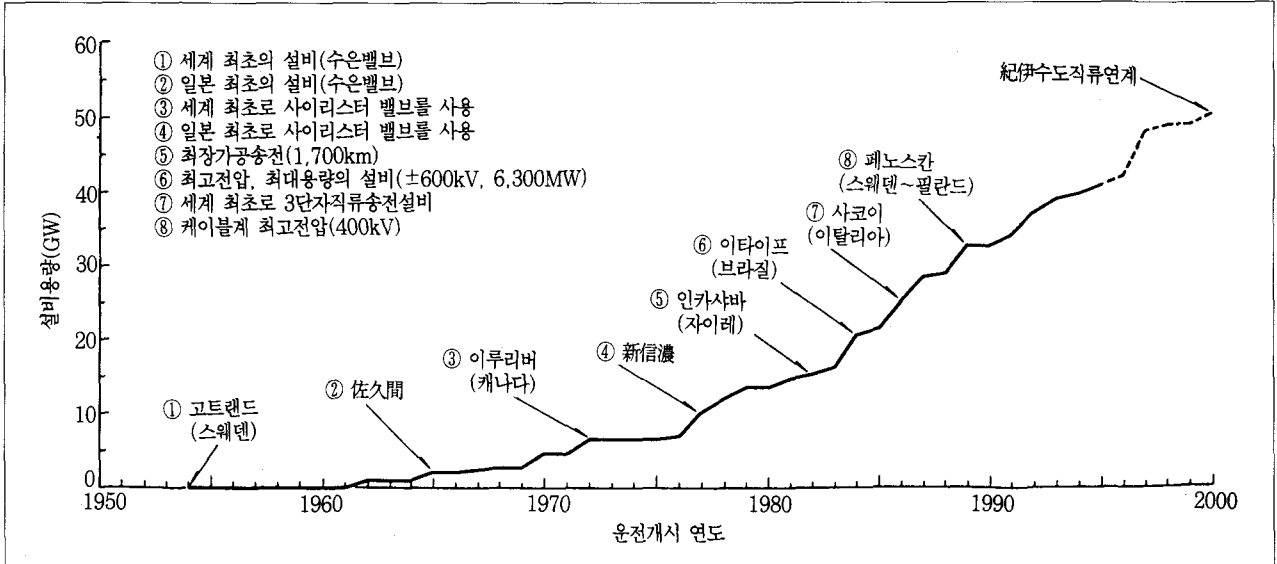
일본의 전력설비의 장기계획으로는 中央電力協議會가 1994년에 책정한 금후 10년간의 전력계통계획에 의하면 전력의 광역운영을 위하여 659만kW의 전원개발을 배경으로 광역용통전력을 1993년도 실적에 비하여 배가 증가한 838만kW로 하는 계획을 내놓고 있다. 이것을 실현시키기 위하여 계통정비 가운데 500kV 이상의 송전선을 2,760km 건설함으로써 동 50% 증가한 8,650km로, 500kV 이상의 변전설비용량을 40% 증가한 2억 1369만kVA로 증설하기로 하고 있다. 또 수급변동에 탄력적으로 대응하기 위하여 ±250kV 대용량직류연계를 시작하고 직류관련설비로서 南福光의 BTB(Back-to-Back)설비, 東清水의 주파수변환소 등이 이미 계획중인 설비로서 포함되어 있으며 그림에서는 이것들을 포함하여 표시하고 있다. 또 동계획에서는 교류 500kV의 關西-中國新연계선계획도 포함되어 있는 등 앞으로의 광역전력운용이 보다 선명하게 표시되어 있다. 이와 같이 앞으로의 전력계통에서는 직류기술의 중요성이 증대되고 있음을 이해할 수가 있다.

일본과 주요제국의 직류의 건설비용량의 연간추이를



〈그림 1〉 일본의 직류프로젝트

해외기술



〈그림 2〉 직류설비 용량의 증가

그림 2에 표시한다. 그간에 변환장치는 수은밸브에서 사이리스터밸브에로의 커다란 기술변혁이 있었으며 1극당 용량도 20MW에서 1,575MW로 되는 등 각종 진보가 있었다. 또한 1987년 사고에서의 3端子送電 등 제어면에서도 새로운 기술이 부가되었다.

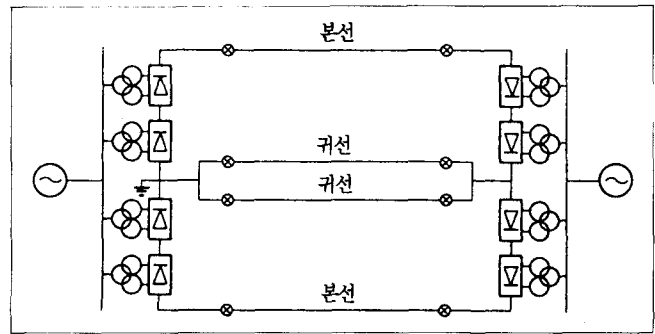
또 전력계통 중에서의 직류설비의 역할도 서서히 변화하고 있다. 즉 용도로 보더라도 당초에는 송전용으로서의 적용이 추진되었으나 1972년의 이투리버를 비롯하여 潮流제어, 非同期연계를 목적으로 한 BTB설비로서의 적용도 증가하고 있다.

이들 프로젝트 중에서 특히 기술적 마디가 되는 프로젝트를 표 2에 표시한다.

일본에서는 앞서 기술한 ±250kV의 연계구상을 더욱 발전시켜 2000년 이후의 전력수요의 증대에 대응하는 송전용량 3,000MW급의 직류송전이 검토되고 있다. 이를 위하여 전압을 ±250kV에서 다음의 스텝인 ±500kV로 승압함으로써 송전용량을 단계적으로 증강하는 수단이 논의되고 있다. 또 이 연계에 대하여는 송전의 신뢰성확보와 다른 시설에의 폐해를 제거하는 관점에서 導體歸路方式의 적용을 고

려할 필요가 있다.

이와 같은 ±500kV 직류송전시스템의 기본구성을 그림 3에 표시한다.



〈그림 3〉 ±500kV 직류송전시스템의 기본구성 예

4. 직류송전용 기기·장치의 개발

동사는 그림 4에 표시하는 것과 같이 벌써부터 직류송전 기술에 손을 대어 사이리스터정격의 증가에 호응하여 사이

〈표 2〉 대표적인 직류프로젝트

프로젝트명	정격용량* (MW)	정격전압 (kV×회선로)	송전거리(km)			운전개시연도	밸브형식	비 고
			가공선	케이블	합 계			
운전실적이 있는 프로젝트								
고트랜드 (스웨덴)	30 260	±150 150×2	0 0	96 98	96 98	1954/70 1983/87	수은 사이리스터	세계 최초의 본격적 직류케이블 송전(1986년 이후 정지)
크로스채널 (영국~프랑스)	160 2,000	±100 ±270×2	0 0	65 70	65 70	1961 1986	수은 사이리스터	해저케이블송전(1984이후 정지)
블고그라드~돈바스 (소련)	720	±400	470	0	470	1962~1965	수은	±400kV장거리 가공송전
콘티스칸 (스웨덴~덴마크)	250 300	250 285	95 62	85 87	180 149	1965 1988	수은 사이리스터	해수기보방식
佐久間(일본)	300	125×2 250	- -	- -	- -	1965 1993	수은 사이리스터	다른 주파 연계(교체)
사코이(이탈리아)	300/50	200	292	121	413	1967/87/92	수은 사이리스터	다단자 송전
퍼시픽인터타이 (미국)	2,000 1,00	±500 ±500	1,362 1,362	0 0	1,362 1,362	1970/84 1989	수은, 사이리스터	±500kV, 3,100MW로 전압, 용량의 기록 경신
이루리버 (캐나다)	320	80×2	-	-	-	1972	수은 사이리스터	세계에서 최초로 사이리스터밸브 사용, 비동기 연계
新信濃(일본)	300 300	125×2 125	- -	- -	- -	1977 1992	사이리스터 사이리스터	다른 주파 연계
北海道~本州(일본)	600	+250 -250	124 124	44 44	168 168	1979/80 1993	사이리스터 사이리스터	비동기 연계 해저케이블송전
이타이프(브라질)	6,300	±600	783	0	783	1985/88	사이리스터	±600kV, 6,300MW로 전압, 용량의 기록 경신
일본의 프로젝트 계획								
東 清 水	300	125	-	-	-	1998	사이리스터	다른 주파 연계
南 福 光	300	125	-	-	-	1998	사이리스터	비동기 연계
紀伊수도직류연계 1기	1,400	±250	50	50	100	2000	사이리스터	해저케이블송전, 조류제어

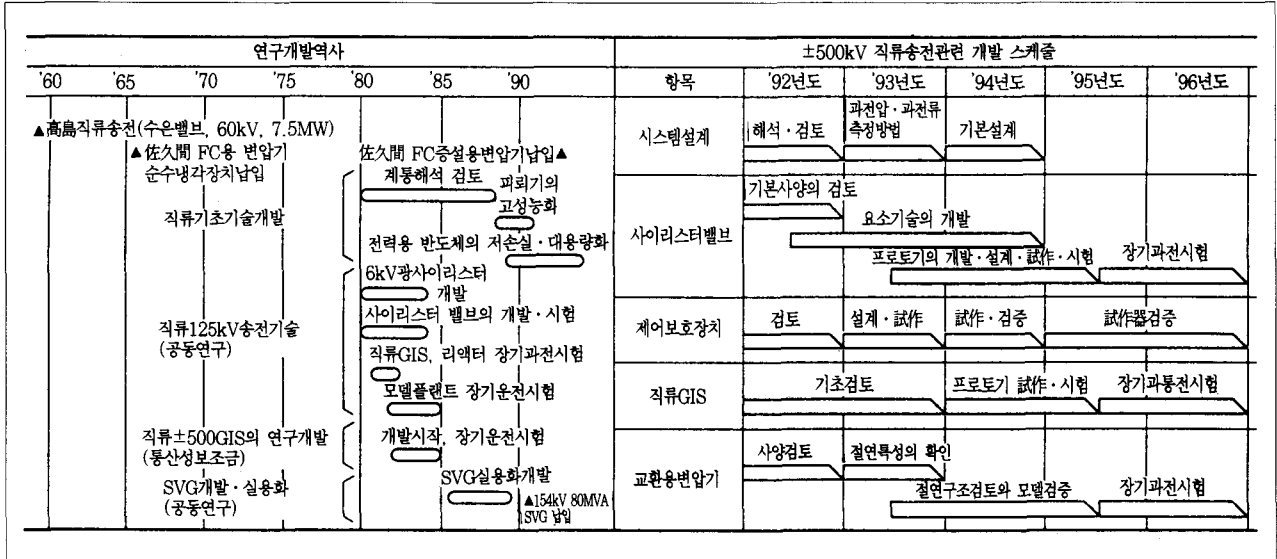
리스터밸브, 직류GIS 등의 개발을 추진하여 왔다.

1980~1985년에는 關西電力과의 공동연구에 의한 125kV직류설비의 개발, 1982~1985년에는 通産省의 보조금을 얻어 ±500kV 직류 GIS를 연구개발하였다. 또 변환용변압기에 대하여는 佐久間주파수변환소에 납품하는 등의 실기시험을 갖고 있다. 이밖에 전력용반도체의 저손실화나 피뢰기의 고성능화 등의 요소기술개발도 계속적으로 실시하여 왔다. 또한 사이리스터로 교류계통의 무효전력을 조정하는 静止型무효전력발생장치에 대하여는 關西電力과의 공동연구 등에 의하여 개발을 추진하여 154kV, ±80MVA

의 SVG가 실제통에서 가동하고 있다.

동사의 직류송전용기기·장치의 개발스케줄(그림4)에 표시하는 바와 같이 금후 일본에서 필요로 하는 500kV대용량 직류송전에도 적용가능한 사이리스터밸브, 직류GIS, 변환용 변압기, 제어보호장치 등의 개발을 추진하고 있으며 이들 기기·장치의 개발포인트를 표 3에 표시한다. 이들 기기·장치는 요소기술의 검토를 거쳐 프로토타입의 제작·시험을 통하여 개발이 추진된 것이며 그 공통되는 개발이념은 "높은 신뢰성"과 "장기 실용성을 고려한 절연·통전성능과 저로소화"의 노력이다. 특히 고신뢰성을 확인하기 위하여 각 기기

해외기술



〈그림 4〉 연구개발의 역사와 앞으로의 개발스케줄

〈표 3〉 직류송전용 기기·장치의 개발포인트

기기·장치	사이리스터밸브	직류GIS	변환용변압기	제어보호장치
개발포인트	세계최대용량의 광직접점 호 사이리스터의 채용에 의한 소형화·고신뢰도화	내압열화의 원인이 되는 도전성이물의 방지대책에 의한 절연신뢰성의 향상	절연구조의 개량에 의한 소형화	교류계사고시의 영향을 최소한으로 억제하는 운전제어

기술의 적용확대를 향하여 고성능교직변환기를 실현하기 위한 자기소호형소자, 자동식 변환기의 개발도 추진하고 있다. 이들의 개발로 앞으로 직

의 장기성능은 물론이지만 제어장치의 시뮬레이터에 의한 응용시험을 주의깊게 하는 등의 배려를 하고 있다.

류기술의 활용으로 전력계통의 유연성의 확대, 광역연계를 위한 노력이 추진될 것으로 생각된다.

5. 앞으로의 과제

종래부터 일본에서 적용되어온 직류연계설비에 대하여 대용량의 본격적인 직류송전 계획도 추진되고 있다. 이번에 개발한 직류기술의 상세한 것은 이 直流送電의 각 논문에서 소개하는 것과 같이 모델에 의한 장기성능검증시험을 통한 실용성능검증을 거쳐 실용화개발을 더욱 추진해 갈 것이다.

특히 동사로서는 직류시뮬레이터설비, 밸브검증설비 등의 충실을 기하면서 개발단계에서의 성능검증에 만전을 기하여 각 기기기술을 확립할 계획이다.

또 직류송전의 보다 고성능화·연계강화에 있어서의 직류

6. 맺음말

이상 대용량직류송전의 실용화를 위해 추진되고 있는 개발에 대한 개요를 기술하였는데 이번 直流送電 각 논문에서는 일련의 공동연구에 의하여 달성된 각종 요소기기의 개발에 관해 상세히 소개한다.

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