

HVDC 송전기술과 제주-해남 HVDC 변환설비

심응보

한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원

1. 머리말

초고압 직류송전(HVDC : High Voltage Direct Current)은 AC 발전기에 의해서 만들어지는 AC 전력을 AC/DC 변환기를 이용하여 DC 전력으로 변환시켜 우리가 보내고자 하는 지역으로 DC 전력을 전송하고, 다시 DC/AC 변환기를 이용하여 AC 전력으로 변환시켜 AC 계통에 AC 전력을 공급하는 방식이다. 이러한 HVDC 송전방식은 모든 면에서 AC 전송방식보다 우수하다고 말할 수는 없지만 AC 전송이 갖는 단점을 해결하고 DC 전송만이 갖는 특이한 장점이 있기에 미국, 일본 그리고 유럽에서는 오래 전부터 연구하여 실용화된 기술이다.

DC 송전은 송전손실이 도체의 저항에만 영향을 받기 때문에 저손실의 장거리송전이 가능하고, 변환기의 제어에 따라 서로 다른 주파수의 계통을 연계할 수 있으며 같은 주파수의 계통을 연계하더라도 주파수를 동기시킬 필요가 없다. 일본의 경우가 주파수가 다른 계통을 서로 연계하여 운전하고 있는 좋은 예이다. 유럽이나 미국, 캐나다 등에서는 국가간의 전력계통을 HVDC로 연계하여 전력을 수출 또는 수입하고 있으며 지역간에 생산과 소비의 시간대가 다른 점을 이용하여 경제적인 부하관리를 하고 있다. HVDC 계통은 AC 송전과는 달리 계통에 영향을 주지 않으면서 전력량을 제어할 수 있기 때문에 전력의 수출입이 유리한데 미국과 캐나다의 HVDC 연계가 대표적인 경우이다. 가공송전선의 경우에 DC 송전은 AC 송전보다 전자계나 코로나가 적고 소자의 절연설계가 유리하기 때문에 AC보다 환경친화적인 전력 전송방법이라 할 수 있으며 계통의 안정도 측면에서도 유리한 방법이다.

2. 교류송전과 직류송전

현재 전력계통의 근간은 50Hz 또는 60Hz의 상용 주파를 가진 교류가 기본이 되어 있다. 전기에너지로 이용한 당초에는 직류가 주로 이용되었으나 점차 효율이 높고 원거리로 전력을 보내기 위해서는 전압이 높아야 하므로 변압기로 전압을 간단히 승압할 수 있는 교류가 압도적으로 유리하게 되었다. 역사적으로는 직류의 시대는 초기에 매우 짧은 기간에 한하였으며, 그 후 대부분 교류방식이 이용되었다.

교류는, 전기를 만드는 면과 전기를 사용하는 면 모두에서 많은 장점을 가지고 있어, 전기에너지의 보급과 함께 매우 광범위하게 이용되었으나, 전기에너지를 사용하는 범위가 넓어질수록, 또 그 용량이 점점 커질수록 교류 특유의 결점도 나타나게 되었다.

첫째, 교류송전선으로 전송하는 전력이 송전선의 길이가 길어짐에 따라 거리에 반비례하여 작아지는 기본적인 성질을 가지고 있다. 즉, 같은 굵기의 전선을 사용하여도 송전거리가 어느 이상 길어져서 거리가 2배가 된다면 전송되는 전력은 약 절반으로 줄어드는 특성이 있다. 둘째, 교류에는 소위 무효전력문제가 반드시 파생된다. 교류에는 통상 물리학에서 전기에너지의 흐름을 나타내는 유효전력(Active Power) 뿐만 아니라 교류의 경우에만 해당되는 무효전력(Reactive Power)이라는 전기에너지의 흐름 때문에, 교류전압이 변화하거나, 유효전력을 보내는데 직접 기여하지 않는 부수적인 전기에너지의 흐름을 국부적으로 발생시켜, 전선에 흐르는 전류를 증가시키는 성질이 있다. 이것을 무효전력이라고 하는데 직류를 사용하는 경우에는 이러한 현상이 발생하지 않는다.

셋째, 교류를 이용하는 경우에는 전기적으로 서로 연결되어 있는 발전기나 전동기와 같은 회전기는 전부 동기되어 같은 속도로 회전하는 특성을 갖고 있으나

직류를 사용하는 경우에는 이러한 현상이 없어진다.

이렇게 직류송전은 송전거리, 무효전력, 동기 등의 교류송전 특유의 현상으로부터 발생하는 여러 가지의 문제로부터 자유로워지는 커다란 특징이 있다. 세계 각국의 직류송전도 결국은 위에서 말한 3가지의 문제 중 어느 것인가를 해결하기 위한 것이라고 할 수 있다. 일본의 佐久間 변환소, 新信濃 변환소 또는 현재 계획중인 東清水 변환소 등은 50Hz와 60Hz의 서로 다른 주파수를 사용하는 계통을 연결하여 비동기운전을 하기 위한 것이다. 일본 본토와 홋카이도를 연결하는 北本連繫線이나 현재 공사중인 紀伊水道直流送電(四國電力과 關西電力간을 연계)은 교류송전에 따른 송전거리, 무효전력 등의 문제를 해결하기 위한 것이다.

이상에서 말한 바와 같이 현재의 직류송전은 교류송전의 난점을 해결하기 위해 보완적으로 이용되고 있다고 할 수 있으며 전력계통에서 교류를 기본으로 하고 있는 것은 예나 지금이나 다름이 없다. 아주 먼 장래를 생각한다고 하여도 직류를 기본으로 하는 전력계통은 예상하기 어려운데 그 이유는 다음과 같다.

교류계통에는 자기제어성이 있다. 부하의 변화, 송전선의 개폐 등에 의해 내부적으로 가해지는 내부적인 교란에 대하여 또는 낙뢰에 의한 송전선의 정지로 대표되는 외부적인 교란에 대하여도, 교류전력계통은 계통에 가해진 여러 가지 교란을 그 시스템을 구성하는 대부분의 발전기, 송배전선, 부하 등에서 서로가 같이 분담 흡수하여 그 영향을 최소한으로 억제하려고 하는 기본적인 성질을 갖고 있기 때문이다. 이러한 특성은 앞에서 말한 동기라고 하는 메커니즘에 의한 것으로 이것을 유지하기 위해 여러 가지 외란이 있어도 균형을 잡기 위한 전류가 자연적으로 흘러 불균형을 시정하게 된다. 그 결과 교류전력계통은 기본적으로 대단히 안정되고 유연하게 동작하는 성질을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉, 극단적으로 말한다면,

내·외적인 교란에 대해서 그대로 방임하여도 안정하게 운전이 되는 대단히 복원력이 강한 시스템이라고 할 수 있다.

이에 대하여 직류계통은 전선에 흐르는 전류 하나 하나를 매우 강하게 제어하면서 매 순간 순간마다 필요한 전류를 만들어 내는 것을 기본으로 하는 시스템이다. 그 제어가 적절하게 되지 않는 경우에, 순간 순간의 필요한 전류를 잘 만들어내지 못하면 갑자기 그 기능을 잃어버리는 성질을 가지고 있다.

반면에 교류계통은 안정한 반면 급속한 변화에서는 그 안정성을 고의로 제어할 수가 없는데 비하여 직류계통은 원래 제어기능이 강력하기 때문에 계통전체의 세세한 제어를 매우 적절하게 할 수 있다. 즉, 교류의 특징이 안정성이라면 직류의 특성은 제어성이라고 할 수 있다.

비동기운전과 같이 직류 이외의 다른 방법이 없는 경우는 물론이고, 교류계통의 기능을 높이기 위하여 제어기능을 추가하는 경우에도 직류의 장점인 제어기능이 유용하게 사용된다. 교류계통에는 송전전력이 송전거리에 반비례하는 성질이 있으나, 현재는 교류계통에도 거리의 벽을 극복하기 위한 고도의 제어기술이 이용되고 있다.

교류계통의 기능을 강화하기 위해, 세계 각국에서 활발히 연구하고 있는 정지형 무효전력보상장치(SVC, Static Var Compensator)나 정지형 무효전력발생장치(SVG, Static Var Generator)는 기술적으로 직류변환설비와 매우 유사하며, 즉 직류송전기술이 교류계통에도 적극적으로 활용되고 있는 사례라고 할 수 있다.

최근 미국 등을 중심으로 여러 가지로 검토되고 있는 가변임피던스 기기나 위상제어장치 등의 FACTS(Flexible AC Transmission System) 기기도 그 중의 하나이며 교류계통의 제어성을 높이기 위한 방안이다. 이상에서 보면 현재까지는 직류기술이 교류계통

에 보완적으로 사용되고 있는 것을 넘어서 교류계통에 집합되어가고 있다는 생각이 자연스러운 것이다.

3. 세계의 직류송전

1954년 수은정류기를 이용한 최초의 상업 HVDC Cable 선로가 스웨덴 본토와 Gotland 섬간에 운전을 개시한 이후 1972년 사이리스터를 이용한 320MW급 Back-to-back 시스템이 캐나다의 Ell River에 적용되면서 급격한 기술발전이 이루어졌다. 현재 운전중인 직류송전설비는 약 55개에 달하며 그 용량은 약 46GW이다. 가장 큰 용량은 브라질의 Itaipu로 $\pm 600\text{kV}$, 6,300MW이며, 가장 긴 해저케이블은 스웨덴-핀란드간 400kV, 500MW Fenno-Skan 계통으로 약 200km이다. 가장 긴 가공송전선로는 자이르의 $\pm 500\text{kV}$, 560MW Inga-Saba 계통으로 약 1,780km에 달한다.

현재 운전되고 있는 대부분의 직류송전은 사이리스터를 이용하고 있으나 인버터단과 연결된 교류계통에서 지락고장이 발생하면 전압의 저하에 의하여 轉流失敗현상이 발생하는 것을 피할 수 없다. 다시 말하면 인버터단에 전원이 있어야 하고 교류계통의 고장시에 정상적인 전력을 수송할 수 없게 되는 문제를 가지고 있다. 이와 같은 단점을 해결할 수 있는 방법은 Voltage Source Converter를 사용하는 방법인데 대용량은 아직 상용화가 되어 있지 않은 상태로, 현재 운전중인 시스템의 규모는 정격 3MW, $\pm 10\text{kV}$ 로 송전거리는 10km이며 1997년부터 스웨덴에서 운전중이다. 현재 건설중인 상용선로는 스웨덴 Gotland섬 NAS에서 VISBY까지 약 70km 구간으로 정격은 50MW, 전압은 $\pm 80\text{kV}$ 이며, 전력변환기의 형식은 IGBT(Insulated Gate Bipolar Thyristor)를 이용한 PWM(Pulse Width Modulation)방식인데 상업적 명칭은 HVDC Light

라고 하며 AC 계통과 병렬로 운전을 목표로 하고 있다. 표 1에 기존의 사이리스터 방식과 전압형 전력변환기의 장단점을 비교하였다.

우리 나라는 상대적으로 저렴한 육지전력을 제주도에도 사용하고, 전력계통을 단일화하기 위하여 1987년 타당성 검토에 착수하였으며 1991년부터 공사에 착수하여 1997년 11월부터 해남-제주간 ±180kV, 300MW, 100km의 HVDC Cable 시스템이 준공되어 제주지역에 전력을 공급하고 있다. 이 직류송전설비의 준공으로 우리 나라는 동양에서는 일본, 인도, 중국에 이어 네번째 직류송전설비 보유국이 되었고 동양에서는 가장 긴 해저케이블 보유국이 되었다.

4. 해남-제주 HVDC 변환설비와 제어계통의 특성

그림 1에 해남-제주 HVDC 계통의 주요 부분들을 단선결선도로 나타내었다. 각각의 구성품들의 정격과 주요기능을 간략하게 설명하고자 한다. 교류계통은 일반적인 변전소의 구조와 같다고 할 수 있으며, 154kV측은 가스절연 개폐장치로 되어 있고 사이리스터 밸브와 중성선 부분은 옥내에 위치하고 있다. 해남측은 염해가 문제가 되지 않으나 제주측은

바로 해안가에 위치하고 있으므로 염해오손의 영향을 최소화하기 위하여 필터설비들도 옥내에 설치하였다. 일반적인 송전방향은 해남에서 제주측으로 송전하는 것으로 되어 있으나, 제주에서 해남으로도 최대 300MW의 송전이 가능한 시스템이다.

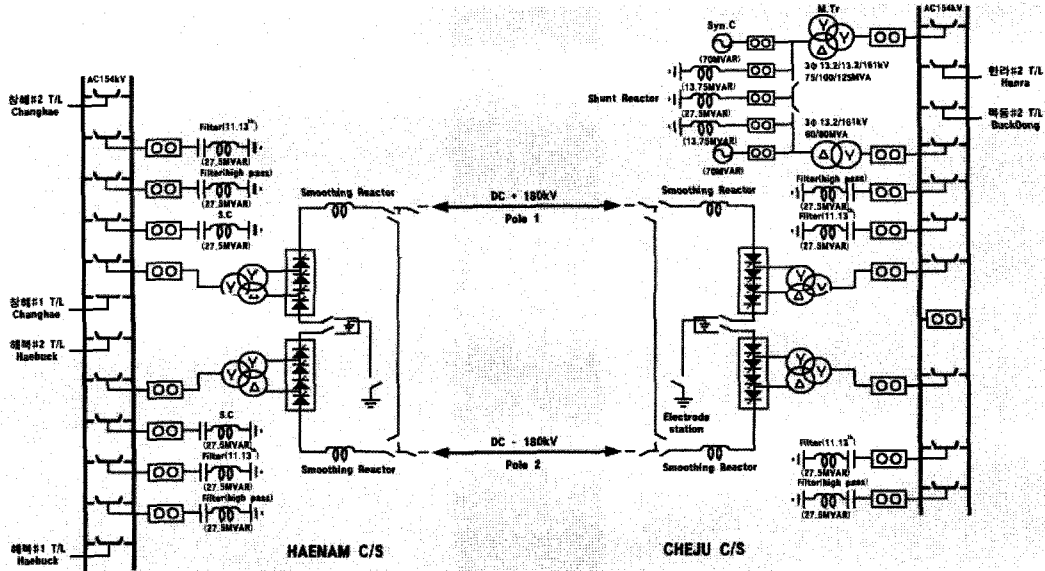
(1) 컨버터

컨버터는 교류-직류와 직류-교류 변환을 수행하고 밸브 브리지와 탭 절환기가 있는 변압기로 구성되어 있다. 변환용 변압기는 사이리스터에서 발생하는 고조파에 견디도록 특별히 설계되어야 한다. 밸브 브리지는 6펄스의 배열로 되어 있으며 변환용 변압기의 2차측이 델타 권선과 Y권선으로 되어 있어 각각의 상차각에 의해 12펄스를 내도록 구성되어 있다.

변압기는 또한 사이리스터 轉流시 전류치를 제한하는데 필요한 리액턴스를 제공하는데 너무 작으면 사이리스터에 흐르는 단락전류가 커지고 너무 크면 중첩각이 커지게 된다. 수은정류기의 경우는 보통 변압기의 % 임피던스가 25% 정도이며 사이리스터의 경우는 10~15%가 일반적으로 사용되는 값이며 해남-제주의 경우는 12%이다. 3상 3권선(Y-Y-Δ)변압기로서 정격전압은 1차 154kV, 2차측이 79.2kV로 되어 있으며 정격용량은 188.2/94.1-94.1MVA,

〈표 1〉 사이리스터형 및 IGBT형 전력변환기의 비교

구 분	사이리스터형(전류형)	IGBT형(전압형)
소자특성	턴온제어 가능, 턴오프제어 불가능	턴온과 턴오프 제어 가능함
연계교류계통	교류전압원과 연계되어야 함	별도의 교류전원 불필요
조상설비	지상무효전력 소비에 따른 조상설비 필요함	유효/무효전력의 독립적인 제어가 가능하여 조상설비 불필요
고조파 필터	11/13차 고조파 제거 필요	불필요하거나 소용량
직렬연결	고전압에 적용 가능	직렬구동이 어려움
제어속도	상대적으로 느림	상대적으로 빠름
轉流失敗	轉流失敗 가능성	轉流失敗 가능성은 없으나 직류측 단락 우려
기술력	풍부한 사용경험 및 노하우 보유	신기술로 적용사례가 없음
설치	설치 면적 및 기간 많이 소요됨	설치 면적이 작고 단기간에 설치 가능함



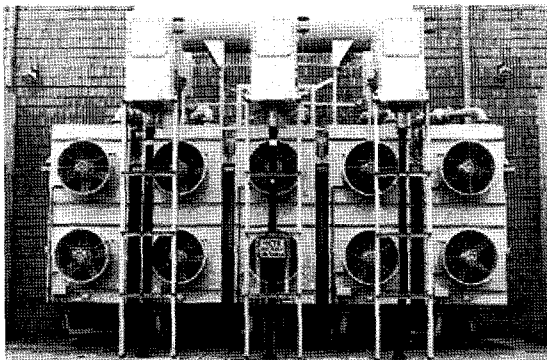
〈그림 1〉 해남-제주 HVDC 계통의 주요 구성요소와 구성도

정격전류는 705/686-686A이다. 그림 2에 변환용 변압기의 외형도를 나타내었다.

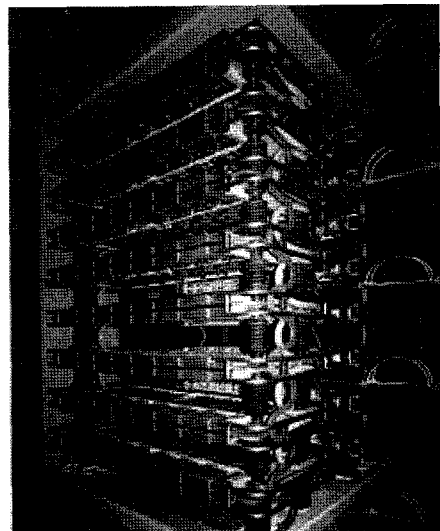
사이리스터 밸브는 고순도의 실리콘 디스크로 직경이 100mm의 대전력용이며 연속정격은 1개당 5.2kV이다. 1개의 밸브는 해남의 경우는 46개, 제주는 48개로 되어 있으며 1개의 Pole에는 해남이 552개, 제주가 576개로 변환소 전체로 보면 각각 1,104개 및 1,152개로 구성되어 있다. 그림 3에 사

이리스터 밸브의 외형도와 구조를 나타내었다.

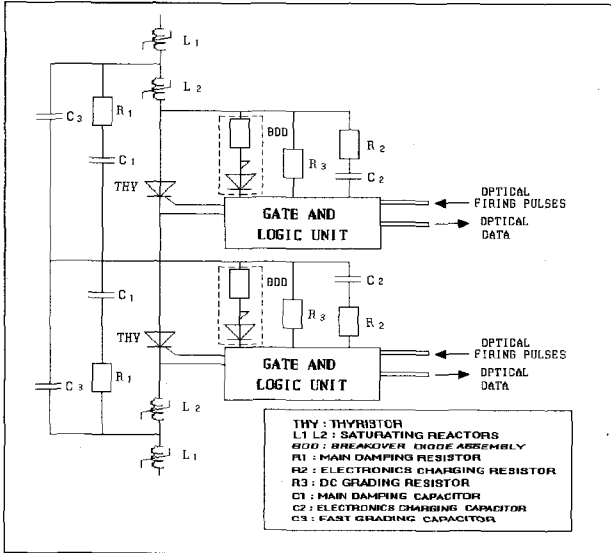
사이리스터 Stack을 구성하는 최소단위는 Banded Pair라고 부르며 2개의 사이리스터가 직렬로 되어 있다. 사이리스터 Stack은 그림 4와 같이



〈그림 2〉 변환용 변압기(Converter Transformer)



〈그림 3〉 Thyristor Valves 외형도



〈그림 4〉 Thyristor Valves의 구성

사이리스터 자체와 턴 온 및 턴 오프시에 전압을 균일하게 해주는 스너버 회로, 사이리스터 턴 온/턴 오프시 과도전류를 제한하는 가포화 리액터, 사이리스터에 점호신호를 인가해 주는 Gate & Logic Unit, 과전압시에 턴 온되어 사이리스터를 보호해 주는 BOD(Break over Diode)로 구성되어 있다. 사이리스터 운전시에는 많은 열이 발생하며 Cooling System에 의하여 사이리스터와 Damping Resister 등 변환설비를 최적 상태로 유지하게 한다. 냉각수의 성분은 순수한 물 75%와 Glycol 25%로 구성되어 있다.

(2) 평활리액터

평활리액터는 각 변환소마다 각각의 극에 직렬로 연결된 인덕턴스로서 轉流失敗시 사이리스터 밸브로 유입되는 전류를 제한하여 사이리스터 밸브를 보호하며, 경부하시 전류의 불연속성을 막아주고 직류선로 전류의 Ripple을 줄여 평활하게 해준다. 또한 밸브 보호용 피뢰기에서 사이리스터 밸브로 흐를 수 있는 방전전류를 규정치 이내로 제한하는 역할을 한

다. 최대 DC 전압 정격은 $\pm 190\text{kV}$, 최대 연속 DC 전류는 849A이며 인덕턴스는 60mH로 가공송전선로로 구성된 계통에 비하여 비교적 작은 값이다. 평활리액터의 인덕턴스 값이 작은 것은 송전선로가 케이블로 되어 있어 낙뢰 등에 의한 서지의 침입을 고려하지 않아도 되기 때문이다.

(3) 고조파 필터 및 무효전력 보상장치

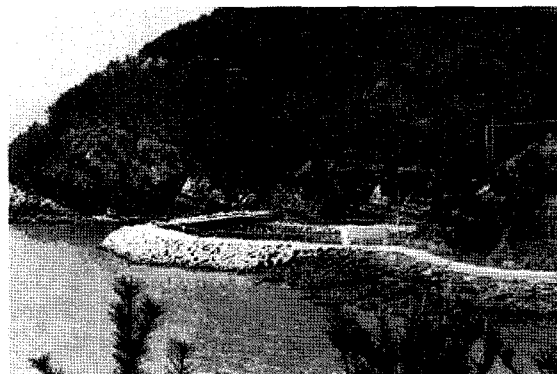
컨버터는 직류측과 교류측 양쪽의 전압과 전류의 고조파를 발생시키는데 이러한 고조파들은 인접한 발전기를 과열시키고 통신시스템의 장애를 일으킨다. 전력변환 과정에서 발생하는 고조파는 교류측에서는 홀수의 고조파, 즉 12펄스이므로 11, 13, 23, 25...차수의 고조파를 발생시킨다. 제11차 및 13차 고조파를 제거하기 위하여 Double Tuned Filter를 사용하고 있으며 그 용량은 27.5Mvar 2뱅크이다. 제23차 및 25차 고조파를 제거하기 위한 High Pass Filter도 같은 용량으로 구성되어 있다.

또한 DC 컨버터들은 본질적으로 무효전력을 흡수한다. 정상상태 운전조건하에서 실제로 송전되는 전력의 약 50%가 무효전력으로 소비된다. 과도상태의 운전조건에서는 무효전력의 소비가 더 높을 수 있다. 일반적으로 강한 교류계통에서는 분로 커패시터가 많이 이용된다. 전체적인 무효전력의 보상은 필터와 커패시터 또는 동기조상기를 조합하여 경부하일 때는 필터를 기본적으로 사용하고 송전량에 따라 커패시터와 동기조상기를 적절히 조합하여 사용하고 있다.

해남측에는 변환기에서 소비하는 무효전력을 보상하기 위하여 27.5Mvar 용량의 커패시터 뱅크가 2뱅크 설치되는데 제주측에는 변환기에서 소비하는 무효전력을 보상하기 위하여 2대의 동기조상기가 설치되어 있다. 동기조상기의 용량은 각각 70MVA이며 관성계수는 1.86kVsec/kVA이다. 그림 5에 필터 및 커패시터뱅크의 외형도를 나타내었다.



〈그림 5〉 변환소의 필터 외형도



〈그림 6〉 전극소의 전경

(4) 전극선로

제주-해남의 경우는 海水歸路방식을 이용하여 송전을 하고 있다. 양극이 모두 운전중인 경우는 전극선로에 흐르는 전류를 5A 이내로 제한하고 있으나 Monopolar 운전시에는 전극선로에 정격전류가 흐르게 된다. 상도체와 동일한 전선을 이용하여 귀환회로로 사용하는 것에 비하여 설치비가 적게 들지만 통신선로에 영향을 미치게 된다. 변환소에서 직접 접지를 하여 사용하면 지중에 매설된 금속체의 전식을 초래하므로 해안가에 전극소(Electrode Station)를 설치하여 변환소에서 전극소까지는 가공선로로 연결하였다. 가공 전극선로는 배전용 콘크리트주에 송전용 애자를 이용하여 ACSR 410mm² 전선 2조를 가선하여 사용하고 있으며 해남변환소와 제주변환소에서 전극소까지의 거리는 각각 15.9km 및 13.4km이다. 전극소의 정격은 850A, 과부하 정격은 10초간 1,530A에 견디도록 되어 있으며, 전체 전극봉의 수는 20개로 각각 42.5A의 전류를 흘릴 수 있다. 전극봉의 교체는 정격전류로 계속하여 2년간 운전시에는 2년만에 교체하거나 5년마다 교체하도록 되어 있다. 그림 6은 전극소의 전경이다.

(5) 해저케이블(Submarine Cable)

그림 7은 180kV 직류 800mm² 銅導體 油浸紙絶

緣 케이블을 보여주고 있다. 전체 공장 101km 중 육상부분이 5km 해저부분이 96km로 되어 있으며 용량은 840A, 150MW이다.

180kV 直流 800² 銅導體 油浸紙絶緣

Rated Capacity	150MW	
Rated Voltage	±180kV	
Rated Current	840A	
Basic insulation level	540kV	
Armour	Single Armour	
Diameter(mm)	90.1	
Weight(kg/m)	in air	26.1
	in water	19.7

〈그림 7〉 800mm² 銅導體 油浸紙絶緣 케이블

이 케이블은 손상을 방지하기 위하여 해저 상세 지질조사와 안강망 어구(돛)의 실증시험을 실시하여 그 결과 전구간을 1.3~3.0m로 매설하였다. 그림 8은 포설 종단도 및 매설방법을 나타낸 것이다. 또한 12core 2회선의 광통신 케이블을 동시에 포설하여 양 변환소 간의 제어신호를 주고받을 수 있도록 되어 있고 케이블 TV 전송망으로 활용하고 있으며 전송속도는 90Mbps이다.

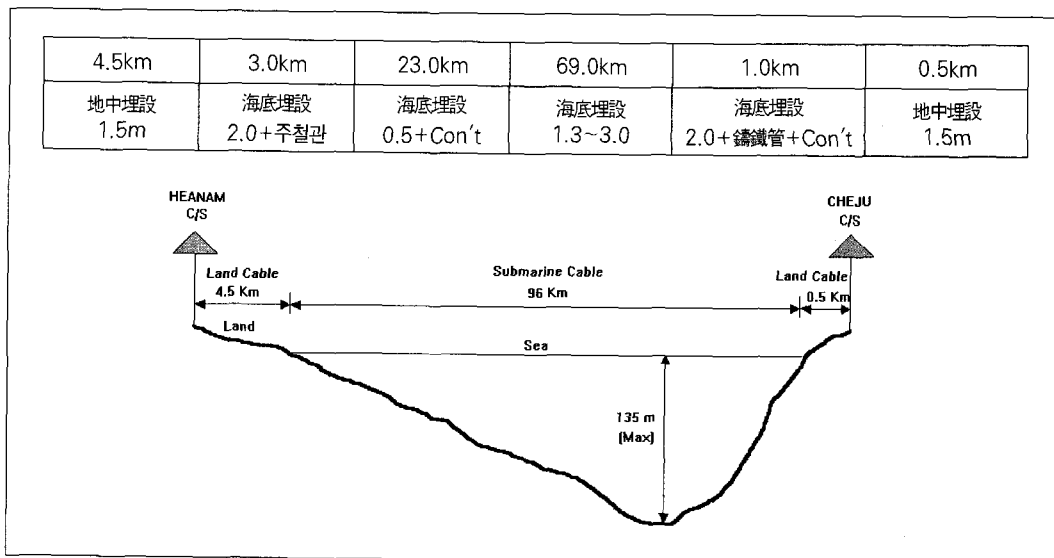
(6) 제어계층의 구성

그림 9와 같이 해남-제주 계통의 제어계는 최상위 제어기로 Master Control이 있고, 그 하부에는 Pole Control Command System과 Phase Control로 구성되는 Pole Control이 있으며 최하위에는 사이리스터에 점호펄스를 가해주는 Valve Base Electronics의 계층구조로 되어 있다. 이러한 계층은 12펄스 변환기에 대하여 하나의 독립적인 계층을 형성한다. Master Control 기능의 대부분은 16bit 병렬처리 프로세서(Transputer-25MHz)를

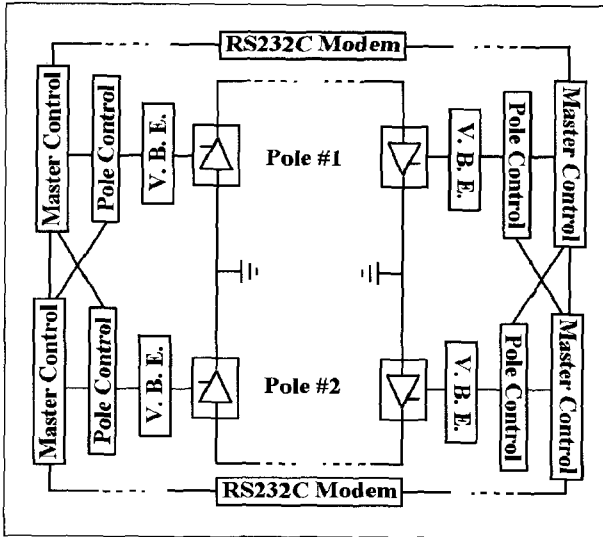
기반으로 하는 소프트웨어로 구성된다. 제어 S/W는 Master Control과 Pole Control용으로 나뉘어져 있으며 각각 Flash-ROM에 기록되어 있다. 각 Master Control과 Pole Control은 광통신으로 연결되며 상대변환소와는 RS232 모뎀을 통하여 연결되어 있다.

Master Control은 시스템의 최상위 제어기로서 Control Desk를 매개로 운전원과 HVDC 시스템과의 인터페이스를 제공하며 하위의 Pole Control에 전류와 전압지령값을 전달한다. 시스템의 제어방법은 정전력/정전류/정주파수 제어와 통신 및 필터의 제어 등이 가능하며, 운전원의 조작을 제외하고는 자동으로 제어된다.

Pole Control은 시스템의 실질적인 제어 및 보호 기능을 수행하는 부분으로 Master Control에서 지령한 운전, 제어 모드에 따라 생성된 전압과 전류 지령값을 만족하도록 점호펄스를 생성하여 V.B.E.로 전송한다. Pole Control은 PCCS(Pole Control Command System)와 Phase Control의 두 부분



〈그림 8〉 케이블포설 종단도 및 매설방법



〈그림 9〉 HVDC 제어계층의 구조

으로 구성되어 있는데, PCCS는 Transputer 프로세서를 기반으로 하는 소프트웨어로 구현되어 있다. 이 부분에서는 주파수 제어, 전압지령치 제어, 전류지령치 제어, 변압기 탭 제어 등의 임무를 수행한다.

Phase Control은 PCCS가 전달하는 지령값과 측정값으로부터 전압, 전류, 감마 제어루프의 피드백 제어루프가 동작되어 밸브 점호신호를 최종적으로 발생시켜 광신호로 V.B.E.로 전송한다. 이 부분은 하드웨어만으로 구성되어 있다.

V.B.E.는 Phase Control에서 생성된 점호신호가 광케이블을 통하여 전달되면 Gate Driving을 위한 신호를 발생하고 밸브의 상태를 모니터링한다. Thyristor Fault Monitor는 개별 사이리스터의 상태를 감시한다.

(7) Monitoring 및 Protection

제어 및 보호체계는 컴퓨터화 되어 있으며 운전원인 내부의 각 상태값을 감시할 수 있도록 되어 있다. MPM(Master Processor Monitor), SER(Sequence of Event Recorder), TFM(Thyristor Fault Monitor)

등이 이러한 장비이다. MPM은 Pole Control을 통하여 시스템 전체의 상태를 감시 제어한다.

제주-해남 시스템의 보호영역은 통상적인 AC 계통, 직류계통(Pole Protection), 중성선로 계통의 세 개 영역으로 나뉘어져 있다. 보호체계는 2중 채널로 되어 있으며 각기 별도의 독립된 전원을 갖는다. 주요 보호장치는 직류선로에 유입하는 AC 성분을 검출하여 동작하는 "Asymmetry", 상대편 변환소의 轉流失敗나 AC 계통의 고장시에 동작하는 "Abnormal Firing Angle", 밸브권선의 고장이나 轉流失敗시에 동작하는 AC/DC 차동계전기를 비롯하여 교류 및 직류의 과전압, 과전류계전기가 있다.

5. 맺는말

이상으로 교류 및 직류계통의 차이점과 우리나라 최초로 설치되어 운전중인 해남-제주 HVDC 계통의 특징에 대하여 소개하였다. 우리나라의 해저 케이블은 강한 조류가 흐르는 지역에 매설되어 있을 뿐만 아니라 어선에 의한 피해를 방지하기 위하여 여러 가지 기술적으로 어려운 공정을 거쳐서 완성되었다. HVDC 기술은 세계적으로 보면 확립된 기술이라 할 수 있으나, 우리나라에서는 최초로 적용되는 기술로서 아직까지는 기술적으로 운영상이나 계통 해석상 선진 외국에 비하여 낮은 수준일 수밖에 없다. 그러나 빠른 기간 내에 턴키방식 공사에 따른 기술적 미비점을 보완하여 기술을 자립하여야 할 것이다. 제주 지역의 부하 증가에 따른 회선의 증설 또는 남북을 연계하는 Back-to-back 형태의 DC 연계에 능동적으로 대비하고, 먼 장래에는 일본-한국-중국-소련을 연결하는 국가간 계통연계에 대비하기 위해서도 HVDC 기술은 반드시 필요한 기술임을 인식하고 향후에도 꾸준히 국내의 기술기반을 구축하여 나아가야 하겠다. ☒