

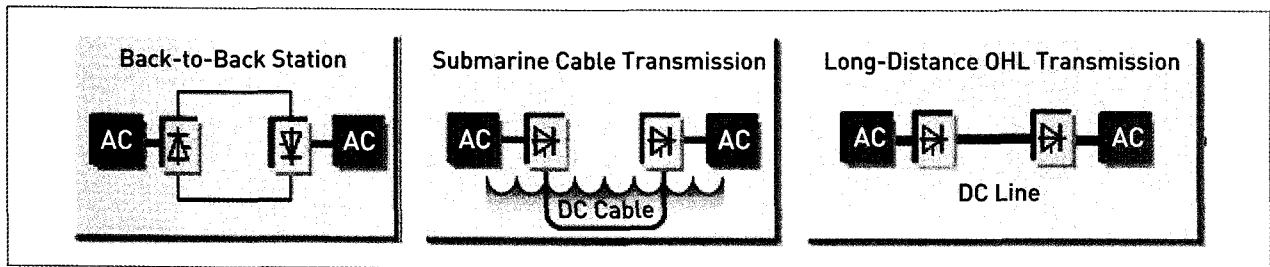
전압형 HVDC 기술개발 현황



한영성
(주)효성 부장

전류원 방식의 HVDC 기술은 50년간의 적용기간을 거쳐 성숙단계에 접어들었고, 그림 1과 같이 장거리 송전에 있어서 낮은 손실 및 안정적인 전력 전송이 가능할뿐 아니라 Back to Back으로 연결하여 계통분리에 의한 사고 파급방지 및 차단전류 저감과 같은 다양한 적용분야를 갖고 있다. 그러나 이

방식에는 수반되는 몇 가지 단점이 있으며 사람들은 이것을 극복할 수 있는 방법을 찾기 위해 노력하였다. HVDC 기술개발의 방향은 산업용 드라이브에서 해결방안을 찾는 것으로 집중된다. 즉, Thyristor에서 소자의 온·오프가 모두 가능한 소자를 사용한 VSC 방식을 적용하는 것이다. 그렇지만 VSC방



[그림 1] HVDC 응용

식을 HVDC에 적용하는 것은 높은 기술장벽을 넘어야만 가능한 것이다. 현재 이 분야의 기술개발의 선두주자는 ABB, Siemens이다. 각 회사의 기술개발 현황을 살펴보면 다음과 같다.

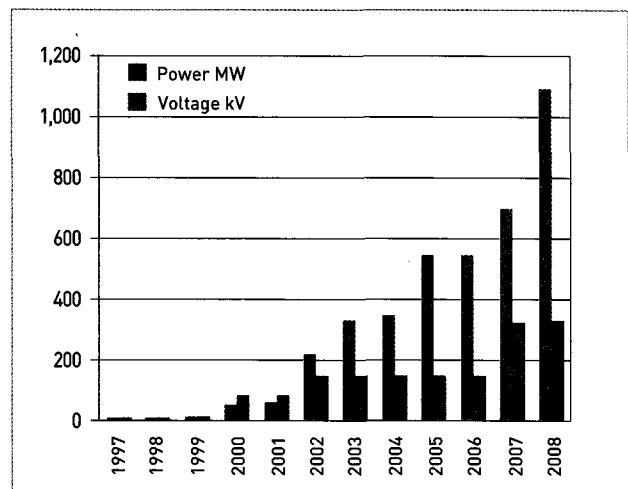
1. ABB 기술개발 현황

Project	Number of converters	Year in operation
1 Hällsjön	2	1997
2 Hagfors(SVC)	1	1999
3 Gotland	2	1999
4 Directlink	6	2000
5 Tjaereborg	2	2002
6 Eagle Pass	2	2000
7 Moseistahlwerke(SVC)	1	2000
8 Cross Sound Cable	2	2002
9 Murraylink	2	2002
10 Polarit(SVC)	1	2002
11 Evron(SVC)	1	2003
12 Troll A	4	2005
13 Holly(SVC)	1	2004
14 Estink	2	2006
15 Ameristeel(SVC)	1	2006
16 ZPSS(SVC)	1	2006
17 Mesnay(SVC)	1	2008
18 BorWin 1 (Nord E. NO 1)	2	2009
19 Martham(SVC)	1	2009
20 Liepajas(SVC)	1	2009
21 Siam Yamato(SVC)	1	2009
22 Caprivi Link	2	2010
23 Valhall	2	2010
24 Liepajas Metalurgs(SVC)	1	2010
25 Danieli-GHC2(SVC)	1	2011
26 Danieli-UNI Steel(SVC)	1	2011
27 EWIP	2	2012

* SVC는 VSC를 적용한 STATCOM

[표 1] ABB 설치 실적

ABB는 전압형 HVDC 개발을 위해 전력용 반도체를 비교 분석하여 IGBT를 선택하였다. 그 이유는 HVDC용 밸브를 만들기 위해서는 고압에 견딜 수 있는 수백개의 IGBT를 직렬로 연결해야 하고, 이 직렬 연결된 IGBT 구동에 약간의 전력만 필요하기 때문에 별도의 절연된 전원없이 소자에 걸리는 전압만으로 구동이 가능하기 때문이다. 1994년 ABB는 IGBT를 이용한 축소형 HVDC를 제작하여 시험에 성공했다. 1997년 세계 최초의 전압형 HVDC 송전시스템인 HVDC Light를 개발하여 스웨덴의 Hellsjon과 Grangesberg 사이를 연결하여 전력전송에 성공한다. 이후 꾸준한 기술개발을 추진하여 DC 전압을 높임에 따라 전력전송량을 증가시켜 현재 가능한 최대정격은 1200 MW, ± 320 kV이다.(그림 2. 전압원 HVDC 설비의 최대 정격



[그림 2] 전압원 HVDC 설비의 최대 정격 추이

추이 참조) 현재까지 12개의 프로젝트를 수주하여 9개가 설치되었다.(표 1 ABB 설치실적 참조)

① Classical HVDC 와 전압형 HVDC 비교

전압형 HVDC는 Self Commutation, 동적 전압 제어, Blackstart가 가능하여 HVDC의 응용분야가 넓어졌다. 특히 장거리 해저 케이블을 이용하여

항목	Classical HVDC	전압형 HVDC
변환소자	Thyristor Valve Line Commutation	Transistor Valve (IGBT) Self Commutation
최대정격	6400MW, ±800 kV	1200MW, ±320 kV
상대적인 크기	4	1
납기	36 개월	24 개월
전력제어	최소 정격의 5% 이상 역조류시 시지연 있음	제한 없음
무효전력 소모	전력전송량의 50% 무효전력 소모 통상 Shunt Capacitor 로 보상	없음
독립적인 P, Q 제어	불가능	가능
손실	2.5~4.5%	4~6%
Multiterminal 구성	복잡하고 3개까지 가능	간단하고 제한 없음

[표 2] Classical HVDC 와 전압형 HVDC 비교

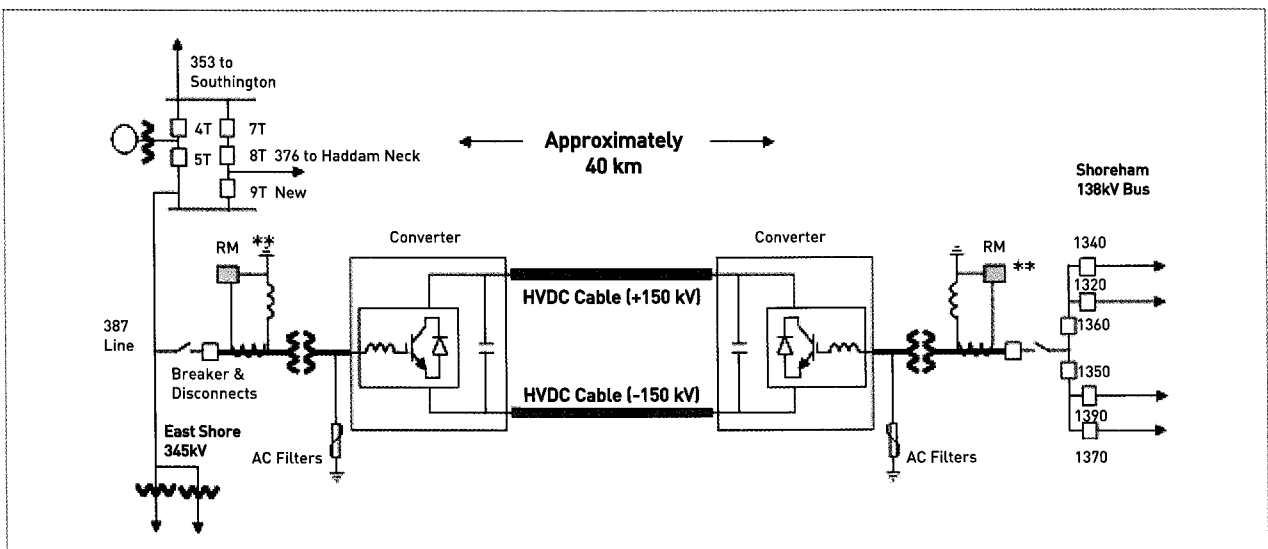
섬과 같은 독립부하나 해상설비에 전원을 공급하거나 해상풍력단지의 계통연계에 응용 가능하다. 두 설비의 비교는 표 2와 같다.

② 시스템 구성(Cross Sound Cable)

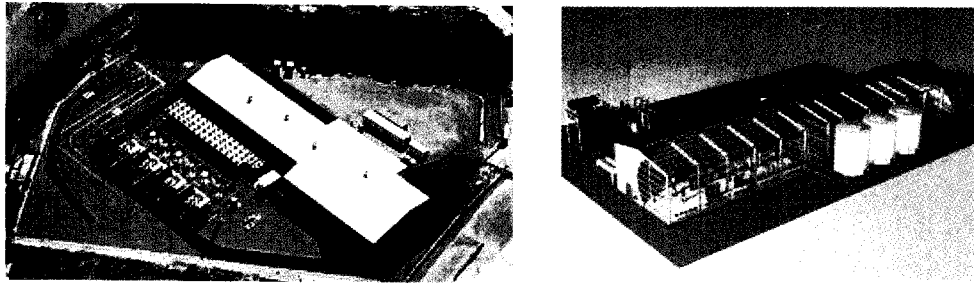
ABB 시스템의 구성을 살펴보기 위해 Cross Sound Cable 프로젝트를 예를 들어 설명한다. 이 프로젝트는 Hydro-Quebec의 자회사인 Trans-EnergyUS社에서 2002년 코네티컷주 New Haven에 있는 United Illuminating社의 345kV 변전소에서 뉴욕주 Long Island에 있는 Shoreham 138kV 변전소를 DC로 연계하는 것이다. 시스템의 시방은 표 3과 같다.

유효전력 전송량	330 MW
최대 무효전력량	±150 MVar at 0 MW
DC 케이블	±150 kV and 1,175 Adc
AC 전압	0.95 to 1.05 pu
AC Harmonic Filters	25차 61 MVar, 41차 32 MVar, 21차 10 MVar
PWM Carrier Frequency	1,260 Hz
Max. Modulation Index	0.95

[표 3] CSC 시스템의 시방



[그림 3] 단선도

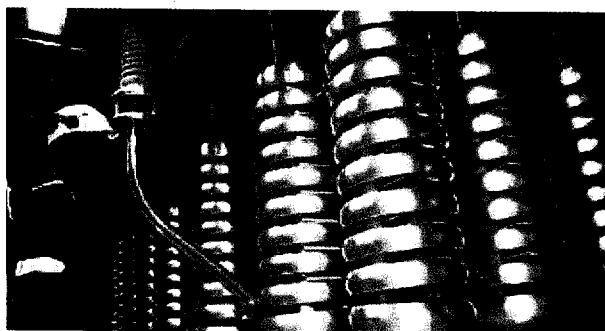


[그림 4] 각 변환소의 배치도

그림 3에 표시된 단선도와 같이 해저 케이블을 이용하여 두 변환소가 연결되고, 각 변환소의 구성은 유사하다. 각 컨버터의 출력단에는 PWM 주파수 필터링을 위한 고조파 필터와 공심리액터가 설치되어 있다.

그림 4에는 각 변환소의 배치도가 나타나 있다. 건물의 크기는 18m×90m×11m (가로×세로×높이)로서 콤팩트하게 설계되어 있다. 건물 내부에는 고조파 필터와 공심리액터가 설치되어 외부에서의 소음레벨을 최소화 하였으며, 컨버터는 컨테이너에 탑재하여 현장에서의 작업 및 시험을 최소화하였다.

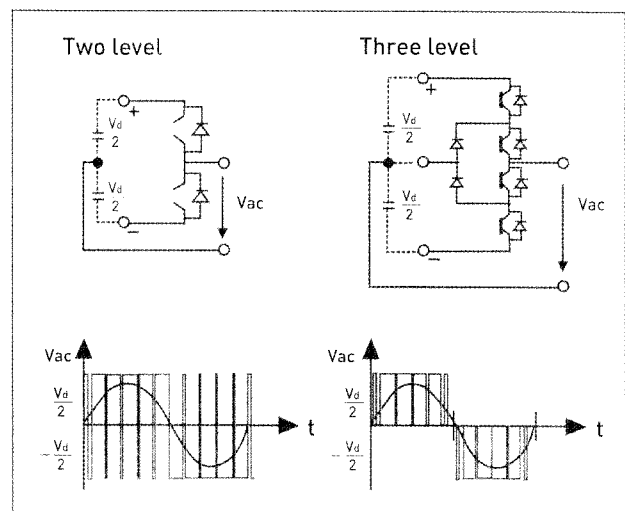
컨테이너 내부에는 그림 5와 같이 IGBT Valve가 천정에 설치되어 있다. 통상 20여개의 IGBT를 하나의 Clamp로 고정하여 스택을 구성한다.



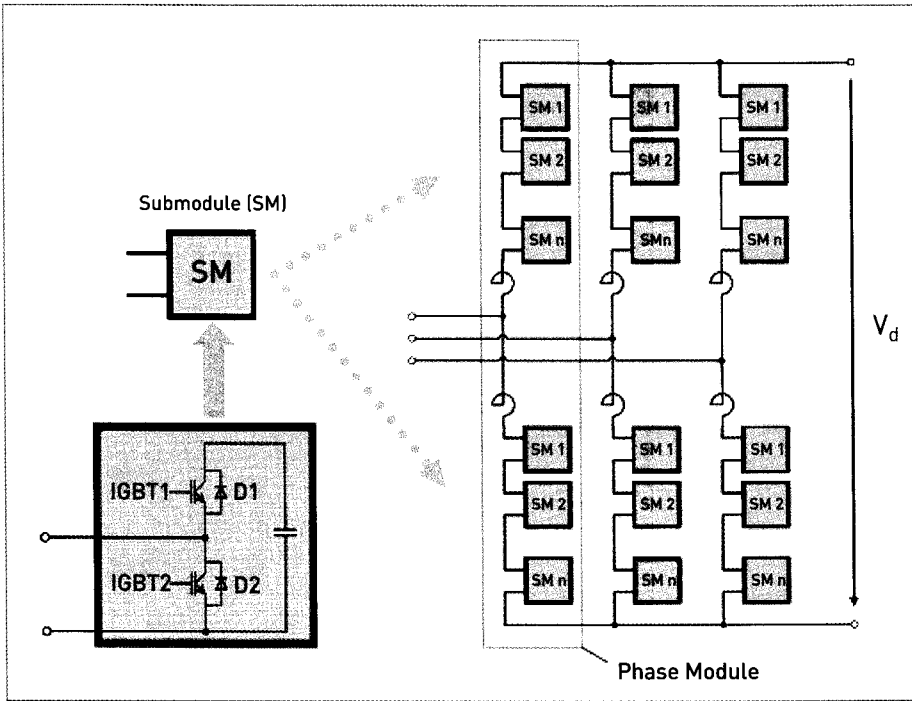
[그림 5] IGBT 컨버터

2. Siemens 기술개발 현황

Siemens에서는 최근 HVDC Plus라는 제품명으로 전압원 HVDC를 개발하고 보급하기 시작했다. ABB의 2 level 또는 3 level 대신 작은 용량의 인버터를 직렬연결하는 MMC(Modular Multilevel Converter) 방식을 채택하였다. 기존의 방식은 고전압의 출력을 위해 수 kV의 전력용 반도체를 수백개를 직렬로 구동하고, 각 소자간 전압이 정적으로나 동적으로 균일하도록 usec 시간동안 동시에 스위칭을 할 수 있는 기술이 요구된다. 그림 6와 같이 출력된 전압은 변동량이 크기 때문에 고조파 저감을 위해 상당한 필터가 필요하다.



[그림 6] 2 level, 3 level 컨버터



[그림 7] MMC 방식

은 Sub Module이 직렬로 연결되어 있다. 각 Sub Module은 스위칭 소자로서 IGBT Half Bridge, DC Storage Capacitor로 구성된다. 각 Sub Module의 출력을 적절히 조합하면 그림 8과 같은 정현파에 가까운 전압을 얻을 수 있으며, 직렬 연결된 Sub Module을 늘릴수록 정현파에 가까워진다.

일부 Sub Module이 고장이 나도 정상적으로 운전이 가능하도록 여분의 Sub Module이 설치

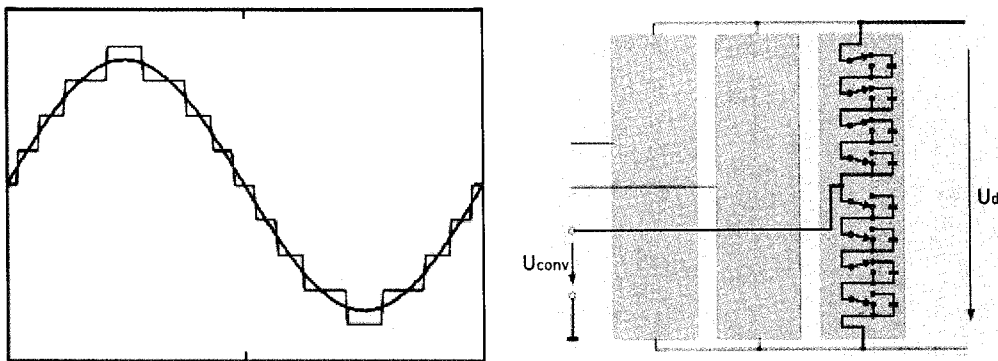
① Modular Multilevel Converter 방식

출력전압의 변동량을 낮추기 위해 2 level 이나 3 level 방식 대신 MMC 방식을 도입하였다. 그림 6과 같이 여러 개의 작은 컨버터(Sub Module)의 출력을 합성하는 방식으로 고조파를 저감할 수 있다. 또한 각 전력용 반도체의 스위칭 주파수를 낮춰 컨버터의 손실을 효과적으로 저감할 수 있다. 그림 7의 컨버터는 6개의 Leg를 가지며, 각 Leg는 수 많

되어 있고, 고장난 Sub Module은 by-pass 스위치에 의해 Short Circuit 상태가 된다. 평상시 여분의 Sub Module은 영전압을 출력하도록 운전된다.

② 시스템 구성(Trans Bay Cable)

Siemens 시스템의 구성을 살펴보기 위해 Trans Bay Cable 프로젝트를 예를 들어 설명한다. 이 프로젝트는 Babcock & Brown社에서 San Francisco



[그림 8] 파형합성

지역의 부하차단을 방지하여 장기적 계통안정화를 위해 2010년 상용운전을 목표로 그림 9와 같이 캘리포니아주 San Francisco에 있는 Potero 변전소에서 Pittsburg 변전소를 DC로 연계하는 것이다. 시스템의 시방은 표 4에 나타내었다.

유효전력 전송량	400 MW
최대 무효전력량	±100 MVar at 0 MW
DC 전압	±200 kV

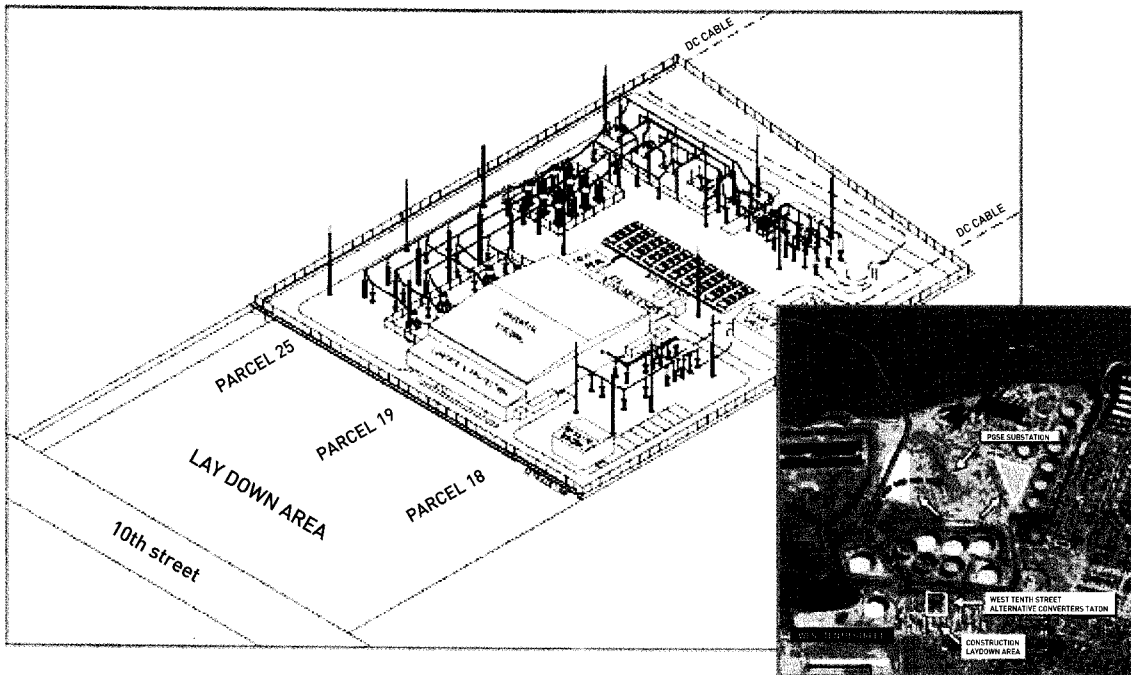
[표 4] TBC 시스템의 시방



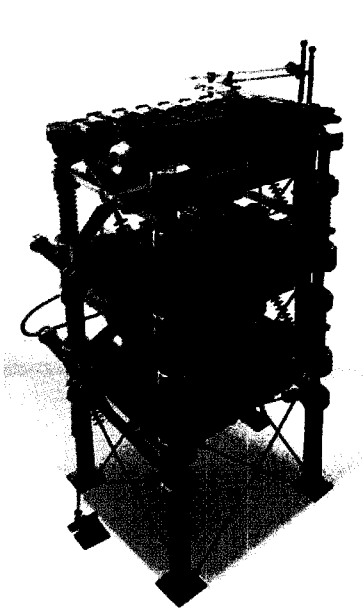
[그림 9] TBC 설치 위치

그림 10에 Pittsburg에 설치된 변환소의 배치상태이다. 설치면적은 약 12,000m²로서 Classical HVDC의 절반 정도이다. 변환소 좌측벽을 통해 컨버터 출력이 나오고, 이 출력은 옥외의 Phase Reactor를 거쳐 변압기에 연결된다. 변환소 우측벽을 통해 DC 단자가 연결되고, DC 단자와 DC 케이블이 연결된다.

이블이 연결된다. 옥내에는 컨버터, 제어기, 냉각시스템이 설치되어 있으며, 컨버터는 그림 11에 나타난 단위 모듈을 조합하여 그림 12와 같이 설치된다. 단위 모듈에는 18개의 Sub Module이 설치된다.



[그림 10] TBC Pittsburg 변환소 배치도



[그림 11] 단위모듈

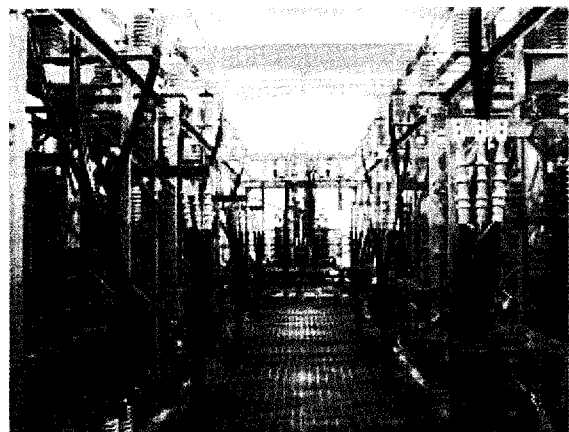
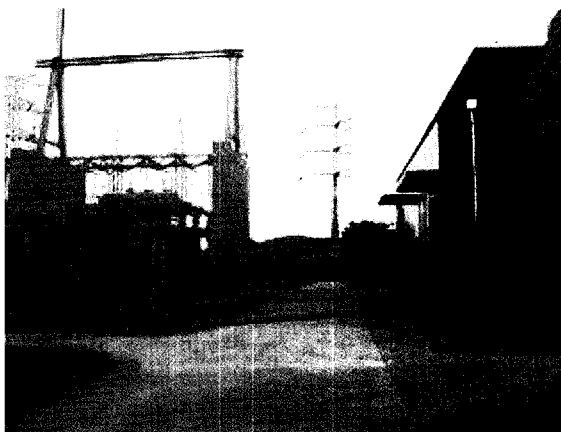


[그림 12] TBC 컨버터

3. 국내 기술개발 현황

국내에서는 1996년 “1MVA급 IGBT형 STATCOM 개발”을 시작으로 선진사와의 기술협력을 활용한 FACTS분야 기술개발에 매진하였다. 2005년 시작된 “IT기반의 대용량 전력수송 제어시스템 개발” 과제 수행을 통해 미금 345kV 변전소에 100MVA STATCOM을 설치, 실증함으로써 국내 전력계통의

안정화는 물론 그 동안 선진국이 기술장벽을 구축하고 독점해온 전압원 FACTS(유연송전시스템) 기술의 자립화를 이룩하였다. STATCOM은 전압원 HVDC 시스템의 한쪽 변환기로 사용될 수 있다. 전압원 HVDC 기술개발을 위해 2010년 10MW BTB System을 제작하여 실증시험을 계획하고 있다. KEA



[그림 13] 100MVA STATCOM