



154kV STATCOM 국산화 개발 설치



장 영 훈

한국전력공사 송변전개발처 송변전개발팀 차장

1. 개 황

가. 계통계획의 패러다임 변화

전력산업 복합화(친환경 신재생에너지 자원의 효율성

증대, 국가 간 에너지 교류)에 따라 고성능 대용량 전력 전자 응용분야 기기의 필요성이 지속적으로 확대되고 있다. 신규 AC 송전선로 건설이 민원 등의 사유로 그 기간이 장시간 소요되고, 건설단가의 지속적 증가 및 전력

[표 1] 연도별 용통전력 현황(수도권 북상선로 용통한계)

(단위: MW)

구 분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
용통전력(A)	13,397	13,324	13,650	13,788	16,042	16,813
용통한계(B)	15,122	15,105	15,197	15,248	16,331	16,529
여유(A-B)	1,725	1,781	1,547	1,460	289	-284

전자 설비의 가격하락(HVDC, FACTS 등 특수설비의 국산화 추진) 등으로 AC 송전선로 신규건설 보다는 송전선로 조류제어로 전력계통 유연성 향상이 필요하게 되었다. 향후 용통전력의 한계, 전력수요 포화 및 Smart Grid 시대를 대비하여 기존 송전선로 이용을 극대화하는 방향으로 계통계획의 방향 전환이 더욱 급속도로 진행될 전망이다.

나. FACTS(Flexible AC Transmission System)

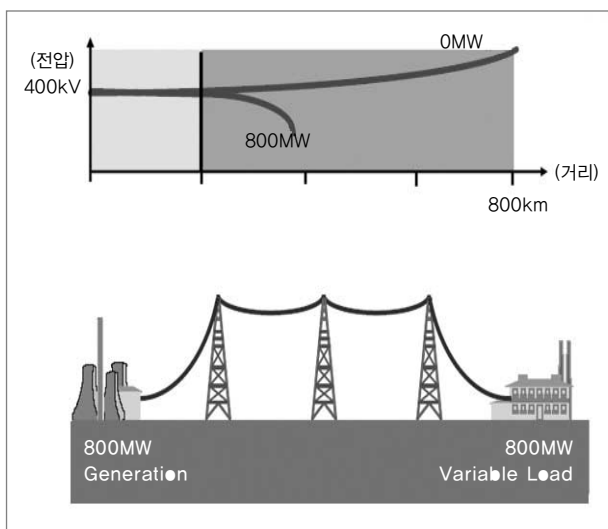
송전계통에서 이상적으로 요구되는 특성은 선로에서 소모하는 무효전력을 최소화하여 최대전력을 전송하고, 계통에 연결된 모든 발전기들을 동기 상태로 유지하며, 계통의 전압을 가능한 정격이내로 유지하는 것이다.

AC 송전선로를 통해 전송되는 유효전력은 선로의

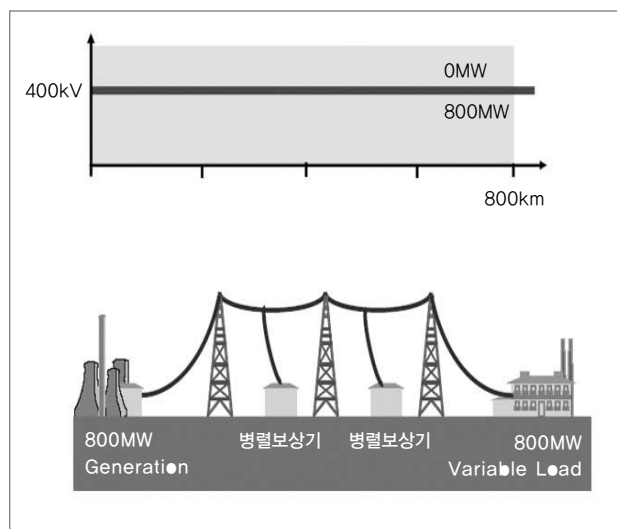
임피던스, 송·수전단 전압의 크기와 그 위상에 따라 큰 영향을 받는다. 따라서 이런 각각의 변수들을 신속·정확하게 제어하면, 선로를 통해 전송되는 유효전력을 용통성 있게 조절하여 최대 전력전송과 계통의 과도안정도를 증대함은 물론 계통의 저주파공진 감쇠 등의 효과를 얻을 수 있다. 이와 같이 선로의 유·무효전력을 제어하는데 유연성을 갖도록 구성한 교류송전시스템을 유연송전시스템(FACTS : Flexible AC Transmission System)이라 한다.

다. FACTS 적용현황 및 STATCOM 개발 배경

국내 전력산업에서 FACTS에 대한 인식과 사용 실적은 아직까지 미미한 수준이다. 오히려 지금까지 국내 FACTS 기기의 도입은 전력사업자가 아닌 철강업체들이 주를



[그림 1] FACTS 설비가 없는 경우



[그림 2] FACTS 설비가 있는 경우

[표 2] 국내 FACTS 적용 현황

구분	설치위치	제작사	종류	용량 (MAVR)	설치시기
KEPCO	신제주S/S	효성	STATCOM ¹⁾	50	2011년
	한라S/S	효성	STATCOM	50	2011년
	미금S/S	효성	STATCOM	100	2009년
	동서울S/S	TMEIC	SVC	200	2009년
	양주S/S	ABB	SVC	100	2007년
	강진S/S	Siemens	UPFC ²⁾	80	2003년
국내 업체	KOSCO STEEL	ABB	SVC	140	2008년
	POSCO(포항)	ABB	SVC	120	2002년
	POSCO(광양)	ABB	SVC	83×4	1998년
	Hanbo(당진)	ABB	SVC	80×5	1995년
	POSCO(포항)	ABB	SVC ³⁾	120	1994년

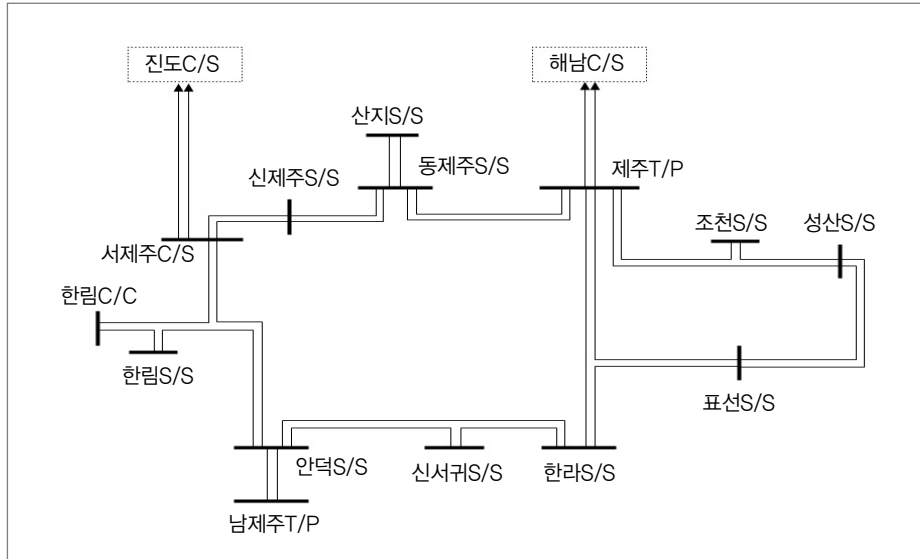
이루고 있었으며, 그 또한 보유기술과 경험 부족으로 인해 ABB, Siemens와 같은 외국 업체들이 선점하고 있었다.

FACTS 기기는 크게 병렬형, 직렬형, 직병렬형 기기로 나눌 수 있으며, 이 중 병렬형 FACTS 기기는 SVC, STATCOM과 같은 기기로 주로 전압안정도 향상을 위한 목적으로 활용되고 있다. 최근 지속적인 산업 성장에 힘입어 전력 수요가 빠르게 증가하고 있으며, 이에 따른 발전 설비의 확충으로 국내 전력계통은 점점 더 복잡·고도화 되어 가고 있다. 이러한 계통망은 전압 불안정 문제를 발생시킬 수 있으며, 인근 계통으로 파급되는 현상으로 인해 광역 정전이 발생 할 잠재적 불안 요소를 품게 된다. 불안을 해소하기 위해 병렬형 FACTS 기기 중 실시간

전압변동에 가장 민감하게 동작할 수 있는 STATCOM 기기를 수도권 전력망에 설치하여 실시간 무효전력 제어를 통한 전압안정도 향상 및 계통의 혼잡비용 저감 등의 효과를 얻고자 한전 전력연구원과 (주)효성은 '대용량 전력수송 기술개발' 과제를 공동 수행하면서 2007년 국내 최초로 22.9kV 10MVA STATCOM을 개발하는데 성공하였다. 2009년에는 국내 최초로 송전급 100MVA STATCOM을 개발하여 미금 345kV 변전소에 설치·운전하는데 성공하였다.

또한, 2010년 '제주지역 순동 무효전력 보상설비 설치 공사'에 대한 상용화와 FACTS의 사업화를 본격적으로 시작하게 되었다. 본 논고에서는 국내에서 개발되어 상업적으로 최초 설치된 제주지역 50MVA급 STATCOM에 대하여 소개하고자 한다.

1) STATCOM (Static Compensator, 3세대) : Inverter Synthesis, 병렬 보상에 의한 전압제어
 2) UPFC (Unified Power Flow Controller, 3세대) : 전압, 임피던스, 위상각 제어
 3) SVC (Static Var Compensator, 2세대) : Thyristor Switched Components, 병렬 보상에 의한 전압제어



[그림 3] 제주지역 154kV 계통도

2. 현황

가. 제주지역 STATCOM 설치의 필요성

제주지역에 설치된 동기조상기의 노후화에 따른 교체가 곤란하여 HVDC 계통의 원활한 유효전력공급을 위한 방안으로 무효전력보상설비가 추가적으로 필요하게

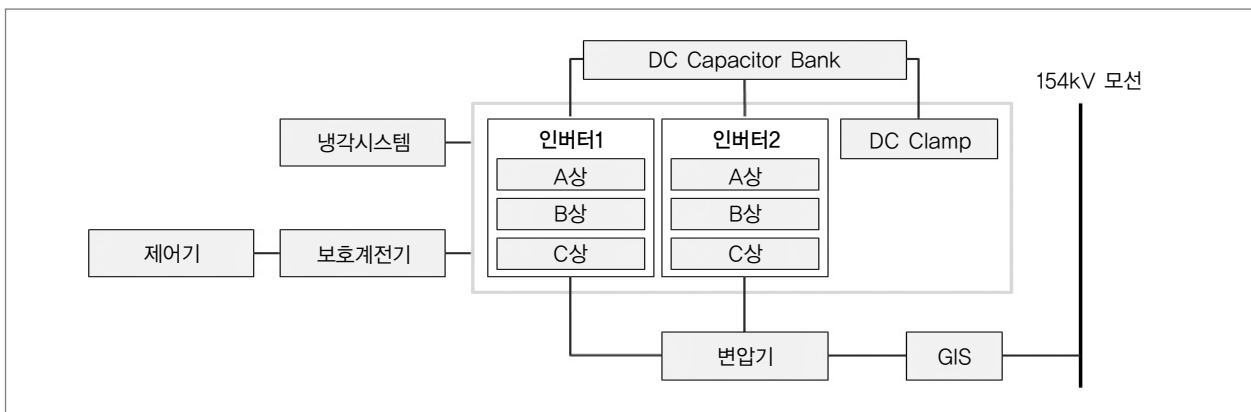
되었다. 또한, 현 제주계통은 그림 3과 같이 원형 모양의 다중계통으로 송전선로 고장발생시 단일계통으로 변경, 말단 측에 전압강하 문제와 풍력발전기 설치용량 급증에 따른 제주지역 내 무효전력 수급 불균형 해소를 위해 제주지역 북쪽의 신제주와 남쪽의 한라변전소에 각각 50Mvar의 STATCOM을 도입하게 되었다.

[표 3] 제주권 전원구성 전망 (단위: MW)

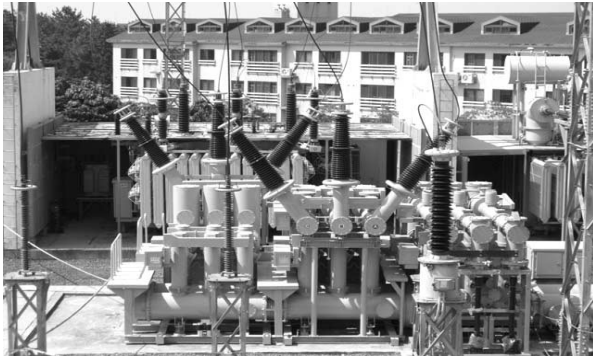
구분	석유	신재생	HVDC	합계
2013년	575	74	400	1,049
	54.81%	7.05%	38.13%	100%

나. 제주 STATCOM 시스템 구성

50MVA STATCOM의 기본구성은 그림 4와 같다. 단위 용량 8.33MVA인 인버터폴 3대가 하나의 3상 인버터를



[그림 4] 154kV 50MVA STATCOM 구성도



[그림 5] 차단부의 주요 사진



[그림 6] 50MVA STATCOM 주변압기

구성하며 2대의 3상 인버터 출력파형이 변압기를 통하여 합성된다. 합성된 출력전압은 변압기에서 154kV로 승압되어 차단기인 GIS를 통해 계통에 연결된다.

다. 주요 구성기기 및 설치 현황

1) 차단부

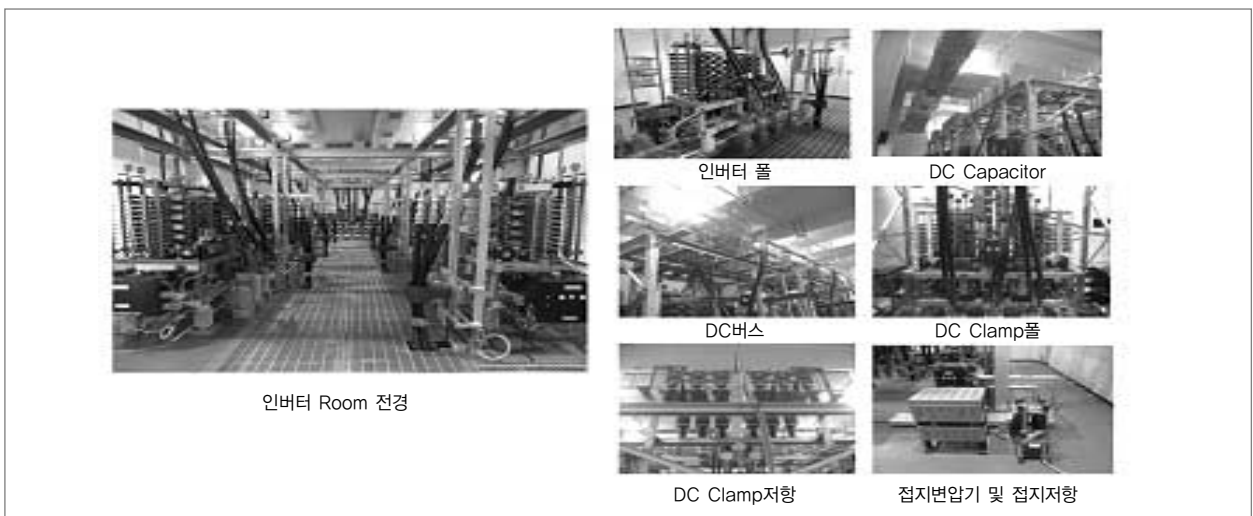
그림 5는 50MVA STATCOM 차단부로서 정격전압 170kV, 정격전류 2,000A, 정격차단전류 50kA의 사양으로 구성되어 있다. 또한, Main Bus는 3상 일괄형, 기타는 상분리형 GIB와 GIS로 구성되어 있고 STATCOM 계통연계를 위하여 변전소 모선과 병렬로 연결되어 있다.

2) 계통연계용 변압기

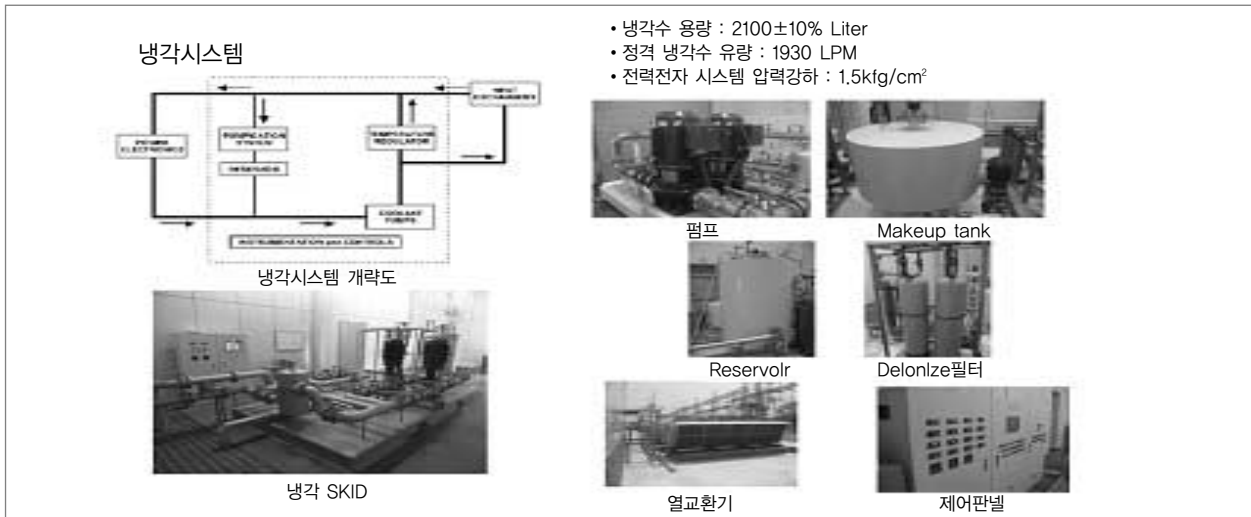
그림 6의 STATCOM 변압부는 정격전압 154kV/7.73kV, 결선은 WYE/DELTA로 구성되며, 효율 99.1%, 임피던스 15% 규격으로 송전모선과 병렬로 연결되어 있다. STATCOM용 변압기 철심에 부분 공극 방식 적용으로 기존의 공극 방식에 비하여 손실 및 소음 개선 효과를 얻을 수 있었다.

3) 인버터부

그림 7과 같이 현장에 설치된 인버터실은 인버터 폴, DC Capacitor, DC BUS, Clamp 폴, Clamp 저항 등으로 구성되어 있다. 인버터는 WYE로 구성된 3개의 폴과



[그림 7] 인버터실 및 인버터 폴



[그림 8] 냉각시스템

DELTA로 구성된 3개의 폴로 총 6개의 폴로 구성되어 있으며, 각 3상 인버터에서 발생하는 12Pulse의 전압 파형을 24Pulse로 동작 할 수 있도록 하였다. 아울러 각 폴의 정격 출력전압은 4,470Vrms(L-G) 이며 정격 출력전류는 1,867Arms로 설계되었다. 제작된 인버터는 스위칭 동작 시 발생하는 과도현상의 크기를 최소화하기 위해 표류 인덕턴스가 최소화되도록 설계되었다.

4) 냉각시스템

냉각시스템은 DC-AC 변환 과정에서 IGCT 소자들의 On/Off 동작 시 발생하게 되는 열 손실을 시스템 외부로 배출하는 역할을 한다. 여기에는 일반적으로 수냉식 냉각 시스템이 사용되는데 인버터를 구성하는 모든 반도체 소자에 냉각수의 순환을 위한 배관이 설치되며, 이 또한 STATCOM의 용량에 따라 적절한 압력과 열용량을 갖도록 설계되었다.

3. 향후 계획

제주지역에 적용된 STATCOM은 미금변전소 345kV급 STATCOM 연구개발 및 시범적용의 성공적 수행에

이어 154kV급으로는 국내 기술 최초로 개발 및 상용화된 설비이다. 대규모 풍력발전 단지조성 및 #2 HVDC 제주 연계로 인해 발생될 무효전력 수급 불균형 해소와 함께 제주지역 전력계통의 전압안정도 향상에도 기여할 수 있을 것이다. 무효전력보상장치는 대용량 전류제어방식을 과거 GTO(Gate Turn-off Thyristor)방식에서 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), IGCT (Intergrated Gate Commutated Thyristor) 방식 등으로 성능을 향상시킨 SVC, STATCOM 등 최첨단 FACTS 기기의 도입이 확대될 전망이다.

우리나라는 송전선로 건설 억제, 북상선로의 융통전력 한계 등에 따라 기존 송전선로 이용 극대화를 위하여 2013년 이후 신파주변전소(200MVA), 신성남변전소(100MVA), 신안성변전소(200MVA) 등에 지속적으로 FACTS 기기를 설치할 예정이다. 한전과 국내 제작사 등은 지금까지 축적된 연구·개발 및 현장설치 기술력을 바탕으로 더 높은 성능과 신뢰성을 가진 우수한 전력 설비가 국내 기술로 도입 될 수 있도록 하고, 더 나아가 다양한 FACTS 기기 개발을 통하여 세계시장 진출을 위한 노력을 경주해 나갈 것이다. KEA