



# 강진변전소 UPFC 기기 구성 및 설치

■ 유현호, 김준모, 한영성, 이학성 / (주) 효성 중공업 연구소

## 개 요

최근의 전력 공급 시장에서는 전력 공급의 유연성을 확보함과 동시에 고품질의 전력을 높은 신뢰성을 가지면서 수용가에 공급하는 송전기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 시장의 요구에 부응하여 송전 시스템의 유효전력 및 무효전력을 능동적으로 제어할 수 있는 FACTS(Flexible AC Transmission System) 기기의 개념이 도입되었다. 국내에서는 지속적인 선로증설로 계통이 loop를 형성함에 따라 단락 용량이 점차 증가하였으며 이에 따른 기존 차단기의 차단 용량 증대의 필요성을 발생시켰다. 또한 기존에 형성된 발전단지 내의 발전량이 매년 증가함에 따라 인근 선로에 사고가 발생하는 경우 해당 단지 내의 발전기에 대한 동기 탈조의 가능성이 높아졌다는 것이다. 이러한 계통 사고에 의한 저전압, 과부하 등의 문제를 해결하기 위하여 다양한 보상기기의 도입을 검토하였으며, 그 결과를 토대로 한전 강진변전소의 154kV 계통에 적용되는 80MVA급 UPFC pilot plant project를 2000년 4월부터 2003년 4월까지 36개월의 기간에 걸쳐 수행하였다. 본 기고에서는 강진변전소에 설치된 UPFC의 인버터 및 변압기 등의 기기구성과 각 기기의 설치현황을 정리하였다.

## UPFC (Unified Power Flow Controller) 개요

### FACTS (Flexible AC Transmission System) 기기

서론에서 언급한 바와 같이 전력 시스템의 효율적인 운용을 위하여 도입된 FACTS 기기들은 기존의 기계식 개폐장치에 의한 직, 병렬 보상장치가 갖는 속응성 및 기계적 접점 마모 등의 제약조건들을 극복함으로써 보다 효율적이고 안정적인 계통 운용을 가능하게 한다. 통상적으로 FACTS 기기는 수개에서 수십여개의 배전망을 담당하는 69kV 이상의 송전선로에 적용되는 기기들로 정의된다. 아래의 표 1에 대표적인 FACTS 기기들에 대하여 정리하였다.

### FACTS 기기 주요 구성 요소

FACTS 기기는 전력용 인버터와 인버터를 송전선로에 연결하기 위한 변압기 및 차단기 등의 기기들로 구성된다. 또한 인버터 전력전자 소자의 발열에 의한 손상을 방지하기 위하여 냉각 시스템이 필요하

표 1 FACTS 기기의 종류

기기명칭	접속방식	기능
SVC (Static Var Compensator)	병렬	전압 보상
TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)	직렬	조류 제어
STATCOM (Static Compensator)	병렬	전압 보상
SSSC (Static Synchronous Series Compensator)	직렬	조류 제어
UPFC (Unified Power Flow Controller)	직, 병렬	전압 보상, 조류 제어

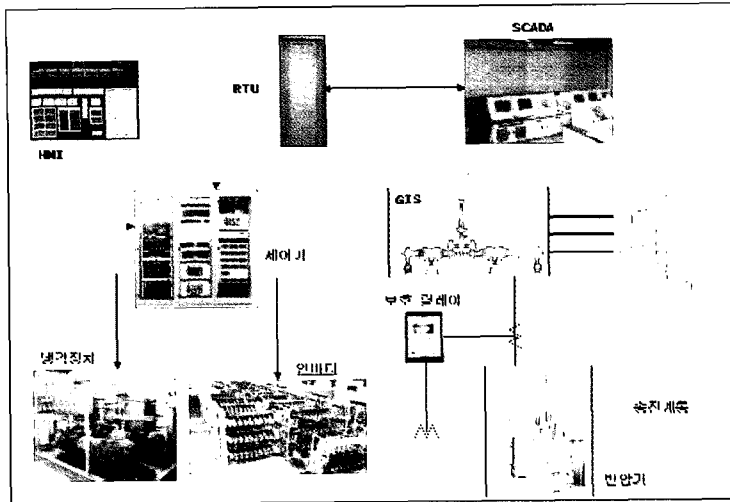
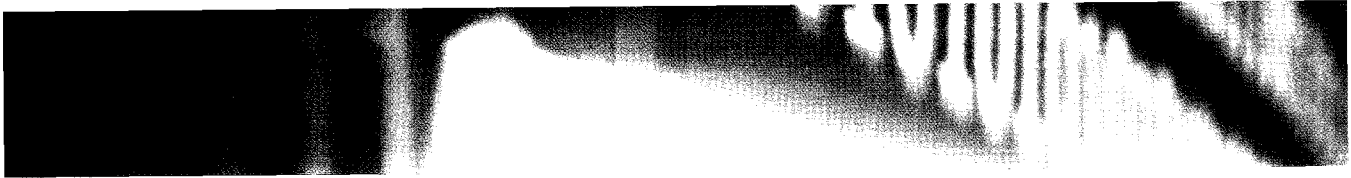


그림 1 FACTS 기기 구성 요소

다. 전체 시스템은 현장의 HMI를 통하여 제어되거나 SCADA를 이용하여 원격 제어될 수 있다. 또한 인버터와 변압기측에 보호용 릴레이를 설치하여 시스템 및 주변 계통 사고 발생시에 시스템을 보호할 수 있도록 하였다. 위의 그림 1에 FACTS 기기의 주요 구성요소들을 나타내었다.

#### UPFC 구성 및 동작원리

UPFC 시스템은 SSSC 및 STATCOM을 구성하는 직, 병렬 인버터 및 각각의 인버터들을 송전 선로에 연계시키기 위한 직/병렬 변압기, 단로기 및 차단기 등의 기기들로 구성된다. 각각의 인버터는 DC bus

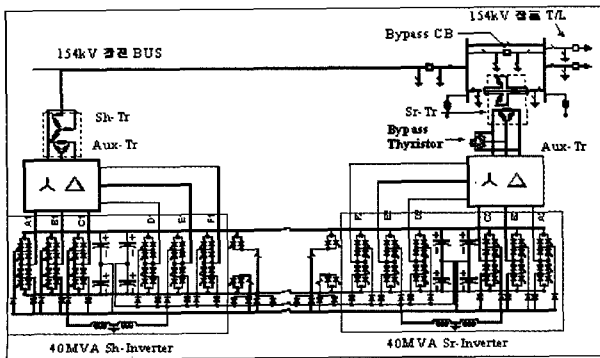


그림 2 강진 UPFC 기기 구성 및 계통 연계 방식

를 공유하고 있으며 STATCOM이나 SSSC 모드로 단독 운전될 경우에는 개방상태를 유지하게 된다. 각각의 인버터는 2개의 인버터 stack이 하나의 module을 구성하며 인버터 출력단의 보조 변압기와 주 변압기를 결합시키는 구조를 취함으로써 인버터 출력단의 고조파 성분을 감소시킬 수 있다. 또한 기기 운전 정지시 보호를 위하여 직렬 변압기 1차측에는 bypass 차단기가 설치되어 있으며 2차측에는 thyristor로 구성된 bypass switch가 설치된다. 또한 시스템의 차단부에는 VCB, DS, CT, PT 등이 일괄 수납된

GIS(Gas Insulated Switchgear)를 사용하여 설치 면적을 감소시키고 기기 안전성 및 신뢰성 측면에서도 우수한 특성을 구현하였다.

### 강진 변전소 80MVA UPFC 기기구성

#### 기기 사양

아래의 표 2에 UPFC 기기의 상세 사양을 나타내었다.

표 2 UPFC 기기 상세 사양

항 목	사 양
직렬 인버터 용량	±40 MVA (1,556 Arms)
병렬 인버터 용량	±40 MVA (1,556 Arms)
인버터 정격 DC 전압	± 4,801 Vdc
인버터 풀 수량	2 × 6 = 12 EA
냉각 시스템	770 gpm, 1,118 gal, Water-air Heat Exchanger
병렬 변압기	40MVA, 154k/14,845 Vrms
직렬 변압기	40MVA, 6,061/14,845 Vrms
병렬 보조 변압기	22.2MVA, 4,757/8,239/16,478 Vrms
직렬 보조 변압기	22.2MVA, 4,757/8,239/16,478 Vrms

#### 인버터 구성방식

UPFC의 인버터 Pole은 Module 형태로 구성되어 있으며, 각 Pole은 4개의 GTO Valve로 구성되어 있



다. 각 GTO Valve는 직렬 연결된 5개의 GTO로 구성된다. 그림 3은 40MVA 인버터의 간략화된 Pole의 구조를 나타내고 있다. 각 인버터 Pole의 AC 전류 용량은 실효값으로 1500Arms이다. 각 Valve내의 직렬 연결된 GTO는 동적인 스위칭 조건하에서 각각 일정한 전압을 분담하며 동작하게 된다. 인버터 Pole은 액체냉매로 냉각되며 냉각파이프에서 냉매의 통로로는 하나의 입구와 출구만이 존재하며, 여러 Pole에 냉매를 배분할 수 있는 다중구조를 갖고 있다.

또한 인버터 Pole의 배치구조는 한쪽 끝단과 DC bus가 연결되고, 반대편 끝단과 AC전원이 연결되게 하여 회로의 인덕턴스를 최소화하고, 절연에 필요한 적절한 거리를 유지하고, 냉각파이프의 길이를 최소화시킬 수 있도록 하였다.

### 전체 시스템 배치

그림 4는 UPFC 기기의 배치도이다. 인버터, DC 커패시터, 냉각기, 주변기기 및 제어 캐비닛이 건물 내부에 설치된다. 또한 건물의 2층에는 운전자 교육용 시뮬레이터실과 시스템의 전망이 가능한 회의실이 있다. 네 개의 열교환기는 건물 외부에 설치된다. 또한 현장에는 두개의 보조변압기, 직렬/병렬 변압기 및 GIS system이 설치된다. 각 인버터는 전력용 케이블을 통하여 보조 변압기에 연결되며 보조 변압기도 전력용 케이블을 통하여 주 변압기에 연결된다. 주 변압기는 그림에서 보이는 바와 같이 GIS (Gas Insulated Switchgear)와 GIB(Gas Insulated Bus)를 통하여 모선에 접속된다.

## 강진 변전소 80MVA UPFC 설치

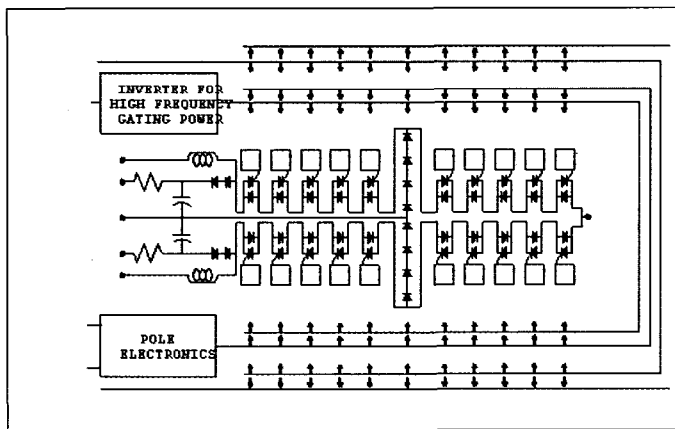


그림 3 인버터 Pole의 구성요소

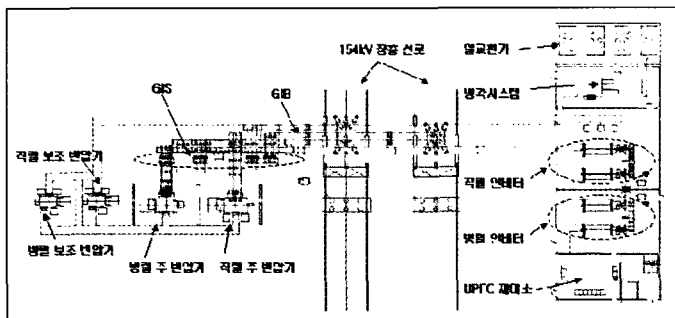


그림 4 강진 UPFC 기기 배치도

### 인버터 설치

인버터는 다음 그림 5와 같이 모듈화된 인버터 Pole을 3단으로 적층하여 3상의 출력을 낼 수 있도록 설치한다. 각 인버터 모듈은 20MVA의 용량을 가지며, 병렬측과 직

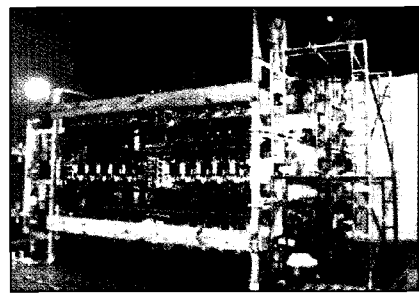
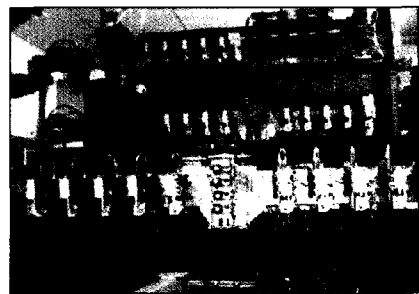


그림 5 인버터 설치

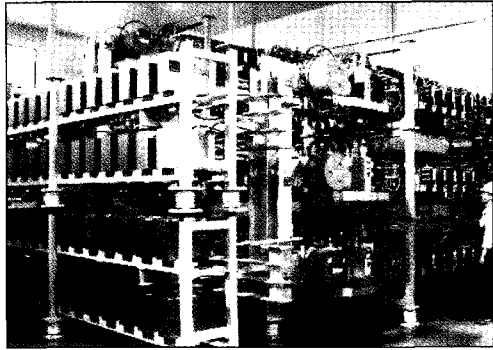
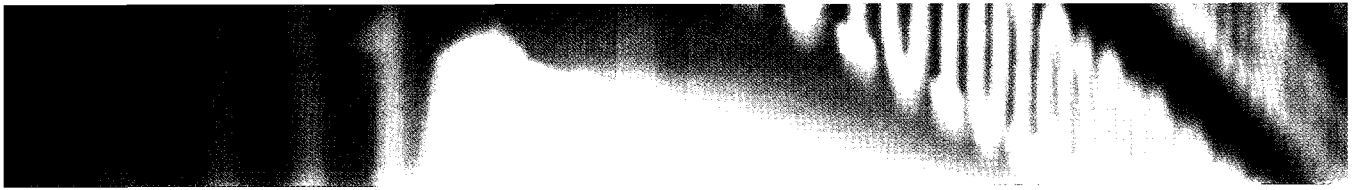
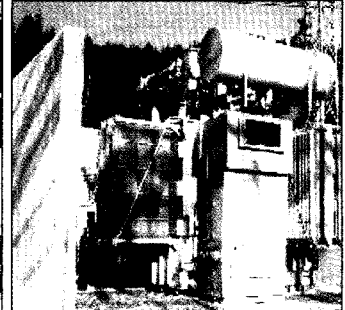


그림 6 설치 완료된 인버터



(a) 병렬변압기



(b) 직렬변압기

그림 7 병렬변압기 및 직렬변압기

렬측에 각 2개씩의 인버터 모듈이 설치된다. 그림 6에는 설치 완료된 인버터의 사진을 나타내었다.

#### 변압기 및 GIS 설치

FACTS용 변압기는 40MVA 병렬변압기, 40MVA 직렬변압기, 22.2MVA 보조변압기 2대로 구성되어 있으며, 인버터의 출력파형을 합성하고, 고조파를 저감시키는 역할을 한다. FACTS용 변압기는 인버터의 출력에서 나오는 고조파와 DC 성분을 고려하여 설계, 제작되었다. 그림 7에는 병렬변압기와 직렬변압기의 사진을 나타내었다.

GIS는 옥외 변전소용으로 정상상태의 개폐뿐만 아니라 단락사고 등의 이상상태에 있어서도 선로를 안전하게 개폐하여 계통을 보호하는 역할을 한다. 강진변전소에 설치된 GIS의 정격은 차단전류 50kArms, 절연강도 750kVpeak이며, 공장시험 및 현장시험을 통해 검증을 받아 설치하였다. 그림 8에

는 GIS의 현장 설치사진을 나타내었다.

그림 9에는 설치 완료된 FACTS용 변압기와 GIS의 사진을 나타내었으며, 사진 상부의 건물이 UPFC 인버터룸과 제어실이 위치한 건물이다.

#### 맺음말

국내 최초로 설치된 80MVA급 강진변전소 UPFC의 기기 구성 및 설치 현황에 대하여 정리하였다. 강진변전소에 설치된 80MVA급 UPFC는 국내에 최초로 적용된 인버터형 FACTS 기기라는 점에서 큰 의의를 갖는다. UPFC 기기 설계, 제작 및 설치를 통하여 확보된 엔지니어링 기술 및 기기 설계, 제작기술은 향후 국내의 기간계통인 345kV 송전 시스템에 적용 가능한 FACTS기기의 사양을 도출하는데 근간 자료로써 활용될 것이다.

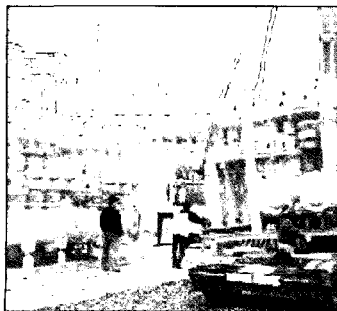


그림 8 GIS 설치 사진

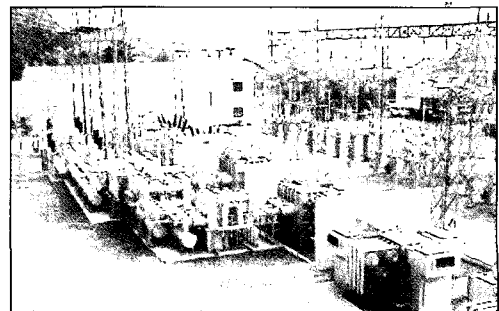
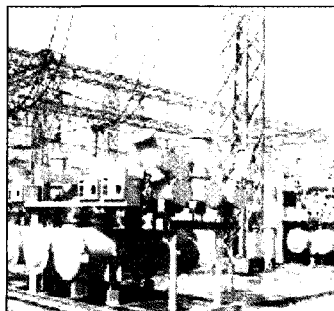


그림 9 FACTS용 변압기와 GIS 전경