

강진 UPFC 고장 실적 분석

김수열, 윤중수, 장병훈, 백두현, 곽방명  
한국전력공사 전력연구원

The analysis of troubleshooting in Kangjin UPFC

S.Y Kim, J.S Yoon, B. H Jang, D. H Baek, B. M Kwak  
KEPCO, KEPRI

**Abstract** - 한국전력공사에서는 전압원 인버터형 FACTS 기기인 UPFC를 전남 강진군 강진변전소에 설치(2003. 5. 23준공) 운전하였다. 강진 UPFC는 한전과 (주)효성이 공동으로 투자하고, 지멘스와의 기술제휴를 통해 개발하였으며, 40MVA 병렬인버터, 40MVA 직렬인버터로 구성되어 총 80MVA 용량이다. 준공이후 2년여에 걸친 운전으로, 강진 UPFC의 고장정지는 현재까지 줄었다. 본 논문에서는 강진 UPFC의 주요 이벤트, 고장해소 및 설비의 신뢰성 향상을 위한 대응 조치들에 대해 정리하였다.

1. 서 론

최근 반도체 소자 기술 발달로 보다 효율적이고 유연한 전력계통의 구성 및 운용으로, 송전용량을 증대하기 위해 전압원 인버터 유연송전시스템(FACTS:Flexible AC Transmission System) 기기가 계통에 적용되는 단계에까지 이르렀다. 우리나라의 경우, 인구밀집지역으로의 대용량의 전력수송이 불가피하지만, 환경문제, 경각지 확보 등의 어려움으로 설비확충이 계획대로 이루어지지 않고 있는 실정이며, 이러한 추세는 점차 심화될 것으로 전망된다[1]. 이런 환경변화 속에서 전력연구원에서 (주)효성과 공동으로 대용량 전력변환기술 및 345kV로의 설비 확대적용에 대한 신뢰성 확보를 목표로, 종합조류제어기(UPFC:Unified Power Flow Controller) 시작품을 154kV 강진변전소에 국내 최초로 설치하였다. 그림 1은 강진 UPFC 인버터이며, 이는 STATCOM(STATIC synchronous Compensator), SSSC(Static Synchronous Series Compensator), UPFC의 운전모드를 갖는다. STATCOM은 변전소 모선에 병렬 연계되어 무효전력을 수수하여 계통전압을 제어하며, SSSC는 송전선로에 전압을 직렬 주입하여 계통의 조류를 변화시킨다. UPFC는 송전선로에 직렬 및 병렬 연계되어 송전선로의 조류 제어와 모선의 전압 제어를 동시에 할 수 있다.[2]

2. 본 론

2.1 강진 UPFC 구성 및 운전 실적

강진 UPFC는 그림 1과 같은 외형의 40MVA 인버터 모듈 두개로 구성되어 있으며 그림2와 같이 병렬인버터, 직렬인버터로 구성되어 있으며, 중재변압기를 통해 자기적인 결합을 통해 고조파를 감소시킨다. 각 변압기의 사양은 표 1과 같다. 특히 직렬인버터는 Thyristor Bypass Switch회로가 있으며, 이는 계통사고 시, 사고전류로부터 인버터를 보호하기 위해 설치되었다. TBS는 기계적인 Bypass CB의 동작 전에 전기적으로 인버터를 우회하도록 하여 사고에 기인한 과도전류로부터 시스템을 보호하기 위함이다. 각 단위 인버터 모듈은 6 pulse 3 Level GTO 인버터로 각 GTO 밸브는 5개의 GTO 모듈이 직렬구성 되었다.

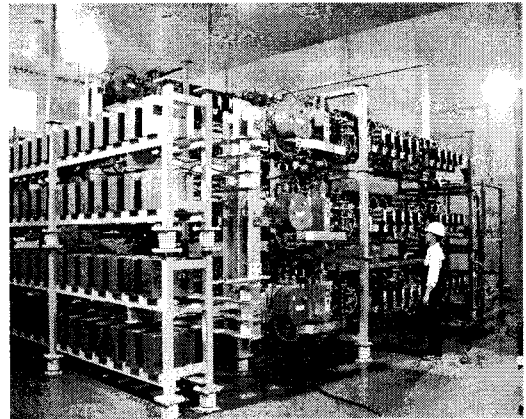


그림 1 20MVA 인버터 모듈  
Fig. 1 20MVA inverter module

강진 UPFC는 현재 강진 인근지역 계통 안정화에 강진-장흥간의 조류제어에 기여하고 있다. 상시 UPFC모드로 동작하며, 병렬인버터의 경우 자동전압제어모드, 직렬인버터의 경우 자동조류제어모드로 동작하여 계통의 동적동요 발생 시, 이를 저감하도록 제어하고 있다.

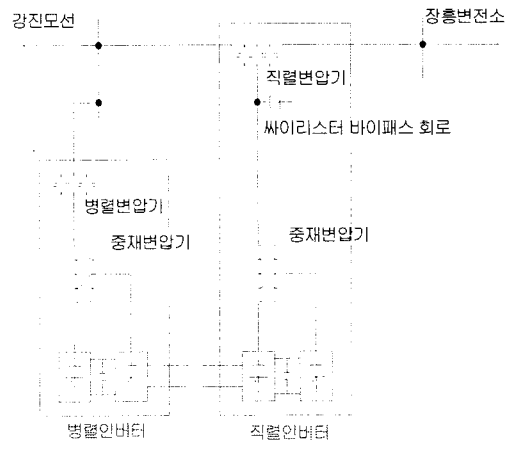


그림 2 강진 UPFC 계통 구성도  
Fig. 2 Power system configuration of Kangjin UPFC

따라서, 병렬인버터의 경우, 계통전압 동요 시, 현재까지 수십 차례의 무효전력 보상 운전으로 계통안정화에

기여하고 있다. 직렬인버터의 경우, 여수화력발전소의 주 말 정지, 인근 송전선로 휴전 등에 의한 과부하를 해소 하기 위한 조류제어 목적으로 운전되었다.

표 1 변압기 사양  
Table 1 Transformer Ratings

구분	전압비[kV]	용량[MVA]	비고
병렬변압기	154/3/14.845	40	Y-Δ
직렬변압기	6.061/14.845	40	open Y-Δ
중재변압기	4.757/8.239	22.2	open Y-Δ

## 2.2 UPFC 사고 및 고장해소

강진 UPFC는 커미셔닝 및 제동연계운전을 통하여 고 성능이 입증되었지만, 장기간의 운전 및 트립을 경험하면서 발생한 고장 및 해소내용을 종합하면 표 2와 같다.

표 2 UPFC 고장 내용  
Table 2 UPFC trip summary

번호	고장내용	조치내용
1	Thyristor Bypass Switch 제어기 OT, UV	온도설정치 변경, 제어기 교체
2	중앙제어기 전원 OV	P/S 교체
3	Gating Power Supply UV	배터리 교체 및 추가
4	3 밸브 동시 on	PEB 교체
5	GTO 모듈 no redundancy	4항 참조
6	강진-장흥 선로 과전류	정상 보호동작
7	병렬인버터 과전류	정상 보호동작

## 2.3 1차년도 고장해소

### 2.3.1 TBS 제어기 내부 OT[Over Temp]

TBS 동작과 직접 관계되는 제어기의 온도상승에 의한 고장으로, TBS 제어기 내부의 발열원 이설, 팬 설치, 센서의 온도 설정치 변경으로 트립에 여유치를 두어 해소하였다.

### 2.3.2 3 밸브 동시 도통 및 GTO 모듈 고장

강진 UPFC는 3 레벨 GTO 인버터이므로, 3 밸브가 동시 도통되면 GTO 소손에 이른다. 3 밸브 동시 도통 경보가 발생하였으나, 소손된 GTO는 발견되지 않았다. 또한 운전 중 GTO 모듈 고장 경보가 발생하였으나, 점검 결과 GTO 정상임이 밝혀져, PEB[Pole Electronic Board]를 교체하여 정상화 시켰다.

### 2.3.3 냉각펌프 절체

커미셔닝 당시에는 냉각펌프 절체로 인한 고장정지가 발생하지 않았으나, 초기 절체 동작 시, 기계적 접촉 저항 증가로 절체시간이 지연되어 냉각시스템의 압력저하 원인으로 UPFC가 정지되었다. 압력 저하 트립 설정치 변경하여 위 문제를 해소하였다.

## 2.4 1차년도 연차점검

### 2.4.1 GTO 모듈 mounting plate

GTO 모듈과 설치판 사이에 아크가 발생하여 접촉표면을 사포질한 후, 재체결 하였다. GTO 소손에 의한 고장 해소[GTO 교체] 후, 체결하지 않고 운전한 것이 아크 발생 원인이었다.

### 2.4.2 TBS EPROM

싸이리스터 진단보드는 각 싸이리스터 양단의 전압을 비교, 감시하여 오차 발생 시, 해당되는 싸이리스터 고장 알람을 발생시킨다. 실제 고장은 발생되지 않았지만, 진단보드와 측정회로의 감도차와 싸이리스터 물리적 특성 차로 인해 직렬인버터의 일정 주입전압에 대해서는 'Stack Failure' 경보가 발생되고 있다. 현재까지 이 문제는 해결되지 못하고 있다.

### 2.4.3 냉각시스템

냉각시스템의 압력밸브 누수로 밸브를 교체하여 정상화하였으며, 냉각시스템의 UPS 배터리의 특성 저하를 발견하고 교체를 권고하였다.

### 2.4.4 열교환기

열교환기는 인버터실 외부에 수평형으로 설치되어 있어, 강수의 유입으로 인하여 열교환기 베어링 수명이 단축되었다. 24개의 팬 중, 8개의 베어링이 교체되었으며, 강수가 있는 지역에는 수직형의 열교환기가 추천된다.

## 2.5 2차년도 고장해소

### 2.5.1 중앙제어기 전원공급장치 UV

중앙제어기에 +15, -15, +5V의 이중화 전원공급장치가 있으며, 이중 5V 전원공급장치의 저전압으로 UPFC가 정지되었다. Potentiometer를 조정하여 출력전압을 정상화 시켰으며, Potentiometer의 접촉저항 변화 외에 예측되는 고장원인을 발견하지 못하였다.

### 2.5.2 TBS 제어기 UV

TBS 제어기의 OT/UV 경보로 UPFC 설비가 정지되었다. 이미 A, B상 2개의 TBS 제어기 DC-DC 컨버터가 동일한 이유로 교체된 상황에서, 나머지 C상에서 동일한 이유로 재 트립되었다. 저전압의 원인은 현재까지 발견되지 않고 있으며, 예비품 확보에 장기간 소요되어, 국내 대체품을 설치하여 정상 운전하고 있다. 연차점검 기간 중 교체 예정이다.

### 2.5.3 냉각시스템 제어기 UPS

1차년도 연차점검 시, 냉각시스템 제어기 UPS 배터리의 성능 저하로 교체를 권고하였으나, 지켜지지 못하여 발생한 고장 정지이다. 냉각시스템의 UPS 배터리 성능 저하로 UPS 바이패스 모드로 동작 중, 모션에서 공급받는 보조전원의 저전압으로, 냉각펌프는 절체를 시도하였으며, 이를 위한 냉각시스템 제어기 전원을 충분히 공급하지 못하여 UPFC가 정지되었다. 냉각시스템 제어기 판넬은 운전 중 개방이 불가하여, 내부의 경보 요소를 발견할 수 없고, 운전 중 고장해소가 불가하도록 설계되어 있어 향후 설비개선이 요구되는 부분이다.

## 2.6 UPFC 신뢰성 향상을 위한 대처 방안

강진 UPFC의 무고장 운전으로 신뢰성을 향상시키고자 TFT[Task Force Team]를 구성하여 고장해소, 추가 확보해야 할 예비품, 유지보수 시스템의 정립 및 설비개선 업무를 행하고 있다. 강진 UPFC는 제작사에서 추천하는 예비품을 확보하였으나, 인버터 풀 제어기 PEB 및 직렬인버터 바이패스 회로인 TBS 제어기 고장 시, 적절한 대처가 불가능하여 고장해소에 장기간이 소요되었다. PEB의 경우 예비품이 정상 동작하지 못하였으며, TBS 제어기의 경우, 예비품 목록에서 제외되어 있었다. 또한

송변전설비에 대한 높은 신뢰도 요구가 만족되기 위해서는 충분한 예비품의 확보가 전제가 되기 때문에 유지보수 체계에 대한 전반적인 검토가 요구된다.

### 3. 결 론

전압원 FACTS설비인 강진 UPFC 2년여의 운전 경험을 요약하였다. 당초 염려처럼 고조파가 계통에 미치는 악영향은 없었으나, 24 pulse 변압기 출력 전압에 의한 변압기 진동 소음이 커, 향후 도심지역의 STATCOM 설치에 대한 장애요인이며, 이 부분에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 강진 UPFC는 상시 강진 모션에 대한 무효전력 보상에 의한 전압 안정도 향상과, 발전소의 주발 감발 및 정지, 한전의 작업 휴전에 따른 조류제어로 전력 수급의 안정화에 기여하고 있다. 하지만, 상시 운전시의 운영 효율을 향상시키기 위한 노력이 요구되며, 이에 따라 전력기반기금사업을 통한 정부지원과제로 한전 효성을 참여기업으로 FACTS 국산화를 목표로 전력산업 연구개발사업과제를 수행하고 있다. 과제를 통하여 계통 조건 및 상황에 적합한 최적의 운전점 및 경제적 운전방법 도출하며, 여러 상정사고를 고려해 상정 사고별 운전방안 수립 및 계통사고 시 UPFC가 자동으로 응답할 수 있도록 프로그램을 개발하여 한전 스카다 시스템에 적용할 계획이다. 1년차 연차점검 이후, 고장 빈도는 감소되었으나, 향후 국내 FACTS 설비의 확대적용을 감안할 때, 강진 UPFC의 신뢰성은 매우 중요하다. 따라서 강진 UPFC TFT를 구성하여 신뢰성과 이용율을 높이기 위해 최선을 다하고 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 전력연구원 전력계통해석센터 “FACTS 계통운용기술 개발 연구(II단계 : Pilot Plant 제작, 설치)”, 전력연구원 과제 최종보고서, 2003. 4.
- [2] Kalyan K. Sen, Eric J. Stacey, “UPFC: Unified Power Flow Controller : Theory, Modelling and Applications”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 4, pp 1453 - 1460, 1998, Oct.
- [3] 전력연구원 전력계통해석센터 “UPFC 기술지원보고서”, 전력연구원 TM.03PK10.P2004.427, Aug. 2004
- [4] 유현호, 유일도, 서인영, 윤종수, 전영수, 권노홍, 양재원, “강진변전소 80MVA UPFC 시험운전” 2003년도 대한전기학회 하계학술대회