

강진 UPFC 고장실적 분석

김수열, 이원교, 장병훈, 전영수, 이세일, 배정현
한국전력공사 전력연구원

The analysis of Kangjin UPFC faults

S.Y. Kim, W.K. Lee, B.H. Chang, Y.S. Jeon, S.I. Lee, J.H. Bae
KEPCO KEPRI

ABSTRACT

한전 전력연구원은 1990년대부터 FACTS(유연송전시스템 : Flexible AC Transmission System)을 연구해 온 이래 80MVA UPFC(중합조류제어기 : Unified Power Flow Controller)를 2003. 5월 신강진전력소관내 강진변전소에 준공하였다. 효성과 지멘스의 기술제휴를 통해 개발된 강진변전소 UPFC를 통해 FACTS 엔지니어링, 제어 알고리즘 및 유지보수 기술이 확보되었다. 초창기 안정화운전 기간동안 제어핵심기술과 일부예비품의 미확보가 가용율(Availability)에 큰 영향을 미쳤으나, 현재 강진 UPFC는 안정적으로 운전되고 있다. 본 논문에서는 그 동안의 강진 UPFC의 고장내용을 종합분석하고, 가용율을 정리하였다.

1. 서론

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, 경과지 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, 중합조류제어기(UPFC:Unified Power Flow Controller) 시작품을 154kV 강진 변전소에 국내 최초로 설치하여 Pilot Plant로써 운전하고 있다.

강진 UPFC는 그림1과 같이 병렬인버터, 직렬인버터로 구성되어 있으며, 변압기의 사양은 표 1과 같다.

표 1 변압기 사양
Table 1 Transformer specification

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

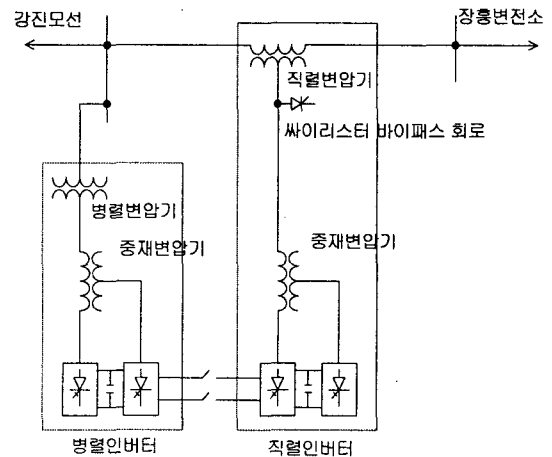


그림 1 강진 UPFC 계통 구성도
Fig. 1 Configuration of Kangjin UPFC

강진 UPFC는 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. 본론

2.1 강진 UPFC 구성

강진 UPFC는 22MVA 단위 인버터 모듈 2대가 각각 직렬 및 병렬 중재변압기를 통해 자기적으로 결합되어, 고조파를 저감토록 구성되어 있으며 주변압기를 통해 계통에 연계된다. 강진 UPFC 제어소는 기계실, 인버터실, 제어실로 구분되어 있으며, 기계실은 냉각시스템 및 보조전원, 인버터실은 4대의 단위 인버터 모듈, 제어실은 중앙제어반 및 운전자시스템으로 구성되어 있다. 직렬인버터는 Thyristor Bypass Switch회로가 있어, 계통사고 시, 사고전류로부터 인버터를 보호하기 위해 설치되었다. 이는 기계적인 Bypass CB의 동작 전에 전기적으로 고장 전류가 인버터를 우회하도록 하여 사고 전류로부터 시스템을 보호하기 위함이다.



그림 2 강진 UPFC 조감도
Fig. 2 Bird's eye view of Kangjin UPFC

각 단위 인버터 모듈은 6 pulse 3 Level GTO 인버터로 각 GTO 밸브는 5개의 GTO 모듈이 직렬구성 되어 있다. UPFC 운전자는 보안레벨에 따른 로그인으로 LAN을 통해 원격으로도 시스템의 운전이 가능하다.

2.2. 강진 UPFC 고장 내역

UPFC 병렬인버터는 무효전력을 공급하여 계통안정화에 기여하고 있고, 직렬인버터의 경우, 여수화력발전소의 주말 정지, 인근 송전선로 휴전 등에 의한 과부하를 해소하기 위한 조류제어 목적으로 운전되었다. 현재까지의 조류제어 실적을 분석하면 여수화력 Auto Tr 과부하 해소, 여수T/P 1호기 급전정지, 신여수 #1,2T/L 동시 휴전, 신여수 #1 T/L 탈락, 계림T/L 1회선 휴전 등, 조류제어 운전을 통한 안정적인 전력 수급으로 계통에 기여해 왔다.

강진 UPFC는 커미셔닝 및 계통연계운전을 통하여 그 성능이 입증되었지만, 장기간의 운전동안 발생한 고장내용을 종합하면 표 2와 같다. 표에서 보듯이 강진 UPFC의 주요 고장내용은 인버터 주설비 고장보다는 다양한 보조설비들에 의한 고장이 주로 발생하였음을 볼 수 있다.

표 2 UPFC 주요 고장 내용

번호	고장 내용	고장 유형
1	Thyristor Bypass Switch 이상	설계 미비 2회 설비 노후 1회
2	제어전원 과전압	제작 불량 2회 설비 노후 1회
3	Gating Power Supply 이상	설계 미비 1회 설비 노후 2회
4	3 밸브 동시 on	제작 불량 1회 (PEB)
5	SID Communication Error	미확인 2회
6	GTO 모듈 이상	4항과 동일사유
7	Cooling System 절체 이상	설계 미비 4회 설비 노후 2회
8	Thyristor Bypass Switch 소손	보수 미비 1회 (조치 중)

2.2.1 Thyristor Bypass Switch

가. TBS 제어기 내부 Over Temp

TBS 및 제어기는 인버터실 내부 공조기 비정상 작동하여 TBS 제어기의 신호용 Laser Diode의 온도 센서가 OT 동작으로 시스템 정지사고가 발생하였다. TBS 제어기 내부의 발열원 이설, 팬 설치, 센서의 온도 설정치 변경으로 트립에 여유치를 두었다.

나. TBS 제어기 저전압

TBS 제어기 전원 저전압으로 시스템 정지되었으며, 신품으로 교체하여 정상화 시켰다.

2.2.2 제어전원 과전압

제어기 구동하는 전원공급장치는 +15V, -15V, 5V의 이중화된 전원 중, -15V 출력 과전압으로 시스템이 정지되는 사고 발생하였으며, 이는 전원공급장치 불량에 기인한 문제로 -15V 전원공급장치를 교체하였다.

2.2.3 Gating Power Supply 저전압

(연축전지 Coup-de-fouet)

가. 소내 보조전원 절체 중 GPS 저전압 발생

UPFC 보조전원 VCB 점검위한 ATS(Auto Transfer S/W) 절체 중에 GPS 저전압으로 UPFC 시스템이 정지된 사고가 발생하였다. 소내 전원 저하 시 혹은 ATS 절체 시, GTO gate drive의 동작이 유지될 수 있도록 DC battery에 의해 백업되지만, VCB 전원절체 시, 연축전지의 Coup-de-fouet 현상으로 인한 과도기적인 전압강하 현상이 발생하여 시스템이 트립되었다. 과도전압 강하 최저치에도 시스템의 트립을 방지 위해 배터리를 직렬로 추가 하였다..

나. 모선사고에 GPS 저전압 발생

가항과 동일한 Coup-de-fouet에 의해 시스템 트립되었다.

2.2.4 3 Valve 동시 도통

UPFC 인버터는 DC+, Zero, DC- 전위를 출력하는 3 level 인버터로 한 Pole의 구성은 4개의 Valve로 구성되어있다. 따라서 항상 2개씩의 Valve가 도통하여야 하므로, 3 Valve 동시 도통은 한 Valve의 과전압 소손으로 이어지게 된다. 실제 Valve 소손은 없었으므로, 제어기 이상 현상으로 인버터 폴 제어보드를 교체하였다.

2.2.5 SID Communication Error

디지털 입출력보드의 통신 에러로 시스템이 정지되었으며, 현재 원인 파악되지 않은 사고이다. 해외 인버터 제작사에 고장해소를 의존해야 하며, 현재까지 2회 발생하였다.

2.2.6 GTO 모듈 이상

병렬인버터 C상 밸브 이상으로 정지되었으나, 실제 점검 결과 GTO 모듈에 이상이 없었으며, 인버터 폴 제어기의 이상으로 보드 교체 진행 중인 사고이다(2.2.4항 고장과 동일한 제어보드 고장임).

2.2.7 냉각펌프 절체에 의한 시스템 정지

시스템의 커미셔닝 시, 냉각 펌프 절체의 의한 시스템 트립은 없었으나, 이후 ATS 절체 시간 연장으로 인하여 냉각펌프 절체 시에 냉각수 압력이 저하되어 UPFC 시스템이 정지된 사

고이다. 압력 트립 설정치를 변경하여 정상화 시켰다. 또한 2005년 9월 냉각시스템 고장에 의하여 UPFC가 정지되었는데, 이는 이중화되어 있는 냉각시스템 펌프의 운전을 감시하고 있는 회로의 불량인 그 원인이며, PLC에서 로직을 보완하여 현재 운전중이다. 3차년도 연차점검 시, 회로 점검 예정이다.

2.2.8 Thyristor Bypass Switch 소손

계통고장 파급으로 UPFC 설비 정지시, 직렬인버터 바이패스 회로인 TBS 소손 사고이다. 강진-장흥선로 고장전류에 의해 TBS 동작 시, 싸이리스터, 스너버, 게이트 구동회로 등의 문제로 발생한 사고로, 3차년도 연차점검시 상세 원인분석 계획이다. 싸이리스터에는 외부 아크 발생흔적은 있으나, 정상상태로 확인되었고, 스너버 커패시터는 누유되었으며, 싸이리스터 양단의 MOV가 소손되었다.



그림 3 싸이리스터
Fig. 3 Thyristor

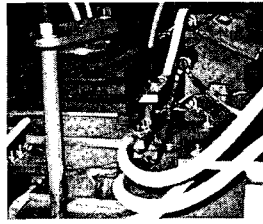


그림 4 MOV
Fig. 4 MOV

2.2.9 기타 수리 및 정비 내역

가. 병렬 보조변압기 수리

변압기 절연유 분석결과 가스 발생이 기준치 초과하여 침심 회로 수정하였다.

나. GTO 설치판 아크 발생

불량 GTO 교체 후, GTO 모듈과 설치판과의 볼트 단자조임이 완결되지 않아 기동 과전류가 GTO 밸브를 흐를때 아크 발생으로 확인된 사고이다. GTO 모듈과 설치판 접촉 표면 가공하여 임시 운전하고, 2년차 연차점검시, 설치판 예비품 확보하여 교체하였다.

2.3 Availability

강진 UPFC는 국내 제작사인 (주)효성의 지멘스와의 기술제휴로 국내 개발되어 설치된 154kV급 80MVA 강진 UPFC는 2년 여간의 초창기 신뢰성 운전기간 동안 심수차폐의 고장으로 새로운 형식의 FACTS설비에 대한 부정적인 이미지를 씻을 수 없었으나, 이제 안정된 운전시기에 접어들었다고 판단된다. 그림7에서 볼 수 있듯이 2005년 1월부터 95%를 7월에는 98%를 넘어섰으며, 현재 가용율은 97.81%이다. 2004년 7월과 2005년 7월 가용율이 저조한 이유는 각각 연차점검기간동안 설비가 정지되었기 때문이며 연차점검 등 계획예방점검기간을 고려하면 99%를 상회한다. 2003년도는 신설비에 대한 운영기술의 미숙과 초창기 신뢰성 운전기간동안 해외 인버터 제작사의 기술 지원에 주로 의존하여 고장해소에 장기간이 소요되어 가용율 저하의 원인이 되었다. 초년도 연차점검은 운영기술확보를 위해 전력연구원 주도로 시행되어, 초년도 연차점검 이후부터 설비의 안정적 운전이 시작되었으며, 이후 고장해소 기간이 단축되었다. 2년차 연차점검은 신강진전력소 주관으로 시행되었으며, 설비 운영기술이 확립된 단계라고 할 수 있다. 2005년 9월의 가용율이 저조한 것은 이중화되어 있는 냉각시스템 펌프의 운전을 감시하고 있는 회로의 이상으로 인하여 냉각시스템 정지가 그 원인이다.

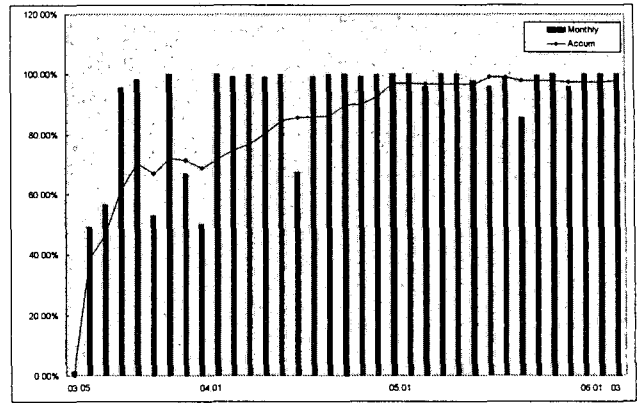


그림 5 강진 UPFC 가용율(Availability)
Fig. 5 Kangjin UPFC Availability
(막대그래프 : 월별 Availability, 선 : 매년 Availability)

3. 결론

국내 최초로 강진에 설치된 전압원 FACTS설비의 2003년 5월 준공이후, 고장 내용 및 가용율에 대하여 정리하였다.

강진 UPFC의 주요 고장내용은 인버터 주설비 고장보다는 다양한 보조설비들에 의한 고장이 주로 발생하였음을 볼 수 있다. 가용율은 2005년 1월부터 95%를 7월에는 98%를 넘어섰으며, 현재 가용율은 97.81%이다. 2003년도는 신설비에 대한 운영 미숙이 가용율 저하의 원인이 되었으나, 초년도 연차점검 이후 고장해소 기간이 단축되며, 가용율 향상의 원인이 되었다. 현재 강진 UPFC는 인근 계통 보강에 따라 필요성이 저하되어, 운영 효율을 향상시키기 위한 노력이 요구되며, 이에 따라 전력기반기금사업을 통한 정부지원과제로 한전 효성을 참여기업으로 FACTS 국산화를 목표로 전력산업연구개발사업과제를 수행하고 있다. 과제를 통하여 계통조건 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.

참고 문헌

- [1] 전력연구원 계통안정화그룹 “FACTS 계통운용기술 개발연구(II단계 : Pilot Plant 제작, 설치)”, 전력연구원 과제 최종 보고서, 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] Laszlo Gyugyi, Colin Schauder, Kalyan K. Sen, “Static synchronous series compensator : A solid-state approach to the series compensation of transmission lines”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, pp 406 - 417, 1997, Jan.
- [4] Schauder, C., et al, “AEP UPFC Project : Installation, Commissioning and Operation of the ±160MVA STATCOM(Phase I)”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.13, No.4, Oct. 1998.