

# UPFC GTO VTE(Valve Test Equipment) 개발

김수열, 장병훈, 윤종수, 김용학, 백두현  
한국전력공사

## Development of UPFC GTO Valve Test Equipment

S.Y. Kim, B.H. Chang, J.S Yoon, Y.H Kim, D.H. Baek  
KEPCO

### ABSTRACT

한국전력공사는 강진변전소에 FACTS 설비인 80MVA UPFC를 (주)효성과 공동으로 개발하여 2003. 5월 준공하였다. 강진 UPFC는 40MVA 병렬인버터와 40MVA 직렬인버터로 구성되어 있으며, 대용량 인버터 핵심기술은 지멘스와의 기술제휴로 개발되었다. 한국전력공사는 UPFC 운영을 통하여 확보된 기술을 기반으로 제어기술을 국산화하고 있으며, 현재 유지보수용으로 GTO 밸브 시험 장비를 개발하였다. 본 설비는 기존 수작업에 의한 GTO 밸브의 건전성 시험을 자동화하고, 자료를 체계적으로 이력 관리함으로써, UPFC 설비의 신뢰성 향상에 도움을 줄 것으로 기대된다.

### 1. 강진 UPFC

유연송전시스템(FACTS : Flexible AC Transmission System)은 전력계통 안정화설비에 전력용 반도체 소자를 적용한 송변전설비로, 90년대부터는 신 개념의 전압원 컨버터형 FACTS설비가 개발되었다. 우리나라의 경우, 인구밀집지역으로의 대용량의 전력수송이 불가피하지만, 환경문제, 경과지 확보 등의 어려움으로 설비확충이 계획대로 이루어지지 않고 있는 실정이며, 이러한 추세는 점차 심화될 것으로 전망된다<sup>[1]</sup>. 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 2003년 5월 준공하여 운전하고 있다.

그림 1의 강진 UPFC 인버터는 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.<sup>[2]</sup>

강진 UPFC는 준공 이후, 설비의 안정적인 운전까지 2년여 기간 동안 설비의 연차점검을 통하여 설비의 개선 또는 고장 문제를 해소하였다.<sup>[3]</sup> 하지만 현안 사안으로 핵심 기술에 대한 대의 종속 극복 및 유지보수 체계화를 통한 설비의 장기적인 운전에 대비해야 하는 문제는 여전히 과제로 남아 있었다. 따

라서 전력연구원에서는 FACTS 기술 국산화를 위한 100MVA STATCOM 개발을 정부지원 전력IT 사업으로 (주)효성과 공동으로 수행하면서, 한편으로는 UPFC 운영기술 향상을 위해 GTO 밸브시험장비를 개발하였다.



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

### 2. UPFC GTO VTE 개발

#### 2.1 UPFC 인버터

강진 UPFC는 병렬 40MVA 직렬 40MVA 인버터로 구성되어 있으며, 직렬인버터는 BYPASS CB의 지연 동작을 고려하여 Thyristor bypass 회로가 설치되어 있다.

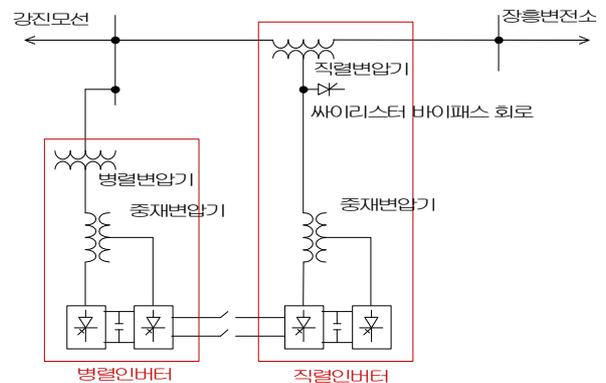


그림 2 강진 UPFC 계통 구성도  
Fig. 2 Power system configuration of Gangjin UPFC

### 2.1.1 3 level 인버터

병렬인버터 및 직렬인버터는 각각 2대의 20MVA 3 level 인버터 모듈로 구성되어 있으며, 중계변압기를 통해 자기적으로 합성되어 40MVA의 STATCOM, 40MVA SSSC로 동작된다. 각 인버터는 4개의 밸브를 스위칭하여 three-level ac 출력 파형을 생성한다. 그림 3은 3-level 폴의 기본 개념을 나타내며, 각 밸브는 5개의 GTO 모듈로 직렬 연결되어 있다.

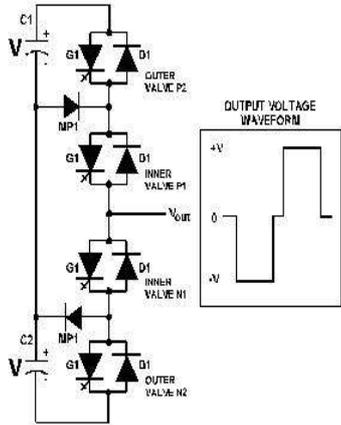


그림 3 three level 인버터  
Fig. 3 three level inverter

### 2.1.2 GTO 모듈

그림 4는 GTO 모듈을 나타내며, 그 구성요소들은 4500V 4000A 정격의 Gate Turn-Off(GTO) 싸이리스터(G1)와 역병렬 다이오드(D1)와 보호회로인 스너버(C1, D2, R2, C2, R3)와 전압 평할 저항(R1)과 수냉식 방열기로 구성된다.

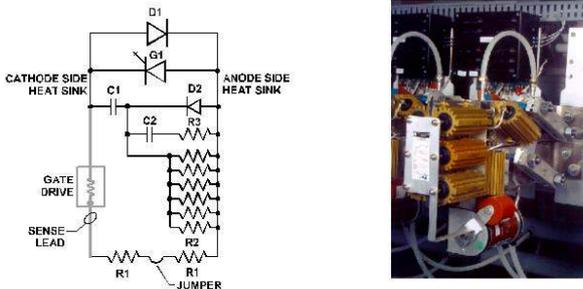


그림 4 GTO 모듈 회로도 및 구성  
Fig. 4 GTO module circuit diagram and its components

표 1 GTO 모듈 특성값  
Table 1 GTO module parameters

G1	4500V, 4000A	C2	0.0977
C1	0.001955	R2	0.001036
R3	0.00039	R1	0.0125
stray inductance 500nH			

### 2.2 UPFC GTO VTE

개발된 밸브 시험 장비는 UPFC GTO 시험 자동화와 시험 결과의 체계적인 관리로 효율적이며 신뢰성 있는 유지보수 기술을 확립하는데 목적이 있다. 기존 UPFC GTO 모듈 진단 기

술 및 설비 유지보수 경험을 토대로 UPFC 설비의 전력 소자 및 주변 회로를 포함한 밸브 시험 방안을 확립하고, 설비 사양을 결정 후, 밸브시험장비를 개발하였다.

시험은 UPFC 인버터 회로변경을 최소화하는 조건으로 이뤄지면, 가압전 시험과 가압시험으로 구분된다. 가압전 시험을 통해 GTO 모듈의 수동소자 R1, R2, R3, C1, C2를 측정한다. GTO 모듈은 임피던스 레벨이 다른 수동소자가 복잡하게 연결된 구조로 모듈 양단을 측정하면 C1과 R2 측정이 가능하다. 이때 R1, R3, C1은 상대적으로 임피던스가 커 측정에 거의 영향을 미치지 않는다. R2, C2는 임피던스가 상대적으로 커 R2와 병렬로 연결된 상태에서는 측정이 불가하여, C1, R2 값에 이상이 있을 경우, 회로를 분리하여 C2와 R3 값을 측정한다.

반도체 소자의 기능확인 전압을 인가하고 전류가 흐르는 상태에서 측정하는 것이 정확하다. 따라서 가압시험에서는 GTO G1, 역병렬 다이오드 D1에 각각 1000V를 인가하고 100A 전류를 흐르게 하여 차단전압, 도통전압, 도통전류를 측정하여 각 소자의 이상유무를 판단하고 도통전압을 저장 관리한다.

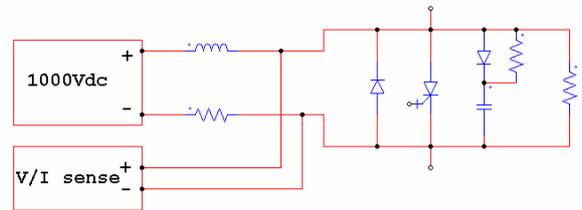


그림 5 GTO 모듈 가압시험  
Fig. 5 GTO module energized test

각 밸브는 5개의 직렬 연결된 GTO 모듈로써 구성되어 있으므로, 앞에서 설명한 단일 GTO 모듈 검사 방법을 static relay를 이용하여 밸브에 확장 적용하여 시험한다.

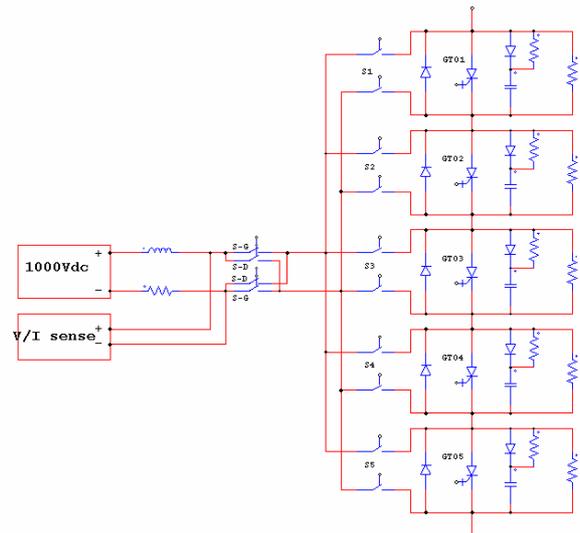


그림 6 GTO 밸브 가압시험  
Fig.6 GTO valve energized test

Thyristor Bypass Switch는 구동회로 전원 분리에 문제가 있어 가압시험은 불가하고, 가압전 시험으로 thyristor와 스너버 RC를 동시에 점검하도록 설계되었다. Thyristor와 스너버

RC가 병렬로 연결되어 있으므로 한번의 계측으로 스너버 파라미터와 thyristor 단락유무를 동시에 점검하게 된다.

### 2.2.1 개발된 GTO 밸브 시험장비

개발된 VTE 장비는 내부에 장착된 계측장비로 스너버 회로 파라미터를 측정해 시스템을 점검하는 방식을 채택하고 있다. VTE 장비는 각 Valve 시험 시 5개의 GTO를 동시에 점검하는 구조로 설계되어 있다. 즉 하나의 계측장비에 5개의 GTO 스너버 회로를 순차적으로 연결하여 측정한다.

그림 7은 밸브시험장비의 기능 블록도를 나타내며, 그림 8은 구성도이다.

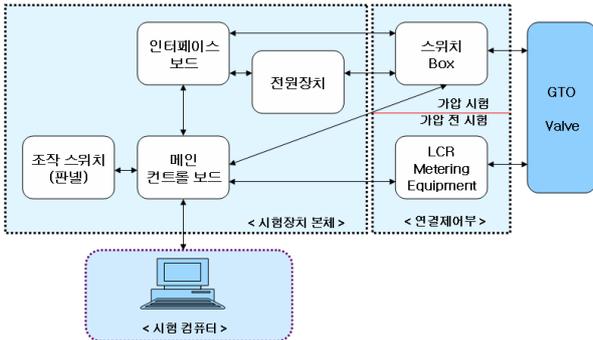


그림 7 밸브시험장비 기능 블록도  
Fig.7 Functional block diagram for VTE

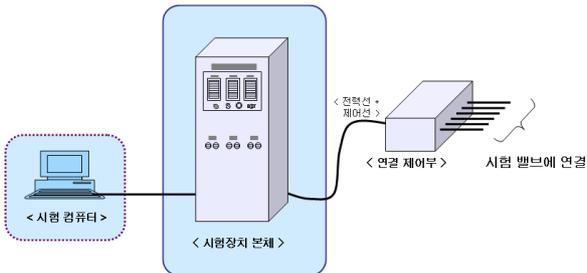


그림 8 밸브시험장비 구성도  
Fig.8 Configuration of VTE



그림 9 밸브시험장비  
Fig.9 Valve Test Equipment

### 2.2.2 시험 결과 분석

분석현장의 연차점검을 통해 각소자의 측정 파라미터가 밸브시험장비에 취득된다. 연차점검으로 시험데이터 수집이 완

료한 후 시험장치 본체와 설비 운영 컴퓨터간 통신을 통해 데이터 전송이 가능하다. 시험장치 본체와 컴퓨터를 통신선으로 연결하고 데이터 다운로드 기능을 수행함으로써 VTE 시험장치 본체에 저장된 연차점검 시험 데이터를 컴퓨터로 전송하게 된다.

시험장치에서 수집된 모든 데이터는 컴퓨터로 일괄적으로 전송되며, 컴퓨터 프로그램은 데이터 비교/분석이 용이한 구조를 갖는다. 특정일에 수행된 시험 데이터는 보존되어 시간에 따른 각 파라미터의 변화를 비교할 수 있다. 사용자는 소자 불량량을 판단하는 파라미터 기준을 설정하고 그 값을 입력한다. 각 소자 파라미터가 설정치를 벗어나면 그 결과를 쉽게 구별할 수 있도록 화면에 표시하게 된다. 파라미터 기준은 사용자가 임의로 변경 및 설정이 가능하다.

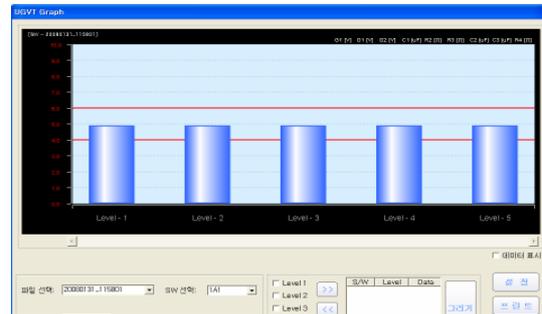


그림 10 GTO 이력 관리 데이터  
Fig. 10 historical test results for GTO

## 3. 결론

한전 전력연구원에서는 국내 최초 전압원 컨버터 FACTS 설비인 강진 UPFC의 GTO 밸브시험장비를 개발하였다. 강진 UPFC는 80MVA 용량으로 130여개에 이르는 GTO 및 45개에 이르는 Thyristor로 구성되는 TBS 회로로 구성되어 있다. 그동안 시험원의 수동작업에 의해 이뤄지던 시험을 자동화하고, 체계적인 자료 관리를 위해 밸브시험장비를 개발하였으며, 현장 적용시험을 통해 그 성능을 입증하였다.

이로써, 향후 GTO 소자자체의 고장 여부는 물론 노후화 이력을 감시할 수 있어, 예방정비의 효율성 향상 및 유지보수기술과 설비 자체의 신뢰성을 향상시킬 것으로 예상된다.

이 논문은 전력IT 사업으로 연구되었습

## 참고 문헌

- [1] 전력연구원 계통안정화그룹 “FACTS 계통운용기술 개발연구(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] 김수열, 이원교, 장병훈, 전영수, 이세일 배정현 “강진 UPFC 고장실적 분석”, 전력전자학회 학술대회논문집, pp 450 - 452, 2006, Jun.