

## 765kV 변전소 시운전에 관한 고찰

변강 정시환 박근원 이상면 최만식  
한국전력공사 전력계통건설처

### Consideration on the trial operation of 765kV substation

Byun Gang, S.H Jung, K.W Park, S.M Lee, M.S Choi  
Power System Construction Office  
Korea Electric Power Corporation

**Abstract** - Purpose of the 765kV trial operation conducted for the first time in our country are performance verification of domestic developed equipment(765kV M.Tr, GIS,etc) and extraction of problem in advance to commercial operation and cultivation of operation ability. The trial operation of 765kV substation was finished successfully under the positive supports of institutes, manufactures, and constructors. It is expected that extraction of problems in advance and accumulation of operation techniques through the trial operation of 765kV substation will be contributed largely to the realization of the without a hitch operation of 765kV system.

#### 1. 서론

765kV 1단계사업은 신안성, 신서산, 신가평, 신대백동 4개변전소 건설이며 신안성 변전소와 신서산 변전소는 2001년 12월부터 시운전을 시작하여 2002년 5월 8일에 역사적인 765kV전압 계통병입 운전을 하게 됨으로써 우리나라 최초의 765kV변전소로 기록되고 있다.

765kV 변전소는 전력계통에서 차지하는 비중이 매우 크기 때문에 765kV 최초가압시 예측하지 못한 고장으로 발생 할수 있는 계통동요 및 최신 자동화 시스템 적용에 따른 운전원의 인적실수 예방이 요구되어 765kV 전압 계통병입전 시운전을 시행 하였으며 시운전 목적을 요약하면

- 1) 765kV 주변압기, 765kV GIS 등 국산화 개발기기의 성능검증
- 2) 보호계전장치, 감시제어장치 등 각종 시스템의 신뢰성 확인
- 3) 상업운전 대비 문제점 사전 도출 및 대책 강구
- 4) 운전능력 배양 및 인적실수의 사전예방등이며 765kV의 최초 계통병입 운전에 따른 전력공급 안정도를 확보하기 위한 것이다.

#### 2. 본론

##### 2.1 시운전 개요

765kV변전소의 시운전은 1998년 10월에 기본계획을 수립하고 2001년10월에 시운전요원을 배치하여 2001년 12월부터 2002년 5월까지 약 5개월간의 시운전을 시행하였다.

시운전 인원은 신안성 변전소에 16명, 신서산 변전소에 16명을 배치하여 시운전팀장을 비롯한 총 33명으로 구성 되었다.

시운전 설비는 765kV 변전소 구내에 설치된 기기와 감시제어 및 보호계전시스템 등을 대상으로 하였으며 각종설비에 대한 시운전 시험항목을 지정하여 시행하였다.

#### 2.2 시운전 내역

##### 2.2.1 주변압기(M.Tr)

765kV주변압기는 1상 1Tank Type으로 제작할 경우 약 220톤 이상이 되는 초중량의 변압기가 되어 철도수송이 불가능 하기때문에 1상 2분할로 설계 제작(수송중량 약 165톤)하여 각각의 탱크를 현장에서 조립하는 구조 이다. 그러므로 변압기 고장시 탱크 분리 운전이 가능하기 때문에 신속한 복구를 할수 있고 예비변압기를 확보 할 필요성이 없기 때문에 건설비용을 절감할 수 있는 기술적 설계가 고려 되어있다.

구 분	신안성S/S	신서산S/S	비 고
제작사	효성중공업	현대중공업	
상수 및 형식	1ø, AUTO TRANSFORMER		
정격전압	$\frac{765}{\sqrt{3}} / \frac{345}{\sqrt{3}} / 23kV$		
탭전압	1차 : $\frac{765}{\sqrt{3}} kV \pm 7\%$		23 TAPs
정격용량 (3ø)	2,000/2,000/60MVA		1차/2차/3차 용량
냉각방식	송유풍냉방식		자냉기능 없음

변압기의 시운전, 시험 및 측정자료는 상업운전과 각종 보호계전기 정정자료로 활용되고 전력계통의 운용시 참고자료로 활용될 수 있는 주요사항으로서 무부하 가압시(정가압, 역가압) 여자돌입전류 측정 등 시험을 하였다.

765kV주변압기의 시운전 시험 항목은 다음과 같다.

- 1) 무부하 가압
- 2) 765kV, 345kV 여자돌입전류 측정
- 3) 345kV, 23kV 모선전압 변동시험
- 4) 765kV, 345kV측 실부하 전류위상 측정
- 5) 23kV측 실부하 전류위상 측정
- 6) M.Tr 1,2,3차측 PT전압 위상 측정
- 7) 진동 및 공진특성 시험(무부하, 실부하)
- 8) 변압기 주변 소음 측정
- 9) 3차권선 Tank 및 Reactor별 순환전류측정
- 10) 1,2차 권선 Tank 및 Reactor별 순환전류 측정
- 11) TAP차에 의한 1,2,3차 권선 Tank & 상별 순환전류 측정
- 12) 무부하 가압(초기 가압)

##### 2.2.2 가스절연개폐장치(GIS)

765kV 변전소의 가스절연개폐장치는 Full GIS형으로 모선, 단로기, 접지개폐기, 고속도접지개폐기(재폐로용), 변성기, 피뢰기 등 모든 부속설비를 금속제 통속에 내장하고 있는 특징이 있다.

특히 차단기는 기계적으로 독립된 상분리 조작방식으로 다상 재폐로 운전이 가능하고 개폐씨지를 억제하기 위하여 투입저항을 부착하고 있으며 2개의 Trip회로와 Closing 회로를 갖추어 Trip과 Closing을 2계열화한 구조이다.

또한 765kV 계통에서는 계통전압이 높고 송전선의 정전용량이 크므로 사고상이 개방된 후에도 건전상으로 부터 정전 유도에 의해 2차 아크가 수초 이상 소호되지 않는 현상이 발생 할수 있다. 따라서 사고 차단후 개방된 사고상의 양단을 고속으로 접지함으로써 2차 아크를 강제적으로 소호하여 차단기의 재폐로를 가능하게 해 주는 장치로 고속도 개폐장치(HSGS)를 채용하고 있으며 HSGS는 차단기의 고속도 재폐로 동작 사이에 고속도로 투입과 개방을 확실히 해야 하기 때문에 신뢰성이 높은 유압 조작기구를 사용하고 있다.

765kV 가스절연개폐장치(GIS)의 시운전 시험항목은 다음과 같다.

- 1) 765kV 및 345kV 무부하 가압
- 2) 765kV 모선 PT전압 위상 측정
- 3) 765kV Line PT전압 위상 측정
- 4) 765kV 실부하 전류 위상 측정
- 5) 765kV 모선PT 철공진 및 개폐씨지 현상 측정
- 6) 765kV 코로나 현상 점검
- 7) 765, 345kV 진동 및 공진특성
- 8) 345kV 모선, 선로 PT전압 위상 측정
- 9) 345kV 실부하 전류 위상 측정
- 10) 345kV 모선PT 철공진 및 개폐씨지 현상 측정

765kV와 345kV GIS의 주요 정격을 비교하면 아래와 같다.

구 분	765kV	345kV
정격 전압, kVrms	800	362
정격 전류, Arms	8,000	4,000
정격차단전류, kArms	50	40(63)
정격 비대칭분 차단전류, kArms	65.6	81.26
표준 동작채무	O-0.3s-CO-1m-CO	O-0.3s-CO-3m-CO
뇌 임펄스 내전압, kVpeak(1.2x50μs)	2250	1175
개폐임펄스내전압, kV peak(250x2,500μs)	1425	950
정격 차단시간, cycle/ms	2/33.3	3/50
투입 저항기의 저항, Ω	800±5%	520±5%
피뢰기 정격전압(kV)	576	288

### 2.2.3 감시제어 시스템

765kV변전소의 감시제어 시스템은 현장에 설치된 기기로부터 데이터를 수집, 정리하여 GUI PC에 전달하여 설비 운영사항을 집중감시 할 수 있고 모든 현장기기의 제어를 PC를 통하여 시행할 수 있는 형태의 시스템으로 구성된 「서버/클라이언트」 운영방식을 채용 하였다.

765kV 감시제어 시스템의 특징은 데이터베이스 기능과 통신기능을 하나로 묶어 Work-station 장비인 주처리 장치에 그 기능을 전담시키고, GUI 부분은 운영자와 친숙한 PC의 Window 환경에 두어 분산 처리하는 시스템으로 구성하고 있다.

765kV변전소 감시제어 시스템의 시운전 시험 항목은 다음과 같다.

- 1) 시스템 전원 기동기능
- 2) 시스템 관리기능(주·예비 수동, 자동 절체기능)

- 3) 컴퓨터, 자료저장장치 성능
- 4) 자료 취득 처리기능
- 5) 상시 운전용 응용프로그램 운전기능
- 6) 운전자료 생성 및 관리기능(DB Graphic 등)
- 7) 보고서 생성기능
- 8) 데이터 통신기능
- 9) HMI 기능
- 10) 자료 연계기능
- 11) 고장 진단기능  
(On-Line, Off-Line Diagnostic)
- 12) 전력계통반(MAP) 기능등
- 13) CCU 기능
- 14) LCU 기능

### 2.2.4 보호계전 시스템

765kV 송전선로 및 변전설비는 전력계통의 총 추적 역할을 하게되므로 765kV 설비에 고장이 발생되면 계통에 미치는 영향이 매우 클 것으로 예상된다. 따라서 종래의 345kV 계통에 적용하던 보호계전 시스템에 비하여 주보호 및 후비보호 계전기 동작의 고속화, 고장검출 기능의 고감도화, 보호장치의 고신뢰도화가 요구 된다.

또한 송전선 루트(Route) 단절사고에 의한 대전원 탈락은 계통 안정도 유지에 치명적인 영향을 줄 것이므로 이러한 사고를 감소시키기 위한 대책도 고려되고 있다. 위와 같은 조건을 충족 할수 있도록 검토된 765kV보호계전기의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 디지털 계전기 시스템 적용
- 2) 주보호 2계열, 후비보호 2계열로 구성
  - 후비보호는 Relay Back Up과 CB Failure Back Up 적용
  - 보호장치 2계열화에 따라 CT Core 분리 사용
  - CB, HSGS Trip 및 Closing Coil의 2계열화
  - 제어용 DC 전원의 2계열화
  - 신호전송로의 2루트화
  - 재폐로 2계열화
- 3) 다상재폐로 방식 적용(송전선로 루트단절 사고 예방)
- 4) 주보호장치 동작시간의 고속화(1-2cycle)

765kV변전소 보호계전시스템의 시운전 시험항목은 다음과 같다.

- 1) 765kV 송전선로 보호계전기
  - End to End Test(GPS 이용)
  - 고조파 및 전압 측정
  - 전류 불평형을 측정
  - Feranti 전압 측정(초기가압 시)
  - 고장상 잔여전압 측정
- 2) 345kV 송전선로 보호계전기
  - 광대국 연동시험
- 3) 기타 보호계전장치
  - B/F, MTR Prot'N PNL Dynamic Test

### 2.2.5 이상현상 발생 사례

시운전 기간중 765kV M.Tr의 OLTC조작시 M.Tr 3차측권선 좌·우 탱크간 순환전류 발생에 의하여 변압기가 Trip하는 이상현상이 발생하였다.

765kV 변압기는 단상 2 Tank 구조로서 주변압기의 직렬, 분로, 3차 각 권선의 중간 단락보호를 목적으로 Tank간 전류불평형을 검출하는 계전기(61S,61C,61T)를 적용하고 있으며 권선 내부 중간단락 고장시에는 2개 탱크 사이의 전류가 불평형을 이루게 되고 평상시 부하 전류나 여자돌입전류에는 평형을 이루는 특징을 활용하여 직렬권선, 분로권선, 3차권선을 각각 개별 탱크간 전류를 비교하여 동작하게 된다.

따라서 2개 Tank 운전시에만 사용하고 1개 Tank만

운전시에는 기능을 Lock시켜야 한다

주의할 점은 변압기 철심재료의 특성 및 변압기 철심 제작편차 등으로 인하여 2개 Tank간에 잔류자속 편차가 발생하면 변압기 가압시 Tank간 불평형 여자돌입전류가 발생하게되고 이때 이 계전기가 오동작할 수 있으므로 최소동작전류는 Tank간 불평형 여자돌입전류치 이상으로 설정하여야 한다.

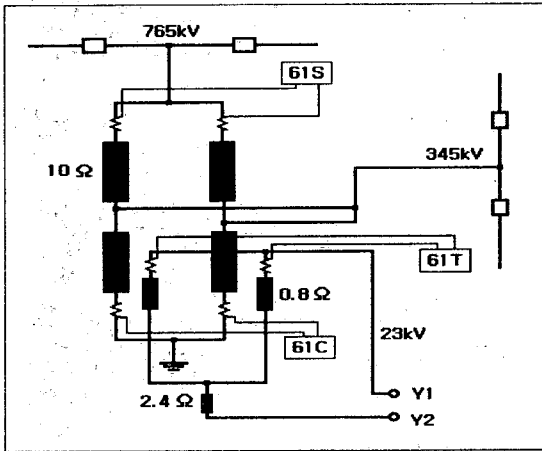
765kV M.Tr은 좌·우탱크 분리형으로서 OLTC도 별도로 구비되어 있으며 OLTC TAP 조작시 동시에 Step 조작되어야 하나 실제로는 기계적 원인에 의하여 동기가 불일치됨으로써 3차권선 Tank간에 불평형전류가 발생하고 불평형전류에 동작하는 계전기(61T)가 동작하여 변압기가 정지되는 현상이 발생되었다.

765kV M.Tr은 1 Tap 조작시 구동모타가 33회전을 하게되며 이때 회전속도 등의 차이로 인하여 탱크간 순환전류가 발생하며 과도적으로 61T계전기에 위상이 180° 바뀌는 역위상의 전류가 흐르게된다.

61T계전기는 두 탱크간 전류차로 동작하기 때문에 위상이 180°바뀌면 그 절대치의 합으로 동작하며, 실측 결과 순간 최대값이 약 1000A(좌탱크 -480A,우탱크 519A) 까지 발생하였으며 이러한 현상은 3상에서 모두 동일하게 발견되었다.

당시 61T 계전기의 정정치는 0.11A (1차측 환산전류 220A)였으며 측정된 순환전류의 크기는 0.36A(1차측 환산전류 720A)였으며 이때의 순환전류 지속시간은 약 250ms 였다.

이에 대한 조치로 계전기 61T의 정정치를 0.65A로 변경하였다.



〈불평형 계전기 회로도〉

#### 2.4 765kV 변전설비 운전 및 정비기준 수립

765kV 변전설비의 안정적 운영을 위하여 설비 특성 및 시운전 결과를 반영하여 다음과 같은 운전 및 정비기준을 수립하였다.

- 1) 운전조작 절차서
  - 상시 운전조작 절차
  - 비상시 운전조작 절차
- 2) 설비고장시 복구 절차서
  - M.Tr 및 GIS 등 기기별 복구 절차서
- 3) 순시점검(운전) 기준
  - 점검주기, 점검방법
  - 수시점검시 이상판정 기준
- 4) 기기점검 및 정비기준
  - 정비주기, 정비내용 등
  - 부속품 대체 주기 및 기기별 이상판정 기준

### 3. 결론

국내 최초의 765kV변전소인 신서산 및 신안성 S/S의 변전설비에 대하여 2001년 12월 부터 2002년 5월 까지 주요기기 및 각종 시스템의 성능을 검증하고 운전 원에 대한 운전능력을 배양 하기위하여 시운전을 시행하였다.

시운전을 통하여 문제점을 사전 처리 함으로써 765kV 최초가압시 예측하지 못한 고장으로 발생 할수 있는 계통동요 및 최신 자동화 시스템 적용에 따른 운전원의 인적실수 예방등 성과가 있었으며 시운전 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 765kV 신안성 변전소의 주변압기 경우 1상 2 탱크 Type 이기때문에 OLTC Tap 조작시 좌·우 탱크 간 순환전류가 흘러 주변압기 보호반의 61T계전기가 동작, 시운전 중에 M.Tr이 Trip되는 고장이 발생하여 보호계전기(61T)를 재설정 하여 운전 하고있다.

둘째, 765kV 신서산 변전소의 800kV GIS Spacer에서 지락고장이 발생하였으며 교체 후 정상 운전을 하고 있다.

셋째, 765kV 송전선로 인출용 Composite Bushing 단자부에서 코로나가 심하게 나타나는 현상이 있었으나 구조를 개선(셸드링 추가설치) 하여 코로나 발생을 현저히 감소 시켰다.

넷째, 765kV 설비의 각종 보호계전장치(변압기, 모선, 선로)는 디지털형을 채용하고 있으며 보호계전기의 상태, 고장점 표정, 고장기록, 정정치 확인이 가능한 고성능의 계전기 시스템을 확인 하였다. 또한 보호계전기 원격감시가 가능한 보호계전기 모니터링시스템이 설치되어 정확하고 신속한 정보취득을 실현 할 수 있는 성능을 확인 하였다.

다섯째, 765kV 변전소에 시설된 최신 변전설비에 대한 특성 및 운용기술을 충분히 습득함으로써 765kV 변전소 운용 기반을 확보 하였다.

이상과 같이 국내 최초로 수행한 765kV 변전소의 시운전은 관련 연구기관, 기기 제작업체 및 시공업체의 체계적인 지원속에 성공적인 마무리를 할 수 있었으며 765kV 신서산 변전소와 신안성 변전소의 시운전을 통한 문제점 사전 도출 및 운용기술 축적은 765kV 계통의 원활한 운용과 중점적 분야 기술수준 향상에 크게 기여 할 것으로 기대 된다.