

HVDC 변환설비 PT전원 상실방지 자동절체기 개발 및 운영

조규홍\*, 배정현\*, 김도암\*, 임홍배\*, 주광복\*, 김재준\*\*  
 한국전력공사 신강진전력소\*, 광주전력관리처\*\*

The Development and Operation of Autochanger for Prevention of PT Voltage Loss in HVDC Facility

Jung-hyun Bae\*, Gyu-hong Jo\*, Do-am Kim\*, Hong-bae Lim\*, Jai-jun Kim\*\*, Kwang-bok Chu\*  
 Singandjin Power Transmission Branch Office\*, Kwangju Power Transmission District Office\*\* in KEPCO

**Abstract** - 본 논문은 해남-제주간 직류송전설비(HVDC)의 운영 중 변환설비 제어에 사용되는 PT전원 상실에 의한 설비 불시 정지의 해결 방안으로 한국전력공사에서 연구 개발 및 운영 중인 고속도 PT자동절체기에 관한 사항이다. 특히, PT전원 상실시 HVDC가 설비 정지되는 것을 예방하기 위해 반도체소자(TRIAC)를 이용한 고속도 PT 자동절체기를 개발하여 설비 신뢰성을 확보한 내용에 대하여 고찰하였다.

1. 서 론

우리나라의 대표적 관광지인 제주지역의 관광특구로 인한 전력설비 확충의 한계성과 소용량 발전설비의 높은 생산단가에 의해 내재된 전력공급 불안요인을 해소하고 안정적인 전력공급 방안으로 한국전력공사는 초고압 직류송전설비인 HVDC(High Voltage Direct Current)를 '92년 공사를 시작으로 '98년 상업운영중이며 현재 제주 전력 수요의 약 40%를 담당하고 있다. 또한 변환설비의 운영으로 제주도 자체발전비용과 비교시 연간 1300억원의 발전연료비 절감효과를 달성하고 있다.

이러한 HVDC 설비의 상업운영 중 05. 05월 설비 제어용 154kV GIS PT전원 상실에 의한 PT전원 미절체로 설비 정지가 발생된 사례가 있다. HVDC #1,2Pole 모두 154kV #1모선 PT전압 Source를 사용하여 운전 중인 상태에서 AC #1모선전압 Source 상실되어 정류실패로 인한 보호계전기 동작으로 설비정지가 발생되었다. 이와 같은 PT 미절체 고장에 의한 변환설비 정지로 제주지역 광역 정전이 총 3회 발생되었다.<sup>[1]</sup>

현재 HVDC 제어용 PT전원 구성은 한 모선 PT 전압 상실시 건전 PT로의 절체가 불안정하고 신속한 절체가 불가능하여 설비 안정적 운영에 지장을 초래하고 있다.

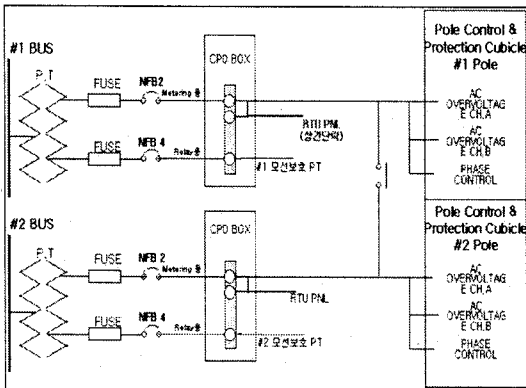


그림 1. HVDC 제어용 PT Block Diagram.

2. 본 론

2.1 HVDC 제어용 PT 구성

HVDC 154kV GIS PT구성은 EMS RTU용 PT회로와 HVDC 제어용 PT회로로 되어 있으며, 현재 변환설비 운전시 설비제어·보호를 위한 PT전원 Source는 한 모선(#1Bus)에서 공급받고 있다. PT전원 이상발생시 절체되는 조건은 BUS-TIE CB 및 관련 DS상태가 절체조건(한가지 조건)에 부합될 경우에만 가능하도록 설계(제작사, AREVA)되었다.

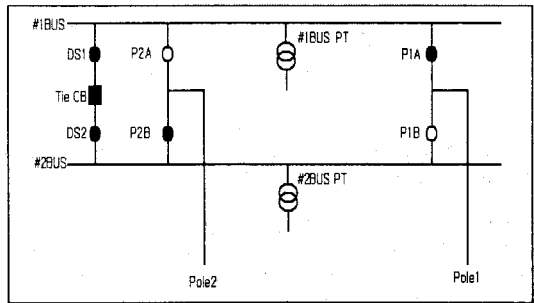


그림 2. 해남변환소 154kV GIS PT 구성

#1Pole	#2Pole	BusTie CB	양 Pole PT
P1A(1DS-ON)	P2A(1DS-ON)	ON	#1Bus
		OFF	
P1B(2DS-ON)	P2B(2DS-ON)	ON	#1Bus
		OFF	
P1A(1DS-ON)	P2B(2DS-ON)	ON	#1Bus
		OFF	
P1B(2DS-ON)	P2A(1DS-ON)	ON	#1Bus
		OFF	

( ON : 현재상태 OFF : #2PT운전조건 )

표1. 해남변환소 154kV GIS PT 절체조건

2.2 PT 전원 상실시 HVDC 고장내용 분석

06. 05. 24일, HVDC 변환설비 운전 중에 해남변환소 154kV GIS #1BUS PT 2차회로의 NFB에 Trip이 발생되어 전압 상실에 의한 HVDC 제어불능으로 설비정지가 발생되었다. 고장내용을 분석하면 변환설비 보호 및 제어설비로 공급되는 PT전원은 AC/DC 정류를 위한 점토 신호 발생 기준요소로 사용되며, 동 요소 상실시 밸브실에서 정상적 점호제어 기준치를 상실하게 되어 정상정류

가 불가능하게 됨으로써 HVDC 설비정지가 발생하게 되었다.

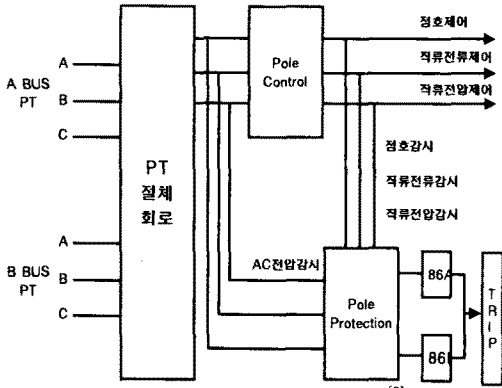


그림 3. PT 전원 인가 Block Diagram..<sup>[2]</sup>

### 2.3 기존 절체시스템의 문제점

현재 HVDC 시스템에서는 PT 전원상실시 자동 절체 방식의 부적정으로 설비신뢰성이 저하되고 있다. 현행 PT절체 조건 및 동작특성을 보면 정상 운전 상태에서 #1, 2Pole 모두 #1BUS PT전원을 입력으로 사용하고 있으며, AC측 154kV 모선 절체시 절체시간 지연 및 PT 2차측 고장시 자동절체 불가로 PT 전원이 상실되어 HVDC 제어 및 보호용 PT 전원 소멸로 인한 DC 과전압 발생으로 설비가 정지된다. 또한 자동절체 시간이 제작사 권고기준 50ms보다 길어(현 절체시간 : 60ms) 자동절체가 무의미하며, 변환설비 양 Pole Control용으로 #1 모선전압을 공용 사용하고 있어 #1모선전압 상실시 양 Pole 고장 가능성이 내재되어 있는 상태이다.

### 2.4 고속도 PT 자동절체기 개발

기존 PT 절체시스템의 절체회로 불안정 및 긴 절체시간을 개선하기 위해 반도체(TRIAC) 소자를 이용한 고속도 PT 자동절체기를 개발하였다. 고속도 PT 자동절체기는 기존의 BUS-TIE 및 관련 DS운전 조건만족시만 절체(절체시간 : 60ms)되는 것을 개선하여 반도체소자(TRIAC)를 이용한 무접점 절체회로로 구성됨으로써 해당 PT전압 상실시 건전 PT로의 고속도 자동절체(절체시간 : 20ms)가 가능하게 되었다.

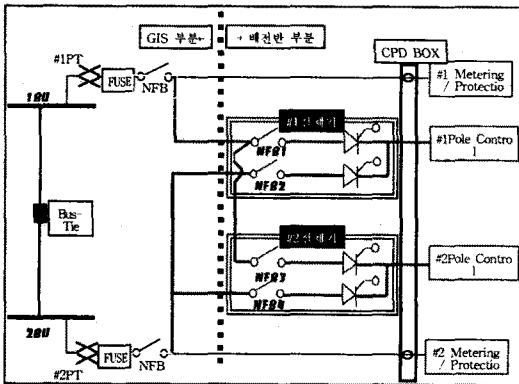


그림 4. 고속도 PT 자동절체기 구성도

#### 2.4.1 고속도 PT자동절체기 동작원리

고속도 PT자동절체기의 동작원리는 다음과 같다. 절체기의 자동모드 선택시 #1PT전원 및 #2PT전원이 모두 정상일 경우 #1PT 전원출력을 내고, 전원측 3상 전원이 동시 상실될 경우 #2PT 전원으로 자동절체되며, #1PT

전원이 회복되면 수동복귀 된다. 부하측 고장에 의한 3상전원이 차단(3상 NFB 동작)될 경우에는 #2PT 전원으로 자동절환되며, #1PT 전원이 회복되면 수동복귀 된다. 수동모드 선택시 #1PT 전원 및 #2PT전원을 운전자입의로 선택하여 수동절환이 가능하다. 고장시 비상운전의 경우 STATIC SWITCH 고장 및 수리를 위해 비상 바이패스 시킬 수 있는 스위치(NFB)가 설치되어 있다.

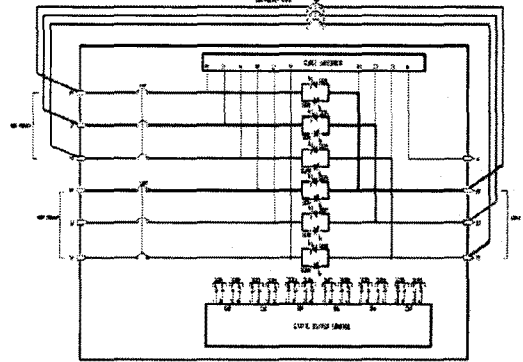


그림 5. PT절체기 내부회로도

### 2.4.2 PT 자동절체회로 구비조건

#### 2.4.2.1 절체조건

PT 자동절체기의 절체조건으로는 모선보호 동작(B/F로 인한 동작)시 건전 PT로 자동절체되며, 모선절체 조작시 건전PT로 자동(또는 수동)절체된다. 또한 절체기 2차 부하측 고장시 자동절체되며, 전원측 단상 지락, 상간 단·지락 고장시 무절체 조건으로 구성된다.

구 분	#1BUS PT	#2BUS PT	공급 PT	비 고
평 상 시	정상	정상	#1PT	
자동절체	비정상	정상	#2PT	#1→#2
수동절체	정상	정상	#2 → #1PT	#2→#1

표2. PT 절체조건

#### 2.4.2.2 PT 전압 검출방식

PT 단상전압 검출방식(개별적으로 각상 전압 검출)은 각 상별 저전압 검출시 예비 PT로 절체되는 방식으로 계통고장시도 빈번한 절체동작을 수반하게 된다. 반면 3상전압 검출방식은 각 상전압 동시 저전압 검출시 예비 PT로 절체되는 방식으로 외부고장시와 내부고장시 구분이 가능하다.

#### 2.4.2.3 PT절체기 보호협조

PT 절체기 보호협조는 외부계통 고장시 무절체하는 방식으로 즉, 계통 1상 지락, 상간 단·지락시 무절체되며, 단, 3상 단·지락시에는 절체(전체 고장의 5%이하)되는 방식이다. 내부고장시에는 PT 2차와 TRIAC 사이에 3상 전압검출이 가능한 3상 NFB를 설치하여 절체기 Load측 단상지락 또는 상간 단락 고장시 3상 NFB차단으로 3상 저전압 검출이 가능하다.

#### 2.4.2.4 PT절체기 보호방식

PT 2차와 TRIAC 사이에 Fuse를 설치하여 경보회로를 구성하게 되면 절체기 2차측 PCB카드 소손 등 고장 검출이 가능하나 계통고장시 빈번한 절체동작이 수반되고, Fuse 용단시간이 길어 제어계통에 파괘형 입력으로 제어계통이 불안정하며, Fuse 용융시 전압 불안정으로 단상 검출식 적용이 곤란한 단점이 있다. 반면에 PT 2

차와 TRIAC 사이에 3상 NFB를 설치하여 경보회로를 구성하게 되면 절체기 2차측 PCB 카드 소손 등의 고장 검출 기능을 하게되며, 내부고장과 계통고장의 구분 절체가 가능하고, 내부 회로 고장시에도 3상 동시차단이 가능하여 2차 Load로 회귀되는 전압을 차단하는 것이 가능하다.

#### 2.4.2.5 PT 절체조건 설정(정정치)

PT절체조건을 3상전압 동시 90%이하 시 절체되는 조건으로 정격전압(63.5V)의 90%인 50.8V로 설정하여 외부 계통전압 동요에 절체되지 않고 제작사 권장 절체시간(50ms)에 만족한 20ms이내 절체 가능하도록 설정하여 운영중이다.

시간(ms)	0	10	20	30	104
3상 전압(V) (상전압중 최대)	63.5	53.48	47.8	43.1	16.65
정격전압대비 감소분(%)	100	84.2	75	67.8	26

표3. #1모선 PT전압 감소율(모선보호·모선절체시)

#### 2.4.3 PT 절체기 개선내용

고속도 PT 자동절체기 개발로 기존 PT절체시스템을 보완·수정하여 절체시스템의 신뢰성을 향상시켰다. 기존 절체시스템상의 #1모선보호 동작(B/F로 인한 동작포함)시 PT절체조건이 없는 것을 개선하여 건전 PT로 20ms이내(제작사 권장 : 50ms) 절체가 가능하게 되고, 모선절체 조작하는 경우 건전 PT로 자동(또는 수동)절체시 기존 60ms내 절체되는 조건에서 20ms내 절체되는 게 가능하게 되었다. 또한 절체기 2차 부하측 고장시 기존에는 PT절체가 불가능 하였으나 3상 NFB 동작으로 3상 무전압 검출이 가능하여 자동절체 되며, 전원측 단상 지락, 상간 단·지락 고장시 기존에는 PT절체가 불가능 하였으며, 새로운 PT절체시스템으로는 3상 PT 전원 동시 90%이하 검출시 자동절체 되는 것이 가능하다.

#### 2.5 고속도 PT 절체기 실증 및 현장 적용 시험결과

'05. 07월 시제품을 제작하여 3차례의 실증 시험과 '06년 HVDC 연차점검시 현장에 적용하였다. 실증 및 현장 적용시 모선보호 동작에 의한 PT전원 자동절체 Test, 모선 절체조작시 건전 PT로 자동(또는 수동)절체 Test, 절체기 2차측 고장시 자동절체 Test, 전원측 단상 지락, 상간 단·지락 고장시 무절체(전압 90%이하 시 절체) Test를 시행하였다. 이와같은 항목의 시험결과는 모두 제작사 권장 절체시간 50ms에 만족하게 되었다.

NO	시험항목	검사기준	절체 시간	결과
1	절체기 입력단 1상 분리	#1PT-#2PT 자동절체	6ms	만족
2	절체기 #1NFB 개방시	#1PT-#2PT 자동절체	6ms	"
3	절체기 #1PT 수동절체시	#1PT-#2PT 수동절체	1ms	"
4	절체기 #2PT 수동절체시	#2PT-#1PT 수동절체	1ms	"
5	BUS-TIE CB 개방	#1PT-#2PT 자동절체	7ms	"
6	BUS-TIE CB 개방 (#2BUS에 SC 운전중)	#1PT-#2PT 자동절체	9ms	"
7	PT 전압강하시(90%)	#1PT-#2PT 자동절체	0ms	"

표4. 고속도 PT 자동절체기 시험결과

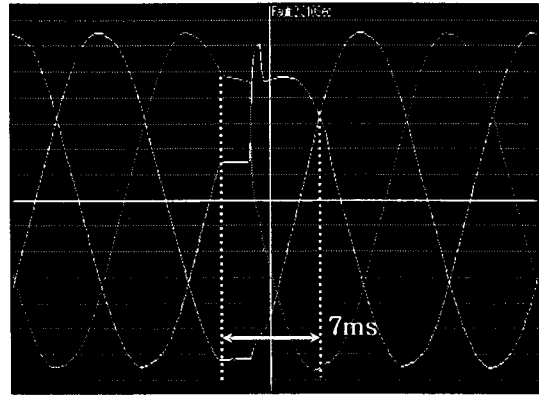


그림 6. BUS-TIE CB 개방시 절체과정

### 2.6 고속도 PT 절체기 적용결과

2.6.1 변환설비 불시정지 예방으로 발전연료비 절감  
고속도 PT자동절체기 운영에 의한 HVDC 설비 신뢰도 향상으로 변환설비 불시정지 예방 및 점검을 위한 불필요한 휴전감소로 연간 총 4억원의 제수도 발전연료비 절감효과를 달성하게 되었다.

- 1회 불시정지 발생시 : 연료비용 3.6억원('05년기준)
- 1회 휴전작업 발생시 : 연료비용 0.45억원(3H기준)

#### 2.6.2 변환설비 신뢰도 향상 및 기술자립

고속도 PT 자동절체기 개발을 통해 제수도 전력수요의 40%를 담당하는 해남~제주간 변환설비 신뢰도를 향상시켰으며 모선전압 상실로 인한 변환설비 불시정지를 해소하고 설비 유지보수의 편의성을 증대시켰다. 또한 변환설비 운영경험을 통한 설비 시스템 개선 및 국산화로 HVDC 운영기술력 향상에 크게 기여하였다.

## 3. 결 론

제주지역의 안정적인 전력공급 방안으로 운영중인 HVDC 설비의 운영상 문제점을 해결하기 위해 개발한 고속도 PT 자동절체기 시스템에 대해 정리하였다. 고속도 PT 자동절체기 시스템은 기존의 PT 절체기의 절체조건을 개선하고 무접점 반도체회로(TRIAC)를 사용함으로써 설비신뢰성을 향상시키고 있으며, 금번 개발한 절체시스템은 다른 전력설비에 확대 적용이 가능하여 국내의 관심을 제고시키면 관련 설비에 확대적용이 가능하다. 이러한 국내기술에 의한 HVDC 설비를 개선함으로써 HVDC 운영기술력 자립 및 진화에 크게 기여하게 되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] C.K.Kim, "HVDC DC Protection", HVDC Seminar, P.71, 2001.06
- [2] S.I.Lee, J.W.Yang, J.W.Seo, "PT Selection", The Guide book for HVDC Operator, P.101, 2005.11