

## 제주-해남 HVDC 고장사례 분석

전명렬, 이종훈  
한국전력공사

### The analysis of faults in Jeju-Haenam HVDC System

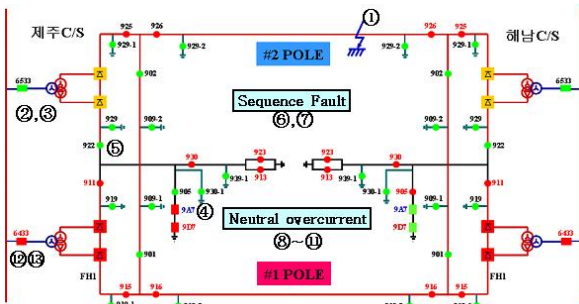
Jeon Myeong-ryeal, Lee Jong-hweon  
KEPCO

**Abstract** - 2006. 04. 01 제주-해남 간 HVDC #2Pole 케이블 고장시 NBGS Sequence Fault로 인해 HVDC #1,#2 Pole 모두 운전 정지된 사례의 원인을 분석하고자 한다.

#### 1. 서 론

##### 1.1 고장 개요

제주-해남간 HVDC 시스템이 Bipole 운전 중 #2Pole 해저케이블 손상으로 #2Pole은 정상적으로 운전정지 되었으며 #1Pole로 Transfer 진행 중 NBGS Sequence Fault 발생으로 #1,#2Pole 모두 운전정지 됨.



[그림1] 해남-제주 연계선 고장 계통도

##### 1.2 제주 SER(Sequence Event Recorder) 동작사항 검토

- ◎ 10 : 36 : 06 000 Bipole 155MW(#1:75.5, #2 75.5MW)
- ① 10 : 36 : 06 649 #2 해저케이블 고장 발생
- ② 10 : 36 : 06 657 #2 Pole AC 보호계전기 동작
- ③ 10 : 36 : 06 687 #2 Pole 1차 차단기 개방
- ④ 10 : 36 : 06 709 N.B.G.S AC 차단기 투입(고장전류 방지)
- ⑤ 10 : 36 : 12 479 #2 Pole 중성선 단로기 개방(고장개소분리)
- ⑥ 10 : 36 : 12 671 #2 Pole 제어에러 발생
- ⑦ 10 : 36 : 12 686 #2 Pole 제어에러 제거
- ⑧ 10 : 36 : 16 704 #2 Pole 중성선 과전류 경보 1단계 동작
- ⑨ 10 : 36 : 17 335 #1 Pole 중성선 과전류 경보 1단계 동작
- ⑩ 10 : 36 : 26 296 #2 Pole 중성선 과전류 Trip 2단계 동작
- ⑪ 10 : 36 : 26 313 #1 Pole 중성선 과전류 Trip 2단계 동작
- ⑫ 10 : 36 : 26 321 #1 Pole AC 보호계전기 동작
- ⑬ 10 : 36 : 26 358 #1 Pole 1차 차단기 개방

#### 2. 본 론

##### 2.1 원인규명

##### 2.1.1 한전 및 제작사 원인규명 합동회의 실시

- (1) 일시 및 장소 : 2006. 05. 02 (화) 16:00~18:00, 제주변환소
- (2) 참석자
  - 한 전 : T/F 팀장 전명렬 외 4명
  - AREVA : ANDY P. NOLAN 외 1명

##### (3) 회의 내용

- DC 케이블 보호 및 제어 Scheme 적정성 토의
- NBGS<sup>1)</sup> DC 차단기 지연차단 원인 및 대책 토의
- NBGS DC Sequence 점검 및 시험방법 협의
- 기타 기술지원 사항 토의

##### (4) 회의 결과

- '06. 4. 01 고장 현상 파악(SER, DTR, MPM<sup>2)</sup> 등)
- NBGS 동작 설계 기준 제출 요구(한전)
- NBGS 동작 시험 실시(한전, 제작사 합동실시)

##### 2.1.2 DC 케이블 보호 및 제어 Scheme 적정성 검토

##### (1) DC 케이블 보호 Scheme 검토 ⇒ 양호함

1단계	① DC 케이블 고장 → #2 Pole 1차 차단기 개방
	○ 동작계전기 : DC 케이블 Fault Relay ○ 동작 원인 : DC 전압 182.5kV → -92kV 이하 감소
2단계	⑧ 중성선 과전류 Level 1 동작 → 경보
	○ 동작계전기 : Neutral Bus Overcurrent Relay ○ 동작 원인 : DC 전류 10A 이상 10초간 지속
3단계	⑩ 중성선 과전류 Level 2 동작→#1Pole 1차 차단기 개방
	○ 동작계전기 : Neutral Bus Overcurrent Relay ○ 동작 원인 : DC 전류 20A 이상 20초간 지속

##### (2) NBGS Sequence의 적정성 검토 ⇒ 부적합

- 고장개소 분리를 위해 NBGS의 AC 차단기를 투입하여 #2 Pole 케이블 전류를 5A이하로 유지 후 #2 Pole측 단로기(922)를 개방하고
- 정상적인 단극운전을 위한 NBGS DC 차단기(9D7)의 개방 제어 명령을 수행 중 150ms 이내에 DC 차단기 개방신호가 미 입력되어 Sequence Error 가 발생함.
- Sequence Error가 발생되면 NBGS의 AC, DC 차단기 개방 여부에 관계없이 모두 투입되도록 제어 명령이 수행되고, #1,#2Pole 운전정지 된다.

##### ☞ NBGS 제어 Scheme 흐름도

1단계 (성공)	① DC 케이블 고장 → NBGS AC 차단기 닫힘
	○ 동작 조건 : DC 전압 -182.5kV → -92kV 이하 감소
	○ 정상 동작 : 100ms 이내 동작
2단계 (성공)	⑤ 중성선 단로기(922) 개방
	○ 동작 조건 : 중성선 전류 50ms 동안 5A 이하 유지 ○ 정상 동작 : 12ms 이내에 개방

1) NBGS (Neutral Bus Grounding Switch) : 중성선 접지 개폐기  
2) SER(Sequence Event Recorder), DTR(Data Trigger Recorder)  
MPM(Master & Pole Monitor) : 고장기록장치

3단계 (실패)	★ NBGS DC 차단기 개방
	○ 동작 조건 : 중성선 단로기(922) 개방 상태 ○ 정상 동작 : 150ms 이내에 개방되어야 함
4단계	⑥ Sequencing Error 발생
	○ 동작 조건 : NBGS DC 차단기 150ms 이상 미개방
5단계	★ NBGS DC 차단기 투입
	○ 동작 조건 : Sequencing Error 발생 ○ 정상 동작 : 100ms 이내에 투입
6단계	★ NBGS AC 차단기 투입 및 #1,#2Pole 운전정지
	○ 동작 조건 : Sequencing Error 발생 ○ 정상 동작 : 100ms 이내에 개방

☞ Sequence Fault 발생조건

- ① Electrode line의 DS의 Open/Close 신호가 불일치
- ② NB(Neutral Bus) DS의 Open/Close 신호가 불일치
- ③ Common Neutral Ground 과전류 신호가 기준시간 초과
- ④ DC NBGS의 Open/Close신호가 불일치
- ⑤ Pole Neutral U/C Level 신호가 불일치
- ⑥ AC NBGS의 Open/Close신호가 불일치
- ⑦ NB 단로기의 Open/Close 신호가 기준시간을 초과

2.1.3 DC Cable 고장시 NBGS 동작 제작사 합동 시험

- (1) 시험 방법
  - Pole Differential H/L Test 통한 NBGS 동작 Sequence 점검
  - NBGS 구성 기기별 동작 시간 측정
- (2) 시험 일시
  - 제주변환소 : 05. 02(화) ~ 05. 06(토),  
해남변환소 : 05. 07(일) ~ 05. 08(월)
- (3) 시험 결과
  - 중성선 단로기(89 NP1, 2)개방 시험 : 정상
  - NBGS AC 차단기(57EF) 투입 시험 : 정상
  - NBGS AC 차단기(57EF) 개방 시험 : 정상
  - NBGS DC 차단기(72EF) 투입 시험 : 정상
  - NBGS DC 차단기(72EF) 개방 시험 : 설계 및 기준치 초과

구 분	DC CB(72EF)		시험결과	비 고
	설계	기준 시험		
제 주	#1 Pole	139.0	정상	※설계, 기준 제작사 제공
	#2 Pole	153.1	기준치초과	
해 남	#1 Pole	128.0	정상	
	#2 Pole	131.0	정상	

※ 제주 #2 Pole의 경우 기준시간 초과와 정상을 반복 발생하여 Sequencing Error가 빈번하게 동작 됨.

2.1.4 NBGS DC 차단기(72EF)개방 제어회로 설계 검토

- 검토 결과 ⇒ 부적합
- 차단기의 기계적 접점(172-1)을 이용하여 보조계전기 (172XB)를 여자하고 보조 계전기 접점을 DC 차단기 개방 신호 수신용으로 사용하여 Pole Control로 Feedback되는 시간을 약 50ms 이상 지연됨.

2.1.5 NBGS DC 차단기(72EF) 미 개방 원인 검토

(본 건은 #1Pole Trip과 직접관계 없음)

- DC 차단기 미 개방 원인
- DC 차단기 개방지연에 따라 Sequencing Error가 발생하더라도 DC 차단기는 개방 후 다시 투입되어야 하나 급변 고장에서는 DC 중성선 전류가 지속된 것으로 보아 DC 차단기가 개방되지 않은 것으로 판단됨.
- DC 차단기의 부 동작 가능성
  - DC 차단기의 원격 및 현장 조작시험을 통해 차단기 상태를 점검하였으나 전 기적, 기계적으로 문제점 없음.

- DC 차단기 개방회로의 Klipon Ry(수은계전기)는 비여자 상태에서 "a"접점 오동작 사례가 있으나, 회로에 사용된 접점은 여자 시 "a"접점으로 부 동작 가능성이 적지만 접점 접촉저항 측정 결과 0.5Ω으로 예비 접점에 비해 0.3Ω이 높은 상태임.
- DC 차단기 개방 제어 명령 실패 가능성
- DC 케이블 고장 시 동작되는 NBGS 동작 Sequence는 EPLD<sup>3)</sup>로 구성되어 있어 점검이 어려우나, 현장시험 시 모두 정상 기능으로 확인됨.
- 부동작 원인 추정
  - 상기의 DC 차단기 부동작 가능성과 개방 제어 명령 실패 가능성을 제작사와 합동으로 검토한 결과 Klipon Ry의 여자 시 "a"접점 접촉저항 불량으로 DC 차단기 개방이 실패할 가능성이 높은 것으로 판단됨.

2.2 문제점

- (1) NBGS DC 차단기 동작 상태 Feedback Time 설계 부적합
  - 차단기 개방회로의 오차를 고려한 Feedback Time이 설계되어야 하나 제주 #2 Pole의 경우 초과되거나 매우 짧음.
- (2) DC차단기 개방회로 설계 부적합
  - DC차단기 개방 신호 수신용 접점을 보조계전기에 의한 접점을 사용하여 Sequence Error 발생 가능성 상존.

3. 결 론

3.1 현장 조치

- (1) NBGS DC 차단기 동작 상태 Feedback Time 변경
  - Feedback Time 재설계 및 EPLD 12개 변경(제작사)

구 분	DC CB(72EF)		비 고
	변경전	변경후	
차단기 개방 시간	150ms	300ms	변경 후 시험완료
차단기 투입 시간	700ms	800ms	

- (2) DC차단기 제어신호용 차단기 접점 변경
  - 보조계전기 접점 ⇒ 차단기 자체 접점(한전)
- (3) 변환관련 종사자 현장 교육 실시
  - NBGS 동작회로 및 Sequencing Error 발생 조건 등
- (4) 광신호 감쇄용 스페이스 교체
  - BOD 경보 해소

3.2 기타

- 연차점검 방법 및 점검항목에 대한 재정비
- 연차 점검 시 제작사 기술자 초청으로 점검기술 지원
- 단순정비에서 보호제어를 포함하는 종합점검 실시

3) EPLD(Erasable Programmable Logic Device) : 매우 복잡한 논리 구성을 하나의 칩에 구현하는 장치