

발전플랜트의 전력변환기 고장사례 분석

한 석 우
국제대학

An analysis about failures of the power converter in power plant

Seok Woo Han
Kookje College

ABSTRACT

The failures in the power plant can lead to a dangerous situation according to the demand and supply of the electric power. The failure times of the domestic plant happens very often, and it has been reported as a significant loss by the power sales. Therefore, the power plant is demanded to maintain very well in order to produce a high quality of power. The rate of failures by the electricity facility is filled with 40[%] among the trouble in the failures of the power plant. The failures of power plant can cause serious accidents, magnificent losses, and chaos in our society. So, we require a significant plan to reduce such a serious problem. In this paper, I analysis the failure case of power converter in power plant, and I offer the better solution to be able to prevent the failures from power plant.

1. 서론

발전소의 고장정지는 전력 수급에 위협 상황을 초래할 수 있다. 현재 국내 발전소의 고장정지 사고건수 및 이로 인한 전력 판매 손실액은 상당한 것으로 보고되고 있다.

이것은 1970~1980년대에 건설된 발전소의 노후화가 주원인으로, 설비에 따라 다르지만 보통 화력발전소의 설계수명은 평균 30년 정도로 보고 있다. 또한 가동원전 증가와 더불어 설비 노후화 등의 영향으로 원전고장 발생 건수 중 70[%] 이상이 2차 계통에서 발생되고 있다.

잡은 원전 고장은 사회적 측면에서 “체감 안전성” 수준 저하를 가져오고 기술적 측면에서는 “위험 증가” 요인으로 작용되고 있다.

발전소가 노후화 될수록 경년변화(aging)가 커져서 양질의 전력생산을 위해서는 더 높은 정도의 관리가 필요하다. 발전소 고장정지 중에서 전기설비에 의한 고장정지 비율은 40[%] 정도를 차지하고 있다.

이러한 발전소 고장은 산업단지의 대형사고 유발, 막대한 생산 손실 및 큰 사회적 혼란을 불러올 수 있으므로 충실한 대책이 요구된다.

따라서 본 논문은 발전플랜트에서 전력변환시스템(발전기, 여자시스템, 무정전전원공급장치)에 대한 고장 사례를 분석하고, 그 대책들을 제시하여 고장정지를 줄이는데 기여코자한다.

2. 본론

2.1 발전기(generator)

발전기의 주 기능은 전력생산이며, 부 기능은 계통전압 제어에 필요한 무효전력을 제어한다. 그리고 부하로서 무효전력을 공급 하거나 흡수하는 기능을 가지고 있다. 무효전력(reactive power)은 유효전력의 흐름을 원활하게 하는 유효유 작용을 하며, 타 종류의 에너지를 필요치 않는다.

사람이 달리는 기차에 올라탈 때 상호간에 방향이나 속도 또는 위치가 맞지 않으면 사고로 이어진다. 발전기도 마찬가지로 전압의 상 회전, 주파수 또는 위상이 일치되지 않은 상태인 비동기 상태에서 계통 병입이 이루어져서 큰 고장전류가 전력계통으로 부터 발전기와 변압기에 유입되어 전력설비가 소손된 경우가 있다. 비동기투입(asynchronous closing) 고장은 3상 단락 고장과 유사하며, 표 1의 사례와 같이 고장전류는 발전기 정격 전류의 수배에 달한다.^[2]

표 1. 비동기투입 고장시 고장전류 분석

발전기 정격	상별	고장전류(A)	비고
400[MVA] 12,085[A] 16[kV]	A	71,312	발전기 정격전류의 약 6배
	B	68,460	
	C	68,680	
160[MVA] 6,123[A] 15[kV]	A	38,880	발전기 정격전류의 약 7배
	B	43,560	
	C	40,420	

비동기투입 고장이 발생하면 발전기와 전력계통간의 전압 위상 차로 인해 큰 고장전류가 발생되고, 발전기는 AVR(automatic voltage regulator) 및 조속기의 자동운전을 통해 발전기 단자 전압이 계통전압과 일치되도록 응동하게 된다.

비동기투입 고장 발생시 후비보호계전기기가 동작되기 전에 큰 고장전류에 의해 승압 변압기 내부권선이 소손된 사례도 있다. 따라서 비동기투입고장이 발생했을 때 신속하게 고장을 감지하여 고장을 제거할 수 있는 보호시스템이 절대적으로 필요하다.

2.2 여자시스템(excitation system)

원동기에 의해 구동되는 상업용 동기발전기(synchronous generator)는 기계에너지를 전기에너지로 변환시키는 에너지 변환장치로 회전 계자에 직류전류를 인가함으로써 전기에너지를 얻는 전압원이다. 발전기에 적용되는 여자의 형태는 여자

용 동기발전기가 터빈·발전기 축에 연결된 회전형 여자기, 브러시리스 형태의 여자기, 발전기의 출력을 여자용 전원으로 사용하는 정지형 여자기 등이 있다. 여자시스템(excitation system)은 발전기 계자 권선에 직류전류를 인가하여 발전기 출력 단자 전압을 일정하게 유지 또는 조정한다.

단자 전압 조정을 통해서 전력계통에 발생하는 동요를 억제하여 안정도를 향상시키고, 발전소의 승압 변압기 고압 측인 송전단 전압제어를 통해 전압을 안정시킴으로써 수전단에서의 전력용 콘덴서와 동기 조상기 역할을 하기도 한다.

널리 적용된 정지형 여자시스템은 제어 속응성과 정상전압(ceiling voltage)이 높아 계통의 과도 안정도 향상에는 유리하나 동태 안정도를 해칠 수 있다. 따라서 속응여자방식(quick response excitation system)의 전력동요를 억제하기 위하여 전력계통 안정화 장치(power system stabilizer)를 부가하여 전력계통 안정 운영을 도모하고 있다.

다음은 여자시스템의 고장 사례별 대책을 표 2에, 주요부품의 온도정격을 표 3에 그리고 그림 1에 전력용반도체소자의 열폭주(thermal runaway)에 의한 소손 상태를 보여준다.^[2]

표 2. 여자시스템 고장 사례 분석

고장내용	원인	대책
제어카드 고장	단로기 개폐서지 유입	- 전원 입력부에 SPD 설치 - 전원접지와 신호접지 분리 - 제어케이블 편단접지 - 특성변화 확인
	납땀부위 결함	- 납땀 크랙 부위 보수 - 열팽창 결함 부위 수정
SCR 및 다이오드 고장	소자의 열폭주 발생	- 소자의 열적 임피던스 최소화 - 소자 설치 표면 가공 및 청결 - 적정 방열기 선택 - 교정된 토크렌치 사용 - 전도성 그리스 사용 - 서지억제 - 절연저항 확인
커패시터 고장	- 경년열화 - 내부압력 상승 - 고조파 유입 - 온도상승	- 경년열화 평가 - 전해커패시터 교체기간 수립 (3년~5년) - 설치 방향(수평, 수직) 확인 - 전압 및 서지내량 확인
기타 소자	경년열화	- 정밀진단 - 교체주기 설정 - 운습도 관리 - 서지억제 - 부식 및 단선 확인

표 3. 주요부품의 온도정격^[1]

부품명	주위온도 30[°C] 시 정상운전 온도[°C]	주위온도 30[°C] 시 정격온도[°C]
전해커패시터	~55	85
교류용 커패시터	~55	85
SCR	~100(케이스별)	130(집합체별)



그림 1. 전력용반도체소자의 열폭주에 의한 소손

2.3 무정전전원공급장치(UPS)

발전소에서 제어, 보호, 안전계통에는 반드시 무정전전원이 적용되어져 있다. UPS는 축전지, 충전기, 인버터, 정지형 절체 스위치, 수동 바이패스 스위치, 전압조정 변압기 등으로 구성된다. UPS 고장은 일반적으로 부품 및 하위계통 고장으로 나타난다. 부품고장은 저항, 퓨즈, SCR, 커패터, 인덕터 및 변압기 같은 분리된 회로 부품의 고장이며, 하위계통 고장은 동기제어, 전류제한기, 부하분담제어 및 관련된 회로기판의 고장으로 발생하는 게이트 점호 제어회로 같은 주요부분의 고장을 말한다. UPS 고장은 발전소가 과도상태를 유발할 때 발생되며, 발전소 안전운전과 매우 밀접한 관계를 가진다.^[1]

절환속도는 4[ms]이하로 하고, 부하측에 상회전 문제를 일으키지 않기 위하여 절환 스위치는 두 전원사이가 5도 이내에서 절환 되도록 한다.

그리고 표 4에 UPS 고장 사례별로 대책을 제시하였다.^[2]

표 4. UPS 고장 사례 분석

고장내용	원인	영향 또는 대책
UPS 기능상실	송전선로 낙뢰 유입으로 소내 전력계통 과도현상 발생	- 원자로 정지 - 안전주입(SI)
	송전선로 차단으로 소내 전력계통의 과도현상 발생	원전의 제어봉 전원 공급 중단으로 원자로 수동정지 시킴
	발전기 정지로 인한 소내 전력계통의 과도현상 발생	주발전기 여자기용 제어반 기능상실
전력용반도체 소자 고장	소자의 열폭주 발생	- 소자의 열적 임피던스 최소화 - 소자 설치 표면 가공 및 청결 - 적정 방열기 선택 - 교정된 토크렌치 사용 - 전도성 그리스 사용 - 서지억제 - 절연저항 확인
커패시터 고장	- 경년열화 - 내부압력 상승 - 고조파 유입 - 온도상승	- 경년열화 평가 - 전해커패시터 교체기간 수립 (3년~5년) - 설치 방향(수평, 수직) 확인 - 전압 및 서지내량 확인 - 냉각장치 가동 - 작동온도는 커패시터 정격온도의 50% 이하로 유지
절환스위치 오동작	- 전력용반도체소자 고장 - 게이트 점호 제어회로 - 서지	- 적정용량의 소자 선정 - 운습도 관리 - 서지억제 - 교정된 토크렌치 사용

3. 결론

상시 고전압으로 운전되고 있는 발전소 전력변환기는 20~30년이 경과되면 절연물 열화 등으로 고장률이 급격히 증가하는 특성(Bath Tube Curve)을 가지고 있다. 따라서 위에서 언급한 내용을 기초로 각 부품의 교환주기를 설계조건, 주위환경에 따라 서로 다르기 때문에 기준 주기표를 작성하여 정기교환을 실시함으로써 발전소의 불시 고장정지로 인한 전력 수급에 차질이 없도록 하여야한다.

참고 문헌

- [1] 한국원자력안전기술원, “원전 안전등급 무정전인버터전원계통에 대한 기술현황 분석”, 한국원자력안전기술원, 2010. 6. 1
- [2] 한국서부발전(주), “2007년도 주요 고장정지 사례집”, 한국서부발전(주), 2008. 5.