

## 발전소 직류 제어회로 과도현상 분석 및 보조계전기 선정 적합성 검토

**선현규, 홍영희**

원자력발전기술원, 한국수력원자력(주)

### A Analysis of DC Control Circuit Transient and a Study of Auxiliary Relay Design Comptability in the Power Plant

Hyun-Gyu Seon, Young-Hee Hong

Nuclear Engineering & Technology Institute, Korea Hydro & Nuclear Power Co.

**Abstract** - All the power generating station require dc auxiliary power systems to operate those dc components that must be available if a loss of ac power occur. Some examples of such components are auxiliary motors, circuit breakers, relays and solenoids. The dc source may be one common battery; one for power and another for control.

Typically, a dc auxiliary power system is designed as an ungrounded system, instead of grounded system, so that a low-resistance ground fault on one of its two polarities will not affect the operation of the system, thus increasing system reliability and continuity of service. A ground detector should provide a high polarity-to-ground resistance so that a single ground fault occurring on the system will not affect the operation of that system.

Sensitive relays have been known to energize momentarily while the cable and capacitive charge to ground shifts[1]. A power station had experienced this kind of incident and performed root cause analysis based on PC based simulation program known as PSpice. This simulation showed adapted relays on the system energize momentarily and design criteria on this relay should be corrected.

#### 1. 서 론

발전소 직류전원 계통은 정상운전 및 사고 시에도 발전을 안전하게 정지시키기 위한 필수 전원으로 매우 높은 신뢰성이 요구되는 계통이다. 이러한 직류(이하 ; DC) 전원은 일반적으로 비접지 방식을 사용하며, 1선 지락 발생시에도 계통이 정상적인 운전이 가능하도록 설계하고 있다. 그러나 설계시 선로에 충전된 정전용량에 의한 영향을 충분히 고려치 않을 경우 민감한 동작 특성을 가지고 있는 계전기는 1선 지락에서도 순간적인 오동작이 발생 할 수 있다. 실제 발전소에서 터빈보호계통 설비 개선시 일부 보조계전기의 동작전압 설계가 적절하게 이루어지지 않아 1선 지락 발생시 보조계전기가 동작되어 발전소가 정지되는 사례가 있었다[2].

발전소 DC 전원 계통은 계전기, 솔레노이드, 보조 전동기 등과 같은 다양한 부하에 전원을 공급하기 때문에 일부 부하의 절연저하로 인한 고저항 접지 상태가 빈번하게 발생한다. 따라서 설계자는 DC 전원 설계시 1선 지락이 계통 기능을 마비시킬 수 있는 단락 사고로 진전되지 않도록 지락검출 장치를 구비하고 적절하게 운영하여야 한다[3].

본 논문에서는 DC 전원 계통 구성 및 설계기준을 검토하고, 실제 발전소 DC 제어회로를 분석하여 1선 지락 과도현상 시 선로에 충전된 정전용량이 보조 계전기 동작에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

#### 2. 발전소 직류전원계통

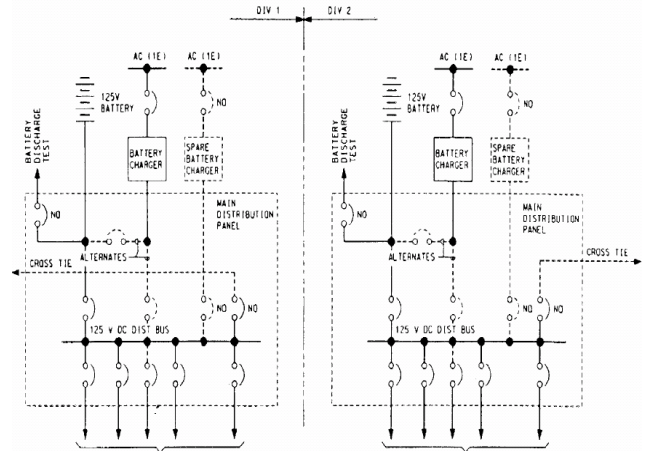
##### 2.1 DC 전원계통 기능 및 구성

원자력발전소에서 DC 전원계통은 필수 전원계통으로 교류전원 상실 사고시에 발전기 베어링 오일펌프, 발전기 수조밀봉계통 오일펌프, 차단기/계전기의 제어전원, 발전소 보호계통의 제어/계측 계통 및 무정전 전원장치 등의 필수부하에 비상전원을 공급한다[1]. DC 전원계통의 주요 구성기기는 그림 1과 같이 축전지, 충전기 및 직류배전반으로 구성되어 있으며, 정격전압은 125Vdc 또는 250Vdc 이다.

##### 2.2 DC 전원계통 설계

원자력 발전소의 DC 전원계통은 안전등급과 비안전 등급 전원으로 구분하여 설계하고 안전등급 DC 전원계통은 그림 1과 같이 계열 별로 분리하며, 충전기에 공급되는 교류전원의 제어전원은 해당 DC 전원 계통 계열에서만 공급한다. 또한 축전지, 충전기, DC 제어반 및 모선을 포

함하는 DC 보조계통은 물리적으로 이격되고 서로 독립성을 유지한다. 아울러 안전등급 DC 보조계통은 단일사고 발생을 가상했을 때에도 안전 기능을 확보 할 수 있도록 충분한 용량, 독립성, 다중성 및 시험성을 갖는다[1].

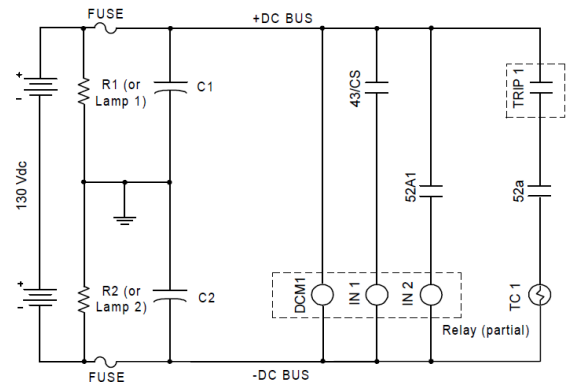


〈그림 1〉 원자력발전소 DC 전원계통

#### 3. 발전소 DC 회로 과도현상 분석 및 보조계전기 선정 적합성 검토

##### 3.1 DC 회로 분석

발전소 DC 회로는 일반적으로 그림 2와 같이 구성되어 있다. 전원 측의 저항 R1과 R2는 공통 접지되어 있으며, 이는 축전지를 대지와 전기적으로 격리하고 기준전위를 제공한다. 축전지를 대지와 전기적으로 격리시키는 것은 DC 회로를 구성하고 있는 선로에서 접지 발생시 계통이 운전 가능한 상태를 유지하도록 하는데 중요한 역할을 하게 된다. C1과 C2는 (+)측과 (-)측에 충전된 정전용량을 표시한 것이다. 일반적으로 발전소 DC 회로의 정전용량은 100~400 $\mu$ F 범위의 값을 갖는다[3].

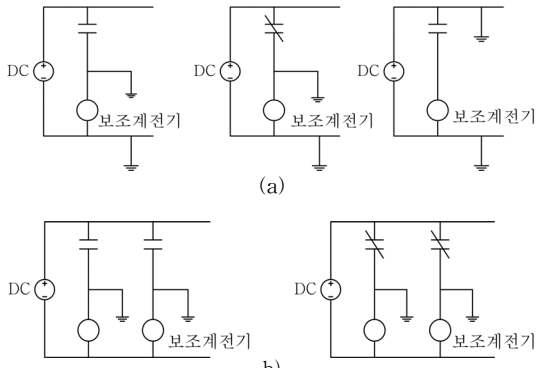


〈그림 2〉 일반적인 발전소 DC 회로

- C1, C2 : 직류 전원계통 정전용량
- R1, R2 : 축전지 센터링 접지저항
- IN 1, IN 2 : 보조계전기
- DCMI : DC 감시 장치

정상운전 중 그림 2의 R1과 R2를 통해 대지간에 흐르는 전류는 동일하기 때문에 축전지 (+)/(-)측 전압은 절반씩 걸리게 된다. 이때 (+)측 선로와 대지간 지락이 발생하면 R1 저항이 단락되면서 (+)측 전압은 0V가 되고, (-)측은 전 전압인 -130Vdc가 걸리게 된다. 따라서 단일 지락고장은 DC 계통에 있는 보조계전기 및 차단기 동작 코일 등이 동작하는데 영향을 주지 않는다.

이처럼 DC 제어회로에서 (+)측 또는 (-)측에 독립적인 비락 발생시는 문제가 없지만 그림 3 (a)와 같이 (-)측 지락과 보조계전기 (+)단자에서 추가적인 지락 발생시 오동작을 유발한다. 또한 그림 3 (b)와 같이 2개소에서 지락 발생시도 보조계전기가 오동작 할 가능성이 있다[1].



〈그림 3〉 DC 제어회로 2개소 접지 발생시 오동작

### 3.2 DC 회로 과도현상 분석

발전소 DC회로에서 빈번하게 발생하는 1선 지락고장은 그림 2의 (+)측 또는 (-)측에서 발생시 R1과 R2를 통하여 회로를 형성하기 때문에 보조계전기 코일 양단에는 전위차가 형성되지 않고 정전용량 C1/C2의 충전 에너지 통로도 되지 않아 동작에 영향을 미치지 않는다. 따라서 DC 회로 과도현상 분석은 그림 2의 43/CS와 IN 1 계전기 사이에서 지락고장 발생시 선로 정전용량에 의한 과도 전압 발생 및 계전기에 미치는 영향을 아래와 같이 Case를 정하여 PSpice로 시뮬레이션을 수행하였다.

- Case 1 ; 선로 정전용량 200μF 적용시
- Case 2 ; 선로 정전용량 미 적용시

시뮬레이션에 필요한 관련 데이터는 실제 발전소에 적용된 설계 자료를 활용하였으며 표 1과 같다.

〈표 1〉 PSpice 입력 데이터 및 설계자료

PSpice 입력 데이터		계전기 데이터[4]	
운전 전압	130Vdc	형식	보조계전기
계전기 저항	3kΩ	Pick-up 전압	58.9V(실측치)
선로 정전용량	200μF	Drop-out 전압	26V(실측치)
전원측 저항	20kΩ	동작시간	30ms

#### 1) Case 1 : 선로 정전용량 200μF 적용 분석결과

그림 2에서 43/CS와 IN 1 계전기 사이에서 지락고장을 발생시켜 시뮬레이션 한 결과 보조계전기 IN 1 양단에 나타난 전압은 그림 4와 같다. 지락고장 지점은 정전용량 C1/C2와 회로를 형성하여 식 (1)의 선로 정전용량에 충전된 에너지를 보조계전기 IN 1 코일에 공급하여 보조계전기 코일 양단의 전압을 순간적으로 64.03V까지 증가시키게 된다.

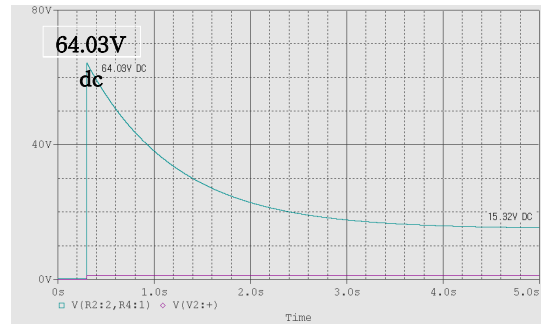
$$W = \frac{1}{2} C V^2 [W] \quad (1)$$

이후 과도 전압은 RC 시정수에 의해 식 (2)와 같이 감소되어 보조계전기 코일저항에 걸리는 분담전압은 약 15V까지 감소한다.

$$V = E_e \left( -\frac{t}{RC} \right) [V] \quad (2)$$

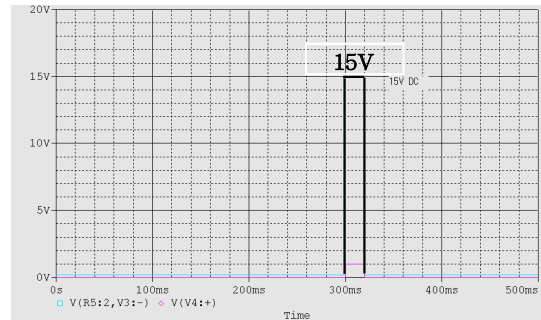
#### 2) Case 2 : 선로 정전용량이 없는 경우의 분석결과

그림 2 회로에서 정전용량 C1/C2 값을 "0μF"으로 하고 Case 1과 동일한 지점에서 약 20ms동안 지락시 그림 5와 같은 결과를 얻을 수 있다.



중측-전압(V), 횡축-시간(Sec)

〈그림 4〉 Case Study 1 분석결과



중측-전압(V), 횡축-시간(Sec)

〈그림 5〉 Case Study 2 분석결과

선로 정전용량이 없는 경우에는 보조계전기 IN 1 코일 양단에 회로 분담 전압만 걸리는 것을 볼 수 있다. 즉, Case 1의 최종 방전 상태와 같은 결과를 얻게 된다. 상기 분석결과를 종합하면 DC 회로접지 시 과도전압 발생은 선로 정전용량 크기에 비례함을 알 수 있다. 따라서 DC 전원계통 설계자는 해당 회로의 선로 정전용량을 정확히 평가하고, 사례 분석을 통하여 적합한 설계 기준을 제시하여야 한다.

### 3.3 DC 회로의 보조계전기 선정 적합성 검토

발전소 DC 회로는 비접지 방식으로 접지고장에 대한 신뢰성을 요구하고 있으나 선로 정전용량에 대한 영향과 1선 지락에 대한 Case Study가 적절히 이루어지지 않을 경우 회로에 설치된 보조 계전기가 오동작 됨을 상기 시뮬레이션 결과로 알 수 있다. 즉, Case Study 1 결과를 보면 1선 지락 고장시 IN 1 계전기 양단에 걸리는 과도 전압이 64.03V로 보조계전기 Pick-up 전압인 58.9V 보다 크게 되어 보조계전기 선정이 적절치 않은 것을 알 수 있다.

## 4. 결론

발전소 직류전원계통의 제어 및 보호회로는 지락 고장 시에도 안정적인 전력공급을 위해 비접지방식으로 설계되어 있다. 그러나 비접지방식이냐 할지라도 선로정전용량 및 선정된 기기의 민감도에 따라 오동작이 발생 할 수 있음을 본 Case Study에서 고찰하였다. 특히, 최근 DC 전원 계통의 제어 및 보호회로에 적용되고 있는 보조계전기들은 동작 속도가 매우 빠르고 민감하기 때문에 선로 정전용량에 충전된 에너지에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있으므로 DC 회로를 설계하거나 개선하는 경우에는 접지고장에 대한 충분한 Case Study를 통하여 적합한 설계기준을 제시하여야 한다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE Std 946 "Recommendation Practice for the Design of DC Auxiliary Power System for Generating Station", 2004
- [2] 김병환, "고리2호기 터빈보호회로 Simulation 및 기술검토", 2008
- [3] Jeff Roberts/Tony J. Lee, "Measuring and Improving DC Control Circuits", 1-5, 1998
- [4] Tyco Electronics, AGASTAT Nuclear Qualified Control Relays, April 2002. [Online]. Available : <http://www.tyco.com>