

## 고정자 차동보호계전기에 관한 연구

**박철원\***, 반우현, 강물결, 이원섭  
강릉원주대학교

### A Study on Stator Differential Protection Relay

Chul-Won Park, Woo-Hyeon Ban, Mul-Gyeol Gang, Won-Seop Lee  
Gangneung-Wonju National University

**Abstract** - 대용량 교류발전기는 전력계통의 중요한 요소이다. 발전기의 사고 중 가장 많이 발생하는 부위는 전기자 권선이다. 보호제어시스템의 효율적인 운용과 향후 차세대 ECMS를 위하여 교류발전기의 보호계전분야에 대한 연구가 필요하다. 해외에서 교류발전기의 단락 및 지락 보호에 관한 Standards들이 제정되었고 발전기의 상세 모델링과 내부권선 사고 모의에 대하여도 계속 연구 중에 있다. 본 논문에서는 고정자의 주보호인 비율차동계전방식의 검출방법, 동작영역 및 특성곡선과 정정치 등을 조사한 후 내부·외부고장의 경우 동작 시뮬레이션을 수행하였다.

작하는데 필요한 차동전류가 비례하여 증가하지 않고 더 많이 증가하므로 외부의 큰 사고에는 둔감하고 경미한 내부사고라도 민감하게 검출할 수 있다. 일반적으로 비율정정은 5~10%로 한다.

#### 2.2 고장 검출 방법

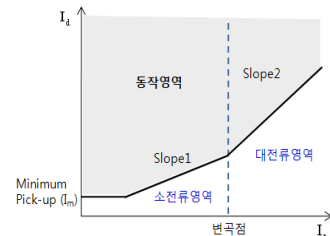
중성점 측의 전류와 발전기 출력단자 측의 전류를 비교하면 검출할 수가 있다. 디지털 차동 보호를 위한 기본적인 판별은 식(1)과 같다 [12,15,16].

$$|I_{e1} - I_{e2}|^2 > K_1(I_{e1} \cdot I_{e2}) \quad (1)$$

여기서,  $I_{e1}$  : 발전기 부하 측 상전류(상 권선의 입력 전류)  
 $I_{e2}$  : 발전기 시스템 측 상전류(상 권선의 출력 전류)  
 $K_1$  : 비율 정정치

#### 2.3 동작영역

고정자 차동 보호계전기의 동작영역은 소전류 영역과 대전류 영역으로 구분된다. 이 중 소전류 영역은 최소 동작치와 Slope1으로 구성되는데, 최소 동작치는 상 권선의 자화전류 등 상시오차를 고려한 것이고, Slope1은 변류기 및 계전기 오차를 고려한 것으로 각 오차요인에 의해 계전기가 오동작하지 않도록 설정한다. 대전류 영역의 Slope2는 발전기 외부 고장시 변류기 포화에 따른 차전류로 인해 계전기가 오동작하지 않도록 동작감도를 낮추는 방향으로 설정된다[12].



〈그림 1〉 고정자 차동 보호계전기의 동작영역

여기서 억제전류는 식(2)와 같고  $I_m$ 은 최소 동작치이고,  $I_N$ 은 계전기 정격전류이다. 소전류 영역 동작 특성은 식(3)과 같고 대전류 영역 동작 특성은 식(4)와 같다.

$$I_R = \frac{I_{e1} + I_{e2}}{2} \quad (2)$$

$$I_{SD} = I_m + (I_R - 0.5I_N) \times K_1 \quad (3)$$

$$I_{LD} = I_m + 2.5 \times I_N \times K_1 + (I_R - 3I_N) \times 1.5 \quad (4)$$

알고리즘은, 먼저 계전신호인 임·출력전류로부터 차전류를 계산하고 순시고장여부를 확인한다. 다음 차전류를 계산한 후에 직류용셋 제거필터와 DFT필터링을 하고 식(1)에 의해 고장을 판별한다. 그리고 최종적으로 비율차동을 계산하여 고장영역에 들어가는냐의 여부를 가지고 트립신호를 내보낸 후 종료한다.

#### 2.4 특성곡선 및 정정치[14~16]

우리나라 표준원전에 적용된 87G 발전기 고정자보호 차동계전기의 특성 곡선을 MATLAB를 이용하여 표시한 것이다. 표 1은 각 회사별로

## 1. 서 론

발전기 내부사고는 송·변전설비 사고에 비해 빈도는 적으나 발전기 용량에 따라 전력계통에 미치는 영향이 차이가 날 수 있으나 그 충격은 매우 크다[1]. 교류발전기의 유지비용과 시간을 고려해볼 때 고정자 권선의 사고가 가장 심각한 사고로 알려져 있다. 이런 사고들은 내부 단락 사고 및 지락사고로 대개 절연파괴와 관련이 있다. 내부 단락사고는 큰 과도한 단락전류에 의해 대단히 심각한 손상으로 발전기를 더 이상 운전할 수 없는 상태로 만들게 되며 궁극적으로는 인근 계통의 붕괴를 가져올 수도 있다. 반면에 지락사고는 그 발생 초기단계에는 전력계통에 가벼운 손상을 주게 되나 오랫동안 방치하여 지속하게 되면 내부 단락사고로 진전될 수 있다[2].

1966년 F.H Last와 A. Stalewski는 디지털 컴퓨터를 전력계통의 보호를 위한 On-Line 모드 사용 가능성을 최초로 제안하였다. 그 이후 송전선로, 변압기, 발전기 및 모선보호를 위한 많은 디지털 컴퓨터 기법이 개발 되어왔다. 1973년 M.S. Sachdev등은 온라인 디지털 컴퓨터 기법과 하이브리드 컴퓨터를 이용한 발전기 차동보호를 제안하였고, 1977년 P.K. Dash 등은 내부 비대칭 사고를 위한 고속기법을 제시하였다. 또 1996년 J. Penman 등은, 여자전류의 고조파를 이용한 회전자와 고정자 권선의 단락회로검출을 제안하였고, 2004년 N.L. Tai 등은 발전기 고정자 지락사고검출을 위한 델타 영상분 전압에 의한 보호기법을 제시하였다. 1999년 A. I. Taalab 등은 인공신경회로망을 이용한 발전기 권선 보호를 수행하였다. 2005년 M. Fulczyk 등은 발전기 고정자권선의 3고조파 전압을 이용한 영향을 연구하였으며, 근래에는 다우비시 Wavelet과 Wavelet 전력을 이용한 기법이 제안되었다[14].

발전소의 핵심인 보호제어시스템은 완성인도방식으로 전량 도입되어 운영되고 있다. 이에 도입된 외산 보호제어시스템의 효율적인 운용과 향후 차세대 보호제어시스템과 전력설비보호감시제어시스템(ECMS)의 개발을 위하여 교류발전기의 보호계전분야에 대한 연구가 필요하다[3,4]. 해외에서는 여러 가지 디지털 보호계전 알고리즘이 제안되었고 또 교류발전기의 단락 및 지락보호에 관한 Standards들이 제정되었다[5~8]. 실제 계통에서 발생하는 발전기 권선사고와 근접하도록 발전기의 상세 모델링과 내부권선 사고 모의에 대하여도 계속 연구 중에 있다[9,10].

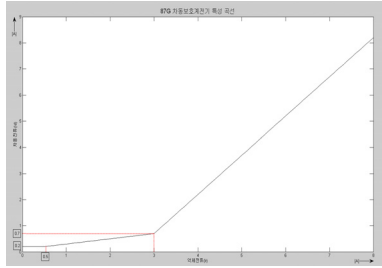
본 논문은 대형 발전기 내부사고 보호를 위한 다기능 IED 시제품 기술 개발 과제의 1차년도 연구의 일환으로 0사의 DGP(Digital Generator Protection)를 Target 계전기로 삼아 연구를 수행하였다. 특히 교류발전기의 주보호 계전기인 고정자 비율차동계전기(RDR : Ratio Differential Relay)의 검출방법, 특성곡선과 동작영역, 정정치 등을 조사한 후 내부 사고 및 외부사고의 경우 동작 시뮬레이션을 수행하였다[15,16].

## 2. 고정자보호를 위한 비율차동보호

### 2.1 비율차동 계전기[11,17]

비율차동계전방식은 외부사고시 2개의 억제코일에 의해 억제도크를 발생시켜 CT의 불평형 부하 및 포화에 기인하는 차동전류에 의해 계전기가 오동작하는 것을 막아준다. 비율차동계전기는 일정비율과 가변비율이 있다. 일정비율차동계전기는 억제전류에 대한 차동전류의 비가 일정하며, 가변비율차동계전기는 억제전류의 크기가 증가할수록 계전기가 동

비교한 87G의 정정치이다.



<그림 2> MATLAB을 이용한 87G 차동보호 특성 곡선

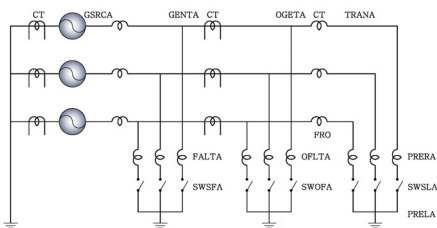
<표 1> 87G 보호계전기의 정정치 조사표

보호계전기	정정값	비고
87G	최소동작치 : $0.05 I_N \sim 0.1 I_N$ 비율특성곡선 : 10%	A사
	최소동작치 : $0.05 I_N$ 비율특성곡선 : 5%	B사
	최소동작치 : 0.14A 비율특성곡선 : 5%, 50%	C사
	최소동작치 : 0.2A 비율특성곡선 : 10%	D사
	최소동작치 : 0.1, 0.15, 0.2, $0.25 I_N$ 비율특성곡선 : 10%, 15%, 20%, 25%	E사

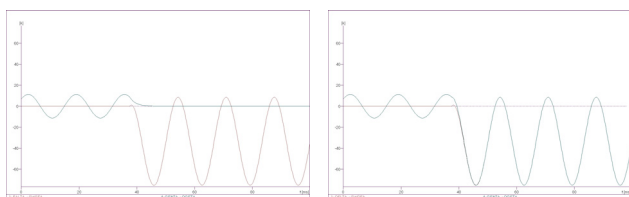
### 3. 사례연구

#### 3.1 ATP에 의한 모델 전력계통

모델계통은 과도상태 해석을 위하여 송전선로, 승압변압기, 부하 및 발전기로 구성하였다. 발전기의 과도리액턴스는 0.33[pu], 정격전압은 13.8[kV], 정격 PF는 0.8[lag], 3상 정격용량은 250[MVA]로 하였고, 송전선로의 임피던스는  $0.8+j0.6$ [pu] 이다[1,3,13].



<그림 3> 모델 전력계통



(a) 1선 내부사고 (b) 1선 외부사고  
<그림 4> 부하전류 및 고장전류

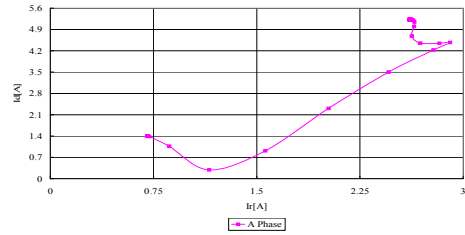
#### 3.2 시뮬레이션

고장발생시점이 0.037503[sec]인 A상 전류의 사고각  $0^\circ$  인 경우, 1선 내부단락사고 모의를 수행한 후, 제안된 기법의 우수성 검증에 위한 종래의 DFT 기반 RDR에 따른 고장관별 궤적이다. x축은 억제전류이고, y축은 차전류이다. 정상상태에서는 억제전류가 0.75와 차전류가 1.4부근에 존재하게 된다. 그런데 고장이 발생하게 되면, 부하전류와 고장전류들이 과도상태가 되기 때문에 억제전류와 차전류도 진동하게 된다. 그림으로부터, 고장발생후 약 2주기 정도 이후 트립동작영역 내로 억제전류와 차전류가 수렴함으로써 내부고장이 인식되어 87G 계전기가 차단기로 트립신호를 보내는 것을 알 수 있다.

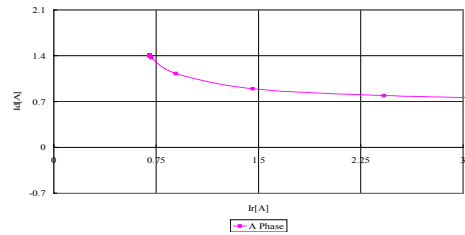
### 4. 결 론

본 논문에서는 교류발전기 보호방식 중 주보호방식인 디지털 고정차 비율차동계전방식에 대하여 연구하였다. 일반적인 고려사항과 고장 검출 방법 등을 조사하였고 MATLAB을 활용하여 87G의 특성곡선을 표현하

였고 국내 표준원전에 사용 중인 고정차 차동보호계전기들의 정정치를 비교하였다. ATP로 구성된 교류발전기의 내부사고와 외부사고 데이터를 수집한 후 87G의 동작특성 시뮬레이션을 수행하였다.



(a) 1선 내부사고



(b) 1선 외부사고

<그림 5> 고장관별 궤적

#### [참 고 문 헌]

- [1]박철원, “발전기 시스템의 과도해석과 IED 용 개선된 알고리즘 개발”, 최종보고서 pp. 1~10, 2006.12.
- [2]최정림 외, “보호계전기해설(제2집)”, 남서울전력관리처 공무부 pp. 24~75, 1988.12.
- [3]박철원 외, “동기발전기의 디지털 차동보호 알고리즘에 관한 연구”, 성균관대학교 논문집 과학기술편 Vol. 56, No. 2, pp. 19~32, 1994.
- [4]박철원 외, “대형 발전기 보호를 위한 차세대 전력기기 개발의 개요”, 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집, pp. 371~373, 2011.4.
- [5]IEEE Power Engineering Society, “Guide for AC Generator Protection”, IEEE Std C37.102-2006 pp. 1~167, 2006.11.
- [6]IEEE Power Engineering Society, “Guide for AC Generator Ground Protection”, IEEE Std C37.101-2006 pp. 1~67, 2006.11.
- [7]O. Ozgonemel, E. Arisoy, M.A.S.K Khan M.A. Rahman, “A wavelet Power Based Algorithm for Synchronous Generator Protection”, IEEE PES Summer Meeting pp. 128-134, 2006.6.
- [8]C.J. Mozina et al., “IEEE Tutorial on the Protection of Synchronous Generators”, IEEE Power Engineering Society, IEEE 95 TP 102, pp. 1~78, 1995.
- [9]박철원 외, “대용량 발전기보호를 위한 발전기 모델링”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 121~122, 2006.7.
- [10]이상성 외, “발전기 내부사고 모의를 위한 수학적 모델링”, 전력기술위원회 춘계학술대회 논문집, pp. 119~121, 2010.11.
- [11]이승재 외, “보호계전기 정정기준 수립에 관한 연구”, 최종보고서 pp. 1~442, 2003.6.
- [12]김수환 외, “변압기 보호용 전류비율차동 계전기의 동작영역 설정방법”, 대한전기학회 논문지 Vol. 66, No. 1, 2011.1.
- [13]박철원 외, “Discrete Hartley Transform 필터를 이용한 변압기의 고장관별에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지 Vol. 45, No. 8, 1996.8.
- [14]박철원 외, “대형 발전기 내부사고 보호를 위한 다기능 IED 시제품 기술 개발”, 지식경제 기술혁신사업 1차년도 연차보고서, pp. 1~286, 2011.5.
- [15]GE Industrial Systems, “DGP Digital Generator Protection System Instruction Manual”, pp. 1~C4, 2003.
- [16]General Electric Company, “GEK-100605 DGP Digital Generator Protection System”, pp. PD-1~SO-21, 1995.
- [17]유상봉 외, “보호계전 시스템의 실무활용기술”, pp. 1~166, 2007.12.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.  
(2010T100100415)