

## 교류 발전기의 사고 모의와 DFT 기반 고정자 권선 보호 기법

박철원

강릉대학교 전기정보통신공학부

### Fault Simulation and DFT based Stator Winding Protection Relaying for AC Generator

Chul-Won Park

School of Electrical and Information Communication Engineering, Kangnung National University

**Abstract** - 본 논문은 교류발전기의 보호방식에 대하여 검토하였고 종래의 교류발전기의 주보호방식인, 비율차동계전방식에 대하여 서술하였다. 87G에서의 고장전후의 전류를 수집하기 위해서 ATP를 이용하여 간소한 발전기 사고 시뮬레이션 방식을 제안하였다. 또 그 사고모의 데이터를 이용하여 고정자권선 보호를 위한 DFT 기반 디지털 비율차동계전기법에 대하여 타당성을 검증하였다.

#### 1. 서 론

발전기의 사고 중 사고가 가장 많이 발생하는 부위는 전기자권선이며, 다음으로 계자권선, 여자기, 축의 순으로 알려져 있다. 전기자권선의 사고는 절연열화가 주원인으로 통계적으로 약 60%정도가 된다. 또 충전절연의 절연열화가 점차 대지절연 열화를 야기 시키고 어떤 이상전압이 원인이 되어 지락사고가 발생하게 된다. 발전기권선은, 장기간 사용에 의해 절연물의 성능이 저하되어 열화가 발생되고 외부로부터 Surge 등의 침입에 의해 사고가 발생하는 경우가 많다. 절연물의 열화에 대해서는, 마모, 반복되는 찌그러짐, 전자력에 의한 변형 등의 기계적 원인에 의한 것과, 부식, 오손 등에 의한 것이 있으며 온도상승의 열화를 촉진시키기도 한다. 사고양상으로는, 전기자권선의 소손 사고가 반수를 점하고 있고, 코일 소손사고는 절연열화가 원인이 되어 발생하는 경우가 많으며, 권선소손은 Slot 내부가 많고 충전절연의 열화에 의해 지락사고로 진전하는 경우가 많다[1].

수차를 원동기로 하는 발전기와 터빈을 원동기로 하는 발전기에 있어서 보호계전기 적용은 기본적으로 동일하다. 사고의 경중에 따라 4단계 처치가 표준으로 되어 있다.

한편, 한국형 표준 원전기술을 보유한 국내에서조차 발전소의 핵심인 보호제어시스템은 완성인도방식으로 전량 도입되어 운영되고 있다. 이에 도입된 외산 보호제어시스템의 효율적인 운용과 향후 차세대 보호제어시스템의 개발을 위하여 교류발전기의 보호계전분야에 대한 연구가 필요하다[5].

해외에서는 1970년대 말 디지털 컴퓨터를 사용한 발전기의 고장판별기법이 발표된 이후, 여러 가지 디지털 보호계전 알고리즘이 제안되었고 또 교류발전기의 단락 및

지락보호에 관한 Standards들이 제정되었다[3,5,7]. 그러나 현재까지 발전기 권선의 전 범위에 대한 완전한 보호 기법으로 공인된 것이 없으며, 다양한 접지시스템에서 고정자 100% 지락사고 검출기법도 미해결 과제로 알려져 있다[4-7]. 또 실제계통에서 발생하는 발전기 권선사고와 근접하도록 발전기의 상세모델링과 내부권선 사고 모의에 대하여도 계속 연구 중에 있다[8].

본 연구에서는 교류발전기의 보호방식에 대하여 검토하고 특히 종래의 교류발전기의 주보호방식인, 비율차동계전방식(DFR)에 대하여 논하고자 한다. 또 지금 알려진 발전기 사고시뮬레이션에 대하여 서술하고, ATP에서 간편한 사고 시뮬레이션 방식을 소개한다. 그리고 사고모의 데이터를 이용하여 DFT 기반 디지털 비율차동계전기법에 대하여 타당성을 검토하도록 한다.

#### 2. 교류발전기의 보호 기능

교류발전기 보호 기능은 다음과 같다[2].

- differential stator protection
- loss-of-excitation protection
- current unbalance protection
- detection of motoring condition
- overvoltage protection
- overcurrent protection with voltage restraint
- 100% stator-ground fault protection

##### 2.1 디지털 차동 고정자 보호

이는 중성점 측의 전류와 발전기 출력단자 측의 전류를 비교하면 검출할 수가 있다. 디지털 차동 보호를 위한 기본적인 판별은 식 (1)에 따른다.

$$|I_1 - I_2| > = K_1 \frac{|I_1| + |I_2|}{2} \quad (1)$$

여기서,  $I_1$ : 상 권선의 입력 전류  
 $I_2$ : 상 권선의 출력 전류  
 $K_1$ : 비율 차동

대전류 영역과 소전류 영역에 동작 특성을 달리한 변곡점 디지털 차동보호는 다음과 같다. 여기서 억제전류는 식(2)이다.  $I_{min}$ 은 최소동작전류이고, 소전류 영역 동

작 특성은 식(3)과 같고 대전류 영역 동작 특성은 식(4)와 같다[2]. 이외에 차동비(5)를 이용하기도 한다.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (2)$$

$$I_d = I_{min} + (I_r - 0.5I_N) \times \text{Ratio} \quad (3)$$

$$I_d = I_{min} + 0.25 \times \text{Ratio} + (I_r - 3I_N) \times 1.5 \quad (4)$$

$$\frac{\text{Inflow} - \text{Outflow}}{\text{Outflow}} \quad (5)$$

우리나라 표준원전에 적용된 87G 발전기 고정자보호용 특성 곡선이고, 표 1은 87G의 정정치이다[9].

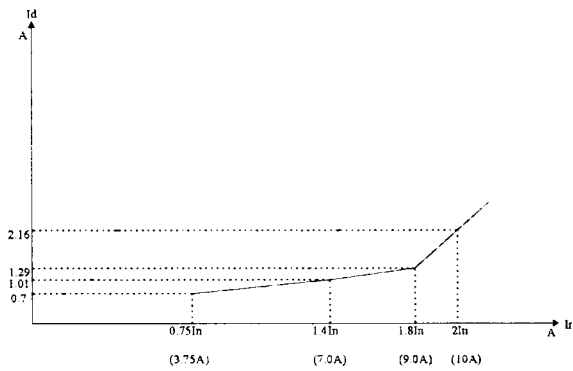


그림 1. 87G 차동보호 특성 곡선

표 1. 87G 보호계전기의 정정치

보호계전기	정정값	비고
87G	최소동작전류 : $0.5I_N$ 비율특성곡선: 5-10%	A사
	최소동작전류 : $0.7A(14\%)$ 비율특성곡선: 14%, 14%, 21%	B사

### 3. 교류발전기의 사고 시뮬레이션

MatLAB, SimPowersystem, EMTF의 UM 모델, PSCAD/EMTDC 등으로 교류발전기를 과도모델링한 후, 여러 가지 사고 모의를 수행한 연구 사례가 있다. 그러나 아직까지 실제통과 특성이 동일한 발전기 상세모델링과 고정자 권선의 단락 및 지락사고 모의방법은 알려진 바가 없다. 타당성 있는 권선에서의 사고 모의가 요구된다[8].

#### 3.1 ATP 모델계통

제시한 디지털 보호계전기법의 타당성을 입증하기 위하여 그림 2와 같은 모의 계통을 구성한 후, ATP를 이용하여 사고 모의를 수행하였다. 모델계통은, 과도상태 해석을 위하여 송전선로, 승압변압기, 부하 및 발전기로 구성하였다. 발전기의 과도리액턴스는  $0.33[\text{pu}]$ , 정격전

압은,  $13.8[\text{kV}]$ , 정격 PF는  $0.8[\text{lag}]$ , 3상 정격용량은,  $250[\text{MVA}]$ 로 하였고, 송전선로의 임피던스는,  $0.8+j0.6[\text{pu}]$  이다[4].

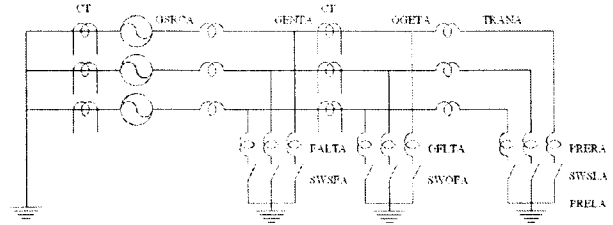
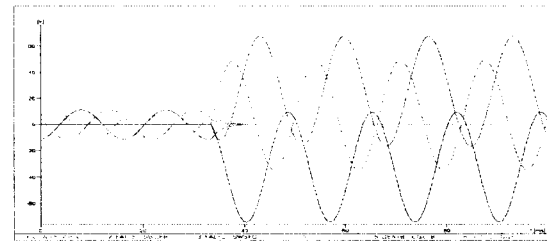


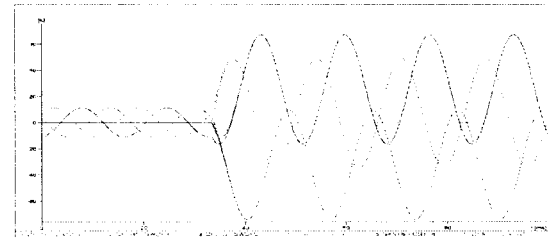
그림 2. ATP 모델 계통도

직류 몹셋에 의한 영향을 검토하기 위하여 A상 전압의 사고각은  $0^\circ$  및  $90^\circ$ 를 고려하였고 주기당 샘플링 수는  $12\text{S}/\text{C}$ 로 샘플링주파수는  $720[\text{Hz}]$ 로 하였다. 고장발생시점은,  $0.033336[\text{s}]$ 과  $0.037503[\text{s}]$ 로 정상적인 가압이후 각각 24번째와 27번째로 하였다.

그림 3은 사고모의 결과를 WPCplot를 이용하여 그린 내부고장과 외부고장시 3상 입력 및 출력전류의 순시치이다. 그림 4는 내부고장시 각상의 내부고장전류와 부하전류이다. 그림 5는 외부고장시 각상의 내부고장전류와 부하전류이다.

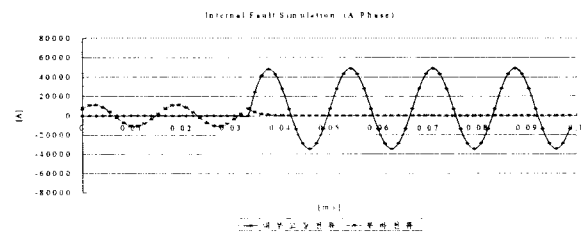


(a) 내부고장

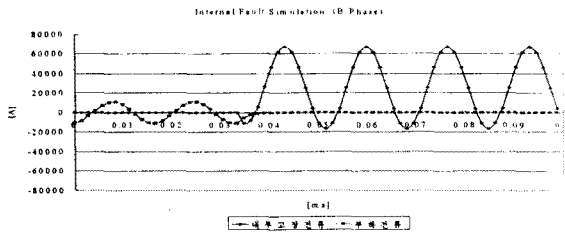


(b) 외부고장

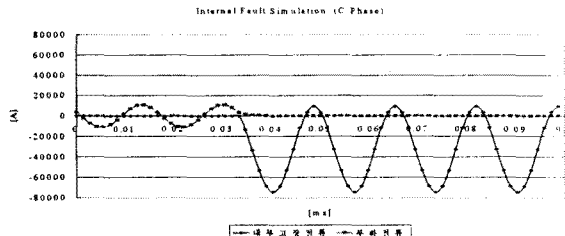
그림 3. 3상 입력전류와 출력전류



(a) A Phase

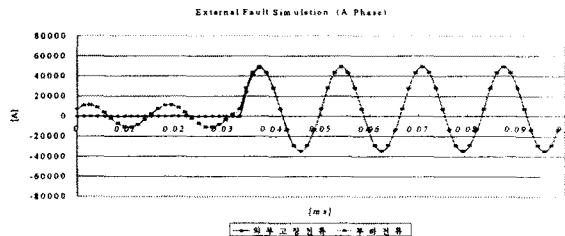


(b) B Phase

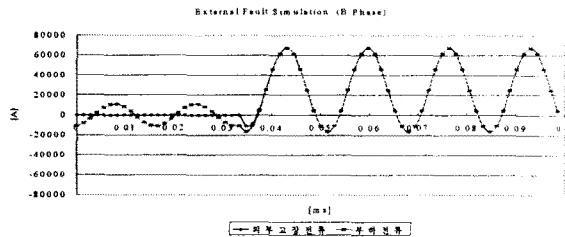


(c) C Phase

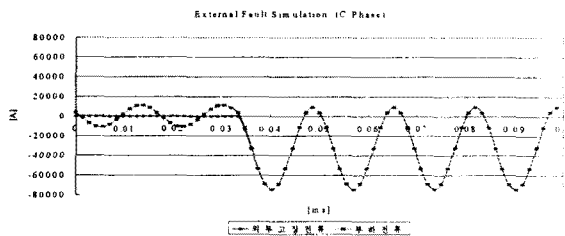
그림 4. 내부고장시 3상 고장전류와 부하전류



(a) A Phase



(b) B Phase



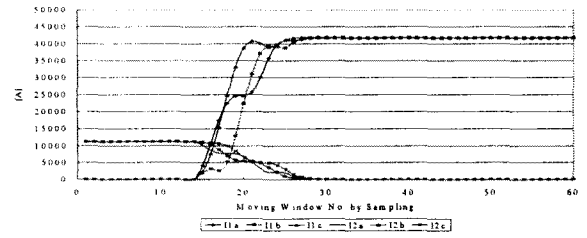
(c) C Phase

그림 5. 외부고장시 3상 고장전류와 부하전류

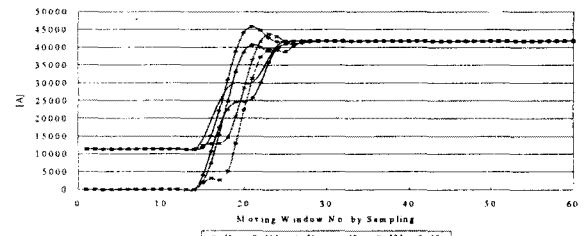
### 3.2 시뮬레이션 및 결과

고정자권선 보호를 위한 87G 디지털 비율차동보호 고리즘에 의한 시뮬레이션 결과이다. 그림 6은 DFT 필터를 통과한 3상 고장전류와 부하전류의 실효치이다. 그

림 7은 내부고장 및 외부고장시 차전류 및 억제전류의 동작 특성 궤적이다.

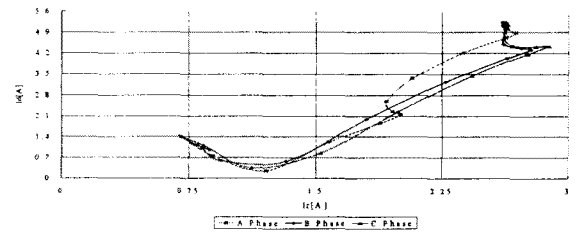


(a) 내부고장

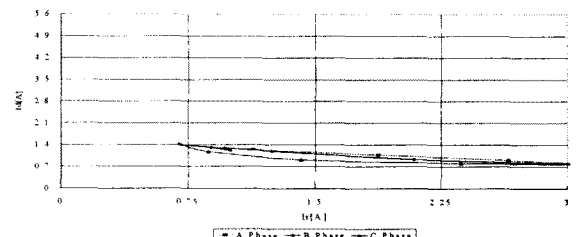


(b) 외부고장

그림 6. 3상 고장전류와 부하전류의 실효치



(a) 내부고장



(b) 외부고장

그림 7. 동작 특성 곡선상의 궤적

### 4. 결 론

본 논문에서는 교류발전기 보호방식에 대하여 검토하였고 주보호방식인, 디지털 비율차동계전방식에 대하여 서술하였다. 현재까지 발전기 상세모델링과 사고모의에 대하여 완벽한 결과는 발표된바가 없지만, 고장후의 전류를 수집하기 위해서 ATP를 이용하여 간편한 사고 시뮬레이션 방식을 제안하였다. 또 이 데이터를 활용하여 발전기의 고정자권선 보호용 DFT 기반 디지털 DFR의 동작특성 시뮬레이션을 수행하였다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 최정림 외, "보호계전기해설(제2집)", 남서울전력관리처 공무부 pp. 24-75, 1988.12.
- [2] 조성진 외, "발전기보호 기본 알고리즘을 적용한 보호계전연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.326-328, 2003. 7.
- [3] P.K.Dash,O.P.Malik,G.S.Hope, "Fast Generator Protection Against Internal Asymmetrical Faults", IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-96, No. 5, Sep./Oct. pp. 1498-1506, 1977.
- [4] 박철원 외, "동기발전기의 디지털 차동보호 알고리즘에 관한 연구", 성균관대학교 논문집 과학기술편 제45집 No. 2, pp. 19-32, 1994.
- [5] 박철원, 신명철, "고장전류의 웨이브렛 변환을 이용한 동기발전기 보호 알고리즘", 대한전기학회 논문지 Vol. 56, No. 5, pp. 834-840, 2007. 5.
- [6] 조윤성, 김태균 외, "실시간 전력계통 시뮬레이터를 이용한 발전기 보호계전기 모델 개발", 대한전기학회 논문지, Vol. 56, No. 2, pp. 240-247, 2007. 2.
- [7] O. Ozgonenel 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. June 2006.
- [8] 박철원 외, "대용량 발전기보호를 위한 발전기 모델링", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 121-122, 2006. 7.
- [9] 전력연구원, "울진 N/P #4 Unit 발전기 준공시험 보고서, 1998. 4.

### 감사의 글

본 연구는 2006년도 산업자원부 전력산업연구개발사업 전력선행연구에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.