

발전소의 발전기 보호계전시스템

*안준영⁰·**박철원·*이종수·***이상성·*신명철
*성균관대학교 정보통신공학부·**원주대학 전기과·***기초전력연구원

Generator Protection Relaying System in Power Plant

*Joon-Young Ahn·**Chul-Won Park·*Jong-Soo Lee·***Sang-Seung Lee·*Myong-Chul Shin
*SungKyunkwan University·** Wonju National College·***KESRI

Abstract - Because power plant faults have severe effects on the power system and on mechanical maintenance of the generator, reliable protection systems are needed. In this paper, we compared and analyzed methods of the generator protection relaying system, which can detect internal faults of the generator, and surveyed the trends in generator protection using digital computing.

1. 서 론

전력계통의 근원인 발전소의 발전기는 여러 가지 요인으로 불시정지하게 되면 주파수 저하뿐만 아니라 일시적으로 계통 불안정을 유발한다. 발전기 내부고장은 송·변전설비 고장에 비해 사고빈도는 적으나, 발전기 용량에 따라 계통에 주는 영향은 차이가 날 수 있지만, 계통에 주는 충격은 매우 크다. 발전소의 사고는 계통에 미치는 영향과 기기보전이라는 점에서 매우 중대하기 때문에 신뢰성이 높은 확실한 보호시스템이 필요하다. 현재 국내 발전소의 발전기 보호계전시스템에 대한 설비는 전량 해외로부터 도입되고 있는 상황이다. 또한, 발전기 보호계전방식에 대한 국제적으로 표준화된 방식은 없으며, 소위 일반적인 표준방식이라는 것도 국가별, 제작사 및 설계 회사에 따라 차이가 난다[1]. 그리고 국내에 도입된 외산 보호계전시스템의 안정적인 운용과 향후 시스템의 국산화를 위한 기반 조성을 위하여 발전기 보호계전 시스템에 대한 연구가 시급하다.

본 논문은 국내에 도입된 원자력 1-8호기, 보령화력 1,2호기, 삼천포 화력 1,2호기에 대한 단락과 지락사고에 대한 보호계전기법을 비교·분석하여[2], 발전기 보호계전 시스템을 위한 단락, 지락사고시의 보호계전기법을 제안한다. 또한, 발전기 내부고장검출을 위하여 주목할 만한 디지털계전기법에 대한 연구동향을 소개한다[3],[4],[5].

2. 발전기 보호조치와 보호계전방식

2.1 발전기 보호조치

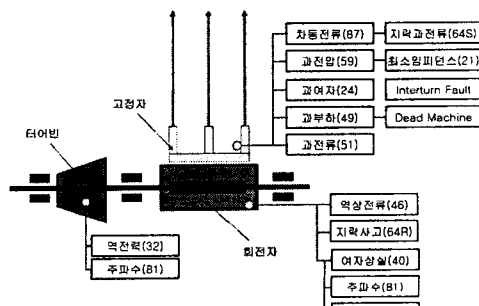
발전기의 보호조치는 표 1에서 나타낸 바와 같이 비상정지, 급정지, 무부하, 무여자, 경보 4가지로 나누며 그 구체적인 사항은 다음과 같다.[1]

〈표 1〉 발전기 보호조치

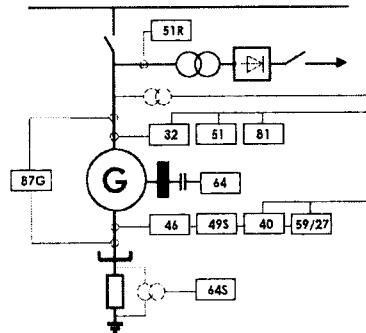
보호조치	계통에서의 상황
비상정지	발전기의 전기적 사고로 계통 측면으로부터 유발되는 사고전류와 발전기 자체에서 발생하는 사고전류를 고속으로 차단하여 사고의 확대를 방지하기 위한 조치이며 발전기의 차단기 및 계자 차단기를 개방하고 원동기를 급정지시킨다.
급정지	발전기의 기계적 사고 때의 조치이며 원동기 입력을 급속히 줄이고 발전기의 주회로 및 계자 차단기를 개방시킨다.
무부하 무여자	외부 사고시의 발전기의 보호이며 원동기에 의한 회전은 그대로 두고 병렬용 차단기 및 계자 차단기를 개방하여 무부하로 운전하고 사고 원인 해소 시 즉시 계통에 병입하도록 한다.
경보	경미한 사고 시 운전원의 판단으로 조치토록 경보로 나타낸다

2.2 발전기 보호 계전방식

그림 1은 발전기에서의 일반적인 사고의 종류 및 위치이고, 그림 2는 발전기 보호계전방식의 한 사례이다.



〈그림 1〉 발전기 사고의 종류



〈그림 2〉 발전기의 보호계전방식

2.3 국내 발전기 보호계전방식 비교

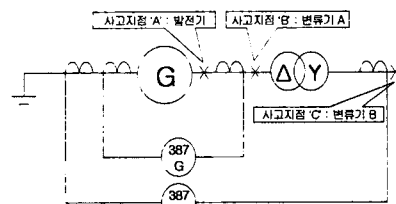
2.3.1 발전기 단락사고에 대한 보호 계전방식 비교

표 2는 우리나라 기존 발전소별 발전기 고정자 권선 단락보호 계전기 정정치 이다.

〈표 2〉 발전소별 발전기 고정자권선 단락보호계전기 정정치

발전소	변류기 및 변성기 비율	계전기			
		제작사	형식	정정범위	정정치
원자력 1호기	20,000/20A	GEC	DDG 31	10%	10%
원자력 2호기	20,000/20A	GEC	CAG 34	10-40%	10%
원자력 3호기	20,000/5A	GEC	DDG 31	10%	10%
원자력 5,6호기	40,000/5A	GE	CFD 22B	제작사결정	제작사결정
원자력 7,8호기	30,000/5A	GE	CFD 22B	제작사결정	제작사결정
보령화력 1,2호기	20,000/5A	GE	CFD 22B	제작사결정	제작사결정
삼천포화력 1,2호기	20,000/5A	GE	CFD 22B	제작사결정	제작사결정

보호계전방식의 특성상 가변비율 차동계전방식과 전압 차동계전방식을 정량적으로 사용하기는 어려우나, 전압 차동보호계전방식의 사용목적인 "심한 외부 사고 시 비율 차동보호계전방식에서 사용된 변류기가 포화되어 계전기가 오작동할 우려가 있을 때 전압 차동계전방식을 사용한다."에 대하여 원자력 7,8호기를 대상으로 그림 3과 같이 사고를 가정하여 변류기의 포화가능성을 검토하여 보았다[2].



〈그림 3〉 원전 7,8호기 발전기 및 주변기기 차동보호

조건은 345KV 계통이고, 3상 단락용량은 25GVA, 발전기 용량은 1150.8MVA, 정격 전압은 25KV, 초기 과도 리액턴스는 0.2261PU, 주변기기 용량은 1,086MVA, 정격전압은 23.75/345KV, %Z는 16%로 하고, 소내 부하에 의한 영향은 무시한다.

기존 용량을 1,000MVA로 하고, 다음 사고시에 따른 변압기의 1차 측과

2차 측의 비는 다음과 같다.

$$X_C(25KV에서) = (1,000/1,150.8)(0.2261) = 0.1965$$

$$X_C(23.75KV에서) = (1.0)(1,000/25,000) = 0.04$$

사고지점 A(발전기)는

$$X''_{du}(25KV에서) = (1,000/1,150.8)(0.2261) = 0.1965$$

$$X''_{du}(23.75KV에서) = (1000/1,150.8)(0.2261)(25/23.75)^2 = (0.2178)$$

사고전압 B(주 변압기)는

$$X_T(25KV에서) = (1000/1,086)(0.16)(23.75/25)^2 = 0.1330$$

$$X_T(23.75KV에서) = (1000/1,086)(0.16) = 0.1473$$

이 된다.

이때 A, B, C 지점 단락사고시의 변류기 A의 1차측 전류는 다음과 같다.

$$I_g(A지점) = \frac{1,000,000}{(0.0361 + 0.133)(25)(\sqrt{3})} = 136,570[A]$$

$$I_g(B지점) = \frac{1,000,000}{(0.1965)(25)(\sqrt{3})} = 117,527[A]$$

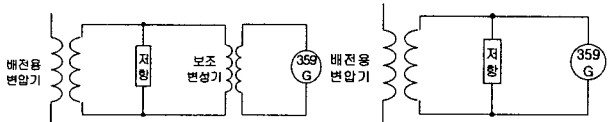
$$I_g(C지점) = \frac{1,000,000}{(0.2178 + 0.1473)(23.75)(\sqrt{3})} = 66,583[A]$$

식 (7), (8), (9)에서 나타난 것과 같이 변류기 A의 1차 측에 흐르는 전류는 사고지점 다, 나, 가 순으로 커져 외부 사고보다 내부사고시에 변류기 A에 포화가 발생할 가능성이 높아진다. 이것은 전압차동계전방식이 사용목적과 상치됨을 의미하는 것이다.

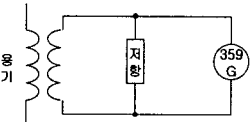
전압 차동계전방식은 원래 분기선이 많은 모선 보호에 적당한 방식으로 발전기 보호용으로는 검토대상 발전소 중에는 원자력 2호기만 적용하고 있고, 그 외의 발전소는 모두 가변비를 차동보호계전방식을 사용하였다. 이상의 검토를 통하여 발전기 고장자 권선 단락보호를 위하여 가변비를 차동계전방식이 적당하다는 결론을 내릴 수가 있다.

2.3.2 발전기 지락사고에 대한 보호 계전방식 비교

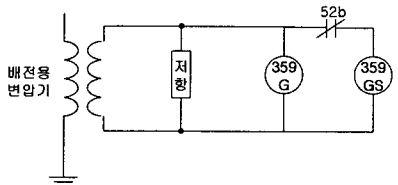
발전기 고장자 지락사고의 원인은 고장자 권선의 열적주기(thermal cycling)에 의한 기계적 응력(stress), 권선 중단 bracing의 이완, 외부사고, 냉각계통의 손상, 전식효과(electrolysis effects)에 의한 절연열화가 주원인이 된다. 이에 따라 현재 국내에 도입된 발전기의 보호방식은 4가지로 나눌 수 있다.



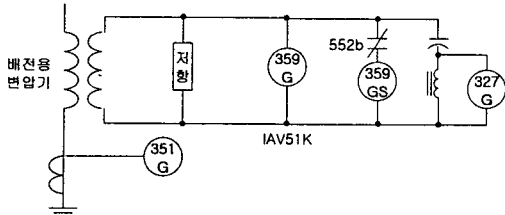
〈그림 4〉 지락보호계전방식 A



〈그림 5〉 지락보호계전방식 B



〈그림 6〉 지락보호계전방식 C



〈그림 7〉 지락보호계전방식 D

발전기 고장자 지락보호계전방식을 정리하면 원자력 1,2,3호기에 도입된 A계전방식의 한시 과전압계전기(359G)를 사용한 주 보호, 원자력 5,6,7,8호기에 도입된 B계전방식의 한시과전류계전기(359G)를 이용한 후비보호, 보령화력 1,2호기에 적용된 C계전방식의 저주파수 영역에서 V/Hz 특성을 가진 순시과전압계전기(359GS)를 사용한 저주파수의 보호, 마지막으로 삼천포화력 1,2호기에 도입된 D계전방식의 제3고조파에 응답하는 순시 과전압계전기 (327G, 경보용) 또는 발전기 고장자 중성점에 코드화된 전압을 인가하여 회귀하는 전류를 측정하는 100% 고장자 지락보호계전방식으로 나눌

수 있으며, 제작사별 추천보호방식을 포함하여 조합하면 최적의 보호방식 3가지를 만들 수 있다.

- (1) 제1안은 한시과전압계전기(359G)와 순시과전압계전기(359GS)를 조합한 방식이고, 제2안은 한시과전압계전기(359G)와 한시과전류계전기(351G) 및 순시과전압계전기(359GS) 및 순시저전압계전기(327G)를 조합한 방식이고, 마지막 제3안은 한시과전압계전기(359G), 순시과전압계전기(359GS) 및 코드화된 전압을 인가하는 방식이다.

3. 발전기 내부고장 검출을 위한 디지털계전기법

Sachdev와 Wind는 발전기의 내부고장검출을 위하여 디지털컴퓨터를 사용한 기법을 발표하였다. Hope, Dash와 Malik은 상호상관합수기법에 의하여 선전류 중성점 측 전류로 표현된 페이저의 실수부와 허수부를 정의한 후, 두개의 판정기준을 제안하였다[3]. Dash, Malik와 Hope는 발전기 단자의 역상분 전력의 흐름의 방향과 계자전류의 제2고조파 성분의 모니터링에 의하여 발전기의 불평형 고장을 검출하는 방법을 제시하였다[4],[5].

3.1 상호상관합수기법

전류페이저의 실수부와 허수부는 식 (10)과 같이 두개의 상관을 사용하여 디지털 컴퓨팅에 의하여 결정된다.

$$I_d = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N i(k\Delta T) \sin(\omega\Delta T)$$

$$I_q = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N i(k\Delta T) \cos(\omega\Delta T)$$

발전기 각상의 선 전류 및 중성선 전류 I_1, I_2 는 식 (11)과 같이 표현된다.

$$I_1 = I_{d1} + jI_{q1}$$

$$I_2 = I_{d2} + jI_{q2}$$

식 (12)과 같이 두개의 동작 및 억제 신호들이 사용된다.

$$S_{o1} = |I_1 - I_2| = [(I_{d1} - I_{d2})^2 + (I_{q1} - I_{q2})^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_{r1} = |I_1 + I_2| = [(I_{d1} + I_{d2})^2 + (I_{q1} + I_{q2})^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_{o2} = (I_{d1} - I_{d2})^2 + (I_{q1} - I_{q2})^2$$

$$S_{r2} = I_{d1}I_{d2} + I_{q1}I_{q2}$$

3.2 제2고조파에 의한 기법

계자전류의 제2고조파 성분은 식(13)과 같이 정의되고, 역상분 전압의 실수부와 허수부는, 상전압 성분 V_{dp}, V_{ϕ} 로부터 식(14), (15)에 의하여 계산된다.

$$I_{f2} = [I_{df2} + I_{qf2}]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{dn} = \frac{1}{3} [V_{da} - \frac{1}{2}(V_{db} + V_{dc}) + \frac{\sqrt{3}}{2}(V_{\phi b} - V_{\phi c})]$$

$$V_{qn} = \frac{1}{3} [V_{qa} - \frac{1}{2}(V_{\phi b} + V_{\phi c}) + \frac{\sqrt{3}}{2}(V_{db} - V_{dc})]$$

4. 결 론

본 논문에서는 발전기의 일반적 사고와 사고 시 보호조치 방법, 국내에 도입된 발전기의 지락 및 단락사고에 대한 보호조치 방법을 비교·분석하였고, 이에 따른 단락사고 시 한 가지와 지락사고 시 세 가지의 최적보호방법을 제안하였다. 향후 디지털 알고리즘을 개발하기 위한 선행과정으로 발전기 내부고장검출을 위한 주목할 만한 디지털계전기법에 대하여 소개하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유상봉 외 "보호계전시스템의 실무활용기술", 도서출판 기다리, pp. 157-221, 2002.
- [2] "원자력발전소 표준화설계를 위한 조사용역", pp. 83-269, 1999.
- [3] G.S. Hope, P.K. Dash and O.P. Malik, "Digital Differential Protection of a Generator Unit : Scheme and Real-Time Test Results", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-96, No. 2, March/April 1977, pp. 502-512.
- [4] P.K. Dash, O.P. Malik and G.S. Hope, "Fast Generator Protection Against Internal Asymmetrical Faults", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-96, No. 5, Sep/Oct. 1977, pp. 1498-1506.
- [5] IEEE Tutorial Course, "Advancements in Microprocessor Based Protection and Communication", Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society, pp. 1-81, 1997.

감사의 글

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