

## 국내 발전기 보호계전시스템 현황

**박철원\***, 신광철\*\*, 신명철\*\*\*

강릉대학교 전기정보통신공학부\*, (주)삼안 전기부\*\*, 성균관대학교 정보통신공학부\*\*\*

### Survey of Generator Protection System in Korea

Chul-Won Park\*, Kwang-Chul Shin\*\*, Myong-Chul Shin\*\*

Kangnung National University\*, Saman Corporation\*\*, SungKyunKwan University\*\*\*

**Abstract** - 국내 모든 발전소 핵심인 발전기의 보호계전시스템은 현재 해외로부터 전량 도입하여 운용 중에 있다. 이에 현장에서 설비가 손상될 경우 자체적으로 신속하고 능동적인 대처가 용이하지 않고 종래 설비에 대한 최적 운용에 어려움이 있다. 이에 운용 중인 계전설비에 대한 보다 자세한 보호알고리즘을 파악하고 정확한 이해를 통해서 현장 운전원의 기술 향상이 요구된다. 또 운용 중에 경험한 보호계전기의 고장정지 및 오부동작사례 원인을 분석하고 더불어 발전사별 사업소별 보호계전기 정정에 대한 정리와 보호회로의 개선 검토를 통하여 신뢰도 확보가 필요하다. 이에 결국, 고 신뢰성이 요구되는 발전기의 모든 계전요소 보호알고리즘을 정확하게 이해한 후, 계전기 동작을 프로그래밍하고 하드웨어로 구현함으로써 발전기 보호제어 시스템의 교체와 신설이 필요할 때 우리 자체기술로 대체되는 것이 바람직하다. 이에 본 논문에서는 연구의 초기단계에서 국내 발전기 보호시스템에 대한 현황을 파악하였고 국내외 발전기보호를 위한 디지털 보호계전 알고리즘에 대하여 조사하였다.

#### 1. 서론

국내 발전사의 모든 사업소 발전소의 발전기 보호계전시스템은 현재 해외로부터 전량 도입하여 운용 중에 있다. 표 1은 발전소별 도입된 보호계전시스템이다[1~11].

**<표 1> 발전소별 도입된 보호계전시스템**

신인천 C/C	GE 사 다기능	하동 T/P	GE 사 유닛
영남 T/P	Siemens 사	남제주 T/P	Beckwith 사
청평 P/P	후지 사	부산 C/C	GE 사
팔당 H/P	CEE 사	울진 N/P	GEC, W, GE 사
포스코 광양 H/P	VAMP 사	삼천포 H/P	GE, ITE 사

발전소 건설을 위해 보호계전시스템을 도입할 경우 조사용역이 이루어지고 준공시 시험보고서 등 검토가 수행된다. 그러나 보호제어시스템 분야의 시장이 넓지 않고 또 기술적으로 고 신뢰성이 요구되어 개발기간이 장기간 소요되기 때문에 국내 학계와 연구소에서는 이 분야에 대한 개발 연구가 시도되지 않았고 자체개발 의지가 매우 약한 상태에 있다. 이에 따라 매년 해외로부터 답습의 형태로 전량 도입되어 운용되는 것이 반복되고 있는 실정이다. 또 일부 현장에서 운용 중에 경험하여 수집된 보호계전기 사례분석들이 체계적으로 정리되어 보급, 개선, 반영되고 있지 않고 있다. 다만 분산전원연계를 위한 관점에서 발전기 과도상태해석에 관심을 보이고 있고 교육용 사고모의가 일부 진행되었을 뿐 국내에서는 발전기용 IED(Intelligent Electronic Device) 시제품 개발과 구현된 사례 없다.

해외에서는 GE, Beckwith, Siemens, GEC, ABB, CEE, VAMP, 후지 사 등에서 발전기 보호 제어시스템을 개발하여 각국에 수출하고 있다 [1]. 또 IEEE 전력시스템 계전기 위원회(Power System Relaying Committee)에서는 교류발전기보호와 교류발전기차단보호 등 IEEE Standards(ANSI)를 발표하였다[13,14]. 그러나 학문적으로 EMTP/ATP 나 MATLAB 등에 의한 발전기 상세모델링, 내부사고 시뮬레이션과 과도특성해석에 대한 연구 사례는 그리 많지 않은 형편이다[15~20].

이에 현장에서 설비가 손상될 경우 자체적으로 신속하고 적극적으로 대처하기가 어려웠고 최적 운용에도 어려움이 있었다. 그러므로 현재 운용중인 DGP(Digital Generator Protection) 등을 비롯한 국내 및 사내 제반 발전소의 발전기 보호제어시스템 파악하고 사업소별 종래 보호계전기의 정정계산서 검토 정리와 운용 분석이 수행되어야 한다. 또 종래 운영중인 계전설비에 대한 보다 자세한 보호알고리즘을 파악하여 정확한 이해를 통하여 현장 운전원의 기술 향상이 필요하다. 또 그동안 운용해오면서 경험한 보호계전기의 고장정지와 오부동작사례에 대한 면밀한 원인 분석과 발전사별 사업소별 모든 보호계전기 정정에 대한 정리와

재검토, 기존 보호회로에 대한 개선 검토를 통하여 신뢰도 확보 방안이 모색되어야 한다[1,12]. 국내에서도 일부 연구가 있었지만 국내 실제동정수가 반영된 EMTP/ATP에 의한 발전기 모델링과 시뮬레이션이 이루어져야하고, 발전기 모의 사고 경우 발전기 고장 및 과도상태 해석 등 원천기술에 대한 연구가 철저히 이루어져야 한다. 결국 아래의 발전기용 모든 보호계전요소에 대한 디지털 알고리즘 파악하여 정리되어야 한다.

- 고정자 단락보호(387G, 587U)
- 고정자 지락(359N, 359N-2(364G1, 2/151N))
- 불평형 보호(346)
- 과여자 보호(359/381(324, V/Hz))
- 과전압 보호(359)
- PT Fuse Fail(360(VTTF))
- 계자상실 보호(340)
- 역전력 보호(332-1.2,(67R))
- 후비보호(321, 51V)
- 고정자 과전류 보호(351)
- 저주파수 보호(381)
- 계자권선 지락보호(364E, 50)
- 저전압 보호(27)
- 거리계전기(321))

또 발전기용 제반 보호계전알고리즘은 C와 같은 프로그램 언어 등을 이용하여 동작을 구현하고 범용마이크로프로세서와 DSP칩을 이용한 다기능(multi-function) 시제품 IED를 제작한 후, RTDS(Real Time Digital Simulator)에 의해 구현된 H/W의 성능이 검증되어야 한다. 물론 네트워크 통신 기능이 이루어져야 하고 환경시험에 의한 EMI/EMC 등 내 노이즈도 강화되어야 한다.

본 논문은 연구의 초기단계에서 종래의 디지털 보호계전 알고리즘을 정리하였고 기 용역이 이루어진 보고서와 또 사업소의 정비 및 기술 전문팀으로부터 수집된 자료를 이용하여 국내 발전기 보호시스템의 현황을 조사하였다.

#### 2. 국내의 발전기 보호계전 연구 현황

한국형 표준 원자력 발전소를 탄생시킨 우리나라에서 조차 발전소의 핵심인 보호제어시스템은 완성인도방식으로 전량 도입되고 있는 실정에 있다. 2003년 발전기보호 기본 알고리즘에 대한 연구가 시작 되었으나, 제반 보호알고리즘에 대한 완전한 파악이 이루어지지 못했다[18]. 2004년도부터 교육용 훈련시스템 개발을 위해 고정밀 발전기 보호계전기의 RTDS 모델을 이용한 발전기 사고모의에 대한 연구가 이루어 졌다[19]. 근래 분산전원 관점에서 풍력발전단지의 송전계통 연계시 계통 영향에 대한 연구가 시작되었다[20].

#### 3. 해외의 디지털 보호계전 연구 현황

1966년 F.H. Last와 A. Stalewski에 의해 처음 디지털 컴퓨터의 전력 계통의 보호를 위한 온라인 모드 사용 가능성이 제안된 이후, 송전선로, 변압기, 발전기 및 모선보호를 위한 많은 디지털 컴퓨터 기법이 개발되어왔다. Sachdev와 Wind[21,22]는 발전기의 내부고장검출을 위하여 디지털컴퓨터를 사용한 기법을 발표하였다. 또 Hope, Dash와 Malik[23]은 선전류 증성점 측 전류로 표현된 페이지의 실수부와 허수부를 상관함수 기법에 의한 알고리즘을 제안하였다. Dash, Malik와 Hope은 발전기 단자의 역상분 전력의 흐름의 방향과 계자전류의 제2고조파성분의 모니터링에 의하여 발전기의 불평형 고장을 검출하는 독특한 기법을 제시하였다[24]. 초창기에는 대부분 아날로그를 디지털로 변환할 경우에 발생되는 문제를 경감하고 계산시 요구되는 CPU 타임을 감소하기 위한 연구

들이었다[25]. 근래에는 계자전류의 고조파를 이용하는 기법[26], 영상분 전압을 이용하는 방법[27], 그리고 제3고조파 전압에 의한 기법들이 발표되었다[28,29]. 또 ANN을 이용하는 방법[30]과 비 차동보호기법으로 FNN을 이용한 방법[31]과 Wavelet Power에 의한 발전기의 고장검출 기법[32]이 제안되었다.

#### 4. 발전기 보호계전시스템의 정정 현황

여러 발전소의 발전기 보호반 중에서 모 발전소의 발전기 보호반 정정표는 표 2와 같다[11].

〈표 2〉 발전기 보호반의 정정표

Dev.	Relay		Setting Value	Remarks
	Type	CT비/PT비		
87G	Differential Relay	8000/5[A]	Min. Pick-up : 0.3[A] K1 : 2[%] Trip Time : Instantaneous	480[A]
346	Negative Sequence Relay	8000/5[A]	Alarm : 0.26[A] 2[sec] Trip : 0.37[A] 10.66[sec] K2 : 8	416[A] 592[A]
340	Loss of Field Protection Relay	8000/5[A] 18000/120[V]	Zone 1: Center 9.0[Ω] Radius 7.5[Ω] Time Delay : 0.06[sec] Zone 2: Center 15.075[Ω] Radius 13.575[Ω] Time Delay : 0.5[sec]	
359N	Gen. Over Voltage Relay	18000/120[V]	Voltage : 132[V] Definite Time : 198[V] 13.5[sec]	
364G-1	Gen. Stator Ground Fault Relay	14400/120[V]	Pick-up : 127.2[V] Time Delay : 5.0 sec	648[V]
324	Gen. Over Excitation Relay	18000/120[V]	24A Pick-up : 127.2[V] Time Delay : 2.0[sec] 24T Inst. : 141.6[V] Inverse : 131.2[V] Time Delay : 2.0[sec]	119.08[kV] 21.24[kV] 19.68[kV]
351V	Time Over Current with Voltage Restraint	8000/5[A] 18000/120[V]	Pick-up : 8.0[A] Time Delay : 2.0[sec] 30%(36V)Voltage Pick-up : 2.4[A] Definite Time 16[A] -- 1.3[sec] 50%(60)Voltage Pick-up : 4.0[A] Definite Time 16[A] -- 2.0[sec] 100%(120V)Voltage Pick-up : 8.0[A] Definite Time 16[A] -- 4.9[sec]	
381-U,0	Over/Under Frequency Relay	18000/120[V]	81-U : 56/9[Hz] Trip : Instantaneous 81-0 : 62.60[Hz] Trip : Alarm 1.0[sec] Cutoff Voltage : 35[%]	
332-1	Reverse Power Relay	8000/5[A] 18000/120[V]	Reverse Power : 4.3[W] Time Delay : 3.0[sec]	1032[kW]
332-2	Reverse Power Relay	8000/5[A] 18000/120[V]	Reverse Power : 10[W] Time Delay : 5.0[sec]	2400[kW]
VTF	Voltage Transformer Fuse Failure	18000/120[V]	Enable	
360-1	Voltage Balance Relay	18000/120[V]	Tap : 85[%] (102 V) 94[V] Fixed -- 78[%]	
321	Back up Distance Relay	8000/5[A] 18000/120[V]	Restraint : 71[%] Offset : 30[%] Time Delay : 2.5[sec]	
356BN	Gen. BUS Ground Overvoltage Relay		Tap : 16.0 [V] Lever : 5 Definite Time : 80[V] 2.5[sec]	

#### 5. 결론

본 논문에서는 국내외 발전기를 위한 디지털 보호계전 알고리즘에 대하여 논하였고 종래의 보고서와 모 사업소 기술 전문팀으로부터 수집된 자료를 이용하여 국내 발전기 보호시스템의 현황을 파악하였다.

#### 〈참 고 문 헌〉

[1] 박철원, “발전기 시스템의 과도해석과 IED 용 개선된 알고리즘 개발”, 산업자원부 전력선행연구 최종보고서 pp. 1-120 2006. 12.  
 [2] 최정림, 우준기, 신세균, 김정봉, 이진해, 유진태, 고재현, 양재규, “보호계전기해설(제2집)”, 남서울 전력관리처 공무부 pp. 24-75, 1988. 12.  
 [3] 전력연구원, “원자력발전소 표준화설계를 위한 조사용역”, pp. 1-269, 1999.  
 [4] 한국전력공사 전력연구원, “고정밀 전력선비 모델링 및 교육 훈련 시스템 개발”, 산업자원부 전력산업 연구개발 2차년도 진도보고서 pp. 1-199, 2006. 2.  
 [5] 전력연구원, “울진 N/P #4 Unit 발전기 준공시험 보고서”, 1998. 4.

[6] 한국전기안전공사, “주발전기 고장정지 원인 조사보고서”, pp. 1-7, 2002. 3.  
 [7] 전력연구원, “팔당 H/P #1,2호기 준공시험보고서”, 1999. 6.  
 [8] Power Tos.(Total System Engineering), “Power Protection Relay Test Report”, 부천 LG Power 2001. 5.  
 [9] 김정배, “Generator Protection Relay Operation & Configuration and Technical Description”, pp. 1-103, VAMP Korea Co. Ltd.  
 [10] GE, “GEK-100605 Digital Generator Protection System(DGP)”, GE Protection and Control, pp. 1-225.  
 [11] 0000 기술전문팀, “사업소별 보호계전기 정정 목록”, 2003. 8.  
 [12] 0000 기술전문팀, “87G 오동작 원인분석 및 대책” 2008. 3.  
 [13] IEEE Power System Relaying Committee, “IEEE Guide for AC Generator Protection”, IEEE Std. C37.102-1995.  
 [14] IEEE Power System Relaying Committee, “IEEE Guide for Generator Ground Protection”, IEEE Std. C37.101-1993.  
 [15] 박철원, 신명철, “고장전류의 웨이브릿 변환을 이용한 동기 발전기 보호 알고리즘”, 대한전기학회 논문지 Vol. 56, No. 5, pp. 834-840, 2007. 5.  
 [16] 박철원, “발전기시스템의 고정자보호 IED를 위한 개선된 알고리즘 고장전류의 웨이브릿 변환을 이용한 동기 발전기 보호 알고리즘”, 대한전기학회 논문지 Vol. 57P, No. 2, 2008. 6.(계재 확정)  
 [17] 박철원, 신광철, 신명철, “교류 발전기의 고장 검출 알고리즘에 관한 비교 연구”, 대한전기학회 논문지 Vol. 57P, No. 2, 2008. 6.(계재 확정)  
 [18] 조성진 외 5인, “발전기보호 기본 알고리즘을 적용한 보호계전연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.326-328, 2003. 7.  
 [19] 차승태, 신재경, 박성우, 조운성, 이철균, “고정밀 발전기 보호계전기의 RTDS 모델을 이용한 발전기 사고 모의”, 대한전기학회 전력기술 부문회 논문집 pp. 302-304 Nov. 2006.  
 [20] 권영진, 강상희, “풍력발전단지 보호를 위한 내외부 고장 판별 알고리즘”, 대한전기학회 논문지 Vol. 56, No. 5, pp. 854-859, 2007. 5.  
 [21] M.S. Sachdev, D.W. Wind, “An On-Line Digital Computer Approach for Generator Differential protection”, Transactions of the Engineering and Operating Division, Canadian Electrical Association, Paper No. 73-SP-149, Vol. 12, No. 3, pp. 1-6, 1973.  
 [22] M.S. Sachdev, D.W. Wind, “Generator Differential Protection Using a Hybrid Computer”, IEEE Trans, on PAS, Vol. 92, No. 6, Nov./Dec. pp. 2063-2072, 1973.  
 [23] G.S. Hope, P.K. Dash, 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 pp. 502-512 1977.  
 [24] 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. pp. 1498-1506, 1977.  
 [25] IEEE Tutorial Course, “Advancements in Microprocessor Based Protection and Communication”, Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society, pp. 1-81, 1997.  
 [26] J. Penman, H. Jiang, “The detection of stator and rotor winding short circuit in synchronous machines by analyzing excitation current harmonic”, Proc. IEE Int. Conf. Opportunities and Advances in International Power Generation, No. 419, pp. 137-142, 1996.  
 [27] N.L. Tai and O. Ai, “Protection technique based on delta-zero sequence voltages for generator stator ground fault”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 151, No. 5, pp. 651-657, Sep. 2004.  
 [28] M. Fulczyk and R. L. Schlack, “Influence of the generator load conditions on third harmonic voltages in generator stator windings”, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 20, No. 1, pp. 158-165, Mar. 2005.  
 [29] X.G. Yin, O.P. Malik G.S. Hope, D.S. Chen, “Adaptive ground fault protection schemes for turbo-generator based on third harmonic voltages”, IEEE Trans. on Power Delivery Vol. 5, No. 2, pp. 595-603, April 1990.  
 [30] A. I. Taalab, H. A. Darwish, T. A. Kawady, “Ann-based Novel Fault Detection for Generator Windings Protection”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp. 824-830, 1999.  
 [31] Z Q Bo, G S Wang P Y Wang G Weller, “Non-differential protection of generator using fuzzy neural network”, pp. 1072-1076, 0-7803-4754-4/98 1998 IEEE.  
 [32] 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, 2006. 6.