보호계전기 정보를 이용한 피보호 설비의 고장진단에 관한 연구

이태영*, 김철환*
한국전력공사 수원전력관리처, 성균관대학교 정보통신공학부

A Study on the Fault Diagnosis of Protected Facility using Relay Information

Tae-Young Lee*, Chul-Hwan Kim*
KEPCO, Sungkyunkwan University

Abstract - This paper proposes a concept for fault diagnosis system based on the relay coordination to deal with unavoidable uncertainties imposed on fault dignosis of substation. This system uses information on the relay setting values and tripped data to identify the faulted element of power system. The proposed concept will be very useful and efficient for substation and control center operator.

1. 서 론

유인변전소가 자동화로 인하여 점차 무인변전소의 형태로 전환됨에 따라 순시요원이 도착하기 전까지는 고장을 원격으로만 파악 할 수 있으며 제어해야 할 변전소가 증가함에 따라 고장진단 및 복구의 어려움이 가중되고 있다. 아울러 유인변전소도 변전설비의 신뢰성 증가로 과거에 비해 변전소 근무자가 고장을 직접 경험할 기회가 줄었으며 단위 변전소 당 송전선로의 증가로 인해 고장이 광역화 될 수 있다. 이때 신속하고 적절한 고장진단 및 복구조작은 더욱 큰 2차 고장을 방지 할 수 있고 빠른 시간 내에 공급을 정상화시킬 수 있다.

전력계통을 인식할 때는 전력계통의 모든 요소들을 셀(Cell)이라는 기본단위로 정의하고 그상위에 계층구조를 가진 부시스템(Sub-system)들을 정의 함으로써 대상이 되는 계통을 표현한다. 부시스템은 차단기의 개폐상태에 따라 변화하며, 이를 통해 전력계통의 고장으로 인해 발생되는 정전구역을 알게 된다.

기존 전문가시스템에서 고장진단을 수행하기 위해서, 변전설비 고장시 계전기나 차단기의 동작정보가 입력되면 이들 차단기의 동작시간차의 비교와 보호대상이 되는 Level, Element에 대한 정보 및 그들사이의 주보호 및 후비보호 관계를 이용하여 각 계전기와 차단기에 대한 정·오·부동작등을 판별한다[1].

이러한 방법은 각계전기와 차단기의 동작 가능성을 제시하고, 그 가능성을 조합하여 고장지점으로 예상되는 후보들을 생성한다. 다시 후보들은 여러 가지 경험적이고 통계적인 자료의 판정기준에 따라 고장 예상설비의 순위가 결정되므로, 개선된 추론방법인 퍼지적 판정 및 신경망 학습등을 사용하여 전력계통의 계전기 보호특성상 구조적으로 발생할 수밖에 없는 판정의 불확실성을 줄이려는 노력이 계속되고 있다[2-4].

고장구간 판정은 이상적으로는 각 설비의 구간마다 다수의 전압변성기를 설치하여 전압상태등의 센서자료를 취득해야하며 이는 고비용과 많은 설치공사가 요구되므로 현실적으로는 불가능하다. 하지만 각각의 계전기 동작과 차단기의 동작순서에 모순이 없는지, 동작시간이 적절한지를 판정하는 계전기의 오·부 동작을 판정하는 규칙과 설비의 고장빈도와 오·부·정동작 계전기 및 차단기의 갯수등을 정하는 전문가의 지식과 통계자료에 의한 고장 순위판정 기준등을 이용하는 방법 또한, 다소 확률적인 부분이 있다.

이는 변전설비 고장시 오동작이 없으면 해당 계전기와 차단기만 동작하는 경우, 또는 동시에 상위의 계전기가 함께 동작하는 경우가 있기 때문이며, 보호계전기는 고장기록장치와는 달리 고장 픽업후 동작시간(고장지속시간)을 알려주지 못하고 동작한 시점의 정보만을 제공한다.

따라서 보호계전기 정정시 고려되는 사항등을 입력받아 고장진단에 활용하면, 고장진단시 발생하는 추론의 불확실성을 감소시킬 수 있으며, 각 설비별 고장예상 지점의 퍼센트 긍장까지 제시 할 수 있어 활용성이 증가된다. 보호계전기 동작 지속시간등은 메터링 CT포화로 인해 고장전류를 실측할 수는 없지만 SCADA의 자료를 연계하여 픽업개시 시간을 알 수 있으며, SCADA 연계를 시도하지 않을 경우 변압기 2차측 이나 공급받는 송전선로의 전류 케이블측에 보조링 CT를 취부하여 배전반에서 취득가능하다. 또한 송전선로 계전기관련 고장진단은 고장전류 및 전압치를 취득해야 하므로 보조링 CT와 PT입력 단자에서 정보취득이 이루어져야 한다.

이러한 개념을 이용하여 본 연구에서는 보호계전기의 동작사항등의 정보를 사용하여, 변전소 운전원에게 다소 불확실한 경우에도 진단이 가능한 고장진단 및 복구 지원시스템을 제안하고자 한다.

2. 보호계전기 정보를 이용한 고장진단

2.1 모델계통의 구성

모델계통은 다양한 설비와 그설비를 보호하는 보호계전기, 동작 대상인 차단기 및 분리를 위한 단로기등으로 구성되어 있다. 다음 그림1은 한전의 전력계통을 고려한 모델계통의 구조를 나타낸 것이며, 설비수와 조작 빈도가 많은 154kV 이하 변전소, 즉 그림1에서 점선으로 표시된 부분을 대상으로 고장진단 시스템을 구축하고자 한다.

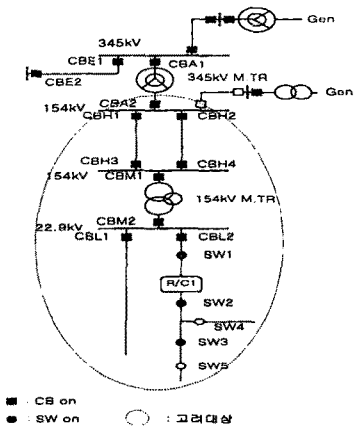


그림 1. 모델계통의 범위 및 구성

전력설비에 발생되는 배전선로, 송전선로, 변압기등의 고장에 대비하여 고장시, 가능한 최소범위로 최대한 신속하게 고장구간을 분리하는 것이 보호계전기의 역할이다. 그리고 차단기나 계전기 고장으로 인한 부동작시에도 반드시 설비를 보호하기 위해 다음 단계의 계전기가 동작토록 되어있으나, 경우에 따라서는 전,후단의 계전기가 동시에 동작하며 이러한 특성은 보호협조 관계나 고장위치에 따른 순,한시 계전요소의 동작에서 기인한다 [5].

2.2 변압기 및 배전선로 보호계전기 적용

한국전력 변전소내 주변압기 이하의 계통에서 사용되는 대표적인 계전기의 타임 레버곡선 계산식은 다음 표 1과 같으며, L=Time Lever, M=Pickup배수를 의미한다.

표 1. 22.9kV용 보호계전기 Lever곡선

계전기 형식	제조사	동작시간 (cycles)
M31-A2B5	경보	(39.85/(M^1.95-1)+1.084)×L/10×60
M31-A3B4		13.5/(M-1)×L/10×60
K2CG-C	OMRON	(21/(M^2-1)+0.55)×L×60
NV-4F61.2	NISSIN	(115/(3×M^2-4)+1.2)×L/10×60
DOG-M51D	Deesys	13.5/(M^2-1)×L/10×60
DOG-D42(구)		(16/(M-1)+0.04)×L×60
DOG-D42(신)		(39.85/(M^1.95-1)+1.084)×L/10×60
C0C4-20-M1	MITS	13.5/(M-1)×L/10×60

계전기 보호방식을 중심으로 변전소의 구조를 나타내면 그림2와 같으며 기계적인 보호장치 96P는 충격압력계전기(Sudden pressure Ry), 96B는 브흘쯔계전기 (Buchholtz Ry), 96D는 방압변(Pressure relief Device)를 의미하며 기계적인 보호장치 동작시나 51SN, 59GT, 87T동작시는 86(Lock-out) 계전기를 동시에 동작시켜 재투입을 쇄정시킨다.

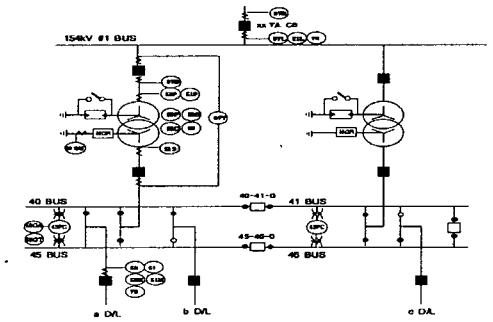
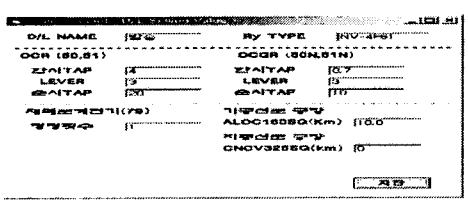


그림 2. 모델계통의 변전소 Relay 보호방식의 구성

GUI 입력창을 통하여 배전선로, 변압기 보호계전기의 정정치를 입력하는 화면은 다음 그림3과 같다. 그림 9의 메인그래픽 화면에서 해당 차단기용 보호계전기를 선택한 후 기능키로 입력창을 불러내어 Relay 개체에 대한 정정자료를 손쉽게 설정할 수 있다.



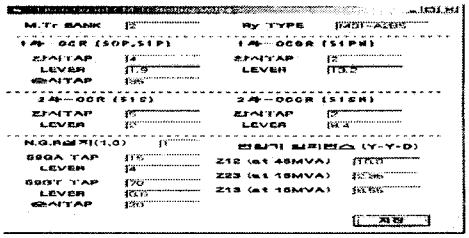


그림 3. D/L 및 M.Tr Relay 정정치 입력화면

다음 그림4는 배전용 M.Tr이하 보호계전기 동작상황을 분석하기 위한 계통 임피던스맵을 보여주고 있으며, 각각의 발생가능 고장을 추정하기 위해 고장점의 전류산출 및 Relay 응동시간을 이용하므로서 고장추론에 따른 불확실성을 감소시킬 수 있다.

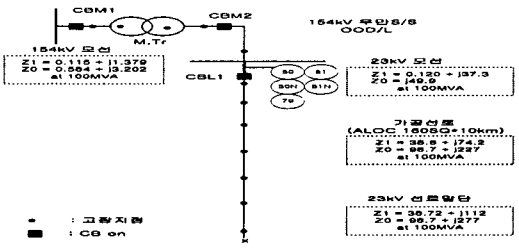


그림 4. Relay 정정관련 임피던스의 표현

2.3 고장위치 진단 알고리즘

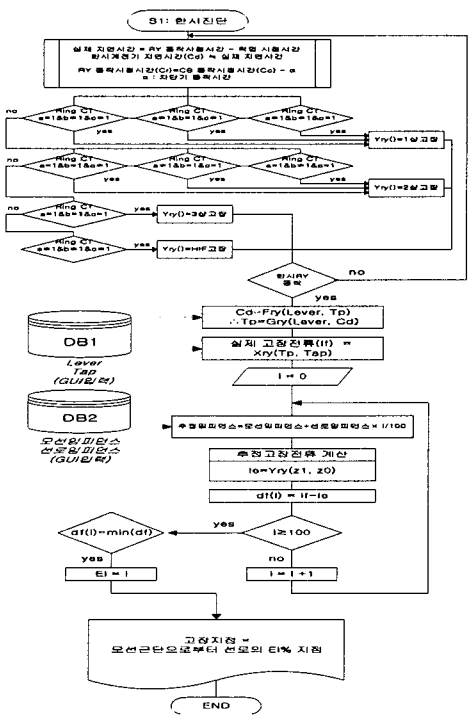


그림 5. 한시요소 동작시 고장점 진단 흐름도

한시, 순시요소 동작시 고장점 진단의 흐름도는 각각 그림5 및 7과 같으며 계전기 한시특성 함수 Fry()는

표1에서 구할 수 있다. 고장전류 함수 Yry()의 계산식은 Ring CT의 정보를 이용하여 선정한다. 고장진단에 필요한 동작 정보는 다음 그림6과 같이 차단기 또는 계전기 접점에서 얻을 수 있으며 순시, 한시 접점을 분리할 수 없는 경우 동작시간으로 순시요소가 동작됨을 알 수 있다.

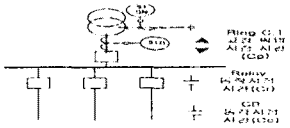


그림 6. 보호계전기 동작정보 취득방법

여러 계전요소가 픽업후 빠른 요소 한 개가 먼저 Trip신호를 보내 고장이 제거되면 다른 계전요소의 동작된 사항을 감지 못할 경우에 주의한다. 단락고장인 경우 Iry(a,b,c)가 응동하지만 지락고장인 경우 Iry(n)와 Iry(a,b,c)가 동시 응동하고, 국내 계전기용 CT는 과전류 정수 20을 표준으로 적용하고있어 픽업배수(Tp)max≤20~23으로 계산한다. 본 논문의 고장위치 진단과정은 변압기와 배전선로를 구분해서 설비 임피던스를 처리하고 설비내부 고장위치의 판정도 가능하다.

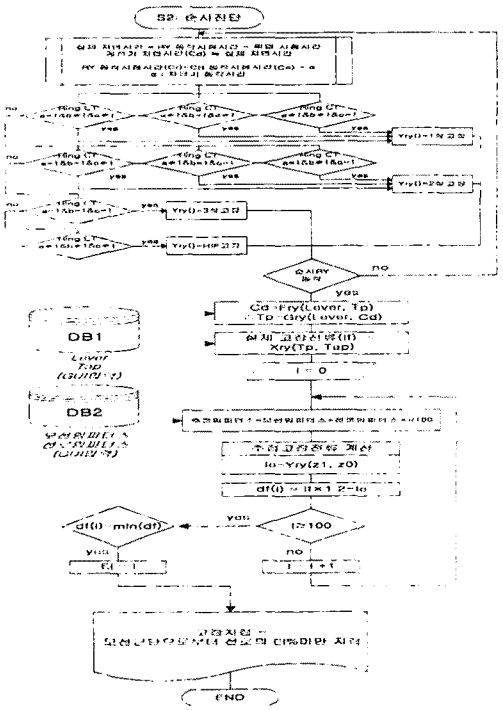


그림 7. 순시요소 동작시 고장점진단 흐름도

2.4 송전선로 보호용 계전기

송전선로 보호에는 주보호로 전류차동 방식 또는 캐리어방식이 사용되고, 전류차동은 내부고장시 정정치 이상일 때 동작하는 구조이다. 후비보호 및 캐리어 주보호는 거리계전기로 구성되며 전류의 크기만으로 동작하는 과전류방식과는 다르게 전압과 전류의 크기와 각도가 동작요소로 작용된다. 따라서 배전반에서 취득한 전압, 전류로 고장위치의 임피던스를 계산하는 방법을 적용한다.

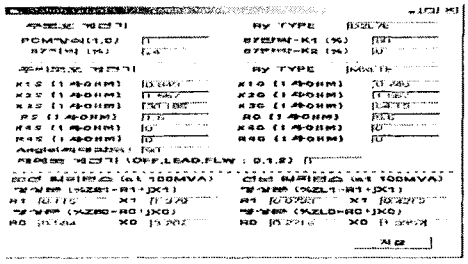


그림 8. 송전선로 보호계전기 정정치 입력화면

3. 변전소 고장진단 시스템 구성

GUI형태로 제작될 고장진단 지원시스템의 화면은 그림9와 같다. 단선결선도를 사용하여 변전소별로 화면을 구성할 수 있으며 차단기나 단로기의 on, off 상태는 아이콘의 색상을 통하여 알 수 있다. 또한, 클릭하여 운전상태의 조절이 가능하다. 설비고장 발생시에는 동작 차단기가 깜빡이면서 고장상황 및 고장진단 메시지를 출력할 수 있다.

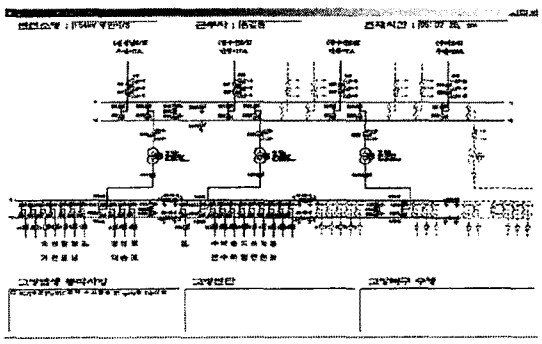


그림 9. 고장진단 지원시스템 화면구성

4. 결 론

제안된 변전소 고장진단 개념은 현대식 디지털형 계전기 뿐만 아니라 기존 전자기형 계전기가 설치된 경우에도 적용 할 수 있어 경제적으로도 유리하다. 변전소 보호계전기는 고장시 전력설비의 피해를 줄이고자 제작, 활용되고 있으며 고장을 진단하는 장치는 아니므로 제안된 시스템과 같은 추가적인 과정을 통하여 그 활용분야를 고장진단의 영역으로 확대시킬 수 있을 것이다.

〔참 고 문 헌〕

〔1〕 윤용범, "지역전력계통에서의 고장진단 및 정전복구에 대한 전문가 시스템 적용연구", 서울대학교 박사학위논문, 1995. 8

〔2〕 기초전력공학 공동연구소, "무인변전소의 지능적 자동화 시스템에 관한 기초연구", 최종보고서, 1997. 9

〔3〕 이홍재외, "송전계통과 변전소의 통합 고장진단을 위한 퍼지 전문가 시스템", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C권, pp. 1039-1041, 1998. 7

〔4〕 이홍재외 "Developement of Fault Dignosis and Restoration Aid Expert System for SCADA System", 대한전기학회논문지, Vol. 44, No. 11, pp. 1417-1422, 1995. 11

〔5〕 한국전력공사, "보호계전기 정정지침", 계통보호 지침.제2호, 1990. 1