

LAN을 이용한 분산전원 연계 계통의 보호

정태영, 백영식
경북대학교

LAN-Based Protective Relaying for Interconnect Protection of Dispersed Generators

Tae-young Jung, Young-sik Baek
School of Electrical Engineering Kyungpook National Univ

Abstract - 분산전원(Dispersed Generators)이 계통과 연계된 상태로 운전함에 따라 단방향의 전력 조류만을 고려하여 운영되던 기존의 배전 시스템에 여러 가지 새로운 영향을 미치게 되었다. 따라서 배전계통에 설치된 보호 장치들은 발전기 자체의 고장은 물론 계통 상황에 적절히 대처하여 운전할 수 있도록 고안되어야 한다. 특히 DG가 연계되어 있는 배전선에서의 사고는 배전용 차단기의 동작으로 DG의 단독운전이 발생 할 수 있다. DG의 단독운전은 인명피해, 기기손상, 전력품질저하, 계통 복구의 어려움 등 많은 문제가 있으므로 사고시 DG를 신속히 계통으로부터 분리해 주어야 한다. 그러나 DG가 연계된 배전선 이외(인접 배전선)의 고장에 대해서는 DG가 불필요하게 계통으로부터 분리되는 것을 예방하고 사고가 계통에서 제거 될 때까지 정상적으로 동작하게 하여야 한다. 따라서 DG 연계 배전선과 인접 배전선의 고장을 명확히 구분하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 DG 연계 배전선과 인접 배전선의 고장 구분을 위해서 Network 상의 IED(Intelligent Electronic Device)에서 제공되는 Data를 통하여 HMI내에서 DG 연계 배전선과 인접 배전선의 사고판단을 하고 결과를 각 계전기기로 보내 동작유무를 결정한다.

1. 서 론

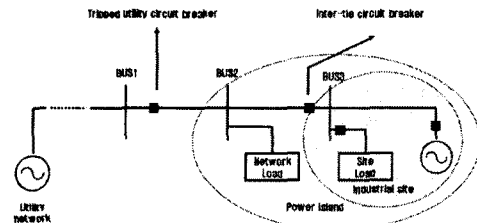
최근 경제성장과 산업 활동의 고도화에 따라 전력수요는 급격히 증가하고 있으나 이에 대비하기 위한 대규모 발전 설비 건설은 소요자금과 부지확보의 한계 등으로 어려움을 겪고 있다. 더구나 매장 자원의 고갈과 온난가스 배출을 제한하는 기후변화협약과 같은 여러 문제가 부각되고 있는 시점에서 분산전원의 도입은 에너지원의 다양화와 전력수급의 장기적인 안정을 확보하는 측면에서 고무적으로 받아들여지고 있다.

DG는 전력계통과 별도로 분리하여 독립적으로 운용할 수도 있지만, 전력계통과 연계된 상태로 운전함으로써 전력의 안정된 공급과 신뢰도 유지 등 질적 향상과 경제성 확보를 이룰 수 있게 된다.

하지만 DG가 계통과 연계된 상태로 운전함에 따라 단방향의 전력 조류만을 고려하여 운영되던 기존의 배전 시스템에 여러 가지 새로운 영향을 미치게 되었다. 여러 가지 영향 중 DG가 도입됨에 따라 보호방식에 미치는 영향은 크게 과도상태와 사고시로 구분할 수 있다. 특히 사고 발생시 CB와 Fuse간의 보호협조, 1선 지락시 공진 현상, 단락용량, 분류효과, 외부선로 사고시 OCR의 불필요한 동작, Recloser의 정정등으로 나누어 분석[5]할 필요가 있는데 이 논문에서는 사고시 발생하는 여러 가지 문제중에 DG의 고립운전 현상과 외부선로 사고시 DG측 변전소 인출단 OCR의 불필요한 동작을 방지하기 위한 새로운 시스템을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 본 연구의 유용성을 검증하였다.

2. 본 론

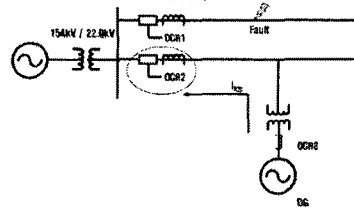
2.1.1 고립운전 현상



[그림1] 분산전원이 연계된 계통에서의 고립운전 현상[5]

고립운전(Islanding)현상이란 그림과 같은 상황에서 어떠한 외란에 의하여 BUS1과 BUS2사이의 차단기가 개방되어 차단기 이하의 계통부하를 DG설비가 감당하여 운전하고 있는 형태를 말한다. 이와 같은 상황에서 부하 용량과 DG의 용량이 어느정도 평형이 유지되지 않으면 계통의 전압이나 주파수가 한계 허용치에서 벗어나게 되어 고조파, flicker, distortion등의 전력품질 특성상의 문제가 야기된다. 따라서 고립운전현상은 시스템의 수명을 단축시키고 기기의 오동작 및 손상을 초래한다. 또한 부하용량과 풍력발전설비의 용량이 어느정도 평형을 유지할 경우에는 BUS1과 BUS2사이의 차단기가 비동기 재폐로가 되면 과도한 전류가 발생하여 DG설비, 전력설비, 부하기기에 손상을 입히게 되므로 고립운전 방지대책이 필요하다.[5]

2.1.2 외부선로 사고시 OCR의 불필요한 동작



[그림2]외부선로 사고시 OCR의 불필요한 동작[5]

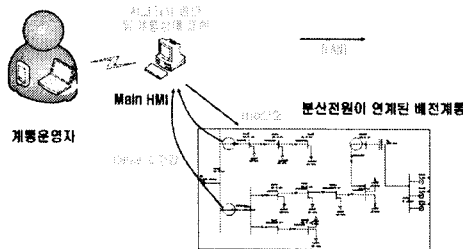
DG가 연계된 선로가 아닌 외부선로에 사고가 발생하였을 경우 DG가 연계된 선로의 OCR2에는 DG로부터 타 선로에 공급되는 고장전류가 감지되므로 OCR2가 불필요하게 동작할 가능성이 높다. 그 전류의 크기는 DG 위치에 따른 고장점까지의 임피던스에도 관계되지만 분산전원의 특성에도 상당히 좌우된다. 즉, 전류제어형 인버터방식의 경우에는 사고가 발생하더라도 그 공급고장전류는 거의 정격전류에 가깝지만, 전압형 인버퍼, 동기발

전기, 유도발전기 등의 경우에는 고장전류가 정적전류의 4~5배에 달한다.[5]

2.2.3 기존의 DG연계 계통 보호 시스템

- SCADA시스템이 없는 경우 고립운전방식
 - 능동적 방법과 수동적 방법이 있는데 방법에 따라 특정 발전장치에만 적용이 가능하고 여러 가지 요건에 따라 오동작 발생 가능성이 있다.[5]
- SCADA시스템에서의 기본적인 단독운전 방지법
 - 변전소 인출부에 설치되어 있는 CB의 동작을 감지하여 고립운전시 Inter-tie 차단기를 개방시키는 법 (단독운전 방지는 가능하나 외부선로 사고의 경우 불필요하게 분산전원이 계통으로부터 분리될 수 있다)[5]

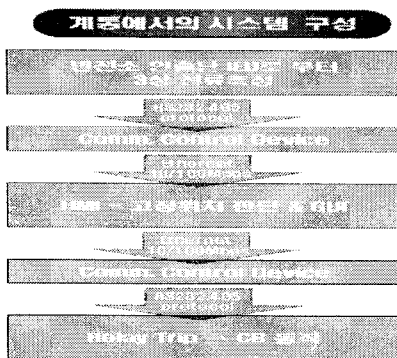
2.3 제안된 시스템의 구성



[그림3] 전체적인 시스템 개념도

[그림3]과 같이 제안된 시스템에서는 변전소 인출부 배전선에 설치되어있는 Relay가 사고시 CB에 직접 Trip 신호를 보내지 않고 전류의 크기만 Main HMI로 전송하여 사고판단 후 Relay가 Trip되게 한다. 여기서 순시 계전기의 동작 시간이 0.1sec 즉 6Cycle내에 동작이 되어야 하는데 Ethernet의 Data 전송속도는 3×108 m/s[4]이고 Relay내부 마이크로프로세서의 고장판단에 걸리는 시간과 PC내부의 마이크로프로세서의 고장판단에 걸리는 시간차[7]가 계전기의 동작시간에 영향을 주지 않을 정도로 작기 때문에 위의 시스템을 제안하였다.

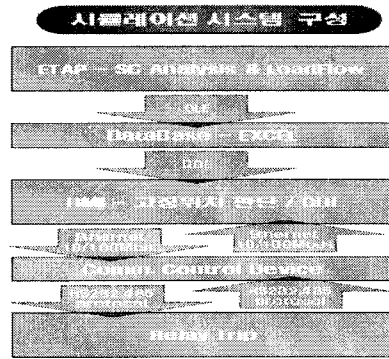
2.3.1 보호 시스템의 동작과 구성



[그림4] 실제 시스템 구성도

실제 계통에서의 시스템 구성은 다음과 같다. 인출단의 각 선로에 설치되어 있는 IED로부터 측정되어지는 3상 전류값을 Main HMI에 전송하기 위하여 통신처리장치가 필요하다. 각 선로의 IED로부터 측정된 3상 전류값은 RS232, 485 프로토콜을 통하여 통신처리장치로 전송이 되고 통신처리장치에서 Main HMI로의 전송은 LAN(Ethernet 10/100Mbps, TCP/IP, UDP)을 통하여 전송된다. Main HMI에서는 각 IED로부터 전송된 전류값으로부터 간단한 연산을 통해서 분산전원이 연계된 선로 사고와 외부 선로의 사고를 구분한다. 사고 구분 후 해

당 선로의 CB를 동작시키기 위하여 Main HMI에서 Trip신호를 발생하게 된다. 발생된 Trip신호는 LAN을 통하여 통신처리장치로 전송이 되고 통신처리장치에서는 RS232, 485 프로토콜을 통하여 해당 Relay를 Trip시켜서 해당 선로의 CB가 동작하게 된다. (시스템 구성에 사용된 장비 : 경보전기 Relay Tester, 현대중공업 HIMAP-M, HIMAP-FI, HICM860, Wonderwere Intouch 8.01)



[그림5] 시뮬레이션 시스템 구성도

실제 시스템을 검증하기 위한 시뮬레이션 시스템의 구성은 다음과 같다. 실제 분산전원이 연계된 배전계통은 전력계통 해석 프로그램인 ETAP 3.0을 사용하여 모델링하였다. 변전소 인출단의 IED가 측정하는 3상 전류값은 ETAP의 고장전류 계산과 전력조류해석 결과를 이용하였다. ETAP에서 계산된 고장전류 계산, 전력조류해석 결과는 OLE(Object Linking & Embedding)를 통하여 Excel File로 저장되고 DDE(Dynamic data exchange)를 통하여 Main HMI에 전송된다. Main HMI에서는 전송되어진 각 선로별 전류값을 통하여 고장위치를 판단하고 Relay를 Trip시킨후 릴레이 정보를 Main HMI에 나타내 준다.

2.3.2 DG의 고립운전 방지

DG가 연계되지 않은 변전소 인출부 배전선에 설치되어 있는 Relay R_N과 DG가 연계된 변전소 인출부 배전선에 설치되어 있는 Relay R_D에서 측정되는 I_L(부하전류)와 I_F(고장전류)는 다음과 같다.

[표1] Relay에서 측정되는 전류의 크기

Relay	평상시	연계선로사고	외부선로사고
R _N	I _L	I _L +I _F (0)	I _F (↑)
R _D	I _L	I _F (↑)	I _L +I _F (-)

DG가 연계된 배전선 단락사고의 경우 고장전류 IF(↑)는 Main HMI로 전송되고 HMI는 세팅되어 있는 순시 특성이나 한시요소에 따라 Relay를 동작한다. 순시요소의 경우 즉시 R_D에 Trip신호를 보내 0.1sec 내에 분산전원이 연계된 변전소 인출부 차단기를 개방하고 한시요소의 경우 TCC(Time Current Characteristics)는 IEC60255-3에 제안되어 있는 다음 식을 사용하여 동작되어질 시간을 계산하고 HMI는 R_D에 Trip신호를 보내 DG가 연계된 변전소 인출부 차단기를 개방한다.

$$t = TMS \frac{K}{\left(\frac{G}{Gs}\right)^a - 1}$$

t : 동작시간 계산치, TMS : 시간 설정 변수
K : 계전기 특성상수, G : 입력치
Gs : 설정치, a : 특성곡선 지수

[표2] 상수 K와 a값에 따른 반한시 정의

	K	a
normal inverse	0.14	0.02
very inverse	13.5	1.0
extremely inverse	80.0	2.0

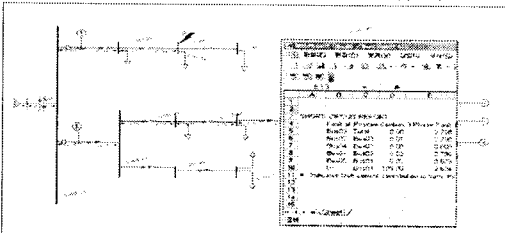
이때 DG의 고립운전 방지를 위하여 변전소 인출부 차단기의 개방과 동시에 분산전원 측 Relay에도 trip신호를 보내 분산전원이 차단 분리될 수 있도록 한다.

2.3.3 DG 연계 변전소 인출부 차단기의 오동작 방지

DG가 연계되지 않은 외부 선로 단락사고의 경우 R_D 에서 측정되는 전류는 상시 역조류가 있는 경우 $I_L(-)+I_f(-)$ 가 되어 기존의 OCR에서는 $I_f(-)$ 를 감지하여 오동작하는 경우가 발생할 수 있다. 하지만 제안된 시스템에서는 HMI에서 직접 계전기의 동작을 제어함으로써 DG가 연계된 변전소 인출부 차단기의 오동작을 방지한다. 외부 선로 단락 사고의 경우 동작은 다음과 같다. Relay R_N 에서 측정되는 전류는 $I_f(0)$ 가 되고 고장전류 $I_f(0)$ 는 Main HMI에 전송되고 HMI는 설정되어 있는 순시특성이나 한시요소에 따라 지정된 Relay R_N 에 Trip신호를 보내 차단기를 개방한다

2.4.1 사고 시뮬레이션

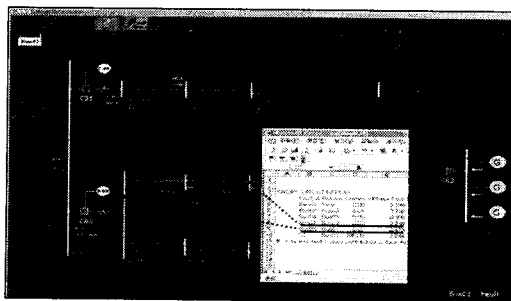
평상시 R_N 과 R_D 에서 측정되어지는 전류 I_L 은 $|V_{BusN} - V_{BusN+1} / X_{LineN,N+1}|$ 이므로 LoadFlow계산으로 구할 수 있다. 그리고 사고시 고장전류 $I_f(0)$ 는 고장전류계산(Short Circuit Calculations)으로 구해진다. 이 논문에서는 LoadFlow계산과 고장전류계산을 위하여 상용 전력해석 패키지인 ETAP을 사용하였다. ETAP에서 계산된 결과는 OLE를 통하여 DataBase또는 Excel로 저장이 가능하고 실제 Relay에서 HMI로 Data를 전송할 때 PC내부에서 사용되는 I/O는 DDE를 통하여 이루어지기 때문에 계전기의 모델링은 Excel의 Data를 이용하였다.



[그림6] ETAP 외부 사고 시뮬레이션 결과 Excel 출력

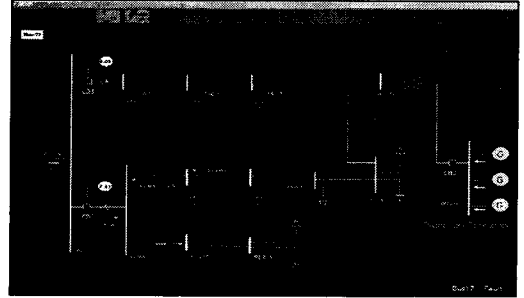
ETAP으로 모델링한 DG가 연계된 배전계통의 외부선로 단락사고를 시뮬레이션 하여 고장전류를 구하는 것을 보여준다. 여기서 구해진 고장전류는 Excel file로 저장되고 제안된 시스템의 검증용 위한 시뮬레이션시 R_N, I_f, R_D, I_f 를 대신한다.

2.4.2 수행 결과



[그림7] 외부 선로 사고시 HMI화면

R_N, I_f, R_D, I_f 의 Data를 바탕으로 하여 실행된 Main HMI 동작 화면이다. 화면에 보이는 정확한 사고지점의 표시와 각 선로별, 노드별 표시된 전압전류는 개발진행 중인 단계이다. 수행 결과를 통하여 외부선로 사고시 외부 선로의 CB가 차단된 것을 볼 수 있고 DG가 연계된 변전소 인출부의 차단기가 동작하지 않음을 볼 수 있다.



[그림8] DG가 연계된 계통내부 사고시 HMI화면

DG가 연계된 계통내부 사고시 R_D, I_f 에 의해 DG가 연계된 변전소 인출부의 CB가 동작하고 고립운전을 방지하기 위해 분산전원 인출부 CB를 동작시켜DG를 계통에서 분리한 결과 화면이다.

3. 결 론

본 논문에서는 DG가 연계된 배전계통에서 사고발생시 발생할 수 있는 DG의 고립운전 현상과 외부 선로 사고시 DG연계 선로 변전소 인출단의 OCR이 불필요하게 동작하는 것을 방지하기 위해서 제안되었다. 제안된 보호 시스템은 시뮬레이션결과 사고위치에 따라 정확하게 CB를 동작시키는 것을 볼 수 있었다. 향후에는 계통의 전체적인 운영상황을 좀더 자세히 환안에 알아볼 수 있도록 하기 위하여 정확한 사고지점 판단 알고리즘을 개발하고 선로별 노드별 전압전류 값을 표시할 수 있도록 할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Tales M. de Brito, "Distributed Generation Impacts on the Coordination of Protection Systems in Distribution Networks", 2004 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, pp.623-628, 2004
- [2] Michael T. Doyle, "Reviewing the Impacts of Distributed Generation on Distribution System Protection", IEEE, pp103-105, 2002
- [3] Bin Qiu "LAN-Based Control for Load Shedding" IEEE Computer Applications in Power pp38-43, 2001
- [4] James F. Kurose, Keith W. Ross, "Computer Networking", Second Edition, 2003, Addison Wesley, pp.35-38
- [5] 한전전력연구원 "풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구" 2004
- [6] 이창호, "과부하상태의 변동을 고려한 디지털보호계전기의 보호알고리즘 연구" 2005
- [7] John L. Hennessy "Computer Organization & Design : The Hardware/Software Interface" 1994