

디젤발전기가 포함된 스마트그리드 보호계전 방안 연구

이강완*, 홍중석**

대화전력기술(주)*, 포스코아이씨티**

Protection Coordination Study in Smart Grid with Diesel Generator

Kang-Wan Lee*, Jong-Seok Hong**

DAEHWHA Power Engineering Co., Ltd.*, POSCOICT**

Abstract - 보호계전시스템은 전력계통 운영 상태를 감시하여 전기 사고시 고장부분을 분리함으로써 전력공급 신뢰성 제고 및 고장파급 억제 기능을 수행한다. 스마트그리드는 신재생에너지원을 포함한 다양한 분산전원을 구비하고 있어, 전기 고장시 이들 분산전원으로부터 고장전류가 고장점으로 유입된다. 앞으로 보급 확산이 예상되는 소규모 스마트그리드 구성 및 운전 형태별 고장전류를 해석하고 이를 이용하여 실현 가능한 스마트그리드 보호계전시스템의 구현 및 이의 동작 설정 값을 계산한다. 아울러 스마트그리드에 발생한 고장전류 크기 및 분포에 관련한 보호계전시스템의 적정성을 조사 및 분석한다.

1. 서 론

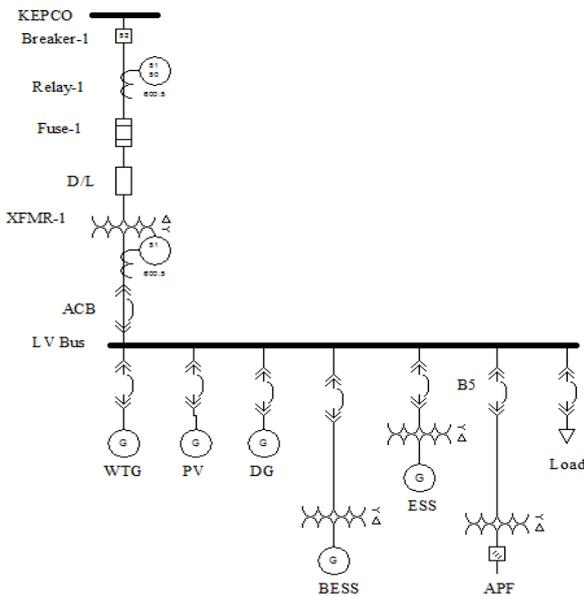
스마트그리드는 양방향 통신, 컴퓨팅 및 소프트웨어와 같은 정보기술을 적용하여 전력 운영의 효율성, 신뢰성 및 안정성을 높이는 신재생에너지를 포함한 친환경적인 단위 전력계통으로 부하를 포함하여 풍력발전, 태양광발전 및 에너지저장장치 등 다양한 전원으로 구성되는 비교적 복잡한 전력시스템이다.

보호계전기는 전력계통을 구성하고 있는 전력설비에 고장이 발생하거나 전력계통에 이상이 발생했을 때 이를 검출하여 고장부분을 차단시간 내에 계통으로부터 분리함으로써 전력공급 지장을 최소화하고 아울러 전력설비의 손상을 억제하는 기능을 수행한다. 다양한 전원이 포함된 스마트그리드 보호계전기는 전력공급의 신뢰성 및 전력계통 운영의 안정성을 보장할 수 있도록 구성 및 운영되어야 한다. 이에 실현 가능한 소규모 스마트그리드를 모의하고 적정 보호계전 방안을 제시 한다. 제시된 보호계전기가 주어진 목표를 달성할 수 있도록 동작 설정 값을 계산하고 이에 관련된 동작 상태를 분석 및 검토한다.

2. 본 론

2.1 스마트그리드 구성 및 고장전류 계산

스마트그리드는 한국전력 22.9kV 배전선로를 통하여 연계된 것으로 가정하였다.



<그림 1> 스마트그리드 구성 개요도

<그림 1>은 소규모 계통의 스마트그리드를 구현한 단선도로써 부하 (Load)와 신재생에너지 발전원인 소형 풍력발전기(WTG) 및 태양광발전기(PV)가 있고, 자연 현상에 따라 불규칙하게 발전되는 전력을 평활화 할 수 있는 에너지저장장치(BESS 및 ESS) 그리고 스마트그리드 독립 운전을 보완할 수 있는 디젤발전기(DG)로 구성되어있다.

전력계통 이상 상태 검출은 고장전류와 고장전압 상태에 따라 결정된다. 즉, 고장전류와 고장전압에 따라 보호계전 방안과 보호계전기 동작 설정 값이 정해진다. 스마트그리드에서 고장전류를 발생하는 요소는 연계 전력계통, 발전기와 전동기 같은 회전기기 및 스마트그리드에서 폭넓게 이용되고 있는 전력전자설비들 이다. 검토 대상 스마트그리드는 디젤발전기발전기와 발전설비인 풍력발전, 태양광발전 및 에너지저장장치들이 인버터기반(Inverter based) 전력전자 설비를 통하여 접속된 것으로 가정하였다. 동기발전기는 차과도, 파도 및 동기 임피던스에 의해 비교적 큰 고장전류가 발생되지만 인버터기반 전원 설비는 극히 제한된 짧은 순간에 상대적으로 작은 고장전류가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 즉, 인버터기반 전원 설비에서 발생하는 고장전류는 정격전류의 120%이내 이고 지속시간은 200msec 이하인 것으로 보고되고 있다.

보호계전기 동작 설정값 결정을 위해서는 IEC 60909에 기준한 Initial fault current와 Steady state fault current를 계산하였다. 일반적으로 보호계전기 순시요소(Instantaneous element)는 Breaking fault current에 의해 동작되고 한시요소는 Steady state fault current에 의해 동작되는 것으로 알려져 있으나, 차단기 차단시간이 매우 짧은 경우 Breaking fault current와 Initial fault current가 매우 유사함을 고려하여 본 검토에서는 상대적으로 고장전류가 더 큰 Initial fault current를 계산하여 사용하였다.

고장전류 계산은 스마트그리드가 전력회사 전력계통과 연계 운전되는 경우와 연계 전력계통으로부터 분리되어 독립 운전되는 것을 가정하여 수행하였다. <표 1>과 <표 2>는 이들 각각의 관측 모션 고장전류 상태를 나타낸 것이다.

<표 1> 스마트그리드 연계 운전 고장전류

고장점	전압 [kV]	Initial fault [A]		Steady state fault [A]	
		삼상단락	1상지락	삼상단락	1상지락
전력회사 인출점	22.9	9,947	10,759	9,935	10,750
연계점	22.9	2,210	1,482	2,109	1,478
스마트그리드 모션	0.38	16,732	17,123	16,021	15,582

<표 2> 스마트그리드 독립 운전 고장전류

고장점	전압 [kV]	Initial fault [A]		Steady state fault [A]	
		삼상단락	1상지락	삼상단락	1상지락
전력회사 인출점	22.9	9,930	10,746	9,930	10,746
연계점	22.9	2,103	1,477	2,103	1,477
스마트그리드 모션	0.38	1,030	1,502	420	622

여기에 나타난 것과 같이 스마트그리드가 전력회사 전력계통으로부터 분리되어 독립 운전되는 경우 스마트그리드에는 매우 작은 고장전류가 흐른다. 즉, 스마트그리드 규모가 작은 경우 대부분의 고장 전류는 상대적으로 규모가 큰 전력회사 전력계통으로부터 유입된다. 전력회사 전력계통으로부터 유입되는 Initial fault current와 Steady state fault current의 차가 없는 것은 전력회사 154kV모선을 무한모션으로 모의하였기 때문이며 과도임피던스만 이용하여 고장전류를 계산한 결과이다.

2.2 스마트그리드 보호계전기 정정

스마트그리드는 22.9/0.38kV, 650kVA 배전변압기를 통하여 전력회사

22kV배전선로에 연계된다. 스마트그리드 보호는 380V 인입 디지털보호계전기와 기중차단기(ACB)를 설치하여 양방향 보호가 되도록 하였으며 풍력발전, 태양광발전, 에너지저장발전 및 부하설비 전단에는 배선용차단기(MCCB)와 누전경보기(ELD)로 이들 설비를 보호하였다. 다음은 스마트그리드 보호계전기 동작 설정 값을 계산한 것이다.

- 380V 인입 디지털보호계전기 한시과전류계전기 설정
스마트그리드 발전을 풍력, 태양광 및 디젤 발전기만 고려한 경우
한시과전류계전기 설정 = 정격전류의 120%

$$1.2 \times \frac{30+20+50}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.85} \times \frac{1}{600} I_n = 0.357 I_n$$

한시과전류계전기 설정 : $0.36 I_n$

(1차 설정 전류 = $0.36 \times 600 = 216A$)

한시동작지연 : 0.04, 강반한시

- 380V 인입 디지털보호계전기 순시과전류계전기 설정
순시과전류계전기 설정 = 정격전류의 500%

$$5 \times \frac{30+20+50}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.85} \times \frac{1}{600} I_n = 1.49 I_n$$

순시과전류계전기 설정 : $1.5 I_n$

(1차 설정 전류 = $1.5 \times 600 = 900A$)

순시동작시간 : 0.04초

- 380V 인입 디지털보호계전기 한시지락과전류계전기 설정
한시지락과전류계전기 설정 = 정격전류의 20%

$$0.2 \times \frac{30+20+50}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.85} \times \frac{1}{600} I_n = 0.06 I_n$$

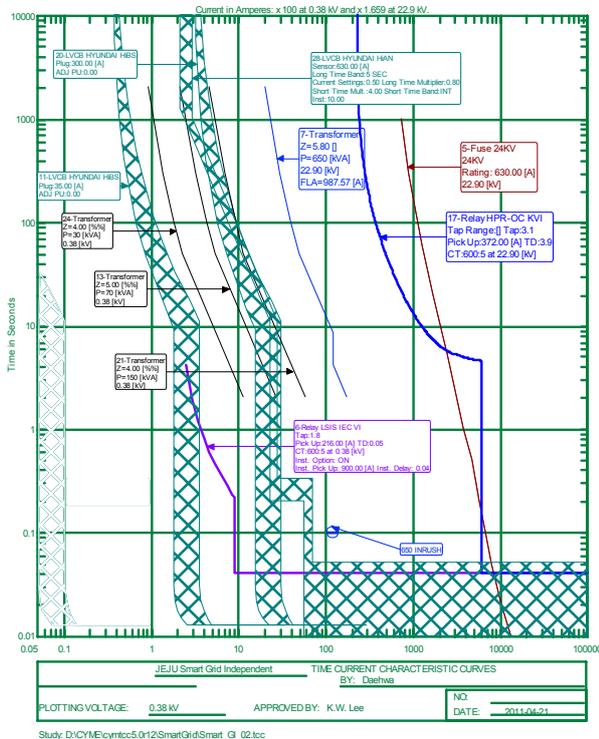
한시지락과전류계전기 설정 : $0.06 I_n$

(1차 설정 전류 = $0.06 \times 600 = 36A$)

한시동작지연 : 0.72, 강반한시

- 380V 인입 디지털보호계전기 순시지락과전류계전기 설정
순시과전류계전기 설정 : OFF (후비보호계전기와 협조되도록)

380V 인입 기중차단기 설정은 인입 디지털보호계전기와 동일한 보호구간은 담당하고 있으므로 후비보호가 되도록 충분한 여유 시간을 갖도록 설정한다.



〈그림 2〉 스마트그리드 과전류보호 TCC

〈그림 2〉는 스마트그리드 연계 배전선로 인출 보호계전기 및 앞에서 계산된 스마트그리드 인입 보호계전기 동작 설정 값을 분석할 수 있도록 관련 보호설비 TCC를 나타낸 것이다.

2.3 스마트그리드 운전 형태별 보호협조 검토

스마트그리드 운전 형태는 전력회사 전력계통과 연계된 상태와 전력

회사 연계선로에서 분리되어 단독 운전되는 2가지 형태이다. 고장전류 계산 결과에서 나타난 것과 같이 스마트그리드가 독립적으로 단독 운전되는 경우 상대적으로 매우 작은 고장전류가 발생한다.

2.3.1 스마트그리드 연계 운전 형태 전력계통 보호

스마트그리드가 전력회사 전력계통과 연계된 상태로 운전되는 경우 스마트그리드 380V 모선의 3상단락 고장전류는 15,680A이고, 1상지락 고장전류는 16,371A이다. 이와 같은 고장 상태에서 고장 검출에 소요되는 보호계전기 동작시간은 다음과 같다.

3상단락고장 보호계전기 동작시간 = 0.04초 ($15,680A \gg 900A$)

$$1상지락고장 보호계전기 동작시간 = 0.72 \times \frac{13.5}{\left(\frac{16.371}{36} - 1\right)} = 0.02\text{초}$$

즉, 스마트그리드 380V 저압계통에 고장이 발생하면 연계 전력계통으로부터 큰 고장전류가 유입되어 비교적 신속하게 고장을 제거 할 수 있음을 보여주고 있다.

2.3.2 스마트그리드 단독 운전 형태 전력계통 보호

스마트그리드가 전력회사 전력계통과 분리되어 독립 상태로 운전되는 경우 스마트그리드 380V 모선 3상단락 고장전류는 420A이고, 1상지락 고장전류는 622A이다. 이와 같이 스마트그리드가 분리되어 독립 운전되는 경우, 고장전류 크기는 인입 디지털보호계전기 고장검출 설정 값 이상이 될 수 있으나, 고장전류가 관련 보호계전기를 CT를 관통하지 않기 때문에 고장 검출이 불가능하다.

또한 스마트그리드 연계에 이용되는 배전변압기(22.9/0.38kV, 650KVA) 1차측인 22.9kV모선에 단락 또는 지락고장이 발생한 경우에도 변압기 임피던스 때문에 고장전류가 너무 작아 인입 디지털보호계전기 동작 설정 값 이하가 되어 이를 검출할 수 없게 된다.

이를 보완하도록 스마트그리드 인입 디지털보호계전기의 저전압 요소를 이용하여 고장을 검출하고, 적정 보호가 되도록 할 수 있다. 즉, 저압 배전계통에 연계된 소규모 스마트그리드는 양방향 전원 상태이지만 고장전류가 작고 고장전류 흐름도 관련된 CT를 관통하지 않기 때문에 고장 전류에 의한 고장 검출이 불가능하게 된다 따라서 적정 저전압 요소를 이용하여 고장을 검출하고 고장을 제거해야 된다.

3. 결 론

규모가 작은 스마트그리드는 신재생에너지원인 풍력발전기, 태양광발전기 등을 포함하여 불규칙하게 발전되는 이들 전원을 보완하도록 에너지저장장치를 구비하게 되는데 이들 대부분의 전원이 인버터기반(Inverter based) 설비이기 때문에 고장전류가 작아 원활한 고장검출이 어렵다. 따라서 스마트그리드에 단락 및 지락사고 발생시 고장전류가 상대적으로 작고, 계통 구성에 따라서는 제한된 영역에만 고장전류가 분포되어 기존의 보호계전 방식으로 적정 보호를 달성하기는 어려울 수도 있다. 따라서 스마트그리드 보호계전기 구성 및 운영 방안은 스마트그리드가 가지고 있는 특성을 감안하여 필요 충분한 보호가 달성될 수 있을지를 사전에 충분히 검토할 필요가 있다. 아울러 스마트그리드를 구성하고 있는 분산전원의 보호계전기 선정 및 동작치 설정에도 이와 같은 특성을 고려해야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 홍종석, 한무호, 이상민, 이강완, "스마트그리드 보호방안 설계 관련 고장전류 해석", 대한전기학회, 2010년도 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, 2010. 5, 7-8
- [2] 이상민, 정형모, 유권중, 이강완, "계통연계 풍력 및 태양광발전시스템 고조파 영향 검토", 대한전기학회, 전기학회논문지 B 전기기기 및 에너지변환시스템부문 제58권 제11호 pp.2185-2191, 2009. 11
- [3] 김종걸, 이성규, 이상민, 이강완, "풍력발전소 고장전류 해석", 대한전기학회, 2008년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp.287-289, 2008. 11
- [4] 이성규, 박진우, 이강완, "풍력발전시스템 보호계전 방안 연구", 사단법인 전력계통보호제어연구회, 2008년도 전력계통보호제어연구회 학술 및 기술 발표회 논문집, pp.113-120, 2008.3.13
- [5] "CYME 5.02 CYMDIST Basic Analysis Users Guide", CYME International T & D Inc., January 2011
- [6] "CYMTCC 5.0 Reference Manual User Guide", CYME International T & D Inc., July 2009