

분산형전원 연계기준 변화에 따른 보호협조 적정성 검토

남궁원*, 조남훈*, 정금영*, 이성우*
한국전력공사 전력연구원*

A Study on the Protective Coordination for Distribution Systems Interconnected with DG Under New Standard

Won Nam-Koong*, Nam-Hoon Cho*, Geum-Young Jung*, Sung-Woo Lee*
KEPCO Research Institute*

Abstract - 최근 정부의 일련의 강력한 정책의 시행으로 계통에 분산형전원의 설치가 빠르게 증가하고 있다. 게다가 2015년 4월부터는 분산형전원의 저압계통 연계기준이 500kW 미만으로 크게 늘어 신재생에너지 이용을 통한 분산형전원의 계통 연계량의 증가는 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 특히 저압계통에 연계되는 분산형전원의 연계용량이 늘어남에 따라 기존 연계 기준에서는 큰 영향을 미치지 않았던 고장들도 사고 발생 시 특고압으로 운영 중인 배전계통에 미치는 영향도 같이 늘어난다. 따라서 본 논문에서는 기존과는 달라진 환경에서 계통에서 발생 할 수 있는 문제점을 분석하여 대책을 제시하도록 하겠다.

그림 1은 전압에 따른 분산형전원의 배전계통 연계 시 사용되는 설비들이다. 저압 연계에서는 분산형전원의 연계용량이 100kW 이상인 경우 가공을 통한 연계는 고장구간차단기, 지중을 통한 연계는 다회로차단기를 사용한다. 본 논문에서는 가공으로 100kW 이상의 분산전원이 저압계통으로 연계되는 경우의 보호협조 적정성을 분석하였다.

1. 서 론

정부는 화석연료대체, 미래에너지 경쟁력강화 등을 목적으로 신재생에너지를 이용한 분산형전원의 도입을 강력하게 추진하고 있다. 신재생에너지 의무할당제(RPS), 신재생에너지공급인증서(REC), 그린홈 100만호 보급 신재생에너지의 보급을 획기적으로 늘릴 다양한 정책을 진행 중이며 2015년 4월부터는 축산농가 지원 방안으로 저압(교류 단상 220V 또는 교류 삼상 380V)연계용량을 기존 100kW 미만에서 500kW 미만으로 크게 증가시켰다. 따라서 발전사업자는 수전설비 설치비용이 절감되고 유지보수의 어려움이 줄어들어 편의성이 크게 증가 되었다. 하지만 계약 전력의 크기가 늘어남에 따라 고장에 따른 파급효과도 같이 늘어나게 된다. 이 경우 인근 수용가, 발전사업자에게 미치는 악영향을 줄이기 위해 보호기기를 설치하고 올바른 운영이 필요하다. 본 논문에서는 분산형전원의 고장 시 해당 보호기와 계통의 후비보호기간의 보호협조 적정성을 분석하고 안정적인 보호협조 방안을 위한 대책을 제시하고자 한다.

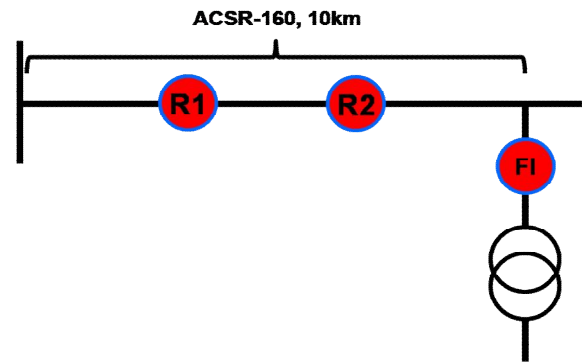
2.2 보호협조 적정성 분석

저압계통에 연계된 분산형전원의 보호협조 대상인 보호기기는 변전소의 릴레이, 리크로저, 고장구간차단기이다. 본 논문에서 모의하는 계통은 그림 2와 같다. 분산형전원의 연계 위치는 전위 측 리크로저(R2)의 부하측이고 사용된 선종은 ACSR-160 이며 변전소로 부터의 거리는 10km, 연계되는 분산형전원의 연계용 변압기의 용량은 500kVA이며 결선 방식은 Yg-Δ 방식이다.

2. 본 론

2.1 계약전력 기준의 변화

분산형전원이 특고압계통에 연결될 경우와 저압계통으로 연계될 경우 다른 점은 수전설비의 설치 및 유지 보수의 주체가 다르고 고장 발생 시 고장 파급을 막기 위한 보호기기 및 각종 설비에 차이가 있다.



〈그림 2〉 모의 계통 구성

고장 계산에 사용된 임피던스와 기준용량, 기준전압은 다음과 같다.

- 계통 % 임피던스: %Zs1=%Zs2=0.1+j35, %Zs0=j48
- ACSR-160 % 임피던스/km: %Zl1=%Zl2=3.58+j7.68, %Zl0=11.19+j27.56
- 변압기 % 임피던스: %Zt1=%Zt2=%Zt0=j900
- 기준용량 Pb=100MVA
- 기준전압 Vb=22.9kV

$$\text{- 정격전류 } I_n=2,521\text{A}, I_n = \frac{10^5}{\sqrt{3} \times 22.9} = 2,521\text{A} \quad \text{식 1}$$

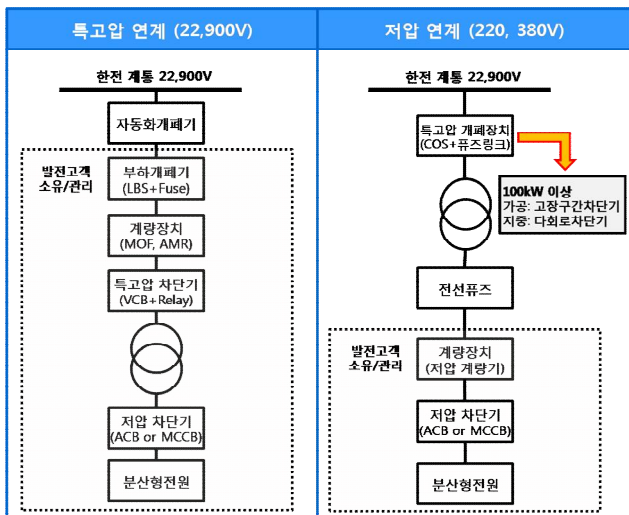
모의 선로에 공급 가능한 최대부하전류는 252A이고 배전선로에 설치된 2개의 리크로저가 있다. 2대의 리크로저는 부하를 균등하게 나누는 부분에 설치가 되어있어 각 리크로저에 흐르는 최대부하전류는 후비 리크로저(R1)는 168A, 전위 리크로저(R2)는 84A 이다.

고장구간차단기의 차단기능은 설정한 값 이상의 전류가 흐를 경우 즉시 동작하는 순시 기능과 설정 치 이상의 전류가 흐를 경우 전류 크기에 따라 동작시간이 변하는 시간-전류(T-C)특성 기능이 있다. 순시의 차단 시간은 3cycle 이하이며 후비보호기기인 리크로저와 보호협조가 가능하려면 협조시간차 3cycle이 필요하다.

2.2.1 Case 1. 3상 단락 고장

변압기 직하에서 3상 단락고장이 발생할 경우 고장점에서 본 전계통 %임피던스(%Z3s)는 변전소 모선 %등가임피던스, 선로 %임피던스, 변압기 %임피던스의 합이다

$$\begin{aligned} \%Z_{3s} &= \%Z_{s1} + \%Z_{l1} \times 10 + \%Z_t \\ &= 0.1 + j35 + 10 \times (3.58 + j7.68) + j900 = 35.9 + j1011.8[\%] \end{aligned} \quad \text{식 2}$$



〈그림 1〉 전압별 연계 설비 구성

보호기기가 경험하는 무부하시 3상 단락고장전류는 I_{3s} 이다.

$$I_{3s} = \frac{2521}{35.9 + j1011.8} \times 100 = 249A \quad \text{식 3}$$

리크로저 상의 최소동작전류의 정정범위는 1. 최대부하전류의 2.8~4.0 배 이하, 2. 후비보호기기의 상 최소동작전류 정정치 이하이다. 본 연구에서는 작은 고장전류에서도 동작하는 상황을 모의하기 위해 최대부하전류의 2.8배로 선택한다. 따라서 전위 리크로저는 235A, 후비리크로저는 470A 이다. 고장구간차단기의 최소동작전류는 부하전류의 1.3배 (500kVA 부하전류 * 1.3 = 16.4A)로 설정한다. 후비 리크로저와 전위 리크로저의 원활한 보호협조를 위해 후비 리크로저의 T-C 커브는 N2, 전위 리크로저의 T-C 커브는 N1으로 설정한다. 리크로저, 고장구간차단기에 흐르는 최대부하전류, 상 최소동작전류, T-C 커브는 표1과 같다.

〈표 1〉 리크로저의 최대부하전류와 상 최소동작전류

	후비 리크로저 (R1)	전위 리크로저 (R2)	고장구간차단기
최대부하전류 (A)	168	84	12.6
상최소동작전류 (A)	470	235	17
T-C 커브	N2	N1	N1



〈그림 3〉 3상 고장 T-C 커브

3상 단락 고장전류가 249A 발생할 경우 고장구간차단기(T-C: N1)는 3.47cycle, 전위리크로저는 8.91cycle에 동작하고 후비 리크로저는 동작하지 않기 때문에 고장구간차단기와 전위 리크로저 두 기기간의 동작시간차는 5.43cycle로 보호협조에 필요한 최소 협조시간차 3cycle 이상이므로 보호협조가 적절하다.

2.2.2 Case 2. 1선 지락 고장

변압기직하에서 1선 지락고장이 발생할 경우 보호기기가 경험하는 고장전류는 I_g 이다.

$$I_g = \frac{3 \times 100}{\%Z_0 + \%Z_1 + \%Z_2} \times I_n \quad \text{식 4}$$

$$\%Z_0 = \%Z_{S0} + \%Z_{L0} + \%Z_{T0} = 111.9 + j1223.6 \quad \text{식 5}$$

$$\%Z_1 = \%Z_{S1} + \%Z_{L1} + \%Z_{T1} = 35.9 + j1011.8 \quad \text{식 6}$$

$$\%Z_2 = \%Z_{S2} + \%Z_{L2} + \%Z_{T2} = 35.9 + j1011.8 \quad \text{식 7}$$

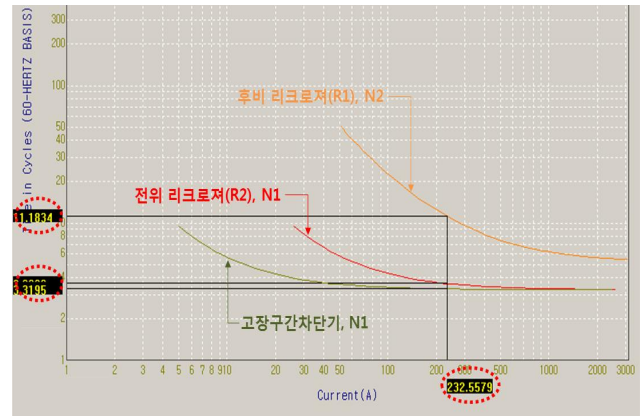
$$I_g = \frac{3 \times 100}{\%Z_0 + \%Z_1 + \%Z_2} \times I_n = 233A \quad \text{식 8}$$

리크로저 지락의 최소동작전류의 설정은 1. 최대부하전류의 30% 이상, 2. 리클로저 부하 측 최대 단상분기의 최대부하전류 이상, 3. 보호구간 최소 1선 지락전류 50% 이하, 4. 후비보호기기 지락 최소동작전류 정정치 이하 이상 4가지를 고려한다. 본 연구에서는 작은 고장전류에서도 동작하는 상황을 모의하기 위해 최대부하전류의 30%를 설정 값으로 한다. 따라서 전위 리크로저는 26A, 후비리크로저는 51A 이다. 고장구간차단기의 최소동작전류는 부하전류의 40%인 5A (500kVA 부하전류 * 0.4 = 5.04A)로 설정한다. 후비 리크로저와 전위 리크로저의 원활한 보호협조를 위해 후비 리크로저의 T-C 커브는 N2, 전위 리크로저의 T-C

커브는 N1으로 설정한다. 리클로저, 고장구간차단기에 흐르는 최대부하전류, 지락 최소동작전류, T-C 커브는 표2와 같다.

〈표 2〉 리크로저의 최대부하전류와 지락 최소동작전류

	후비 리크로저 (R1)	전위 리크로저 (R2)	고장구간차단기
최대부하전류 (A)	168	84	12.6
지락최소동작전류 (A)	51	26	5
T-C 커브	N2	N1	N1



〈그림 4〉 1선 지락 고장 T-C 커브

1선 지락 고장이 발생하여 고장전류가 233A 발생할 경우 고장구간차단기(T-C: N1)는 3.32cycle, 전위 리크로저는 3.63cycle, 후비 리크로저는 11.18cycle에 동작한다. 고장구간차단기와 전위리크로저 두 기기간의 동작시간차는 0.31cycle로 보호협조에 필요한 최소 협조시간차 3cycle 이하이므로 보호협조가 되지 않음을 알 수 있다.

1선 지락 고장의 경우 보호기기가 경험하는 고장전류인 233A 인 경우 전위 리크로저의 동작시간이 3.63cycle이기 때문에 고장구간차단기의 동작을 T-C 커브 특성 대신 순서로 하더라도 보호협조가 되지 않는다. 이 경우에 고장구간차단기와 전위 리크로저 사이에 보호협조가 가능하게 하려면 전위 리크로저의 설정을 T-C 커브: N2, 지락최소동작전류: 26A로 할 경우 전위 리크로저와 고장구간차단기 두기기간의 보호협조가 된다. 하지만 전위 리크로저와 후비 리크로저가 동일한 T-C 커브를 사용할 경우 전위 리크로저 직하에서 완전지락이 발생하는 경우 같이 고장전류가 큰 경우 협조시간차를 얻기에 어렵기 때문에 최소동작전류를 증가 시키든지 동작 시간을 지연시키는 장치를 사용해야 한다.

3. 결 론

분산형전원 연계용 변압기 용량이 커질수록 임피던스도 작아지므로 저압 측에서 발생한 고장이더라도 특고압 배전계통에 발생하는 고장전류가 커져서 배전계통의 보호협조가 어려워진다. 이 문제는 저압계통에 연계되는 분산형 전원만의 문제가 아니라 대용량의 특고압 수용가, 발전사업자, 저압 수용가 모두에 해당되는 문제이다. 수용가나 발전사업자에서 발생한 고장이 인근의 다른 사용자에게 파급되지 않기 위해서는 반드시 바뀐 환경변화에서 발생 가능한 경우를 고려하여 보호협조를 해야 할 것이며 급격하게 변화되는 상황에서도 완전한 보호협조를 하기 위해서는 새로운 보호협조 기술과 보호기기의 개발 또한 고려해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이종호, 하복남, 조남훈, "배전선로 보호협조 개선을 위한 리클로저 TC커브 변경", 98년도 전력계통연구회 하계학술대회 논문집, 964~966
- [2] 한전표준규격, "22.9kV 일반형 지상변압기 (ES-5950-0017)", 2015. 1. 12 개정
- [3] "Power System Analysis And Design", J. DUNCAN GLOVER, CENGATE Learning