2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집(2001.4.19~21)

신에너지전원설비의 배전계통 연계에 의한 단락용량 검토

*김응상,*김슬기
*한국전기연구원

Impacts on short-circuit capacity by interconnection of new energy source generation into the distribution system

*Eung-Sang Kim, *Seul-Ki Kim
*KERI

Abstract - Interconnection of new energy sources, such as photovoltaic generation, wind power generation, etc., into the electric power distribution system may result in the increasing short-circuit capacity when a short circuit fault occurs. The short-circuit capacity becomes over the interrupting ratings of circuit breakers, and then they fails to operate in the proper way they prevent fault currents from flowing into the distribution facilities and thus causing them serious damages. This study deals with impacts on the respective short-circuit capacity of both low voltage and extra high voltage distribution systems at which new energy sources are installed. In order to obtain more accurate and all-case values very close to reality in the complicated distribution system, computer simulation tools should be required. In this paper, however, its focus is placed on examining the varying trend of short-circuit capacity, which may happen owing to new energy source interconnection, as a previewing step for exhaustive simulation studies.

1. 서 론

자원의 무한성, 환경친화성, 설치 및 위치선정의 용이성 등으로 인해 태양광, 풍력 발전과 같은 신에너지전원의 양적·질적 성장이 계속되고 있으며 점차적으로 독립된 형태가 아닌 기존 전력계통과의 연계의 필요성이 중대되고 있다. 신에너지전원을 전력계통에 연계하면 전력품질, 공급신뢰도 면에서 기존의 전력계통이나 타 수용가에 악영향을 미칠 수 있다. 본 논문에서는 풍력발전시스템을 배전계통에 연계함으로써 기존 계통의 단락용량에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

신에너지전원을 배전계통에 연계하면 기존 계통의 단락용량을 증가시키는 결과를 초래하게 되는데 이 용량이 기존의 전력회사의 각종 차단기(변전소 CB, Recloser, 전력 퓨우즈 등) 또는 수용가 차단기의 차단용량을 상회하게 되는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우 전력계통에서 각종 사고나 수용가 구내사고 시에 차단불능이 될 우려가 있다.

본 논문에서는 저압 및 특별고압 배전선에 연계 시 간단한 신에너지전원이 연계된 배전계통 모델과 간단한 단락용량 계산법을 이용해서 단락용량에 미치는 영향을 검토한다.

2. 본 론

2.1 단락용량

차단기의 차단용량은 정격차단 전류에 의해 결정되며, 이 전류는 정격전압 및 규정된 조건하에서 규정된 동작책무와 동작상태에 따라서 차단할 수 있는 전류의 한계값을 말한다. 일반적으로 전력계통에서 발생할 수 있는 가장 큰 고장전류는 단락전류이며, 차단기는 이 단락전류를 확실하게 차단할 수 있는 능력이 있어야 한다.

단락전류를 계산하는 주목적은 전력계통에 설치되는 차단기, 퓨즈 등의 차단전류를 선정하고 각 지점의 사고시에 적절한 보호협조가 취해지도록 보호 계전기의 적정치를 선정하며 직렬기(케이블, 차단기, 단로기 등)가 단락전류가 차단완료 될 때까지 열적 및 기계적으로 견디는가를 고찰하는데 있다.

또한, 전력계통보호를 위해서는 단락사고시 사고가 파급되지 않도록 차단기를 선정하는 것이 중요하며, 이 사고 전류를 안전하게 차단시키기 위해서는 차단기의 차단정격 단락전류보다 반드시 커야 한다. 단락전류는 그 형태가 매우 복잡 다양하나 그 전류의 크기는 주로 계통의 전력용량에 좌우되는 것으로 부하와는 직접적인 관련을 갖고 있지는 않다.

2.2 단락용량의 결정방법

차단기의 차단용량이 단락전류보다 적을 경우에 차단기는 고장전류를 차단시키지 못하고 차단기 자체가 폭발하여 화재의 발생, 고장전류의 파급, 기기의 손상 등 재해의 원인이 될 수 있다. 그러므로, 단락전류를 정확히 계산하는 것이 중요하므로 전자계산기로 이용하는 것이 가장 이상적이나, 전용 프로그램이 있어야 하고 복잡한 계통에서는 프로그램 입력사항이 많아 상당한 시간이 걸린다. 여기에서는 간단한 전력계통의 경우에서 전산프로그램을 이용하지 않더라도 큰 오차가 없는 %법에 대하여 간략히 논한다. 단락용량은 해당 선로의 단락전류에 정격전압을 곱하거나 또는 1을 곱하는 것을 의미하므로 단락용량과 단락 전류의 의미차이는 없다고 볼 수 있다.

3상 단락 고장은 평형고장이므로 단락전류는 고장점의 대지전압을 고장점에서 본 전계통의 임피던스로 나누어 구할 수 있다. 계통에서는 임피던스의 크기를 Ω값 대신에 %값으로 나타내는 경우가 많다. 정격전류를 I_n[A], 정격 Y 전압을 E[V]라고 하면,

$$\%Z = \frac{Z I_n}{E} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$\therefore Z[\Omega] = \frac{\%Z \times E}{100 I_n} [\Omega] \quad (2)$$

이므로, 단락전류 Is는 다음과 같이 구한다.

$$I_s = \frac{E}{Z[\Omega]} = \frac{E}{\frac{\%Z \times E}{100 \times I_n}} = \frac{100}{\%Z} \times I_n[A] \quad (3)$$

식 (3)의 양변에 $\sqrt{3}$V를 곱하면 (V= 선간전압[kV]),

$$P_s = \frac{100}{\%Z} \times \sqrt{3}\,V I_n$$
$$= \frac{100}{\%Z} \times P_n[kVA] \qquad (4)$$

단, $P_s = \sqrt{3}VI_s$ 는 3상 단락용량 [kVA]

$P_n = \sqrt{3}VI_n$ 는 정격용량 [kVA]

이 계산법을 %법이라고 한다. 이 계산식에서 알 수 있듯이 3상 단락전류 Is의 크기는 정격전류 In의 100/%Z 배로서, 100을 %Z로 나누어주기만 하면 정격전류의 몇 배가 단락전류로서 흐르게 되는가를 쉽게 알 수 있다. 정격전류의 크기를 모르더라도 고장점에서 본 전계통의 %Z가 얻어지면 단락전류가 정격전류의 몇 배인가 하는 배율을 쉽게 알 수 있다.

%법에는 정격전류 In이 식 속에 들어 있으므로 발전소나 변전소에서의 발전기, 변압기, 조상기, 그리고 선로 등 각 부분의 kVA 용량이 서로 다를 경우에는 우선 %Z를 모두 같은 kVA용량(기준용량)에 대하여 환산해 준 다음 고장점에서 집계한다.

3. 사례연구

3.1 저압계통 연계 시의 단락용량

회전기를 이용한 신에너지전원과 역변환장치를 이용한 신에너지전원로 나누어 단락용량을 검토한다.

3.1.1 회전기를 이용한 신에너지전원의 연계 시

단락용량 검토를 위해 신에너지전원이 연계된 저압계통의 모델은 그림 1과 같다.

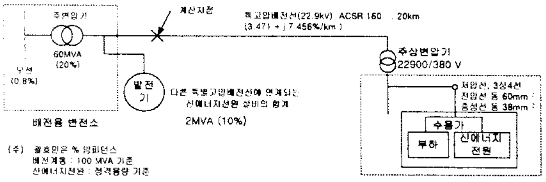

그림 1 저압 배전계통 연계 단선도

- 단락용량 계산지점 : 고압배전선의 변전소 송출지점
- 저압 수용가의 신에너지전원 용량 : 50kVA
- 동일 뱅크의 다른 특별고압배전선에 연계되어있는 기존의 신에너지전원 용량의 합계 : 2,000kVA
- 배전계통에 관계되는 %임피던스 : 100MVA 기준
  신에너지전원의 %임피던스 : 정격용량 기준
- 50kVA의 신에너지전원의 연계 전 후에 대해 계산

그림 2는 저압 배전선에 연계된 신에너지전원의 단선도를 나타낸다.

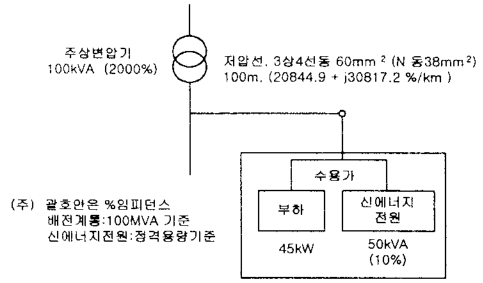

그림 2 저압배전선 연계 단선도

다음과 같은 순서에 의해 단락용량을 계산한다.

① 그림 1과 그림 2의 %임피던스를 100MVA를 기준으로 변환한다.

- 50kVA 신에너지전원의 %임피던스

$$10 \times \frac{100,000kVA}{50kVA} = 20000\ [\%]$$

- 2,000kVA 신에너지전원의 %임피던스

$$10 \times \frac{100,000kVA}{2,000kVA} = 500\ [\%]$$

- 특별고압배전선의 %임피던스

$$(3.471 + j\,7.456) \times 20 = 69.4 + j\,149.1 = 164.5\ [\%]$$

- 저압배전선의 %임피던스

$$0.1 \times (20844.9 + j30817.2) = 2084.5 + j3081.7$$
$$= 3720.5\ [\%]$$

② %임피던스를 바탕으로 임피던스 도를 작성한다.

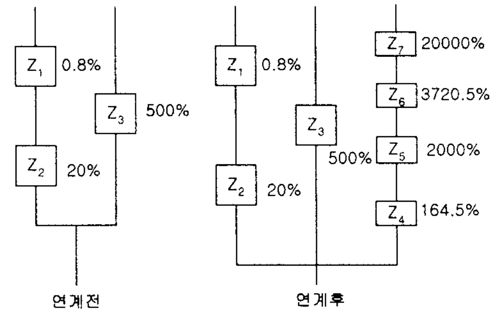

그림 3 임피던스 도

③ 그림 3의 임피던스 도에 근거하여 50kVA 신에너지전원이 연계되기 전과 후의 %임피던스를 계산하고 이로부터 각각의 단락용량을 계산한다.

- 50kVA 신에너지전원 연계 전

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{(0.8+20)} + \frac{1}{500}} = 19.97\ [\%]$$

$$\therefore \text{ 단락용량}(P_S) = \frac{100,000 \times 100}{19.97} = 500.75\ [MVA]$$

- 50kVA 신에너지전원 연계 후

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{(0.8+20)} + \frac{1}{500} + \frac{1}{(20000+2000+164.5+37.2)}} = 19.95\ [\%]$$

$$\therefore \text{ 단락용량}(P_S) = \frac{100,000 \times 100}{19.95} = 501.25\ [MVA]$$

50kVA의 신에너지전원을 저압 수용가에 설치 시 단락용량은 500.75MVA에서 501.25MVA로 증가한다. 이 결과에서 볼 수 있듯이 저압 배전계통에 신에너지전원이 연계된 경우, 연계전의 계통의 임피던스에 매우 큰 %임피던스(이 예에서는 10000%)를 병렬로 추가한 형태가 되어 결국 연계전과 후의 %임피던스의 변화가 미소하므로(이 예에서는 19.97%→19.95%) 단락용량에 미치는 영향이 무시할 정도로 작다.

3.1.2 역변환장치를 이용한 신에너지전원의 연계 시

이 경우 신에너지전원에 역변환장치를 병렬로 연결한 형태가 된다. 역변환장치가 공급하는 단락전류는 역변환장치 자신의 과전류제한치로 제한되어 그 값은 일반적으

로는 정격전류의 1.1~1.5배이고 따라서 단락용량은 역변환장치의 정격용량의 1.1~1.5배이다. 저압 배전계통에 연계되는 신에너지전원의 용량을 고려할 때(여기서는 50kVA) 단락용량의 증가는 앞에서 회전기를 이용한 경우에 55kVA~75kVA 정도가 추가된 것으로 그 영향이 미소하다.

3.2 특별고압 계통 연계 시의 단락용량

3.2.1 회전기를 이용한 신에너지전원의 연계 시

단락용량 검토를 위해 신에너지전원이 연계된 특별고압 배전계통의 모델은 그림 4와 같다.

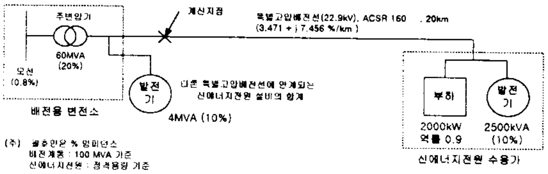

그림 4 특별고압 배전계통 연계 단선도

- 단락용량 계산지점 : 고압배전선의 변전소 송출지점
- 특별고압배전선에 연계된 신에너지전원 : 2,500kVA
- 동일 뱅크의 다른 특별고압 배전선(일반 배전선)에 연계되어 있는 신에너지전원의 용량 합계 : 4,000kVA
- 배전계통에 관계되는 %임피던스 : 100MVA 기준
  신에너지전원의 %임피던스 : 정격용량 기준
- 2,500kVA 신에너지전원의 연계 전 후에 대해 계산

다음과 같은 순서에 의해 단락용량을 계산한다.

① %임피던스를 100MVA를 기준으로 변환하고 변환된 %임피던스를 바탕으로 임피던스 도를 작성한다.

- 2,500kVA 신에너지전원의 %임피던스

$$10 \times \frac{100,000kVA}{2,500kVA} = 400\ [\%]$$

- 4,000kVA 신에너지전원의 %임피던스

$$10 \times \frac{100,000kVA}{4,000kVA} = 250\ [\%]$$

- 특별고압배전선의 %임피던스

$$(3.471 + j\,7.456) \times 20 = 69.4 + j\,149.1 = 164.5\ [\%]$$

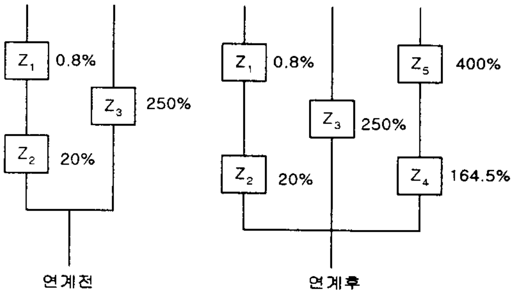

그림 5 임피던스 도

② 그림 5의 임피던스 도에 근거하여 2,500kVA 신에너지전원이 연계되기 전과 후의 %임피던스를 계산하고 이로부터 각각의 단락용량을 계산한다.

- 2,500kVA 신에너지전원 연계 전

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{(0.8+20)} + \frac{1}{250}} = 19.20\ [\%]$$

$$\therefore\ 단락용량(P_S) = \frac{100,000 \times 100}{19.20} = 520.83\ [MVA]$$

- 500kVA 신에너지전원 연계 후

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{(0.8+20)} + \frac{1}{250} + \frac{1}{(400+164.5)}} = 18.57\ [\%]$$

$$\therefore\ 단락용량(P_S) = \frac{100,000 \times 100}{18.57} = 538.50\ [MVA]$$

2,500kVA 신에너지전원의 연계에 의해 단락용량은 520.83MVA로부터 538.50MVA로 상당한 증가를 보인다.

3.2.2 역변환장치를 이용한 신에너지전원의 연계 시

역변환장치를 이용한 대용량 신에너지전원이 특별고압 배전선에 연계되었을 때, 역변환장치의 제어기능이 없어진 경우는 역변환장치가 단락전류를 공급하지 않게 되므로 단락용량 계산은 역변환장치의 제어기능이 동작하고 있는 경우에 대해 계산한다. 그림 6은 역변환장치를 이용한 신에너지전원을 특별고압 배전계통에 연계했을 때의 단선도를 보여준다.

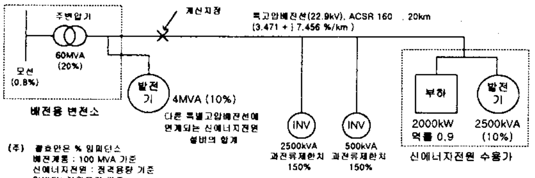

그림 6 역변환장치를 이용한 신에너지전원의 연계 단선도

다음과 같이 검토한다.

① 각 역변환장치를 이용한 신에너지전원로부터 발생하는 과전류 제한치(용량)의 합계를 구한다. 과전류 제한치는 정격용량의 1.1~1.5배에 해당되는데 여기서는 1.5배로 한다.

$$2.5MVA \times 1.5 + 0.5MVA \times 1.5 = 4.5MVA$$

② 연계 후의 단락용량 P는 앞에서 구한 회전기를 이용한 신에너지전원 연계 후의 단락용량 538.5MVA에 위의 값을 더하여 계산한다.

$$P = 538.5MVA + 4.5MVA = 543.0MVA$$

4. 결 론

본 논문에서는 신에너지전원을 기존의 저압 및 특별고압 배전계통에 연계했을 때 단락용량에 미치는 영향을 검토하였다. 신에너지전원과 배전계통을 모델링하여 단선도로 나타내고 고장점에서의 %임피던스를 구하여 연계 전과 후의 단락용량 변화를 계산하였다.

저압 배전계통 연계의 경우, 연계되는 신에너지전원의 용량이 계통 전체의 용량에 비해 그 규모가 작으므로 %임피던스가 큰 값을 갖게 되어 기존 계통에 병렬로 추가되더라도 계통 전체의 임피던스에는 큰 변화가 일어나지 않아 단락용량의 증가도 미소하였다. 역변환장치를 이용한 설비의 경우는 역변환장치가 공급하는 단락전류 성분이 추가되나 정격용량의 1.1~1.5배 정도이므로 증가가 미약하다고 볼 수 있다.

특별고압 배전계통의 경우, 상대적으로 큰 용량의 설비가 연계되었을 때 계통전체의 %임피던스가 상당히 감소되어 단락용량의 증가가 두드러지므로 설비 수용가에 한류 리액터 등을 설치하여 단락용량의 증가를 제어할 필요가 있다. 이것에 의해서도 대책이 불가능한 경우는 다른 배전용 변전소 뱅크계통에 연계하거나 특별고압 송전계통으로 연계하도록 한다.

본 논문에서는 간단한 배전계통 모델링과 단락용량 계산법을 이용하여 신에너지전원을 연계 운전 시의 단락용량의 변화경향 및 대책의 필요성만을 제시하였다. 신에너지전원을 비롯한 신에너지전원의 연계 종류 및 형태의 다양화를 고려할 때, 연계 계통을 보다 상세하게 모델링하여 계산 프로그램에 응용하고 다양한 사례에 대해 실증적인 데이터 구축을 바탕으로 연계 계통의 안전하고 신뢰성있는 운영기준을 제시하기 위한 연구가 계속되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 송길영, "송배전공학", 동일출판사.

[2] "일본 분산형전원 계통연계 기술지침", 한국전력공사, 1998.

[3] E.S.Kim et al., "Voltage Regulation Methods Based on Artificial Neural Networks for Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems", International Conference of ISAP'97, pp312-316, 1997.7.

[4] E.S.Kim et al., "Load modeling and voltage regulation of the distribution system with dispersed generation systems", ICEE '98.Proceedings, Vol. II,pp217-220,1998.7.

[5] E.W.Gunther et al., "A survey of distribution system power quality-preliminary result", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.1, pp.322-329, 1995.1.

[6] P.B Steciuk et al., "Voltage Sag Analysis Peaks Customer Service" , IEEE Computer Application in Power, 1996.10.