

소수력발전의 배전계통 연계를 위한 기술적 분석

정원욱, 김상준, 윤기갑, 서정출
한전 전력연구원

Technical Analysis for Small Hydro-power Generator Integrated with Electric Distribution Systems

Won-Wook Jung, Sang-Jun Kim, Ki-Gab Yoon, Jung-chul Seo
KEPRI / KEPCO

Abstract - 분산형 전원이 전력계통에 연계됨에 따라 역조류, 보호협조, 계통 동기화, 전기품질 문제 등 여러 가지 문제를 야기한다. 이에 따라 전력회사에서는 분산형 전원의 계통연계 기술 기준을 제시하고 해당 분산형 전원의 계통 연계에 대한 기술 검토를 수행한다. 본 논문에서는 동기발전기형 2500KVA 소수력발전기 2대의 배전계통 연계에 대한 기술적 검토를 수행하였으며 해당 분산형 전원이 동기발전기임을 고려하여 계통연계시 상시전압변동 및 보호방식에 대해 집중 분석하였다. 먼저, 소수력발전기가 연계되는 지점에서의 기존 선로 및 전력설비의 여건과 소수력발전기의 출력용량 및 역류를 고려하여 연계 지점에서의 전압변동을 검토하여 적절한 연계방식을 제시한다. 그리고 시간대별 소수력발전기의 발전량과 해당 배전선로의 부하량을 고려하여 기 설치된 보호계전기에 의한 단독 운전 검출 능력을 검토하고자 한다.

1. 분산형 전원의 계통연계를 위한 기술 조건

<표 1>은 소수력발전 등 분산전원이 한전 특고압 계통에 연계될 때 검토되는 기술 기준이다. 대상 소수력 발전기는 동기발전기를 채용함에 따라 전압 및 출력의 제어가 비교적 용이하다. 따라서 본 논문에서는 표1의 기술검토 항목 중 순시전압변동, 플리커, 고조파, 역률 등의 검토는 생략하고 상시전압 변동 및 보호협조 관련하여 집중 검토하고자 한다.

<표 1> 분산형 전원 계통연계 기술 기준

검토 항목	22.9 kV 배전계통 연계 기준
상시전압 변동	2% 이하 (10분 평균)
순시전압 변동	2% 이하 (2초 이하)
플리커	Epsti ≤ 0.35 Eplti ≤ 0.25
고조파	TDD ≤ 5 %
단락용량	다른 고객의 차단기 차단용량에 영향을 미치지 않을 것
역률	90 % 이상
보호계전기 협조	단독운전방지 동기확인 및 비동기 투입방지 등

1.1 상시전압변동

분산형 전원 발전설비의 계통연계로 인한 특고압 계통의 상시전압변동은 2%이하가 되어야한다. 분산형 전원 발전설비의 빈번한 출력변동과 빈번한 병렬 분리로 전압변동을 야기하여, 특고압 배전계통의 상시전압이 한전의 공급전압 변동범위(12,000-13,800V/20,800-23,800V)를 벗어날 우려가 있을 때는, 분산형 전원 발전설비의 설치자가 출력전압을 조정하고, 출력전압의 변동을 억제하며, 병렬분리의 빈도를 저감하는 대책을 실시하여야한다. 또한 이로써 대응이 불가능한 경우 분산형 전원 발전설비의 설치자가 한류리액터 등의 설치, 배전선로의 증강, 또는 전선선로에 의한 연계로 단락용량이 큰 상위전압의 계통에 연결해야한다.

1.2 동기 확인장치

분산형 전원이 연계된 계통에서의 사고 시 분산형 전원설비가 분리되어 있지 않는 경우 재폐로에 의해 분산형 전원에 큰 손상이 발생할 수 있으며, 이를 예방하기 위하여 동기상태 확인장치 설치가 필요하고 전력회사의 배전용변전소 인출 측 및 선로 리콜로져 설치점에 설치한다. 다만, 단독운전방지보호 검출기능이 있는 장치를 사용하는 경우는 개별협약에 따른다.

1.3 단독운전방지 보호대책

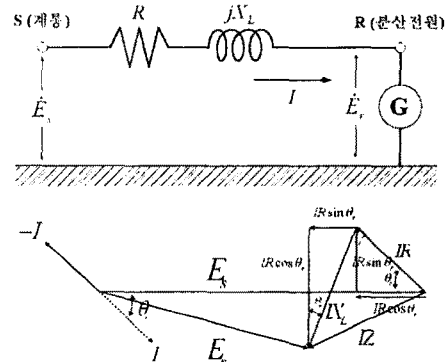
분산형 전원이 연계된 계통의 고장이나 작업 등으로 인해 분산형 전원 발전설비가 주 간선 계통으로부터 분리되어 일부 구간의 부하에만 전력을 공급하는 단독운전(Islanding)상태가 불가피하게 발생할 경우 분산형 전원 발전설비는 이러한 단독운전 상태를 가능한

빨리 검출하여 전력계통으로부터 분산형 전원 발전설비를 분리시켜야 하며(최대 0.5초 이내), 0.5초 이내의 순간일지라도 단독운전으로 인하여 계통의 정상운용, 설비운전, 공공 인축 안전 등에 나쁜 영향을 미치지 않도록 보호장치를 설치하거나 전송차단장치를 구비해야 한다.

2. 소수력 발전의 계통연계를 위한 기술적 분석

2.1 상시전압변동 검토

<그림 1>은 계통에 분산형 전원이 연계된 경우 분산형 전원의 역조류 및 선로 임피던스에 따른 전압 벡터도를 보여준다. <그림1>의 벡터도에서 확인할 수 있는 것처럼 일반적으로 분산형 전원이 계통에 연계되어 계통으로 역조류를 주입하게 되면 분산형 전원의 계통 연계 지점의 전압은 상승하게 된다. 따라서 배전계통의 전압관리를 목적으로 분산형 전원 계통연계 기준에는 분산형 전원의 계통연계 시 전압변동 허용 범위를 규정하고 있다.[1]



<그림 1> 분산형 전원이 연계된 계통의 전압 벡터도

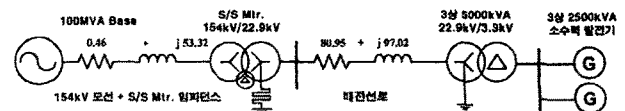
<그림 1>의 벡터도로부터 계통에 분산형 전원이 연계된 경우 상시전압변동률을 식 (1)과 같이 도출할 수 있다.

$${}^0_0E = {}^0_0R \cdot \cos \theta + {}^0_0X_L \cdot \sin \theta \times \frac{kVA}{S_B} ({}^0_0) \quad \text{식 (1)}$$

식 (1)에서 %R, %X는 계통으로부터 분산형 전원의 연계 지점까지의 선로 및 변압기의 %임피던스를 의미하고 kVA는 분산형 전원의 용량, S_B는 기준 용량, θ는 역률각을 의미한다. 결국 분산형 전원이 계통에 연계될 때 분산형 전원의 용량, 연계되는 선로의 임피던스, 그리고 분산형 전원의 역률에 의해 계통연계 지점의 전압변동률이 결정하는 것으로 이해할 수 있다.

<그림 2>는 본 논문에서 대상으로 하는 2500kVA 소수력 발전기 2대의 배전계통 연계도와 임피던스를 보여주고 있다. 식 (1)과 <그림 2>의 데이터를 바탕으로 소수력발전기가 역률 1로 운전되고 있다는 가정 하에 상시전압변동률을 계산해본 결과 4.05%의 결과를 얻을 수 있었다.

따라서 배전선로에 5000kVA 용량의 소수력 발전기 연계시 분산형 전원 배전계통연계 기술기준에서 제시하는 상시전압변동률 2%를 초과하는 것으로 분석되었다.



<그림 2> 2500kW×2대 소수력 발전기 배전계통 연계도

2.2 단독운전 방지 검토

분산형 전원이 전력계통에 연계될 때 중요하게 고려되어야 할 사항 중에 하나가 단독운전방지 대책이다. 본 논문에서 다루고 있는 소수력 발전기에는 기 설치된 OVR, OFR, UFR 계전기를 이용한 단독운전 방지 대책을 수행하고 있었다. 소수력발전기가 투입된 배전선로에서 소수력발전의 발전량과 배전선로의 총 부하량이 비슷하게 형성되는 경우에는 변전소 CB 및 선로 리클로저의 재폐로 이전에 기존의 계전기를 이용하여 단독운전을 검출하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 시간대별, 계절별 소수력발전기의 출력량과 해당 배전선로의 부하량에 대한 데이터를 확보하여 검토한 결과 발전량과 부하량이 거의 비슷한 시점이 발생함을 확인하였고 그러한 상황에 대하여 단독운전 모의실험을 수행하였다.

2.2.1 단독운전 모의실험

본 모의실험은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링을 수행하였으며 소수력발전기가 연계되는 배전선로의 선로 임피던스 및 변전소(S/S) Mtr. 데이터를 기반으로 배전계통을 모델링하였고 해당 배전선로의 특고압 부하를 선로 중앙에 집중부하로 모델링하였다. 또한 소수력발전기는 전형적인 파라미터를 사용한 2500KVA용량의 동기발전기 모델을 사용하여 모델링하였다.

현장에서 확보한 시간대별 계절별 소수력발전기의 출력량과 해당 배전선로의 부하량 데이터를 기반으로 발전량과 부하량이 가장 비슷한 3가지 경우를 <표 2>와 같이 선정하여 단독운전 모의실험에 활용하였다.

<표 2> 단독운전 발생시 발전량 및 부하량

	발전량 (역률: 0.99)		부하량(역률 : 0.9)	
	유효전력 (KW)	무효전력 (KVAR)	유효전력 (KW)	무효전력 (KVA)
CASE1	4070	90	3570	1729
CASE2	4500	100	2140	1036
CASE3	2280	50	2140	1036

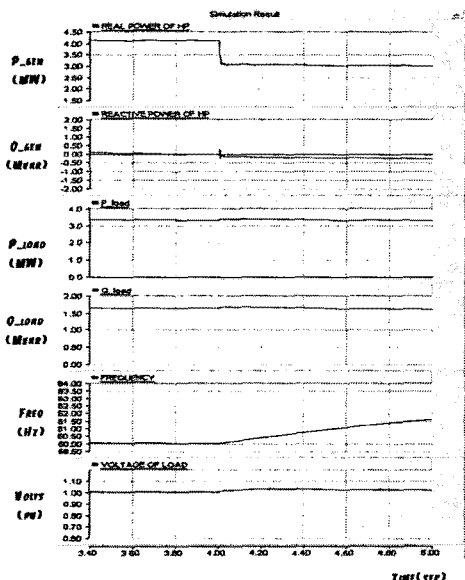
4 초 단독운전 발생 (S/S CB차단)

<표 3> 모의실험 변수

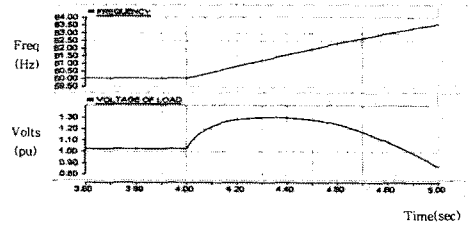
측정 변수	측정값	단위
P_gen	유효전력 발전량	MW
Q_gen	무효전력 발전량	Mvar
P_load	유효전력 부하량	MW
Q_load	무효전력 부하량	Mvar
Freq	PCC 주파수	Hz
Volts	PCC 전압	pu

<표 3>은 모의실험에서 사용한 변수를 보여주고 있으면 각각의 단독운전 발생 시 소수력발전기의 계통 연계지점에서 전압과 주파수를 측정하여 분석하였다

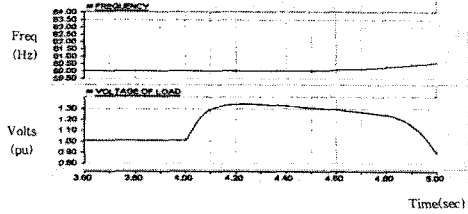
2.2.2 단독운전 모의실험 결과



<그림 3> Case1에 대한 단독운전 모의실험 결과



<그림 4> Case2에 대한 단독운전 모의실험 결과



<그림 5> Case3에 대한 단독운전 모의실험 결과

<표 4> 모의실험 결과

	단독운전시 주파수 전압 변동 결과	
	Frequency<57.6 Frequency>60.5 도달 시간	Voltage<0.5pu Voltage>1.2pu 도달 시간
CASE 1	0.25초 (60.5Hz초과)	초과하지 않음
CASE 2	0.1초 (60.5Hz초과)	0.9초 (1.2pu초과)
CASE 3	0.95초 (60.5Hz초과)	0.05초 (1.2pu초과)

2.2.3 소수력발전기의 단독운전시 보호대책

대상 소수력발전기에 단독운전방지를 위해 설치되어있는 계전기는 다음과 같다.

- 과전압계전기 : 한시 기능 탭만 있고, 순시 기능 탭은 없음
 - 저전압계전기 : 설치 안 함.
 - 과주파수계전기 : 한시 기능 탭만 있고, 순시 기능 탭은 없음
 - 저주파수계전기 : 한시 기능 탭만 있고, 순시 기능 탭은 없음
- 이러한 상태로는, 소수력발전기의 단독운전을 방지할 수 없으며, 해당 배전선로의 순시 재폐로 시간 0.5초 이내에 소수력 발전기를 분리하는 보호기능은 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

소수력발전기의 발전출력과 해당 배전선로의 부하 크기가 대체로 평형을 이루는 경우가 많이 발생할 수 있으며(낮 시간 경우하, 심야 경우하, 소수력 저출력, 기타), 이 경우에 <표 4>의 모의실험 결과에서와 같이 과전압계전기, 과주파수계전기, 저주파수계전기만으로는 단독운전을 검출할 수 없는 상황이 발생할 수 있을 것으로 분석된다. 따라서 단독운전 방지장치 설치 등 소수력발전기의 보호계통을 전면적으로 보완하여 강화하여야 필요가 있다.

2.3 재폐로 보호대책 검토

소수력발전기가 연계된 배전선로에서 차단기가 동작한 후 재폐로할 경우에는, 한전 배전계통과 소수력발전기의 위상각 차이에 의한 양방향 전원의 충돌로 인한 대형사고를 예방하기 위하여 동기 확인장치가 필요하나, 해당 배전선로 차단기에는 동기 확인 기능이 없기에 대한 대책이 필요하다.

3. 결 론

본 논문에서 2대의 2500KVA용량 소수력 발전기의 계통연계를 위한 기술적 분석을 수행하였으며, 대상 소수력발전기를 인근 특고압 배전선로에 연계할 경우, 상시 4%의 전압변동이 발생하여 분산형 전원 계통연계 기술기준에서 제한하는 기준치 2%를 초과하는 것으로 분석되었다. 또한 단독운전 모의실험 결과, 소수력발전기가 연계되는 배전선로에서 고장 발생시 기 설치된 보호계전기뿐만은 소수력발전기의 단독운전을 방지할 수 없는 상황이 발생할 수 있을 것으로 확인되었다.

따라서 배전계통의 전기품질 확보 및 신뢰도 향상과 소수력발전기의 보호를 위하여 별도 독립선로를 건설하여 154kV 변전소 22.9 kV 모선에 직접 연계할 필요가 있고 어떠한 상황에서도 소수력 발전기의 단독운전을 방지하기 위해 단독운전 방지장치의 설치가 필요하다.

[참고 문헌]

- [1] 한국전력공사, "분산형 전원 배전계통연계 기술 기준", 2005
- [2] IEEE, "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System", IEEE1547.1, 2005