

분산전원의 전력계통연계에 따른 영향 및 시뮬레이션

박 지 웅 김 종 형 신 명 철
성균관대학교

Impact of Power System Interconnection to Embedded Generation and simulation

Jee-Woong Park Jong-Hyung Kim Myong-chul Shin
Sungkyunkwan University

Abstract- As EG(Embedded Generation: *photo-voltaic, wind, combined heat and power, fuel cell, small hydro etc.*) grows fast in adopting to peak load reducing at the middle or the end of distribution system, there much has been interested in interconnection of EG. This paper discusses the various issue of an embedded generator to power system and shows the simulation of its various situation that could happen(focusing on load-flow by EG) by using a commercial software CYME(PSAF) for load-flow. With a result of above simulation, this paper shows a way of possible solution briefly.

1. 서 론

현재 우리는 화석연료의 고갈 위기에 처해 있으며 또한 최근 미국, 러시아, 일본에서의 원자력 발전소 방사능 누출사고에서 기인된 국민들의 원자력 기피현상 및 교토기후변화협약에 의한 온실가스 배출규제 등 극복해야 할 여러 가지 문제를 안고 있다. 현재 이러한 문제들을 해결할 수 있는 대안으로 떠오르고 있는 것이 바로 분산전원(Embedded Generation)인데, 이것은 지금까지의 대규모 전원 위주의 개발방식과는 달리 여러 유용한 에너지원인 열병합, 풍력, 태양광, 연료전지, 소수력 등을 이용하는 방법이다. 국내에서는 열병합 발전을 제외하고는 아직 분산전원 형태의 발전 실적이 미미하지만 영국 등 유럽의 여러 나라에서는 2010년까지 전체 발전의 약10%의 분산전원 확보를 목표로 하고 있는 등 전력계통에 점차 도입이 확대되어 가는 추세이고[3], 이에 따라 국내에서도 분산전원의 개발과 이의 계통연계운용이 많이 이루어질 것이다. 따라서 본 논문에서는 이 때 발생할 수 있는 여러 가지 상황들을 알아보고, 이들 중에서 특히 조류의 변화에 따른 영향들을 상용조류해석 프로그램인 CYME(PSAF)을 이용하여 시뮬레이션해보고 여기서 얻어지는 결과를 토대로 분산전원의 계통연계운전으로 얻을 수 있는 기대효과와 문제점등을 알아보았다.

2. 본 론

2.1 분산전원의 계통연계 운용현황

분산전원은 그 계통의 연계 유·무에 따라 독립형 시스템과 계통연계형 시스템으로 나눌 수 있다. 독립형 시스템은 산간 오지와 같은 지형적인 제약이 있는 경우에 적용될 수 있으며, 이런 경우를 제외하고서는 대다수를 계통연계형 시스템이 차지하고 있다. 현재 유럽등에서는 가정용의 경우 수 킬로와트의 태양광 발전시스템이 도입되어 저압배전계통에, 열병합발전소, 풍력발전단지 그리고 태양광발전단지와 같이 적게는 수메가와트에서 크게는 수십메가와트 규모의 경우 특고압 배전계통에 연계되어 남는 전력은 계통에 송전하고 모자라는 전력은 계통

에서 공급받는 양방향성 시스템(Bidirectional system)으로 운영되고 있다.

2.2 분산전원의 계통연계시 영향

분산전원을 계통에 연결하여 병렬운전을 할 경우 여러 가지 문제 되는 것이 있는데, 그 첫째는 계통의 고장용량이 증가 하여 사고 시 차단기의 차단용량이 부족하게 되는 문제로서 이를 해결할 수 있는 방안들이 모두 비용이 많이 드는 관계로 분산전원의 확대에 큰 장애요인이 되고 있다. 둘째는 전력품질 문제로서 먼저 태양광, 풍력(가변속 터빈을 사용하는 경우), 연료전지 발전에서 계통의 연계에 쓰이는 전력전자기기의 고속 스위칭으로 계통에 고조파 성분을 주입시키게 되어 타 수용가에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다는 점과 또한, 분산전원의 계통투입 및 해열 시 과도적인 전압의 변동이 생기는 점이다. 이외에도 플리커(Flicker)등의 문제가 복합적으로 생길 수 있다[6]. 셋째로는 단독운전의 발생인데 이는 상위 계통에서의 사고 또는 선로의 보수·점검 작업등으로 인해 분산형 발전기가 연계계통으로부터 분리됨에도 불구하고, 분산전원의 발전량과 자체 계통 부하가 평형을 이루어 이를 인지하지 못하게 되는 경우를 말하는데, 이 상태로 계속 발전하여 연계계통이 역충전되면, 선로 작업자에게 치명적인 위협을 줄 수 있을 뿐 아니라, 사고 복구 후 전원이 재투입되었을 때 동기가 맞지 않아 문제가 생길 수 있다[4]. 마지막으로는 새로운 조류변화에 따른 정상상태에서의 계통전압상승이다. 이 경우 각 모선의 전압을 일정수준으로 유지하는데 어려움이 있게 되는데 이는 분산전원의 계통 연계 시 가장 큰 문제점이기도 하다. 따라서 본 논문에서는 중부하시와 경부하시에 분산전원에서 발생하는 전력조류 변화에 따른 영향에 관해 자세히 다루어 보았다.

2.3 전력조류와 전압과의 관계

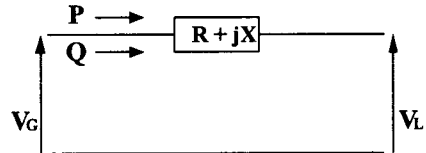


그림1. 간단한 2모선 시스템 모델

부하측의 전압은 키르히호프의 전압법칙을 이용하면 다음과 같다.

$$\dot{V}_L = \dot{V}_G - (R + jX)\dot{I} \quad \text{----- (1)}$$

여기서, $\dot{I} = \frac{P_G - jQ_G}{V_G^*}$ 이므로

$$\dot{V}_L = \dot{V}_G - (R + jX)\frac{P_G - jQ_G}{V_G^*} \quad \text{----- (2)}$$

$$\dot{V}_G = \dot{V}_G^* = V_G \angle 0^\circ = V_G \text{ 이므로}$$

$$\dot{V}_L = V_G - \frac{RP_G + XQ_G}{V_G} - j \frac{XP_G - RQ_G}{V_G} \text{ -----(3)}$$

식(3)은 다음과 같이 나타낼 수 있고,

$$\Delta V = \frac{RP_G + XQ_G}{V_G} + j \frac{XP_G - RQ_G}{V_G} \text{ -----(4)}$$

식(4)에서

$$\text{Re}\{\Delta V\} = \frac{RP_G - XQ_G}{V_G}, \text{Im}\{\Delta V\} = \frac{XP_G - RQ_G}{V_G} \text{ 라}$$

고 하면 식(3)은 $\dot{V}_L = V_G - \text{Re}\{\Delta V\} - j\text{Im}\{\Delta V\}$ 과 같이 다시 표현할 수 있으며, 이 관계를 전압강하 페이지도로 나타내면 다음과 같다.

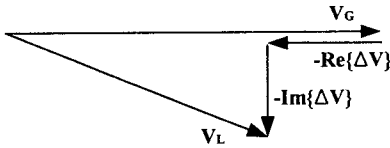


그림2. 전압강하 페이지도

물론 위의 경우와 반대로 부하가 용량성이 되어 무효전력을 생산하게 되면, 즉 무효전력의 흐름이 부하에서 전원 방향으로 향하게 되면 그림2와는 반대로 부하의 전압이 전원의 전압보다 커지게 된다. 즉, $\text{Re}\{\Delta V\}$ 는 전압의 크기에 영향을 미치고, $\text{Im}\{\Delta V\}$ 은 상차각에 영향을 준다고 정리할 수 있다[1].

2.4 시뮬레이션

다음으로는 지금까지 살펴본 여러 가지 영향들 중 특히 분산전원의 계통연계 시 가장 관심의 대상이 되는 정상상태 전압상승에 대해서 모의하였다. 다음의 Case1에서 Case6은 간단한 5모선 계통을 모의한 것으로 오른쪽이 전원 쪽이고 왼쪽이 부하측이다. 여기서는 분산전원의 계통연계 효과를 쉽게 파악할 수 있도록, 그리고 실제 대용량 전력 공급이 가능한 연료전지, 풍력발전단지 등 연구가 진행되고 있으며 머지않아 실용화가 될 것이기 때문에, 비교적 규모가 큰 분산전원이 연계된 경우로 한정하였고, 또한 다음과 같은 시나리오[2]에 맞춰 총 6가지 경우로 나누어 모의했다.

- 분산전원이 없는 상태에서의 계통최대부하수요.
- 분산전원의 최대전력 생산일 때, 계통최대부하수요.
- 분산전원의 최대전력 생산일 때, 계통최저부하수요.

여기서 S모선은 기준모선(Swing bus)이고 A-B모선 사이에 있는 변압기는 전압조절용으로 부하 시 탭 조절(OLTC) 능력이 있는 것으로 1차측에 위치하여 설정한 전압범위와 제어 한계치에 따라 최적의 탭 위치를 찾는다[5]. 분산전원은 제일 왼쪽의 D모선에 삽입되어 있는데 이것은 고정전원으로 지정된 일정량의 유·무효전력을 발생하게 된다. 조류계산을 하기 위한 모의계통의 파라메타는 표1과 같다.

표1. 조류해석을 위한 계통 파라메타

Bus		Type	Impedance	
From	To		Resistance	Reactance
S	A	Transformer	0.0327[pu]	
A	B	Transformer	0.120[pu]	
A	B	Transformer	0.120[pu]	
B	C	Line	0.04460[pu]	0.19170[pu]
B	C	Line	0.21460[pu]	0.34290[pu]
C	D	Line	0.23900[pu]	0.41630[pu]

Case 1(최대부하 시 분산전원이 없는 경우)

먼저 분산전원이 연계되지 않은 전형적인 Top-Down 방식의 최대부하조건에서 조류해석 결과를 보면 그림1과 같다. 제일 왼쪽 D모선의 전압이 0.938 [pu]가 되어 전원 측으로부터 거리가 멀어질수록 전압이 떨어지는 특성을 보이며 이는 정격의 6%를 넘게 되어 이 계통은 매우 취약하다고 할 수 있고, 유·무효 손실 또한 매우 크다는 것을 알 수 있다.

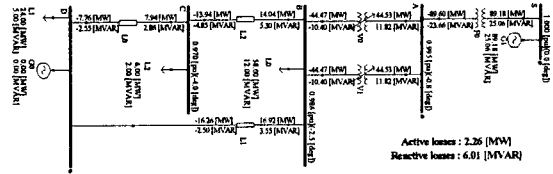


그림3. 최대부하 시 분산전원이 없는 경우

Case 2(최대부하 시 역률1.0의 분산전원이 연계)

다음은 그림4에서처럼, Case1과 같이 최대부하 조건에, 역률 1.0인 운전으로 20[MW]의 유효전력만을 공급하는 분산전원이 D모선에 연계 되었을 경우이다. 이때 각 모선에서의 전압값이 case1에 비해 개선됨을 알 수 있고, 유·무효 손실 분 또한 많이 개선됨을 알 수 있다.

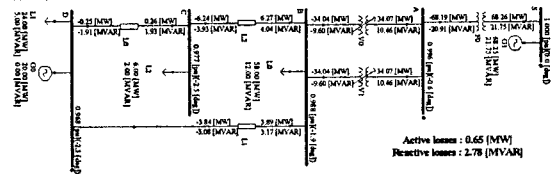


그림4. 최대부하 시 역률1.0의 분산전원이 연계

Case 3(최대부하 시 역률0.95의 분산전원 연계)

분산전원이 무효전력도 같이 생산한다면, B-D, C-D 모선에서 무효전력의 흐름이 반대로 되는 것을 알 수 있다. 이 무효전력으로 인해 Case2에 비해 전압값과 유·무효전력 손실분이 약간 더 개선됨을 알 수 있다.

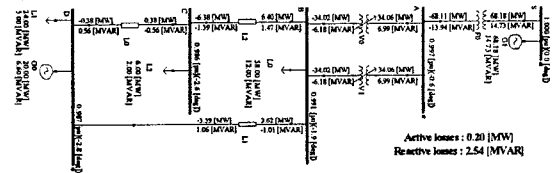


그림5. 최대부하 시 역률0.95의 분산전원 연계

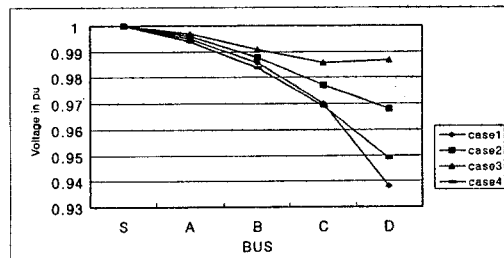


그림6. 최대부하 시 분산전원에 따른 모선 전압추이

Case 4(최대부하 시 진상역률 0.95의 분산전원)

이번에는 고정속 풍력발전이나 열병합 발전의 경우, 계통연계에 따라서 무효전력을 흡수하는, 즉 진상운전을 하는 경우가 있게 되는데, 이 경우를 모의해보면 앞의

Case 2에서의 역률 1.0의 운전보다 각 모선의 전압과 유·무효전력 손실이 약간 나빠지는 것을 알 수 있다.

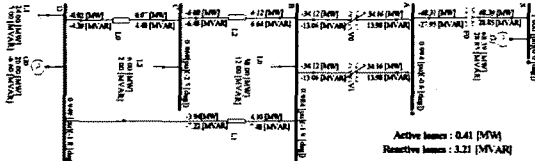


그림7. 최대부하시 전상역률 0.95의 분산전원

Case 5 (최저부하시 역률1.0의 분산전원 연계)

그림8과 같이, 각 부하모선에 최대부하의 10%에 해당하는 부하인 상태에서 분산전원이 역률1.0의 운전을 지속하면, 전력의 공급이 각 부하모선의 소비를 초과하게 되어 조류의 흐름이 반대로 바뀌고 상위 시스템에 까지 무효전력이 전해짐을 알 수 있다. 달리 표현하면 전원 측에서 남는 무효전력을 흡수하고 필요한 유효전력을 공급한다고 할 수 있다. 이 경우 모선 D의 전압이 지금까지의 경우와는 다르게 기준 전압보다도 커지게 되며, 위상각 또한 앞서있음을 알 수 있다.

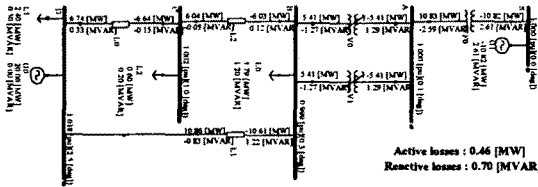


그림8. 최저부하시 역률1의 분산전원 연계

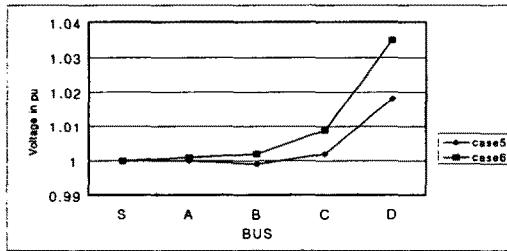


그림9. 최저부하시 분산전원에 따른 모선 전압추이

Case 6 (최저부하시 역률0.95의 분산전원 연계)

Case5의 경우와 동일한 조건에서 역률 0.95인 운전을 하게 되면 역의 무효 전력 때문에 말단의 전압이 지금까지의 경우 중 가장 큰 값인 1.035(pu)에 이르게 되고, 유·무효전력 손실은 Case5 보다 약간 커진다.

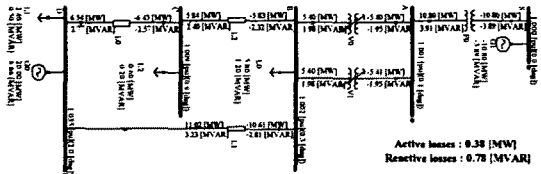


그림10. 최저부하시 역률0.95의 분산전원 연계

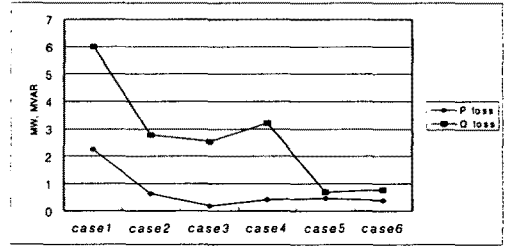


그림11. 각 경우에 따른 유·무효전력 손실

2.5 시뮬레이션의 고찰

지금까지의 모의결과를 그림6에서 보면 분산전원의 도입은 중부하의 경우에 전반적으로 말단 부하모선의 전압이 안정될 수 있도록 하여주며, 그림11에서 보듯이 유·무효손실 또한 상당수 줄여주는 긍정적인 효과를 볼 수 있었다. 반면에 그림9에서 보듯이 경부하시의 분산전원의 계통연계는 전압의 상승폭을 35%에 까지 이르게 하여 계통의 불안요소가 될 수 있음을 보인다. 이러한 문제들은 주 변전소 변압기의 탭을 조절하거나, 발전기의 전상운전으로 무효전력을 흡수하도록 하는 방법 또는 경부하시 분산전원의 발전량을 제한하는 등의 방법, 배전자동화 시스템 등을 이용하여 적절히 조절하여 전압상승 문제를 해결할 수 있을 것이다. 이러한 분산전원의 도입으로 인해 기존보다 배전계통의 운용이 복잡해지고 여러 가지 새로운 제어기술 및 보호계전방식이 요구되어 질 것을 예상할 수 있다.

3. 결 론

앞서 살펴본 분산전원 연계운전의 긍정적인 측면을 시뮬레이션을 통해 확인하여 보았다. 또한 분산전원을 실용화 하는 데에는 현재의 비싼 건설비 문제 외에도, 단점이라 할 수 있는 정상상태에서의 역조류로 인한 전압상승문제에 대응하기위한 제어기술에 대한 연구가 이루어져야 할 것이며, 이러한 전압을 규정범위 안으로 조절하는데 드는 비용을 적게 할 수 있는 알맞은 연계 배전계통의 선택과 적절한 분산전원발전 용량을 선정하는 것이 중요한 문제라는 것을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] N.Jenkins, R.Allan, P.Crossley, D. Kirschen and G. Strbac, "Embedded Generation", pp.1~64, 2000.
- [2] C.L.Masters, "Voltage rise-the big issue when connecting embedded generation to long 11kV overhead lines" Power Engineering Journal, Volume: 16 Issue: 1, Feb. 2002.
- [3] Scott, N.C., Atkinson, D.J., Morrell, J.E. "Use of Load Control to Regulate Voltage on Distribution Networks With Embedded Generation" IEEE Transaction on Power Systems, Vol.17, No.2, May 2002.
- [4] 김일동, 정호성, 신명철 외 5인 "신에너지 분산전원의 계통연계 보호 및 협조에 관한 연구" 전력계통 보호기술 연구회 논문집, Vol. 3, No. 1, November 1999 pp. 133-143.
- [5] PSAF for Windows User's guide and Reference Manual, March 1998.
- [6] Arindam Ghosh, Gerald Ledwich, "Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices" pp.417-441, 2002.