

**배전계통연계 분산전원의 위상변화에 따른 고립운전 파라미터 특성**

방지윤\*, 김학만\*\*, 이복구\*\*\*, 심재선\*\*\*\*, 신명철\*  
 성균관대학교\*, 한국전기연구원\*\*, 영지전문대\*\*\*, 강원대\*\*\*\*

**A Study on Islanding Characteristics using Phase Angle Adjustment of Distributed Generation**

Ji-Yoon Bang\*, Hak-man Kim\*\*, Bock-Ku Lee\*\*\*, Jae-sun Sim\*\*\*\*, Myong-Chul Shin  
 SungKyunGwan Univ\*, Korea Electro-technology Research Institute\*\*, MyongJi College\*\*\*, KangWon Univ\*\*\*\*

**Abstract** - Recently, much research has been done and many improvements have been developed for islanding protection of distributed generation (DG). Anti-islanding protection for DG must be act very quickly to prevent equipment damage at the time of disconnection and for the safety of maintenance and repair personnel. DG-based detection methods have included both passive and active types, and now research has shifted towards new anti-islanding detection methods that make up for the defects of the previous types. Because differences occur between the utility grid and the DG when connecting and disconnecting depending on the phase difference, voltage, current, relative capacity of electric power, and system operation characteristics, voltage phase angle is an important consideration. In this paper, we simulated islanded operation characteristics comparing phase difference of DG and the connected utility grid, and analyzed various parameters (real power, reactive power, RMS voltage, RMS current, power factor angle, and frequency) by varying the DG's voltage phase angle. Using this information, we propose a suitable DG voltage phase angle for enhanced passive islanding detection techniques.

**1. 서 론**

전력사업의 규제완화와 전력시장의 자유화, 그리고 산업계를 중심으로 한 저비용 전력의 필요성, 지구환경문제에 대한 사회적인 관심이 고조되면서 재생가능 에너지원의 적극적인 도입 등을 이유로 전력기술에 새로운 영역으로 분산형전원에 대한 관심이 높아지고 대체 에너지를 포함한 다양한 형태의 분산전원 보급의 확대가 예상되고 있다. 따라서 분산전원이 계통연계에 나타나게 될 여러 가지 영향들을 실제 실험과 모의실험을 통해 고려하고 이에 대한 대책이 시급히 마련되어야 한다. 배전계통에서 임의의 왜란에 의하여 계통의 차단기가 개방되거나 또는 유지 보수 작업에 의해 전력공급이 중단되었을 경우, 계통으로의 분산전원의 계속적인 전원공급에 의해 보수 작업시 안전 사고에 의한 인명 피해뿐만 아니라 고립지역의 부하용량과 분산전원의 출력과의 불평형이 발생하여 전압이나 주파수의 큰 변동과 함께 전력품질이 크게 저하된다. 그러므로 고립 운전 발생시 분산전원의 변동과 사고발생 이전에 계통으로부터 신속히 절제시키는 것이 중요하다. [1,2,3,6]

**2. 본 론**

**2.1 기존 검출기법**

능동적 방식은 Reactive Expert Error Detector, Fault level monitor, 전압위상 변동방식, 전력변동 방식, 부하변동 방식 등으로 단점은 분산전원의 출력을 직접 조절하여야 함으로 계통에 여러 가지 의도하지 않았던 영향을 미칠 가능성이 있다. [4,5] 수동적 방식은 유효전력 변화율 검출방식, 주파수 변화율, 전압위상, 제 3고조파 전압증폭, 전압변동, 주파수 변동, 위상변위, 발전기 출력변동, 계통 임피던스 변동 등이 있고 단점은 고립운전시 분산전원이 담당하는 부하가 고립운전 이전에 비해 변화가 적으면, 계통상의 파라미터의 변화가 적어서 고립운전 검출이 어렵다. [3,4] 그 밖의 검출기법으로는 PLCC, SCADA가 있다. PLCC(Power line Carrier Communications) 시스템은 계통 전원측의 transmitter가 전력선을 통해 낮은 통신신호를 계속해서 보내고 DG측의 receiver가 신호를 받아 고립상태를 검출하는 시스템이다. PLCC는 다양한 DG시스템에 효과적이거나 전력품질을 낮추는 단점이 있다. [7] SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템은 빠른 응답을 요하는 전력 시스템에 널리 사용된다. SCADA는 주전원과 DG전원 사이의 계통의 모든 차단기를 보호 감시하고 주전원 손실로 스위치 작동시 SCADA 시스템은 고립지역을 검출할 수 있다. 고립운전시 변압기 트림장치는 DG와 local load의 연결을 끊는다. 이 기법은 계통과 DG사이에 정확한 상호작용이 요구된다. 단점으로는 DG 소유주와 계통 모두 비용이 많이 들고 DG측 많은 차단기를

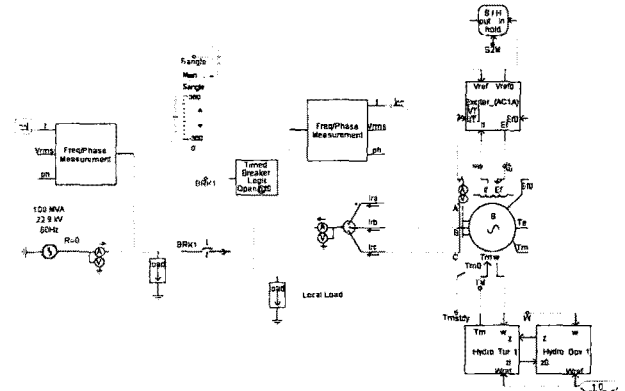
모니터링 해야 하므로 시스템 자체가 복잡해진다.[8]

**2.2 용량비례와 전압투입위상각에 따른 고립운전 특성**

본 논문에서는 배전계통측과 DG측의 정격용량 비에 따른 파라미터 변화량을 제시하고 또한 DG측 터미널 전압위상투입 값에 따른 파라미터 변화를 살펴보고 효율적인 수동검출방안을 제안하고자 한다. 배전계통과 DG의 용량비는 고립시 DG가 수용하게 될 부하를 일정한 크기의 부하와 DG의 용량으로 시뮬레이션을 수행하였고, 전압투입위상각을 6가지로 나뉘어 유효전력, 무효전력, 실효전압, 실효전류, 전압전류의 위상차, 주파수를 측정하였다.

**2.3 시스템 모델링**

본 논문에서는 그림1과 같이 분산전원이 연계된 배전계통의 상향을 모의하기 위해 배전계통상에 자체 담당부하를 갖는 분산전원이 연계된 모델을 PSCAD/EMTDC 상에서 모의하였다.



**<그림 1> 시스템 모델링**

배전계통과 DG는 그림1과 같이 PSCAD의 3상 교류전압원과 3상 동기발전기 모델을 사용했으며 모델의 용량 및 전압, 주파수 그리고 고립운전시 각각의 발전기가 분담하게 되는 부하의 크기를 표1에 나타내었다. 고립시 DG가 분담하게 되는 부하의 크기가 DG보다 작은 경우에는 DG가 안정적으로 부하에 전원을 공급하기 때문에 파라미터의 변화가 적어 수동적 기법으로는 고립운전 검출이 어렵다. 따라서 이러한 경우를 선정하여 터미널 전압위상에 따른 고립운전시 파라미터 변화를 측정하였다.

**<표 1> 계통과 DG 모델**

	배전계통	DG(동기발전기)
용량	100MVA	10MVA
전압	22.9kV	22.9kV
주파수	60Hz	60Hz
고립후 부하	30MW, 6MVAR	1.5MW, 0.3MVAR

**2.4 시뮬레이션 결과**

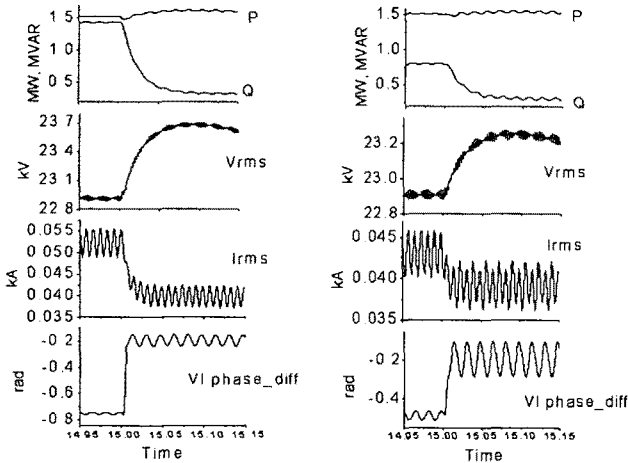
DG 터미널 전압위상각에 따른 파라미터 변화값은 위상각을 5가지의 경우, 0, 10, 30, 60, 90도로 주어 파라미터의 변화를 측정하였다. 고립운전 시뮬레이션은 먼저 4초에 DG를 계통에 투입한 후 15초에 차단기의 개로로 고립운전상태를 만들었다. 고립운전 전후의 파라미터 변화 측정시간은 고립전 1.49초와 15.1초에 값을 측정하였다.

**<표 2> DG 전압위상각 0도일 경우의 변화량**

	P	Q	Vrms	Irms	Vangle	f
고립전	1.5092	-0.0401	22.9086	0.038	0.0269	59.9965
고립후	1.4703	0.2917	22.6781	0.038	-0.1974	60.0077
변화량	-0.039	0.3318	-0.2305	0	-0.2243	0.0112
변화율	-2.58	-	-1.01	0	-	0.02

단위 : P[MW], Q[MVAR], Vrms[kV], Irms[kA], Vangle[rad], f[Hz],  
 변화율[%]  
 측정시간 : 고립전 [14.9초], 고립후 [15.1초]

표 2는 DG 전압위상각이 0도일 경우의 변화량을 보여준다. 고립 후 DG가 분담하게 될 부하의 크기에 비해 DG의 용량이 상대적으로 크기 때문에 고립 후에도 각각의 파라미터의 변화량이 비교적 적은 것을 볼 수 있다.



<그림 2> DG전압위상각 10도와 30도

<표 3> DG 전압위상각 10도일 경우의 변화량

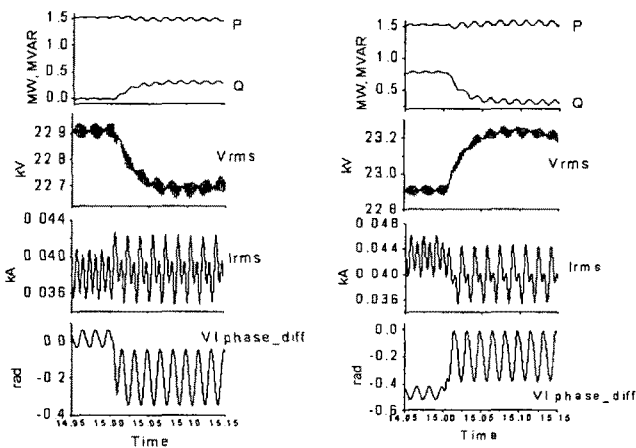
	P	Q	Vrms	Irms	Vlangle	f
고립전	1.5091	1.4174	22.9057	0.0522	-0.7544	59.9993
고립후	1.5989	0.3222	23.6563	0.0395	-0.1979	59.9854
변화량	0.0898	-1.0952	0.7506	-0.0127	0.5565	-0.0139
변화율	5.95	-77.27	3.28	-24.33	-	-0.02

그림 2의 왼쪽 그래프와 표 3은 DG 전압위상각이 10도일 경우의 시뮬레이션 결과값을 보여준다. 고립 후 유효전력, 전압은 소폭 증가, 무효전력은 크게 감소하며 전류 또한 감소하는 것을 보여준다. Vlangle은 상승, 그리고 주파수는 거의 일정하다.

<표 4> DG 전압위상각 30도일 경우의 변화량

	P	Q	Vrms	Irms	Vlangle	f
고립전	1.5106	0.7989	22.9071	0.4308	-0.4866	60.0098
고립후	1.5429	0.3094	23.2341	0.03911	-0.1957	59.9928
변화량	0.0323	-0.4895	0.3270	-0.3917	0.2909	-0.0170
변화율	2.14	-61.27	1.43	-90.92	-	-0.03

그림 2의 오른쪽 그래프와 표 4은 DG 전압위상각이 30도일 경우의 변화량을 보여준다. 고립 후 DG 전압위상각이 10도일 경우보다 유효전력과 전압의 변화량이 30도일 경우에 증가량이 감소, 무효전력은 고립 전 DG측의 공급량이 절반수준으로 줄어서 감소량 또한 줄은 것을 볼 수 있다.



<그림 3> DG전압위상각 60도와 90도

<표 5> DG 전압위상각 60도일 경우의 변화량

	P	Q	Vrms	Irms	Vlangle	f
고립전	1.5122	0.0184	22.9076	0.038	0.0128	60.0053

고립후	1.4728	0.2937	22.7016	0.0397	-0.1968	59.9836
변화량	-0.0394	0.2753	-0.2060	0.0017	-0.2096	-0.0217
변화율	-2.61	-	-0.90	4.47	-	-0.04

그림 3의 왼쪽 그래프와 표 5는 DG 전압위상각이 60도일 경우의 변화량을 보여준다. 무효전력의 변화율이 커진 것은 고립 전 DG측의 무효전력 공급량이 60도의 경우에는 거의 계통쪽에서 많은 부분을 분담하기 때문에 DG측의 분담량이 매우 작기 때문에 그 크기의 변화가 크게 나타났다.

<표 6> DG 전압위상각 90도일 경우의 변화량

	P	Q	Vrms	Irms	Vlangle	f
고립전	1.5146	0.7746	22.9070	0.0423	-0.4724	60.001
고립후	1.5411	0.309	23.2185	0.04	-0.1979	59.9821
변화량	0.0265	-0.4656	0.3115	-0.0023	0.2745	-0.0189
변화율	1.75	-60.11	1.36	-5.44	-	-0.03

그림 3 오른쪽 그래프와 표 6는 DG 전압위상각 90도일 경우의 변화량을 보여준다. 고립 후 P,Vrms는 소량 증가하였고 Q와 Irms는 변화량이 감소하는 것을 알 수 있다. 전반적인 변화량이 30도일 경우와 유사하지만 전류의 감소량에서는 30도에서의 감소량이 훨씬 컸다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 연계계통의 위상변화에 따른 고립운전 검출기법의 개선을 위하여 PSCAD/EMTDC로 분산전원 계통을 모델링하였으며, 이를 이용하여 고립운전시의 위상각의 변화와 이에 따른 전압, 전류, 유효전력, 무효전력, 주파수, 위상등의 값을 측정하여 고립운전전후의 변화를 계산하였다. 시뮬레이션 결과 DG전압투입각에 따라 고립 전과 고립 후의 파라미터 변화량의 크기가 다르고 또한 고립 전에 DG가 분담하는 부하량의 크기가 달라지는 것을 볼 수 있다. 먼저 유효전력과 주파수는 전압투입각의 변화에 큰 변동을 보이지 않았다. 무효전력의 경우는 DG 전압투입각이 0도일 경우에 DG가 분담하는 무효전력이 역조류가 발생하였고 그 밖의 경우는 무효전력을 계통쪽으로 공급하는 것을 알 수 있었다. 또한 DG 전압위상각의 변화에 따라 고립 전 무효전력의 분담량과 Vlangle이 크게 변하였고 이 두가지 파라미터가 다른 파라미터에 비해 가장 민감한 변화를 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 무효전력과 Vlangle의 변화량이 뚜렷하게 크면서 실효전류값이 -90.92%로 큰 폭으로 감소하는 DG 전압위상각 30도의 경우를 사용하여 수동검출기법에 적용하면 보다 효과적으로 고립운전을 검출할 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Sung-II Jang Student Member, IEEE, and Kwang-Ho Kim, Member, IEEE, "An Islanding Detection Method for Distributed Generations Using Voltage Unbalance and Total Harmonic Distortion of Current" Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific. 2005 IEEE/PES 15-18 Aug. 2005 Page(s): 1-4
- [2] J.E.Kim, Member IEEE, J.S.Hwang, "Islanding Detection Method of Distributed Generation Units Connected to Power Distribution System" Power System Technology, 2000. Proceedings. PowerCon 2000 . International Conference on Volume 2, 4-7 DEC. 2000 Page(s): 643-647 vol.2
- [3] P.O.Kane, and B.Fox, "Loss of Mains Detection for Embedded Generation by System Impedance Monitoring" IEE Sixth International on Developments in power System Protection, Conference Publication No. 434, pp. 95-98, 1997.
- [4] T.Funabashi, Senior Member, IEEE, and K.Koyanagi, Member, IEEE, and R.Yokoyama, Member, IEEE, "A Review of Islanding Detection Methods for Distributed Resources", Paper accepted for presentation at 2003 IEEE Bologna PowerTech Conference, June 23-26, Bologna, Italy.
- [5] N.Jenkins, R.Allan, P.Crossley, D.Kirschen and G.Strbsac, Distributed Generation, IEE. 2000
- [6] P.D. Hopewell, N.Jenkins, A.D.Cross, "Loss-of-Mains Detection for Small Generations", IEE Proceedings, Electrical power Applications, vol.143, no3, May 1996, pp.225-230
- [7] M.Ropp, K.Aaker, J.Haigh, and N.Sabbah, "Using power line carrier communications to prevent islanding", in Proc. 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. 2000, pp. 1675-1678
- [8] M.A.Refern, O.Usta, and G.Fielding, "Protection against loss of utility grid supply for a dispersed storage and generation unit", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, no. 3, pp. 948-954, July 1993

### 감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축지원사업으로 수행된 논문입니다.