

병렬운전에서의 계통연계형 인버터의 단독운전 검출

정영석, 유병규, 소정훈, 유권중, 최재호*
한국에너지기술연구원, *충북대학교

Islanding detection of grid-connected inverter in parallel operation

Youngseok Jung, Byunggyu Yu, Junghun So, Jaeho Choi*
Korea Institute of Energy Research, Chungbuk National University

Abstract - In this paper, phenomenon of islanding parallel inverters in an ac-distributed system is proposed. The paper explores the test results of the parallel-connected inverters in grid-connected system. The test results are devised and analyzed taking into account the power quality and the islanding performance. The islanding test methods applied. Experimental results are provided from two 2 kVA inverters connected in parallel, showing the features of islanding test.

1. 서 론

태양광발전을 포함한 신재생에너지의 확대 보급이 활발히 전개되면서 연계형 시스템의 단독운전 현상의 발생에 대한 위험도 함께 증가하고 있다. 이러한 이유로 미국의 경우 2000년에 IEEE 929-2000을 제정하였고 2005년에는 단독운전을 포함한 연계형 인버터의 안전성 확보를 목적으로 한 IEEE 1547을 규격을 제정하였다^[1]. 국내에서는 2002년부터 산업자원부의 주도로 태양광발전용 계통연계형 인버터의 설비 인증기준 제정 및 인증제도를 실시하였고, 이미 다수의 소용량 인버터가 인증을 부여받은 바 있다^[2]. 그러나 앞에서 언급한 미국규격 및 국내 설비 인증 기준은 단일 인버터 시스템에 대해서만 국한되어 있을 뿐 다수의 인버터가 병렬로 운전되는 상황은 고려되어 있지 않다. 다수의 인버터가 병렬로 연계되어 운전되는 상황에서 예상되는 문제점은 크게 전력품질 훼손 문제와 단독운전 검출가능 저하 문제로 나누어 볼 수 있다. 전력품질 문제의 경우 단일 인버터 운전 시 발생하는 전류 고조파는 인증 기준 미만으로 존재하나 병렬운전 시 고조파가 서로 중첩되어 전체고조파가 증가하거나, 출력전류의 DC 성분이 기준치(0.5%)를 초과하는 상황이 발생할 수 있다. 또한 국내의 주택용 태양광발전시스템의 보급현황을 살펴보면 병렬운전에 대한 기준이나 참고규격이 없어 별도의 제한 없이 설치되고 있는 상황이므로 단독운전 검출기능의 경우 병렬운전 시에는 기능저하가 우려된다. 그러나 국내에서는 이러한 연계형 시스템의 병렬운전의 경우에 대한 구체적인 연구가 진행된 바 없으며, 국제 화회를 통하여 조금씩 연구가 진행되고 있는 상황이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 계통연계형 인버터의 병렬운전의 경우에 대한 다양한 연구를 진행하기에 앞서 병렬운전 시 발생하는 현상을 파악하기 위하여 국내 인증을 받은 2가지 종류의 단상 인버터 제품을 병렬운전 조건하에 운전하여 전력 품질 및 단독운전 검출 성능에 대하여 알아보았다. 단독운전 검출의 경우 국내 인증시험 방법과 IEEE 1547에 명시된 시험방법에 차이가 있으므로 이에 대하여 간략히 설명하고 두가지 방법에 대한 시험을 실시하여 그 결과도 고찰하였다.

2. 단독운전 시험 규격

2.1 국내 인증 시험

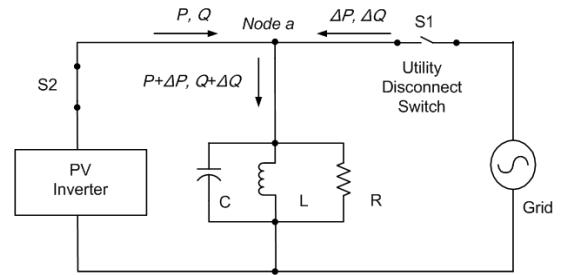
국내의 단독운전 검출에 대한 시험방법 및 기준은 산업자원부 태양광 설비 인증 고시에 명시되어 있으며, 그림 1과 같은 기본 시험 회로로 구성된다. 국내 인증 규격에서의 단독운전 시험 조건은 다음과 같다.

- 1) 인버터는 정격운전 하여야 한다
- 2) 인버터에서 발생하는 유효전력과 부하의 소모전력이 일치하여야 한다.
- 3) 인버터에서 발생하는 무효전력과 부하의 무효전력이 일치하여야 하며 무효전력의 부하는 L 또는 C를 이용한다.
- 4) 계통으로부터 유입되는 기본파 성분의 유/무효전력은 0(zero)에 근접하여야 한다.
- 5) 단독운전이 발생된 후 0.5초 이내에 인버터가 정지되어야 한다. 이러한 조건은 다음과 같이 수식으로 표현될 수 있다.

$$\Delta P = P_{inv} - P_{load} = 0 \quad (1)$$

$$\Delta Q = Q_{inv} - Q_{load} = 0 \quad (2)$$

여기서, ΔP : 계통에서 유입되는 유효전력
 ΔQ : 계통에서 유입되는 무효전력



<그림 1> 단독운전 검출 시험 기본 구성도

2.2 국제 인증 시험(IEEE 1547)

미국 규격인 IEEE 1547의 단독운전 시험 조건 및 회로 구성도는 부하조건과 검출시간을 제외하면 국내의 기준과 유사하다. 특히 부하조건에서는 품질계수(Q_f : Quality factor)라는 개념을 도입하여 시험조건이 약간 까다롭게 되어 있으나, 검출시간이 2초로 규정되어 있어 검출시간에 여유가 있다. 미국 규격의 부하조건을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Q_f = R \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{\sqrt{P_{qL} \times P_{qC}}}{P} \quad (3)$$

$$P_{qL} = P_{qC} = Q_f \times P = 1.0 \times P \quad (4)$$

여기서, P_{qL} : 인덕터 부하의 무효전력

P_{qC} : 커패시턴스 부하의 무효전력

즉 유효전력과 같은 크기의 LC공진 무효전력 부하를 연결하여 공진주파수가 전압의 기본주파수인 60Hz를 유지하도록 설정한다.

3. 실험결과

계통연계형 인버터의 병렬운전 시 발생하는 전력품질 및 단독운전 검출 성능의 변화를 알아보고자 표 1에 보인 바와 같은 2가지 타입의 인버터를 각각 2대씩 선정하여 실험을 구성하였다. 또한 전압 및 주파수에 대한 인버터의 보호설정은 국내 기준에 맞추어 전압 220V±13V, 주파수 60Hz ± 0.2Hz로 설정하였다.

실험은 동일제품의 병렬운전과 서로 다른 제품의 병렬운전의 형태로 구성하여 각각에 대한 전력품질의 변화 및 단독운전 검출성능의 변화에 초점을 맞추어 진행하였다.

<표 1> 실험에 사용된 인버터의 사양

제조사	A(수입)	B(국내)
용량	2.0kW	2.0kW
절연방식	고주파절연	비절연
역율	99.63%	99.53%
고조파	2.43%	2.06%
DC 유출 성분	0.41%	0.50%

3.1 전력품질

병렬운전 시험에 대한 전력품질의 변화를 표 2에 나타내었다.

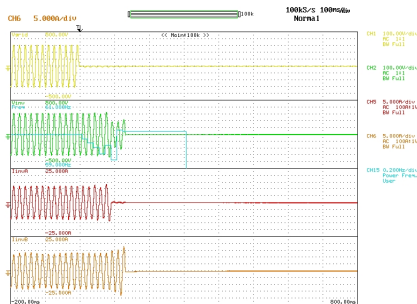
<표 2> 인버터 구성에 따른 병렬운전 시 전력품질의 변화

인버터 구성	역률(%)	고조파(%)	DC유출 성분(%)
A 단독	99.63	2.43	0.41
B 단독	99.53	2.06	0.50
A + A	99.80	2.92	0.94
B + B	99.78	2.04	0.35
A + B	99.82	2.39	1.28

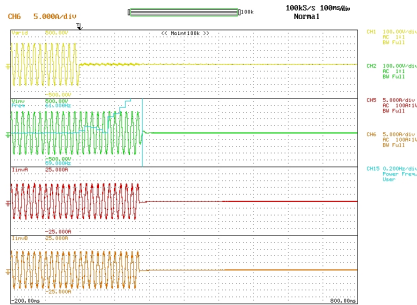
시험결과 역률은 큰 변화가 없고 약간 증가하는 것으로 나타났으며 이는 각각의 인버터가 역률 1 계어가 정상적으로 수행되며 서로 간섭하는 영향은 무시해도 좋을 정도로 작다고 할 수 있다. 고조파의 경우 A사의 인버터는 고조파가 중첩되어 약간 증가하고 있으나 그 영향은 크지 않으며, B사의 경우 고조파의 변화는 거의 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 병렬운전 시 역률 및 고조파의 경우 우려할 만한 상황은 발생되지 않는 것으로 나타났다. 그러나 인버터 출력전류에 대한 DC 유출성분은 병렬운전 시 기준치(0.5%이하)를 초과하는 것으로 나타났다. B사의 제품만으로 병렬운전 시에는 기준치를 만족하고 있으나, A사 제품만의 병렬운전 시 DC 성분이 중첩되어 2배 이상이 증가하고 있으며, A사와 B사의 병렬운전 시 서로 간섭을 일으켜 기준치를 크게 초과하고 있는 것으로 나타났다.

3.2 단독운전 검출

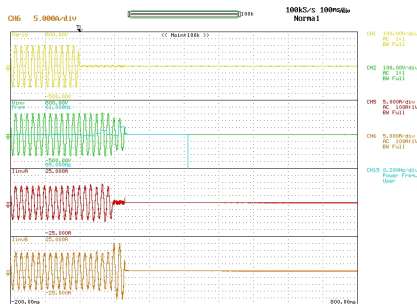
병렬운전 시 단독운전 검출에 시험결과를 국내 기준을 적용한 경우와 국제 기준을 적용한 경우로 나누어 각각 그림 2~4와 그림 5~7에 나타내었다.



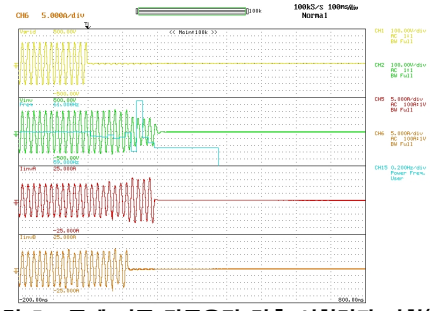
<그림 2> 국내 기준 단독운전 검출 시험결과 파형(A+A)



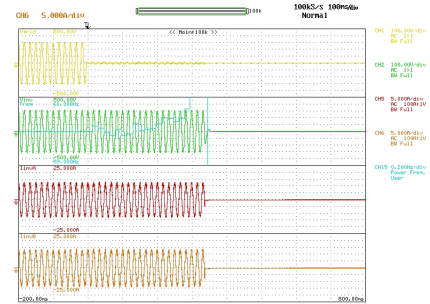
<그림 3> 국내 기준 단독운전 검출 시험결과 파형(B+B)



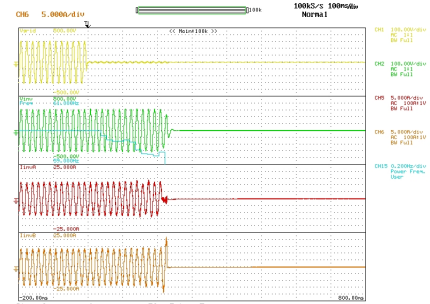
<그림 4> 국내 기준 단독운전 검출 시험결과 파형(A+B)



<그림 5> 국제 기준 단독운전 검출 시험결과 파형(A+A)



<그림 6> 국제 기준 단독운전 검출 시험결과 파형(B+B)



<그림 7> 국제 기준 단독운전 검출 시험결과 파형(A+B)

국내 기준의 단독운전 시험결과 동일 제품의 병렬운전 시 별다른 성능 저하는 보이지 않았다. 그림 4의 경우 A사와 B사의 병렬운전의 경우인데 B사의 기법에 의한 주파수의 가변은 발생하지 않고 A사의 인버터가 정지 시 급격한 전압저하로 인하여 B사의 인버터가 정지하고 있다. 이는 각기 다른 단독운전 검출 기법이 적용된 인버터의 병렬운전 시 단독운전 검출 성능이 오히려 증가할 수도 있음을 알 수 있다. 국제 기준이 적용된 경우에는 그림 5에서 보이듯이 주기성을 가지는 단독운전 검출 기법인 A사의 경우 검출성능에 변화가 없으며 그림 6처럼 주파수의 피드백을 이용한 주파수 가변기법이 적용된 B사의 경우 검출시간이 다소 증가하고 있는 것으로 나타났다. 그림 7의 경우 단독운전 발생 후 주파수의 변동이 제한치 근처에 머물다가 A사의 주기적 외란이 발생한 직후 급격한 주파수 및 전압의 변화로 인버터가 정지하고 있는 것으로 나타났다.

3. 결 론

본 논문은 계통연계형 인버터의 병렬운전 시 발생할 수 있는 문제점을 고찰하기 위하여, 국내 인증을 받은 2가지의 변압기 없는 형태의 단상 인버터 제품을 병렬로 구성하여 시험한 결과를 전력품질과 단독운전 검출에 초점을 맞추어 분석하였다. 전력품질의 경우 역률 및 고조파의 경우 별다른 문제점을 발견하지 못하였지만, DC성분 유출의 경우 기준치를 초과하는 경우가 발생하는 것으로 나타나 이에 대한 자세한 연구가 필요한 것으로 판단된다. 단독운전의 경우 국내, 국제 규격의 시험에 대하여 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났으나 단지 2가지의 제품만을 고려하였으므로 보다 다양한 제품 또는 단독운전 검출기법으로 확대하여 연구 분석할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Std 1547-2003. 2003.
- [2] 에너지관리공단 홈페이지, <http://racer.kemco.or.kr>